

İBK

ANKARA 2021

İLK BİLDİRİLER KONFERANSI

BİLDİRİLER KİTABI

10-11 TEMMUZ 2021

Düzenleyen Kuruluşlar



EMO Yayın No: SK/2021/735
ISBN: 978-605-01-1435-5



TMMOB
Elektrik Mühendisleri Odası
Ankara Şubesi Yayınıdır

İLK BİLDİRİLER KONFERANSI

1. Baskı: Ankara
Ekim 2021

EMO Yayın No: SK/2021/735
ISBN: 978-605-01-1435-5

TMMOB ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI ANKARA ŞUBESİ
İhlamur Caddesi No:10 kızılay ÇANKAYA-ANKARA
Tel: (0.312) 231 44 74 Faks: (0.312) 232 10 88
<http://ankara.emo.org.tr> & ankara@emo.org.tr

Baskı

YORUM MATBAACILIK: Yorum Basın Yayın Sanayi Ltd. Şti
Başkent Organize Sanayi Bölgesi Recep Tayyip Erdoğan Bulvarı No : 12 Malıköy 06909 Sincan / ANKARA
T : 0312-395 21 12 F : 0312-394 11 09
info@yorummatbaa.com - www.yorummatbaa.com

Bu kitapta, kabul edilen bildirilerden, İlk Bildiriler Konferansı'nda sunulanların tamamı yayınlanmıştır.
Bu eserin yayın hakkı Elektrik Mühendisleri Odası'na aittir. Kitaptaki bilgiler kaynak gösterilerek kullanılabilir.

İÇİNDEKİLER

Sunuş.....	1
Düzenleme Kurulu.....	3
Program.....	5
Dron Tarzı Hava Platformlarında Termal Kamera İle Yüksek Güvenliğe Yönelik Görüntü Aktarımı Sağlayabilen Telemetri Sistemi Geliştirilmesi.....	9
Dron Araçlarının Duvar Boyama İşlerinde Kullanılabilmesi için Donanım Ve Yazılım Geliştirilmesi.....	12
İtfaiyeci İnsansız Hava Aracı.....	15
Geniş Arazilerde Yangın Tespiti ve İlk Hızlı Müdahale İçin Yeni Bir Drone Tasarımı Önerisi.....	21
Dört Ayaklı Robot Tasarımı ve Yürüyüş Modelleme.....	27
Yazılım Tanımlı Radyo Kullanarak Uçan Bir Platformdan Telemetri İletimi.....	31
YOLO Derin Öğrenme Algoritması ile Araç Plakalarının Tespit Edilmesi.....	36
Üçlü Thue-Morse Dizilimli Fotonik Kristal Yapıdan Yansımanın İncelenmesi.....	40
Bir Uydu Yer İstasyonu Haberleşme Sistemleri Altyapısındaki Network Güvenlik Zorlukları İçin Katmanlı Bir Yaklaşım.....	43
Elektrikli Araçlar İçin Batarya Yönetim Sistemi Tasarımı ve Uygulama Örneği.....	49
Sualtı Kablosuz Optik Haberleşme Sistemleri İçin Kısmi Eş-Fazlı Lazer Dizi Demeti Sinyal-Gürültü Oranı Analizi.....	56
Beşinci Nesil Haberleşme Uygulamaları İçin Altıgen Halka Biçimli Bant Genişliği İyileştirilmiş Mikroşerit Yama Anten Tasarımı.....	60
Beşinci Nesil Haberleşme Sistemleri ve ISM Bandı Uygulamaları İçin İyileştirilmiş Frekans Yanıtlı Mikroşerit Yama Anten Tasarımı.....	64
Elektromanyetik Benzetim Yazılımı Kullanarak 2400 MHz Frekansında 40 db RF Güç Yükselteci Tasarımı.....	69
Fibonacci Serileri İle Ses Emici Yüzey Tasarımı.....	73
Thue-Morse Dizilimli Çok Katmanlı Akustik Yüzey Tasarımı.....	76
Development of a disposable SpO2 finger probe for COVID-19 patients.....	79
Bitcoin and Ethereum Background.....	83
Siyam Sinir Ağları İle Yüz Tanıma Sisteminin Okul Girişlerinde Uygulanması.....	88
Lityum Sülfür Bataryalar.....	93
Şebekeden Bağımsız Küçük Ölçekli Köylerin Enerji İhtiyacını Karşılamaya Yönelik Optimize Edilmiş Hibrit Yenilenebilir Enerji Kaynağı Sistemi Tasarımı.....	97
Yüksek Hızlı Tren Haberleşme Hatlarında Fiber Üzerinden Radyo Teknolojisi Uygulamaları.....	102
Görüntü İşleme İle Otoparklarda Araç Yoğunluk Tespiti.....	107
Sürdürülebilir Tarımsal Kalkınma İçin Nesnelerin İnterneti Tabanlı Sera Kontrol Sistemi Tasarımı.....	111

SUNUŞ

İlk Bildiriler Konferansı 2021 için yola çıkarken "Yoğun bir bilimsel, akademik ve teknik çalışma ile oluşan ve gelişen teknolojik ürünler; yaşamımızın önemli bir parçası haline gelmiştir. Gündelik yaşamda kullanılan bu ürünlerin ortaya çıkışı ve/veya yeni formlar kazanması için yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları, birikimli yetişmiş insan gücü ve bu çalışmaların paylaşılıp tartışıldığı platformlar ile güçlenebilir. Dolayısıyla bu çalışmaları yapabilecek nitelikli insan gücünün nicelik olarak artması kadar, çalışma sonuçlarının tartışılacağı uygun platformlar yaratılması da önemlidir. "demistik. Bu konferansın hazırlık günlerinden bu yana yoğun çalışma, emek ve katkıların sunulduğu İlk Bildiriler Konferansı'nın dördüncüsünü 10 – 11 Temmuz 2021 tarihlerinde gerçekleştirmenin mutluluğu ve gururunu yaşıyoruz.

Dünyada ve ülkemizde hepimizi tesiri altına alan Covid – 19 pandemisi nedeniyle dijitalleşen dünyaya hızla adapte olma sürecine girilerek çevrimiçi olarak planlanan ve gerçekleştirilen sayısız etkinlik, webinar ve eğitimin akabinde üniversitelerde okuyan şimdinin öğrencileri, geleceğin meslektaşları arkadaşlarımızı unutmadık. Odağı bilim olan akademik çalışmalar yürüten meslektaşlarımız ile bilimsel, akılcı Üniversite-Oda-Endüstri çalışmalarımızı gerçekleştirmeyi isteyerek çıktığımız yolda başarılı ve üretken olmanın haklı gururunu sizlerle paylaşmak istiyoruz.

İlki 2012 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi ve EMO Ankara Şubesi, ikincisi 2013 yılında Atılım Üniversitesi, Çankaya Üniversitesi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi ve EMO Ankara Şubesi, üçüncüsü 2015 yılında Bilkent Üniversitesi, ODTÜ ve EMO Ankara Şubesi tarafından ortaklaşa düzenlenen İlk Bildiriler Konferansı, dördüncü kez günceli yakalayarak ve yaygınlaşarak yapılması ihtiyacı tespit edilmesi üzerine; İBK 2021, TED Üniversitesi ve Hacettepe Üniversitesi ile EMO Ankara Şubesi ortaklaşa düzenlemiştir.

Mesleğimize katkılarınız ile yol açtığınız meslek hayatınızın başında genç meslektaş arkadaşlarımıza İlk Bildiriler Konferansı'nın parçası olmayı seçtiğiniz için teşekkür ederim. Başarılarla dolu kariyerleri ile emin adımlarla ilerlerken lisans ve lisansüstü bildirimlerini sunan arkadaşlarımıza destek olmak, geleceğin meslektaşlarına yol gösterici olabilmek adına emek veren ve konuşmaları ile bizleri onurlandıran değerli akademisyen hocalarımıza da ayrı ayrı teşekkür ederim. Birlikte her gün daha da büyüyen Elektrik Mühendisleri Odası bünyesinde; çalışan, üreten ve konferansın ortaya çıkmasında büyük emek veren personel arkadaşlarımızın emekleri ve özverili çalışmaları için de teşekkür ederim.

Erzurum'dan Afyon'a, Kastamonu'dan Konya'ya uzanan Elektrik Mühendisleri Odası Ankara Şubesi sınırlarında bulunan 39 Bölüm Başkanlığı'na davetle oluşturulan Düzenleme Kurulu ve Yürütme Kurulu ile gerçekleştirdiğimiz; ortak çalışma ilkesinin ve emeğin ön planda olduğu katkılarla büyüyen, gelişen ve gerçekleşen İlk Bildiriler Konferansı'nın Bildiri Kitabı'nı keyifle incelemenizi ve bildirimleri ile katkı sunan arkadaşlarımızın emeklerini takdir etmenizi temenni ediyorum.

EMO olarak yıllardır kendi meslek alanlarımızı ilgilendiren konularda ulusal ve uluslararası düzeyde birçok sempozyum ve kongrenin altına imza atıyoruz. Tüm bu mesleki faaliyetlerimizde temel anlayışımız; mühendislik hizmetlerinin gelişmesinde ve topluma sunulmasında bilim ve tekniğin kamu yararına uygulanması için çaba göstermek olarak özetlenebilir.

Başka bir ifadeyle, bugün mühendislik alanlarımızdan yaşadığımız dönemin temel sorunlarına yanıtlar üretirken mesleki demokratik bir kitle örgütü olmanın sorumluluğu ile davranmayı, ülkemizin sorunları ile mesleğimizin sorunlarını ortak bir zeminde çözmeyi geçmişten bugüne temel anlayışımız olarak sürdürüyoruz.

Bu yıl dördüncüsü düzenlenen İlk Bildiriler Konferansı'nı büyüterek, üreterek ve geliştirerek ilerlettiğimiz günlerde buluşmak dileklerimle.

Kardelen KAMIŞLI

**TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası
Ankara Şubesi 25. Dönem Yönetim Kurulu Başkanı**

DÜZENLEME KURULU

- Prof. Dr. Ali Ziya Alkar – Hacettepe Üniversitesi*
- Prof. Dr. Caner Özdemir – EMO Mersin Şubesi (Mersin Üniversitesi)*
- Prof. Dr. Cenk Toker – Hacettepe Üniversitesi*
- Prof. Dr. Erdem Yazgan – TED Üniversitesi*
- Prof. Dr. Ersan Kabalcı – Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi*
- Prof. Dr. Fatih Onur Hocaoğlu – Afyon Kocatepe Üniversitesi*
- Prof. Dr. Hilal Göktaş – Ankara Üniversitesi*
- Prof. Dr. Hüseyin Canbolat – Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi*
- Prof. Dr. İlkay Ulusoy – Ortadoğu Teknik Üniversitesi*
- Prof. Dr. Levent Özcan – Afyon Kocatepe Üniversitesi*
- Prof. Dr. Mehmet Yüceer – Ostim Teknik Üniversitesi*
- Prof. Dr. Nihat Öztürk – Gazi Üniversitesi*
- Prof. Dr. Sedat Nazlıbilek – Başkent Üniversitesi*
- Prof. Dr. Yahya Kemal Baykal – Çankaya Üniversitesi*
- Prof. Dr. Yüksel Oğuz – Afyon Kocatepe Üniversitesi*
- Doç. Dr. Orhan Kaplan – Gazi Üniversitesi*
- Doç. Dr. Kemal Efe Eseller – Atılım Üniversitesi*
- Doç. Dr. Mehmet Demirtaş – Gazi Üniversitesi*
- Doç. Dr. Ö. Tolga Altınöz – Ankara Üniversitesi*
- Doç. Dr. Özgür Ertuğ – Gazi Üniversitesi*
- Doç. Dr. Süleyman Sungur Tezcan – Gazi Üniversitesi*
- Doç. Dr. Uçman Ergün – Afyon Kocatepe Üniversitesi*
- Dr. Çiğdem Gündoğan Türker – EMO*
- Dr. Hıdır Düzkaya – Gazi Üniversitesi*
- Dr. Mehmet Alper Kutay – Bilkent Üniversitesi*
- Dr. Öğr. Üyesi Agah Oktay Ertay – Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi*
- Dr. Öğr. Üyesi Banş Yüksekaya – Hacettepe Üniversitesi*
- Dr. Öğr. Üyesi Burak Türker – Afyon Kocatepe Üniversitesi*
- Dr. Öğr. Üyesi Emrah Çetin – Yozgat Bozok Üniversitesi*

İBK'21 PROGRAM

10 Temmuz 2021

09.30-10.00 – Açılış Konuşmaları:

TED Üniversitesi, Hacettepe Üniversitesi, EMO Ankara Şubesi, EMO

10.00-10.30 - Davetli konuşmacı: Mustafa İspir

"Kültürel Farklılıklar: Türkiye'den Silikon Vadisine ve Yazılım Mühendisliğinden Makine Öğrenmesi Mühendisliğine"

10.30-11.30 - Bildiri Oturumu 1

Oturum Başkanları: Prof. Dr. Cenk TOKER,
Dr. Öğr. Üyesi Zeynep HASIRCI TUĞCU

- Dron Tarzı Hava Platformlarında Termal Kamera ile Yüksek Güvenliğe Yönelik Görüntü Aktarımı Sağlayabilen Telemetri Sistemi Geliştirilmesi İdil KELEŞ, Sevilay CAN, Ali UYANIK, Umut ÇILDIR, Mahmut POLAT, Caner ÖZDEMİR
- Dron Araçlarının Duvar Boyama İşlerinde Kullanılabilmesi için Donanım Ve Yazılım Geliştirilmesi İrem KURŞUN, Melih Bayram BOZ, Sami HAMAN, Aycihan ÇAKMAK, Caner ÖZDEMİR
- İtfaiyeci İnsansız Hava Aracı Mehmet Ali KANDİLCİK, Sezgin KARAPINAR, Muhammet Enes ADANUR, Gürhan BULU

11:45-12:45 - Bildiri Oturumu 2

Oturum Başkanları: Prof. Dr. Caner ÖZDEMİR
Arş.Gör. Burcu BİLGİÇ

- Yazılım Tanımlı Radyo Kullanarak Uçan Bir Platformdan Telemetri İletimi Nihan YILMAZ, Algi KÜÇÜKYAVUZ, Rabia KAPAN, Cenk TOKER
- Dört Ayaklı Robot Tasarımı ve Yürüyüş Modelleme Bahar VURAL, Pınar PAMUK, Yasemin ERKAN
- YOLO Derin Öğrenme Algoritması ile Araç Plakalarının Tespit Edilmesi Ahmet ATLI, Mehmet DEMİRTAŞ

13:45 - 14:15 -Davetli konuşmacı: Mehmet Nuri Akıncı

"Derin Öğrenmenin Mikrodalga Görüntüleme Uygulamaları"

14:15 - 15:15 - Bildiri Oturumu 3

Oturum Başkanları: Prof. Dr. Hüseyin CANBOLAT,
Dr. Öğr. Üyesi Muhsin Caner GÖKÇE

- Üçlü Thue-Morse Dizilimli Fotonik Kristal Yapıdan Yansımanın İncelenmesi Mehmet Furkan AY, Umut ALAN, Büşra GÖRAL, Çiğdem Seçkin GÜREL
- Bir Uydu Yer İstasyonu Haberleşme Sistemleri Altyapısındaki Network Güvenlik Zorlukları İçin Katmanlı Bir Yaklaşım Abdullah GÜRTEKİN
- Elektrikli Araçlar için Batarya Yönetim Sistemi Tasarımı ve Uygulama Örneği Nazım ELMALI, Emrah ÇETİN, Mustafa YAZ

Dr. Öğr. Üyesi Emrullah Aydın – Malatya Turgut Özal Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi İlker Ali Özkan – Selçuk Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Merkepçi – Gaziantep Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Yüksekaya – Başkent Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Muhsin Caner Gökçe – TED Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Nuray Emin – Kastamonu Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Zeynep Hasırcı Tuğcu – EMO Trabzon Şubesi (Karadeniz Teknik Üniversitesi)

Öğr. Gör. Gökhan Bahadır – Kastamonu Üniversitesi

Arş. Gör. Burcu Bilgiç – Atılım Üniversitesi

Arş. Gör. Neşe Özkan Yılmaz – Afyon Kocatepe Üniversitesi

Arş. Gör. Ömer Burak İstanbullu – Erciyes Üniversitesi

Şükrü Can İncebiyık – EMO

Fırat Güler – EMO Antalya Şubesi

Kardelen Kamyşlı – EMO Ankara Şubesi

Mustafa Mumcu – EMO Ankara Şubesi

Özgür Karagülle – EMO Ankara Şubesi

Mustafa Öztürk – EMO Ankara Şubesi

Şenay Karamut – EMO Ankara Şubesi

Ferhat Bitecek – EMO Ankara Şubesi

Melis Kultufan – EMO Ankara Şubesi

F.Gizem Yürümez – EMO Ankara Şubesi

Çetin İnce – EMO Afyon İl Temsilciliği

Kürşat Güneş – EMO Aksaray İl Temsilciliği

Kürşat Tannöven – EMO Kayseri İl Temsilciliği

İsmet Çağlayan – EMO Sivas İl Temsilciliği

Özgür Çakıcı – EMO Kayseri İl Temsilciliği

Tamer Kaçak – EMO Nevşehir İl Temsilciliği

Yavuz Selim Güneş – EMO Kırıkkale İl Temsilciliği

Fuat Kutsal – Ankara Ticaret Odası

15:30 - 17:10 - Bildiri Oturumu 4



Oturum Başkanları: Prof. Dr. Nihat ÖZTÜRK
Dr. Öğr. Üyesi Agah Oktay ERTAY

- Sualtı Kablosuz Optik Haberleşme Sistemleri için Kısmi Eş-Fazlı Lazer Dizi Demeti Sinyal-Gürültü Oranı Analizi Ecenaz ÖZALP, Alp Eren AYDOĞDU, Muhsin Caner GÖKÇE, Yahya BAYKAL*
- Beşinci Nesil Haberleşme Uygulamaları için Altıgen Halka Biçimli Bant Genişliği İyileştirilmiş Mikroşerit Yama Anten Tasarımı Duygu Yaşar GÜNDOĞDU, Agah Oktay ERTAY*
- Beşinci Nesil Haberleşme Sistemleri ve ISM Bandı Uygulamaları için İyileştirilmiş Frekans Yanıtlı Mikroşerit Yama Anten Tasarımı Ahmet Osman AKSOY, Ayşenur ÜSTÜN, Agah Oktay ERTAY*
- Elektromanyetik Benzetim Yazılımı Kullanarak 2400 MHz Frekansında 40 db RF Güç Yükseltici Tasarımı Sefa Furkan ÇALIŞIR, Yusuf ERTUĞAN, Caner ÖZDEMİR*
- Fibonacci Serileri ile Ses Emici Yüzey Tasarımı İrem KAYA, Çiğdem Seçkin GÜREL*

11 Temmuz 2021

9:30-11:00 – Bildiri Oturumu 5



Oturum Başkanları: Prof. Dr. Hilal GÖKTAŞ
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet YÜKSEKKAYA

- Thue-Morse Dizilimli Çok Katmanlı Akustik Yüzey Tasarımı Özden DOĞRUER, Çiğdem Seçkin GÜREL*
- Development of a disposable SpO2 finger probe for COVID-19 patients Hacı İsmail ASLAN, Cansu KARAKUZU*
- Bitcoin and Ethereum Background Gizem ALTUN*
- Siyam Sinir Ağları ile Yüz Tanıma Sisteminin Okul Girişlerinde Uygulanması Yunus ATLI, Mehmet DEMİRTAŞ*

11:15-12:15 - Bildiri Oturumu 6



Oturum Başkanları: Doç. Dr. Mehmet DEMİRTAŞ,
Dr. Öğr. Üyesi Emrah ÇETİN

- Lityum Sülfür Bataryalar Mustafa YAZ, Abdussefer BÖLÜKBAŞI*
- Şebekeden Bağımsız Küçük Ölçekli Köylerin Enerji İhtiyacını Karşılamaya Yönelik Optimize Edilmiş Hibrit Yenilenebilir Enerji Kaynağı Sistemi Tasarımı Mesut TOKMAK, Cemil ALTIN*
- Yüksek Hızlı Tren Haberleşme Hatlarında Fiber Üzerinden Radyo Teknolojisi Uygulamaları Ahmet Caner GÜL, N. Özlem ÜNVERDİ*

13:15-14:15 - Bildiri Oturumu 7



Oturum Başkanları: Dr. Hıdır DÜZKAYA
Dr. Öğr. Üyesi Barış YÜKSEKKAYA

- Geniş Arazilerde Yangın Tespiti ve İlk Hızlı Müdahale İçin Yeni Bir Drone Tasarımı Önerisi Yaşar Anıl HİTHİT, Harun HOT, Zeynep Sevgi YÜKSEL, Erdem YAZGAN*
- Görüntü İşleme ile Otoparklarda Araç Yoğunluk Tespiti Musa DALANÇIKAR, İsmail ÇELİK, Zeynep HASIRCI TUĞCU, İsmail Hakkı ÇAVDAR*
- Sürdürülebilir Tarımsal Kalkınma için Nesnelerin İnterneti Tabanlı Sera Kontrol Sistemi Tasarımı Ramazan ÇAPANOĞLU, Emrah ÇETİN*

14:30-16:30 – SÖYLEŞİ



“Eğitim Hayatından Meslek Hayatına Mühendis”

Moderatör:

Dr. Çiğdem GÜNDOĞAN TÜRKER

Konuşmacılar:

- Prof. Dr. Cenk TOKER*
- Prof. Dr. Feza ARIKAN*
- Dr. Ali Levent KURTOĞLU*
- Dr. Hıdır DÜZKAYA*
- Ali İhsan ARSLAN (Ortana Elektronik)*
- Baldan ÇOLAK (İletişim Uzmanı)*
- Ferhat BİTECEK (EMO Ankara Şubesi Örgütlenme Sekreteri)*

Dron Tarzı Hava Platformlarında Termal Kamera İle Yüksek Güvenliğe Yönelik Görüntü Aktarımı Sağlayabilen Telemetri Sistemi Geliştirilmesi

İdil KELEŞ¹ Sevilay CAN¹ Ali UYANIK¹ Umut ÇILDIR¹ Mahmut POLAT¹ Caner ÖZDEMİR^{1,2}

¹Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Mersin Üniversitesi

idilkeles10@gmail.com, sevilay1can1@gmail.com, aliuyanikk33@gmail.com, cildir3535@gmail.com, mahmutpolat1673@gmail.com, cozdemir@mersin.edu.tr

²Emtech Bilişim Teknolojileri, Mersin Teknoloji Geliştirme Bölgesi caner.ozdemir@emtechbilisim.com

Anahtar Sözcükler: Görüntü aktarımı, Telemetri sistemi, Dron uygulamaları

Özet

Bu çalışmada, 2400 MHz orta frekansında tek bir veri paketi olarak yüksek güvenliğe yönelik görüntü aktarımı ve navigasyon bilgileri iletişimi gerçekleştirilmektedir. Uluslararası platformda ve ülkemizde dronlarda veriler farklı frekanslarda iletişim sağlamaktadır. Çalışmamızın temel hedefi söz konusu telemetri sisteminde gerekli olan tüm paketlerin birleştirilip gönderilmesidir.

Abstract

This is realized as a single data packet at 2400 MHz mid-frequency, high-security image transmission and navigation information communication. In the international platform and in our country, data on drones provide communication at different frequencies. The main goal of the study is to combine and send all packets in the telemetry system in question.

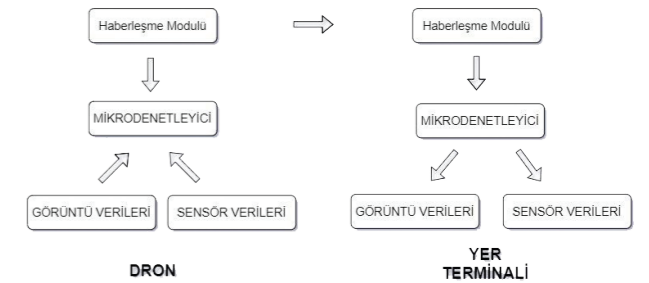
1. Giriş

Dron, uzaktan kontrol edilebilen bir tür uçak teknolojisi olup insansız hava aracı anlamına gelmektedir. Günümüz çağında insanın verimli bir şekilde performans gösteremediği yerlerde dronlar devreye giriyor. Askeri alanlar başta olmak üzere sağlık, acil yardım gibi daha birçok sektörde de dron kullanımı artmaktadır.

İlerleyen teknoloji ile birlikte insansız hava araçları çok gelişmiştir. Bu çalışmayla dronlarda yeni bir telemetri çalışması yaratılmak istenmiştir. Uluslararası platformlarda dronlarda veriler tek bir frekans bandında gelmemektedir. Navigasyon ve görüntü verileri ayrı ayrı paketler halinde gelir. Bu çalışmada tüm verilerin tek bir paket haline getirilerek aktarılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, veri aktarımı için tez çalışmaları kapsamlı olarak incelenmiştir [1-4]. [1] numaralı çalışmada tek bir frekans bandı kullanılarak birden fazla verinin birleştirilerek gönderilmesi ele alınmıştır. [2] ve [3] numaralı çalışmalarda ise; 2.4 GHz kablosuz haberleşme bandına yönelik olarak sırasıyla termal kamera ile görüntü aktarımı yapılmıştır. [4] numaralı çalışmadan örnek alınarak dron ile yer terminali arasındaki iletişim 2.4 GHz frekans bandında telemetri sistemi ile gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmanın gerçekleşeceği aşamaları Şekil 1'deki blok di-

yagramında gösterilmiştir. Çalışmada kullanılacak olan termal kamera ile görüntü verileri ve sensör verileri (MEMS VE GPS verileri) mikrodenetleyiciye gelerek burada birleştirilerek haberleşme modülü üzerinden yer terminali ile iletişim sağlanacaktır. Yer terminalinde haberleşme modülü ile birleşmiş olan veriler mikrodenetleyiciye Jumbo paket olarak gelerek burada ayrışma işlemi yapılacaktır.



Şekil 1: Blok Diyagramı

2. Yazılım Geliştirme Çalışmaları

Ekrana aktarılacak olan verilerin elde edilmesinde Arduino ve Raspberry Pi yazılım dilleri kullanılmıştır. Ekrana aktarılacak olan veriler 3 bölümden oluşmaktadır. Bunlar jiroskop, navigasyon ve termal kamera görüntü verileridir. Bunun için bir ara yüz tasarımı ihtiyaç duyulmuştur. Bu ara yüz tasarımı Java Eclipse kullanılmıştır. Şekil 2(a)'da görüldüğü gibi yazılım çalışmaları yapılmış olup bu yapılan çalışmalar sonucunda şekil 2(b)'deki ana giriş ekran görüntüsü elde edilmiştir. Birinci bölüm eksen bilgilerini almak için kullandığımız 9dof sensörü olan BNO055'ten elde ettiğimiz verileri gördüğümüz kısımdır. İkinci bölümde dronun anlık olarak konumunu takip ettiğimiz navigasyon bilgi ekranı yer almaktadır. Üçüncü bölümde ise drondan gelen termal kamera görüntüsünü aldığımız kısımdır.


```

1 package windowbuilder;
2
3 import java.awt.EventQueue;
4
5 public class windowbuilder {
6     private JFrame frame;
7
8     /**
9      * Launch the application.
10    */
11    public static void main(String[] args) {
12        EventQueue.invokeLater(new Runnable() {
13            public void run() {
14                try {
15                    windowbuilder window = new windowbuilder();
16                    window.frame.setVisible(true);
17                } catch (Exception e) {
18                    e.printStackTrace();
19                }
20            }
21        });
22    }
23
24    /**
25     * Create the application.
26     */
27    public windowbuilder() {
28        initialize();
29    }
30
31    /**
32     * Initialize the contents of the frame.
33     */
34    private void initialize() {
35        frame = new JFrame();
36        frame.setBounds(100, 100, 750, 850);
37        frame.setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
38        frame.getContentPane().setLayout(null);
39
40        JPanel panel_1 = new JPanel();
41        panel_1.setBounds(32, 47, 296, 399);
42    }
43
44 }
45
46 }
47
48 }
49
50 }
51
52 }
53
54 }
55
56 }
57
58 }
59
60 }
61
62 }
63
64 }
65
66 }
67
68 }
69
70 }
71
72 }
73
74 }
75
76 }
77
78 }
79
80 }
81
82 }
83
84 }
85
86 }
87
88 }
89
90 }
91
92 }
93
94 }
95
96 }
97
98 }
99
100 }
101
102 }
103
104 }
105
106 }
107
108 }
109
110 }
111
112 }
113
114 }
115
116 }
117
118 }
119
120 }
121
122 }
123
124 }
125
126 }
127
128 }
129
130 }
131
132 }
133
134 }
135
136 }
137
138 }
139
140 }
141
142 }
143
144 }
145
146 }
147
148 }
149
150 }
151
152 }
153
154 }
155
156 }
157
158 }
159
160 }
161
162 }
163
164 }
165
166 }
167
168 }
169
170 }
171
172 }
173
174 }
175
176 }
177
178 }
179
180 }
181
182 }
183
184 }
185
186 }
187
188 }
189
190 }
191
192 }
193
194 }
195
196 }
197
198 }
199
200 }
201
202 }
203
204 }
205
206 }
207
208 }
209
210 }
211
212 }
213
214 }
215
216 }
217
218 }
219
220 }
221
222 }
223
224 }
225
226 }
227
228 }
229
230 }
231
232 }
233
234 }
235
236 }
237
238 }
239
240 }
241
242 }
243
244 }
245
246 }
247
248 }
249
250 }
251
252 }
253
254 }
255
256 }
257
258 }
259
260 }
261
262 }
263
264 }
265
266 }
267
268 }
269
270 }
271
272 }
273
274 }
275
276 }
277
278 }
279
280 }
281
282 }
283
284 }
285
286 }
287
288 }
289
290 }
291
292 }
293
294 }
295
296 }
297
298 }
299
300 }
301
302 }
303
304 }
305
306 }
307
308 }
309
310 }
311
312 }
313
314 }
315
316 }
317
318 }
319
320 }
321
322 }
323
324 }
325
326 }
327
328 }
329
330 }
331
332 }
333
334 }
335
336 }
337
338 }
339
340 }
341
342 }
343
344 }
345
346 }
347
348 }
349
350 }
351
352 }
353
354 }
355
356 }
357
358 }
359
360 }
361
362 }
363
364 }
365
366 }
367
368 }
369
370 }
371
372 }
373
374 }
375
376 }
377
378 }
379
380 }
381
382 }
383
384 }
385
386 }
387
388 }
389
390 }
391
392 }
393
394 }
395
396 }
397
398 }
399
400 }
401
402 }
403
404 }
405
406 }
407
408 }
409
410 }
411
412 }
413
414 }
415
416 }
417
418 }
419
420 }
421
422 }
423
424 }
425
426 }
427
428 }
429
430 }
431
432 }
433
434 }
435
436 }
437
438 }
439
440 }
441
442 }
443
444 }
445
446 }
447
448 }
449
450 }
451
452 }
453
454 }
455
456 }
457
458 }
459
460 }
461
462 }
463
464 }
465
466 }
467
468 }
469
470 }
471
472 }
473
474 }
475
476 }
477
478 }
479
480 }
481
482 }
483
484 }
485
486 }
487
488 }
489
490 }
491
492 }
493
494 }
495
496 }
497
498 }
499
500 }
501
502 }
503
504 }
505
506 }
507
508 }
509
510 }
511
512 }
513
514 }
515
516 }
517
518 }
519
520 }
521
522 }
523
524 }
525
526 }
527
528 }
529
530 }
531
532 }
533
534 }
535
536 }
537
538 }
539
540 }
541
542 }
543
544 }
545
546 }
547
548 }
549
550 }
551
552 }
553
554 }
555
556 }
557
558 }
559
560 }
561
562 }
563
564 }
565
566 }
567
568 }
569
570 }
571
572 }
573
574 }
575
576 }
577
578 }
579
580 }
581
582 }
583
584 }
585
586 }
587
588 }
589
590 }
591
592 }
593
594 }
595
596 }
597
598 }
599
600 }
601
602 }
603
604 }
605
606 }
607
608 }
609
610 }
611
612 }
613
614 }
615
616 }
617
618 }
619
620 }
621
622 }
623
624 }
625
626 }
627
628 }
629
630 }
631
632 }
633
634 }
635
636 }
637
638 }
639
640 }
641
642 }
643
644 }
645
646 }
647
648 }
649
650 }
651
652 }
653
654 }
655
656 }
657
658 }
659
660 }
661
662 }
663
664 }
665
666 }
667
668 }
669
670 }
671
672 }
673
674 }
675
676 }
677
678 }
679
680 }
681
682 }
683
684 }
685
686 }
687
688 }
689
690 }
691
692 }
693
694 }
695
696 }
697
698 }
699
700 }
701
702 }
703
704 }
705
706 }
707
708 }
709
710 }
711
712 }
713
714 }
715
716 }
717
718 }
719
720 }
721
722 }
723
724 }
725
726 }
727
728 }
729
730 }
731
732 }
733
734 }
735
736 }
737
738 }
739
740 }
741
742 }
743
744 }
745
746 }
747
748 }
749
750 }
751
752 }
753
754 }
755
756 }
757
758 }
759
760 }
761
762 }
763
764 }
765
766 }
767
768 }
769
770 }
771
772 }
773
774 }
775
776 }
777
778 }
779
780 }
781
782 }
783
784 }
785
786 }
787
788 }
789
790 }
791
792 }
793
794 }
795
796 }
797
798 }
799
800 }
801
802 }
803
804 }
805
806 }
807
808 }
809
810 }
811
812 }
813
814 }
815
816 }
817
818 }
819
820 }
821
822 }
823
824 }
825
826 }
827
828 }
829
830 }
831
832 }
833
834 }
835
836 }
837
838 }
839
840 }
841
842 }
843
844 }
845
846 }
847
848 }
849
850 }
851
852 }
853
854 }
855
856 }
857
858 }
859
860 }
861
862 }
863
864 }
865
866 }
867
868 }
869
870 }
871
872 }
873
874 }
875
876 }
877
878 }
879
880 }
881
882 }
883
884 }
885
886 }
887
888 }
889
890 }
891
892 }
893
894 }
895
896 }
897
898 }
899
900 }
901
902 }
903
904 }
905
906 }
907
908 }
909
910 }
911
912 }
913
914 }
915
916 }
917
918 }
919
920 }
921
922 }
923
924 }
925
926 }
927
928 }
929
930 }
931
932 }
933
934 }
935
936 }
937
938 }
939
940 }
941
942 }
943
944 }
945
946 }
947
948 }
949
950 }
951
952 }
953
954 }
955
956 }
957
958 }
959
960 }
961
962 }
963
964 }
965
966 }
967
968 }
969
970 }
971
972 }
973
974 }
975
976 }
977
978 }
979
980 }
981
982 }
983
984 }
985
986 }
987
988 }
989
990 }
991
992 }
993
994 }
995
996 }
997
998 }
999
1000 }

```

(a)



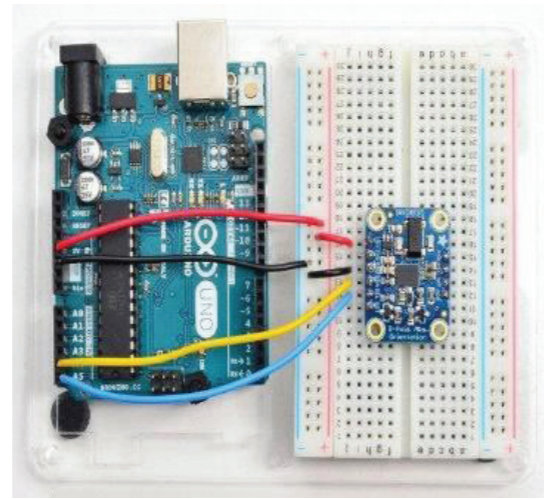
(b)

Şekil 2: Eclips yazılımı (a) ana giriş ekranı görüntüsü, (b) Yazılım ekran görüntüsü

3. Donanım Tasarımları

Dron tasarlanırken BNO055 yardımıyla MEMS verileri elde edilip gerekli manevra bilgileri belirlenmiştir.

BNO055'in tercih edilme nedeni ise manyetometre, jiroskop, ivmeölçer ve x, y, z eksenlerindeki verileri bu modül yardımıyla elde edilebilme imkanı sunmasıdır. Şekil 3(a)'da görüldüğü gibi Arduino ile BNO055 arasındaki donanımsal bağlantılar yapılmıştır. Şekil 3(b)'de ise Arduino seri port üzerinden değerler okunmuştur. X, y, z düzleminde veriler BNO055 yardımıyla elde edilmiştir. Veriler işlenip eclipste oluşturulan ara yüze aktarılıp, dron eksen bilgileri ara yüzde benzetim işlemi gerçekleştirilmiştir.



(a)

```

Orient: x= 6.81 | y= 34.13 | z= -173.56
Rot: x= 26.50 | y= -4.38 | z= 11.69
Linear: x= 1.11 | y= -0.93 | z= -1.29

```

temperature: 29

Calibration: Sys= Gyro=0 Accel=0 Mag=0

```

--
Orient: x= 73.25 | y= 40.13 | z= -142.63
Rot: x= -647.25 | y= -566.65 | z= -434.19
Linear: x= 0.54 | y= -4.95 | z= 5.72

```

temperature: 29

Calibration: Sys= Gyro=0 Accel=1 Mag=1

```

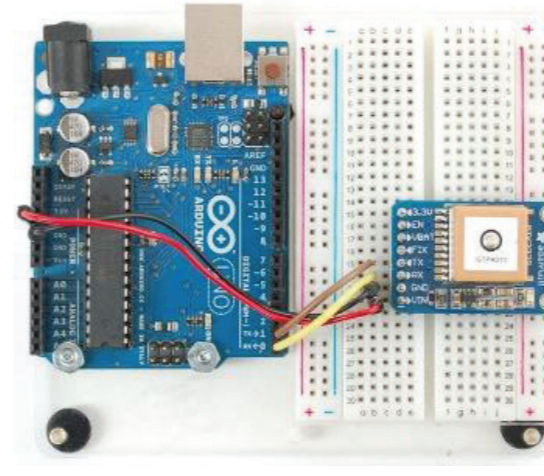
--
Orient: x= 151.69 | y= -15.25 | z= -102.25
Rot: x= -19.12 | y= -10.75 | z= -2.88
Linear: x= -0.19 | y= -2.60 | z= -0.96

```

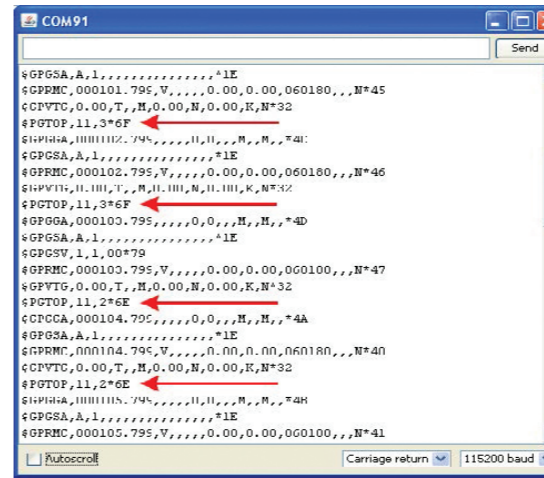
(b)

Şekil 3: (a) BNO055 Arduino donanımı, (b) BNO055 yazılım ekran görüntüsü

Dronun anlık konum bilgisini öğrenmek için GPS sensörü olan Adafruit Ultimate GPS Breakout kullanılmıştır. Bu sensör sayesinde dronun anlık koordinat bilgileri görülmektedir. Dron gözden uzak veya engel arkasına gittiği takdirde GPS sayesinde konum verisiyle yeri tespit edilebilmektedir. Şekil 4(a)'da GPS sensörü ile Arduino arasındaki donanımsal bağlantı görülmektedir. Şekil 4(b)'de ise seri port ekranından gelen veriler okunmuştur.



(a)



(b)

Şekil 4: GPS arduino bağlantısı (a), arduino seri port konum verisi (b)

Drondan gelen görüntü flir lepton termal kamera ile sağlanmıştır. Termal kamera ile elde edilen görüntü Raspberry Pİ ile işlenmiş olup 2.4 GHz bandında telemetri sistemi kullanılarak yer terminaline iletilmiştir. Şekil 5'te yapılan test çalışmaları sonucunda elde edilen bir termal kamera görüntü örneği bulunmaktadır.

4. Test Aşamaları

Ekrana aktarılacak olan veriler ayrı ayrı ele alındıktan sonra birleştirme kısmı geriye kalmıştır. Drona entegre edilmeden önce test ortamında veri aktarımı testleri yapılmıştır. Veri kayıpları olmadığı ve donanım hatası olmadığı gözlenmiş olup dronun taşıyabileceği ağırlık hesaplamaları yapılmıştır

5. Sonuçlar

Çalışmamızda veriler ayrı ayrı gönderilip başarılı bir şekilde ara yüzde görüntülenmiştir. Veriler gönderilirken amaçlandığı gibi 2.4 GHz bandında gönderilmiştir. Veri işleme, veri gönderme ve okuma gibi işlemler gerçekleştirilmiş olup yer terminali ile dron arasında telemetri sistemi kullanılarak haberleşme sağlanmıştır. Dron üzerinden gelecek verilerin mikrodenetleyici tarafından birleştirme ve yer terminalinde de ayrıştırma işlemi yapılacaktır. Test çalışmaları yapılmış olup saha çalışmalarına geçilecektir.

6. Kaynakça

- [1] M. Vieira, M. A. Vieira & P. Louro, "MUX/DEMUX SiC Receiver for Visible Light Communications," Microsystem Technologies (2020). [https://doi.org/10.1007/s00542-020-04773-1\(0123456789\)-volIV\(0123456789\)](https://doi.org/10.1007/s00542-020-04773-1(0123456789)-volIV(0123456789))
- [2] Descalzi, Megan, "Detection of Larval Aggregations Using a Drone Mounted Thermal Imaging Camera" (2019). Master's Theses. 108, University of New Haven <https://digitalcommons.newhaven.edu/mastertheses/s/108>
- [3] Ariwoola, Raheem Taiwo, "Use of Drone and Infrared Camera for a Campus Building Envelope Study" (2016). Electronic Theses and Dissertations. Paper 3018, East Tennessee State University <https://dc.etsu.edu/etd/3018>
- [4] Bello, Abdulkabir. "Radio Frequency Toolbox for Drone Detection and Classification" (2019). Master of Science (MS), thesis, Electrical/Computer Engineering, Old Dominion University, DOI: 10.25777/9gkm-jd54 https://digitalcommons.odu.edu/ece_etds/160

Dron Araçlarının Duvar Boyama İşlerinde Kullanılabilmesi İçin Donanım Ve Yazılım Geliştirilmesi

İrem KURŞUN¹ Melih Bayram BOZ¹ Sami HAMAN¹ Aycihan ÇAKMAK¹ Caner ÖZDEMİR¹

¹Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Mersin Üniversitesi, Çiftlikköy 33343, Mersin

iremkursun98@gmail.com, melihbooz@gmail.com, samiihaman@gmail.com, aycihancakmak@gmail.com, cozdemir@mersin.edu.tr

Anahtar Sözcükler: Dron Uygulamaları, Gömülü Yazılım, Arduino ile kontrol

ÖZET

Bu bildiri de tüm sektörler genelinde dron teknolojisinin ticari uygulamalarını inceleyerek bu etkiyi ölçmeyi amaçlıyor. Özellikle halka açık, büyük alanlarda, gökdelenlerin endüstriyel boya işlerinde veya gemilerde rahatlıkla kullanılabilir. Günümüzde bir duvar boyama söz konusu olduğunda, boyayı yapan kişilerin erişimini artırmak için bir merdiven veya iskele kullanması gerekiyor. Uzun bir duvarda istenilen yere ulaşmak için bir iskeleyi ve diğer tüm ekipmanları düzenli olarak hareket ettirmek çok zaman almaktadır. Ayrıca, her zaman yüksek bir mesafeden düşme tehlikesi olduğu için oldukça güvensizdir. Bu vizyonu gerçekleştirmek için, bir duvara ve / veya belirlenmiş bir yapı üzerine boya püskürtmek için bir dron üzerine entegre edilen donanım ve yazılımlar ile dron yardımıyla boya yapılabilmesi gerçekleştirilmiştir.

Abstract

This study aims to measure this effect by examining the commercial applications of “drone” technology across all sectors. Therefore, studies on the importance of the term “drone”-assisted solutions” were directed. It can be easily used especially in public, large areas, industrial paint works of skyscrapers or ships. Currently, when it comes to painting a wall, it is necessary to use a staircase or scaffolding to increase the reach of the people who make the paint. It takes a lot of time to move a scaffolding and all other equipment regularly to reach the desired place on a long wall. In addition, it is quite unsafe, as there is always a danger of falling from a high distance. To realize this vision, drone-assisted painting has been realized with hardware and software integrated on a drone to spray paint on a wall and/or a designated structure.

1. GİRİŞ

Birçok yapının yüzeyleri, tesislerin devam eden ve rutin bakımının bir parçası olarak periyodik olarak yeniden boyanmalıdır. Bu yüzeyler boyut olarak oldukça büyük olabilir, düzensiz konfigürasyonda olabilir (örneğin, her zaman düz ve / veya düzlemsel olmayabilir) ve önemli yüksekliklerine bağlı olarak, iskele veya bir ressamın beşiği gerektirmesi gibi erişim zor olabilir. Sonuç olarak boyama, yalnızca iş için kullanılan boyayla ilişkili maliyetler nedeniyle değil, aynı zamanda bu yüzeylere erişmek için kullanılan ekipmanın işçilik maliyet-

leri nedeniyle de nispeten pahalı olabilir. Bu sebeple fiziksel güç, zaman, maliyet gibi kavramlardan tasarruf edilecek bir dron tasarımı yapılmıştır. Bu kapsamda seçtiğimiz dronun kullanılacak boyayı taşıyabilme yetisi önemliydi [1]. Bu tez çalışmasından faydalanılarak kullandığımız dronun maksimum taşıyabileceği ağırlık hesaplandı.

Daha önce yapılan dron ile boyama çalışmalarında, boya tüpünün drona entegre edilmesi, yeterli denge sağlanamadığı için drona zarar verilerek sonuçlanmıştır. Çalışmamız yeterli ve gerekli olan tüm denge oranları hesaplanarak yürütülmüştür. Yapılan denge ve ağırlık hesaplamalarından sonra boya ve dron birbirlerine entegre edilmiştir. Son olarak boya işlemini gerçekleştirmemize aracı olan servo motor yazılımı yapılmıştır.

2. YÖNTEM VE METOD

Dron ve bir tüp boya ile insan yaşamını kolaylaştırmayı öngördüğümüz bu çalışmamızda yöntemimiz şu şekilde; ilk olarak boyayı, boya tabancasını, sonar sensörü, RC servo motoru (endüstriyel olmayan) taşıyabilecek bir dron seçimi yapılmıştır. Yöntemlerimizden biri olan yazılım konusu ise servo motoru ve sonar sensörü drona entegre edilmiştir.

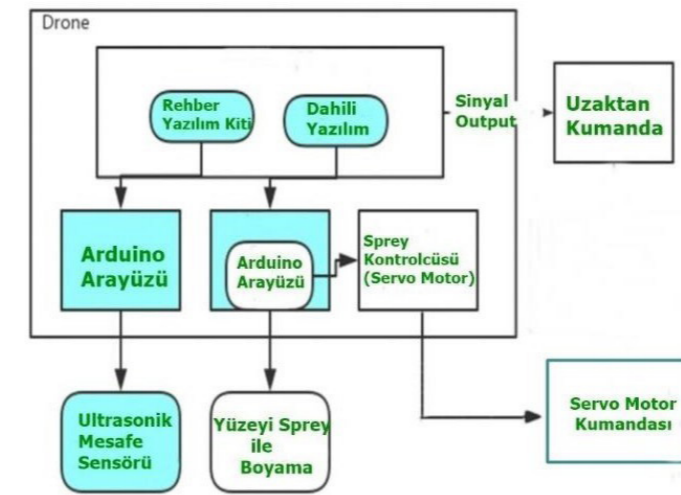
Arduino programları ile yazılımını yaptıktan sonraki işlem, servo motoru drona bağlanmıştır [2, 3].

Bu çalışmada minyatür bir sprej boya kutusunu barındırmak ve uzaktan kumandanadan kullanıcı komutuyla onu etkinleştirmek için bir mekanizma düşünülmüştür. Ek olarak, rakım dengesini iyileştirmek için bir sonar sensörü uygulanmıştır. Hassasiyet, boyama yüzeyine yakınlık gerektirdiğinden, pervaneleri temas kuvvetinden korumak için pervane korumaları tasarlanmıştır. Güvenli inişi sağlamak ve sprej boya kutusunun dengesini ayarlamak için bir iniş stabilizasyon sistemi inşa edilmiştir. Aynı zamanda dron ile duvar arasındaki mesafeyi, sonar sensörü ve buzzer kullanarak güvenilirliği sağlanmıştır [4, 5]. Güçlendirilmiş dron, ancak bunlarla sınırlı olmamak üzere yukarıda listelenen tüm hedefleri karşılmasını planlanmıştır.

3. TASARIM ADIMLARI

Rehber yazılım kiti ve dahili yazılım olmak üzere iki yazılım tabanı kullanılmıştır. Dahili yazılım ile servo motor kontrolünü sağladık. Rehber yazılım kiti dron kontrolü ve ultrasonik mesafe sensörü için kullanılmıştır. Dron kumandası uzaktan

komut edilmesini sağlamaktadır. Servo motor uzaktan kuman-



dası ise servo motorun kontrolünü gerçekleştirip, boya işlemini eyleme geçirmek için kullanılmaktadır. (Şekil-1’de blok diyagramı şeklinde gösterilmiştir.)

Şekil 1: Çalışmada geliştirilen sistemin blok diyagramı

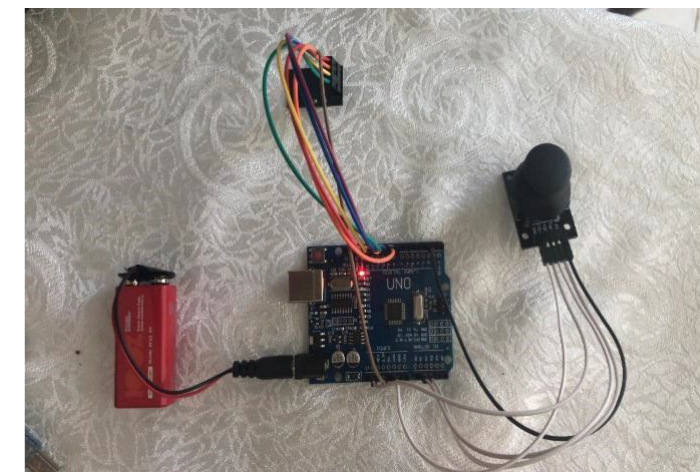
Çalışmamızda kullanılan dron yaklaşık 450-500 gram ağırlığın-



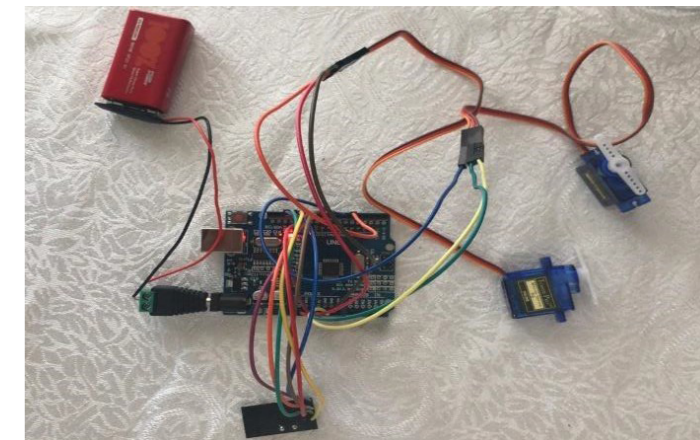
da bir faydalı yükü taşıması hedeflenmiştir. Bu nedenle resmi Şekil 2’de verilen, DJI Phantom 3 Standart serisi olan dron temin edilmiştir.

Şekil 2: Temin edilen DJI Phantom 3 Model Dron

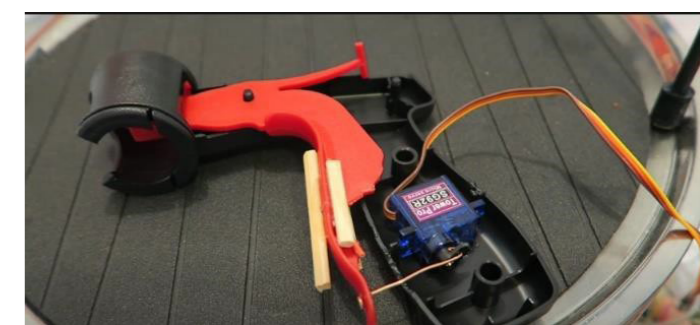
Otomatik bekleme özelliğine sahip olan bu dron, boya işlemi esnasında avantaj sağlamaktadır. Aynı zamanda iniş ayaklarına sahip olan bu dron, boya ve boya tabancasını daha rahat monte etmemize olanak sağlamıştır. Boya tabancasını kontrol etmek için Şekil 3’de gösterildiği üzere servo motor (SG90) kullanılmıştır. Bu servo motor Arduino kontrolörüne entegre edildikten sonra Şekil 4’de gösterildiği üzere alıcı verici yoluyla sprej tabancanın tetiğini çekmeyi sağlamıştır [6]. Böylece boyaya baskı



işlemi gerçekleştirilerek püskürtme tamamlanmıştır. Arduino kontrolörü, boya tabancası ve boya dron üzerinde ağırlık dengesini sarsmayacak kısımlara monte edilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3: Çalışmada kullanılan servo motor tasarımı: (a) verici devresi (b) alıcı devresi

Şekil 4: Servo motorun boya tabancasına montesi görünümü

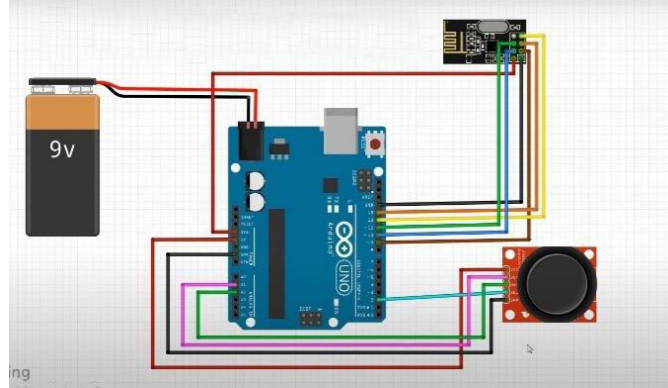
4. YAZILIM FAALİYETLERİ

Drona monte ettiğimiz servo motor ile Arduino arasında kablosuz haberleşmeyi işlemi şu şekilde sağlanmıştır. Şekil-5’te gösterildiği üzere Arduino ile analog olarak okunan veriyi diğer Arduino donanımına kablosuz olarak iletilmiş ve bu veri servo motorun kontrolü için kullanılmıştır.

Bu yazılımda yaygın olan 0° ile 180° arası dönüş kabiliyetine sahip olan servo motorları kullanmıştır. Arduino IDE kurulumu yapıldığında zaten kendi içinde yer alan kütüphaneler arasında servo kütüphanesi de hazırda gelmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada servo kütüphanesini çağırarak servo motoru kontrol edilmiştir.

4.1. Verici devresinin özellikleri;

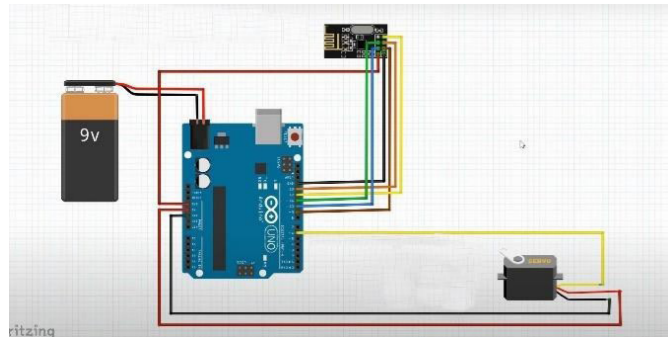
Arduino donanımında kullanılan geliştirme modülü ile kablosuz haberleşme sağlamak için seçilen NRF24L01 modülü, ekonomik olmasının yanı sıra, küçük boyutları ve uzun haberleşme menzili ile açık alanda 800 metreye kadar haberleşme sağlayabilme özelliği ile çalışmamızda tercih nedeni olmuştur.



Şekil 5: Çalışmamızda kullandığımız verici devre şeması

4.2. Alıcı devresinin özellikleri;

NRF24L01 kablosuz iletişim modülü radyo frekansları ile çalışan veri transferi yapan bir modüldür. Modül 3.3 V ile çalışmaktadır. Şekil 6'da gösterildiği üzere, Arduino donanımına bağlanırken genellikle verici devresiyle aynı standartlarda bir bağlantı şekline sahiptir.



Şekil 6: Tasarlanan alıcı devre şeması

5. SONUÇ

Bu bildiride, günümüz çağında önemli yeri olan servo motorların yardımıyla prototip boya yapan dron tasarımı oluşturulmuştur. Bu çalışma ile dronun boya yapabilmesi için gerekli bir prototip geliştirilmiştir. Bu prototipte gerekli olan elektronik donanım ve yazılım faaliyetleri araştırmacıların dikkatine sunulmuştur. Bildirimizde iş sağlığı ve güvenliğini en üst mertebeye taşıyıp, ağır işlerde çalışan insanların hayati riski en aza indirilmesi amaçlanmıştır. Ev hayatında kullanımında ise zaman kaybı ve iş gücü azaltılmasında kullanılabilir.

KAYNAKÇA

- [1] Alper Tunga CEYLAN, "Yüksek İrtifa Uzun Menzil İHA Tasarımı ve Uçuş Testleri," Erciyes Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivil Havacılık Ana Bilim Dalı, s. 10– 12, 2019.
- [2] Muhammet ÖZER, "Stewart Platformu ile Üst Plaka Dengeleyici ve Açısız Teker Kontrollü Hibrit Araç Prototip Uygulaması," İstanbul Gelişim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, s. 59-62, 2019
- [3] https://tr.wikipedia.org/wiki/Servo_motor,
- [4] Kerem İZGÖL, <https://maker.robotistan.com/arduino-dersleri-19-hc-sr04-ultrasonik-mesafe-sensoru-kullanimi/>, 2015
- [5] Vüsal İBRAHİMLİ, Arduino İle Elektrik Motorlarının İnternet Tabanlı Kontrolü T.C. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü , s.12-17, ,2017
- [6] Yasin TAŞÇIOĞLU, <https://maker.robotistan.com/nrf24l01-kullanimi/> , 2020

İtfaiyeci İnsansız Hava Aracı

Mehmet Ali Kandilcik, Sezgin Karapınar, Muhammet Enes Adanur, Gürhan Bulu

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü Hacettepe Üniversitesi

mehmetalikandilcik@gmail.com, karapinarsezgin@hotmail.com, muhammetenesadanur@gmail.com, bulu@ee.hacettepe.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, yangınları erkenden tespit edebilmek ve yangına erkenden müdahale edebilmek için İtfaiyeci İnsansız Hava Aracı (İHA) tasarlanmıştır. Otonom uçabilecek şekilde tasarlanan bu İHA'nın, açık alanlarda başlayan yangınlara karşı hızlı tepki verebilmektedir. Bu sayede, yangının geniş alanlara yayılmasının önlenir. Bu amaçla, ilk olarak İHA'nın yangını tespit edebilmesi için, bir sensör ağı oluşturulmuş ve bu ağ, yangından korunması istenilen bölgeye yerleştirilmiştir. Bu bölge içerisinde herhangi bir alev veya duman tespit edilmesi durumunda sensörlerin gönderdiği sinyal ile İHA tetiklenir. İHA, sinyali gönderen sensörün bulunduğu bölgeye otonom şekilde ulaşır. İHA'nın üzerinde bulunan kamera ile görüntü işleme yapılır. Bu şekilde, yangının konumu tespit edilir. Daha sonra, İHA'nın faydalı yük olarak taşıdığı yangın söndürme topu kullanılarak yangına müdahale edilir.

Anahtar kelimeler: insansız hava aracı, otonom uçuş, yangın, yangın tespit sensörü

Abstract

The aim of the Firefighter Drone design is to design a firefighter drone that can detect fires and respond to them early. The designed drone which can fly autonomously reacts quickly to fires that start in open areas. In this way, damages that may occur as a result of the fire spreading over large areas are prevented. For this purpose, firstly, a sensor network has been created in order for the system to detect fire. This sensor network is placed in the zone where it is desired to be protected from fire. In the case that any flame is detected within this zone, the system is triggered by the signal sent by the sensors. The drone autonomously reaches the location where the sensor sending the signal is located. Image processing is done with the camera on the Firefighter Drone. In this way, the location of the fire is detected. After that, a fireball which carried as a payload by the drone is used to intervene in the fire.

Keywords: drone, autonomous flying, fire, fire detection sensor

1. Giriş

Günümüzde, insansız hava araçları çok çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Bu amaçlardan bazıları, gözetleme, kargo teslimi, askeri görevler, zirai ilaçlama, sinema ve reklam sektöründe görüntüleme uygulamalarıdır. Bu kullanımlara örnek olarak, Amazon'un geliştirdiği Amazon Prime Air Project sistemi gösterilebilir [1].

İnsansız hava araçlarının kullanımının bu kadar yaygınlaşmasının sebebi, İHA'ların birçok uygulama için ekonomik ve

etkili çözümler sunabilmesidir. Bu faydalar göz önünde bulundurulduğunda, gelecekte İHA'ların kullanımının daha da artacağı öngörülebilir.

İHA'ların kullanım alanlarından biri de yangınların tespit edilmesi ve yangınlara müdahale edilmesidir. Bu tür İHA'lar genellikle pilot kontrollü veya gözetleme amacıyla kullanılmaktadır. Örneğin, itfaiyeciler yüksek katlardaki yangınlara müdahale etmek için pilot kontrollü İHA'lar kullanılmaktadır [2]. Bunun yanında orman alanlarında ulaşımın zor olduğu bölgelerde gözetleme amacıyla da kullanılan İHA'lar bulunmaktadır [3]. Bu proje kapsamında geliştirilen İHA'nın, benzer İHA'lardan farkı, yangın tespiti için sensörlerin kullanılması ve yangınlara otonom uçarak müdahale etmesidir.

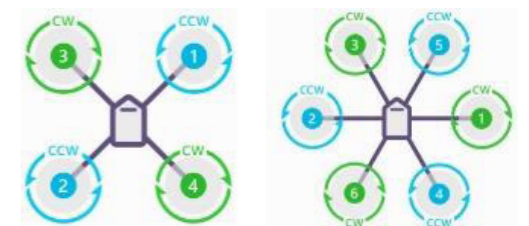
İHA'lar, genel olarak döner kanatlı ve sabit kanatlı olmak üzere ikiye ayrılır. Bu iki farklı sistemin birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları vardır. Döner kanatlı İHA'lar sabit kanatlı İHA'lara göre eksenler arasında daha keskin hareket edebilmektedir. Bununla beraber, döner kanatlı İHA'lar kısıtlı arazi bölgelerinde otonom uçuşu, sabit kanatlı İHA'lara göre daha işlevsel biçimde yapabilmektedirler. Bu ve benzeri durumlar değerlendirildiğinde yangın söndürme görevi için döner kanatlı İHA tasarımı tercih edilmiştir.

2. İtfaiyeci İnsansız Hava Aracı Tasarımı

Bu ana başlık dört alt başlıktan oluşmaktadır. Bunlar insansız hava aracı genel tasarımı, otonom uçuş algoritması, sensör ağı ve haberleşmesi ve görüntü işleme algoritmasıdır.

2.1. İnsansız Hava Aracı (İHA) Genel Tasarımı

Döner kanatlı İHA'lar pervane sayılarına göre isimlendirilirler. Örnek olarak dört motorlu İHA'lar dört pervaneli (Quadcopter), altı motorlu İHA'lar altı pervaneli (Hexacopter) biçiminde isimlendirilir. Bu iki farklı motor sayısına sahip İHA'lardan, altı motorlu İHA'lar daha yüksek itki değeri sağlamakla birlikte diğerine göre ağır ve hantal bir yapıya sahiptir. Dört motorlu ise küçük yapısından ötürü kısıtlı ortamlarda daha fazla manevra kabiliyetine sahip olmakla birlikte yük taşıma kapasitesi daha düşüktür. Gerek maliyet gerekse manevra avantajlarından ötürü bu çalışmada dört pervaneli tasarım tercih edilmiştir.



Şekil 1: Dört pervaneli ve altı pervaneli İHA tasarımları [4].

Görevleri itibariyle, İHA tasarımında dikkat edilmesi gereken önemli hususlar: Faydalı yük taşıma kapasitesi ve uçuş süresidir. İHA'larda faydalı yük taşıma kapasitesini belirleyen temel elektronik bileşen fırçasız DC (BLDC-Brushless DC) motor tipidir. Bunun yanında uçuş süresini belirleyen temel bileşen ise Lityum Polimer (Li-Po) bataryadır. Tasarım itibariyle fırçasız DC motor tercihinin hızlanma, itki değeri ve çalıştığı voltaj aralığı göz önünde bulundurularak piyasadaki modeller arasından tasarıma en uygun olan seçilmelidir. Batarya seçilirken de hedeflenen uçuş süresine uyacak Ni-MH ve Ni-CD bataryalardan daha iyi kapasite-ağırlık oranına sahip 4 hücreli bir Lityum Polimer (Li-Po) batarya tercih edilmiştir [5]. Ağırlıktaki bu azalma yangın söndürme görevini gerçekleştirmek için taşınması gerekli diğer faydalı yüklere yer açarak avantaj sağlamaktadır. Li-Po bataryaların hücrelerden oluştuğu ve her bir hücrenin 3.7-4.2V voltaj aralığına sahip olduğu varsayıldığında dört hücreli bir Li-Po batarya 14.8V gerilim değerine sahiptir.

Yangın söndürme görevini gerçekleştirmek için İHA'nın kendi ağırlığının yanında faydalı yük de taşınması gerekmektedir. Toplam ağırlığın taşınmasının hesaplaması yapılırken için BLDC motor özellikleri ve pervane boyutu kilit role sahiptir. BLDC motorlar tarafından üretilebilecek maksimum itki kuvvetinin hesaplanabilmesi için BLDC motorun veri kâğıdı incelenmesi gerekir. İnceleme aşamasında dikkat edilmesi gereken temel hususlar uygun pervane ve kullanılacak bataryanın hücre sayısıdır. Bahsedilen değişkenlerin değerleri belirlenir ve BLDC motorun veri kâğıdında bu değerlere denk gelen en yüksek itki değeri seçilir. Bu değer BLDC motorun maksimum itki kuvvetidir. Toplam itki değeri, bir motorun itki değerinin dört ile çarpılmasıyla hesaplanır. Uçuş anında İHA tarafından üretilecek toplam itki kuvveti farklı bir değerdir. Toplam itki kuvvetin %75'inin alınması ile uçuş anındaki toplam itki kuvvetine ulaşılır [6].

BLDC motorlarına denetimli güç aktarımı Elektronik Hız Denetleyicisi (ESC) ile sağlanmaktadır. ESC seçimi sırasında bataryadaki hücre sayısı değeri ile BLDC motorunun tüketebileceği maksimum akım değerine dikkat edilmelidir. BLDC motorunun anlık tüketebileceği akım değerine, BLDC motorun veri kâğıdı incelenerek ulaşabilir.

Yangın söndürme görevi sırasında İHA, yangın bölgesinin enlem ve boylam bilgisini haberleşme modülüyle ulaştırır. İHA, aldığı enlem ve boylam bilgisini GNSS (Küresel uydu seyir sistemi - Global Navigation Satellite Systems) aygıtı ile hesaplayarak yangın bölgesinin konumunu belirler. GNSS cihazının seçiminde önemli hususlar, cihazın hassasiyet seviyesi, konum belirleme tutarlılığı ve bulunduğu konum verisinin yenileme sıklığı olarak sıralanabilir. Uçuş denetleme kartı, uçuş süresince sahip olduğu barometre, akselerometre, jiroskop ve manyetometre sensörlerini kullanarak uçuş için gerekli olan verileri hesaplar [5]. Uçuş denetim kartı, kendisi ile bağlantısı bulunan ESC ve GNSS verilerini kullanarak otonom uçuşun denetimini sağlar. Uçuş denetim kartının verileri hızlı işleme, hesaplaması ve güncel ile çalışabilmesi mikroişlemcisine bağlıdır. Uçuş denetim kartının seçiminde sahip olduğu mikroişlemciye dikkat edilmelidir. Uçuş denetim kartının yer istasyonu ile bağlantısı kurularak, İHA'nın uçuş verileri (irtifa, hız, uydu sayısı vb.) gözlemlenebilir.

2.2. Otonom Uçuş Algoritması

Otonom uçuş için öncelikle bir uçuş denetim kartı gerekir. Bu uçuş denetim kartının, otomatik dengeleme özelliğinin olması, hassas bir GNSS modülü, telemetri modülü, jiroskop ve barometre içermesi gerekir. Bununla birlikte, kullanılan uçuş denetim kartı, projede kullanılacak tek kartlı bilgisayar (single board computer) ile uyumlu olmalıdır. İHA, otonom uçuşu ve görüntü işleme için bir tek kartlı bilgisayar ile sağlar. Görüntü almak için, kullanılan tek kartlı bilgisayar ile uyumlu bir kamera tercih edilmelidir. Alevin kamera ile tespitinin gerçekleştirilmesi için, kullanılan kameranın çözünürlük değerleri, görüntü işleme için kullanılacak olan algoritmanın doğru şekilde çalışabilmesi için yeterli olmalıdır.

Kullanılacak programlama dilinin hem otonom uçuş hem de görüntü işleme için kullanılacak kütüphaneleri desteklemesi gerekir. Bununla birlikte, kullanılacak olan tek kartlı bilgisayar üzerinde çalışabilmelidir. Sonuç olarak, uçuş denetim kartı, tek kartlı bilgisayar ve yazılım dilinin birbirine uyumlu olması büyük önem arz etmektedir.

Sistemin otonom uçuş algoritmasını gösteren akış diyagramı Şekil 2'de gösterilmiştir. Bu diyagramda gösterilen algoritmada, İHA'nın uçuş yarıçapına uygun yarıçapta dairesel bir bölgeye sensörler yerleştirilir ve her sensöre ait enlem ve boylam bilgisi kaynak koda kaydedilir. Bu yapıda, sensörlerden gelen veriler sürekli olarak kontrol edilir. Herhangi bir sensörden alev tespit edildiğine dair sinyal geldiğinde, öncelikle sistem, sinyalin hangi sensörden geldiğini tespit eder ve bu sensöre ait konuma gitmek üzere otonom uçuş kodu başlatılır. İHA, sensöre ait konuma doğru hareket ederken, İHA'nın bu konuma olan uzaklığı sürekli olarak hesaplanmaktadır. Çalışmada, bu hesaplama için

$$D = 2R \arcsin(\sqrt{H}) \quad (1)$$

Haversine formülü kullanılmıştır [7]. R, Dünya'nın ortalama yarıçapını belirtmektedir. Burada,

$$H = \text{hav}(\varphi_1 - \varphi_2) + \cos(\varphi_1)\cos(\varphi_2)\text{hav}(\lambda_1 - \lambda_2) \quad (2)$$

biçiminde hesaplanır. Burada φ_1 ve φ_2 iki noktanın enlemi, λ_1

ve λ_2 ise iki noktanın boylamını belirtir ve

$$\text{hav}(\theta) = \frac{\sin^2\left(\frac{\theta}{2}\right)}{2} \quad (3)$$

biçiminde tanımlanır. Hesaplanan değer GNSS modülünün maksimum sapma miktarından düşük olduğunda, kamera aktif edilir ve görüntü işleme fonksiyonu çalıştırılır.

2.3. Sensör Ağı ve Haberleşmesi

Yangın tespitinde farklı ortamlarda farklı sensör türleri tercih edilmektedir. Örneğin, kapalı ortamlarda yangın tespit etmek amacıyla çeşitli duman detektörleri sıklıkla kullanılırken, açık ortamlarda duman detektörleri yerine optik sensörler yaygın olarak kullanılmaktadır. Duman detektörleri yangın sonrası yayılan gazı tespit eder. Optik sensörler ise alevden yayılan bazı ışınları algılar. Açık alanlarda yangın tespit eden sistemlerde duman detektörlerinin kullanılmamasının temel sebebi gaz yayılımının tespitinin zor olmasıdır. Duman detektörleri

yerine optik sensörler kullanılarak uzaktaki bir alev çok geniş alana yayılmadan hızlı bir şekilde tespit edilebilir. Bu çalışmada açık alandaki bir yangın tespit edilmesi hedeflendiği için optik sensörlerden oluşan bir yapı tasarlanmıştır. Optik sensörlerden oluşan yangın algılama sistemleri genel olarak kızılötesi sensör (IR), ultraviyole sensör (UV) veya ikisinin uygun şekilde tasarlanarak birlikte kullanılmasıyla oluşan sensör sistemleridir.

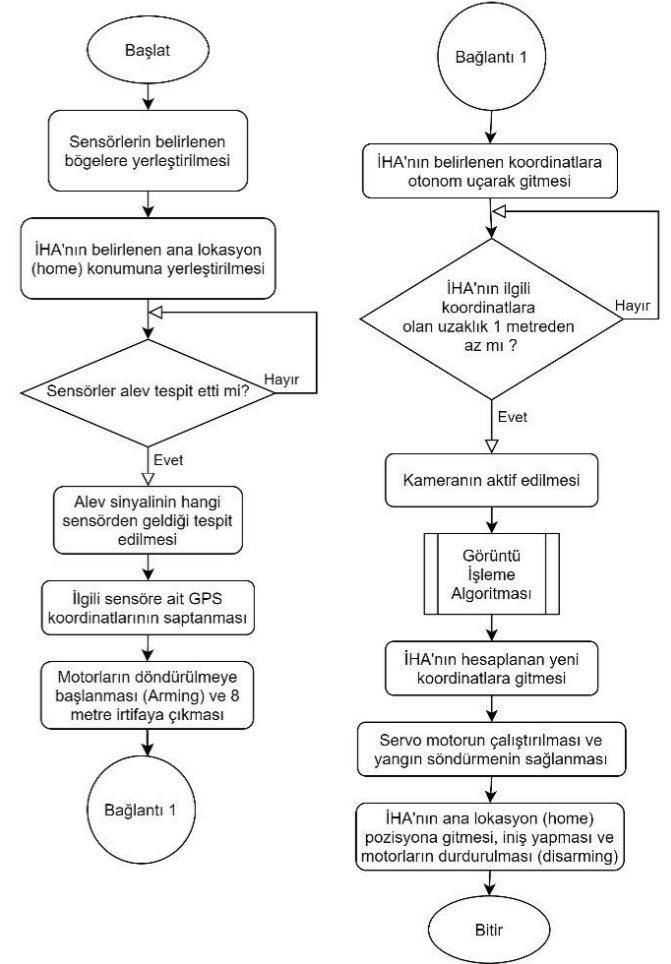
IR sensörler, yanma sonucunda çıkan sıcak CO₂'yi, uygun filtrelerden geçirecek algılar. Yangın algılamak için kullanılan bir diğer optik sensör türü ise UV sensörlerdir. Bu sensörler yangının tutuşma anında yayılan UV ışınımını algılar. Yangının tutuşma anında ek olarak radyasyon yayıldığından genellikle 3-4 ms içerisinde, atmosferdeki radyasyon seviyelerini ölçerek, patlamaları ve yangınları algılayabilirler. Yanlış alarmlar hem IR hem de UV sensörler için söz konusudur. Örneğin, aydınlatma, ark kaynağı veya güneş ışığı gibi kaynaklar sensörleri tetikleyebilir. İki sensör türünün de tespit edebileceği yanlış yangın alarmlarından kaçınabilmek amacıyla farklı türdeki optik sensörler birlikte kullanılabilir. Örneğin IR/IR veya IR/UV gibi sistemler oluşturulabilir [8].

İtfaiyeci İHA'da, iki farklı optik sensör yapısı kullanılmıştır. Bunlar IR/IR veya IR/UV sensör yapılarıdır. Tasarım gerçekleştirilirken sistemin alevi tespit edebileceği maksimum uzaklığı, güç verimliliği, yanlış yangın alarm oranı ve maliyeti göz önünde bulundurulmuştur. Korunacak alanın genişliği düşünülerek uygun menzilli sensörler, doğru şekilde konumlandırılmalıdır. Sensörler algıladıkları ışınım miktarlarına çeşitli elektrikli sinyaller oluşturur. Bu sinyalleri anlamlandırabilmek için mikrodenetleyici kullanılır. Ayrıca, oluşturulan sensör sistemlerinin, İHA ve birbirleri ile haberleşebilmesi için sensör ağı oluşturmak gerekir. Kablosuz olarak oluşturulacak bu ağda Wi-Fi veya GSM haberleşme modülleri kullanılabilir. Projede Wi-Fi haberleşme modülü kullanılarak sensör ağı oluşturulmuştur. Sensörlerden, mikrodenetleyiciden ve Wi-Fi modülünden oluşan bu yapı, sensör düğümü olarak adlandırılır ve bu yapının konum bilgisi İHA'nın uçuş yazılımında bulunur.

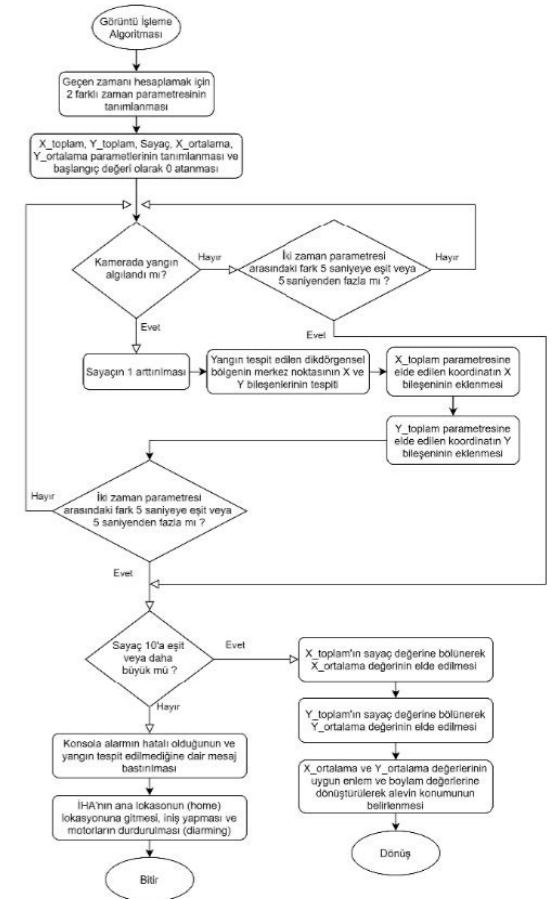
Herhangi bir sensör düğümünden elde edilen yangın bilgisinin, kablosuz ağ aracılığıyla İHA'ya gönderilebilmesi için internette verinin yazılıp okunabileceği bir ortama ihtiyaç vardır. Bu ortam bir sunucu üzerinden tasarlanabilir veya bir IoT (Nesnelerin İnterneti) platformunda oluşturulabilir. IoT platformunda, her sensör düğümü için ayrı paralel kanal oluşturulmuştur. Bunun temel sebebi bir sensörün veri girişinin diğer sensörlerin veri girişini engellemesinin önüne geçmektir. Her sensör düğümünün kendine ait bir ID'si (Kimlik) vardır. Yangın algılandığında her sensör düğümü kendi ID'sini içeren bir yangın bilgisi üretir ve bu bilgiyi IoT platformuna gönderir. Gönderilen bilgiler düzenli olarak İHA üzerindeki sistem tarafından okunur. Bu sistem bir mikrodenetleyici ve Wi-Fi modülünden oluşur. IoT platformundan alınan bilgi değerlendirilir ve hangi sensör sisteminden geldiği tespit edildikten sonra bu bilgi İHA'ya gönderilir.

2.4. Görüntü İşleme Algoritması

İtfaiyeci İHA, alev müdahale edebilmek için, yangının kesin konumuna ihtiyaç duymaktadır. Alev sensörleri, yangının yaklaşık konumunu tespit etmekte etkilidir ancak müdahale için gerekli konum hassasiyetini sağlayamaz. Bu çalışmada, yangının kesin konumunu tespit etmek amacıyla görüntü işleme kullanılır. Görüntü işlemenin amacı, İHA'nın üzerindeki kamera vasıtasıyla alevi fark edebilmesi ve alevin konumunu tespit edebilmesidir.



Şekil 2: Sistemin akış diyagramı.



Şekil 3: Görüntü işleme algoritmasının akış diyagramı.

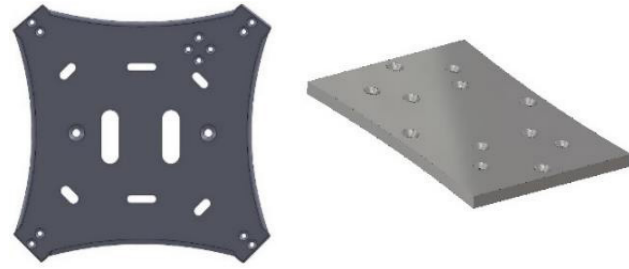
Görüntü işleme algoritmasına ait akış diyagramı Şekil 3'te gösterilmiştir. Bu algoritmaya göre, kamera açıldığında, belirlenen süre boyunca alev tespit edilen bölgelerin koordinatları kaydedilir. Süre sonunda bu koordinatların ortalaması alınarak, yangının konumunu en doğru şekilde gösteren iki boyutlu bir vektör oluşturulur. Oluşturulan bu iki boyutlu vektörün, metre cinsinden pozisyon vektörüne dönüştürülmesi gerekir. Bu dönüşüm için öncelikle, bir pikselin yatay doğrultudaki metre cinsinden karşılığı, kameranın görüş alanının yatay genişlik değerinin, görüntünün yatay eksen çözünürlük değerine bölünmesiyle elde edilir. Benzer şekilde, bir pikselin dikey doğrultudaki metre cinsinden karşılığı, kameranın görüş alanının dikey uzunluk değerinin, görüntünün dikey eksen çözünürlük değerine bölünmesiyle elde edilir. Bölüm sonucu elde edilen değerler metre cinsindedir. Bu değerler sırasıyla, görüntü işleme sonucu elde edilen vektörün yatay ve dikey bileşenleri ile çarpılır. Çarpım sonucu elde edilen değerler sırasıyla, yangının İHA'ya göre pozisyon vektörünün yatay ve dikey bileşenleridir. İHA, pozisyon vektörünü kullanarak yangının tam konumunu belirler ve bu konuma yönelir. Konuma ulaştığında üzerindeki yangın söndürme topunu yangının üzerine bırakarak, söndürme işlemini gerçekleştirir.

3. Tasarım ve Test

Bu ana başlık mekanik tasarım, elektronik malzeme seçimi, sensör ağı tasarımı ve simülasyon ve programlama alt başlıklarından oluşur.

3.1. Mekanik Tasarım

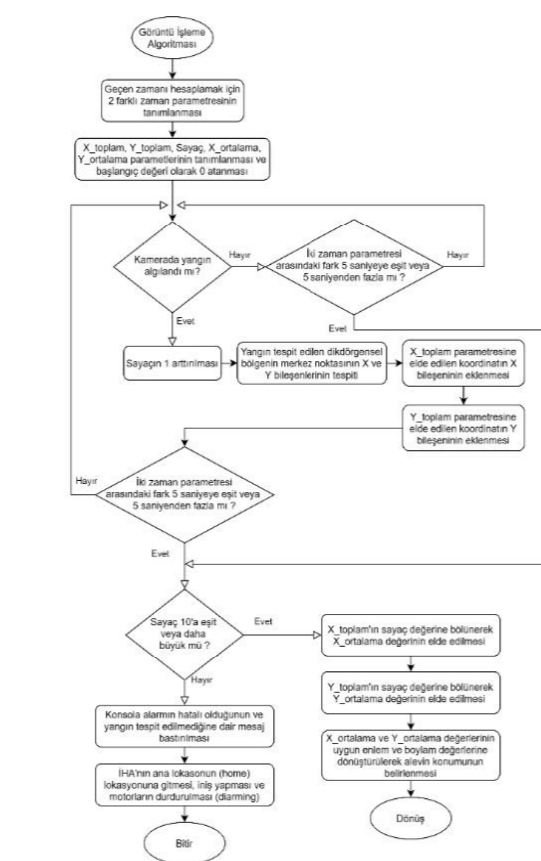
İHA, faydalı yükü ve elektronik bileşenleri bir arada tutmak için mekanik parçalardan oluşturulur. Bu mekanik parçalar kol bölgesi dışında diğer mekanik parçaları üç boyutlu yazıcı yardımı ile oluşturulacaktır. Üç boyutlu baskılar için, bilgisayar destekli üç boyutlu çizim programları kullanılır. Üç boyutlu parçaların, baskıda kullanılacak malzemenin baskı için kullanılmaya elverişli olması ve dayanıklı olması gerekir. PLA (Polilaktik asit) uygun bir baskı malzemesidir [9]. BLDC motorlar dışında kullanılacak diğer elektronik bileşenler İHA'nın gövde kısmına yerleştirilir. İHA'nın gövde kısmı ana ve üst gövde olmak üzere Şekil 4'te görüldüğü gibi ikiye ayrılır.



Şekil 4 : Soldan sağa ana gövde ve üst gövde



Şekil 5: Soldan sağa ayak ve faydalı yük muhafaza yapısı



Şekil 3: Görüntü işleme algoritmasının akış diyagramı.

Üst gövdeye sadece uçuş denetim kartı yerleştirileceği için bu kartın yerleştirilmesine uygun biçimde uzun kenarları yay kısa kenarları ise doğrusal biçimde tasarlanmıştır. Üst gövdenin uzun yay kenarı 11,00 cm, kısa kenarı 7,50 cm ve kalınlığı da 2 mm olarak belirlenmiştir. Üst gövdenin delikli tasarımı kablo yönetimini kolaylaştırır. Uçuş denetim kartı ve BLDC motorlar dışında diğer elektronik bileşenler ana gövdeye yerleştirilir. Ana gövdenin uzun ve kısa yay kenarı tasarımı ağırlıktan kazanç sağlar. Uzun ve kısa yay kenarların keskinliği giderilmiş ve böylece İHA'nın hava direnci azaltılmıştır. Ana gövde üzerinde bulunan yuvalar ve M5 boyutlu delikler kablo yönetimini kolaylaştırır. Ana gövde üzerinde eşkenar dörtgen biçiminde bulunan bölgeye GNSS cihazı yerleştirilmiştir. Ana gövdenin uzun yay kenarı 15,00 cm ve kısa yay kenarı 12,74 cm'dir. Boyutlandırma temel husus kullanılacak elektronik bileşenlerin ölçüleridir. Ana gövdenin alt kısmına batarya ve kamera yerleştirilecektir. Ana gövdenin her bir kenarında çift olarak bulunan vida delikleri kolların gövdeye monte edileceği kısımlardır. BLDC motorlar İHA'nın kol kısmına yerleştirilir. İHA'nın kol kısmı karbon fiberden yapılmıştır. Kolların karbon fiber olarak tercih edilmesinin nedeni dayanıklılığı ve direncidir [10]. İHA'da kullanılacak motorlara uygun motor yuvaları temin edilip motorlar yerleştirilmiştir. Karbon fiber kolun uzunluğu, BLDC motor pervanesinin ölçüleri göz önünde alınarak 14 cm olarak belirlenmiştir. Bu boyuta göre pervaneler arası mesafe 5,55 cm olur. Bu değer, pervanesinin bir kanadının uzunluğunun üçte birinden fazladır. Bu durum uçuş anında itki değerinde oluşabilecek düşüşleri önler [11].

Faydalı yük olan yangın söndürme topunu (Fireball), taşımak ve muhafaza etmek için bir yapı tasarlanmıştır ve İHA'nın kalkış ve iniş sırasında muhafaza yapısının zarar görmemesi için ayak tasarlanmıştır. Faydalı yük muhafaza yapısı ve ayak yapısı Şekil 5'te görülmektedir.

Muhafaza yapısı, Yangın söndürme topunun boyutu değerlendirilerek tasarlanmıştır ve bu yapı arası kesik bir silindirdir. Bu kesik yapı, Li-Po bataryanın yerleştirileceği bölgedir. Muhafaza yapısında karşılıklı yuvaların tasarım nedeni ağırlıktan kazanç sağlamaktır. Muhafaza yapısının yüksekliği 16.5cm ve ara kesik yapının yüksekliği 4cm olarak tasarlanmıştır. Yangın söndürme topu uçuş anında muhafaza yapısının içinde bulunacaktır. Ayakların boyu 18.5 cm'dir ve İHA'ya güvenli iniş ve kalkış sağlamak için yeterlidir. İniş anında ani düşüşlerde etki kuvvetini daha geniş bir alana dağıtmak amacıyla, ayakların en alt kısmına disk biçiminde yarıçapı daha büyük bir cisim tasarlanmıştır.

3.2. Elektronik Malzeme Seçimi

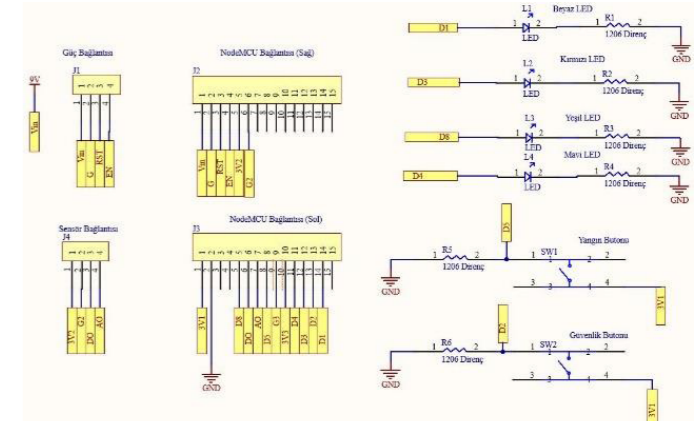
İtfaiyeci İHA'nın toplam 2300 gram ağırlığındadır. Bahsedilen hesaplama ele alındığında uçuş anında ki itki değerinin oluşan ağırlıktan fazla gelmesi gerekir. Gerekli itki değerini sağlamak için BLDC motoru olarak SunnySky KV580 v3508 modeli tercih edilmiştir ve kullanılacak pervanesinin boyutu 12*3,8inç olarak belirlenmiştir. Kullanılacak bataryanın hücre sayısı dörttür. Bu belirtilen girdilere göre BLDC motorun veri kâğıdındaki maksimum itki değeri 1360 değerine denk gelmektedir [12]. Hesaplama sonucu uçuş anında ki itki değerinin, ağırlıktan fazla olduğuna ulaşılar. Veri kâğıdı incelendiğinde BLDC motorun anlık olarak tüketilebileceği maksimum akım değeri 15.3 A'dır [12]. Dört hücreli batarya tercih edildiği için, ESC olarak Racerstar REV35 35A BLheli_S 3-6S 4 In 1 ESC kullanılmıştır. GNSS aygıtı olarak Ublox-Neo M8N GPS tercih edilmiştir. Veri kâğıdına göre belirlenen GNSS aygıtının konum belirleme hassasiyeti - 167dBm, konum belirleme tutarlılığı 2,5 metredir. GNSS aygıtının, bulunduğu konum verisinin yenileme sıklığı 5-10 Hz aralığındadır. [13].

3.3. Sensör Ağı Tasarımı

Sensör sisteminin en önemli özellikleri düşük güç tüketmesi, uzun menzile sahip olması ve tepki süresinin kısa olmasıdır. Tasarlanan sensör sistemi için Pyreos firmasının ürettiği ePR44212 ve ePR44252 IR sensörleri kullanılır. Bu sensörler yanma sonucunda ortama yayılan sıcak CO2'yi (4.35µm-4.64µm) algılayarak yangını tespit eder. Güneş ışığından kaynaklanan yanlış alarmları tespit etmek amacıyla kullanılan ePR44212, 3.91µm/90nm bant geçiren filtreye sahiptir. CO2 tespiti için kullanılan ePR44252, 4.48µm/620nm bant geçiren filtreye sahiptir [14]. Böylelikle bir sensör CO2 algılayıcı, diğer sensör güneş ışığından kaynaklanan tetiklenmeleri denetler.

Bir diğer optik sensör ise Hamamatsu firmasının ürettiği R9533'tür. R9533, metal ve gaz artışının fotoelektrik etkisini kullanan UV açma/kapama sensörüdür. Önerilen çalışma gerilimi 350±25 voltuttur. 185nm ile 260nm dalga boyları arasındaki ışımaya duyarlıdır. Bu sebeple optik görünür kesim filtrelerine ihtiyaç duymaz [15]. Sensör sistemi IR/IR veya IR/UV olarak tasarlanabilir. Sistemde Wi-Fi (Wireless Fidelity) modülü olarak günümüzde IoT uygulamalarında oldukça kullanışlı olan ESP8266 Wi-Fi modülü tercih edilmiştir. Tasarlanan gömülü sistemde, Wi-Fi modülünü içerisinde bulunduran NodeMCU LoLin v3 mikrodenetleyici tercih edilmiştir. ESP8266 32-bit RISC işlemciye sahiptir. Ayrıca, UART, SPI, I2C haberleşme protokollerini desteklemektedir. Sahip olduğu IEEE 802.11 b/g/n Wi-Fi standardı sayesinde IoT

platformuna kolay bir şekilde veri gönderilir [16]. Oluşturulan gömülü sistemde, IR sensör, butonlar, mikrodenetleyici ve LED'lerden oluşan bir gömülü sistem tasarımı yapılmıştır. Bu sistemin devre şeması Şekil 6'da gösterilmektedir.



Şekil 6: Sensör Düzümü Devre Şematiği

Sensör düğümündeki LED'ler sistemin mevcut durumunu gösterir. Beyaz LED, sistemin Wi-Fi bağlantısının doğru şekilde gerçekleştirildiğini ifade eder. Sistem Wi-Fi'ye bağlı olmadığında söner. Kırmızı LED, sensörden gelen veri sonucunda yangın algılandığını veya anahtara basıldığını belirtir. Wi-Fi iletişimde bir hata olduğunu belirtmek için de kırmızı LED kullanılmaktadır. Yangın verisi IoT platformuna gönderildiğinde mavi LED yanıp söner. Yeşil LED, sensörden gelen veri sonucunda yangın algılanmadığını veya yangın anahtarına basıldığını belirtir. Yangın butonuna basıldığında yangın olduğu bilgisi IoT platformuna gönderilir. Güvenlik butonuna basıldığında sisteme yangın olmadığı bilgisi gönderilir. Ayrıca, devrede analog ve dijital okuma yapıldığı için anahtarlar ve sensörün toprak hattı farklı olmalıdır. Aksi takdirde sistem kararlı bir şekilde çalışmamaktadır. Sensör sisteminin akış diyagramı Şekil 7'de verilmiştir.

3.4. Simülasyon ve programlama

Projede, programlama dili olarak Python kullanılmıştır. Bu yazılım dilinin seçilmesindeki en önemli unsur, otonom uçuş ve görüntü işleme için kullanılacak kütüphanelerin Python yazılım dilini desteklemesidir. Otonom uçuş kütüphanesi olarak Dronekit 2.9.2 kullanılmıştır. Otonom uçuş kodlarının bilgisayar ortamında simülasyonu için Dronekit-SITL 3.3.0 kullanılmıştır. Görüntü işleme için TensorFlow 2.4.1 ve OpenCV 4.5.1.48 kütüphaneleri kullanılmıştır.

DroneKit, otonom uçuş için birçok API (Application Programming Interface- Uygulama Programlama Arayüzü) içerir. Bununla birlikte DroneKit kütüphanesinin içerdiği API'leri kullanarak yazılmış kodlar, DroneKit-SITL ortamında çalıştırılabilir. Simülasyon ortamı olarak Mission Planner 1.3.74 yazılımı kullanılmıştır. DroneKit ve Mission Planner üzerinden yapılan simülasyonlarda karşılaşılan problemler giderilerek, kaynak kod sürekli olarak güncellenmiştir. TensorFlow, Google tarafından geliştirilmiş, makine öğrenmesi uygulamaları için kullanılan ücretsiz ve açık kaynak kodlu bir yazılım kütüphanesidir [18]. Bu kütüphane, kameradan alınan görüntü içerisinde, alev tespit edilmesinde ve alev tespit edilen piksellerin işaretlenmesinde OpenCV kütüphanesi ile birlikte kullanılmıştır. OpenCV, gerçek zamanlı görüntü işleme için kullanılan, ilk olarak Intel tarafından geliştirilmiş açık kaynak kodlu bir yazılım kütüphanesidir [19].

Geniş Arazilerde Yangın Tespiti ve İlk Hızlı Müdahale İçin Yeni Bir Drone Tasarımı Önerisi

A New Drone Design Proposal for Fire Detection and First Quick Response in Large Areas

Yaşar Anıl Hithit¹, Harun Hot², Zeynep Sevgi Yüksel², Erdem Yazgan²

¹Elektrik Elektronik Mühendisliği, Bilgisayar Mühendisliği (ÇAP)

TED Üniversitesi
yanil.hithit@tedu.edu.tr

² Elektrik Elektronik Mühendisliği TED Üniversitesi

harun.hot@tedu.edu.tr, zsevgi.yuksel@tedu.edu.tr, erdem.yazgan@tedu.edu.tr

Özet

Günümüzde farklı niteliklere sahip birçok drone bulunmaktadır. Dronelar yangınla mücadele, seyahat, tarım, haritalama gibi alanlarda kullanılmaktadır. Bu doğrultuda, projemizi yangın algılama ve ilgili kişilere yardımcı olmak adına geliştireyoruz. Çünkü ülkemizde yangınlar kısa sürede tespit edilememekte, dolayısıyla söndürülmesi zaman almaktadır. Yangının başladığı yerin hızlı tespiti ve durumun belirlenmesi için yeterli bilgiye zamanında sahip olunması, yangına kısa sürede müdahale edilmesini sağlar. Yapay zekâ ve görüntü işlemeyle birlikte yangın tespitinde dronelar kullanılırsa, insan yaşamı daha güvenli olacaktır. Ana amaç otonom bir yangın algılama ve yangına ilk müdahale sistemi oluşturabilmektir. Bu sistem, orman gibi yerlerde bağımsız olarak uçabileceği, yangının yerini hızlı tespit edip gerekli yerlere bilgiyi ulaştırabileceği ve yangına su fişkırtarak ilk müdahaleyi yapabileceği için etkili olarak kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: İnsansız Hava Aracı, Yangın Tespiti, Güvenli İniş, Hedef Tespiti, Yangına İlk Müdahale, Orman Yangını, Görüntü İşleme, Yapay Zekâ

Abstract

Nowadays, there are many types of drones with different qualities. Drones are used in many areas such as firefighting, travel, agriculture, mapping. In this direction, we are developing our project to help fire detection and relevant people. The reason for this is that fires cannot be detected in a short time, especially in Turkey. Having enough information in a timely manner to quickly detect the place where the fire started and to determine the situation ensures timely response to the fire. If drones are used in fire detection with artificial intelligence and image processing, safety in human life will be brought to a more effective position. The main purpose is to create an autonomous fire detection system. This system can be used as a very effective method as it can fly independently in places such as forests, quickly locate the fire and deliver information to the necessary places.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicle, Fire Detection, Safe Landing, Target Detection, First Response to Fire, Forest Fire, Image Processing, Artificial Intelligence

1. Giriş

Drone dört rotor tarafından kaldırılan ve hareket ettirilen bir tür İnsansız Hava Aracı (İHA)'dır. Drone dar alanlarda rahatlıkla havada asılı kalabildiği ve seyir halinde kalkış ve iniş hareketlerini rahatlıkla yapabildiği için yüksek manevra kabiliyetine sahiptir. Son zamanlarda, arama ve kurtarma, gözetleme ve hedef tespiti gibi İHA uygulamalarına ilgi artmaktadır. Özellikle hedef tespiti, İHA uygulamalarında, akü şarjı veya diğer bazı görevler için drone istasyonuna güvenli bir iniş için gerekli olduğundan, önemli bir ön işlemdir. Ayrıca dronelerin son zamanlarda aktif olarak kullanılmaları ve insanların ulaşamayacağı yerlerde bile aktif çalışma yapabilmeleri insan hayatını oldukça kolaylaştırmaktadır. Bu alanlardan birisi de geniş arazilerde meydana gelen yangınların söndürülmesidir. Bu bildiride geniş arazide yangın tespiti için yeni bir drone tasarımı önerilmiştir. Bu tasarım otonom olarak yangının yerini belirleyip, gereken yerlere bu bilgiyi ulaştırabilecektir. Bu uygulamayı gerçekleştirirken sensörlerde hassasiyet eksikliği olmasından ötürü hedef tespiti yapabilmek ve güvenli iniş o kadar da kolay bir iş değildir. Bu uygulamanın gerçekleştirilmesi için görüntü işleme kullanılmaktadır.

Otonom drone sistemini kalkış, görevi gerçekleştirmek, yer hedefinin tespiti ve güvenli iniş olarak dörde ayırabiliriz. Bu işlemlere baktığımızda güvenli inişin ve yer hedefinin tespitinin daha zorlu olduğunu söylemek mümkündür. Çünkü bu kısımlarda meydana gelen herhangi bir hata drone un devrilmesine dolayısıyla drone sisteminin zarar görmesine sebep olur. Güvenli iniş ve hedef tespiti üzerine birçok araştırma yapılmıştır. Bunlardan bazıları GPS ve kameraya dayalı bir hedef tespit algoritmasını savunmaktadır [1]. Bazı araştırmalar görüntü işleme tabanlı hedef algoritmasını yüksek özellikli CPU'lar kullanarak sunar [2]. Bazı araştırmalarda ise insansız hava aracını kontrolünde bulut bilişim tabanlı vizyonu kullanılmıştır [3, 4]. Yer hedefi ile drone uçuşu arasındaki bulut iletişim üzerine de odaklanan birçok araştırma bulunmaktadır [5] Yapmış olduğumuz projede, bir kamera

tarafından renk algılamasını kullanarak çalışan bir görüntü işleme algoritması kullanılmaktadır. Görüntü işleme algoritması sayesinde hedef tespitinin yapılması ve emniyetli iniş gerçekleştirilecektir.

2. Hedef tespiti ve güvenli iniş sisteminin konfigürasyonu

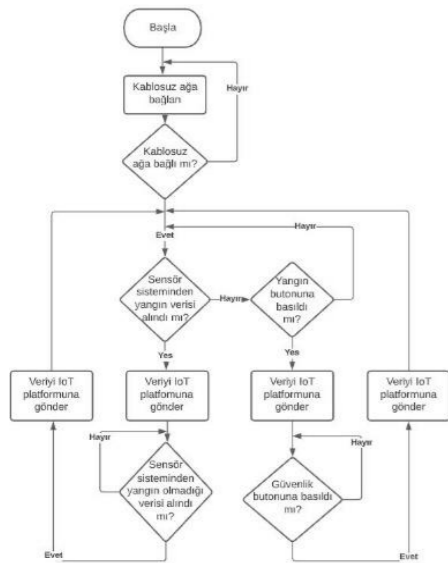
Hedef tespiti ve güvenli iniş sisteminin konfigürasyonu uçuş

irtifaya sahiptir. Son olarak, İHA kalkış yaptığı konuma geri dönmüştür ve inişini gerçekleştirmiştir.

Tasarlanan uçuş ve sensör sistemi algoritmaları sorunsuz çalışmıştır. İHA uçuşunda ve sensör düğümlerinin haberleşmesinde herhangi bir sorun karşılaşılmamıştır. Görüntü işleme algoritması, oluşturulan yangın simülasyon ortamında çalışmıştır. Sensör düğümünde kullanılan IR sensörden güneş kaynaklı yanlış alarmlar alınmıştır. Oluşturulan bu sistem yangın tespiti için ancak gece vakti uygundur. Sistemin bütün zaman aralığında çalışması isteniyorsa tasarımda belirtilen sensör sistemleri kullanılabilir. Bunun yanında daha ağır yangın söndürme topu kullanılmak istenirse, uçuş anındaki itki değerinin artması gerekir. Bu ancak pervane boyutunun veya BLDC motorun değişimi ile mümkündür. Yangın tespiti sırasında kamera, kızıl ötesi dalga yayan cisimleri yangın olarak algılayabilir. Yangın tespitinde hataları engellemek için kamera merceğine belirli dalga boyu aralığında çalışacak filtre tasarlanabilir. Bu sayede, görüntü işleme algoritmasının yangın tespitindeki hata payı azalır.

5. Kaynaklar

- [1] <https://www.amazon.com/Amazon-Prime-Air/b?ie=UTF8&node=8037720011>, 01/05/2021
- [2] <https://www.dailymail.co.uk/news/article-8180019/Chinas-firefighting-drones-extinguish-blazing-10-storey-building-minutes.html>, 05/05/2021
- [3] https://en.wikipedia.org/wiki/Drones_in_wildfire_management, 10/04/2021
- [4] <https://ardupilot.org/copter/docs/connect-escs-and-motors.html>, görsel siteden alınmıştır, 08/05/2021.
- [5] Kilby Terry ve Belinda; Make: Getting Started with Drones: Build and Customize Your Own Quadcopter, 1.Basım, Maker Media Inc, Sebastopol CA., 30 Ekim 2015.
- [6] C. Huang Shen, F.Y.C. Albert, CK Ang, Dwee Jin Teck, K.P Chan, "Theoretical development and study of takeoff constraint thrust equation for a drone", 2017 IEEE 15th Student Conference on Research and Development (SCOReD), ss. 2-3, Aralık 2017.
- [7] https://en.wikipedia.org/wiki/Haversine_formula, 08/05/2021
- [8] Pyreos, "Pyreos Introduction to Flame Detection" Sunumu, Şubat 2021
- [9] Wenjie Liu, Jianping Zhou, Yuming Ma, Jie Wang and Jie Xu, "Fabrication of PLA Filaments and its Printable Performance", IOP Conference Series Materials Science and Engineering, ss. 1-5, Aralık 2017.
- [10] Xiaosong Huang, "Fabrication and Properties of Carbon Fibers", Chemical Sciences & Materials Systems Laboratory, ss. 2369-2372, Aralık 2009.
- [11] Aleksandrov D., Penkov I., "Optimal gap distance between rotors of mini quadrotor helicopter", 8th International DAAAM Baltic Conference, 19-21 April 2012,
- [12] <https://sunnyskyusa.com/products/sunnysky-v3508-motor#tab3>, 08/05/2021
- [13] https://www.u-blox.com/sites/default/files/NEO-M8-FW3_DataSheet_UBX-15031086.pdf, 08/05/2021
- [14] Pyreos, "ezPyro™ TO I2C Pyroelectric Infrared Flame Sensor", 2018
- [15] Hamamatsu, "Flame Sensor Uvtron R9454, R9533" Datasheet,
- [16] Espressif Systems, "Electrical Specifications" ESP8266EX Datasheet
- [18] <https://en.wikipedia.org/wiki/TensorFlow>, 08/05/2021
- [19] <https://en.wikipedia.org/wiki/OpenCV>, 08/05/2021

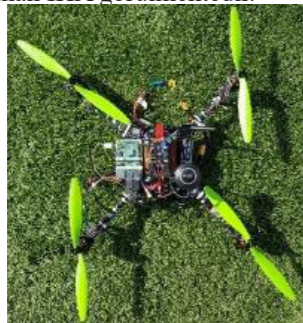


Şekil 7: Sensör Sisteminin Akış Diyagramı

4. Uçuş Testleri ve Sonuç

İtfaiyeci İHA'nın test aşaması için üç tane sensör düğümünden oluşan bir sensör ağı tasarlanmıştır. Bu sensör düğümlerinde IR ve UV optik sensörleri yerine butonlar kullanarak devre test edilmiştir. Oluşturulan test devresinde butonlara basılarak ilgili sensör düğümünün yangın verisi IoT ortamına gönderilmiştir. Gönderilen verinin gecikmeli olarak iletildiği gözlemlenmiştir. Bu gecikmenin IoT platformunun veri girişini sınırlandırmasından kaynaklandığı tespit edilmiştir. İlk yapılan testlerde sensör düğümlerinden veri alınabilmesi için IoT platformunda seri kanallar oluşturulmuştur. Fakat bu kanalların farklı sensör düğümlerinden aynı anda veri girişine izin vermediği gözlemlenmiştir. Bu problemi çözmek için seri kanallar yerine paralel kanallar oluşturulmuştur.

Tasarımda seçilen malzemelerle İHA uçuş testi için hazırlanmıştır. Öncelikle elektronik bileşenler test edilmiştir. Test aşamasını geçen elektronik bileşenlerin bağlantısı yapılmıştır. Mekanik ve elektronik parçaların montaj aşaması tamamlandıktan sonra uçuş denetim kartının, yer istasyonu ile bağlantısı kurulmuştur. Yer istasyonu üzerinden İHA'nın kalibrasyonları tamamlanmıştır ve motorların dönüş yönü test edilmiştir. Otonom uçuş anında oluşabilecek sorunlara karşı, İHA'nın uzaktan kumanda ile pilot kontrolüne geçmesi gerekir. Şekil 8'da test için hazırlanan İHA görülmektedir.



Şekil 8: Test için hazırlanmış İHA

Üç farklı konumdaki sensör düğümlerinden, Herhangi birinin butonuna basıldığında İHA'nın otonom uçuşu tetiklenmiştir. İHA, uçuş kodunda gömülü olan ilgili konuma uçuşunu gerçekleştirmiştir. İHA, otonom uçuş esnasında sabit sekiz metre

kontrolcüsü, Raspberry Pi, USB kamera, ESC modülü, RF alıcı, RF verici, Fırçasız motor ve kameradan meydana gelmektedir.

2.1. Uçuş kontrolcüsü

Uçuş kontrolcüsü drone un beynidir. Sensörlerden gelen tüm verileri okuyarak bunlara bağlı olarak en iyi komutları hesaplar. Daha sonra bunları ESC modülüne gönderir. ESC modülü, her bir BLDC motorun hızını kontrol etmek için uçuş kontrolöründen ve RC alıcısından rpm verilerini alabilir. Bu çalışmada uçuş kontrolcüsü olarak Pixhawk kullanılmaktadır. Pixhawk saatte frekansı 168 MHz olan bir ARM Cortex M4 CPU'ya sahiptir. Sapma, eğim, dönüş ve rakımı ölçmek için 10 DOF-IMU ile donatılmıştır. Ayrıca, sekiz BLDC motoru destekleyebilen sekiz PWM çıkışına sahiptir. Ek olarak bünyesinde UART, I2C, CAN, SPI ve ADC gibi ek çevre birimleri için çeşitli bağlantı seçeneklerini bulundurmaktadır. Bu çalışmada Pixhawk uçuş kontrol cihazını kullanmasının en önemli nedeni modifikasyon için açık kaynak kodlu ArduCopter ile kolayca arayüzlenebilmesidir. Mevcut çalışmada Pixhawk PX4'ü tercih edilmiştir. Bunun sebebi diğer kontrolcülere kıyasla daha hafif olması, uyumlu GPS'i de paketinde içermesi, devre kartlarının da dahil olmasıdır.

2.2. Raspberry Pi

Raspberry Pi, Bluetooth ve kablosuz LAN bağlantısı olan maliyeti düşük ve küçük boyutlu bir bilgisayardır. HDMI kablosu yardımıyla bir bilgisayar monitörüne takılabilir ve bir masaüstü bilgisayarla yapılabilen her şeyi yapabilir. Mevcut çalışmada yüksek CPU performansına sahip olan Raspberry Pi 3+ kullanılmıştır. Raspberry Pi 3+, hızlı yürütme süresi gerektiren görüş tabanlı görüntü işleme için iyi bir tercihtir. Hedef tespiti için görüntü işleme algoritması ile güvenli bir iniş için kullanılan algoritma Raspberry Pi içinde uygulanmaktadır. USB kamera, yakalanan görüntüleri sürekli olarak Raspberry Pi'ye gönderen USB bağlantı noktası üzerinden Raspberry Pi 'ye bağlanmakta ve sonrasında bu veriler Pixhawk uçuş kontrol cihazına gönderilmektedir.

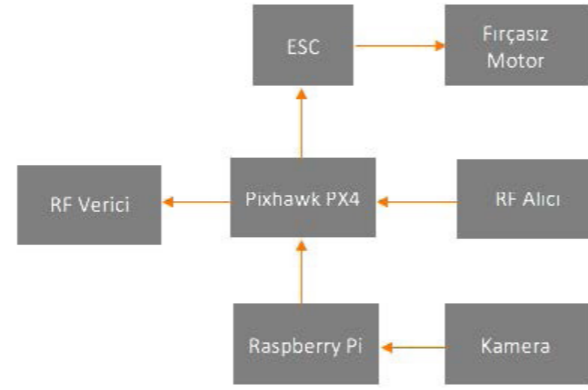
2.3. ESC

ESC bataryadan aldığı elektrik enerjisini, alıcıdan aldığı sinyal ile sürerek motorlara iletmekte ve motor devrini kontrol etmekte olan hız kontrolcüsüdür. ESC motora hangi hızla dönmesi gerektiğini söylemektedir. Motor fazla akım çektiği zaman motorun zarar görmemesi için akımı keserek motoru durdurmaktadır. Pil belli bir voltajın altına düştüğü zamanda da motor akımını keserek pil yüzdesinin tehlikeli sınırın altına düşmesini önlemektedir.

2.4. Fırçasız motor

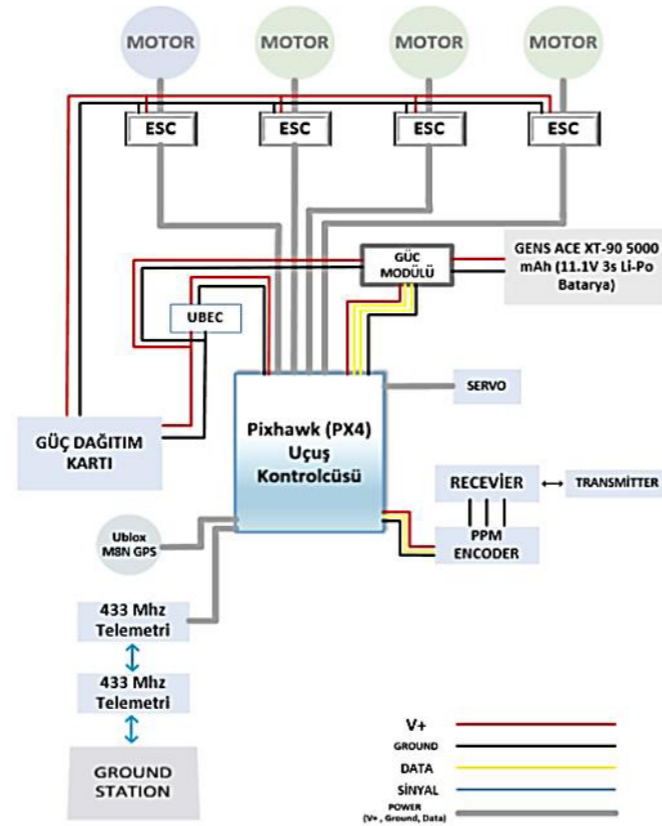
Fırçasız Motor rotor ve stator olmak üzere iki parçadan oluşmaktadır. BLDC motorlar, yüksek verim, yüksek momentum-hacim oranı ve uzun ömürlü olmaları bakımından oluşturulan sisteme avantaj sağlamaktadırlar.

Hedef tespiti ve güvenli iniş için yapılan sistemlerin birlikte işleyiş konfigürasyonu Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1: Hedef tespiti ve güvenli iniş sisteminin konfigürasyonu

Buna ek olarak oluşturulan sistemin ayrıntılı blok diyagramı Şekil 2'de belirtilmiştir. Bu kısımda ilk aşamada, kablosuz haberleşme modülü olarak Pixhawk ile beraber gelecek olan 433 Mhz Telemetri sisteminin denenmesi hedeflenmektedir.



Şekil 2: Blok devre şeması

3. Gövde ve mekanik sistemler

3.1. Gövde geometrisi

Drone tasarımında, drone gövdesi için drone un daha uzun sürede havada kalabilmesi ve açık ortam koşullarına uygun olabilmesi için karbon fiber malzemeler kullanılmıştır. Ayrıca drone tasarımında, drone un rüzgâr gibi dengesinin bozulmasına sebebiyet verecek herhangi bir dış etmenle karşılaştığında, tekrar denge halini sağlayabilmesi için gövde geometrisi önem taşımaktadır. İnsansız hava aracımızın gövde tasarımı dış etmenler ve görev gereksinimleri değerlendirilerek ayarlanmıştır.

3.2. İniş Takımları

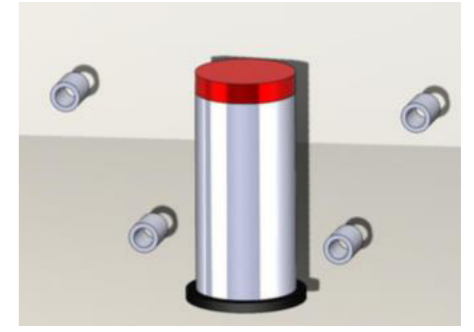
İniş takımları iniş ve kalkış sırasında hava araçlarını koruyarak hasarı minimum seviyeye indirmek için kullanılmaktadır. Herhangi bir ani iniş durumunda çarpışma iniş takımlarına zarar vereceği için gövde ve şase minimum hasarı alır. Özellikle döner kanat hava araçlarında pervane kısmı çok kolay bir şekilde hasar görebileceği için iniş takımı pervanelerin daha yüksek bir seviyede kalmasını sağlayarak zarar görmesini engeller. Mevcut çalışmada döner kanatlı hava aracı için 2 noktada yere temas edecek şekilde şasenin alt kısmından 4 adet bacak çıkacak şekilde bir iniş takımının kullanılması uygun bulunmuştur. İniş takımının aracımızın ağırlığına fazla etki etmeyecek şekilde karbon fiber malzemeler kullanarak üretilmesi uygun bulunmuştur. İniş takımının yerle temas edecek kısmını gelebilecek darbelerden korumak için sünger koruyucular kullanılarak ağırlıktan tasarruf ederken iniş takımını da korumak hedeflenmiştir. İniş takımının yerle temas edecek kısımlarının tamamen paralel bir yapıya sahip olmasını uygun bulunmuştur. Bu sayede denge merkezi de bozulmamış olacaktır.

3.3. Motor-pervane Konfigürasyonu

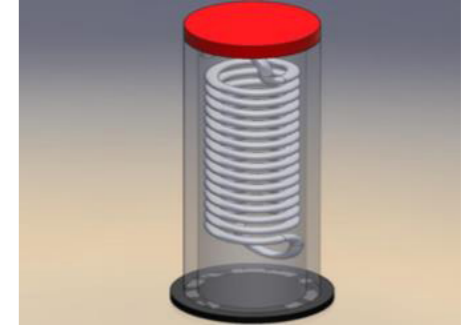
Drone için motor ile pervane uyumunu sağlamak, verimli uçuşu sağlamak açısından önemlidir. Pervaneler dönerek ve havayı hareket ettirerek itme sağladığından pervanelerin dönüş hızı arttıkça daha fazla havayı hareket ettireceği için daha fazla itme sağlanır. Buna ek olarak pervane uzunluğu ve 1 tam turda aldığı yol da itmede önemli rol oynamaktadır fakat bunlar yüksek akım çekmesi ile motorun daha fazla enerjiye ihtiyacı duymasına sebep olacaktır. Bu nedenle yüksek devirli motor kullanıldığında kısa pervane ve düşük devirli motorlarda ise uzun pervane kullanmak daha mantıklı olacaktır. Motor devri yüksek ve küçük pervane seçiminde enerjiden tasarruf ederek motorların daha sağlıklı çalışması beklenir. Motor devri düşük ve büyük pervane seçiminde ise daha düzgün ve dengeli bir uçuş sağlanabilmektedir [6]. Mevcut tasarımda yapılan araştırmalar sonucunda motor devri düşük ve büyük pervane kullanılmasına karar verilmiştir.

4. Görev Mekanizma Sistemi

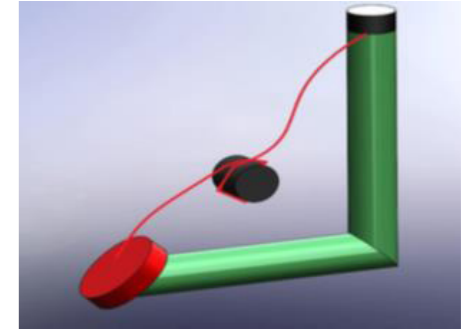
Tasarlanan yangını tespit etme ve söndürebilme drone unda, su alma ve bırakma mekanizmasında üzerinde düşünülen ve tasarımı yapılan muhtemel 3 model bulunmaktadır. Şasenin alt kısmından çıkacak pipet ya da boru benzeri bir sistemin kapak kısmını ufak bir motor yardımıyla hareket ettirilmesi hedeflenmiştir. Değerlendirilen sistemlerde en uygun olanı ve en güvenli şekilde suyu taşıyabilecek olan sistem Şekil 4 için gösterilen yaylı sistem olarak düşünülmüştür. Borunun suyun içine girdiğinde kapağın su basıncıyla kapanacağını ve sistemin çalışmayacağını göz önünde bulundurduğumuzda yaylı bir sistem yapmanın daha doğru olacağı öngörülmüştür. Aşağıdaki şekillerde üç şekilde halihazırda ana hatlarıyla tasarlanan mekanizmalar bulunmaktadır. Şekil 3 için yapılan mekanizmada makaralara bağlanacak misina ip yardımıyla alttaki kapağın açılması ve kapanması hedeflenmiştir. Şekil 4 için yapılan mekanizmada yayın gerilim kuvveti kullanılarak kapağın açılması ve kapanması hedeflenmiştir. Şekil 5 için yapılan mekanizmada ise tek bir makaraya bağlanacak misina ip yardımıyla kapağın açılması ve kapanması hedeflenmiştir. Tasarım yapılırken SolidWorks programı kullanılmıştır.



Şekil 3: İki makaralı sistem



Şekil 4: Yaylı sistem



Şekil 5: Tek makaralı L kollu sistem

5. Otonom görme tabanlı hedef tespiti ve güvenli iniş algoritması

Bu çalışmadaki ana hedef otonom görme tabanlı hedef tespiti, hedefin analiz edilmesi ve otonom bir şekilde güvenli inişin sağlanmasıdır. Hazırladığımız algoritma için Python programlama dili kullanılmış olup OpenCV ve Matplotlib gibi kütüphanelerden yararlanılmıştır. Daha detaylı pixel analizi yapmak ve sistemi eğitmek için TensorFlow kütüphanesi de kullanılabilmektedir.[7] Kullanılan algoritmada ilk olarak temel bir şekilde yangının meydana gelebileceği noktanın analizinin yapılarak değerlendirilmesi ve algoritmada belirtilen RGB renk sınıfları ile kıyaslanarak ne kadar bir benzerlik gösterdiğini tespit etmektir. Fakat, bir yangını tespit edebilmek için sadece renk sınıflarına bakmak yeterli olmayacağı için çeşitli sensörler yardımıyla durum analizi yapılarak, toplam bir sonuç elde etmek daha doğru tespit yapmayı sağlar. Bu noktada yangın başlamadan önce çıkaracağı duman, ısı ve sıcaklık artışı tespit için önemli olmaktadır. Durumu analiz etmek için duman sensörü ve ısı- sıcaklık sensörü gibi sensörlerden faydalanarak genel bir analiz yapmak gerekir. Bu noktada sadece görüntü işleme değil yapay zekâ analizi de kullanılarak durumun gerçek bir yangın olup olmadığı tespit edilebilir. Fakat insansız hava aracının yangına çok fazla yaklaşamayacağını ve sensörlerin uzaktan ölçüm yapabilecek şekilde olması ge-

rektiği unutulmamalıdır. Ayrıca yapılan çalışmalarda görüldüğü üzere dalgacık dönüşüm tekniği de kullanılarak görüntü işleme ileri bir boyuta taşınabilir ve yangın tespiti yapılabilir. Gerçek zamanlı yangın tespiti için sadece görüntü üzerinden analiz yapmak yerine oluşabilecek hataları da engellemek adına video üzerinden analiz yapmak daha etkili olacaktır.[8] Gündüz durumun analizi kamera ve sensörler ile daha kolay yapılabilir fakat gece kızılötesi kameralar kullanılması gerekmektedir. Gece duman tespiti daha zor yapılacağı için böyle bir durum oluşmaktadır.[9] Gece veya gündüz zaman aralıklarında algoritma bazı durumlarda şaşırabilecektir. Analizin yanlış yapılmasına sonuç olabilecek bazı hatalı görseller elde edilebilir.[10] Bu gibi durumlarda gelebilecek uyarılarda bir merkez tarafından görselin değerlendirilmesi sağlanabilir. Hedef noktanın analizi insansız hava aracı üzerindeki mini bilgisayar tarafından tamamlandıktan sonra ilgili merkeze haber verebilmek amacıyla baz istasyonları kullanılabilir. Daha merkezi olacak sistemlerde çeşitli uçtan uca şifreli haberleşme antenleriyle de aradaki bilgi aktarımı sağlanabilir. Bu süreçte devamlılığı ve sürekliliği sağlamak adına vardiya sistemi kullanılabilir. Belirli bir alan otonom kontrolcüye tanımlanarak aynı kontrolcü iki ya da daha fazla insansız hava aracına entegre edilip alanın devamlı kontrolü sağlanabilir. Çalışmalarımıza ek olarak insansız hava aracının kendi durum kontrolünü yapması ve gerektiği zaman merkeze haber göndererek şarj istasyonuna dönmesi ya da arıza bildirmesi sağlanabilir. Bu kısımda kablosuz şarj noktaları kullanarak hiçbir müdahaleye gerek kalmadan sistemin işlemesi hedeflenebilir. [11] Periyodik olarak insansız hava araçlarının ve yazılımda oluşabilecek hataların kontrol edilmesiyle sistemin problemsiz olması sağlanabilir. Ayrıca daha büyük ve ulusal çalışmalarda uydu haberleşmesi kullanılarak tek bir merkezden kontrolün sağlanması da mümkündür. Bu şekilde ormanlarımızın veya geniş arazilerin güvenliği sağlanabilir ve olası yangın durumlarında daha hızlı müdahale imkânı sağlanmış olacaktır. Tüm sisteme ek olarak geliştirilecek bir görüntü işleme algoritması ve ek kamera sistemleriyle güvenlik adına da kullanılabilir bir sistem oluşturulabilir. Yangının çıktığı noktada tespit edilecek şahıslar belirlenerek bilinçli yapılacak saldırıların da önüne geçilmiş olacaktır.

5.1. Algoritma işleyişi ve akış diyagramı

Bu algoritmadaki ana hedef bir değerlendirme sistemi oluşturarak farklı değişkenlerden ve sensörlerden gelecek bilgilerle aktif bir yangın olup olmadığını ilgili görüntüden ya da videodan tespit etmektir. Bu sistem oluşturulurken Python programlama dili kullanılmış olup OpenCV ve Matplotlib gibi kütüphanelerden yararlanılmıştır. Algoritmada ilk aşamada renk analizi, duman analizi ve ısı/sıcaklık analizi için kamera ve sensör verileri toplanıp ayrı ayrı değerlendirmeye alınmıştır. Bu kısımda ayrı ayrı değerlendirme yapmanın doğru sonuçtan çok yanlış sonuç verdiği görülmüş ve birleştirilerek bir karar mekanizması oluşturulması gerektiğine karar verilmiştir. Her sensöre ve değişkene ayrı önem değerleri atanarak aktif bir yangının belirlenmesi için eşik değerleri seçilmiş ve o değerleri geçen algoritma çıktısında yangın durumu raporlanmıştır. Algoritmanın akış diyagramı Ek A'da gösterilmiştir.

6. Görsel tasarım konfigürasyonu

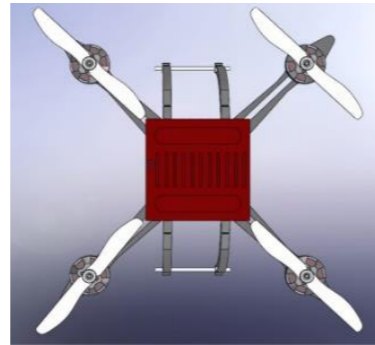
Tasarımını yaptığımız aracın görsel tasarımı sırasıyla Şekil 6 (Önden), Şekil 7 (Yandan), Şekil 8 (Üstten) ve Şekil 9 (İzometrik)'de görülebilir. Tasarım yapılırken SolidWorks progra-



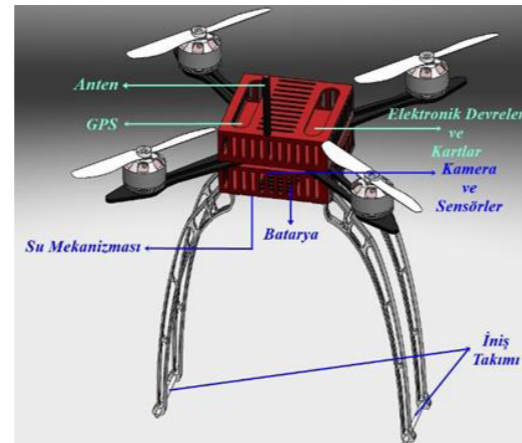
Şekil 6: Tasarlanan aracın önden görünüşü



Şekil 7: Tasarlanan aracın yandan görünüşü



Şekil 8: Tasarlanan aracın üstten görünüşü



Şekil 9: Tasarlanan aracın izometrik ve detaylı ekipman yerleşimi görüntüsü

7. Sonuçlar

Her şey göz önünde bulundurulduğunda, belli bir alan içerisinde yangın oluşumunu algılayabilecek ve otonom uçuş sağlayabilecek drone önerildi. Yangın tespiti yapacak otonom drone

için temel olan malzemelerin uçuş kontrolcüsü, Raspberry Pi, USB kamera, ESC modülü, RF alıcı, RF verici ve BLDC motor ve kamera olduğuna karar verilir. Bu malzemelerin birbiri ile uyumunun sağlıklı bir drone uçuşu için önem arz etmektedir. Bu malzemelere ek olarak, insansız hava aracının tam olarak yangın tespitini algılayacak ve bunun yangın olduğuna karar verecek yapay zekâ ve görüntü işlemenin Pixhawk ile sağlanması öngörülmüştür. Yangın tespitini yapacak otonom drone için en önemli kısım ne kadar alan içerisinde ve ne kadar uzaktan tespit yapacağıdır. Ormanlık alanlar ve araziler büyük bir alan kapladığı için drone üzerinde kullanılacak malzeme ve sensörlerin bu durum göz önünde bulundurularak seçilmelidir. Bu büyük alanlara belli aralıklarla drone istasyonlarının kurulması insansız hava araçlarının batarya ve arızalanması gibi durumlara yardımcı olacaktır. Hayata geçirilecek olan otonom drone sensör ve görüntü işleme sayesinde duman ve ısı algılayabilecek ve yapay zekâ ile bunun yangın olup olmadığına karar verecek ve tam olarak karar veremediği veya aksi bir durumda görüntüyü ilgili yerlerde izleyecek olanlar daha kesin sonuçlar elde edebilecektir.

Buna benzer olarak insanlara yardım etmek için tasarlanan cankurtaran drone örneği ile 2 kişinin hayatı kurtarılmıştır.[12] Boğulma tehlikesi yaşayan bir genç grubu drone ile tespit edilerek, onların bulunduğu noktaya drone ile can yeleği iletilmiş ve bu sayede kurtulmuşlardır.

Ayrıca insansız hava araçları daha birçok alanda dünya ve insanlığa yardım edebilecek potansiyele sahiptirler. Endüstride ve haritalamada zaten yaygın olarak kullanılan insansız hava araçları, tarım alanında çiftçilere yardım edebilmek için de aynı zamanda bazı projeler geliştirilmektedir. Bu proje ile bir ormanın bitki örtüsünü belirlenebilir ve yangın önleme amaçlı kuru bitki örtüsünü takip edebilir [13].

Tasarımı yapılan araç üzerinde bulunan GPS sayesinde kendisine tanımlanan belirli bir alanda kontrol faaliyetini gerçekleştirebilecektir. Buna ek olarak herhangi bir yangın durumunda şasesinin altına monte edilmiş olan su püskürtme sistemini kullanarak yangına ilk hızlı müdahaleyi gerçekleştirebilir. Üzerinde bulunan anten sayesinde belirli bir alanda bilgi aktarımını sağlayabilir. Bir sonraki aşamada uydu haberleşme sistemini kullanarak daha uzak menzilli hedeflere bilgi aktarımını yapabilir.

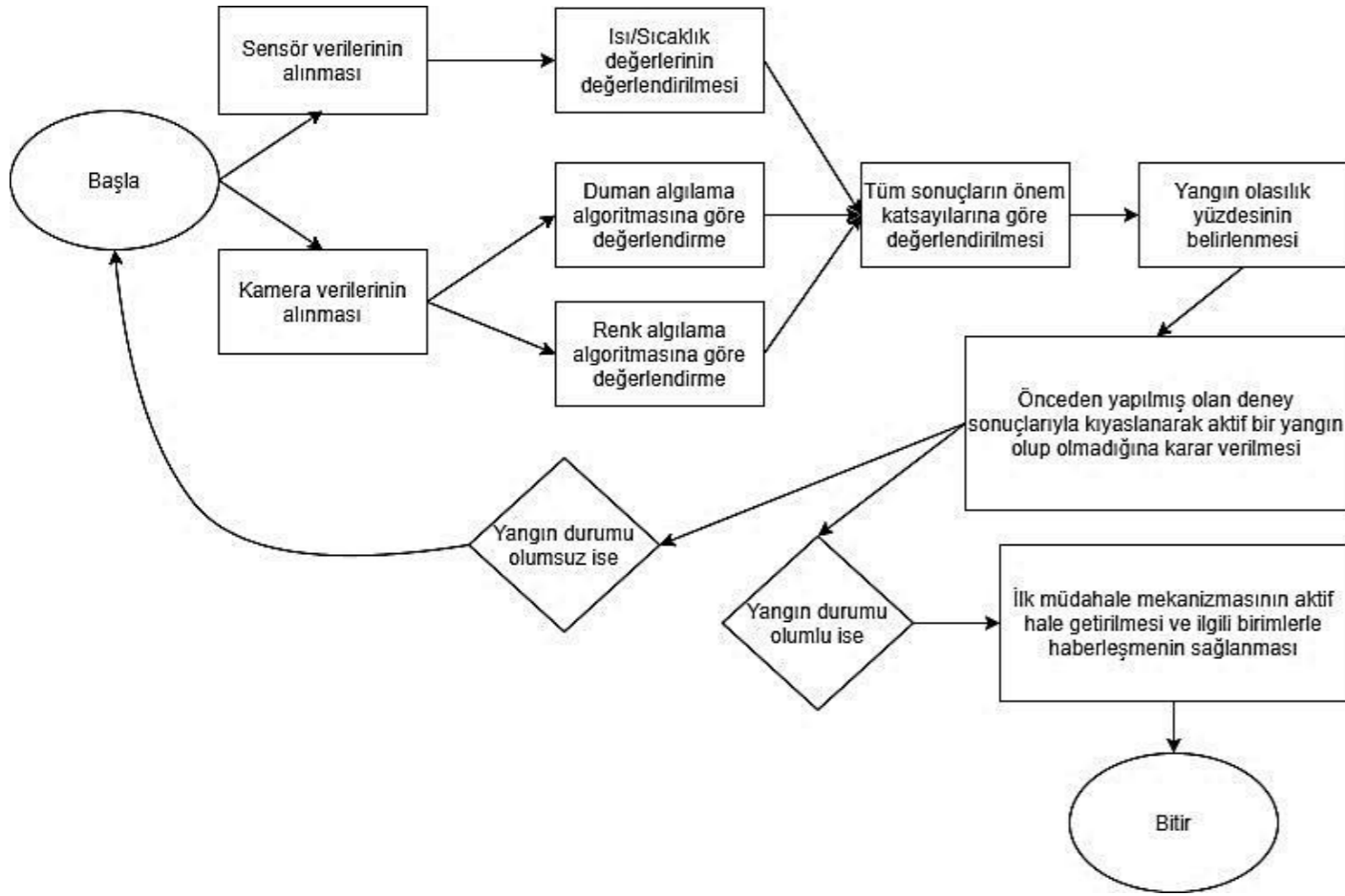
Tasarımı yapılan araç dengesi için çift katlı şase tercih edilmiştir. Şasenin alt kısmında batarya, üst kısmında kartları ve elektronik devreleri olacak şekilde düşünülmüştür. Bunun sebebi ağırlık merkezini olabildiğince şasenin alt kısmında tutarak stabilizasyonu sağlamaktır. Ayrıca iniş takımı dört köşeden çıkacak ve iki noktada yere basacak şekilde simetrik olarak tasarlanmıştır. Bunun amacı iniş sırasında İnsansız Hava Aracını korumak ve ağırlık merkezini bozmamaktır. Şekil 9'da görüldüğü gibi anten şasenin üst kısmında yer almaktadır. Bu sayede haberleşmeyi engelleyecek herhangi bir unsur bulunmamaktadır. Ek olarak tasarlanan araçta sensörler ve kamera şasenin yan kısımlarında ağırlık dengesi korunacak şekilde yerleştirilmiştir. Şekil 9'da tasarlanan araç üzerinde detaylı ekipman gösterimi belirtilmiştir.

8. Kaynaklar

- [1] S. Lange, N. Sunderhauf, and P. Protzel, "A vision based onboard approach for landing and position control of an autonomous multirotor UAV in GPS-denied environments," Proc. of the International Conference on Advanced Robotics, pp. 1-6, 2009.
- [2] T. Vladimir, D.-H. Kim, Y.-G. Ha, and D. Jeon, "Fast multi-line detection and tracking with CUDA for vision-based UAV autopilot," Proc. of the 8th International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing, pp. 96-101, 2014.
- [3] J. Chudoba, M. Saska, T. Baca, and L. Preucil, "Localization and stabilization of micro aerial vehicles based on visual features tracking," Proc. of the International Conference on Unmanned Aircraft Systems, pp. 611- 616, 2014.
- [4] H. An, J. Liu, C. Wang, and L. Wu, "Approximate back-stepping fault-tolerant control of the flexible air-breathing hypersonic vehicle," IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, vol. 21, no. 3, pp. 1680-1691, 2016.
- [5] E. E. Nyein, H. M. Tun, Z. M. Naing, and W. K. Moe, "Implementation of vision-based landing target detection for VTOL UAV using raspberry Pi," International Journal of Scientific & Technology Research, vol. 4, no. 8, pp. 184- 188, 2015.
- [6] bilgeiş. (2015). İşçi ve İşverenlerin Kapasitelerinin Bilgi ve İletişim Teknolojileri Yoluyla Geliştirilmesi Projesi. https://bilgeis.net/docs/40_B2_1.pdf
- [7] Demirtaş, a.ş. (2019). Döner Kanatlı İnsansız Hava Araçları ile Görsel Verilere Dayalı Erken Yangın Algılama Sistemi. <https://dSPACE.ankara.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/20.500.12575/69061/595782.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [8] Töreyn, B. U., Dedeoğlu, Y., Güdükbay, U., & Çetin, A.E. (2006). Computer vision based method for real-time fire and flame detection. Pattern Recognition Letters, 27(1),49-58. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2005.06.015>
- [9] Pan, H., Badawi, D., & Cetin, A. E. (2020). Computationally Efficient Wildfire Detection Method Using a Deep Convolutional Network Pruned via Fourier Analysis. Sensors, 20(10), 2891. <https://doi.org/10.3390/s20102891>
- [10] Töreyn, B. U., Dedeoğlu, Y., Güdükbay, U., & Çetin, A.E. (2006). Computer vision based method for real-time fire and flame detection. Pattern Recognition Letters, 27(1),49-58. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2005.06.015>
- [11] Ural, H. (2018, april). Sürü Halinde Görev Yapan İnsansız Hava Araçları ve Teknolojileri. <https://www.uab.gov.tr/uploads/pages/kutuphane/a18af5f236773f3.pdf>
- [12] Cankurtaran Drone, İlk Kurtarma İşlemini Avustralya'da Gerçekleştirdi! <https://www.webteknoloji.com/cankurtaran-drone-ilk-kurtarma-islemini-avustralya-da-gerceklestirdi-h39575.html>
- [13] Drone Haritalama: Yeni Başlayanlar Kılavuzu <https://www.rembeltech.com/drone-haritalama-yeni-baslayanlar-kilavuzu/>

EKA

Otonom görme tabanlı hedef tespiti algoritması akış diyagramı



Dört Ayaklı Robot Tasarımı ve Yürüyüş Modelleme Quadruped Robot Design and Gait Modeling

Bahar VURAL, Pınar PAMUK, Yasemin ERKAN

Elektrik Elektronik Mühendisliği Bartın Üniversitesi Bartın, Türkiye

bahar.vural@ogrenci.bartın.edu.tr, pinarpamuk3@gmail.com, yerkan@bartın.edu.tr

Özet

Engel aşma konusunda bacakları üzerinde hareket eden robotlar diğer robotlara göre daha avantajlıdır. Denge sağlanma kolaylığı ve hızlı hareket kabiliyeti gibi özellikleri ile öne çıkan 4 ayaklı robotlar literatürde en çok karşılaşılan ayaklı robotlardır. Bu çalışmada etkin hareket kabiliyetine sahip 4 ayaklı bir robotun tasarımı gerçekleştirilmiştir. Robota ait simülasyon yazılımları, fiziksel modelleme, yürüyüş ve denge algoritmalarına ilişkin yazılımlar özgün olarak geliştirilmiştir. Yapılan çalışmada, bilgisayar ortamındaki modelleme fiziksel modellemeyi şekillendirmiş, fiziksel modelleme üzerinde elde edilen dört ayaklı robotun yürüyüş ve denge algoritmaları geliştirilmiştir. Robotun elektronik ve mekanik sistemlerinin uyumlu bir şekilde çalışması ve robotun temel yürüyüş hareketlerini dengeli bir şekilde gerçekleştirmesi sağlanmıştır. Proje kapsamındaki amaçlanan ana hedef özgün olarak tasarlanacak robota eğimli arazilerde de etkin bir hareket kabiliyeti kazandırılmasıdır. Tasarlanan robotun esnek, hızlı hareket kabiliyetine sahip olması için, memeli hayvanlardan olan kedi örnek alınmış, her bir ayağı 3 serbestlik derecesine sahip olan, toplamda 12 serbestlik derecesine sahip bir hayvan modeli seçilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Robotik, 4 Ayaklı Robot, Arduino.

Abstract

Robots which can move through their legs are more advantageous than other robots in overcoming obstacles. Quadruped robots that standing out with their features such as ease of balance and fast movement are the most encountered robots in the literature. In this study, a quadruped robot has effective mobility is designed. Robot simulation software, physical modeling, gait and balance algorithms are originally developed. The modeling on the computer is lead the physical modeling of the robot. The gait and balance algorithms of the quadruped robot are developed based on the physical modeling. It is ensured that the electronic and mechanical systems of the robot work in harmony and the robot performs its basic walking movements in a stable state. The main objective within the scope of the project is to give the robot to be designed specifically an effective mobility on sloping terrain. The robot which has flexible and fast movement capabilities and has total of 12 degrees of freedom (each foot having 3 degrees of freedom) is designed with inspiring from cat.

Keywords- Robotics, 4-Legged Robot, Arduino

1. Giriş

İnsanlar, varoluşlarından bu yana doğadaki canlıları inceleme ve davranışlarından ilham alarak hayatlarını kolaylaştıracak yeni teknolojiler geliştirmeye çalışmıştır. Bu amaçla yapılan çalışmalardan biri de dört ayaklı robotlardır [1]. Geleneksel tekerlekli/paletli mobil robotlara kıyasla, biyolojik olarak canlılara benzetilen ayaklı robotlar, yüksek hareket kabiliyeti sayesinde, belirli yolu takip etmeden, zor koşullarda bile kritik görevleri yerine getirebilmektedir. Geliştirmeye açık oldukça fazla unsurlarının bulunması sebebiyle robotik alanda popüler olarak yer bulmaktadırlar [2- 3].

Ayaklı robotlar için toplam ağırlığı azaltmak ve ayaklar arasındaki koordinasyonu sağlamak açısından en az sayıda ayağa sahip olmak avantajlıdır. Ayrıca ayak sayısı azaldıkça yerle teması da azalır, bu da robotu zorlu arazilerde hareket etmeye daha uygun hale getirir. Ancak ayaklı robotların birincil sorunu olan denge sorunları, ayak sayısı azaldıkça artmaktadır. Dinamik olarak kararlı bir robot tasarımı için ağırlık merkezinin konumunu değiştirebilen ya da merkezi düzenleyen kuvvetler test edilerek kendisini dengede tutabilecek en az ayak sayısı olması gerekir [4]. İşte bu nedenle, ayaklı robot oluşturma sürecinde tanımlanacak ilk karakteristik ayak sayısı olmalıdır. Robotun sahip olduğu ayak sayısı; kararlılık ve güvenilirlik ile hız, minimum ağırlık ve maliyet gibi özellikleri arasındaki denge ile belirlenir [5]. Gerekli ayak sayısı, karmaşıklık, stabilite, maliyet ve toplam ağırlık açısından incelendiğinde, dört ayaklı robotların en uygun çözümler sergileyebileceği görülmektedir. Genel olarak incelendiğinde, dört ayaklı robotlar tek ve iki ayaklı robotlara kıyasla daha kararlı ve güvenilirlerdir. Ayrıca altı ayaklı veya daha fazla ayaklı robotlara kıyasla; az karmaşık, ucuz ve hafiftir [4-6].

Literatürde dört ayaklı robotların kinematik modellerinin çıkarılmasına yönelik çalışmalar incelendiğinde; üssel yöntem, homojen dönüşüm yöntemi, sıfır referans konum yöntemi, tam ve parametrik sürekli yöntem, pieper-roth yöntemi, kartonyum uzayında kinematik modelinin çıkarılması yöntemleri kullanıldığı görülmektedir [7]. Bu çalışmada robota ait eksenel hareketler ters kinematik model kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Proje kapsamında tasarlanan robotun esnek, hızlı hareket kabiliyetine sahip olması için, memeli hayvanlardan olan kedi örnek alınmış, her bir ayağı 3 serbestlik derecesine sahip olan, toplamda 12 serbestlik derecesine sahip bir hayvan modeli seçilmiştir [8].

Proje kapsamında öncelikle robota ait simülasyon yazılımları, fiziksel modeller, yürüme ve denge algoritmaları geliştirilmiştir. Bu çalışmada bilgisayar modellemesi fiziksel modellemeyi şekillendirmiş ve fiziksel modelleme ile elde edilen dört ayaklı robotun yürüme ve denge algoritmasını geliştirmiştir. Tasar-

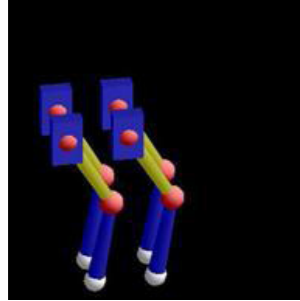
lanan robotun elektronik ve mekanik sistemlerinin koordineli çalışması ve robotun temel yürüme hareketlerini gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Robotun mekanik tasarımı alüminyum boru ve profiller kullanarak gerçekleştirilmiştir. Simülasyon ortamında elde edilen yürüme modelleri arduino ve servo motorlar yardımıyla gerçek ortama aktarılmıştır.

2. Tasarım Modelleme

2.1. Dört Ayaklı Robot Simülasyonu

İlk olarak dört ayaklı robot, bir simülasyon ortamında uygulanmıştır. Simülasyon ortamında; C++ programlama dili, Visual Studio programında OpenGL kitaplığıyla birlikte kullanılmıştır. OpenGL grafik kitaplığı, hareketli görüntüler oluşturabilen ve etkileşimli uygulamaların hazırlanmasına olanak tanıyan iki boyutlu veya üç boyutlu nesnelere oluşan bir C++ kitaplığıdır [9].

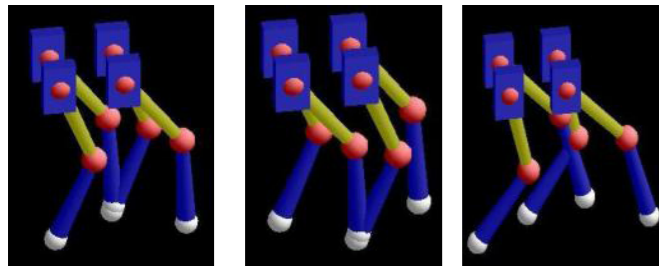
Simülasyon çalışmasında önce, robotun sadece bir ayağı tasarlanmıştır. Bu tasarımın özellikleri diğer ayaklar için de geçerlidir. Tek ayak için yazılan kodlar diğer ayaklar için uygun koordinatlara taşınarak kullanılmıştır.



Şekil 1: Simülasyon için Dört Ayak Tasarımı

Önceden belirlenen eklem açıları kullanarak if-else döngüleri ile hareket sağlanmıştır. Simülasyonun dört ayak için hareket kodları ise ön iki ayak referans alınarak yazılmıştır. Daha sonra arka iki ayak için de bu kodlar uygun yürüyüş modeline göre kullanılmıştır.

Yürüyüş pek çok şekilde yapılabilir. Yürüme stili; ayakların sallanma sırası, salınım süresi, destek aşamasının süresi ve sallanma aşamasının süresi ile tanımlanır [10].



Şekil 2: Simülasyonda Ayak Hareketleri

Dört ayaklılarda gözlenen yürüyüş parametreleri; emekleme (crawl), tırıs (trot), rahvan (pace), eşkin (canter) ve dörtına (gallop) gidiştir [11]. Emekleyerek yürüyüş şeklinde sırasıyla; Sol ön, sağ arka, sağ ön, sol arka ayaklar hareket etmektedir. Tırıs yürüyüş modeli birçok dört ayaklı canlıda, özellikle deve ve atlarda gözlemlenir. Bu yürüyüşte çapraz ayaklar aynı anda hareket eder [10]. Rahvan yürüyüş modelinde; Aynı taraftaki ayaklar, tırısa çok benzer şekilde birlikte hareket eder. Bu

yürüyüş kertenkelelerde ve semenderlerde görülür. Eşkin ve dörtına, atlarda görülen hızlı ilerleme şekilleridir. Yapılan simülasyonda robotun eklem açılarına dayalı iki farklı yürüme modeli başarıyla uygulanmıştır. Bunlar:

1. Yürüyüş modeli: Sol ön ve sağ arka kolların aynı anda hareket ettiği; sağ ön ve sol arka kolların aynı anda hareket ettiği çapraz yürüyüş modelidir.

2. Yürüyüş modeli: Bu, her ayağın farklı zamanlarda hareket etmesine izin veren tek tek yürüme modelidir.

2.2. Mekanik Tasarım

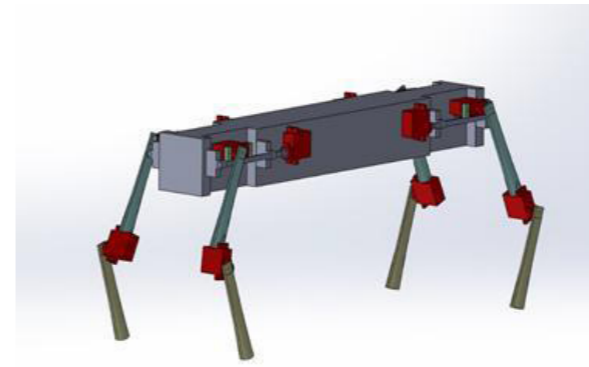
Ayak tasarımı, dört ayaklı robotlar için gerekli hareket özgürlüğünü sağlar [12]. Bu nedenle çok önemlidir. Birincil olarak ayak tasarımında ayakların kaç serbestlik derecesi olacağı belirlenmelidir. Bunun için, doğadaki örnekler ve ayaklar incelendiğinde üç serbestlik derecesi bulundurmasına karar verilmiştir.

Robotu etkin bir şekilde kullanabilmek için ayak yapısının çok güçlü olması gerekmektedir. Ayak tasarımı sırasında motorun eklemlere nasıl yerleştirileceği düşünülerek; eklem boyutu, yatak seçimi ve motor uygunluğu gibi konular ele alınmalıdır. Ayak eklem tasarımında en önemli konu ise motorun eklem içine nasıl yerleştirileceğidir. Birçok yürüyen robot örneğinde, motor doğrudan mekanik yükü maruz kalır, yani bir taşıyıcı olarak kullanılır. Bu yöntem elverişsizdir çünkü kullanılan motorun dayanabileceği mekanik yük açısından belirli sınırlamaları vardır [13]. Bu nedenle bu tasarımda motor mil üzerine bir yatak vasıtasıyla yerleştirilmiştir ve rulmanlar mil üzerine monte edilmiştir. Bu sayede bu rulmanlar, motorun mekanik yüküne dayanmasını sağlamaktadır. Ayakların sürekli hareket edeceği ve rulmanların aksel ve radyal yönlerde değişen kuvvetlere dayanacağı göz önünde bulundurularak, rulmanlar daha büyük kuvvetlere dayanabilecek şekilde seçilmiştir.

Katı modelleme, nihai modelleme tekniğidir. Gerçek anlamda nesnenin iç ve dış geometrisinin tanımlanmasıdır. CAD programları; nesnelere katı modelleme için kullanılmaktadır. Bu projede CAD programı olan SolidWorks kullanılmıştır. Tasarım sırasında bir kedinin vücut ölçüleri dikkate alınmıştır. Vücut ölçüleri; gövde boyu 35 cm, eni 16 cm, ön üst kol 10 cm, ön alt kol 12 cm, arka üst kol 12 cm, arka alt kol 10 cm olarak belirlenmiştir. Tasarımımızda; gövde, üst kol, alt kol, servo motor, motor yatağı, mil ve rulman gibi parçaların modellenmesi yapılmıştır. Montaj ilişkisi önce bir ayak için oluşturulmuştur. İkincil olarak dört ayak ve gövde bağlantıları için montaj ilişkisi oluşturulmuştur.



Şekil 3: SolidWorks Programında Bir Ayak



Şekil 4: SolidWorks Programında Dört Ayak ve Gövdenin Gerçekleştirilmesi

2.3. İncise Kinematik Model

Robotun yalpalama açısı, eğim açısı, yuvarlanma açısı sırasıyla ϕ , ψ , ω olarak temsil edilmektedir. İstenilen robot gövde açıları (ϕ , ψ , ω) içeren ve sırasıyla Denklem 1, Denklem 2 ve Denklem 3 ile verilen R_x , R_y ve R_z matrisleri Denklem 4' de belirtildiği gibi çarpılarak Denklem 5 ile verilen 4×4 'lük T_m dönüşüm matrisi elde edilmiştir. T_m matrisi ile robotun her bir ayak uç noktasını temsil eden x, y, z 3 eksen noktasını içeren 4×1 boyutundaki konum matrisi ile çarpılarak ilgili ayağa ilişkin son konum noktaları elde edilmiştir [8]. Robot gövdesinin konumunu temsil eden ϕ , ψ , ω açıları ile robot gövdesinin almasını istediğimiz son durum, T_m dönüşüm matrisi ile her bir ayağın mevcut konumunu içeren 4×1 boyutundaki Denklem 6 ile ön sol ayak için örneği verilen konum matrislerinin (K_{son}) çarpılmasıyla elde edilir. Çarpım sonucu bize her bir ayağın x, y, z koordinatlarını vermektedir.

$$R_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(w) & -\sin(w) & 0 \\ 0 & \sin(w) & \cos(w) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$R_y = \begin{bmatrix} \cos(\phi) & 0 & \sin(\phi) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(\phi) & 0 & \cos(\phi) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$R_z = \begin{bmatrix} \cos(w) & -\sin(w) & 0 & 0 \\ \sin(w) & \cos(w) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$R_{xyz} = R_x R_y R_z \quad (4)$$

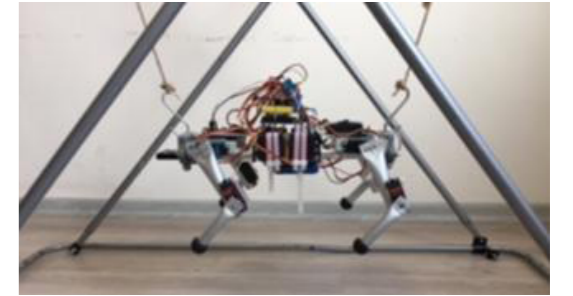
$$T_m = R_{xyz} x \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & X_m \\ 0 & 0 & 0 & Y_m \\ 0 & 0 & 1 & Z_m \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$K_{son} = \begin{bmatrix} X_{on_sol} \\ Y_{on_sol} \\ Z_{on_sol} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

3. Robotun Gerçekleştirilmesi

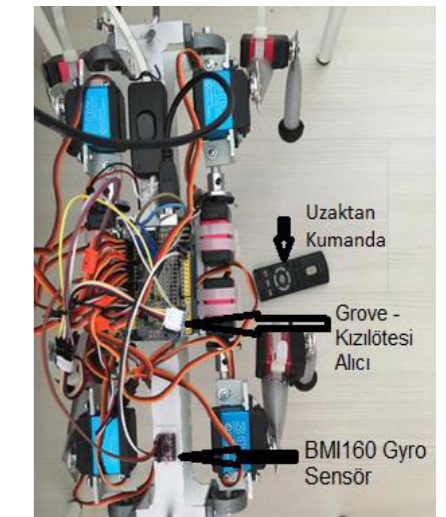
Öncelikle robotun tek bir ayağının çalışması için gerekli kodlama Arduino ortamında yapılmıştır. Sonrasında tek uzvun çalışmasından yola çıkılarak 12 adet servo motorun senkronize şekilde çalışması sağlanmıştır. Örnek olarak ileri yön tek kol hareketi belirlenen açı aralıklarında dirseğin kapatılması, kolun ileri hareket ettirilmesi, dirseğin tekrar açılması ve kolun eski konumuna döndürülmesi adımlarından oluşmaktadır. Simülasyon ortamında gerçekleştirilen iki farklı yürüme modeli gerçek ortamdaki robot modeline Arduino aracılığı ile taşınmıştır.

Test çalışmalarının tümü robot askıda, motorlar yüksüzken gerçekleştirilmiştir. Şekil 5'de robotun askıdaki çalışmaları gösterilmiştir. Gerçek denemeler 5V 3A harici batarya yardımıyla yapılmıştır. Yapılan çalışmada BMI160 Gyro Sensör modülünden elde edilen anlık veriler ile zemindeki eğimin değişimine göre servo motorların uygun pozisyonu alması sağlanmıştır. Bilindiği üzere eğimli yüzeylerde robotun eğime göre ayak konumlarını değiştirmesi gerekmektedir. BMI160 entegrasyonu ile ilgili modülün alınan 3 adet ivme ve 3 adet eğim verisi kullanılarak robotun olması gereken x ve y eksenlerine ilişkin açıları hesaplanmış ve robota uygulanmıştır. Bu değerler sırası ile x eksen için kol servo açılarına, y eksen için omuz servo açılarına bir ofset değeri olarak etki etmektedir.



Şekil 5: Robotun Askı Çalışmaları

Robota kızılotesi kumanda vasıtasıyla gönderilen komutlar, yine bir kızılotesi alıcı vasıtasıyla alınıp robot tarafından karar verilmektedir. Robot bu kumanda yardımıyla yürüme, durma, oturup kalkma ve yürüyüş modelini değiştirme işlemlerini gerçekleştirebilmektedir. Kullanılan bazı malzemeler Şekil 6' da verilmiştir.



Şekil 6: Robotta kullanılan Gyro sensör, Uzaktan kumanda ve Kızılotesi alıcı

4. Sonuç

Proje kapsamında; öncelikle simülasyon ortamında her kolda 3 eklem ve toplam 12 eklem noktası olacak şekilde dört ayaklı bir robot tasarlanmıştır. Simülasyon ortamında iki farklı yürüme modeli başarıyla uygulanmıştır. Bunlardan ilki, ön sol ve arka sağ kolların aynı anda hareket ettirildiği; ön sağ ve arka sol kolların aynı anda hareket ettirildiği yürüme modelidir. İkincisi ise her ayağın farklı hareket ettirilmesine imkan veren tek tek yürüme modelidir.

Dört ayaklı robotun mekanik tasarımında, CAD programı olan SolidWorks kullanılmıştır. Bu programda kullanılan uzunluklar için, bir sokak kedisi baz alınmıştır. Tasarlanan modelde motor başına düşen yük miktarını azaltmak için mil ve rulman kullanılmıştır. Böylelikle motorların zarar görmesi engellenmiştir. Robotun modellenmesinde önce Solidworks programında parça çizimi yapılmış. Daha sonra da; önce bir ayak için montaj ilişkisi kurulmuş, sonra da dört ayak ve gövde bağlantıları için montaj gerçekleştirilmiştir.

Simülasyon ortamından elde edilen sonuçlar ışığında dört ayaklı robotumuz gerçek ortamda eklem için 12 adet dijital servo motor, gövde ve ayaklar için ise alüminyum profil kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Motorların ihtiyaç duyduğu akım göz önünde bulundurularak devre 5 volt 10 amperlik bir güç kaynağı ile beslenmiş, deneysel çalışmalar bir askı aparatı yardımıyla yine bu güç kaynağı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Gerçek yürüyüşler için test aşamasında 5 volt 3 amperlik bir batarya ile robotun bağımsız hareket etmesi sağlanmıştır. Gerçek ortamdaki hareket kodları robota Arduino kart aracılığı ile aktarılmıştır. Motorlar için yine Arduino kartı ile uyumlu 12 bit 16 kanal servo sürücü kart kullanılmıştır. Arduino karta eklenen RF alıcı modül aracılığı ile, yine RF kumandanadan gönderilen bilgilerle robot kontrolü sağlanmıştır. Simülasyon ortamında kodladığımız tek tek ve çapraz yürüme modelleri gerçek robota başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Ayrıca, otur kalk hareketleri de robotun şu an yapabilecekleri arasındadır. BMI160 Gyro Sensör modülünden elde edilen anlık veriler ile zemindeki eğimin değişimine göre servo motorların uygun pozisyonu alması sağlanmıştır. Gerçekleştirilen proje kapsamında, 12 eklemde oluşan bir sistemin uyumlu bir şekilde çalışması sağlanmıştır. Bundan sonraki çalışmalarda geliştirilen robotun mekanik iyileştirmelerinin yanı sıra etkileşiminin artırılması amaçlanmaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TUBİTAK) tarafından 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı çerçevesinde desteklenmiştir.

5. Kaynaklar

- [1] Kimura, H., Fukuoka, Y., "Adaptive Dynamic Walking of a Quadruped Robot on Irregular Terrain by Using Neural System Model." IFAC Proceedings Volumes, 33(26): 585-590, (2000).
- [2] Yang, Y. et al., "Leg mechanisms for hydraulically actuated robots." 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. St. Louis, MO, USA: IEEE, 4669-4675, (2009).
- [3] E., Kurşuncu, "İki Tekerlekli Dengele Durabilen Robotlarda Kontrol Metotları", Karabük Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Lisans Bitirme Tezi, 2016.
- [4] Şen, M.A, Kalyoncu, M., 2020, "Dört Ayaklı Robotların Modellenmesi, Kontrolü Ve Engebeli Yüzeylerde Yürüyüşü Üzerine Bir Literatür Araştırması", Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi, c. 9, s. 1, 250-279, 2021.
- [5] Semini, C., "HyQ - Design and Development of a Hydraulically Actuated Quadruped Robot." Ph.D Thesis, University of Genoa, (2010).
- [6] Aceituno-Cabezas, B., Dai, H., Mastalli, C., Focchi, M., Radulescu, A., Caldwell, D. G., Cappelletto, J., Grieco, J. C., Fernández-López, G. ve Semini, C., 2018, "Simultaneous contact, gait, and motion planning for robust multilegged locomotion via mixed-integer convex optimization", IEEE Robotics and Automation Letters Vol. 3, No. 3, pp. 2531-2538.
- [7] Küçük, S., Bingül, Z., 2004, "Robot Sistemlerinde Kinematik Yöntemlerin Karşılaştırılması", Journal of Polytechnic, Vol: 7 No: 2 pp. 107-117, 2004.
- [8] Şen, Muhammed Arif & Bakırcıoğlu, Veli & Kalyoncu, Mete. (2017). Inverse Kinematic Analysis Of A Quadruped Robot. International Journal of Scientific & Technology Research.
- [9] Addison Wesley, "OpenGL Programming Guide", 6th Edition, 2008.
- [10] Fidan, K, Akbaş, T, Eskimez, Ş, Özel, S, Adak, Ö, Drama, Ö, Konukoğlu, M, Yılmaz, G, Erbatur, K., 2011, "Dört Bacaklı Robotlar için Önizlemeli Kontrol ile Sıfır Moment Noktası Tabanlı Yürüme Yörüngesi Sentezi", Sabancı Üniversitesi.
- [11] S. Hirose, Y. Fukuda, K. Yoneda, A. Nagakubo, H. Tsukagoshi ve K. Arikawa, et al. "Quadruped Walking Robots at Tokyo Institute of Technology." IEEE Robotics and Automation Magazine , s:104-114, 2009.
- [12] Uzundere, C, 2007, "Sekiz Bacaklı Mobil Robotun Mekanik Tasarımı, Modellenmesi Ve Lokomasyonu", İTÜ.
- [13] Noordin, A, 2011, "Development Of 4-Legged Walking Robot And Movement Algorithm", Universiti Teknikal Malaysia Melaka, pjp/2011/fke (6a) s00824.

Yazılım Tanımlı Radyo Kullanarak Uçan Bir Platformdan Telemetri İletimi

Telemetry Transmission From a Flying Platform Using Software Defined Radio

Nihan Yılmaz¹, Algi Küçükyavuz², Rabia Kapan³ Cenk Toker*

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Hacettepe Üniversitesi

{nihanyilmaz¹, algikucukyavuz², rabiakpn173}@hacettepe.edu.tr, cenk.toker@ee.hacettepe.edu.tr*

Özet

Bu bildiri uçan bir platformdan alınan telemetri verisinin yazılım tanımlı radyo kullanarak yer istasyonuna iletimini anlatan bir çalışmayı sunar. Drone üzerindeki haberleşme sistemi ile yer istasyonu arasındaki veri iletimi LimeSDR ve USRP gibi yazılım tanımlı radyo kullanılarak yapılmıştır. Drone uçuş denetleyicisi Pixhawk'tan alınan telemetri verileri Frekans Kaydırmalı Anahtarlama tipinde modülasyon kullanılarak yeryüzüne gönderilmiştir. Drone üzerindeki çeşitli parametreleri, örn. hız, pil seviyesi, tüketilen güç, ivme, irtifa, titreşim ve yuvarlanma, yalpalama ve perde gibi jiroskop değerleri yere gönderilir. Raspberry Pi, küçük olduğu için drone üzerinde LimeSDR'ı çalıştıran bilgisayar görevi görür. Bu çalışma, drone baz istasyonu projelerinin temeli niteliğinde görülebilir.

Anahtar Kelimeler: Drone, kablosuz iletişim, FSK, dijital modülasyon, telemetri, LimeSDR, USRP, SDR, Raspberry Pi, Pixhawk, GNURadio.

Abstract

This paper presents a study describing the transmission of telemetry data received from a flying platform to the ground station using software defined radio. Data transmission between the communication system on the drone and the ground station has been made using software defined radios such as LimeSDR and USRP. Telemetry data taken from the drone flight controller Pixhawk is sent to the ground by using Frequency Shift Keying modulation type. Various parameters of the drone e.g. speed, battery level, consumed power, acceleration, altitude, vibration and gyroscope values such as roll, yaw and pitch are sent to the ground. Raspberry Pi acts as the computer that runs LimeSDR on the drone since it is small. This work can be seen as the foundation of drone base station projects.

Keywords: Drone, wireless communication, FSK, digital modulation, telemetry, LimeSDR, USRP, SDR, Raspberry Pi, Pixhawk, GNURadio.

1. Giriş

Bu çalışma temel olarak uçan bir platform üzerine yerleştirilmiş kablosuz bir iletişim sistemidir. İnsansız hava araçları gibi uçan platformların haberleşme sistemlerinde kullanımı oldukça yaygındır. Özellikle, hareketlilik, esneklik, uyarlanabilir irtifa ve uygun maliyet gibi nitelikleriyle, İHA'lar kablosuz sistemlerde birkaç önemli potansiyel uygulamaya imkan sağlar.

Baz istasyonları, karasal iletişim ağlarının bir parçasıdır. Karasal iletişim ağları sel, deprem vb. felaketler ve aşırı koşullar nedeniyle kesintiye uğrayabilir. Bu gibi durumlarda, yüksek irtifaya sahip dronlar ile iletişim ağları, yalnızca havacılık sınırlamaları ile kısıtlanan herhangi bir yörünge boyunca hareket ederek kişilerin güvenliğini sağlar.

İHA'lar ayrıca kapsama alanını, kapasiteyi, güvenilirliği, görüş hattı bağlantı olasılığını ve kablosuz ağların enerji verimliliğini artırmak için de kullanılabilir. Öte yandan, İHA'lar bir hücresel ağ içinde uçan mobil terminaller olarak da çalışabilir. Bu tür hücresel bağlantılı İHA'lar, gerçek zamanlı video akışından ürün teslimine kadar çeşitli uygulamaları etkinleştirebilir. Bu nitelikler bir araya geldiğinde, drone baz istasyonları yeni bir iletişim dünyasının kapılarını açar [1-3].

Drone baz istasyonu literatürde pek çok şekilde yer alırken endüstride farklı firmalar tarafından farklı şekillerde uygulanmaktadır. Bu çalışmaların literatürde yer almasının sebebi, insansız hava araçlarının hareketli ve esnek olması açısından kablosuz haberleşmede yüksek potansiyele sahip olmasıdır. İnsansız hava araçlarının iletişimi sırasında yaşanabilecek aksaklıkların giderilmesinde optimizasyon teorisi, makine öğrenmesi ve oyun teorisi gibi farklı yöntemlerle çözümler sunan çalışmalar da vardır [4]. Hücresel haberleşmede, maksimum kullanıcıya hizmet edebilmek için drone baz istasyonlarının optimum dağılımını bulmayı hedefleyen çalışmalar da yürütülmektedir [5]. Bunun yanı sıra, insansız hava araçlarının güç ve uçuş dinamikleri açısından enerji verimli konuşturulması da ele alınmaktadır [6].

Drone baz istasyonu denildiğinde, bir haberleşme teknolojisi de belirlenmelidir. Kablosuz haberleşme düşünüldüğünde, Wi-Fi, Bluetooth, 4G ve 5G gibi pek çok teknoloji akla gelmektedir. Bu teknolojileri destekleyen birçok cihaz da literatürde mevcuttur. Günümüzde, değiştirilebilir olması, hafif olması ve birçok modülasyon türünü desteklemesi açısından haberleşmeye yeni bir soluk getiren yazılım tanımlı radyolar, drone baz istasyonları için büyük bir fırsat sunmaktadır. RTL-SDR, HackRF-One, LimeSDR ve USRP bu cihazların arasında yer almaktadır. Yazılım tanımlı radyolar, kolay değiştirilebilmesinin yanı sıra, programlanmasında GNURadio, LabView ve Matlab gibi birçok farklı programlama seçeneği ile kolayca erişilebilir olduklarından, bir haberleşme istasyonu için haberleşme modülü oluşturulurken pek çok avantaj sağlamaktadır.

Yazılım tanımlı radyolar ile oluşturulan haberleşme sistemlerine literatürde sıkça rastlanmaktadır. Farklı yazılım tanımlı radyo cihazlarıyla farklı modülasyon tekniklerini içeren haberleşme sistemleri tasarlanmıştır [7-9]. Yapılan araştırmalar temel alınarak, bu çalışmada iletişim sistemi tasarımında esneklik sağlayan yazılım tanımlı radyolar ile drone kullanımı fikirleri

birleştirilmiştir. Bu çalışmada, yer istasyonu için alıcı/verici görevi yapmak üzere USRP, drone platformu için de hafif olması ve hareket kabiliyeti katması açısından alıcı/verici olarak LimeSDR tercih edilen bir haberleşme istasyonu tasarımı yer almaktadır.

2. Kablosuz Haberleşme

Yazılım tanımlı radyo

Teknolojinin gelişmesine rağmen birçok haberleşme cihazında en önemli sorunlardan biri, protokollerin ve radyonun donanım temelli olmasıdır. Bu durum, sistemi yeniden programlama ve biçimlemeyi minimal bir düzeyde kısıtlamak zorunda bırakır. Dolayısıyla bir hata olması durumunda bunu düzeltmek için ucuz ve kolay bir çözüm yolu bulmak pek mümkün değildir. Ayrıca, bu tarzda cihazlar genel olarak tek tür protokole uyacak şekilde kısıtlıdır. Yazılım tanımlı radyo platformlarının esnekliği, bütün devreyi sadece yazılımla değiştirebilmekten gelmektedir. Normalde, donanımla uygulanan haberleşme protokolleri, yazılımla uygulanıp iletişim sistemi yazılımla güncellenebilir. Bu sebeple, günümüzde bu cihazlar iletişim araçları olarak sıkça kullanılmaktadır [10]. LimeSDR ve USRP en çok kullanılan yazılım tanımlı radyolardan ikisidir. Her iki cihaz da farklı modülasyonları ve protokolleri desteklemektedir.

İletişim

LimeSDR ile USRP arasında iletilecek telemetri verileri bayt türünde yani dijital veriler şeklindedir. Dolayısıyla kullanılacak modülasyon türü dijital veriyi analog bir sinyale dönüştürecek şekilde olmalıdır. Bu nedenle dijital bir modülasyon türü olan frekans kaydırmalı anahtarlama kullanılmıştır.

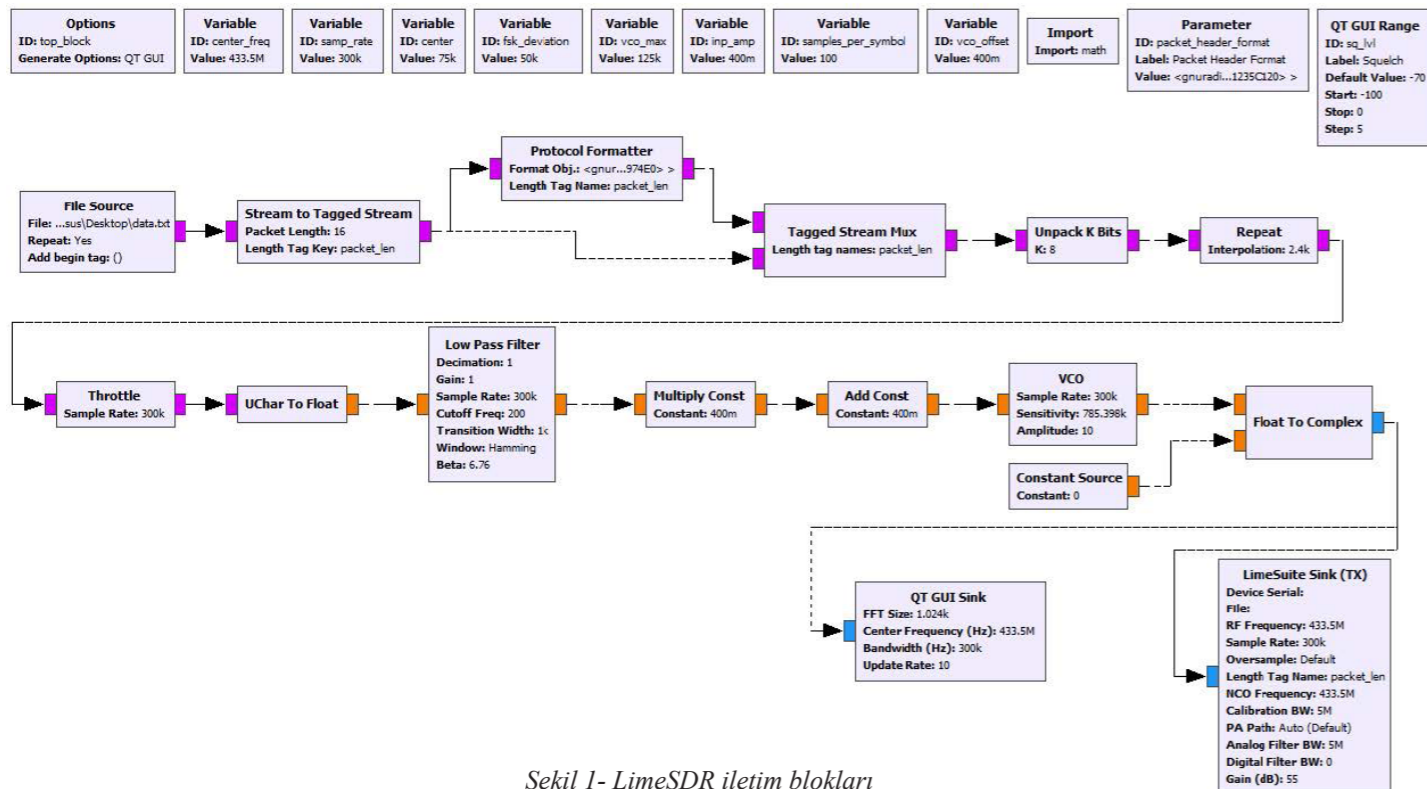
İletişimde cihazları programlayabilmek için GNURadio kullanılmıştır. GNURadio'da modülasyon ve demodülasyon yanında veri senkronizasyonu üzerine de çalışılmıştır [11].

GNURadio'da kurulan iletim blokları diyagramı Şekil-1'de gösterilmiştir.

Bu işlemler için öncelikle, kaydedilen telemetri verilerinden oluşan dosya paket halinde alınır. Bit senkronizasyonunu sağlamak için her paketin başına bir header kısmı eklenir. Daha sonra bu paket bayt boyutundan bitlere ayrılır ve vektör haline getirilir. Bitlere ayrılan veri vektörü, repeat bloğundan geçirilerek bit örneklerinin sayıları interpolasyonla artırılır. Buradaki interpolasyon değeri, sistemde kullanılan örnek sayısı ve gönderim hızıyla doğru orantılıdır. Gönderilecek verinin boyutu da göz önüne alınarak ideal olması sebebiyle 100 bit/s baud hızı esas alınmıştır. Veriyle beraber paket başında header da olması sebebiyle asıl veriyi 100 bit/s hızda ulaştırabilmek için veri hızı 125 bits/s olacak şekilde hesaplanmıştır. Buradan interpolasyon değeri örnek sayısı ile 1/125 saniyelik bit süresi çarpımı şeklinde hesaplanır. Bit interpolasyonu devamında vektördeki veriler karakter tipinden sayılara dönüştürülür. Dönüştürülen sinyal filtrelenir. Devamında, ikili frekans kaydırmalı anahtarlama kullanılması sebebiyle sinyalleri istenilen frekanslara eşleyebilmek için vektördeki sayılar belirli seviyelere çekilir. Bu, Multiply Const ve Add Const bloklarıyla yapılır. Tasarlanan sistemde Çizelge-1'deki ve eşitliklerdeki değerler kullanılmıştır.

Çizelge 1: Haberleşme Sistemi İçin Seçilen Parametre Değerleri

Parametreler	Değerler(kHz)
f1	50
f2	100
Frekans kayması (Δf), fsk_deviation	50
Merkez Frekansı, center	75
Tam Ölçekli Frekans, vco_max	125
Taşıyıcı Frekansı	433500



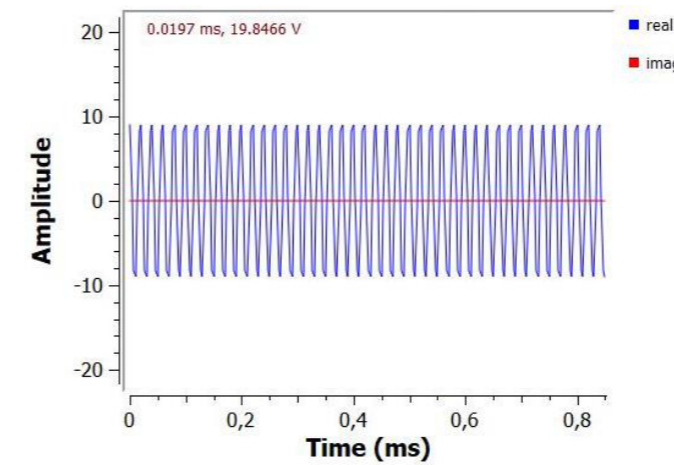
Şekil 1- LimeSDR iletim blokları

$$vco_{offset} = \frac{f1}{vco_{max}} \quad (1)$$

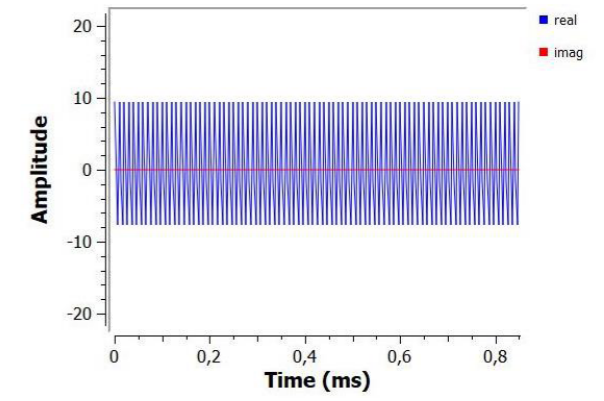
$$inp_{amp} = \frac{f2}{vco_{max}} - vco_{offset} \quad (2)$$

$$vco_{sensitivity} = 2\pi vco_{max} \quad (3)$$

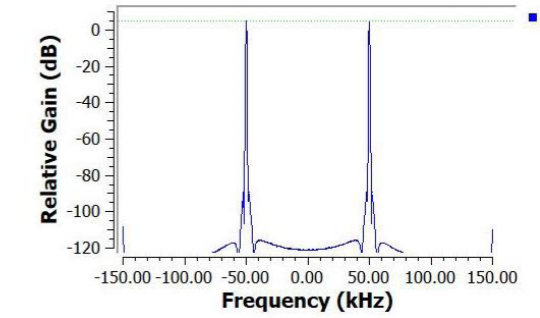
Bu değerlerle, voltaj kontrollü osilatör kullanılarak sinyal belirli frekans değerlerine sahip analog bir sinyale dönüştürülür. Oluşan bu sinyal gelen bit değerine göre önceden belirlenen frekans değerine yukarıda belirtilen eşitlikler sayesinde eşlenir. Ardından bu sinyal önce LimeSDR'a iletilip antenden kanal aracılığıyla yer istasyonuna iletilir. İletilen sinyaller, Şekil-2 ve Şekil-3'te gösterildiği gibidir.



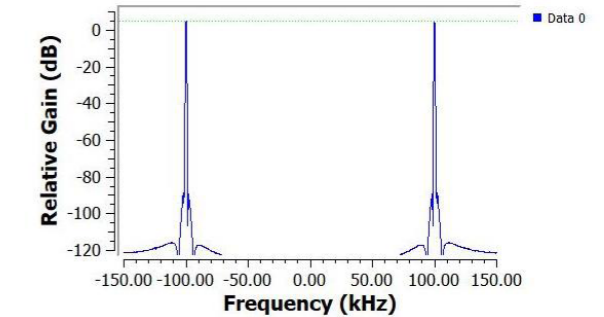
Şekil 2- İletilen Sinyalin Zaman Eksenindeki Görünümü ($f1 = 50kHz$ ekran alıntısı)



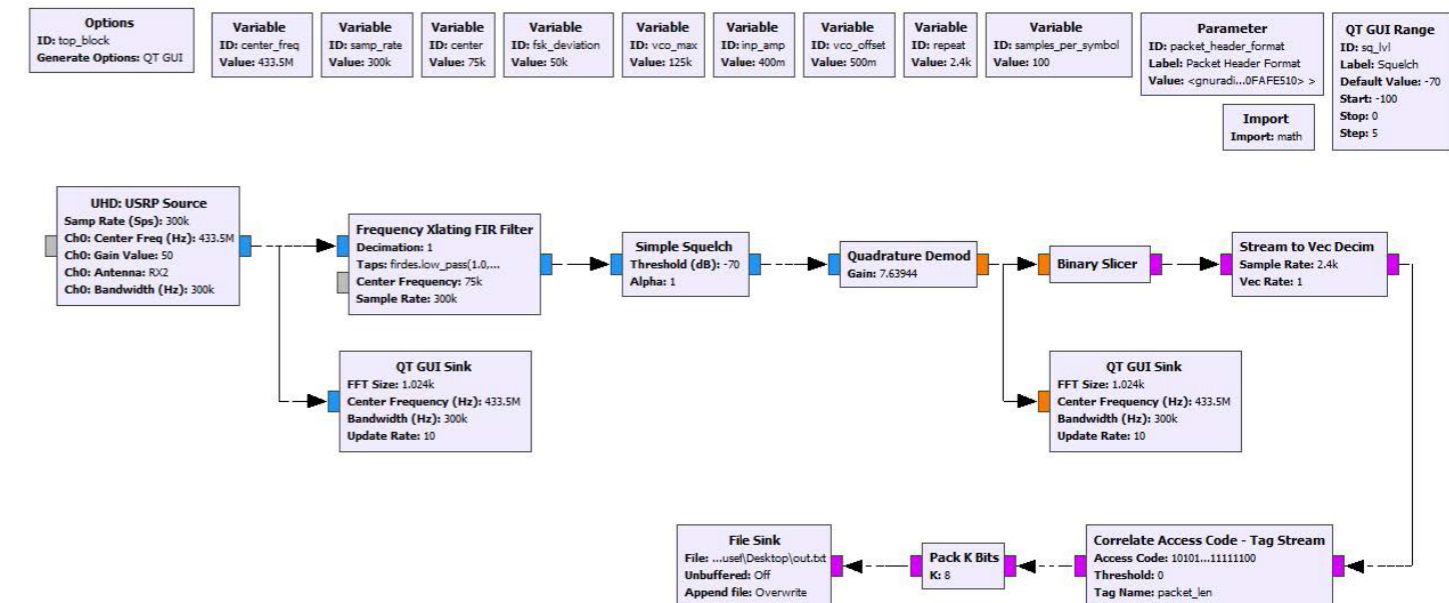
Şekil 3- İletilen Sinyalin Zaman Eksenindeki Görünümü ($f2 = 100kHz$ ekran alıntısı)



Şekil 4- İletilen Sinyalin Frekans Ekranı ($f1 = 50kHz$)



Şekil 5- İletilen Sinyalin Frekans Ekranı ($f2 = 100kHz$)



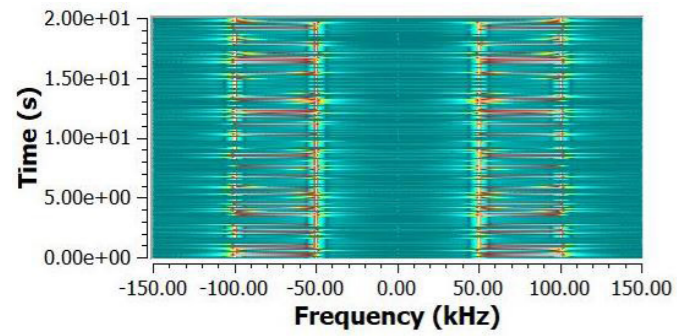
Şekil 6- USRP alım blokları

Şekil-2’de 50kHz’e denk gelen sinyal aralığı, Şekil-3’te 100kHz’e denk gelen sinyal aralığı görülmektedir.

Şekil-4 ve Şekil-5’te frekans ekseninde 50kHz ve 100kHz değerlerinde sinyalin zıpladığı görülmektedir. USRP tarafından alınan sinyal, GNURadio’da kurulan alım bloklarında işlenir. Alım bloklarının diyagramı Şekil-6’da görüldüğü gibidir.

Şekil-7’de şelale ekranı gösterilen bu iki frekanslı sinyal, filtrelendikten sonra Quadrature Demod bloğu ile iki seviyeli bir sinyale dönüştürülür. Bu bloğun girişi kompleks tabanlı bir sinyaldir ve çıkışı örnek sayısı ve blok kazancıyla ilişkili frekans değerleridir. Blok içindeki kazanç değeri aşağıdaki eşitlikte gibi hesaplanır.

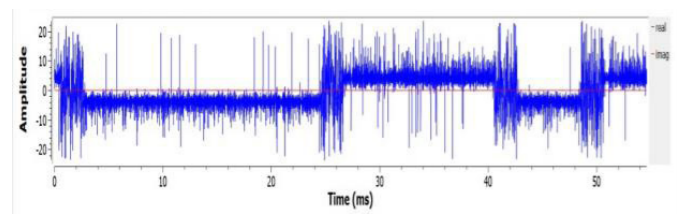
$$Gain = \frac{samp\ rate}{2\pi fsk\ deviation} \quad (4)$$



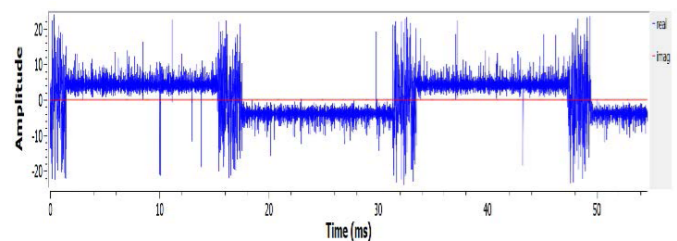
Şekil 7- Alınan sinyalin şelale ekranı

Şekil-8 ve Şekil-9’da görülen Quadrature Demod bloğunun çıkışındaki iki seviyeli sinyal, 1 ve 0 şeklinde bitlere sinyal seviyesine göre kestirilir. Elde edilen bit örnekleri, orijinal örnek sayısına ulaşabilmek için Stream to Vec Decim bloğundan geçirilir. Bu bloktaki örnek sayısı iletim bloklarındaki repeat bloğunun değeriyle aynıdır. Orijinal örnek sayısındaki bit vektörü elde edildikten sonra, vektördeki header kısmına kilitlenilir ve bu kısım yakalandıktan sonra vektörden çıkartılıp bit vektöründen bayt haline yeniden paketlenir. Verinin son hali kaydedilir.

Taşıyıcı frekansı Türkiye’deki ISM bandı aralıklarında olan 433.5 MHz olarak seçilmiştir.



Şekil 8- Quadrature Demod bloğunun çıkışı-I



Şekil 9- Quadrature Demod bloğunun çıkışı-II

Platform

Uçan platform için önemli bazı parametreler, uçuş süresinin olabildiğince fazla olması ve mümkün olan en fazla miktarda yükü taşıyabilmesidir. Bu sebeple drone parçaları seçilirken bunlar göz önünde bulundurulmuştur. Ağırlığı kaldırabilmesi için hexacopter drone tasarımı tercih edilmiş, uçuş süresini maksimize edebilmek için 3S Li-Po pil kullanılmış, buna uygun ESC, motor ve pervaneler tercih edilmiştir. Tercih edilen parçalarla, drone birleştirilmiştir. Platform üzerindeki uçuş denetleyicisi Pixhawk, uçuş kontrolünü sağlayan ve telemetri verilerini toplayan birimdir. Uçuş kontrolünün, otonom şekilde sağlanması için Python DroneKit kütüphanesi kullanılarak otopilot kodu yazılmıştır. Kumanda ile uçuş yerine, otonom uçuşun tercih edilmesi beraberinde, daha güvenli ve dengeli bir uçuşu getirmiştir. Bu şekilde drone üzerindeki cihazların daha iyi korunması sağlanmıştır.

Sistem tasarımı

Projede, iletişim araçları ile platformun birleştirilmesi aşaması bulunmaktadır. LimeSDR, drone üzerindeki yazılım tanımlı radyo cihazı olarak drone parametrelerini yer yüzüne iletmekten sorumludur. LimeSDR’ın yazılımını çalıştırmaktan, drone parametrelerini Pixhawk üzerinden mavlink bağlantısı kurarak çekip yazılımı çalıştırmaktan ve bu parametreleri kaydetmekten sorumlu bilgisayar Raspberry Pi’dir.

Drone parametreleri Pixhawk’tan, Python’ın DroneKit kütüphanesi kullanılarak elde edilir. Bu kütüphane sayesinde drone durumu ile ilgili birçok veriye ulaşılabilmektedir. Bu parametreler arasında, voltaj ve akım değerleri, pilin batarya seviyesi, drone yüksekliği, GPS ve jiroskop verileri, drone yuvarlanma, yalpalama ve perde değerleri ile ivme değerleri bulunmaktadır. Bunun yanı sıra, titreşim verileri, piezo disk titreşim sensöründen alınır. Bu veriler, harcanan güç değerlerini ve drone hareket durumunu bilmek açısından önemlidir. Yazılan Python koduyla, Pixhawk’tan alınan parametre verilerinin sonuna, verinin alındığı saat ve boyutu eklenir. GNURadio, hazırlanıp kaydedilmiş veri paketinin modülasyonunu yapıp LimeSDR aracılığıyla yer istasyonuna iletilmesi için paketi alır.

Drone üzerindeki malzemelerin beslenmesi için platform üzerinde iki batarya kullanılmıştır. Biri drone uçuşu için yerleştirilmiş olup diğeri Raspberry Pi ve LimeSDR beslemesi için kullanılmıştır. Her iki cihaz da batarya çıkışı değerlerinden daha az bir güç ile çalışmaktadır. Dolayısıyla, batarya ile cihazlar arasında gerilim düşürücü regülatör kullanılmıştır. LimeSDR’ın USB3.0 teknolojisiyle çalışan bir cihaz olması sebebiyle Raspberry Pi ile olan USB bağlantısı yalnızca veri iletişimi için kullanılmış olup asıl güç beslemesi batarya ile sağlanmıştır.

Yer istasyonu, USRP ve bu cihazı çalıştıran bilgisayardan oluşmaktadır. USRP gelen sinyalleri aldıktan sonra GNURadio’da yapılan işlemler sonucunda veriler yer istasyonu bilgisayara kaydedilir.

3. Sonuç

Kurulan düzenek, kapalı (laboratuvar) ortamda ve açık havada test edilmiştir. İlk olarak kapalı alanda yapılan testlerde, örnek sayısı, veri hızı ve alıcı/verici cihaz kazançları değiştirilerek

farklı sonuçlar gözlemlenip en ideal olan değerler bulunmuştur. Daha sonra bu değerlerle açık havada testler yapılmıştır. Açık havada yapılan testler ile kapalı alanda yapılan testler kıyaslandığında cihazlar arasındaki mesafenin göz ardı edilemeyecek kadar düştüğü gözlemlenmiştir. Bunun sebebi, LimeSDR çıkış gücünün düşük kalması ve açık havada kanal gecikme yayılmasının kapalı alana göre çok daha fazla olması sebebiyle sinyali fazlasıyla etkilemesidir. LimeSDR’ın çıkış gücünü artırıcı yükseltici kullanmak ve gönderilen verinin hızını düşürmek bu duruma çözüm sunabilir.

4. Kaynaklar

- [1] Xiaohui Li, “Deployment of Drone Base Stations for Cellular Communication Without Apriori User Distribution Information”, 2018.
- [2] Giselle M. Galvan-Tejada, Jorge E. Aviles-Mejia, Aldo G. Orozco-Lugo, Luis A. Arellano-Cruz, Ruben Flores-Leal and Rogelio Lozano-Leal, “Propagation Characteristics for UAVs Operating at Short Range and Low Altitude”, 2020.
- [3] Wahab Khawaja, Ismail Guvenc, David W. Matolak, Uwe-Carsten Fiebig, Nicolas Schneckenberger, “A Survey of Air-to-Ground Propagation Channel Modeling for Unmanned Aerial Vehicles”, 2018.
- [4] M. Mozaffari, W. Saad, M. Bennis, Y.-H. Nam, and M. Debbah, “A Tutorial on UAVs for Wireless Networks: Applications, Challenges, and Open Problems” arXiv preprint arXiv:1803.00680, 2018.
- [5] X. Li, “Deployment of Drone Base Stations for Cellular Communication Without Apriori User Distribution Information”, 2018.
- [6] U. Demir, M. Ç. Ipek, C. Toker, O. Ekici, “Energy-Efficient Rotary-Wing UAV Deployment Under Flight Dynamics and QoS Constraints”, 2019.
- [7] D. Kushnure, M. Jiniyawala, S. Molawade, S. Patil “Implementation of FM Transceiver using Software Defined Radio (SDR)”, 2017.
- [8] T. Tekin, B. Karakaya, “OFDM Verici ve Alıcı SDR uygulaması zaman ve frekans kayması durumunda”, 2018.
- [9] A. E. Elsaghier, N. S. Tezel, S. M. Altiraiqi, “Frequency Shift Keying Scheme to Implement SDR using Hackrf one”, 2017.
- [10] José Raúl Machado-Fernández, “Software Defined Radio: Basic Principles and Applications”, 2014.
- [11] GNURadio, Simulation example: FSK, 7 Mart 2021. Erişim tarihi: 13 Mart 2021 [Çevrimiçi]. Ulaşılabilir: https://wiki.gnuradio.org/index.php/Simulation_example:_FSK

YOLO Derin Öğrenme Algoritması ile Araç Plakalarının Tespit Edilmesi

Detection of Car License Plates with the YOLO Deep Learning Algorithm

Ahmet ATLI, Mehmet DEMİRTAŞ

Elektrik Elektronik Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi Gazi Üniversitesi

ahmet.atli@gazi.edu.tr, mehmetd@gazi.edu.tr

Özet

Yapay zekâ ve makine öğrenmesi gelişen teknolojinin bizlere sunduğu ve üzerinde yoğun bir şekilde çalışan bir bilgi işlem teknolojisi ve bilim dalıdır. Günümüzde yapay zekâ ve makine öğrenmesi birçok araştırmanın konusunu oluşturmakta olup, farklı birçok alana uygulanmakta ve başarılı sonuçlar elde edilmektedir. Yapay zekâ ve makine öğrenmesinin bir alt kümesi derin öğrenmedir. İnsan hayatının her alanına giren derin öğrenme insanın sinir sisteminden esinlenerek modellenen bir dizi yapay sinir ağlarından meydana gelmektedir. Buradan hareketle bu çalışmada, resim veya gerçek zamanlı görüntü içerisindeki araç plakalarının tespit edilmesi ve okunması amaçlanmıştır. Plakaların tespiti ve okunması için derin öğrenme uygulamalarından biri olan ve evrişimli sinir ağları temeliyle çalışan YOLO (You Only Looked Once) algoritması kullanılmıştır. Veri setleri YOLO algoritması ile eğitilmiş ve görüntülerdeki plakalar %85,62 seviyesinde doğruluk oranı ile tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Derin Öğrenme, YOLO, OpenCV, Görüntü İşleme, Plaka Tespiti, Optik Karakter Tanıma, Evrişimli Sinir Ağı.

Abstract

Artificial intelligence and machine learning is an information processing technology and science that is offered to us by developing technology and that works intensively on it. Today, artificial intelligence and machine learning are the subject of many researches, they are applied to many different fields and successful results are obtained. A subset of artificial intelligence and machine learning is deep learning. Deep learning, which enters all areas of human life, consists of a series of artificial neural networks modeled by being inspired by the human nervous system. From this point of view, in this study, it is aimed to detect and read the license plates in the picture or real-time image. YOLO (You Only Looked Once) algorithm, which is one of the deep learning applications and works on convolutional neural networks, is used for the detection and reading of the plates. The datasets were trained with the YOLO algorithm and the plates in the images were detected with an accuracy rate of 85,62%.

Keywords: Deep Learning, YOLO, OpenCV, Image Processing, Plate Detection, Optical Character Recognition, Convolutional Neural Network.

1. Giriş

Günümüzde teknolojinin hızlı gelişim seyri, teknolojiye erişim ve gelişen imkanlar ile birlikte sektörlerin internet kullanımını yaygınlaştırmıştır. Bu kullanımda sosyal medya araçlarının büyük payı bulunmaktadır. Sosyal medya araçlarının büyük rağbet görmesi ile bu alanlarda biriken veri miktarı çok büyük seviyelere gelmiş olmakla birlikte giderek büyümeye ve artmaya devam etmektedir. Makine öğrenmesi ve derin öğrenmenin büyük bir bileşenini oluşturan bu verilerin büyüklüğü, günümüzde tatmin edici seviyelere ulaşmıştır. Özellikle 2010 yılından sonra hem veri miktarının artması hem de işlemlerin hızının artması derin öğrenme ve makine öğrenmesi alanlarındaki başarı oranlarının çok yüksek oranlara gelmesini sağlamıştır.

Derin öğrenme genel anlamda insanın düşünce yapısını ve öğrenme yeteneğini ilham alarak makinelerle insanı davranışlar kazandırma çabası olarak tanımlanmaktadır. İnsanların yaşadığı ve gördüğü şeyleri anlamlandırarak ve sınıflandırarak öğrenmesi yöntemi ile makinelerle veri sunulması ve bu makinelerinde öğrenmesi süreçleri benzetilmeye çalışılmaktadır. Derin öğrenme medikalenden finansa, güvenlikten reklamcılığa kadar her türlü alana uygulanmakta ve kullanılmaktadır.

Derin öğrenme bilginin kullanımında insan beyninin işleyişini örnek alan ve kompleks veri çözümlerinde yeni yaklaşımlar amaçlayan ve yapay sinir ağlarını içeren bir yöntemdir. Derin öğrenmeyi diğer geleneksel sinir ağlarından ayıran en önemli özelliği birden fazla gizli katmanın olmasıdır. Yapay zekâ ile derin öğrenme başarısının artması ile bu çalışmaların performansı başlangıçta bulunulan noktadan çok daha ileriye taşınmıştır [1].

Derin öğrenmenin temeli yapay sinir ağlarıdır. Yapay sinir ağları ise yapay sinir hücrelerinden oluşur. Bu noktadainsanın sinir hücresinden ilham alınmış ve matematiksel olarak modellenmiştir. Biyolojik sinir hücresi birçok nörondan bilgi alıp işleyerek kendinden sonraki nöronlara iletir. İnsan sinir sisteminin genel çalışma mantığı kurgulanarak çok katmanlı derin sinir ağları oluşturulmuştur [2].

Yeni ve güçlü derin öğrenme algoritmaları geliştirilmekte ve denenmektedir. Özellikle son 10 yıllık periyot incelendiğinde, temelde evrişimli sinir ağları (CNN) üzerine inşa edilen bu ağların başarı oranları yükseldiği görülmektedir [3]. 2012 Yılında Toronto Üniversitesi'nde Alex Krizhevsky ve arkadaşlarının katıldığı yarışma örnek gösterilebilir.

ImageNet large scale visual recognition challenge (ILSVRC-2012) adlı yarışmada iki ayrı CNN'i iki ayrı GPU üzerinde eğitilmiş ve %15,3 hata oranı elde etmişlerdir. Bu yarışma ve

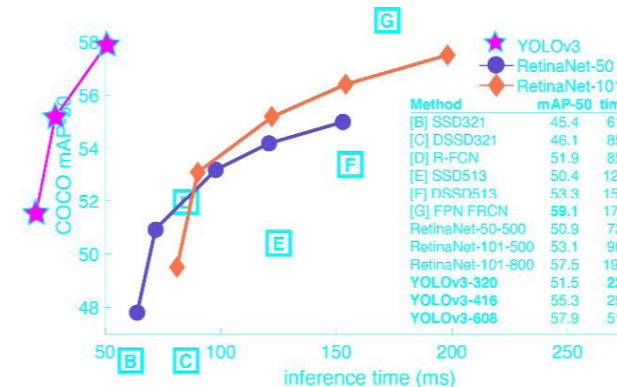
sonucunda elde edilen çıktılar hızla büyüyen derin öğrenme alanına yenilik getirmiştir [4]. Sonraki yıllarda yeni mimariler geliştirilmeye devam edilmiştir. ResNet, VGG, GoogleNet gibi mimariler ile hata oranı %5'in altına kadar düşürülmüştür [5]. Bu da farklı yöntemlerin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Örneğin farklı bir eğitim modeli olan meta öğrenmeyi kullanan siyam ağları tek bir veri ile tanıma yapabilirken, YOLO algoritması ise daha farklı bir yöntem kullanmaktadır. YOLO algoritması görüntüyü belirli alanlara bölerek bu alanlarda bulunma ihtimalini hesaplamaktadır. Hızlı olması sebebi ile gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılan mantıklı bir tercih olarak öne çıkmaktadır.

Hiçbir sınırın ve kısıtın olmadığı, çok farklı yöntem ve algoritmaların geliştirilmesine müsait olan derin öğrenme ile ilgili literatürde çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Siyam ağları kullanılarak yapılan derin öğrenme çalışmasında üniversite girişi ve çıkışlarında tek bir fotoğraf üzerinde öğrenci yüz tanıma uygulaması gerçekleştirilmiştir [6]. Başka bir çalışmada video üzerinde algılanması güç olan nesnelere video kareleri arasındaki farkı bularak derin öğrenme yöntemleri ile analizi yapılmıştır [7]. Diğer bir çalışmada ise insanların daha önceki konuşmaları derin öğrenme yöntemleri ile sentezlenerek söylemediği sözleri kendisi söylemiş gibi gösterecek şekilde uygulama yapılmıştır. Örnek olarak eski ABD başkanı Obama'nın üzerinde bu uygulama kullanılmıştır [8]. Bir başka çalışmada ise bir çizimden nesnenin şeklinin elde edilmesi, bir resim taslağında resmin elde edilmesi veya harita taslağından gerçek haritanın elde edilmesi için derin öğrenme yöntemleri kullanılmıştır [9].

Bu makalede ise derin öğrenmenin bir uygulaması olan ve son zamanlarda oldukça popülerleşen YOLO algoritması ile araç plakaları tespit edilmesi ve okunması amaçlanmıştır. YOLO algoritmasına ek olarak OpenCV kütüphanesi görüntü işleme yapılmıştır. Bu çalışma ile trafikte araç takibine ve park yerlerindeki giriş-çıkış kontrolüne olanak sağlamaktadır. Uygulamanın güvenlik ve kontrol amaçlı görüntü işleme uygulamalarına bir örnek teşkil etmesi amaçlanmıştır.

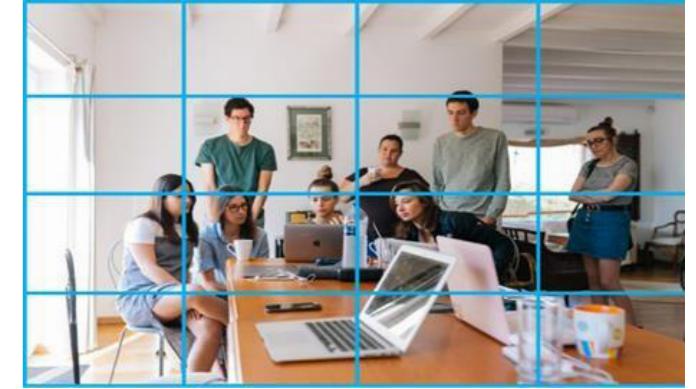
2. YOLO Algoritması

YOLO algoritması nesnelere tanımak için CNN kullanarak geliştirilmiş bir uygulamadır. YOLO algoritmasının en önemli özelliği gerçek zamanlı nesne tespiti yaparken genel ortalama kesinlik değerinin (mAP) yüksek olmasıdır. Şekil 1'de YOLOv3 ve diğer algoritmaların mAP değeri üzerinden genel bir karşılaştırması verilmiştir. Şekilde YOLO algoritmasının diğer algoritmalara göre doğruluk ve zaman açısından çok daha kullanışlı bir durumda olduğu görülmektedir. Ayrıca YOLO algoritması, istenilen duruma göre hız ile doğruluk arasında istenilen orana göre bir değişim gerçekleştirilebilir.



Şekil 1: YOLOv3 ve diğer algoritmaların mAP değeri üzerinden karşılaştırması.

Şekil 2'de YOLO algoritması ile görüntünün bölgelere ayrılması ve nesne tespiti verilmiştir. YOLO algoritması ile görüntü üzerinde ayrılan her bir bölgede nesne olup olmadığı hesaplanır. Eğer bir nesne varsa bu nesnenin ağırlık merkezi bulunarak bu ağırlık merkezine göre yükseklik ve genişliğin etrafı kare içine alınır. Bir bölge içindeki her nesne için birden çok sınırlayıcı kutu çizilmesi sonucu hem düşük olasılıklı hem de yüksek olasılıklı birçok sınırlayıcı kutunun şekil üzerinde kalması temel sorundur. Bu soruna çözüm olarak maksimum olmayan bastırma metodu geliştirilmiştir. Bu metod, belirli bir alan içinde çizilen sınırları kutuların içerisindeki daha düşük olasılıklara sahip olanları çıkarıp sadece en yüksek olasılıklı olanın şekil üzerinde tutulmasını sağlar.



a) Görüntünün bölgelere ayrılması



b) Görüntü içinde nesne bulunan kareler

Şekil 2: YOLO algoritması ile görüntünün değerlendirilmesi.

YOLO algoritması resimlerin yanı sıra videolar ve canlı görüntüler üzerinde de gayet verimli bir şekilde çalışmaktadır. Videoların tek farkı resimler gibi tek kareden değil birçok karenin birleşiminden oluşmasıdır. YOLO algoritmasının tek bir kare için yaptığı uygulamalar videodaki karelerin tek tek hepsine uygulaması ile birlikte videoda da nesne tespiti ile resim yaklaşık olarak aynı süreçleri içermektedir. YOLO algoritması görüntüleri yaklaşık saniye başına 40-90 karede işleyebilir. Bu bir videonun birkaç milisaniye gecikme ile YOLO algoritması tarafından işlenebileceğini gösterir. Bu yüzden diğer nesne tespiti uygulamalarına göre daha hızlı çalışmaktadır.



a) Plaka tespiti için seçilen araç



a) Plakanın orjinal hali

b) Plakanın gri hali



c) Plakanın blurlu hali

d) Resmin binary formatına çevrilmiş hali



e) Resme genişletme uygulanmış hali

3.3. Modelin Eğitilmesi

Toplanan ve etiketlenen verilerden oluşan veri seti YOLO algoritması ile eğitilir. Bu eğitim işlemi Google'ın online olarak GPU'ları ücretsiz olarak kullanıma olanak tanıyan ve ücretsiz olarak sunduğu Google Colab uygulamasında gerçekleştirilmiştir.

YOLO görüntüyü "NxN" lik ızgaralara böler. Bu ızgaralar 4x4, 8x8, 17x17 veya farklı boyutlarda olabilir. Her ızgara kendi içerisinde ilgili nesnenin olup olmadığını kontrol eder. İçinde nesne olduğunu bulan ızgara ise nesnenin merkezinin kendi içerisinde olup olmadığını hesaplar. Nesnenin merkezinin kendi içerisinde olduğunu bulan ızgara sonrasında nesnenin genişliğini ve yüksekliğini bularak bu cismin etrafını sınırlayıcı kutu ile çevreler.

3.4. Görüntü Ön İşleme Aşamaları

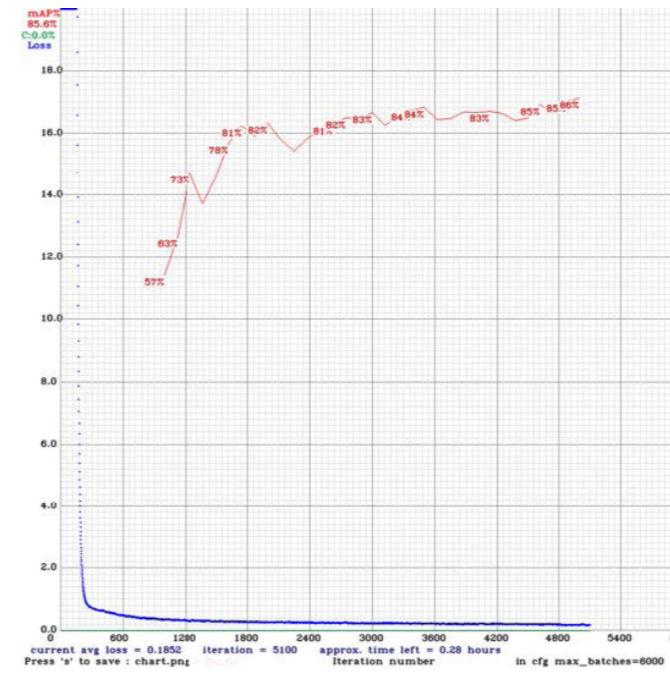
YOLO ile tespit edilen ve koordinatları bilinen plaka öncelikle kırpılır sonrasında ise daha düzgün bir okuma işlemi gerçekleştirilebilir için Şekil 3'de verilen işlem basamakları sırasıyla uygulanır. Şekil 3(a)'da kırpılan plaka ilk etapta gri formata çevrilir ve blurlanır. Blurlu hale getirilen resim binary formatına çevrilir. Bu formatta resim sadece 0 ve 1 bilgilerini içerir. Son aşamada resme genişletme uygulanır. Bu işlemin yapılma nedeni resme bir görüntü ekleyerek nesnenin iki ayrı nesne gibi görünmesini engellemektir. Bu çalışmada kullanılmasının en önemli nedeni ise plaka üzerindeki gereksiz görüntülerin azaltılması içindir.

3.5. Resmin Okunması

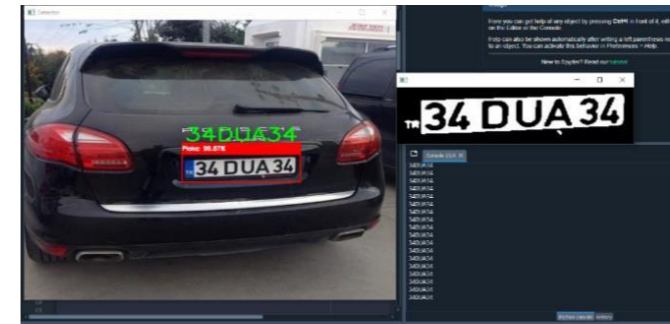
İnsanların resimlerdeki yazıyı okuması gibi bilgisayarlarda resimlerdeki yazıları okuyabilirler. Bilgisayarların resimlerdeki yazıları okuması işlemine Optik karakter tanıma (OCR) denir. OCR resimlerdeki yazıların veyahut bilgisayar ortamında yazılmamış el yazılarının Tesseract gibi bazı özel kütüphaneler yardımıyla aranabilir ve düzenlenebilir bir hale dönüştürülmesini sağlayan teknolojidir. OCR, resimlerdeki harfleri tanıma sonrasında ise harflerden kelimeleri seçer ve ardından da cümleleri oluşturur. Bilgisayarların bu işlemleri yapabilmesi için resmin sayısal hale getirilmesi gereklidir.

Tesseract, farklı işletim sistemleri için geliştirilen bir OCR motorudur. İlk olarak 1985-1995 yılları arasında bir yazılım olarak Hewlett-Packard tarafından geliştirilmiştir [10]. 2005 yılında ise özgür bir yazılım halini almış ve insanlar tarafından kullanılabilir hale gelmiştir. Sadece tek bir dil üzerine değil pek çok dili destekleyen bu yazılımın Türkçe desteği de bulunmaktadır. Tesseract, günümüzde kullanılan OCR motorlarının arasında en doğru sonuçları veren yazılımdır.

Bu çalışmada OCR ile kesilmiş olan plaka doğru bir şekilde okunmuştur. Şekil 4(a)'da YOLO algoritmasının performansını gösteren doğruluk kayıp grafiği ve Şekil 4(b)'de okunan plaka verilmiştir. YOLO algoritması ile seçilen plaka %85,62 seviyesinde doğruluk oranı ile tespit edilmiştir.



a) Doğruluk kayıp grafiği



b) Plaka okuma

Şekil 4: YOLO algoritması ile plaka tespiti sonucu.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada derin öğrenme yöntemlerinden biri olan YOLO algoritması yardımı ile tespit edilen plakanın çeşitli görüntü işleme aşamalarından geçirilerek daha okunması mümkün hale getirilmiş ve sonrasında ise optik karakter okuma teknikleri ile kesilmiş olan plaka okunmuştur. YOLO algoritması ile seçilen plaka %85,62 seviyesinde doğruluk oranı ile tespit edilmiştir. YOLO gibi derin öğrenme uygulamaları yüksek matematik işlemleri üzerinden çalıştığı için yüksek hızlı işlemciler kullanılması hem eğitim aşamasında hem de test aşamasında daha tatmin edici sonuçlar verecektir. Bu çalışma plaka bulma amaçlanmıştır. Bu bağlamda askeri alandan sağlık alanına kadar her türlü sektörde nesne tanıma, bulma ve analiz etme amaçları ile de kullanılabilir.

5. Kaynakça

- [1] T. Sejnowski ve G. Tesauro, "The Hebbian rule for synaptic plasticity: algorithms and implementations. In: Neural models of plasticity", San Diego California Academic Press, pp. 94-103, 1989.
- [2] K. Öztürk ve M. E. Şahin, "Yapay Sinir Ağları ve Yapay Zekâ'ya Genel Bir Bakış", 2018.
- [3] E. Cengil ve A. Çınar, "A New Approach For Image Classification: Convolutional Neural Network", European Journal of Technic, 2016.
- [4] A. Krizhevsky, I. Sutskever ve G. E. Hinton, "ImageNet Classification with Deep Convolutional", 2012.
- [5] M. Toğaçar, B. Ergen ve F. Özyurt, "Evrişimsel Sinir Ağı Modellerinde Özellik Seçim Yöntemlerini Kullanarak Çiçek Görüntülerinin Sınıflandırılması", Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi, 2019.
- [6] Y. Atlı, "Derin Öğrenme ve Yüz Tanıma Uygulamasıyla Okul Girişlerinde Kimlik Doğrulama" Gazi Üniversitesi Lisans Tezi, Aralık 2020.
- [7] A. A. Yılmaz, "Hareketli Nesnelere Algılanması Güç Olan Değişimlerin Video Büyütme Yöntemiyle Tespiti ve Derin Öğrenme ile Analizi", Ankara Üniversitesi Doktora Tezi, 2020.
- [8] S. Suwajanakorn, S. M. Seitz ve I. Kemelmacher-Shlizerman, "Synthesizing Obama: Learning Lip Sync from Audio", 2017.
- [9] P. Isola, J.-Y. Zhu, T. Zhou ve A. A. Efros, "Image-to-Image Translation with Conditional Adversarial Networks", 2018.
- [10] "OCR (Optical Character Recognition - Optik Karakter Tanıma)", [Çevrimiçi] Available: <https://bidb.itu.edu.tr/sevir-defteri/blog/2013/09/08/ocr->

(optical-character-recognition---optik-karakter- tan%C4%B1ma).

Şekil 3: YOLO algoritması ile plaka tespiti aşamaları

3. Plaka Tespiti

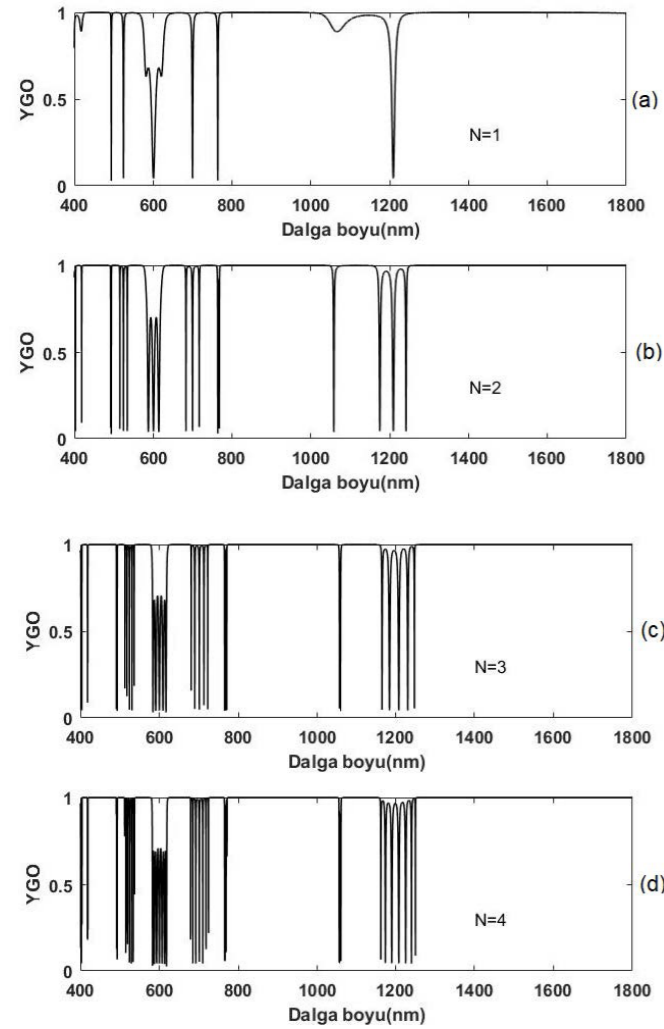
Plakanın tespit edilmesi ve okunması; veri setinin toplanması, verilerin etiketlenmesi, modelin eğitilmesi, görüntü ön işleme aşamaları ve resmin okunması süreçlerinden oluşmaktadır.

3.1. Veri Setinin Toplanması

İstenilen objeyi içeren ve bu objeyi farklı açı ve ışıklarda gösteren özelliklere sahip resimler toplanır. Bu aşamada gerçek zamanlı uygulamalarda daha iyi sonuç alınabilmesi için veri setinin birbirini tekrar etmeyen, mümkün olduğunca farklı özellikte olması ve veri miktarının büyük olması başarı oranını artırır.

3.2. Verilerin Etiketlenmesi

Toplanan veriler hedeflenen sınıflar şeklinde etiketlenir. Bu çalışmada araba plakası bulunması amaçlanmıştır. Dolayısıyla sınıf sayımız 1'dir. Etiketlenen kısımların koordinatları YOLO uygulamasında kullanılmak üzere bir "txt" dosyasına aktarılır.



Şekil 2. a) Üçlü Thue-Morse serisinin bir kez tekrarlandığı durum için ($N = 1$) yapıdan yansıyan güç oranı (YGO). b) Üçlü Thue-Morse serisinin iki kez tekrarlandığı durum için ($N = 2$) yapıdan yansıyan güç oranı (YGO). c) Üçlü Thue-Morse serisinin üç kez tekrarlandığı durum için ($N = 3$) yapıdan yansıyan güç oranı (YGO). d) Üçlü Thue-Morse serisinin dört kez tekrarlandığı durum için ($N = 4$) yapıdan yansıyan güç oranı (YGO).

Bu çoklu bantlar kullanılarak özellikle yoğun dalga boyu çoklama prensibi ile çalışan (DWDM) optik haberleşme sistemleri için görünür bölge ve alt kızılötesi bölgede yeni güncel filtre yapılarının tasarımının mümkün olabileceği sonucuna varılmıştır. Özellikle $\lambda = 800$ nm-1000 nm ve 1300 nm- 1800 nm aralıklarında yapı kusursuz bir yansıtıcı olarak davranmaktadır. Yapının merkez dalga boyu farklı seçilerek benzer çalışma özellikleri, katman kalınlıklarının çeyrek dalga boyu kuralına göre seçilmiş olmasından dolayı farklı frekans bölgelerinde de elde edilebilir. Önerilen yeni fotonik kristal yapının optik haberleşme sistemlerinde, çeşitli lazer ve renk filtresi uygulamalarında ince yapısı ve kararlı davranışı ile tercih edilmesi beklenmektedir.

4. Kaynaklar

- [1] Chen Y. B., Zhu Y. Y., Qin Y. Q., Zhang C., Zhu S. N. ve Minf N. B., “Second-harmonic and third-harmonic generation in a three-component Fibonacci optical superlattice”, Journal of Physics, s.529-537, 2000.
- [2] Chen Y.B., Zhang C., Zhu Y. Y., Zhu S. N., Wang H. T. ve Ming N.B., “Optical harmonic generation in a quasi-phase-matched three-component Fibonacci superlattice LiTaO₃”, Applied Physics Letters, 78, s.577-579, 2001.
- [3] Hu X., Yang X., Hu W. ve Guo Q., “Optical transmission through three-component Thue–Morse multilayers”, Physica Status Solidi, 244, s.717-725, 2007.
- [4] Trabelsi Y., Benali N., Bouazzi Y. ve Kanzari M., “Microwave Transmission Through One-Dimensional Hybrid Quasi Regular (Fibonacci and Thue-Morse) /Periodic Structures”, Photonic Sensors, s.246-255, 2013.
- [5] Lu X., Lun S., Zhou T., Li Y., Lu C. ve Zhang M., “Reflecting Filters Based on One Dimensional Photonic Crystal with Large Lattice Constant”, IEEE Int. Conf. Service Oper., and Informatics, s.558-562, 2013.
- [6] Aylo R., Nehmetallah G., Li H. ve Banerjee P. P., “Multilayer Periodic and Random Metamaterial Structures: Analysis and Applications”, IEEE Access, 2, s.437-450, 2014.
- [7] Gürel Ç. S. ve Kılıç Ö., “Band-blocking optical filter including ultrathin metallic film”, Journal of Electromagnetic Waves and Applications, s.2485-2491, 2016.
- [8] Loika V. A. ve Miskevich A. A., “Optical properties of structures composed of periodic, quasi-periodic, and aperiodic sequences of particulate monolayers”, Optics and Spectroscopy, 122, s.16-24, 2017.
- [9] Abbasiyan A., Noori M. ve Baghban H., “Investigation of quasi-periodic structures to increase the efficiency of thin-film silicon solar cells: A comparative study”, Solar Energy Materials and Solar Cells, 202, 110129, s.1-9, 2019.
- [10] Nayak C., Aghajamali A., Solaimani M., Rakshit J. K., Panigrahy D., Kumar K. V. P. ve Ramakrishna B., “Dodecanacci superconductor-metamaterial photonic quasicrystal”, Optik, s.1-5, 2020.
- [11] Solaimani M., Ghalandari M. ve Nejati M., “Optical filters based on fixed length Thue–Morse plasma- dielectric photonic band multilayers: Comparing two, three, and four materials systems”, AIP Advances, 11, 025309, s.1-9, 2021.
- [12] Nutku F. ve Gökşin S., “Comparison of omnidirectional reflectivity of quasi-periodic dielectric multilayers”, Optik - International Journal for Light and Electron Optics, 228, 166220, 2021.

Bir Uydu Yer İstasyonu Haberleşme Sistemleri Altyapısındaki Network Güvenlik Zorlukları İçin Katmanlı Bir Yaklaşım

A Layered Approach To Network Security Challenges For Critical Infrastructure In A Satellite Ground Station

Abdullah Gürtekin¹

¹ Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara Üniversitesi
gurtekin@ankara.edu.tr

¹ A Leonardo Company - Vitrociset
a.gurtekin@vitrociset.it

Özet

Günümüzde uyduların, yer gözlem, hava tahminleri, navigasyon sistemleri, haberleşme, gezegenlerin gözlemlenmesi, bilimsel araştırmalar, askeri amaçlar gibi bir çok farklı kullanım alanı bulunmaktadır. Uydu kullanım alanları gelişen teknolojilerle beraber daha da genişlemektedir. Uydu yer istasyonları ise uzaya gönderilen uydunun verilerini toplamak ve bu verileri çeşitli kullanıcılara ve uygulamalara aktarmak, uydunun ömrünün planlanan süre içerisinde, sağlıklı olarak tamamlanmasını sağlamak üzere kullanılan merkezlerdir. Bu modern uydu teknolojilerinin güvenli kullanımı, tüm dünyada bir ihtiyaç olarak öne çıkmaktadır. Siber güvenliğin, beşinci savaş ortamı olarak kabul edildiği günümüzde, bu tür modern güvenlik sistemleri tüm ülkeler için ulusal güvenliğin ayrılmaz ve en önemli bileşenlerinden olmuştur. Bu çalışmada yer-uydu haberleşmesinin güvenli bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için katmanlı bir güvenlik analiz modeli önerilmiştir. Uydu yer istasyonlarındaki siber güvenlik tehditleri her katman için belirtilmiştir. Uydu-yer arası haberleşmenin ötesinde, uydu yer istasyonu içerisindeki veri akışının ve veri saklanması güvenli bir şekilde gerçekleştirilmesi için yapılması gerekenler de ayrıca belirtilmiştir. Katmanlı bir analiz sonrası, Saldırı Tespit Sistemi'nin tasarlanması için temel olarak bir model önerilmiştir.

Uydu haberleşmesinde siber güvenlik, katmanlı güvenlik, uydu yer istasyonunda siber güvenlik.

Abstract

Today satellite systems are used for many different purposes such as earth observation, weather forecasts, navigation systems, communication, planetary observation, scientific research, and military purposes. Areas that satellites are being used are expanding in line with developing technologies. And satellite ground stations have a significant role in this expansion. Simply, satellite ground stations are centers used to collect data from satellite and to transfer requested data to various users and applications. What is more, one of the most important aim of a ground station is to ensure that the satellite's is safely completed within the planned period. Cybersecurity in these modern satellite technologies and ground stations are now vastly demanded all over the world. Cybersecurity is considered as the fifth war domain and that's why modern security systems have become an integral and one of the most important components of national security for all countries For

this purpose, in this study, an end-to-end layered cybersecurity analysis model is proposed to secure ground-satellite communication. Cyber security threats in satellite ground stations are specified for each layer. Apart from the satellite- ground communication, necessary steps, need to be done in order to carry out the data flow and data storage in the satellite ground station, are also addressed. After the suggested layered analysis, a benchmark model is also proposed for designing an Intrusion Detection System.

Cybersecurity in satellite communications, layered security, satellite ground station cybersecurity.

1. Giriş

Elektrik kullanılarak gerçekleştirilmek istenen ilk haberleşme teknikleri 1700'lerde Laplace, Ampère, Gauss gibi bilim adamlarının denemeleriyle başladı. Daha sonra iletişim çağı, A.G. Bell'in 1875'te sesini ilk kez iletilmesiyle devam etti ve bu uzaktan iletişimde çığır açan bir devrim oluşturdu. Daha sonra geliştirilen yeni iki iletişim tekniği olan fiber optik ve uydu sistemleri, haberleşme ve networking (ağ iletişimi) için bir çok yeni hizmet türünün farklı boyutlarda gerçekleştirilebilmesini sağladı.

Günümüzde uydular, yer gözlem, hava tahminleri, navigasyon sistemleri, diğer gezegenlerin gözlemlenmesi, bilimsel araştırmalar, askeri amaçlar, haberleşme gibi farklı amaçlarla kullanılabilir. Uydu Yer istasyonları ise uzaya gönderilen uydunun verilerini toplamak ve bu verileri çeşitli kullanıcılara ve uygulamalara aktarmak, uydunun ömrünün sağlıklı ve planlanan bir şekilde tamamlanmasını sağlamak üzere kullanılan merkezlerdir.

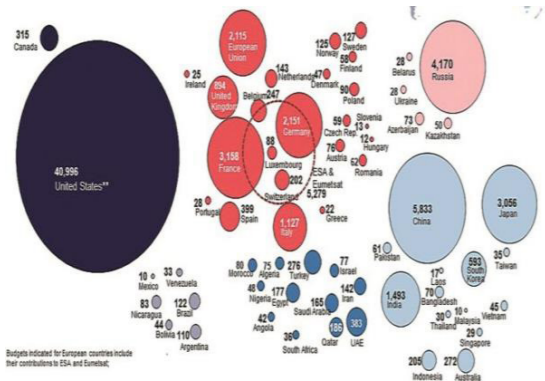
Bu çalışmada “Elektronik Haberleşme” sektörü altındaki kritik altyapılardan biri olan uydu yer istasyonları güvenlik unsurları incelenmiştir. Kritik altyapılar; “İşlediği verinin gizliliği, bütünlüğü veya erişilebilirliği bozulduğunda can kaybına, büyük ölçekli ekonomik zarara, ulusal güvenlik açıklarına veya kamu düzeninin bozulmasına yol açabilecek bilişim sistemlerini barındıran altyapılar” olarak tanımlanmaktadır [1].



Şekil 1: Kritik Altyapılar ve Uydu Yer İstasyonu

Kritik altyapı terimi ilk defa 1996'da Amerika Birleşik Devletleri başkanlık emrinde kullanılmıştır [2]. Ülkemizde ise "Elektronik Haberleşme", "Enerji" "Finans", "Ulaştırma", "Su Yönetimi" ve "Kritik Kamu Hizmetleri" olarak tanımlanan kritik altyapı sektörlerinin korunmasına yönelik önemli faaliyetler gerçekleştirilmiştir. Süreklilik içerisinde yürütülmesi gereken bu faaliyetlerin, değişen siber tehdit vektörleri ve ortaya çıkan ulusal ihtiyaçlar ile teknolojiye yaşanan gelişmeler de dikkate alınarak daha etkin bir şekilde yürütülmesi gerekmektedir. Bu amaçla kritik altyapıların korunması stratejik amaçlardan biri olarak belirtilmiştir [1]. Şekil 1'de görüldüğü üzere uydu yer istasyonları, uydu sistemlerine bağlı olarak "Elektronik Haberleşme" sektörü altında kritik altyapı olarak kabul edilir.

Başladığı ilk zamanlardan beri, uzay endüstrisi, 'İleri Teknoloji' alanı olarak kabul edilmektedir. Uzay'a olan ilgi ve merak artarak devam etmekte ve bu ise beraberinde yeni uzay projelerini getirmektedir. Dolayısıyla, ülkeler uzay projeleri için ciddi oranda bütçeler ayırmaktadır. Şekil 2 ülkelerin 2018 yılında uzay projeleri bütçelerini milyon \$ bazında göstermektedir. Ülkemizde, Şubat 2021 itibariyle, uzay politikaları alanındaki vizyon, strateji, hedef ve projelerin belirlenmesi ve bunların eşgüdüm içinde yürütülmesine yönelik, dünyadaki gelişmeler ve ülkemizdeki mevcut potansiyel dikkate alınarak Milli Uzay Programı hazırlanmıştır. Uzay programları ülkeler açısından oldukça maliyetlidir. Ancak, elde edilen kazanç, güç ve uluslararası itibar bu maliyetin çok üstündedir. Uzay programları, ülkelerin coğrafi konumunun değerine, teknolojik yetkinliklerine, ekonomik kapasitesine, uluslararası işbirlikleri kabiliyetlerine ve ekonomik çarpanlara da önemli katkı sağlar [3]. Türkiye, kritik uzay teknolojilerini geliştirebilen ülkeler arasına girme hedefine, son yıllarda gerçekleştirdiği uydu projeleri ile daha fazla yaklaşmaktadır.



Şekil 2 : Ülkelere göre 2018 yılında Uzay Bütçeleri - Euroconsult [5]

Bu çalışmada daha LEO (Low Earth Orbit, LEO) alçak yörünge uydu sistemleri için kullanılan uydu yer istasyonları işlenmiştir. Ülkemizde mevcutta kullanılan bazı alçak seviye yer gözlem uyduları şunlardır: Göktürk-1, Göktürk-2 ve Rasat. Göktürk-2 ve Rasat uyduları daha çok eğitim ve deneysel alanlarda hizmet sağlarken, Göktürk-1 Uydusu ülkemizde kullanılan en gelişmiş operasyonel yer gözlem uydusu olarak askeri ve sivil alanlarda hizmet vermektedir. Tablo-1 ve Tablo-2, Göktürk-2 ve Göktürk-1 uydularına dair bazı temel teknik özellikleri göstermektedir. Göktürk-3, sentetik açıklık radar (SAR), ve Göktürk-1-Yenileme optik uydu projeleri ise geliştirilmesi planlanan yeni yer gözlem alçak yörünge uydu projeleridir.

Yörünge	Güneş Eş zamanlı Yörünge
Yörünge Yüksekliği	~ 700 km
Dünya Çevresindeki Tur Süresi	~ 98 dakika
Tekrar Ziyaret Zamanı	Ortalama 2,5 gün
Uydu Kütlesi	< 409 kg.
Renkli Çözünürlük	5 m
Görev Ömrü	5 yıl

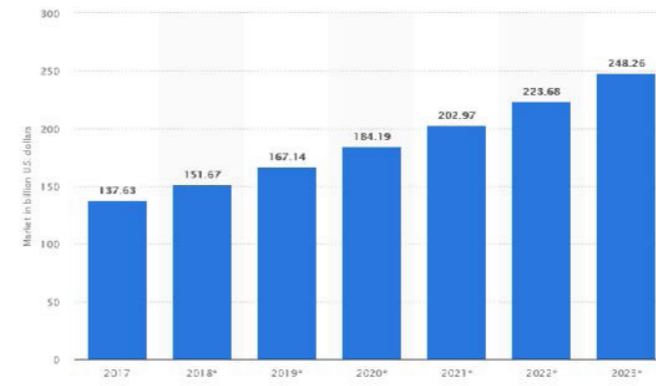
Tablo 1: Göktürk-2 Teknik Özellikler [10]

Yörünge	Güneş Eş zamanlı Yörünge
Yörünge Yüksekliği	~ 681 km
Fırlatma Tarihi/Yeri	05 Aralık 2016, Korou-Fransız Guyanası
Görüntüleme Kapasitesi	902 nokta hedef görüntüsü /gün
Çözünürlük	Siyah-Beyaz 0,5 m, Renkli 2 m
Görüntü Genişliği	15 km
Görüntülenen Bantlar	Siyah-Beyaz, Kırmızı, Yeşil, Mavi, Yakın Kızılötesi (NIR)

Tablo 2: Göktürk-1 Teknik Özellikler [11]

Diğer bir taraftan uzaya olan artan ilgi ile birlikte bilgi ve iletişim teknolojilerinin güvenli kullanımı, yalnızca ülkemizde değil tüm dünyada bir ihtiyaç olarak öne çıkmıştır. Günümüzde siber güvenlik, beşinci savaş ortamı olarak kabul edilmenin ötesinde tüm ülkeler için ulusal güvenliğin ayrılmaz ve en önemli bileşeni olarak değerlendirilmektedir. Özellikle kritik sektörler için stratejik araçlar haline gelen bu teknolojilerin güvenliği her geçen gün daha da önemli hale gelmektedir. Siber tehditler zaman içerisinde sayısal olarak artarken nitelik olarak da gelişmekte ve yıkıcı sonuçlar doğurabilmektedir. Bu durum, tehditlerle mücadele ederken kaynakların da doğru planlanmasını zorunlu kılmaktadır. Risklerin ve ihtiyaçların iyi analiz edilmesi ve teknolojik trendler doğrultusunda ortaya çıkacak öngörülere dayalı kısa ve uzun vadeli planlamalar, güvenli siber uzayın temelini oluşturmaktadır [1].

Şekil 3'te görüleceği üzere artan güvenlik tehditleri doğrultusunda, ülkeler siber güvenlik için daha çok bütçe ayırıp, yeni projeler ve yeni birimler oluşturmaktadır. Gelecekte kritik altyapıların siber güvenliği ile standartların daha da gelişmesi ve siber güvenliğin öneminin her devlet için daha da artması beklenilmektedir.



Şekil 3: Global olarak yıllara göre Siber Güvenlik Bütçe değişimi - Statista [6]

Daha önce belirtildiği üzere günümüzde uydu teknolojileri ve siber güvenlik uygulamaları artış gösteren bir trende sahiptir. Bununla beraber, son zamanlarda Avrupa Uzay Ajansı, ESA'nın (European Space Agency) ve Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi, NASA'nın (National Aeronautics and Space Administration) uzay ve siber güvenlik konularının birlikte ele alındığı, uydu yer istasyonlarındaki siber güvenlik konusundaki çalışmalarını artırdığı bilinmektedir [12, 13]. Tablo 3'de, görülebileceği üzere, M.Manulis ve çalışma ekibi tarafından, 2020 yılında yazılan ve International Journal of Information Security'de yayınlanan çalışmada, 1977-2019 arasında uydu-uzay olayları araştırılıp, segment, sektör ve olay tipi olarak sınıflandırıp, incelenmiştir. Uydu yer istasyonunda (Ground segment) yaşanan olayların daha fazla olması göze çarpmıştır [7]

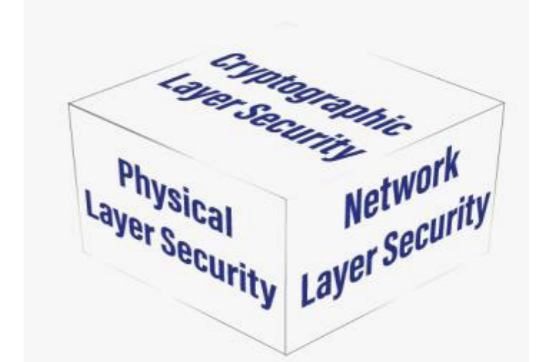
Ülkemizde modern, multi-mission (birden fazla uydunun yönetildiği), bir çok sunucu ve istemci istasyonundan oluşan, farklı merkezlere de entegre edilebilen olan uydu yer istasyonları bulunmaktadır. Bu yer istasyonlarındaki güvenlik unsurunun, yakın gelecekte daha çok önem arz edecek konulardan biri olması beklenilmektedir.

	Category	Frequency
Segment	Ground	83
	Space	8
	Data communications	38
	Unknown	2
Sector	Government	91
	Commercial	28
	Civilian	11
	Military	11
Incident type	Jamming	19
	Eavesdropping	3
	Spoofing	3
	Control	4
	CNE	30
	Hijacking	16
	Phishing	3
	Internet hijacking	1
	Denial of service	3
	Theft/loss	48
ASAT incident	3	

Tablo 4: 1977-2019 Uzay Olayları [7]

2. Önerilen Güvenlik Analiz Modeli

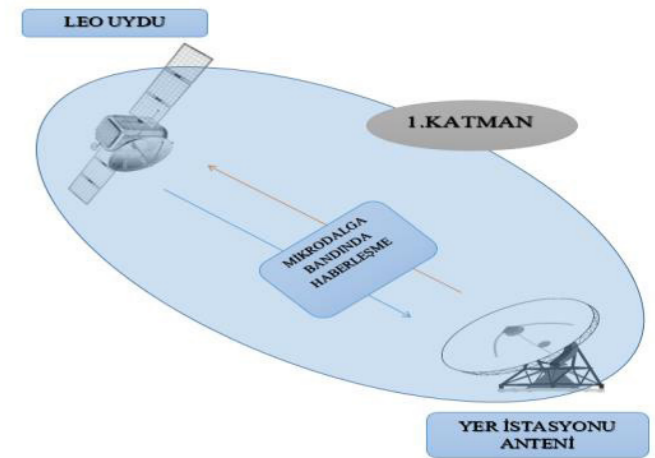
Önerilen bu güvenlik analiz modeli temel olarak 3 katmanlı olarak düşünülmüştür. Siber güvenlikte analizlerin net bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için katmanlı olarak inceleme savunma sistemlerine büyük katkı sağlamaktadır. Şekil 4'de bu çalışmada tasarlanan 3 katman küp modeli içerisinde gösterilmiştir. Bu 3 temel katmanın oluşturulması, verinin fiziksel olarak akışı, yer istasyonundaki görev birimlerinin farklılığı, iş yükü ve saha üzerindeki tecrübeler yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Her katmandaki tehlikeler ve alınabilecek önlemler ayrı bir bölümde incelenmiştir. Son bölümde ise, yapılan analizlerden faydalanılarak, temel bir STS (saldırı tespit sistemi) algoritması önerilmiştir.



Şekil 4: Katmanların küp modelin küp şeklinde gösterimi

3. Fiziksel Katman

Güvenlik analiz modeli, üç katmandan oluşmaktadır. Bu güvenlik analiz modelinin ilk katmanı Şekil 5'te gösterildiği gibi 'Fiziksel Katman' olarak adlandırılmıştır. Bazı kaynaklarda, bu katman, 'link segment' olarak ayrı bir şekilde de isimlendirilmektedir [14]. Bu katmanda, elektromanyetik dalgalar şeklinde olan haberleşmenin güvenli bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için uygulanması gereken tedbirler ve işlemler ele alınır.



Şekil 5: Fiziksel Katman

Uydu haberleşmesinde kullanılan frekans bantları ise 4'de gösterilmiştir.

Name	Band
VHF	30–300 MHz
UHF	300–1000 MHz
L	1–2 GHz
S	2–4 GHz
C	4–8 GHz
X	8–12 GHz
Ku	12–18 GHz
K	18–27 GHz
Ka	27–40 GHz
V	40–75 GHz
W	75–110 GHz

Tablo 4: Uydu Frekans Bantları

Bu katmanda temel olarak 3 farklı tehdit veya anomali üzerinde durulması planlanmaktadır.

- Karıştırma (Jamming)
- Dinleme (Eavesdropping)
- Hata Tespit/Düzeltilme Algoritmaları (Error Detection/Correction Algorithms)

Jamming’te temel amaç kullanıcıların istenen sinyalleri almasını engellemektir. Uydu sistemlerinde yapılan jamming hedefine göre iki ana yöntemle, uplink jamming ve downlink jamming olarak düşünülebilir. Uplink jamming uydu’ya doğru yapılan karıştırma işlemidir. Hedefteki sinyal ile aynı frekansta ve yaklaşık olarak aynı güce sahip olmalıdır. Etkileri daha geniş alanı kapsar. Downlink jamming’de ise yerdeki kullanıcılara yönelik gerçekleştirilir. Etkileri uplink jamming’e göre lokalizedir. Bir jammer’ın input (Rx) receiver tarafından elverişli bir karıştırma gücü oluşturulabilmesi için yer istasyonu ile bir LoS (line of sight) gerektirmesinden dolayı, downlink jamming’in gerçekleştirilmesi daha zor olabilmektedir. [13, 15].

Jamming kaynağının gücüne bağlı olarak, yapılan jamming işlemi aktif ve pasif jamming olarak sınıflandırılabilir. Aktif jammerlarda, karıştırma sinyali direk olarak jammer tarafından üretilir. Pasif jamming ise gelen sinyali yansıtmaya veya saçma ile hedefte farklı echo’lar oluşturup bozmayı amaçlar [19].

Anti-jamming için kullanılacak bazı teknikler temel olarak aşağıdaki gibi olabilir [16].

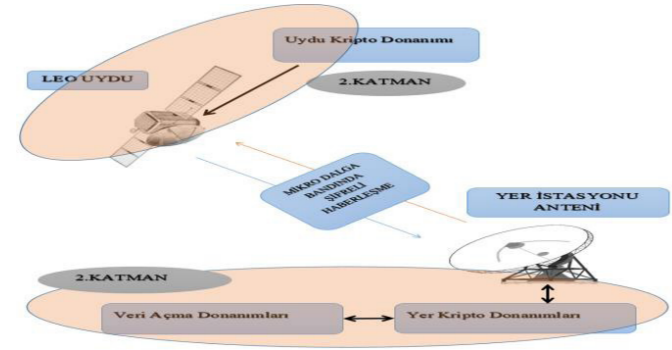
- EHF frekansların kullanımı
- Yaygın spektrum çoklu erişim.
- Yönlü Anten Hüzmeleri (Directional Antenna Beams)
- Sinyal İşleme
- Adaptif Anten Hüzmeleri (Adaptive Antenna Beams)
- Yüksek Güçte R.F

Dinleme yakalanan sinyalin içeriğinin çözülüp, 3. kişiler tarafından okunmasını ele alan saldırı türüdür. Bu sinyal fiziksel

katmanda 3. kişiler tarafından yakalanabilmesi için fiziksel katmandaki tehditlerden biri olarak düşünülmüştür. Dinleme için gizlilik oranının artırılması gerekmektedir. Bunun ile ilgili temel bilgiler, kriptografik katman’da anlatılmıştır.

Hata tespit/düzeltilme işlemleri uydu ve yerdeki alıcıların ve vericilerin sahip olduğu algoritmalar ile yapılmaktadır. Örneğin, uydu ve yer arasındaki LoS kaybolduğunda haberleşme eksik kalacaktır. Bu durumda eğer eksik kalan sinyaller belli bir eşik değerin altındaysa hata tespit/düzeltilme algoritmaları verinin anlaşılabilir bir şekilde yeniden elde edilmesi için yardımcı olacaktır. Bu işlem için en iyi örneklerden biri Reed-Solomon kodlama olabilir.

4. Kriptografik Katman



Şekil 6: Kriptografik Katman

Önerilen güvenlik analiz modelinde ikinci katman Şekil 6’da gösterildiği gibi ‘Kriptografik Katman’ olarak isimlendirilmiştir. Uydu ve yer arasındaki haberleşmenin gizliliğinin korunabilmesi için haberleşme şifreli olarak yapılmalıdır. Bu katmandaki temel konular aşağıdaki gibidir:

- Şifreleme Algoritmaları
- Şifreleme politikaları ve anahtarların yönetimi
- Şifreleme donanımının güvenliği ve yedekliliği
- Sıkıştırma Teknikleri
- Anti-replay sayacı

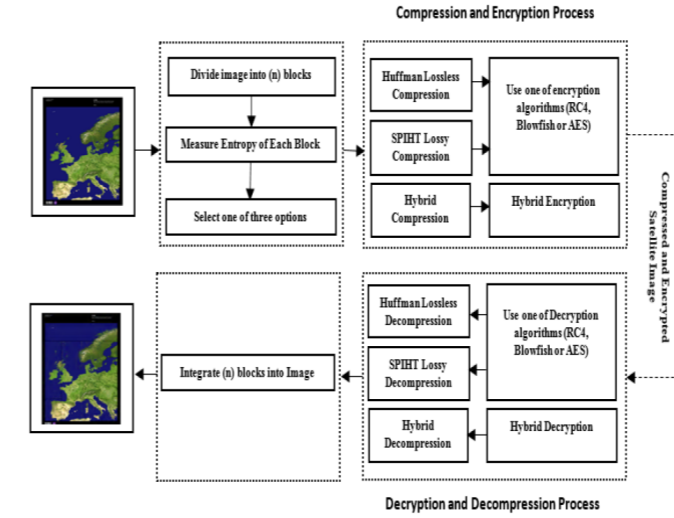
Veri şifreleme, temelde simetrik ve asimetrik algoritmalara dayanmaktadır. Uydu sistemlerinde genellikle şifreleme ve çözme için aynı anahtarın kullanıldığı, çok fazla hesaplama gücüne ihtiyaç duymayan simetrik şifreleme teknikleri tercih edilir. Bazı simetrik algoritmalara örnek olarak; DES, 3DES, AES, IDEA, Blowfish ve Twofish verilebilir [4].

Ayrıca, günümüzde uydularda artan veri yükü boyutlarından dolayı, şifreleme ile birlikte sıkıştırma (compression) teknikleri uygulanabilir [8]. Kullanılan temel sıkıştırma teknikleri; Predictive coding, Huffman coding algorithm, SPIHT algorithm olarak düşünülebilir.

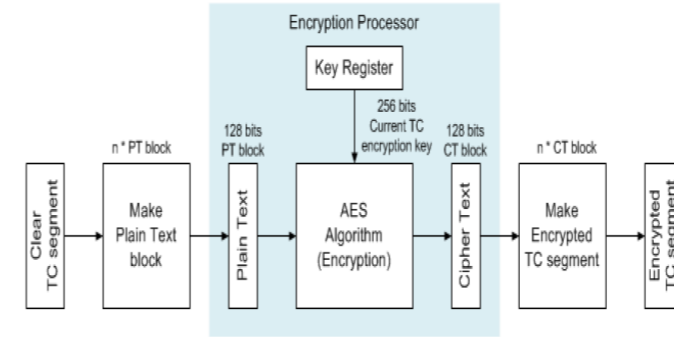
Yer gözlem uydularında iki temel şifreleme yapısı. Bunlar: TC (telecommand) & TM (Telemetry) olarak özetlenebilir. TC’de uplink yapılırken, TM’de downlink yapılır. Şekil 7’te veri yükü olan görüntülerin şifrenmesi, sıkıştırılması ve tersi işlemlerin yapılması üzerine bir akış diyagramı gösterilmiştir.

Şekil 8’de uydu yönetimi için kullanılan, uplink trafik olan TC (telecommand) ve Şekil 9’da downlink trafik olan TM-

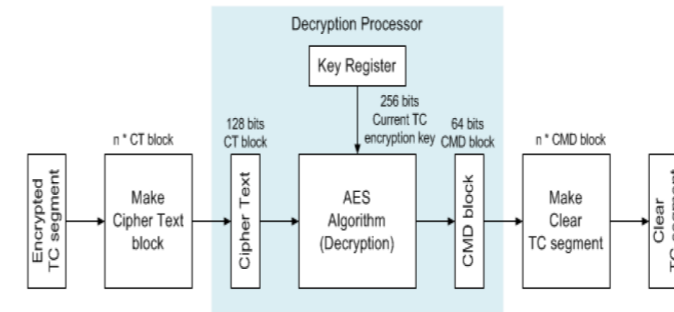
Telemetry) verilerinin şifrenmesi ve çözülmesi üzerine akış diyagram mimarileri gösterilmiştir.



Şekil 7: Sıkıştırma-Açma, Şifreleme-Çözme Süreci [8]



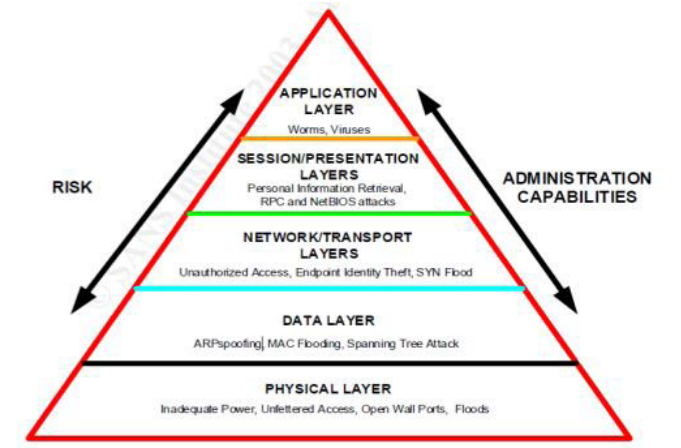
Şekil 8: TC (telecommand) şifreleme akış diyagramı [9]



Şekil 9: TM (telemetry) çözme akış diyagramı [9]

5. Network Katmanı

IP tabanlı iletişim için, Şekil 11’de gösterildiği gibi Open Systems Interconnection (OSI) modeline göre, iletişiminin fiziksel katmandan, uygulama katmanına kadar olan akışı her katmanda, görülebilecek farklı güvenlik zafiyetleri ele alınarak incelenmelidir. Bazı durumlarda görülebilecek tehlike veya zafiyet OSI’de birden fazla katman için aynı anda geçerli olabilmektedir [17].



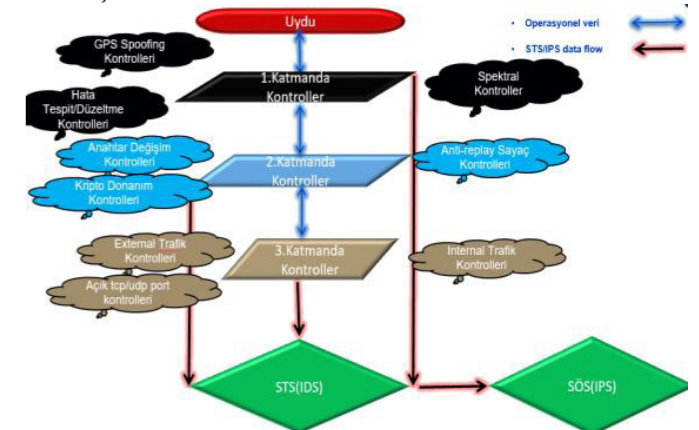
Şekil 11: OSI yapısına göre her katmandaki bazı tehlikeler [17]

Bir yer gözlem uydu istasyonunda işlem zinciri, kullanıcının talebi ile başlar ve bu talep doğrultusunda gerekli dosyalar alt birimlere hazırlanıp, uydu’ya uplink ile gönderilir. Uplink’i başarıyla almış uydunun görevini yapmasından sonra ham görüntünün downlink ile indirilmesi ile de üretim başlar. Veri, görüntü işleme ve görüntü düzenleme gibi birimlerden geçtikten sonra kullanıcıya ulaşır ve gelecekte kullanımı için farklı formatlarda arşivlenir.

Bu katmandaki tehditlerin yer istasyonu içerisinden kaynaklanabileceği gibi dışardan yapılan bir saldırıdan da kaynaklanabilir. Bu katmanda bilgi güvenliği sağlanırken CIA (Confidentiality, Integrity, ve Availability) üçgenindeki güvenlik unsurlarının korunması temel alınmalıdır. Bu katmanda ağ taraması, brut-force, sızma testi gibi testlerin uygulanıp sonuçlarının raporlanması gerekir. Ayrıca sistemler ve kullanıcılar tarafından yapılan işlemler kayıt altına alınmalıdır. Sistemler ve kullanıcılar, merkezi bir kontrol ünitesinden, gerçek zamanlı olarak görüntülenip, kontrol edilebilmelidir.

6. Saldırı Tespit Sistemi (STS)

Her katman için tehditleri izleyecek ve dinamik bir şekilde alarm oluşturacak bir Saldırı Tespit Sistemi (Intrusion Detection System, IDS) algoritması oluşturulması uydu yer istasyonundaki siber güvenliğin gerçek zamanlı olarak kontrol edilmesi için büyük fayda sağlayacaktır. Şekil 12’de bir STS uygulaması için temel olarak kontrol ve işleyiş mekanizması gösterilmiştir. Her katman için yapılacak kontroller örneklenmiştir.



Şekil 12: Uydu yer istasyonu için STS yapısı

7. Kaynaklar

- [1] T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. “Ulusal Siber Güvenlik Stratejisi 2020-2023”. 2020
- [2] Executive Order EO 13010, Critical Infrastructure Protection, <http://www.fas.org/irp/offdocs/eo13010.htm>, 1996 (06 Mart 2021’de erişildi)
- [3] T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. “Milli Uzay Programı “. 2021.
- [4] SAĞIOĞLU, Ş., ve diğerleri. “Siber Güvenlik ve Savunma, Standartlar ve Uygulamalar”, 2010. 332p, Ankara.
- [5] https://www.euroconsult-ec.com/25_July_2019, Mart 2021’de erişildi)
- [6] <https://www.statista.com/statistics/595182/worldwide-security-as-a-service-market-size>, (06 Mart 2021’de erişildi)
- [7] M. Manulis, C. P. Bridges, R. Harrison, V. Sekar, A. Davis, “Cyber security in New Space -Analysis of threats, key enabling technologies and challenges”. 2020.
- [8] Abboud, A. J., Albu-Rghaif A.N., Jassim, A.K., “Balancing Compression and Encryption of Satellite Imagery. “.2018.
- [9] Kim, I.J., Lee, B.S., “Architecture Design of Ground Telecommand Encryption Function for Spacecraft”. 2015.
- [10] Türkiye’de teknoloji kazanımı projelerinde karşılaşılan zorluklar, riskler ve çözüm önerileri havacılık ve uzay teknolojileri uzmanlığı tezi, Ahmet Emre Topbaş, Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Araştırmaları Merkezi Başkanlığı Mayıs 2018, Ankara
- [11] <https://www.savunmasanayi.org/gokturk-1/> (06 Mart 2021’de erişildi)
- [12] <https://www.nasa.gov/centers/ivv/cybersecurity.html> (06 Mart 2021’de erişildi)
- [13] A Product of the National Air and Space Intelligence Center, Competing in Space, Nasic Public Affairs Office, December 2018.
- [14] B. Garino and J. Gibson, “Space System Threats,” in AU-18 Space Primer, 2009, pp. 273–281.
- [15] Satellite Downlink Jamming Propagation Measurements at Ku-Band Christian A. Hofmann and Andreas Knopp, Neubiberg, Germany, 2018.
- [16] Status Study On Sustainability Of Satellite Communication Systems Under Hostile Jamming Environment, G. Kumaraswamy Rao HOD-ECE, Hyderabad, India - R. Sree Hari Rao Chief Controller R & D (Electronics) DRDO Bhawan New Delhi, India, 2018.

- [17] SANS Security Essentials, GSEC Practical Assignment Version 1.4b, OSI Defense in Depth to Increase Application Security, Kim Holl, 2002.
- [18] Information Security Considerations for Protecting NASA Mission Operations Centers (MOCs)
- [19] R. Wang, X. Wang, S. Cheng, Y. Meng, G. Zhang and Y. Zhou, “Plasma passive jamming for sar based on the resonant absorption effect,” IEEE Transactions on Plasma Science, April 2018.

Elektrikli Araçlar İçin Batarya Yönetim Sistemi Tasarımı ve Uygulama Örneği

Battery Management System Design And Application Example For Electric Vehicles

Nazım ELMALI¹, Emrah ÇETİN², Mustafa YAZ³

^{1,2,3}Elektrik Elektronik Mühendisliği Yozgat Bozok Üniversitesi
¹nazim.elmali@bozok.edu.tr, ²emrah.cetin@bozok.edu.tr, ³mustafa.yaz@bozok.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, elektrikli araçlarda kullanılan örnek bir batarya yönetim sistemi (BYS) modelinin tasarımı ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan sistemde diğer batarya tiplerine göre daha yüksek performans sağladığı için lityum iyon bataryalar kullanılmıştır. Dengeleme yöntemi olarak aktif dengeleme yöntemine yerine anahtarlama elemanlarının az olmasından dolayı pasif dengeleme yöntemi tercih edilmiştir. Batarya grubunun akım, sıcaklık ve gerilim değerleri ölçülüp işlemci tarafından sürekli değerlendirilerek sistemin verimli çalıştırılması ve koruma işleminin gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. İşlemci olarak Arduino Nano içerisinde bulunan Atmega328 kullanılmıştır. Batarya paketinde, 13 seri ve 15 paralel hücreler bulunmaktadır. Kullanılan BYS yöntemi Yozgat Bozok Üniversitesi Elektrik elektronik mühendisliği bölümünde elektrikli araba yarışları için hazırlanan elektrikli araçta kullanılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Batarya, Batarya Yönetim Sistemi

Abstract

In this study, the design and implementation of an exemplary BMS model used in electric vehicles is mentioned. Lithium ion batteries are used in the designed system because they provide higher performance than other battery types. As the balancing method, the passive balancing method is preferred because of the fewer switching elements compared to the active balancing method. By measuring the current, temperature and voltage values of the battery group and continuously evaluating them by the processor, it is aimed to operate the system efficiently and to realize the protection process. Atmega328 in Arduino Nano is used as processor. A total of 28 batteries, 13 in series and 15 in parallel, were used in the battery pack. The BYS method used was used in the car prepared for electric car races in the Department of Electrical and Electronics Engineering of Yozgat Bozok University and successful results were obtained.

Keywords: Battery, Battery Management System

1. Giriş

Dünyada fosil yakıtların kullanımı nüfus yoğunluğunun artmasıyla her geçen gün artmakta ve bu durum çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Bu endişe verici durumun yanında fosil yakıt rezervlerinin de sınırlı olması içten yanmalı motorlar yerine alternatif arayışını ortaya çıkarmıştır. Alternatif arayışlarının başında kimyasal enerji depolayan bataryalar enerji kaynağı olarak ortaya çıkmaktadır.

Elektrikli arabalarda kullanılan batarya gruplarının verimli kullanılması ve bataryaların kullanımında oluşabilecek tehlikelerin önüne geçebilmesi adına batarya yönetim sistemleri geliştirilmiştir. Günümüzde BYS alanında yapılan çalışmalar elektrikli araçların güvenliği açısından büyük önem arz etmektedir. O nedenle literatürde BYS hakkında birçok çalışma yapılmıştır.

Xu et. al. tarafından batarya akımı, batarya gerilimi, batarya sıcaklığı ve hücre gerilimi örneklemeleri kullanılarak bir araştırma yapılmıştır. Gerilim, batarya sıcaklığı ve hücre dengeleme yöntemleri özel bir devre ile gerçekleştirilmiştir [1].

R. Hu tarafından yapılan çalışmada BYS hakkında ayrıntılı bilgiler verilerek geliştirilmiş bir batarya modeli tanıtılmıştır. Modelin simülasyon çalışması yapılmıştır. Yeni bir BYS donanımı tasarlanmış ve deneysel sonuçlar elde edilmiştir [2].

Brandl et. al. pil performansını tahmin etmek için en ilginç modelleme yaklaşımlarının gözden geçirildiği ve pil yönetimi sistemleri için geçerli olan zorlu gereksinimlerin ve standartların tartışıldığı bir çalışma yapılmıştır. Ardından, pil yönetimi uygulaması için genel ve esnek bir mimari üzerinde şarj durumu tahmini ve şarj dengeleme için ana teknikler rapor edilmiştir. Son olarak, neredeyse tamamen entegre bir aktif yük dengeleyici içeren yenilikçi bir BYS tasarımı ve uygulaması açıklanmıştır [3].

Aldoğan, BYS’ler üzerinde yapılan araştırmalardan bahsederek bir BYS’nin genel özelliklerini anlatmıştır. Çalışmanın devamında bir BYS tasarımı yapılmış ve bu tasarım gerçekleştirilerek donanım testlerinden söz edilmiştir [4].

Altun tarafından BYS yazılım algoritmaları hakkında literatür taraması yapılmış, BYS genel özellikleri belirlenerek ihtiyaçlar araştırılmıştır. Daha sonra BYS için yazılım algoritmaları tasarlanmış bataryaların daha verimli kullanılması için algoritmalar geliştirilmiştir [5].

Baykal tarafından yapılan tezde Lityum Polimer bataryaların gerilim, sıcaklık değerlerini ölçen içerisinde güç, haberleşme ve ölçüm blokları bulunan seri bağlanmış her hücreye birer adet olacak şekilde ölçüm birimleri tasarlanmış ve aynı haberleşme hattı üzerinden tüm ölçüm birimleriyle haberleşme kuran ve verileri kullanıcıya gösterebilen bir yazılım gerçekleştirilmiştir [6].

L.Lu et al yayınladıkları çalışmada literatür analizi ve pratik bilgilerden bahsederek BYS bileşimine ve pil hücresi voltaj ölçümü, pil durumları tahmini ve pil tekdüzeliği gibi temel konulara giriş yapmıştır [7].

Baronti et. al. tarafından yapılan uygulamada seri bağlı lityum

iyon piller için bir dengeleme devresi tarafından elde edilebilecek performansları hesaplamak için basit ama etkili anlaşılmış, basit pasif teknikten başlayarak, pil hücreleri arasında verimli bir enerji transferini amaçlayan aktif teknikler araştırılmıştır [8].

Nafiz tarafından yapılan yüksek lisans tezinde farklı sayıda batarya ile çalışabilen bir BYS tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Bütün hücrelerden sıcaklık, akım, gerilim verileri alınmış, veri iletiminde RS232, RS485 ve CanBus haberleşme yöntemleri kullanılmıştır. Tasarlanan sistemde aktif dengeleme yöntemi kullanılarak bataryaların aşırı dolum ve aşırı boşalm durumları için yöntemler geliştirilmiştir [9].

Rezvanianiani et. al. tarafından batarya sağlık durumu (SoH) anlatılarak, batarya sağlık durumunun belirlenebilmesi için kaynaklardan araştırmalar yapılmış kullanılabilecek tekniklerden bahsedilmiştir [10].

Scrosati et. al. tarafından elektrikli araçlar ve bu araçlarda kullanılan BYS'lerle ilgili kapsamlı çalışma ve araştırmalar yapılmıştır [11].

Soydaş tarafından yapılan çalışmada BYS araştırılarak, lityum tabanlı batarya hücreleri üzerinde inceleme yapılmıştır. BYS dengeleme yöntemlerinden aktif ve pasif dengeleme yöntemleri kullanılarak tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar elektrikli araba yarışlarında test edilmiştir [12].

Wang et. al. tarafından yapılan çalışmada BYS'lerde sıcaklık yönetimi ile ilgili batarya termal modeli geliştirme ve termal yönetim stratejileri hakkında derleme yapılmıştır. Bataryaların ısı üretim durumları tartışılarak Li-ion bataryalar üzerindeki ısı kaçakları ve düşük sıcaklık durumlarının etkileri araştırılmıştır [13].

Rivera-Barrera et. al. tarafından yapılan çalışmada Li-ion piller için batarya şarj durumları (SoC) tahmin yöntemlerinin eğiliminde, olasılıksal teknikler ve yapay zeka tekniklerinin kullanıldığı çalışmaların kapsamlı bir incelemesi yapılmıştır [14].

Kılıç tarafından yayımlanan çalışmada Lityum Demir Fosfat bataryalardan oluşan bir batarya paketi ile BYS uygulaması test edilerek grafik arayüzü ve telemetri çalışması uygulanmıştır [15].

Gül tarafından yapılan çalışmada elektrikli araçlar için BYS gereksinimleri belirlenerek bir BYS donanımı gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen sistemde bir adet ana (master) ve bir adet uydu (slave) elektronik birim tasarlanarak 12 adet batarya hücresi üzerinde testleri yapılmış ve test sonuçları ile maliyet analizi verilmiştir [16].

Liu et. al. tarafından yapılan çalışmada batarya modelleme, SoC, SoH ve BYS teknolojileri hakkında araştırmalar yaparak geleneksel batarya şarj yaklaşımları ile ilgili optimizasyon yöntemleri tartışılmıştır [17].

Kurt ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada elektrikli araçlarda BYS ve kablosuz iletişim gibi iki önemli bileşenin ayrıntılarının özetlendiği bir çalışma yapılmıştır [18].

Kaymaz ve Hançar tarafından yapılan çalışmada BYS'lerin önemi ve özellikleri incelenerek bataryaların ömrünü etkileyen faktörlerden biri olan grup içi hücre gerilimlerinin farklı olmasının nedenleri ve sonuçları incelenmiştir. Hücre gerilimindeki eşitsizliği gidermek için uygulanan pasif ve aktif dengeleme sistemleri detaylı olarak analiz edilmiştir [19].

Bu çalışmada örnek bir BYS modeli tasarlanmış ve elektrikli bir araçta kullanılmak üzere donanımı oluşturulmuştur. Tasarlanan sistemle ilgili detaylı bilgiler bölüm 2'de verilmektedir.

2. Batarya Yönetim Sistemi

Elektrikli araçlarda kullanılan teknolojilerden biri ve aracın enerjisinin sağlandığı kısım olan batarya paketlerinin, gelişen teknolojilerle her geçen gün daha verimli kullanılması amaçlanmakta ve bu doğrultuda çalışmalar yapılmaktadır. Bu bölümde elektrikli araçlarda kullanılan batarya yönetim sisteminin tasarım ve uygulama adımları anlatılmaktadır.

2.1. Devre Tasarımı

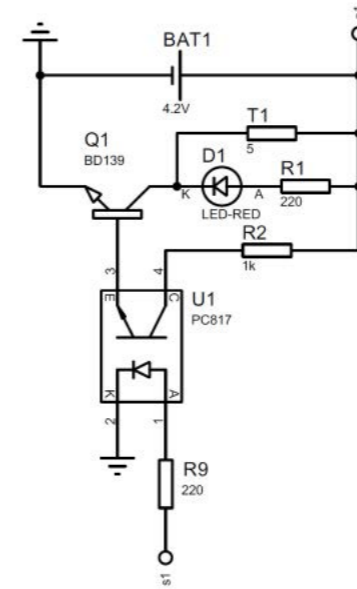
Batarya yönetim sistemleri bir pil grubunun güvenli işletim sınırları içerisinde çalışmasını ve şarj/deşarj esnasında batarya grubunda ki pillerin güvenli bir şekilde kullanılmasını sağlayan devre elemanlarıdır. Ayrıca batarya grubunda aşırı sıcaklık, aşırı akım, düşük veya yüksek gerilim olması durumunda batarya paketini korumaktadır. Pil grubunun şarjı veyadeşarjı esnasında tüm hücrelerin dengeli bir şekilde şarj/deşarj olması beklenmektedir. Aracımızın pil paketi 13 adet lityum iyon pilin seri olarak bağlanmasıyla oluşturulmuştur. Pillerin akım kapasitelerini arttırmak için ise 15 adet paralel pil kullanılmıştır. Batarya paketinde ki bir hücrenin güvenli işletim sınırları içerisinde çalışabilmesi için en yüksek gerilimi 4.2V ve en düşük gerilim seviyesi 3.2V olmalıdır. Bu durumda batarya paketimizin en yüksek seviyesi 54.6V, nominal gerilimi ise 48V olmaktadır. Tasarlanan batarya yönetim sistemi dengeleme yöntemi pasif olarak tasarlanmıştır dengeleme metodu ile ilgili ayrıntılar bölüm 2.2'de verilecektir.

2.1.1. Hücre Anahtarlama

Hücrelerin şarjı vedeşarjı esnasında işlemcinin dolan hücrenin by pass olmasına karar vermesi ile, ilgili hücrenin by pass anahtarı açılmaktadır. Anahtarlama elamanı olarak transistor tercih edilmiştir.

Anahtarlama elamanı olarak BD139 npn transistörler kullanılmıştır. Kollektör akım değeri 1.5A olan transistörün kollektör emiter arası en yüksek gerilim değeri 80 voltur ve to- 126 kılıf tipindedir. Her bir hücre için bir adet BD139 transistör bulunmaktadır. Her hücre transistörün base bacağı o hücrenin kendi gerilimi ile beslenerek transistör iletime veya kesime sokulmaktadır. Şekil 1'de de görüldüğü gibi R2 direnci transistörün base direncidir.

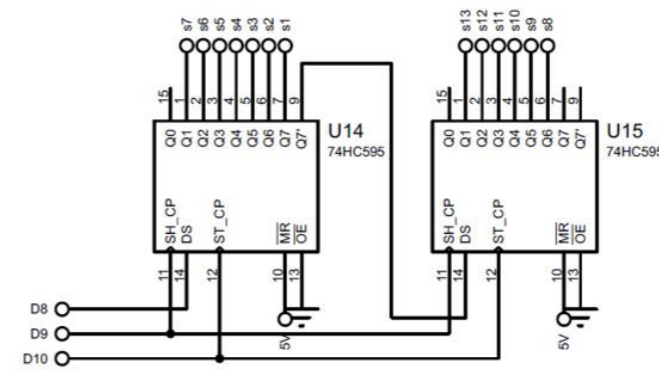
Ayrıca anahtarlama sinyallerini izole etmek amacı ile PC817 transistör optoküplörü kullanılmıştır. PC817 optoküplörün 1 numaralı ayağına anahtarlama sinyali geldiğinde BD139 transistör iletime geçmekte ve ilgili hücre by-pass edilmektedir.



Şekil 1: Anahtarlama Devresi

2.1.2. 74HC595 Shift Register

13 adet hücrenin by pass için kullanılan transistörlerini anahtarlama için 2 adet 74HC595 shift register entegresi kullanılmıştır. Asıl amaç 13 adet pin kullanmak yerine 3 adet kontrol pini kullanmaktır. 74HC595 entegresi kullanılarak pinden tasarruf edilmiş ve devre kartı sadeleştirilmiştir. Shift register ard arda bağlanmış flip flop hafıza elemanlarından oluşmaktadır. Register entegreleri sipo (serial input paralel output) modunda çalıştırılmıştır. İşlemcimize bağlı 3 adet pin seri data girişi yapılan ds, latch ve clock pinleridir. Entegrelere veri girişi yapılmak istendiğinde latch pini 0 seviyesine çekilir ve data lojik olarak seri şekilde ds pinine uygulanır arından clock pini aktif edilir ve istenilen pinlerden çıkış alınmış olur. Böylece anahtarlama elemanlarının optoküplörleri enerjilendirilmiş olur ve anahtar iletime geçer. İki adet seri olarak kullanılan register'lardan toplamda 16 adet pin elde edilmiştir.

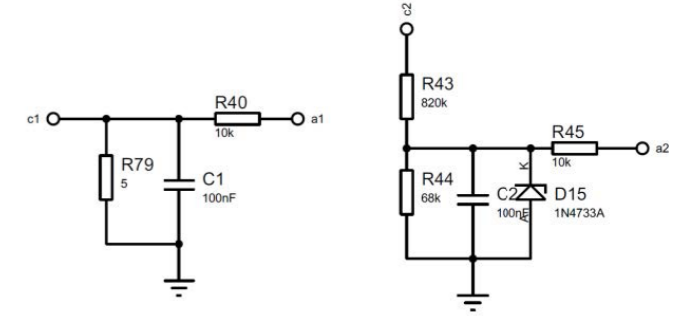


Şekil 2: Shift Register Anahtar Kontrolü

2.1.3. Gerilim Bölücü Ve ADC

Batarya yönetim sisteminde hücre gerilimlerin verimli ve doğru bir şekilde ölçülmesi oldukça önemlidir. Doğru ölçülemeyen hücre gerilimleri batarya paketinin zarar görmesine yol açar bu yüzden tasarlanan batarya yönetim sisteminde 16 bit ölçüm yapan ve i2c haberleşme protokolü ile haberleşen ADS1115 ADC modül kartı kullanılmıştır. 13 adet hücre gerilimleri ilk hücre hariç gerilim bölücü direnç yapısı ile 0-5 V seviyesine düşürülmekte ve ADS1115 entegresine giriş yapılmaktadır.

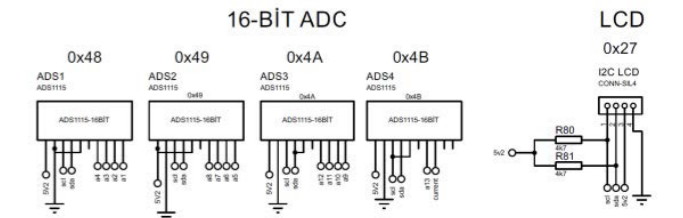
maktadır. Gerilim bölücü yapısında direnç değerleri 820k ohm ve 68k ohm olarak seçilmiştir. Ayrıca ADC ölçümü sırasında yüksek frekanslı parazitleri filtrelemek için 100nF kapasite eklenmiştir. ADC ölçümü yapan modül kartını yüksek gerilim düşümünden korumak amacı ile 5.1 V zener diyot ölçüm yapılan dirence paralel olarak eklenmiştir. Herhangi bir gerilim yükselmesi durumunda zener diyot kısa devre yaparak yüksek gerilimin şekil 3'de görülen R43 (820k) direncinin üzerinde toprağa akacaktır. Böylece ADS1115 modül kartı korunmuş olacaktır. İlk hücre seviyesi 3.2 V ve 4.2 V aralığında olduğu için gerilim bölücü yapısı ilk hücreye uygulanmamıştır.



Şekil 3: Gerilim bölücü devre

2.1.4. ADS1115 Analog Dijital Dönüştürücü

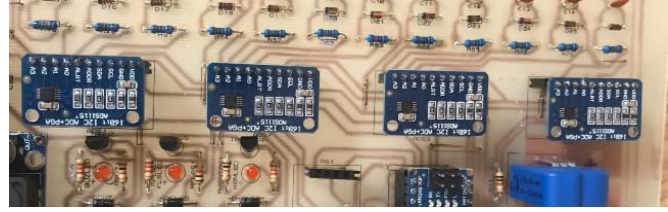
Batarya yönetim sistemlerinde hassas ve doğru bir ölçüm bataryanın güvenliği açısından oldukça önemlidir. Tasarladığımız BMS devresinde hassas bir ölçüm için 16 bit ölçüm yapabilen ve i2c haberleşme protokolü ile çalışan ADS1115 modülü kullanılmıştır. Modül kartının hassas ölçümün yanı sıra en büyük avantajı i2c protokolü ile çalışmasıdır. Bu sayede SDA ve SCL hatlarını kullanarak birden fazla analog ölçüm yapılabilir. ADS1115 modül kartlarındaki adres pini sayesinde her bir kart için ayrı ayrı adres tanımlanmıştır. ADS1115 kartları için 0x49, 0x48, 0x4A ve 0x4B adresleri tanımlanmıştır. İ2c bus hattına 16x4 LCD ekranda dahil edilmiştir. Kullanılan arayüz ekranı da i2c protokolüyle haberleşmekte olup adres olarak 0x27 tanımlanmıştır. Böyle 4 adet ADS1115 ADC kartı ve bir adet LCD ekran ile 5 adet sensör slave cihaz olarak görev yapmaktadır. İ2c Bus hattının en büyük avantajı ise SDA ve SCL pinlerini kullanarak birden fazla sensörden veri alışverişi yapmasıdır.



Şekil 4: 16 bit ADC Bus Yapısı

ADS1115 ADC kartının en önemli özelliklerinden bir tanesi 8 SPS ve 860 SPS (samples per second) saniyede alınan ayarlanabilir örnekleme sayısıdır. Düşük güç tüketimi ve i2c protokolü ile 0x48-0x4B arasında adreslenebilir olması da modülün diğer önemli özelliklerindedir. ADS1115 16 bit bir ölçüm sunmaktadır fakat 1 bit ters yani negatif ölçüm olması halinde geri bildirim amacı ile kullanılmaktadır. Yani analog girişlere ters bir besleme olduğunda negatif olarak ölçüm sağlanmaktadır.

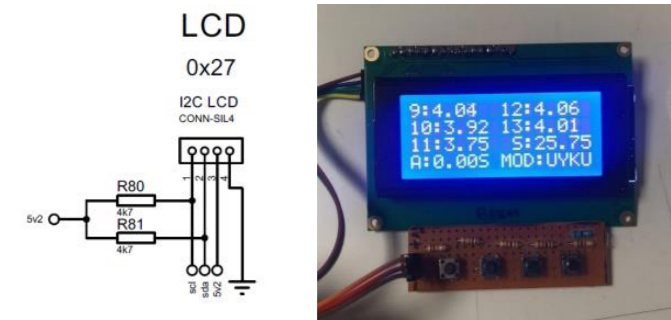
layabilmektedir ve 1 biti bu ölçümün anlaşılabilirliği için kullanılmıştır. Yani doğru polaritede ölçüm yapan bir ADS1115 15 bit olarak ölçüm yapmaktadır. Analog girişlere maksimum gerilim uygulandığında 15 bit yani $2^{15}=32768$ olarak işlemci tarafından okunmakta ve bu değer volt seviyesine dönüştürülmektedir. Dönüştürülen bu gerilim ile gerilim bölücü formülüne göre giriş gerilimi belirlenmektedir. Belirlenen hücreden bir önceki hücre değeri çıkarılarak o hücrenin gerilim seviyesi hassas olarak ölçülmektedir.



Şekil 5: 16 bit ADC Modülü

2.1.5. LCD Ekran

Batarya yönetim sistemimizde 16x4 LCD ekran ile kullanıcı ara yüzü oluşturulmuştur. Bu sayede kullanıcı batarya paketindeki tüm hücrelerin gerilimlerini, batarya paketinin sıcaklığını, bataryadan şarj veya deşarj sırasında çekilen akımı anlık olarak görebilmektedir. Ayrıca ekran üstünde bulunan butonlar sayesinde kullanıcı batarya paketinin değerlerini sayfa değiştirerek LCD ekranda görebilmektedir. Aksi bir güvenlik durumu olduğunda ise kullanıcıya uyarı verilecektir. Ayrıca ekran üzerinde bulunan butonlar ile şarj veya deşarj işleminin başlatılması gibi özelliklerin eklenmesi hedeflenmektedir. Bu sayede kolay ve verimli bir kullanıma ulaşılmaya çalışılacaktır. LCD ekran i2c haberleşme protokolü ile kontrol edilmekte ve i2c adres olarak 0x27 tanımlanmıştır. Devre kartının üzerine ise LCD ekran konektör olarak tasarlanmıştır.

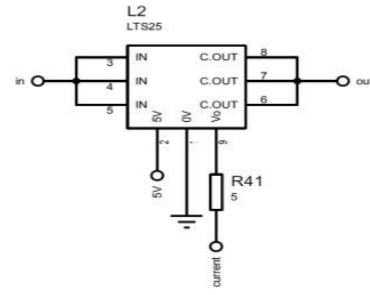


Şekil 6: LCD ekran girişi ve 16x2 LCD ekran

2.1.6. LTS-25 NP Akım Transdüseri

Batarya paketinden çekilen akım seviyesini belirlemek amacıyla LTS-25 akım sensörü kullanılmıştır. Batarya paketinden çekilen yüksek akım seviyesi tespit edilerek enerji hattı kesilir böylece batarya paketi korunmuş olur. Çift taraflı akım ölçme kabiliyeti olan LTS25 akım sensörü 25 ampere kadar ölçüm yapabilmektedir ve maksimum 80A sensör üzerinde akabilmektedir. 0-5V seviyesinde bir analog çıkış veren sensörde 0-2.5 V – yönlü akım için ayrılırken 2.5-5V seviyesi

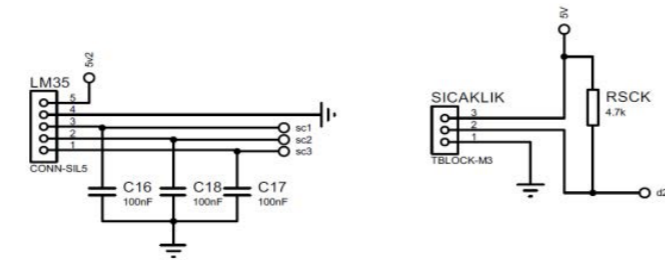
+ yönlü akım için ayrılmıştır ve amper başına 25mV çıkış sinyali üretmektedir. Bu değişimin tespiti için 16 bit ADS1115 modülünün bir kanalı kullanılmakta ve aracın bataryasından çekilen akım hassas bir şekilde okunmaktadır. (Şekil 7)



Şekil 7: LTS25-np akım sensörü

2.1.7. Sıcaklık Ölçümü

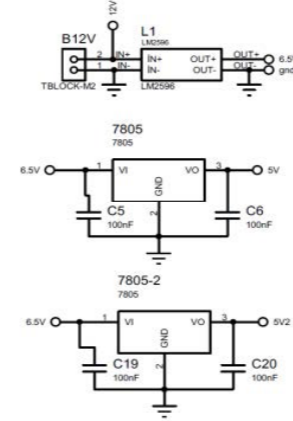
Batarya paketinin sıcaklığının ölçülmesi oldukça önemli olup lityum iyon pillerin nominal çalışma sıcaklığında çalışabilmesi verimliliği ve ömrü açısından kritiktir. Tasarlanan batarya yönetim sisteminde sıcaklık ölçümü için LM35 analog sıcaklık sensörleri kullanılmıştır. LM35 sıcaklık sensörü derece başına 10mV bir sinyal üretmektedir. Batarya paketinin sıcaklığı belirlenen değer üstüne çıktığında devre kartında bulunan röle kontakları açılarak soğutma fanları çalıştırılmaktadır. Belirlenen kritik seviyeye geldiğinde ise aracın enerjisi BYS tarafından kesilerek flaşör ve buzzer ile uyarı vermektedir. Ayrıca devre kartına DS18B20 dijital sıcaklık sensörü girişi yedek olarak eklenmiştir. Çoklu kullanımda yavaş veri transferi gerçekleştiğinden DS18B20 sıcaklık sensörü yedek giriş olarak eklenmiştir.



Şekil 8: Sıcaklık sensörü girişi

2.1.8. Güç Katı

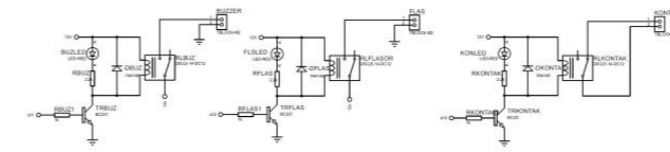
Devre kartının beslemesi LM2596 ve LM7805 voltaj regülatörleri ile sağlanmaktadır. 48V – 12V dönüştürücü tarafından BYS kartı beslenmektedir. LM2596 regülatörü ile 12V, 6.5V seviyesine indirilmiş olup işlemci gücünü sağlamaktadır. Arduino kartı üzerindeki regülatörlerin daha verimli çalışabilmesi için arduino kartı 6.5V seviyesinde beslenmiştir. Devrede bulunan diğer sensörler ise iki adet LM7805 entegresi ile beslenmektedir. Bu entegreler ise işlemci beslemesi olan 6.5V gerilimi 5V seviyesine regüle ederek devre kartı üzerindeki sensörleri beslemektedir. İki adet kullanılmasının sebebi ise tek bir LM7805 entegresi üzerinde ki yükü azaltarak daha verimli çalışabilmesini sağlamaktır.



Şekil 9: Güç katı

2.1.9. Röle Çıkışları

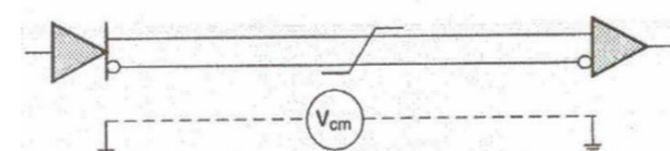
Tasarlanan batarya yönetim sistemi kartında 3 adet 12V DC röle bulunmaktadır. Birinci röle batarya paketi üzerindeki fanların belirli bir sıcaklık üzerinde aktif hale getirilebilmesi için kullanılmıştır. Diğer röle ise kritik sıcaklık değeri aşıldığında görsel ve işitsel olarak uyarı verilebilmesi için kullanılmıştır. Üçüncü röle kartı ise yüksek sıcaklık, yüksek akım, düşük gerilim veya yüksek gerilim gibi batarya paketinin işletim sınırları dışında oluşacak durumlar için kullanılmıştır. Üçüncü röle normalde kapalı olarak tasarlanmıştır ve sinyal verildiği takdirde kontaklarını açmaktadır. Röle çıkışları acil stop hattına bağlanmıştır. Acil stop hattının enerjisi açık hale getirildiğinde araç üzerinde bulunan kontaktörün bobin enerjisi kesilecek ve kontaklar açık hale gelecektir, böylece aracın enerjisi kesilerek güvenlik önlemi alınmaktadır.



Şekil 10: Röle çıkışları

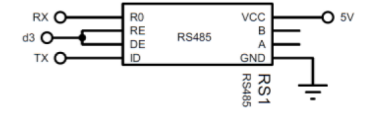
2.1.10. RS485 Modbus

Aracımızda donanımlar arası haberleşme için RS485 kullanılmıştır. Aracımızın her birimde bu haberleşme mevcuttur. RS-485 uzun mesafelerde, gürültülü ortamlarda, yüksek hız gerektiren yerlerde, daha çok donanımın haberleşmesi için geliştirilmiş bir haberleşme ortamıdır. RS485'in temeli 2 tane iletim hattından oluşmaktadır. RS485 üzerinden veriler A ve B adları verilen iki kablo üzerinden iletilir. Bu veri hatları A ve B olmak üzere ayrılmış ve dengelenmiş hatlardır. Dengelenmiş hat vericilerde diferansiyel sürücüler yani fark kuvvetlendirici, alıcılarda ise diferansiyel alıcı yani fark alıcılar bulunur. Şekil 11 ise bu iki yapının gösterimidir.



Şekil 11: Rs485 Modbus yapısı

RS485 modbus sistemine dâhil edilen BYS kartı araç kontrol sistemine bağlı slave cihaz olarak çalışmaktadır. Batarya hücrelerinin herhangi birinde oluşabilecek bir arıza araç kontrol sistemine ve araç içi ekran da sürücüyü görsel olarak bildirilir. Ayrıca anlık olarak batarya paketinde bulunan hücrelerin en yüksek ve en düşük değeri, batarya ömür tahmini ve kalan enerji miktarı gibi bilgiler RS485 modbus arayıcılığıyla araç kontrol sistemine aktarılması hedeflenmektedir.

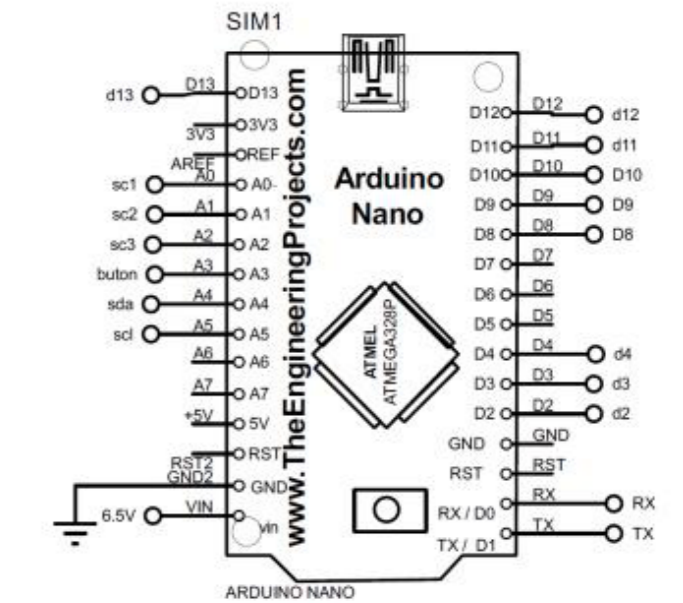


Şekil 12: RS485 Modülü

2.1.11. İşlemci

BYS kartında işlemci olarak Arduino Nano kartı tercih edilmiştir. Arduino Nano üzerinde bulunan Atmega328 işlemci kart üzerindeki tüm giriş ve çıkışları kontrol etmektedir. Atmega328 işlemci 14 adet dijital giriş ve çıkış pinine ve 6 adet PWM destekli pine sahiptir. 8 adet ise 10 bit analog giriş desteğine sahiptir.

Atmega328 işlemci 6-20V arası bir besleme gerilimine sahiptir. 32 KB flash hafızası bulunan Atmega328 1 KB eeprom hafızasına sahiptir. Her giriş çıkış pini maksimum 40mA akım sağlayabilmektedir. Arduino Nano işlemci kolay kullanım ve üzerinde bulundurduğu TTL seri dönüştürücü sayesinde oldukça kolay programlanabilmektedir. Ayrıca Arduino Nano kartının küçük boyutlu olmasından dolayı BYS devre kartında tercih edilmiştir. Üzerinde bulundurduğu i2c, SPI UART gibi haberleşme protokolleri sayesinde diğer alt sistemler ile haberleşmeye imkân sağlamaktadır.

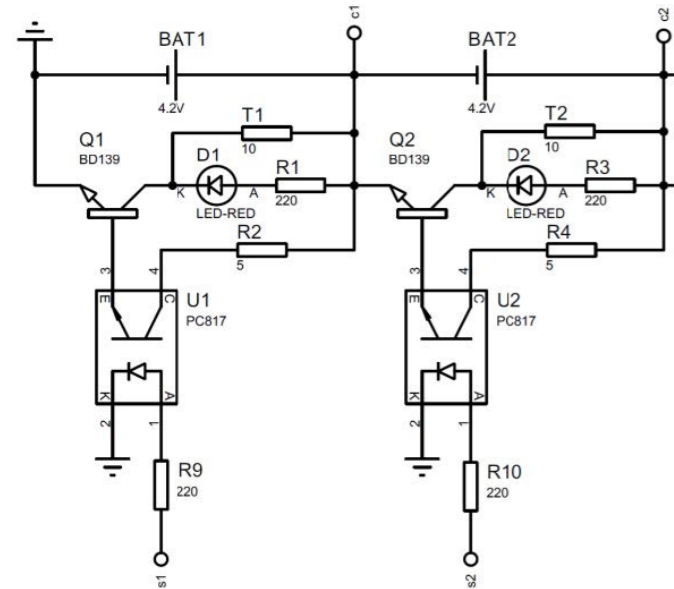


Şekil 13: Arduino Nano Atmega328

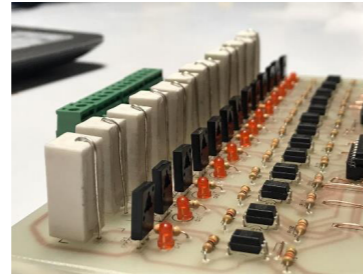
2.2. Dengeleme Yöntemi

Tasarlanan batarya yönetim sisteminde pasif dengeleme yöntemi tercih edilmiştir. Dengeleme esnasında gerilimi fazla olan hücre kendisine paralel bağlanmış bir direnç üzerinden bypass edilerek fazla olan enerji ısıya dönüştürülmektedir. Oldukça yaygın bir dengeleme yöntemi olan pasif dengeleme yöntemi, aktif dengeleme yöntemine göre anahtarlama elemanlarının az olmasından dolayı tercih edilmiştir. BYS kartımızın balans kısmında anahtarlama elemanı olarak BD139 transistör kullanılmıştır. Bypass direnci olarak 5W 10 ohm taş direnç tercih edilmiştir. 4.2V olan bir hücre bypass edildiğinde $4.2V/10\text{ohm} = 0.42A$ akım akmaktadır. Yani bypass dirençleri üzerinde $(0.42 \times 0.42) \times 10\text{ohm} = 1.8\text{watt}$ bir enerji ısıya dönüştürülmektedir. Dengeleme esnasında hücrelerin ortalaması alınır ve bu ortalama değerden yüksek olan hücre bypass edilerek dengeli bir şekilde şarj veya deşarj olması sağlanır. BYS kartı şarj veya deşarj olacağı bilgisini dışarıdan harici bir anahtar kullanmadan almaktadır. İşlemci tarafından hangi hücrenin bypass edileceğine karar verilir ve ilgili hücrenin optoküplörü 74HC595 register entegreleri ile aktif edilir. Ve transistör iletime geçerek hücre 5w 10 ohm taş direnç üzerinden bypass edilir ve fazla enerji ısıya dönüştürülür.

Pasif dengeleme aktif dengelemeye göre verimsiz olmasına rağmen kolay kullanım ve anahtarlama topolojisine sahip olduğundan dolayı tercih edilmiştir. Şekil 14'te görüldüğü gibi bypass direncine paralel bağlanan led sayesinde hangi hücrenin dengelendiği görsel olarak görülebilmektedir. Şarj esnasında herhangi bir hücre 4.25V seviyesine ulaştığında şarj kesilmektedir. Deşarj sırasında ise herhangi bir hücre 3.2V seviyesinin altına indiği takdirde batarya paketinin enerjisi kesilmektedir. Bypass dirençleri kart üzerine dik bir şekilde konumlandırılmıştır. Bunun nedeni ise kart üzerinde alandan tasarruf edebilmek ve taş dirençlerin daha kolay soğuyabilmesini sağlamak içindir.



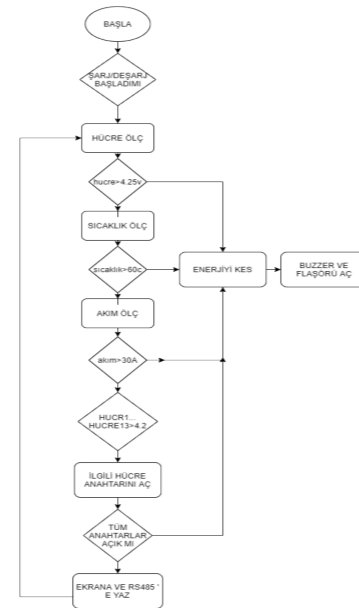
Şekil 14: Bypass şeması



Şekil 15: BYS, MOSFET ve dirençler

2.3. Kontrol Algoritması

Batarya yönetim sistemi kontrol algoritması şekil 16'da gösterildiği gibi komut olarak şarj veya deşarj işleminin başlamasını beklemektedir. Asıl amacı batarya grubunu korumak olan BYS akım, sıcaklık veya gerilimlerde meydana gelen herhangi bir dengesizlikte koruma moduna geçmekte ve kullanıcıyı uymaktadır. Ardından üzerinde bulundurduğu sensörlerin ölçtüğü değerleri RS485 modbus hattına iletmektedir. Ayrıca şarj esnasında tüm anahtarlar açık konumda ise aşırı şarj koruma moduna geçerek şarj işlemini sonlandırmaktadır.



Şekil 16: BMS, mosfet ve direnç

2.4. Simülasyon Çalışmaları

BYS kartı bilgisayar ortamında bir simülasyon programında tasarlanmıştır. Yapılan tasarım gerekli adımlar izlenerek Şekil 17'deki gibi kullanıma hazır hale getirilmiştir.



Şekil 15: BMS kartı son hali

3. Sonuçlar

Elektrikli araçların en önemli kısımlarından birisi olan BYS, gün geçtikçe artan elektrikli araba teknolojileri ile birlikte yaygın olarak çalışılan bir konu haline gelmiştir. Bu çalışmada 13 seri 15 paralel pil kullanılan bir 13S batarya paketinin BYS tasarımı yapılmıştır. Batarya grubunda aşırı sıcaklık, aşırı akım, düşük veya yüksek gerilim gibi durumları değerlendiren ve gerekli korumayı sağlayan bir sistem tasarlanmıştır. İşlemci olarak Arduino Nano içerisinde bulunan Atmega328 kullanılmış olup dengeleme yöntemi olarak pasif dengeleme yapılmıştır. Tasarlanan sistem Yozgat Bozok Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünde elektrikli araba yarışları için hazırlanan araçta kullanılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

4. Kaynaklar

- [1] D. Xu, W. Lifang, and Jianyang, "Research on Li-ion battery management system," 2010, doi: 10.1109/iCE-CE.2010.998.
- [2] R. Hu, "Battery Management System For Electric Vehicle Applications," Windsor, 2011.
- [3] M. Brandl et al., "Batteries and battery management systems for electric vehicles," 2012, doi: 10.1109/date.2012.6176637.
- [4] Aldoğan, E., Elektrikli Araçlar İçin Batarya Yönetim Sistemi Donanımı Tasarımı. Diss. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kocaeli, 2012.
- [5] ALTUN, Ş. Elektrikli Araçlar için Batarya Yönetim Sistemi Algoritması Tasarımı ve Uygulaması. Diss. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kocaeli, 2012.
- [6] BAYKAL, T. Lityum-polimer bataryalar için batarya yönetim sistemi geliştirilmesi. Yüksek Lisans, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü / Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, 109, İstanbul.
- [7] L. Lu, X. Han, J. Li, J. Hua, and M. Ouyang, "A review on the key issues for lithium-ion battery management in electric vehicles," Journal of Power Sources. 2013, doi: 10.1016/j.jpowsour.2012.10.060.
- [8] F. Baronti, R. Roncella, and R. Saletti, "Performance comparison of active balancing techniques for lithium-ion batteries," J. Power Sources, 2014, doi: 10.1016/j.jpowsour.2014.05.007.
- [9] S. NAFİZ, "Elektrikli otobüsler için batarya yönetim sistemi tasarımı.," Yüksek Lisans, Ege Üniversitesi, 2014.
- [10] S. M. Rezvanianani, Z. Liu, Y. Chen, and J. Lee, "Review and recent advances in battery health monitoring and prognostics technologies for electric vehicle (EV) safety and mobility," Journal of Power Sources. 2014, doi: 10.1016/j.jpowsour.2014.01.085.
- [11] B. Scrosati, J. Garche, and W. Tillmetz, Advances in battery technologies for electric vehicles. 2015.
- [12] Ş. SOYDAŞ, "Lityum tabanlı batarya paketleri için batarya yönetim sistemi tasarımı." Yüksek Lisans, Karabük Üniversitesi, 2015.
- [13] Q. Wang, B. Jiang, B. Li, and Y. Yan, "A critical review of thermal management models and solutions of lithium-ion batteries for the development of pure electric vehicles," Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016, doi: 10.1016/j.rser.2016.05.033.
- [14] J. P. Rivera-Barrera, N. Muñoz-Galeano, and H. O. Sarmiento-Maldonado, "Soc estimation for lithium-ion batteries: Review and future challenges," Electronics (Switzerland). 2017, doi: 10.3390/electronics6040102.
- [15] A. Kılıç, "Batarya Yönetim Sistemleri nde Ana Ve Uydu Denetleyici Modül Tasarımı Ve Can Protokolü Kullanımı," Pamukkale Üniversitesi, 2016.
- [16] H. S. GÜL, "Elektrikli araçlar için batarya yönetim sistemi tasarımı.," Yıldız Teknik Üniversitesi, 2018.
- [17] K. Liu, K. Li, Q. Peng, and C. Zhang, "A brief review on key technologies in the battery management system of electric vehicles," Frontiers of Mechanical Engineering. 2019, doi: 10.1007/s11465-018-0516-8.
- [18] A. Kurt, U. Dolu, B. Kaya, and G. Poyrazoglu, "Design of the Circuitry, Battery Management System, and Wireless Communication of an Electric Vehicle," 2019, doi: 10.1109/GPECOM.2019.8778553.
- [19] H. KAYMAZ and Y. HANÇAR, "Elektrikli Araç Batarya Yönetim Sistemleri için Hücre Eşitleme Yöntemleri," Akıllı Ulaşım Sist. ve Uygulamaları Derg., 2021, doi: 10.51513/jitsa.897126.

Sualtı Kablosuz Optik Haberleşme Sistemleri için Kısmi Eş-Fazlı Lazer Dizi Demeti Sinyal-Gürültü Oranı Analizi

Signal-to-Noise Ratio Analysis of Partially Coherent Laser Array Beam for Underwater Wireless Optical Communication Systems

Ecenaz Özalp¹, Alp Eren Aydoğdu¹, Muhsin Caner Gökçe¹, Yahya Baykal²

¹Elektrik-Elektronik Mühendisliği TED Üniversitesi

ecenaz.ozalp@tedu.edu.tr; aeren.aydogdu@tedu.edu.tr; muhsin.gokce@tedu.edu.tr

²Elektrik-Elektronik Mühendisliği Çankaya Üniversitesi

y.baykal@cankaya.edu.tr

Özet

Sualtı kablosuz optik haberleşme (SKOH) sistemlerinde kullanılan lazer kaynakları gerçek zamanlı yüksek veri gönderme kabiliyetine sahiptirler. Lazer kaynağının doğrusal ve dar bir demete sahip olması nedeniyle, gönderici ve alıcının merkezleri bir eksen üzerinde hizalanmalıdır. Böylece kaynaktaki optik güç, uzaysal düzlemde çok az bir hüzmeye genişlemesi ile onlarca metre iletilir. Göndericide kısmi eş-fazlı bir kaynak dizisi kullanılarak alıcı düzleminde daha geniş bir kapsama alanı elde edilebilir ve bu kullanıcılar için hareket serbestliği getirebilir. Bu çalışmada, okyanus türbülansı etkisi altında, her elemanı özdeş ve kısmi eş-fazlı bir kaynak dizisinin ve benzer özellikte tek bir lazer demetinin sinyal-gürültü oranları (SGO) hesaplandı ve karşılaştırıldı. Bir eş-fazlı lazer ile elde edilen SGO değerine ulaşmak için dizi içindeki kullanılmalı gereken kısmi eş-fazlı kaynak sayısı belirlendi. Ayrıca, sualtı okyanus türbülansının SGO üzerindeki etkileri incelendi.

Anahtar Kelimeler: Sualtı kablosuz optik haberleşme, lazer demet yayılımı, kısmi eş-fazlı lazer dizi demeti, sinyal-gürültü oranı.

Abstract

Laser sources used in underwater wireless optical communication systems have the ability to provide real-time high data rate transmission. Because of the narrowness of the laser beam, the centers of the transmitter and the receiver should be aligned on axis. This way, the transmit power can be transferred to distances up to tens of meters with minimal beam spread on the spatial plane. The use of a partially coherent beam array (PCBA) at the transmitter can yield a large coverage in the receiver spatial plane which may provide mobility for the users. In this study, under oceanic turbulence effects, the signal-to-noise ratios (SNR) of source array beam having identical partially coherent sources and a single laser array beam are calculated and compared. The number of required partially coherent beamlets is determined in order to reach the SNR level obtained with the one coherent laser. Furthermore, the effects of oceanic turbulence on the SNR are investigated.

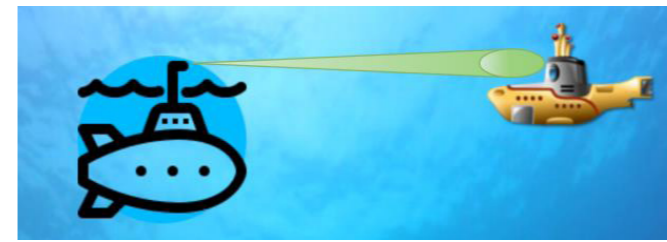
Keywords: Underwater wireless optical communications, laser beam propagation, partially coherent laser array beam, signal-to-noise ratio.

1. Giriş

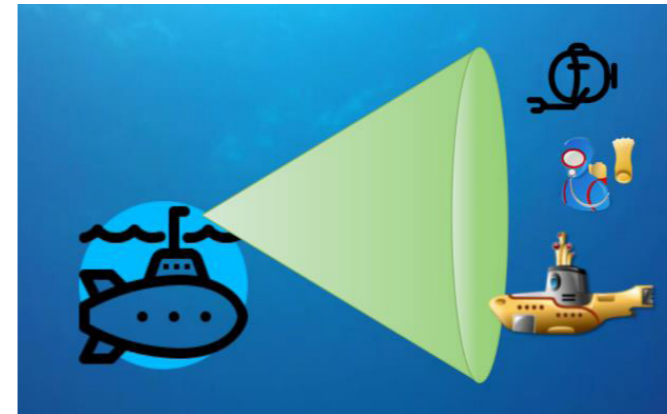
Sualtı kablosuz optik haberleşme (SKOH) sistemleri elektromanyetik spektrumun görünür ışık dalga-boyu bölgesini (400-700 nm) kullanır [1]. Işığın sualtındaki geçirgenliği onlarca metre (10-500 metre) olmakla birlikte bant genişliği (100 MHz-5 GHz) oldukça yüksektir. Işık sinyallerini kullanarak ses, görüntü ve eş-zamanlı veri iletimi yapılmaktadır. Bu nedenlerden dolayı kısa mesafelerde akustik haberleşme sistemlerine kıyasla oldukça iyi bir alternatiftir. Çok uzun mesafeler için (1-100 km), bant-genişliği oldukça düşük olan (1 kHz-100 kHz) akustik haberleşme sistemleri tercih edilmektedir fakat bu sistemlerin uygulama alanları ses iletimi ve sualtı kestirim teknikleri ile sınırlı kalmaktadır. SKOH sistemlerinin uygulama alanları giderek yaygınlaşmaktadır. SKOH uygulamalarına, sualtı görüntüleme, keşif, askeri-savunma etkinlikleri, sensör ağları ve nesnelerin interneti örnekleri verilebilir.

Sualtında yayılan bir optik dalga, soğrulma (*absorption*), saçılma (*scattering*) ve okyanus türbülansı (*oceanic turbulence*) gibi önemli negatif etkilere maruz kalmakta ve bu etkilerden dolayı iletişim performansı oldukça etkilenmektedir. Soğrulma ve saçılma, sualtında çözülmüş organik maddeler ve parçacıklardan (*klorofil pigmentleri, fitoplankton, vb.*) kaynaklanır ve bu yapılar gönderilen ışığı emerek ve saçarak optik dalgayı zayıflatırlar. Bu nedenle optik iletişim onlarca metre mesafeler ile sınırlıdır. Yapılan çalışmalara göre görünür ışığın mavi-yeşil bandını kullanan lazer veya LED kaynakları kullanmak, soğrulma ve saçılma etkisini oldukça düşürmektedir [2]. Sualtı okyanus türbülansı ise ilerleyen optik dalganın alıcı düzleminde daha fazla genişlemesine (*beam spreading*) ve alınan ışık şiddetinde dalgalanmalara (*scintillation*) neden olur [3]. Okyanus türbülansının oluşmasında tuzluluk ve sıcaklık önemli etmenlerdir [4].

SKOH sistemlerinin noktadan-noktaya görüş hattı bağlantı kurulumu (*point-to-point line of sight*) veya yayılmış ışık görüş hattı (*diffused line of sight*) bağlantı kurulumu gibi uygulamaları mevcuttur. Şekil 1 (a) ve (b)'de bu bağlantıların kurulum şeması verilmiştir [5].



(a) Noktadan-noktaya görüş hattı bağlantı kurulumu



(b) Yayılmış-ışık görüş hattı bağlantı kurulumu

Şekil 1 SKOH sistemleri kurulum uygulamaları

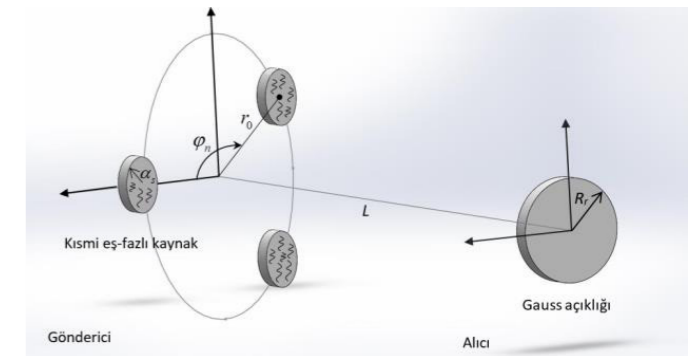
Şekil 1 (a)'da noktadan-noktaya bağlantı lazer kaynağı kullanılarak elde edilmiştir. Bu nedenle doğrusal ve dar bir demete sahiptir. Yayılmış ışık görüş hattı bağlantısı Şekil 1 (b)'de görüldüğü gibi, LED veya bir dizi kısmi eş-fazlı kaynağın bir araya getirilmesi ile elde edilebilir. Lazerler ile çok hızlı açma-kapama anahtarlama (On-Off Keying: OOK) yapılabilmesi için yüksek haberleşme hızlarına ulaşmak mümkündür. LED kaynakları ile elde edilebilen maksimum veri hızları lazer kaynaklarına kıyasla çok düşük kalmaktadır. Ayrıca lazerler daha fazla optik çıkış gücüne sahiptirler. Bu nedenle yayılmış ışık görüş hattı bağlantısını lazer kaynakları kullanarak elde etmek oldukça avantajlıdır. Bir lazer kaynağının önüne difüzör konularak koherent özelliği bozulur ve bu sayede kısmi eş-fazlı kaynak elde edilebilir. Kısmi eşfazlı kaynaklar LED gibi alıcı düzleminde daha geniş kapsama alanı oluşturur ve lazer kullanılarak elde edildikleri için yüksek haberleşme hızı sağlarlar. Fakat, kısmi eş-fazlı kaynakların LED gibi alıcı düzleminde fazlaca açılması alıcıda optik gücü düşürecektir. Kısmi eş-fazlı kaynakların türbülans kaynaklı ışık şiddetindeki dalgalanmaları (*scintillation*) azalttığı da bilinmektedir [3].

Bu çalışmada, okyanus türbülansı etkileri altında, bir halka üzerine yerleştirilmiş bir dizi özdeş kısmi eş-fazlı lazer kaynağın alıcıdaki sinyal-gürültü oranı (SGO) hesaplandı. Özdeş bir lazer kaynağı ile elde edilen SGO değeri de hesaplandı. Her iki kaynak kullanılarak hesaplanan SGO değerleri kıyaslanmış olup bir lazer demet ile elde edilen SGO oranına ulaşmak için dizi içindeki kullanılmalı gereken kısmi eş-fazlı kaynak sayısı belirlendi. Ayrıca, sualtı okyanus türbülansının SGO üzerindeki etkileri incelendi.

2. Sistem Modeli ve Alıcıdaki Optik Güç

Gönderici kısmında kaynak boyutu α_s olan N adet özdeş kısmi eş-fazlı lazer kaynağı, yarıçapı r_0 olan bir halka üzerine

eşit açılar ile yerleştirilmiştir. Yarıçapı açıklığı R_r olan alıcı ise kaynaktan L kadar ötede, eksen üzerine konuşlandırılmıştır. Çok-girdili tek-çıkıtlı sistem modelimiz Şekil 2'de verilmiştir [5].



Şekil 2 Çok girdili-tek çıkıtlı sistem modeli

Türbülanslı ortamda Gauss açıklığı üzerindeki toplam optik güç Eşitlik 1 ile elde edilmektedir [6].

$$\begin{aligned} \langle P \rangle &= \frac{\pi^3}{(\lambda L)^3} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \frac{1}{t_1^2 t_2^2 t_p^2} \exp(-r_0^2 \alpha_s^2) \\ &\times \exp\left[0.25 t_p^2 (w_{px}^2 + w_{py}^2)\right] \exp\left(\frac{r_0^2 \cos^2 \phi_n}{4 t_1^2 \alpha_s^2} + \frac{r_0^2 \sin^2 \phi_n}{4 t_2^2 \alpha_s^2}\right) \\ &\times \exp\left\{\frac{r_0^2}{4 t_2^2} \left[\cos \phi_m \frac{1}{\alpha_s^2} + \cos \phi_n \frac{1}{t_1^2 \alpha_s^2} (\rho_0^2 + 0.25 \rho_s^2)\right]^2\right\} \\ &\times \exp\left\{\frac{r_0^2}{4 t_1^2} \left[\sin \phi_m \frac{1}{\alpha_s^2} + \sin \phi_n \frac{1}{t_2^2 \alpha_s^2} (\rho_0^2 + 0.25 \rho_s^2)\right]^2\right\}. \end{aligned} \quad (1)$$

Burada

$$\begin{aligned} t_p^2 &= \frac{1}{R_r^2} + \frac{k^2}{4 t_1^2 L^2} + \frac{k^2}{4 t_2^2 L^2} \left[1 - t_1^2 (\rho_0^2 + 0.25 \rho_s^2)\right]^2, \\ t_1^2 &= 0.5 \alpha_s^2 - 0.5 j k L^{-1} + \rho_0^2 + 0.25 \rho_s^2, \\ t_2^2 &= 0.5 \alpha_s^2 + 0.5 j k L^{-1} + \rho_0^2 + 0.25 \rho_s^2 - t_1^2 (\rho_0^2 + 0.25 \rho_s^2)^2, \\ w_{px} &= \frac{j k}{L} \left\{ -\frac{r_0 \cos \phi_n}{2 t_1^2 \alpha_s^2} + \frac{r_0}{2 t_2^2} \left[\frac{\cos \phi_m}{\alpha_s^2} + \frac{\cos \phi_n}{t_1^2 \alpha_s^2} (\rho_0^2 + 0.25 \rho_s^2) \right] \right. \\ &\quad \left. \times \left[1 - \frac{1}{t_1^2} (\rho_0^2 + 0.25 \rho_s^2) \right] \right\}, \\ w_{py} &= \frac{j k}{L} \left\{ -\frac{r_0 \sin \phi_n}{2 t_2^2 \alpha_s^2} + \frac{r_0}{2 t_1^2} \left[\frac{\sin \phi_m}{\alpha_s^2} + \frac{\sin \phi_n}{t_2^2 \alpha_s^2} (\rho_0^2 + 0.25 \rho_s^2) \right] \right. \\ &\quad \left. \times \left[1 - \frac{1}{t_2^2} (\rho_0^2 + 0.25 \rho_s^2) \right] \right\}. \end{aligned}$$

$k = 2\pi/\lambda$ dalga sayısını, λ dalga boyunu, ρ_s kısmi eş-fazlılık derecesini ve ρ_0 ise uyumluluk uzunluğunu vermektedir ve sualtı okyanus türbülansı parametreleri cinsinden ifadesi Eşitlik 2'de verilmiştir [7].

$$\rho_0 = \left[1.28 \times 10^{-8} k^2 L \eta^{-1/3} \varepsilon^{-1/3} X_T \times (6.78 + 47.57 \omega^2 - 17.67 \omega^{-1}) \right]^{-1/2}. \quad (2)$$

Eşitlik 2'de ω sıcaklığın tuzluluk katılımı ve kırılma indisine oranını, ε sıvı birim kütlesi başına kinetik enerji yitim oranını, X_T ortalama kare sıcaklık yitim oranını, η Kolmogorov mik-

ro ölçütünü ifade etmektedir. ω , -5 ile 0 arasında değer alır ve sifıra yakın değerleri tuzluluğun baskın olduğunu -5 yakın değerleri ise sıcaklığın baskın olduğunu ifade eder. Ayrıca, ω ve X_T değerlerinin artması okyanus türbülansını artırırken, ϵ değerinin artması okyanus türbülansını düşürür [3,4]. Bir Gauss lazerinin alıcı açıklığı üzerindeki optik gücü bulmak için Eşitlik 1'de $r_0=0$, $N=1$ ve $\rho_s \rightarrow \infty$ seçilir.

Sinyal-Gürültü Oranı Hesaplaması

Alıcı detektör üzerindeki sinyal-gürültü oranı Eşitlik 3 ile elde edilmektedir [8, 9].

$$SGO = \frac{(MR_0(P))^2}{2qB(R_0(P) + R_0P_B + I_{ab})M^2F_n + \frac{4K_BBT}{R_L}} \quad (3)$$

Eşitlik 3'te M çığ foton-detektörü kazanç faktörünü, R_0 detektör duyarlılığını, (P) alınan optik gücü (Eşitlik 1'de verilmiştir), $q=1.602 \times 10^{-19}$ elektron yükünü, B bant genişliğini, P_B arka-plan gürültü gücünü (Watt), I_{ab} foto-diyot karanlık akımını, F_n gürültü faktörünü, $K_B=1.3807 \times 10^{-23}$ Boltzmann sabitini, T Kelvin cinsinden sıcaklık derecesini, R_L eşdeğer yük direncini göstermektedir.

4. Simülasyon Sonuçları

Simülasyonda Eşitlik 1 ve 2 kullanılarak okyanus türbülans etkisi altında alıcı üzerindeki optik güç hesaplandı. Daha sonra optik güç Eşitlik 3'te yerine yazılarak SGO değerleri bulundu. Bu değerler kullanılarak aşağıdaki tanım yapıldı.

$$SGO_k = 10 \log \left(\frac{SGO_{\text{kısmi eş-fazlı dizi}}}{SGO_{\text{lazer}}} \right) = 10 \log (SGO_{\text{kısmi eş-fazlı dizi}}) - 10 \log (SGO_{\text{lazer}}). \quad (4)$$

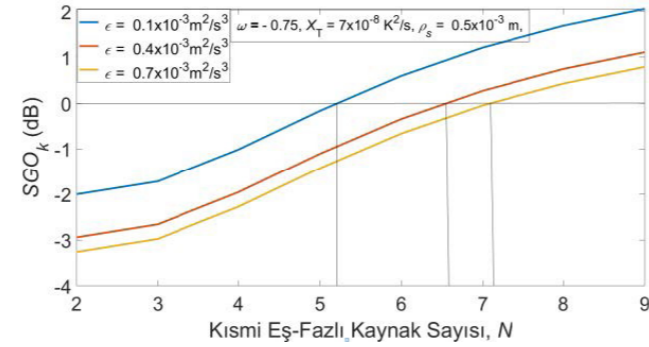
Burada, SGO_{lazer} bir eş-fazlı lazer için, $SGO_{\text{kısmi eş-fazlı dizi}}$ ise bir kısmi eş-fazlı kaynak dizisi için alıcıdaki SGO oranlarını ifade etmektedir. Eşitlik 4'te kıyaslanan SGO değerlerini gösteren $SGO_k = 0$ olduğunda, bir lazer demeti ile bir kısmi eş-fazlı kaynak dizisinin SGO değerleri birbirlerine eşittir sonucuna varılır.

Simülasyonda tüm şekiller Matlab programı kullanılarak elde edilmiştir. Lazer ve dizi içindeki tüm kaynakların çıkış genlikleri 1V/m ve boyutu 3mm olup bu nedenle çıkış güçleri eşittir $[\pi \alpha_s^2 (IV/m)^2]$. Kısmi eş-fazlı kaynak elde etmek için lazer kaynak önüne yerleştirilen difüzör'ün kısmi eş-fazlılık derecesi Şekil 6 hariç $\rho_s=5$ mm seçilmiştir ($\rho_s \ll \alpha_s$). Diğer sabit tutulan parametreler Tablo 1'de verilmiştir:

Alıcı Açıklığı Yarıçapı	$R_r=10$ mm
Bağlantı uzaklığı	$L=100$ m
Dalga Boyu	$\lambda = 532$ nm
Halka Yarıçapı	$r_0=6$ mm
Kaynak Boyutu	$\alpha_s=3$ mm
Bant Genişliği	$B=100$ MHz
Eşdeğer Yük Direnci	$R_L=50$ Ω
Detektör Duyarlılığı	$R_0=0.7$ amp/watt

Tablo 1 Sabit tutulan parametreler

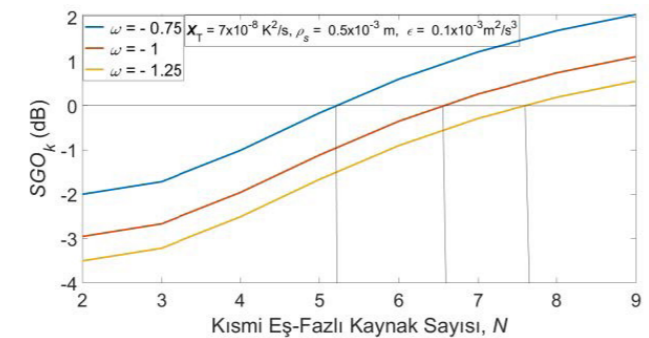
Şekiller, Eşitlik 4 kullanılarak elde edilmiştir. Farklı okyanus türbülans parametreleri verilerek SGO_k ve kısmi eş-fazlı kaynak sayısı (N) değişimi incelenmiştir. Şekillerde, değişen sistem parametreleri yansıtılmıştır. Sualtı okyanus türbülans şiddeti, ω ve/veya X_T artarken ve/veya azalırken ϵ artmaktadır [3,4].



Şekil 3 SGO_k-N ve sıvı birim kütle başına kinetik enerji yitim oranına ϵ göre değişimi

Şekil 3, SGO_k değerlerini ve buna karşılık gelen kısmi eş-fazlı kaynak sayılarını, N göstermektedir ve ayrıca ϵ değerine göre değişim de verilmiştir. Grafikte $SGO_k = 0$ olduğunda, bir eş-fazlı lazer ile bir kısmi eş-fazlı lazer dizisi kaynağın SGO değerleri birbirlerine eşittir sonucuna varılır ve bu nedenle $y=0$ doğrusu referans olarak alınmıştır. $\epsilon = 0.1 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}^3$ olduğunda, bir eş-fazlı lazerin alıcıda oluşturduğu SGO değerine ulaşmak için kullanmamız gereken kısmi eş-fazlı kaynak sayısı en az 5 olmalıdır. Okyanus türbülansının artması lazer hüzmelerinin alıcı düzleminde daha fazla genişlemesine neden olur ve böylece alıcı açıklığında güç kaybı yaşanır.

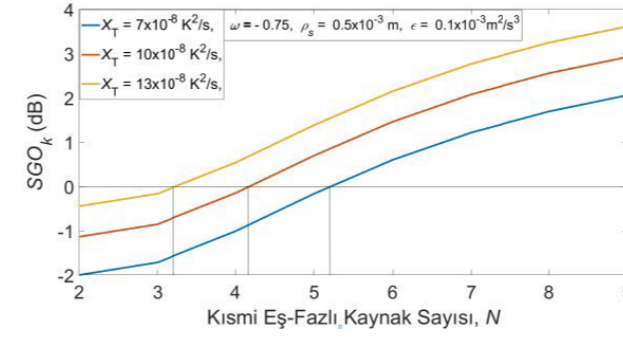
Şekil 3'te görüldüğü üzere, türbülans şiddeti düştüğü için, alıcı açıklığı üzerinde toplanan optik güç artmakta ve bu nedenle kullanılması gereken kısmi eş-fazlı kaynak sayısı da artmaktadır. Türbülans şiddeti düştükçe, yani ϵ değeri arttıkça, dizi içinde daha fazla kısmi eş-fazlı kaynak kullanılması gerektiği sonucuna varıldı. Şekil 3'e göre $\epsilon = 0.4 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}^3$ için en az 6 ve $\epsilon = 0.7 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}^3$ için en az 7 kısmi-eş fazlı kaynak kullanılmalıdır.



Şekil 4 SGO_k-N ve sıcaklığın tuzluluk katılımı ve kırılma indisine oranına ω göre değişimi

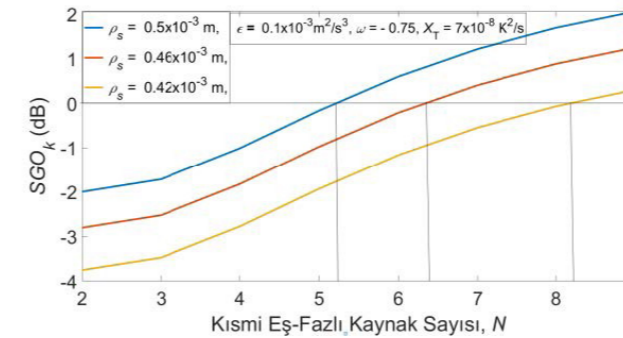
Şekil 4'te gösterilen grafik ω değerine göre değişen SGO_k değerlerini ve buna karşılık gelen kısmi eş-fazlı kaynak sayılarını göstermektedir. Bu şekilde $\omega = -0.75$ için en az 5 adet kısmi eş-fazlı kaynak kullanmak gerekiyor ki bir lazerin alıcıda oluşturduğu SGO değerini ($SGO_k = 0$) elde edelim. Burada bütün kaynakların güç değerleri eşit olduğuna göre lazerin çıkış gücü 1 birim ise dizideki kaynakların toplam gücü 5 birim olmalı-

dır. Tuzluluğun yani ω değerinin azalması okyanus türbülans şiddetini azaltmaktadır. Böylece sistemin SGO değerinin 0 olması için kullanılması gereken kısmi eş-fazlı kaynak sayısı artmaktadır. Bunun nedeni, türbülans şiddeti azaldığında lazer kaynağının ışık iletiminin artmasıdır. Bu nedenle, alıcıda daha fazla lazer ışını biriktirmektedir. Kısmi eş-fazlı kaynak sayısının artmasının nedeni ise lazerin etkisinin artmasıdır.



Şekil 5 SGO_k-N ve ortalama kare sıcaklık yitim oranına X_T göre değişimi

Şekil 5'te gösterilen grafik, X_T değerine göre değişen SGO_k değerlerini ve buna karşılık gelen kısmi eş-fazlı kaynak sayılarını göstermektedir. $X_T = 7 \times 10^{-8} \text{ K}^2/\text{s}$ referans olarak alındığında SGO_k değerinin 0 olma koşulu en az 5 kaynak ile sağlanmaktadır. X_T değerinin artması okyanus türbülans şiddetinin artması anlamına gelmektedir. SGO_k değerinin 0 olması için kullanılması gereken kısmi eş-fazlı kaynak sayısında azalma görülmüştür. Türbülans şiddeti arttığında, alıcıdaki lazer ışığı daha çok genişleyeceği için alıcı açıklığında toplanan optik güç de azalmaktadır. Bu nedenle dizi içinde daha az sayıda kısmi eş-fazlı kaynak kullanılarak lazer ışığının oluşturduğu SGO değerine ulaşılabilir.



Şekil 6 SGO_k-N ve kısmi eş-fazlılık derecesine ρ_s göre değişimi

Şekil 6'de gösterilen grafik ρ_s değerine göre değişen SGO_k değerlerini ve buna karşılık gelen kısmi eş-fazlı kaynak sayılarını göstermektedir. Lazer kaynağının önüne yerleştirilen difüzörün kısmi eş-fazlılık derecesi ρ_s düştükçe lazer kaynağının eş-faz değeri düşer. Eğer ρ_s oldukça küçük seçilirse LED benzeri eş-fazlı olmayan kaynak elde edilir. Aynı zamanda kısmi eş-fazlılık derecesi azalır, alıcı düzleminde daha fazla genişleme görülür. Şekil 6'da ρ_s değeri düştükçe alıcı düzleminde daha fazla genişleyen kısmi eş-fazlı kaynaklar elde edildi ve bu nedenle dizi içinde daha fazla kaynak kullanılması gerektiği sonucuna varıldı.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, okyanus türbülans etkisi altında, her elemanı özdeş kısmi eş-fazlı bir kaynak dizisinin ve benzer özellikte

tek bir eş-fazlı lazerin sinyal-gürültü oranları hesaplandı ve karşılaştırıldı. Okyanus türbülans parametrelerinden, sıcaklığın tuzluluk katkılarının kırılma indisi spektrumuna oranı (ω), ortalama kare sıcaklık yitim oranı (X_T), sıvı birim kütle başına kinetik enerji yitim oranının (ϵ) SGO üzerindeki etkileri araştırıldı. Sualtı okyanus türbülans değişiminin SGO_k 'yi ve kullanılması gereken kısmi eş-fazlı kaynak sayısını nasıl değiştirdiği incelendi. İlâveten, ρ_s kısmi eş-fazlılık derecesinin SGO üzerinde etkisi de araştırıldı. Sonuç olarak gözlemlediğimiz bulgular aşağıdadır:

- Okyanus türbülans şiddeti arttığında (azaldığında) bir lazer demeti ile elde edilen SGO değerine ulaşmak için dizi içinde daha az (fazla) sayıda kısmi eş-fazlı lazer kaynağı kullanılmalıdır.

- ω ve X_T artınca dizi içinde daha az sayıda kısmi eş-fazlı kaynak kullanılmalı, ϵ arttığında ise daha fazla sayıda kısmi eş-fazlı kaynak kullanılmalıdır.

- ρ_s arttığında lazer kaynağı SGO değerine daha fazla yaklaşılmaktadır. Bu nedenle daha az sayıda kısmi eş-fazlı kaynak kullanılarak eş-fazlı lazer ile elde edilen SGO değerine ulaşılacağı sonucuna varıldı.

Bu çalışmadaki bulgular SKOH sistemleri ve uygulamaları üzerine çalışan araştırmacılar için faydalı olacaktır.

6. Kaynaklar

- [1] Z. Zeng, S. Fu, H. Zhang, Y. Dong, and J. Cheng, "A Survey of Underwater Optical Wireless Communications," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 19, no. 1, pp. 204-238, Firstquarter 2017.
- [2] G. S. Spagnolo, L. Cozzella, F. Leccese "Underwater Optical Wireless Communications: Overview," Sensors, vol. 20, no. 8, pp. 2261, April 2020.
- [3] O. Korotkova, N. Farwell, and E. Shchepakina, "Light scintillation in oceanic turbulence," Wave Random Complex, vol. 22, no. 2, pp. 260-266, Feb. 2012.
- [4] O. Korotkova, Light propagation in a turbulent ocean, Progress in Optics, vol. 64, chapter 1, pp. 1-43, Elsevier, 2019.
- [5] www.diagrams.net
- [6] M. C. Gökçe, Y. Baykal, and M. Uysal, "Aperture averaging in multiple-input single-output free-space optical systems using partially coherent radial array beams," J. Opt. Soc. Am. A, vol. 33, no. 6, pp. 1041-1048, May 2016.
- [7] Y. Wu, Y. Zhang, Y. Li, and Z. Hu, "Beam wander of Gaussian-Schell model beams propagating through oceanic turbulence," Opt. Commun., vol. 371, pp. 59-66, July 2016.
- [8] Y. Baykal, "SNR advantage of anisotropy in oceanic optical wireless communications links," J. Opt. Soc. Am. A, vol. 36, no.12, pp. 1991-1996, November 2019.
- [9] Y. Baykal, "Signal-to-noise ratio reduction due to oceanic turbulence in oceanic wireless optical communication links," Opt. Commun., vol. 427, pp. 44-47, June 2018.

Beşinci Nesil Haberleşme Uygulamaları için Altıgen Halka Biçimli Bant Genişliği İyileştirilmiş Mikroşerit Yama Anten Tasarımı

Hexagonal Ring Shaped Microstrip Patch Antenna Design with Improved Bandwidth for Fifth Generation Communication Applications

Duygu Yaşar GÜNDOĞDU¹, Agah Oktay ERTAY²

¹Fen Bilimleri Enstitüsü Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi
207621003@ogr.ebyu.edu.tr

²Elektrik Elektronik Mühendisliği Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi
aoertay@erzincan.edu.tr

Özet

Günümüzde kullanılan 4. Nesil (4N) sistemlerinin zamanla yerini Beşinci Nesil (5N) kablosuz haberleşme sistemlerine bırakması öngörülmektedir. Kablosuz haberleşme sistemleri daha iyi sinyal alma ve düşük güç tüketimi gibi birçok farklı avantajlara sahip gelişmiş anten tasarımlarına ihtiyaç duymaktadır. Bu çalışmada 5N uygulamalarına yönelik 3.12 dB kazanç ve 0.73 GHz empedans bant genişliğine sahip n40 ve n41 frekans bantlarını kapsayan 2.4 GHz frekansında çalışan bir mikroşerit yama anten tasarımı önerilmiştir. Sunulan anten üç adımda tasarlanmış ve ilk adımda verilen altıgen çerçeveye içerisinde ikinci ve üçüncü adımlarda çeşitli geometrilere sahip yamalar eklenmiş ve arzu edilen anten tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarımı sunulan anten 5N kablosuz haberleşme uygulamaları için kullanılabilir özelliklere sahiptir. Tasarım adımları CST Microwave Studio'da gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Altıgen Mikroşerit Anten, Beşinci Nesil Anten

Abstract

It is foreseen that the 4th Generation (4G) systems used today will be replaced by the Fifth Generation (5G) wireless communication systems over time. Wireless communication systems require advanced antenna designs with many different advantages such as better signal reception and lower power consumption. In this study, a microstrip patch antenna design operating at 2.4 GHz frequency covering n40 and n41 frequency bands with 3.12 dB gain and 0.73 GHz impedance bandwidth for 5G applications is proposed. The presented antenna is designed in three steps and within the hexagonal frame given in the first step, patches with various geometries are added in the second and third steps and desired antenna design is realized. The designed antenna has features that can be used for 5N wireless communication applications. The design steps are performed in CST Microwave Studio.

Keywords Hexagon Microstrip Antenna, Fifth Generation Antenna

1. Giriş

Günümüzde kullanılan 4. Nesil teknolojilerin kullanıcıların taleplerini yeterince karşılayamamasından ötürü yakın bir gelecekte 5. Nesil (5N) sistemlere geçilmesi planlanmaktadır. ABD, Çin, Avrupa Birliği, Japonya, Güney Kore ve Türkiye de dahil olmak üzere dünyada birçok ülke, artan ağ hızı talepleri ve büyüyen mobil iletişim kapasitesi nedeniyle, beşinci nesil (5N) kablosuz haberleşme sistemlerine geçmek için büyük ölçekli geliştirme çalışmaları yapmaktadır [1].

Gelişen teknolojiyle birlikte ortaya çıkan verimlilik, veri hızı ve kazanç gibi kullanıcıların artan taleplerine yönelik sorunların 5N teknolojisiyle büyük ölçüde çözüme ulaşması beklenmektedir. 5N sistemlere yönelik yapılan çalışmaların beraberinde kablosuz ve mobil iletişim sistemlerinin yaygınlaşması da beklenmektedir. Kablosuz ve mobil iletişim sistemleri ise bu talepleri karşılamak için geniş bant ve düşük profile sahip farklı antenlere ihtiyaç duymaktadır [2]. Bu anten türleri içerisinde mikroşerit antenler de yer almakta ve bu antenler oldukça büyük öneme sahiptirler.

Son zamanlarda ortaya konulan tasarımlarla beraber mikroşerit antenlerin hafif ve küçük olmaları [3] nedeniyle bu antenlere çok fazla dikkat çekilmiştir. Bu tür antenler, yapıları gereğince entegre oldukları sistemlerde çok fazla değişikliğe neden olmadıkları ve tasarımlarının kolay olması gibi sebeplerden ötürü 5N iletişim ağları için önemli bir çözüm olarak tanımlanmaktadır. Mevcut 4. Nesil sistemlerle gelecek nesil haberleşme sistemleri yüksek veri hızlarına ulaşmak için yüksek bant genişliği kullanmakta ve aynı zamanda kanal kapasitesi de artmaktadır.

Yeni nesil 5N kablosuz haberleşme sistemleri bu teknolojik gelişmelerin yanında farklı birçok etmene de ihtiyaç duymaktadır. 5N teknolojilerin aktif olarak kullanılması için spektrum tahsisi oldukça önemli ve dikkat edilmesi gereken bir konudur. Spektrum tahsisinde haberleşme sistemleri için olan gereklilikler ve elektromanyetik özellikler önemli etkenleri oluşturmaktadır. Bu etkenler göz önüne alındığında

6 GHz bir frekans sınırı olarak kabul edilmiştir ve farklı ülkelerde 6 GHz altı ve 6 GHz üstü birçok farklı frekans bandı 5N haberleşme sistemleri için tanımlanmıştır [4]. 5N haberleşme sistemleri için Avrupa ülkelerinde özellikle kullanılması hedeflenen frekans bantlarından biri ise 2-3 GHz arası frekans bandıdır ve bu aralık için n40 (2300 – 2400 MHz) ve

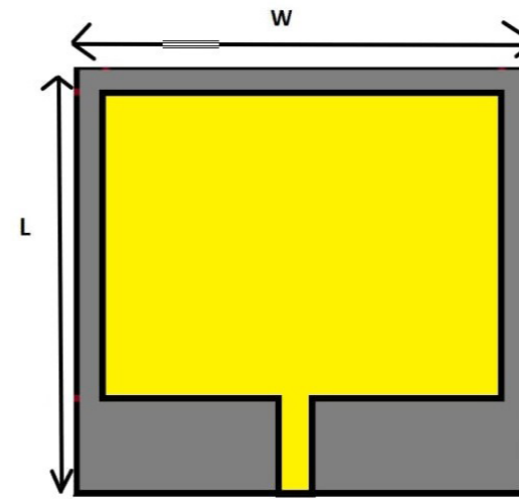
n41 (2496 – 2690 MHz) frekans bantlarının tahsisi planlanmaktadır [5,6].

Mikroşerit yama antenler 5N haberleşme sistemlerinin verimli bir şekilde çalışabilmesi için birçok frekansta tasarlanabilmektedir [7]. Bu türdeki antenler, sahip oldukları yüksek performans, düşük maliyet, hafiflik, küçük boyut ve imalat kolaylıkları gibi avantajları nedeniyle GPS, mobil el telsizleri veya iletişim cihazları gibi çeşitli uygulamalarda yaygın olarak yer almaktadırlar. Bu avantajlarını oluşturabilmek için çeşitli mikroşerit yama geometrileri elde edilerek tasarım adımları oluşturulabilmekte, parametrik analizler yapılabilmekte ve uygun frekans karakteristikleri elde edilebilmektedir [8]. Bu parametrelerin analiziyle arzu edilen frekans karakteristiklerini sağlayan antenin tasarımı mümkün olmaktadır.

Bu bildiriye 2.4 GHz merkez frekansına sahip 5N kablosuz haberleşme sistemlerine yönelik altıgen halka mikroşerit yama içinde yer alan üçgen ve daire halka yamaların yer aldığı bant genişliği iyileştirilmiş bir mikroşerit yama anten tasarımı yapılmıştır. Bu anten tasarımı üç aşamadan oluşmaktadır ve ilk adımda 3 GHz'e yakın frekanslarda çalışabilen bir anten tasarımı sunulmuş olup ikinci adımda bu tasarım 2.4 GHz'a yaklaştırılmıştır. Son adımda ise hem merkez frekansı 2.4 GHz olan hem de empedans bant genişliği değerleri iyileştirilmiş anten tasarımı gerçekleştirilmiştir. Anten tasarımına ait geometriler ve son antene ait olan yüzey akım dağılımı, üç boyutlu ve iki boyutlu ışınma örüntüleri sunulmuştur. Yapılan tüm tasarımlar CST Microwave Studio [9] elektromanyetik benzetim ortamında yapılmıştır.

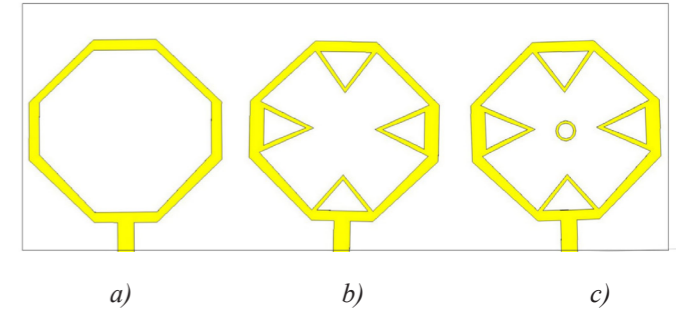
2. Anten Tasarım Adımları

Şekil 1'de klasik bir mikroşerit antene ait tasarım verilmiştir. Mikroşerit antenlerin dar bant genişliği, düşük kazanç vb. dezavantajları gidermek ve boyutlarını küçültmek için klasik mikroşerit anten geometrisi üzerinde değişiklikler yapılarak yeni tasarımlar ortaya çıkarılmaktadır.



Şekil 1: Klasik mikroşerit anten

Üç adımdan oluşan anten tasarımında öncelikle altıgen halka biçimli bir anten geometrisi kullanılmış ve anten tasarım adımlarının sonucunda 3 dB den daha yüksek kazanç ve n40 ve n41 frekans bantlarını kabul edilebilir $|S_{11}|$ -dB değerleri ile kapsayan anten tasarımı hedefi gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Anten tasarımlarına ait geometriler Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2: Tasarım adımları a) anten 1, b) anten 2 c) anten 3

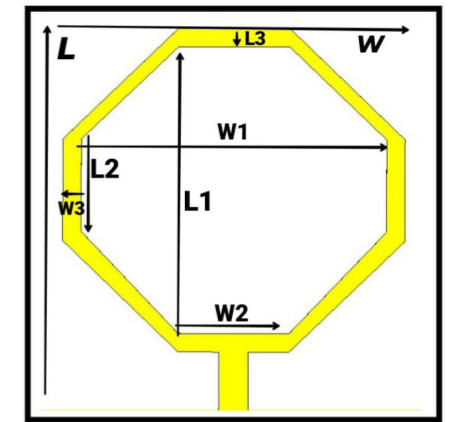
2.1. Anten 1

Altıgen halka geometriye sahip mikroşerit antenler literatürde sıkça kullanılmaktadır [10, 11]. Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde klasik bir mikroşerit yama anten tasarımlarının üzerine farklı geometrilere sahip yamalar yapılarak bant genişliğinin artırılması ve $|S_{11}|$ -dB değerinin azaltılması sağlanmıştır.

Bu doğrultuda hedeflenen anten tasarımı için ilk adımda altıgen halka geometriye sahip bir anten tasarımı ile tasarım adımı başlanmıştır. Şekil 1a)'da ele alınan başlangıç anteni (Anten-1), boyutları 44x44 mm² olacak şekilde tasarlanmıştır. Tasarımda 4.3 bağıl dielektrik sabiti olan ve

0.025 kayıp tanjantına sahip FR4 dielektrik malzemesi kullanılmış ve seçilen malzemenin yüksekliği 1.6 mm olarak belirlenmiştir. Tasarlanan anten taban iletkeni boyutları 44x22 mm² olacak şekilde tüm antenin boyutlarına oranla yarısı değerindedir. Anten 1'in tasarım boyutlarına göre merkez frekansı 3.1 GHz elde edilmiştir. Anten 1'e ait tasarım geometrisi Şekil 3'te ve bu antene ait $|S_{11}|$ -dB frekans karakteristiği ise Şekil 4'te gösterilmiştir. Şekil 4'te de görüldüğü gibi n40 ve n41 frekans bantlarının daha düşük

$|S_{11}|$ -dB seviyelerinde kapsamının gerekliliği görülmektedir. Antene ait parametre değerleri Çizelge 1'de verilmektedir.



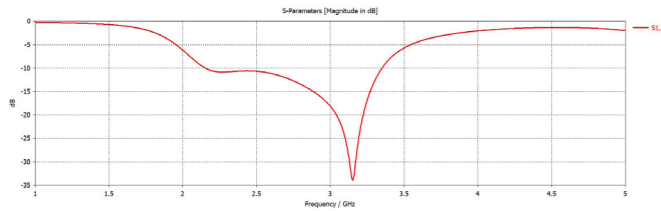
Şekil 3: Anten 1'e ait tasarım

Çizelge 1: Anten 1'e Ait Parametre Değerleri

Parametre	W	L	W1	L1
Değer(mm)	44	44	33	31
Parametre	W2	L2	W3	L3
Değer(mm)	12	10	2	2

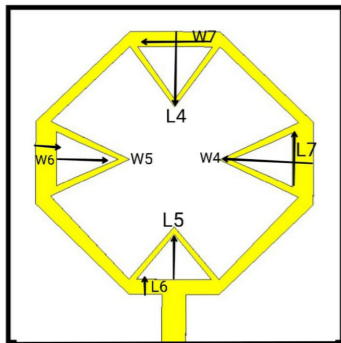
2.2. Anten 2

Anten 1 ile aynı değerlere sahip tasarım üzerinden yola çıkılmıştır. Anten 2 44x44 mm² olarak tasarlanmıştır ve Anten 1'deki aynı dielektrik malzeme özellikleri ve taban iletkeni boyutları kullanılmıştır. Anten 2



Şekil 4: Anten 1'e ait |S₁₁|-dB frekans karakteristiği

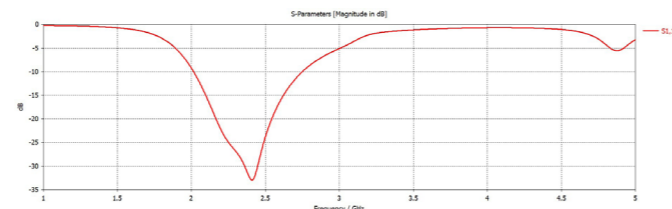
tasarımında birinci antenden farklı olarak anten geometrisi değiştirilmiş fakat anten çerçevesi korunmuştur. Anten 1'de tasarlanan altıgen halka çerçevesinin iç kısmı değiştirilerek karşılıklı aynı değerlere sahip olan dört adet üçgen geometriler eklenmiş ve istenilen hedef antenin merkez frekansına olan 2.4 GHz'e yaklaşılmaya çalışılmıştır. Elde edilen antenin merkez frekansını 2.41 GHz'e kadar indirilmiştir. Şekil 5'te Anten 2'ye ait tasarım geometrisi ve Şekil 6'da ise bu antene ait |S₁₁|-dB frekans karakteristiği görülmektedir. Anten-1'e eklenen üçgen geometrilerin |S₁₁|-dB frekans karakteristiğinin n40-n41 frekans bantlarını kapsayacak tasarım hedeflerine ulaşmasına katkı sağladığı Şekil 6'dan görülmektedir. Antene eklenen üçgenlere ait parametreler ise Çizelge 2'de yer almaktadır.



Şekil 5: Anten 2'ye ait tasarım

Çizelge 2: Anten 2'ye Ait Parametre Değerleri

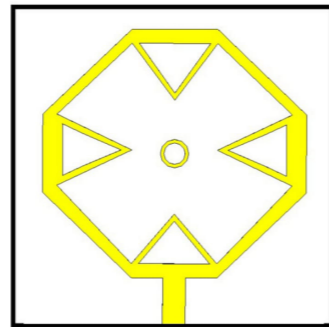
Parametre	W4	L4	W5	L5
Değer (mm)	12.5	10	8.75	7
Parametre	W6	L6	W7	L7
Değer (mm)	2.75	2	10	7.2



Şekil 6: Anten 2'ye ait |S₁₁|-dB frekans karakteristiği

2.3. Anten 3

Anten 3'te birinci ve ikinci adımda olduğu kullanılan anten boyutları ve dielektrik malzeme özellikleri korunmuştur. Burada görüldüğü üzere anten tasarımında Anten 2'nin geometrisine dairesel halka eklemesi yapılarak hedeflenen anten tasarım parametrelerine ulaşılmaya çalışılmıştır. Anten 3'ün tasarım geometrisi Şekil 7'de ve |S₁₁|-dB frekans karakteristiği ise Şekil 8'de verilmiştir. Çizelge 3'te Anten 3'e ait eklenen halkanın parametre değerleri sunulmuştur.

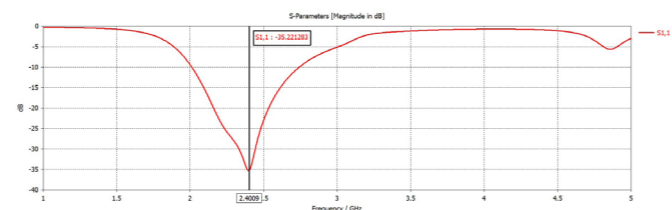


Şekil 7: Anten 3'e ait tasarım

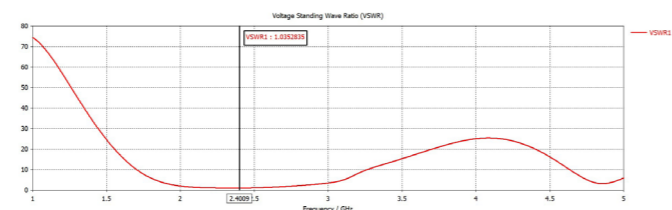
Anten 3 2.4 GHz merkez frekansına sahiptir ve bu noktada kazancı 3.12 dB olarak hesaplanmıştır. Bunun yanında |S₁₁|-dB frekans karakteristiği iyileştirilmiş ve 2.4GHz'de -35 dB'ye ulaşan değerler elde edilmiştir.

Çizelge 3: Anten 3'e ait parametre değerleri

Parametre	Değer (mm)
Eklenen Halkanın Dış Yarıçapı	2.5
Eklenen Halkanın İç Yarıçapı	1.5



Şekil 7: Anten 3'e ait |S₁₁|-dB frekans karakteristiği

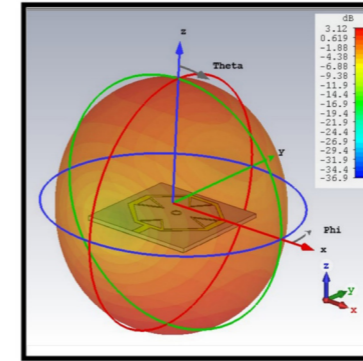


Şekil 8: Anten 3'e ait GDDO frekans karakteristiği

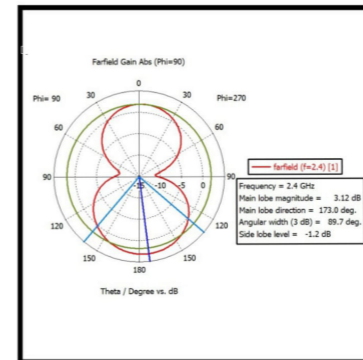
Empedans bant genişliği değeri |S₁₁|-dB'nin -10dB seviyesi için 0.73 GHz olarak tespit edilmiştir. Gerilim Duran Dalga Oranı (GDDO) değeri ise 1,03 olarak bulunmuştur ve bu parametreye ait grafik Şekil 8'de gösterilmiştir.

3. Sonuçlar

Bu çalışmada üç adımda 2.4 GHz merkez frekansına sahip bant genişliği iyileştirilmiş mikroşerit anten tasarımı sunulmuştur. Tasarlanan anten 44mmx44mm boyutlarında olup merkez frekansını 2.4GHz'dir. Anten |S₁₁|-10dB seviyesinde 2 GHz'den 2.74 GHz'e kadar çalışma aralığına sahiptir. Anten kazancı 2.4GHz'de 3.12 dB olarak hesaplanmıştır ve 2.4GHz'deki |S₁₁|



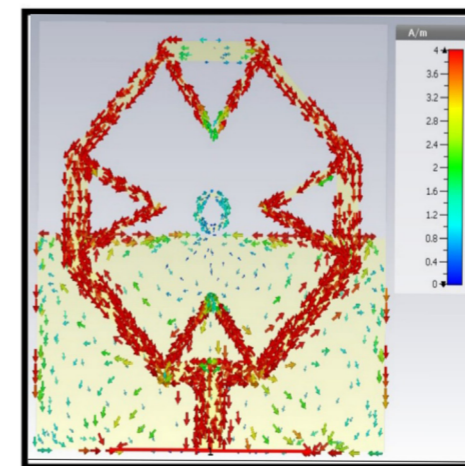
a)



b)

Şekil 9) a) Anten 3'e ait üç boyutlu ışınım örüntüsü

b) Anten 3'e ait iki boyutlu ışınım örüntüsü



Şekil 10) Anten 3'e ait 2.4GHz'deki yüzey akım yoğunluğu

seviyesi -35 dB'ye indirilmiştir. Tasarım adımları sonucunda hedeflenen anten gerçekleştirilmiş ve kabul edilebilir bir kazanç ve geniş bir bant aralığı elde edilmiştir. Anten 3'ün ait iki ve üç boyutlu ışınım örüntüleri ise Şekil 9'da verilmiştir. Üç boyutlu ve iki boyutlu ışınım örüntülerine incelendiğinde tasarlanan antenin azimut açısında (theta) yönsüz bir örüntüye sahip olduğu görülmektedir. Anten 3'e ait 2.4GHz'deki yüzey akım dağılımı Şekil 10'da gösterilmiştir. 2.4 GHz'de akımın yöneliminin daha çok altıgen çerçeve üzerinde yoğunlaştığı ve antende çerçeve içerisinde bulunan yama geometrilerinde bulunan üçgenlerde de akım yoğunluğu olduğu görülmektedir. Anten geometrisinin içerisinde yer alan halka içerisinde ve toprak düzlemi uç noktalarında da akım yoğunluğunun oluştuğunu görülmektedir. Tasarlanan antenin çoklu giriş çoklu çıkış anten tasarımları için kullanılması hedeflenmektedir.

4. Kaynaklar

- [1] Tütüncü B., "Microstrip Antenna for 5G Communication: Design and Performance Analysis", 2020 International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA), 2020, pp. 1-4, 2020.
- [2] Gundala, S., SrinivasaBaba, V., Vijaya, A. ve Mac-hanna, S., "Compact High Gain Hexagonal Fractal Antenna for 5G applications", 2019 IEEE International Conference on Advanced Networks and Telecommunications Systems (ANTS), pp. 1-7, 2019.
- [3] Natali, Y., ve Larasati, M. "Gain Enhancement Using Stub and Stacked Hexagon Microstrip Antenna for 5G Communication", 2019 International Conference on Radar, Antenna, Microwave, Electronics, and Telecommunications (ICRAMET), pp. 49-52, 2019.
- [4] Huang, H. C. "Overview of antenna designs and considerations in 5G cellular phones". In 2018 International Workshop on Antenna Technology (iWAT), s. 1-4, 2018.
- [5] <https://www.everythingrf.com/community/5g-frequency-bands-in-europe>
- [6] Ancans, G., Bobrovs, V., Ancans, A., ve Kalibatiene, D., "Spectrum considerations for 5G mobile communication systems", Procedia Computer Science, 104, s. 509-516, 2017.
- [7] Paul, L. C. ve Alam, M. M., "Millimeter-wave hexagonal grid microstrip array antenna for 5G communication", 2017 3rd International Conference on Electrical Information and Communication Technology (EICT), 2017, pp. 1-6.
- [8] Yıldırım, Ü ve Başdemir, H. D., "Wideband hexagonal type antenna design for 5G networks", 2017 10th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO), 2017, pp. 959-963.
- [9] CST Version, CST AG, 2018.
- [10] Kaur, N., Singh, J. ve Kumar, M., "Hexagonal Ring Shaped Dual Band Antenna Using Staircase Fractal Geometry For Wireless Applications", Wireless Personal Communications, 113(4), 2067-2078, 2020.
- [11] Sharma, N. ve Bhatia, S. S., "Performance enhancement of nested hexagonal ring-shaped compact multiband integrated wideband fractal antennas for wireless applications", International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering, 2020 30(3), 2020.

Beşinci Nesil Haberleşme Sistemleri ve ISM Bandı Uygulamaları için İyileştirilmiş Frekans Yanıtlı Mikroşerit Yama Anten Tasarımı

Microstrip Patch Antenna Design with Improved Frequency Response for Fifth Generation Communication Systems and ISM Band Applications

Ahmet Osman AKSOY¹, Ayşenur ÜSTÜN¹, Agah Oktay ERTAY¹

¹Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi
ahmetosmanaksoy@gmail.com, aysenuur.ustun@gmail.com, aoertay@erzincan.edu.tr

Özet

Beşinci Nesil (5N) haberleşme sistemleri için mikroşerit yama anten tasarımları oldukça ilgi çekici bir araştırma alanına sahiptir. Bu çalışmanın amacı n40 (2300-2400 MHz) ve ISM bantlarını kapsayan yeni bir mikroşerit anten tasarımının sunulmasıdır. Bu bağlamda üç aşamadan oluşan bir anten tasarım prosedürü önerilmiştir. Tasarlanan mikroşerit yama anten 2.4 GHz çalışma frekansı, 271 MHz empedans bant genişliğine ve 2.4 GHz'de 2.56 dBi kazançla sahiptir. Önerilen anten literatürde yer alan çalışmalara göre daha küçük boyuta ve daha yüksek empedans bant genişliğine sahiptir. Tasarım adımları ve analizler CST Microwave Studio elektromanyetik benzetim ortamında yapılmıştır. Amaçlanan anten akıllı sistem uygulamaları için aday bir mikroşerit yama antendir.

Anahtar Kelimeler: 5N Anten, Mikroşerit Anten, Yama Anten, Mikrodalga Anten

Abstract

Microstrip patch antenna designs for Fifth Generation (5G) communication systems have an attractive research area. The aim of this study is to present a new microstrip antenna design covering the n40 (2300-2400 MHz) and ISM bands. In this context, an antenna design procedure consisting of three stages is proposed. The designed microstrip patch antenna has 2.4 GHz operating frequency, 271 MHz impedance bandwidth and 2.56 dBi gain at 2.4 GHz. The proposed antenna has a smaller size and higher impedance bandwidth than the studies in the literature. Design steps and analyzes are performed in CST Microwave Studio electromagnetic simulation environment. The proposed antenna is a candidate microstrip patch antenna for smart system applications.

Keywords: 5G Antenna, Microstrip Antenna, Patch Antenna, Microwave Antenna

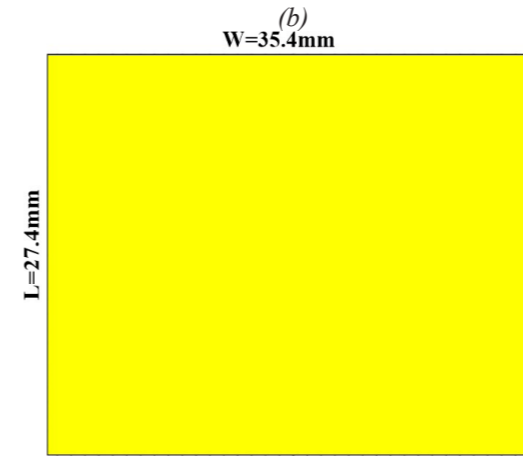
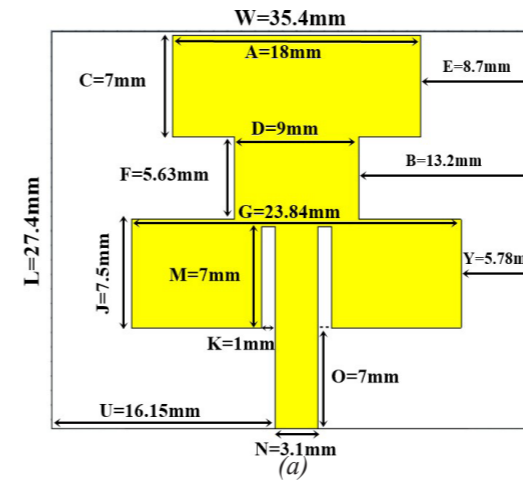
1. Giriş

Bilim ve teknolojiye heyecan verici gelişmeler neticesinde, günlük hayatın kolaylaşması adına birçok yenilik ortaya çıkmıştır. Bu yeniliklere zemin hazırlayan gelişmelerden biri, her bir sistemin akıllı olabilmesine olanak tanıyan Beşinci Nesil (5N) haberleşme sistemlerinin ortaya çıkmasıdır [1]. Bu sistemler ile yüksek güvenilirlikte daha yüksek veri hızında haberleşme [2,3], dördüncü nesil sistemlere göre esneklik [4] elde edilebilmektedir. Bu sistemlerin bu özelliklerinin sağlanmasında hiç şüphesiz bu sistemler için tasarlanan mikroşerit anten yapılarının büyük önemi bulunmaktadır. 5N sistemlerinde kullanılan antenlerin genellikle genişbantlı düşük boyutlu ve çoklu giriş çoklu çıkış sistemlerini desteklemesi arzu edilmektedir [4]. Ek olarak, azimut düzleminde yönsüz ışınma örüntülü anten tasarımına sahip olmak akıllı sistemlerde diğer sinyal kaynakları ile sürekli iletişimin sağlanması açısından bir diğer önemli faktördür [5-7].

Bu çalışmada 5N haberleşme ve ISM (Industrial Scientific and Medical) bandı uygulamaları için frekans yanıtı iyileştirilmiş bir mikroşerit yama anten tasarımı önerilmiştir. Üç adımdan oluşan anten tasarımlarının tamamı CST Microwave Studio [8] benzetim ortamında yapılmıştır. Tasarlanan anten 2.4 GHz çalışma frekansına sahiptir ve 5N uygulamaları için tahsis edilen n40 (2300-2400 MHz) ve ISM (2400-2483 MHz) frekans bantlarını kapsamaktadır. 2.4 GHz çalışma frekansı için elde edilen kazanç 2.56 dBi seviyelerindedir. Hedef anten tasarımı ile $|S_{11}| \leq -10$ dB seviyelerini 2.287 GHz ile 2.558 GHz arasında sağlayan 271 MHz empedans bant genişliğine sahip bir anten frekans karakteristiği elde edilmiştir. Tasarlanan anten 2.4 GHz'de azimut ekseninde yönsüz ışınma örüntüsüne sahip olması sebebiyle akıllı sistem uygulamaları için kullanılabilir aday bir antendir.

2. Anten Tasarım Adımları

Anten tasarım adımlarında dielektrik sabiti 4.3, kayıp tanjantı 0.025 ve malzeme yüksekliği 1.6 mm olan FR-4 malzemesi kullanılmıştır. Tasarım hedefi olarak 2.4 GHz çalışma frekansında -40 dB $|S_{11}|$ seviyesine sahip ve -10 dB $|S_{11}|$ seviyesi için empedans bant genişliğinin en az 260 MHz ve 2.4 GHz için kazanç seviyesinin minimum 2.5dBi olması istenmektedir. Ele alınan tasarımların tamamı Bu amaçla öncelikle Şekil 1'de verilen ilk adımı oluşturan anten tasarımı yapılmıştır. Mikroşerit yama geometrisi seçimi için [9] no'lu

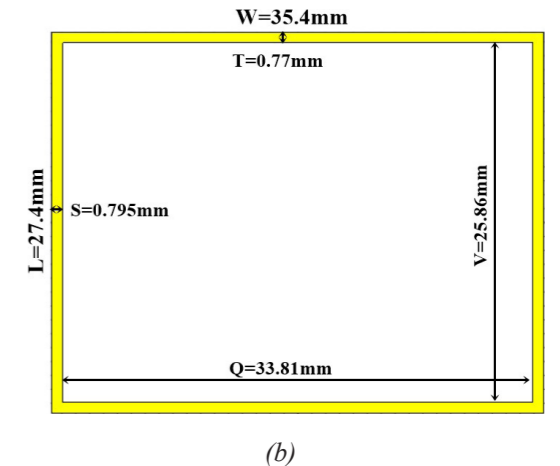
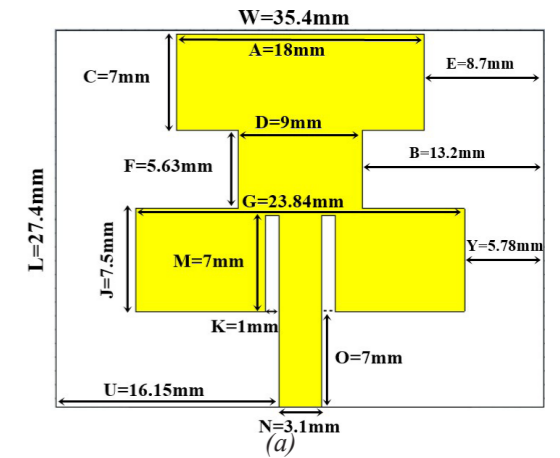


Şekil 1 Anten 1'in (a) üstten (b) alttan görünümü

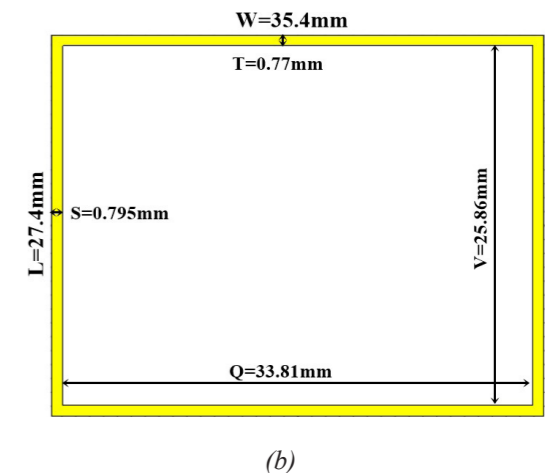
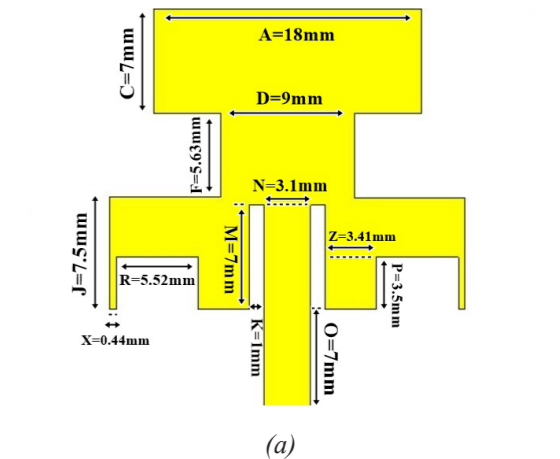
çalışmadaki anten geometrisinden esinlenerek Şekil 1'de verilen anten geometrisi (Anten-1) oluşturulmuştur. Bu tasarımda 50Ω'lık mikroşerit hat beslemesi için hat genişliği 3.1mm alınmıştır. Şekil 1'de verilen anten tasarımında taban iletkeni tüm alt yüzeyi kaplayacak biçimde alınmıştır. Şekil 2'de verilen ikinci adımda birinci adımda tasarlanan antende yer alan taban iletkeni dikdörtgen halka olarak modellenmiştir. Bu tasarım (Anten-2) değişikliği antenin çalışma frekansının belirlenmesine imkân sağlamıştır. Üçüncü tasarım (Anten-3) adımı ise Anten-2'deki mevcut yamanın besleme hattının sol ve sağ tarafında yer alan yamalarda dikdörtgen çentikler açılmıştır. [10] no'lu çalışmada yer alan bu değişiklik önerisi ile antenin giriş yansıma katsayısında iyileşmeler olması hedeflenmiştir. Anten tasarım adımlarının verildiği Şekil 1, Şekil 2 ve Şekil 3'te yer alan tüm anten parametrelerine ait değerler Çizelge 1'de verilmiştir.

3. Benzetimler ve Değerlendirme

Şekil 1, Şekil 2 ve Şekil 3'te verilen anten geometrilerinin ayrı ayrı benzetimleri CST benzetim ortamında yapılmıştır. Bu benzetimler sonucunda öncelikle Şekil 4'te verilen $|S_{11}|$ ve Gerilim Duran Dalga Oranı (GDDO) frekans karakteristikleri elde edilmiştir. Anten-1 geometrisi için yapılan benzetim sonucu 2.62GHz çalışma frekansına sahip olduğu ve 54 MHz'lik bir empedans bant genişliği elde edildiği Şekil 4 (a)'daki $|S_{11}|$ -dB grafiğinden görülmektedir. GDDO seviyesinin 1.5 'in altında olduğu frekans aralığı ise 2.602- 2.636 GHz olarak bulunmuştur. Ek olarak, 2.62 GHz'deki



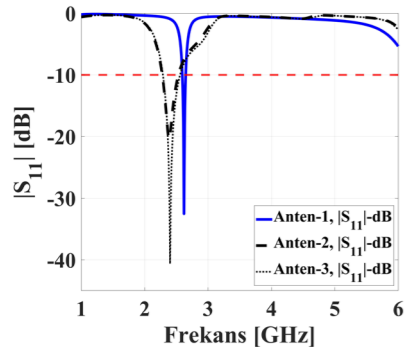
Şekil 2 Anten 2'nin (a) üstten (b) alttan görünümü



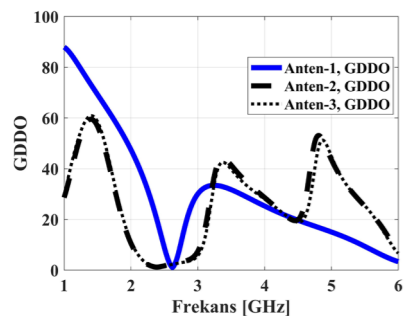
Şekil 3 Anten 3'ün (a) üstten (b) alttan görünümü

Çizelge 1: Anten tasarımlarında kullanılan parametreler ve değerleri

Parametreler	Değerler (mm)
W	35.4
L	27.4
A	18
C	7
D	9
F	5.63
G	23.84
J	7.5
K	1
M	7
N	3.1
O	7
E	8.7
B	13.2
Y	5.78
U	16.15
P	3.5
R	5.52
X	0.44
Z	3.41
T	0.77
S	0.795
Q	33.81
V	25.86
I	0.01
H	1.6

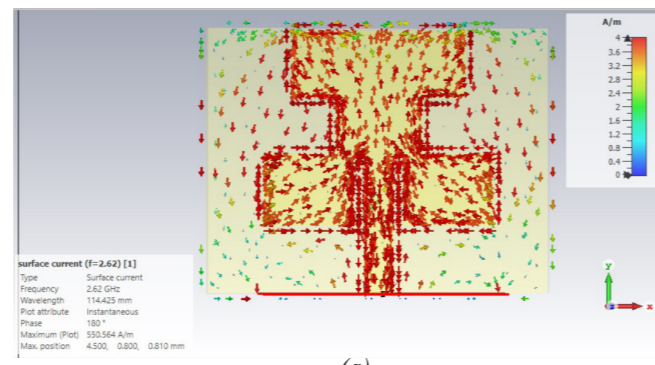


(a)

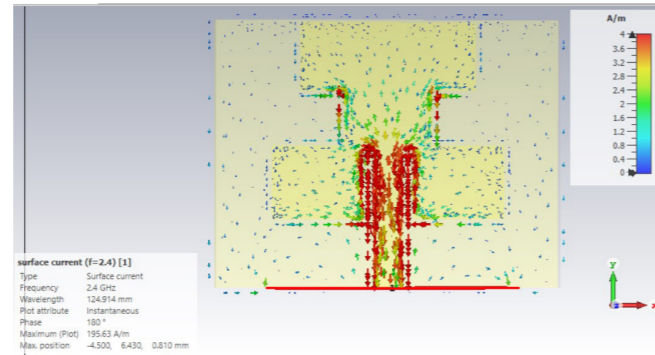


(b)

Şekil 4 Anten tasarım adımlarına ait $|S_{11}|$ -dB ve GDDO frekans karakteristikleri

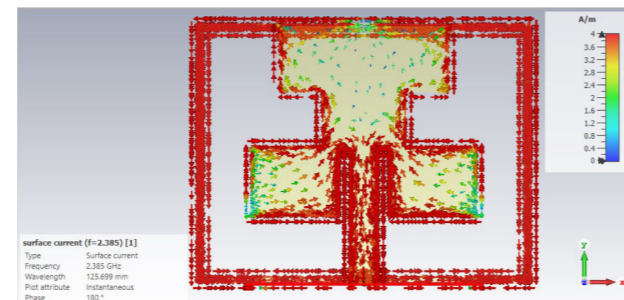


(a)

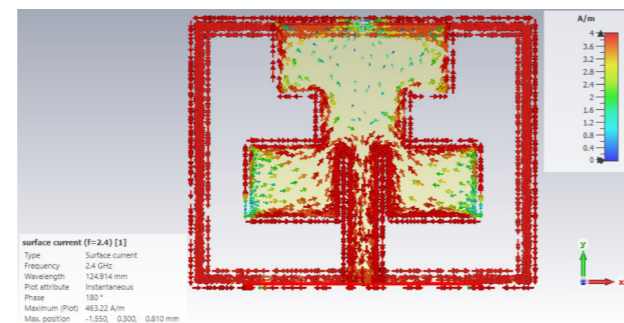


(b)

Şekil 5 Anten 1'in (a) 2.62 GHz'deki (b) 2.4 GHz'deki yüzey akım dağılımı



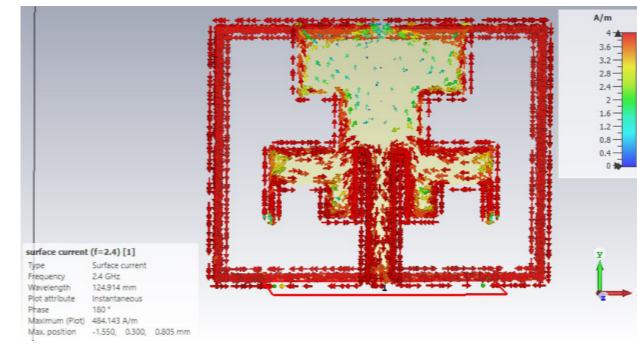
(a)



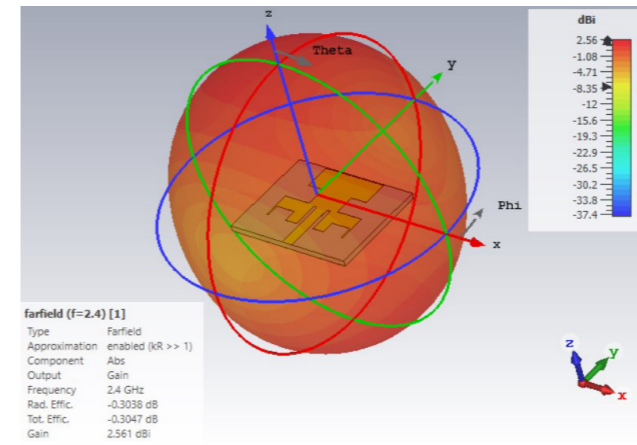
(b)

Şekil 6 Anten 2'nin (a) 2.385 GHz'deki (b) 2.4 GHz'deki yüzey akım dağılımı

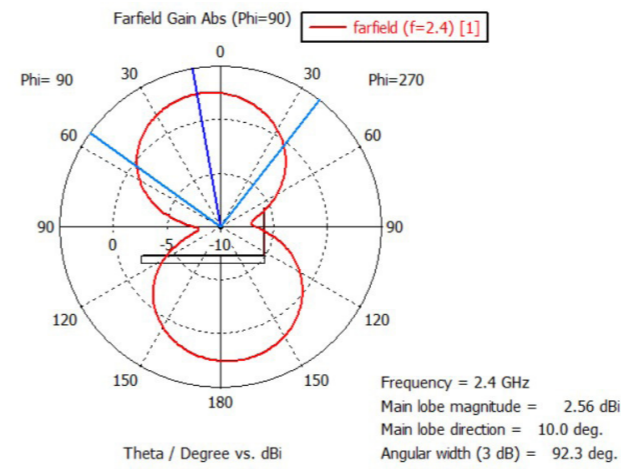
kazanç değeri -3.29 dBi olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlardan hareketle 2.62 GHz'deki akım dağılımı ve hedeflenen çalışma frekansı için Anten-1'e ait yüzey akım dağılımı Şekil 5'te incelenmek istenmiştir. 2.62 GHz için Şekil 5 (a)'da verilen yüzey akım dağılımında yüzey akımının yama uç noktalarında



Şekil 7 Anten 3'ün 2.4 GHz'deki yüzey akım dağılımı



(a)



(b)

Şekil 8 Anten 3'ün 2.4GHz'deki (a) üç boyutlu ışınma örüntüsü (b) iki boyutlu (yz düzlemindeki) ışınma örüntüsü

yoğunlaştığı görülmektedir. Bununla beraber, aynı anten için 2.4GHz'deki akım yoğunluğu Şekil 5 (b)'de incelendiğinde yüzey akımının besleme hattında yoğunlaştığı ve yamaya yayılımının oldukça düşük olduğu görülmektedir. Bu sebeple, anten tasarımında öncelikle taban iletkenindeki değişimin anten frekans karakteristiğine etkisi incelenmek istenmiştir. Anten-2 oluşturularak elde edilen geometrinin benzetimi sonucunda 2.385 GHz'de çalışan bir anten performansı Şekil 5 (a)'da ortaya çıkmıştır. Anten-2 için GDDO'nun 1.5'un altında yer aldığı frekans aralığı ise Şekil 5 (b)'den 2.322- 2.461 GHz çıkmıştır. Bu antenin 2.38 GHz'deki kazanç değeri 2.57 dBi elde edilmiştir. Bu sonuçlar ışığında 2.385 GHz ve 2.40 GHz frekansları için yüzey akım dağılımı grafikleri Şekil 6

(a)'daki ve (b)'deki gibi elde edilmiştir. İlgili frekanslar için Şekil 6 incelendiğinde yüzey akımının yama uçlarında, besleme hattında ve taban iletkeni dikdörtgen halka çevresinde yoğunlaştığı Şekil 6'dan görülmektedir. Anten-2 performansı ile tasarım hedefleri büyük oranda elde edilmekle beraber çalışma frekansı ve bu çalışma frekansındaki $|S_{11}|$ -dB seviyesi istenilen düzeyde değildir.

Bu hedefi elde edebilmek için Anten-3'teki tasarım geometrisi önerilmiştir. Bu tasarım sonucunda Şekil 4'te verilen $|S_{11}|$ -dB ve GDDO frekans karakteristikleri elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre Anten-3'ün çalışma frekansı 2.40 GHz olarak elde edilmiş olup bu frekanstaki $|S_{11}|$ -dB seviyesi ise -40 dB seviyelerinde elde edilmiştir. Empedans bant genişliği ise 271 MHz çıkmıştır. Anten-3 için GDDO'nun 1.5'in altında olduğu frekans aralığı ise 2.328- 2.489 GHz çıkmıştır. 2.4GHz çalışma frekansı için elde edilen kazanç değeri 2.56 dBi olmuştur. Bu sonuçlara göre tasarım hedeflerini karşılayan bir mikroşerit yama anten tasarımı ortaya çıkarılmış olmaktadır. Anten-3 için 2.4 GHz'teki yüzey akım dağılımı Şekil 7'de verilmektedir. Anten-3'ün 2.4 GHz'deki yüzey akımlarının daha yoğun olarak yama ve taban iletkeni uçlarında yoğunlaştığı Şekil 7'ye bakarak kolaylıkla ifade edilebilmektedir. Ek olarak, Şekil 8'de Anten-3'ün 2.4 GHz'deki üç boyutlu ve iki boyutlu (yz düzlemindeki) ışınma örüntüleri verilmiştir. Bu sonuçlara göre hedeflenen antenin xz düzleminde yönsüz bir karakteristiğe sahip ve yz düzleminde ise ana kulakçık yöneliminin $\theta=10^\circ$ civarında olduğu söylenebilmektedir. Çizelge 2'de tasarlanan anten ile literatürdeki mevcut çalışmaların devre boyutu ve bant genişliği açısından karşılaştırması verilmiştir. Verilenlere göre, tasarlanan anten [3] no'lu çalışmaya göre empedans bant genişliği daha yüksek ve [11] no'lu çalışmaya göre devre boyutu daha küçük olduğu görülmektedir.

Çizelge 2: Tasarlanan antenin performans karşılaştırması

Referans No	Devre Boyutu (mm ²)	Bant Genişliği (MHz)
[3] [11] Anten-3	800 990 915.444	210 100 271

4. -Sonuç

Bu bildiriye 5N haberleşme sistemlerinde ve ISM bandı uygulamalarında kullanılmak amacıyla 2.4 GHz çalışma frekansına sahip mikroşerit yama anten tasarımı yapılmıştır. 271 MHz empedans bant genişliğine sahip anten 2.4 GHz'de 2.56 dBi kazançla sahiptir. Önerilen mikroşerit antenin çoklu giriş çoklu çıkışlı anten tasarımları için başlangıç anteni olarak ele alınması gelecek çalışmalardan biridir.

5. Kaynaklar

[1] Wang, Y., ping Zhao, J. ve Xu, J., “Design of 5G Antenna with Frequency and Radiation Pattern Dual Reconfigurable”, In 2020 IEEE International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT) 2020, 1-3,

[2] Hussain, R., Khan, M. U. ve Sharawi, M. S., “Dual-band Slot-Based MIMO Antenna Design with Independent Tuning”, In 2020 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and North American Radio Science Meeting, 2020, 1757-1758.

[3] Awan, W. A., Hussain, N., Ghaffar, A., Zaidi, A. ve Li, X. J., “A Compact Flexible Antennas for ISM and 5G Sub-6-GHz band Application”, In WSA 2020; 24th International ITG Workshop on Smart Antennas, 2020, 1-3,

[4] Thakur, V., Jaglan, N. ve Gupta, S. D., “A Review on Antenna Design for 5G Applications”, In 2020 IEEE 6th International Conference on Signal Processing and Communication (ICSC), 2020, 266-271.

[5] Liu, Y., Li, X., Yang, L. ve Liu, Y., “A dual-polarized dual-band antenna with omni-directional radiation patterns”, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 65(8), 4259-4262, 2017.

[6] Mao, C. X., Khalily, M., Xiao, P., Brown, T. W. ve Gao, S., “Planar sub-millimeter-wave array antenna with enhanced gain and reduced sidelobes for 5G broadcast applications”, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 67(1), 160-168, 2018.

[7] C. X. Mao, M. Khalily, L. Zhang, P. Xiao, Y. Sun ve D.

H. Werner, “Compact Patch Antenna With Vertical Polarization and Omnidirectional Radiation Characteristics”, in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 69(2), 1158-1161, 2021.

[8] CST Version, CST AG, 2018.

[9] Ullah, S., Ahmad, I., Raheem, Y., Ullah, S., Ahmad, T., ve Habib, U., “Hexagonal shaped CPW feed based frequency reconfigurable antenna for WLAN and sub-6 GHz 5G applications”, In 2020 IEEE International Conference on Emerging Trends in Smart Technologies (ICETST), 2020, 1-4.

[10] Demirci M., “5G Haberleşme Teknolojisi için Mikroşerit Yama Anten Tasarımı”, yüksek lisans tezi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, 2020.

[11] Dattatreya, G. ve Naik, K. K. “A low volume flexible CPW-fed elliptical-ring with split-triangular patch dual-band antenna”, International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering, 29(8), 2019

Elektromanyetik Benzetim Yazılımı Kullanarak 2400 Mhz Frekansında 40 Db Rf Güç Yükselteci Tasarımı

Sefa Furkan ÇALIŞIR¹ Yusuf ERTUĞAN¹ Caner ÖZDEMİR²

¹Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Mersin Üniversitesi
sefafurkanmeu@gmail.com, ysfertugan@gmail.com, cozdemir@mersin.edu.tr

²Emtech Bilişim Teknolojileri, Mersin Teknoloji Geliştirme Bölgesi
caner.ozdemir@emtechbilisim.com

Anahtar Sözcükler: RF güç yükselteci, Mikrodalga Devre Tasarımı, Elektromanyetik benzetim

Özet

Bu çalışmada, 2400 MHz civarında çalışan ve takribi olarak 40dB sinyal kazancı ile çıkış gücü 1W olan bir mikrodalga RF güç yükselteci tasarlanmıştır. AWR (Applied Wave Research) elektromanyetik benzetim programını kullanarak, güç yükselteci içinde olan transistör devreleri ve katmanları oluşturulmuştur. Oluşturulan transistör devrelerinin EM benzetimleri yapılmış ve akımın yol üzerinde nasıl dağıldığı görüntülenmiştir. Yükselteçte kullanılan her iki transistör için kazanç değerlerinin farklı grafikleri AWR programı üzerinden gösterilmiştir.

Abstract

In this study, a microwave RF power amplifier was designed which is operating around 2400 MHz with a signal gain of approximately 40dB and an output power of 1W. Electromagnetic simulator program, transistör circuits and layers were created by using the AWR (Applied Wave Research) in the power amplifier. EM simulations which created by transistör circuits has been maded and it's been visualized that how the current is distributed on the road. Different plots of gain values was showed on the AWR program for both transistör s which used in the amplifier.

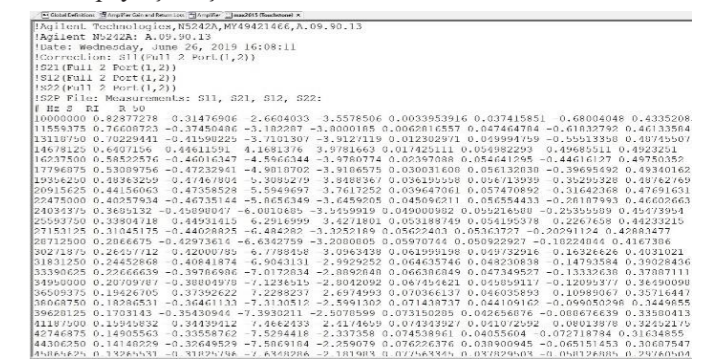
1. GİRİŞ

Günümüzde kablosuz haberleşme neredeyse zorunlu bir hale gelmiştir. Bu yüzden kablosuz haberleşmenin önemi gün geçtikçe değer kazanmaktadır. Kablosuz haberleşme sistemlerinde hava, iletişim aracı olarak kullanıldığı için günlük yaşamımızda büyük oranda konfor sağlamıştır. Bu konfordan dolayı kablosuz haberleşme sistemleri önemli bir tercih sebebi olmuştur ve bu tercih, kablosuz haberleşme sistemlerinin hızlı gelişmesinde önemli bir tetikleyici etken olmuştur. Cep telefonları, kablosuz modemler, internet sağlayıcıları ve baz istasyonları dışında kablosuz haberleşme, otomotiv endüstrisinde, askeri uygulamalarda ve tıp gibi birçok başka alanlarda da kullanılmaktadır. Bu çalışmada, en az 1W çıkış ve eğer ulaşılabirirse 2W çıkış gücüne erişilmesi amaçlanmış olup, günümüzde bu seviye çıkış sağlayan RF mikrodalga güç yükselteçlerinin temin maliyetleri ucuz değildir. Bu çalışma ile düşük maliyetli ama etkin ve pazardaki güncel teknolojiye sahip olabilecek bir RF mikrodalga yükselteç tasarımı yapılmıştır. Bu kapsamda, RF güç yükselteci tasarımı yapan tez çalışmaları kapsamlı olarak incelenmiştir [1-6]. [1] no'lu çalışmada X-bantta çalışabilecek yüksek güçlü bir RF yükselteci ele alınmıştır. [2], [3], [4] ve [5] no'lu çalışmalarda ise, 2.4 GHz kablosuz haberleşme bandına yönelik olarak sırasıyla paralel diyot doğrusallaştırıcı, aktif kutuplamalı ve GAN HEMT AB sınıfı olmak üzere farklı RF yükselteç tasarımları denmiştir. Benzer bir çalışmada Priya ve arkadaşları F-sınıfı mikrodalga güç yükselteç tasarımı gerçekleştirmişlerdir [6].

Biz bu çalışmada iki aşamalı olan ve her biri yaklaşık 20 dB güç kazancı sağlayacak şekilde toplamda 40 dB'lik bir güç kazancı sağlayabilecek bir RF güç yükselteç tasarımı gerçekleştirdik. Öngörülen kazanç değerini sağlamak için uygun transistör ve devre elemanları seçerek, mevcut piyasadaki elektronik donanımlardan seçilerek ve benzetimleri AWR RF devre benzetim ortamında gerçekleştirilmiştir [7]. İlk olarak seçilen transistör ve devre elemanlarına göre giriş voltajı, devre çıkış kazancı, çıkış gücü ve bant genişliği gibi parametreler belirlenmiştir. Sonrasında Elektromanyetik benzetim ve analiz programı olan AWR kullanılarak devre tasarımı yapıldı. Benzetimi yapılan devrenin kontrolleri yapıldı. Daha sonra bu devrenin ölçüm sonuçları elde edildi. Bu ölçüm sonuçlarına göre devrenin optimizasyonu gerçekleştirildi. Optimize edilen devrenin son kontrolleri yapılarak, benzetimi tamamlandı.

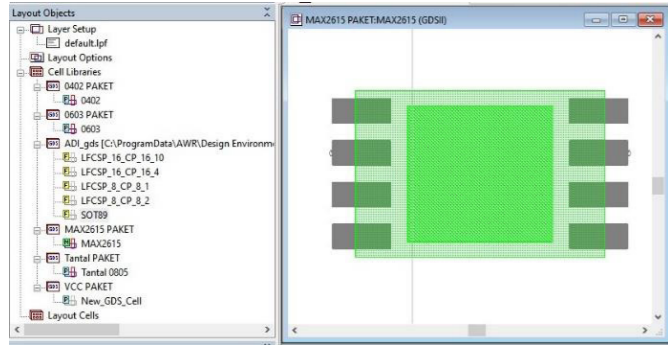
2. BENZETİM ÇALIŞMALARI

RF güç yükseltecin benzetim çalışmaları ana olarak MAX2615 EVKİT donanımı ve AWR programı üzerinden gerçekleştirilmiştir. İlk olarak RF güç yükseltecin elektronik devresi tasarlandı fakat transistör devresinin çipi (gelen sinyali yükseltecek olan devre elemanı) AWR programının kütüphanesinde bulunmadığı için bu program üzerinden devrenin çipi tasarlandı ve program kütüphanesine eklendi. Kütüphaneye eklenen bu tasarımın tam anlamıyla transistör görevi görebilmesi için S parametre kodu tasarlanan çipin içine eklendi. Şekil 1'de Benzetim sonucu elde edilen S- parametre değerlerini gösteren bir resim paylaşılmıştır.



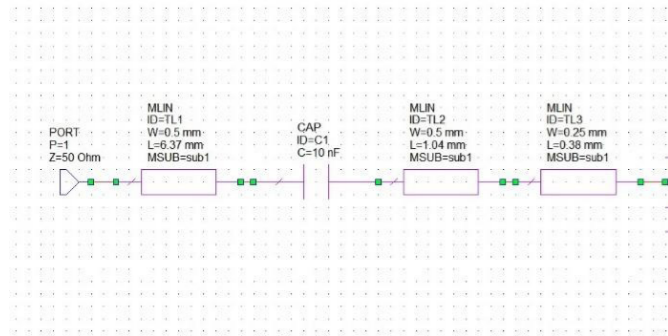
Şekil 1: Benzetim sonucu elde edilen S- parametre değerleri

AWR kütüphanesi içerisinde bu transistör kılıfı olmaması sebebiyle, transistörün veri-sayfası'nda verilen ölçü bilgileri dahilinde çipin gövdesini, iğne bacalarının kalınlığını ve uzunluğunu tasarlayıp AWR yazılımının kütüphanesine eklendi. Şekil 2'de transistör çipinin AWR yazılımındaki görseli gösterilmektedir.

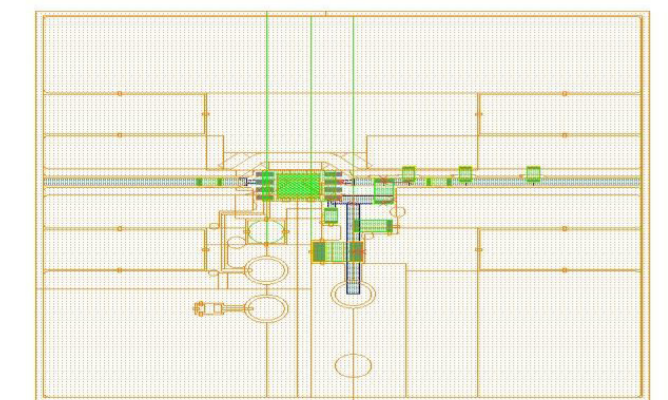


Şekil 2: MAX2615 transistör devresinin oluşturulan çipi

Devre tasarımında en önemli noktalardan biri de sinyalin izlediği yolların uzunluğu, genişliği ve yol için kullanılan malzemesidir. Bu çalışmada 40dB kazanç sağlamak ana hedef olduğu için yolun sinyal üzerinde oluşturduğu kayıpları en aza indirmesi gereklidir. Bu yüzden program üzerinde sinyal yolları uyumlandırma devreleri tasarlandı. Şekil 3'de tasarlanan uyumlandırma devresinin AWR yazılımı ekran görüntüsü ve Şekil 4'de ise uyumlandırma devresinin şematik üzerinde AWR yazılımı ekran görüntüsü verilmiştir.



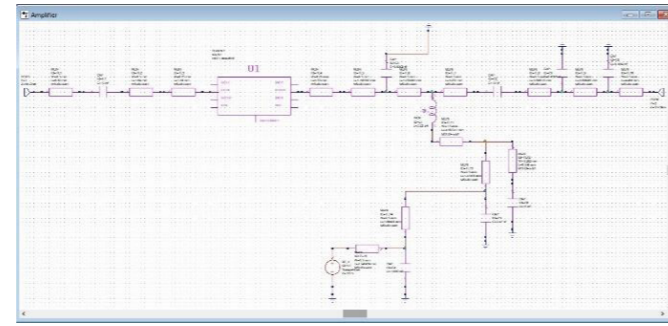
Şekil 3: Sinyal kaybını minimuma indirmek için oluşturulan uyumlandırma devresi



Şekil 4: Sinyal kaybını minimuma indirmek için oluşturulan uyumlandırma devresinin şematik üzerinde gösterimi

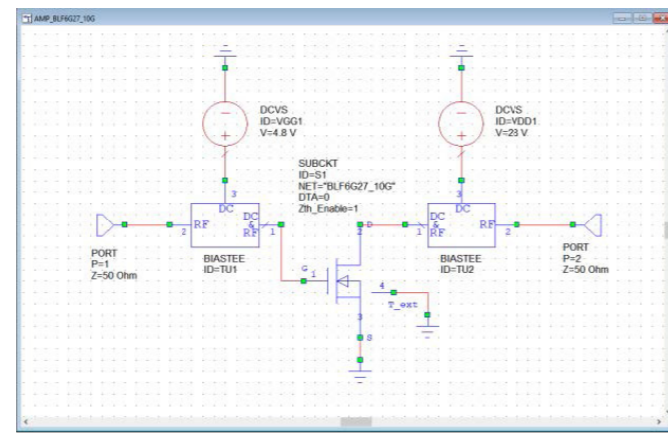
Sonrasında MAX2615 entegresinde bulunan bütün devre elemanları AWR yazılımına eklendi. Giriş ve çıkış için 50Ω ka-

rakteristik empedansına sahip portlar eklendi. Giriş portuna uyumlandırma devresi eklendi. Şekil 5'de 1. aşama yükseltecin tüm devre şeması verilmektedir.



Şekil 5: MAX2615 entegresi kullanılarak elde edilen 1. aşama RF yükseltecin tüm devresi

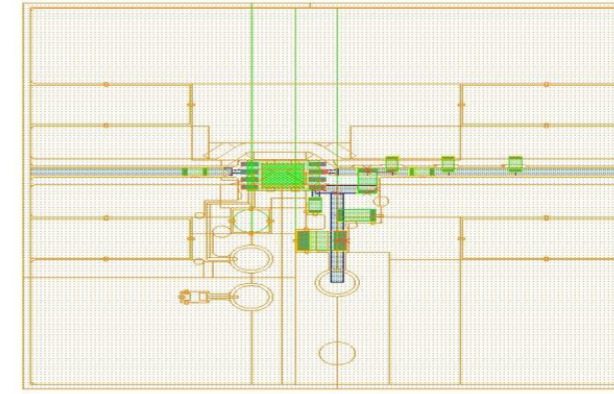
Çalışmada kullanılan ikinci yükselteç entegresi BLF6G27-10G'dir. Bu yükselteç için AWR programının kütüphanesinin içinden transistör seçilerek devre şemasına eklendi. Program içi gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra analizi gerçekleştirildi. Kazanç ve geri dönüş kaybı grafikleri elde edildi. Şekil 6'da 2. aşama yükseltecin tüm devre şeması verilmektedir.



Şekil 6: BLF6G27-10G entegresi elde edilen 2. aşama RF yükseltecin tüm devresi

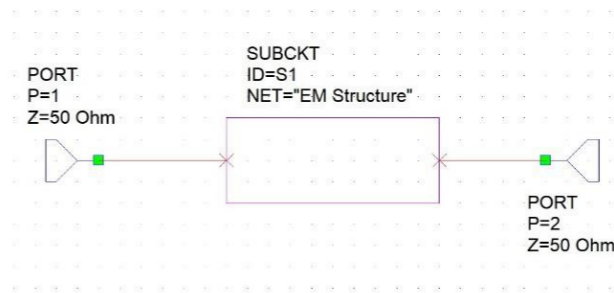
2. aşama RF yükseltecin azami kazancı 22,50 dB iken tasarım sonunda kayıplarla birlikte 21.38 dB kazanç elde edilmiştir.

MAX2615 yükselteci ile elde edilen tasarım 13 farklı tabakadan oluşmaktadır. Bu tabakaların her birinin farklı özellikleri bulunmaktadır. Tabakaların hepsi AWR programında teker teker tasarlandı ve oluşturuldu. Tabakalar arasında 4 ana katman bu devre için en kritikidir. Üst katman, 2 ara katman ve en alt katmandan oluşmaktadır (Bknz. Şekil 7). 4 ana katman sırasıyla üst üste getirilmiştir. Elektromanyetik (EM) benzetimi için gerekli olan aşama tamamlandı. AWR yazılımı ile gerçekleştirilecek olan EM benzetimi için port girişleri bağlanmış ve benzetim sonucu görüntülenmiştir.



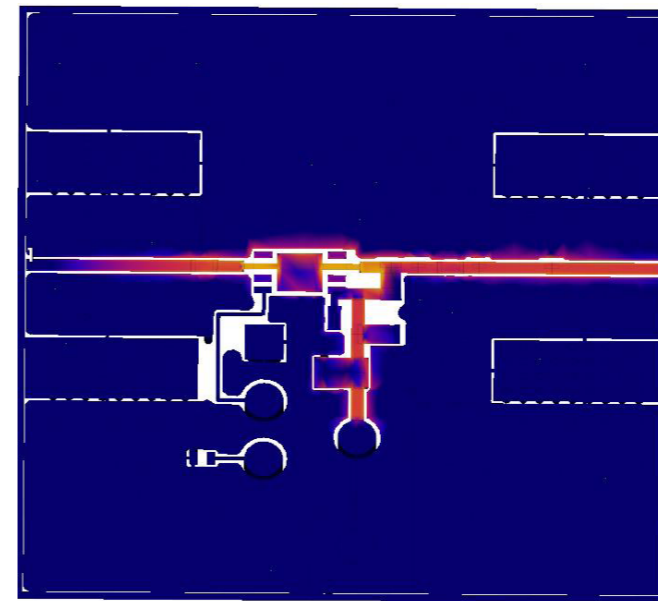
Şekil 7: Kart katmanların üst üste getirilmiş tasarım görüntüsü

Elde edilen tasarımlar sonucunda AWR yazılımı ile EM benzetimi aşamasına geçildi. Program üzerinden benzetimi gerçekleştirebilmek için ilk olarak EM Yapı modellemesi Şekil 8'de gösterildiği üzere oluşturuldu.



Şekil 8: EM Yapı modellemesi

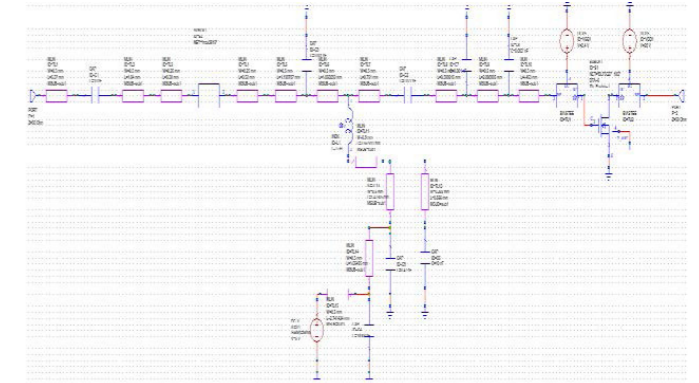
Söz konusu EM benzetimi sayesinde Port-1 giriş ucundan verilen akımın, Port-2 çıkış ucuna kadar yollar ve elektronik kart üzerindeki akım dağılımların nasıl oluştuğunu gözlemlemektedir. Şekil 9'de AWR benzetimi sonucu elde edilen akım dağılımı grafiği paylaşmaktadır. Burada devreye aktarılan gücün nasıl ilerlediği açık bir şekilde görülebilmektedir.



Şekil 9: AWR benzetimi sonucu elde edilen akım dağılımı gösterimi

3. OPTİMİZASYON ÇALIŞMALARI

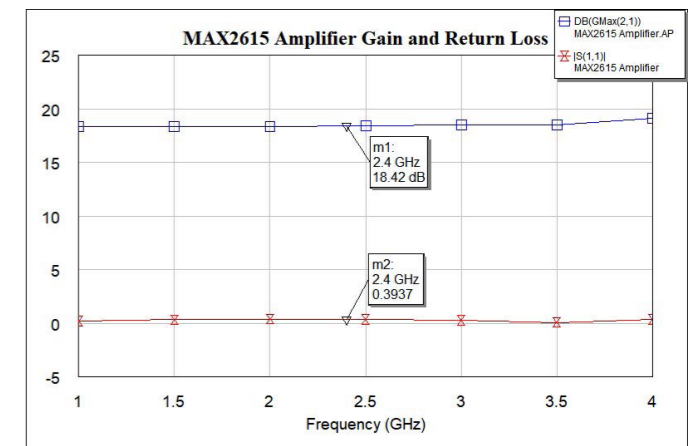
Her iki yükselteç aşaması tasarımları tamamlandıktan sonra önemli parametrelerden olan kazanç ve geri dönüş kaybı sonuçları ayrı ayrı elde edildi. Elde edilen değerler dahilinde tasarlanan iki transistörlü RF devrenin birleştirilmesi AWR programı marifetiyle gerçekleştirildi. İlk MAX2615 transistörü, ikinci BLF6G27-10G transistörü yerleştirildi. Giriş ve çıkış portlarının yeni konumu iki transistörü bağladıktan sonra devrenin başlangıç ve bitiş noktalarına yerleştirildi. Devreye dair toplam kazanç ve geri dönüş kaybı elde edildi. Şekil 10'da iki aşamalı RF yükselteci devresinin nihai tasarımı gösterilmektedir.



Şekil 10: İki aşamalı RF yükselteci devresinin nihai tasarımı

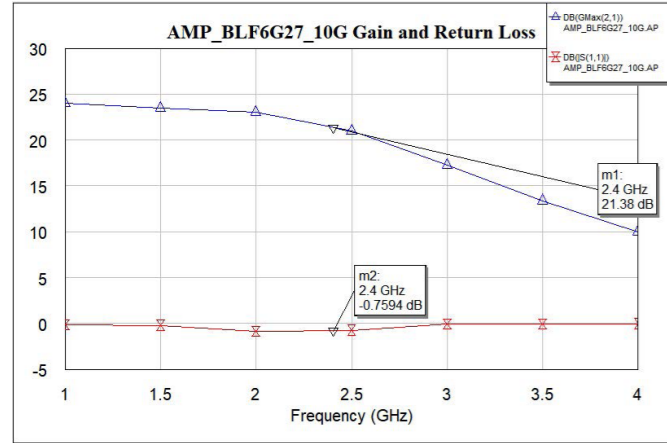
4. RF GÜÇLENDİRİCİ BİRİMİ BAŞARIM PERFORMANSI

Bu çalışmada kazanç (S21) parametresi üzerinden, geri dönüş kaybı ise (S11) parametresi üzerinden görüntüldü. Bu iki parametre grafik üzerinden gösterildi. MAX2615 amplifikatörü tasarımı tamamlandı ve çalışmamız için önemli parametrelerden olan sinyal kazancı ve geri dönüş kaybı grafikleri elde edildi. Max2615 amplifikatörü için maksimum kazancımız gerekli düzenlemeler sonucu kayıplarla birlikte 2400 MHz frekansında 18.42 dB olarak sonuçlanmıştır. Şekil 11'de MAX2615 kazanç ve geri dönüş kaybı parametreleri AWR yazılımı ekran görüntüsü gösterilmiştir.



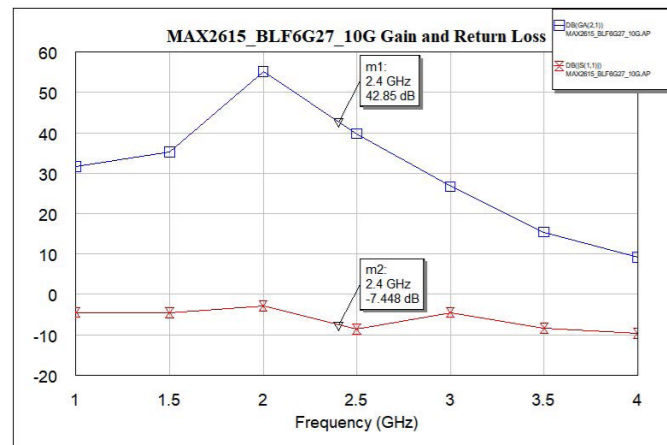
Şekil 11: MAX2615 S(2,1) kazanç ve S(1,1) geri dönüş kaybı frekansa göre benzetim sonuçları

BLF6G27-10G transistörü bu çalışmada kullanılacak olan ikinci yükselteç devre elemanıdır. Bu amplifikatör için kazanç ve geri dönüş kaybı parametreleri grafik üzerinde gösterildi. Bu amplifikatörümüz de maksimum kazanç 2400 MHz frekansında 22.5 dB iken tasarım sonunda gerekli düzenlemeler sonucunda kayıplarla birlikte 2400 MHz frekansında 21.38 dB kazanç elde edilmiştir. Şekil 12'de BLF6G27-10G frekansa göre kazanç (S21) ve geri dönüş kaybı (S11) parametreleri AWR yazılımı ekran görüntüsü gösterilmiştir.



Şekil 12: BLF6G27-10G toplam kazanç ve geri dönüş kaybı parametrelerin frekansa göre benzetim sonuçları

Oluşturulan devre tasarımları, grafikler ve değerler sonucunda iki aşamalı RF yükselteci devresinin sinyal kazancı ve geri dönüş kaybı grafikleri elde edildi. Sinyal kazancını iki transistör toplamında yaklaşık 40 dB civarı olması gerektiği çalışmanın başında hedeflenmişti. İki aşamalı RF yükselteci devresinde kapasitör, indüktör ve voltaj değerlerinin düzenlenmesi sonucunda 2400 MHz frekansında 42.85 dB kazanç elde edilerek, hedeflenen değerin üzerine çıkmıştır. Şekil 13'de İki aşamalı RF yükselteci devresinin frekansa göre kazanç (S21) ve geri dönüş kaybı (S11) parametreleri AWR yazılımı ekran görüntüsü gösterilmiştir.



Şekil 13: İki aşamalı RF yükselteci toplam kazanç ve geri dönüş kaybı parametrelerin frekansa göre benzetim sonuçları

5. SONUÇLAR

Bu bildiri çalışmasında, belirli frekans için belirli çıkış gücüne sahip alıcı-verici sistemleri için uygun güç amplifikatörünün tasarımı çalışmaları tanıtılmıştır. Bu konudaki çalışmalar AWR yazılımı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Devre tasarımı için mikroşerit hatlar, devre paketleri ve S-parametre kodlarının bu RF yükselteç çalışması için önemli olduğu aktarılmıştır. Her iki transistör için yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen kazanç ve geri dönüş kaybı grafikleri gösterilmiştir. Kazanç grafiğini, geri dönüş kaybı grafiğini parametrelerini alarak elde edilmiştir. Hedef kazancımız çalışmanın başlangıcında 40 dB iken iki aşamalı RF yükselteci devresinde kapasitör, indüktör ve voltaj değerlerinin değiştirilerek düzenlenmesi sonucunda yapılan optimizasyonlar neticesinde 42.85 dB kazanç elde edilmiştir. Oluşturulan devrelerin tabakaları oluşturulmuştur. Bu tasarımların ardından EM benzetimi için EM yapı bloğunun oluşturulması gerektiği açıklanmıştır. EM benzetimi sonuçlarına göre devre üzerinde akım dağılımları incelenmiştir. Transistörlerin optimizasyonu tamamlanmış olup her iki transistör için değerler karşılaştırılmıştır.

6. Kaynakça

- [1] Işık, Ali İlker. X-Band High Power Gan Power Amplifier Design and Implementation. Ankara: Orta Doğu Teknik Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, 2016
- [2] Şenel, Bilge. Paralel diyot doğrusallaştırıcı 2.4 GHz güç yükselteci tasarımı. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, 2017.
- [3] Döne, Emre. 2.4 GHz ISM bandı kablosuz haberleşme sistemleri için aktif kutuplamalı güç yükselteci tasarımı, sayısal benzetimi ve gerçekleştirilmesi. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012.
- [4] Rajesh Kunnath. Design of 2.4 GHz 5W RF power amplifier using Gan technology. International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 5, Issue 4, April-2014
- [5] Kaan Kula, Osman Ceylan, Hasan Bülent Yağcı. 2.4 GHz, 5W, GAN HEMT AB sınıfı güç kuvvetlendiricisi tasarımı. İstanbul: Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2015
- [6] A. Banu Priya, M. H. Masood Bayraktar, Fatih. Yüksek verimli F-sınıfı mikrodalga güç yükselteç tasarımı. Ankara: Hacettepe Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, 2017.
- [7] https://awrcorp.com/download/faq/english/docs/users_gui_de/userxml_ug.html

Fibonacci Serileri ile Ses Emici Yüzey Tasarımı Sound Absorbing Surface Design Using Fibonacci Series

İrem Kaya¹, Çiğdem Seçkin Gürel²,

¹Havelsan A.Ş., Çankaya, Ankara,
ikaya@havelsan.com.tr

²Hacettepe Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Beytepe, Ankara,
cigdem@hacettepe.edu.tr

Özet

Bu çalışmanın amacı, Fibonacci serisinin farklı dizilimlerine göre sıralanmış çok-katmanlı ses emici yüzey tasarlamak ve tasarlanan yüzeyin akustik davranışını incelemektir. Katman malzemesi olarak elastik ve gözenekli malzemeler kullanılmıştır. Çok-katmanlı yüzeyin transfer kaybı, yansıma ve emilim katsayılarını elde etmek için analitik bir yöntem olan Transfer Matris Metodundan (TMM) yararlanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, katman sayısı arttıkça beşinci kuşak Fibonacci hücresi dizilimli yapıda panelin daha iyi akustik yalıtım sağladığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Çok-katmanlı panel, Transfer Matris Metodu, Fibonacci serisi, Transfer kaybı, Yansıma katsayısı, Emilim katsayısı

Abstract

The aim of this study is to design a multilayer panel according to different sequences of the Fibonacci series and to examine the acoustic behavior of the designed panel. Elastic and porous materials are used as layer materials. Transfer Matrix Method (TMM), as an analytical method, is used to obtain transmission loss, reflection and absorption coefficients of the multilayer panel. The results obtained show that by using fifth cell of the Fibonacci series with increased number of layers better acoustical absorption performance can be obtained.

Keywords: Multilayer panel, Transfer Matrix Method, Fibonacci series, Transmission loss, Reflection coefficient, Absorption coefficient

1. Giriş

Çok-katmanlı yapılar otomotiv endüstrisi, savunma sanayi ve bina akustiği gibi birçok alanda ses yalıtımı amacıyla yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Çok-katmanlı yapılarda katmanların dizilimi, katman sayıları, tasarımda kullanılan bir basıncın tepkisini hesaplamak için yer değiştirmeleri ve gerilmeleri dalga potansiyeli açısından açıklayan analitik bir yöntemdir. Literatürde özellikle farklı malzemelerin kullanılmasına yönelik akustik yüzey tasarımı çalışmaları mevcuttur [5].

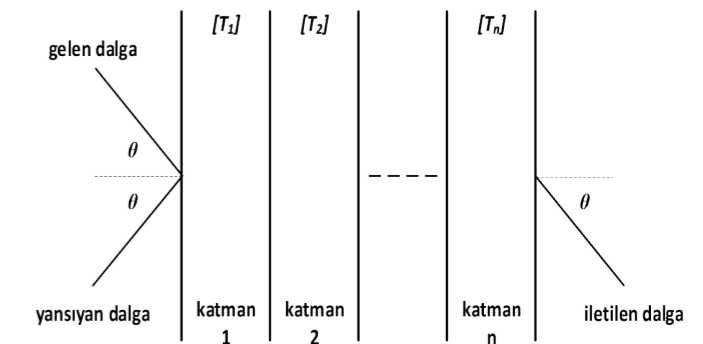
Bu çalışmada ise, Fibonacci serileri kullanılarak katman malzemelerinin dizilim sırası belirlenmiş, literatür için yeni ses emici akustik yüzeylerin tasarımları gerçekleştirilmiş, elastik ve gözenekli malzemeler kullanılarak akustik performansları incelenmiştir. Yüzeyin yerleştirildiği ortam su seçilerek literatürde daha önce yapılan çalışmalarda hava ortamında çalışmak

üzere tasarlanmış farklı akustik yüzey tasarımlarına alternatif olarak sualtı uygulamalarında da kullanılacak Fibonacci serisi dizilimli yeni akustik yüzeyler ilk olarak önerilmiştir. Çok-katmanlı panellerde modellemeyi kolaylaştıran bir yöntem olan Transfer Matris Metodu kullanılarak yüzeylerin göstermiş olduğu akustik performansları incelenmiş ve karşılaştırılmıştır.

2. Formülasyon

2.1. Transfer Matris Metodu

N katmandan oluşan çok-katmanlı akustik yüzey yapısı Şekil 1'de gösterilmektedir. Katman malzemeleri katı, sıvı veya gözenekli olabilir. Bu yapıda giriş ortamından θ açısı ile gelen dalga, ilk katmandan yansıyarak ve iletilen dalga θ açısı ile son katman üzerinden çıkış ortamına iletilmektedir.



Şekil 1: N katmanlı akustik yüzey.

Yapıyı oluşturan katmanlardan her biri için malzemenin yoğunluğu d , kalınlığı h , içindeki ses hızı c ve dalga sayısının k olduğu durumda elde edilen katman matrisi

$$[T] = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(kh) & jdc \sin(kh) \\ \frac{j \sin(kh)}{dc} & \cos(kh) \end{bmatrix} \quad (1)$$

ile verilmektedir [6].

Her bir katmanın ayrı matrisle $[T]$ ifade edildiği Transfer Matris Metodunda çok-katmanlı panelin toplam transfer matrisi her katmanın transfer matrislerinin çarpımı sonucu elde edilmektedir:

$$[T] = [T_1] \cdot [T_2] \cdot [T_3] \dots [T_N] = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{bmatrix} \quad (2)$$

2.2. Yansımaya, İletim ve Emilim Katsayıları

Transfer matrisi sonucu elde edilen her bir matris elemanı kullanılarak yansımaya katsayısı R, iletim katsayısı T, emilim katsayısı α hesaplanmaktadır. Dört katmanlı bir panelin karakteristik empedansları

$$z_0 = d_0 \cdot c_0 \quad z_1 = d_1 \cdot c_1 \quad z_2 = d_2 \cdot c_2 \quad z_3 = d_3 \cdot c_3 \quad (3)$$

ile verilmektedir.

Yansımaya, iletim ve emilim katsayıları ise TMM kullanılarak sırasıyla

$$R = \frac{z_3 T_{11} + T_{12} - z_0 z_3 T_{21} - z_0 T_{22}}{z_3 T_{11} + T_{12} + z_0 z_3 T_{21} + z_0 T_{22}} \quad (4)$$

$$T = \frac{2z_0 T_{11}}{z_0 T_{11} + T_{12} + z_0(z_3 T_{21} + T_{22})} \quad (5)$$

$$\alpha = 1 - R^2 - T^2 \quad (6)$$

şeklinde hesaplanmıştır.

2.3. Fibonacci Serisi

Bu çalışmada çok-katmanlı panelin diziliminde kullanılan Fibonacci serisi her sayının kendinden bir önceki sayı ile toplanması sonucu elde edilen bir dizilimdir.

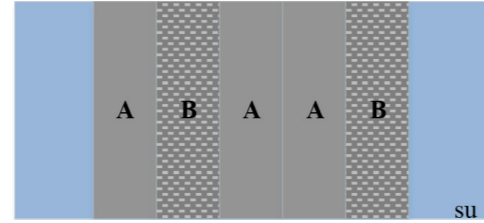
Çizelge 1: Fibonacci serisinin farklı kuşaklara göre dizilimi

Fibonacci Serisi Kuşakları	Katman Sayısı	Katman Dizilimi
0	1	B
1	1	A
2	2	AB
3	3	ABA
4	5	ABAAB
5	8	ABAABABA
6	13	ABAABABAABAAB

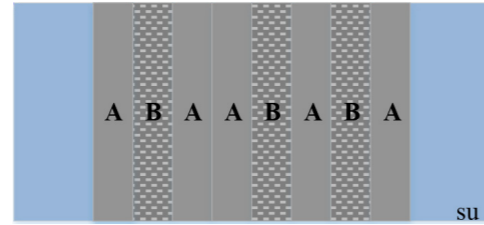
Çizelge 1'de Fibonacci serisinin farklı kuşaklara göre dizilimi gösterilmiştir.

3. Sonuçlar

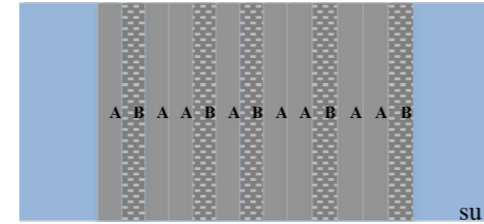
Bu bölümde Fibonacci serisinin farklı kuşaklarına göre katman dizilimi yapılmış, su altı ortamda da çalışabilecek yüzeyler tasarlanmıştır. Fibonacci seri dizilimi "ABAAB" olan üçüncü kuşak panel Şekil 2'de, "ABAABABA" olan dördüncü kuşak panel Şekil 3'te ve "ABAABABAABAAB" olan beşinci kuşak yüzey yapısı Şekil 4'te gösterilmektedir. Panellerin toplam katman kalınlığı 40 mm olarak alınmıştır.



Şekil 2: Fibonacci serisi 4. kuşak "ABAAB" dizilimi.



Şekil 3: Fibonacci serisi 5. kuşak "ABAABABA" dizilimi.



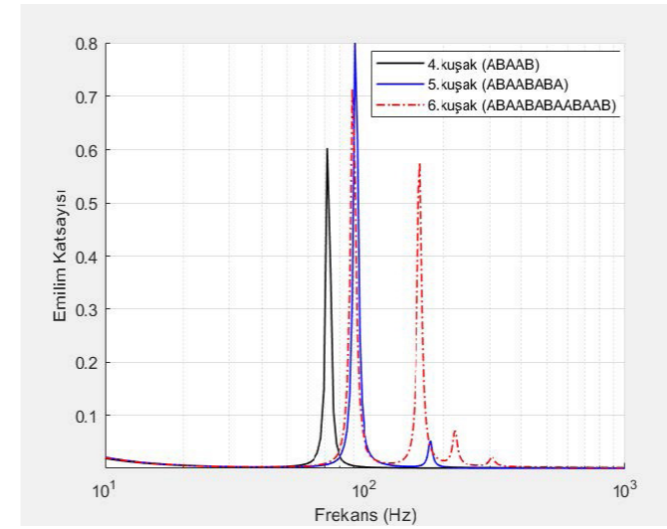
Şekil 4: Fibonacci serisi 6. kuşak "ABAABABAABAAB" dizilimi.

Fibonacci serisi dizilimine sahip çok-katmanlı panel tasarımında kullanılan elastik malzeme ve gözenekli malzemenin akustik temel özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

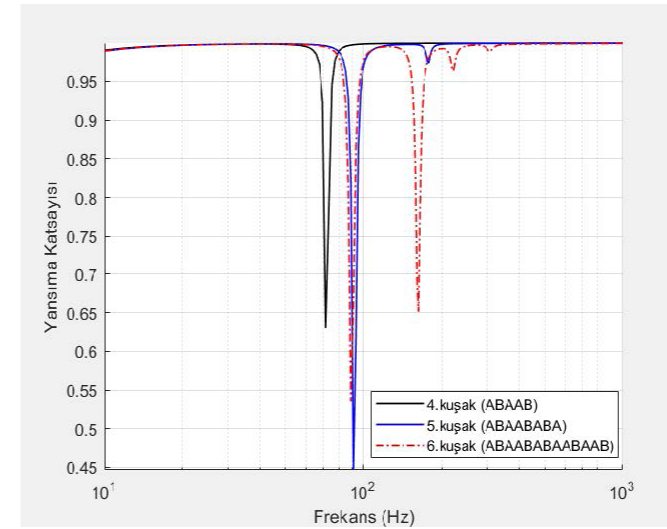
Çizelge 2: Elastik ve gözenekli malzemenin akustik temel özellikleri

Malzeme Özellikleri	A: Elastik Malzeme	B: Gözenekli Malzeme
Yoğunluk (kg/m ³)	7700	100
Young Modülü (N/m ²)	2.16e11	
Poisson Oranı	0.27	
Hava Akış Direnci (rayls/m)		30000 rayls/m
Gözeneklilik		0.95
Bükümlülük		1.1

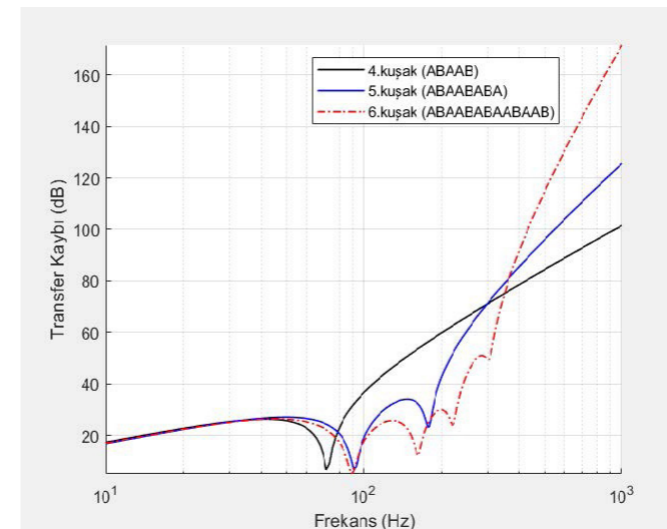
Şekil 5, "ABAAB" ve "ABAABABA", "ABAABABAABAAB" dizilimine sahip çok-katmanlı yüzeylerin emilim katsayılarının frekansla değişimini göstermektedir. Şekil 6'da yansımaya katsayıları, Şekil 7'de ise transfer kayıpları gösterilmektedir.



Şekil 5: Fibonacci serisi "ABAAB" ve "ABAABABA", "ABAABABAABAAB" dizilimine sahip çok-katmanlı üç farklı panelin emilim katsayılarının karşılaştırılması.



Şekil 6: Fibonacci serisi "ABAAB" ve "ABAABABA", "ABAABABAABAAB" dizilimine sahip çok-katmanlı üç farklı panelin yansımaya katsayılarının karşılaştırılması.



Şekil 7: Fibonacci serisi "ABAAB" ve "ABAABABA", "ABAABABAABAAB" dizilimine sahip çok-katmanlı üç farklı panelin transfer kayıplarının karşılaştırılması.

Çalışma sonucunda Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7'den görüldüğü gibi kuşak ve katman sayısı arttıkça farklı frekans bantlarında emilim artmaktadır. Toplam kalınlık korunarak tasarlanan panellerden 5 katmanlı "ABAAB" dizilimine sahip yapıda 70 Hz civarında emilim artarken yansımaya azalmakta, 8 katmanlı "ABAABABA" dizilimli yapıda 90 Hz ve 170 Hz civarında emilim artarken yansımaya azalmakta, 13 katmanlı "ABAABABAABAAB" dizilimine sahip yapıda ise 90 Hz,

160 Hz ve 220 Hz civarında emilim artarken yansımaya azalmaktadır. Sonuç olarak, katman ve kuşak sayısı artırılarak Fibonacci serisi ile tasarlanmış bir yapıda daha iyi ses yalıtımı sağlanabileceği gösterilmiştir.

4. Özet

Bu çalışma ile su altında da çalışabilecek Fibonacci seri dizilimli çok-katmanlı akustik yüzeyler tasarlanmış ve tasarlanan panellerin akustik davranışları incelenmiştir. İnceleme sonucunda Fibonacci seri dizilimi kullanılarak iyi bir ses yutucu yüzey tasarlanabileceği gösterilmiştir.

5. Kaynaklar

- [1] Brouard, B., Lafarge, D. ve Allard, J.F., "A general method of modelling sound propagation in layered media", Journal of Sound and Vibration, cilt.183, no.1, s.129-142, 1995.
- [2] Liu, Y., "Sound transmission through triple-panel structures lined with poroelastic materials", Journal of Sound and Vibration, cilt.339, s.376-395, 2015.
- [3] Thomson, W.T., "Transmission of elastic waves through a stratified solid medium", Journal of applied Physics, cilt.21, no.2, s.89-93, 1950.
- [4] Brekovskikh, L.M., Waves in layered media, Academic Press, 1989.
- [5] Bolton, J.S., Shiao, N.M., Kang, Y.J., "Sound transmission through multi-panel structures lined with elastic porous materials", Journal of Sound and Vibration, cilt.191, no.3, s.317-347, 1996.
- [6] Sun, W. H., Liu, B., Yan, X. ve Li, Y. Q., "Modeling and Simulation of Underwater Acoustic Absorption Properties of Novel Macroporous Resins - Elastomer Thin Coatings", Advanced Materials Research, cilt.881- 883, s.1070-1073, 2014

Thue-Morse Dizimli Çok Katmanlı Akustik Yüzey Tasarımı Thue-Morse Multi-layered Acoustics Surface Design

Özden Doğruer, Çiğdem Seçkin Gürel

Hacettepe Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara
ozdendogruer@gmail.com, cigdem@hacettepe.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, Thue-Morse dizisinden yararlanılarak yeni çok katmanlı akustik yüzeyler tasarlanmış ve yüzeylerin yansımaya ve sönümleme davranışları incelenmiştir. Katmanlı yapıyı oluştururken katı, sıvı ve gözenekli malzemeler kullanılmıştır. Oluşturulan yüzeylerin incelenmesinde Transfer Matris Metodundan yararlanılmış, farklı malzeme tipleriyle farklı katman dizilimleri gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan yeni dizilimlerin, yüzeylerin yansımaya ve sönümleme davranışlarına olan etkileri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Transfer Matris Metodu, Çok katmanlı yapı, akustik yüzey, gözenekli-katı-sıvı malzeme, sönümleme katsayısı, yansımaya katsayısı, yüzey empedansı, Thue-Morse dizisi

Abstract

In this study, new multi-layered acoustic surfaces are designed using Thue-Morse sequence and the reflection and absorption behaviors of the surfaces are investigated. While designing the layered structure, solid, liquid and porous material types are used. Transfer Matrix Method is used in the analysis and different multi-layer surfaces are realized using different materials. The effects of new layer orderings on the reflection and absorption behavior of surfaces are determined.

Keywords : Transfer Matrix Method, multi-layered structure, acoustic surface, porous-solid-fluid material, absorption coefficient, reflection coefficient, surface impedance, Thue-Morse sequences

1. Giriş

Ses, canlılar tarafından duyulabilen periyodik basınç değişimi olarak tanımlanmaktadır. Akustik ise sesi inceleyen bilim dalı olarak ifade edilmektedir. Akustik bilim dalı sesin katı, sıvı, gözenekli maddelerdeki ses dalga yayılımının fiziksel özelliklerini de incelemektedir. Kısaca sesin hareketine bağlı olarak sesin davranışını incelemektedir. Sesin seviyesine bağlı olarak gürültüye sebep olan titreşimlerin ve bu titreşimler sonucunda oluşan gürültünün kontrolünü sağlamak da ilgilenmektedir. Günlük yaşamda çok sayıda ses kaynağı olduğundan ve onların yaydığı ses seviyesi gürültü seviyelerine çıkabildiğinden dolayı ses yalıtımı önemli bir konu olarak gündeme gelmektedir. Literatürde sesi sönümleme konusunda çok sayıda çalışma yer almaktadır [1-4].

Bu çalışmada, Thue-Morse dizisi kullanılarak literatür için yeni çok katmanlı akustik sönümleyici ve yansıtıcı yüzeyler tasarlanmıştır. Ses dalgasının yüzeye dik geldiği durum ince-

lenmiştir. Tasarımlarda katı, sıvı ve gözenekli malzeme çeşitleri kullanılarak farklı katmanlı yapılar oluşturulmuştur. Bu yapıların seçilen frekans aralığı içinde ses sönümleme ve yansıtma özellikleri incelenerek tartışılmış ve tasarlanan yapılar güncel uygulamalar için önerilmiştir.

2. Thue-Morse Dizisi Kullanımıyla Çok Katmanlı Yapıların Oluşturulması

Bu bölümde katmanlı yapılar oluşturulurken kullanılan Thue-Morse dizisine, oluşturulacak katmanlı yapıya ve katmanlı yapılarda kullanılacak malzemelerin özelliklerine yer verilmektedir.

2.1.1. Thue-Morse Dizisi

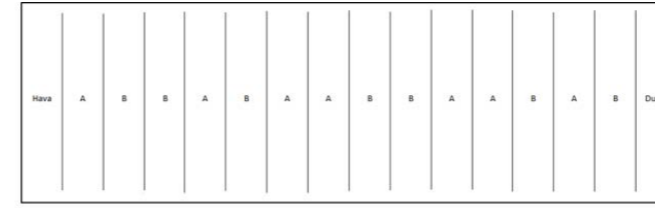
Thue-Morse "0" ve "1" sayılarından oluşan sonsuz bir dizidir. Dizi "0" ile başlamakta olup "0110100110010110...." şeklinde devam etmektedir. Dizilimin oluşmasında etkili olan, "1" lerin sayısıdır. Örneğin, "7" sayısı "0" ve "1" ile ifade edilirken "0111" şeklinde yazılmaktadır. "7" sayısının ikili taban karşılığında "1" ler tek sayıda olduğundan Şekil 1'de Thue-Morse dizisinde "1" ile belirtilmiştir. "1" lerin sayısının çift olduğu veya hiç olmadığı durum ise dizide "0" olarak belirtilmektedir.



Şekil 1 : Thue-Morse dizisi

2.1.2. Katmanlı Yapı Tasarımı ve Elde Edilen Sonuçlar

Bu çalışmada tasarlanan yapıların incelenmesinde Transfer Matris Metodu (TMM) kullanılmıştır. TMM, katı, sıvı ve gözenekli malzemelerle oluşturulan katmanlı yapıları modellemek için literatürde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemle göre her katmana ve arayüze bir matris karşılık gelmektedir. Bir katmanın transfer matrisi, malzemenin ön ve arka yüzündeki akustik alanları tanımlayan değişkenlerle ilişkililikten, arayüz matrisleri komşu katmanlar arasındaki sınır koşullarını bütünleştirmektedir [1, 2, 4].

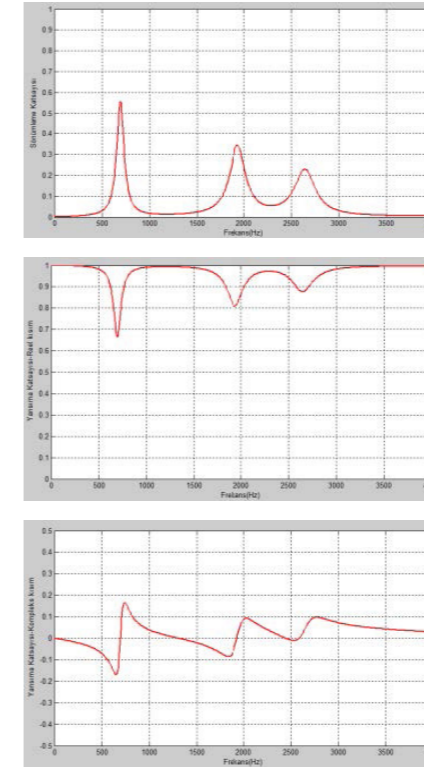


Şekil 2 : Tasarlanan 14 katmanlı yapı

Tablo 1 : Alçıpan ve plastik köpük malzemelerinin özellikleri [2-3]

Malzeme Özellikleri	Alçıpan	Plastik köpük
Malzeme Yoğunluğu (kg/m ³)	1200	20
Poisson Oranı	0.25	0.35
Young Modülü (GPa)	7	-
Gözeneklilik	-	0.98
Kıvrımlılık	-	1.5
Akış Direnci	-	10000
Kayma Modülü	-	80000(1+0.1j)
Viskozite Boyutu	-	100x10 ⁻⁶
Termal Boyutu	-	200x10 ⁻⁶

Şekil 2'de A malzemesi alçıpan (katı malzeme), B malzemesi ise plastik köpük (gözenekli malzeme) seçilerek 14 katmanlı bir yapı tasarlanmış ve sonuçlar Şekil 3'te sunulmuştur. Her bir katmanın kalınlığı 1 mm olarak alınmıştır.

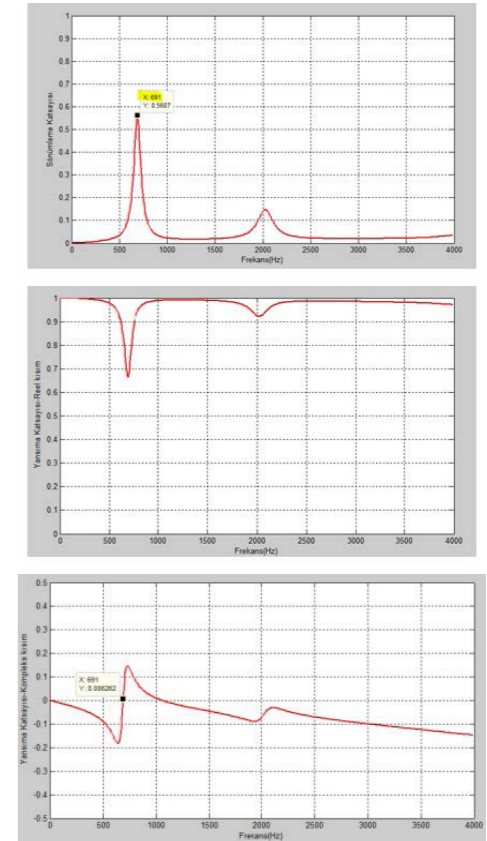


Şekil 3 : Katı-gözenekli malzeme sıralaması ile oluşturulan katmanlı yapının sönümleme ve yansımaya katsayılarının frekansla değişimi

Yüzeyin malzeme dizilimine bağlı olarak sahip olduğu empedans etkisiyle sönümlemenin belirgin olduğu yaklaşık 691, 1931 ve 2651 Hz etrafındaki bölgeler dışında yüzeyin yansıtıcı özelliğinin baskın olduğu gözlenmektedir. Yansımaya katsayısının kompleks bileşeninde negatif eksenden pozitif eksene faz geçiş noktalarının yansımaya katsayısının minimum noktalarına karşılık gelmektedir.

Bu bölümde A malzemesi plastik köpük (gözenekli malzeme), B malzemesi alçıpan (katı malzeme) seçilerek yeni bir 14 katmanlı bir yapı oluşturulmuş ve sonuçlar Şekil 4'te verilmiştir. Elde edilen grafikler doğrultusunda empedansın etkisiyle yüzeyin yansıtıcı özelliği ön plana çıkmıştır. Şekil 3'te verilen bir önceki duruma oranla sönümleme bantlarının sayılarında azalma gözlenmiştir. Bu durumda genel olarak yüzeyin yansıtıcı özelliği Şekil 3'e göre daha baskındır.

Şekil 5'te A malzemesi plastik köpük (gözenekli malzeme), B malzemesi hava (sıvı malzeme) seçilerek yapı yeniden oluşturulmuş ve sonuçlar gösterilmiştir. Akustikte hava malzemesi standart sıcaklık ve basınçta sıvı malzeme olarak değerlendirilmektedir [3]. Hava malzemesinin yoğunluğu 1.2 kg/m³ olarak işlem yapılmıştır.

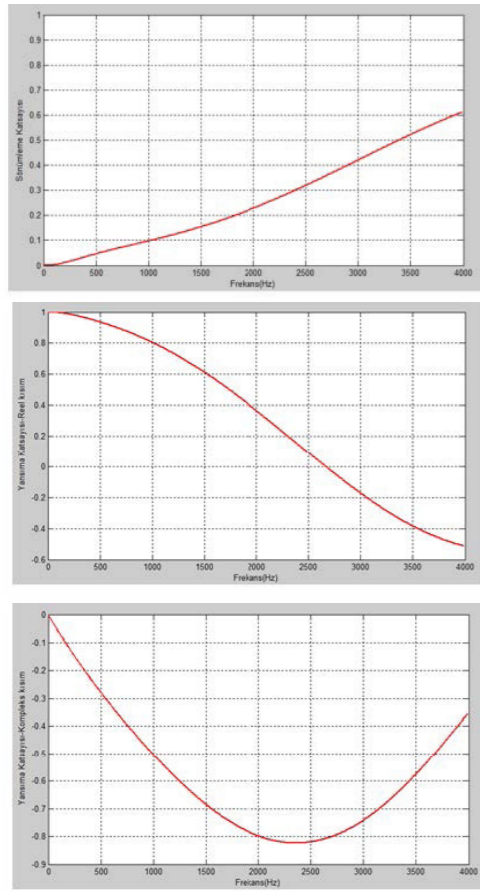


Şekil 4 : Gözenekli-katı malzeme sıralaması ile oluşturulan katmanlı yapının sönümleme ve yansımaya katsayılarının frekansla değişimi

İlgili frekans aralığında, yüzeyin sahip olduğu sönümleme katsayısı, frekansa göre yaklaşık doğrusal artış göstermektedir. Gözenekli-hava malzeme sıralamasında yer alan hava malzemesi katmanlı yapının empedans değerini düşürdüğünden, sesin yüzey içine nüfuz etmesi daha kolay olmakta böylece yüzeyin yansıtıcı özelliği azalmaktadır. Ses yüzey içinde ilerlerken gözenekli malzemenin empedansı nedeniyle yüzeyin sönümleme özelliği ön plana çıkmaktadır.

4. Kaynaklar

- [1] Brouard B., Lafarge D. and Allard J.-F., A General Method of Modelling Sound Propagation in Layered Media, Journal of Sound and Vibration, Vol. 183, 129- 142, 1995.
- [2] Luo S., Huang Q., Acoustic Absorption of Multi-Layer Structure Composed of Porous Layers Based on Biot's Model and Transfer Matrix Method, Acta Acustica United with Acustica Vol. 99, 751 – 758, 2013.
- [3] A. Wareing, Acoustical Modeling of Rooms with Extended-Reaction Surfaces, Master of Applied Science, The University of British Columbia, 2000.
- [4] Allard J.-F., Atalla N., Propagation of Sound in Porous Media, A John Wiley and Sons, Ltd., Publication, 2009.



Şekil 5 : Gözenekli-sıvı malzeme sıralaması ile oluşturulan katmanlı yapının sönümleme ve yansıma katsayılarının frekansla değişimi

Elde edilen sonuçlara göre, katmanlı yapıda yer alan farklı tip malzemelerin sıralanmasının sönümleme ve yansıma katsayıları üzerinde önemli etkileri olmaktadır.

3. Yorumlar

Bu çalışmada literatürde akustik yüzey tasarımlarda son yıllarda kullanılmaya başlanan bazı özel dizilere alternatif olarak Thue-Morse dizisinden faydalanılmıştır. Oluşturulan yeni akustik yüzey tasarımlarında katı, sıvı, gözenekli malzemelerden yararlanılmıştır. Gözenekli- sıvı malzeme sıralaması ile oluşturulan katmanlı yapının sönümleyici özelliğinin yüksek olduğu, gözenekli-katı ve katı-gözenekli malzeme sıralaması ile yansıtıcı özelliğinin baskın olduğu gözlenmiştir. Çok katmanlı yüzeyin toplam kalınlığı 1.4 cm olmasına rağmen sağladığı sönümlemenin oldukça iyi olduğu değerlendirilmiştir. Katman kalınlığı artırıldığında sönümleme özelliği daha da artacaktır. Yüzeyin yansıtıcı veya sönümleyici özelliğinin daha da iyileştirilebilmesi için bundan sonraki çalışmalarda farklı malzemeler ve farklı dizilimler denenebilir.

COVID-19 Hastaları İçin Tek Kullanımlık SpO2 Parmak Probenun Geliştirilmesi

Development of a Disposable SpO2 Finger Probe for COVID-19 Patients

Hacı İsmail Aslan¹, Cansu Karakuzu¹

¹Department of Electrical and Electronics Engineering Hacettepe University
ismailaslan@iee.org, cansukarakuzu@hacettepe.edu.tr

Özet

Nabız oksimetresi, kanın oksijen saturasyon seviyelerini izlemek için yaygın olarak kullanılan, invazif olmayan bir yöntemdir. Düşük oksijen saturasyonu, COVID-19 gibi bazı hastalıkların erken belirtisi olabilir. Bu projenin amacı, kandaki SpO2 seviyelerini tespit etmek için, ayrılabilir ve tek kullanımlık bir parmak probuna bağlı sensör ve ana monitör yapmaktır. Tasarımımızda hedefimize ulaşmak için farklı tipte nabız oksimetreleri kapsamlı bir şekilde araştırıldı. Sonuçlar analiz edildi ve yazılımda kullanılan algoritma tatmin edici sonuçlar elde edilene kadar geliştirildi. Devrede daha iyi sonuçlar almak için piyasadaki mevcut bir cihaz referans alındı ve bu cihazın üzerindeki sensör test aşamalarında kullanıldı. Sonuçların geçerliliğini kontrol etmek için piyasada sağlık bakanlığı tarafından onaylanmış nabız oksimetreleriyle karşılaştırma yapıldı ve sonuçlar tutarlı görüldü.

Anahtar Kelimeler: Nabız oksimetresi, SpO2, tek kullanımlık sensör, kablosuz sistem

Abstract

Pulse oximetry is a widely used non-invasive method to monitor blood oxygen saturation levels. Low oxygen saturation can be an early sign of some diseases such as COVID -19. The goal of this project is to make a detachable and disposable finger probe connected sensor and main monitor to detect SpO2 levels in the blood. Different types of pulse oximeters have been extensively researched to achieve our goal in our design. The results were analyzed and the algorithm used in the software was developed until satisfactory results were obtained. In order to get better results in the circuit, an existing device in the market was taken as a reference and the sensor on this device was used in the test stages. To check the validity of the results, a comparison was made with pulse oximeters approved by the Ministry of Health in the market and the results appeared consistent.

Keywords: Pulse oximeter, SpO2, disposable sensor, wireless system

1. Introduction

Pulse oximetry is a widely used, non-invasive method for monitoring oxygen saturation (SpO2) levels of the blood. Oxygen saturation is simply the percentage of oxygen that blood carries compared to its capability of carrying.

The pulse oximeter is a small device that usually slides over the fingertip of the patient and uses red and infrared light to detect

the oxygen saturation levels. They generally provide insights on the patient's respiratory system. The aim of the project was to make a disposable and separable oximeter probe and a main monitor for monitoring the oxygen levels. Disposability and separability is a must when it comes to highly infectious diseases, such as COVID-19. The new disease COVID-19 enters the body through the respiratory system. It causes direct injury to a person's lungs via inflammation and pneumonia, both of which can negatively impact the saturation levels of the oxygen in the blood [1]. Hence, pulse oximeters can be easy, affordable devices for early detection of COVID-19.

Every active tissue in the body requires oxygen. When oxygen enters the blood from the lungs, it attaches to Hemoglobin (Hb). Hemoglobin with oxygen is called oxyhemoglobin (HbO2). Hemoglobin without oxygen is called deoxyhemoglobin (Hb).

Oxygen saturation (SpO2) is simply the fraction of the hemoglobin that carries oxygen relative to total hemoglobin in the blood. The formula for calculating SpO2 can be found in the following one.

$$SpO2 = \frac{HbO2}{Hb + HbO2} \quad (1)$$

Oxygen saturation is measured with two types of devices. Those methods are separated from each other by physical manners. Since the light has attributions as transmitting and reflecting, methods depend on these physical phenomena.

Transmission type: The LEDs and the photo-detector are placed on opposite sides to measure the light passing through the object that is under measurement.

Reflective type: The LEDs and the photo-diode are placed in the same plane. Photodiode receives the light reflected through the finger.

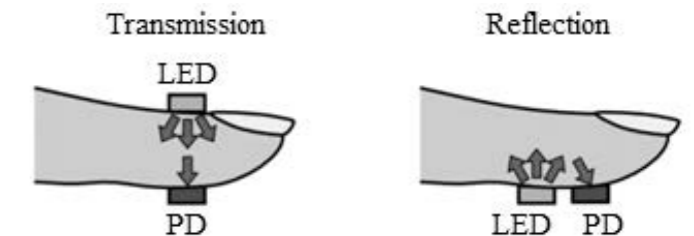


Figure 1: Transmission type and reflection type sensor configurations [2].

The oximeter uses two LEDs and a photodiode to calculate the oxygen saturation of the blood. One LED is red with a wavelength of 660 nm, the other LED is infrared with a wavelength of 940 nm. Absorption of light at these wavelengths

differs significantly between oxygenated and deoxygenated hemoglobin [3]. Deoxygenated hemoglobin has a higher absorption at 660 nm and oxygenated hemoglobin has a higher absorption at 940 nm.

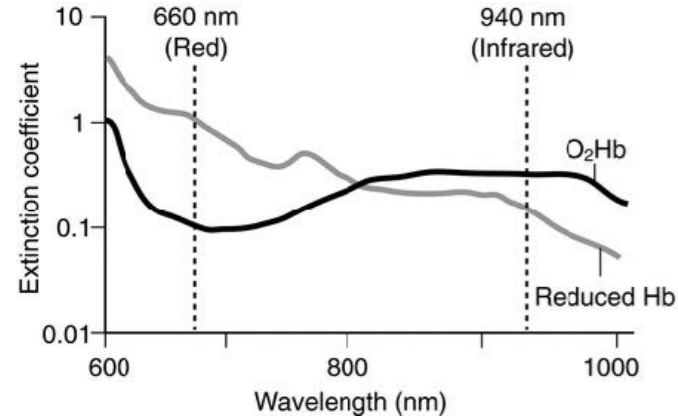


Figure 2: Extinction coefficients of red and infrared lights with respect to wavelength [3].

The transmitted light is received by the photodiode. By using several subsystems, such as signal processing circuits and a microcontroller, the SpO2 levels of the patient are calculated.

2. General System Description

The system for the pulse oximeter sensor that has been developed consists of five basic components. The first one is a signal processing circuit to receive and conduct the signal that has been generated by the finger probe to the microcontroller unit. The second and third components are finger probe and microcontroller unit, respectively. The fourth component is a Bluetooth module called “HC-05” and it has been implemented in the circuit by the UART connection in an Arduino Nano microcontroller. The reason why such a module is used is to improve the range of data transmission without any contact with the patient’s body. In this project, keeping the distance is one of the most important key concerns. The fifth and the newest component in our system is a monitoring subsystem, which is a mobile application. Since the monitoring of data is another substantial checkpoint for the project, we wanted to design a mobile application and receive the data from the patient’s body.

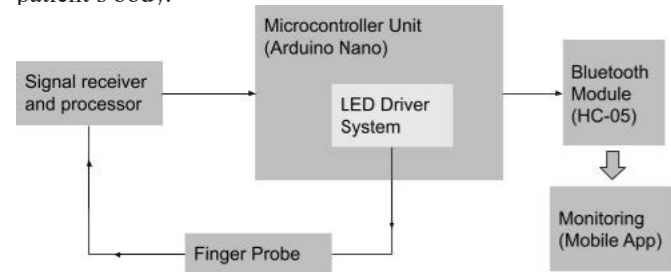


Figure 3: Block diagram of the overall system

The design process that has been followed throughout the project can be seen in figure 6. In short, firstly, the theory behind the system was researched, which was followed by research of similar devices on the market. A Nellcor sensor that was available on the market was bought and its components were analysed. Circuit and software design was established and implementation of the design has been started. When a problem was faced, to solve the problem, the system

was tested again and modified. Bluetooth connection was implemented to the system as an additional feature and an app was created using MIT App Inventor. The results of the system were compared with a device that is available on the market, which was approved by the Turkish Ministry of Health.

2.1. Hardware Design

An operational amplifier is used to amplify the signal on the phototransistor. An operational amplifier is a direct-coupled amplifier with two differential inputs and a single output. It is a versatile device used in almost all analog circuits. It provides a very high open-loop gain [4]. After the available opamps on the market have been searched, LM324 was decided to be used in the design.

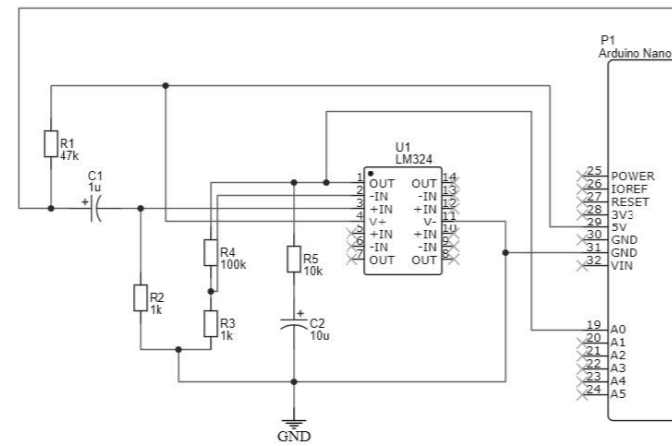


Figure 4: Signal processor circuitry

For single-supply applications, LM324 is suitable to use because the negative supply included in common-mode input and output range eliminates the need for external biasing. To get the output in phase with the input, a non-inverting amplifier configuration was used. Input signal which is the voltage on the phototransistor is applied directly to the non-inverting input of the operational amplifier. Feedback control was achieved by applying a small part of the output voltage signal back to the inverting input terminal via the voltage divider configuration. This configuration produces good stability, high input impedance and low output impedance.

IR and red LEDs are connected to the pins of Arduino Nano which generates pulse waves. A resistor is connected between the microcontroller pins and LEDs, aiming that current through the LED has been limited to prevent the LED from burning. It is often called a ballast resistor.

Moreover, a Bluetooth connection has been constructed through a module called “HC-05” to overcome the wireless communication hardship. HC-05 is a Bluetooth module with serial port handling, which can be set as either master or slave. One can use HC-05 simply for a serial port modification to establish a connection between MCU, PC or any other device.

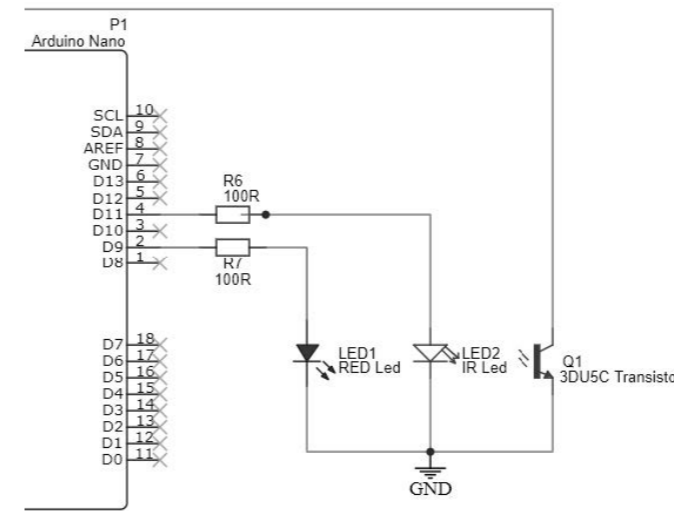


Figure 5: Finger probe and LED driver circuit.

2.2. Software Design

Arduino Nano is used to drive LEDs successfully and obtain 2 different signals for IR and Red LEDs. After obtaining these signals, it was possible to calculate the percentage of oxygenated hemoglobin in the blood theoretically. To calculate the SpO2 percentage, temporary samples are taken every 40 ms. The average value of these temporary results is taken every 10 seconds. The reason why the average value is calculated is SpO2 values fluctuate by different conditions such as the position of the finger, emitter and diodes.

The mobile application has been designed via MIT app inventor, which offers the developer an opportunity to use blueprints which are predefined in the compiler program. User Interface (UI) and system output can be found in figure 7.

3. Components and Cost Efficiency

The realization of the project depends on the previous prototypes which have been built with generic components. However, previous prototypes were not successful in terms of sensitivity. The finger probe which consists of an infrared LED, red LED and a phototransistor has been rearranged with better components which can be seen in figure 8 to obtain better results. Moreover, the previous components were not suitable for industrial applications so they have been dismissed.

Five pin male-female connector is used to connect the finger probe to the main circuitry.

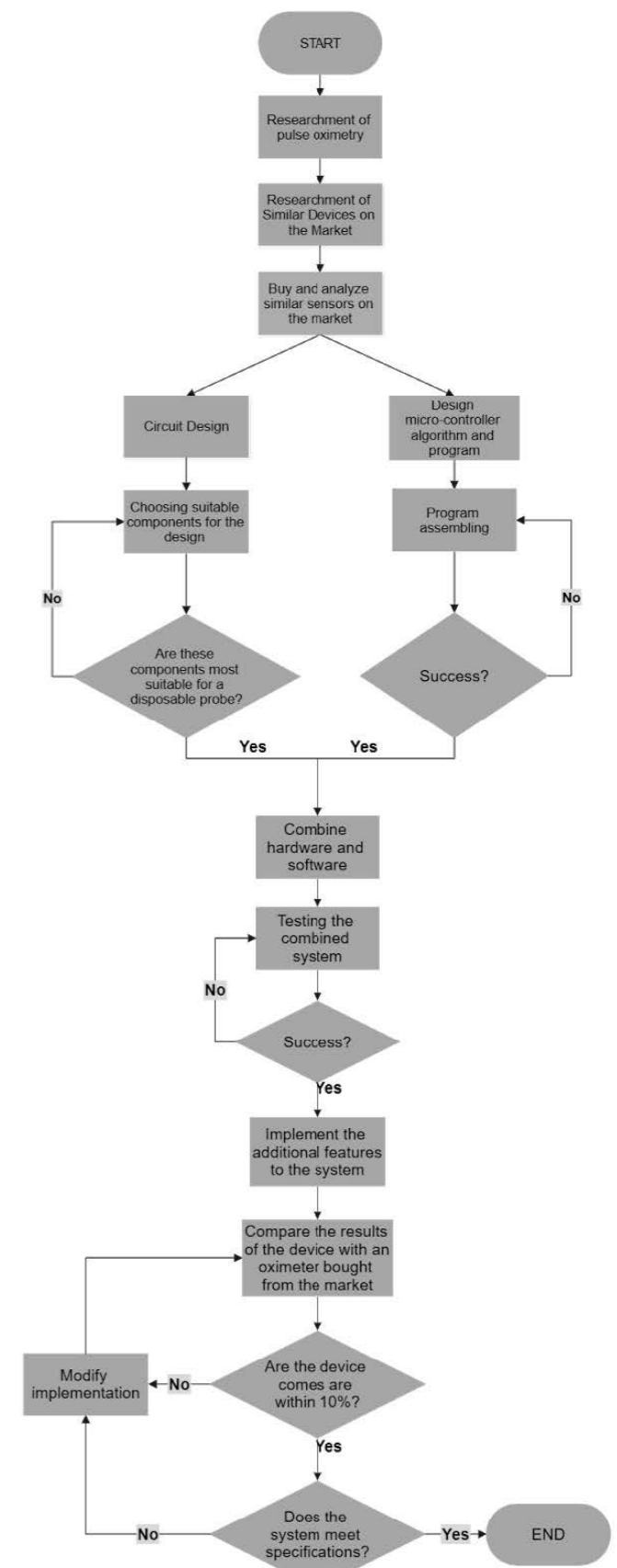


Figure 6: Flowchart of the design process.

The photodiode, red LED and IR LED was soldered to the cables and a heat-shrink tube was used for better insulation of wires and environmental protection of the system. The final

version of the probe can be seen in figure 9. The probe is 1.5 meters long and disposable.

Bitcoin And Ethereum Background

Gizem Altun

Ankara Yıldırım Beyazıt University Ankara, Turkey, gizemaltun9819@gmail.com

Abstract

Today, technology is constantly changing and developing. Blockchain systems are one of the technologies that rapidly develop new technologies. Although blockchain technology has many applications, the most popular application area is cryptocurrencies. The most well-known examples of cryptocurrencies are Bitcoin and Ethereum. In this study I have done, I have examined the block chain systems of Bitcoin and Ethereum crypto coins and the protocols and algorithms used in these systems. In addition, I also touched on the general structure of the blockchain in my study. As a result of my research, I saw that these two cryptocurrencies (Bitcoin and Ethereum) use the same protocol (Proof-of-Work Protocol). But the algorithms used were different. The Bitcoin blockchain used the SHA-256 (Secure Hash Algorithm 256) algorithm, while the Ethereum blockchain used the Ethash algorithm. When I did a more detailed research, I realized that the Ethash algorithm was actually created by the development of the SHA-3 (Secure Hash Algorithm 3) algorithm. In this article, which I wrote with the data I obtained from my research, you will read general information about Bitcoin and Ethereum cryptocurrencies, the Proof-of-Work protocol and SHA256 Ethash algorithms.

Günümüzde teknoloji durmaksızın değişip gelişmektedir. Blok zinciri sistemleri de hızla yeni gelişmeler gösteren teknolojilerden biridir. Blok zinciri teknolojisinin bir çok uygulama alanı olsa da en popüler olan uygulama alanı kripto paralardır. Kripto paraların en bilinen örnekleri ise Bitcoin ve Ethereum'dur. Yapmış olduğum bu çalışmada Bitcoin ve Ethereum kripto paralarının blok zinciri sistemleri ve bu sistemlerde kullanılan protokolleri ve algoritmaları inceledim. Buna ek olarak çalışmamda blok zincirinin genel yapısına da değindim. Yaptığım araştırmalar sonucunda bu iki kripto paranın (Bitcoin ve Ethereum) aynı protokolü (Proof-of-Work Protokolü) kullandığını gördüm. Fakat kullanılan algoritmalar farklıydı. Bitcoin blok zinciri SHA-256 (Secure Hash Algorithm

256) algoritmasını kullanırken Ethereum blok zinciri Ethash algoritmasını kullanıyordu. Daha da detaylı bir araştırma yaptığımda aslında Ethash algoritmasının SHA-3 (Secure Hash Algorithm 3) algoritmasının geliştirilmesiyle ortaya çıktığını fark ettim. Araştırmalarımın elde ettiğim verilerle yazdığım bu yazıda Bitcoin ve Ethereum kripto paraları hakkında genel bilgileri, Proof-of-Work protokolü ve SHA256 Ethash algoritmaları hakkındaki bilgileri okuyacaksınız.

1 Introduction

1.1 What is blockchain?

Blockchain technology is a popular technology recently. It has been recognized by many IT inventors and experts as one of the most important technological innovations in the field of digitizing secure ownership of assets in recent years. It is considered by experts as a more powerful technology than the internet. The blockchain technology is built on the concept of a distributed ledger, decentralized cataloging, and accounting method for large volumes of data. Since the blockchain system has a distributed (decentralized) data structure, it forms the basis of security for users. Thanks to the blockchain system, people no longer need a third person (intermediary) to make a transaction. In this way, a 'trust protocol' is created. This 'trust protocol' created offers users a reliable, transparent and accountable environment.[6][4]

Blockchain technology may seem like a complex concept, but when you get to the basics, it's pretty simple. Basically, blockchain is a type of database. In order to understand the blockchain better, we must first learn what a database is. A database is usually a regular collection of structured information or data stored electronically on a computer system. Information in databases is typically structured in a tabular format so that certain things can be searched and filtered more easily. A database is designed to contain a much larger amount of information that can be accessed, filtered, and manipulated instantly, quickly and easily, by a non-specific number of users. The differences between traditional databases and blockchain are:

The primary difference between a blockchain and a database is centralization. All information and records in any database are secured. But in a blockchain system, all participants in the system have a secure copy of all information, records and changes. This way, all users can see the source of the records. Since all users have a copy of the records, any unreliable or erroneous information in the blockchain system is immediately detected and corrected.

Another point where blockchain differs from other databases is the storage structure (how data is structured). On the blockchain, information resides in clusters and there are blocks that hold these clusters as well, they are called groups. In the blockchain system, information is collected in groups. The blocks that hold this information have a certain capacity. When the capacity of the blocks is full, they are chained to the previous filled blocks and thus create the data chain called

Table 2: The costs of the disposable probes available on the market.

Model of probe	Price
Nellcor, OxiMax, MAX-N Neonatal/Adult Sensor	15\$
Masimo LNCS Neo-3, Neonatal Adhesive Sensor	21.99\$
LNCS Adtx, Adult Adhesive Sensor	10.84\$
Opto-med S0020J-S	30₺

4. Conclusion

A disposable oximeter probe with a main monitor was developed for monitoring the oxygen levels of patients. Low oxygen saturation can be an early sign of COVID-19 and during the pandemic, oxygen levels of COVID-19 patients are constantly being monitored. Having a probe that is separable and disposable is a big advantage when the device is being used with a patient with contagious diseases.

Pulse oximetry sensor developed as a result of this study uses red and infrared lights with 660 nm and 940 nm wavelengths, respectively. The oxygen saturation is calculated using the microprocessor Arduino Nano. The results are shown on the phone using wireless communication with the Bluetooth application.

Acknowledgements

The supervision provided by Dr. Ugur Baysal was greatly appreciated.

5. References

- [1] McCallum, Katie, "Can an Oximeter Help Detect COVID-19 at Home?", houstonmethodist.org, Aug 12, 2020.
- [2] Tamura, T.; Maeda, Y.; Sekine, M.; Yoshida, M. Wearable Photoplethysmographic Sensors—Past and Present. Electronics 2014, 3, 282-302.
- [3] Zhiling Xiong, Bhavani S. Kodali, Essential Clinical Anesthesia, pp 186-190, Online publication date: January 2012.
- [4] Khadka, Shree Krishna, "Operational Amplifier Circuits and Dynamics", Electronic Circuits, pp.25-45, 2015.

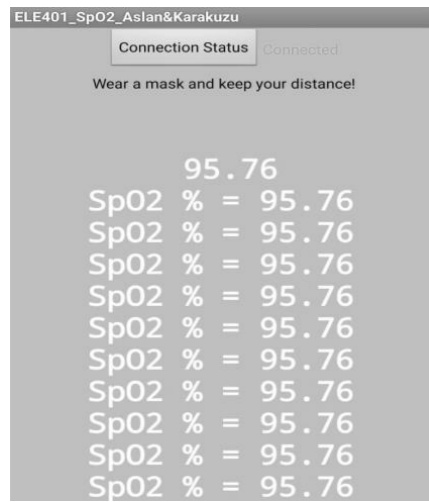


Figure 7: User interface when the output is active



Figure 8: Components that construct the finger probe. IR LED, red LED and phototransistor, respectively.

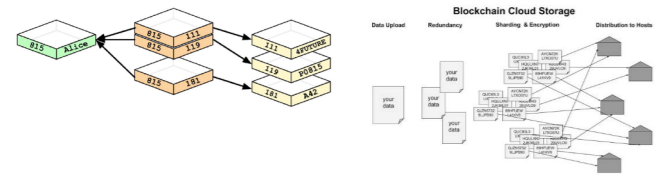


Figure 9: Final version of the disposable probe.

Since one of the design limitations is cost efficiency, each and every part of the disposable system has been analyzed in terms of worth. After criticising various components, the finalised version of the system is found to be optimised for both total cost and stability.

Table 1: Cost of the disposable probe.

Components	Cost
IR LED	1.53₺
Red LED	0.38₺
Phototransistor	1.53₺
Heat-shrinking tube	2.6₺
Cables	5.0₺
5-pin female connector	3.06₺
Total cost	14.1₺



(a) Data storage of traditional databases

(b) Data storage of blockchain

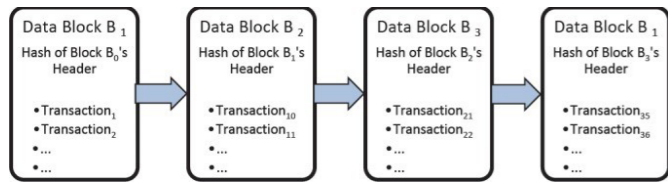
'block chain'. When all blocks after the new block are filled in the same way, they join the data chain after the new block.

Traditional databases store data in tables. However, in the blockchain system, data is structured in blocks, chained to each other. As we can understand from here, all blockchains are a database, but not all databases are blockchains.

1.2 Architecture of Blockchain

The blockchain system is a blockchain that contains a complete record of transactions made, which can be publicly or privately distributed (i.e. decentralized) to all participants of the chain. Each block has a data structure with a header and a hash.

Each block contains the hash value and the header of the previous block, and therefore creates a hash chain or blockchain. Since all the blocks are chained, the order of the blocks is deterministic. Therefore, each block can act as a timestamp of attached transactions to solve the double spend problem. Each member keeps a copy of the entire blockchain so each member can verify every transaction.



Blockchain is a combination of three leading technologies:

- Encryption keys
- A peer-to-peer network with a shared ledger
- A computing tool for storing the transactions and records of the network

Encryption keys contain two keys. These are called public keys and private keys. It plays a role in the successful execution of the transactions between the two parties. Each individual has these two keys that they use to generate a secure digital ID reference. This secure identity is one of the most important features of the blockchain system. This identity is called "digital signature" in the crypto money world. This 'digital signature' is used to authorize and control the transactions to be made.

This digital signature, owned by the participants, is combined with the inter-family network. A large number of people who qualify as jurisdictions use this digital signature to reach a consensus on transactions that will take place unlike other matters. If participants with this jurisdiction authorize any agreement, this authority is confirmed by a mathematical verification, resulting in a secure and successful transaction

between both parties connected to the network. In summary, participants in the blockchain system use cryptography keys to perform different types of digital interaction across the peer-to-peer network.

2 Bitcoin

Bitcoin is the first cryptocurrency. It was introduced to the world in 2008 by a person nicknamed Satoshi Nakamoto. Satoshi Nakamoto, the founder of Bitcoin, created the first cryptocurrency.

Bitcoin is a peer-to-peer electronic money transfer system that is based on cryptography. The concept of decentralize in the Bitcoin system explains the principle of 'peer to peer'. Since it is decentralized, all transactions are recorded and copied to all users in the chain. As a result, the users in the chain develop a bond of trust.[7]

Bitcoin mining necessitates a significant amount of capital. Any Bitcoin created during mining is added to the global Bitcoin pool. Bitcoin mining requires the installation of Bitcoin-specific mining software. A detailed record of each Bitcoin transaction is held during this mining process. The records maintained by bitcoin miners are used to build a block. Afterwards, these new blocks are added to the existing blockchain blocks. The log (main transaction log) of these transactions is published to all users on the network. This globally published blockchain is stored forever after this transaction log is made publicly available to all users on the network. This prevents the created Bitcoins from being reused. The transactions are checked using a protocol, and this protocol is known as "Proof-of-Work (PoW)". The proof-of-work protocol is used to solve a mathematical problem that encrypts each pending transaction log in order to validate these transactions. Independent servers run special software that decrypts each pending transaction by solving a mathematical issue. This software allows Bitcoin owner to send and receive transactions. The Bitcoin system is a system that keeps track of Bitcoin transaction. This system includes a "timestamp server" that works as a distributed ledger that merges with this server to maintain a chronological record of transactions. The fact that Bitcoin is decentralized is its most important aspect. Since there is no specified contact point within the system, all users agree to follow the developed trust bond. Bitcoin, within that sense, only exists on the internet and has no physical existence. It isn't associated with any government or bank because it doesn't have a physical existence.

2.1 Proof-of-Work (PoW) Protocol

The term "proof-of-work" was developed before blockchain technology, and its first use is not for a blockchain system. Dwork and Naor introduced the concept of "proof-of-work" in 1992. Afterwards, Adam Back used the Hashcash algorithm to develop it.

Satoshi Nakamoto released a paper in 2009 that merged proof-of-work with an economic rewards scheme to create a system for preserving the integrity of the Bitcoin blockchain and maintaining order in the development of new blocks. The Hashcash algorithm is the backbone of the Bitcoin system's protocol (PoW), according to Satoshi. To connect new blocks

to the blockchain in the Bitcoin system, users must overcome some cryptographic problems. As a result, "proof-of-work" has become one of the most commonly used features of modern blockchain technology.

As noted previously, blockchain is a decentralized database made up of serial blocks containing registered data. That is why it is referred to as "blockchain". A network of individual members helps to maintain the database, and this network called as "nodes". The ability to implement extra blocks to a proof-of-work blockchain is granted to users who are willing to expend computing ability to solve cryptographic problems. The users battling to implement extra blocks are referred to as "miners," and the process is referred to as "mining".

Miners use their computing resources to locate a correct block when a fresh source of knowledge (such as a transaction) needs to be adjusted to the blockchain. It is accomplished by locating a "hash" that ensures a network protocol-defined condition. The product of a hash algorithm, which is commonly included in cryptography, is a hash. It converts every format and size of data into constant value. SHA-256 is the hash function that is used in Bitcoin.

Miners hash three things when making new blocks: the current block's hash, the collection of transactions to be new block, and a nonce (without this, the resulting hash will still be the same since blockchain data is immutable) before they find the correct hash. The protocol establishes a degree of mining complexity that is algorithmically adjusted such that the mean time to find a right hash (and thus a fresh block) is 10 minutes.

Mining is a vying, with the winner receiving a portion of the blockchain currency for finding the requisite hash the quickest. The blockchain protocol determines the amount of award, which in the situation of the Bitcoin blockchain is presently 6.25 BTC per block. This financial reward, which is implemented by the "coin-base transaction," is used to guarantee that the network has enough miners to keep it running.[3]

Miners will often seek several blocks that satisfy the protocol's conditions at about the same time, splitting the chain break in two. The protocol must handle such circumstances since there would only be one right (or "canonical") chain.

One of several advantages of PoW blockchains in terms of safety is their resilience to sybil and 51 percent attacks. A sybil attack occurs when one individual in the network establishes several fake identities to gain a competitive advantage over all other network members who only have one identity. 51 percent attacks happen whenever a single attacker has possession of even more than 51 percent of the network's assets and thus has control over the inclusion of new blocks. Proof-of-work does not preclude similar attacks, but it causes them extremely expensive (regulating more than 51 percent of the processing power on the Bitcoin blockchain would take nearly unimaginable quantity of effort) and far less possible.

Bitcoin's hashing feature is SHA-256, and miners are asked to investigate a hash beginning with a specific number of zeros. Per 2016 blocks, the mining complexity is changed. At 1 block every 10 minutes, the blocktime is extremely slow collationed to these other blockchains. Bitcoin mining is generally carried

out with specialized hardware known as ASICs.

Fixing mathematical problems consumes a huge amount of re-resources, that is sometimes mentioned as one of the key issues with proof-of-work blockchains. Whereas it's not that easy. Although production is reduced, and then for Bitcoin it becomes even nearly equivalent to the annual reduced product of some states (such as the Netherlands), renewable energy responsible for a substantial portion of it. Mining facilities are also situated in regions with inexpensive resources, which also requires wind power or other renewable resources, because miners would like to reduce their electricity prices.

2.2 SHA-256 Algorithm (Secure Hash Algorithm)

The "Secure Hash Algorithm," or SHA, is a cryptographic hash function developed by the National Security Agency (NSA). It is made up of computational parameters that encode and match data to a specific size. This algorithm's knowledge can then be fixed and return to its normal state. It enables you to safely send large amounts of data to the other party.

The secure hashing algorithm (SHA-0, 1, 2, and 3) is a four-part encryption algorithm with various cryptographic functions. Algorithms designed to address specific security issues are used in a variety of applications. Particularly in financial applications such as e-signature, protocols with creating multiple lengths such as SHA 256, 384, and 512 are desired.

A function in SHA-1 produces a 160-bit hash value. It can be used in e-mail encryption software and Internet security for web-page protection. It has a one-way encryption algorithm. The SHA-1 protocol uses 40-digit hexadecimal numbers to produce hash values. Browsers do not endorse this algorithm while it has many security issues.

The information enciphered with secure hash algorithm software occurs as a string of random characters. The data encoded with these algorithms is decoded using the same substructure as the encoder.

The SHA algorithms have a powerful anti-recycling architecture. The method, which encodes the description of the knowledge rather than the data themselves, aids you in lowering interaction and operating expenses. Secure Hashing Algorithm protocols are commonly used for message authentication, key storage, e-signatures, data security, and data compression.

Algorithms, which are classified into a variety of categories based on their applications and computational parameters, have been built in a variety of ways. SHA-2, for example, is used in some security protocols and applications. This algorithm, which differs significantly from SHA-1, is particularly useful in areas where crash resilience is needed, such as electronic signature.

SHA-2 consists of many different functions (SHA-224, 256, 384, 512, 512/224, 512/256, 256 and 512). These protocols are algorithms that use 32 and 64-bit words to encrypt data. Despite the fact that they have multiple parameters, their architectures are nearly identical.

NIST (The National Institute of Standards and Technology) came up with the SHA-2 algorithm in 2001. Both Unix and Linux industries recommend this authentication and encoding scheme, which is used in SSL, TLS, SSH, PGP, S/MIME, and IPsec programs. It's a more efficient feature than SHA-1.

Because of SHA-1's design flaws, the SHA-2 standard has been used to check, measure, and confirm financial transactions in several cryptocurrencies, including Bitcoin and Ethereum. The SHA-256 protocol is commonly used in certain processes because it produces a 64-character output in the hexadecimal number format.

3 Ethereum

Ethereum is a system first introduced at the North American Bitcoin Conference by Ethereum founder Vitalik Buterin. While it is often referred to as an altcoin, Ethereum is actually a cutting-edge framework that seeks to advance blockchain technology and expand its applications.[1]

Bitcoin is the first blockchain-based network that has proven to be useful. In this context, Bitcoin is thought to have ushered in the blockchain 1.0 age, which illustrates the best of the first cryptocurrency. The fundamental blockchain technology has received widespread acceptance recognition as a result of Bitcoin's rapid growth.

The release of Ethereum signaled the start of the second wave of blockchain technology. Although Bitcoin could just support constructed cryptocurrency and worth exchange, Ethereum, the first blockchain system with a constructed Turing-complete language, maximizes the blockchain system's capabilities and allows it to endorse nearly every single sort of transaction.[2]

Blockchain can enable not only safe value exchange, but also stable collaboration among unreliable parties in a cyber-physical-social (CPS) environment as a hopeful technology and its ability to radically implement a new Internet infrastructure. Efforts have been made in last few years to better recognize, build, and apply blockchain technology to a number of situations. Recent research has primarily concentrated on blockchain-based cryptocurrencies, efficiency and security assessment, blockchain platform enhancement, and a variety of uses. Many analysts are focusing on blockchain-based cryptocurrency because it is an appealing digital asset with rapid trading volume development.

Second generation blockchain system is exemplified by the Ethereum network. It's important to look at the Ethereum network from a variety of angles.

Ethereum is a Crypto Operating System that runs on the Ether (ETH) cryptocurrency. The mission is to motivate users to build new applications on the Bitcoin-connected blockchain framework. Because of the independence that Ethereum gives its users, several sub-coins can be created.

The Ethereum framework was created to prevent third parties from storing private data and using it for various purposes. Most of our online transactions (shopping, banking, social media, internet history, and so on) are now stored as data in data banks. It's impossible to say what reason this knowledge would be used for.

These transactions are stored on several different devices in a fully distributed and anonymous manner with the Ethereum framework. As a result, access to this data becomes difficult, effectively turning the internet into a decentralized network.

3.1 Ethash Algorithm

Ethereum uses the "proof-of-work" protocol just like Bitcoin. But the difference is which algorithm they use in this protocol. While Bitcoin uses the SHA-256 algorithm, Ethereum uses the ethash algorithm.

Mining Ethereum is actually pretty similar to mining Bitcoin. Because both Ethereum and Bitcoin use the same consensus protocol (proof-of-work). Proof-of-work refers to a mining action in which miners compete to compose transfers to a new block of the blockchain. By using a hashing code, a miner effectively mines a new block although interacting with other miners. There are three types of Ethereum mining: CPU mining, GPU mining, pool mining.[5]

Owing to GPU miners' nearly two-fold very powerful mining abilities, ethash based CPU mining's cryptos isn't any longer valuable. CPU mining, on the other hand, may be used for first-time mining tries, generating a small number of coins to force smart contracts, or testing cryptocurrency operations within a network.

CPU mining of Ethereum is done with the geth ETH client.

GPU mining is the most efficient way to mine Ethash. Nevertheless, keep in mind that Ethash is memory-intensive and requires at least 1-2 GB of RAM on each GPU. ASICs and FPGAs that are literally incapable of Ethash mining are unreliable in compared to GPUs. To begin GPU mining, upload Ethminer, an Ethash miner created by the Ethereum team that is compatible with any Ethash-based cryptocurrency that hasn't explicitly banned this option.

For the majority of Ethash cryptocurrency, pool mining is also accessible. Pools also charge miners charges (usually about 1-2 per-cent of earnings), but it's still the cheapest way to mine famous Ethash-based cryptocurrency with average hardware.

The ethereum blockchain use ethash proof-of-work algorithm. Ethash is the predecessor to the current ethereum algorithm. The present steps of the process of both algorithms, nevertheless, made them too dissimilar to be regarded the very same algorithm. The hash algorithms Keccak-256 and Keccak-512 (with the development of SHA-3) are used by ethash.

The Secure-Hash-Algorithm-3 norm is member of the Keccak cryptographic primal community. Although the hash functions of ethash are often referred to as SHA-3 256 and SHA-3 512 the Keccak edition of Ethereum isn't based on the SHA-3 hash algorithm.

Ethash was created with a powerful emphasis on security from ASIC miners, but the enormous success of ethereum, the most common ethash-based cryptocurrency, prompted ASIC developers to build ethash-coherent miners.

4 Conclusion

At the end of this article, you have learned about blockchain technology, Bitcoin and Ethereum. As you can see, blockchain technology is very popular and Bitcoin and Ethereum are the best known examples. When we looked at the infrastructures of these systems, we encountered a deep information network. As a result, we have learned about this technology that emerged thanks to this information network.

Acknowledgments

Thanks to the support of my advisor, Professor Hüseyin Canbolat, who supported me throughout this process, I made a noticeable progress in my work. I would like to thank Professor Hüseyin Canbolat for his help and encouragement.

References

- [1] Ethereum (ETH) Nedir? url: <https://www.bitlo.com/rehber/ethereum-nedir>.
- [2] Dongchao Guo, Jiaqing Dong, and Kai Wang. "Graph Structure and Statistical Properties of Ethereum Transaction Relationships". In: Information Sciences 492 (2018), pp. 58–71. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.04.013>.
- [3] Süleyman Kardas. "Blokzincir teknolojisi : uzlaşma protokolleri". In: DUMF Muhendislik Dergisi 10:2 (2019), pp. 481–496. doi: 10.24012/dumf.426805.
- [4] R. M. Nor et al. "Blockchain Sadaqa Mechanism For Disaster Aid Crowd Funding". In: (2017).
- [5] Doga Ozcan. "Etherem durum(stsate) mimarisi". url: <https://medium.com/@dogasava/ethereum-durum-state-mimarisi-ve-merkle-patricia>.
- [6] H. Wang, K. Chen, and D. Xu. "A maturity model for blockchain adoption". In: Finance Innovation (2016).
- [7] Ehab Zaghloul et al. "Bitcoin and Blockchain: Security and Privacy". In: IEEE INTERNET OF THINGS JOURNAL (2020). doi: 10.1109/IIOT.2020.3004273.

Siyam Sinir Ağları İle Yüz Tanıma Sisteminin Okul Girişlerinde Uygulanması

Application of Face Recognition System with Siamese Neural Networks at School Entrances

Yunus ATLI, Mehmet DEMİRTAŞ

Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi Gazi Üniversitesi
yunus.atli@gazi.edu.tr, mehmetd@gazi.edu.tr

Özet

Makine öğrenmesinin bir alt dalı olan yapay zekâ ve derin öğrenme sağlıktan güvenliğe, finans sektöründen reklamcılığa kadar hayatımızın her alanında farklı uygulama ve çözümlerle karşımıza çıkmaktadır. Yapay zekâ ve derin öğrenme insan sinir sisteminin çalışmasından esinlenerek modellenmiştir. Bu çalışmada, okul girişlerindeki kimlik kartı kontrolünün daha yüksek güvenlikle yapılması amacıyla derin öğrenmenin bir uygulaması olan siyam ağları yardımıyla yüz tanıma sistemi geliştirilmiştir. Kullanılan bu yöntem ile yüz tanımanın başarılı bir şekilde uygulandığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Derin öğrenme, yüz tanıma, siyam ağları, yapay sinir ağı, kimlik kartı doğrulaması.

Abstract

Artificial intelligence and deep learning, which is a sub-branch of machine learning, appear with different applications and solutions in all areas of our lives, from health to security, from finance to advertising. Artificial intelligence and deep learning are modeled after the work of the human nervous system. In this study, a face recognition system has been developed with the help of siamese networks, which is an application of deep learning, in order to control identity cards at school entrances with higher security. With this method used, it has been seen that face recognition has been applied successfully.

Keywords: Deep learning, face recognition, siamese networks, artificial neural network, identity card verification.

1. Giriş

2010 yılı ve sonrasında derin öğrenme ve yapay zekâ uygulamaları hız kazanmıştır. Gerek sosyal medya ve internetin yaygınlaşması sayesinde verilerin muazzam boyutta artması, gerekse işlemci donanımlarının hızlarının atması sayesinde modellerin başarı oranları hızla artmıştır. Her geçen gün gelişen teknoloji ve veri miktarının büyük miktarda artması sayesinde derin öğrenme uygulamalarının başarısı artmakta ve makinelerin fonksiyonları çeşitlenerek insansı olmaya daha da yaklaşmaktadır.

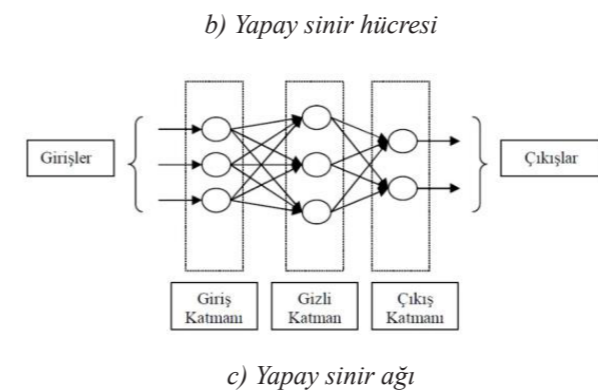
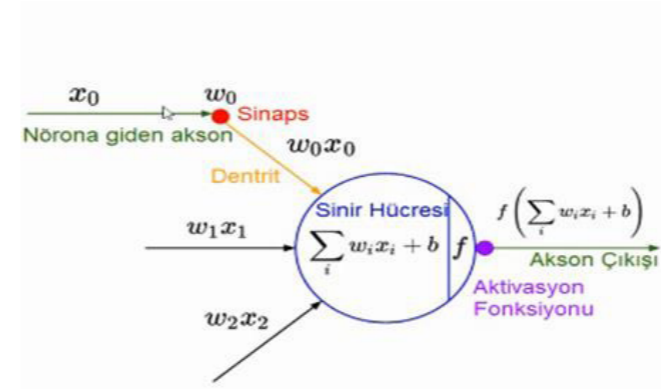
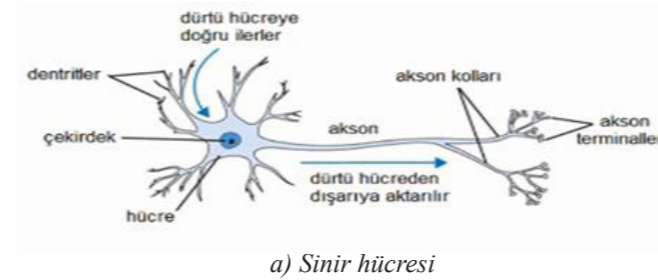
Hayatın her alanına nüfuz etmeyi başaran derin öğrenme algoritmaları sağlıktan güvenliğe, sürücüsüz araçlardan tercüme sistemlerine kadar her alanda varlık göstermeye başlamıştır. Derin öğrenmenin tarihi, Warren McCulloch ve Walter Pitts'in 1943 yılında düşünce sürecini taklit etmek için matematiğe ve sinir mantığı olarak adlandırılan algoritmalara dayalı sinir ağları için bir hesaplama modeli oluşturmalarına uzanmaktadır [1].

Derin öğrenme veri setlerine doğrudan bağlı olduğu için özellikle internetin kullanımının ve veri paylaşımlarının artması özellikle 2010 yılından sonra oluşturulan modellerin daha yüksek başarıyla çalışmasında etkili olmuştur. 2011 yılında yayınlanan makalede Alexnet mimarisi tanıtılmıştır. Doğruluk seviyesini büyük oranda yükselten mimari bir dönüm noktası olarak görülmektedir. Başarı oranını %86'a yükselterek derin öğrenme alanının ivme kazanmasını sağlamıştır [2]. 2016 yılında sesi olmayan bir videodaki konuşan kişilerin dudak hareketlerinden söylediklerini tahmin etme çalışması yapılmıştır. Dudak okuma tahmini yapan kişiler %52 başarılı olmuşken derin öğrenme çalışmasıyla seslendirilen videonun başarı oranı %93 olmuştur [3]. 2016 yılında yapılan bir diğer çalışmada ise insan hareketlerinin anlık değişimini ve vücut duruşunun tahmin edilmesini içeren derin öğrenme uygulaması yapılmıştır. Model, hareketlerin 2 boyutlu olarak tahmin edilmesi üzerine kurgulanmıştır [4].

Bu çalışmada ise derin öğrenmenin bir alt uygulaması olan siyam ağları kullanılarak görüntü işleme ve yüz tanıma çalışması gerçekleştirilmiştir. Yüz tanıma uygulamasının kimlik doğrulamada ve güvenlik amaçlı olarak kullanılması için okul girişlerinde bulunan turnikeli geçiş sistemi ile entegre çalışabilecek yapıda bir yazılım yapılmıştır. Burada amaç başka bir sahsın kimliği ile giriş yapılmaya çalışıldığında sistemin hata sinyali üretmesi ve güvenlik birimlerini uyarmasıdır. Bu amaçlar doğrultusunda makalenin ikinci bölümünde derin öğrenme kavramı açıklanmış, daha sonra üçüncü ve dördüncü bölümde siyam ağları ve yüz tanıma kullanımı anlatılmıştır. Beşinci ve son bölümde ise siyam ağları yapısının okul girişlerinde kimlik kartı ve yüz tanıma ile birleştirilmesine yönelik bir uygulama gerçekleştirilmiştir.

2. Derin Öğrenme Kavramı

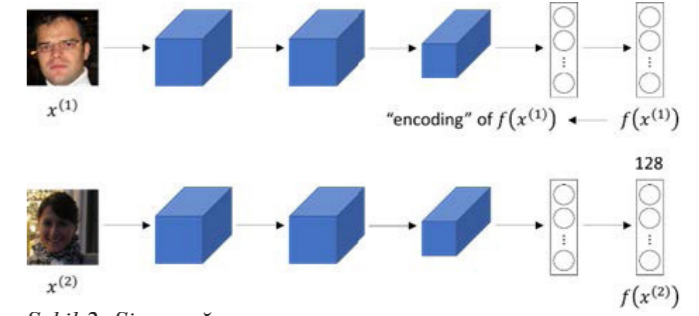
Derin öğrenme temelde canlı sinir hücresel ağının matematiksel kurgulanmasına dayanır. Sinir hücresi gelen bilgiyi işleyerek kendinden bir sonraki hücreye aktarır. Bu şekilde hücrelerden oluşan ağ sinir ağı olarak adlandırılır. Şekil 1(a)'da insan sinir hücresinin yapısı ve Şekil 1(b)' ise bu yapıdan ilham alınarak oluşturulan yapay sinir hücresi modellenmiştir. Şekilde görüldüğü üzere yapay sinir hücresinin girişi (X), önceden rasgele belirlenmiş ağırlık değerleri (W) ve hücrenin çıkışında uygulanan aktivasyon fonksiyonundan oluşur. Bu şekilde birçok hücre ve katmandan oluşan yapıya ise yapay sinir ağı denir ve Şekil 1(c)'de verilmiştir. Her girişin kendisine ait bir çıkışı vardır. Hücreden çıkan sonuç olması gereken yerden farklıysa "hata" değeri oluşur ve ağırlıklar güncellenir. Bu sayede ağırlıklar nihai halini alır ve model eğitilmiş olur. Resim, video gibi görsel girdilerin işlenmesinde ön plana evrişimsel sinir ağları (CNN) çıkar. Matrisler düzeyinde işlemler yapılarak ağın eğitimi gerçekleştirilir.



Şekil 1: İnsan sinir hücresi, yapay sinir hücresi ve yapay sinir ağı benzetimi.

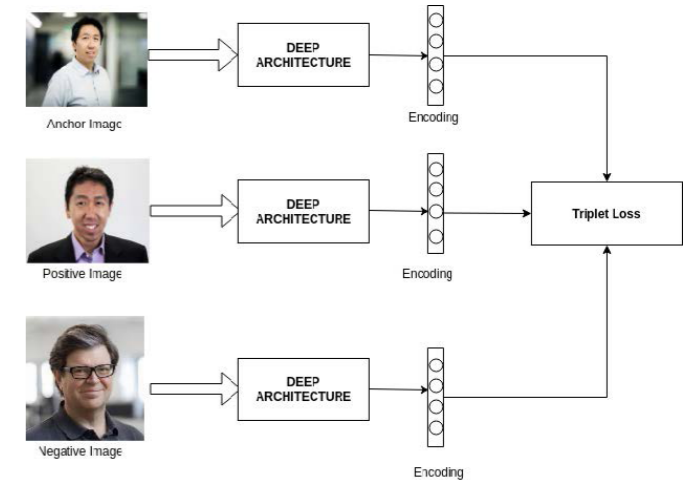
3. Siyam Ağları ve Üçlü Kayıp Yöntemi

Siyam ikizlerinin başlarının birleşik vücutlarının ayrı olması sebebiyle bu ağa siyam ağları adı verilmiştir. Birçok CNN yapısı mevcut olmakla birlikte, bu yapının içinde yer alan siyam ağları kişi tanımda iyi sonuçlar vermektedir. Siyam ağlarında eğitim işlemi yapılır ve ağın eğitimi bittikten sonra CNN üzerindeki ağırlıklar çıkışta kişinin yüzünün 128 vektörlük matris halinde kodlamayı öğrenmiş olur. En büyük avantajı ise ağın eğitimi bittikten sonra öğretilmesi istenen kişinin tek bir fotoğrafının yeterli olmasıdır. Siyam ağlarında veri setindeki sınıfların öğretilmesi yerine, sınıfların birbirlerine benzerliklerin ve farklılıkların ayırt edilmesinin öğretilmesi en önemli avantajını oluşturmaktadır [5].



Şekil 2: Siyam ağının yapısı.

Siyam ağlarının bir uygulaması olan üçlü kayıp yöntemi birbirinin aynısı olan 3 tane CNN ağı eş zamanlı olarak eğitilir. CNN'lerden birine bir sınıftan veri verilir. Kalan iki ağdan birine ilk resim ile aynı sınıftan (pozitif) bir veri verilir ve diğere ise farklı bir sınıftan (negatif) veri verilir. Ardından bütün veriler kendi buldukları ağlar tarafından değerlendirilir ve 128 elemanlı vektöre indirgenir. Referans- pozitif arasındaki farkın referans-negatif arasındaki farktan düşük olması esasa dayanarak bu durumu sağlamayan durumlarda hata hesaplanır. Sonrasında bütün CNN'lerdeki ağırlıklar aynı şekilde güncellenir [6]. Ağ eğitiminde yine çok fazla veriyle çalışılarak model eğitilir fakat uygulama aşamasında kişiye ait tek resimle kişi tanıtılır. Şekil 3'de üçlü kayıp yöntemine ait bir sinir ağı yapısı verilmiştir.



Şekil 3: Üçlü kayıp yöntemine ait bir sinir ağı yapısı.

4. Siyam Ağlarını ile Yüz Tanıma Uygulaması

Yüz tanıma uygulaması beş basamaktan oluşur. Resim veya video karesinde bulunan insanların yüzlerinin bulunması ilk aşamadır. Bu aşamada, HAAR, SSD, DLIB ve MTCNN gibi çeşitli yöntemler kullanılabilir. Bu uygulamada ise çok görevli kaskad evrişimli ağ (MTCNN) kullanılmıştır [7].

MTCNN ile resim karesindeki yüzlerin koordinatları belirlenir. Bu koordinatlara göre resim kırılır ve siyam ağları yöntemiyle eğitilmiş modelin girdisi olacak hale getirilir. Kırılan resim OpenCV kütüphanesinden faydalanılarak modelin eğitimi sırasında giriş verisi olarak kullanılan boyut olan 160x160 boyutuna ayarlanır. Transfer öğrenme yöntemiyle eğitilmiş model projede kullanılmıştır. Daha sonra tanıtılmak istenen kişiler modelden geçirilerek modele öğretilmiştir.

Doğrulama işlemi derin öğrenme uygulamalarından evrişimli sinir ağları temeliyle çalışan siyam ağlarında kişinin fotoğrafı

öğretilerek gerçekleştir. Siyam ağı ile eğitilmiş model few- shot öğrenme yöntemiyle kişinin bir veya birkaç fotoğrafını 128 elemanlı vektör halinde kodlar ve kaydeder [8].

Bu çalışmada yüz tanımlama uygulaması yardımıyla, okul girişlerinde kullanılan öğrenci kimlik kartının kullanan kişiye mi yoksa bir başkasına mı ait olduğunun tespit edilmesi amaçlanmıştır. Kartı okutan kişinin girişte bulunan kamera vasıtasıyla görüntüsü alınıp yüzü analiz edilir. Kartı okutan öğrencinin görüntüsü alınarak 128 elemanlı vektöre çevrilir ve hafızadaki veri ile eşleşme sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir. Kayıtlardaki fotoğrafıyla uyumlu olum olmadığı tespit edilir. Karşılaştırma sonucunda iki verinin arasındaki fark eşik değerinden düşükse ve eşleşme sağlandığında turnike açılır. Sağlanmaması durumunda ise turnike açılmaz ve güvenlik birimlerine bir uyarı mesajı gönderilir.

4.1. Kişilerin Modele Öğretilmesi

Siyam Ağı yöntemiyle eğitilmiş modelin en önemli avantajı sadece bir resim ile öğrenebilmesidir. Hedef kitle olan öğrencilerin birer resmi eğitilmiş ağdan geçerek 128'lik vektör şeklinde ve kendi ismi veya numarasıyla kaydedilir. Bu işlem çok kısa bir süre alır. Bu haliyle düşünüldüğünde okul girişlerinde kullanılan kartın gerçekten kullanan kişiye ait olup olmadığı saptanabilir hatta kart kullanımını tamamıyla ortadan kaldırılabılır.

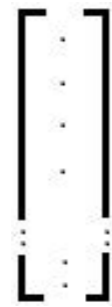
4.2. Yüzlerin Belirlenmesi

MTCNN ile resim karesindeki yüzlerin koordinatları belirlenir. Bu koordinatlara göre resim kırılır ve siyam ağı yöntemiyle eğitilmiş modelin girdisi olacak hale getirilir. Kırılan resim OpenCV kütüphanesinden faydalanılarak modelin eğitimi sırasında giriş verisi olarak kullanılan boyut olan 160x160 boyutuna ayarlanır. Transfer öğrenme yöntemiyle eğitilmiş model projede kullanılmıştır. Daha sonra tanıtılmak istenen kişiler modelden geçirilerek modele öğretilmiştir. Eğitilmiş ağdan geçen bir resim Şekil 4'de verilmiştir.



CNN

Eğitilmiş ağ



Şekil 4: Eğitilmiş ağdan geçen bir resim örneği.

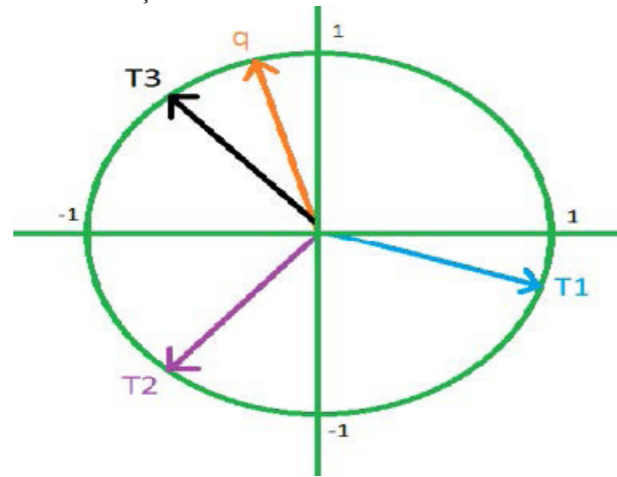
4.3. Siyam Ağları Üzerinde Test

Kırılan kare eğitilmiş ağın gereksinimlerine getirildikten sonra test aşamasına geçilir. Bu aşamada her bir kare sırasıyla modele uygulanır. Sonuçta, Şekil 5'de görüldüğü üzere 128'lik vektör matrisi kameradaki kişinin yüzünün bir nevi kimliğini ortaya çıkarır.

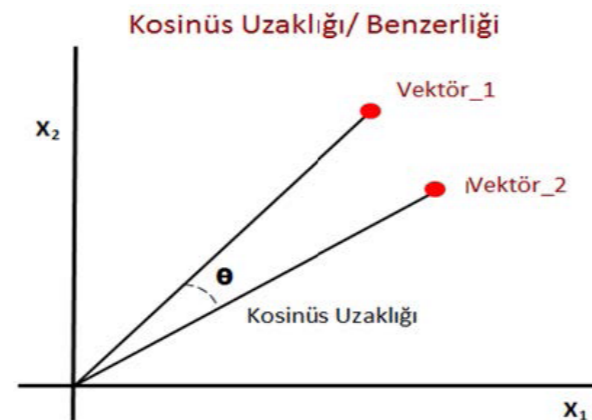
[0.00897432,	-0.03407373,	-0.07236313,	-0.00791965,	0.02725788,
0.21678762,	0.03276597,	0.01459033,	0.05230355,	0.039694,
0.00309706,	-0.18747324,	0.02848937,	-0.14745533,	-0.0074886,
-0.14263415,	-0.09591331,	-0.02863249,	-0.04036794,	0.09203675,
0.10007549,	0.07886953,	0.09393489,	0.0722886,	0.04003024,
-0.11884444,	-0.01133216,	-0.11000597,	-0.05789116,	-0.06045142,
0.1135243,	-0.11207648,	0.13270786,	-0.08020973,	-0.04174422,
-0.09549069,	0.115565,	-0.02478523,	0.14825407,	-0.10839722,
0.01344568,	-0.05629386,	-0.04351154,	-0.04522367,	-0.05180844,
0.05578206,	-0.05864394,	0.08627316,	-0.06607375,	0.01880315,
-0.06253194,	-0.00111204,	0.01202117,	0.11177877,	-0.02102106,
0.05658254,	-0.00629691,	-0.10800907,	-0.09138805,	-0.13654672,
0.02393571,	-0.0671313,	0.06008424,	-0.00732767,	-0.01684506,
0.00077779,	-0.0410097,	-0.02091825,	-0.13384879,	-0.06936894,
-0.12623988,	0.04525479,	-0.09305635,	-0.22093697,	-0.10690286,
-0.05819508,	-0.09407099,	0.00697998,	-0.03048387,	0.19660087,
-0.07622278,	-0.01013803,	0.11824395,	0.14281324,	0.09318107,
0.04969382,	0.02226315,	0.06877736,	0.0386518,	-0.11659765,
0.104123,	-0.09399923,	-0.09200668,	0.17613785,	0.07024573,
-0.07665636,	0.02431037,	-0.16723941,	-0.05224814,	-0.10013533,
0.09093615,	0.00885472,	0.05976429,	0.18559095,	-0.155252,
0.03688493,	-0.03827738,	-0.12086759,	0.12082406,	0.0329478,
-0.04616253,	-0.2067311,	0.02311152,	0.05721743,	-0.11104321,
-0.07432545,	-0.0946494,	0.00420367,	-0.00686281,	-0.03913705,
-0.05899531,	0.13920675,	0.05639499,	0.00022792,	-0.10115961,
-0.03673727,	0.0532604,	0.06535089]		

Şekil 5: 128 elemanlı vektör.

Elde edilen bu vektör kendi boyuna bölünerek vektörün uzunluğu bir'e düşürülür ve normalize edilir. Bu aşamada önceden kaydedilmiş vektörlerle birlikte temsili şekilde birim çembere yerleştirilir ve aralarındaki açılar karşılaştırılır. Kameradaki kişinin vektörü en çok hangisine yakınsa ve belirlenen eşik değerden küçükse o kişinin etiketi verilir [9]. Vektörler arasındaki açının kosinüsü iki vektörün çarpılmasıyla bulunur. Bu eşitlik iki vektör arasındaki açının kosinüs değerini verir. Yani birbirine benzer cisimlerin arasındaki açının kosinüs değeri daha büyük çıkmalıdır [10]. Şekil 6'da vektörlerin birim çembere yerleştirilmesi ve Şekil 7'de ise kosinüs benzerliği kuralı verilmiştir.



Şekil 6: Vektörlerin birim çembere yerleştirilmesi



Şekil 7: Kosinüs benzerliği kuralı.

Şekil 8'de örnek bir yüz tanıma uygulaması ve bu uygulamanın işlem basamakları verilmiştir. Bu süreç, görüntünün sisteme tanıtılması, görüntü üzerinden yüzlerin bulunması, kırılması, kırılmış yüzlerin ön işleme tabi tutulması, derin öğrenme modelinin giriş boyutlarına getirilmesi ve eğitilmiş model üzerinde kırılan resimlerin test edilmesi aşamalarından oluşmaktadır.

4.4. Okul Kartı Doğrulaması

Bu çalışmanın amacı derin öğrenme uygulamalarından olan siyam ağlarını kullanarak oluşturulan model vasıtasıyla okul girişlerindeki güvenliğin artırılmasıdır. Bilindiği gibi öğrenciler okul girişlerindeki turnikelerde okul kartlarını okutarak giriş yapmaktadır. Fakat giriş esnasında kullanılan kart gerçekten o kişiye ait olup olmadığı her zaman tespit edilememektedir. Kişinin, kendi kartını kullandığı, başka bir öğrencinin kartı ile giriş yapmaya çalıştığı veya okula kayıtlı olmayan bir kişinin okula kayıtlı başka bir öğrencinin kartını kullanıyor olması durumları güvenlik açısından önem arz etmektedir.

Bu çalışmada tüm bu senaryoların daha sağlıklı tespit edilebilmesi için siyam ağı yapısı ile yüz tanıma uygulaması yapılmıştır. İlk aşamada öğrencilerin kaydı esnasında herkesten bir resim alınarak modele öğretilir. Bu resim kayıt sırasında öğrencinin numarasıyla eşleştirilir. Öğrenci giriş turnikelerinde kartını okuttuğu esnada, turnikenin yanında bulunan kameradan o an kimlik okutan öğrencinin görüntüsü alınır. Kartın üstündeki numara ile kameranın çektiği resim eşleşiyor ise turnike açılır. Aksi halde girişe izin verilmez ve güvenlik birimleri uyarılır.

Tasarlanan bu donanımsal ve yazılımsal uygulamanın kullanılacağı turnike sistemi görüntüsü ve okul girişinde kimlik gösterimi ile oluşabilecek iki farklı durumun görüntüleri Şekil 9'da verilmiştir.

Resim veya video karesi



Görüntü üzerinden yüzlerin bulunması ve kırılması

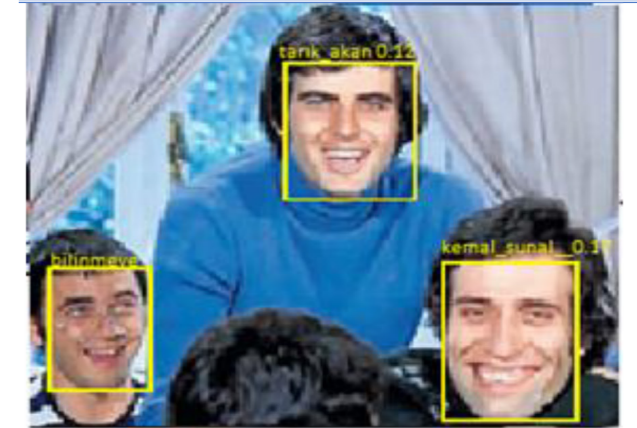


Kırılmış yüzleri ön işleme tabi tutulması

Derin öğrenme modelinin giriş boyutlarına getirilmesi

(160x160)

Eğitilmiş model üzerinde kırılan resimlerin test edilmesi.



Şekil 8: Yüz tanıma uygulaması.

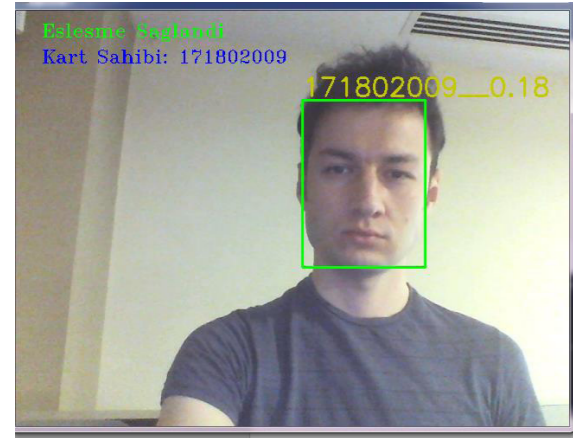
Turnikede okutulan kartın numarası 171802009'dur. Bu kartın gerçek sahibi kullandığında sisteme kayıtlı numarasıyla eşleştiği için giriş izni verilir. Fakat aynı kartı 171802008 numarayla kayıtlı başka bir öğrenci kullandığında veya hiç kayıtlı olmayan bir kişi kullandığında eşleşme sağlanmaz ve giriş izni verilmez.



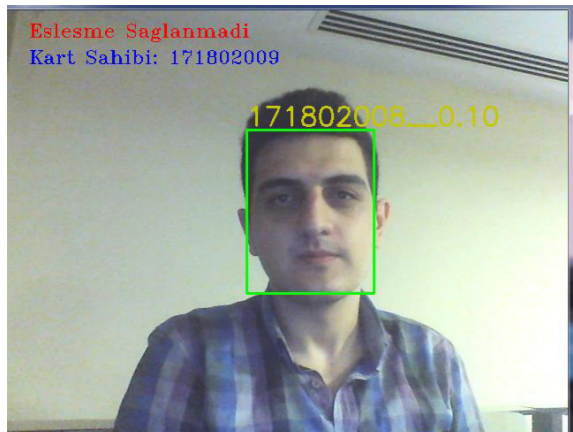
a) Okul girişlerinde bulunan turnikeler



b) Okutulan kart



c) Kartın gerçek sahibi kullandığında kullanılan kişinin kayıtlı numarası:(171802009)



d) Kart sahibi olmayan biri kullandığında kullanılan kişinin kayıtlı numarası:(171802008)

Şekil 9. Okul girişinde kullanılan kartın doğrulanması

5. Sonuçlar

Bu uygulamada derin öğrenmenin bir yöntemi olan siyam ağları ile çalışılmış ve bu yöntemin yüz tanıma sistemlerindeki performansı değerlendirilmiştir. Uygulama sonucunda yüz tanıma performansının yüksek oranda verimli olduğu görülmüştür. Siyam ağlarını diğer yöntemlerden ayıran en önemli özelliği ve en büyük avantajı kişiyi tanıtmak için binlerce resminin kullanılması gerekliliğini ortadan kaldırılmasıdır.

Bu uygulamanın avantajları değerlendirildiğinde; okul girişlerinde ve yoklama alma süreçlerinde kişi tespit etme gibi problemlerde verimli bir şekilde kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır. Tasarlanan bu sistemin içinde bulunduğumuz pandemi sürecinde hem sosyal mesafeye uygun olacak şekilde kimlik kontrollerinde kullanılması hemde maskeli bir öğrencinin kimlik doğrulamasının daha yüksek verimle gerçekleştirilmesi ilerleyen aşamalarda planlanan çalışmalarımızdır.

6. Kaynaklar

- [1] F. Gürbüz, "Derin Öğrenme Mimarileri (Deep Learning Architectures)" 18 05 2020. [Çevrimiçi]. Available: www.medium.com.
- [2] A. Krizhevsky, I. Sutskever ve G. E. Hinton, "ImageNet Classification with Deep Convolutional" 2011.
- [3] Y. M. Assael, B. Shillingford ve S. W. & N. d. F. Freitas, "Lipnet: End-To-End Sentence-Level Lipreading" 2016.
- [4] Z. Cao, T. Simon, S.-E. Wei ve Y. Sheikh, "Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields" 2017.
- [5] T. Hospedales, A. Antoniou, P. Micaelli ve A. Storkey, "Meta-Learning in Neural Networks: A Survey" 2020.
- [6] K. Martin, Nirmalie Wiratunga, S. Sani ve Stewart Massie, "Similarity Knowledge in the SelfBACK Dataset" School of Computing Science and Digital Media, Robert Gordon University, Aberdeen AB25 1HG, Scotland, UK, 2017.
- [7] A. V. Bhattacharya, M. Khanna, A. Tripathi ve S. Murugaveni, "Class Monitoring System Tools MTCNN and Haarcascade Classifier" International Journal of Engineering & Technology, 2018.
- [8] G. Koch, "Siamese Neural Networks for One-Shot Image Recognition" Thesis, Department of Computer Science University of Toronto, 2015.
- [9] J. Zhu, J.-J. Ulian ve P. A. Watters, "Multi-Loss Siamese Neural Network With Batch Normalization Layer for Malware Detection" IEEE ACCESS, 2020.
- [10] A. Agrawal, D. Chin ve K. Chen, "Cosine Siamese Models for Stance Detection" 2017.

Lityum Sülfür Bataryalar

Lithium Sulfur Batteries

Mustafa Yaz¹, Abdussefer BÖLÜKBAŞI²

¹ Bozok Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 66100 Yozgat, TÜRKİYE
mustafa.yaz@bozok.edu.tr

² Aile ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı, Konya Aile ve Sosyal Hizmetler İl Müdürlüğü, 42040 Konya, TÜRKİYE
bolukbasi.sefer@gmail.com

Özet

Günümüzde batarya teknolojileri önemli bir yer tutmaktadır. Kullanılan elektronik cihazların (bilgisayar, akıllı telefonlar, elektrikli araçlar vb.) birçoğu bataryalar sayesinde işlev görmektedirler. Bundan dolayı bataryaların en az maliyetle ve en yüksek verimli çalışabilmesi için çalışmalar devam etmektedir. Konuyla bağlantılı olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının arttığı günümüzde üretilen enerjinin depolanabilmesi de batarya teknolojilerini ön plana çıkarmaktadır. Böyle bir ortamda lityum-sülfür (Li-S) pil teknolojisi hafiflik, güvenlik, çevrim ömrü, tam deşarj, bakım gerektirmeme ve çevre dostu olmasından dolayı yakın gelecekte daha çok kullanıma sahip olabilecektir. Li-S piller yüksek kapasiteye sahip olmalarından dolayı da diğer alternatiflerine göre önemli bir avantaj olarak görülebilir.

Anahtar kelimeler: Lityum sülfür bataryalar, enerji depolama, lityum bileşikler.

Abstract: Today, battery technologies have an important place. Most of the computer electronic devices (computers, smartphones, electric vehicles, etc.) can function. For this reason, studies are continuing to work with the least cost and highest efficiency from the batteries. In today's world, where the use of renewable energy resources is increasing in connection with the subject, the ability to store energy of energy also brings battery technologies to the fore. In such an environment, lithium-sulfur (Li-S) battery technology will be able to have more programs shortly soon due to its lightness, safety, cycle, full discharge, maintenance-free and environmental friendliness. Li-S batteries can be seen as an important advantage over other alternatives since they have a high capacity.

Keywords: Lithium sulfur batteries, energy storage, lithium compounds.

1. Giriş

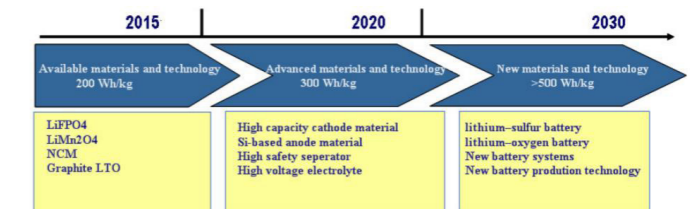
Ülkemizde ve dünyada enerji üretimi ve kullanımı son derece önemlidir. Sanayi ve endüstrinin yanısıra insanların günlük yaşamlarında da enerji ihtiyacı devamlı olarak artmaya devam etmektedir. Örneğin cep telefonlarında kullanılan batarya teknolojisi iletişim durumunu doğrudan etkileyen bir durumdur. Dolayısıyla batarya üretiminde kullanılan teknoloji sayesinde cihazın kullanım ömrü de doğru orantılı olarak artacaktır. Bu aşamada bataryaların üretiminde kullanılan malzemenin doğadaki varlığı büyük öneme sahiptir. Yani mevcut hammadde

miktarının sınırlı olması, hammaddenin elde edilme maliyetinin yüksek olması gibi nedenler batarya üretimini önemli ölçüde etkilemektedir.

Bu çalışmada Li-S pillerin yapısı ve depolanması hakkında literatürde bulunan çalışmalara göz atılmış olup, elde edilen verilerle Li-S pillerin avantajları ve dezavantajları konularına değinilmiştir.

2. Lityum-Sülfür Bataryalar

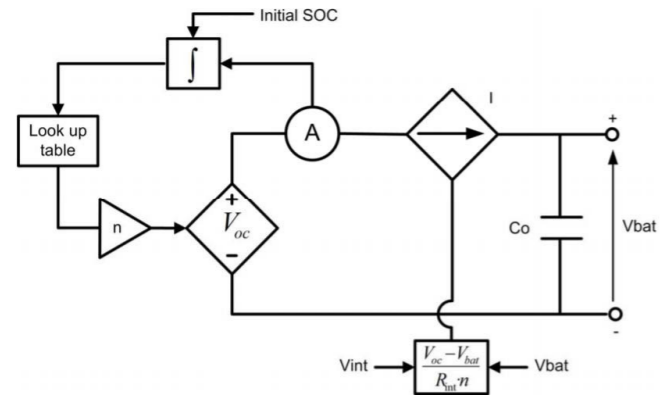
A.F. Burke ve C.B. Somuah 1980'de yaptıkları çalışmalarında elektrikli ve hibrit araçlarda hem AC hem de DC elektrikli tahrik sistemlerinin nikel-çinko ve Li-S pil türleriyle birlikte değerlendirmektedirler. Tüm aktarma organları bileşenlerinin boyut, ağırlık, maliyet ve çalışma özellikleri açısından karakterize edildiği çalışmada toplam araç ağırlığı ile çeşitli aktarma organı konfigürasyonları ve bileşenlerini kullanan araçların maliyetlerinin ayrıntılı karşılaştırılması yapılmıştır. Karşılaştırmalar belirli bir yolcu taşıma kapasitesi, elektrikli menzil ve güç-ağırlık oranı için yapılmıştır. Elektrikli ve hibrit araç tasarımlarının en umut verici olanları enerji kullanımlarını (elektrik ve yakıt) ve hızlanma kapasitelerini belirlemek için çeşitli sürüş durumlarında ayrıntılı olarak incelenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre kullanışlı ve pazarlanabilir hibrit araçların ISOA kurşun-asit pil kullanılarak tasarlanabileceği belirtilmiş ancak Ni-ZN ve Li-S gibi gelişmiş pillerin daha çekici hibrit tasarımlar ortaya koyabileceği belirtilmiştir. [1] W. Zhuang ve arkadaşları 2014 yılında akü teknolojisinin elektrik tahrikli araçlar geliştirmek için önemli olduğunu ifade ederler. Uzun vadeli bakış açısıyla Li-S ve lityum-oksijen pillerin daha yüksek enerji yoğunluğuna sahip yeni nesil pil olacağını açıklarlar. [2] Aşağıda bu konuda sunulan yol haritası verilmektedir.



Resim 1. 2013'ten 2030'a kadar pil teknolojisinin yol haritası [2]

Aynı çalışmada elektrik tahrikli araçların performans gereksinimlerinin karşılanması için lityum-iyon (Li-iyon) pillerin enerji yoğunluklarının 3 ve 5 kat daha fazla artırılması gerektiği ve bu durumun teorik sınırın ötesinde olduğu ifade edilir. Bundan dolayı gelecekte lityum- sülfür ve lityum-oksijen gibi

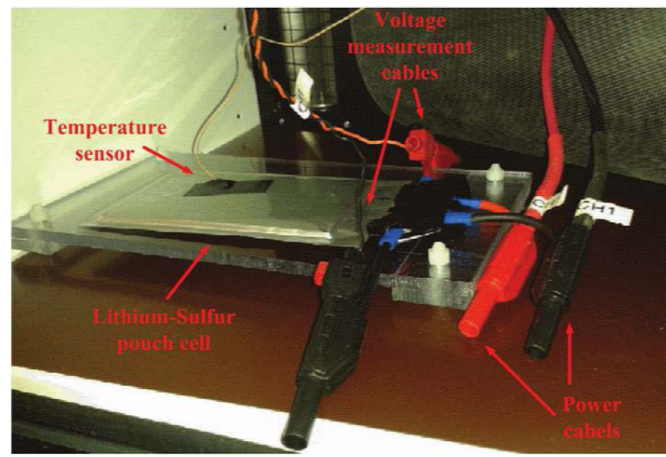
yeni nesil gelişmiş pillerin bu ihtiyacı karşılamak için gereken performansa yaklaşılabileceği açıklanır. [2] L. Mathe ve arkadaşları 2014 yılında yakıt tüketimini ve çöp kamyonlarının ürettiği akustik gürültüyü azaltmak amacıyla atık kompaktör ünitesinin elektrifikasyonu için diğer Li-iyon pillere göre maliyeti, ağırlığı ve hacmi azaltma potansiyeline sahip Li-S pil teknolojisini elektrik enerjisi depolanması için seçildiğini belirtirler. Yine lityum-sülfür pillerin yüksek özgül enerjileri, yüksek güvenilirlikleri ve düşük maliyetleri ile de elektrik enerjisi depolanması için kullanılmak üzere seçildiği ifade edilir. [3] Sonraki resimde çalışmada kullanılan Li-S pil modeli görülmektedir.



Resim 2. Li-S pil modeli [3]

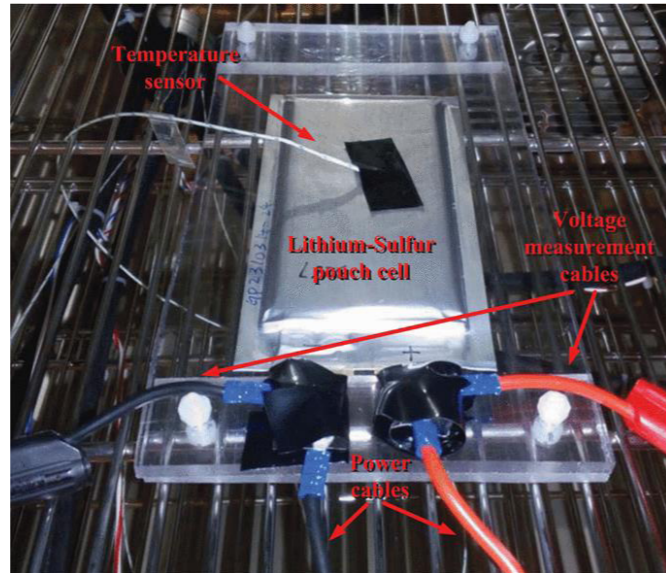
V. Knap ve arkadaşları 2015 yılında Li-S pillerin yüksek teorik özgül kapasitesi ve 2600 Wh/kg olan teorik enerji yoğunluğu ile ilgi çeken yeni bir enerji depolama teknolojisi olduğundan bahsederler. Ve dinamik davranışlarını analiz etmek ve çeşitli ticari uygulamalara uygunluğunu belirlemek için pil performans modellerine ihtiyaç olduğunu belirtirler. Çalışmalarında Li-S piller için elektrik devresi modellerinin farklı parametrisasyon yöntemlerinin karşılaştırılmasına odaklanmışlardır. [4] Bir pilin belirli bir elektrik devresi modelini geliştirmek onun parametrize edilmesi anlamına gelmektedir. Bunun için öncelikle uygun ölçümler yapılır. Parametrelendirme işlemi için yaygın olarak kullanılan ölçüm yöntemleri elektrokimyasal empedans spektroskopisi ya da mevcut darbe tabanlı yöntemlerdir. Bir sonraki adım elektrik devresi modeli topolojisi seçimidir ve sonraki adım ölçüm verilerinden parametrelerin tahmin edilmesi olarak belirtilir. [4] V. Knap ve arkadaşları bu işlemi farklı parametrisasyon yaklaşımlarıyla ele alan farklı yöntemler önermektedirler. Bu yöntemler EIS ölçümleri ve darbe ölçümlerine dayalı parametreleme yöntemleridir.

Çalışmada kullanılan EIS ile ilk olarak malzemelerin elektriksel özelliklerini karakterize etmek için bir yöntem olarak kullanıldığı belirtilir. Mevcut darbe ölçümlerinde ise DC akım darbelerine dayalı yöntemlerin iki türe ayrıldığı bunların ilkinin bir hibrit darbe gücü karakterizasyonu testi olduğu diğerinin ise galvanostatik aralıklı titrasyon tekniği olarak adlandırılan (GITT) olduğu ifade edilmiştir. [4]



Resim 3. Li-S pil hücresinin laboratuvar ölçümleri esnasında gösterimi [4]

V. Knap ve arkadaşları yine 2015 yılında yaptıkları başka bir çalışmada Li-S pillerin performans modellemesi için kullanılan elektrik devresi modellerini gösteren literatür taraması yaptıklarını ifade ederken Li-S pillerin yüksek bir teorik özgül kapasiteye ve teorik enerji yoğunluğuna sahip oldukları için büyük ilgi gördüklerini açıklarlar. Ayrıca bu durumun daha yüksek kapasiteli daha hafif piller ortaya çıkaracağını ve Li-iyon pillerle karşılaştırıldığında Li-S pillerin üretim maliyeti ve çevresel etkisinden dolayı olumlu bir etkinin oluşacağını bahsetmektedirler. [5] Her ne kadar teorik olarak avantajlı görünse de parametrelerinin teorik sınırlarından uzak olduğunu belirtirler. Belirli uygulamalara uygunluk seçimi için performanslarının çeşitli çalışma koşulları altında (örneğin sıcaklık, şarj durumu ya da akım) değerlendirilmesi gerektiğini ifade ederken uygun pil yönetim sisteminin geliştirilmesi gerektiğini açıklarlar. [5] Resim 4'te Li-S pil hücresinin laboratuvar ölçümleri esnasındaki çizimi görülmektedir.

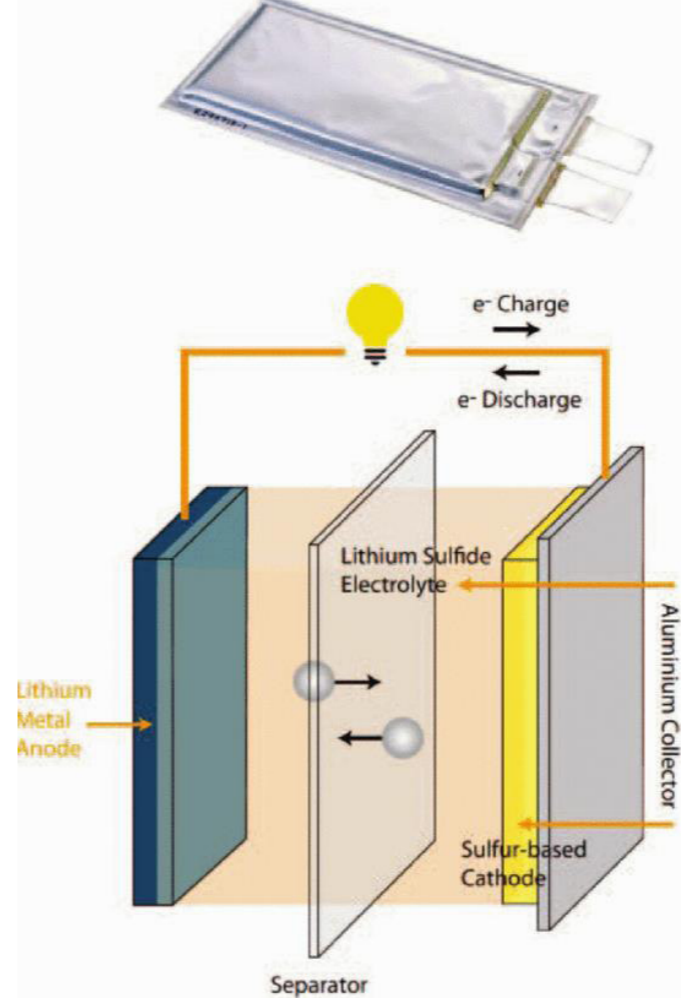


Resim 4. Laboratuvar ölçümleri esnasında Li-S pil hücresinin çizimi [5]

A. Fotouhi ve arkadaşları 2016 yılında yaptıkları çalışmalarında yaklaşık olarak 250 Wh/kg spesifik enerji ile o zamanda en iyi Li-iyon teknolojisini kullanan 200 km menzile sahip 212 kWh'lik bir pilin 848 kg hücre gerektirdiğini açıklamaktadırlar. Bu durumda elektrikli aracın yükünün ciddi anlamda sınırlanabileceğinden dolayı daha hafif enerji depolama tek-

nolojilerinin düşünülmesi gerektiği ifade edilir ve daha fazla kapasite, daha düşük maliyet ve daha fazla güvenlik için geliştirilen yeni pil teknolojileri arasında bulunan Li-S'nin 650 Wh/kg'ya kadar önerilen spesifik enerji ile gelecek vaat eden bir teknoloji olduğu vurgulanır.

[6] Bu değer piyasada aynı fiyata sahip olarak bulunabilen Li-iyon pillerin özgül enerjisinin 2 ila 3 katı olduğu belirtilir. Yine pilin daha hafif olması dolayısıyla menzilden ödün vermeksizin elektrikli araçların daha yüksek taşıma kapasitesine sahip olma potansiyelinden bahsedilir ve çalışmanın sonuçlarına bakıldığında Li-S teknolojisini bir elektrikli araç filosunun performansını iyileştirilmesi için pratik bir çözüm olarak düşünülebileceği açıklanır. [6]



Resim 5. Li-S hücresi ve bileşenlerinin şematiği [6]

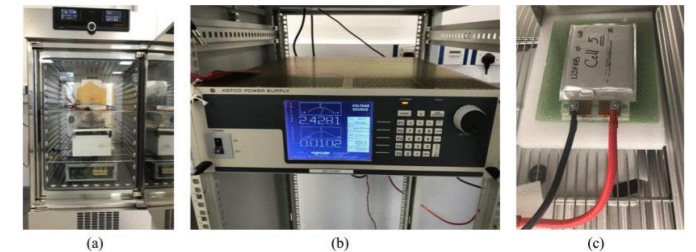
A. Fotouhi ve arkadaşları 2017 yılında yaptıkları bir diğer çalışmalarında Li-S pillerin Li-iyon pillerle karşılaştırıldığında potansiyel olarak daha fazla spesifik enerji yoğunluğu, daha geniş çalışma aralığı ve güvenlik avantajları sunarak özellikle otomotiv ve havacılık

uygulamalarında enerji depolama sistemleri için umut verici bir teknoloji haline gelmesinden bahsederler. Li-iyon pillerin aksine Li-S pilleri için bir eşdeğer devre şebekesi (Equivalent Circuit Network-ECN) modellemesinin bir disiplinin olmadığını belirtmektedirler ve çalışmalarında sistem tanımlama tekniklerini kullanarak ECN modellemesinin ele alındığını ifade ederler. [7] Li-S hücresinin performansı, hassas deneysel test ekipmanı kullanılarak farklı şarj/deşarj hızları ve sıcaklık seviyelerinde incelenmiştir. Çalışma sonucunda bir 2RC mode-

linin doğruluk ve hız açısından uygun olduğu sonucuna varıldığı açıklanır. Çalışmada incelenen Li-S hücrelerinin Li-iyon hücrelerine göre avantajları aşağıdaki gibi sunulmaktadır:

1. Yüksek enerji yoğunluğu: Li-S hücresinin gerçekleştirilebilir spesifik enerjisi 650 Wh/kg iken Li-iyon hücresi 250 Wh/kg'dir. Çalışmada test edilen Li-S hücresi 137 Wh/kg enerji yoğunluğuna sahiptir ve bu da nihai hedeften uzak olarak görülmektedir.
2. İyileştirilmiş güvenlik: Lityum üzerinde koruyucu tabaka, yüksek parlama noktalı elektrolit ve dentrit büyümesi olmaması Li-iyon hücrelere kıyasla Li-S hücrelerin güvenliğini artıran etmenler arasındadır.
3. Daha düşük çevresel etki: Katot malzemesi olarak kükürt, toksik değildir ve çevreye zararı yoktur.
4. Maliyet açısından rekabetçi: Li-iyon hücrelerine kıyasla Li-S hücrelerindeki farklı katot materyali olan sülfür bol ve ucuzdur.

N. Shateri ve arkadaşları 2020 yılında yaptıkları çalışmalarında Li-S piller için bir sınıflandırma tekniği ile birlikte çevrimiçi bir parametre tanımlama yöntemi kullanan yeni bir şarj durumu (State of Charge-SOC) tahmin tekniği önermektedirler. Deneysel aşamalarda yeni bir prototip Li-S hücresinin araştırıldığı çalışmada deneysel testlerin çeşitli koşullar altında yapıldığı belirtilmektedir. Gerçek dünyadaki bir uygulamayı temsil etmesi amaçlanan görev döngüsünün elektrikli bir şehir otobüsüne dayandığı, karakterizasyon sonuçlarının daha sonra bir eşdeğer devre şebekesi (ECN) modelini parametrelendirme için kullanıldığı açıklanır. [8]



Resim 6. Hücre test ekipmanı: (a) Termal oda, (b) Güç kaynağı-alıcı, (c) Li-S hücresi [8]

Çalışma sonuçlarına göre Li-S hücreli SOC değerlerinin orta aralıkta (%30-%70 SOC) daha gözlemlenebilir olduğunu, yani literatürde daha önce yayınlanan sonuçlara uygun olduğu belirtilmiştir. Yine sonuçlara göre önerilen hibrit yöntemin Li-S hücresinin şarj durumunun en fazla %2,63 hata ve ortalama hatanın %1'den daha az olan herhangi bir başlangıç koşulundan tahmin edildiği ifade edilmektedir. [8]

3. Sonuç ve Tartışma

Son zamanlarda yapılan çalışmalarla özellikle elektrikli araçlar konusundaki araştırmalar enerjinin depolanması konusunda dikkate değer ilerleme kaydetmiştir. Diğer yandan enerji ihtiyacının her geçen gün artması enerji kaynaklarına olan talebi artırmakta bu da alternatif enerji kaynaklarının ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Fosil yakıtların tükenebilir olması ve çevreye verdikleri zararlardan dolayı rüzgar, güneş gibi yenilenebilir enerji kaynakları oldukça rağbet görmeye başlamış-

tır. Ancak bu kaynakların elde edilebilmesi rüzgar ve güneşin durumuna göre değişkenlik göstermesi, elde edilen enerjinin özellikle zamanının belirlenmesinde yaşanabilecek uyumsuzluklar enerjinin depolanmasını daha da önemli kılmaktadır.

Bu çalışmada literatürde Li-S piller ile ilgili olarak yer alan çalışmalar incelenmiştir. Çalışma neticesinde Li-S pillerin özellikle Li-iyon pillere göre teorik enerji yoğunluğunun çok yüksek olması, düşük sıcaklık performansı, kükürtün doğada fazla olmasından dolayı ucuz olması, toksik olmayan hammaddeler yapılması gibi önemli noktalar tespit edilmiştir.

Literatürde yapılan çalışmalar neticesinde Li-S pillerin yeni nesil elektrikli araçlar için düşünülen teknolojiler arasında olduğu ifade edilebilir. Li-S piller avantajları ve dezavantajları gözönüne alındığında yakın gelecekte önemli bir pil teknolojisi olabileceği ifade edilebilir.

Referanslar

- [1] A. F. Burke and C. B. Somuah, "Power train trade-offs for electric and hybrid vehicles," 30th IEEE Vehicular Technology Conference, 1980, pp. 211-220, doi: 10.1109/VTC.1980.1622814.
- [2] W. Zhuang, S. Lu and H. Lu, "Progress in materials for lithium-ion power batteries," 2014 International Conference on Intelligent Green Building and Smart Grid (IGBSG), 2014, pp. 1- 2, doi: 10.1109/IGBSG.2014.6835262.
- [3] L. Mathe, E. Schaltz, R. Teodorescu and M. Rejas Haddioui, "Multi-Functional Converter with Integrated Motor Control, Battery Charging and Active Module Balancing for Electric Vehicular Application," 2014 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), 2014, pp. 1-5, doi: 10.1109/VPPC.2014.7007106.
- [4] V. Knap, D. Stroe, R. Teodorescu, M. Swierczynski and T. Stanciu, "Comparison of parametrization techniques for an electrical circuit model of Lithium-Sulfur batteries," 2015 IEEE 13th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), 2015, pp. 1278-1283, doi: 10.1109/INDIN.2015.7281919.
- [5] V. Knap, D. Stroe, R. Teodorescu, M. Swierczynski and T. Stanciu, "Electrical circuit models for performance modeling of Lithium-Sulfur batteries," 2015 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2015, pp. 1375-1381, doi: 10.1109/ECCE.2015.7309853.
- [6] A. Fotouhi, D. J. Auger, T. Cleaver, N. Shateri, K. Propp and S. Longo, "Influence of battery capacity on performance of an electric vehicle fleet," 2016 IEEE International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), 2016, pp. 928-933, doi: 10.1109/ICRERA.2016.7884471.
- [7] A. Fotouhi et al., "Lithium-Sulfur Cell Equivalent Circuit Network Model Parameterization and Sensitivity Analysis," in IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 66, no. 9, pp. 7711-7721, Sept. 2017, doi: 10.1109/TVT.2017.2678278.
- [8] N. Shateri, Z. Shi, D. J. Auger and A. Fotouhi, "Lithium-Sulfur Cell State of Charge Estimation Using a Classi-

fication Technique," in IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 70, no. 1, pp. 212-224, Jan. 2021, doi: 10.1109/TVT.2020.3045213.

Şebekeden Bağımsız Küçük Ölçekli Köylerin Enerji İhtiyacını Karşılama Yönelik Optimize Edilmiş Hibrit Yenilenebilir Enerji Kaynağı Sistemi Tasarımı

Mesut Tokmak¹ Cemil ALTIN²

¹Kontek Kontrol Teknolojileri A.Ş. Kayseri, Türkiye
mesut.tokmak38@gmail.com

²Yozgat Bozok Üniversitesi Yozgat, Türkiye
cemil.altin@bozok.edu.tr

Özet

Bu çalışmada Yozgat bölgesinde ki 50 haneli bir köyün şebekeden bağımsız olarak 25 yıllık elektrik ihtiyacını gidermek amacıyla farklı tasarımlarda simülasyon yapılarak hibrit enerji sistemlerinin ekonomik, teknik ve çevresel analizleri yapılmıştır. Ortalama olarak 50 hanenin elektrik tüketimi evlerde sık kullanılan cihazların kullanım süreleri ve etiket değerlerinden faydalanılarak hesaplanmıştır. Bu elektrik ihtiyacının karşılanması amacıyla kurulması tasarlanan hibrit enerji sistemlerinin tasarımında ve optimizasyonunda HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewable) programından yararlanılmıştır. Yapılan bu çalışmalar neticesinde elde edilen sonuçlara göre hibrit enerji kaynakları sayesinde 25 yılda hane başına 1000\$ kar edileceği ve çevreye önemli derecede katkıda bulunulacağı öngörülmüştür. Bu çalışma yenilenebilir enerji kaynakları alanında ülkemizin büyük bir potansiyelinin olduğunu ve bu potansiyelin hibrit enerji sistemleri ile daha verimli bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: HOMER, Hibrid, Yenilenebilir Enerji

Abstract

In this study, economic, technical and environmental analyzes of hybrid energy systems were made by simulating different designs in order to meet the electricity need of a village with 50 houses in the Yozgat region for 25 years. On average, the electricity consumption of 50 households is calculated. The HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewable) program was used in the design and optimization of the hybrid energy systems designed to meet this electricity need. As a result of these studies, it is predicted that thanks to hybrid energy sources, 1000 \$ profit per household will be made in 25 years and a significant contribution to the environment will be made. This study has shown that our country has a great potential in the field of renewable energy resources and this potential can be used more efficiently with hybrid energy systems.

Keywords: HOMER, Hybrid, Renewable Energy

1. Giriş

Enerji, bütün canlıların hayatta kalması ve yaşamlarının devamlılığını sağlamak için gerekli temel unsurlardan biridir. Son yıllarda hızla artan tüketim ihtiyacına bağlı olarak küresel enerji ihtiyacı da artmaktadır. Ancak dünyanın enerji kaynakları sonsuz değildir. Bu yüzden enerji ihtiyacı olan herkes daha fazla ve güvenilir enerji üretmek için yeni teknolojiler geliştirmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları haricinde tüm enerji kaynakları sınırlı olduğu için yenilenebilir enerji kaynaklarını geliştirmek ve bu kaynaklar ile enerji ihtiyacını karşılamak zorunlu hale gelmiştir. Sonuç olarak, yeni teknolojik gelişmeler ile beraber yenilenebilir enerji kaynaklarına ilgi her geçen gün artmaktadır.

Rüzgar ve güneş enerjisi en popüler yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Rüzgar enerjisinin üreteceği elektriğin daha verimli olması için çalışmalar her geçen gün devam etmektedir. Rüzgar enerjisi 24 saat üretim kapasitesi nedeniyle dünyadaki enerji kaynakları arasında en önemli enerji kaynaklarından biridir. Güneş enerjisi ise gündüz saatleri ile sınırlı olsa da bitmeyen ve doğal yollardan elde edilen bir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi üretimi için gerekli olan en önemli malzeme güneş panelidir. Güneş panellerinde de teknolojinin gelişmesine paralellik göstererek üretim ve maliyet konusunda olumlu gelişmeler yaşanmaktadır. Bu iki enerji kaynağının birbirini tamamlayıcı özelliğinden dolayı birlikte çalıştırılmasıyla hibrit enerji sistemleri ortaya çıkmıştır.

2. Literatür Araştırması

Yenilenebilir enerji kaynakları bitmeyen başka bir ifadeyle kendini sürekli olarak yenileyen enerji kaynakları olarak tanımlanır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında bu çalışmada da kullanıldığı üzere güneş- rüzgar en çok kullanılan enerji kaynaklarıdır. Bu kaynaklar dışında jeotermal, hidroelektrik, biyogaz, hidrojen ve dalga enerji kaynakları da yenilenebilir enerji kaynaklarındandır.

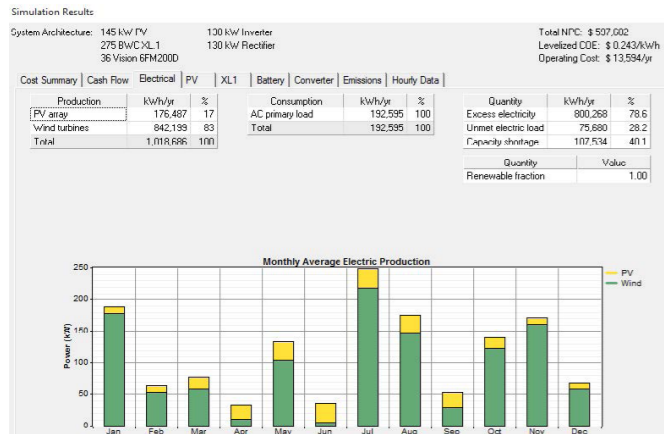
Yenilenebilir enerji kaynaklarının maliyetlerinin giderek azalması, verimliliklerinin artması enerji üretiminin artmasına ve sera gazları yayılımının azalmasında önemli bir faktördür[7].

Güneş enerji kaynağı konusunda Düzce ili bir konutun enerji ihtiyacının karşılanması konusunda Biberoglu ve Pala tarafından yapılan çalışmada bir konutun elektrik tüketim maliyeti ve şebekeye bağlı bir güneş enerji sistemi kurulduktan sonra enerji tüketim maliyeti karşılaştırılması ele alınmıştır[6]

Karadağ, yaptığı çalışmada enerji ve çevre ilişkisine kapsamlı

sonuçlarını; Kurulum maliyeti, yıllık işletme maliyeti, toplam bugün ki maliyet, kWh başına enerji maliyeti ve kullanılacak yakıt miktarı ile jeneratörün çalışma saati olarak sunmaktadır.

Ayrıca HOMER programında kapasite eksikliği (Capacity shortage) parametresi ile daha gerçekçi ve ekonomik sistemler tasarlamaya olanak sağlanmaktadır. Tasarımda bir miktar kapasite eksikliği tanımlamak, bazı durumlarda sonuçları önemli ölçüde değiştirebilmektedir. Çok kısa bir süre için çok yüksek bir tepe(pik) tüketim olması durumunda kapasite eksikliği tanımlanmaz ise oldukça büyük boyutlarda ekipmanlar kullanılır. Maksimum yıllık kapasite eksikliği sınıra ayarlanırsa, HOMER sistemi bu çok yüksek tepe yükünü bile karşılayacak şekilde boyutlandırır. Bu, sistemin çoğu zaman tam olarak kullanılmayan büyük, pahalı ekipman içermesi gerektiği anlamına gelir. Uygun miktarda kapasite eksikliğine izin verilirse, HOMER bu tepe yük dışında tümünü karşılayabilecek daha küçük, daha ucuz ekipmanlar kurmayı seçmektedir. Kapasite eksikliği parametresi yüzde olarak tanımlanır. Talep gücün kurulu güce eşit olması az rastlanır bir durum olduğundan dolayı uygun kapasite eksikliği sistem maliyetlerini düşürecektir. Kullanıcı sayısı arttıkça kapasite eksikliği parametresi de artırılmalıdır. Çünkü eşzamanlılık katsayısı kullanıcı sayısının veya daire sayısı artışına bağlı olarak azalacaktır. Bu anlamda kapasite eksikliği parametresi eşzamanlılık katsayısının tersi olarak düşünülebilir. Yani biri arttıkça diğeri azalır ya da tersi de geçerlidir. Güç ihtiyacı belirlenirken 50 hanenin hepsinde aynı anda aynı saatte aynı gücün çekildiği varsayılır. Ancak gerçekte bu böyle değildir. Bazı evlerde söz konusu güç gerçekten çekiliyorken bazılarında o anda hiç güç çekilmiyor olabilmektedir. Dolayısıyla yukarıda bahsedildiği üzere eşzamanlılık katsayısı veya kapasite eksikliği parametresi bu durumun üstesinden gelmektedir. Bu çalışmada %40 oranında kapasite eksikliği seçilmiştir. Söz konusu değer EMO'nun 50 dairesel bir bina için önerdiği %26 değerinden daha iyidir.



Şekil 6: Optimum sistem parametreleri

Şekil 6 da optimum sistemin detaylı sonuçları görülmektedir. Bu sonuçlara göre köyün enerji ihtiyacının %17'si fotovoltaik panelden sağlanırken % 83'ü rüzgar türbini tarafından sağlanmaktadır. Tasarımı yapılan sisteme göre birim enerji maliyeti 0,243\$ olarak bulunmuştur. En optimum sistem olarak 145 kW gücünde güneş enerji paneli, 275 kW gücünde rüzgar türbini, 36 adet 917 kwh gücünde batarya ve 130 kW dönüştürücü önerilmektedir.

Şekil 5 te ki toplu sonuçlar değerlendirilirse, Jeneratör öneri-

len sistemlerde akü sayısı ve masrafı az olmasına karşılık dizel yakıt kullanımı olmaktadır. Ayrıca jeneratör kullanımı yenilenebilir enerji faktörünü %100 den daha aşağılara çekmektedir ve çevresel anlamda emisyon nedeniyle olumsuzluk getirmektedir. Rüzgar türbinlerinin, dizel jeneratörler gibi fosil yakıt bazı jeneratörlere kıyasla kW başına çok daha yüksek sermaye maliyetine sahip olduğu görülmektedir ve yatırım maliyetini artırdığı görülmektedir. Bununla birlikte, bir rüzgar türbininin sermaye maliyeti ancak belirli bir süre çalıştırdıktan sonra geri kazanılabilmektedir (geri ödeme süresi) (saha ortalama rüzgar hızına bağlı olarak) ve elektrik maliyetinin uzun yıllar kullanılırsa düşmesi beklenir. Bu nedenle, boyutlandırma çalışmasında daha az yıl dikkate alınacaksa, rüzgar türbininin kalan "kullanılmayan" ömrü, enerji maliyetinin daha yüksek olmasına neden olacaktır. Aynı durum diğer ekipmanlar içinde geçerlidir. Bu sebeptendir ki proje 25 yıl için tasarlanmıştır.

4. Sonuçlar

Yapılan çalışmada İç Anadolu Bölgesi'nde elektrik hattının ulaşamadığı veya elektrik yatırımlarının zaman alacağı köyler için 25 yıl boyunca köyün enerjisini karşılayacak şebekeden bağımsız hibrit enerji kaynağı tasarlanıp optimize edilmiştir. 25 yıl için tasarım yapılmasının nedeni kullanılan ekipmanların ortalama verimli ömürlerinin 25 yıl civarında olmasından dolayıdır. Meteorolojik veriler ORAN fizibilite raporundan ve NASA veri tabanından alınarak simülasyon ortamı tasarlanmıştır. Optimizasyon sonuçlarına göre; en optimum sistemin kurulum maliyeti 423900\$, ve tüm köyün 25 yıllık elektrik maliyetinin bugün ki fiyatlar üzerinden maliyeti 597682\$ olduğu görülmektedir. Enerji maliyeti ise 0,243\$/kWh olarak hesaplanmaktadır. 50 hanelik bir köy olarak düşünülen bu çalışmaya göre her hanenin yaklaşık olarak 11953\$ yatırım yapmasıyla 25 yıllık elektrik ihtiyacını karşılayacağı öngörülmektedir. 2021 yılı mayıs ayında ülkemizdeki elektrik birim maliyeti 0,095\$/kWh tır. Her yıl enflasyon oranına ve dolar kuruna bağlı olarak artış göstereceği de hesaba katılırsa kurulacak sistemin 25 yıl boyunca sabit ve ortalama 0,243\$/kWh maliyetle, elektrik yatırımı yapılmayan veya yapılması uzun zaman alacak bölgeler için enerji sağlaması bu bölgeler için oldukça iyi bir değerdir. Çünkü; yılda bir hane yaklaşık ortalama

5400 kWh elektrik enerjisi tüketmektedir, 25 yıl boyunca elektriğe yapılacak zam ve enflasyon dikkate alınmasa bile $5400 \times 25 \times 0,095 = 12825\$$ enerji maliyeti olmaktadır. Tasarlanan hibrit sistemle hane başı 25 yılda $12825 - 11953 = 872\$$ daha az ücret ödenecektir. 25 yıl sonunda hurda veya geri dönüşümden elde edilecek gelir de düşünüldüğünde 25 yılda hane başı 1000 doların üzerinde bir kar söz konusu olacaktır. Bu kar ülke geneline yayıldığında hatırı sayılır değerlere ulaşmaktadır. En önemlisi ise ekolojik anlamda daha çevreci bu sistem sayesinde gelecek nesillerin yaşam standartları garanti altına alınmış ve küresel ısınma ile zararlı emisyonların etkileri azaltılmış olacaktır. Teknolojinin gelişmesine bağlı olarak yenilenebilir enerji kaynakları maliyeti düşerken daha az maliyetli bir duruma gelmektedir. 2021 yılında bile avantajlı olan hibrit sistemlerin önümüzdeki yıllarda daha da avantajlı olacağı açıktır.

5. Kaynakça

- [1] Türkdoğan, S., Dilber, S., & Çam, B. (2018). Hibrit Enerji Sistemlerinin Şebekeden Bağımsız Bir Çiftlik Evinde Uygulanabilirliğinin Ekonomik Ve Teknik Açısından İncelenmesi. Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 3(2), 52-65.
- [2] Erkoç, R. (2019). Güneş Enerji Santrallerinin Model-lenmesi, Ekonomik Analizi Ve Değerlendirme: Almanya Ve Türkiye Uygulamaları (Master's Thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [3] Curry, C. (2017). Lithium-Ion Battery Costs And Market. Bloomberg New Energy Finance, 5.
- [4] Orta Anadolu Kalkınma Ajansı, TR72 Bölgesi 2014-2023 Bölge Planı
- [5] Nasa, Surface Meteorology And Solar Energy, https://Eosweb.Larc.Nasa.Gov/CgiBin/Sse/Grid.Cgi?&Num=210131&Lat=40&Submit=Gnder&Hgt=100&Ve g=17&Sitelev=600&Email=Skip@Larc.Nasa.Gov&P= Grid_Id&Step=2&Lon=29, (26.12.2019).
- [6] Türkdoğan S., Mercan M. T., Çatal T. Şebekeden Bağımsız Hibrit Enerji Sistemleri Kullanılarak 40 Hanelik Bir Topluluğun Elektrik ve Termal Yük İhtiyacının Karşlanması: Teknik ve Ekonomik Analizleri, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Sayı 18, S. 476-485, Mart-Nisan 2020
- [7] Siemens. (2014). Enerji Verimliliği ve Çevreye Du-yarlılık. İklim Korumada Yenilikçilik.
- [8] H. Biberoglu and T. Pala, "Bir konutun elektrik ihtiyacının şebeke bağlantılı pv sistemle tasarımı, ekonomik analizi ve çevresel etkilerinin belirlenmesine yönelik bir yaklaşım : Düzce ilinde bir konut uygulaması," Düzce Üniversitesi İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, c. 5, s. 2, ss. 190-200, 2016
- [9] Elma, O. (2011). Yenilenebilir enerji kaynaklarından beslenen şebekeden bağımsız bir ev için talep ve kaynak dinamikleri dikkate alınarak sistem analizi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [10] Çetin E. (2010). Fotovoltaik-Rüzgar-Yakıt Pili Hibrit Güç Sistemi İçin Bir Mikro Doğru Akım Dağıtım Şebekesi Tasarlanması, Uygulanması ve Analizi. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir

Yüksek Hızlı Tren Haberleşme Hatlarında Fiber Üzerinden Radyo Teknolojisi Uygulamaları

Applications of Radio over Fiber Technology in High-Speed Train Communication Lines

Ahmet Caner Gül, N. Özlem Ünverdi

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü Yıldız Teknik Üniversitesi
ahcanergul@gmail.com, unverdi@yildiz.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, yüksek hızlı tren iletişim hatları için fiber üzerinden radyo teknolojisi uygulaması geliştirilmiş ve analiz edilmiştir. Bu sistemlerin anahtarlama yapılarının prensipleri araştırılmıştır. Yüksek hızlı tren hatları için tasarlanan fiber üzerinden radyo teknolojisi uygulamasının performansı, OptiSystem 7.0 simülasyon yazılımı ile değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İletişim teknolojileri, optik haberleşme, fiber üzerinden radyo teknolojisi, DAS, RAU, TAU

Abstract

In this study, an application of radio over fiber technology for high-speed train communication lines is developed and analyzed. Principles of switching structures of these systems are evaluated. Performance of the designed application of radio over fiber technology for high-speed train lines is evaluated by means of OptiSystem 7.0 simulation software.

Keywords: Communication technologies, optical communications, radio over fiber technology, DAS, RAU, TAU

1. Giriş

Fiber optik haberleşme teknolojisinin kullanımı her geçen gün yaygınlaşmaktadır. Fiber üzerinden radyo (Radio over Fiber, RoF) iletişim teknolojisi, optik haberleşmenin uygulama alanları arasında yer alır. Küçülen hücre boyutları, kullanılan anten sayısının artmasına neden olur. Bu durumda, daha fazla RAU (Remote Antenna Unit, Uzak Anten Birimi) kurulması gerekir. RoF sistemleri, iletişim teknolojilerinde anahtar görevini üstlenir.

Kablosuz mobil kullanıcıda gerekli olan yüksek hızın kullanılması ve kablosuz erişim ağlarındaki kapsama alanının genişletilmesi için dağıtılmış anten sistemleri (Distributed Antenna Systems, DAS) geliştirilmiştir. Bu sistemler, iletişim teknolojilerinin optimizasyonunda önemli bir yere sahiptir. RoF-DAS yapısının kullanıldığı yüksek hızlı trenler, konuyla ilgili örnekler arasında bulunur [1].

Bu çalışmada, yüksek hızlı tren haberleşme hatlarında kullanılan RoF teknolojisi analiz edilmiştir. Çalışmanın 2. Bölümü'nde, RoF teknolojisinin temel özellikleri açıklanmıştır.

3. Bölüm'de, tasarlanan sistem üzerinde çalışılmış ve 4. Bölüm'de, elde edilen sonuçlar, yorumlanarak değerlendirilmiştir.

2. Fiber Üzerinden Radyo Haberleşmesi

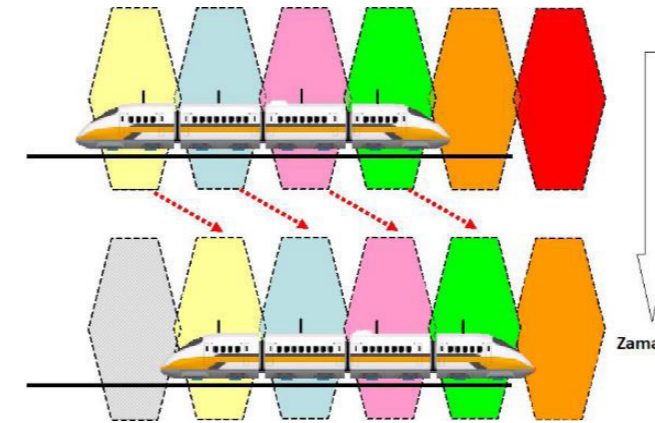
Yüksek hızlı tren hatlarında, fiber üzerinden radyo sinyali iletiminde DAS yapısından yararlanır. RoF sistemi ile RAU üzerindeki RF (Radio Frequency, Radyo Frekansı) sinyali, merkez kontrol istasyonuna iletilir. Merkez istasyonda bulunan ekipmanlar, RAU'lar tarafından paylaşılır ve her bir RAU, pasif bir aygıt haline getirilir. Yapılan basitleştirme, yüksek frekanslarda çalışan sistemler için çok önemlidir. Bu tür iletişim sistemi modellerinde, tren hatlarının bulunduğu dağlık ve engebeli araziler veya tünel gibi kapalı ortamlardan kaynaklanan sorunların yanında antenlerin yerleşiminden ve kullanıcı hareketinden kaynaklanan problemler söz konusudur. Yüksek hızlı tren sistemindeki hücreler arasındaki geçişler sırasında görülen Doppler etkisi ve el değiştirme (handover) durumunun yanında zayıflama ve yansıma etkileri ile karşılaşılır. Adı geçen etkenlerin gözlenmesi ve RoF-DAS yapısının değerlendirilmesi için RoF sistemi ve WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access, Mikrodalga Erişimi için Dünya Çapında Birlikte Çalışabilirlik) sistemi, yüksek hızlı tren hatlarında kullanılmıştır [2].

RoF-DAS'ın kullanıldığı yüksek hızlı tren iletişim hattında, tren yolu boyunca birçok küçük hücre ve RAU kurularak tren üzerinde bulunan anten ve yer anteni arasındaki mesafe kısaltılarak kablosuz iletişim kapasitesi artırılabilir. RAU'lar, merkez istasyona dalgaboyu çoğullamalı bir RoF ağı ile birleştirilerek ağı basitleştirilmesi sağlanır, ancak yine de güç kullanımı, sinyal gecikmesi ve ağı kablosuz olan kısmında mikrodalga frekanslarının kullanımının kısıtlandığı band genişliği, iletişimde sorun oluşturur. Band genişliğinin kısıtlanmasının çözümünde, kablosuz haberleşme teknolojileri arasında bulunan serbest uzay optik haberleşme (Free Space Optical Communications, FSOC) sistemlerinin kullanımı önerilir [3].

Değerlendirilen ağ yapısında, RAU'ya gelen sinyal, tren erişim birimi (Train Access Unit, TAU) olan kullanıcı istasyonuna iletilir ve kullanıcıdan gelen sinyal de merkez istasyondan alınır. RAU'lar ile merkez istasyon arasındaki iletişim, tek modlu optik fiber üzerinden sağlanır. Merkez istasyondan RAU'ya iletilen kullanıcı sinyalleri, E/O (Elektrik/Optik) dönüştürücü ile söz konusu olan RAU'ya atanmış dalgaboyundaki optik sinyal formuna getirilerek kullanıcı istasyonuna aktarılır. Bu istasyondan RAU'ya gönderilen sinyaller, başka bir sinyal işleme operasyonu yapılmadan E/O dönüştürücü ile optik sinyal yapısına eriştikten sonra merkez istasyona iletilir. RAU'dan kullanıcı istasyonuna gelen sinyaller, burada RF sinyali veya temel band sinyaline dönüştürülerek Wi-Fi (Wireless Fidelity, Kablosuz Bağlantı Alanı) protokolü ile son kullanıcılara ulaşır.

2.1. Ağ Kontrolü

Küçük hücrelerin kullanıldığı ve yüksek hızda yer değiştirmenin söz konusu olduğu bir sistemde, kullanıcının, bir hücre sınırından çıkarak başka bir hücre sınırı içine girdiği durumda gerçekleşen handover işlemi, büyük bir sorun teşkil eder. Bu geçiş durumunda bulunan kullanıcı, sinyal iletimini, yeni geçtiği bölgedeki RAU ile sağlar. Aynı tren üzerindeki kullanıcı bağlantı noktaları, tren üzerinde aynı hızlarda ilerledikleri için tren sistemlerindeki handover işlemi için ilerleyen hücre yapısı, etkili bir çözüm olarak görülür. Aynı zamanda diğer kullanıcılarda da handover olayları ile karşılaşıldığı için bu yapı ile tren sisteminin oluşturacağı sık geçişler ile oluşan işlem yükü azaltılmış olur. İlerleyen hücre yapısında, her bir RAU'ya sabit bir frekansın atanması yerine optik bağlantıdan yararlanılarak her bir RAU'ya sabit bir optik dalgaboyu atanır ve trenin hareketiyle eş zamanlı değişen dinamik bir frekans atanması gerçekleşir. Bu şekilde, tren üzerinde bulunan her bir kullanıcı erişim noktası veya TAU, tren yolu üzerindeki hareketleri sırasındaki bağlantıları boyunca kendilerine ayrılan sabit frekans bandı üzerinden iletişimlerini sağlamış olur. İlerleyen hücre yapısı, Şekil 1'de görülmektedir [1].



Şekil 1: İlerleyen hücre yapısında hücrelerin zamana bağlı değişimi.

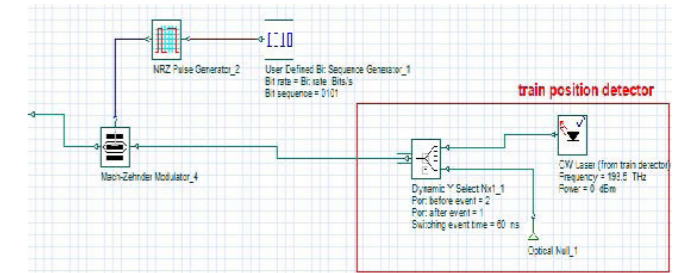
2.2. Anahtarlama Sistemi

İlerleyen hücre yapısındaki anahtarlama işlemi, iki farklı şekilde yapılabilir. Bu yöntemlerden birincisinde, RF sinyalinin optik bantdaki modülasyonundan önce modülasyonda kullanılacak olan optik dalgaboyunun, RAU'ya atanmış dalgaboyuna anahtarlanaarak geçişi sağlanır. Diğer yöntemde ise sinyal, hat boyunca kullanılan her bir dalgaboyu ile modüle edildikten sonra tren konumlandırma sistemi tarafından uygun dalgaboyunda modüle edilmiş olan radyo-optik sinyal seçilir. Burada, uygun RAU için anahtarlama işlemlerinin yapılması aşamasında gereken konum bilgisi, tren konumlandırma sistemi tarafından tespit edilir. RAU düzenlemeleri, konumlandırma sistemi ile tren geçiş noktasına gelmeden yapılarak iletişimde gecikme yaşanmaması sağlanır [3].

Optik haberleşme sistemlerinde kullanılan anahtarlama tekniklerinde, elektro-optik, akusto-optik, magneto-optik ve mikro-elektromekanik sistemlerden (MEMS, micro-electromechanical systems) yararlanır. MEMS, üstün karşılıklı etkileşim performansı, düşük ekleme kaybı ve iyi anahtarlama zamanı ile sinyalin anahtarlama kilit konumunda yer alır [4, 5].

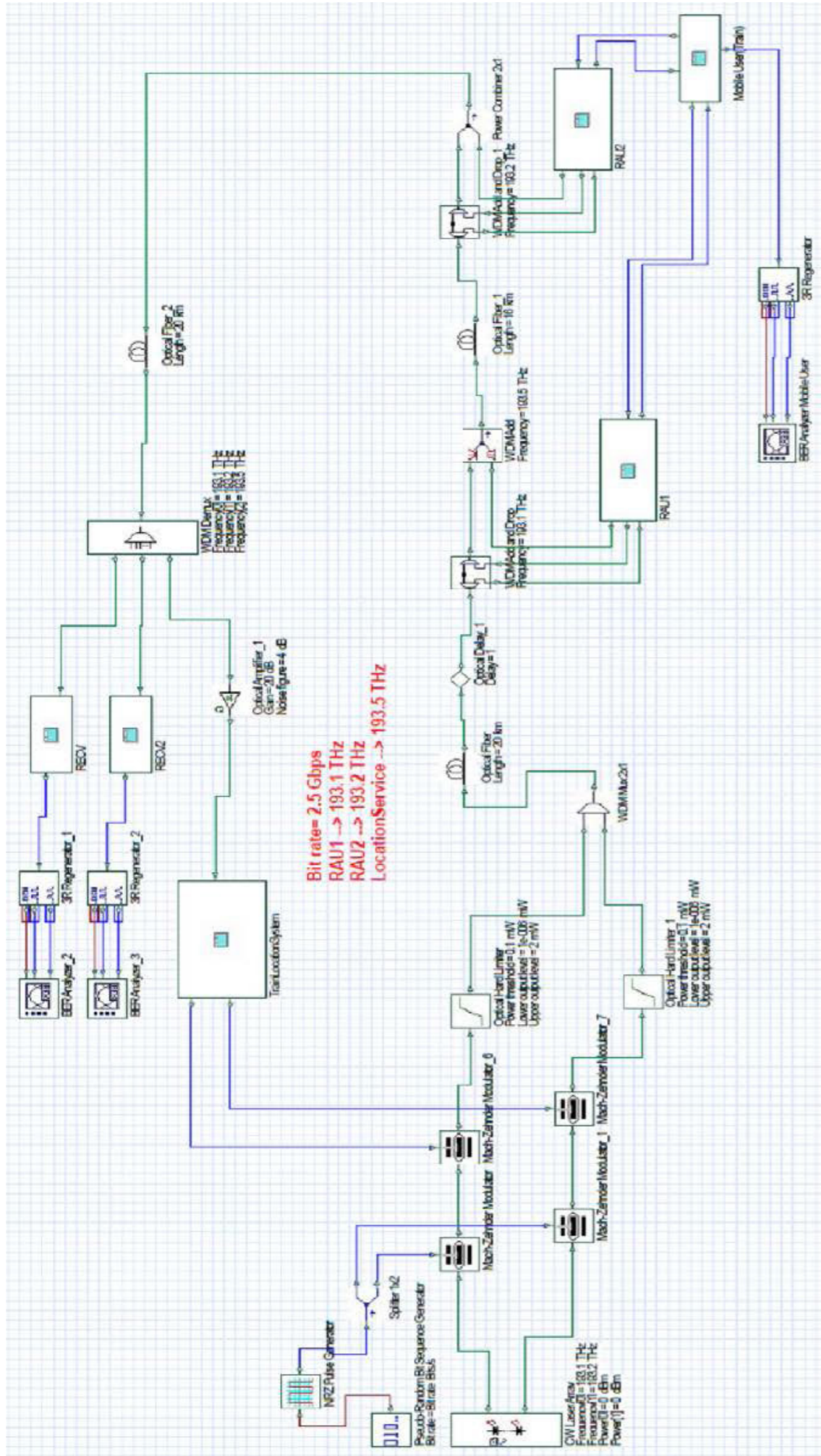
3. Fiber Üzerinden Radyo Haberleşme Sisteminin Tasarımı

Bu bölümde, 193.1 THz ve 193.2 THz dalgaboylarında çalışan iki ayrı RAU'yu içeren düzenek, OptiSystem 7.0 simülasyon programı ile tasarlanmıştır. Kullanıcı tanımlı bit dizisi elemanı ile sağlanan kodlayıcı (encoder) tasarımının bulunduğu Şekil 2'deki sistemin sağ alt tarafında modellenen hareketli kullanıcının, RAU1'den RAU2'nin kapsama alanına geçtiği kabul edilmiştir. Bu geçiş, RAU'lar üzerinden uygun bir konum kontrol işlemi ile belirlendikten sonra konum sinyali olarak merkez istasyona harici bir dalgaboyu üzerinden gönderildiği bir sistem modeli olarak dizayn edilmiştir. Merkez istasyona iletilen konum sinyalleri, sistemdeki tüm RAU'lar için tek bir ortak kanaldan iletilmiştir [6].

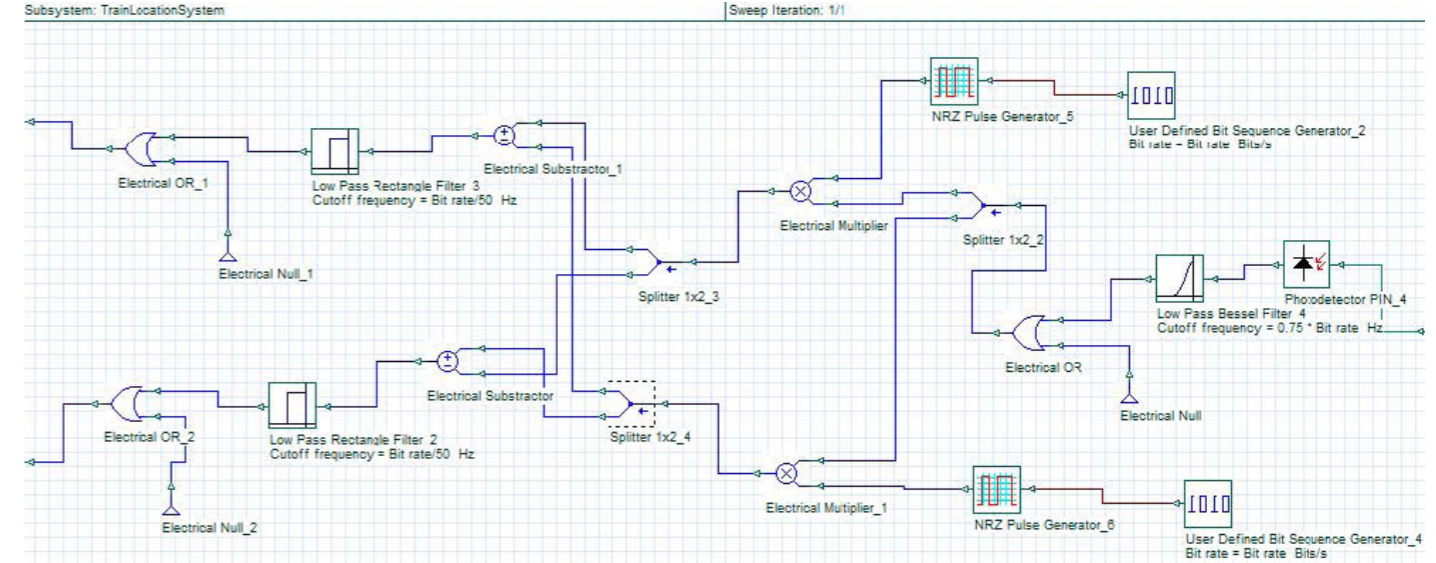


Şekil 2: Tren pozisyonunun tespitini modelleyen devre tasarımı.

Şekil 3'te yer alan fiber üzerinden radyo haberleşme sisteminin tasarımında, aynı dalgaboyu üzerinden merkez istasyona iletilen konum bilgilerinin iletimindeki RAU'nun belirlenmesi için CDMA (Code Division Multiple Access, Kod Bölmeli Çoklu Erişim) tekniği uygulanmıştır. Bu teknikle, her bir RAU sinyaline birbirleriyle ortogonallığın ve özgünlüğün sağlanması için RAU1 ve RAU2'de sırasıyla {0101} ve {0011} olmak üzere farklı Walsh kodları kullanılmıştır. Tren tespit edildiği zaman iletme geçen CW (Continuous Wave, Sürekli Dalga) lazer ışığı, RAU'ya ait olan Walsh kodu ile modüle edilmiştir. Merkez alıcıda farklı dikgen kodlarla modüle edilmiş sinyallerden korelasyonu en yüksek olan sinyal, korelasyon filtresi yardımı ile saptanmıştır. Korelasyon filtresinde, zarfın algılanması için ideal alçak geçiren filtre kullanılmıştır.

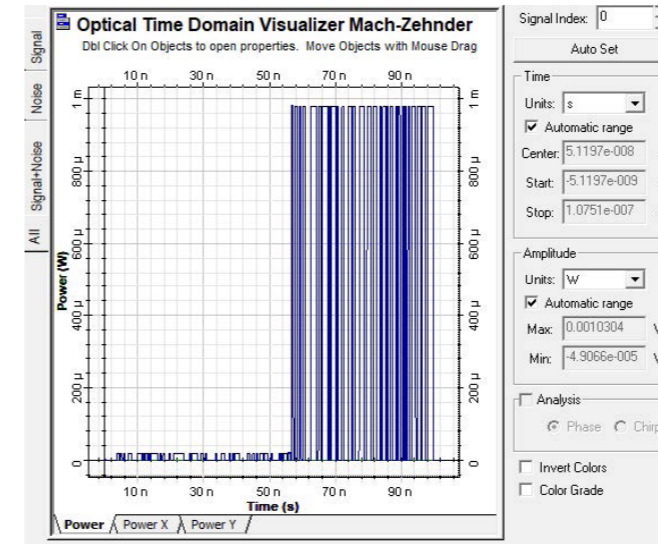


Şekil 3: Tasarlanan fiber üzerinden radyo haberleşme sistemi.

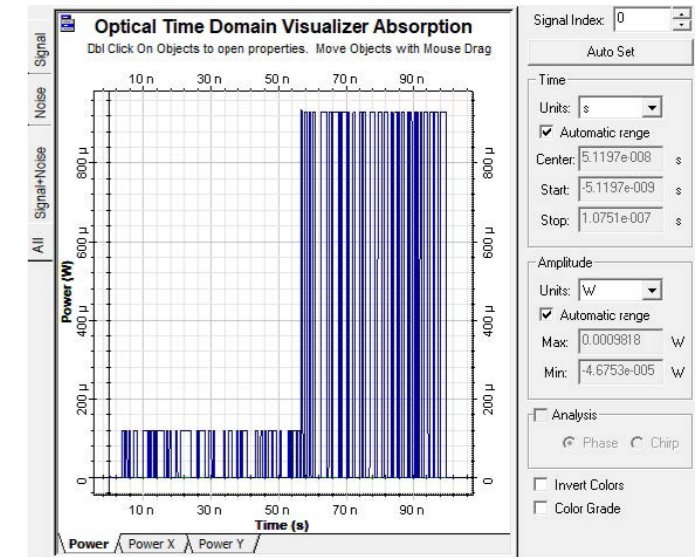


Şekil 4: Merkez istasyondaki kod çözücü (decoder) sistemi.

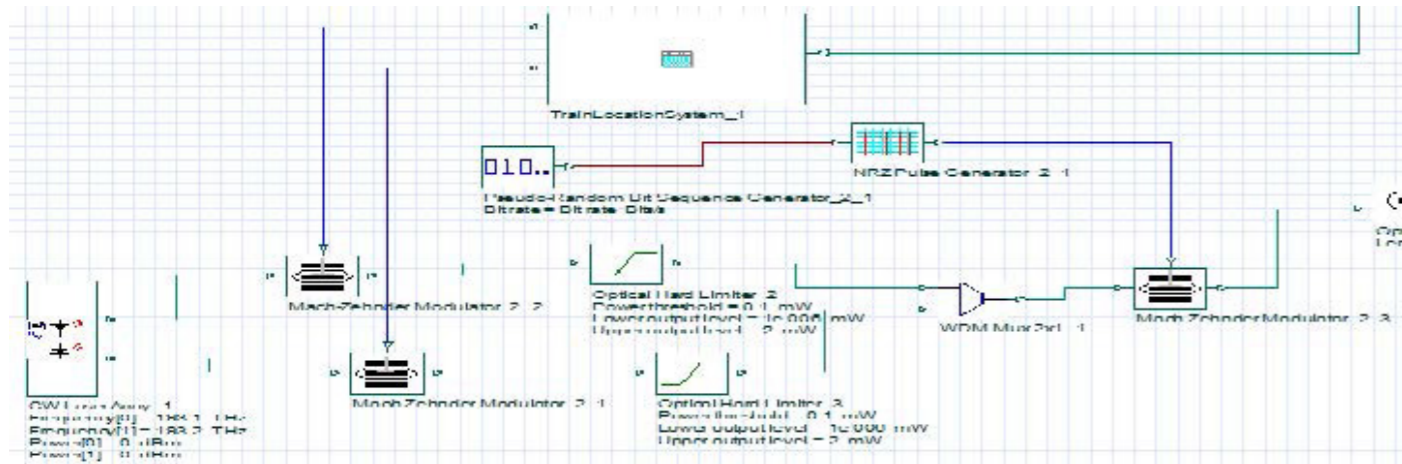
Çalışmada, Şekil 4'teki düzenek ile merkez istasyonda alınan konum bilgisine göre yapılan anahtarlama işlemi, elektro-optik anahtarlama yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. Zaman domeninde yapılan analiz sonuçlarını gösteren Şekil 5 ve Şekil 6 ışığında, Mach-Zehnder modülatörü kullanılan düzeneğin, elektro-absorbsiyon modülatörü kullanılan düzeneğe göre daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Anahtarın olmasına karşın meydana gelen istenmeyen sinyaller, anahtarlama işleminin ardından optik sabit sınırlayıcı (optical hard limiter) ile ortadan kaldırılarak düzeneğin performansı artırılmıştır.



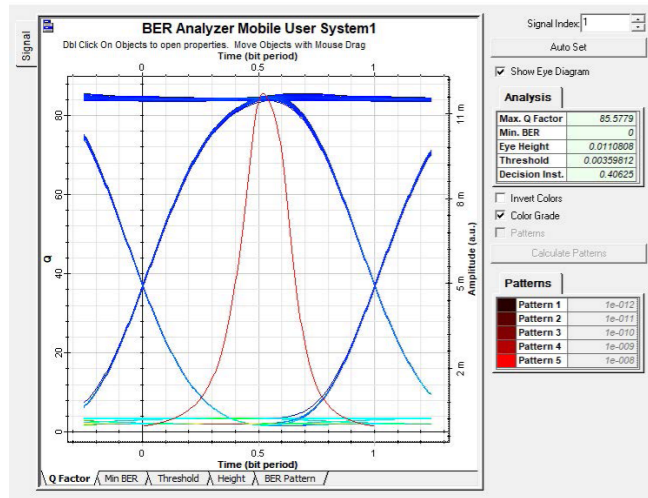
Şekil 5: Mach-Zehnder modülatörü ile anahtarlama, sinyalin gücünün zamana göre değişimi.



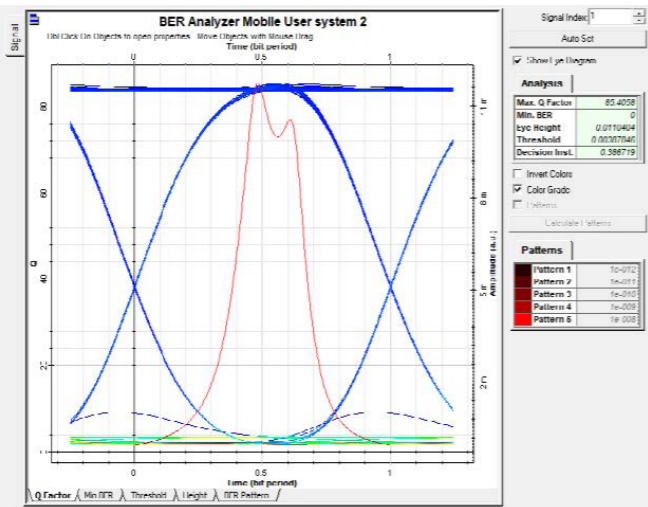
Şekil 6: Elektro-absorbsiyon modülatörü ile anahtarlama, sinyalin gücünün zamana göre değişimi.



Şekil 7: Anahtarlanmanın, modülasyondan önce yapıldığı sistemin verici kısmı.



Şekil 8: Anahtarlanmanın, modülasyondan sonra yapıldığı sistemin göz diyagramı.



Şekil 9: Anahtarlanmanın, modülasyondan önce yapıldığı sistemin göz diyagramı.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, yüksek hızlı tren haberleşme hatlarında kullanılan RoF teknolojisi incelenmiş ve OptiSystem 7.0 simülasyon programı ile modellenmiştir. Sinyalin uygun RAU'ya anahtarlanması işlemi, merkez istasyona gelen CDMA ile kodlanmış sinyalin, uygun alıcı yapısı yardımıyla belirlenmesi ve sinyalin tespit edilen RAU'ya uygun dalgaboyuna anahtarlanması ile sağlanmıştır. Anahtarlama işleminde, Mach-Zehnder modülatörünün, elektro-absorbsiyon modülatörüne göre daha iyi performans gösterdiği gözlenmiştir. Anahtarlanmanın, modülasyondan sonra yapılmasının uygun olduğu görülmüştür.

5. Kaynaklar

- [1] Hou, H. and Wang, H., "Analysis of distributed antenna system over high-speed railway communication", IEEE 23rd International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), Sydney, NSW, Australia, 2012, 1300-1305.
- [2] Greve, F. D., Lannoo, B., Peters, L., Leeuwen, T. V., Quickenborne, F. V., Colle, D., Turck, F., Moerman, I., Pickavet, M., Dhoedt, B. and Demeester, P., "FAMOUS: A Network Architecture for Delivering Multimedia Services to FAST Moving Users", Wireless Personal Communications, Volume 33, Issue 3-4, June 2005, pp. 281-304.
- [3] Dat, P. T., Kanno, A., Yamamoto, N. and Kawanishi, T., "WDM RoF-MMW and Linearly Located Distributed Antenna System for Future High-Speed Railway Communications", IEEE Communications Magazine, vol. 53, no. 10, October 2015, pp. 86-94.
- [4] Law, K. L. E., "Optical Switches", Wiley Encyclopedia of Telecommunications, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, vol. 4, Jan. 2003, pp.1782-1797.
- [5] Kazancı, U. U. ve Ünverdi, N. Ö., "Amplifier Analysis of Radio over Fiber Communication Systems", Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences, 37(3), 2019, 723-735.
- [6] Gül, A. C., "Aktif ve Pasif Optik Ağların Tasarımı", Dönem Projesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik - Elektronik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 2021.

Görüntü İşleme ile Otoparklarda Araç Yoğunluk Tespiti

Vehicle Density Detection in Car Parks with Image Processing

Musa DALANÇIKAR¹, İsmail ÇELİK¹, Zeynep HASIRCI TUĞCU², İsmail Hakkı ÇAVDAR¹

¹Elektrik-Elektronik Mühendisliği

²Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Karadeniz Teknik Üniversitesi

musa.dlnckr@hotmail.com, ismailcelik9797@gmail.com, zhasirci@ktu.edu.tr, cavdar@ktu.edu.tr

Özet

Son yıllarda artan nüfus ve büyük şehirlere yapılan göçlerle birlikte kentleşme sürekli artmaktadır. Kentleşme beraberinde daha fazla araç kullanımı ve yoğunluğu getirmiş ve trafik sorunlarına sebep olmuştur. Ulaşımındaki alt yapı yetersizliği ise trafik sorunlarını daha fazla arttırmaktadır. Bu da insanların trafikte gereksiz yere zaman ve yakıt tüketmesine neden olmaktadır. Özellikle yoğun yaşam alanlarında, şehir merkezlerinde ve alışveriş merkezi gibi kalabalık alanlarda sürücülerin boş park yeri ve otopark alanları bulabilmeleri hem zor hem de gereksiz zaman kaybına sebep olmaktadır. Görüntü işleme ve yapay zekâ gibi yenilikçi yaklaşımlar ve gelişen yeni teknolojiler ile birlikte park alanlarını yönetmek ve yönlendirmelerle araç trafiğini daha iyi kontrol etmek mümkün olabilmektedir. Bu çalışmada Python OpenCV kütüphanesinden yararlanılarak görüntü işleme tabanlı otopark araç giriş-çıkış tespiti yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Görüntü İşleme, Otopark, Python, Trafik yoğunluğu

Abstract

Urbanization has been increasing rapidly in recent years with the growing population and migration to big cities. Lots of vehicle usage and traffic density have been caused more traffic problems with urbanization. Inadequate infrastructure in transportation increases traffic problems even more. This causes people to consume unnecessary time and fuel in the traffic. Especially in dense urban areas, city centers, and crowded places such as shopping malls, it is difficult and inconvenient for drivers to find empty parking spaces and car parks. With innovative approaches such as image processing and artificial intelligence and developing new technologies, it is possible to manage parking areas and better control vehicle traffic with directions. In this study, using the Python OpenCV library, image processing-based vehicle entry-exit detection in the car park has been made.

Keywords: Image Processing, Car Park, Python, Traffic density.

1. Giriş

Trafik yoğunluk ölçümleri ve nesne tespitlerinin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Hareketli nesne tespiti ise doğal afetler, farklı cisimlerin ayrıştırılması ve araç tespitlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [1, 2]. Gerçek zamanlı görüntülerle birlikte araçların herhangi bir noktaya giriş veya çıkış yaparken izlemesini ve tespiti yapılabilmektedir. İzlenen ve

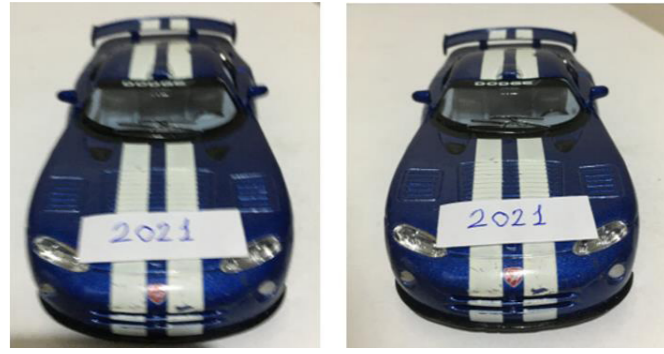
tespiti yapılan araçların sayımını karşılaştırarak veri analizleri yapılabilir. Anlık veri analizleri sayesinde ulaşımda yaşanan sorunları halledilebilmektedir. Sistemde izlemesi yapılan görüntülerin sabit bir şekilde görüntü girişi olması gerekmektedir. Araç tespiti yapılan sistem hareketli olduğundan görüntülerde ki kaymalar analiz yapmada sorunlar çıkartabilmektedir [3]. Araç tespitinin yapılmasında görüntü üzerinde çerçeveleme yaparak hareketli aracın hareket bilgisinin tanımlanmasıdır. Arayüz sisteminde çerçeveler içinde aracın hareketlerini algılamada ve tespitinde bazı sorunlar olabilmektedir. Aracın yön değiştirmesi, görüş açılarının değişmesi, araç gölgesini baz alması, görüntü bozulmalarında araçların tespitinin yapılması büyük önem taşımaktadır. Bu soruna karşı Latzel ve Tsotsos hareketli aracın tespitinin doğru şekilde yapılabilmesi için filtre tasarlamıştır [5]. Yapılan çalışmada gerçek zamanlı görüntü üzerinden hareketli aracın tespitini doğru şekilde yapmışlardır. Web kamerası üzerinden alınan görüntü ile belli algoritmalarla birlikte gerçekleşmesini deneyen isimler ise Koay ve Ark'tır. [6]. Deneysel çalışmada Koay ve Ark iki görüntü üzerinden işlemler uygulayarak hareketli aracın alanı tahmin edilmiştir. Sistemin hızlı sonuçlar verebilmesi için algoritma geliştiren isimler ise Boyacı ve Telatar [7].

2. Uygulanacak Yöntemler

Görüntü işleme, görüntülerin filtrelenmesi, üzerinde düzenlemeler yapılması, sisteme kayıt edilmesi ve görüntünün elde edilmesi gibi işlemlerden oluşmaktadır. Gerçek zamanlı görüntülerden alınarak görüntü üzerinde düzenlemeler yaparak görüntülerin geliştirilmesi yapılmaktadır. Analog görüntüler sayısal görüntüye dönüştürülerek işlemler yapılabilmektedir. Analog görüntü sayısal görüntüye dönüştürme işlemlerinde görüntü üzerinde kayıplar oluşmaktadır. Görüntüde ki kayıplar görüntünün piksel çözünürlüğünü düşürterek kalitesiz bir görüntü oluşmaktadır. Bu kalitesiz görüntüleri düzeltilmesinin yapılması için görüntü üzerinde çeşitli filtre ve onarım algoritmaları geliştirilmektedir. Algoritmalar ile birlikte görüntünün onarımı yapılabilmektedir.

2.1. Görüntünün Onarılması

Gerçek zamanlı görüntülerden alınan görüntüler içinde gürültüler ve bozulmalar bulunmaktadır. Görüntünün onarılması için görüntü işleme tekniklerinden histogram kullanılmaktadır. Görüntülerin özelliklerinden ışık ayarlarının ayarlanması amacıyla histogram eşitleme algoritması yapılmaktadır. Eşitleme yapılan görüntü çıkışında daha kaliteli bir görüntü elde edilmiş olur. Şekil 1'de görüntü iyileştirmeye örnek bir uygulama gösterilmiştir.



Şekil 1: Görüntünün Onarılması Örneği.

2.2. Araç Tanımlama

Araç ve cisimlerin tanımlanmasında ve takibinde kullanılan görüntü işleme yöntemleri ve çeşitli algoritmaları kullanarak gerçekleştirilebilir. Çeşitli algoritmalar kullanarak trafik sorunlarını çözmede, yüz tespitinde ve araç takipleri gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Araçların ve cisimlerin birbirlerinden ayırt edilebilir için araçların geometrik özellikleri, hareket bilgisi ve teknik özellikleri gibi özellikler hakkında bilgi sahibi olunması gerekmektedir. Şekil 2’de araç tanımlama olarak Şekil 4’de bir örnek ile gösterilmiştir.

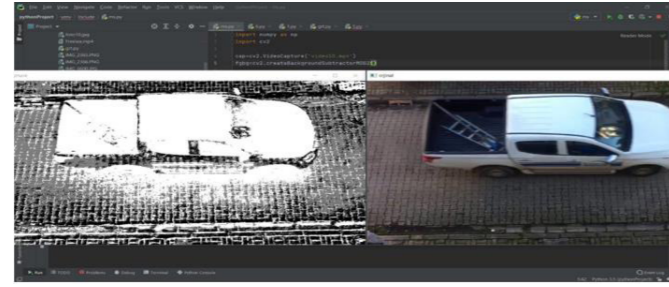


Şekil 2: Araç Tanımlama Örneği.

2.3. Görüntünün Arka Plan Çıkartımı

Araç tespitinde görüntü işleme yöntemlerinden çoğunlukla tercih edilen yöntem ise arka plan çıkartım yöntemidir. Gerçek zamanlı görüntü üzerinden araçların tespitinin yapılması ve takip edilmesi amaçlanmaktadır. Sistemin çalışma prensibi sabit arka plan görüntüsünü baz alarak görüntü üzerinde farklılıkları yakalamaktır. Sistem sabit arka plan kısmını belirleyip ve üzerinde değişiklikler yaparak araç tespiti yapılmaktadır. Görüntünün arka plan çıkartımı yapılmasında kullanılan yöntemler arasında Absdiff yöntemi, BackgroundSubtractorMOG2 yöntemi,

BackgroundSubtractorMOG2 yöntemi, BackgroundSubtractorGMG yöntemi vb. gibi yöntemler bulunmaktadır. Şekil 3’de görüntünün BackgroundSubtractorMOG2 yöntemiyle arka plan çıkartımı gösterilmiştir.



Şekil 3: Görüntünün BackgroundSubtractorMOG2 yöntemi ile Arka Plan Çıkartımı.

2.4. Araç Tespiti Yapılması

Araçların görsel ve geometrik özelliklerini baz alarak araç tespitleri yapılmaktadır. Bu tip yöntemleri ve algoritmaları kullanmada zaman harcanması fazla olabilmektedir. Bu zaman kayıpları gerçek zamanlı görüntülerden alınarak araç tespitinin yapılmasında sorunlar olabilmektedir. Bundan dolayı diğer yöntemler daha yaygın olarak kullanılır. Tespiti sağlanacak olan görüntünün çıkarılmasında birçok yöntem bulunmaktadır. Sabit bir arka plan görüntüsü alınıp tespit edilecek olan görüntüyü alınan arka plan görüntüsünden çıkartılması kullanılan yöntemlerden birisidir. Arka plan görüntüsünün öncelikle farkı alınıp ve eşik değerinden geçirilir. Böylelikle kullanılmayacak olan nesnelere bulup görüntüden çıkartılır. Araç tespitine örnek olarak Şekil 4’de bir örnek ile gösterilmiştir.



Şekil 4: Araç Tespitinin Yapılması.

2.5. Kameraların Görüş Açısının Belirlenmesi

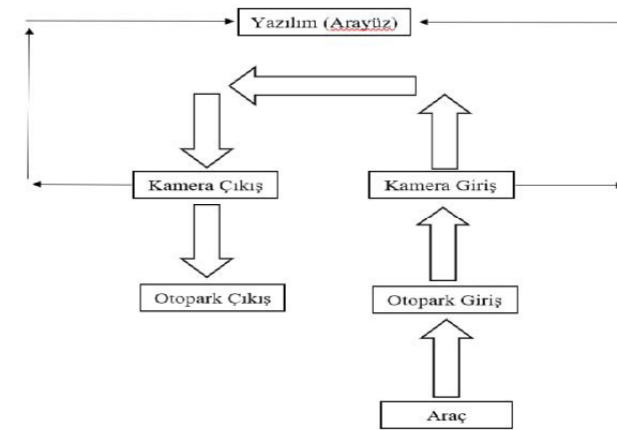
Araçların tespitinde en önemli unsurlardan biri kameranın görüş açısıdır. Araçların giriş ve çıkış görüntüsünün alınması kamera üzerinden sağlanacağı için araçların net ve doğru bir şekilde okumasının yapılabilmesi gerekmektedir. Net ve doğru bir şekilde sistemin çalışması için araç görüntülerinin tepeden görünüm şeklinde olması gerekmektedir. Şekil 5’de kameraların görüş açısının belirlenmesine örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 5: Doğru Kamera Açısı Gösterimi

3. Tasarım ve Deneysel Çalışmalar

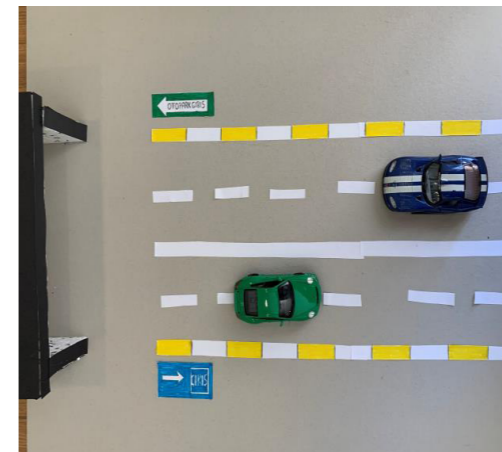
Tasarlanan akıllı otopark sisteminde araçların görüntüsünü alınması ve izlenmesi için kameralar kullanılmıştır. Bu kameralardan alınan görüntülerle birlikte araçların sayımı arayüz üzerinden yazılımsal kodlar sayesinde yapılmıştır. Otopark girişi ve çıkışından kaç aracın geçtiğini, mevcut otoparktaki araç sayısı vb. bilgileri sürücüyü gösterimi yapılmıştır. Bu işlemleri takip edilmesi için merkezi bir noktada arayüzde gösterimi yapılmıştır. Şekil 6’da sistemin block şeması gösterilmiştir.



Şekil 6: Tasarım Block Şeması

Akıllı otopark projesinde sistemin çalışabilirliği için sistemin simülasyonu yapılmıştır. Python’un OpenCV kütüphanesinden yararlanarak yazılan kod Pcharm programı kullanılarak yapılmıştır. Yazılan yazılımsal kodun çalışma prensibi olarak en başta görüntü veya videoyu sisteme tanımlayarak başlamaktadır. Daha sonrasında ise görüntü üzerinde belirlenen noktalara giriş ve çıkış çizgileri eklenmektedir. Giriş çizgilerinin amacı araçların otopark giriş yönünü baz alarak o yönde gelen araçları giriş çizgisinden geçtiği anda sayımı yapılmasıdır. Aynı şekilde çıkış çizgileri otopark çıkış yönü baz alarak o noktadan geçen araçların sayımını yapmaktadır. Ardından BackgroundSubtractorMOG2 arka plan çıkartım yöntemini kullanarak araç sayımları yapılmaktadır. Bu işlemden sonra otopark katında kaç aracın giriş ve çıkış yaptığını, otoparkta mevcut araç sayısını hesaplayan ve ekrana yazdıran sistem olarak yapılmıştır.

Otoparkın tasarımı olarak 70cm×50cm×0.1cm’lik mukavva karton üzerinde bir otopark girişi ile şerit yollardan bir giriş ve bir çıkış yolu yapılmıştır.



Şekil 7: Otopark Sistemi Tasarımı.

Mukavvada tasarımı yapılan otopark sistemin çalışması için oyuncak arabalar kullanılarak otopark giriş şeritlerinden geçirilerek otopark giriş noktasında geçirilmesi sağlanmıştır. Otopark giriş noktasının üstüne kurulan kamera yardımıyla alınan görüntüler sistemin yazılımına (arayüzüne) yüklenerek sistemin çalışması sağlanmıştır. Oyuncak arabaların giriş ve çıkıştan yönlendirilerek çekilen video ya da gerçek zamanlı görüntüler ile arayüzden otoparka kaç aracın girdiğini, kaç aracın çıktığını ve bir de toplamda otoparkta kaç aracın olduğunu gösterimi yapılmıştır. Tasarlanan otoparkta kameranın çekim alanının arayüz kısmında çizilen ekran çizgilerine paralel şekilde olacak şekilde ayarlanmıştır. Alınan görüntünün okuması yapılırken ekranda oyuncak araçlardan başka hareketli cisimlerin (el, ayak, yüz vb.) olması görüntülerin doğru okunmasında sorunlar oluşturabilmektedir. Bu yüzden otoparktan geçecek olan oyuncak arabaların çek- bırak oyuncak arabalar olmasına özen gösterilmiştir. Yapılan test görüntüsü Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 8: Yapılan Test Görüntüsü.

4. Sonuçlar

Oluşturulan arayüz ve deneysel testler, tasarlanan akıllı otopark sisteminin giriş-çıkış ve boş-dolu kontrolü yapabildiği gösterilmiştir. Çekilen video ya da gerçek zamanlı görüntünün tasarlanan arayüz kısmına yüklenerek araç okuması ve sayımı başarılı bir şekilde yapılmıştır. Bu sistem birçok algoritmalarla birlikte kullanım alanlarına uygulanarak kullanılabilir.

Teşekkür

Projeye katkılarından dolayı KTÜ Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi ve EMO Trabzon Şubesi Başkanı Prof. Dr. İsmail Hakkı ÇAVDAR hocamıza, KTÜ Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Dr. Zeynep HASIRCI TUĞCU hocamıza teşekkürü bir borç biliriz.

5. Kaynakça

- [1] http://www.ibm.com/smarterplanet/tr/tr/traffic_c 2017.
- [2] Doğan R., “Video görüntülerinde renk ve hareket özelliklerinden yangın tespiti”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2009.
- [3] Ekinci M., Gedikli E., “Silhouette Based Human Motion Detection and Analysis for Real-Time Automated Video Surveillance”, Turk J Elec Engin, VOL.13, NO.2 2005, TUBITAK.
- [4] Boyacı F., Telatar Z., “Video dizilerinde kenar bulma algoritması ile hareket tespiti”, IEEE, 2004.
- [5] Latzel M., Tsotsos J.K., “A robust motion detection and estimation filter for video signals”, IEEE, 2001.
- [6] Koay S.Y., Ramli A.R., Lew Y.P., Prakash V., Ali R., “A motion region estimation technique for Web Camera Application”, Student Conference on Research and Development Proceedings, 2002.
- [7] Boyacı F., Telatar Z., “Video dizilerinde kenar bulma algoritması ile hareket tespiti”, IEEE, 2004.

Sürdürülebilir Tarımsal Kalkınma için Nesnelerin İnterneti Tabanlı Sera Kontrol Sistemi Tasarımı

Internet of the Things Based Green House Control System Desing for the Sustainable Agricultural Development

Ramazan Çapanoğlu¹, Emrah Çetin²

¹Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Yozgat Bozok Üniversitesi
70111719037@ogr.bozok.edu.tr

²Elektrik- Elektronik Mühendisliği Bölümü Yozgat Bozok Üniversitesi
emrah.cetin@yobu.edu.tr

Özet

Tarımda teknolojiyi daha iyi kullanmak ve daha verimli bir üretim yapmak için nesnelerin interneti tabanlı sera kontrol sistemi tasarımı gerçekleştirilmiştir. Çevremizde görülen tarımsal durumların nasıl iyileştirilebilir düşüncesi üzerine çalışılmış ve teknolojinin tarıma entegre edilmesi amacı ile bu proje ortaya çıkarılmıştır. Proje için tasarım yöntemi kullanıldı. Ayrıca bitkiler üzerindeki ışığın etkisi incelenmiştir. Proje neticesinde hangi ışık türünün bitkiler üzerindeki büyüme hızına etkisi daha çoktur bilgisinin elde edilmesine yardımcı olacağı ortaya çıkmıştır. Proje sonucunda çıkan ışık türünün kullanılması sağlanarak daha hızlı bir üretim yapılmasına katkı sağlanabilir. Deney sonucunda ortaya çıkan ışık türünün seralarda kullanılması ilgili kurumlara önerilebilecektir.

Anahtar Kelimeler; *Sera otomasyonu, nesnelerin interneti, kontrol sistemi*

Abstract

In order to better use technology in agriculture and to make more efficient production, an internet-based greenhouse control system design has been carried out. The idea of how to improve the agricultural conditions in our environment has been studied and this project has been created with the aim of integrating technology into agriculture. The design method was used for the project. In addition, the effect of light on plants has been studied. As a result of the project, it has been revealed that which type of light has a greater effect on the growth rate of plants will help to obtain the information. By using the type of light generated as a result of the project, this light can be used in agriculture in the society, contributing to a faster production. The use of the type of light obtained as a result of the experiment in greenhouses may be recommended to the relevant institutions.

Keywords; *Greenhouse automation, internet of things, control system*

1. Giriş

Son yıllarda sürdürülebilir tarım konusu ülkeler için oldukça önem kazanmaktadır. Küresel salgın sürecinde yaşanan gıda tedarik sorunlarının da gösterdiği gibi ülkelerin kendi kendine yetebilmesi stratejik bir durum haline gelmiştir. Bunu sağlamanın temel yolu da sürdürülebilir bir tarımsal kalkınmadan geçmektedir. Tarımda sürdürülebilirliği sağlamanın en temel sistemi ise seralardır. Seralar sayesinde dört mevsim gıda üretimi sağlanabilmektedir. Ancak seraların üretim kalitesinin artırılması ve her geçen gün artan ülke nüfusuna yetebilmesi için teknolojiye dayanması gerekmektedir.

Bu kapsamda literatürde birçok çalışma yapılmıştır. Ayan ve Şenol, yaptıkları çalışmada bulanık mantık kullanarak uzaktan erişimli bir sera otomasyonu tasarlamışlardır. Gerçekleştirilen sistem ile seradaki bütün iklimlendirme ihtiyaçları sağlanmıştır. Bunun için tasarlanan sistemde sıcaklık, nem ölçümü, sulama, sisteme, havalandırma, ısıtma işlemleri bulanık mantık kullanılarak işlenmiş ve bu veriler uzaktan izlenmiştir [1] M.Baytürk ve arkadaşları geliştirdikleri internet tabanlı sera otomasyonu sisteminde düşük maliyeti göz önünde bulundurmışlardır. Seradan alınan veriler gerçek zamanlı olarak bir internet sunucusu vasıtasıyla merkeze aktarılmakta ve burada tasarlanan bir arayüz sayesinde izlenebilmektedir [2].

Şenol ve Aksoy STM32 mikroişlemci elemanı kullanılarak gömülü sistem tabanlı bir kontrol sistemi geliştirmişlerdir. Bulanık kontrol sisteminden yararlanılarak seralarda havanın nemi, ışık şiddeti, topraktaki nem ve sıcaklık gibi verileri sürekli takip edilmiştir. Ayrıca toplanan bu veriler değerlendirilerek istenilen değerlerde tutulması da sağlanmıştır [3].

Sera kontrol sisteminin en önemli alt sistemi sulamadır. Sulama sisteminin de sorunsuz bir şekilde uzaktan kontrol edilebilir olması gerekir. Fidan ve Karasekreter, geliştirdikleri sulama otomasyonunu GSM/SMS ile kontrol etmişlerdir. Bu sistemde, çiftçiler tarafından gönderilen SMS ile ayarlanabilen, istenilen gün ve saatte sulama yapılabilen, yağmurun ve hava şartlarının durumuna göre sulama zamanlarını ayarlayabilen ve sonuçta da çiftçiye durum hakkında geri bildirim mesajları gönderebilen bir kontrol sistemi tasarlanmıştır [4].

İnternet imkanlarının yaygınlaşmasıyla her alanda nesnelerin interneti uygulamaları gelişmektedir. Sera kontrol sistemlerinde de nesnelerin interneti tabanlı sera takip sistemleri Baysal ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir. Geliştirilen bu sis-

temde seralarda verimli üretim yapılabilmesi için yetiştirilen ürün baz alınarak ortamın değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Sonuçta elde edilen verilerden oluşan grafiklerin yorumlanmasıyla alt ve üst değerlerin dışına çıkılması durumunda çiftçilere uyarı gönderilmektedir [5].

Öter ve Bahar, sulama sistemlerinin kontrolü üzerine çalışarak bu sistemlerin PLC yardımıyla yapılmasını sağlamışlardır. Gerçekleştirdikleri kontrol sistemi ile tarımsal sulamalarda, su ve zaman tasarrufu gerçekleştirilmesinin yanında basit ve takip edilebilir bir sulama sistemi amaçlamışlardır [6].

Bir sera kontrol sisteminin başarısı, o kontrol sisteminin karar verme mekanizmasında gizlidir. Doğru karar verebilen kontrol sistemleri sayesinde daha verimli üretimler gerçekleştirilebilir. Kürklü ve Çağlayan, sera otomasyon sistemlerinin daha iyi sonuçlar verebilmesi için seraların teknolojik yeterliliklerinin ve çiftçinin konfor seviyesinin artırılmasına katkı sağlayabilecek düzeyde laboratuvar temelli bir iklim kontrol çalışması gerçekleştirmişlerdir [7].

Taşova ve Özgüven ise kontrol sistemleri bulunan seralardaki bitkilerin takibi üzerinde çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmada sera ekosistemindeki veriler ile çalışan kontrol sisteminin bitki gelişimine etkisi incelenmiştir [8].

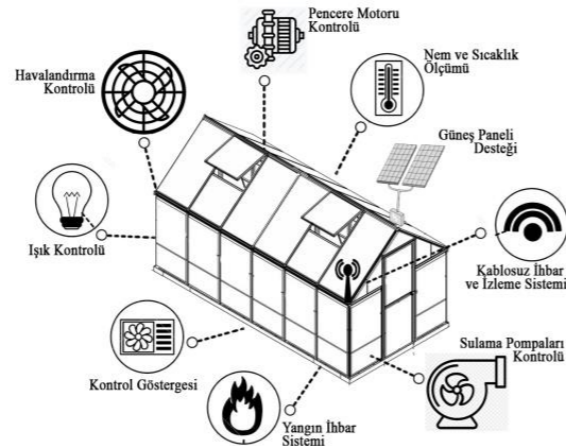
Elbette sera iklimi için en önemli unsurların başında seradaki ortam sıcaklığı gelmektedir. Bitkilerin gelişimi ve daha verimli ürünler alınabilmesi için yetiştirilen bitki türüne göre ortam sıcaklığının kontrol altında tutulabilmesi önemlidir. Ancak bu kontrolün minimum maliyet ile gerçekleştirilmesi, çevreci bir şekilde yapılması da oldukça önem arz etmektedir. Bu kapsamda yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak seralardaki ısıнын kontrol edilmesi ön plana çıkmaktadır [9]. Jeotermal enerji kaynağı da bu yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde seralarda en çok kullanılanıdır. Özellikle elektrik üretiminden sonra halen yüksek sıcaklıkta bulunan jeotermal kaynaklı suların seralarda kullanımı yaygınlaşmaktadır [10]. Seraların ortam ısıısının kontrolü oldukça önemli bir parametre olduğu için literatürde de bu konuda oldukça çalışma mevcuttur. Balıkesir yöresinin sera ısı gereksiniminden [11], farklı konstrüksiyon yapılarındaki seraların ısı durumlarına [12], seraların ısıtma gereksinimlerinin tahmin edilmesi için yöntem geliştirilmesinden [13], Çukurova bölgesi için sera içi ısı tahmin modeli geliştirilmesinden [14], sera ısıtma sistemleri için ısı depolama tankı geliştirilmesinden [15], sera içi mikro iklim koşullarının dinamik modelinin çıkarılmasına [16], seralarda yüksek sıcaklık problemlerinin azaltılması için geliştirilen yöntemlerden [17], fazla sıcak havanın toprak altına gönderilmesi için tasarlanan akıllı sera uygulamalarına [18] kadar bir çok çalışma yapılmıştır. Kandemir ve Uzun tarafından yapılan çalışmada ise farklı ışık ve sıcaklık şartlarının biber bitkisi üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla kantitatif bir modelleme gerçekleştirilmişlerdir [19]. Bu tür çalışmaların önemi sera kontrol sistemlerinin karar mekanizmasının geliştirilmesinde kullanılmasıdır.

Bu çalışmada da bir sera kontrol sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem ile sera içerisinde bulunan çeşitli sensörlerden gelen veriler değerlendirilerek pencere, hava ve pompa motorları kontrol edilmektedir.

2. İnternet Tabanlı Sera Otomasyon Sistemi

Sera Otomasyon Sisteminde internet üzerinden sera ile bağlantı kurup takip edilmesi sağlandı. Şekil 1'de de görüldüğü gibi güneş panelinden üretilen enerji ile kendi elektrik ihtiyacını karşılayıp giriş değerlerine göre çıkış veren sera otomasyonu oluşturulmuştur. Projede toprağın nem değerini toprak nem sensörü ile değerleri ölçülüp istenilen değer altındaysa su pompası devreye girip sulama işlemini başlatıyor ve gerekli nem dengesine ulaşıncaya kadar su motoru duruyor. Bu sayede sadece bitkinin en ideal nem dengesinde kalmasını sağlıyoruz. Yağmur yağdığında ise yağmur sensörüyle çatının açılıp istenilen nem değerine ulaştığında tekrar çatının step motorla kapanmasını sağlıyor gerekli su ihtiyacını da doğal yöntemlerle karşılıyor.

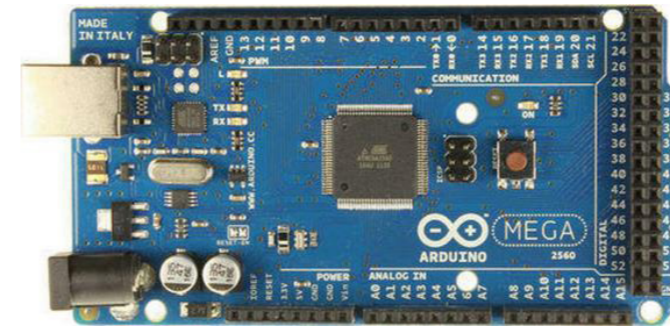
Sıcaklık nem sensörüyle ortamdaki ısı nem değerine göre soğuksa infrared lamba (ışık) devreye giriyor ve ısıtma işlemi başlıyor. Eğer hava koşullarına göre ortam çok sıcak ise fanlar devreye giriyor bitkilerin en ideal büyüme sıcaklığına gelmesi için ortamı soğutma işlemi başlıyor. Bu işlemlerde güneş enerjisinden aldığı enerji de destek olarak kullanılmaktadır. Kullanılan malzemeler: Arduino Mega2560, Su motoru, Toprak Nem Sensörü, Lazer sistemi, Pervaneler, Rgb Led, Servo Motorlar, Röle, İnfrared Lamba, Bluetooth, İnternet bağlantısıyla uzaktan akıllı serayı kontrol etmeyi gerçekleştirmiştir Bluetooth ile de yakından kontrol sağlanmıştır. Gerekli yazılımlar Arduino mega tarafından kontrol edilmiştir.



Şekil 1. Sera otomasyon sistemi tasarımı

2.1. Kullanılan kontrolcü kartı

Bu projede kontrolcü kartı olarak giriş çıkış pin sayısının yüksek olması nedeniyle Arduino Mega seçilmiştir. 54 adet dijital giriş çıkış pini bulunmaktadır. Bu pinlerin tamamı digitalWrite(), pinMode(), digitalWrite() fonksiyonları olarak kullanılarak giriş veya çıkış için kullanılabilir. 5 volt ile çalışmaktadır ve her bir pin en fazla 40mA giriş veya çıkış sağlamaktadır. Pinlerde 20 ila 50 kOhm pull-up dirençleri (normalde bağlantısız) bulunmaktadır. Bu pinlerin haricinde de özel görevi olan bazı pinler de vardır, bunlar:



Şekil 2. Kullanılan kontrolcü kartı Arduino mega2560

Seri: 0 (RX) ve 1 (TX); Serial 1: 19 (RX) ve 18 (TX); Serial 2: 17 (RX) ve 16 (TX); Serial 3: 15 (RX) ve 14 (TX). Seri data almak (RX) ve göndermek (TX) amacıyla kullanılmaktadır. 0 ve 1 pinleri ise aynı zamanda ATmega16U2 USB-to-TTL seri entegresinin ilgili diğer pinlerine bağlıdır.

Harici Kesme: Pin numaraları; 2 (interrupt 0), 3 (interrupt 1), 18 (interrupt 5), 19 (interrupt 4), 20 (interrupt 3), and 21 (interrupt 2). Bu numaralı pinler harici kesmeler için kullanılmaktadır. Düşen kenar, yükselen kenar kesmeleri, interrupt on change kesmeleri gibi. attachInterrupt() fonksiyonu kullanılarak da hangi kesmenin ne şekilde kullanılacağı belirtilebilmektedir.

PWM: 0 ila 13 pinleri arası. 8-bit PWM çıkış vermektedir. analogWrite() fonksiyonunu kullanır.

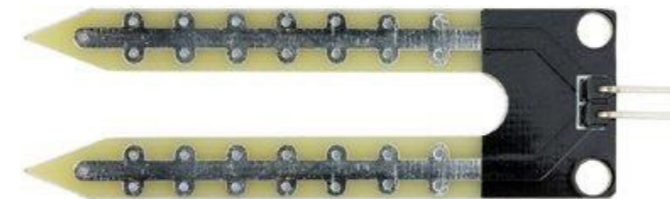
SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS). Bu pinlerde SPI kütüphanesi kullanılarak SPI haberleşme kurulmasını sağlar. SPI pinleri aynı zamanda ICSP headerdan da kullanılır.

LED: 13 numaralı pinde bir LED vardır. Çıkış yüksek konuma getirildiğinde bu LED yanar, düşük konuma getirildiğinde ise söner.

TWI: 20 (SDA) ve 21 (SCL). Wire kütüphanesi kullanılarak TWI haberleşme sağlanabilmektedir. Mega2560'da her biri 10 bit çözünürlükte olan 16 tane analog girişi vardır. Bu pinler başlangıçta 0-5V aralığında çalışır ama RF pini ve analogReference() fonksiyonuyla bu referans gerilim aralığı kolayca değiştirilebilir.

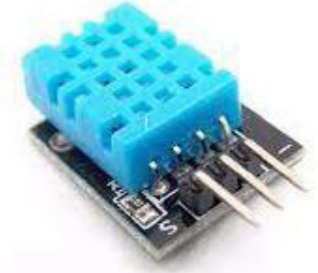
2.2. Sensörler

Toprak nem sensörü, toprağın içindeki nem miktarının ölçülmesi için kullanılabilecek bir ölçüm sensörüdür. Nem ölçen uçlar ölçüm yapılacak toprağın içine batırılarak ölçüm yapılmaktadır. Çalışma mantığı da toprağın veya batırılan sıvının oluşturduğu dirençten dolayı, uçları arasında bir potansiyel fark oluşur. Bu potansiyel farkının miktarına göre de nem verisi elde edilir.



Şekil 3. Toprak nem sensörü

Sıcaklık ve Nem Sensörü: 8DHT11) Dijital çıkış sağlayan bir sensör türüdür. Kapasitif bir sensör elemanı, bağlı nemi ölçmekte ve sıcaklık da negatif bir (NTC) termistörü ile ölçülmektedir. Birçok kullanım alanı vardır. Basit hava izleme istasyonları, ortam nemi düzenleyen elektronik cihazlar ve klimalarda sistem kontrolü için kullanılabilir.



Şekil 4. Sıcaklık ve nem sensörü

Yağmur sensörü: Küçük su miktarlarında ve yağmurlu ortamlarda kullanılan bir sensör türüdür. Bu projede kullanılan sensör 40 mm su seviyesine kadar ölçüm yapabilmektedir. Yağmur sensörünün yapısında birbirine paralel olarak yerleştirilmiş iletken teller bulunmaktadır. Bu teller su ile temas ettiğinde Arduino'ya analog bir sinyal gönderir. Arduino dışında da birçok mikrokontrolcü ile çalışabilmektedir.



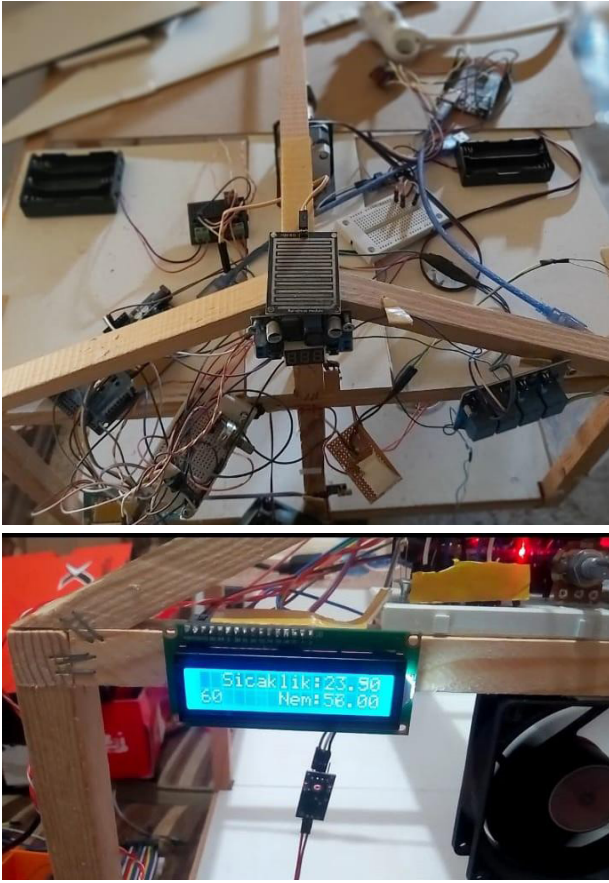
Şekil 5. Yağmur Sensörü

2.3. Oluşturulan Sera Prototipi

Sera prototipi şekil 1'de verilen tasarıma uygun bir şekilde üretilmiştir. Üretilen sera prototipi şekil 6'da görülmektedir. Sera otomasyon sisteminde giriş verileri olarak sensörlerden gelen bilgiler değerlendirilmektedir. Bu veriler, nem, sıcaklık, yağmur durumu, toprak nem miktarı gibi verilerdir. Elde edilen bu sensör verileri dijital ekranda gösterilmektedir. Buna göre çıktı olarak ise motorlar kontrol edilmektedir.

Gelen veriler değerlendirilerek eğer topraktaki nem miktarı düşükse su pompa motoru çalıştırılmakta, hava sıcaklığı yüksekse havalandırma sistemi çalıştırılmakta ve yağmur yağıyorsa üst pencerelerin açılması sağlanmaktadır. Bütün bu durumlar ise bluetooth sistemi ile uzaktaki bilgisayara gönderilmektedir. Ayrıca, seradaki sistemin bataryasını şarj edebilmek amacıyla bir yardımcı güneş paneli kullanılmıştır.

Bütün sistem tasarımı gerçekleştirilirken temel amaç tarımsal verimliliğin artırılmasıdır. Kullanılan bütün elektronik alt sistemlerin tamamı bu amacı destekleyici niteliktedir.



Şekil 6. Sera Prototipi

3. Sonuçlar

İnsana çok fazla ihtiyaç duymadan hızlı ve doğru karar verebilen kendi kendini kontrol edebilen ve farklı sistemlere entegre olabilen daha az enerji ile daha fazla iş yapan kısa zamanda istenilen komutları yerine getirebilen sistemler tarımsal verimliliği artırmak için oldukça önemlidir. Bu sayede insan gücüne ihtiyaç duyulmadan bir çok işi cihazlar yaparak maddi açıdan ve fiziksel açıdan insanların yararına hizmet eden teknolojik bir tasarım olacaktır. Nesnelerin interneti tabanlı sera kontrol sistemi tasarımının temel amacı da sürdürülebilir tarımsal kalkınmaya destek olmaktır.

4. Kaynaklar

- [1] Ayan, M. ve Şenol, R., “ Bulanık Mantık Tabanlı – Uzaktan Erişimli Sera Otomasyonu”, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 4 (2016) 734-746
- [2] Baytürk M, Çetin G, Çetin A, “Gömülü Sunucu ile Tasarlanmış İnternet Tabanlı Sera Otomasyon Sistemi Uygulaması” BİLİŞİM TEKNOLOJİLERİ DERGİSİ, CİLT: 6, SAYI: 2, MAYIS 2013.
- [3] Şenol R, Aksoy B, Ersoy M, Özmen M. M. “GÖMÜLÜ SİSTEM VE SERA OTOMASYONU” 2nd International Turkish World Engineering and Science Congress, November 7-10, 2019, Türkiye
- [4] Fidan U, Karasekreter N, “GSM/SMS TABANLI SULAMA OTOMASYONU KONTROL BİRİMİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE UYGULANMASI” e-Journal of New World Sciences Academy 2011, Volume: 6, Number: 1, Article Number: 1A0127
- [5] Baysal K, Özcan M. O, Özdüven F. F., Beynek B

“NESNELERİN İNTERNETİ TABANLI BİR SERA TAKİP SİSTEMİ” Electronic Journal of Vocational Colleges-November/Kasım 2018

- [6] Öter A, Bahar M.Ş. “Programlanabilir Denetleyici Kontrollü Sulama Sistemi” KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi 21(4):329-333, 2018
- [7] Kürklü A, Çağlayan N, “SERA OTOMASYON SİSTEMLERİNİN GELİŞTİRİLMESİNE YÖNELİK BİR ÇALIŞMA” AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ ZİRAAT FAKÜLTESİ DERGİSİ, 2005, 18(1), 25-34
- [8] Taşova M, Özgüven M. M. “Tarımsal Otomasyonda Yeni Yaklaşım: Konuşan Bitki ve Konuşan Meyve” GBAD, 2018, 7(3), 85-92
- [9] Kendirli B, Çakmak B “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Sera Isıtmasında Kullanımı” Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi, 2010, Cilt 2, Sayı 1, Sayfalar 95 – 103
- [10] Kayabaşı R. “Jeotermal Enerji Kaynaklı Atık Isının Seralarda Kullanılması ve Sera Yetiştiriciliğine Etkisi” Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi 2018, Sayı 27, Cilt 3.
- [11] Genç Ö, Yüksel A. N., Şişman C. B., Gezer E. “Balıkesir Koşullarında Sera Isı Gereksinimlerinin Belirlenmesi” U. Ü. ZİRAAT FAKÜLTESİ DERGİSİ, 2010, Cilt 24, Sayı 2, 73-84
- [12] KIRATLI N. Alim ISIK A, GULEN B. “Farklı Sera Konstrüksiyonlarının Sera Ortam Koşullarına ve Isı Ekonomisine Etkilerinin Araştırılması” DPU Fen Bilimleri Enst. Dergisi 5. Sayı (Aralık 2003)
- [13] Kendirli B. “Sera Isıtma Gereksiniminin Tahmininde Farklı Yaklaşımların İncelenmesi” Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 10 (2):125-134, 2015
- [14] Baytorun A. N. Akyüz A. Üstün S, Çaylı A. “ Sera Isı Gereksinimi Hesaplama Modelinin “İSİGER-SERA” Çukurova Koşullarında Test Edilmesi” KSÜ Tarım ve Doğa Derg 21(5):699-707, 2018
- [15] Baytorun A. N. Akyüz A. Üstün S, Çaylı A “ Sera Isıtma Sistemlerinde Isı Depolama Tank (Buffer) Kapasitesinin Belirlenmesi” Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32(2), ss. 53-64, Haziran 2017
- [16] Arslan G, Dölek S, “Sera Mikro-İklim Şartlarının Dinamik Modellenmesi” Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 34(2), ss. 279- 290, Haziran 2019.
- [17] Boyacı S, Akyüz A, Üstün S, Baytorun A N, Güğercin Ö, “Seralarda Yüksek Sıcaklıkların Azaltılmasında Kullanılan Yöntemler” Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 2017, 4(1): 89-95
- [18] Söyler O, Çakır M, Kalpakçıoğlu H, Uğurluay S, Eren Ö, Çakır E, “SICAK HAVANIN TOPRAK ALTINA TRANSFERİ VE OPTİMUM ORTAM KOŞULLARINI SAĞLAYAN AKILLI SERA OTOMASYONU TASARIMI” MBD 2018, 7 (1): 1 – 9
- [19] Kandemir D, Uzun S, “Farklı ışık ve sıcaklık şartlarının sera biber yetiştiriciliğinde büyüme parametreleri üzerine kantitatif etkilerinin modellenmesi” Anadolu Tarım Bilim. Derg./Anadolu J Agr Sci, 34 (2019)