

MEKON 2021

BILINGUAL CONFERENCE

RECENT ADVANCES IN MECHATRONICS ENGINEERING MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİNDEKİ SON GELİŞMELER

The Largest International-Participated Mechatronics Student Conference in Türkiye
Türkiye'nin En Büyük Uluslararası Katılımlı Mekatronik Öğrenci Konferansı

EDITORS

PROF. DR. NİHAT AKKUŞ
ASSOC. PROF. DR. TUBA ÇONKA YILDIZ
DR. HAKAN BAŞARGAN

BİDGE Yayınları

RECENT ADVANCES IN MECHATRONICS ENGINEERING

Editors: Prof. Dr. Nihat Akkuş, Doç. Dr. Tuba Çonka Yıldız, Dr. Hakan Başargan

ISBN: 978-625-372-296-8

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayımlama Tarihi: 10.09.2024

BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya / Ankara



KONFERANS BAŐKANI (CONFERENCE CHAIR)

PROF. DR. NİHAT AKKUŞ

GEDİK ÜNİVERSİTESİ REKTÖRÜ

BİLİM KURULU (SCIENCE BOARD)

PROF. DR. AHMET FENERCİOĞLU

GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ

PROF. DR. ALİ BÜLENT UŐAKLI

KTO KARATAY ÜNİVERSİTESİ

PROF. DR. DURMUS KARAYEL

SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER
ÜNİVERSİTESİ

PROF. DR. HAYDAR LİVATYALI

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

PROF. DR. MEHMET AKAR

GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ

PROF. DR. MUSTAFA CANER AKÜNER

MARMARA ÜNİVERSİTESİ

PROF. DR. ŐENİZ ERTUĐRUL

İZMİR EKONOMİ ÜNİVERSİTESİ

DOÇ. DR. GÖKHAN GELEN

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

DOÇ. DR. SABRİ BIÇAKÇI

BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ

DOÇ. DR. SAVAŞ DİLİBAL

İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ

DOÇ. DR. TUBA CONKA YILDIZ

TÜRK-ALMAN ÜNİVERSİTESİ

DR. ÖĐR. ÜYESİ ALPER ÖZPINAR

İSTANBUL TİCARET ÜNİVERSİTESİ

DR. ÖĐR. ÜYESİ CEMİL KÖZKURT

BANDIRMA ÜNİVERSİTESİ

DR. ÖĐR. ÜYESİ MEHMET EMİN AKTAN

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

DR. ÖĐR. ÜYESİ MEHMET HAKAN DEMİR

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

DR. ÖĐR. ÜYESİ OSMAN ÜLKİR

MUŐ ALPARSLAN ÜNİVERSİTESİ

YÜRÜTME KURULU, ORGANİZASYON (EXECUTIVE BOARD, ORGANIZATION)

DR. HAKAN BAŞARGAN

İMİRAN YORULMAZ

M. ABDULLAH ÖZVER

ÖMER YAŞİN ADIGÜZEL

ZEKERİYA POLAT

BUDAPEST UNIVERSITY OF
TECHNOLOGY

GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ

DOĞU AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ

KARABÜK ÜNİVERSİTESİ

MARMARA ÜNİVERSİTESİ

SEKRETERYA (SECRETARIAT)

BAĞDAT NUR BAĞDU

BUSE NUR EMİR

ISPARTA UYGULAMALI BİLİMLER
ÜNİVERSİTESİ

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ



MEKON 2021

MEKON HAKKINDA

Uluslararası Katılımlı Mekatronik Öğrenci Konferansı, 25 Haziran 2021 tarihinde online olarak MEKATRONİK MÜHENDİSLERİ DERNEĞİ VE T.C. İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ tarafından gerçekleştirilmiş, öğrencilerin akademik çalışmalarını, uluslararası bir platformda sunma imkanı sağlayan Türkiye'nin en büyük Mekatronik Konferansı olmuştur. Türkiye, Macaristan ve Estonya'dan toplam 86 üniversiteden dinleyici ve katılımcının bulunduğu konferans, öğrencilerin danışmanları ile yazdığı makaleler kabul edilmiştir. Başvurusu gerçekleşen 44 tane makale arasından 40 tane makale kabulü gerçekleştirilmiş online olarak sunulmuştur ve 16 tanesi yayınlanmaya uygun bulunmuştur.

ABOUT MEKON

International Participation Mechatronics Student Conference was held online on June 25, 2021 by MECHATRONICS ENGINEERS ASSOCIATION AND T.C. ISTANBUL GEDİK UNIVERSITY and was The Largest Mechatronics Conference in Turkey that provided the opportunity for students to present their academic work on an international platform. A total of 86 universities from Turkey, Hungary and Estonia participated in the conference and the papers written by the students with their supervisors were accepted. Out of the 44 submitted papers, 40 were accepted and presented online and 16 of them were found suitable for publication.

TEŞEKKÜR

Bu konferansın organizatör kurumları Mekatronik Mühendisleri Derneği ve T.C. İstanbul Gedik Üniversitesi başta olmak üzere MEKON Konferans Başkanına, Bilim Kurulu'na, Yürütme Kurulu ve Organizasyon Ekibine, Konferans Sekretarya Ekibine, konferansa çalışmalarını ile katılım gösteren ekiplere, dinleyicilerimize ve bu kitabın hazırlanmasında emek veren tüm ekip üyelerimize teşekkürlerimizi sunarız.

ACKNOWLEDGEMENT

The organizing institutions of this conference, primarily the Mechatronics Engineers Association and Istanbul Gedik University of the Republic of Turkey, extend our gratitude to the MEKON Conference Chair, Scientific Committee, Executive Board and Organization Team, Conference Secretariat Team, teams actively participating in the conference, our audience, and all team members who contributed to the preparation of this book.

İÇİNDEKİLER (CONTENTS)

CONSTRUCTION OF A PORTABLE GAS MEASUREMENT SYSTEM FOR AN UNMANNED AERIAL QUADCOPTER	
Ahmet FAKHANI, Tuba ÇONKA YILDIZ	1
ANDROID-BASED EXERCISE TRACKING WITH RASPBERRY PI CONTROLLED IOT COMMUNICATION	
Mert Süleyman DEMİRSOY, Mustafa Çağrı KUTLU, Galip Serdar TOMBUL	9
DEVELOPMENT OF ACTIVE ORTHESIS AND IOT APPLICATION FOR THE LOWER LIMB	
Emre YILMAZ, Mustafa KUTLU	16
DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A REMOTE CONTROL SYSTEM FOR AN UNMANNED UNDERWATER VEHICLE	
Kareem AL-BADRI, Hakan BASARGAN	22
EVALUATION OF THE SAFETY BRAKING DISTANCE METHODS FOR THE APPLICATION OF AUTONOMOUS VEHICLE USING PRESCAN	
Aytaç GÖREN, Ege SAĞLAM, İsmail AYDOĞDU, Candan TORAMAN, Berk Ali ÇAM, Kerim Deniz KAYA	29
DESIGN OF A DIGITAL FARMING SYSTEM USING HIVE MIND INTELLIGENCE	
Özenç AYBEK, Baran KUZU, Enes SEVER, Aydın YEŞİLDİREK	37
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ İSTİHDAM ARAŞTIRMASI	
Rabia DOĞAN YILDIRIM	44
ROS TABANLI MOBİL OTONOM ROBOT (AMR) GELİŞTİRME	
Melih KORKMAZ, İzzet Fatih ŞENTÜRK	51
SPOKE TİPİ ON KUTUPLU FIRÇASIZ DOĞRU AKIM MOTORUNUN TASARIMI VE ANALİZİ	
Muhammed Mahbub İBİŞ, Ahmet FENERCİOĞLU	59
D-TİPİ PİLLERİ TAŞIMA/DİZİLİM İÇİN İKİ ÇENELİ ROBOTİK TUTUCU SİSTEM TASARIMI, YAPISAL ANALİZİ, PROTOTİP ÜRETİMİ VE KOLABORATİF ROBOTA ENTEGRASYONU	
M. Burak YILMAZ, Arca A. KEÇECİ, Murat KISA, Kubilay GÖÇER, Savaş DİLİBAL	66
ROBOT İŞLETİM SİSTEMİ TABANLI ÇEVRE ANALİZ VE BİLDİRİ ARACI TASARIMI	
Onur KOLSUZ, Aişen Berat ÖZEL, İsmail Tarık ÖZLÜK, Berk KAÇKA, Abdulkadir ŞANLI	74
SERİ ÜRETİM MONTAJ HATLARINDA İVME TABANLI MONTAJ TAKİP SİSTEMİNİN TASARIMI VE UYGULAMASI	
Fahri Çağatay ERGEN, Nihat AKKUŞ, İsmail TEMİZ	82
POZİTRON EMİSYON TOMOGRAFİSİNDE KULLANILABİLİR YENİ BİR SENSÖR BENZETİMİNİN YAPILMASI	
Halil UYGUN, Kübra ÜSTÜN, Tuba ÇONKA YILDIZ, Cansu KAPLANOĞLU	91

MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE PARKİNSON HASTALARI İÇİN SAĞLIK İZLEME VE TEDAVİ ÖNGÖRÜ SİSTEMİ TASARIMI

Berkay SELBES, Yunus Emre TELLİOĞLU, Selin YATKAYA, Sebahattin BABUR, Abdulkadir ŞANLI ____ 99

NEMA23 STEP MOTORLAR İÇİN KAPALI ÇEVİRİM SERVO SİSTEM GELİŞTİRİLMESİ

Ozan MUTLU, Koray IŞIK, Tuba ÇONKA YILDIZ, Tevfik KAPLANOĞLU _____ 107

MOBİL UYGULAMA TARAFINDAN KONTROL EDİLEBİLEN HAREKETLİ KAMERA SİSTEMİ

Okan ARSLAN, Beyzanur KAHYAOĞLU, Abdulkadir ŞANLI* _____ 114

CONSTRUCTION OF A PORTABLE GAS MEASUREMENT SYSTEM FOR AN UNMANNED AERIAL QUADCOPTER

Ahmed FAKHANI^{1,2,}, Tuba ÇONKA YILDIZ¹*

¹*Türk Alman Üniversitesi, Mühendisliği Fakültesi, Mekatronik, İstanbul, Türkiye*

²*Antalika, AR-GE, İstanbul, Türkiye*

ABSTRACT

Each day the air quality monitoring is getting more important issue in recent years due to climate change and air pollution. There are many reasons for measuring carbon dioxide (CO₂). One of them is that CO₂ can decrease productivity and affect the energy efficiency, high levels can lead to lethargy and fatigue. And for that reason, it is significant to be able to measure the CO₂ level. Therefore, it is worthy to measure it with a device that could reach places where people might not be able to have a fast access and additionally, this could be time saving, and would not endanger personal safety. In this article, the building of a real time CO₂ measurement system for a drone, which reads the CO₂ level, gets the coordinate of the global positioning system and displays them over a website will be introduced. The system consists of CO₂ sensors, position sensors, microcontrollers, GSM modules, database and websites. Before the selection of each component to be used in the project, market research is provided, where the choices will be explained in detail, besides the concept will also be explained. Additionally, the implementation will be described; providing the connection, the programming details and the test of the system will be presented to demonstrate the performance of the system. Drones are known to be used for racing, photography, searching and in this work the usage of the air quality monitoring will be discussed.

Keywords: Carbon dioxide, Air quality monitoring, Drones, Gas system. IoT

I. INTRODUCTION

Drones are becoming increasingly popular. They are still in their infancy in terms of mass adoption and use, but drones have already broken rigid traditional barriers in industries. From filming and photography to farming and surveillance to inspections and other areas, the use of drones is increasing rapidly. In addition, drones are faster and could move in more different directions in compare with similar innovation technology. Therefore, a carbon dioxide measurement system was developed to be loaded via a drone because CO₂ has been a very hot topic for a number of years as it is increasing in the air due to fossil fuel burning, climate change and also government policies.

II. MATERIAL AND METHOD

This project involves designing a system, selecting the components required for a gas measurement system for a drone by doing market research for the project, purchasing the required requirements, mounting the sensors, building the circuit, programming the microcontroller, as well as the design of the graphic user interface, which finally integrates the system and receives the incoming data from the microcontroller. The processes from the design and operation of the interface that enable the data to be obtained are discussed.

II.1 Infrastructure Of The System

The required hardware component is to be selected to obtain data on carbon dioxide in the air, latitude and longitude for the position. The operation of the system requires the construction of the circuit; namely soldering pins, power supply, etc. as well as the design of the graphic user interface, which finally integrates the system and receives the incoming data from the microcontroller. The processes from the design and operation of the interface that enable the data to be obtained are discussed.

II.2. System Components

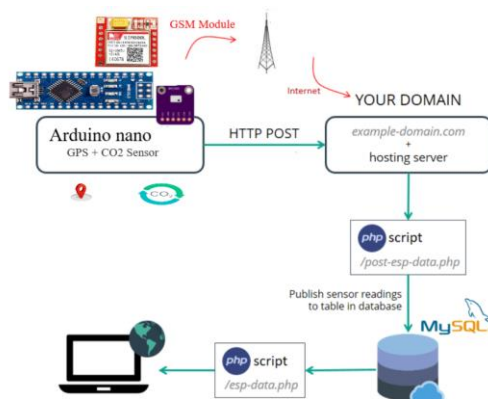


Fig. 1. The component of the designed gas system

Fig. 1 shows the structure of the system and here are the selected components:

The components of this project include three sensors and a microcontroller. These sensors are a GPS sensor for the data of longitude and latitude, a gas sensor for the carbon dioxide detection, a GSM module to send the data over a server. The microcontroller is used to process the data of sensors. For the user interface, a database will be needed to communicate with a GSM module and a website will be developed and designed to display the data.

NEO 6M GPS sensor:

The chip can track up to 22 satellites on 50 channels and has the highest sensitivity available, i. H. -161 dB tracking while consuming only 45 mA of supply current. In contrast to other GPS modules, up to 5 location updates per second can be carried

out with a horizontal position accuracy of 2.5 m. The chip communicates with a microcontroller via UART.

The module supports a baud rate of 4800 to 230400 bps with a standard baud of 9600. And it actually works by figuring out how far the device is from a number of satellites. The receiver then calculates how far away each satellite is by figuring out how long it takes for the signal to arrive. As soon as information is available about how far away, at least three satellites are and where they are in space, the exact location on earth can be determined.

CCS811 gas sensor

The CCS811 Air Quality Breakout is a digital gas sensor solution that detects a wide variety of TVOCs (Total Volatile Organic Compounds), including equivalent levels of carbon dioxide (eCO₂) and metal oxide (MOX). The CCS811 has a standard hot plate MOX sensor as well as a small microcontroller that controls the power supply to the plate, reads the analog voltage and provides an I2C interface for reading. This sensor measures the eCO₂ concentration (equivalent calculated carbon dioxide) in a range from 400 to 8192 ppm and the TVOC concentration (Total Volatile Organic Compound) in a range from 0 to 1187 ppm.

SIM800L GSM / GPRS module

It is a miniature GSM modem that can be integrated into a wide variety of IoT projects. With this module one can achieve almost everything that a normal mobile phone can. SMS text messages, making or receiving phone calls, connecting to the Internet using GPRS, TCP / IP. It supports quad-band: GSM850, EGSM900, DCS1800 and PCS1900. In addition, a connection to any global GSM network is established with any 2G SIM card. Finally, it is a serial AT command set.

Arduino Mega

The Arduino Mega 2560 is a microcontroller board based on the ATmega2560. It has 54 digital input/output

pins (of which 15 can be used as PWM outputs), 16 analog inputs, 4 UARTs (hardware serial ports), a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button.

II.3. Building The Circuit

The first thing to do was to soldering the pins for the sensors in order to provide electrical connection with the corresponding pins in Arduino, as shown in Figure 2.

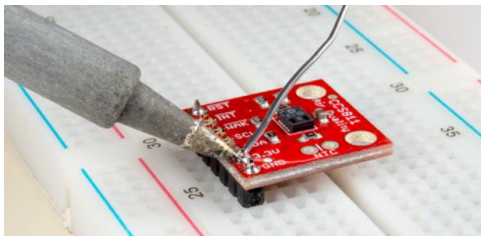


Fig. 2. The soldering of the pins of the sensors

The designed circuit consists of an Arduino Mega and a GPS NEO 6M sensor. NEO 6M sensors operate with voltage between 2.7 and 3.6 and because of that it was connected to the 3.3 V of the Arduino. For the power supply to the CCS811 carbon dioxide sensor, it operates with voltage range between 1.8 and 3.8 so it was also connected to the 3.3 V pins.

In addition, the communication protocol for GPS sensor is UART protocol, thus the TX and RX pins were used for the connection to Arduino. Gas sensor uses the I2C protocol, so for the connection, the SDA and SCL pins were used. Furthermore, a SIM800L GSM module also includes a UART protocol. The operating voltage of the chip is between 3.4 V and 4.4 V. One of the most important aspects for the functionality of the SIM800L module is the sufficient power supply. Depending on the state in which it is, the SIM800L can be a relatively power-demanding device.

The maximum power consumption of the module corresponds to a current of 2 A during the transmission burst. As this is too high to obtain from Arduino, a direct LiPo battery supply was utilized. Figure 3 shows the circuit diagram of the system and describes

the pins required for the communication and power supply.

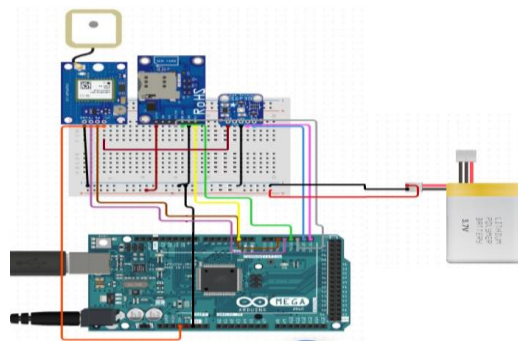


Fig. 3. The building of the circuit

II.4. Gas System Software Technology

This section shows the software technology of the system starting from the programming of the microcontroller to receive the data from the sensors and send it through the GSM module, additionally creating the database, integrating the system and finally designing the user interface.

As shown in Figure 4, the system starts with opening the GPRS connection and establishing the HTTP connection, then the system enters a loop reading the data from the sensor and then sending it by calling the URL and doing it again and again. This data is then saved in the database and the website calls it continuously.

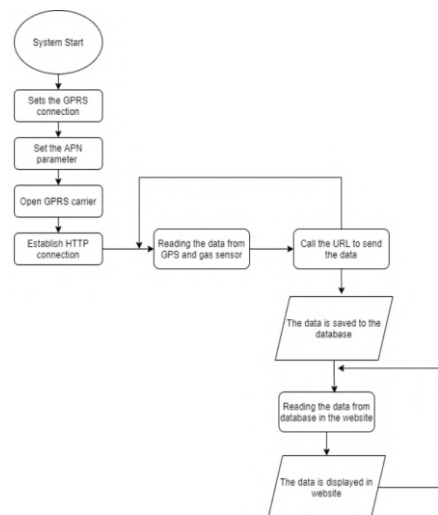


Fig. 4. The flowchart of the software architecture

II.4.1. Arduino programming

For obtaining the data of latitude and longitude from the GPS sensor (Figure 5) the TinyGPS++ library were used. TinyGPS++ is a new Arduino library for parsing NMEA data streams provided by GPS modules.

NMEA is an acronym for National Marine Electronics Association. All GPS manufacturers, including cellular module providers, support the standard NMEA GPS data format. GPS devices transmit location information in the NMEA standard. The ASCII formatted data are called sentences. There are many types of records, each containing specific information about the GPS data.

There are 19 interpreted sentences in the NMEA standard, the most common are: \$ GPRMC (Global Positioning Recommended Minimum Coordinates) indicates the time, date, latitude, longitude, altitude and estimated speed.

The \$ GPGGA record contains important fix data that provide 3D position and accuracy data.

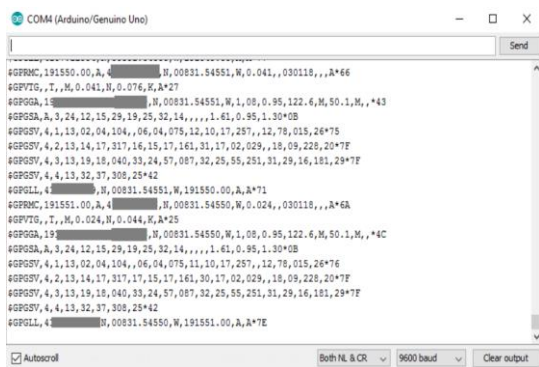


Fig. 5. The data from the GPS sensor

To get TinyGPS++ to work, it has to repeatedly funnel the characters from the GPS module using the encode() method. Then, it should query the GPS object to see if any data fields have been updated, Getting the latitude and longitude is by using gps.location.lat(), and gps.location.lng() function, respectively, as shown in Figure 6.

```
Latitude= 41.067783 Longitude= 28.942474
Latitude= 41.067783 Longitude= 28.942474
Latitude= 41.067783 Longitude= 28.942474
Latitude= 41.067783 Longitude= 28.942472
Latitude= 41.067783 Longitude= 28.942472
Latitude= 41.067783 Longitude= 28.942472
Latitude= 41.067783 Longitude= 28.942472
Latitude= 41.067783 Longitude= 28.942472
Latitude= 41.067783 Longitude= 28.942472
```

Fig. 6. The data from the GPS sensor

SparkFun CCS811 Arduino Library was used for the gas sensor. Using this library, the sensor can be initialized, polled for available data by ccs.available(), the data can be read using ccs.readData() and lastly the readings can be accessed with ccs.getCO2(). Figure 7 shows the reading of CO₂.

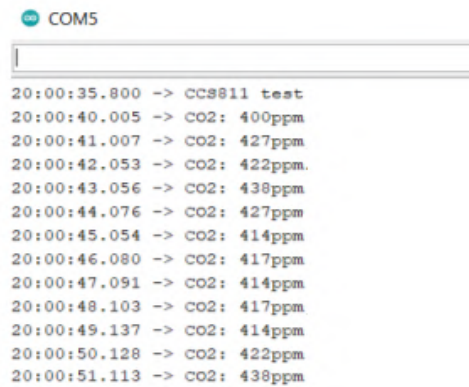


Fig. 7. The data obtained from the gas sensor

AT commands are instructions used to control a modem, they are also supported by GSM. Using the AT commands the sim800l can send data to a web server via HTTP using POST/GET. To access the Internet with the SIM800, GRPS is required. GPRS (General Packet Radio Service) is a service on the GSM network that enables packet-oriented data transmission. In addition, some configuration parameters are required, so the first thing to do is to open the GPRS connection for the SIM800l. Then the APN should be set, the APN (Access Point Name) is the access point (gateway) in the mobile network. The APN was found on the provider's website. Then the carrier should be opened and defined and last the HTTP service was initialized. After these operations, the command for

passing the URL to be called can be used as shown in Figure 8.

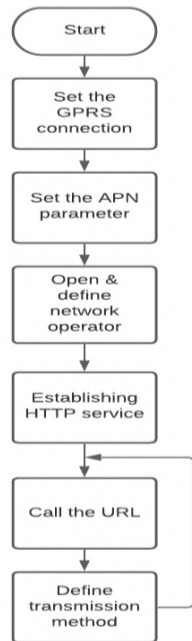


Fig. 8. The flowchart of the working principle for the GSM module SIM800L

II.4.2. Database creation

A database is an organized collection of data, generally stored and accessed electronically from a computer system. These model data as rows and columns in a series of tables, and the vast majority use SQL for writing and querying data. For creation of the database the XAMPP was used, as shown in Figure 9.

XAMPP is a PHP development environment, free and open-source cross-platform web server solution stack package, consisting mainly of the Apache HTTP Server. First the system was created, then a table with the required parameters: carbon dioxide, latitude, longitude and time.

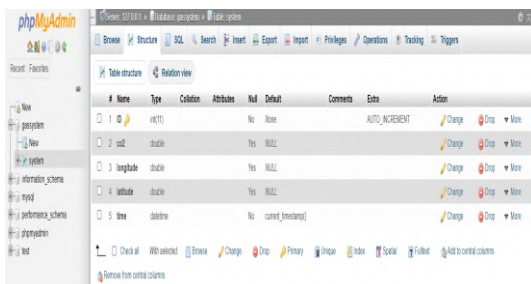


Fig. 9. The creation of the database in phpMyAdmin panel

After the creation of the database over the locale server, the database should be uploaded over the cPanel of the created website.

II.4.3 Back-end web development

Back-end development refers to the server side of an application and everything that communicates between the database and the browser (Figure 10). The code for the communication of the database information to the browser was written with PHP language. First thing to do was to create a connection by the server name, user name and password between the website and the database, then to check the connection. The second thing was to get the data from the table in the database, to display it over the website and to produce the table of the parameter needed to be accessed. In addition to accessing the table, the coming data should be selected to be able to display at the website.

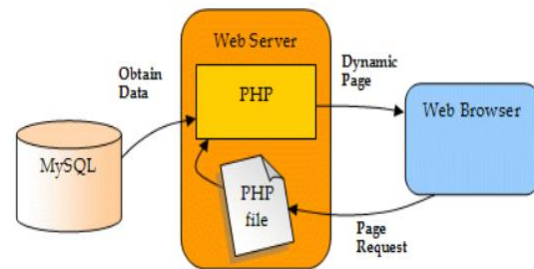


Fig. 10. Back-end web relations

II.4.4. Front-end web development

Front-end web development is the practice of converting data to a graphical interface, through the use of HTML, CSS, and JavaScript, so that users can view and interact with that data.

Front end development manages everything that users visually see first in their browser or application. The code that was used for developing the front-end web was HTML and CSS. Hyper Text Markup Language (HTML) is the backbone of any website development process, without which a web page does not exist.

Cascading Style Sheets (CSS) controls the presentation aspect of the site and allows the site to have its own unique look. This

language was used to create a GUI that has a section showing the position on a Google map by using the iframe, live data for CO₂ and time, as shown in Figure 11. In addition, another section was created for the table to display all the data and the table has a plugin allowed to be exported to an Excel, PDF or CSV file, also a delete button was created to have the chance of deleting the data after exporting it. The page has an automatic refresh every five seconds for displaying the new data from the database.



Fig. 11. The designed user interface

III. RESULTS AND DISCUSSIONS

In this section of the paper the test that measures the performance of the project will be explained to evaluate the work that has been done. The first test done is the indoor and outdoor test. The two devices that are required for indoor and outdoor signal tests are the GPS and GSM modules. Since the GSM is an AT command based device, a command to test the signal was found and that command was "AT + CSQ", as shown in Figure 12.

```
16:07:33.881 -> at+csq
16:07:33.881 -> +CSQ: 26,0
16:07:33.881 ->
16:07:33.881 -> Ok
```

Fig. 12. Testing GSM Module with "AT+CSQ command

This is a command that returns the signal strength of the device. The test for the signal was done inside and outside the room and showed no significant difference. The signal that was displayed inside the room

was the value 26 and corresponds to -61 dBm, which as shown in Table 1 an excellent signal of the GSM module.

Table 1. The meaning of the value from "AT+CSQ command

Value	RSSI dBm	Condition
0	-113 dBm or less	not known or not detectable
1~9	-109~-95 dBm	Marginal
10~14	-93~-85	Ok
15~19	-83~-75	Good
20~30	-73~-53	Excellent
99	-	not known or not detectable

The signal received outside was equal to 28, which is almost the same as the signal inside.

There is no way for the GPS to measure signal strength using a command like the GSM, as it is not a command-based device. However, it was able to try to determine the location inside and outside the room. Also, the maximum update rate of the navigation is 5 Hz and in the test, the location was updated in 200 ms, which is in line with the maximum update rate of the module, see Figure 13.

```
15:09:43.700 -> Latitude= 41.067783 Longitude= 28.942474
15:09:43.747 -> Latitude= 41.067783 Longitude= 28.942474
15:09:43.794 -> Latitude= 41.067783 Longitude= 28.942474
15:09:43.841 -> Latitude= 41.067783 Longitude= 28.942474
15:09:43.889 -> Latitude= 41.067783 Longitude= 28.942474
15:09:43.936 -> Latitude= 41.067783 Longitude= 28.942472
15:09:43.982 -> Latitude= 41.067783 Longitude= 28.942472
15:09:44.028 -> Latitude= 41.067783 Longitude= 28.942472
15:09:44.077 -> Latitude= 41.067783 Longitude= 28.942472
15:09:44.121 -> Latitude= 41.067783 Longitude= 28.942472
15:09:44.168 -> Latitude= 41.067783 Longitude= 28.942472
```

Fig. 13. The updating of the navigation for the GPS sensor

As the test shows, the signal from the module inside and outside the room was good enough and the update rate corresponded to the data sheet. The tests, in which the performance of the signal of the two devices GPS and GSM was measured, was carried out over a long period of time. Another test was planned, the data transfer rate test, which determines the frequency with which the data is sent to the website. There are two protocols available, TCP and HTTP. In the first test, the use of the TCP

was carried out. When trying to send some data to the website, it was found that the protocol was closed each time the data was sent and must be reopened, which made it slower to send the data and it was found that this protocol is not suitable for the system designed to work with a drone, see Figure 14.

```

AT+CPIN?
+CPIN: READY
OK
AT+CREG?
+CREG: 0, +CSTT="airtelgprs.com"
OK
AT+CIICR
OK
AT+CIFSR
10.86.213.130 AT+CIPSPRT=0
OK AT+CIPSTART="TCP","api.thingspeak.com","80"
OK
CONNECT OKAT+CIPSEND GET
https://api.thingspeak.com/update?api_key=013A0CHYNU21,019&fie
ld1=23.20&field2=37.00 GET
https://api.thingspeak.com/update?api_key=013A0CHYNU2L019&0
SEND OK 10
CLOSED
    
```

Fig.14. Sending data with a TCP protocol

After working with the TCP protocol, the HTTP protocol was also tried. One advantage of HTTP is that after establishing the http connection, this protocol does not have to be closed and reopened. The HTTP protocol must call the URL and then define the transmission method and there must be a delay between these commands in order to receive the response from the GSM module, and various delays from 15 seconds to 4 seconds (Figure 15) have been tried for this, with more than 4 s there was a problem in picking up a response from the GSM module. By this test it was decided that the four seconds is the perfect data transfer rate.

43	421 ppm	41.067856	28.942461	2021-06-30 02:28:29
42	456 ppm	41.067863	28.942459	2021-06-30 02:28:25
41	456 ppm	41.067867	28.942459	2021-06-30 02:28:21
40	436 ppm	41.067871	28.942457	2021-06-30 02:28:17
39	459 ppm	41.067875	28.942457	2021-06-30 02:28:12
38	400 ppm	41.067871	28.942459	2021-06-30 02:28:08
37	400 ppm	41.067863	28.942461	2021-06-30 02:28:04
36	432 ppm	41.067863	28.942461	2021-06-30 02:28:00
35	418 ppm	41.067863	28.942463	2021-06-30 02:27:56

Fig.15. The designed user interface

V. CONCLUSIONS

In this study, a gas system was made that can be carried via a drone and has a user interface to vividly review the data. The functionality of the system is tested to collect the data from the sensors and send it to a website. In addition to the function test, the accuracy test and the indoor test are carried out outdoors.

The system consisted of three sensors, the GPS sensor, gas sensor and a GSM module, an Arduino Mega microcontroller board. For the user interface, a database was created to receive the data every 4 seconds and store it, and a website was developed. The aim of the system is to improve the use of the drone for air quality monitoring, which could be done without human going to the place to be monitored, thereby reducing the likelihood of the side effects of carbon dioxide and its impact is a faster way that saves time.

This project is just a start for air quality monitoring by drones, in the future many improvements could be made like monitoring other dangerous gases, and through many improvements in the field of drones, an autonomous drone can be used in this system without human intervention.

VI. REFERENCES

- [1] R. Lindsey, (2020), Climate Change: Atmospheric Carbon Dioxide. Published by : climate.gov,p.1-5.
- [2] D. S. Robertson. (2006). Health effects of increase in concentration of carbon dioxide in the atmosphere. Published by: Current Science Association, 1607-1609.
- [3] F. Xu J. Uh M. R Brier. (2010). The Influence of Carbon Dioxide on Brain Activity and Metabolism in Conscious Humans., The Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism. p. 6.
- [4] Tyler A. Jacobson, Jasdeep S. Kler, Michael T. Hernke, Rudolf K. Braun, Keith C. Meyer & William E. Funk. (2019). Direct human health risks of

- increased atmospheric carbon dioxide, *Nature Sustainability*. p. 691–701.
- [5] Drone technology uses and applications for commercial, industrial and military drones in 2021 and the future, 2021, Published by : Insider Intelligence.
- [6] V. Tzivaras (2015). Building a Quadcopter with Arduino, Published by Packt Publishing Ltd. p. 0-124
- [7] Andrea Adami and Leandro Lorenzelli. (2014). Gas-Drone: portable Gas Sensing System on UAVs for Gas Leakage localization. *IEEE*. P.1-4.
- [8] Musab Awad Asad. (2017). Development of autonomous drone for gas sensing application. *Research Gate*. Researchgate. P. 1-6.
- [9] Amir Khan, David Schaefer Lei , David J. Miller 1,2, Kang Sun, Mark A. Zondlo, William A. Harrison, Bryan Roscoe and David J. Lary. (2012). Low Power Greenhouse Gas Sensors for Unmanned Aerial Vehicles. *Remote Sensing*. P.1-14.
- [10] Lars Yndal Sørensen , Lars Toft Jacobsen and John Paulin Hansen. (2017). Low Cost and Flexible UAV Deployment of Sensors. *MDPI journal*. P. 1-13.
- [11] Introduction to Gas Sensors: Construction Types and Working, (2019), published by : Components101.
- [12] D. Smith, CO2 Sensors: Which Type Should You Be Looking For, (2019) published by : Kaiterra,. 45.
- [13] Kinnera bharath kumar sai, somula ramasubbareddy and ashish kr. Luhach.(2019). Iot based air quality monitoring system using mq135 and mq7 with machine learning analysis, *Scalable Computing: Practice and Experience*. P. 1-8.
- [14] Javier Burgués and Santiago Marco. (2020). Environmental Chemical Sensing using Small. *Science of the Total Environment*. P. 16-20.
- [15] Z. Jiang, Y. Li, X. Zhang, J. Wang and W. Sun, Study of Wireless Electricity Acquisition System Based on GPRS for Seawave Power,(2012), published by : scientific.net,p. 1-6.
- [16] Interface ublox NEO-6M GPS Module with Arduino, 1166-1170, published by : last minute engineers.
- [17] L. Szolga, L. Pavelea, Security System with High Autonomy of Operation, (2021), published by : IEEE,p. 1-4.
- [18] S. Dwairi, Development of an Ontology-based Framework and Tool for Employer Information Requirements, , published by : UWE Bristol. P. 205-210.
- [19] T.Prasad,S.Mohammed, Suhail M.Nagarjuna and P.Sai kumar , Detection and Warning System for Fireworks Warehouse Based On Wireless Sensor Networks,(2015) , published by : slideshare.net,p.1-5.
- [20] Guachi, R. Toasa, Dashboard design to assess the impact of distinct data visualization techniques in the dynamic analysis of survey's results, (2018), published by core,p.103-113

ANDROID-BASED EXERCISE TRACKING WITH RASPBERRY PI CONTROLLED IOT COMMUNICATION

Mert Süleyman DEMİRSOY¹, Mustafa Çağrı KUTLU¹, Galip Serdar TOMBUL²

¹ *Sakarya University of Applied Sciences, Graduate Education Institute, Mechatronics Engineering, Sakarya, Turkey*

² *ASELSAN Inc., Ankara, Turkey*

ABSTRACT

Rehabilitation is a laborious and costly treatment process. It is known to be very effective when done early after a stroke, but not all patients can have therapy during this time. In addition, intensified sessions and goal-oriented rehabilitation significantly increase rehabilitation efficiency at home. As the number of patients increases, rehabilitation requirements become more difficult to meet. Rehabilitation robots help the therapist treat several patients at the same time and reduce the workload. However, the rehabilitation robots are expensive and they are not mobile. Development of additive manufacturing increases the potential and costs of some rehabilitation robots such as exoskeletons. The use of these robotic systems in the process of rehabilitation is also an important technical problem. Therefore, exoskeletons for robotic rehabilitation should be designed to wrap the patient's limbs according to their anatomical structure. Furthermore, exoskeletons are intended to be used in home-based environment and should be easy to use and don/doff by the patient. However, there is still need for tracking rehabilitation progress by professionals. The concept of Internet of Things (IoT) can be implemented which defined as network to connect everything to the Internet, based on set protocols through information. The system developed in this paper supports training of arm through substantial innovations in the IoT hardware, sensing equipment, control algorithms, and mobile applications. In particular, the system integrates two important components. The first is an IoT device (microcontroller) running the control algorithm. The second is user interfaces (mobile phone applications) for physiotherapist and patients.

Keywords: EMG, Exoskeleton, IoT, Rehabilitation, Iterative learning control

I. INTRODUCTION

Stroke is the second biggest cause of adult disability in Turkey. Approximately, 1 out of every 6 people have a stroke once in their life. The number of stroke related deaths is between 35.000 and 40.000 per year. While, 210.000 patients left with severe disability [1]. Stroke rehabilitation is a laborious and costly treatment process. It is known to be very effective when done early after a stroke, but not all patients can have therapy during this time. In addition, intensified therapy sessions and task-oriented rehabilitation increase

motor development considerably. Physical rehabilitation can be effective in treating patients years after the stroke. As the number of stroke patients increases, rehabilitation needs become more difficult to meet.

Rehabilitation robots will be an alternative to increased rehabilitation requirements compared to conventional treatment methods. Compared to conventional therapy by physiotherapists, robotic rehabilitation has considerable advantages, such as more intensive and longer therapy sessions and

better reproducibility of movements. Rehabilitation robots help the physiotherapist treat several patients at the same time and reduce the workload. This leads to lower treatment costs [2, 3].

Robotic rehabilitation includes additional functions such as recording and analyzing patient performance information. Also, virtual reality, computer games etc. in robotic rehabilitation. with such applications, the active participation of the patient in the rehabilitation process can be increased. Robotic systems designed for rehabilitation purposes; it can be divided into several groups, such as therapeutic exercise robots, movement-assisting exoskeleton robots, prosthesis and walking rehabilitation robots.

Exoskeletons for robotic rehabilitation should be designed to wrap the patient's limbs according to their anatomical structure. In this paper, it aims to make a prototype of an exoskeleton in an ergonomic structure for arm rehabilitation. The use of robotic systems in the process of physical rehabilitation is an important technical problem. Therefore, this project is intended to be used and developed in upper limb rehabilitation and to be involved in clinical testing.

Recent development of additive manufacturing reduces the cost of wearable rehabilitation robots. This results production of a home-based rehabilitation robots. However, there is still need for tracking rehabilitation process by professionals. In order to follow patients development. The concept of Internet of Things (IoT) can be implemented which defined as network to connect everything to the Internet, based on set protocols through information [4, 5].

The system developed in this paper supports training of arm through substantial innovations in the IoT hardware, sensing equipment, control algorithms, and mobile applications. In particular, the system integrates two important components. The first is an IoT device and a microcontroller running the control algorithm. The second is a user (physiotherapist) terminal combining a

mobile phone application for real time patient training.

II. SYSTEM OVERVIEW

The system consists of 5 components. The patient places the exoskeleton in his arm for rehabilitation in a home setting. The EMG electrodes are placed on the triceps. The force sensor is embedded on the exoskeleton. In the developed design, a flexible and ergonomic design was implemented in order to use it in the rehabilitation of patients of different heights.

A cloud-based communication method is used for data transfer. EMG, joint angle and force signals are received by the sensors and fed to the microcontroller. These are transferred to the mobile application along with error data. The patient performs tasks recommended by the physiotherapist. The patient can also choose different goal-oriented tasks which can be found from main mobile application screen. On the application side, the data is transferred to the cloud via a communication network and collected in the database.

The physiotherapist utilises a mobile app to identify suitable tasks and monitor rehabilitation progress. System overview and 5 different subviews are shown in Figure 16. They are EMG connections, mobile application interface, controller, exoskeleton and force sensor.

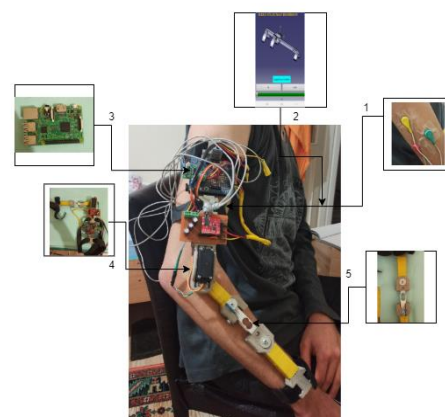


Fig.16. System overview

II.1. Task Design

Recent pandemic affects rehabilitation process crucially. This is due to lack of mobility of patients and restrictions applied by governments. Therefore, home based goal oriented rehabilitation become more important. A physiotherapist can guide a patient to perform activities of daily living in a home setting. However, this is a costly process and there is not enough resources.

The developed system aims to support goal oriented tasks consisted of 4 different types of movements. These are 1) ipsa lateral reach, 2) contra lateral reach, 3) far reach, and 4) near reach. The exoskeleton is worn accordingly in the wrist and triceps area. The surface EMG sensors are placed in the triceps muscle. The microcontroller connection is established with the mobile app.

The task is started by selecting the start button from the application. Then, the system waits for EMG signals to trigger the selected task or starts after 3 seconds. This depends on physiotherapist's choice. If enough EMG signal is acquired from participant's muscle then this button can be activated. The data is sent to the cloud via IoT. The physiotherapist examines the data from the master application.

II.2. System Software

Internet of Things (IoT) is now a reliable technological standard and a heavily researched field. Sensors are being used almost everywhere, from everyday products to industrial monitoring systems. The use of IoT and sensor-based intensive health care systems are increasing rapidly [4]. IoT makes our life smarter, more efficient and easier.

IoT, various physical and virtual objects with evolving mobile devices and sensor networks it aims to create a dynamic global network infrastructure by connecting it together. IoT initially combines, through RFID technology, uniquely identifiable objects and virtual representations of objects in an internet-like structure. In this paper, IoT aims to be used as a system that takes information from the patient with the help of a mobile application and transfers it to a server in the center, thus

allowing the physiotherapist to learn about the patient's treatment status.

The connection diagram of the internet of things in wearable rehabilitation devices is shown in Figure 17.



Fig.17. Internet of Things in Wearable and Implantable Healthcare Devices [6]

The developed system's software and data flow is detailed in Figure 18. The controller is programmed in a custom made python script. Mobile application interfaces for patients and physiotherapists were developed in MIT App Inventor and implemented. EMG signals are processed with the module card. Data from the exoskeleton is transferred to the patient's mobile app via bluetooth. All the data that is transferred to the mobile app is collected in the firebase cloud environment with the help of IoT. Then, it can be displayed on the physiotherapist's mobile app.

A similar IOT diagram of the wearable exoskeleton shown in Figure 17 is applied in Figure 3. The data from the sensors placed on the exoskeleton to receive different data are displayed in the mobile application. The data in the mobile application is collected in the cloud environment with IOT over wifi. The collected data is transferred to the mobile application of the physiotherapist as shown in Figure 18.

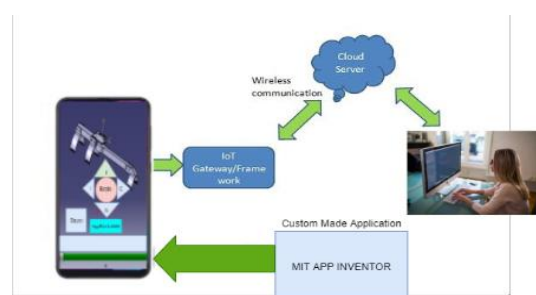


Fig.18. Software block diagram

II.3. System Hardware

This paper explains a Raspberry pi controlled remote monitoring system. Raspberry Pi is a credit card sized single board computer with ARM11 microprocessor. In this study, a system is designed to continuously monitor the Electrocardiogram (ECG) and other vital parameters. This data is stored in a cloud and can be displayed in a cloud that can be accessed only by physiotherapist. Raspberry pi [3] is installed with a Linux based operating system, Raspbian, supports all programming languages like C, Python etc. For easy access, Python programming language is used for the communication.

Raspberry Pi weights only 50g. It uses power rating of 5V, 700mA and cost effective than an actual computer. The board comes in different models A, B and a more advanced version B+. The raspberry pi 3 B model has 1024 MB RAM, runs on 64-bit 1.4GHz A53/ARMv8 processor and has an operating frequency around 700MHz. Operating systems like Raspbian, Pidora, and Raspbmc can be installed using a SD card. Different peripherals like mouse, keyboard, Wi-Fi adapter can be connected using its four USB2.0 ports to make it a full size computer. Also the board consists of an Ethernet port to connect to network, GPIO pins to interface and control switches, sensors, LEDs and other devices.

All kinds of monitors like projectors, LCD screens, Tvs can be connected using HDMI port. Some additional features include the audio jack and the camera connector to interface camera. These numerous features enable the users to use Raspberry pi in wide range of applications. The controller we used in our study is shown in Figure 19.

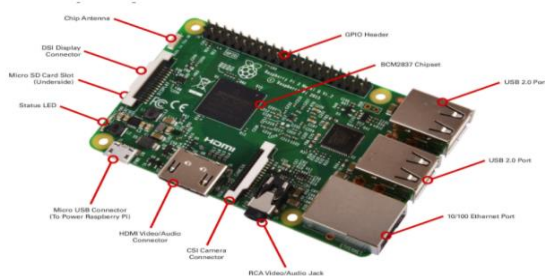


Fig.19. Raspberry pi 3b board

EMG module receives signals from muscles and trigger the selected task. The processing of EMG signals and the choice of the most suitable method are important. The EMG module requires the voltages +5V and -5V. This voltage also required to feed the servo motor. Signals from electrodes are noticed and amplified in the IC. These signals are then transferred to the corresponding signals with the aid of a bandpass filter. Negative parts are eliminated with a half-wave rectifier. The functional basic unit of the skeletal muscles are motor units. As a result of the excitation from a single motor unit, the extracellular potential changes through needle electrodes last between 3 and 5 ms and their amplitude is 20-2000 mv, depending on the size of the motor unit. As soon as the resulting signals cross the controller's threshold, the servo triggers the motor and helps the lever make the desired movement.

III. BIOMECHANICAL MODEL

The x_1 , y_1 and z_1 definitions shown in Figure 20 are used to describe the movements occurring in the shoulder region. There are straps in the areas from elbow to wrist (f) and from shoulder to elbow (u) shown in Figure 20. The elbow angle is taken as θ_f in one axis and used in the equation.

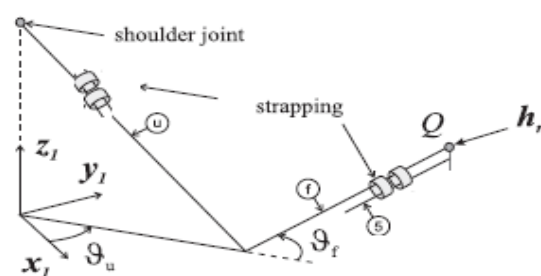


Fig.20. Geometry of human arm system

Fig. 20 shows the geometry of the dual human arm system. Fig. 21 provides a more detailed description of the geometry of constrained human arm model that appeared in Fig. 20. The first link represents the upper arm, from the shoulder joint to the elbow, with length $(l_{u1} + l_{u2})$. The second link represents the forearm, from the elbow to the thumb web,

with length $(I_{f1} + I_{f2})$. The constraint means that the forearm must lie in the horizontal plane, and rotation is possible about the axis along the upper arm. The triceps has been selected for triggering since stroke patients typically experience problems with shoulder and elbow extension during reaching tasks.

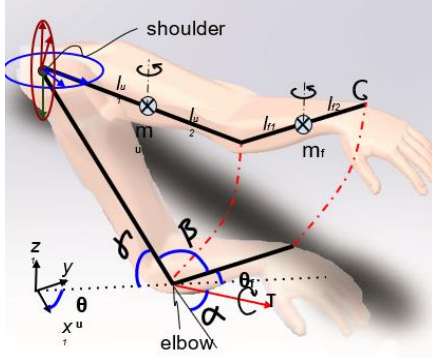


Fig. 21. Geometry of constrained human arm

As ϑ_f increases, the angle that V_e rotates about the upper arm, starting from \hat{V}_e , is the given by

$$\alpha(\vartheta_f) = \arccos\left(\frac{V_e \cdot \hat{V}_e}{|V_e| |\hat{V}_e|}\right) = \arccos\left(\frac{c_f s_\gamma}{\sqrt{1 - c_f^2 s_\gamma^2}}\right) \quad (1)$$

V_e is a vector elongated at the elbow axis. V_u represents the vector extended along the upper arm and V_f the vectors extended along the forearm.

The elbow angle (ϑ_f) is equal to

$$\beta(\vartheta_f) = \arccos\left(\frac{V_u \cdot V_f}{|V_u| |V_f|}\right) = \arccos(-c_f \cdot c_\gamma) \quad (2)$$

The dynamic model of the constrained arm can now be expressed in the form

$$B_a(q_a) \ddot{q}_a + C_a(q_a, \dot{q}_a) \dot{q}_a + F_a(q_a, \dot{q}_a) = \tau_a - J_a^T(q_a) h_a \quad (3)$$

B_a , q_a and J_a these represent load, torque in the constrained dynamic model equation. Most of the advanced controllers require a well defined model. Therefore, it is necessary to implement a biomechanical model of the human arm. Its terms are:

$$B_a(q_a) = \begin{bmatrix} b_{a1} & b_{a2} \\ b_{a2} & b_{a3} \end{bmatrix}, \quad C_a(q_a, \dot{q}_a) = \begin{bmatrix} -2C_{a1} \dot{\vartheta}_f & -C_{a1} \dot{\vartheta}_f \\ C_{a1} \dot{\vartheta}_u & C_{a2} \dot{\vartheta}_f \end{bmatrix} \quad (4)$$

The angular axes of the exoskeleton are shown in Figure 22 for modeling the human arm.

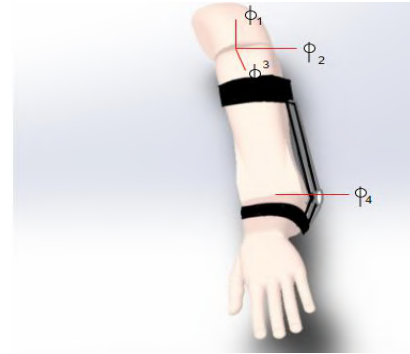


Fig.22. Geometry angles of the human arm

As seen in Figure 22, movement will occur in 3 axes in the shoulder region and these are indicated by ϕ_1 , ϕ_2 , ϕ_3 . In the elbow region, it is shown as ϕ_4 because movement will occur in a single axis.

IV. CONTROLLER DESIGN

The error signal of the PID controller is the difference between the arm real-time angle and the target arm joint angle. The PID controller was established in the FE model with Ls-Dyna codes. It was used to calculate the control signal $u(t)$, which was then transferred to muscle activation levels based on muscle activation dynamics for upper extremity locomotion. In each time step, the muscle activation level was iteratively adjusted by the PID controller to minimize the signal error $e(t)$, namely minimize the arm joint angle difference between the simulation results and the experimental data. The formula for the PID controller was as follows:

$$e(t) = D(t) - y(t) \quad (5)$$

$$u(t) = k_p * y_d(t) + k_i * \int_0^t y_d(\tau) d\tau + k_d \frac{dy_d(t)}{dt} \quad (6)$$

Where $e(t)$ is the arm joint angle error signal, $y_d(t)$ is the real-time arm joint angle after neural delay, k_p , k_i and k_d are the proportional, integral, and differential gains of the PID controller, which were set as constant according to Andersson (2013) research [7].

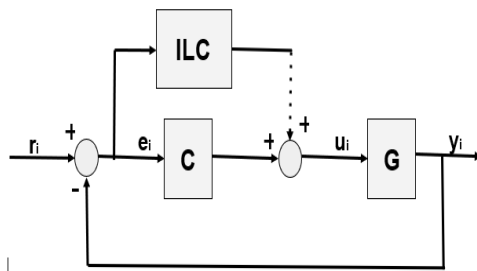


Fig.23. Iterative learning control block diagram

Iterative learning control (ILC) setting for processes which are required to continually repeat the same task over a finite interval with resetting between trials. The salient feature of ILC is to use information from previous trials to update the current trial input so that performance is successively improved training. The unit feedback block diagram of the ILC is shown in Figure 23.

V. CONCLUSIONS

The environments in which doctors or other health care officials can best monitor the patient for chronically ongoing diseases are the patient's natural life. Because of this, various portable monitoring devices are needed to monitor patients in their natural life. These devices receive data from patients in the relevant health service by sending them to their servers, it can enable them to make various decisions more efficiently for that person and for the future in health care.

In this study, a new approach is presented, that works in an automatic way, guaranteeing a seamless monitoring of EMG signals and other health parameters. Realized system can be a prototype for health care system to monitor patient's vital signals. Raspberry pi is used for this application because of its multi-tasking capability and low power consumption. Also this system can be installed easily in all the home and huge data obtained can be stored in the database. Raspberry Pi, with its broad variety of features can be used for several purposes and have much scope in future. The results will be transferred from a mobile phone to a database

via an app, reducing the intensity of the patients in hospitals.

The study was designed for physiotherapy for patients with muscle dysfunction with support from the advanced controller. The exoskeleton produced with additive manufacturing process allowed an individual and adjustable size. Together with the utilized loadcell, it protects arm from overloads affecting the arm. The purpose of the servo motor is to make it easier to control the motor position for the desired arm position. The advantage of using a small servo motor is that it is lighter. The downside is that the motor choice is small and the moving point exceeds the potential deformation, this can be removed with a composite or other material, unlike other home-based devices, cross-device communication is via the Internet of Things (IoT) and with the designed android application, training data is transmitted to the physiotherapist via the cloud. The mobile app design was created with the MIT App Inventor. In the future, work should be focused on performance tests of the rehabilitation from home settings. Another future work aims to utilize big data and machine learning to improve autonomy of the system. Implementation of advanced control algorithms also aimed such as Multiple Model Based Adaptive Control and Impedance Control as well as implemented Iterative Learning Control [6 - 8].

VI. REFERENCES

- [1] Turkish Ministry of Health. Health statistics yearbook; 2019.
- [2] Meadmore, K. L., Hughes, A. M., Freeman, C. T., Cai, Z., Tong, D., Burridge, J. H., & Rogers, E. (2012). Functional electrical stimulation mediated by iterative learning control and 3D robotics reduces motor impairment in chronic stroke. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 9(1), 1-11.

- [3] C.T.Freeman, A.-M.Hughes, J.H.Burrige, P.H.Chappell, P.L.Lewin, E.Rogers, Iterative learning control of FES applied to the upper extremity for rehabilitation, Volume 17, Issue 3, March 2009, Pages 368-381.
- [4] Riazul Islam, S.M., Kwak, D., Kabir, H., Hossain, M.,Kwak, K.S. (2015). The internet of things for health care: a comprehensive survey. *IEEE Access*, 3: 678-708.
- [5] Andrej Grguric, Miran Mošmondor, Darko Huljenic, Development of low cost energy efficient home sensing internet gateway: A pilot study, *Black Sea Conference on Communications and Networking (BlackSeaCom) 2016 IEEE International*, pp. 1-5, 2016.
- [6] Öcal H., Doğru İ. A. ve Barışçı N., Akıllı ve geleneksel giyilebilir sağlık cihazlarında nesnelerin interneti, *Politeknik Dergisi*, 22(3): 695-714, (2019).
- [7] Andersson, 2013 S. Andersson, Active Muscle Control in Human Body Model Simulations - Implementation of a feedback control algorithm with standard keywords in LS-DYNA. MSc Thesis Chalmers University of Technology; Gothenburg, Sweden (2013).
- [8] Brend, O., Freeman, C., & French, M. (2015). Multiple-model adaptive control of functional electrical stimulation. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 23(5), 1901-1913.
- [9] Dietrich, A., *Whole-Body, Impedance Control of Wheeled Humanoid Robots*, ISBN 978-3-319-40556-8, Springer International Publishing, 2016.
- [10] Lo B.P.L., Ip H. and Yang G.-Z., Transforming Health Care, *IEEE Pulse*, 7: 4-8, (2016).
- [11] Hooshmand M., Zordan D., Testa D.D., Grisan E., Rossi M., Boosting the Battery Life of Wearables for Health Monitoring Through the Compression of Biosignals, *IEEE Internet Of Things Journal*, 4(5): 1647-1662, (2017).
- [12] Alexander A. and Arun C.S., Mobile ECG Monitoring Device Using Wearable Non Contact Armband", *International Conference on circuits Power and Computing Technologies*, Kollam, 1-4, (2017).
- [13] Ahouandjinou, A.S., Assogba, K., Motamed, C. (2016), Smart and pervasive ICU based-IoT for improving intensive health care. 2016 International Conference on Bio-engineering for Smart Technologies (BioSMART), pp. 1-4.
- [14] Raj, C., Jain, C., Arif, W. (2017). HEMAN: Health monitoring and nous: An IoT based e-health care system for remote telemedicine. 2017 International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET), pp. 2115-2119.
- [15] Silva, F. A. N. G., Luz, A. B., Sampaio, J. A., Bertolino, L. C., Bernstein, S. R., Duttine, M., and Silva, F. T. (2009), Technological characterization of kaolin: Study of the case of the Borborema-Seridó region (Brazil). *Applied Clay Science*, 44 (3-4), 189-193

DEVELOPMENT OF ACTIVE ORTHESIS AND IOT APPLICATION FOR THE LOWER LIMB

Emre YILMAZ Mustafa KUTLU

Sakarya University of Applied Sciences, Department of Mechatronics, Sakarya, Turkey

ABSTRACT

Today the internet is very widespread in every area of research and has begun to participate in the lives of people in almost all around the world. In current era, a wide variety of devices can be connected to the Internet which is called Internet of Thing (IoT). The lack of availability of these technological developments in rehabilitation devices, rehabilitation centers affects the treatment time of patients. Furthermore, the restrictions because of pandemic also affect the healing processes of patients. For patients who need continuity of treatment has a great importance as intensity of training. Especially, patients with lower extremity problems have mobility problems. In this case in particular, the IoT will lead to the lower limbs rehabilitation being carried on in the home environment and the using frequency and pressure of lower limb being able to be monitored through cloud communication. In this article an active orthoses design was developed which can transfer data to mobile applications for the patient and the doctor. The system differs from other orthoses with these properties. Firstly, the system developed can be customized specifically for patients, and the doctor can easily monitor the healing process of several patients via his mobile device and give real time feedback to the patient about the use of the device. Second, the system immediately records the pressure the patient is putting in the center, and when the pressure exceeds the threshold set by the doctor, it sends a notification and vibration to the patient. In this way, the patient's follow-up and treatment processes can continue without interference. It is a device that has the potential to be used in many fields including sports medicine.

Keywords: IoT, Lower-Limb, Rehabilitation, Mobile Application

I. INTRODUCTION

The most common injuries that occur in the general population as well as in athletes are foot and ankle. The abundance of anatomical structures such as bones, tendons and joints in this anatomical region increases the number of diseases and makes diagnosis difficult with imaging procedures. Although no injury or disease is specific to athletes, some diseases are more common in athletes, especially in some sports. Sports-related diseases can be divided into three main groups: traumatic problems, stress disorders and degenerative changes [1].

While devices such as orthosis or bandages are used to solve the more common foot and ankle problems in athletes, there is no intelligent application and no patient status and treatment follow - up system. This rehabilitation can be performed in either home-based environment or clinics which is called supervised rehabilitation. There are studies showing that supervised rehabilitation is much better than home exercises [2]. However, due to the coronavirus pandemic that occurred in 2019 [3], conventional follow-up mechanism of physiotherapists is no longer functional.

The Internet of Things (IoT) technology, which has developed rapidly in recent years, can be used as a solution in this respect. In short, IoT has been created through the communication of objects / devices (such as sensors, microprocessors, microcomputers, phones and computers) that can be connected to the Internet via a cloud. This means IoT technology enables home-based supervised rehabilitation. Therefore, this attracts the attention of the researchers in many areas of rehabilitation research [4,5,6]. In this paper, an IoT-based design of intelligent active orthoses of the lower extremities is detailed. Chapter 2 provides the system overview, software and hardware of the system. Chapter 3 will provide conclusion and draw future work.

Internet of Things in general environments with different technologies. Able to acquire knowledge, produce knowledge and smart objects that can exchange ideas (of objects, things, devices) is used. More for the Internet of Things there are other definitions. E.g. The definition according to J. Belissent is as follows: "Use of information technology Safety, health, more efficient services like transportation System that can be used. International Telecommunication Union According to the definition of (ITU) "Everytime and everywhere It is the ability of all kinds of objects to connect. " [7,8].



Fig.24. Internet of things (IoT)

The concept of the Internet of Things was first introduced in 1999. MIT Auto-ID Center employees inproposed by and using RFID technology Studies were carried out in laboratories. ITU With the report published in

2005 by This concept has been officially announced. Did every five years due to Number of devices connected to the internet and per person The number of devices dropped is increasing exponentially. According to the forecasts for 2020 connected to the internet based on world population approx. 50 billion devices It is estimated at [8,9,10].

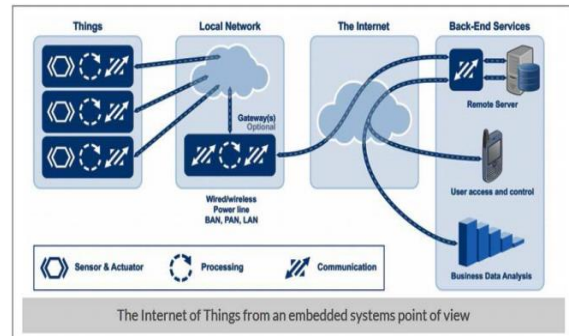


Fig.25. Internet of things(IoT) flow diagram

IoT technology should not only be understood as the connection of devices such as computers and servers to the Internet. E.g. RFID Devices, Medical Devices, VoIP Devices, Automobiles, Cell Phones Telephones and devices with the microcontroller architecture that we are investigating in this study can also be used in the context of IoT technology. Briefly IoT Figure 26.

As can be seen, it is a system of devices that have created an intelligent network by communicating with each other thanks to various communication protocols [11].



Fig.26. Internet of things (IoT) ecosystem[11]

II. SYSTEM OVERVIEW

The system consists of 6 components as shown in Figure 24. The data is stored in the mobile application, which the patient and the doctor can control. The doctor can follow the treatment and rehabilitation processes from here. Adjustability has been added so that the developed design can be used for rehabilitation. It is ensured that this patient uses the foot muscles properly again. Data received from the application is sent to the processor. The processor, on the other hand, is encrypted for incoming data and sends it to other devices. For correct use of the device, returns are returned according to the parameters entered by the physiotherapist.

The aim is to eliminate the effects that can damage the tissue, such as insufficient muscle development and overload, by performing orthotic vibration stimulation according to the parameter that can be determined by the physiotherapist during the recovery process. The data received from the sensor is filtered in the processor and the data is sent to the application via the module to provide and monitor the vibration outputs. The user can follow the treatment and development process here. With the patient application, the doctor application can communicate by collecting data with cloud communication. The physiotherapist can access this data immediately. Due to the rapid feedback to the patient during the treatment process, the rehabilitation process can be carried out more efficiently and quickly.



Fig.27. System Overview: 1) dc motor, 2) microprocessor, 3) piezoelectric sensor, 4) bluetooth module, 5) orthosis, 6) smart phone for mobile application

II. 1. Hardware

The rehabilitation system described in this article designed for cloud communication with an Arduino processor. It is made of semi-flexible material so that it does not cause skin health and allergies in people who use it as an orthosis and have no hard effects on the joints. The orthosis model to use is shown in Figure 28.



Fig.28. Foot Orthosis

The force sensor to be used in the orthosis has been selected to address a general human mass, and a DC sensor that can measure the force on the heel accordingly. The piezoelectric sensor to be used is shown in Figure 29. The conductivity is 4 microns, and the operating frequency is 3 Hz.

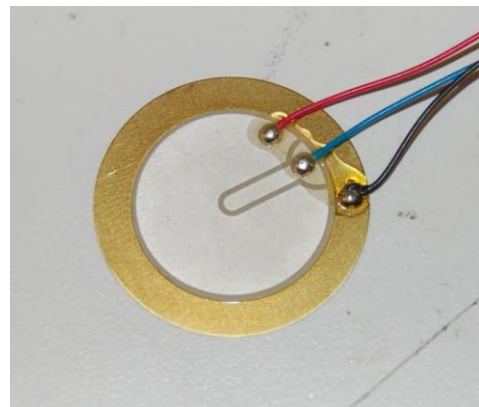


Fig.29. Piezoelectric Sensor

A direct current vibration motor was used, which can stimulate the patient according to the threshold set by the physiotherapist during the recovery process. The DC motor was used with an operating voltage of 6-12 V shown in Figure 30.



Fig.30. DC engine

The Arduino card was utilised to process data and to find the outputs to be done according to the specified parameters. An application based on MIT App Inventor has been developed in which both the patient and the physiotherapist can follow the process. The entire system was powered by a direct current source. The Arduino card shown in Figure 31 was used in system design. The ATmega328 microcontroller is chosen which can supply an operating voltage of 3-5 volts with 7-12 volts input voltage.



Fig.31. Arduino Processor

II. 2. Software

The system consists the embedded software, mobile application and the server software. The first is the code that runs in the system node and captures and sends pressure data if the threshold value is passed. The second, the cloud server software, consists of the database in which the system data is stored, the system website where the user can access the cloud server data available to him/her. Finally, it is the mobile application in which the registered users can view the application data available to them.

The Internet of Things (IoT) is a technology that allows many objects used in daily life to generate different data and transfer this data to other objects or systems. This technology is involved in many different projects in a variety of fields such as transport, health, military and agriculture. The use of this system is increasing day by day, and the technologies used for its infrastructure also vary. Technologies that are used in particular in the communication phase are of great importance for the Internet of Things. The architectural structure for the Internet of Things depends on the characteristics of the technology used.

An application for mobile devices is being developed on the MIT App Inventor platform. It will have an easy to use and understandable interface. The patient can only see his progress through this application. Through this application to be developed, the physiotherapist can see the patient's developmental values and change the working conditions of the orthosis according to the patient's recovery process. Thanks to these applications, the orthosis gains flexibility. The interface of the application to be developed is shown in Figure 32.



Fig.32. Android User Interface

Signal Flow Diagram

The signal and data stream has a flow as shown in Figure 33. The orthosis system transmits the data from sensor to the processor. The processor gives the patient feedback on the correct use according to the specified parameters. At the same time, the

data is sent to the application via the module. The data is sent to the cloud with the Fire Base module for mobile applications. The data transferred to the cloud falls into the mobile application for control by physiotherapists and check. The physiotherapist carries out the rehabilitation process of the patient by changing the parameters according to the progress made from these data. The use of the device and the patient's recovery process take place in parallel with the physiotherapist.

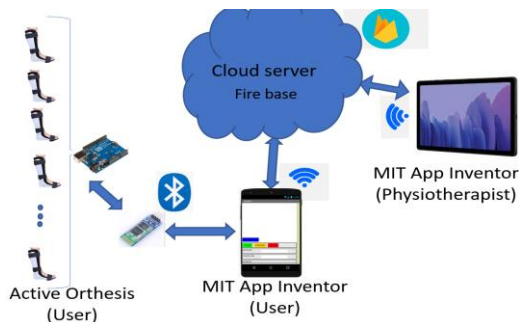


Fig.33. Signal flow diagram

System operation

For rehabilitation in the home environment, the patient places the orthosis on his foot. It starts using according to the threshold set for the patient by the physical therapist. From the moment the patient actively uses the foot orthosis, the frequency and form of use are transmitted to the physiotherapist's mobile device via the cloud communication of the applications thanks to the Internet of Things. At the same time, the patient can follow the course of treatment on his mobile device in order to show how to use the orthosis correctly. There is a vibration motor on the orthosis to prevent damage to the nerve muscles. The operating frequency of this vibration motor can vary according to the threshold value set for the patient by the physiotherapist. The patient's other neuromuscular system is brought under control so that it is not harmed during the treatment process.

From the moment the patient uses the device, it sends the force coming from the foot to the processor with the sensor at the moment of pressing. With the program written here it gives the patient vibration stimulations according to the threshold set by the

physiotherapist. This data and the flow are sent to the mobile patient application via a bluetooth module. The data arriving here is sent to the doctor's application via the cloud using IoT. In this way, the doctor can follow the treatments in the home environment without having to come to the treatment centers with the data implemented in practice. By changing the parameters specified in the application according to the patient's level of development, the patient's treatment process is advanced.

III. CONCLUSION

In the paper, an IoT based solution for the physical rehabilitation of the ankle was presented in order to improve the conditions of rehabilitation, to enable a more accurate diagnosis and consequently to shorten the recovery time. The research and development of this type of physiotherapy system is important as medical improvements lead us to better lower limb rehabilitation and less mobility after ankle injury. The most important effect of the system is reducing the workload of physiotherapist as the patient does not require surgery with physiotherapists. With recent development in sensing and internet technology, IoT has become both a reliable structure and a necessity. The IoT based rehabilitation system developed in this paper, which measure the collected data, display it in real time and store the patient's ankle pressure data and the number of steps performed during a day. As the results show, it is important to better archive the patient's performance analysis and thus achieve improvement of the patient's ankle and prevent the excessive pressure during the rehabilitation. Another important finding in this research is that the system realizes supervised rehabilitation at the home environment, which reduces overcrowding rates in hospitals and improve the continuity of treatment processes. This reduces the time of recovery processes. The developed system establish a real time connection between the patient and the physiotherapist, the data can be analyzed to the supervision of the

physiotherapist. The patient will be able to see the treatment process determined by his / her physiotherapist through his / her application. The data such as the correct use of orthosis during the patient recovery process, frequency of use, and patients steps in a day and its effect on recovery can be safely transferred to the physiotherapist's application via cloud server. With the help of this data, the physiotherapist will be able to remotely give feedback the treatment process without disrupting and burdening the hospitals. There is an ongoing questionnaire applied to physiotherapists to identify the usability of the system. The preliminary feedback are generally positive as the questionnaire details the idea and system functionality. The initial results shows that most of the physiotherapists interested utilising the device as it has potential to reduce their workload. The details of questionnaire will be detailed in the future after it is completed.

In the future, the goal will be to use IoT with machine learning algorithms for physical rehabilitation, to develop rehabilitation and patient development models based on the trained data during the sessions, and to improve the autonomy of the system.

IV. REFERENCES

- [1] Fong, D. T. P., Hong, Y., Chan, L. K., Yung, P. S. H., & Chan, K. M. (2007). A systematic review on ankle injury and ankle sprain in sports. *Sports medicine*, 37(1), 73-94.
- [2] Feger, M. A., Herb, C. C., Fraser, J. J., Glaviano, N., & Hertel, J. (2015). Supervised rehabilitation versus home exercise in the treatment of acute ankle sprains: a systematic review. *Clinics in sports medicine*, 34(2), 329-346.
- [3] Velavan, T. P., & Meyer, C. G. (2020). The COVID-19 epidemic. *Tropical medicine & international health*, 25(3), 278.
- [4] Postolache, G., Girão, P. S., Postolache, O. A., Pereira, J. M. D., & Viegas, V. (2019, December). IoT based model of healthcare for physiotherapy. In 2019 13th International Conference on Sensing Technology (ICST) (pp. 1-6). IEEE.
- [5] Muneer, A., Fati, S. M., & Fuddah, S. (2020). Smart health monitoring system using IoT based smart fitness mirror. *Telkomnika*, 18(1), 317-331.
- [6] Bisio, I., Garibotto, C., Hamedani, M., Lavagetto, F., Prada, V., & Sciarrone, A. (2019, December). Towards IoT-based ehealth services: a smart prototype system for home rehabilitation. In 2019 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM) (pp. 1-6). IEEE.
- [7] Belissent, J., Getting clever about smart cities: New oppurtunities require new business models, 2010. URL:http://193.40.244.77/iot/wpcontent/uploads/2014/02/getting_clever_about_smart_cities_new_opportunities.pdf
- [8] ITU, The Internet Of Things, Internet Reports, 2005. URL:http://www.itu.int/osg/spu/publications/internetofthings/InternetofThings_summary.pdf
- [9] Erdem, Ö., Yüksek Lisans Tezi, Honey Thing: Nesnelerin İnterneti için Tuzak Sistem, İstanbul Şehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015
- [10] Evans, D., The internet of things how the next evolution of the internet is changing everything, 2011. URL:http://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/innov/IoT_IBSG_0411FINAL.pdf
- [11] Ovidiu, V., Peter. F., (2014) Internet of Things: Converging Technologies for Smart Environments and Integrated Ecosystems, 28-33

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A REMOTE CONTROL SYSTEM FOR AN UNMANNED UNDERWATER VEHICLE

Batuhan BALCIOĞLU¹, Aytaç GÖREN^{1,3}, Ege SAĞLAM¹, İsmail AYDOĞDU¹,
Candan TORAMAN¹, Berk Ali ÇAM¹, Kerim Deniz KAYA^{2,1}

¹*Dokuz Eylül University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Automatic Control and Robotics Laboratories (ACRL), Izmir, Turkey*

²*Dokuz Eylül University, Maritime Faculty, Department of Marine Engineering, Izmir, Turkey*

³*Université de Picardie Jules Verne, Laboratoire des Technologies Innovantes (LTI), Amiens, France.*

ABSTRACT

This study aims to develop and implement a remote control system for an underwater robot with four thrusters with the help of a human-machine interface device and embedded computers. In this context, an open-loop structure was created to allow the underwater robot to make linear movement in the surge and heave axes and angular movement in the yaw axis. The control signal is generated by a human-machine interface device and transferred to the surface station computer. Afterward, it is transferred to the embedded computer on the underwater robot and connected to the same network over the master/slave communication model. Master/slave connection on Robot Operating System (ROS) allows computer and embedded computer to be connected via local area network (LAN). To perform the desired maneuvering movements in the specified axes, it is necessary to transmit pulse width modulation (PWM) signals both independently and simultaneously to each thruster. For this purpose, an interface algorithm has been developed which transforms the operator commands into relevant signals as inputs of actuators. This algorithm was formed to run on a second embedded computer on the underwater robot. The experimental system was implemented on an open-frame observer-type underwater robot and experiments were carried out to observe maneuverability, energy efficiency, and operating time performance parameters. Besides, an embedded camera system was also added to the underwater robot. Real-time streaming video signals were transferred to the master computer successfully.

Keywords: Remotely Operated Underwater Vehicle, Operator Controlled Mobile Robot, Mobile Robot Interface

I. INTRODUCTION

Unmanned Underwater Vehicles (UUV) can be classified into two main groups as cable-controlled and wireless-autonomous. Cable-controlled ones can be called Remote Operating Vehicles or ROVs whereas autonomous ones can be named Autonomous Underwater Vehicles or AUVs. ROV, in its most general definition, is an underwater robot that can be controlled remotely by an

operator and performs several functions underwater which can be dangerous. Hence an ROV system; in addition to the vehicle, the operator controlling the vehicle consists of the equipment that the operator provides this control, the cable connecting the vehicle to the surface, and the crane mechanisms that enable the vehicle to be lowered into the water and retrieved [1](Table 2).

Researches about ROVs and AUVs are getting popular in recent years. Advantages and disadvantages of ROV systems in general view have been described in a recent research [2]. Some of the disadvantages of ROV are the issue with its dependency on umbilical cable and the difficulty to access very shallow waters. The method of ROV control using the joystick via UTP-based umbilical cable has been provided [3]. The joystick serves as an input signal platform to a microcontroller. The signal that has been processed by a microcontroller is sent to the motor driver to drive a direct current motor (DCM). To have a secure connection and infrastructure, it is important to provide cooperation between USV (unmanned surface vehicle) and UUV. For this subject, an OCU Manipulator and an Operator Console integrated underwater vehicle are designed [4][5]. Aiming at the problems of unstable motion and low tracking accuracy caused by complex external disturbance during the movement of the remote-operated vehicle ROV [6]. The longitudinal and vertical movements in calm water [7]. An ROV designed as a prototype that has research outcomes apply to the growing international off-shore oil and gas sector, and also for future deployment, the purpose of this study is to design a mini ROV which is based on the remote control of the underwater robot and test its movements, monitoring, and maintenance of ocean energy devices (in particular - wave energy converters and tidal turbines) [8]. In order to improve control, a study on dynamical positioning (DP) has been carried out [9].

The project is predicted to contribute scientifically and technologically in Marine Science and Automated Control Theory Fields. In addition to this, it is believed that indigenous technologies to be developed in light of the project can reduce the dependency on foreign technologies, therefore, can bring socio-economic benefits to underwater robot practices. Remote controlling and integration of the sensors have been implemented by open-source software (ROS) that has libraries

for most of the robotic hardware and thus enabling software and hardware to communicate with ease, which makes the project original.

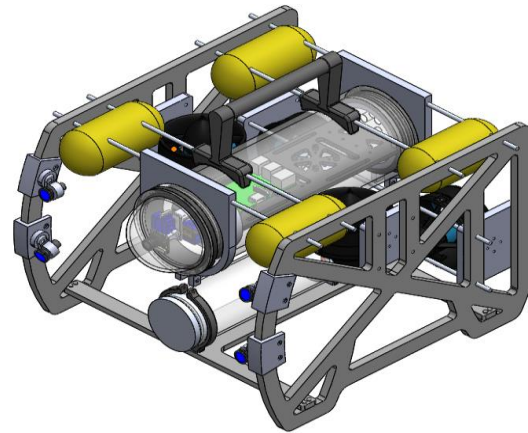


Fig.34. ROV Model

Table 2. Applications of Underwater Robots

Field	Application
Science	<ul style="list-style-type: none"> ● Seafloor Mapping ● Rapid response to oceanographic and geothermal events ● Geological sampling
Environment	<ul style="list-style-type: none"> ● Long term monitoring (e.g., hydrocarbon spills, radiation leakage, pollution) ● Environmental remediation ● Inspection of underwater structures including pipelines, dams, etc.
Military	<ul style="list-style-type: none"> ● Shallow water mine search and disposal

This study is conducted by the Underwater Robotics Research Group of ACRL with the aim of design and implementation of a remote control system for an open-frame underwater robot prototype which is developed for observation and research in shallow waters by the power generated via four thrusters. (Figure 34)

II. METHODOLOGY

II.1. ROV mathematical modelling

a. Kinematic model of underwater robot

The kinematic model of the system was created to determine the ROVs control parameters. The movement determined according to the frame fixed to the ground and the frame fixed to the body is as in Figure 35 [10].

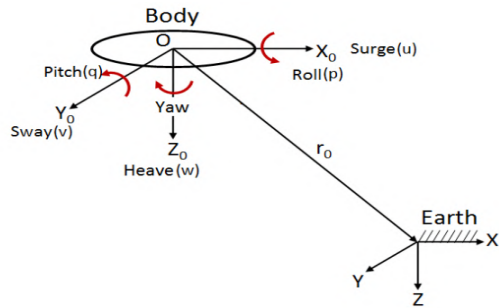


Fig.35. Earth and Body Fixed Frames

Since the frame fixed to the body is located at the center of gravity, linear and angular velocity data are defined relative to the frame fixed to the body. In addition, the location and orientation data are explained to the frame fixed to the ground.

As a result, the vectors that formulate the motion over six axes are as follows.

$$\begin{aligned} \eta &= [\eta_1^T, \eta_2^T]^T; \eta_1 = [x, y, z]^T; \eta_2 = [\phi, \theta, \varphi]^T \\ v &= [v_1^T, v_2^T]^T; v_1 = [u, v, w]^T; v_2 = [p, q, r]^T \quad (1) \\ \tau &= [\tau_1^T, \tau_2^T]^T; \tau_1 = [X, Y, Z]^T; \tau_2 = [K, M, N]^T \end{aligned}$$

The mentioned η is the combination of position and orientation vectors defined relative to the frame fixed to the ground. v is the combination of linear and angular velocity vectors defined with respect to the frame fixed to the body. Finally, τ is the combination of moment and force vectors acting on the ROV. The Euler angles (ϕ, θ, φ) in formulas play an important role because of their functions of describing routing and defining control parameters.

The linear velocity transformation with respect to the frame fixed to the ground is formulated as shown below:

$$\dot{\eta}_1 = J_1(\eta_2)v_1 \quad (2)$$

In the above formulation, $J_1(\eta_2)$ is the transformation matrix related to Euler angles.

$$J_1(\eta_2) = \begin{bmatrix} c\varphi c\theta & -s\varphi c\theta + c\varphi s\theta\phi & s\varphi s\theta + c\varphi c\theta\phi \\ s\varphi c\theta & c\varphi c\theta + s\varphi s\theta\phi & -c\varphi s\theta + s\varphi c\theta\phi \\ -s\theta & c\theta s\phi & c\theta c\phi \end{bmatrix} \quad (3)$$

The $J_2(\eta_2)$ transformation matrix provides the association of the angular velocity vector and the Euler vector with respect to the fixed frame.

$$\dot{\eta}_2 = J_2(\eta_2)v_2 \quad (4)$$

The transformation matrix $J_2(\eta_2)$ in terms of Euler angles can be written as:

$$J_2(\eta_2) = \begin{bmatrix} 1 & s\phi t\theta & c\phi t\theta \\ 0 & c\phi & -s\phi \\ 0 & s\phi/c\theta & c\phi/c\theta \end{bmatrix} \quad (5)$$

b. Dynamic model of underwater robot

$$M\dot{v} + C(v)v + D(v)v + g(\eta) = \tau \quad (6)$$

$$\dot{\eta} = J(\eta)v$$

Here, M is the sum of the M_{RB} rigid body mass matrix and M_A added mass matrix. $C(v)$ is the sum of the $C_{RB}(v)$ rigid body Coriolis matrix and $C_A(v)$ added mass Coriolis matrix.

$$M = M_{RB} + M_A \quad (7)$$

$$C(v) = C_{RB}(v) + C_A(v)$$

$D(v)$, $g(\eta)$, and τ are the damping matrix, gravity, and lifting force vector and input vector, respectively.

II.2. Prototype Setup

All working processes can be briefly explained by five steps. Firstly, when the operator gives an input using HMI, it will create a readable output between -1 and 1. Then output data is shared with the Raspberry Pi via the master-slave connection. Afterward, this output is passed on to Arduino Mega using ROS. Code in the Arduino board runs and makes the motor run as input is given by moving the joystick. Simultaneously, the battery powers the power distribution module, which then powers Raspberry Pi and the

ESC's. Lastly, Raspberry Pi powers the Arduino Mega, while ESC controls and powers the DC motors. Meanwhile, sonar measurements are received via Arduino Mega and then shared with the PC again, using ROS (Figure 36). Master-slave configuration on ROS allows a connection between PC and Raspberry Pi over LAN. To establish this connection, first, both devices are connected to the same router. Afterward, the master computer's IP address is obtained by typing the command 'ifconfig' on a terminal. This IP is then used to establish the connection via secure shell (SSH) protocol. This last command is run on the slave computer (in this case Raspberry Pi). After this configuration is set, ROS commands run on the master computer are also run on the slave computer (Figure 37).

Table 3. Table of Vehicle Properties

Vehicle Properties	Values
Maximum Velocity	1.5 m/s
Maximum Endurance	1 h
Thruster Power	390 W
Battery Capacity	22 V
Maximum Depth	100 m

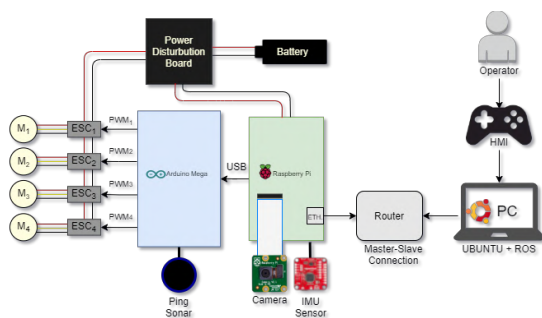


Fig.36. Schema of the prototype system

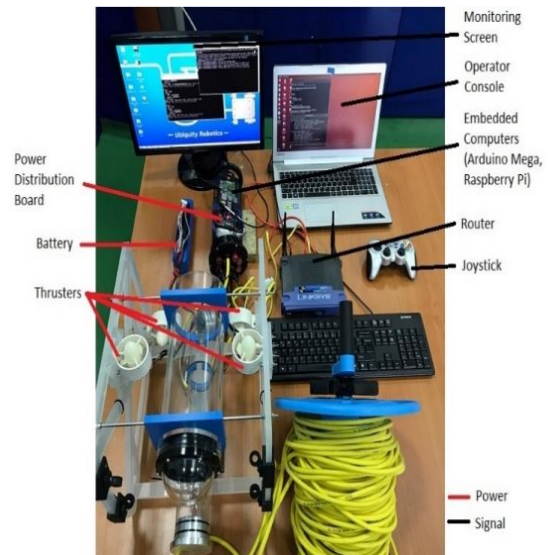


Fig.37. Experimental setup

II.3. Implementation of remote controlling

Remote controlling is implemented through Human Machine Interface (HMI). Using a joystick, the robot's both direction and speed can be controlled. To achieve this, firstly, the connection between the master computer and the slave (Raspberry Pi) must be provided. To see if everything is in order, "rostopic list" command can be run in the master terminal and a node called "joy" should be present in the current topic list. The code must be uploaded to the Arduino and then connected to the Raspberry Pi. Then, to initiate the code inside Arduino, on the master computer, "roslaunch roscpp_serial_node serial_node.py /dev/tty{Port name} _baud:=57600" must be typed and run. To briefly explain the process, speed and direction are controlled according to the values read from joy.axes[0], joy.axes[1], and joy.axes[2] which each represents the movements on the joystick analogs. These values are always between -1 and 1. The joystick has numerous axes and in our case "axis 0" values correspond to moving left analog to left and right, while axis 1 values correspond to moving it up and down. Lastly, axis number 1 corresponds to the right analog (Figure 38).

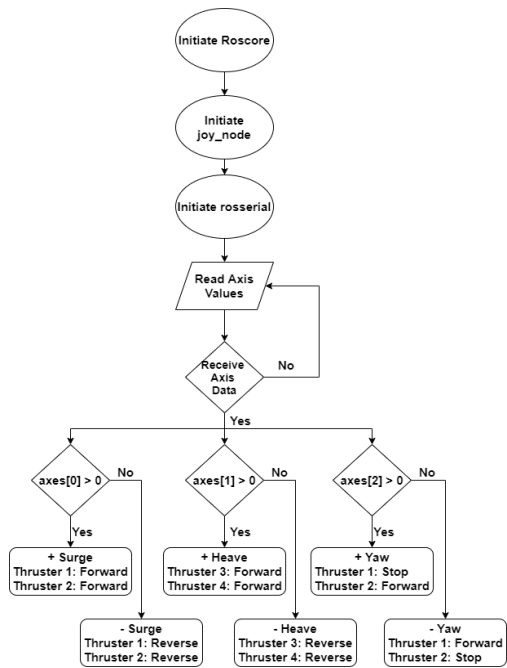


Fig.38. Motor Controls Flow Chart

II.4. Sensors

a. Camera

Raspberry camera module lets the users take pictures and record videos. One of the aims of this project is to capture videos and share it in real time with the user PC, through a master-slave connection. To achieve this, first camera module is inserted in the Raspberry Pi camera module port (Figure 39). To capture videos, a package called “raspicam” must be installed. And, to view the captured images on the master computer, a GUI program called “rqt_image_view” is used.

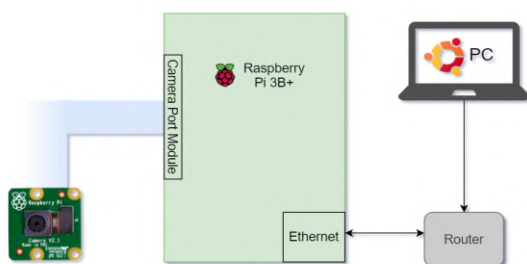


Fig.39. Schematic of the Raspberry Camera Module

b. Sonar

Sonar is a technique that uses sound propagation to navigate, communicate with or detect objects on or under the surface of the water.

The Ping sonar is a multifunctional single-beam echosounder. It can be used as an altimeter for ROVs and AUVs, for bathymetry work aboard a USV, as an obstacle avoidance sonar, and other underwater distance measurement applications. Ping combines a compact form factor and 300 meter depth rating with an open source user interface and Arduino, C++, and Python development libraries to create a powerful new tool for marine robotics (Figure 40). This project currently uses the sonar to seek out obstacles and scan the environment around the robot (Figure 41, 42 and 43).



Fig.40. Ping Sonar

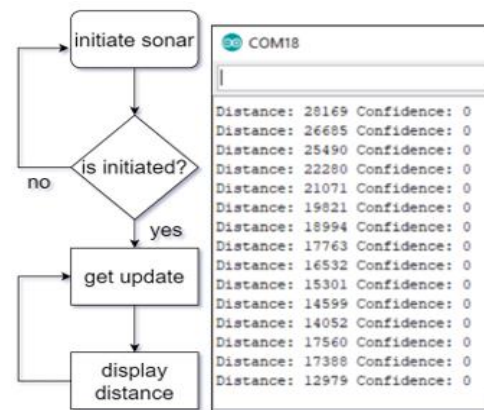


Fig. 41. Sonar Flowchart and Serial Monitor

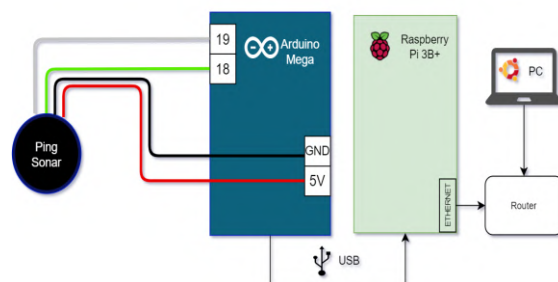


Fig.42. Schematic of the Ping Sonar

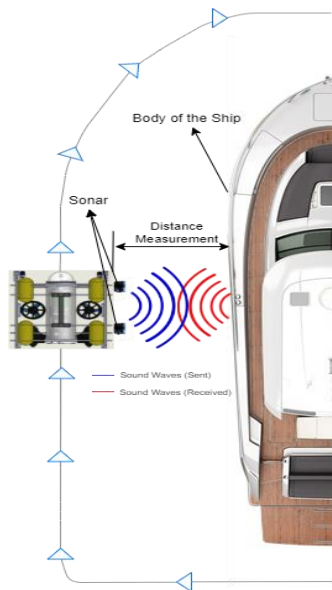


Fig.43. Trajectory Tracking with Sonars

c. Inertial Measurement Unit (IMU)

With the purpose of acquiring forces, angular rates and the orientation of the AUV, The Sparkfun 9Dof Razor IMU which constitutes of an accelerometer, gyroscope and magnetometer has been adopted. It combines a SAMD21 microprocessor with an MPU-9250 sensor.

In the study, 5V, ground, and I2C connections are provided and the Arduino code has been run to check whether there is data flow on the serial screen. It is then intended to add the IMU Sensor as a node to Roscore, to sense the incoming data and display this data in the RVIZ (Simulation Screen). The instrumentation diagram of the Inertial Measurement Unit has been given as follows (Figure 44).

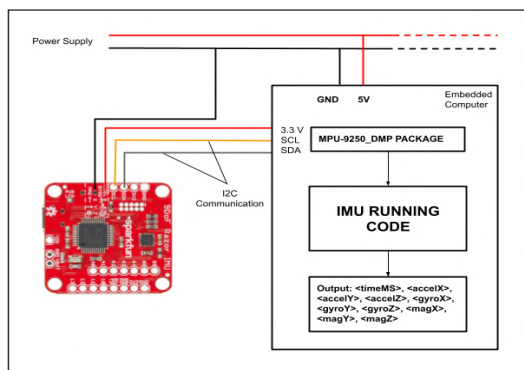


Fig.44. Schematic of the IMU Sensor

III. RESULTS AND DISCUSSION

Test duration was initially only limited to around five minutes, which would be insufficient in underwater surveying uses. After reducing the motor speeds and using a bigger-sized battery, the final duration has been increased up to 30 minutes. Maneuvering at low speed can be problematic, but this issue is later solved by running the motor that is on the same side to the direction to be turned, in the reverse direction. Also upgrading to T200 thrusters, which are superior to the former thrusters, helped with maneuvering abilities, making the robot more agile.

IV. CONCLUSIONS

In this research, an experimental interface for an ROV is formed and remote operation for observations was tested successfully using real-time sonar data and real-time video stream taken from ROV. Besides, real-time velocity and 3D acceleration data from the IMU sensor were presented on formed HMI.

During the studies, the performance of the underwater vehicle was observed and appropriate changes are made. First of all, it is determined that the maneuverability of the vehicle underwater, was not sufficient. Therefore, Katovega thrusters are replaced with superior T-200 thrusters. Another problem detected was, vehicle shutting itself down while driving, as a result of excessive current being drawn from the power distribution module. After halving the speed of the thrusters, the problem was solved successfully. Lastly, due to the limited cruising time, the 12 V battery in the underwater robot was replaced with 22 V. In the end, the vehicle could provide a better drive underwater while lasting about an hour. Another important subject regarding the performance of the vehicle was sealing. In the first prototype, leakage was observed in cable entries, due to the use of cold silicone. After the removal of cold silicon and implementing epoxy adhesive to the leaking parts of the robot, no leakage was ever observed again.

After two sonars being used on the vehicle, it has been determined that the Arduino Mega board is insufficient as it can't hold all the thrusters and sonars at the same time. To solve this issue, a separate Arduino board just for the sonars was used.

Last but not least, as a result of the connection failures during underwater tests, the Master-slave connection would need to be done again by opening the tube inside the vehicle, and it was not time-efficient or safe to re-establish the connection. To prevent this, remote access is provided between the master (PC) and slave (Raspberry Pi) devices.

As future work, our goals for the development of this prototype in the upcoming working period are increasing the maneuverability of the underwater robot by implementing more professional thrusters to the system, increasing the range capacity of the underwater robot using higher capacity batteries, and providing autonomous features to the experimental underwater robot.

Acknowledgement

This research was supported by Dokuz Eylul University Scientific Research Coordination Unit [Project Number: 2019.KB.FEN.011]; and The Scientific and Technological Research Council of Turkey

[Project Number: 111E689]

V. REFERENCES

- [1] Canlı, G. A., Kurtoğlu, İ., Canlı, M. O., & Tuna, Ö. S. (2016). Dünyada Ve Ülkemizde İnsansız Sualtı Araçları (İsaa-Auv & Rov) Tasarım Ve Uygulamaları. *GİDB Dergi*, 43(04), 43–75.
- [2] Azis, F. A., Aras, M. S. M., Rashid, M. Z. A., Othman, M. N., & Abdullah, S. S. (2012). Problem identification for Underwater Remotely Operated Vehicle (ROV): A case study. *Procedia Engineering*, 41(Iris), 554–560.
- [3] Wiryadinata, R., Nurliany, A. S., Muttakin, I., & Firmansyah, T. (2017). Design of a low cost remotely operated vehicle with 3 DoF navigation. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 6(1), 13–23.
- [4] Kitowski, Z. (2020). Communication system between the rov and the usv's "edredon" control post. *Nase More*, 67(2), 172–177.
- [5] Kitowski, Z. (2019). Selection of UUV type ROV equipment and cooperation system with usv "edredon" in protection tasks of ports and critical objects. *Transactions on Maritime Science*, 8(2), 198–204.
- [6] Wang, Z., Liu, Y., Guan, Z., & Zhang, Y. (2021). An Adaptive Sliding Mode Motion Control Method of Remote Operated Vehicle. *IEEE Access*, 9, 22447–22454.
- [7] Manullang, S., Pusaka, A., & Setiawan, A. (2020). The preliminary of Design and Movement of Remotely Operated Vehicle (ROV). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 557(1).
- [8] Omerdic, E., Toal, D., Dooly, G., Miller, L., & Coleman, J. (2012). *Smart ROV LATIS in action: Sea trials. IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)* (Vol. 3). IFAC.
- [9] Landstad, O., Halvorsen, H. S., Øveraas, H., Smines, V., & Johansen, T. A. (2021). Dynamic positioning of ROV in the wave zone during launch and recovery from a small surface vessel. *Ocean Engineering*, 235(223254), 109382.
- [10] Kaya, K. D., & Gören, A. (2017). Linear Load Transfer Based Horizontal Motion Control of a ROV. *Proceedings of the World Electro Mobility Conferenece*, 102–105.

EVALUATION OF THE SAFETY BRAKING DISTANCE METHODS FOR THE APPLICATION OF AUTONOMOUS VEHICLE USING PRESCAN

Kareem AL-BADRI*, Hakan BASARGAN

Budapest University of Technology and Economics, Faculty of Transportation and Vehicle Engineering, Department of Control for Transportation and Vehicle Systems, Budapest, Hungary

ABSTRACT

There are various strategies and technologies that may be used to improve the safety of autonomous vehicles. The braking system is one of the most significant technologies, as it influences driving safety and comfort. Another issue that self-driving vehicles are currently confronting is the loss of control on bad roads. For better handling on these roads, advanced braking is necessary, which can be done by combining electronics into standard brakes. Traction control and anti-lock braking are two examples of recent developments in braking system automation. In this paper, the safety braking distance has been evaluated and compared in order to use for forward collision warning and avoidance systems. The two alternative mathematical methods have been discussed. These methods are the basic method based on the vehicle's velocity and friction and the complex method based on the vehicle dynamics. The well-known two-wheeled bicycle vehicle model is considered in this study. The simulation was held in the PreScan vehicle simulation environment to calculate the vehicle's braking distance and compare it to the findings obtained using the other two methods. These simulation findings are compared to two methodologies. The findings demonstrate that braking distance is reduced in simulations at lower speeds, while simulation results are between these two methods at higher velocity.

Keywords: safety braking distance, braking distance, safety of autonomous vehicle, PreScan

I. INTRODUCTION

The new methods are developed to increase the safety of passengers in automobiles; however, pedestrian safety, as important as it is, remains a neglected issue. According to the official estimate [1], around 400,000 pedestrians die each year in road accidents around the world. This illustrates the critical need for vehicles to have better and more effective pedestrian collision avoidance systems, cruise-control systems, and similar technologies, which are based on the safe braking distance.

In recent years, the number of research papers devoted to the development of a collision-avoidance system has increased because it's a hot topic that aims to reduce the frequency of deadly accidents. When it comes to safety, various changes have been made in recent

years that have had a positive impact on lowering road fatalities.

Sometimes, drivers get too near to the vehicle in front of them. Many drivers assume that if the vehicle in front of them begins to brake, they will be able to respond, brake, and come to a complete stop while keeping a safe gap between the two vehicles. When the braking is applied to the vehicle, the distance it takes the vehicle to come to a complete stop at various speeds is referred to as braking distance. In the case of an accident or other sudden braking, the safe following distance between automobiles should be as far as the vehicle can stop without colliding. Driving fluency and safety are aided by an appropriate safe following distance, but local weather and road conditions must also be taken into

account. Vehicle manufacturers have created several devices to warn drivers when the distance between vehicles is too close. Other systems automatically maintain a safe distance between automobiles and stop if necessary. These technologies are known as autonomous or adaptive cruise control [2]. None of these options, however, are likely to take current traffic and weather conditions into account [3].

The slipperiness of the road surface substantially impacts the length of braking distances. The braking distance may be many times longer when the road surface is ice than when it is dry. Furthermore, speed has a major influence on braking distances; doubling the speed increases the braking distance by four times.

The research [4] presents a novel technique for determining vehicle safety braking distance for collision avoidance. The system calculates the distance between the driver's automobile and the vehicle (obstacle) ahead of it and utilizes it to calculate the speed. The vehicle speed, weight, and other factors are used to compute safety braking. Another research [5] presented by the same author for the forward-collision warning system. A unique algorithm is described that considers both time-to-collision (TTC) and safe braking distance to notify and help a driver in maintaining safe braking distance to avoid a collision accident on the highway. Mathematical relationships between traffic risk and speed on a piece of road, the research [6] should be considered. The author mentioned that there are two laws specified for this purpose which are power and exponential laws. According to the results provided in this paper, it shows that power law is used for low speed only while exponential law is used as a general formula. In [7], a mathematical model for analytical examinations of the braking process was established in order to discover the link between a car's stopping and braking distances and pedestrian vision in dark winter circumstances when headlights are

compromised with anti-icing substances. The findings reveal that the mathematical model can determine stopping and braking lengths for winter roads with an inaccuracy of no more than 3 to 5%. On winter roads, it may examine the braking process of a vehicle equipped with ABS. The results of the calculations allow us to discover patterns in the effects of the beginning braking speed on the stopping and braking lengths of an ABS-equipped automobile on low-grip winter roads. Because of the headlight contamination with chemical anti-icing agents, the results allow for determining a safe vehicle speed rate when pedestrian sight is reduced. According to [8], an automated braking algorithm is described based on the predicted stopping distance. The reaction speed of the brake actuator is taken into consideration since the delay of the brake actuator is a critical component in the accuracy of the predicted stopping distance. The planned deceleration is also taken into account since autonomous brake control might be severe or mild based on the driver's decision. Experiments with a test vehicle were carried out to evaluate the performance of the proposed autonomous braking system, and the results show that the recommended system satisfies the stopping performance with a virtual stationary object. The Euro NCAP (2013) City AEB (Autonomous Emergency Braking) component may easily be implemented to this technology. The recommended autonomous braking system has been tested in autonomous car testing, indicating that the subject vehicle can efficiently prevent a collision. The study [9] establishes a new safety distance model based on an examination of the existing security model. Because of the consideration of the changing process of deceleration, the new model takes into account the speed connection between the leading and trailing vehicle and more closely reflects the true situation. Finally, utilizing MATLAB and the crossroads simulation system as a software platform, some simulations were run under identical conditions. The new model fits actual road outcomes of the cars better than the previous model, according to simulation

data. Two vehicle speeds and the road environment are discussed in the paper [10] on the safe distance for anti-collision systems. This article creates the road surface characteristics and distinct longitudinal motion states of the vehicle's safety distance model, as well as an examination of the link between the parameters of their impact on a safe distance. It gives the system the capacity to learn and correct by bringing the fuzzy inference forecast closer to the driver in the process of real behavior value. An experiment was conducted to verify the viability of the optimization approach in order to create an early warning system that can reflect the driver behavior characteristics.

This paper evaluates the braking distance calculation methods. The basic method and vehicle dynamics-based complex method has been used, and PreScan simulation has been performed to compare simulation results with these two methods. The paper is organized as follows: Section II contains the who-wheeled bicycle model for the simulation, Section III describes the basic and vehicle-dynamics-based complex braking distance calculation methods. Section IV shows the simulation-based braking distance calculation by using PreScan software. The comparison of methods and simulations is discussed in Section IV. Finally, conclusions are listed in Section V.

II. THE VEHICLE MODEL FOR SIMULATION

The longitudinal and lateral dynamics of the vehicle are needed to be formulated in order to simulate the evaluation of the different safety braking methods. In this study, the two-wheeled bicycle model is used for vehicle modeling, see Figure 45. The motion equations of longitudinal and lateral dynamics are given as Equation (1) [11].

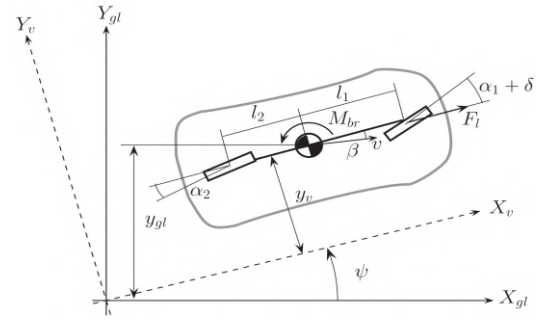


Fig.45. Two-wheeled bicycle model.

$$J\ddot{\psi} = c_1 l_1 \left(\delta - \beta - \frac{\dot{\psi} l_1}{\xi} \right) - c_2 l_2 \left(-\beta - \frac{\dot{\psi} l_2}{\xi} \right) + M_{br}$$

$$m\ddot{\xi}(\psi + \beta) = c_1 \left(\delta - \beta - \frac{\dot{\psi} l_1}{\xi} \right) + c_2 \left(-\beta + \frac{\dot{\psi} l_2}{\xi} \right) \quad (1)$$

$$m\ddot{\xi} = F_l - F_d$$

$$\ddot{y}_v = \dot{\xi}(\psi + \dot{\beta})$$

Where J is yaw-inertia of the vehicle, m is the mass, c_1 and c_2 are cornering stiffness, which are identified, l_1 and l_2 are geometric parameters. While the side-slip angle is expressed with β , ψ is yaw of the vehicle, \ddot{y}_v and $\ddot{\xi}$ are lateral and longitudinal acceleration. The break yaw moment (M_{br}), front steering angle (δ) and longitudinal force (F_l) are inputs of the system. The calculated lateral position of the vehicle in the coordinate systems are y_v and y_{gl} . The rotation of vehicle in road geometry calculation is found as $y_{v,r} = -\sin \psi x_{gl,r} + \cos \psi y_{gl,r}$, where $y_{gl,r}$ and $x_{gl,r}$ are the lateral and longitudinal coordinates of the road geometry in the world coordinate system, $y_{v,r}$ is the lateral position of the reference road geometry in the coordinate system of the vehicle.

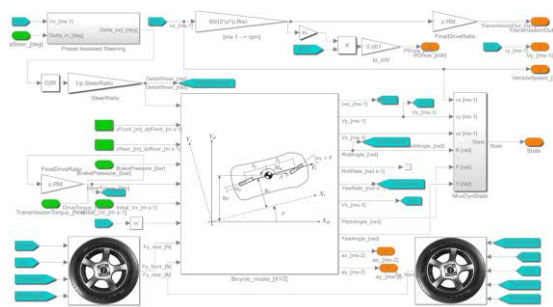


Fig.46. The simulation vehicle model.

Figure 46 shows the structure of the vehicle model in Simulink. The necessary data, such as velocity, roll and pitch angle, etc., are calculated in the bicycle model and sent to the PreScan vehicle. The trajectory tracking controller of PreScan simulation software has been integrate for the simulation of this study with the two-wheeled bicycle model.

III. THE METHODS OF BRAKING DISTANCE CALCULATION

There are several methods to calculate the braking distance of the vehicle in the literature. These methods are based on vehicle dynamics, environmental conditions, etc. Basic and complex methods are used in this study, where these methods are described in this section.

Vehicle speed, the roadway (gradient and conditions), the amount of weight, and the brake system are all factors that impact braking distance (condition, braking technology, and how many wheels are braking). Accurate braking distance estimations are difficult to obtain due to the wide range of road conditions and tire grip. For example, if there is ice on the road, the braking distance will be ten times greater. The road condition in this study is dry asphalt; hence the road condition in our instance will be constant ($\mu = 0.8$).

The first method is the basic method, where just velocity and friction are considered in order to calculate the braking distance. Equation (2) is used considering that good tires and brakes are applied [12]:

$$D_B = \frac{V^2}{250F} \quad (2)$$

where, V is velocity of the vehicle and F is the friction coefficient, which is approximately 0.8 on dry asphalt and 0.1 on ice, 250 is a constant number that is often used.

Figure 47 (a). shows the results of this basic method in different velocities and road conditions. This figure is made with the data

obtained by inserting the velocity and road condition into Equation (2) previously indicated. The complex method is based on vehicle dynamics, road conditions, and external variables, as shown in Figure 47(b). According to [4] the Equation (3) is used to calculate the braking distance. The system senses the distance between the vehicle and the static/dynamic obstacle ahead and utilizes the vehicle speed, weight, and other characteristics to determine safety braking distance and alert/assist the autonomous vehicle to maintain the distance.

It is shown that the greatest braking distance occurs when traveling at 180 km/h on a road condition of 0.1 due to the incorporated velocity and friction; the braking distance of the basic equation becomes 1300 m. This distance is roughly 284 m in complex equations that take vehicle dynamics into account.

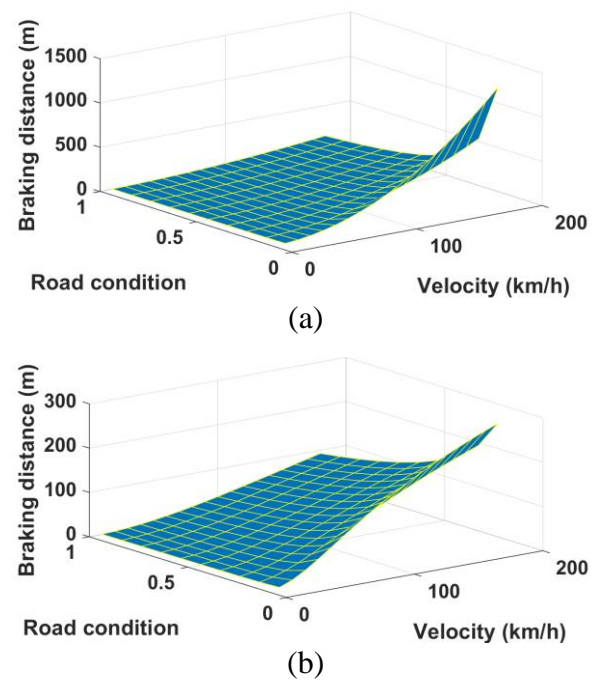


Fig.47. Results of (a) basic (b) complex calculation.

$$D_B = \frac{\gamma m}{2gC_{ae}} \ln \left(1 + \frac{C_{ae} V^2}{\eta_B (\mu + f_r) m \cos \theta_s \pm m \sin \theta_s} \right) \quad (3)$$

Where, γ is equivalent mass factor, W is vehicle weight, g is gravity speed, C_{ae} is parameter and calculated as $\frac{\rho * A_F * C_D}{2}$, ρ expresses as density of the air, A_F is characteristic area of the vehicle, C_D is coefficient of aerodynamic resistance, $\eta_B =$ Brake efficiency, μ and f_r are road adhesion and rolling resistance coefficient, θ_s is angle of the road slope with the horizontal, \pm is described as positive sign for vehicle moving uphill, negative sign for vehicle moving downhill grade. Please note that the road model is straight highway road, thus the angle of the road slope is zero.

The brake efficiency metric is affected by the braking system, tire condition, and other factors. Brake efficiency is usually measured in percentages ranging from 80 to 100 percent. The rolling resistance coefficient is influenced by the road surface and tire rotation speed, and it ranges from 0.007 to 0.015. The corresponding mass factor for passenger cars and light trucks is between 1.03 and 1.05. Here, the parameter, road adhesion coefficient, is affected by weather, road conditions, and other things. In this study, we call road adhesion coefficient as road condition.

The data obtained by inserting the velocity and road condition into Equation (3) previously described is shown in Figure 47. The vehicle parameters, which are listed in Table 4. were considered in Equation (2) and Equation (3).

It's important to note that the stopping distance used in adaptive cruise control calculations is the entire braking and reaction distance. It takes an average of 1.6 seconds for a human driver to engage the brakes when a child runs into the road. The reaction time of autonomous vehicles equipped with radar or lidar sensors and a camera system is 0.5 seconds. [13]. As a result, the reaction distance calculation in autonomous vehicles remains constant. [12]

IV. SIMULATION AND RESULTS

In this research, PreScan software was employed, which is a simulation tool that includes a scenario preprocessor with a graphical user interface as well as a run-time environment for scenario execution. The simulation's architecture is seen in Figure 48. The PreScan includes a road and vehicle model, with Matlab/Simulink controlling the vehicle.

The engineer's major interfaces for designing and assessing algorithms are MATLAB and Simulink. PreScan enables you to do real-time tests using software-in-the-loop (SIL) and hardware-in-the-loop (HIL) devices using model-based controller architecture (MIL). PreScan works in both open and closed loops and can be used both offline and online.

Intelligent Vehicle Systems can benefit from PreScan's flexible production and testing environment. The vehicle's output and states have been sent to Matlab/Simulink, which contains the braking function. The following are the four key phases in prescan project design: Make a realistic scenario, set up the appropriate control systems, model the sensor system, and perform the experiment.

PreScan has been used in the design or optimization process of some of the ADAS systems, including Navigational aids Cruise Control with Adaptive Settings, Collision Warning (LDW) Lane Departure Warning (LDW) (CW), Intelligent Adaptation of Speed C2C (car-to-car), and C2I (car-to-infrastructure) communications [14]. Due to these features, the PreScan software has been chosen in order to demonstrate the safety braking distance methods.

Citroen C3 Hatchback vehicle model has been used with parameters, which are shown in Table 4.

Table 4. Parameters required for the simulation of the vehicle Citroen C3 Hatchback.[15]

Parameter	value
γ	1.04
m	1103 kg
g	$9.81 m. s^{-2}$
ρ	$1.29 kg. m^{-3}$
A_F	$2.657664 m^2$
C_D	0.307
C_{ae}	0.526257337
η_B	0.9
μ	0.8
f_r	$0.011m. s^{-2}$

The simulation road is dry asphalt straight road with two lanes, where the width of the lane is 3.5m and the length of the road is 300m. Several simulations have been run with different velocities. These results are shown in Table 4. The data for Figure 49. is acquired after executing the PreScan scenario, which includes a car traveling at a constant speed of $80km/h.$, and connecting it to the MATLAB program that calculates the braking distance.

The relationship between velocity and distance traveled after braking at one speed ($80km/h$) is shown in Figure 49. The braking distance is calculated as the difference between the position of where the vehicle starts the deceleration(braking position) and the position where the vehicle velocity is zero.

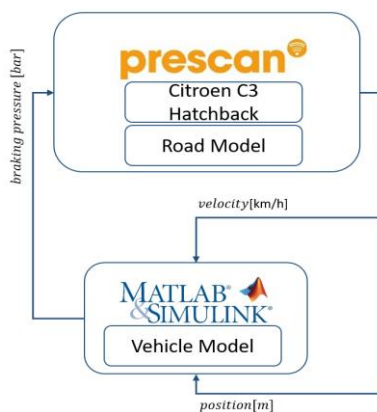


Fig.48. Architecture of the simulation.

The results of the two methods and simulation are shown in Table 5 and Figure 49 for $80 km/h$. The maximum velocity is chosen as $180 km/h$ due to the speed limit of the road. The minimum velocity of the simulation is $10 km/h$ as an average acceleration velocity. The braking distance values derived using the basic equation are always bigger than those produced from the other two approaches, as demonstrated in Figure 50. and Table 5. For velocities less than $100 km/h$, however, the simulation results of the braking system are smaller than others. Nevertheless, for velocity larger than $120 km/h$, the last braking distance is nearly identical for simulation and complex techniques. For speeds larger than $120 km/h$, the braking distance starts to grow over the complex approach.

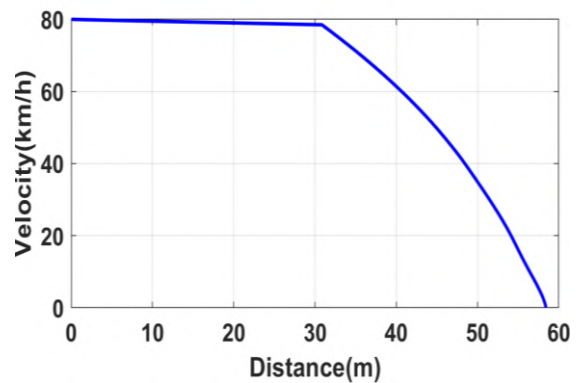


Fig. 49. Simulation result for 80km/h.

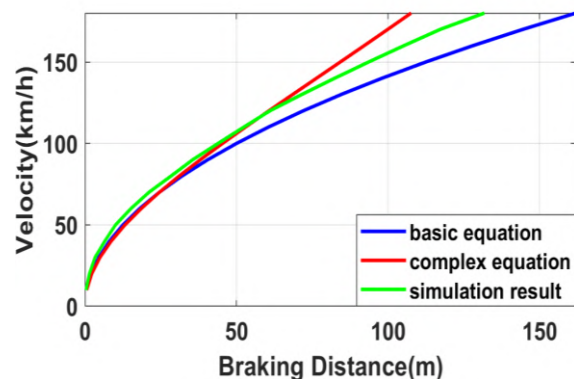


Fig.50. Braking distance results.

Table 5. Braking distance

V (km/h)	Braking distance [m]		
	Basic method	Complex method	Simulation result
10	0.50	0.55	0.31
20	2.00	2.22	1.42
30	4.50	4.93	3.28
40	8.00	8.62	6.5
50	12.50	13.19	10.06
60	18.00	18.53	15.15
70	24.50	24.53	21.08
80	32.00	31.08	28.4
90	40.50	38.05	35.54
100	50.00	45.37	43.9
110	60.50	52.92	52.37
120	72.00	60.65	61.01
130	84.50	68.49	71.5
140	98.00	76.37	82.37
150	112.50	84.25	93.62
160	128.00	92.10	105.23
170	144.50	99.90	117.22
180	162.00	107.60	131.78

V. CONCLUSIONS

The approaches for braking distance calculation are evaluated and simulated in this study. There are two alternative methods, which are a basic method based on velocity and friction, a complex method based on vehicle dynamics. The primary goal of this paper is to propose a method for autonomous vehicles to continually map the road profile and calculate the braking distance based on the roughness of the road. The Citroen C3 Hatchback was chosen as the simulation vehicle with a weight of 1103 kg. At the same time, a simulation was set up in the PreScan vehicle simulation environment to determine the braking distance for the vehicle under consideration. The well-known two-wheeled bicycle model is used in order to model the vehicle in Simulink. The trajectory

tracking controller of PreScan is used with the vehicle model. The braking distance simulation result was discovered by looking at the graphs produced in **Table 5**: Braking distance after running PreScan and MATLAB for each velocity separately. The braking distance of two mathematical methods has been calculated for each velocity and road condition. The simulation findings are compared to the two mathematical methodologies. The findings demonstrate that braking distance is reduced in simulations at lower speeds, while simulation results are between these two methods at higher velocity. The selection of the braking distance for different velocities, road conditions, and road curvature would be determined in future research. Future research also should be devoted to the development of novel forward collision warning, avoidance, and cruise control systems by considering the evaluated and simulated safety braking distance method. The safety braking distance calculation based on the multiple stochastic simulations will be used in future research in order to ensure the safety and comfort of autonomous driving in forward collision warning, avoidance, and cruise control systems.

ACKNOWLEDGEMENT

The research was supported by the Hungarian Government and financed by the European Social Fund through the project 'Talent management in autonomous vehicle control technologies' (EFOP-3.6.3-VEKOP- 16-2017- 00001).

VI. REFERENCES

- [1] Naci, H., Chisholm, D., & Baker, T. D. (2009). Distribution of road traffic deaths by road user group: a global comparison. *Injury prevention*, 15(1), 55-59. Klass, C. P. (2004). Paperboard as Coating Base Stock. *Klas Associates Inc., Radnor, PA*, p.1, 9-10.

- [2] Basargan, H., Mihály, A., Gáspár, P., & Sename, O. (2020). Adaptive Semi-Active Suspension and Cruise Control through LPV Technique. *Applied Sciences*, 11(1), 290. doi:10.3390/app11010290
- [3] Hippi, M., Miettinen, J., Jämsä, J., Pahkala, J., & Oy, N. (2014). Braking distance application developed on Finnish D2I project. In the 17th International Road Weather Conference SIRWEC 2014. Oittinen, P., Saarelma, H. (1998). Printing, Chapter 9. Published in Cooperation with The Finnish Paper Engineers' Association and TAPPI, Jyväskylä, Finland, p. 231-232.
- [4] Chen, Y. L., & Lee, W. J. (2011). Safety distance warning system with a novel algorithm for vehicle safety braking distance calculating. *International journal of vehicle safety*, 5(3), 213-231.
- [5] Chen, Y. L., Shen, K. Y., & Wang, S. C. (2013, June). Forward collision warning system considering both time-to-collision and safety braking distance. In 2013 IEEE 8th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA) (pp. 972-977). IEEE.
- [6] An exposé of scientific findings on road safety and speed written to accompany ETSC's PIN Flash 36 (2019) "Reducing speeding in Europe".
- [7] Vlasov, V. G., Fedotov, A. I., Gromalova, V. O., & Gergenov, S. M. (2021, February). Mathematical description of automobile headlight contamination when driving on a wet road. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 1061, No. 1, p. 012041). IOP Publishing.
- [8] Lee, D. H., Kim, S. K., Kim, C. S., & Huh, K. S. (2014). Development of an autonomous braking system using the predicted stopping distance. *International Journal of Automotive Technology*, 15(2), 341–346. <https://doi.org/10.1007/s12239-014-0035-5>
- [9] Luo, Q., Xun, L., Cao, Z., & Huang, Y. (2011, June). Simulation analysis and study on car-following safety distance model based on braking process of leading vehicle. In 2011 9th World Congress on Intelligent Control and Automation (pp. 740-743). IEEE.
- [10] Rongqiang, G., Jian, F., & Junyi, L. (2016, July). Based on binocular identification technology of automobile active braking safety distance model research. In 2016 International Symposium on Computer, Consumer and Control (IS3C) (pp. 355-357). IEEE.
- [11] Gillespie, T. D. (1992). Fundamentals of vehicle dynamics (Vol. 114). SAE Technical Paper.
- [12] Stopping distance, reaction distance and braking distance. (2021, January 22). <https://korkortonline.se/en/theory/reaction-braking-stopping/>
- [13] Smart signal data processing slashes response time for cars. (2019, January 4). EeNews Automotive. <https://www.eenewsautomotive.com/news/smart-signal-data-processing-slashes-response-time-cars>
- [14] PreScan Overview. (2020, March 27). TASS International. <https://tass.plm.automation.siemens.com/prescan-overview>
- [15] Skrucany, T., Harantova, V., Kendra, M., & Barta, D. (2017). Reducing energy consumption by passenger car with using of non-electrical hybrid drive technology. *Advances in science and technology research journal*, 11

DESIGN OF A DIGITAL FARMING SYSTEM USING HIVE MIND INTELLIGENCE

Ozenc AYBEK^{1}, Baran KUZU¹, Enes SEVER¹, Aydin YESILDIREK¹*

¹Yıldız Technical University, Mechanical Engineering Department, Mechatronics Engineering, Istanbul, Turkey

ABSTRACT

In traditional agriculture, planting and harvesting works with the cumulative knowledge of the farmer. Realization of land recognition, approval and control processes with long-term observation measurements of agricultural engineers and the gradual decrease in the number of employees in the agricultural sector is a very important and critical problem that needs to be worked on. In this study, a digital farming system is proposed, which will use limited resources in the most effective way by combining sensor technologies with communication and artificial intelligence algorithms, aiming to provide an autonomous agricultural cycle with robot workers who aim at the safety of workers and food. It will provide vitally needed projections in real time by reporting product maturity, expected harvest, quality, total water used, fertilizer and pesticide using Artificial intelligence algorithms, and these results will be conveyed to the farmers in the form of meaningful suggestions with the help of the user interface.

Keywords: Digital Farming, Autonomous Systems, Unmanned Human Vehicles, Sensor Fusion, Artificial Intelligence, Database

I. INTRODUCTION

According to the 2019 data of the Turkish Statistical Institute, the annual population growth in Turkey is 13.9 per thousand. This increase in the population of Turkey shows that production of an average of 523 tons of extra food every year, and traditional agriculture is insufficient to meet this increase. In traditional agriculture, where planting and harvesting works with cumulative knowledge, the realization of land recognition, approval and control processes with long-term observations and measurements by agricultural engineers shows that traditional agriculture is a great opportunity to leave a mark on the digitalized world.[1]

Processing the instant data that can be obtained with sensor fusion and observation technology in the robotics sector while making sense of this data in an intelligent way

necessitates the design of a mechatronics system that can meet the increasing production needs in agriculture. This system can minimize the waste of resources and combine the most effective cultivation methods in agriculture with Industry 4.0. The design criteria of this system will be specified in the method section. The system is aimed to take measurements with sensors and collect images via a camera, to transmit this data to an embedded software with a communication protocol, to combine artificial intelligence and optimization algorithms of this embedded software with database processing methods and to make autonomous decisions that will increase efficiency.[2]

The outputs of these autonomous decisions to be taken by the system is expected to return to the farmer as various improvement proposals in irrigation, fertilization, harvesting and similar areas. The system proposed offers a modular and innovative solution replacing

cumulatively advanced knowledge and repetitive work of traditional agriculture.[3]

II. MATERIAL AND METHOD

Honey bee colonies are one of the more intriguing swarms across nature. Honeybee colonies include visual memory, navigation systems, decision-making processes for deciding where to nest next, and task-sharing systems for obtaining food, indicating that their unique characteristics are based on intelligent behavior models and communication protocols.[1] Therefore, having a deeper understanding of how they interact with each other and modelling dynamic behavior of honey bee colonies can be a crucial step towards technological developments.

II.1. Hive Mind Hierarchy

For this study, a novel hierarchy has been created inspired by bee colony behavior. The data collected by the observer ground robots and unmanned aerial vehicles using sensors and actuators is sent to the "hive," which is the queen bee's ground station, for processing and interpretation. This hierarchy then provides information to the farmer about his cultivation habits, how he may modify them, and when his goods will be ready for harvest by going through the steps that will be later addressed. Hive Mind Colony members are given by their authorities and primary missions in Table 6.

Table 6. Hive Mind Hierarchy

Colony Member	Authority	Mission
Ground Station	Queen Bee	Artificial Intelligence Algorithms and Database Management
Drone (UAV)	Drone	Taking parcel photos by patrolling the land
Observer Ground Robots	Worker Bee	Taking pH, humidity and temperature measurements

II.2. Ground Station

As processors in the ground station, Nvidia Jetson and Raspberry Pi integration were utilized, which handles the population members, mainly drone and mobile robots, and performs robot-mission matching and robot job priority judgments. The first operation performed at the ground station was the identification of leaf disease.

The photograph specified in the first hierarchical image processing model is in the shape of a 3x3 matrix as [5120,3840,3]. This shows that the picture consists of 3 different expressions in the color space, 5120 on the x-axis, 3840 on the y-axis. At the bottom right of the picture, the positions of the pixels on the cursor and the values of the color space array is shown using plot graphing. In the Blue Green Red color space, [178,229,185] represents green and it corresponds to numerical expressions. When the picture is transformed into black and white, the pixel value, which takes three values, is reduced to a single value.

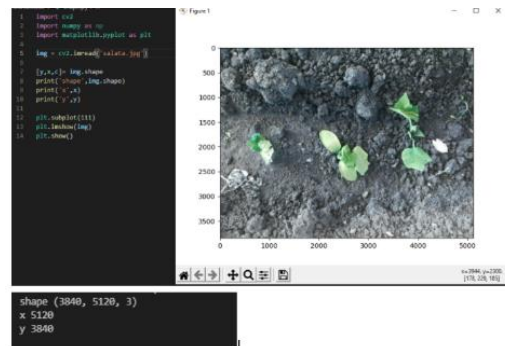


Fig. 51. Landscape Images

Although color distortion is an appropriate color space for color transitions, because project was implemented in an open place, the reflection of the light led the color detection and pixel values to exhibit deceptive expressions. As a result, Hue (color essence), Saturation (color saturation), and Value (Brightness) characteristics were required. Figure 52 demonstrates the model created to overcome this issue.

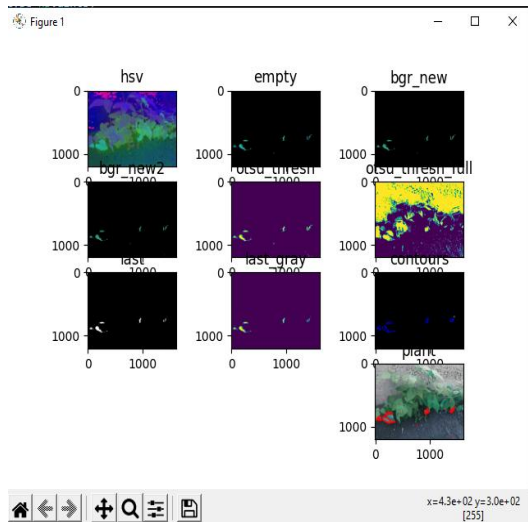


Fig. 52. Working Principle of Image Processing Algorithm

In order to observe the color deformation on the plants, Hue Sue Value(HSV) color codes limitations and Blue Green Red (BGR)color codes for operations such as validation filtering were used as shown in Figure 53.



Fig. 53. Detection of Color Distortion with Image Processing in the Hobby Garden

When possible unhealthy plant locations by using the color difference at the general level was detected, it was necessary to determine the leaves and fruits on the close-up image to be taken from the land vehicle. At this point, object detection methods with Haar Cascade and artificial neural networks were used. In order to train the models peppers, tomatoes, beans, lettuce, potatoes pictures from the hobby garden were taken. The pictures were taken 3 times a day for over 2 months.

Cucumber seedling detection over real-time video using Haar Cascade were performed. The color deformation on the seedlings using the HSV and BGR color codes were examined. Data annotation, which is the most

challenging part of artificial intelligence training, was performed.

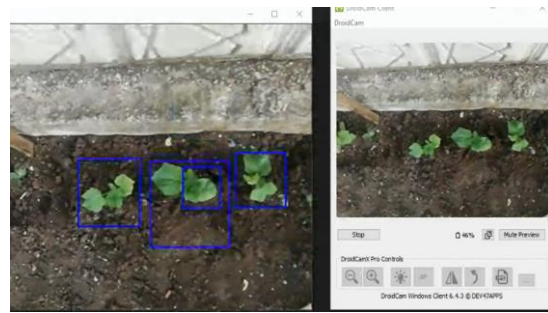


Fig. 54. Detection of Cucumber Seedling

After performing the leaf detection, it was necessary to take a closer and more sensitive photograph of the area that is estimated to be unhealthy and confirm that there is an unhealthy situation in the area. As a result of the researches, 2 types of plant diseases were chosen. The first of these is vegetative wounds caused by parasites, pests and physical impacts; and the second is plant rust, which expresses the changes in color as a result of taking food, water and sunlight in an unbalanced way.

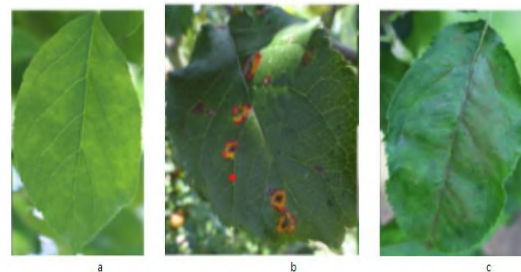


Fig.55. a - plant rust, b - vegetal wound, c - healthy plant

After determining which parameters to classify healthy and unhealthy plants, the training of the designed convolutional artificial neural network algorithm was carried out. The sample output given when the trained network is used for testing is shown in the figure below. A photo of a healthy leaf was given as input to the network, and the trained mesh was able to detect that the leaf was healthy with 99.972% accuracy.



Fig. 56. Leaf Health Detection

In addition, a photo of a unhealthy leaf was given as input to the network, and the trained mesh was able to detect that the leaf was unhealthy with 100% accuracy.



Fig. 57. Leaf Health Detection

The performance graphs of the developed configurational neural network are as shown below. The artificial neural network model achieved the desired success after the 18th training.

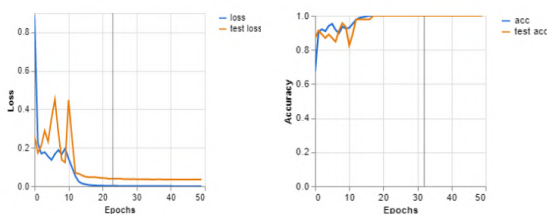


Fig. 58. Performance Graphics

For harvest prediction, Faster R-CNN ResNET152 V1 1024X1024 artificial network was developed with the concepts of true positive and false positive and true negative and false negative.

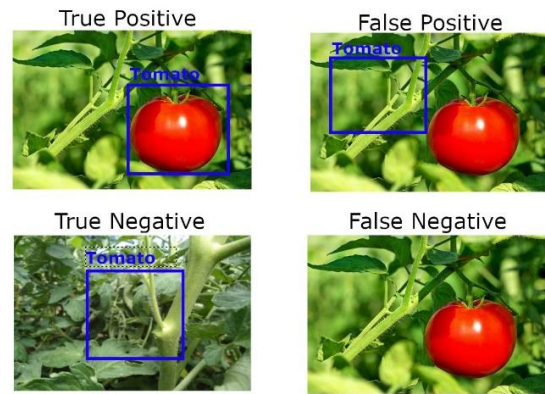


Fig. 59. Harvest Prediction

The results of the harvest prediction has been shown in Figure 60.



Fig. 60. Harvest Prediction

If the plant is labeled as unhealthy by the network after these processes have taken place, mobile land vehicle will be directed to the area to take precise moisture, pH and temperature measurements from the soil area where the plant is located. The sensor data sent by the mobile vehicle is interpreted by another network based on logistic regression.

The data used in training the logistic regression-based network were produced as a result of the researches. In general, it is known that the pH value of the soil where a healthy plant is located is between 5.5-7.5, the humidity is between 60%-80% and the temperature is at about room temperature. At the same time, it is assumed that the plants used in agricultural activities cannot grow in a healthy way in cases where the pH value is greater than 10 and less than 4, the temperature is less than 8 degrees, greater than 40 degrees, and the soil moisture content is less than 20%. The database used in the training of the artificial neural network model, which classifies plants as healthy or unhealthy

according to the sensor data coming from the mobile robot, was created in line with this information. [4]

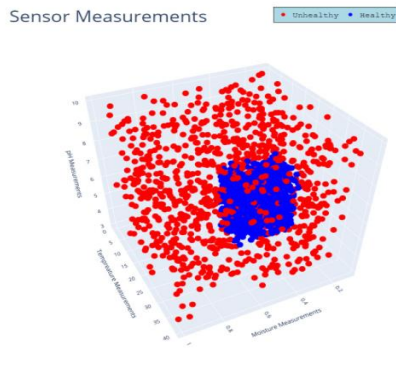


Fig. 61. Dataset in 3-Dimension

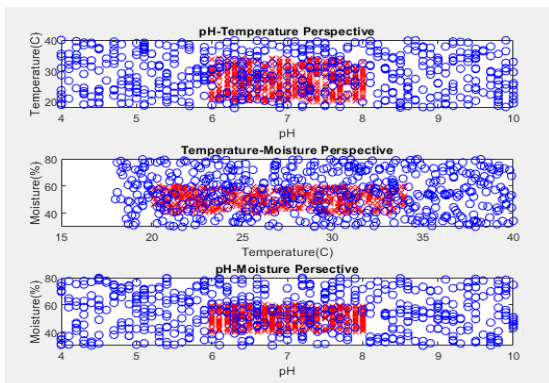


Fig. 62. Dataset Reducted in 2-Dimension

The artificial neural network was trained with a learning rate of 0.01 in 2000 epochs. The data set target output that the network needs to reach and their actual output are shown in the figure below. As a result of the training, the performance value of the network is 0.000160961.

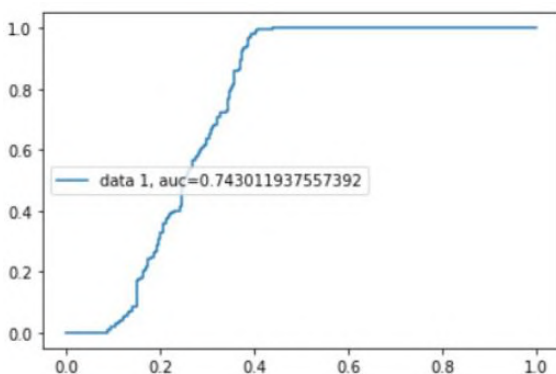


Fig. 63. a- Logistic Regression Model b- Dataset Clustering Training Results

With the interpretation of the data collected at the end of all these processes it is aimed to inform the user through the interface ; such as the general condition of the plant, care recommendations, harvest time estimation, harvest amount estimation and possible epidemics. At the same time, measurements made for possible statistical approaches will be recorded in the database by the ground station. In Figure 63, the dictionary of the respective database is given.

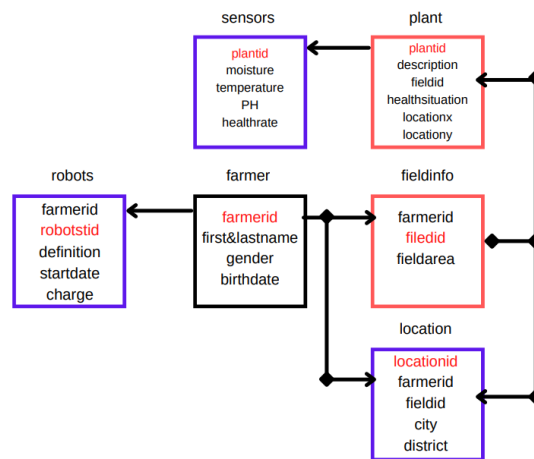


Fig. 64. Database Scheme

II.3. Drone

The drone used in our Digital Agriculture System is the 3DR Solo Drone. Within the scope of test flights, live positioning, path tracking, image transfer, speed and altitude determination and control processes were carried out. Ardupilot based Mission Planner application was used.



Fig. 65. (a) Drone Test Flights (b)Ardupilot Mission Planner

II.4. Observer Ground Robots

Observer Ground Robot can perform pH, humidity and temperature measurements with a single sensor designed the necessary measurements from the field were taken.[5]

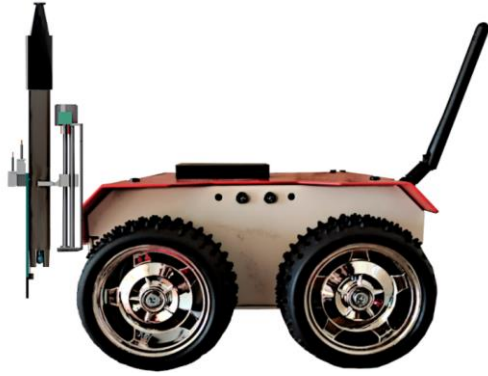


Fig. 66. Observer Ground Robot Design

In order for the designed sampling mechanism to work, the necessary motor driver circuit and electronic card have been designed.

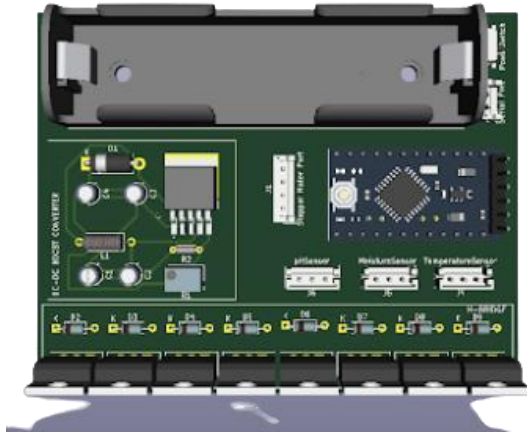


Fig. 67. Motor Driver Circuit Electronic Card

II.5. User Interface

End users can select the relevant land among the defined lands, access to live data about which plant is cultivated in what percentage of the land and the health status of these cultivated plants as a result of fused sensor measurements. Screenshots are shown in Figure 68. The land given in the example is the concept realized on a 34 m² hobby garden in Sakarya.

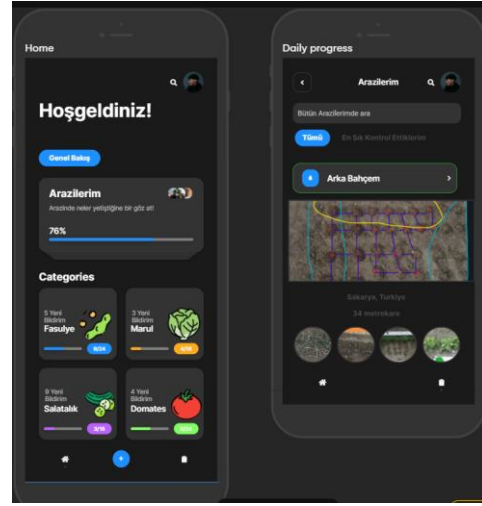


Fig. 68. User Interface

II.6. Hive Mind Communication Architecture

All elements of the swarm can be accessed remotely through the API implemented on Raspberry Pi. In addition, data is protected because the network developed is designed in accordance with security protocols.

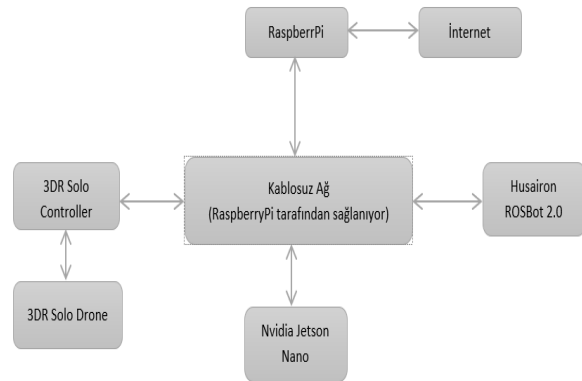


Fig. 69. Communication Architecture

III. RESULTS AND DISCUSSIONS

The designed Digital Agriculture System, enables farmers to access instant drone bird's-eye views of the lands they define, observe the health status of the vegetables and fruits they plant in this land, the time remaining to harvest, and have information about the reason why the unhealthy plants decrease in yield.

This Digital Agriculture System, which continues to work autonomously, will also act as the eye of the agricultural engineer or farmer when they are not near the land.

Thanks to the artificial intelligence algorithms implemented, unhealthy zone detection on the land, leaf and fruit detection in the plant, damage detection in unhealthy areas can be made.

Due to the fact that farming landscapes are harder terrains that contain real-life threatening conditions, for the sake of this project, optimal conditions has been accepted as ground rules. However, with the necessary future work- such as having battery life for drones and making ground observer robot more resistant – can enable further improvements.

The harvest prediction phase offers an unique point to end-users, which is to be able to reach out to prospective customers before even harvesting begins. Thus, an integration with Digital Farming Market, developing by T.C Ministry of Agriculture and Forestry (2021) is prospectively expected. [6]

IV. CONCLUSIONS

In this study, a bio-inspired digital farming system combined the nature's beauties with today's technologies has been designed.

V. REFERENCES

- [1] Karaboga, D., & Akay, B. (2009). A survey: algorithms simulating bee swarm intelligence. *Artificial Intelligence Review*, pp. 31(1-4), 61.
- [2] Durmuş, H., Güneş, E. O., M. Kırıcı and B. B. Üstündağ (2015). "The design of general purpose autonomous agricultural mobile-robot: "AGROBOT". *Fourth International Conference on Agro-Geoinformatics*, Istanbul, pp. 49-53.
- [3] Ibani, D., IJsselmuiden, J., Haken, R., Trianni, V. (2017). Monitoring and Mapping with Robot Swarms for Agricultural Applications. *IEEE AVSS Conference, Intelligent Technologies for Environmental Monitoring Workshop* pp. 1–6.
- [4] Lippmann, R. P. (1987), An Introduction to Computing with Neural Networks. *IEEE ASSP Mag.*, vol. 4, no. 2, pp. 4–22
- [5] Sanathi, P. V. , Kapileswar N., Chenchela, V. K. R. (2017) Sensor and Vision based Autonomous AGRIBOT for Sowing Seeds. *International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS)* pp. 242-245
- [6] T.C Tarım ve Orman Bakanlığı (2021) , Dijital Tarım Pazarı. Retrieved from <https://ditap.gov.tr/>,

MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ İSTİHDAM ARAŞTIRMASI

Rabia DOĞAN YILDIRIM

*Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Entitüsü, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı,
İstanbul, Türkiye*

ÖZET

Mekatronik, mekanik ve elektronik kelimelerinin uygun bir şekilde birleştirilmesinden oluşmuştur ve ilk kez 1969 yılında Japon Yasukawa Elektrik Şirketine bir mühendis makine ve elektronik mühendisliği alanlarının birleşmesi anlamında "mekatronik" kelimesini kullanmıştır. Mekatronik Mühendisliği ise makine, elektronik, yazılım ve kontrol teknolojilerini bir arada barındıran, sistem, makine veya ürünün bütünleşmesini sağlayan bir mühendislik dalı olarak tanımlanabilir. Türkiye’de mekatronik alanında kurumsal düzeyde ilk çalışmalar 1990’lı yıllarda Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü bünyesinde başlatılmıştır. Ancak mekatronik mühendisliği bölümü adı altında eğitim ilk olarak Kocaeli ve Atılım Üniversitesinde vermeye başlanmıştır. Bu çalışmada, 2020 yılında yapılan ve ülkemizdeki mekatronik mühendisliği bölümü mezunu mühendislerin, mezuniyet sonrası istihdam durumunu ve süregelen süreçte sektördeki durumu ölçmeyi amaçlayan, Mekatronik Mühendisliği İstihdam Anketi sonuçları paylaşılacaktır. Anket çalışmasına mekatronik mühendisliği bölümünden mezun olmuş 513 mühendis katılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Mekatronik Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Teknoloji Fakültesi, Mezun öğrenci araştırması, Mekatronik Mühendisliği İstihdam Anketi, Uygulamalı Eğitim, İş yeri eğitimi, 7+1 eğitim modeli, MTOK mezunu mühendis araştırması

I. GİRİŞ

Mekatronik sistemler özellikle son yıllardaki teknolojik gelişmelerin doğurduğu en önemli sonuçlardan biridir. En genel anlamda mekanik, elektronik, kontrol ve yazılım bileşenlerinden oluşan; denetim değişkeni olarak seçilen fiziksel büyüklüğe ilişkin verileri uygun şekilde seçilmiş algılayıcıları aracılığıyla toplayan, bu verileri kontrolcülerini ve hafızasındaki yazılımlar marifetiyle yorumlayan ve gerekli kararları alabilen, ayrıca tahrik elemanları (eyleticileri) ile de gerekli tepkileri veren tüm makine, cihaz ve sistemler “mekatronik sistemler” olarak adlandırılmaktadır.

Algılayabilen, ölçebilen, karar verebilen ve bu karar yönünde hareket edebilen otomatik makineler; yani mekatronik sistemler, savunma sanayi, güvenlik sistemleri,

makine sanayi, endüstriyel otomasyon sistemleri, tıp, tarım, bankacılık ve madencilik gibi çeşitli alanlarda uygulanmakta olup, kullanım alanları her geçen gün genişlemektedir [2]. Mekatroniğin bir bilim dalı olarak gelişimi temelde robot sistemleriyle birlikte başlamışsa da günümüzde pek çok alanda mekatronik uygulamalarına rastlanmaktadır [3].

Mekatronik, çok disiplinli ve disiplinler arası konuları kapsayan bir mühendislik felsefesi ve mühendislik uygulamalarına tümleşik bir yaklaşımdır. Mühendislik, genel olarak, kuramsal olarak doğruluğu kanıtlanmış kavramların uygulamaya aktarılmasındaki güçlükleri ve sorunları aşma etkinliği olarak tanımlanır. Mekatronik mühendisliği ise mühendislik

ilkeleri içinde, makina mühendisliği, elektrik/elektronik mühendisliği ve bilgisayar teknolojisinin eş amaçlı tümleşik bir yapıda gerçekleştirilmesi ve uygulamasıdır. Bu tanımlara uygun olarak mekatronik mühendisleri ilgili disiplinlerde uzmanlık kazanan, tüm tasarımı ve her düzeyde tasarım sürecini denetleyebilen, yönlendirebilen ve katkıda bulunan kişilerdir. Mekatronik mühendisleri ilgili disiplinlerdeki uzmanlarla iletişim kurabilen, bu uzmanlık konularındaki bilgilere erişebilen, bu bilgileri yorumlayabilen ve bu bilgileri ekonomik, yenilikçi ve müşteriye üst düzeyde tatmin eden bir ürüne dönüştürmek amacı ile kullanabilen uzmanlardır [2,4]. Mekatronik mühendisliği bölümü ülkemizde, mühendislik fakültesi ve teknoloji fakültesi bünyesinde yer almaktadır. Mühendislik fakültesi eğitimi teorik ağırlıklı iken teknoloji fakültesi eğitimi uygulamaya yönelik ve pratik eğitim ağırlıklıdır. Özellikle teknoloji fakültelerinin uyguladığı 7+1 eğitim modeli ile iş yeri eğitimi başlığı altında yapılan uzun dönem staj ile öğrenciler mezun olmadan önce deneyim elde etmekte ve tecrübe sahibi olmaktadır. Ülkemizde halen yaygınlaşmaya devam eden bir mühendislik dalı olan mekatronik mühendisliği için yapılmış olan istihdam anketi hakkında verilerin bulunduğu bu çalışmada; mekatronik mühendisliği bölümünü tercih ederken veya mezun olurken soru işaretleri olabilecek hususlara cevaplar bulunacaktır.

II. ANKET KATILIMCI BİLGİLERİ

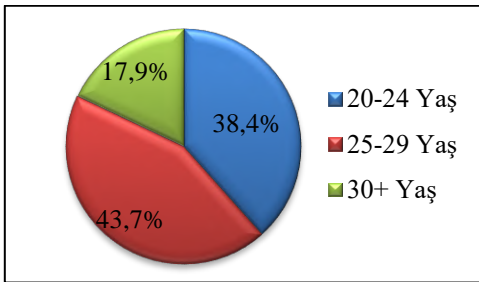


Fig. 70. Katılımcıların Yaş Dağılımı

Mekatronik Mühendisliği ülkemizde 1990'lı yıllarda var olmaya başlamıştır ancak 2000 yıllarının başında resmi olarak bir bölüm olmuş ve mekatronik mühendisi mezunu vermek üzere bölümler açılmaya başlanmıştır. Yanıtlara bakıldığında da mekatronik mühendisliği bölümünün genç bir alan olması sebebiyle mekatronik mühendisi kitlesinin genç ve dinamik bir yapıya sahip olduğu görülmektedir.

Türkiye'deki mekatronik mühendislerinin %38,4 ü 25 yaşından küçük, %43,7 si 25-30 yaş aralığında ve geriye kalan %17,9 u da 30 yaş üstüdür (Fig. 70).

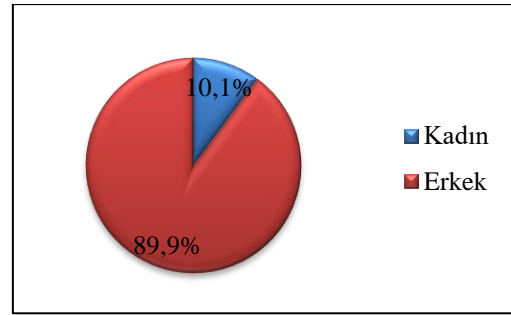


Fig. 71. Katılımcı Cinsiyet Bilgisi

Cinsiyete dayalı mesleki katmanlaşma, herhangi bir işyerinin en belirgin ve inatçı karakterlerinden biri olarak kabul edilebilir. Dünyanın neresine giderseniz gidin, kadınların ve erkeklerin farklı sektörlerde ve farklı mesleklerde yoğunlaştığını görürsünüz; bu durum genellikle “kadın işi” ve “erkek işi” ayrımı ile ifade edilmektedir. Kadınlar; hemşirelik, öğretmenlik, diyetisyenlik, sekreterlik vb. “kadın işi” olarak adlandırılan işlerde çalışırken; erkekler ise, mühendislik, bilgisayar programcılığı, pilotluk vb. gibi teknik veya entelektüel açıdan daha “donanımlı” olarak kabul edilen mesleklerde çalışırlar.

İş gücü piyasasındaki bu yatay profesyonel tabakalaşmaya ek olarak, erkeklerin dikey tabakalaşma açısından da üst düzey yönetim pozisyonlarının yüksek bir yüzdesini işgal ettikleri bilinmektedir. Erkeklerin yoğunlukla var olduğu mühendislikte, kadınların yüzdesi son 20 yılda artmış olsa da çoğu mühendislik

dalında kadın öğrenci oranı hâlâ çok düşüktür [5]. Nitekim anket sonuçlarına bakıldığında da mühendislerin %10,1 lik kısmını kadın mühendisler oluşturmaktadır (Fig. 71). Mühendislik dallarında kadınların tercih ederken yaşadığı tedirginliğin mekatronik alanında da var olduğu görülmektedir.

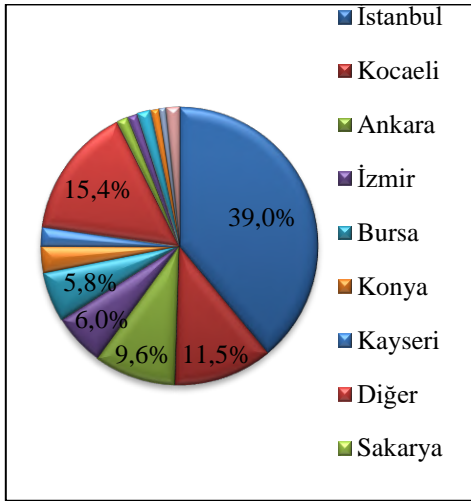


Fig. 72. Katılımcıların İkamet Dağılımı

Mühendislerin %39 oranı ile İstanbul'da ikamet ettiğini görmekteyiz. İstanbul'u %11 lik oran ile Kocaeli, %10 luk oran ile Ankara takip etmektedir (Fig. 72). Burada sanayi yoğunluğunun özellikle Marmara Bölgesinde fazla olması sonucu katılımcıların yüzde atmış oranı ile Marmara Bölgesi illerinde çalıştığı görülmektedir.

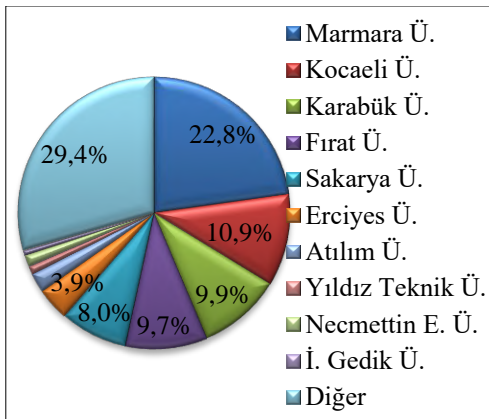


Fig. 73. Katılımcıların mezun oldukları üniversite

Anket kapsamında ve sonuçların değerlendirilmesinde önemli rol oynayacak sorulardan bir tanesi, mezun olan ve ankete katılan mekatronik mühendislerinin hangi üniversiteden mezun oldukları sorusudur. Halen ülkemizde 30 kadar üniversitede mekatronik mühendisliği eğitimi verilmeye devam edilmektedir. Bu soruya cevaplar şu şekildedir. %22,8 lik oran ile 117 kişi Marmara Üniversitesi, %10,9 luk oran ile 56 kişi Kocaeli Üniversitesi, %9,9 luk oran ile 51 kişi Karabük Üniversitesi, %9,7 lik oran ile 50 kişi Fırat Üniversitesi, %8 lik oran ile 41 kişi Sakarya Üniversitesi, takiben Erciyes Üniversitesi, Atılım Üniversitesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, İstanbul Gedik Üniversitesi, ve diğer üniversiteler gelmektedir (Fig. 73).

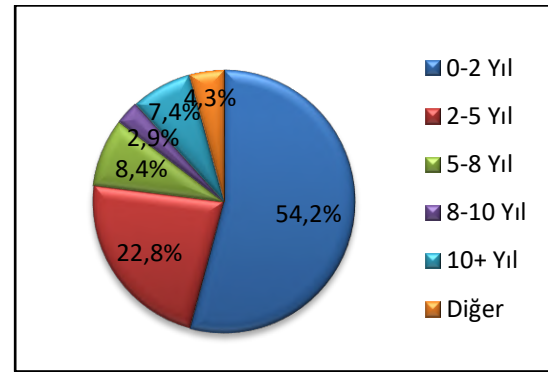


Fig. 74. Katılımcıların Çalışma Süreleri

Anket sonuçlarını yorumlamada etkin rol oynayacak bir diğer soru ise katılımcıların çalışma süreleridir. Katılımcıların %54,2 oranı ile 278 mühendis 2 yıl ve daha az tecrübeye sahiptir. %22,8 lik kesim 2-5 yıl, %8,4 lük kesim 5-8 yıl ve %10,3 lük kesim ise 8 yıl ve daha üstü tecrübeye sahip mühendislerdir. Bununla birlikte %4,3 lük kesim halen uygun bir iş fırsatı yakalayamamış veya farklı bir sektörde çalışmaya devam eden mühendislerden oluşmaktadır (Fig. 74).

Ülkemizde mekatronik mühendisliğinin yer edinmesi ile yeni nesillerde tercih edilme oranının arttığı bu soru ile net bir şekilde görülmektedir.

III. KATILIMCILARIN TEMEL EĞİTİM BİLGİLERİ

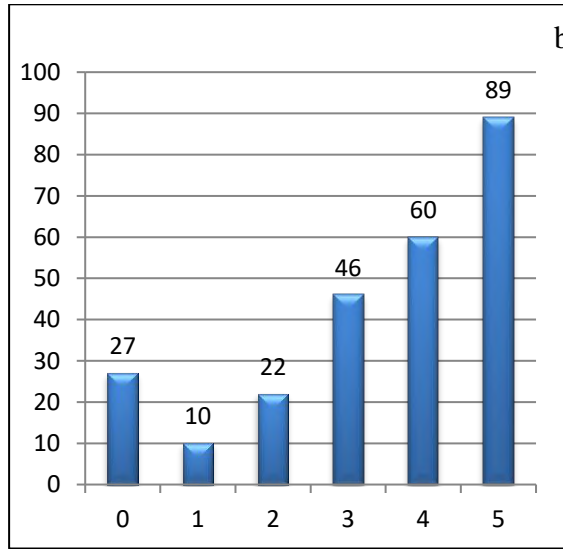
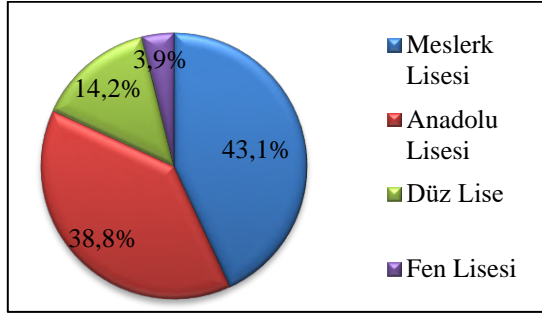


Fig. 75. Katılımcıların Temel Eğitim Bilgileri (a) Katılımcıların mezun oldukları lise (b) Meslek lisesi mezunu katılımcıların meslek lisesi bilgilerini kullanma oranları

Ülkemizde 2010 senesinden itibaren açılmaya başlayan teknoloji fakülteleri ile birlikte teknik liselerde okuyan öğrencilerin mühendislik yolunda önleri açılmış olup; teknoloji fakültelerinde uygulamalı eğitim almış, sağlam temellere sahip mühendisler yetiştirilmektedir.

Bu bağlamda anketimizde teknik liseden mezun olup lisedeki bilgilerin iş hayatında ne derece kullanıldığı sorusunun cevabını aradık. Ankete katılan 513 mühendisten %43,1'lik oran ile 221'i meslek lisesi mezunu olup bunlardan %35'i 0-5 aralığındaki puanlandırmada 5 puan kullanmıştır. %23,6 sı 4 puan, %18,1'i 3 ve %12,6'sı da 2 ve 1 puan kullanarak meslek lisesindeki bilgileri değişen oranlarda kullandıklarını belirtmişlerdir. %10'luk

gibi az bir kesim ise meslek lisesindeki bilgilerden faydalanmadıklarını belirtmişlerdir (Fig. 75-b). Diğer yandan katılımcıların %38,8'inin Anadolu lisesi ve %3,9'unun fen lisesi mezunu olduğunu görmekteyiz (Fig. 75-a).

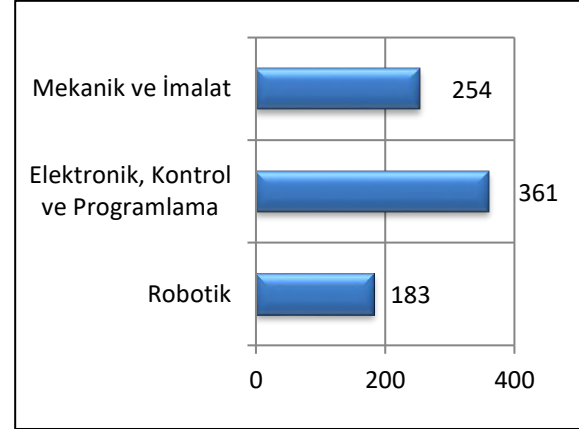


Fig. 76. Katılımcıların ilgi duydukları alanlar

Mekatronik Mühendisliği farklı disiplinleri barındıran bir bölüm olması sebebi ile lisans programlarında farklı alanlarda dersler mevcuttur. Ankette 3 gruba ayırdığımız, “Mekanik ve İmalat”, “Elektronik, Kontrol ve Programlama” ve “Robotik” ana başlıkları altında katılımcıların hangi alana ilgi duyduğunu sorduk. Katılımcılardan gelen cevaplarda %70,4'lük oran ile en çok ilginin “Elektronik, Kontrol ve Programlama” alanında olduğu görülmektedir. %49,5'lik oranla “Robotik” alanındaki ilgi ve %35,7'lik oran ile de “Mekanik ve İmalat” alanındaki ilgi görülmektedir (Fig. 76).

Bu alanlar altında verilen birçok ders mevcuttur. Biz bu derslerin meslek hayatında ne kadar faydalı olduğunu öğrenmek adına yönelttiğimiz soru sonucunda en faydalı dersin PLC programlama olduğunu görmüş olduk. Takiben Mekatronik Sistem Tasarımı, Bilgisayar Destekli Tasarım, Robotik, Bilgisayar Programlama, Makine İmalatları, İmalat, Resim ve Konstrüksiyon ve diğer dersler yer almaktadır.

IV. İŞ HAYATINA GİRİŞTE VE ÇALIŞMA SÜRESİNCE YABANCI DİLİN ETKİNLİĞİ

Tüm dünyada kabul gören bilim dilinin İngilizce olduğu kabul edilmektedir. Aynı zamanda dünyada bilgisayarlarda saklanan bilgilerin % 80'ine yakın kısmının İngilizce olduğu da belirtilmektedir [6,7]. Kişilerin uluslararası iletişim kurabilme, çok sayıda kaynak inceleyebilme ve ürettiğimiz bilginin daha çok kişiye ulaşabilmesi gibi temel etmenler dolayısıyla başta İngilizce olmak üzere yabancı dil ihtiyacı vardır. Mühendislikte ve iş hayatında da yabancı dil yetkinliği aranmaktadır. Çalışmanın bu kısmında mekatronik mühendislerinin yabancı dil bilgileri incelenmiştir.

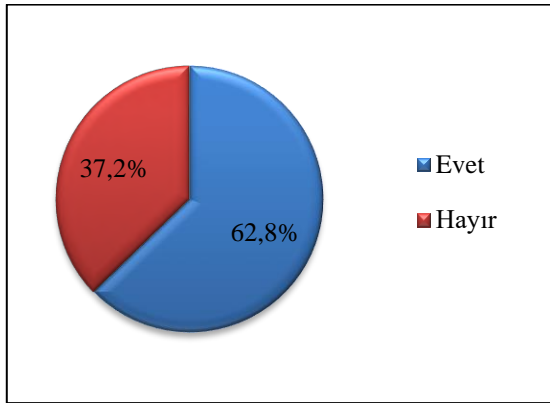


Fig. 77. Katılımcıların yabancı dil eksikliği

Katılımcılara öncelikle “İşe giriş sürecinde veya çalışma hayatında yabancı dil eksikliği hissettiniz mi?” sorusu yöneltilmiştir ve %62,8 oranı ile evet cevabı alınmıştır (Fig. 77). Bunun üzerine sorulan bir diğer soruya göre yabancı dil eğitimi için mekatronik mühendislerinin %51,5’inin Türkiye’de dil kursu tercih ettiği görülmektedir. %6,2’lik kesim ise yurtdışı dil okullarında dil eğitimi almıştır. %10,9’luk kesim online eğitimi tercih ederken %39,8’lik kesim ise hiçbir kurs desteği almamıştır.

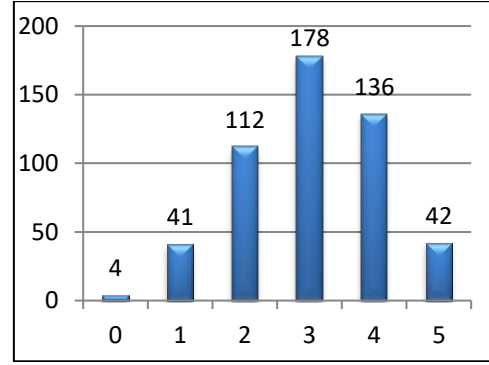


Fig. 78. Katılımcıların yabancı dil yetkinliği puanlaması

Mekatronik mühendislerine yabancı dil seviyelerini 0-5 arasında puanlamalarını istediğimizde; en yaygın kullanılan İngilizce dili için %34,7’lik kesimin 3 puan, %26,5’lik kesimin 4 puan, %21,8’lik kesimin 2 puan, %8,2’lik kesimin ise 5 puan verdiğini görmekteyiz. %0,8 gibi bir oran ile 4 kişi hiçbir bilgisi olmadığını belirtmiştir (Fig. 78).

İş hayatında aktif rolleri olan mühendislerin genel itibari ile orta veya yüksek derecede İngilizce dil yetkinliği olduğunu görmekteyiz.

Buna istinaden iş yerlerinde yabancı dil kullanım etkinliği %64,5 oran ile orta derecede, %14,4 ile ileri derecede ve %21,1 oranında çok az veya hiç olduğu görülmektedir.

V. İŞ HAYATINA GİRİŞ VE ADAPTASYON

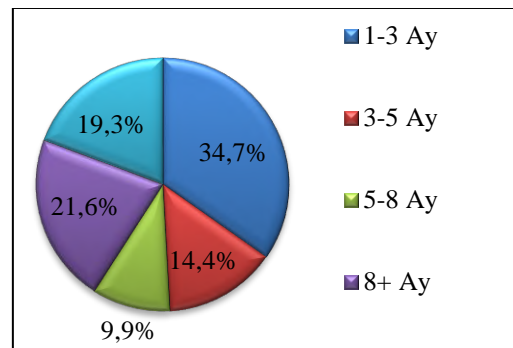


Fig. 79. Katılımcıların mezuniyet sonrası iş arama süresi

Yeni mezun mühendislerin ilk iş deneyimi elde edebilmek için uygun iş yeri bulma arayışı bazen uzun süreler alabilmektedir. Bunu iş arayan ve iş veren tarafından iki taraflı geçerli sebepleri olabilmektedir. Çalışmada ankete katılan mekatronik mühendislerine öncelikle “İş bulmakta zorlandınız mı?” sorusu yöneltilmiştir ve %53'lük kesim mezuniyetten sonra iş bulmakta zorluk çekmediğini belirtmiştir. İş arama sürecinde ise en yüksek oran olan %34,7'lik kesimin 1-3 ay arasında ilk iş tecrübelerini edinmeye başladıkları görülmektedir.

Burada önemli bir nokta ise uygulamalı eğitimlerde iş yeri stajının önemini göstermekte olup, mezunların %19,3'lük kesimi staj yaptığı yerde çalışmaya başlamıştır (Fig. 79).

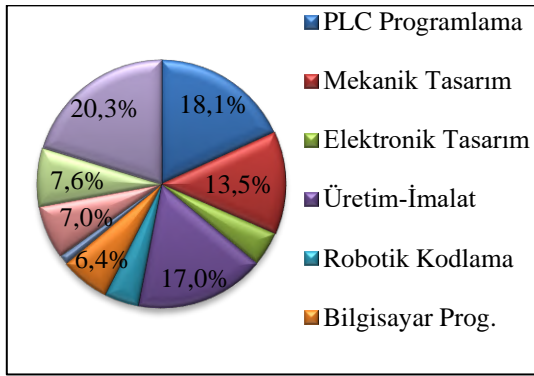


Fig. 80. Katılımcıların görev aldıkları departmanlar

Mekatronik mühendisliği komplike bir bölümdür. Yapısı gereği lisans eğitiminde çeşitli temel alanların temel dersleri mevcuttur. Makine mühendisliğinden temel dersler olan statik, dinamik, mekanizma tekniği, teknik resim, 3D tasarım, makine elemanları vb. derslerin; elektrik-elektronik mühendisliğinden, elektrik-elektronik devreler, PCB kart tasarımı, PLC eğitimi vb. derslerin; bilgisayar mühendisliğinden, çeşitli yazılım dilleri ile kodlama eğitimi, görsel programlama vb. derslerin eğitimleri verilmektedir. Bunun sonucunda çoğu zaman mezun mühendislerin ilgi alanlarına göre bir alan seçip, o alanda uzmanlaşma hedefleri olmaktadır. Bu sebeple mekatronik mühendisleri birden fazla

alanda yer edinmektedir. Bununla birlikte mekatronik mühendisliği kavramını tam anlamıyla kullanarak, tüm yetkinlikler ile var olan departmanlarda çalışma alanı da elde edilmektedir.

Çalışmaya katılan mühendislerin %18,1'lik kesimi PLC Otomasyon Yazılımı, %17'lik kesim Sahada Üretim-İmalat, %13,5 Mekanik Tasarım departmanlarında görev almaktadır. Bununla birlikte %7,6 Eğitim-Akademik Çalışma, %7 Satış, %6,4 Bilgisayar Programlama, %4,5 Robotik Kodlama ve %4,5 Elektronik Tasarım, %1,2 Satın Alma Departmanında çalışmaktadır. Burada en büyük paya (%20,3) sahip olan Tüm Mekatronik Dalları cevabıdır.

Tüm Mekatronik Dalları cevabı ile lisans eğitiminin çıktısı olarak, mekatronik mühendislerinin iş hayatında alanları ile birebir konumda çalışma imkanı elde edebildiği görülmektedir (Fig. 80).

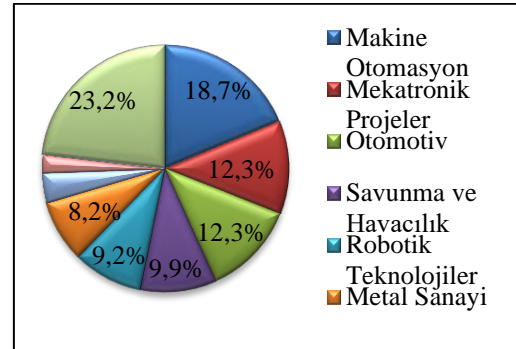


Fig. 81. Katılımcıların çalıştıkları sektörler

Mekatronik mühendislerinin çeşitli departmanlarda yer edinmesi gibi çeşitli sektörlerde yer edinmesi de komplike bir bölüm olması sonucunda ortaya çıkmaktadır. Çalışmaya katılan mühendislerin çalıştığı firma sektörleri; %18,7'lik oran ile Makine Otomasyon, %12,3 Otomotiv, %12,3 Mekatronik Projeler, %9,9 Savunma ve Havacılık, %9,2 Robotik Teknolojiler, %8,2 Metal Sanayi, %3,9 Bilişim Sistemleri ve takiben Danışmanlık, Eğitim gibi sektörlerdir (Fig. 81).

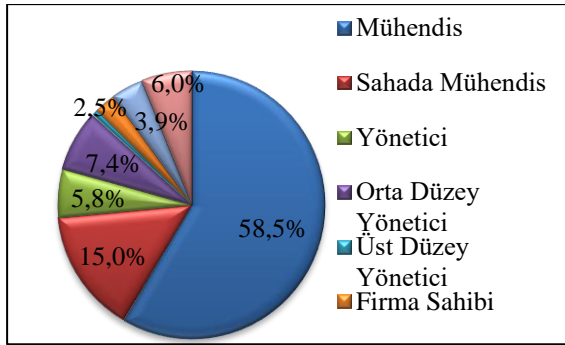


Fig 82. Katılımcıların firmadaki pozisyonu

Mühendislerin firmalardaki görev dağılımına bakıldığında ise %57,5 ofis çalışanı, %14,6 saha çalışanı, %8,2 orta ve üst düzey yönetici, %5,1 yönetici ve %2,5 firma sahibi oldukları görülmektedir (Fig. 82).

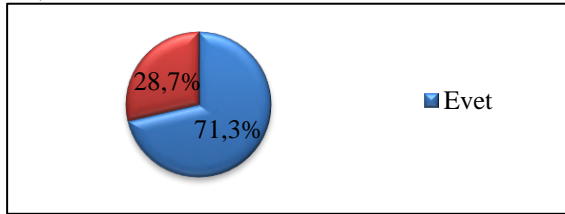


Fig. 83. Katılımcıların firmadaki pozisyonu

Son olarak mekatronik mühendislerine “Mesleğinizden memnun musunuz?” sorusunu yönelttik ve %71,3’lük oran ile 366 mühendisten evet cevabını aldık (Fig. 83).

VI. SONUÇLAR

Mekatronik mühendisliği bölümü mezunu 513 mühendis ile yapılan bu anket ile görülmektedir ki mekatronik mühendisliği mezunu kişilerin istihdamında çoğunlukla başarı sağlanmaktadır. Çalışanların iş bulmakta zorlanmadığı, zorlanan mühendislerin ise 8-10 ay içinde uygun bir iş bulduğu görülmektedir. Bununla birlikte 7+1 eğitim modeli (iş yeri eğitimi) ile sağlanan staj imkanı sayesinde öğrenciyken staj yapılan firmada, mezuniyet sonrası işe başlama oranı da yadsınamayacak kadar yüksektir. Meslek lisesi öğrencilerinin mühendisliğe geçişi ve uygulamalı eğitim sayesinde mühendisler henüz çalışmaya başlamadan pratik bilgiye de sahip oldukları için iş bulma sürecinde bir adım

önde olmaktadır. Komplike bir bölüm olan mekatronik mühendisliği mezunu mühendisler birçok sektörde çeşitli alanlarda çalışma imkanı elde etmektedir. Farklı departmanlarda katma değeri yüksek başarılar elde eden mekatronik mühendislerinin, mesleklerinden memnun olduğu da görülmektedir.

VII. REFERANSLAR

- [1] Prof. Dr. Abdülkadir Erten, Elektrik Mühendisliği Dergisi (Sayı 419), Mekatronik Mühendisliği Teknolojik Gelişmenin Getirdiği Bir Zorunluluktur
- [2] Eilers, S., Oodes, T., Modelling and Simulation of Heterogeneous Mechatronic Systems, Çalışma Raporu, Sistem ve Tasarım için Sistem Mühendisliği Enstitüsü, Hannover Üniversitesi, Almanya (2007).
- [3] Bansevicius, H. R. P., Smart Piezoelectric Mechanisms or the Golden Age of Mechatronics, Litvanya Mekatronik Araştırmalar, Çalışmalar ve Bilgi Merkezi, Litvanya (2008).
- [4] Bülent ÖZKAN, TUBAV Bilim Dergisi, (Sayı:3 Sayfa: 302-316), Mekatronik Sistemlerde Uygulanan Belli Başlı Kontrol Yöntemleri
- [5] Maureen Byko, Challenges and Opportunities for Women in Science and Engineering
- [6] Yrd. Doç. Dr. Binnur Genç İlter, Elektrik Mühendisliği Dergisi (Sayı 419), Mühendis Bakış Açısıyla Yabancı Dilde Eğitim
- [7] Millward, C.M. (1989). A Biography of the English Language. Chicago: Holt Rinehart and Winston
- [8] Yusuf İlme, İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Meslek Lisesi Öğrencilerinin Mühendislik Başarısı Ve Mühendislik Eğitimine Alternatif Öneri: Mühendislik Lisesi

ROS TABANLI MOBİL OTONOM ROBOT (AMR) GELİŞTİRME

Melih KORKMAZ^{1}, İzzet Fatih ŞENTÜRK²,*

*¹Bursa Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Akıllı Sistemler Mühendisliği,
Bursa, Türkiye*

*²Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bilgisayar
Mühendisliği, Bursa, Türkiye*

ÖZET

ROS (Robot Operating System) oluşturduğu standartta robotları kontrol etmeyi sağlayan, robotu çevresel bileşenlerle haberleştiren publish-subscribe mesajlaşma modeline sahip açık kaynak kodlu bir işletim sahibidir. Gün geçtikçe desteklediği ürün, paket ve proje sayısı artan ROS, simülasyon araçları ile dilden bağımsız ve modüler bir yapıya sahip olduğundan robot dünyasında standart konumunu almaktadır. Bu çalışmada ROS tabanlı AMR (Autonomous Mobile Robot) kullanılarak simülasyon ortamında SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) ve navigasyon fonksiyonları gerçekleştirilmiştir. Simülasyon araçları olarak ROS'un sağlamış olduğu Gazebo, Rviz ve rqt kullanılmıştır. Lidar sensörü, tekerleklerin odometri verisi ve SLAM fonksiyonu sayesinde konumlama ve haritalama işlemi yapılmıştır. Çıkarılan harita ile çalıştırılan navigasyon fonksiyonu sayesinde AMR olduğu konumdan verilen hedefe dinamik, güvenli ve maliyeti düşük yol planlaması yaparak hareket eder. Ayrıca geliştirilecek arayüz ile AMR'ler manuel olarak kullanılabilmesi gibi konumlar istasyon şeklinde kaydedilerek, reçete oluşturulup hızlı bir şekilde AMR'ler süreçlere eklenebilir. Doğal navigasyon, düşük maliyet, hızlı kurulum, merkezi yönetim sistemi ile çoklu robot kontrol imkanları dolayısıyla AMR'ler tercih edilir.

Anahtar Kelimeler: ROS, AMR, SLAM, Navigasyon

I. GİRİŞ

Mobil robotların kullanımı, başta endüstriyel alanlar olmak üzere hizmet, sağlık, savunma vb. sektörlerde giderek daha da yaygınlaşmaktadır [1] [2] [3]. Son zamanlarda yapay zekanın gelişmesiyle mobil robotların otonom şekilde hareket edebilmesini sağlayan sistemler üzerine odaklanılmıştır [4]. Mobil otonom robotlar (Autonomous Mobile Robot - AMR) ortamda hiçbir belirteç olmadan konumunu ve engelleri algılayıp dinamik olarak hedefine gitmesini sağlayan doğal navigasyonu sayesinde dinamik, güvenli ve maliyeti düşük yol planlamasına ve otonom sürüşe sahiptir. Bu çalışmada önce sistemde kullanılan araçlar olarak ROS, Robot ve Lidar sensöründen bahsedilmiştir. SLAM

ve navigasyon fonksiyonlarından bahsedilerek simülasyon ortamında testler yapılmıştır. Gazebo'da tasarlanan dünya ile birlikte simüle edilen robot kullanılarak harita çıkarılmıştır. Çıkarılan harita ile navigasyon fonksiyonu çalıştırılmış olup robotun verilen hedefe çevresindeki sabit ve değişken engelleri de dikkate alarak yol planlaması yapıp hedefe dinamik olarak vardığı gözlemlenmiştir. Daha sonra ROS ve AMR'nin geleceğinden bahsedilmiştir.

II. ARAÇLAR

II.1. ROS

ROS robotik platformlar için BSD (Berkeley Yazılım Dağıtım) lisanslı ve

açık kaynaklı bir yazılımdır. Ticari ve araştırma amaçlı kullanım için ücretsizdir. ROS ilk olarak 2007 yılında Stanford Yapay Zeka Laboratuvarı (SAIL) tarafından Stanford AI Robot projesinin desteğiyle geliştirildi. 2008'den itibaren 20'den fazla kurumun iş birliği yaptığı bir robotik araştırma enstitüsü olan Willow Garage'da geliştirmesi devam etmektedir. Birçok araştırma kurumu ve firma donanım ekleyerek ve kod örneklerini paylaşarak ROS'ta projeler geliştirmeye başladılar. Bu çerçevede her geçen gün içerdiği proje sayısı ve desteklediği cihaz sayısı artmaktadır [5].

ROS Ubuntu Linux işletim sisteminde çalışmakta ve dil olarak Python, C++ ve Java desteklemektedir. ROS'un Melodic ve Noetic gibi güncel sürümleri mevcuttur [6]. Fig. 84'de gösterildiği gibi ROS sistem olarak publish-subscribe (yayınla-abone) mesajlaşma modelini kullanarak birbirleri ile iletişim kuran düğümlerin (node) meydana getirdiği bir mimaridir. Modüler bir yapıda olduğundan paketlerin ve hataların yönetilmesinde kolaylık sağlar.

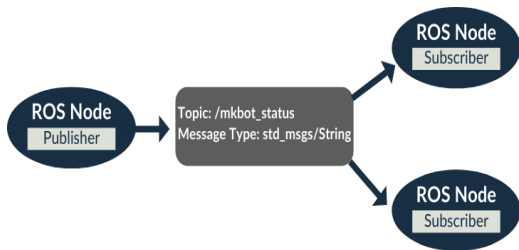


Fig. 84. ROS Mesajlaşma Modeli

ROS'un görselleştirme ve yönetim için sağlamış olduğu araçlardan ilki Gazebo, robotun ve çevresel objelerin koyulabildiği sanal dünya sağlamaktadır. Rviz ise robotun giriş ve çıkışlarının (robot modeli, robot konumu, sensör verileri, harita, sabit ve dinamik engeller, rota) simüle edildiği platformdur. Yönetim aracı olan Rqt ise parametrelerin değiştirilmesi, mesajların okunması ve yayınlanması, verilerin grafikte çizdirilmesi ve kaydedilmesini sağlar [7].

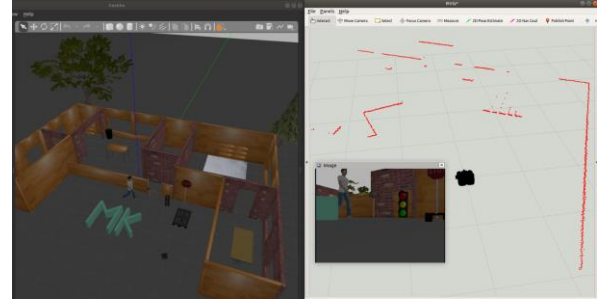


Fig. 85. Gazebo ve Rviz

Fig. 85'de soldaki görselde Gazebo'da oluşturulan dünya ve robot gösterilmiştir. Sağdaki görselde ise Rviz'deki robotun çıktıkları olarak robot model, kamera ve sensör verileri gösterilmiştir.

II.2. Robot

Kobuki firması tarafından üretilmiş olan Turtlebot mobil robotu kullanılarak simülasyon ortamında testler yapılmıştır. Sürüş yöntemi olarak kullanılan diferansiyel sürüş yönteminde Fig. 86'da gösterildiği gibi tekerleklerin hız farkından robotun sürüşü, yön farkından ise kendi etrafında dönmesi sağlanır [8]. Fig. 87'de gösterildiği gibi odometri verisi zamana bağımlı olarak robotun hareketini karakterize eden veridir.

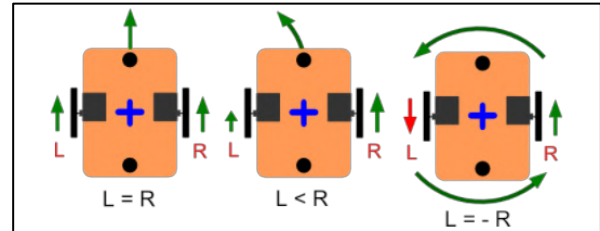


Fig. 86. Diferansiyel Sürüş Yöntemi [9]

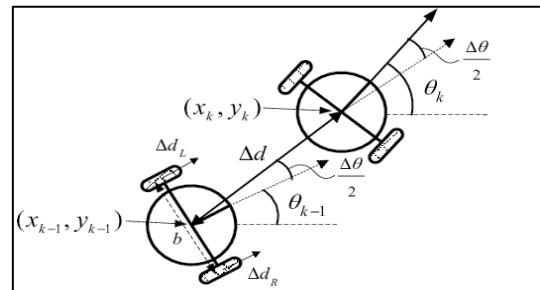


Fig. 87. Odometri Verisi [10]

Lidar verisinin zamana göre değişiminden hesaplanan robotun pozisyon verisi ve tekerlek odometri verisinin filtrasyonu

sonucu slam ve navigasyonda kullanılmak üzere odom transformu oluşturulur. Robotun haritaya göre x, y ekseninde konumunu, yaw açısını ve hız değerlerini verir.

Robotun tasarımı 3 boyutlu tasarım programı olan Solidworks ile yapıldıktan sonra ROS'un sw_urdf_exporter paketi [11] ile URDF (Unified Robot Description Format) dosyasına çevrilir. Ayrıca robot model için 3 boyutlu dosya formatı (stl) olarak mesh dosyaları alınır. URDF dosyasında robotun tüm kinematığı mevcuttur ve ROS'ta bu transform (tf) olarak belirtilmektedir.

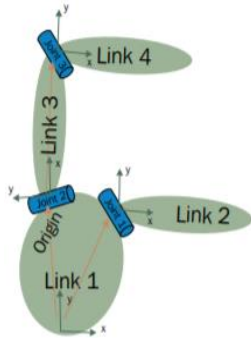


Fig. 88. Joint ve Link Gösterimi (tf) [12]

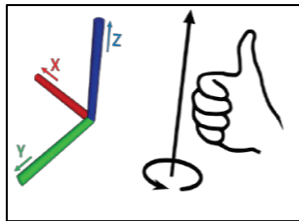


Fig. 89. ROS tf Eksenleri [12]

Fig. 88'de gösterildiği gibi URDF dosyasındaki tf değerleri robotun tüm sabit ve hareketli eksenlerini, eksenlerin arasındaki uzaklık ve açı değerlerini, hareketli eksenlerin nasıl hareket edeceğini ve hareketi ile ilgili değerleri, hangi eksenlerin birbirine bağlı hareket edeceği gibi birçok bilgiyi içerir. Tf'lerin x y z eksenleri sağ el kuralına göre Fig. 89'da gösterildiği gibidir. Otonom sürüş esnasında hız değerleri ve sensör verileri tf değerlerine göre hesaplanacağından bu değerlerin hassas olması önem arz etmektedir [12]. Robota ait bütün tf'ler Fig. 89'da Tf ağacı olarak gösterilmiştir.

II.3. Lidar Sensörü

Robotun çevreyi algılamasında ışık algılama ve ölçme sensörü (LIDAR-Laser Imaging Detection and Ranging) – Laser Distance Sensor (LDS) - kullanılmıştır. Lidar, çevresindeki nesnelerin konumlarını algılamak için kullanılan radar benzeri bir sensördür. Lidar sensörleri yüksek performans ve hızla gerçek zamanlı veri toplama avantajına sahiptir, bu nedenle mesafe ölçümü ile ilgili geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir. Lidar sensörü, nesnelerin ve insanların algılanması için robotik alanında, SLAM algoritmalarında ve gerçek zamanlı veri topladığı için insansız araçlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Lidar sensörünün temelinde lazer, yansıtıcı bir ayna ve motor mevcuttur. Fig. 90'da solda lidar sensörü ve içindeki ayna gösterilmektedir. Motor aynayı döndürür, sensör lazerin dönüş süresini dalga boyundaki fark ile ölçer. Ortadaki şekilde gösterildiği gibi lidar etrafını yatay bir düzlemde tarar. Sağ şekilde de gösterildiği gibi uzaklık arttıkça hassasiyet azalmaktadır. Cam, plastik şişe gibi malzemeler lazer ışığını dağıttığından sağlıklı veri elde edilememektedir. Sadece yatay bir düzlemi taradığından 2D veri olduğu unutulmamalıdır [13].

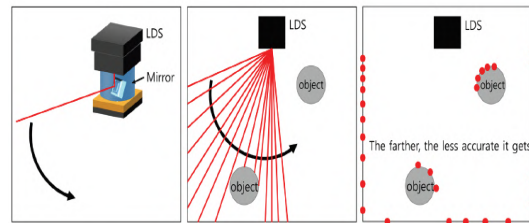


Fig. 90. Lidar Sensörü ile Mesafe Ölçümü [13]

Fig 91'de LaserScan mesaj türündeki lidar verisi gösterilmiştir. LaserScan verisi sensörün hangi tf'te olduğu (frame_id), kaç derece tarama yaptığı (angle_min/angle_max), min ve max tarama mesafesi (range_min/range_max), tarama frekansı ve çözünürlüğü ile birlikte her noktanın uzaklığını metre cinsinden içeren diziyi içermektedir.

```

header:
  seq: 263
  stamp:
    secs: 1624124262
    nsecs: 324845830
  frame_id: "laser"
angle_min: -3.1241390705108643
angle_max: 3.1415927410125732
angle_increment: 0.01745329238474369
time_increment: 0.0003783728461712599
scan_time: 0.13583585619926453
range_min: 0.15000000596046448
range_max: 12.0
ranges: [0.29499998688697815, 0.30399999022483826, 0.3109999895095825, 0.
617, 1.503000020980835, 1.4889999628067017, 1.4809999465942383, 1.4620000
06999945640564, 1.402999997138977, 1.3990000486373901, 1.5119999647140503,
3131104, 1.4170000553131104, 1.40999996621399, 1.4049999713897705, 1.39

```

Fig. 91. Lidar (LaserScan) Verisi

III. SLAM

SLAM (Simultaneous Localization and Mapping), robotun üzerindeki sensörler ile robotun pozisyonunu tahmin ederken bilinmeyen bir çevreyi keşfetmek ve haritalamak anlamına gelir. SLAM algoritması olasılık terminolojisinde Denklem 1'deki gibi tanımlanır. Fig. 92'de gösterildiği gibi zamana bağımlı olarak ardışık işlem yaparak harita verisini çıkarır [14].

t : zaman

x_t : t anındaki robotun konumu

u_t : t anındaki odometri verisi

z_t : t anındaki lidar sensöründen ölçülen değer

m : harita

$$p(x_t, m | z_t, u_t) \quad (1)$$

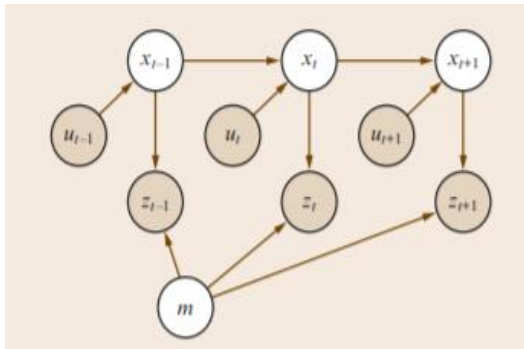


Fig. 92. SLAM Grafıksel Model [14]

Robot Gazebo ortamına eklendikten sonra, Gazebo'nun bize sağlamış olduğu odometri, lidar ve tf verileri ile haritalama işlemini gerçekleştiren gmapping [15] algoritması çalıştırılır. İlk çalıştığında Fig. 93'deki gibi lidar sensörünün ilk gördüğü yerlerin haritasını çıkarır. Robotu ideal bir hızda sürerek Fig. 94'deki gibi adım adım

harita genişletilir. Buradaki en önemli ölçüt lidar sensörünün ölçüm mesafesidir.

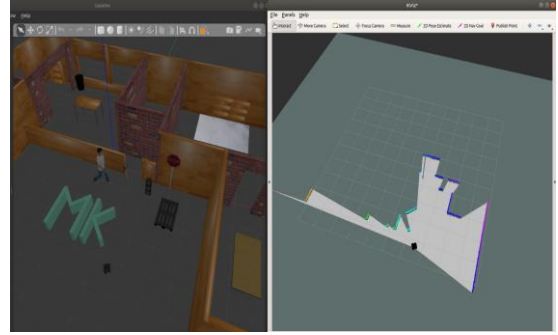


Fig. 93. Harita Çıkarmanın Başlangıcı

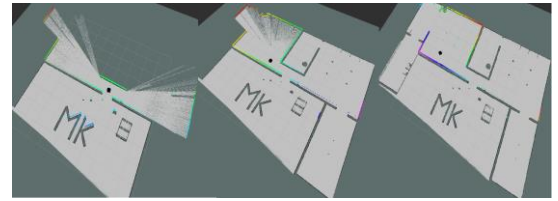


Fig. 94. Haritanın Çıkarılmasının Adımları

Daha sonra çıkartılan harita navigasyonda kullanılmak üzere uygun formatta kaydedilir. Fig. 95'deki pgm formatındaki haritanın görseli ve haritayı yüklemesi için ROS tarafından kullanılacak olan YAML (YAML Ain't Markup Language) formatı gösterilmiştir. Fig. 96'da ise SLAM fonksiyonu çalıştığında hangi node'ların hangi mesajları dinleyip yayınladığını belirten NodeGraph'i verilmiştir.



```

1 image: map1_mk.pgm
2 resolution: 0.010000
3 origin: [-10.000000, -10.000000, 0.000000]
4 negate: 0
5 occupied_thresh: 0.65
6 free_thresh: 0.196

```

Fig. 95. Harita Görseli ve Parametre Dosyası

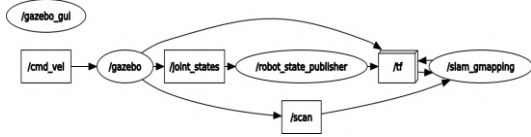


Fig 96. SLAM Fonksiyonu (NodeGraph)

IV. NAVİGASYON

Navigasyon fonksiyonu daha önceden çıkartılan haritanın yüklenmesi ve lidar verisinin kullanılmasıyla konumlama işlemini yaparak otonom bir şekilde hedef noktaya dinamik olarak gitmesidir. Navigasyon fonksiyonu olarak ROS'un Şekil 97'deki grafiksel modele sahip move_base paketi kullanılmıştır. Konumlama işlemini lidar verisi ve haritadaki sabit değerleri (map_server) kullanarak AMCL (Adaptive Monte Carlo Localization) algoritması yapar. Sabit ve hareketli engelleri simüle eden 2 adet maliyet haritası (costmap) mevcuttur. Global costmap global yol planlaması için kullanılır. Global yol planlaması harita üzerindeki hedefe uzun vadeli yol planını yapar. Local costmap ise robotu merkezine alıp onunla hareket eden küçük bir haritadır ve local yol planlaması için kullanılır. Robotun hız değerleri local costmapteki engellere göre ve local yol planlamasındaki pozisyonlara göre çıkar. Engelleri algılamada 2D olarak lidar verisi, 3D olarak nokta yığınlarından oluşan point cloud (pcl) verisi kullanılabilir [16].



Fig. 97. ROS Navigation Grafiksel Model [16]

Fig. 98'de navigasyon fonksiyonunun çalıştırılmış hali mevcuttur. Robot gri ok ile gösterilmiş hedefe sabit ve hareketli engelleri dikkate alarak otonom bir şekilde gitmektedir. Haritada pembe ile local costmap, turkuaz ile global costmap, kırmızı ile local path gösterilmiştir. Local path'in takip ettiği global path ise mavi renk ile gösterilmiştir.



Fig. 98. Robotun Navigasyonda Hedefe Gitmesi

Fig 100'de AMCL'in yayınladığı map tf'i görülmektedir. Fig. 101'de Navigasyon fonksiyonunun NodeGraph'i verilmiştir.

AMR'leri AGV (Automated Guided Vehicle) lerden ayıran en önemli farklar Fig. 99'da gösterildiği gibi ortamda herhangi bir belirteç olmadan otonom sürüşe sahip olması ve engel ile karşılaştığında yolunu dinamik olarak değiştirip hedefe gidebilmesidir.

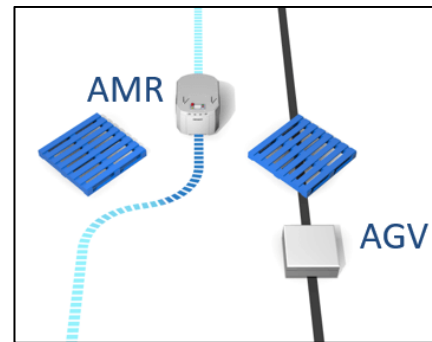


Fig. 99. AMR ve AGV Farkı [17]

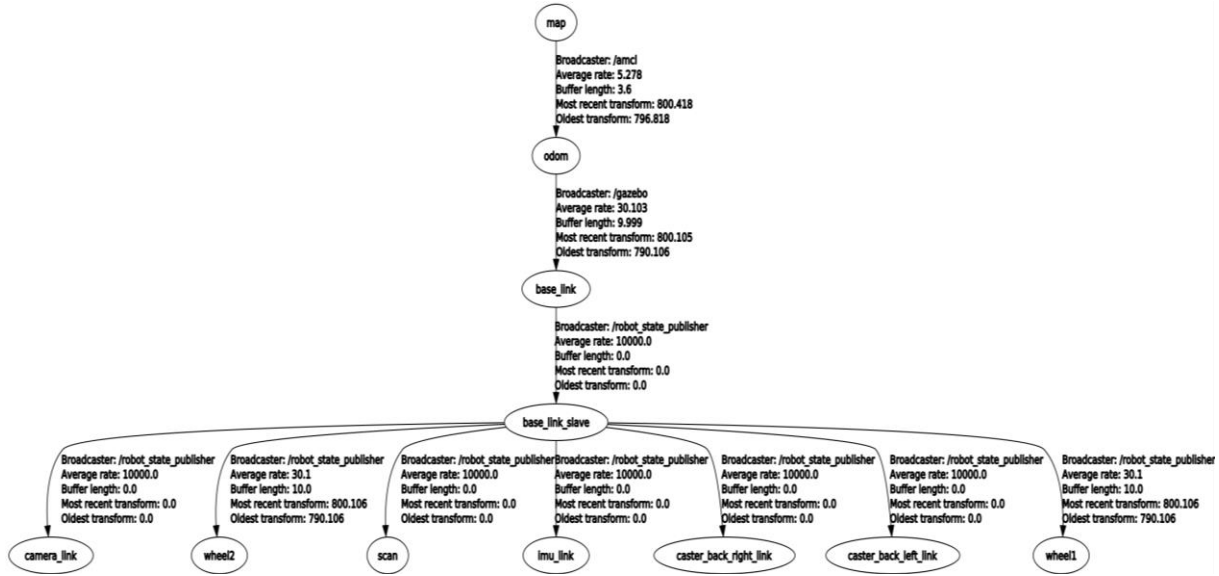


Fig. 100. Tf Tree

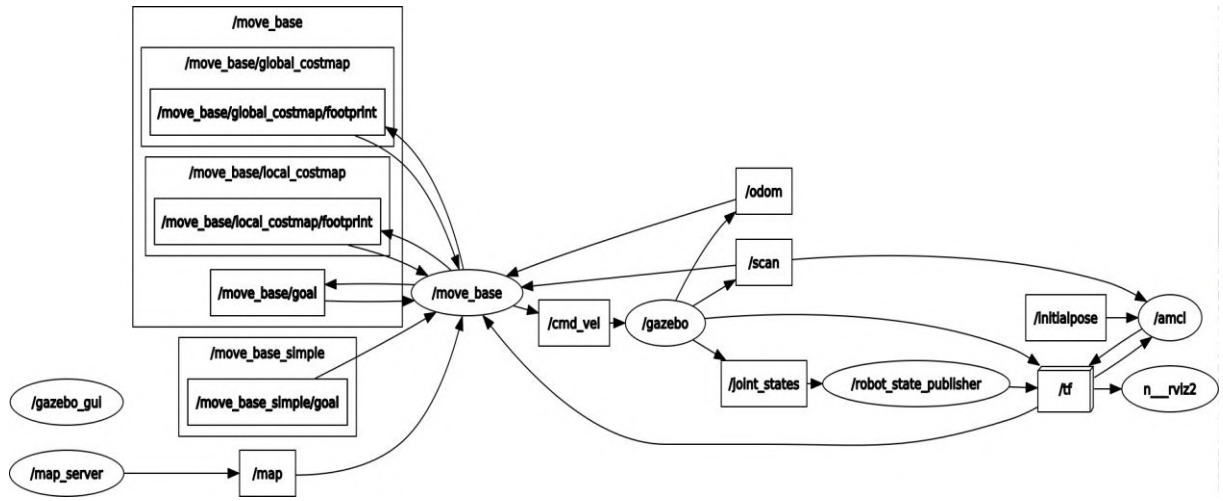


Fig. 101. Navigasyon Fonksiyonu (NodeGraph)

V. ROS ve AMR'nin GELECEĞİ

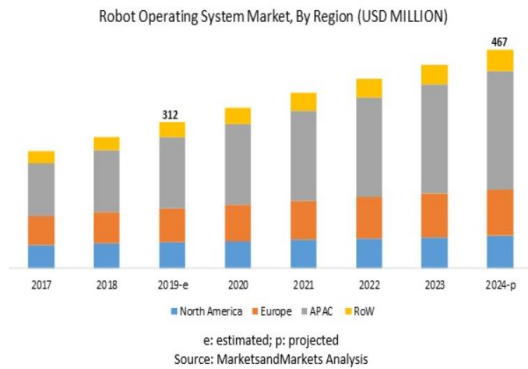


Fig. 102. ROS Market Payı (2017-2024) [18]

2019 Ağustos’unda yayınlanan Market Araştırma Raporu’na göre Fig. 102’de gösterildiği gibi 2019’da 312 milyon dolar olan ROS pazarının 2024’te 467 milyon dolara yükseleceği öngörülmüştür. ROS pazarının büyümesini sağlayan etkenlere örnek olarak endüstri otomasyonu için artan Ar-Ge fonları, işbirliğine dayalı modüler robotların uygulamalarının artması, hizmet olarak robotik modeline artan talep ve düşük maliyetli endüstriyel robotların tercih edilmesi verilebilir. En yüksek büyüme oranına sahip bölgenin Çin, Japonya, Güney Kore’den dolayı Asya Pasifik (APAC) olacağı tahmin edilmektedir [18].

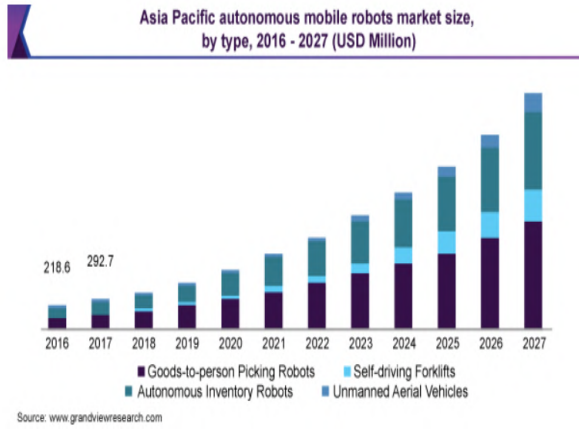


Fig. 103. AMR Market Payı (2016-2027)
[19]

2021 Ocak ayında yayınlanan Market Analiz Raporu'na göre Fig. 103'de gösterildiği gibi Asya Pasifikte AMR pazarı 2019'da 1.9 milyar dolar ve 2020'de 2.36 milyar dolar olup, 2027' de ise 8.29 milyar dolara ulaşacağı tahmin edilmektedir. AMR'ler, tesis içinde hammadde ve mamul malların taşınması gibi çeşitli işlemleri gerçekleştirmek için depo yönetim yazılımları ile entegre edilmiş kamera, sensör ve tesis haritalarından yararlanır. AMR'ler ürün hasarını önleme, işçilik maliyetlerini düşürme, üretkenliği artırma ve süreçleri otomatikleştirme gibi sayısız faydası nedeniyle oldukça tercih edilmektedir [19].

VI. SONUÇLAR

ROS platformu hızla gelişmekte olup ve desteklediği marka ve proje sayısı giderek artmaktadır. ROS'ta robot ve dünyanın simüle edildiği Gazebo, çıktılarının simüle edildiği Rviz ortamı kullanılır. SLAM algoritmaları sayesinde istenilen her ortamda hızlıca harita çıkartılabilir. Ek olarak çıkartılan harita robota bağımlı olmadığından istenilen her robotta kullanılabilme esnekliğini sağlar.

Çıkartılan harita kullanılarak navigasyon fonksiyonu çalıştırıldığında doğal navigasyon sayesinde ortamda hiçbir belirteç olmadan robot konumlama işlemini yapabilmektedir. Hareketli engelleri de dikkate alarak dinamik, maliyeti en düşük

yol planlamasını çıkartıp hedefe ulaşması AMR'leri ön plana çıkarmaktadır.

Simülasyondan gerçek dünyaya geçince koridor gibi lidar verisinin çok değişmediği veya lidarın tarama alanının dışında nesnelerin bulunduğu ortamlarda konumlama işleminde sapmalar olabilmektedir. Sapmaları en aza indirmek amacıyla lidar verisinin konumlama algoritmasına ek olarak tekerleklerin enkoderlerinden hesaplanan odometri verisi filtrasyon ile kullanılmaktadır.

Robotun fiziksel özelliklerine, kullanılan sensörlerine, bulunduğu ortama göre yazılımda ve ilgili parametrelerde değişiklik yapılarak daha ideal çalışma durumu sağlanabilir. Geliştirilebilecek arayüzlü merkezi yönetim sistemi ile birden fazla robot görev mantığında devreye alınabilir.

VII. REFERANSLAR

- [1] F. C. Christian Tamantini, Francesco Scotto di Luzio and and L. Z. Giuseppe Pascarella, Felice Eugenio Agrò, "A Robotic Health-Care Assistant for the COVID-19 Emergency," *IEEE Robot. Autom. Mag.*, no. March, pp. 71–81, 2021.
- [2] G. Fragapane, D. Ivanov, M. Peron, F. Sgarbossa, and J. O. Strandhagen, "Increasing flexibility and productivity in Industry 4.0 production networks with autonomous mobile robots and smart intralogistics," *Ann. Oper. Res.*, 2020, doi: 10.1007/s10479-020-03526-7.
- [3] J. Bačík *et al.*, "Phollower—the universal autonomous mobile robot for industry and civil environments with COVID-19 germicide add-on meeting safety requirements," *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 21, pp. 1–16, 2020,

- doi: 10.3390/app10217682.
- [4] G. Fragapane, R. de Koster, F. Sgarbossa, and J. O. Strandhagen, "Planning and control of autonomous mobile robots for intralogistics: Literature review and research agenda," *Eur. J. Oper. Res.*, no. xxxx, 2021, doi: 10.1016/j.ejor.2021.01.019.
- [5] A. Martinez and E. Fernández, *Learning ROS for Robotics Programming*. 2013.
- [6] "Documentation - ROS Wiki." <http://wiki.ros.org/> (accessed Apr. 18, 2021).
- [7] R. Baxter, N. Hastings, A. Law, and E. J. . Glass, *Book-Effective Robotics Programming with ROS*, vol. 39, no. 5. 2008.
- [8] C. Fairchild and T. L. Harman, *ROS Robotics By ExamFairchild, C., & Harman, T. L. (2016). ROS Robotics By Example.ple*. 2016.
- [9] M. Granát, "Mobile robot control and guidance using computer vision," *BRNO Univ. Technol.*, 2018.
- [10] K. Lee, C. Jung, and W. Chung, "Accurate calibration of kinematic parameters for two wheel differential mobile robots," *J. Mech. Sci. Technol.*, vol. 25, no. 6, pp. 1603–1611, 2011, doi: 10.1007/s12206-011-0334-y.
- [11] "sw_urdf_exporter - ROS Wiki." http://wiki.ros.org/sw_urdf_exporter (accessed Jun. 19, 2021).
- [12] L. Joseph, *Mastering ROS for Robotics Programming*, vol. 64, no. 6. 2015.
- [13] Y. Pyo, H. Cho, J. Ryuwoon, and T. Lim, *Robot Programming From The Basic Concept To Practical Programming and Robot Application*. 2017.
- [14] K. Bruno, Siciliano Oussama, *Handbook Springer of Robotics*. 2008.
- [15] "OpenSLAM.org." <https://openslam.org.github.io/gmapping.html> (accessed May 08, 2021).
- [16] R. L. Guimarães, A. S. de Oliveira, J. A. Fabro, T. Becker, and V. A. Brenner, "ROS navigation: Concepts and tutorial," *Stud. Comput. Intell.*, vol. 625, no. February, pp. 121–160, 2016, doi: 10.1007/978-3-319-26054-9_6.
- [17] "LD-250 | OMRON, Türkiye." <https://industrial.omron.com.tr/tr/products/ld-250> (accessed Jun. 20, 2021).
- [18] "Robot Operating System Market by Types | ROS Market - 2024 | MarketsandMarkets." <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/robot-operating-system-market-19870751.html> (accessed Apr. 23, 2021).
- [19] "Autonomous Mobile Robots Market Size Report,2020-2027." <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/autonomous-mobile-robots-market> (accessed Apr. 23, 2021).

SPOKE TİPİ ON KUTUPLU FIRÇASIZ DOĞRU AKIM MOTORUNUN TASARIMI VE ANALİZİ

Muhammed Mahbub İBİŞ, Ahmet FENERCİOĞLU

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Tokat, Türkiye

ÖZET

Günümüzde yüksek tork uygulamaları için araştırmacılar tarafından yoğun bir şekilde araştırma yapılan fırçasız doğru akım motorları oldukça fazla ilgi görmektedir. Yapılan bu çalışmada radyal akıllı spoke tipi olarak anılan içten rotorlu on kutuplu bir fırçasız doğru akım motoru tasarımı yapılarak sonlu elemanlar metodu ile analizleri gerçekleştirilmiştir. N35SH mıknatıs kullanılarak öngörülen tasarım parametrelerine göre istenen hız ve tork elde edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda on kutuplu neodyum mıknatıslı spoke tip fırçasız doğru akım motorunun verim ve performans açısından tork gerektiren uygulamalarda yeterli olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Fırçasız doğru akım motoru, spoke tip, sonlu elemanlar

I. GİRİŞ

Fırçasız doğru akım motorları (FDAM), yüksek tork ve yüksek verimlilik gibi birçok avantajı nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle, kalıcı mıknatıslardan akıyı konsantre edebilen spoke tipi FDAM, yüksek relüktans torkundan kaynaklanan birim hacim başına yüksek tork yoğunluğuna ve daimi mıknatıstan gelen akıyı konsantre etme yapısına sahiptir. Spoke tipi FDAM bu nedenle yüksek tork uygulamaları için araştırmacılar tarafından yoğun bir şekilde araştırılmaktadır [1]. Spoke tipi FDAM adına yapılmış olan bilimsel bir çalışmada 2D sonlu elemanlar metodu kullanılarak motor tasarımında tork dalgalanması ve harmoniklerin azaltılması ile ilgili çalışmalara yer verilmiştir. Bu çalışmada önerilen spoke tipi rotor tasarımı ile harmoniklerin azaltılması amaçlanmaktadır. Bahsi geçen rotor tipi ile stator dişleri ve mıknatıs arasındaki hava boşluğu adına yeni bir tasarım önerilerek kayıpların azaltılmasıyla birlikte manyetik akının artması sağlanmıştır.

2D sonlu elemanlar metodu ile yapılan analiz çalışmaları doğrultusunda prototip model analiz sonuçları ile karşılaştırıldığında tork dalgalanması ve ortalama tork değerlerinin olumlu yönde sonuçlara sahip olduğu izlenmiştir [1]. Bir başka çalışmada ise spoke tip rotor yapısı ile yüzey mıknatıslı rotor tipine sahip FDAM'ları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada ana kriter tork karakteristiği olarak belirlenmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi ile spoke tip motorların akım ve tork karakteristiği incelenmiştir. Analizler ve incelemeler doğrultusunda spoke tipi FDAM'nun yüzey mıknatıslı rotor yapısına sahip motora göre tork karakteristiğinin daha iyi olduğu sonucuna varılarak bu konu vurgulanmıştır. Daha sonra spoke tipi rotor yapısında bulunan akı bariyerleri adına optimizasyon çalışmaları ile tork dalgalanmaları minimum seviyeye getirilmesi amaçlanarak farklı tasarımlara sahip spoke tipi rotor yapıları önerilmiştir [2].

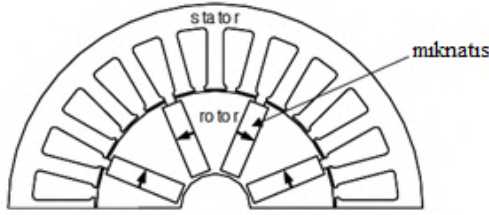


Fig. 104. Spoke tipi motorun geometrik yapısı[2]

Spoke tipi kalıcı mıknatıslı rotorlar, manyetik olmayan bir shaft / göbek çevresinde radyal olarak düzenlenmiş iki bitişik kalıcı mıknatıs setinin varlığı nedeniyle doğal bir akı konsantrasyon kapasitesine sahiptir. Fig. 104'de verilen geometrik yapı, her bir kalıcı mıknatısın akı yoğunluğuna kıyasla hava aralığında daha yüksek akı yoğunluklarına yol açabilir. Bu tasarım özelliği, prensip olarak, neodyum (NdFeB) gibi nadir toprak mıknatıs malzemelerinin, daha ucuz ve yaygın olarak bulunabilen ferritlerle değiştirilmesine izin vermektedir [3].

Farklı rotor tiplerinin incelenmesi ve kıyaslanması adına yapılan bir çalışmada ise spoke tipi 12 oluklu – 8 kutuplu ve 12 oluklu -10 kutuplu iki farklı tasarım ile birlikte neodyum ve ferrit mıknatıslar kullanılarak yapılmış olan daimi mıknatıslı elektrik motoru tasarımları karşılaştırılmıştır. Sonlu elemanlar metodu kullanılarak motor tasarımında optimizasyon çalışmaları yapılmış olup bu çalışmalar analiz edilmiştir. Gerçekleştirilen analiz doğrultusunda optimizasyon amacı olarak malzeme maliyeti, tork dalgalanması ve güç kayıpları belirlenmiştir. Karşılaştırmaların detaylı bir şekilde anlaşılması bağlamında farklı spoke tip rotor tasarımları için ele alınan amaçlar adına tablolar oluşturulmuştur. Analizi gerçekleştirilen 6 farklı tasarım incelemesine sahip çalışmanın sonucunda aynı oluk ve kutup oranına sahip spoke tip motorlardan ferrit mıknatıslı tipin neodyum mıknatıslı tipe göre %40 düşük maliyetli ve daha verimli olduğu görülmüştür. Daha sonra 12 oluklu 8 kutuplu tasarımın diğer tipe göre daha maliyetli ve yüksek tork dalgalanması gibi dezavantajlara sahip

olmasına rağmen yapılan incelemeler ve detaylı tablolar ile birlikte kayıpların daha da düşürülmesi adına optimum tasarımlar yapılabileceği sonucuna varılmıştır [3].

Dört kutuplu daimi mıknatıslı bir motor için farklı rotor geometrik yapıları göze alınarak incelenen bir bilimsel çalışmada maksimum tork aralığının bulunması adına minimum miktarda mıknatıs kullanılarak çeşitli analizler yapılmıştır. Yapılan analizler doğrultusunda farklı rotor geometrilerinin pozitif ve negatif tarafları değerlendirilerek manyetik akı oranları, tork miktarı ve yoğunluğu kıyaslanmıştır. Bilimsel çalışmanın amacına sadık kalınması için yapılan her geometrik tasarımda statorun 6 oluklu ve rotorun 4 kutuplu yapıya sahip olmasına özen gösterilmiştir. Bu incelemeler doğrultusunda daimi mıknatıslı motorlarda hacim ve maliyet düşürmek için içten rotorlu motorlar incelenerek yüzey mıknatıslı rotor yapısına sahip motorlara göre spoke tip rotor yapısının yüksek akı ve yüksek tork sağladığı sonucuna varılmıştır [4].

2020 yılında yayınlanan bir makalede verimliliği yüksek elektrik motorlarının maliyetini düşürmek için, ferrit ve nadir toprak mıknatıslarının bir arada kullanılması ile farklı rotor geometrik yapıları önerilmiştir. Çalışmada gerçekleştirilen incelemelerde farklı uzunluklardaki mıknatıslara sahip spoke tipi rotor tipinin, diğer rotor yapılarına göre tork değerlerinin, dolar başına kıyaslaması yapılmıştır. Sonuç olarak çalışmada önerilen spoke tipi motor yapısının motor maliyetini düşürürken verim kaybı olmaması yapılan analizler ile doğrulanmıştır [5].

Bu bildiride ise 12 oluklu – 10 kutuplu spoke tipi neodyum mıknatıslı fırçasız doğru akım motoru tasarımı yapılmış olup sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilerek sonuçlar tartışılmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Tasarımı gerçekleştirilen on kutuplu spoke tipi fırçasız doğru akım motorunun tasarım

ve analiz aşamaları adına ANSYS RMXprt ve ANSYS Maxwell yazılımı kullanılmıştır. Bu aşamaların detayları ise alt başlıklarda anlatılmıştır.

II.1. Spoke Tipi FDAM'nun Parametrelerinin Belirlenmesi

420W gücünde 1000 rpm devire sahip spoke tipi motor tasarımı için Tablo 7'de öngörülen tasarım girdilerine göre yapılan analizler doğrultusunda uygun ve doğruluğu kesinleştirilen parametreler seçilmiştir.

Tablo 7. Ön görülen spoke tipi motor parametreleri

Şebeke	220-230V AC 50 Hz
Stator İletken	Cu tel
Motor Gövde Malzemesi	Al
Maksimum Ortam Sıcaklığı	40°C
Rotor Mıknatısı	NdFeB
Nüve Malzemesi	M400-50 Silisli Sac

Belirlenen parametrelere göre tasarlanan motorun geometrik ölçüleri ise Tablo 8'da gösterilmiştir.

Tablo 8. FDAM geometrik ölçüleri

Stator Dış Çap(mm)	88
Stator İç Çap(mm)	50.5
Rotor Dış Çap(mm)	49.5
Rotor İç Çap(mm)	25
Paket Uzunluğu(mm)	50
Stator Oluk Sayısı	12
Kutup Sayısı	10

Belirlenen geometrik ölçülere istinaden FDAM'nun sonlu elemanlar analizine geçmeden önce çalışma mantığının daha iyi anlaşılması için elektromanyetik modelinin de anlaşılması gerekir.

II.2. FDAM'nun Elektromanyetik Modeli

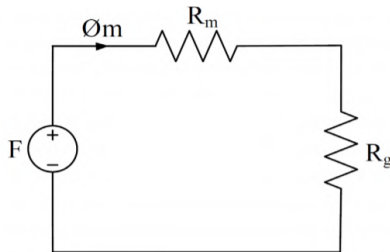


Fig. 105. FDAM elektromanyetik modeli

[4]

FDAM'nda hava boşluğu ve manyetik relüktans yüksek olduğu için çekirdek relüktans ihmal edilmiştir. Bu durumda, Fig. 105'de yer alan bir FDAM'nun manyetik devresindeki hava boşluğu relüktans (R_g) ve kalıcı mıknatıs relüktans (R_m), Denklem 1 kullanılarak hesaplanmıştır. Burada l_g hava boşluğu mesafesi ve l_m mıknatıs uzunluğu, A ise stator kutbunun etkin yüzey alanıdır [6].

$$R_g = \frac{l_g}{\mu_0 A} \quad R_m = \frac{l_m}{\mu_m A} \quad (1)$$

Mıknatıs geçirgenliği (μ_m) ve boşluğun geçirgenliğinin (μ_0) eşit olduğu varsayılırsa ($\mu_m = \mu_0$), manyetik devrenin toplam relüktans Denklem 2'de gösterildiği gibi ifade edilir.

$$R_t = R_g + R_m = \frac{l_g + l_m}{\mu_0 A} \quad (2)$$

Manyetik permeans (ρ_0) ise Denklem 3 ile hesaplanır:

$$\rho_0 = \frac{1}{R_t} = \frac{\mu_0 A}{l_g + l_m} \quad (3)$$

Fig. 105'de gösterilen manyetik devrede toplam manyetik akı (ϕ). Mıknatıs (B_m) ve hava aralığı (B_g) manyetik akı yoğunlukları olduğu zaman; A_m ve A_g sırasıyla mıknatıs ve hava aralığının enine kesit alanlarıdır. H_g , hava aralığındaki manyetik alan şiddetidir.

$$\phi = B_m A_m = B_g A_g = \mu_0 H_g A_g \quad (4)$$

μ_r bağlı geçirgenlik ve H_m mıknatıstaki manyetik alan şiddeti olduğu zaman manyetik akı yoğunluğu (B_m) Denklem 5 kullanılarak bulunur

$$B_m = \mu_r \mu_0 H_m \quad (5)$$

Denklem 6 ise Denklem 4 ve Denklem 5 kullanılarak türetilmiştir:

$$\phi = \mu_r \mu_0 H_m A_m \quad (6)$$

Magneto motor kuvveti (F) Denklem 7 kullanılarak bulunur:

$$F = \phi R_t = NI = l_m H_m + l_g H_g \quad (7)$$

Denklem 7'de türetilen sipir sayısı (N) ile stator bobinlerinden geçen akım (I), Denklem 8 ile hesaplanır.

$$I = \frac{\phi R}{N} \quad (8)$$

Şebekeden sağlanan güç (P) Denklem 9 kullanılarak bulunur. Motora uygulanan anma gerilimi 200 V DC'dir.

$$P = UI \quad (9)$$

Temel olarak mekanik güç Denklem 10 ile hesaplanır:

$$P = T\omega \quad (10)$$

Verimlilik ise mekanik çıkış gücünün (P_m) elektriksel giriş gücüne (P_i) oranıdır.

II.3. FDAM'nun Sürme Devresi

Fig. 106'da ANSYS programı ile oluşturulan sürme devresinin örneği görülmektedir. Motora uygulanan anma gerilimi 200 VDC'dir. Sonlu elemanlar yönteminin doğruluğunu kanıtlamak adına geçici durum analizleri ile belirlenen zaman aralıklarında motor gerçek zamanlı durumdaymış gibi analiz edilir. Sürme devresi ile beraber 0 ve 200ms aralığında çalıştırılarak motorun manyetik akı yoğunluğu, faz akımları, kayıplar gibi parametreler grafiksel olarak gösterimi mümkün hale gelir.

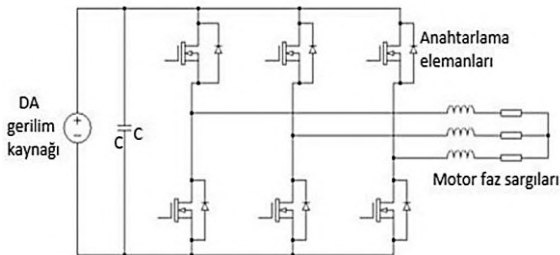


Fig. 106. FDAM Sürme Devresi

III. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZ

Belirlenen parametrelere göre tasarımı yapılan motorun FEM tabanlı analizleri için ANSYS RMxprt ve ANSYS Maxwell yazılımları kullanılmış, ardından elde edilen analitik veriler için FEM analizler Maxwell 2D ile yapılmıştır.

Ayrıca Fig. 107'de ise ANSYS Maxwell 2D geometrisi bulunan 10 kutuplu 12 slotlu spoke tipi FDAM görülmektedir.

Motor tasarımı yapılırken içten rotorlu yapıya uyan spoke tipi rotor yapısı seçilmiş ve yüksek tork istendiği için NdFeB mıknatıs tercih edilmiştir. Tablo 9'da ise ayrıntılı bir şekilde motor tasarım parametreleri görülmektedir.

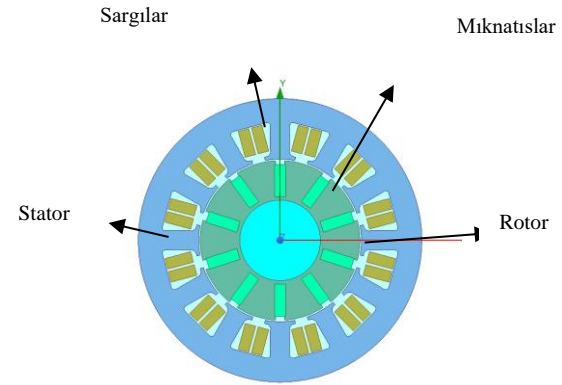


Fig. 107. FDAM geometrisi

Tablo 9. Motor Tasarım Parametreleri

Tasarım Parametreleri	Motor Özellikleri
Şaft Gücü	420W
Şaft Hızı	1083rpm
Voltaj	200 VDC
Verimlilik	~%82,6
Kutup Sayısı	10
Tork	3,70 Nm
Rotor Malzemesi	M470-50A
Stator Dış Çap(mm)	88
Stator İç Çap(mm)	50.5
Rotor Dış Çap(mm)	49.5
Rotor İç Çap(mm)	25
Paket Uzunluğu(mm)	50
Hava Aralığı (mm)	0.5
Stator Oluk Sayısı	12
Çalışma Tipi	Yıldız
Magnet Tipi	N35SH

Fig. 108'de motor tasarımında kullanılan N35SH mıknatısın BH eğrisi gösterilmektedir. İdeal kalıcı mıknatıslarda, BH eğrisinin dikdörtgene yakın olması beklenir. Böylelikle histeresis eğrisinin sağladığı alanın çok geniş olması sağlanır. Ayrıca BLDC motorun çalışma koşulları da dikkate alındığında, sıcaklık parametresi de mıknatıs seçiminde önemli bir faktördür. N35SH tipi mıknatısların akı değerleri, 40°C çalışma sıcaklıklarında 1,2 T civarındadır. Ayrıca N35SH mıknatıslar 180°C sıcaklık değerinden sonra manyetize olmaya başlar.

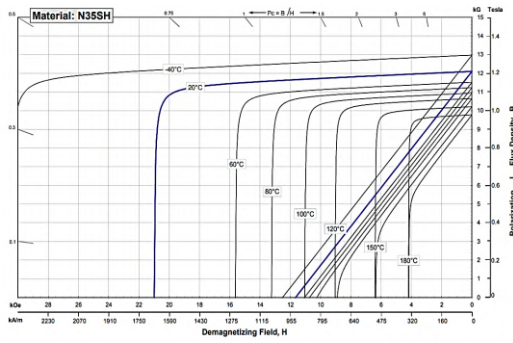


Fig. 108. N35SH mıknatısın BH eğrisi

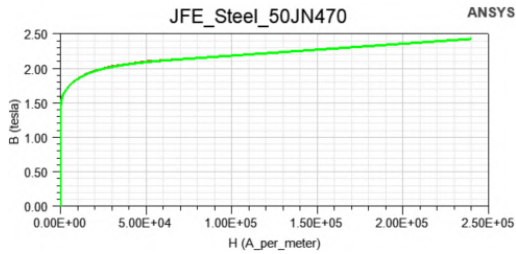


Fig. 109. M470-50A BH eğrisi

Ayrıca Fig. 109'da ise motor tasarımında kullanılan M470-50A silisli sacın BH eğrisi görülmektedir.

IV. ANALİZ SONUÇLARI

ANSOFT Maxwell RMXprt ile tüm boyutlandırma ve optimizasyon çalışmalarının sonunda verim ve diğer çıkış parametrelerinin istenilen seviyelerde kalmasını sağlamak için parametrik çözümler yapılarak 420 W motor modeli çıkarılmıştır. Fig. 110'da motor hızındaki değişime bağlı olarak Maxwell RMXprt programı ile elde edilen motor akımındaki değişim grafiği gösterilmektedir.

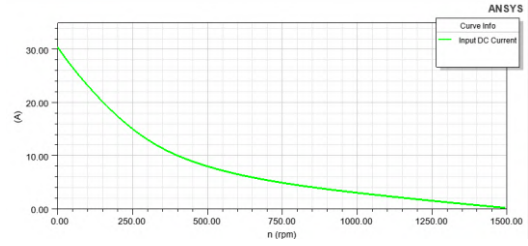


Fig. 110. Motor hızına göre motor akımının değişimi

Fig. 111'de ise motor hızındaki değişime bağlı olarak Maxwell RMXprt programı ile elde edilen verim grafiği gösterilmektedir. Spoke tipi motorun nominal 1083 rpm hızda %82.21 verime sahip olduğu görülmektedir.

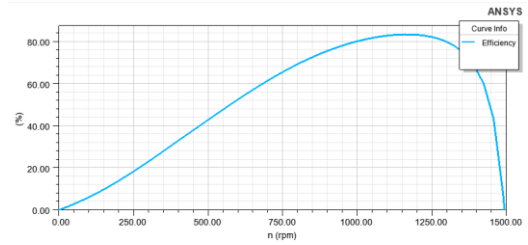


Fig. 111. Motor hızına göre verimlilik değişimi

FDAM'na sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analizlerin tamamlanması için Maxwell RMXprt ve Maxwell 2D yazılımı arasında transfer işlemi gerçekleştirilmesi ile beraber tork, hız, akım ve dc bara akımı grafikleri incelenmiştir.

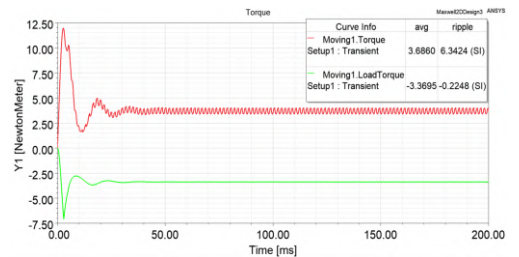


Fig. 112. Elektromanyetik tork ve mil yük torku

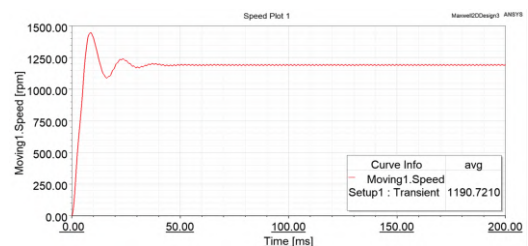


Fig. 113. Maxwell 2D ile motor hız grafiği

Fig. 112’de gösterilen grafiğe göre elektromanyetik tork 3.68 Nm, shaftta yararlı mekanik işler yapmak için mil yük torku ise 3.36 Nm’dir. Fig. 113’de ise motor hızı ise 1190.72 rpm olarak görülmektedir.

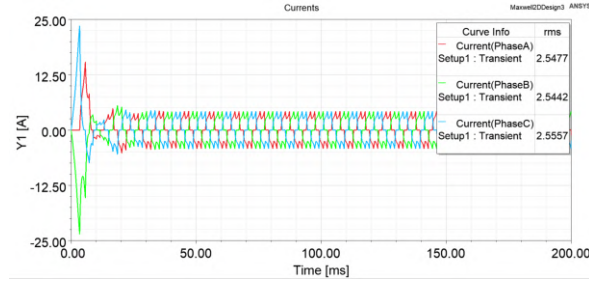


Fig 114. Motor faz akımları

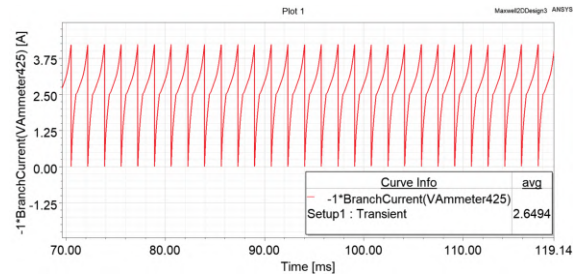


Fig. 115. DC bara akımı

Fig. 114’de gösterilen grafikte ise her bir faz üzerinde yer alan faz akımları görülmektedir. Yaklaşık olarak her bir fazdaki ortalama akım değeri 2,54 amperdir. Bir FDAM belirtilen voltaj değerinde çalıştırıldığında motorun çekeceği akım yüke bağlıdır. Yük arttıkça motorun çektiği akımda artar. Mevcut grafiğe göre 420W motorun sabit yükte çektiği ortalama akım değeri görülmektedir. Fig. 115’de yer alan grafikte 70ms ve 120ms arasında görülen DC bara akımı ise 2,64 amperdir.

Yapılan analizler sonucunda ise Fig. 116’da nüve kayıpları ve bakır kayıpları görülmektedir. Nüve kayıpları grafiğe göre 16.05W, bakır kayıpları ise 67W olarak alındığında toplam kayıplar yaklaşık 5W’lık sürtünme kaybı dâhil 88.05W olarak bulunmuştur. Buna göre motor verimi ~%82,6 olarak hesaplanmıştır.

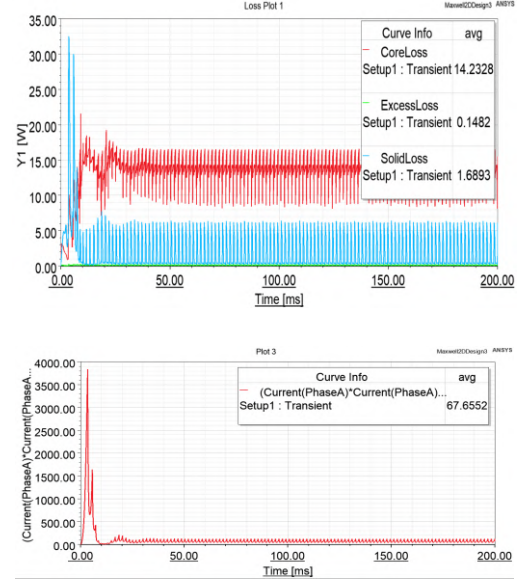


Fig. 116. Kayıpların grafik ile gösterimi

Spoke tipi fırçasız doğru akım motorunun manyetik akı analizi sonucunda Fig. 117’de farklı noktalardan ölçüm sonuçlarına bakılarak doyum noktaları Tablo 10’da incelenmiştir.

Tablo 10. FDAM’nun farklı noktalardan manyetik akı yoğunlukları

Nokta	B(Tesla)
m1	0,925
m2	0,270
m3	1,582
m4	1,737
m5	0,697
m6	1,611
m7	1,787
m8	1,554
m9	1,436
m10	1,960

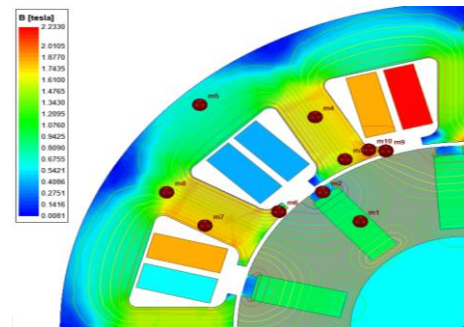


Fig. 117. Spoke tipi FDAM’nun farklı noktalardan manyetik akı yoğunluklarının incelenmesi

Fig. 117'deki görsellere göre oluk dış uçlarında 1.9 T olarak manyetik doyum oluşmuştur. Oluk dışlarında, boyundurukta ve rotordaki akı yoğunluğu dağılımlarına göre doyum oluşmamıştır. Modelin manyetik alan çizgileri Fig. 118'de akım yoğunlukları Fig. 119'da görülmektedir.

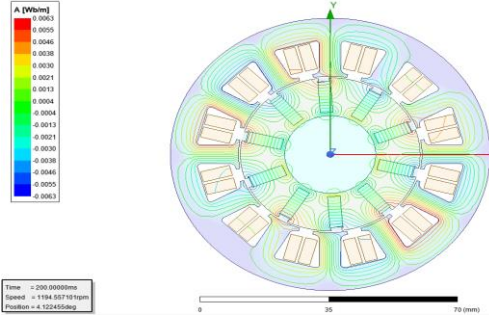


Fig. 118. Spoke tipi FDAM'nun manyetik alan çizgileri

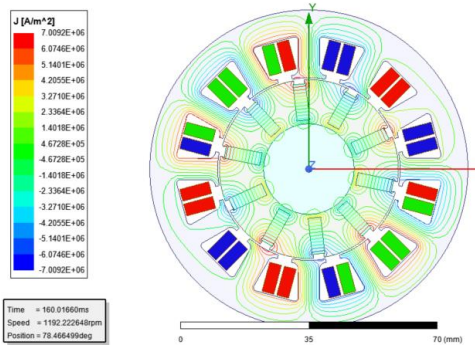


Fig. 119. Spoke tipi FDAM'nun manyetik akım yoğunluğu

Manyetik alan çizgileri 10 kutup oluşumunu göstermektedir. Sargılardaki maksimum akım yoğunluğu ise 7 A/mm^2 'dir. Bu akım yoğunluğuna göre motor S1 modda çalışabilir. Fakat uygulama kapsamında S3 modda çalışacaktır. 420W 1000rpm olarak ön görülen motor tasarımı FEM analizi ile doğrulanarak 10 kutuplu bir spoke tipi FDAM'nun neodyum mıknatıs ile $\sim\%82,6$ verim ile çalışabileceği izlenmiştir.

V. SONUÇ

Tasarımı yapılan FDAM'nun parametreleri analitik hesaplamalar ile tahmin edilmiş ve tam yükte FEM analizi ile doğrulanmıştır. Tasarlanan FDAM'nun etiket değerleri ise

220V, 420 W, 1000 rpm, 2.5 A, 4 Nm ve verimlilik $\%83$ 'tür. Motor etiket değerleri ve analiz sonuçlarına göre tork istenen endüstriyel uygulamalarda tasarlanmış olan FDAM'nun kullanılabileceği açıkça görülmektedir.

VI. REFERANSLAR

- [1] Hwang, K. Y., Rhee, S. B., Yang, B. Y. and Kwon, B. (2007). Rotor Pole Design in Spoke-Type Brushless DC Motor by Response Surface Method. IEEE Transactions on Magnetics, Vol.43, No.4, p.1833-1836.
- [2] Lee, B. K., Kang, G. H., Hur, J. and You, D. W. (2004). Design of Spoke Type BLDC Motors with High Power Density for Traction Applications. IEEE Industry Applications Conference, 39th IAS Annual Meeting, p. 1068-1074.
- [3] Zhang, P., Sizov, G. Y., Ionel, D. M. and Demerdash, N. A. O. (2015). Establishing the Relative Merits of Interior and Spoke-Type Permanent-Magnet Machines with Ferrite or NdFeB Through Systematic Design Optimization. IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.51, No.4, p. 2940-2948.
- [4] Ghahfarokhi, P.S. and Faiz, J., (2013). Design of Four Pole Permanent Magnet Motor With Different Rotor Topologies. Journal of Electromotion, p. 1-7.
- [5] Ma, Q., El-Refaie, A. and Lequesne, B., (2020). Low-Cost Interior Permanent Magnet Machine With Multiple Magnet Types. IEEE Transactions on Industry Applications, Vol56, No.2, p. 1452-1463.
- [6] Fenercioğlu, A. and Şenkurt, M. (2017). Design and Analysis of In-Drum Outer Rotor BLDC Motor for Eddy Current Separator. Hittite Journal of Science and Engineering, No.4, p. 31-37.

D-TİPİ PİLLERİ TAŞIMA/DİZİLİM İÇİN İKİ ÇENELİ ROBOTİK TUTUCU SİSTEM TASARIMI, YAPISAL ANALİZİ, PROTOTİP ÜRETİMİ VE KOLABORATİF ROBOTA ENTEGRASYONU

M. Burak YILMAZ, Arca A. KEÇECİ, Murat KISA, Kubilay GÖÇER, Savaş DİLİBAL

İstanbul Gedik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği, İstanbul, Türkiye

ÖZET

Robotik sistemler, geçtiğimiz 20 yıl içerisinde tekrarlanabilir, seri ve kaliteli ürün elde etmek amacıyla başta üretim ve montaj hatları olmak üzere endüstrinin her alanında aktif olarak yer almaya başlamıştır. Endüstriyel robot manipülatörlerin farklı iş ortamlarında görevlerini yerine getirebilmesi için uygulamaya uygun robotik tutucular tasarlanmaktadır. Bu çalışmada D-tipi pilleri taşıma maksatlı geliştirilmiş iki çeneli robotik tutucunun tasarımı, yapısal analizi, prototip üretimi ve kolaboratif robota entegrasyonu sağlanmıştır. D-tipi pil taşıma için kullanılacak robotik tutucunun temel işlevi, silindirik yapıda olan D-tipi pilleri üretim bandından aldıktan sonra belirlenmiş nihai istasyondaki kutu içine dizerek imalat akışının devam etmesini sağlamaktır. Robotik tutucunun çeneleri geleneksel şekilde kullanılan çenelerden farklı olarak, tutulacak D-tipi pillerin geometrisine göre spesifik olarak tasarlanmıştır. Eyleyici tahrik sistemi olarak elektro pnömatik tahrikli eyleyici sistemi kullanılmıştır. Elektro pnömatik tahrikli eyleyici mekanizması ileri geri hareket ile robotik tutucu pili kavrayıp bırakabilmektedir. Robotik tutucunun ana yapısı 6000 serisi alüminyum kullanılarak CNC tezgâhında üretilmiştir. Robotik tutucunun çene kısmı üç boyutlu baskı teknolojisi kullanılarak üretilmiştir. Projenin tasarımında Autodesk Fusion360, yapısal analiz kısmında Ansys programları kullanılmıştır. Robotik tutucunun testleri kolaboratif robot manipülatörü olan Fanuc CRX-10iA üzerinde gerçekleştirilmiştir. Robotik tutucunun konumu ve yönelimi bu manipülatör ile kontrol edilerek sağlanmıştır. Kavrama işleminden sonra son konum eksenine üzerine dizilimi gerçekleştirilerek işlem sonlandırmıştır. Robotun çalışacağı ortam ve emniyet katsayıları göz önünde bulundurularak gerekli tutma kuvveti belirlenmiş ve robotun verimli çalışması için temel şartlar sağlanmıştır. Roboguide simülasyon programında geliştirilen senaryo, sistem entegrasyonu sonunda gerçek ortamda kollaboratif robot, tutucu sistemi ve D-tipi piller ile test edilmiştir. İlerleyen çalışmalarda, görüntü işleme ile konveyör bandı üzerinden D-tipi pillerin alınması ve uygulama yapılacak endüstriyel sistem üzerinde kullanılması araştırılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Robotik Tutucu, Pnömatik Eyleyici, Kolaboratif Robot, Robotik Tutucu Tasarımı

I. GİRİŞ

Endüstriyel robot, sanayinin birçok alanında tercih edilen sabit veya taşınabilir, üç veya daha fazla programlanabilir eksene sahip, kendi kendine kontrol edilebilen, yeniden programlanabilir çok amaçlı manipülatör olarak tanımlanabilir. Robot sistemleri içerisinde robotik tutucular, farklı endüstriyel uygulamalar için tasarım

çeşitliliği bulunan fonksiyonel alt birimlerdir [2]. Uygulamaya bağlı olarak kolaboratif/ endüstriyel robotlar birçok farklı tutucu sistemiyle birlikte kullanılabilirler [3-7]. Güvenli insan-robot iş birliği maksadıyla hazırlanan ISO/TS 15066 standardına göre, iş birliğine dayalı uygulamalar için kolaboratif robotlar 4 ana güvenlik metodu ile çalıştırılabilir.

Bunlar;

- Emniyetli izlemeli duruş,
- Elle yönlendirme,
- Hız ve mesafe izleme,
- Güç ve kuvvet sınırlama olarak listelenebilir.

Emniyetli izlemeli duruş metodunda operatör, robot ile etkileşime girmek için ve herhangi bir görevi gerçekleştirmek için kolaboratif çalışma alanına girmeden önce robotun hareketleri emniyetli izlemeli duruş özelliği ile durdurulur. Eğer operatör çalışma alanında yoksa robot kolaboratif olmayan moda çalışabilir. Operatörün alana girişi ancak robot emniyetli şekilde hareketsizken olabilir.

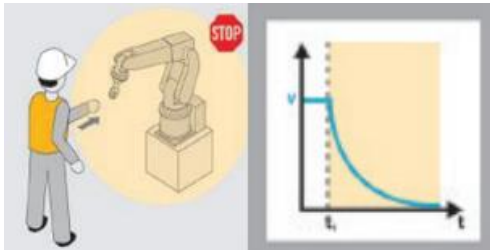


Fig. 120. Emniyetli izlemeli duruş ve hız grafiği [8]

Elle yönlendirme metodunda, operatör hareket komutlarını robota aktarmak için elle kumanda edilen bir cihaz kullanır. Operatörün kolaboratif çalışma alanına girmesi için robotun emniyetli izlemeli duruşa geçmiş olması gerekmektedir. İşlem manuel şekilde, robotun uç etkileyici birimine yakın bir noktaya yerleştirilmiş olan yönlendirme cihazının hareket ettirilmesiyle yapılır. Operatör sürekli emniyetli sınırlanmış hız (SLS: Safely Limited Speed) fonksiyonu ile koruma altındadır. Ayarlanmış emniyetli hızın üzerine çıktığında, robot, STO yaparak duruşa geçer.

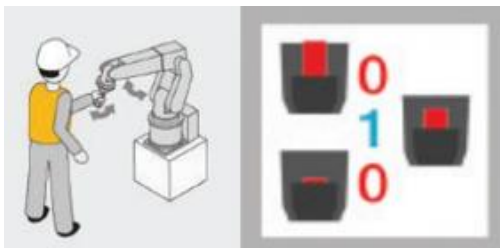


Fig. 121. Elle yönlendirme gösterimi [8]

Hız ve mesafe izleme metodunda, robot sistemi ve operatör aynı anda kolaboratif çalışma alanında hareket halindedir. Risk azaltımı, çalışmanın her anında, bu ikili arasında asgari bir koruyucu ayırım mesafesi bırakılarak sağlanır. Bu ayırımın algılanabilmesi için, robot ekipmanına ek olarak algılayıcı emniyet ekipmanları kullanılır. Çalışan, kolaboratif çalışma alanına yaklaştığında, azalmış olan mesafenin emniyetli ayırım mesafesi olabilmesi için robot hızını azaltır.



Fig. 122. Hız ve mesafe izleme gösterimi [8]

Buraya kadarki üç metotta, robot hareket halindeyken çalışanın robota belli bir mesafeden fazla yaklaşması mümkün olmamaktadır. Dolayısıyla, çalışma şekli gereği robot ve insan temas veya çarpışması mümkün değildir. Güç ve kuvvet sınırlama metodunda, çalışanla robot aynı anda aynı alanda birbirlerine yakın mesafelerde hareket halinde çalışabilirler. Bu nedenle artık tehlikeli olabilecek temas ve çarpışma gibi ihtimallerden bahsetmek mümkündür. Bu sebeple, diğer üç uygulamada konvansiyonel robot donanımı kullanılabilirken, dördüncü metotta olası bir çarpışmanın etkisini azaltmak için, fiziksel dış yapısı özel olarak tasarlanmış ve kuvvet algılama sensörleri bulunan, kolaboratif robot donanımı kullanılmaktadır.

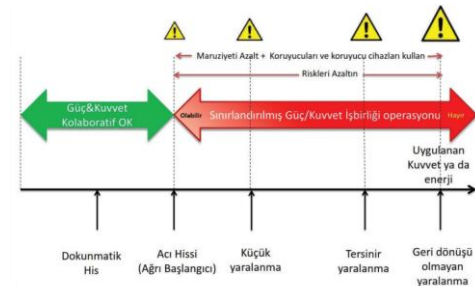


Fig. 123. Güç ve kuvvet sınırlama gösterimi [8]

Robotik tutucu seçimi yapılacak işe göre belirlenir. Robotik tutucunun karakteristiği tutulacak nesnenin özelliklerine göre değişiklik gösterir. Örneğin tutulacak nesnenin; şekli, tutucunun yüzeyini; büyüklüğü, tutucunun kavrama aralığını; kütlesi, kavrama için gerekli kuvveti; pozisyonu ve kavrama eksenini etkiler. Tutucu ekipmanına bağlı etkenler; açısal ivmeler, pozisyon doğruluğu, bağlantı noktalarıdır. Çevreye bağlı etkenler; besleme ve sönmleme şartları, nem ve sürtünmelerdir.

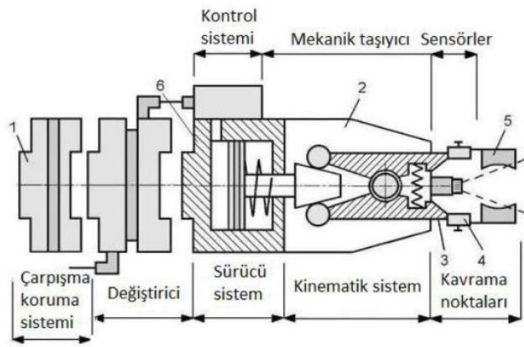


Fig. 124. Tutucu alt elemanları [9]

II. MALZEME VE YÖNTEM

Kolaboratif robot tarafından tutulması istenen parça D-tipi pil olarak belirlenmiştir. Nesnenin geometrik şekli ve yapısal özellikleri göz önünde bulundurularak tutucu seçiminde pnömatik eyleyici ile çalışan iki çeneli mekanik tutucunun uygun olduğu kararlaştırılmıştır.

II.1 Robot Manipülâtörü Seçimi

Bu çalışmada, tasarlanan robotik tutucunun kolaboratif çalışma alanlarındaki testi, FANUC tarafından üretilen CRX-10iA kolaboratif robot manipülâtörüdür. CRX-10iA robot manipülâtörü 40 kg ağırlığa sahiptir ve 200-240V'luk güç kaynağı ile beslenir. Çevre birimine bir eklenti yazılımıyla arayüz kurularak bağlanır. ISO/TS15066 standartlarına uyumlu ve ISO10218-1 sertifikasına sahiptir. Sürükle ve bırak programlama seçeneğiyle robotik uygulamalar kolayca hazırlanır.



Fig. 125. Fanuc CRX-10iA robot manipülâtörü [10]




Robot, üç ekleme noktasından da itilebilir.	
Hafif temaslarda güvenlik için durur. (10 N-20 N)	
Robot ağır objelerle karşılaştığında tutma kuvvetini anında minimize ederek çekilir.	

Fig. 126. Kolaboratif hareket çeşitleri [10]

II.2 Robotik tutucu tasarımı

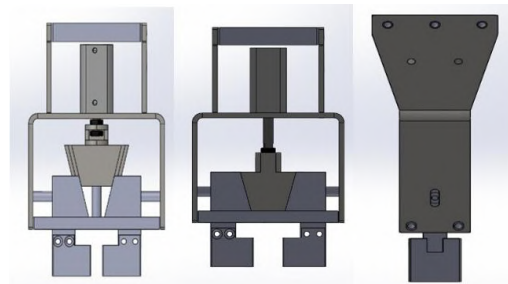


Fig. 127. Robotik tutucunun bilgisayar destekli tasarımı

II.3 Robotik Tutucunun Mekatronik Sistem Tasarımı

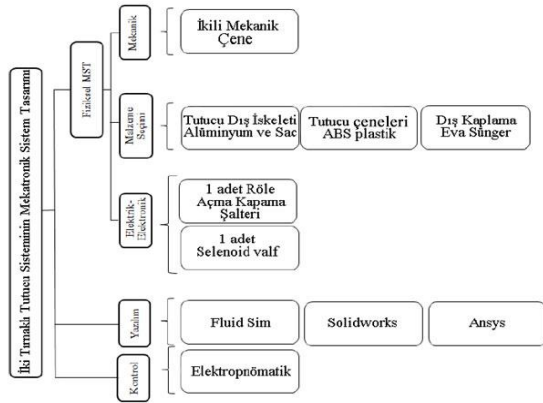


Fig. 128. Robotik tutucu mekatronik sistem tasarımı

II.4 Tasarım Aşamaları

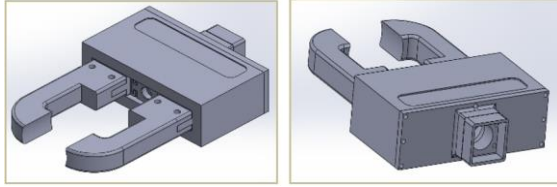


Fig. 129. Robotik tutucunun ilk tasarımı

İlk tasarımda robotik tutucu çenelerinin kavradığı alan yetersiz görülüp tutucu çenelerinin büyütülmesi önerilmiştir. Ayrıca robot manipülatöre uyum sağlaması açısından dış iskelette düzenlemelere gidilmiştir.

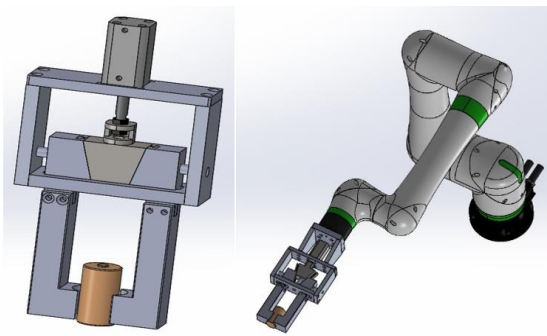


Fig. 130. İkinci tasarım denemesi ve robot üstü görünümü

İkinci tasarımda dış iskelet robot manipülatöre uygun hale getirilmiş ve kavrama yüzeyi artırılarak tasarım iyileştirilmeye çalışılmıştır.

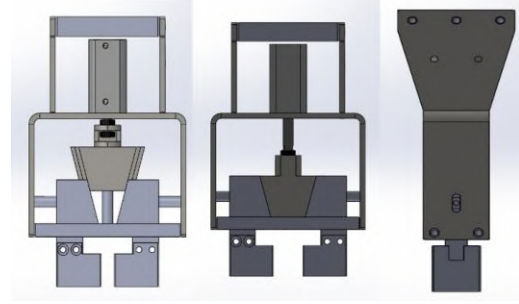


Fig. 131. Son tasarımın farklı açılardan görünümü

Bir önceki tasarımda tutucu çenelerinin uzunlukları, kavrama için gerekli güç kullanımını arttıracak için kısaltılması gerektiğine karar verilerek çenelerin boyutunda değişikliğe gidilmiş, tasarımdaki keskin kenarların ise robotun insanla aktif iş birliği içinde bulunduğu göz önünde bulundurularak, oluşabilecek yaralanmaları önlemek amacıyla daha yuvarlak yüzeye sahip olması, son tasarımda amaçlanmıştır.

III. ANALİZ

Pil tutulduğunda düşmemesi için gerekli statik sürtünme şartı:

$$F\mu > mg \quad F > \frac{mg}{\mu} \quad (1)$$

Normal taşımada tavsiye edilen güvenlik faktörü ile birlikte gereken tutma kuvveti:

$$F > \frac{mg}{\mu} \times S, \quad F > \frac{mg}{\mu} \times 2 \quad (2)$$

Sürtünme katsayısı 0.2 kabul edilirse gereken tutma kuvveti;

$$F > \frac{mg}{0.1 \sim 0.2} \times 2 = (10 \sim 20) \times mg$$

Emniyet katsayısı (S) = 2 (normal taşıma) gerekli tutma kuvvetinin cisim ağırlığının 10-20 katı arasında olması gerektiği görülmüştür.

Emniyet katsayısını: Normal taşıma için: 1
Birkaç yönde hareket ve ivmelenme için: 2
Çarpma, ivmelenme için 3 seçilir.

Buna bağlı olarak çalışma alanında çarpışma ve ivmelenme gibi durumları göz önünde bulundurarak bu tutuş kuvvetinin, cismin ağırlığının 30-50 katına eşit olması güvenlidir.

Robotik tutucu uçlarına etki eden alan:

$$\frac{\pi \times D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot (5 \cdot 10^{-2})^2}{4} \quad (3)$$

$$= 19,62 \times 10^{-6} m^2$$

Kuvvet hesabı, uygulanan basınç 0,6 MPa kullanılarak, basınç değerinin alan değeri ile çarpılması yolu ile yapılmıştır:

$$F = P.A, F = 0,6 \times 10^6 \times 19,62 \times 10^{-6} N \quad (4)$$

III.2 Yapısal Analiz

Robotik tutucu sisteminde çenelerinin yapısal analizi gerçekleştirilerek tutucu bağlantısında oluşan gerilme miktarları incelenmiştir. Fig. 132’de analiz modeli için uygulanan sınır koşulları görülmektedir.

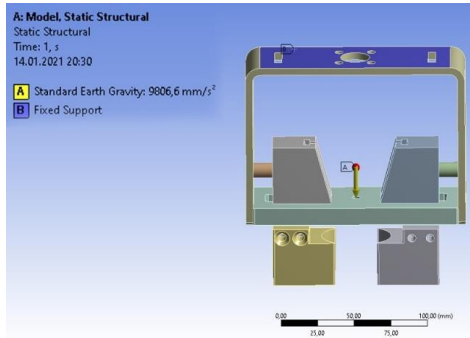


Fig. 132. Yapısal analiz modeli sınır koşulları

A ile gösterilen sınır koşulu y ekseninde uygulanan yerçekimi ivmesini belirtmektedir. B ile gösterilen sınır koşulu ise mesnet belirtmektedir.

Fig. 133’de hesaplama ağı modeli görülmektedir. tetrahedral hesaplama ağı örgüsü oluşturulmuştur. Hesaplama ağı modeli 20817 adet düğüm noktasına ve 9824 adet elemana sahiptir.

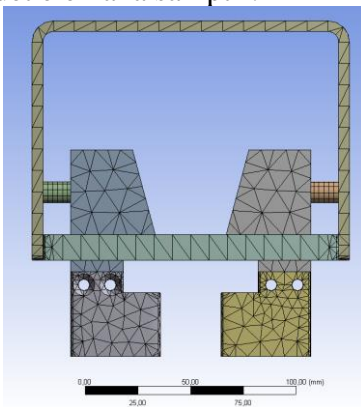


Fig. 133. Robotik tutucunun hesaplama ağı modeli

IV. ÜRETİM VE SİSTEM SENARYOSU

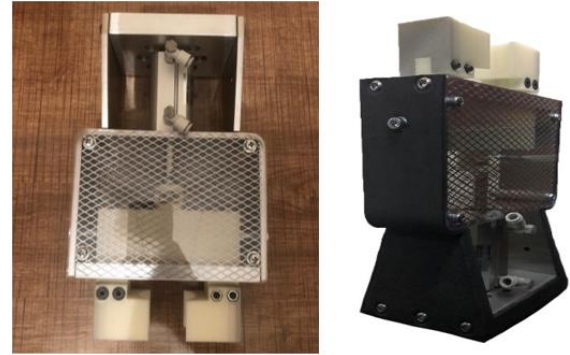


Fig. 134. Robotik tutucu üretimi ve dış kaplaması

Konveyörden belirli bir düzene göre gelen D-tipi piller Cobot (kolaboratif robot) elinde bulunan pnömatik tutucu vasıtası ile toplanarak operatörün bulunduğu alana götürülür;

1.Senaryo: Operatör pillerin fiziki kontrollerini yaptıktan sonra, eğer parçada problem yok ise üzerine “kalite kontrol yapıldı” etiketini yapıştırır ve “onay” butonuna basar. Ardından, Cobot parçayı kutuların bulunduğu alana götürerek sırasıyla pilleri kutunun içine dizer.

2.Senaryo: Operatör pillerin fiziki kontrollerini yaptıktan sonra, eğer parçada problem var ise “hatalı” butonuna basar ve Cobot parçayı hatalı ürün kutusuna götürerek içine atar. Böylelikle bir çevrim tamamlanmış olur.

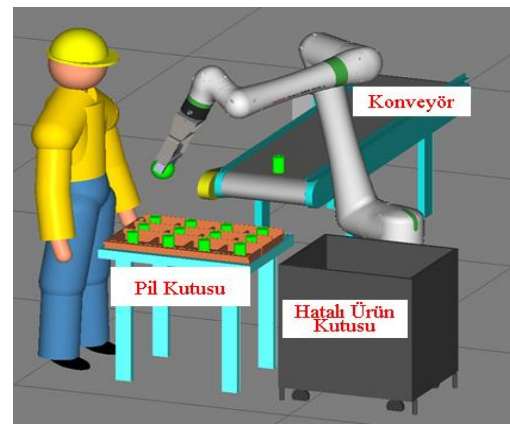


Fig. 135. Kolaboratif sistem çalışma senaryosu

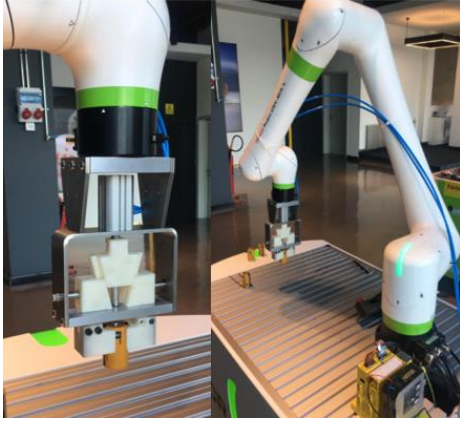


Fig. 136. Kolaboratif senaryonun ilk test görüntüleri

IV.1 Robotik Tutucunun Teknik Çizimleri

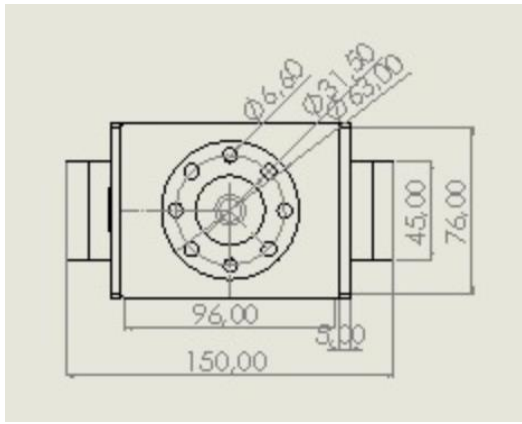


Fig. 137. Robotik tutucunun üstten görünümü (mm)

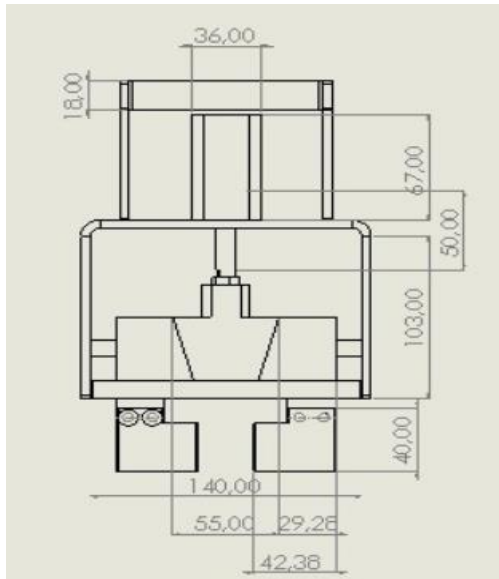


Fig. 138. Robotik tutucunun önden görünümü (mm)

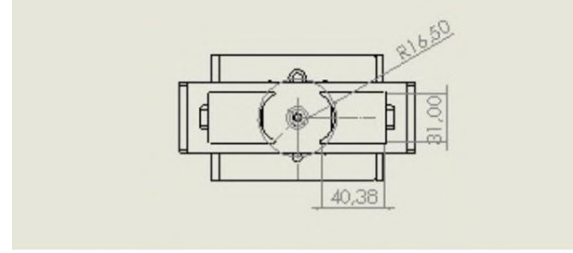


Fig. 139. Robotik tutucunun alttan görünümü (mm)

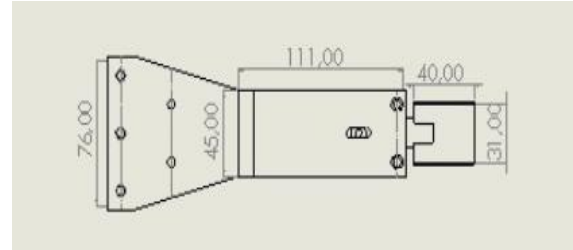


Fig. 140. Robotik tutucunun yandan görünümü (mm)

IV.2 Robotik Tutucunun Montajı

Robotik tutucunun çene ve pnömatrik bağlantısı 3 boyutlu yazıcı aracılığıyla ABS plastik malzemesinden üretilmiştir. Tutucu çenelerinin hareketini sağlayan ana parçanın, çenelerle temasta olduğu kısımda hareket kabiliyetini zorlaması sebebiyle, parçanın boyutlarında Fig. 141'de gösterildiği gibi iki taraftan da 0.5 mm küçültülerek problem çözülmüştür.

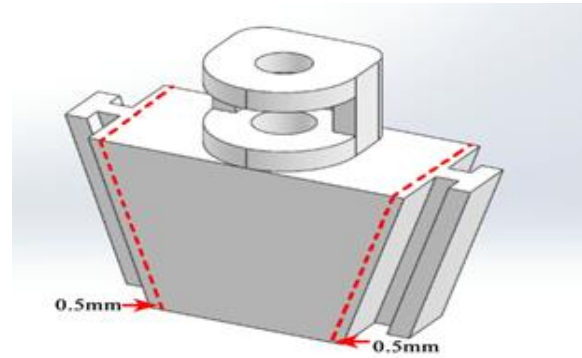


Fig. 141. Pistonla etkileşim halinde olan kuvvet iletim elemanı

Kolaboratif çalışma ortamına uyum sağlamak ve sıkışmaları önlemek için sac tel ve karbon pleksi koruma tercih edilmiştir.

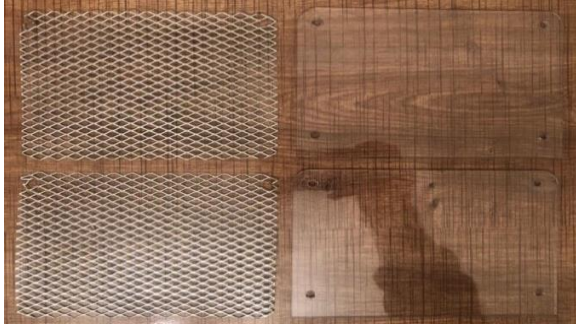


Fig. 142. Dış koruma için tercih edilen parçalar

Olası çarpmalara karşı yumuşak bir yüzey oluşturmak adına tutucunun dış kaplamasını oluşturacak olan eva sünger darbe emici yapıya sahiptir. Elastik yapıları sayesinde endüstrinin birçok alanında sıvı, hava ve toz sızdırmazlık contası, titreşim engelleyici, darbe emici olarak kullanılırlar.

Sürtünme ve aşınmaya karşı dirençlidirler. Isıyla kolaylıkla şekil alırlar. Dış kaplama olarak 3 mm eva sünger kaplaması tercih edilmiştir.

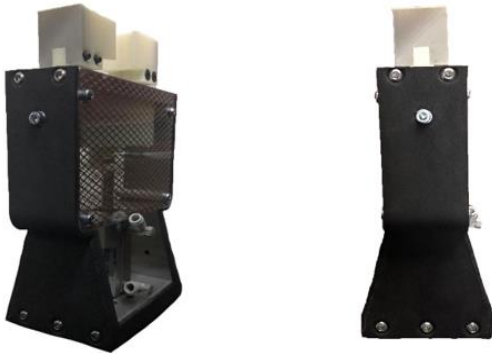


Fig. 143. Robotik tutucunun final görünümü

V. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Üretim bandından gelen D-tipi pilleri tutma ve uygun pozisyona dizme işlemini gerçekleştirmesi için, pilin silindirik şekline göre tasarlanan iki çeneli robotik tutucu prototipi görevini yerine getirebilmiştir. İki çeneli robotik tutucunun, elektro pnömatik kontrole uyumu, tutacağı cisim üzerindeki kavrama işleminden alınan verim, testin yapılacağı robotun özellikleri ve ortam

koşulları göz önünde bulundurularak tasarım süreci üç aşamalı şekilde sürdürüldükten sonra katı model üzerinden analizler yapılarak tasarımda seçim sonlanmıştır. Pil ile temas edecek tutucu yüzeyi ile pil arasındaki sürtünme kuvvetinin yüksek olmasına dikkat edilerek tutucu çeneleri ABS plastik malzemesinden seçilerek üç boyutlu yazıcı aracılığıyla üretimi gerçekleştirilmiştir. Robotik tutucunun dış iskeleti lazer kesim ile sac malzemesinden üretilmiş, ardından abkant pres bükümü gerçekleştirilmiştir. Kalan parçalar için alüminyum 1060 serisi malzemeden seçilerek CNC tezgâhında üretimi gerçekleştirildikten sonra cıvata montajı ile robotik tutucunun ana parçaları hazırlanmıştır. Kolaboratif çalışma ortamında uygunluğu göz önünde bulundurularak alınan güvenlik önlemlerinde, tutucunun pnömatik aksamla bağlantı noktasındaki sıkışma ve yaralanmaları önlemek adına sac tel ve plastik koruma uygulanmıştır. Çalışma alanlarındaki kolaboratif robotlara benzer olarak, olası çarpmalarda yumuşak bir yüzey oluşturmak amacıyla tutucunun dış kısmı 3mm eva süngerle kaplanarak kolaboratif çalışmaya uygun hale getirilmiştir. Kolaboratif senaryo ilk testleri yapıldığında literatürdeki silindirik cisimlerin taşınmasını sağlamak üzere tasarlanan robotik tutuculara benzer olarak robotik tutucunun çenelerinin, 0.3 saniyede açılıp kapanabildiği gözlemlenmiştir. Testlerde kullanılan robot manipülatörü, dakikada 4 pilin taşıma işlemini gerçekleştirebilmektedir. Bu tasarıma ek olarak robotik tutucuda geliştirilecek vakum desteği, pil dışında tutulacak silindirik ve farklı yoğunluğa sahip parçaların tutulmasındaki güç gereksinimi açısından kolaylık sağlayabilir ve robotik tutucunun kavrayabileceği parçalarda boyutsal çeşitliliği artırabilir.

VI. REFERANSLAR

- [1] Dilibal, S. Sahin, H. (2018). İşbirlikçi Endüstriyel Robotlar ve Dijital Endüstri, International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry, 2(1), 86-96.
- [2] Özbaran, C. Dilibal, S., Sungur, G. (2020). Mechatronic System Design of A Smart Mobile Warehouse Robot for Automated Storage/Retrieval Systems, IEEE Innovations in Intelligent Systems and Applications Conference (ASYU), 1-6.
- [3] Dilibal. S., Guner. E., Akturk. N. (2002). Three-finger SMA robot hand and its practical analysis, Robotica, 20, 175–180.
- [4] Pettersson, S. Davis, J. Gray, T. Dodd, T. Ohlsson (2010). Design of a magneto rheological robot gripper for handling of delicate food products with varying shapes, Journal of Food Engineering 2010 98(3) 332-338.
- [5] Lin, L.R., Huang, H.P. (1998). NTU Hand: A New Design of Dexterous Hands, Journal of Mechanical Design, 120(2), 282-292.
- [6] Dilibal, S., Sahin, H. Danquah, J.O., Emon, MOF, Choi JW (2021). Additively Manufactured Custom Soft Gripper with Embedded Soft Force Sensors for an Industrial Robot, International Journal of Precision Engineering and Manufacturing 22 (4), 709-718
- [7] Lanni, C., Ceccarelli, M. (2009). An Optimization Problem Algorithm for Kinematic Design of Mechanisms for Two-Finger Grippers, The Open Mechanical Engineering Journal, 2009, 3, 49-62.
- [8] Dağlı, M. (2019). İnsan-Robot İşbirliği Kolaboratif Robotlar, Mühendis ve Makina.
- [9] Hesse, S., Steinmann, R., Schunk, H., Monkman, G. J. (2007). Robot Grippers, Wiley VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- [10] Fanuc Corporation (2019). Collaborative Robots: CRX10iA Available at: <https://www.fanuc.eu/es/en/robots/robot-filter-page/collaborative-robots/crx-10ia>

ROBOT İŞLETİM SİSTEMİ TABANLI ÇEVRE ANALİZ VE BİLDİRİ ARACI TASARIMI

Onur KOLSUZ, Aışen Berat ÖZEL, İsmail Tarık ÖZLÜK, Berk KAÇKA, Abdulkadir ŞANLI

*Türk-Alman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği,
Şahinkaya Cad., 106, Beykoz, İstanbul, Türkiye*

ÖZET

Günümüzde kolluk kuvvetleri birçok tehlikeli görevlerde aktif olarak görev almaktadırlar. Alınan isimsiz veya eksik bilgili ihbarlarda dahi kolluk kuvvetleri görevlerini en iyi şekilde yerine getirmektedirler. Eksik bilgili ihbarlar veya tehlikenin öngörülemediği görevlerde olası risk artmaktadır. Bu çalışmanın temel amacı, kolluk kuvvetlerine yardımcı olacak ve operasyonlarda olası riskleri en aza indirgeyecek, Robot işletim sistemi (ing. Robot Operating System (ROS)) ile çalışan ve görüntü işleme ile nesne tespiti ve çeşitli sensörlerle ortam analizi yapan Çevre Analizi ve Bildirme Aracı (ÇABA) olarak adlandırılan bir otonom çevre analiz aracı tasarlamaktır. ROS kullanarak iki hedefin gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır. Birinci hedef otonom sürüş, ikinci hedef haritalandırmadır. Üzerinde bulunacak olan ateş algılayıcı, hava kalitesi, sıcaklık ve nem sensörü ile ortamın analizini yapacak ve kullanıcıya bildirecektir. RPLIDAR lazer sensörüyle ile haritalandırma yapacak olan ÇABA, ayrıca ortam ışık sensörü ile gerektiğinde aracın ışıklarının açılması yoluyla aydınlatma sağlayacaktır. Tasarımında ise 50 cm uzunluk ve 35 cm genişliğinde 4 tekerlekli bir yer aracı olması tercih edilmiştir. Görüntü işlemede, OpenCV algoritmalarındaki fonksiyonlarla YOLO'dan yararlanarak nesne tespiti ve görüntü yollama işlemleri gerçekleşir. Buradaki derin öğrenme sayesinde başarılı sonuçlar alınması hedeflenmiştir. Bu çalışma kapsamında ÇABA'nın yerli yazılımı; fabrika, karanlık depo, havalimanı, hastane gibi ortamlara entegrasyonu ile sanayinin gelişmesini sağlar. Endüstri 4.0'ın gereği sanayi içindeki diğer robotlarla da uyumlu çalışıp veri alışverişinde bulunarak, üretimde verimliliğin artırılmasında önemli rol oynar. ÇABA, kolluk kuvvetlerine ve sanayiye entegrasyonu ile geniş bir istihdam sağlamaktadır. Çalışmada farklı mühendislik kolları yer alabileceğinden sektör içi bilgi alışverişi gerçekleşir.

Keywords: Robot İşletim Sistemi, Sensör, Otonom Sürüş

I. GİRİŞ

Çevre Analizi ve Bildiri Aracı (ÇABA), polis ve benzeri güvenlik kollarına yardımcı olması hedeflenen 4 tekerlekli, 50 cm uzunluğunda 35 cm genişliğinde olan bir çevre analiz aracıdır. Saç metalden üretilen ÇABA'nın ağırlığı 10 kg ve ortalama hareket ettiği hız 2,5 km/h'tir. Hem hafif olması hem de ufak olması ile her alanda kullanılabilir ve her alana rahatlıkla

taşınabilir. ÇABA'nın faaliyete geçmesi kolluk kuvvetlerimizin operasyon planlamasına ve bu planların yürütülmesine yardımcı olacaktır. Ayrıca olası can kayıplarına engel olmak için ÇABA'nın kolluk kuvvetlerinden önce girilmesi gereken veya girilemeyen alana girmesi ve görevlerini yerine getirmesi, bunları gerçekleştirirken de otonom olmanın yanı sıra manuel olarak da kontrol edilebilmesi,

kolluk kuvvetlerimiz için avantaj olacaktır. ÇABA kullanıcısına elde edilen sensör verilerinin işlenmesi ile çevre analizi yapma imkânı sunmaktadır. Diğer dikkat edilmesi gereken yön hangi modül kullanılarak görüntü işleme yapıldığıdır. Çoğu ROS robotun görüntü işleme Jetson üzerinden gerçekleşmemektedir, NVIDIA piyasadaki market payını ürünleriyle arttırmaktadır ve kendi çevrelerinin de ROS ile uyumlu çalışmasından ötürü ROS ve NVIDIA çevresini birleştiren çalışmaların yenilikçi yönü yüksek ve talebi her geçen gün artmaktadır. ÇABA Jetson Nano modülünü kullanarak bu sistemi ROS paketleri ile birleştirip otonom sürüş sağlamaktadır. Bu yazılımın başarı ile yapılmasıyla daha üst modellere de aktarılabilmesinin önü açılmaktadır. ÇABA'nın 4 temel görevi vardır. Bunlar:

- Kolluk kuvvetlerinin elinde bina planı varsa Gazebo Simülasyon programı ile plan çizilir ve ÇABA'nın gitmesi gerektiği nokta seçilir. Bu sayede ÇABA o noktaya kadar olan güzergahı eşzamanlı olarak planlayarak bölgeyi incelemesi,
- Kolluk kuvvetinin elinde bulunduğu alanın planı olmaması halinde bölgenin haritalandırmasını yapar; ateş algılama sensörü, sıcaklık ve nem sensörü, hava kalitesi sensörü gibi çeşitli sensörler aracılığı ile ortamda herhangi bir tehlike olup olmadığını algılaması,
- Görüntü işleme ile nesnelere tespiti ve,
- Yaptığı analizleri kullanıcıya anlık bir şekilde yayınlamasıdır.

Görüntü işlemede derin öğrenme kullanılarak nesnelere tanınması hedeflenmişken ÇABA'nın görüntü işlemedeki asıl hedefi analizi yapılan alandaki insanları tespit etmektir. Bu sayede içeride insan olup olmadığı ve insan varsa

yaralı olup olmadığı tespit edilebilecektir. Tamamen otonom olması hedeflenen ÇABA'da sistem olarak Linux üzerinde çalışan Robot Operating System (ROS) kullanılmaktadır. ROS, yurtdışında yükselişe geçerek Endüstri 4.0'ın gelişimine doğrudan etki etmektedir ancak ülkemizde çok fazla popüler değildir. ROS, robotik için pek çok alanda kullanılabilen bir yazılım [1] olduğu için çalışma bittiğinde çalışmanın yeteneklerini farklı alanlarda kullanmak ve ROS'u sanayiye de entegre ederek yerli üretime katkıda bulunmak başlıca hedeflerinden biridir.

II. YÖNTEM

II.1. Aracın Mekanik Tasarımı

ÇABA'nın görevlerini yapabilmesi için göze batmaması ve küçük alanlar dahil olmak üzere her ortamda çalışabilmesi tasarım konusundaki 2 önemli etkidir. ÇABA'nın uzunluğu 50 cm ve genişliği 35 cm'dir. Bu sayede üst kapağında her sensörün ve ek olarak kameranın bulunabilmesi için yeterli alan sağlanmıştır.

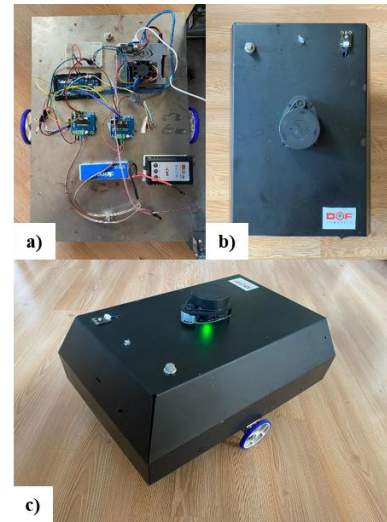


Fig. 144. ÇABA'nın (a) üstten iç (b) üstten dış ve (c) sol yan görüntüsü.

Gövdesinin iç derinliği 15 cm olan ÇABA'nın içine batarya, kontrol merkezi,

kablolama gibi beynini ve gücünü oluşturan ekipmanlar yerleştirilmiştir. Fig 144.a'da ÇABA'nın iç kısmı görülebilir. Burada görülen Arduino Mega ve NVIDIA Jetson Nano modülü ÇABA'nın kontrol merkezi olacaktır. Ayrıca orta bölüme 1 tane 2200 mAh Li-Ion pil yerleştirilmiştir. Motorlar için 2 tane BTS7960B motor sürücüsü bulunmaktadır. Fig 144.b ve 144.c'ye bakıldığında üst kapağa yerleştirilen sensörler görülmektedir.

II.2. Otonom Sürüş Sağlayacak ROS'un Oluşturulması ve ÇABA'ya Entegre Edilmesi

ROS, robot yazılımı geliştiricileri için işletim sistemi sağlayan bir yazılım iskeletidir [2]. Mesajların gönderilmesini gerçek zamanlı olarak yönetmek için Linux tabanı kullanan bir sistemdir. Çalışmada ROS ile hedeflenen nihai amaç ÇABA'nın otonom sürüş yapabilmesi ve bir bölgenin haritalandırılmasını yapabmesidir.

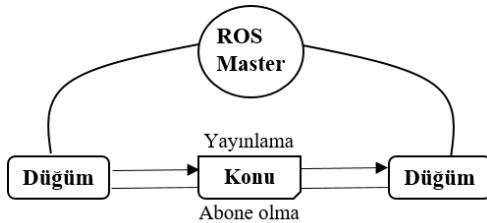


Fig. 145. Genel açıdan ROS'un sistem yapısı

ROS'un işleyiş biçimi Fig. 145'te gösterilmiştir. ROS Düğümü (ROS Node) bir fonksiyon ya da mini program olarak anlaşılabilir. Her bir düğüm belli bir görevi yerine getirmektedir. Örnek olarak kamera düğümü görüntü yakalamak ile sorumludur. Düğümün görevi, engeller, pozisyon, vs. gibi bilgileri yayınlamaktır. Bu yayınlanan bilgiler mesaj olarak adlandırılır. Her bir mesaj konu (ing. topic) üzerinden yayınlamaktadır.

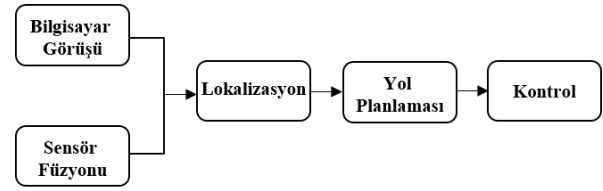


Fig.146. Otonom Sürüş Aşamaları

Burada, bilgileri yayınlayan düğüm yayınlayıcı (ing. publisher) denmektedir. Bu bilgileri alan ve kullananlara abone (ing. subscriber) denir. Bir düğüm çoğu zaman hem sahip olduğu verileri yayımlar hem de başka konular abone olur ve bu bilgiyi kendi içinde kullanır. Sistemdeki düğümler bu şekilde haberleşir. Sistemde o an açık olan düğümler bir grafik oluşturur [3]. Bu yapının en büyük avantajı bir modülün çalışmaması durumunda sistemin bloke olmamasıdır, çünkü bir düğüm her zaman herhangi bir alıcı olmasa da mesajını yayınlamaktadır. Otonom sürüş temelde 4 aşamadan oluşmaktadır. ÇABA'nın otonom sürüş sağlaması için üzerinde bulunan sensörlerden veri girişi gerçekleştirilir ve bu sensörden gelen verilerin ROS aracılığıyla entegrasyonu yapılmaktadır. ÇABA farklı sensörlerden gelen verileri yorumlayarak otonom sürüşünü daha etkili hale getirir. LİDAR üzerinden yaptığı tarama ile engellerin tespiti, engele olan mesafesi, ateş algılayıcı sensörden gelen alev tespiti vb. veriler işlenmek üzere ROS'a aktarılmaktadır. Bu aktarım sırasında yayınlayıcı-abone sistemi kullanılmaktadır. Bu sayede terminal (ing. Command Line Interface) ekranı üzerinden aktif olan konuları görüntüleyip istenilen konudan gelen mesajları dinlemek mümkündür ve verilerin ayrı ayrı takibi yapılabilmektedir. ÇABA'nın lokalizasyonu bilgisayar görüşü ve sensör füzyonundan gelen veriler sayesinde gerçekleştirilebilmektedir.

Lokalizasyondaki amaç robotun tam olarak konumunu belirlemektir. Otonom sürüş için lokalizasyon büyük önem içermektedir, eğer doğru bir lokalizasyon sağlanamaz ise araç hedefinden şaşabilir ve istenilen sürüşü gerçekleştiremez. Bu işlem ROS üzerindeki AMCL (ing. Adaptive Monte Carlo Localization) paketi ile gerçekleştirilmektedir. [4]. Araç bulunduğu ortamdaki lokalizasyonu sağladıktan sonra, artık belirlenen hedefe giden rotasının çıkartılmasına hazır durumdadır. ROS'daki "navfn" paketi üzerinden aracın navigasyonu sağlanmaktadır. ROS üzerinden otonom sürüşün dışındaki ikinci hedef ÇABA'nın bulunduğu ortamın haritalandırmasını yapmasıdır. Bu haritalandırma gmapping paketindeki SLAM (eng. Simultaneous Localization and Mapping) algoritması [5] ile sağlanmaktadır. Bu algoritma robot pozisyonu takibi için "Rao-Blackwellized" parçacık filtresini kullanır ve sensör füzyonundan gelen verileri temel olarak bir harita oluşturulmaktadır. Algoritmanın daha efektif kullanılması için kullanım durumuna göre algoritma içindeki bazı parametrelerde değişiklikler yapılmaktadır. ÇABA üzerinde kullanılan sensörlerin seçimi, o anki ortamın durumunu detaylı bir şekilde ifade edebilme yeteneği ve ihtiyacına göre seçilmektedir. Bu sensörlerden alınacak mesajlarda da hava kalitesi endeksi havanın kalitesinin ölçümü noktasında, kullanıcıya havadaki oksijen yoğunluğunu ölçmekten daha kapsamlı bir bilgi vermektedir. Bu endeksin hesaplaması bölgeseldir ve havanın kirlilik temizlik durumuna ona göre karar verilmektedir. Alev tespit sensörü olası bir yangını tespit etmek için kullanılmaktadır. Bu tasarımda kullanılan sensör, bir metreye kadar alevleri tespit edebilmektedir.

III. BULGULAR

III.1. ROS Çaba Modellemesi

ROS'da bir robotun bütün elemanlarını tanımlayabilmek için dosyalar URDF (ing. Unified Robot Description Format) formatında yazılmaktadır. Bu format ROS içinde bir standart haline gelmiştir. Daha sonradan bu formatta yazılan dosyalar daha kolay okunabilirlik ve sadeleşme için xacro formatına dönüştürülüp o şekilde saklanmaktadır. Robotun simülasyon ortamında modellenmesi için dosyalarının bu formatta yazılması ve saklanması gerekmektedir. Fig. 147'de, görüleceği üzere ÇABA robotu ile işletim sistemi arasında "xacro" dosyasında tanımlanmış olan veri alışverişi sağlayan bağlantı noktaları ve aynı zamanda robotun fiziksel modeli belirtilmiştir. Hız ve yön komutlarını iletebilmek için tekerlek bağlantılarının doğru tanımlanmış olması büyük önem arz etmektedir.

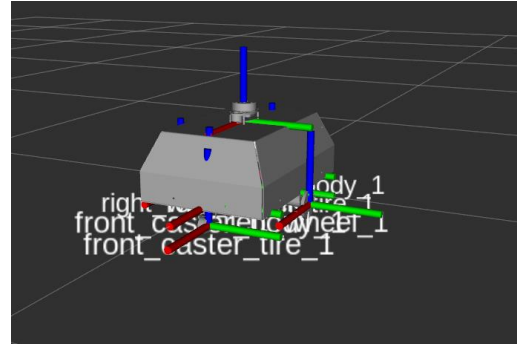


Fig. 147. ROS ÇABA modeli

III.2. Haritalandırma

ROS tabanlı araçlarda otonom çalışma şeklinin en temel gerekeni haritalandırmadır. Harita bilgisine sahip olmayan araca hedef konum verilemez ve aracın hareket etmesi beklenemez. ÇABA, etraftaki engelleri algılamak ve ortamın haritalandırmasını yapmak için "gmapping" paketini kullanılmaktadır. Gmapping, lazer menzil verilerinden ızgara haritalarını öğrenmek için oldukça verimli bir Rao-

Blackwellized parçacık filtresi olduğundan eş zamanlı konumlandırma ve haritalandırma (ing. Simultaneous Localization and Mapping (SLAM)) problemine etkin bir çözüm olmaktadır [6]. “Slam_gmapping” kullanılarak, lazerden 2 boyutlu bir doluluk ızgara haritası (bir bina kat planı gibi) oluşturulmaktadır ve ÇABA tarafından toplanan veriler “sensor_msgs/LaserScan” mesajlarını girdi olarak alarak ortamın haritası oluşturulmaktadır. “LaserScan” mesaj tipi, mobil robotun kullandığı lazer veya ultrasonik sensörlerden aldığı verileri mesaj olarak yayınlamaktadır. ÇABA, RPLIDAR A1M8 lazer sensörünü kullandığı için gmapping’te kullanılan parametrelerin bazıları da RPLIDAR’ın teknik verilerine göre ayarlanmıştır. Gmapping’in sahip olduğu diğer parametreler de ayarlandıktan sonra terminalde başlatmak için bir dosya oluşturulmaktadır. Haritalandırmayı denemek amacıyla Gazebo simülasyon ortamında test edilmektedir. Fig. 148’de görüldüğü üzere Gazebo’da hazır bulunan “willowgarage_map” dünyasının bir kısmının haritası çıkarılmıştır.

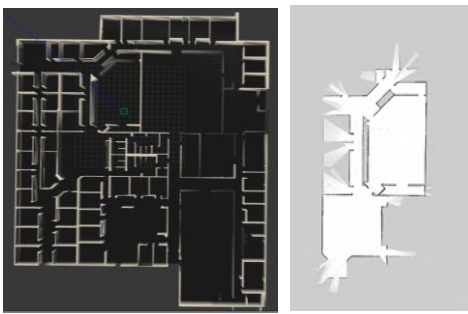


Fig. 148. Gmapping ile oluşturulmuş harita örneği

III.3. Lokalizasyon

Haritalandırmadan sonra yapılacak diğer adım ise ÇABA’nın kendisini tam olarak haritanın hangi konumunda olduğunu anlayabilmesidir. Bu yüzden de Adaptiv

Monte Carlo Lokalizasyon (AMCL) algoritması kullanılmıştır. Bu paket sayesinde, ÇABA’nın pozunu bilinen bir haritaya göre izlemek için bir parçacık filtresi [6] kullanan uyarlanabilir Monte Carlo konumlandırma yaklaşımı uygulanmaktadır. ÇABA’nın lokalizasyonu için oluşturulmuş olan amcl başlatma dosyasında ÇABA’nın gmapping ile elde ettiği haritanın bilgisayar içindeki konumu verilerek konumlandırma işleminin bu haritaya göre yapılması istenmektedir.

Amcl’de de aynı gmapping’te olduğu gibi gerekli parametreler en optimize şekilde ayarlanarak ve RPLIDAR değerleri burada da girilmektedir. AMCL bu lokalizasyon işlemi için motordan gelen odometre verilerinin yanı sıra, başlangıç pozisyonunu da kullanmaktadır. Gazebo simülasyon ortamındaki dünya ve ROS görüntüleme aracı olan “rviz” açıldığında rviz’e harita düğümü eklenerek harita ve ÇABA’nın harita üzerinde nerede olduğu görülmektedir. Bu sayede ÇABA’ya gitmesi için konum verildiğinde ÇABA hedefe ne kadar uzaklıkta olduğunu veya başlangıç konumuna göre olan anlık konumunu hesaplayabilmektedir.

III.4. Navigasyon

Haritalandırma ve lokalizasyon adımlarının gerçekleştirilmesinden sonraki adım olan navigasyon çalışmasında, navigasyonu gerçekleştiren düğümler global ve lokal olmak üzere iki ana başlık altında ele alınmıştır. Global yol planlama robotun hedef noktaya direkt olarak hesapladığı ve statik olması özellikleriyle lokal yol planlamasından ayrılır [7] ve Fig. 149’da siyah çizgi ile gösterilmiştir. Global yol planlama algoritması olarak “Dijkstra” kullanılmıştır.

Bu global yol planlama algoritmasının entegrasyonu ROS’daki “navfn” paketi

üzerinden gerçekleştirilmektedir, çalışmada ÇABA'nın bu pakete parametre düzenlenmesiyle birlikte entegrasyonu yapılarak, robotun hareket öncesi global yol planlaması gerçekleştirilmektedir.

Global yol planlamasının yanında lokal planlaması, robotun istenilen noktaya ilerlediği sırada, dinamik olarak önüne çıkan engeller sonucu oluşturduğu yol planı olarak tanımlanabilir ve çalışmada yolun oluşturulması için algoritma seçimi Dinamik Pencere Yaklaşımı (ing. Dynamic Window Approach) olarak karar verilmiştir. Bunun başlıca nedeni algoritmanın düşük işlemci gücü ile iyi çalışabilmesi ve hızlı reaksiyon tepkileridir. ROS üzerinde global yol planlamasında olduğu gibi bu algorithmda “navfn” paketi aracılığıyla ÇABA'ya entegrasyonu gerçekleştirilmiş olup Fig. 149'da bulunan kırmızı çizgi, algoritmanın yol planlaması sonucunu ortaya koymaktadır. Fig. 149'da robot SLAM algoritması sonucu haritalandırmasını yaptığı ev ortamında bulunmaktadır.

Bu ortamda robota harekete geçmesi için “rviz” üzerinden el ile bir navigasyon hedefi verilmiştir, robot da bu hedefe ulaşmak için yukarıda anlatılan iki yol planlaması algoritması aracılığıyla muhtemel yol planlamasını oluşturmuştur ve bu yol planlamaları iki farklı renkteki ok aracılığıyla belirtilmiştir.

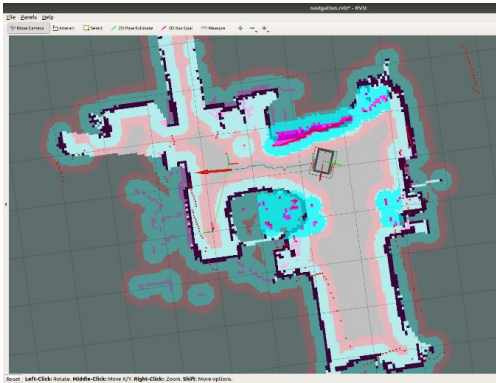


Fig. 149. Global ve Lokal Yol Planı

Planlamanın oluşturulması içinse “move_base” başlığı üzerinden gelen hız verileri, motordan gelen odometre verileri, lazer sensöründen gelen veriler, amcl paketinden gelen konum bilgisi kullanılmaktadır. Bu planlamanın gerçekleştirilmesi esnasında, global ve lokal planlayıcılar beraber çalışmaktadır. Lokal planlayıcı daha kısa vadeli planlar yaparken, global planlayıcı emri aldığından itibaren o konuma nasıl gideceğinin hesabını yapmaktadır. Planlama üzerinde kimi zaman global planlayıcının etkisi daha yüksek olmakla beraber, ÇABA bir engelle karşılaştığında ya da ÇABA'nın dar bir bölgeden geçmesi gerektiğinde daha hassas olan lokal planlayıcının enflasyonu artarak araca yön vermektedir. Bu sayede ÇABA sorunsuz bir şekilde planını gerçekleştirmektedir.

III.5. Sensör Sisteminin Tasarlanması

Sensörlerin Arduino ile entegrasyonu ve sensörlerden gelen mesajın doğru ve eksiksiz bir biçimde ROS sistemine iletilmesine ilişkin testler gerçekleştirilmiştir. Bu haberleşmeyi kontrol etmek için bilgisayara seri olarak bağlanan Arduino ve bu mesajları alacak olan ROS sistemi arasındaki bağlantı da “ROS Serial Arduino” [8] paketi tarafından gerçekleştirilmektedir. Robota uygun ROS mesaj tipleri oluşturulup, bu mesajların Arduino kod editörü üzerinde gerekli düğümlerin oluşturulup, içinin gerekli sensör mesajlarıyla doldurulmaktadır. Bu mesajların Arduino tarafından yayımlanmasının ardından, Linux Terminalinden ROS çalıştırılarak, Arduino Serial Portuna bağlanması halinde [bkz. Fig. 150], sensörler tarafından yayımlanan başlıklar kullanıcı tarafından listelenmektedir.

```

berk@berk-16:~$ rosrun rosserial_arduino serial_node.py _port:=/dev/ttyUSB0
[INFO] [1621584464.576873]: ROS Serial Python Node
[INFO] [1621584464.581214]: Connecting to /dev/ttyUSB0 at 57600 baud
[INFO] [1621584466.686352]: Requesting topics...
[INFO] [1621584468.321291]: Note: publish buffer size is 280 bytes
[INFO] [1621584468.322395]: Setup publisher on gassensor [std_msgs/String]
[INFO] [1621584468.332656]: Setup publisher on lichtsensor [std_msgs/String]
[INFO] [1621584468.348788]: Setup publisher on brandsensor [std_msgs/String]
[INFO] [1621584468.361552]: Setup publisher on temperatursensor [std_msgs/Float32]

```

Fig. 150. Bağlantının sağlanması ve bunun konsol üzerinden görüntülenmesi

Fig 151’de görüleceği gibi “rostopic echo” komutunu kullanarak, bu başlıkların içeriği görüntülenebilmektedir. Fig. 151’de entegre edilen sensörlerden gelen mesajlar ve bunların görüntülenmesi gösterilmektedir. Burada, “licht_state” değişkeni o anda aracın ön ışıklarının açık mı kapalı mı olduğunu, “data_licht” ise o anki sensörde okunan ortamdaki ışık değerini, aqi (ing. Air Quality Index) havanın o anki kalitesini göstermektedir.

```

berk@berk-16:~$ rostopic list
/brandsensor
/diagnostic
/gassensor
/lichtsensor
/rosout
/rosout_agg
/temperatursensor
berk@berk-16:~$ rostopic echo /lichtsensor
^[A^[B^Cberk@berk-16:~$ rostopic echo /lichtsensor
^Cberk@berk-16:~$ rostopic echo /temperatursensor
^Cberk@berk-16:~$ rostopic echo /
/brandsensor /gassensor /rosout /temperatursensor
/diagnostic /lichtsensor /rosout_agg
berk@berk-16:~$ rostopic echo /gassensor
data: "Luft ist Hazardous"
...
^Cberk@berk-16:~$ rostopic echo /lichtsensor
data: "Licht sind aus."
...
^Cberk@berk-16:~$ rostopic echo /temperatursensor

```

Fig. 151. Sensör başlıklarının listelenmesi ve mesajların görüntülenmesi

Bu sensör verilerini gönderirken de herhangi bir kayıp yaşanmamakta ve Arduino Serial ekranındaki ile birebir aynı sonucu vermektedir. Bu da bize sensörlerden veri alımının eksiksiz gerçekleştiğini göstermektedir.

III.6. Görüntü İşleme Sisteminin Tasarlanması

Çevre Analizi ve Bildiri Aracı’nda görüntü işleme aracılığıyla nesne ve insan tespiti de amaçlanmaktadır. Bu misyonunu OpenCV üzerinde Yolo algoritmalarını kullanarak etiketlendirme ve tespit işlemlerini sürdürmektedir. Eğitim ve test işlemi için seçilen farklı pozisyonlardaki yüksek kaliteli insan seçilir ve seçilen görseller tek bir klasörde toplanarak “makesense.ai” açık

kaynak etiket konumlarının belirtimi için kullanılmaktadır. Koordinatlar, her bir text dosyası üzerine yazıldıktan sonra training ve test dosyaları düzenlenerek oluşan darknet klasörü Google Colab platformuna yüklenmiştir. Burada klasörler açılıp eğitim için gerekli Linux sistem komutları girilerek Darknet aracılığıyla eğitim işlemi başlatılmıştır. 2000 iterasyona ulaşıncaya kadar Google her 100 iterasyonda kullanıcıya düzenli grafikler sunmaktadır ve en sonunda yapay sinir ağı grafiğini ortaya çıkarmaktadır. Fig. 152’de 2000 iterasyon sonunda ne kadar başarılı bir model eğitildiği görülmektedir.

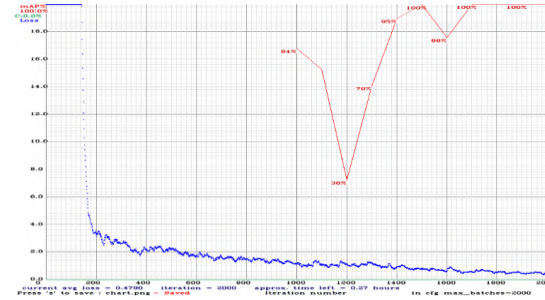


Fig. 152. Eğitim işlemi: Adım Adım İterasyonun gösterimi

Eğitim işlemi bittiği anda Google kullanıcıya best, last, 1000 isimli weights dosyaları sunulmaktadır. Bu weights dosyalarından en iyi sonucu veren yani best isimli olan seçilmektedir ve kod üzerinde çağrılmaya hazırlanmaktadır.



Fig. 153. Farklı durumlardaki tespit uygulamaları

Eğitilen dosyaların nasıl çalıştığını gözlemleyebilmek için JETSON Nano’ya entegre edilmeden önce bazı testler

yapılmaktadır ve bu testlerden yüksek verim alındığı tespit edilir. Bu durum “cfg” ve “weights” uzantılı Yolo için önemli olan iki dosyanın ÇABA için yeterli ihtiyaçları karşıladığını gösterir. Fig. 213’te görüldüğü üzere; oturan, sırtı dönük, aşağı inen, yukarı çıkan veya yan profil kadın, erkek, yaşlı bireylerde görüntü işleme algoritması olumlu sonuç vermiştir.

IV. SONUÇ

Bütün çalışmalar sonucunda ÇABA, 4 tekerlek üzerinde giden; ROS ortamında Gazebo yardımıyla simülasyon ortamı oluşturulan; rViz ile başarılı bir şekilde lokal ve global olarak yol planı oluşturabilmekte; aynı zamanda kullanıcılar rViz üzerinden gerçek zamanlı yeni bir emir verebilmekte; ÇABA gelen bu gerçek zamanlı gelen yol planı emrini algılayabilmekte; bu yol planlarını otonom olarak, gerektiğinde manuel olarak, takip edebilmekte; anlık olarak yol planındaki değişikliklere hızlı yanıt verebilmekte; dinamik olarak yerleştirilen engellerden kaçınabilmekte; LİDAR lazer sensörü sayesinde geçtiği yerlerin haritalandırmasını yapabilmekte; üzerinde Arduino Mega’ya bağlı olarak bulunan alev, ışık, hava kalitesi, sıcaklık ve nem sensörleri sayesinde ortamın sıcaklığını, nemini, ışık miktarını, ortamın hava kalitesini ve yakında alev olup olmadığını haricinde konum bilgisini de paylaşabilmektedir. Aynı zamanda ortamın ışığına göre aracın ışıklarını açıp kapatabilmekte; Bu verileri aktarırken herhangi bir veri kaybı yaşanmamaktadır. Bunun yanı sıra aracın üzerinde bulunan kameradan da anlık görüntü alınabilmektedir. Bu kamera da aynı zamanda ileride eklenmesi planlanan görüntü işleme sürecinde kilit bir rol oynayacaktır.

V. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK 2209-B Sanayi Odaklı Lisans Bitirme Tezi Destekleme Programı kapsamında desteklenmiştir.

Ayrıca çalışma esnasında yardımcı olan sanayi partnerimiz DOF Robotik’e desteklerinden ötürü teşekkür ederiz.

VI. REFERANSLAR

- [1] M. Robinson und L. Armstrong, ”Description- ROS-Industrial“. (2021, 04, 16). <https://rosindustrial.org/about/description>
- [2] The Construct. (2021, 11 10). <https://www.theconstructsim.com/what-is-ros/> adresinden alındı.
- [3] Mathworks. (2021, 11 15). <https://de.mathworks.com/help/ros/ug/exchange-data-with-ros-publishers-and-subscribers.html> alındı.
- [4] L. Joseph, Robot Operating System for Absolute Beginners. 2018.
- [5] ROS. (2020, 11 21). <http://wiki.ros.org/gmapping> adresinden alındı.
- [6] Werede Gunaza Teame, Dr. Yanan Yu, und Professor Wang Zhongmin, (2020) „Optimization of SLAM Gmapping based on Simulation“, *Int. J. Eng. Res.*, Bd. V9, Nr. 04, p. 74–81
- [7] J. Fayyad, M. A. Jaradat, D. Gruyer, und H. Najjaran, (2020) „Deep learning sensor fusion for autonomous vehicle perception and localization: A review“, *Sensors (Switzerland)*, 20(15). MDPI AG, p. 1–34.
- [8] A. Koubaa, Robot Operating System (ROS), 1(1).
- [9] ROS.(2018.10.01).http://wiki.ros.org/rosserial_arduino adresinden alındı.

SERİ ÜRETİM MONTAJ HATLARINDA İVME TABANLI MONTAJ TAKİP SİSTEMİNİN TASARIMI VE UYGULAMASI

¹Fahri Çağatay ERGEN, ²Nihat AKKUŞ, ³İsmail TEMİZ

¹Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Bl., İstanbul
Türkiye

²Gedik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bl., İstanbul, Türkiye

³Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Bl., İstanbul
Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada montaj hattından üretim esnasında ortaya çıkabilecek montaj hatalarının önüne geçilmesi amacıyla doğru montaj yapılıp yapılmadığını kontrol eden ve raporlayan bir endüstriyel hareket takip sisteminin geliştirilmesi ve prototip üretimi ile bir deneme modeli üzerinde test edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada montaj hatlarında yapılan hataları yerinde algılayıp düzeltebilmek için bileklik ve kullanıcılara uygun arayüz tasarlanmıştır. Montaj hattından hatalı geçen ürünlerin kalite kontrol aşamasına kadar hatalı devam etmesinin önüne ekonomik şekilde geçilebilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada montaj yapılacak olan yeri gören bir manyetometre sabitlenir. Kullanıcının bileğinde saat gibi bulunan neodyum mıknatıs sayesinde manyetometre, mıknatısın dolayısıyla bileğin konum bilgilerini verir. Bu konum bilgilerinden yola çıkılarak montaj parçalarının konumları ve montaj yapılacak yerler sırasıyla arayüze yetkili kişilerce öğretilir. Hazırlanan arayüzde operatörün hareket verileri alınarak filtrelendirilir, sırasıyla montaj esnasında karşılaştırma yapılır ve herhangi bir hata anında operatör bilgilendirilir. Böylece montaj esnasında hata meydana geldiği anda düzeltme sağlanır. Bu arayüz görsel tabanlı programlama altyapısında yapılmıştır. Arayüzde anlık gelen verilerle önceden öğretilmiş veriler karşılaştırma yapılır ve hatalı montajda operatör uyarılır. Çalışmada, hedeflenen montaj takip doğrulama sistemi prototip olarak üretilmiştir ve yapılan ön denemelerde endüstriyel üretim ve montaj hatlarında başarı ile kullanılabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Neodyum, Manyetometre, Arayüz, Filtre, Montaj doğrulama sistem, Hatalı ürün takip sistemi

I. GİRİŞ

Montaj hattı, fiziksel ürün üreten işletmelerde, parçaların birleştirilerek nihai ürüne dönüştürüldüğü, genellikle hareketli bir bant veya konveyör sistem ile birbirine bağlı iş istasyonları ve bunun için gerekli ekipmanlardan oluşan sisteme verilen isimdir.[1] Montaj hatları işletmelerde üç farklı tasarımla kurulur.

Bunlar tek modelli, çok modelli ya da karmaşık modelli hatlardır[2]. Fig. 154'te tek modelli hatlardan düz ve U tipi hat tasarımı gözükmektedir. Bu hat tasarımlarının birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Üretilen ürüne göre bu hatlar belirlenmektedir. Bütün hat tasarımları göz önüne alınarak çalışma gerçekleştirilmiştir.

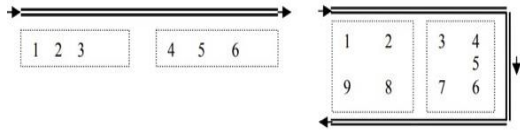


Fig. 154. (a) Düz hat tasarımı (b) U tipi hat tasarımı

Çalışmada kullanılan ekipmanlardan biri olan manyetometre manyetik alanın yoğunluğunu ölçmeye yarayan bir araçtır [3]. Manyetometrelerin en önemli kullanım alanlarından biri dünyanın manyetik alanından faydalanılarak drone veya insansız hava araçlarında küresel konumlama sistemi (global positioning system, GPS) olarak kullanılmasıdır[4]. Bu çalışmada ise bir bakıma kapalı alan GPS sistemi olarak kullanılmıştır. Kullanılan manyetometreden alınan veri bilgileri Fig. 155'te gösterilmiştir.

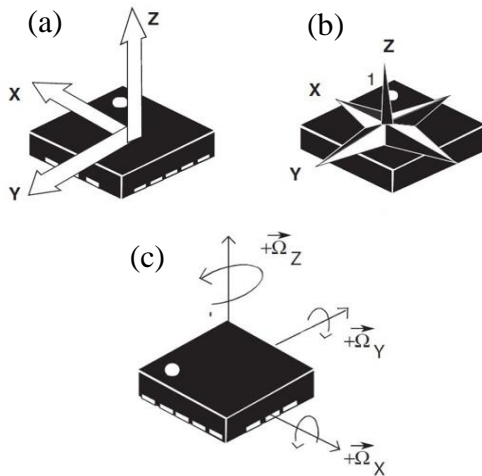


Fig. 155. Sensör bilgileri: (a) İvme eksenleri (b) Manyetometre eksenleri (c) Açısal hız eksenleri

Kontrolcü olarak ise Arduino Nano seçilmiştir. Bunun sebebi manyetometrenin düşük bant genişliğine sahip, kısa mesafeli bir senkron haberleşme türü (inter integrated circuit, I2C) ile haberleşmesidir.[5] Arduino'da bu haberleşme türü için özel kütüphaneler bulunmakta olup belirlenen pinler bu uygulama için ayarlanmıştır.

Programın arayüzü ise nesne tabanlı ve görsel bir programlama olan Visual Basic ile hazırlanmış olup, .Net programlama dili ile yazılmıştır. Arayüz iki sayfadan oluşmaktadır. Bunlar kullanıcı sayfası ve uzman sayfasıdır. Uzman sayfasında sistemin konumlandırıldığı montaj istasyonundaki parçaların pozisyonları, günlük kaç adet uygun veya yanlış montaj yapıldığı, çalışmanın offset değerleri gibi özel veriler yer alır.

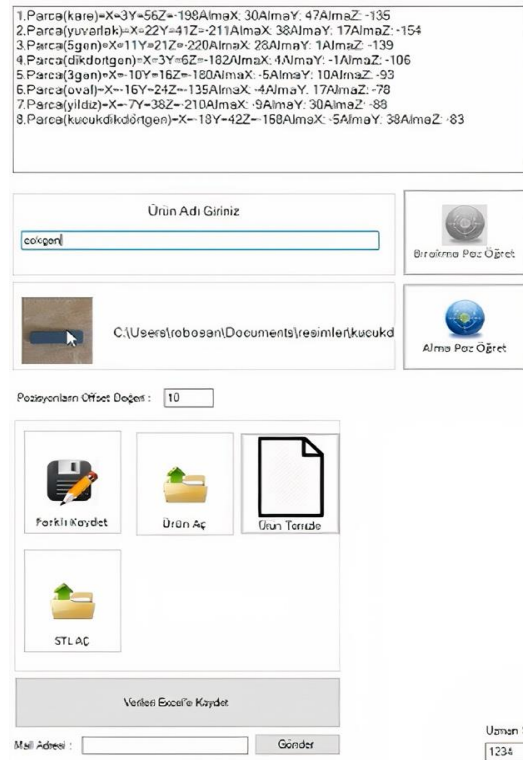


Fig. 156. Uzman sayfası

Kullanıcı sayfasında ise tamamıyla anlık olarak bilekliğin pozisyonları ve anlık olarak hangi ürünün montaj yapıldığı, yapılacağı bilgileri gözükmetedir.



Fig. 157. Kullanıcı sayfası

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma materyali olarak metal ve ahşap montaj malzemeleri kullanılmıştır. Bunun sebebi bilekte kullanılacak olan mıknatısın parçalara ve manyetometreye etkisini görmektir. Çalışma için sistemde kullanılacak manyetometrenin sabit bir pozisyonda, montaj alanını görecektir şekilde ve titreşimden en az etkilenecek şekilde konumlandırılması gerekmektedir. Bunun için uygulamalarda bir tripod yardımıyla sensör sabitlenmiştir.

Çalışmada farklı şekillerde olan dokuz adet montaj parçacığı oluşturulmuştur. Bu montaj parçalarının nihai ürün üzerindeki yerleri belirlenmiştir. Hazırlanan arayüz üzerine bu iş parçacıklarının alma ve bırakma yerleri tek seferlik öğretilmiş olup aynı şekilde fotoğrafları sisteme yüklenmiştir. Fotoğraflarının sisteme yüklenmesinin sebebi kullanıcıyı görsel olarak desteklemektir. Bunun yanı sıra montajı tamamlanan ürün görseli de Fig. 158'de görüldüğü gibi *.stl (stereolithography) formatında sisteme yüklenebilir.

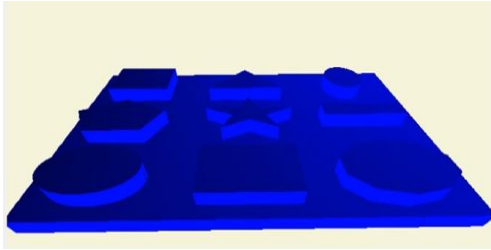


Fig. 158. *.stl Dosya Görüntüsü

III. ARAYÜZ TASARIMI

Sistem ilk açıldığında bilgisayarın bağlantı ayarlarının yapılmış olması gerekmektedir. Gerekli ayarlamalar yapıldıktan sonra ilk iş sensörün kalibrasyonunun yapılmasıdır. Çünkü en ufak titreşimler bile sensörde veri olarak kabul edilir. Dolayısıyla bunu engellemek adına kalibrasyon adımı önemli bir adımdır. Ortamda bulunan ve sensörün çalışmasına etki edecek materyaller de buna dahildir. Ayrıca manyetometre kalibrasyonu ve manyetik alan haritalama,

yüksek oranda bozuk ortamlarda tutum tahminini iyileştirmek veya iç mekân lokalizasyonuna yardımcı olmak için farklı algoritmalara entegre edilebilir[6].

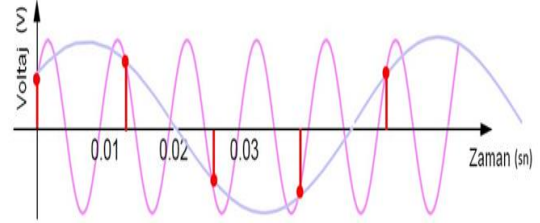


Fig. 159. Uygulanan filtre zaman grafiği

Sensörün kullanımı zamanında çeşitli alanlarda yapılmıştır. Örneğin koşu bandındaki bir bireyin kütle merkezini tutuş pozisyonundan bulma [7], lineer motorlardaki titreşimleri hesaplama[8], insansız hava araçlarındaki manyetometre sapmalarının gerçek zamanlı hesaplama alanları gibi [9]. Ancak montaj hatlarındaki kullanımına rastlanmamıştır. Genellikle montaj hatlarında hata kontrolü için endüstriyel kameralar, endüktif-kapasitif sensörler vb. kullanılmıştır. Örnek bir kapasitif sensörlü kontrol sistemi Fig. 160'da gösterilmiştir. Bunlarda maliyet ve montaj yerleri açısından önemli bir kalem teşkil etmektedir.

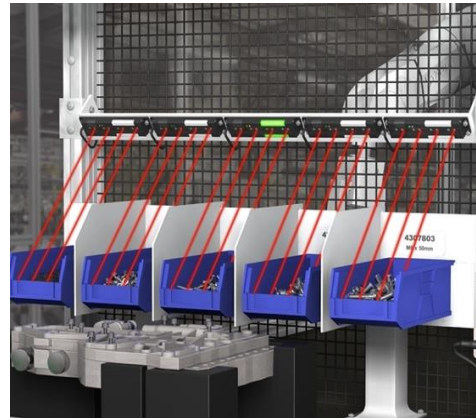


Fig. 160. Kapasitif sensörlü parça kontrolü

Arayüz tasarımı tamamıyla kullanıcı odaklı yapılmış olup karmaşıklığa yer verilmemiştir. Tasarım operatör sayfası, uzman sayfası olarak iki ana başlıkta toplanmıştır.

Uzman sayfasında, montaj istasyonundaki ürünlerin pozisyonları sırasıyla öğretilir. İstenirse ürünlerin görselleri ve isimleri sisteme kaydedilir. Alma ve bırakma pozisyonları öğretildikten sonra ürün nihai montaj ürünü olarak isimlendirilerek kaydedilir. Kayıt bölümü seçenekleri Fig. 161’de gösterilmiştir.



Fig. 161. Kayıt Bölümü

Operatör sayfasında ise önceden öğretilen ürünlerin fotoğrafları ve montajın son bitmiş hali bulunur. Dolayısıyla hangi parça nereye montaj yapılacak arayüzden görsel olarak desteklenmiştir.

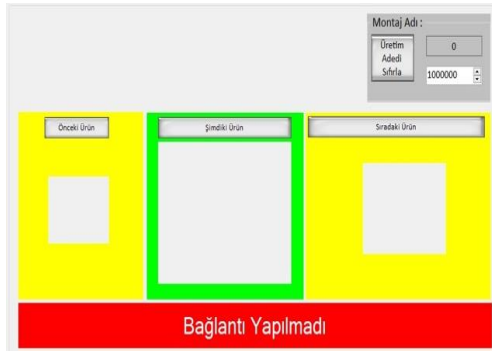


Fig. 162. Operatör Sayfası

Uzman sayfasının bir bölümünde ise toplam montaj hata adedi, hata zamanları ve mail gönderme gibi seçenekler mevcuttur. Uzman sayfası girişi şifrelidir. Şifre uzmanlar tarafından değiştirilebilir. Ayrıca admin şifresi de yazılım içerisinde bulunmaktadır. Uzman şifresi unutulduğunda devreye girer.



Fig. 163. Çalıştırma ve Pozisyonların Gösterimi

Sistemin çalışması ise genel olarak iki aşamalı bir konudur. Birinci aşama uzman kişilerce yapılması gereken parçaların pozisyonlarını öğretme kısmıdır. Bu kısımda uzman kişi bilekliği takmalı ve parçaların isimlerini, fotoğraflarını, alma-bırakma yani montaj pozisyonlarını sisteme öğretmelidir. Bu öğretme işlemleri bittikten sonra bir seferlik montaj yaparak sistemin çalışmasını test etmelidir. Eğer bir yerde hata yapılmışsa aynı ürün üzerinde düzeltme yapılmalıdır ya da pozisyonlamada hata var ise belirlenen offset değeri kontrol edilmelidir. Uzman kişilerin yapması gerekenler akış şeması olarak Fig. 164’te gösterilmiştir.

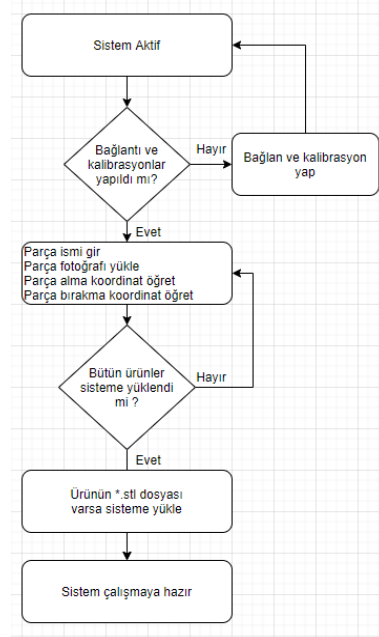


Fig. 164. Uzman sayfası akış diyagramı

Operatör sayfasına ise uzman kısmının bütün ayarlamaları bitirilmiş şekilde geçilmelidir. Bu sayfada sistem artık öncesinde ayarlanan pozisyonlara ve fotoğraflara göre manyetometrenin konumunu yani kullanıcının bilek hareketini kontrol etmektedir. Sürekli olarak 200ms arayla operatörün bilek koordinatları okunur ve hangi parçanın montajı yaptığı belirlenir. Belirlenen bu parçalara göre arayüzdeki önceki parça, sıradaki parça ve sonraki parça şekilleri de önceden sisteme yüklenmiş fotoğraflar ile değiştirilir. Arayüzün bu kısmının çalışma algoritması Fig. 165'te gösterilmiştir. Montaj hattındaki montaj işlemi bittiğinde uygulama başa dönmektedir. Yani sürekli bir montaj haline uyumludur. Programsal olarak tekrardan bir başla komutu beklenmemektedir. Bunun sebebi montaj hızını yavaşlatmamaktır.

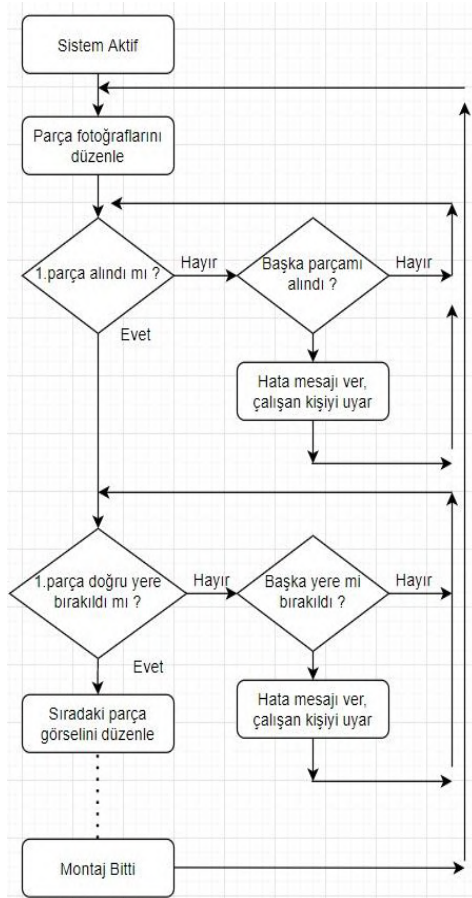


Fig. 165. Operatör sayfası çalışma algoritması

IV. ÜRÜN TASARIMI

Ürün tasarımında kullanılacak olan ürünün bütün kullanıcılara uygun olabilmeye dikkat edilmiştir ve kol saatini andıran bir ürün tasarlanmıştır. Malzeme olarak ise esnek olması için termoplastik poliüretan (thermoplastic polyurethane, TPU) filament denilen esnek malzeme ve pim için metal kullanılmıştır.

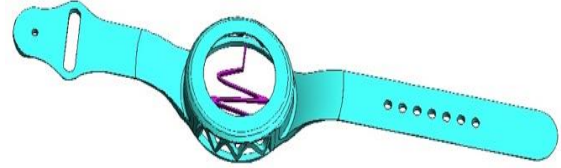


Fig. 166. Ürün tasarımı

Ürün üzerinde mıknatısın konulabilmesi için hazne bulunmaktadır. Haznenin alt tarafında sabitlemek amaçlı metal pim konulmuştur. Ürün tasarımı bilgisayar destekli tasarım programı olan Solidworks 2013 ile yapılmış olup üç boyutlu herhangi bir yazıcı ile üretilebilir şekilde tasarlanmıştır. Böylelikle kullanıcı sayısının rahatlıkla çoğaltılabilmesi amaçlanmıştır.

Çalışılan simgesel model Fig. 167'de gösterilmiştir. Görüldüğü üzere 9 adet parça ve yerleştirilmesi gereken yerler bulunmaktadır.

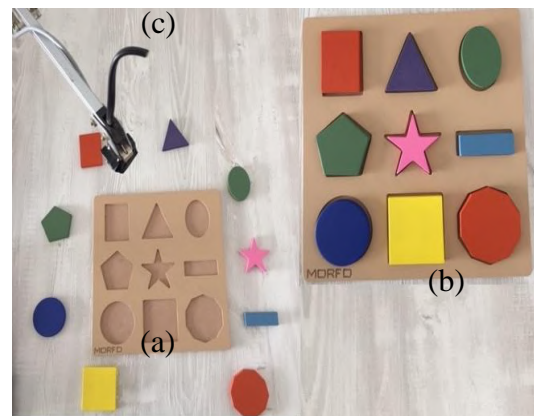


Fig. 167. (a) Montaj öncesi simgesel model (b) Montaj sonrası simgesel model (c) Manyetometre

Montaj işlemi hatalı yapılmışsa program “Yanlış Parça Alındı: 3 (alınması gereken parça no)” şeklinde bilgilendirme yapar. Ayrıca Arduino’dan alınan bir çıkış yardımıyla ses çıkaran buzzer ve kırmızı bir lamba yakılır. Fig. 168’de hatalı montaj esnasında arayüzün kullanıcıya yaptığı uyarı gözükmektedir. Uyarı doğru parça alınıp yerine yerleştirilene kadar geçmez ve operatör uyarılmaya devam edilir. Operatör hatalı aldığı parçayı aldığı yere bırakmalı ve doğru parçayı alıp montajını gerçekleştirmelidir.

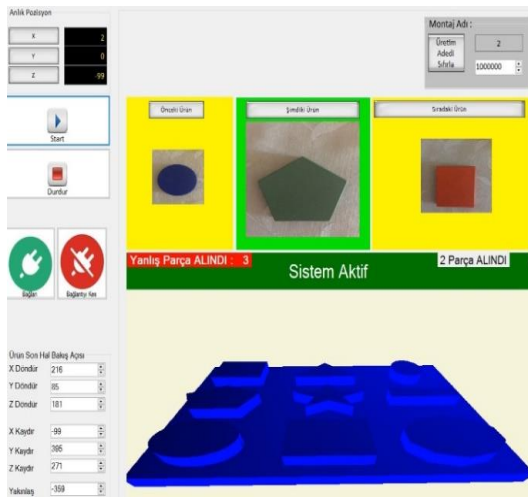


Fig. 168. Hatalı montaj anında uyarı

Ayrıca bu esnada tarih ve saat bilgisi alınarak yapılan hata kayıt altına alınır. Sonrasında istenilen herhangi bir zamanda bu veriler mail olarak gönderilebilir ya da excel olarak kayıt altına alınabilir.

Hazırlanan arayüz Windows 7 ve üzeri bütün işletim sistemlerinde çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır. İşletmelerde bulunan herhangi bir bilgisayara kurulumu gerçekleştirilip program çalıştırılabilir.

V. BULGULAR

Manyetometre çalışmaları sonucunda manyetik etki alanının sonucu olarak insan bileği doğrusal olarak hareket ettirilse de pozisyonların doğrusal hareket etmediği gözlemlenmiştir.

Yani iş parçacıkları bir düzlem üzerinde X-Y-Z eksenleri baz alındığında 2 eksen sabit tutularak sadece 3. eksen değişecek şekilde konumlandırıldıklarında, okunan pozisyonlar 2 eksenli sabit tutmamıza rağmen 3 eksenli de farklı olmaktadır. Bundan dolayı pozisyon kayıtları 3 eksenli de yapılmaktadır.

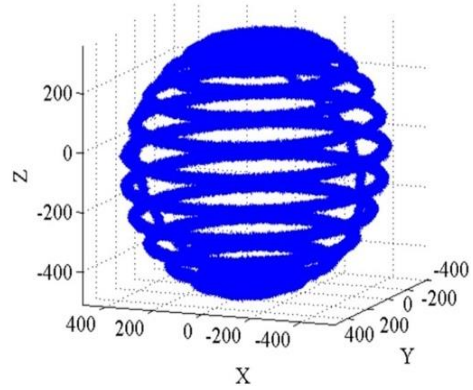


Fig. 169. Manyetik Alan 3D Diyagram

Sistemde kullanılan manyetometre sensörü en ufak titreşimlerden etkilenerek pozisyonlar değişebilmektedir. Dolayısıyla sensörün kesinlikle sabitlenmesi gereklidir. Sistem ofis ortamında, dokuz parça montajı yapılacak şekilde bir simgesel model oluşturulup test edilmiştir. Kalibrasyon düzgün bir şekilde yapılırsa pozisyonlarda sapma meydana gelmemektedir. Hassasiyet ± 6 mm olarak hesaplanmıştır.

Sonrasında sistem binekten ağır vasıtaya kadar her çeşit aracın viskoz fanlarını üreten otomotiv firmasındaki bir montaj hattında test edilmiştir.

Bu montaj hattında bi-metal kontrollü fan termiklerinin montajı yapılmaktadır. Montaj hattı dört istasyondan oluşmuş olup test edilen istasyondaki montaj parçacığı sayısı üç adettir. Bu proseste önceden alınan herhangi dört günlük veriler Tablo 11’deki gibidir.

Tablo 11. Örnek fabrika montaj çalışması

Parti Kodu	P 22					
İş Emri	35754					
Stok Kodu	OT-G06-127-715					
Stok Adı	Al.Gövde					
Üretim Miktarı	120					
Tarih	Sağ. Ad.	Bozuk Ad.	Operatör	Başl.Saati	Bitiş Saati	Açıklama
3.06.2021	104	5	Bayram	21:00	06:50	Ayar-Parça hatalı
4.06.2021	46	10	Yunus	07:10	10:50	Döküm boşluğu
10.06.2021	52	2	Serhat	16:50	18:45	Ayar
11.06.2021	96	---	Serhat	07:05	10:05	---

Bu sonuçlar doğrultusunda yaklaşık olarak %10'luk bir hata yapıldığı görülmektedir. Bu hata oranını azaltabilmek adına tasarlanan sistem ile yeniden montaj yapmaları istenmiştir.

Yapılan montaj sonrasında ortaya çıkan veriler kayıt altına alınarak incelenmiştir. Bu inceleme Tablo 12'de gösterilmiştir.

Tablo 12. Tasarlanan sistem ile yapılan montaj

Parti Kodu	P 28					
İş Emri	35986					
Stok Kodu	OT-G06-127-715					
Stok Adı	Al.Gövde					
Üretim Miktarı	120					
Tarih	Sağ. Ad.	Bozuk Ad.	Operatör	Başl.Saati	Bitiş Saati	Açıklama
21.06.2021	92	4	Bayram	07:05	10:05	Döküm boşluğu
21.06.2021	55	2	Yunus	16:50	18:45	Döküm boşluğu
22.06.2021	60	3	Serhat	07:50	11:50	Döküm boşluğu
22.06.2021	100	---	Serhat	13:05	16:50	---

Tasarlanan sistem ile montaj yapıldığında firmadaki hata oranı %5'e düştüğü gözlemlenmiştir. Kalan %5'lik hatalar ise nihai ürün üzerinde montaj istasyonuna gelmeden önce yapılan döküm işleminden kaynaklanmaktadır.

Yapılan uygulama firmada çalışan operatörler ve üretim müdürleri tarafından beğenilmiş olup basitlik ve kullanıcı kolaylığı yönleri de böylelikle test edilmiştir.

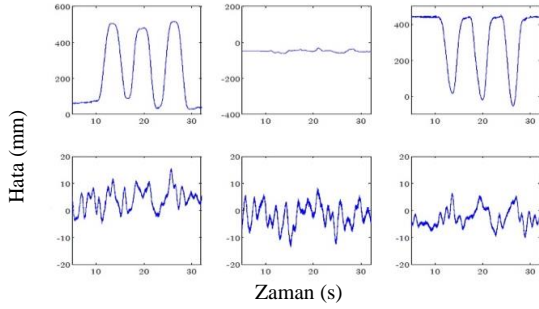


Fig. 170. Manyetometrenin deneysel sonuçları

Fig. 170'de gösterildiği gibi belirli bir zaman aralığında sensör hata payı ölçümü yapılmış olup, kişinin bilek kısmı 30 sn boyunca belirlenen iki düzlemde hareket ettirilmiştir. Bu hareket boyunca sensörden gelen veriler kaydedilmiş ve olması gereken veriler ile karşılaştırma yapılarak hata payı ortaya çıkarılmıştır. Bu hata payı toplamda yaklaşık 12mm ye denk gelmektedir.

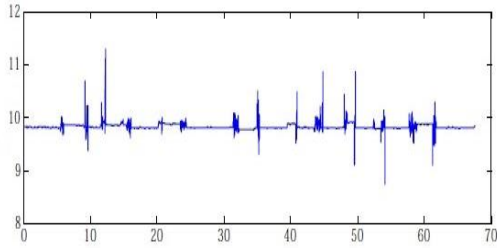


Fig. 171. Bileklik sabit, kalibrasyon öncesi değerler

Kalibrasyon yapılmadan önceki bir eksen için sensör verileri 70 saniye boyunca kayıt altına alınmıştır. Bu esnada görülmüştür ki bileklik hareket ettirilme dahi sensör verileri yaklaşık 12mm aralığında anlık olarak veri üretebilmektedir. Bu veri üretimi sistemde sorun yaşanmaması adına kalibrasyon adımıyla ortalama metoduyla çözümlenmiştir.

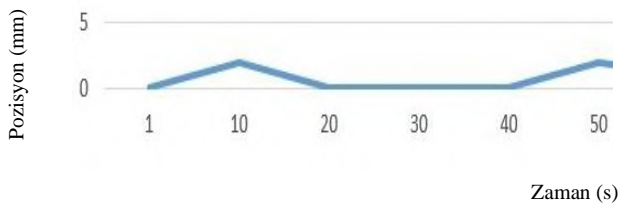


Fig. 172. Bileklik sabit, kalibrasyon sonrası değerler

Kalibrasyon sonrası ölçümler ise Fig. 172'de gösterilmiştir. Hassasiyetin durma anında 5mm altına düştüğü gözlemlenmiştir.

VI. SONUÇLAR

Çalışmada pozisyon algılama için genellikle GPS sensörü olarak kullanılan manyetometre, test için ise dokuz parçalı simgesel model kullanılmıştır. Çalışmalar sonucunda sistem hassasiyeti $\pm 6\text{mm}$ olarak belirlenmiştir. Çalışma tam anlamıyla bir prototip ürüne dönüştükten sonra işletmeler açısından büyük karlılık sağlayabileceği planlanmıştır. Çünkü yapılan bu çalışma, işgücü, makine, malzeme ve hammadde gibi kaynakları en etkin biçimde kullanılmasını amaçlamaktadır.

Çalışmada kullanılan teknik ekipmanlar ve yazılım dikkate alındığında oldukça ekonomiktir. Mevcut piyasadaki sistemlerde kullanılan ürünler ve yazılımların maliyetleri oldukça yüksektir. Ayrıca bu çalışma onların yanı sıra daha aktif çalışmakta ve daha uygun maliyete denk gelmektedir. Ortaya çıkan bu sonuçta sistemin kullanılabilirliğini artırmaktadır.

Çalışmada kullanıcı bileğindeki mıknatısın konumu, dolayısıyla kullanıcının bilek pozisyonu okundu, bu değerler mantıklı bir hale getirildi ve kullanılabilir standartlara çevrildi. Çevirme işleminden sonra çeşitli filtrelerden geçirildi ve bilgisayara yalın bir halde gönderildi. Bilgisayarda ise uzmanların ve operatörlerin istek ve ihtiyaçlarına uygun bir arayüz tasarlandı. Böylelikle her iki kullanıcının da yetkinliği sağlandı.

Testler sonucunda görülmüştür ki manyetometre belirli bir alan içerisinde sensör bilgileri verebilmektedir. Bu alanın artırılması üzerine yapılacak olan çalışmalar bu sistemi geliştirmeye yönelik olacaktır. Çünkü çalışma esnasında bu alanın dışında bulunan bir yerden parça alınması gerektiğinde sensör mıknatısın manyetik alanının dışına çıktığından pozisyon bilgisini hatalı vermekte ve

dolayısıyla hatalı parça montajı geri dönüşü alınmaktadır.

Çalışmada sensörün montajı ile alakalı herhangi bir öngörüde bulunulmadığından bir tripod yardımıyla sensör sabitlemiştir. İleride bu sabitleme yeri ile alakalı basit bir çözüm getirilirse daha kullanılabilir olacaktır. Yapılan fabrika çalışmasında da bu kısım ile ilgili benzer sorunlar yaşanmıştır. Kullanılan tripod kısıtlı bir erişim mesafesine sahip olduğundan tutturulacak yer konusunda montaj esnasında zaman kaybedilmiştir.

Çalışma içerisine mail gönderme fonksiyonu bulunmaktadır ancak bu kısım özel bir şekilde olup sistemin kurulacağı yere göre ayarlanmalıdır. Çünkü mail kayıt işleminde sisteme girilmesi gereken ve kişiye özel olan bilgiler bulunmaktadır. Bu bilgiler mail adresi, şifresi, sunucusu vb.dir. Genel bir mail gönderme işlemi yapılacaksa alınacak sabit bir mail adresinden istenilen yere mail gönderimi kolaylıkla sağlanabilir. Ancak bunun için yıllık alan adı ücreti ödenmesi gerektiğinden bu kısım geliştirmeye açık bir şekilde bulunmaktadır.

VII. REFERANSLAR

- [1] A. Çiçek ve M. Gülesin, "Montaj Planlama Yaklaşımları Üzerine Bir Araştırma", Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, c. 22, sy 2, Art. sy 2, Şub. 2013.
- [2] K. Ağpak, H. Gökçen, N. N. Saray, ve S. Özel, "Stokastik Görev Zamanlı Tek Modelli U Tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemleri İçin Bir Sezgisel", Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, c. 17, sy 4, Art. sy 4, Mar. 2013.
- [3] F. van Diggelen, Y. J. Morton, J. J. S. Jr, B. W. Parkinson, S. Lo, ve G. Gao, Position, Navigation, and Timing Technologies in the 21st Century: Integrated Satellite Navigation, Sensor Systems, and Civil Applications. John Wiley & Sons, 2020.
- [4] E. Ünal ve H. Yüce, "Görme Engelli Bireyler için Mobil Uyarı Ve Yönlendirme Sisteminin Geliştirilmesi", Marmara Fen Bilimleri Dergisi, c. 29, sy 3, Art. sy 3, Kas. 2017, doi: 10.7240/marufbd.298380.
- [5] S. Atmaca ve A. Özcerit, "An Embedded I2C Bus Monitoring System Design Implementation", Sakarya University Journal of Science, c. 6, sy 3, Art. sy 3, Ara. 2002, doi: 10.16984/saufbed.06603.
- [6] M. Muraccini, A. L. Mangia, M. Lannocca, ve A. Cappello, "Magnetometer Calibration and Field Mapping through Thin Plate Splines", Sensors, c. 19, sy 2, Art. sy 2, Oca. 2019, doi: 10.3390/s19020280.
- [7] G. Ligorio vd., "A Wearable Magnetometer-Free Motion Capture System: Innovative Solutions for Real-World Applications", IEEE Sensors Journal, 2020, doi: 10.1109/JSEN.2020.2983695.
- [8] I. Mészáros, "Development of a Novel Vibrating Sample Magnetometer", Materials Science Forum - MATER SCI FORUM, c. 537-538, ss. 413-418, Şub. 2007, doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.537-538.413.
- [9] R. Opromolla, "Magnetometer Calibration for Small Unmanned Aerial Vehicles Using Cooperative Flight Data", Sensors, c. 20, s. 538, Oca. 2020, doi: 10.3390/s20020538.

POZİTRON EMİSYON TOMOGRAFİSİNDE KULLANILABİLİR YENİ BİR SENSÖR BENZETİMİNİN YAPILMASI

Halil UYGUN^{1*}, Kübra ÜSTÜN¹, Tuba CONKA YILDIZ¹, Cansu KAPLANOĞLU²

¹ *Türk-Alman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi/ Mekatronik Mühendisliği
Şahinkaya Cad.106, Beykoz/ İstanbul, Türkiye*

² *Kamlaç Nükleer San. ve Tic. A.Ş. - Teknopark Bulvarı Teknopark 4A Apt. No:1/4A/101
34906 Pendik/İstanbul, Türkiye*

ÖZET

Pozitron Emisyon Tomografisi, medikal diagnostik amaçlı kullanılan; hastanın vücudunda belli bölgelerin radyoaktif bir ajan yardımı ile görüntülenmesini sağlayan yöntemin adıdır. Bu yöntemde, hasta vücuduna zerk edilen radyofarmasötik, hastayı çevreleyen sensörler dizisi ile takip edilmektedir. Algılayıcılara gelen veriler filtreleme, sadeleştirme ve eşleştirme işlemlerinden geçirilerek 3 boyutlu vokselize alan üzerinde konumlandırılmaktadır. Ham verinin işlenmesi ile oluşturulan vokselize görüntü, hasta vücudundaki aktivite dağılımının nasıl olduğunu, radyoaktif izin vücudun hangi kısımları/dokuları ile daha çok etkileşime geçtiğini, hangi kısımları ile daha az etkileşime geçtiğini, zerk edilen radyofarmasötiğe göreceli olarak göstermektedir.

Bu çalışmada, hastaya zerk edilen radyofarmasötik temelli oluşan yok olma (elektronun pozitron ile bir araya gelip enerjilerinin iki fotona dönüşmesi: anihilasyon) radyasyonunun bilgisayar ortamında Monte Carlo nümerik benzetim yaklaşımı kullanılarak oluşturulması ve bu ışınları işleyerek görüntü elde edilebilecek paralel programlama algoritmalarının geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: PET, Pozitron, Tomografi, Pozitron Emisyon Tomografisi, Monte Carlo, Paralel Hesaplama, Sintilatör, GEANT4, CUDA, GATE

I. GİRİŞ

Medikal tanı araçları, hastalıkların teşhisinde ve tedavisinde önemli bir rol oynamaktadır. Pozitron Emisyon Tomografisi (PET) bu alanda kullanılan en yaygın yöntemlerden biridir; ancak mevcut PET yöntemlerinde kullanılan ışıltayıcı (sintilatör) materyallerin ve fotodedektörlerin sayısına bağlı olarak artan maliyetler sebebi ile, cihaz geometrisi vücudu kesitler halinde tarayabilmektedir.

Pozitron emisyon tomografisi (PET), radyoaktif flor etiketli bir glikoz molekülü enjekte edilerek hastanın vücudundaki metabolik aktivitelerin izlenmesidir.[1] FDG (F-18 deoksiglukoz) yaygın olarak bir üzüm şekeri molekülü olarak kullanılır. PET tarama görüntülerinde radyoaktif izleyicinin yoğun olduğu alanlar daha açık renklidir. Bu yerler metabolik faaliyetlerin yoğun olduğu yerleri temsil eder. Bu görüntüler daha sonra radyologlar tarafından incelenir ve teşhis konur.

PET-CT aşağıdaki gibi durumlarda kullanılır:

- Glikoza duyarlı kanserlerin teşhisi ve tedavisinin takibi,
- Bazı kalp hastalarında baypas ve stent öncesi canlı dokunun incelenmesi
- Nörolojide Alzheimer hastalığının ayırıcı tanısında
- Ameliyat edilecek epilepsi hastalarında odak tespiti



Fig. 173. Siemens Biograph Vision PET/CT Cihazı

Bu, Pozitron Emisyon Tomografisinin Bilgisayarlı Tomografiden (BT) farklı olduğu önemli bir noktadır, çünkü hastadaki anatomik değişiklikler Bilgisayarlı Tomografide izlenirken, metabolik aktivite Pozitron Emisyon Tomografisinde izlenir. Günümüzün nükleer görüntüleme cihazlarının çoğu hibrittir. Hastanın vücudunun durumu hakkında tam bilgi istendiğinde, yapısal (Bilgisayarlı Tomografi veya Manyetik Rezonans (MR) ve fonksiyonel (PET) taramaların bir kombinasyonu gereklidir (Bkz. Fig. 174.).

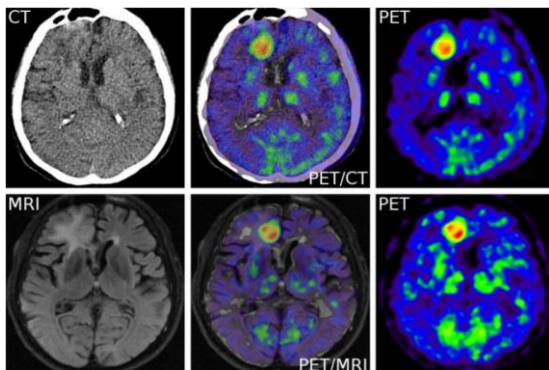


Fig. 174. CT, MRI ve PET taramalarının karşılaştırılması

Her ne kadar bütün vücudu tarayan Pozitron Emisyon Tomografisi cihazları geliştirilmiş

olsa da sensör yapısı olarak farklılık göstermediği için cihaz fiyatı astronomik rakamlara ulaşmakta ve hastaneler tarafından tercih edilmemektedir. Kullanımı yaygın olan kesitli tarayıcı cihazları ise hastanın vücudunu parçalar halinde görüntülediği için birim alana düşen radyasyon dozu artmaktadır.

Maliyet yönünden mevcut PET sistemi cihazlarının sensörlerine alternatif bir yaklaşım sunulması; daha az sensör ile daha fazla alanın taranmasının mümkün olması, aşağıdaki faydaları sağlar:

- *Hastaya zerk edilen radyofarmasötik oranının düşürülmesi:*

Radyofarmasötiklerin üretimi hızlandırıcı altyapısı olan özel bir tesis gerektirmekte, üretilen radyofarmasötik tamamen bozunmadan hastaneye özel kuryelerle ulaştırılmaktadır. Bu durumdan ötürü radyofarmasötik oranı arttıkça maliyet de artmaktadır. Öte yandan, uygulamanın yapısı gereği, hastaya verilen radyofarmasötüğün artması, hastanın daha fazla radyasyona maruz kalması anlamına gelmektedir. Görüntü kalitesinde düşüş olmadan, uygulama için gerekli radyofarmasötik oranının düşürülmesi hem radyofarmasötik temin maliyetinin düşmesini hem de hastanın daha az radyasyona maruz kalmasını sağlayabilmektedir.

- *Daha fazla alanı tarayabilecek sensör sistemi geliştirilmesi:*

Tüm vücut taraması yapan cihazların yaygın kullanımının olmamasının sebebinin maliyet olduğu yukarıda belirtilmiştir. Bu nedenle üretim maliyetinin düşürülmesi ile ürünün tüketiciye bedeli de düşeceği için, tüm vücut taraması yapabilen Pozitron Emisyon Tomografi cihazları bu yaklaşım ile geliştirilip yaygınlaştırılabilir.

- *Tarama için geçen zamanın azaltılması:* Kesitli görüntülemenin bir diğer dezavantajı da birim hasta başına cihazın kullanım süresidir. Tüm bir vücudun görüntülenebileceği bir sistemde, hasta

başına gereken zaman azalacağı için her bir cihaz daha fazla sayıda hastaya hizmet edebilir.

Burada öngörülen sistem iki konu bakımından yenilik içermektedir:

- I. Sensör tasarımında mevcut kullanılan "ışıldayıcı + dedektör" setinden farklı bir geometrik yapının bilgisayar ortamında modellenerek radyasyon benzetiminin yapılması.
- II. Yeni önerilen geometrik sensör yapısının toplayacağı verilerin paralel programlama yöntemleriyle işlenerek görüntü oluşturma zamanının minimuma indirilmesi.

II. YÖNTEM

Bu sistemi tasarlayıp prototipini üretebilmek için öncelikle sistemin simülasyonu ve görüntü rekonstrüksiyonu konuları ele alınmıştır.

II.I. Simülasyon

Benzetim için CERN Topluluğu tarafından geliştirilen Geant4 araç kitine bir ek olan Gate yazılımı kullanılacaktır [2]. Gate uluslararası OpenGate işbirliği tarafından geliştirilen ve nükleer tıp alanında sayısal simülasyonlara adanmış bir yazılımdır. Güncel olarak Emisyon Tomografisi (Pozitron Emisyon Tomografisi - PET ve Tek Foton Emisyonlu Bilgisayarlı Tomografi - SPECT), Bilgisayarlı Tomografi (CT), Optik Görüntüleme (Biyoluminesans ve Floresans) ve Radyoterapi deneylerinin simülasyonlarını desteklemekte olan GATE, artık yeni tıbbi görüntüleme cihazlarının tasarımında, edinim protokollerinin optimizasyonunda ve görüntü yeniden yapılandırma algoritmalarının geliştirilmesi ve değerlendirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Geant4 temelli bir yazılım olan GATE'in en büyük avantajı kullanım kolaylığıdır: GEANT4'ün yerel komut yorumlayıcısını genişleten özel bir komut dosyası oluşturma mekanizması, gerçekçi kurulumların Monte Carlo simülasyonlarını

gerçekleştirmeyi ve kontrol etmeyi mümkün kılar; yani kullanıcının programlama bilmesi gerekmez.

Benzetimde aşağıdaki özellikleri aynı anda bünyesinde bulunduran nümerik yapı oluşturulacaktır:

- *Radyofarmasötiklerden kaynaklı oluşacak yokoluş radyasyonunun iki foton seviyesinde oluşturulması:*

Radyofarmasötikler bileşiminde radyonüklid içeren, hastalıkların tanı ve tedavisi için kullanılabilen radyoaktif ilaçlardır. Bu ilaçlar hastaya enjekte edildiğinde pozitron üretmeye devam ederler. Radyofarmasötüğün yarı ömrüne bağlı olarak çözünen pozitron, doku içerisinde birkaç mm ilerledikten sonra başka bir atomdaki negatif yüklü elektronla çarpışır ve bu çarpışma sonucunda pozitron ve elektron kütlelerini tamamen kaybederek (annihilasyon), 511 keV enerji değerindeki iki gama ışınına (fotona) dönüşürler. Bu iki foton birbirlerinin aksi yönünde (180 derece) hareket ederek vücudu terk ederler. Ancak, radyofarmasötiklerin yok oluş radyasyonu dışında farklı ışınlar da gerçekleştirmeleri görüntüde gürültüye neden olabilmektedir. Bunun engellenmesi için ise süreç sırasında sadece pozitron ve sonrasında da oluşan iki foton takip edilecektir.

- *Oluşan birbirine zıt iki fotonun sintilatör yüzeyine taşınması ve simülasyon ortamında çarptığı gerçek konum bilgisinin her bir sintilatörde tespiti*
- *Sintilatör yapısının ve optik özelliklerinin LYSO Kristali için tanımlanmış olması, gerektiğinde farklı kristallerin de tanımlanabileceği yapıda olması*

Sintilatör bloğunda oluşması beklenen optik fotonlar için Geant4 sınıfları Gate içinde entegre olarak G4OpticalPhoton, G4Cerenkov, G4Scintillation, G4OpAbsorption, G4OpRayleigh, G4OpBoundaryProcess sınıfları bulunmaktadır. Ancak, bu sınıflar sintilatör bloğunun bir dizi materyal ve optik

özelliklerinin bilindiğini varsaymaktadır. Bu bilgiler enerji domaini içinde; yansıma indeksi, soğurma indeksi, hızlı sintilasyon indeksi, yavaş sintilasyon indeksi bilgileridir. Bu bilgiler farklı sintilatörlere göre değişkenlik gösterdiğinden, benzetimi amaçlanan sintilatöre göre ayarlanabilir olmalıdır. Benzetimde LYSO sintilatörü için gerekli veriler NIST veritabanı kullanılarak eklenecektir.

- *Işıldayıcı kristalin konumuna belirtilen alana spesifik ideal fotodedektör yerleşiminin yapılması, ideal fotodedektör yüzeyine gelecek optik fotonların çarpma spektrumları ve enerji spektrumlarının oluşturulması*

Işıldayıcı kristali üzerinde tam olarak hangi konumdan fotodedektörler yardımı ile optik foton bilgilerinin elde edildiği, veri analizinin yapılabilirliği ve önerilen sensör yaklaşımı için önemlidir. Gerçek uygulamada verimliliği farklı SiPM ürünleri kullanılabilir. Ancak bilgisayar ortamında yeni bir sensör önerisinin çalışması yapıldığından, fotodedektör için ideal bir dedektör kullanıldığı varsayılacaktır. Bu dedektör 3mm² yüzey alanına sahip olacak ve Fig. 175’de görüldüğü şekilde yerleştirilecektir.

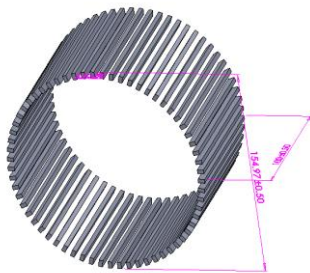


Fig. 175. Önerilen Sensör Yerleşimi

- *Gantry açıklığı ve dedektör adedinin programlanabilir olması:*

Yöntem kullanılarak üretilen bir tomografi cihazının istenilen şekilde çalışacağından emin olabilmek, konsepti kanıtlayabilmek için cihazın simüle

edilmesi gerekmektedir. Simülasyonun diğer bir avantajı ise farklı parametreleri; sadece çıktı olasılıklarını değil ayrıca bu çıktıların gerçekleşme olasılıklarını da inceleyen, Monte Carlo Simülasyon yöntemini kullanan Geant4 ortamında test edilebilmesidir.

- *Sintilatör ve dedektörlerin çalışmada önerilen şekilde kurulduğu bir Pozitron Emisyon Tomografi cihazı GEANT4 ortamında simüle edilir (Fig. 252).*
- *Simülasyon yürütülerek görüntü rekonstrüksiyonunda kullanılacak olan konum, zaman ve enerji gibi veriler elde edilir.*

II.II. Görüntü Rekonstrüksiyonu

Veri işleme bölümünde izlenen yöntemler ise şöyledir;

- *Benzetimden alınan sintilatöre çarpan fotonların konumu, sintilatörde oluşturulan fotonların ideal dedektör yüzeyindeki enerji ve zaman dağılımlarının Gauss Prosesi yardımı ile Jupyter ortamında ve Python dilinde girildi olarak oluşturulması:*

Python dili, programlanabilirliği kolay ve pratikte CUDA ile doğrudan çalışabilen bir yapıdadır. Pandas, Matplotlib, Numpy, Scipy gibi işlevsel kütüphaneleri içerisinde barındırmaktadır. Python ile beraber verilerin anlamlandırılmasında kullanılacak olan Jupyter ise yüksek sayıdaki verilerin analiz edilmesine yarayan gelişmiş, açık kaynak kodlu bir yazılımdır.

Benzetimden alınan sintilatöre çarpan fotonların konumu X, Y koordinatları olarak bilinmektedir. Bununla beraber sintilatörde oluşturulan fotonların ideal dedektör yüzeyindeki toplam enerjileri ve zaman aralıklarının bilgileri de bulunmaktadır. Sintilatörde oluşturulan fotonların ideal dedektör yüzeyindeki enerji ve zamanlarının daha da kesin sonuçlar vermesi için Gauss prosesi kullanılmıştır. Gauss prosesi, olasılık teorisi ve istatistikte stokastik bir süreçtir (zamana veya uzaya

göre indekslenmiş rastgele değişkenlerin bir toplamı), öyle ki bu rasgele değişkenlerin her sonlu toplamı çok değişkenli bir normal dağılıma sahiptir (Fig. 176), yani bunların her sonlu doğrusal kombinasyonu normal dağılımdır. Bir Gauss prosesinin dağılımı, tüm bu (sonsuz sayıda) rastgele değişkenlerin ortak dağılımıdır ve bu nedenle, sürekli etki alanına sahip fonksiyonlar üzerinde bir dağılımdır, zaman veya mekanı örnek olarak gösterilebilir [3].

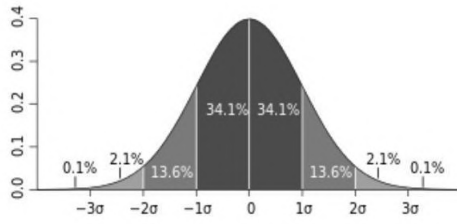


Fig. 176. Gauss Dağılımı

- *Dağılımlardan elde edilen enerji ve zaman bilgilerinin kullanılarak sensör numarası, enerji ve zaman bilgisine göre yine Jupyter ortamında liste oluşturulması:*

Bu dağılımlardan elde edilen muhtemel değerlere göre sensör numarası, enerji ve zaman bilgileri elde edilir. Örneğin; hangi dedektörde daha fazla foton algılanırsa gerçek konum o dedektöre daha yakındır ve ne kadar fazla foton algılanırsa sintilatörde oluşturulan fotonun dedektör yüzeyindeki enerjisi de o kadar yüksektir. Bu elde edilen veriler Jupyter ortamında liste olarak kaydedilir.

- *Muhtemel çıktıların benzetimden elde edilen çıktılarla ikili olarak seçilip eşleştirecek, ardından X,Y,Z nokta bilgisini üretecek algoritmanın yazılması:*

Benzetim ortamı ideal bir durumda fotonun tam olarak sintilatörün hangi konuma çarptığının bilgisini ve sensörler tarafından tespit edilebilecek verileri elde edilmesini mümkün kılmaktadır. Benzetimde elde edilen gerçek konumun, yine benzetim ile elde edilen verilerin analizi durumunda birbiri ile belirli bir hata payı aralığı içinde uyum halinde olması beklenmektedir. Bu bağlamda benzetimden alınan ideal çıktılar

ile muhtemel uygulamada elde edilecek çıktılar, yazılacak olan algoritma yardımıyla ikili olarak seçilip eşleştirilebilecektir.

Yazılan olan algoritma, eşleştirmenin ardından bu eşleştirmenin çıktılarını ışığında sintilatöre çarpan fotonun X,Y nokta bilgisini verecek, sintilatörün konumuna bağlı olarak ise bu nokta grubuna Z bilgisi eklenecektir. Sonuçta elde edilecek konum bilgisi X,Y,Z formatında olacaktır.

Konum bilgisinin bulunması için maksimum olasılık yöntemi kullanılır. Maksimum olasılık yönteminin uygulanmasındaki amaç, sahip olunan verilerin ait olduğu yığın parametrelerini tahmin etmektir. Çünkü genellikle yığın parametresinin gerçek değerini bilmek çok zordur. Burada maksimum olasılık yöntemi, bu zorluğun üstesinden gelmek için uygulanabilecek birçok çözümden sadece biridir.

- *Yazılan yinelemeli algoritmanın CPU üzerinde çalıştırıldığı takdirde uzun zaman almasından dolayı algoritmanın CUDA mimarisine uyarlanması:*

Yazılan Python yinelemeli algoritmasının CPU üzerinde çalışması uzun zaman almaktadır. Bu süreci hızlandırmak için CUDA mimarisinden faydalanılır. Bu yüzden yazılmış olan algoritmanın CUDA mimarisinde çalıştırılacak şekilde düzenlenmesi gerekmektedir. Bunun için de PyCUDA uygulama programlama arayüzü kullanılmıştır. PyCUDA, Nvidia'nın CUDA paralel hesaplama uygulama programlama arayüzüne Python'dan erişilmesini sağlar.

- *Uyarlanmış algoritmanın CUDA mimarisinde çalıştırılması:*

Her bir annihilasyon olayı özelinde bakıldığı zaman, her bir sintilatör bloğunda on binlerce veri oluşması beklenmektedir. Bu verilerin kaynağı fiziksel optik proseslerin çıktısıdır. Olağan bir PET taramasında milyon adetten fazla

annihilasyon olayı gerçekleştiği durumu göz önüne alındığında, işlenmesi gereken verinin büyüklüğü daha net anlaşılmaktadır. Bütün bir veri kümesinin analizinin seri olarak yapılması beraberinde büyük zaman iş yüklerini getireceği öngörüldüğü için analizde CUDA mimarisinin kullanılmasına karar verilmiştir. Analizi yapılan verinin görüntüleme bölümünde izlenecek yöntemler ise şöyledir:

- Yazılan yinelemeli algorithmadan çıktı olarak alınan X,Y,Z verilerini girdi olarak alacak Amide betiğinin geliştirilmesi.
- Görüntü oluşturmak için gerekli olan X,Y,Z nokta bilgilerini girdi olarak alacak Amide scripti geliştirilmesi.
- Amide ortamı içinde vokselize hacim oluşturulup, sinyal çıkısına orantılı büyüklükte eş parçalara bölünmesi.
- Vokselize hacim içinde aynı birim hacme düşen noktaların renk skalasına yerleştirilerek aktivite dağılımının üç boyutlu olarak gösterilmesi.

III. ÇIKTILAR

Sintilatör yapısı, Fig. 177’de görüldüğü gibi farklı kristallerin tanımlanabileceği bir yapıda olacak şekilde tanımlanmıştır. Bu alanda çalışmalar devam etmektedir.

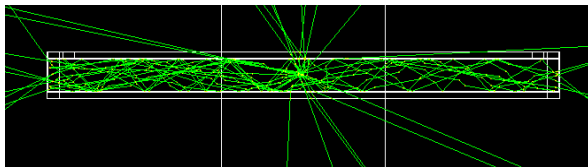


Fig. 177. Geant4 Ortamında Örnek Kristal Simülasyonu

Bu çalışmanın kristal simülasyonu tarafında gereken veriler zamanında elde edilemediği için veriler Brainweb’den (<http://www.bic.mni.mcgill.ca/brainweb/>) alınmış ve bölümlenmiş bir beyin haritası

kullanılmıştır. Simülasyonda kullanılan veriler aşağıda gösterilmiştir.

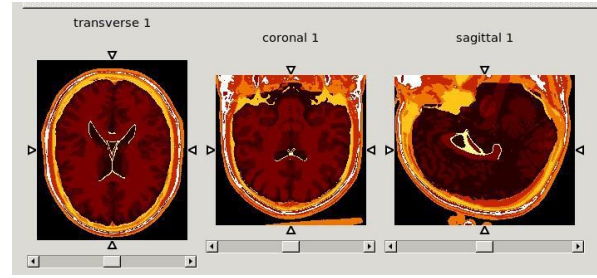


Fig. 178. Kullanılan Beyin Verisi

Simülasyonun ikinci aşamasında ise bu görüntüler rekonstrüksiyona uğrayıp sinogram adı verilen ham veriye dönüşmektedir [4]. Bu aşamada beyin fantom simülasyonu gerçekleştirilmiştir. PSF (Point Spread Function) dikkate alınmamıştır ve spread 0 olarak ayarlanmıştır. Rastgelelik oranı sabittir. Simüle edilen cihaz aşağıdaki gibidir:

- Halka sayısı: = 8
- Halka başına dedektör sayısı: = 512
- İç halka çapı (cm): = 102
- Ortalama etkileşim derinliği (cm): = 0,7
- Halkalar arasındaki mesafe (cm): = 1.35
- Standart konteyner boyutu (cm): = 0.3129
- Ofseti görüntüle (derece): = 0
- Ark düzeltmesi yapılmayan maksimum kutu sayısı: = 192
- Standart ark düzeltmeli kutu sayısı: = 192
- Transaksiyel yönde kanat başına blok sayısı: = 1
- Eksenel yönde bıçak başına blok sayısı: = 1
- Eksenel yönde blok başına kristal sayısı: = 1
- Transaksiyel yönde blok başına kristal sayısı: = 8
- Dedektör katmanlarının sayısı: = 1
- Eksenel yönde tek birim başına kristal sayısı: = 1
- Transaksiyel yönde tek birim başına kristal sayısı: = 8

Simülasyon kısmının sonunda ise aşağıda gösterilen sinogram elde edilmiştir.

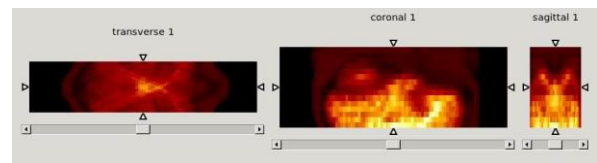


Fig. 179. Simülasyon Sonucu Elde Edilen Sinogram

Görüntü rekonstrüksiyon bölümünde, önce FBP, ardından MLEM [Maximum Likelihood Estimation Maximization] [5] ve OSEM [Ordered Subset Expectation Maximization] [6] tekrarlı olarak uygulanır.

Son olarak, bir Gauss filtresi [7] uygulanır. Algoritma 120 iterasyon ile çalıştırıldığında çıktı şu şekildedir. (Fig. 180).

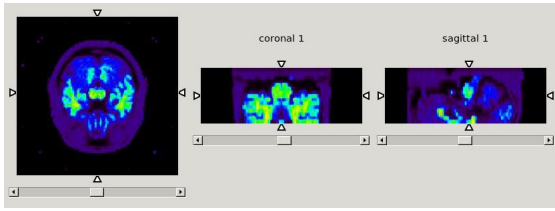


Fig. 180. 120 İterasyon ile Görüntü Rekonstrüksiyonu Çıktısı

Yalnızca MLEM ve yalnızca OSEM ayrı ayrı uygulanırsa, iki çıktı arasında gözle görülür bir fark elde edilememektedir. (Fig. 181).

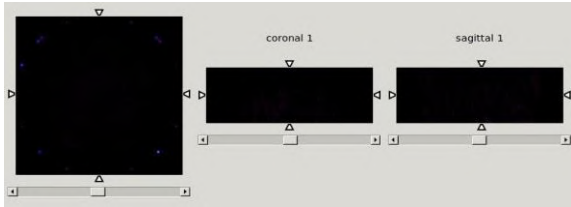


Fig. 181. 120 İterasyonda MLEM-OSEM Farkı

Yineleme sayısının çıktılar üzerindeki etkisini gözlemlemek için 120 yinelemeden sonra 240 yineleme uygulanmıştır. Daha sonra, MLEM ve OSEM 240 yinelemede ayrı ayrı uygulandığında elde edilen fark çıktısı da aşağıda gösterilmiştir.

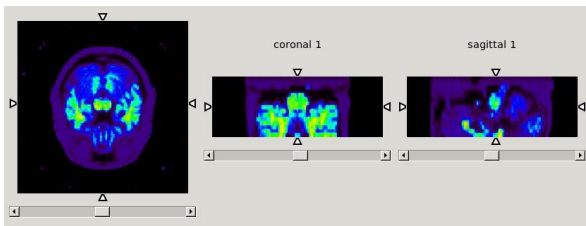


Fig. 182. İterasyon Çıktısı

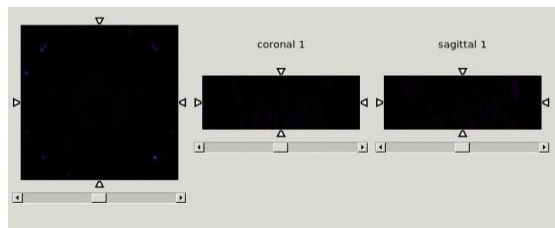


Fig. 183. 240 İterasyonda MLEM-OSEM Farkı

120 ve 240 yineleme çıktıları arasında gözle görülür bir fark yoktur. Bununla birlikte, OSEM ile 4 alt uygulama daha uygulanırsa, çıktılar arasında net bir fark elde edilir. Buradan, kullanılan algoritma için 120 iterasyonun yeterli olduğu ve çıktıda bir iyileştirme isteniyorsa, daha fazla altlık içeren OSEM kullanılması gerektiği sonucuna varılabilir.

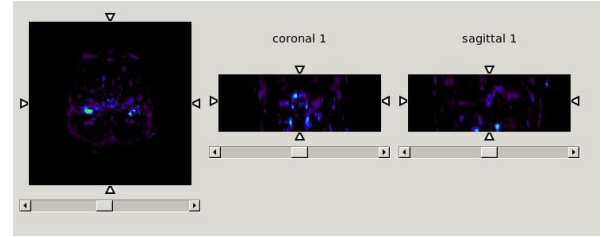


Fig. 184. 240 İterasyonda 1 ve 4 alt kümeli OSEM Çıktısı

IV. SONUÇ

Bu çalışmada simülasyon ve görüntü rekonstrüksiyonu olarak iki bölüme ayrılmıştır. Çalışmanın amacı, PET-CT cihazını çevreleyen ve yüklü bir parçacık tarafından uyarıldığında görünür bir ışın yayan sintilatörleri dikey yerine yatay olarak konumlandırarak, mümkün olduğu kadar az işlevsellik kaybetmektir.

Söz konusu amaç, çalışmanın öne sürdüğü teklifin GATE ortamında simüle edilmesinden sonra elde edilen sonuçların yeniden yapılandırılmasıyla başarılıdır (Geant4 Tomografik Emisyon Uygulaması). Ancak çalışmanın simülasyonu ile gerekli veriler henüz elde edilemediği için geleneksel PET-CT cihazı referans alınarak çalışmaya devam edildi.

Çalışmada, University College of London - UCL tarafından geliştirilen Tomografik Görüntü Yeniden Yapılandırması için açık kaynaklı yazılımı kullanıldı. Ortaya çıkan veriler AMIDE programı ile görüntülendi. Beyin verileri sağlıklı bir şekilde yeniden yapılandırıldı. Bu çalışmada sadece beyin verileri kullanılmıştır, istenirse göğüs verileri sağlıklı bir şekilde yeniden oluşturulabilir.

Bu çalışmada kullanılan yöntemler Filtrelenmiş Geri Projeksiyon, Maksimum Olabilirlik Beklenti Maksimizasyonu, Sıralı Alt Küme Beklenti Maksimizasyonu ve Gauss Dağılımıdır. Kullanılan algoritma ile 120 iterasyonun yeterli olduğu kanıtlanmıştır. Aynı yineleme sayısında Maksimum Olabilirlik Beklenti Maksimizasyonu ve Sıralı Alt Küme Beklenti Maksimizasyonu çıktıları arasında gözle görülür bir fark yoktur. Sıralı Alt Küme Beklenti Maksimizasyonu ile 1 yerine 4 alt yineleme uygulandığında performans artışı gözlemlenmiştir. Filtrelenmiş geri yansıtma yerine güçlü bilgisayarlar yardımıyla yinelemeli algoritmalar kullanılırsa daha iyi sonuçlar alınabilir. Çünkü FBP'nin gürültü ve çizgi artefaktları gibi sorunları yinelemeli algoritmalar ile iyileştirilebilmektedir. Sıralı Alt Küme Beklenti Maksimizasyonu alt kümelerinin sayısını artırarak performansı daha da arttırmak mümkün görünmektedir.

V. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK 2209-B - Sanayi Odaklı Lisans Bitirme Tezi Destekleme Programı kapsamında desteklenmiştir.

Proje Numarası: 1139B412000977

VI. REFERANSLAR

- [1] J. M. Ollinger and J. A. Fessler, "Positron-emission tomography," in *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 14, no. 1, pp. 43-55, Jan. 1997, doi: 10.1109/79.560323.
- [2] Agostinelli, S., et al. 2003. "GEANT4—a simulation toolkit", *Nuclear instruments and methods in physics research section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 506(3), 250-303.
- [3] Ebden, M. 2015." Gaussian processes: A quick introduction", arXiv preprint arXiv:1505.02965.
- [4] Herman, Gabor T. (2009), *Fundamentals of Computerized Tomography: Image Reconstruction from Projections* (2nd ed.), Springer, ISBN 978-1-85233-617-2
- [5] Shepp, L. A., & Vardi, Y. 1982. "Maximum likelihood reconstruction for emission tomography", *IEEE transactions on medical imaging*, 1(2), 113-122.
- [6] Yang-Ming Zhu "Ordered subset expectation maximization algorithm for positron emission tomographic image reconstruction using belief kernels," *Journal of Medical Imaging* 5(4), 044005 (21 November 2018). <https://doi.org/10.1117/1.JMI.5.4.044005>
- [7] Gedraite, Estevao & Hadad, M.. (2011). Investigation on the effect of a Gaussian Blur in image filtering and segmentation. 393-396.

MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE PARKİNSON HASTALARI İÇİN SAĞLIK İZLEME VE TEDAVİ ÖNGÖRÜ SİSTEMİ TASARIMI

Berkay SELBES*, Yunus Emre TELLİOĞLU, Selin YATKAYA, Sebahattin BABUR, Abdulkadir ŞANLI*

*Türk-Alman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği
Şahinkaya Cad. 106, Beykoz/ İstanbul, Türkiye*

ÖZET

Günümüz teknolojisinin büyük bir hızla gelişip ilerlemesine rağmen diyabet, epilepsi, alzheimer ve parkinson gibi bazı kronik hastalıkların halen kesin bir çözümü bulunmayıp ve tedavileri ömür boyu ilaçlarla devam etmektedir. Bu çalışma kronik hastalıkların tedavi sürecinin takip edilme ihtiyacına dayanmaktadır. Bu çalışmanın ana hedefi, hastanın yaşam kalitesini etkileyen ve tedavileri yıllarca devam eden parkinson gibi hastalıkların izlenmesi ihtiyacını göz önünde bulundurarak doktorlar için sağlık izleme ve tedavi öngörü sistemi oluşturarak biyomedikal ve biyomekatronik alanındaki çalışmalara katkı sağlamaktır. Bu bağlamda, bu çalışmanın ilk etabında model el tasarımını içeren deney düzeneği için 3D yazıcıdan bastırılan gerçeğe uygun model kol bulunmaktadır. Üzerinde entegre titreşim ünitesi ve veri işleme ünitesi bulunduran model kol, parkinson bir hastanın elinin titremesini simüle eden ve ortalama yaşlı bir insan kolunun ağırlığında olacaktır. Titreşim ünitesinde bulunan titreşim motoru sayesinde hastaların el titremeleri ile aynı frekansta titreşimler üretilerek veri işleme ünitesinde bulunan 3 eksenli ivmeölçer ve gyro sensör yardımıyla düzeneğe yaptırılan yürüme, dinlenme gibi günlük yaşam hareketlerinin ve parkinson hastalığının en büyük şikâyetlerinden biri olan el titremesi seviyelerinin ham verisi toplanacaktır. Toplanan veriler üzerinde veri madenciliği işlemlerine hazırlık yapıp antrenman ve test seti olarak ayrılacaktır. Bu işlemlerden sonra birçok makine öğrenimi algoritmaları sayesinde verilerin hangi günlük yaşam hareketine ve hangi titreme seviyesine ait olduğu sınıflandırılacaktır. Son olarak bu çalışmada belirtilen yeni bakış açısıyla yüksek katma değere ve yerli teknolojiye sahip olan bu projenin hem ulusal düzeyde hem de uluslararası platformlarda kendine yer bulma şansı son derece yüksektir. Ayrıca benzer hastalıkların tedavisi ve takibi için de bu çalışma ön araştırma niteliğinde olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Parkinson Hastalığı, Sağlık İzleme ve Tedavi Öngörü Sistemi, Makine Öğrenimi, Günlük Yaşam Aktivitesi Tanıma, Titreme Seviyesi Tanıma

I. GİRİŞ

Parkinson hastalığı günümüzde önlenmesi mümkün olmayan ve doktorların zorunda kalmadıkça cerrahi müdahaleden kaçındığı çoğunlukla ömür boyu ilaç tedavisi uyguladığı kronik bir hastalık türü olup tedavi sürecinde en önemli etkenler hastalığın safhasına ve hastanın tepkisine

göre ilaç tedavisi ve fizyoterapidir. Parkinson ilerleyen ve ömür boyunca tedavisi süren bir hastalık olduğundan bazı ilaçların etkileri zamanla azalabilir veya değişebilir bundan dolayı belirli aralıklarla ilaçların tekrar ayarlanmasına ihtiyaç duyulur. Ayrıca tedavide önemli rol oynayan fizik tedavi ve günlük yaşam

aktivitelerine de birçok hasta gerekli önemi vermemektedir. Proje kapsamında bu problemlerin çözümü için hastalığın en büyük belirtisi ve şikâyeti olan esansiyel ve Parkinson hastalığından dolayı oluşan titreme [1] problemi esas alınarak hastaların tedavide kullanılan ilaçlara nasıl tepki verdiği, ayrıca oturma, yatma, yürüme, merdiven inip çıkma gibi gündelik hareketlerini sensör ve makine öğrenmesi yöntemleriyle yaklaşılabilecektir. Uluslararası alanda Parkinson hastalığı üzerine birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalardan bir tanesi Britanya merkezli şirket GyroGear'in ürettiği 'gyro glove' yani jiroskop eldivenidir [2]. Bu ürünün çalışma prensibi içinde bulunan jiroskop sayesinde hastanın titremesine karşı bir kuvvet oluşturarak elin stabilizasyonu sağlamayı hedeflemektedir.

Bu yönden bakıldığında çalışmayla benzer amaçlara sahip olsa da farklı bir bakış açısına sahiptir. Diğer bir çalışmada [3] da bahsedildiği gibi makine öğrenmesi algoritmalarıyla titreme seviyelerini sınıflandırmak ve bundan farklı olarak fizik tedavinin de önemini vurgulamak açısından hastanın günlük yaşam aktivitelerini de sınıflandırılmasıyla sağlık izleme ve tedavi öngörü sistemi oluşturulması üzerinde durulmaktadır. İzleme sürecinde toplanan veriler sayesinde doktorlar hastanın, hastalığın şiddetine göre uygun dozda ilaç alması sağlanacaktır. Böylelikle hastanın az ya da çok ilaç alması durumunda ortaya çıkacak sorunların da önüne geçilecektir.

II. YÖNTEM

Çalışmanın gerçekleştirilebilmesi için yapılan bir çalışmada [4]'de bahsedildiği üzere Parkinson hastasının sahip olduğu gibi 4-12 Hz arasında titreşim oluşturacak bir tasarıma ihtiyaç duymaktadır. Bu doğrultuda Fig. 185'de görüldüğü gibi bir mekanik deney düzeneğinin hazırlanması ayrıca titreme ve günlük yaşam aktivitelerinin (GYA) sınıflandırılması için gerekli verilerin elde edilmesi adına düzenek üzerine titreşim ve veri okuma ünitelerini içeren bir sistem

kurulmuştur. Tasarımla koşma, yürüme, merdiven inme, merdiven çıkma, ayakta durma ve oturma olmak üzere 6 farklı GYA yapılarak toplanan veriler sınıflandırılmıştır.

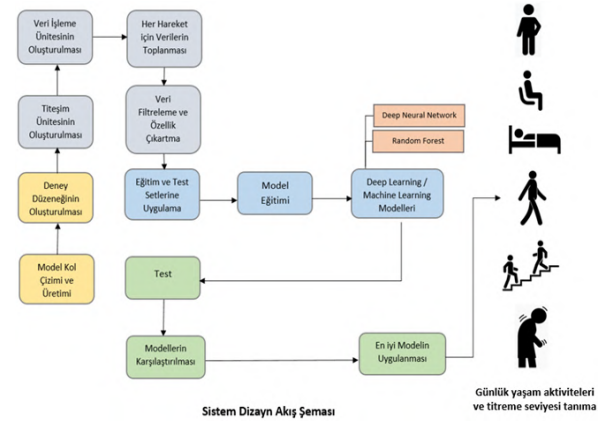


Fig. 185. Sistem dizayn akış şeması

II.1. Mekanik Tasarım

Mekanik deney düzeneği iki bölümden oluşmaktadır. 3-boyutlu yazıcıdan bastırılmış bir prototip el ve bu elin üzerinde duracağı standı içermektedir. Prototip el tasarlanırken Blender programı kullanılarak Fig. 186'da da görüldüğü gibi gerçekçi bir tasarım elde edilmiştir. İnsan eline yakın olabilmesi için ortalama uzunluğu 40 cm olarak belirlenmiştir.

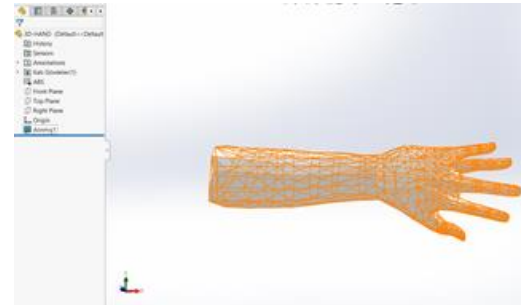


Fig. 186. Solidworks 3D el tasarımı

Titreşime dayanıklı olabilmesi ve zarar görmemesi için piyasadaki en dayanıklı filament olan ABS+ tercih edilmiştir. Solidworks programı kullanılarak malzeme ataması yapıp 3D elin ağırlığı hesaplanmıştır. Bu ağırlık 993.41 gramdır. Bir insan elinin ortalama ağırlığı yaklaşık 2.3 kg'dır [5]. Bu nedenle elin içi boş tasarlanmıştır. Böylelikle daha sonrasında içini doldurarak 2.3 kg sabitlenmiştir. Fig. 187'de görüleceği üzere basım işlemi

yapılırken elin içi boş olduğu için dik konumda basılmıştır. Bu sayede 3-boyutlu yazıcısı tablası ile temas eden yüzey alanı minimum tutularak basım işlemi sırasında meydana gelecek bozunma riski minimuma indirilmiştir. Şekil 187'deki elin yazıcı yazıcı programındaki önizlemesinden en az malzeme ile sorunsuz bir şekilde basılacağı teyit edilmiştir.

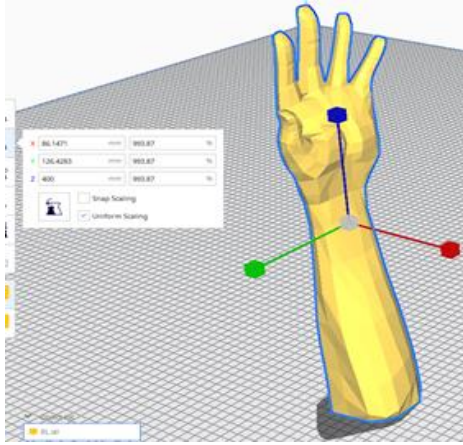


Fig. 187. Cura 3D baskı önizlemesi

Stand tasarımı yapılırken elin titreyeceği frekans 4-12 Hertz ve ağırlığı olan 2.3 Kg göz önünde bulundurularak tasarım gerçekleştirilmiştir. Fig. 188' de görülebileceği gibi sistemin serbest bir şekilde titreme yapabilmesi için el bir çubuk üzerine yerleştirilip daha sonra sabit ve yanlardan desteklenen bir boru içerisine yerleştirilmiştir.

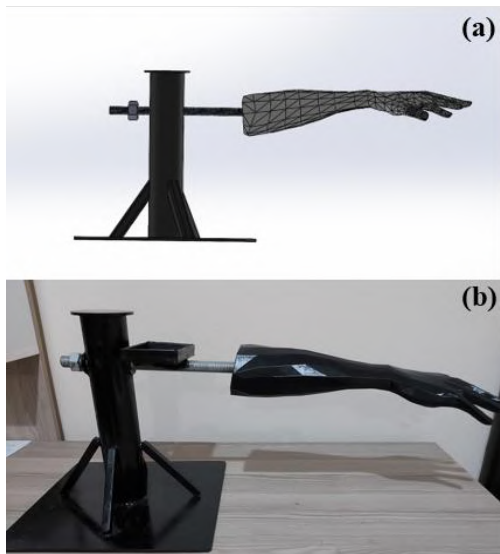


Fig. 188. Sistemin (a) mekanik ve (b) üretilen tasarımı.

Standın ağırlık ve frekans karşısında nasıl bir tepki göstereceği Solidworks programında Fig. 189,190,191 ve 192'deki gibi simüle edilmiştir. Bu simülasyon analizleri sonucunda deney düzeneğinin ağırlık ve titreşim etkileri altında bozulmaya uğramadan dayanacağı tespit edilmiştir.

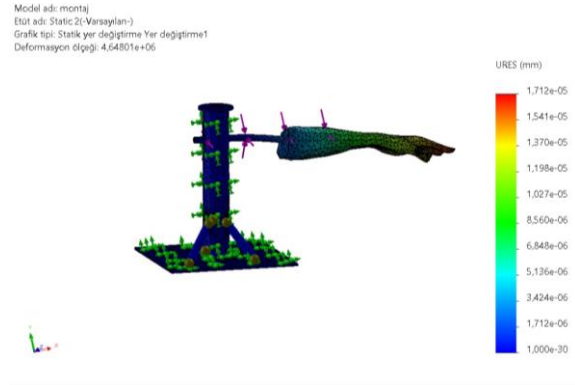


Fig. 189. Sistemin statik yer değiştirme simülasyonu

Statik simülasyonlar gerçekleştirildikten sonra sistemin titreşim altında nasıl bir tepki göstereceğine bakılmıştır. 3 farklı durumda sistemin frekans simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Bu durumlar 3 Hz, 13 Hz ve 22 Hz dir. Bu sayede deney düzeneğinin farklı frekanslardaki tepkisi ölçülmüştür. Fig. 190'de 3 Hz de yapılan simülasyon gösterilmiştir. Bu simülasyon sonucunda sistemin 3 Hz frekans altında sadece 1.127 mm yer değiştirme yaptığı gözlemlenmiştir.

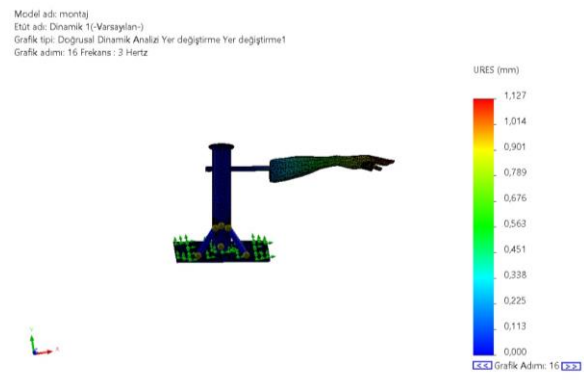


Fig. 190. 3 Hz frekans altında sistemin doğrusal analizi yer değiştirme simülasyonu

Deney düzeneğinin 13 Hz altındaki davranışı Fig. 191'de gösterilmiştir. 13 Hz

frekans simülasyonunda sistem 2.558 mm yer değiştirme yaptığı tespit edilmiştir.

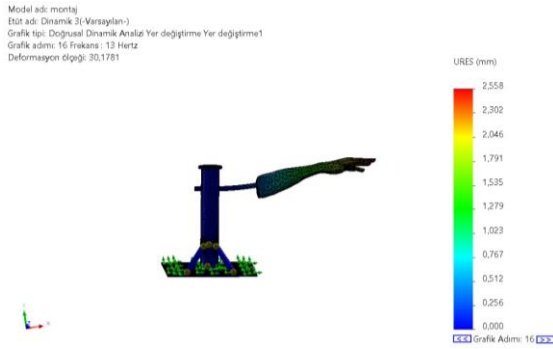


Fig. 191. 13 Hertz frekans simülasyonu

Deney düzeneğinin 22 Hz frekans altındaki davranışı Fig. 192’de gösterilmiştir. Sistem 22 Hz altında yaklaşık 2.7 mm yer değiştirme yapmaktadır.

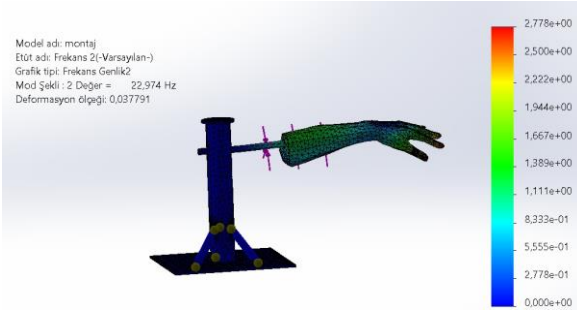


Fig. 192. 22 Hertz frekans simülasyonu

Fig. 189, 190, 191 ve 192’ de yapılan simülasyon çalışmaları sonucunda sistemin yük ve frekans altında bir bozunmaya uğramayacağı tespit edilmiştir. Fig. 189’ da yapılan statik simülasyon sonucunda en fazla yer değiştirmenin elin en uç noktasında olacağı tespit edilmiştir. Ayrıca sistemin çubuk kısmında çok fazla yer değiştirme olmadığı için sistem yük karşısında sabit bir şekilde kırılma olmadan durmaktadır. Esansiyel bir parkinson hastasının el titreme frekans değeri olan 4-12 Hz ve 22 Hz de deneme yapılmıştır. Bu denemenin sonucu olarak frekanstan en fazla etkilenen yerin yine parmak uçları olduğu görülmüştür. Sistemin frekans karşısında etkilenmeden durduğu açık bir şekilde görülmektedir.

II.2. Elektronik Tasarım

Sistemin elektronik tasarımı iki ana bölümden oluşmaktadır. Mekanik sisteme

titreşim sağlayacak olan titreşim ünitesini ve titreşim ünitesinin oluşturduğu frekansların el üzerindeki etkilerini kaydedecek olan veri işleme ünitesini içermektedir. Titreşim ünitesi içerisinde Teensy 4.1 mikro denetleyici, L298N motor sürücü kartı, DC 370 fırçasız motor, potansiyometre, hız sensörü LM293 ve 16x2 LCD ekrandan oluşmaktadır. Fig. 193’te titreşim ünitesinin şeması görülmektedir.

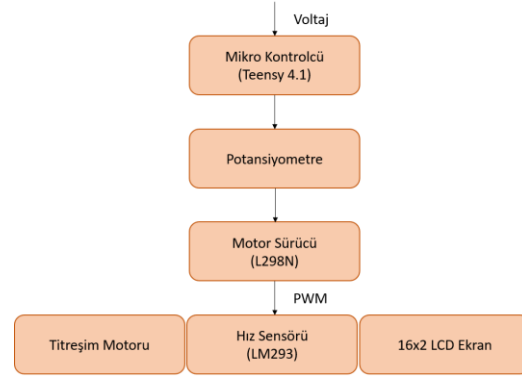


Fig. 193. Titreşim ünitesi şemasının genel gösterimi

Titreme hareketi 2 ekseninde gerçekleşen bir hareket olduğundan dolayı 2 adet titreşim motoru ve 1 tane frekans ölçümü için titreşim motoru kullanılmıştır. Bu motorlar kolun bağlı olduğu çubuk üzerinde yer almaktadır. Veri işleme ünitesinde Teensy 3.6 mikro denetleyici ve Teensy 3.6 da bulunan sd kart modülü ve MPU6050 ivme ölçer sensörü kullanılmıştır. Veri işleme ünitesi 3 boyutlu yazıcıdan üretilmiş el üzerinde bulunmaktadır. Fig. 192’de veri işleme ünitesi şeması görülebilir.

Sistemin genel çalışma mantığı Fig. 193’te görülebileceği gibi Teensy, motor sürücü ve potansiyometre sayesinde frekansı el ile ayarlanabilen titreşim motorlarının yapmış olduğu titreşim mekanik sisteme aktarılır. Oluşan frekansın ayarlanması PWM sinyallerinin değişmesi ile sağlanır [6]. Mekanik sistemde oluşan titreşim 3 boyutlu ele iletilir. Bu sayede doğrudan motorların titreşimi el üzerinde elde edilir. El üzerinde bulunan MPU6050 ivme ölçer sensörü 3 ekseninde oluşan değişimleri değerlendirir ve Teensy 3.6 mikro denetleyicisi sayesinde bunun kaydeder.

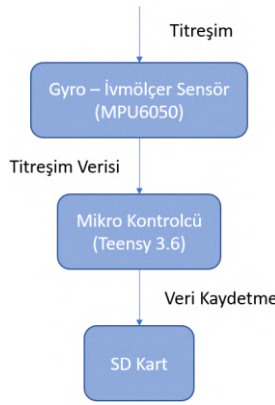


Fig. 194. Veri işleme ünitesi şeması

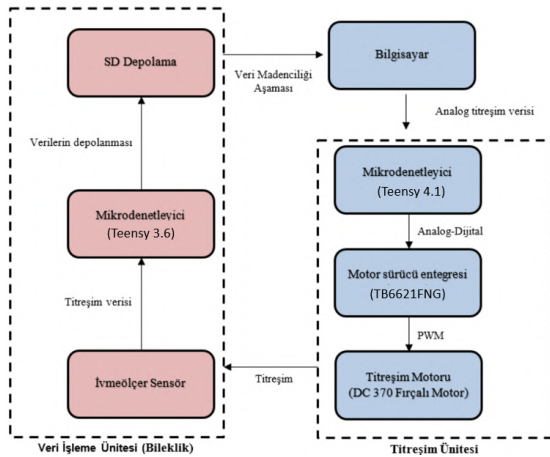


Fig. 195. Elektronik tasarım işleyiş şeması.

III. VERİ MADENCİLİĞİ

Veri madenciliği işlemi altında ilk aşamada veri toplayarak bir veri seti oluşturulmuştur. Parkinson hastalarının titreşimini üretecek tasarım ile 6 farklı GYA hareketleri yapılarak kolda bulunan veri işleme modulündeki 3 eksenli ivmeölçer ve gyro sensör sayesinde ham veriler toplanmıştır. Her veri örneği 50 milisaniyede (20 Hz) bir elde edilmiştir.

III.1. Veri Temizleme

Çoğu zaman sensör tarafından toplanan veriler direk sınıflandırma modellerini oluşturmak için hazır değildir. Toplanan veriler üzerinde daha doğru sonuçlar almak adına hatalı veya eksik verilere veri temizleme işlemi uygulanmıştır. Bu işlem sonucunda her GYA ve bu aktivitelerdeki 3 farklı titreşim seviyesi için 5000'er olmak üzere toplamda 90000 veri örneğinden veri seti oluşturulmuştur. Veri setinde 4-6 Hz arası ilk titreşim seviyesi, 7-9 Hz arası ikinci, 10-12

Hz arası üçüncü titreşim seviyesi olarak kabul edilmiştir.

III.2. Öznitelik Çıkarımı

Temizlenmiş veri seti üzerinde modellerin doğruluk oranlarının artırılması için öznitelik çıkarımı işlemi uygulanmıştır. Öznitelik çıkarımı işleminde bu konu üzerinde yapılmış çalışmalardan da yararlanılarak ortalama, standart sapma, ortalama mutlak sapma, varyans, kurtosis, skewness olmak üzere 6 farklı istatistiksel özellik seçilmiştir [7]. Bu istatistiksel özelliklerin uygulanabilmesi için pencereleme metodu kullanılmıştır. Her pencere arası 5 saniye olup ham veri setinde her 100 veriye eşittir. Bu istatistiksel özellikler ham veriler üzerindeki her eksen için ayrı ayrı uygulanmıştır. Fig. 196'da özniteliklerden biri olan standart sapma formülü uygulanmış x eksenli ivmeölçer verilerinin grafiksel değişimi görülebilir.

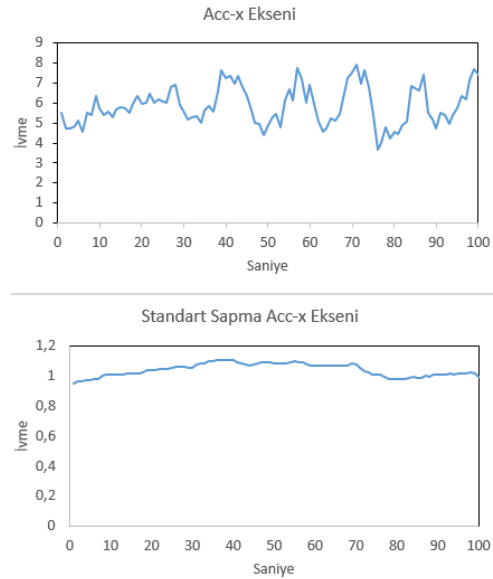


Fig. 196. Öznitelik çıkarımı sürecinde yürüme-titreşim seviyesi-2 sınıfı x eksenli ivme verileri

III.3. Öznitelik Seçimi

Öznitelik çıkarımı sonucunda 36 öznitelik elde edilmiş olup model oluşturma sürelerini azaltmak, gereksiz özelliklerden kurtulmak, modellerin aşırı öğrenimini engellemek ve daha yüksek doğruluk oranı elde etmek için öznitelik seçimi işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem için Weka uygulaması kullanılmış

olup ‘Wrapper’ değerlendirme yöntemi, ‘BestFirst’ ve ‘Backward’ arama yöntemi kullanılarak çalışmada kullanılan her sınıflandırma algoritması için ayrı ayrı özellik seçimi işlemi uygulanmıştır. Her algoritma için gereksiz özellikler çıkartılarak modeller oluşturulmuştur. Tablo 13’te Öznitelik Seçimi sonrasında Algoritmalar için kullanılan Öznitelik sayıları yer almaktadır.

Tablo 13. Öznitelik seçimi sonrasında algoritmalara göre kullanılan öznitelik sayısı

Algoritmalar	Öznitelik Sayısı
Karar Ağacı	10
K-En Yakın Komşu	18
Çok Katmanlı Algılayıcı	26
Rastgele Orman	14
Destek Vektör Makineleri	15
Naive Bayes	9

III.4. Sınıflandırma

Çalışmada yer almak üzere sınıflandırma algoritmaları olarak 6 farklı algoritma seçilmiştir. Literatürdeki benzer GYA hareketleri üzerinde yüksek doğruluk oranlarına sahip olduğu gösterilmiş olan yapay sinir ağlarından Çok Katmanlı Algılayıcı, Karar ağacı (J48) ve Rastgele Orman algoritmaları seçilmiştir [8]. Bu algoritmalara ek olarak bu çalışmada Naive Bayes, Destek Vektör Makineleri, K-En Yakın Komşuluk algoritmalarına da yer verilmiştir. Sınıflandırma sürecinde pencereleme işleminden sonra 900’e düşen toplam verilerden daha doğru sonuçlar almak için veriler “10 Fold Cross Validation” metoduyla sınıflandırılmıştır.

IV. SONUÇ VE TARTIŞMA

Oluşturulan deney düzeneği 3 farklı frekans aralığında test edilmiştir. Bu frekans aralıkları 4-6 Hertz, 10-13 Hertz ve 20-24 Hertz'dir. Bu frekans aralıklarında

motorların ürettiği titreşimlerin deney düzeneği üzerindeki etkisi gözlemlendi. İvmölçer ve jiroskop sensörü tarafından toplanan veriler listelenmiş ve farklılıkları incelenmiştir.

```

TEZERST.TXT - Notepad
File Edit Format View Help
888,10732,15668,-83,46,-7350
-76,6652,11284,-2863,409,6550
-628,6752,12348,295,301,-3730
-396,8080,13348,1751,-285,-5290
-304,8812,13980,-1614,473,-1040
-816,6296,11116,-840,182,2300
-660,7688,12828,1096,-311,400
208,8416,13384,-582,-188,1090
-760,7492,12776,-1104,56,1790
-576,7080,12220,-192,-256,410
-212,7596,12888,884,-136,-1090
-756,8348,13860,-1156,639,1200
-380,6916,12024,-1024,58,3710
-864,7104,12304,1332,-312,-2630
140,9608,14596,-940,329,830
-720,6444,11656,-1092,393,2820
-824,7324,12592,638,-973,-640
20,8788,13636,-233,-148,-130
-592,7960,13304,-1804,570,-2130
-896,6644,11784,315,-512,2060
-980,8280,13752,593,-738,-1690
-852,7872,12680,-1256,-196,2890
-784,7192,12588,-813,-173,-1150
-760,7500,12520,1117,-313,150
-828,8328,13696,-1033,442,-340
-384,7076,12052,-300,52,2000
-996,7596,12688,728,-320,-280
-292,8500,13488,-606,273,910
-660,7332,12564,-1061,191,-1570
-880,7080,12160,743,-571,1030

```

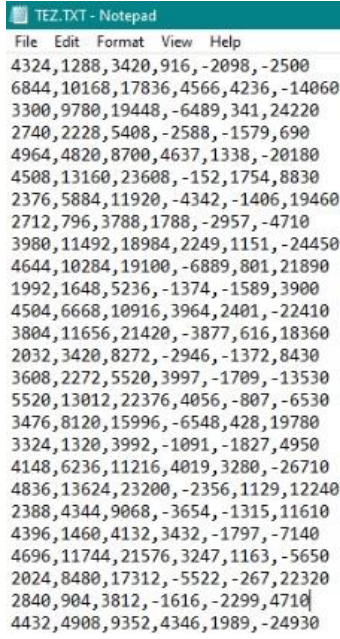
Fig. 197. 1. Deney verileri

```

TEZ.TXT - Notepad
File Edit Format View Help
2388,11380,5392,4154,-2275,-6590
1980,19948,10664,-1871,345,6770
956,10128,4688,-2487,-1038,5040
1964,12348,5948,4638,-991,-2460
1224,16416,7880,-2031,-300,7130
2988,10352,4772,564,-1326,1290
1860,17412,8156,2415,-58,-8100
1184,12676,5832,-3566,-3036,1799
3304,11212,5784,1240,-961,-2910
2284,16052,7608,92,-665,13580
2868,12836,6364,-324,-2413,5430
3384,14432,6856,-455,-1155,5760
2440,13488,6856,532,-750,2780
2980,14416,6972,264,-261,-6240
2664,13372,6096,761,-132,-2100
2604,14736,6656,526,-623,3190
3332,13420,5920,711,-103,-670
2448,14932,6912,-95,58,-1040
2740,13864,6048,-61,-540,5710
3280,14440,6268,-367,-492,3100
2796,13660,5780,-166,43,3450
3156,14308,6128,84,65,-980

```

Fig. 198. 2. Deney verileri



TEZ.TXT - Notepad

File Edit Format View Help

4324,1288,3420,916,-2098,-2500
6844,10168,17836,4566,4236,-14060
3300,9780,19448,-6489,341,24220
2740,2228,5408,-2588,-1579,690
4964,4820,8700,4637,1338,-20180
4508,13160,23608,-152,1754,8830
2376,5884,11920,-4342,-1406,19460
2712,796,3788,1788,-2957,-4710
3980,11492,18984,2249,1151,-24450
4644,10284,19100,-6889,801,21890
1992,1648,5236,-1374,-1589,3900
4504,6668,10916,3964,2401,-22410
3804,11656,21420,-3877,616,18360
2032,3420,8272,-2946,-1372,8430
3608,2272,5520,3997,-1709,-13530
5520,13012,22376,4056,-807,-6530
3476,8120,15996,-6548,428,19780
3324,1320,3992,-1091,-1827,4950
4148,6236,11216,4019,3280,-26710
4836,13624,23200,-2356,1129,12240
2388,4344,9068,-3654,-1315,11610
4396,1460,4132,3432,-1797,-7140
4696,11744,21576,3247,1163,-5650
2024,8480,17312,-5522,-267,22320
2840,904,3812,-1616,-2299,4710
4432,4908,9352,4346,1989,-24930

Fig. 199. 3. Deney verileri

3 denemenin sonucuna bakılacak olursa frekans değeri arttıkça sensör çıkış verilerinde bir artış gözlemlenmiştir. Veriler kendi içlerindeki farklar da artmıştır. Yani grafiklerden ve Text dosyalarına bakarak üç farklı deney arasında ayırım yapmak mümkündür. Birinci deneyden yola çıkarak x acc değeri -300 lerde iken ikinci deneyde bu değer yaklaşık 2000 değerine çıkmıştır. 3 deneyde x acc değeri ise yaklaşık 3000'lerdedir. Sonuç olarak deney düzeneği farklı frekanslarda farklı hareketler sergilemiştir. Bu hareketler kolayca birbirinden ayırt edilebilir durumdadır.

Tablo 14. Öznitelik seçiminden sonra oluşturulan modellerin sınıflandırma başarımları oranları

Sıra	Model	Doğruluk Oranı (%)
1	K-En Yakın Komşu	94.0000
2	Rastgele Orman	92.6667
3	Çok Katmanlı Algılayıcı	92.3333
4	Destek Vektör Makineleri	91.7778
5	Karar Ağacı	89.7778
6	Naive Bayers	89.2222

Veri seti oluşturmak için yapılan deneyde koşma, yürüme, merdiven inme, merdiven çıkma, ayakta durma ve oturma olmak üzere 6 farklı "Günlük Yaşam Aktivitesi" ve bu aktivitelerin her birine ait 3 titreme aralığının altı farklı algoritma ile sınıflandırılması sağlanmıştır. Tablo 14'te yapılan deneyde oluşturulan modellerin başarı oranları (doğruluk) görülmektedir.

Oluşturulan 6 algoritma modellerinin 4 tanesi %90 ve üzeri doğruluk oranına sahip olup en iyi model %94 doğruluk oranına sahip olan K-En Yakın Komşu modelidir. Genel olarak bakıldığında Rastgele Orman modelinin de iyi sonuçlar verdiği saptanmıştır. Veri işleme sürecinde ham verilerle %70 - %75'e yakın doğruluk oranlarına sahip olan Naive Bayers ve Çok Katmanlı Algılayıcı Algoritmalarının istatistiksel öznitelik çıkarımı ve seçimi işlemleri sonrasında doğruluk oranları oldukça yükselerek %90 - %92 seviyelerine çıktığı gözlemlenmiştir. Ham verilerle ve öznitelik çıkarımı sonrası elde edilen yeni verilerde en iyi modelin Rastgele Orman algoritmasına ait olmasına karşın öznitelik seçimi sonrasında en iyi model K-En Yakın Komşu algoritmasının sahip olması özellik seçimi işleminin diğer algoritmalara göre K-En Yakın Komşu algoritmasına daha etkili bir fayda sağladığı gözlemlenmiştir. Modellerin genel olarak aktiviteleri kolaylıkla ayırt edebildiği fakat titreme seviyeleriyle beraber merdiven inme ve merdiven çıkma aktivitelerini ayırmakta zorlandığı tespit edilmiştir. Bu ve bunun gibi doğruluk oranlarının düşüren karışıklıkların giderilmesi ve modellerin başarı oranlarının artırılması için toplanan ham veriler üzerinde daha stabil verilerin elde edilmesi ve gürültüden arındırılması için filtreleme yöntemleri kullanılabilir. Ayrıca GYA ve titreme sınıfları için farklı istatistiksel özellik çıkartma ve özellik seçme metodlarından faydalanılabilir. Bu özelliklere ek olarak çalışmada kullanılan zaman bölgesi özelliklerinin yanı sıra frekans bölgesindeki özelliklerden de yararlanılarak daha iyi sınıflandırma modelleri oluşturulması denenebilir.

V. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK 2209-B- Sanayi Odaklı Lisans Bitirme Tezi Destekleme Programı kapsamında desteklenmiştir. Proje Numarası: 1139B412000916.

VI. REFERANSLAR

- [1] Tarakad, A. & Jankovic, J. (2019). Essential Tremor and Parkinson's Disease: Exploring the Relationship. Tremor and other hyperkinetic movements (New York, N.Y.), 8, 589.
- [2] Home. (2019, October 08). Retrieved November 24, 2020, from <https://gyrogear.co/>
- [3] Taígo Ítalo Pedrosa, Felipe F. Vasconcelos, Leonardo Medeiros, Leandro Dias Silva. (2018). Machine Learning Application to Quantify the Tremor Level for Parkinson's Disease Patients, *Procedia Computer Science*, Volume 138, Pages 215-220, ISSN 1877-0509.
- [4] Grimaldi, G., & Manto, M. (2008). Tremor: From Pathogenesis to Treatment. *Synthesis Lectures on Biomedical Engineering*, 3(1), 1–212, p. 55-62.
- [5] Plagenhoef, S., Evans, F.G. and Abdelnour, T. (1983). Anatomical data for analyzing human motion. *Research Quarterly for Exercise and Sport* 54, 169-178.
- [6] Katsambe, Cosmas & Luckose, Vinukumar & Shahrizan, Nurul. (2017). EFFECT OF PULSE WIDTH MODULATION ON DC MOTOR SPEED. *International Journal of Students' Research in Technology & Management*. 5. 42.
- [7] Ç.Berke Erdaş, Işıl Atasoy, Koray Açıcı, Hasan Oğul. (2016). Integrating Features for Accelerometer-based Activity Recognition. *Procedia Computer Science*, Volume 98, Pages 522.
- [8] Pires, I.M., Garcia, N.M., Pombo, N., Flórez-Revuelta, F., Spinsante, S., Teixeira, M.C., Zdravevski, E. (2018). Pattern recognition techniques for the identification of activities of daily living using mobile device accelerometer. Tech. Rep. Peer J. Preprints.
- [9] Khan, A.M.; Lee, Y.K.; Lee, S.Y.; Kim, T.S. (2010). A triaxial accelerometer-based physical-activity recognition via augmented-signal features and a hierarchical recognizer. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 14(5):1166-1172

NEMA23 STEP MOTORLAR İÇİN KAPALI ÇEVİRİM SERVO SİSTEM GELİŞTİRİLMESİ

Ozan MUTLU^{1*}, Koray IŞIK¹, Tuba ÇONKA YILDIZ¹, Tefvik KAPLANOĞLU²

¹*Türk-Alman Ünivresitesi, Mühendislik Fakültesi/Mekatronik Mühendisliği Şahinkaya Cad. 1066, Beykoz / İstanbul, Türkiye*

²*Kamlançü Nükleer San. ve Tic. A.Ş. - Teknopark Bulvarı Teknopark 4A Apt. No: 1/4A/101 34906 Pendik/İstanbul, Türkiye*

ÖZET

Bu çalışmada NEMA23 boyutunda step motorların, servo kabiliyetleri ile kullanılabilmesi için bir dişli kutusu tasarımı ve sürücü devresi geliştirilmesi konusu üzerinde çalışılmıştır. Dişli kutusunda amaç hem motor çıkış torkunu yükseltmek hem de çıkışın dairesel hareket eksenine yük binmesini engellemektir. Planet redüktörü ve solucan dişlisi dişlilerinin NEMA23 tipi step motorlara entegre edilebilir şekilde tek dişli kutusu içinde bir arada kullanılması ve Dynamixel yapıdaki servo motorlarından da en büyük farkı olan, step motor çıkış mili ekseninin dişli kutusu çıkış yönü ekseninde bulunması yenilikçi yönleri oluşturmaktadır.

Dişli kutusu üretiminin ve montajının tamamlanmasının ardından çevrim kutusunun hareketini sağlayacak devre şeması ilk olarak bir elektronik devre çizim programı aracılığıyla oluşturulacaktır. Hareket için gerekli sürücünün ve devre kartının PCB (Printed Circuit Board (baskılı devre kartı)) tasarımı, sürücüsü entegreli yapıldıktan sonra ise bir devre yazıcısı yardımıyla da üretimi gerçekleştirilecektir. Bütün sistem son aşama olarak testlere tabi tutulacaktır. Böylelikle olası hata durumlarında son düzenlemeler gerçekleştirilecektir.

Amaçlanan hedeflerin başarı ile doğrulanması halinde, farklı motor ölçülerine entegre edilebilir yeni sistemler de üretilecektir. Bu sistemin, piyasada yüksek maliyetli hazır servo motorların yerine, cazip fiyatlarla konumlandırılarak endüstrideki çeşitli otomasyon çözümleri için kullanılması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Planet Redüktör, Solucan Dişli, Servo Motor, Step Motor, Motor Sürücü

I. GİRİŞ

Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle birlikte farklı amaçlar için farklı motorlar kullanılmaktadır. Motor, bir tür enerjiyi mekanik enerjiye dönüştüren cihazlara verilen isimdir. Bu makalede servo motorlar ve step motorlar üzerine yapılan çalışmalar sunulmuştur. Özellikle son yıllarda robot uygulamalarının gelişmesi ve yaygınlaşması ile birlikte servo ve step motorlara olan talep her geçen gün artmaktadır. Bir step motordan alınan geri

besleme eksikliği ve step motorun yalnızca kapasitesi dahilinde olan bir yükü sürdürebilmesi performansı sınırlar. Bunun yapılamaması, yük altında konumlandırma hatalarına neden olabilir. Step motorların servo motorlara göre en büyük avantajlarından birisi maliyetinin daha düşük olmasıdır, servo motorun kodlayıcısı ve kontrolcüsü ek maliyetler çıkarır. Bu çıktılar neticesinde, uygulamadaki

eksikliklerin giderilmesi üzerine şu şekilde bir çözüm izlenebileceği kararlaştırılmıştır:

- Motorların çıkış torkunu artırmak için planet yapıda bir dişli kutusu gereklidir.
- Motorların bulunduğu konumların çıkış tarafından gelebilecek bir kuvvetle saptırılmaması için solucan dişlisi yapısında bir dişli kutusu gereklidir.
- Motorların hareketlerinin doğruluğunu ölçmek için açışal enkoder gereklidir.

Çözüm yaklaşımları bir araya getirildiğinde ise şu sonuca varılmıştır; servo motorlarda olduğu gibi, sisteme entegre edilebilir özel tasarlanmış bir dişli kutusu ve sürücü devresi ile eksiklikler giderilebilir. Yani sistem kapalı çevrime dönüştürülecek ve servo yapısı NEMA23 motorlar için sağlanacaktır.

Çalışma kapsamında:

- Planet ve solucan dişli özelliklerini bir arada bulduran bir dişli kutusu
- Motor sürücüsü devre kartına entegreli bir PCB tasarım içeren motor sürücü devresi içeren tasarım ve üretim olarak gerçekleştirilecektir. Yürütülmesi kararlaştırılan proje için istenilen özelliklerde hazır endüstriyel ürün bulunmamaktadır. Bu bağlamda yapılacak çalışma genişletilerek farklı NEMA ölçülerindeki STEP motorların kapalı çevrim motorlara dönüştürülmesi için kullanılabilir, ürün olarak pazarlanabilir.

Ana amaç redüktör ve solucan dişlisi ile entegre, kapalı çevrim bir motor kontrol sistemi oluşturulmasıdır. Bu sistemde merkezde step motor olacak şekilde proje şekillendirilecektir.

Amacın alt kırınımları şu şekildedir:

- NEMA23 Standartlarına uygun planet redüktör tasarımı ve üretimi

yapılması ve aynı zamanda tasarlanan dişli kutusunun NEMA23 standartlarındaki motor tiplerinin ürün boyutlarını geçmeyecek şekilde tasarlanması.

- Tasarlanan planet redüktöre entegre edilebilir solucan dişlisi tasarımı.
- Planet redüktör ve solucan dişlisinin tek parça halinde STEP motora entegrasyonu.
- Kurulan kapalı çevrimi kontrol edilebilir devre tasarımı gerçekleştirilmesi.
- Sürücü entegreli devre kartı tasarımı
- Bütün bir sistemin başarı ile kullanılabilirliğinin ispatı.

II. YÖNTEM

Çalışmayı iki ana başlıkta inceleyebiliriz:

1. Servo motor kutusu tasarımı
2. Sürücü entegreli baskılı devre kartı tasarımı

II.1. Servo Motor Kutusu Tasarımı

Servo motor, kapalı devre bir motor sistemidir. Servo motorlarının içerisinde; DC ya da AC motor, şaft, dişli, enkoder, kontrol kartı ve amplifikatör yer almaktadır. Servo motorlarda bulunan bu parçalar, normal bir motorun sahip olmadığı bir açı, konum ve hıza sahip olmalarını sağlamaktadır. Servo motor, analog ya da dijital bir elektrik sinyali ile kontrol edilmektedir ve bu kontrolü sürücüler yardımıyla sağlar. Yine sürücü yardımıyla konum ve hız geri bildirim sağlanır. Bunların yanı sıra pek çok servo motor çeşidi bulunmakta ve bu motor çeşitleri özellikle robotik endüstrisinde çok rağbet görmektedir. Servo motorların en büyük avantajları torklarının yüksek olması, yüksek hız kontrolünün kolay olması ve motordan geri bildirim sağlanmasıdır.

Bu çalışmada ürün tasarlanırken dişliler yardımı ile ortaya çıkan dişli kutusunun step motora vidalar yardımı ile entegre edilmesi ve tasarlanan sürücü kartının da entegre

edilmesiyle step motor, servo motora dönüştürülecektir. Kullanılacak dişli sistemi bir sonsuz dişli ve bir planet redüktörden oluşacaktır. Sonsuz dişli tercih edilmesinin sebebi ters yönde gelen bir kuvvetin, ağırlığın dişlilere dikey bir kuvvet uygulayarak doğal bir fren görevi görmesi ve bu kuvvetlerin motoru hareket ettirememesidir. Planet dişli kullanılmasının sebebi ise tork miktarının artırılarak servo motorların en büyük avantajlarından biri olan büyük kuvvetlere karşı gerekli kuvveti bizim sistemimiz için de sağlayabilmektir, yüksek tork gereken alanlarda kullanılmasına olanak sağlamaktır.

Sonsuz dişli (Fig. 200), bir sonsuz dişlinin (vida şeklinde bir dişli) ve bir yuvarlak bir dişli ile birbirine geçtiği bir dişli çeşididir. Diğer dişli düzenekleri gibi, bir sonsuz dişli, dönüş hızını azaltabilir veya daha yüksek tork iletebilir. Sonsuz dişli tahrik ünitelerinin en büyük avantajlarından biri hareketi 90 derecede aktarabilmeleridir. Sonsuz dişli tahrikindeki sonsuz dişli tek veya birden fazla temas noktasına sahip olabilir. Tek bir temas noktasına sahip bir sonsuz dişlinin 360 derecelik her tam dönüşü, dişliyi bir diş ilerletir. Çok başlangıçlı bir solucan için dişli redüksiyonu, dişlideki diş sayısının sonsuz vida temas noktası sayısına bölünmesiyle elde edilir. Dişlilerin birbirine geçmesi sırasında sonsuz dişlinin ve dişlinin kayma ve sürtünme durumları oluşur. Kayma sırasındaki sürtünme nedeniyle çok fazla ısı üretilir ve bu da sonsuz dişlilerin verimini yüzde 30 ila 90 arasında sınırlar. Sonsuz dişli ve karşısındaki dişli hesaplamaları şu şekilde yapılır;

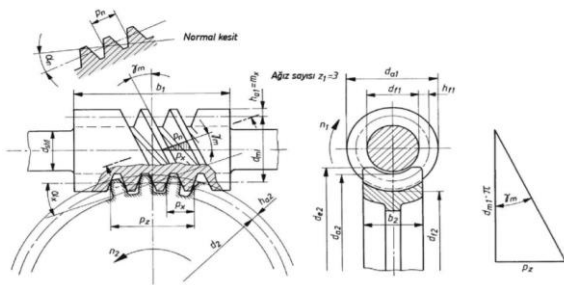


Fig. 200. Sonsuz dişli

Vidanın aksel taksimatı = $p_x = \pi * m_x$,
 Çarkın alın taksimatı = $p_{t2} = \pi * m_t$,
 Vida stroku = $p_z = z_1 * p_x = z_1 * \pi * m_x$
 Vida eğimi = $\tan \gamma_m = p_z / (\pi * d_{m1}) = z_1 * m_x / d_{m1}$ şeklindedir. Form faktörü ise $q = d_{m1} / m_x$ şeklinde hesaplanır. Form faktörü sonsuz vidanın eğilmeye karşı rijitliğini karakterize eder. Değeri 6 ile 17 arasında seçilir. Tavsiye edilen değerler ise 10, 12 arasındadır. Vida eğim açısı (γ_m) için önerilen aralık ise 15 ve 25 derece arasındadır [1].

Fig. 201'de gösterilen planet dişlisinde, bir çevre dişlisine eşit şekilde yerleştirilmiş pinyon dişliler, içe ve dışa doğru dişleri bulunan bir çarkın arasında eş merkezli bir yörüngede dönerler. Pinyon dişlilerin sabit çevrenin etrafında dönmesi, güneş sistemindeki gezegenlerin yörüngesini andırır. Bu nedenle uydu dişlilerine planet çark dişlisi, redüktörü ya da planet dişlisi, redüktörü adları da verilir. Üzerinde iç dişliler bulunan gövdeye sabit çevre dişlisi denir. Bu gövde genellikle sabittir. Tahriki uygulayan merkez dişli, ki buna güneş dişli de denir, çevre dişlisinin ortasında bulunur ve çıkış tarafına koaksiyel olarak yerleştirilmiştir. Genellikle bir sıkma sistemi ile bağlanan merkez dişli, motor miline mekanik bağlantıyı sağlar. Bir aktarma kolu üzerinde bulunan planet çarkları, merkez dişli ile sabit çevre dişlisi arasında dönerler. Aktarma kolu aynı zamanda redüktörün çıkış milidir. Planet çarklarının fonksiyonu, gerekli torku aktarmaktır. Planet çarklarının diş sayısının, redüktörün aktarma oranına herhangi bir etkisi yoktur. Aynı şekilde planetlerin (uyduların) sayısı da değişken olabilir. Planet çarklarının sayısı arttıkça yükün dağıtımı, buna bağlı olarak da aktarılan torkun kuvveti yükselir. Birbirine geçen dişlerin sayısı arttıkça dönme gücü düşer.

Toplam gücün yalnızca bir kısmı dönme gücü olarak aktarıldığından, planet redüktörlerinin verimliliği oldukça yüksektir. Planet redüktörü, basit bir düz dişli redüktörle karşılaştırıldığında, planet

redüktörün avantajı tam da bu yük dağılımından kaynaklanır. Yani planet redüktörler, kompakt bir yapıyla yüksek torkları yüksek verimlilikle aktarma olanağını sunarlar.

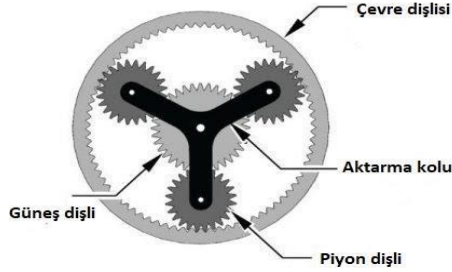


Fig. 201. Planet dişli

Planet dişlisindeki dönme oranları $N_g, N_ç$ sırasıyla güneş dişlisi, çevre dişlisi dişli sayısı ve $w_g, w_ç, w_a$ sırasıyla güneş dişlisi, çevre dişlisi, aktarma kolu açısal hızları olmak üzere $N_g * w_g + N_ç * w_ç = (N_g + N_ç) * w_a$ şeklinde hesaplanabilir. Torku belirlemek için en az bir torkun bilinmesi gerekir. Eğer bir tork biliniyorsa $\tau_ç, \tau_g, \tau_a$ sırasıyla çevre dişlisi, güneş dişlisi ve aktarım kolu torkları olmak üzere torklar şu şekilde hesaplanır [2]:

- $\tau_ç = -\tau_a * (N_ç / (N_ç + N_g))$
- $\tau_a = -\tau_ç * ((N_ç + N_g) / N_ç)$
- $\tau_g = -\tau_a * (N_g / (N_g + N_ç))$

Bu çalışmada, sonsuz dişli ve planet dişli öğrencilere ücretsiz lisansı verilen Fusion 360 programı kullanılarak NEMA23 standartlarını aşmayacak boyutlarda tasarlanmış ve simülasyonları yine Fusion 360 programında yapılmıştır.

Bir diğer konu ise tasarlanan dişli kutusunun 3 boyutlu yazıcı ile üretilmesi ve hazırlanacak prototip için doğru filamentin seçilmesidir. Pek çok çeşitte 3 boyutlu yazıcı ve 3 boyutlu yazıcıların hammaddesi olan filament çeşitleri bulunmaktadır. Her 3B yazıcı tipinin avantajları ve dezavantajları vardır, bu yüzden kullanım amacına göre seçilmelidir. Prototipimiz için “Fused Deposition Modeling (FDM)” tipinde bir yazıcının yeterli olacağı

düşünülmüş ve bütün üretimi bu tipte bir yazıcıda tamamlanmıştır. Bu tipteki 3B yazıcıların çalışma prensipleri oldukça basit, önce kullanılan malzemeyi eritiyor ve sırasıyla her z eksenine katman katman yerleştiriyor.

Bir diğer husus ise filament seçiminin doğru yapılması ve amaca yönelik seçilmesidir. Tablo 15’te bu proje için kullanılabilir filamentlerin ana özelliklerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

Filament	PLA	ABS	PETG	TPU (Flex)
Sıcaklık	160-220 °C	210-250 °C	210-250 °C	190-245 °C
Yatak Sıcaklığı	0-70 °C	80-110 °C	0-75 °C	0-60 °C
Soğutma Gerekliği	Evet	hayır	evet	evet
Dayanıklılık	**	**	***	***
Isıya dayanıklılık	*	**	***	**

Tablo 15. Filament özellikleri

Filament özellikleri dikkate alındığında en uygun filament tipi PETG tipi filamentidir, ancak elimizde olan çok gelişmemiş 3 boyutlu yazıcıyı da hesaba kattığımızda, basım kolaylığından ötürü de PLA filamentini kullanmayı tercih ettik.

II.2. Sürücü Entegreli Baskılı Devre Kartı Tasarımı

Mevcut sistemde kullanılması planlanan sürücüler NEMA23 model step motorlardır. Projede planlanan kullanım yöntemi ise NEMA23 model step motorları bir servo motora dönüştürmek ve o şekliyle kullanmaktır. Bunun yanı sıra çok daha düşük gerilimlerde çalışan servo motorların çoğu ise genelde sadece 180 derecelik bir hareket alanına sahiptirler. Buna karşın kontrolü çok daha kolay olan step motorların bakımı ise yine servo motorlara göre daha kolaydır. Ayrıca yüksek hassasiyet gerektiren sistemde step motoru servoya çevirmek hareketin hassas bir şekilde kontrol kalitesini artırmak açısından daha verimli olacaktır.

Hareket kontrolünde sürücülerden en dıştaki dişliye aktarımını sağlıklı bir şekilde gerçekleştirmek için ise dişlilerin birbirlerine göre oranına ve sürücünün her adımının kaç derece olduğuna dikkat edilmeli ve aktarım bu doğrultuda sağlanmalıdır.

Motor sürücülerin hareketini sağlayacak devre şeması ilk olarak bir devre çizim programı aracılığıyla oluşturulmuştur. Bu çizim programında sürücüler için kullanılması planlanan devre kartı motor sürücüsü entegreli olacak şekilde buna dahil olarak tasarlanmıştır. Bunun için ise kullanılması öngörülen PCB çizim programı Kicad olarak belirlenmiştir. Ücretsiz erişilebilir olmasına karşın yüksek kalitede olanaklar sunan Kicad, şematik ve PCB çizimi, kütüphane yönetimi, 3B görüntüleme ve üretim için gerber dosyası oluşturabilme yetenekleriyle öne çıkan bir tasarım otomasyon programıdır. Bu programda ilk olarak PCB tasarım için gerekli devre şeması oluşturuldu. Devre şemasının tamamlanmasının ardından ise PCB tasarım için gerekli olan komponentlerin devre kartı üzerindeki yerlerini belirleyecek olan ayak izleri tasarlandı. Sonraki adım olarak ise bu komponentler arası bağlantı yolları oluşturuldu ve 3 boyutlu modellemesi gerçekleştirildi.

Dişli kutusu tasarımı için kullanılmak üzere motor sürücü entegreli devre kartı için ilk adımda Fig. 202'de gösterilen devre şeması oluşturulmuştur [4].

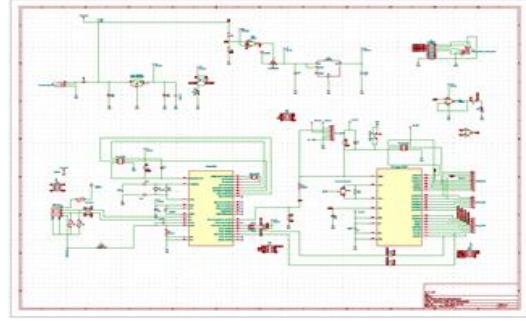


Fig. 202. PCB Devre Şeması

PCB tasarımının sonraki aşamasında devre şeması üzerindeki parçaların ayak izi modelleri oluşturuldu ve bağlantı yolları oluşturulmak üzere hazır hale getirildi. Ayak izleri eklenen parçalar arasındaki bağlantı yolları kesişmemesi amacıyla çift katmanlı olacak şekilde tasarlanmıştır. Üst katman kırmızı renkle gösterilirken alt katman ise yeşil renk ile belirtilmiştir. Motor sürücüsü entegreli devre kartı tasarımının güncel hali ise Fig. 203'te belirtildiği üzeredir.

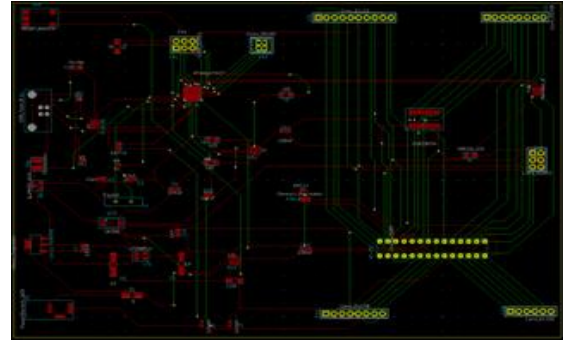


Fig. 203. Motor sürücüsü entegreli PCB tasarım

III. SONUÇLAR

Üretimde büyük parçalarda çok zorluk yaşanmasa da en zorlanılan kısım küçük parçaların basımı olmuştur, çünkü küçük parçalar maalesef tabla kısmına yapışmadılar. Bu sorunu çözmek için Fig. 204'te görüldüğü üzere pek çok deneme

yanılma yöntemi yapılarak, en uygun çözümün etek kullanılarak baskı yapmak olduğu sonucuna varılmıştır.



Fig. 204. Üretim denemeleri

Dişli kutusu tasarımı solucan dişlisi ile başlamış, Fig. 205'te görüldüğü gibi ilk kısmı tamamlanmıştır. Çıkış ekseninin, mil çıkış eksenine eşit olması için 90 derece açılı dişliler kullanılmıştır.

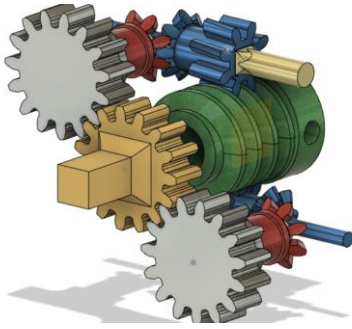


Fig. 205. Solucan dişlisi

Yapılan testlerde solucan dişlinin küçük parçası, Fig. 206'daki sol dişli, gerekli dayanımı sağlayamamıştır. Bu yüzden parça tekrar tasarlanıp, güçlendirilerek tekrar üretilmiştir.

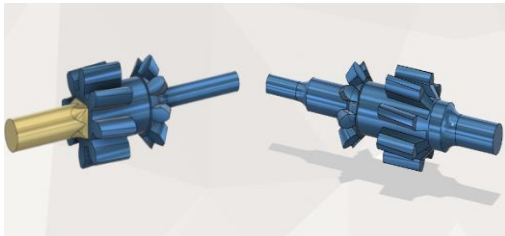


Fig. 206. Güçlendirilen dişli

Sonrasında planet redüktörü Fig. 207'de gözüktüğü gibi tasarlanmış, tasarımda birbirine ters yönlü dişli yapısı kullanılarak gezegen dişlilerin rayda tutunmaları sağlanmıştır.



Fig. 207. Planet dişlisi

Sonuç itibari ile üretilen dişli kutusu (Fig. 208.) NEMA23 motorlarına doğrudan 4 vida ile takılıp kullanılabilir.

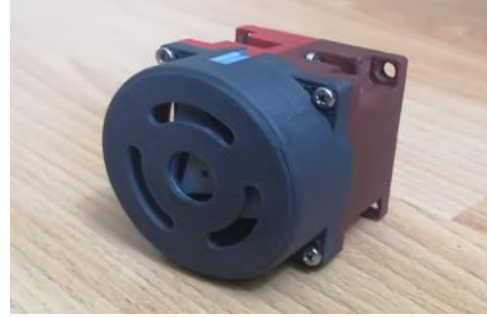


Fig. 208. Üretilen dişli kutusu

Parçaları tamamladıktan sonra tabii ki teste ihtiyacımız var. Step motoru çalıştırmak için önce bazı bileşenlere ihtiyacımız var, ne yazık ki basit DC motorlar gibi güç sağlandığında çalışmaya başlayan motorlar değil. Test için önce bir step motor sürücüsüne, bir Arduino'ya ve bir güç kaynağına ihtiyacımız var. Kullandığım NEMA23 step motor 12 volt ve 3 amper gerektiriyor. Step motor sürücüsü için TB6600 sürücüsü tercih edildi, bu cihaz 42 volt ve 4 amper akıma kadar destekliyor. Güç kaynağı için ise şebeke voltajını 12 volt ve 5 ampere düşüren RT-1101 tercih edildi. Step motorun 8 kabloya sahip bu yüzden

kablları 4'e düşürerek Fig. 209'daki gibi bir devre şeması ile bağlantılar kuruldu.

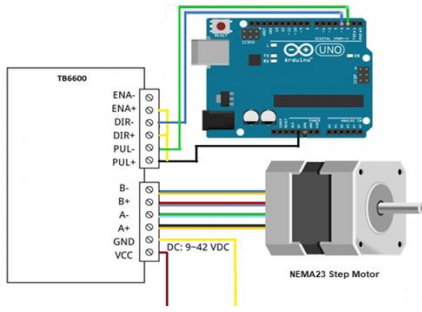


Fig. 209. Test devre tasarımı

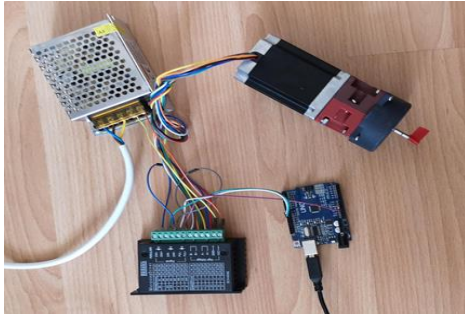


Fig. 210. Üretilen dişli kutusu

Yapılan testler sonucunda tasarlanan dişli kutusunun başarı ile çalıştığı kanıtlandı. Devre şeması oluşturulan ve ayak izi modelleri eklendikten sonra bağlantı yolları oluşturulan devre kartı tasarımının 3 boyutlu görüntülenmesi için gerekli modeller KiCad üzerinde bulunmadığı için KiCad'e yardımcı olarak FreeCAD uygulaması kullanılmıştır. 3B modeller FreeCAD üzerinde uygun formata dönüştürüldükten sonra 3B modelleme kullanılmak üzere tekrar KiCad kütüphanesine taşınmış ve ölçüleri bu doğrultuda ayarlanmıştır. 3B modelleme ise Fig. 211'de ve Fig. 212'de belirtildiği üzeredir.

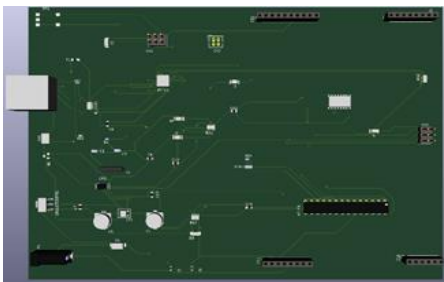


Fig. 211. PCB tasarım 3B görüntüleme üst katman

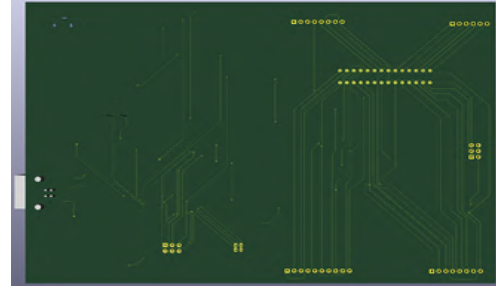


Fig. 212. PCB tasarım 3B görüntüleme alt katman

IV. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK 2209-B - Sanayi Odaklı Lisans Bitirme Tezi Destekleme Programı kapsamında desteklenmiştir. Proje Numarası: 1139B412001033

V. REFERANSLAR

- [1] Koçak, S., 2017, "Innovative Design for A Ball Worm Gear Mechanism", *International Journal of Engineering Technologies IJET*, 3(4), 230-234
- [2] Childs, P. R. N. (2019). 11 - Worm gears. In P. R. N. Childs (Ed.), *Mechanical Design Engineering Handbook (Second Edition)* (Second Edition, pp. 513–531).
- [3] Smith, W., et al. 2013. "Gear diagnostics in a planetary gearbox: a study using internal and external vibration signals.", *International Journal of Condition Monitoring*, 3(2), 36-41.
- [4] Barış Samancı. (2016). KiCAD Part1: KiCAD Nedir? Tanıtım
- [5] Mutlu, Ozan, Entwicklung eines Servosystems mit geschlossenem Regelkreis für NEMA23-Schrittmotoren. İstanbul: Türk-Alman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Lisans Tezi, 2021.

MOBİL UYGULAMA TARAFINDAN KONTROL EDİLEBİLEN HAREKETLİ KAMERA SİSTEMİ

Okan ARSLAN*, Beyzanur KAHYAOĞLU, Abdulkadir ŞANLI

Türk – Alman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği, Şahinkaya Cad.

No 85, Beykoz/İstanbul

ÖZET

Günümüzde Drone'ların kullanım alanlarının arttığı ve birçok sektörde kullanıldığı bilinmektedir. Drone kullanımının insan hayatına entegrasyonu, birçok sektöre olduğu gibi turizm sektörüne de kolaylıklar getirmiştir. Güncel hayatımızın en büyük sorunlarından, Covid-19 pandemi koşulları turizm sektörünü olumsuz etkilemiştir. Fakat turizmi olumsuz etkileyen tek etken pandemi olmayıp, bunlara finansal yetersizlikler, zaman kısıtlılığı ve fiziksel koşullar gibi etkenler de eklenebilir. Bu sebeple, insan hayatındaki olumsuzlukların önüne geçilmesi ve kolaylaştırılmış seyahat seçeneklerinin Drone ve sanal gerçeklik teknolojilerinin yardımıyla ortaya çıkması amaçlanmaktadır. Bu çalışma kapsamında, kullanıcının çevreyi canlı seyretmesini sağlamak için bir sanal gerçeklik (*ing.* virtual reality (VR)) gözlük ve kamera entegre edilmiş Drone yardımıyla bunların iletişimini sağlayacak mobil uygulama geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu çalışmada ilk olarak, mobil uygulama üzerinden uygun haberleşme bileşenleriyle kameradan alınan canlı görüntünün kullanıcıya sunulabilmesi hedeflenmektedir. Daha sonra, sistemin çalışma prensiplerinin uygunluğuyla birlikte bu görüntüleri bir Drone üzerinden almak için kameranın Drone üzerindeki tasarımının geliştirilmesi ve son olarak Drone tarafından alınan görüntüyü bir sanal gerçeklik gözlüğü yardımıyla uygulama üzerinden kullanıcıya iletilmesi amaçlanmaktadır. Kullanıcı böylelikle sanal gerçeklik gözlüğü ile bakmak istediği yön ile Drone üzerindeki kameranın o yöne hareketinin kullanıcıya iletiminin başarıyla sağlanması sonucunda, mobil uygulama sanal gerçeklik seyahatini mümkün kılacak bir altyapıyla istenilen şartlarda istenilen yere sanal seyahat imkanına ulaşılmış olacaktır. Sonuç olarak, bu çalışmada geliştirilecek mobil uygulama ile belli noktalar arasında seyahatte olan bir Drone tarafından elde edilen kamera görüntülerini sanal gerçeklik gözlüğü ile kullanıcıya iletilmesinin yerel olarak üretilmiş ilk örnekleri ortaya çıkmış olacaktır. Kullanılan sistem farklı yönlerden de geliştirilmeye açık olmakla birlikte elde edilen geliştirmeler sanal sosyal yaşama girişi de başlatmaya uygundur.

Anahtar Kelimeler: Sanal Seyahat, Drone, Sanal Gerçeklik.

I. GİRİŞ

Günümüzde, gelişen teknoloji ile birçok alanda kullandığımız aletler, cihazlar sürekli bir yenilenme halindedir. Bununla beraber teknolojiden yararlanabileceğimiz alanlar da gün geçtikçe artmaktadır. Günümüz sosyal ortamında maddi imkansızlıklar, zaman sınırlamaları ve COVID-19 pandemisi sebebiyle seyahat ve

turizm sektörü büyük bir yara almaktadır. Araştırmalara göre turizm sektörü dünya genelinde yılın ilk çeyreğinde bir önceki yıla göre %22 oranında azalmakla birlikte Mart ayında ülkelere gelen turist sayısı %57 azalmıştır. Bu oran 67 milyon turist ve 80 milyar \$ gelir kaybı anlamına gelmektedir. Covid-19 salgın hastalığı ilerleyen zaman dilimlerinde seyahat kısıtlamalarına ve sınırların kapatılmasına bağlı olarak turist sayılarında %58 ile %78 düşüşlerin olacağına işaret etmektedir [1]. Literatürde

yer alan çalışmalarda, H. Hlavacs ve ark [2] dronelerin sanal turizmde kullanılmasıyla ilgili yaptıkları çalışmada “Sanal gerçeklik, turistlerin gerçek bir ziyarete kısmi alternatifler olarak kabul edebileceği ve kullanabileceği sanal deneyimler yaratmak veya genişletmek için turizme birçok yararlı fırsat sunuyor, özellikle turizmin pazarlama, eğlence veya sanal eğitim gibi alanlarında kameranın stabil kalması sağlanamamıştır. Burada, sanal gerçeklik (ing. Virtual Reality (VR)) yayını direkt olarak Oculus vr gözlük sistemine aktarılmıştır. Titreşimlerin tam olarak giderilememesi çalışma sonucundaki eksiklik olarak belirtilmiştir. Bu çalışmada özgün değer olarak yayının ve hareket kontrolünün yapıldığı bir mobil uygulama geliştirilmiştir.

Bu çalışma, seyahati insan hayatında kolaylaştırmayı, görülmek istenen yerler için gerekli maliyeti orada bulunmaktan çok daha düşük maliyetlere indirgemeyi ve çok daha az zaman kaybıyla dünyamızı keşfetmeyi amaçlamaktadır. Bunun yanında, kullanıcıların görüntü almak istedikleri noktalarda kameranın hareket ettiği canlı yayın sağlayabilen uygulama sistemini gerçekleştirmektedir. Çalışma kapsamında geliştirilecek sistemde, gezmek istenilen lokasyonlar arasında etrafı seyrederek seyahat etme imkanı sunan bir mobil uygulama geliştirmek amaçlanmaktadır. Bu mobil uygulama bir elektronik devre bağlantısı ile iletişimde olacak, kullanıcıya görüntüyü aktarma ve görüntünün hangi yönden iletileceğini kullanıcı kontrolleriyle belirleyecektir. Belirlenen zaman planlamasında çalışmanın üç eğitim dönemi boyunca devam ettirilmesi planlanmıştır.

Uygulama ve kamera arasındaki bağlantılardan sonraki aşama olarak görüntünün “Sanal Gerçeklik” yayınına elverişli şekilde kullanıcıya iletilmesi ve bu sistemin bir Drone üzerinden aktive edilerek uzun mesafelerde yürüyüşe benzeyen seyahat olanağı sunması istenmektedir. Çalışmanın, Drone uçuşunun

izne tabii tutulması, sistem ve kullanıcı arasında sürekli bağlantı sağlanması, Drone uçuşunun hava şartlarından etkilenmesi gibi birçok zorluğa sahip olduğunu belirtmek gerekir [3]. Daha önceki benzer çalışmalar göz önünde bulundurulduğunda, sistemin hazır bir Drone üzerine entegre edilmesi, yeni bir Drone üretilmesinden daha ulaşılabilir bir hedef olduğu sonucuna varılmaktadır.

II. YÖNTEM

Bu ana başlıkta çalışmanın gerçekleştirilmesi için tamamlanması gereken adımlar 3 alt başlıkta incelenmiştir.

II.1 Kamera Hareketi ve Görüntü için Mekanik Parçaların Tasarımı ve Üretimi

Kamera kontrolü ve görüntü sisteminin çalışabilmesi için gereken canlı yayın yapan kamera modülünün yerleştirilebileceği bir kasa ve bu kasanın montajlanabileceği bir hareket kiti gerekmektedir. Yararlanılan kasa tasarımı, incelenen ESP32-Cam modülünün boyutlarına 2.7 cm x 4 cm x 1.6 cm- sahiptir ve 8 mm x 8 mm kamera alanı vardır. Fig. 213.a’da anlatılan örnek tasarımın hareket ettirilmesi için 2 servo motor yardımıyla hareket ettirilecek bir parçaya ihtiyaç vardır. Bu parçanın hareketi x ve y eksenleri üzerinde + ve – değerler arasında oluşturulmalıdır. Bu nedenle ihtiyaç duyulan parça için Fig. 213.b’de gösterilen tasarımdan yararlanılmıştır.

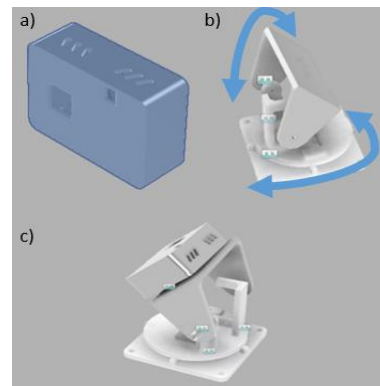


Fig. 213. Kasa ve Mekanik Sistem Tasarımları. (a) ESP32-Cam, (b) Mekanik Sistemin tasarımı ve (c) a ve b parçalarının montajı

Mekanik Parçaların Tasarımı alt başlığında açıklanan sistem için gerekli parçalar 0.05-0.4 mm baskı hassasiyetine sahip “Ender 3 Pro” model FDM yazıcı ile temin edilmiştir. Parçaların üretiminde ise Akrilonitril bütadien stiren (ABS) filamentine göre daha dayanıklı olan 1.75 mm Polilaktik asit (PLA) filament kullanılmıştır [4]. Bu parçayı hareket ettirmek için üretilen bir diğer parçanın servo motorlarla montajlanmış hali Fig. 214’te gösterilmiştir. Bu tasarımın üzerine yerleştirilen kamera modülü yatay ekseninde sağdan sola ve dikey ekseninde yukarıdan aşağıya 180° hareket kabiliyetine sahiptir.



Fig. 214. Üretilmiş Mekanik Parçaların Montajı

II.2. Kamera Hareketi ve Görüntü için Elektronik Sistem Tasarımı ve Üretimi

Çalışmanın gerçekleştirilmesinde tasarlanan elektronik kısım, canlı yayın sağlama, kamerayla uygulama arasındaki iletişim ve motorların kontrol edilerek kamera hareketinin sağlanması gibi özelliklerinin kullanılabilmesi için önemlidir. Öncelikle uygulamaya bir görüntü gönderilmesi gerekmektedir. Bunun için ESP32-Cam Wi-Fi modülü kullanılmaktadır. Bu modül üzerinde gerekli çalışma yapıldıktan sonra, 5V gerilim verildiğinde bağlı olduğu Wi-Fi ağına IP bağlantısı üzerinden canlı yayın sağlayabilme özelliğine sahiptir [5]. ESP32-Cam Wi-Fi modülü bu canlı yayını üzerine bütünleşmiş kamerası yardımıyla yapabilmektedir. Fig. 215’te ESP32-Cam modülünün programlanması için gerekli bağlantılar gösterilmiştir.

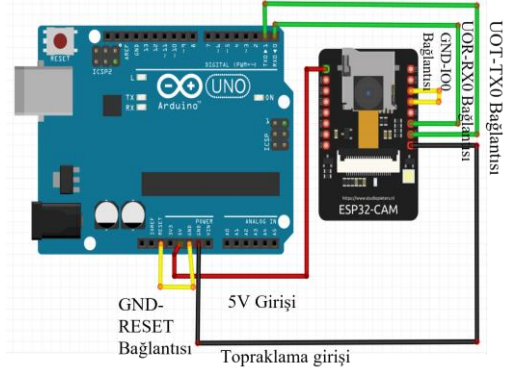


Fig. 215. ESP32-CAM Modülü Bağlantı Tasarımı

Kamera hareketlerinin kontrol edilebilmesi için motorların uygulama ile iletişiminin sağlanması gerekmektedir. Bu iletişim ise ESP8266 NodeMCU yardımıyla sağlanacaktır. Bu mikrokontrolcü, üzerine entegre Wi-Fi ve programlanabilir pin dizaynı ile uygulamada kullanıma elverişlidir. Bu NodeMCU aracılığıyla kontrol edilecek kamera hareketleri görüş açısını değiştirmede yardımcı olacaktır. Sanal gerçeklik gözlüğü takmış olan kullanıcıdaki hareketler MPU9250 9 Eksen Gyro İvme Manyetometre Modülü yardımıyla motorlara iletilecek ve kamera hareketleri gerçekleştirilecektir. MPU9250 modülünün gözlük üzerine entegrasyonu birlikte kafa hareketlerini motorlara ileterek yayını istenilen yöne çevirecektir. Gözlük kullanmadan uygulama üzerinden hareket kontrolü ise uygulamadaki kontrol butonlarının NodeMCU ile iletişimiyle gerçekleştirilecektir. Fig. 216’da ESP8266 modülünün motorları kontrol etmesi için kullanılan devre tasarımı gösterilmiştir.[6]

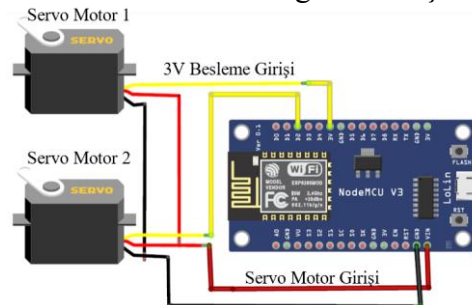


Fig. 216. NodeMCU ve Servo Motorların Bağlantı Tasarımı

“Kamera Hareketi ve Görüntü için Mekanik Parçaların Tasarımı ve Üretimi” alt

başlığında gösterilen Fig. 217'deki parçalar ve "Kamera Hareketi ve Görüntü için Elektronik Sistem Tasarımı ve Üretimi" alt başlığında tasarlanan parçaların birleştirilmesi Fig. 215'te ve Fig. 216'da gösterildiği gibi tamamlanmıştır. Fig. 219'da sistemin genel görünümü gösterilmiştir. Bu anlatım uygulama üzerinden yönlendirilen motorları istenilen alana doğru hareketlenerek görüntüyü o yönden aktarılmasını açıklamaktadır. Devre tasarımı ilerleyen aşamalarda MPU9250 gibi diğer parçaların entegre edilmesi, sanal gerçeklik yayınının sağlanması ve hareketlerin iletilmesi gibi geliştirmelerle devam edecektir. Bu bağlantılardan ve düzenlenen programlamadan sonra güç kaynağına bağlı kaldığı süre boyunca mobil uygulama üzerinden yayın yapmaya elverişli bir kamera ve kontrol edilebilir motorlar elde edilmiştir.

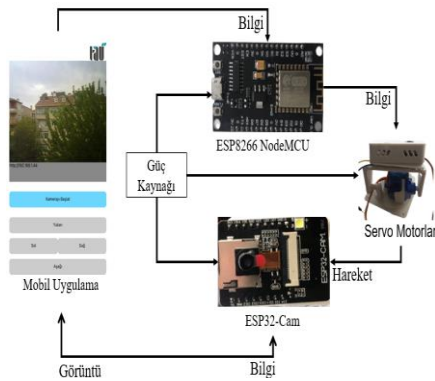


Fig. 217. Tasarlanan Mobil Uygulama Tarafından Kontrol Edilebilir Hareketli Kamera Sisteminin Çalışma Mekanizmasının Genel Görünümü

II.3. Kamera Hareketi ve Görüntü için Mobil Uygulama Tasarımı ve Geliştirilmesi

Bu çalışma ve devamı için tasarlanacak mobil uygulamanın bazı yetkinliklere sahip olması gerekmektedir. Uygulama, kullanıcının giriş yaptıktan sonra istediği istikamette seyahat etmesini sağlamada aracı görevindedir.

Seyahat edilmek istenen istikamet için Drone ile bağlantı sağlandıktan sonra kullanıcı kamera kontrolünü ele alarak

seyahat eden Drone üzerinde istediği yönü seyredebilecektir. Bunun sağlanması 2 farklı seçenikle mümkündür. Eğer kullanıcı sanal gerçeklik gözlüğüne sahipse, bağlantının ardından mobil cihazını sanal gerçeklik gözlüğüne yerleştirerek etrafı seyredebilir. Sanal gerçeklik gözlüğüne sahip olmayan kullanıcılar ise uygulama arayüzünde bulunan yön tuşları ile kamerayı kontrol edebilir.

Uygulamanın çalışmasındaki akış diyagramı Fig. 218'de gösterilmiştir.

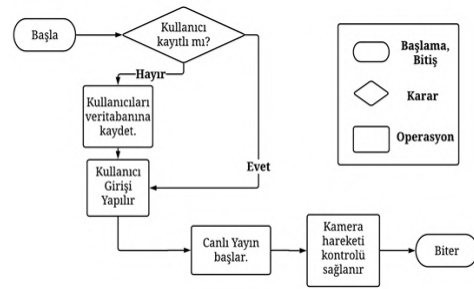


Fig. 218. Mobil Uygulamanın Akış Diyagramının Şematik Gösterimi.

Kamera hareketi ve görüntü aktarımının sağlandığı mobil uygulamanın geliştirilmesi için MIT App Inventor platformu seçilmiştir. Uygulamanın geliştirilmesi için gerekli olan kodların sözde (pseudo) kod hali aşağıda verilmiştir:

“BAŞLA

Kayıt ol butonuna tıklandığında:

Firestore'i çağır.

Kullanıcıdan alınan değeri şifre olarak saklamak için etiketle.

Giriş Yap butonuna tıklandığında:

Firestore'i çağır:

Kullanıcıdan alınan değer etiketi varsa Giriş Yap.

Eğer Firestore veri tabanının değeri varsa:

Doğruysa aşağıdakileri yapın,
Etiket ve kullanıcıdan alınan değer eşitse:

Şifre ve Şifre kutucuğundaki değer eşitse;

EKRAN1'in görünürlüğünü YANLIŞ olarak ayarla,

EKRAN2'nin görünürlüğünü DOĞRU olarak ayarla

“Yanlış Kullanıcı veya Şifre” mesajını göster.

IP_Tamam butonuna tıklandığında: EKRAN2'nin görünürlüğü DOĞRU ise: EKRAN2'nin görünürlüğünü YANLIŞ olarak ayarla,

EKRAN3'ün görünürlüğünü DOĞRU olarak ayarla,

WebView ana sayfa URL'sini kamera ip metnini ayarla,

WebView'i çağır: WebView ile ana sayfa URL'sine git BİTİR”.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu ana başlıkta “Yöntem” ana başlığında belirtilen çözüm yolları izlenerek ulaşılmış sonuçlara yer verilecektir. Daha sonra burada elde edilen sonuçlar ışığında bu sistem bir Drone'a entegre edilecek ve üzerinde çalışmalar yapılacaktır. Çalışmada elde edilen ilk sonuçlarda, Arduino Uno yardımıyla ESP-32 Cam modülünün canlı yayını başarıyla sağlanmıştır. MIT App Inventor ile canlı yayın yaparken kameranın yönünü kontrol etmemizi sağlayan bir mobil uygulama geliştirilmiştir Uygulama sistem prototipi “MIT-App Inventor” aracılığıyla tasarlanmıştır [7-9]. Bu tasarımda sisteme üye olup Firebase yardımıyla bilgileri veri tabanına kaydedilen kullanıcılar, giriş yaptıktan

sonra girilen IP adres üzerinden görüntülere ulaşabilir. Kullanıcı giriş ekranı ve giriş yapan kullanıcının adres üzerinden aldığı görüntü Fig. 218'de gösterilmiştir.

İlk olarak kullanıcının sisteme kayıt olması ve giriş yapması istenmektedir Fig. 219'da giriş veya kayıt olunması için gerekli olan kullanıcı adı ve şifrenin girileceği yerleri görüyoruz. Kayıt olan veya daha önce kaydı bulunan kullanıcı sisteme yanlış bir kullanıcı adı veya şifre ile girmeye çalışırsa Fig. 220.b'deki gibi bir uyarı mesajıyla karşılaşmaktadır.

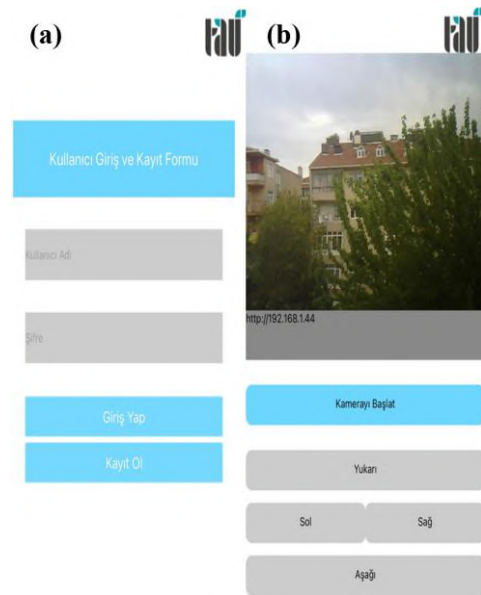


Fig. 219. (a) Tasarlanan Kullanıcı Giriş Ekranı ve (b) Görüntü Ekranı Mobil Uygulama Kullanıcı Arayüzü



Fig. 220. (a) Mobil Uygulama Kullanıcı Kayıt ve Giriş Ekranı ve (b) Yanlış Bilgi Uyarı Metninin gösterimi

Girilen yanlış bilgiyi düzelterip girişini yapan kullanıcı IP giriş ekranına yönlendirilmektedir. Bu ekranda kullanıcı

kamera sistemine erişebilmek için gerekli IP adresini girmelidir.

IP adresi girildikten sonra kullanıcı kamera yayınının olduğu ekrana yönlendirilecektir. Bu kısımda kullanıcı kameranın açılarını Fig. 219.b’de gösterilen yukarı, aşağı, sağa, sola hareket butonları yerine dijital bir kumanda kolu yardımıyla kontrol edebilmektedir. Bu butonlardaki gecikmeleri engelleyebilmek yerine direkt konumlandırma üzerinden kumanda kolunun hareket koordinatlarını motorlara yansıtarak daha hızlı ve daha efektif bir sonuç alınmasına yardımcı olmuştur. Bahsedilen kamera görüntüsü ve hareketi kontrol eden dijital kumanda kolu ekranı Fig. 222’de gösterilmiştir. Fig. 221’de gösterilen ekranda canlı yayın görüntüsü ve bu görüntüyü hareket ettirecek, Fig. 222’de gösterilen motorların kontrolünü sağlayan kumanda kolunun uygulama üzerindeki görünümü verilmiştir. Daha önce de bahsedildiği gibi mobil uygulama üzerinden motorların kontrolü, butonlara göre dijital kumanda kolu kullanımı ile daha hızlı ve daha titreşimsiz bir hareket vermesiyle bir iyileştirme olarak kullanılmıştır.

Fig. 221’de “Kontrol Çubuğu Ekranı” olarak gösterilen görüntüdeki gri koordinat sisteminde kontrol çubuğu hareketine göre “Kamera Hareketi ve Görüntü için Mekanik Parçaların Tasarımı ve Üretimi” alt başlığında bahsedildiği gibi kameranın konumu ayarlanmaktadır.

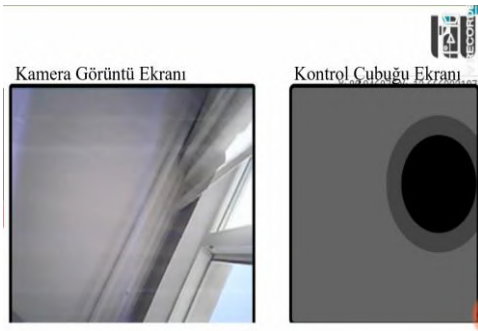


Fig. 221. Canlı Yayın Görüntüsü ve Motor Kontrol Kumandası ekranı

IV. SONUÇ

Bu çalışmada sanal seyahat üzerine Drone kullanımının ilk aşaması olan “Mobil Uygulama Tarafından Kontrol Edilebilen Hareketli Kamera Sistemi” tamamlanmıştır. Oluşturulan sistemde Arduino temelli ve Wi-Fi yardımıyla çalışan bir uzaktan kontrol devresi yer almaktadır. Bu elektronik devre bize bir mobil uygulama üzerinden görüntü alma ve görüntü alınan kamerayı uygulama üzerindeki butonlar ile sağa-sola, yukarı-aşağı hareket ettirme olanağı sağlar. Bu sayede çevreyi geniş bir açıdan görülür.

Kamera hareketinin sağlanması için kullanılan tasarımlar önceki başlıklarda da belirtildiği gibi 3 boyutlu yazıcıdan bastırılmıştır. Sistemin geliştirilmesinde ESP32-Cam, ESP8266 NodeMCU, Arduino Uno ve servo motorlar kullanılmıştır. ESP32-Cam, Arduino uyumlu ve wifi entegreli kamera olarak yayını sağlamada ESP8266 NodeMCU ise motorları kontrol etmek için kullanılmıştır. Kameranın gösterdiği açıyı değiştirme için istediğimiz motor hareketlerini gönderen mobil uygulama ise MIT-App Inventor aracılığıyla geliştirilmiştir. Yapılan bilgi transferindeki kolaylıklar ve arayüz kullanışlılığı için bu sistem tercih edilmiştir. Fig. 217’de gösterildiği gibi telefon ekranında bir adet kamera görüntüsü ekranı ve kameranın hareketlerini kontrol edebilmek için kumanda kolu ekranı bulunmaktadır. Montajlanmış hareket kontrollü canlı yayın sisteminde, mobil uygulama tarafından kamera konumunun kontrol çubuğunun hareketine göre yaptığı hareket Fig. 222’de gösterilmiştir. Bu hareketin daha detaylı anlaşılabilmesi için “Kamera Hareketi ve Görüntü için Mobil Uygulama Tasarımı ve Geliştirilmesi” alt başlığında gösterilen Fig. 213. Kasa ve Mekanik Sistem Tasarımları şeklindeki b) şikkı incelenebilir.

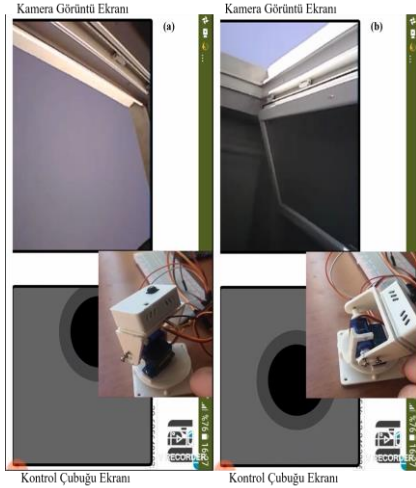


Fig. 222 Farklı Açılardan Canlı Yayın Görüntüsü ve Motor Kontrol Kumandası Ekranı. (a) Kamera Sistemi Hareketi Örneği, (b) Farklı Açılardan İstenen Görüntü ve Kamera Sistemi Hareketi Örneği

Tamamlanmış “Mobil Uygulama Tarafından Kontrol Edilebilen Hareketli Kamera Sistemi” Fig. 222’de gösterilmiştir. Sıradaki aşamalarda bu çalışmadaki canlı yayın görüntüsünü dual 360 derece kamera ile sanal gerçeklik gözlüğü yardımıyla canlı yayını elde edebilecek bir sistem oluşturmak ve oluşturulan sistemin bir Drone üzerine entegre edilmesi gerekmektedir. Bunun için kurulabilecek sistem seçenekleri de farklılıklar göstermektedir.

Örneğin; 360 derece görüntü sağlayan kameraların dışında Raspberry veya Jetson Nano gibi SBC (ing. Single Board Computer)’lar aracılığıyla görüntü işlenerek “Real Time Stereo” yayın sağlanması amaçlanmaktadır. Tabii ki oluşturulacak sistemin temeli bu çalışmanın sonucudur [10]. Çalışmanın sonucunda kullanıcıya Drone’u değil, kamerayı hareket ettirecek yetki verilecektir. Seyahat rotasını belirleyen kullanıcı Drone’u o istikamette süren pilot yardımıyla çevresini rahatlıkla izleyebilecektir.

Çalışmanın ilerlemesi, elektronik devrenin, mekanik tasarımın ve uygulamanın geliştirilmesiyle paraleldir. Bu çalışma gibi sanal gerçeklik temelli çalışma ve uygulamaların gelecekte sosyalleşmenin temelinde yer alması öngörülebilir.

Çalışmanın uygulanabilirliği ile sanal kafe ortamı, sanal spor ortamı, sanal sanat gösterileri gibi çeşitli sosyal olanakları sanal gerçeklik ile birleştirerek zamandan ve imkândan tasarruf ile sosyalleşmeyi kolaylaştırmak amaçlanabilir. Günümüzde sanal gerçeklik teknolojilerinin geleceğine yönelik ciddi yatırımlar sağlanmaktadır ve bu durum ileride dünyamızın geleceği noktayı göstermektedir. Bu nedenle çalışma gelecekte bir sosyal medya uygulaması gibi kullanılabilir bir istihdam kaynağı olabilmesi hedeflenmektedir.

Ayrıca Facebook gibi büyük bütçeli şirketlerin de sanal gerçeklik temelli sosyal medya ve sanal gerçeklik ortamlarına yaptığı yatırımlar, bu yatırımlarla beraber gelişen ve merkeziyetsiz bir yapı içeren blok zincir teknolojisinin aldığı yatırımlar ile birlikte kullanılması amaçlanmaktadır.

Çalışmanın ilerlemesine bağlı yapılabilecek geliştirmelerde bahsedilen sanal kafe vb. ortamlarda yapılması gereken harcamalar veya sanal dünyadaki kullanılan para birimi gibi sanal gerçeklik temelli pazardaki blok zincir ve kripto para faaliyetleri iç içe teknolojiler ve disiplinler arası bir oluşum olmasını amaçlanmaktadır [11]. Hedeflenen büyük bütçeli, uygun tabirle sanal dünya ortamının blok zincir teknolojisiyle iç içe olması da farklı heyecanlar yaratmaktadır.

V. REFERANSLAR

- [1] Gümüş, A. & Hacıevliyagil, N. (2020). Covid-19 salgın hastalığının borsaya etkisi: Turizm ve ulaştırma endeksleri üzerine bir uygulama. Akademik Yaklaşımlar Dergisi, 11(1), 76-97.
- [2] D. M. H. Hlavacs, "Using Drones for Virtual Tourism," Intelligent Technologies for Interactive Entertainment, pp. 144-147, 2014.
- [3] Kahveci, M., & Nazlı, C. A. N. (2017). İnsansız hava araçları: tarihçesi, tanımı, dünyada ve Türkiye'deki yasal durumu. Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5(4), 511-535.
- [4] Aydın, M., Yıldırım, F., & Çantı, E. (2018). Farklı Yazdırma Parametrelerinde PLA Filamentin İşlem Performansının İncelenmesi. International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry, 3(2), 102-115.
- [5] N. S. B. P. S. Nurmuslimah, "A Design Remote Control System to Feed Bird Using ESP8266," International Journal of Recent Technology and Applied Science, p. 84, 2020.
- [6] R. D. Abhinab Shukla, "IOT Based load Automation with Remote Access Surveillance Using ESP32CAM and ESP8266 Module," Annals of R.S.C.B., pp. 6904-6914, 2021.
- [7] Hendrickson, K. E. (2018). Writing and connecting IoT and mobile applications in MIT App Inventor (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology)
- [8] Ahmed, T., Nuruddin, A. T. B., Latif, A. B., Arnob, S. S., & Rahman, R. (2020, April). A Real-Time Controlled Closed Loop IoT Based Home Surveillance System for Android using Firebase. In 2020 6th International Conference on Control, Automation and Robotics (ICCAR) (pp. 601-606). IEEE.
- [9] M. Taştan, "Akıllı Ev Uygulamaları için Yeni Nesil IoT Denetleyici ile Gerçek Zamanlı Uzaktan İzleme ve Kontrol Uygulaması," Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, pp. 481-487, 2019.
- [10] F. Böhm, "Entwicklung eines AR Systems zur Erfassung, Übertragung und Visualisierung bewegter Bilder," Hochschule Offenburg, Offenburg, 2015
- [11] Mofokeng, N. E. M., & Matima, T. K. (2018). Future tourism trends: Virtual reality based tourism utilizing distributed ledger technologies. African Journal of Hospitality, Tourism and Leisure, 7(3), 1-14

