

## 2.4 Ghz ISM bandında NiTi Anten ile yer istasyonuna konum ve bilgi gönderen insansız hava aracı

*\*<sup>1</sup>Şuayip ÖZTAŞ, <sup>2</sup>Hakkı Burak BOZKIR, <sup>3</sup>Adnan Kaya*

<sup>1</sup>Elektronik-Haberleşme Mühendisliği Bölümü, Süleyman Demirel Üniversitesi Isparta, Türkiye

<sup>2</sup>Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Atılım Üniversitesi Ankara, Türkiye

<sup>3</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü İzmir Kâtip Celebi Üniversitesi İzmir, Türkiye

<sup>1</sup>oztastr@hotmail.com,

<sup>2</sup>burakbozkir@hotmail.com,

<sup>3</sup>cellular1973@gmail.com

### Abstract

In this article, vertical take-off and landing (VTOL) type unmanned aerial vehicle (UAV) flying robot, having an attitude stabilization and orientation has been presented. The structural design process of quad-rotor, mathematical model and also designing of a controller process are given. The communication in the system was performed by using WIFI technology and 2.4GHz ISM band. The developed NITI antenna -47.8dB at 2.4GHz frequency was obtained. Developed antenna system were designed to be two different frequency 2.4 and 5.8GHz which are wireless communication industry and dual polarized /802.11b/g/n. Dynamical model of the system is obtained by using Newton-Euler formulations. Visual Studio C# is used for the stabilization of the attitude dynamics and video processing.

**Anahtar Kelimeler:** Quadcopter, Uçan Robot, WİFİ, 2,4 GHZ NiTi Anten

### 1. Özet

Bu çalışmada, döner kanatları ile dikey olarak iniş ve kalkış yapabilen, yönelim ve seyir denetimini sağlayabilecek eyleyici konfigürasyonuna sahip, dört rotorlu uçan robotun yapısal tasarımı, matematiksel modellemesi, yönelim ve seyir denetimcisi tasarlanmıştır. Sistem de haberleşme 2,4 GHZ ISM bandında WİFİ teknolojisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen Nİ Tİ anten 2,4 GHZ frekansında -47,8 dB olacak şekilde elde edilmiştir. Geliştirilen Anten sistemi, kablosuz haberleşme endüstrisinin 2 farklı frekansta 2.4/5.8 GHZ Çift Polarize /802.11b/g/n olacak şekilde tasarımı da yapılmıştır. Uçan robotun dinamik modeli Newton-Euler denklemleri ile elde edilmiş olup, sistemin yönelim denetimi ve video işleme için Visual Studio C#' da ara-yüz programı tasarlanmıştır.

### 2. Giriş

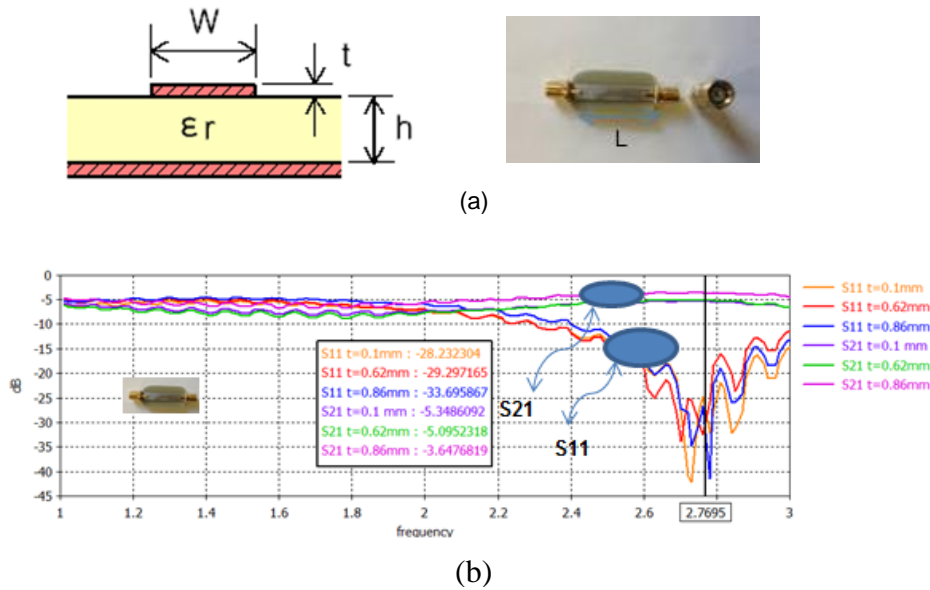
Dört rotorlu dikey iniş ve kalkış kabiliyetine sahip uçan platformlar artık standart hale gelmiştir. Fakat bu uçan platformlara ek olarak başka bir sistem ile bütünleştirilmesi sayesinde alışlagelmişin dışına çıkarak ilgili alanların gereksinimlerine uygun benzersiz tasarımlar ortaya çıkmaktadır. Farklı amaçlar için kullanılan bu sistemlerin aynı robot üzerinde birleştirilmesi, optimal çözümlere ulaşmak adına önem taşımaktadır.

Tasarlanan sistemde NiTi mikroşerit Anten Tasarımı, Quad-Rotor Yapısal tasarım, Dinamik Modelleme ve Kontrol Birimi ve Ara Yüz tasarımı olacak şekilde dört ana başlıkta anlatılmış ve ilgili parametreler ve çıktılar gösterilmiştir.

### 3. NiTi mikroşerit Anten Tasarımı

Günümüzde artık yeni trend, her elektronik cihazın esnek bir şekilde ve kullanıcı dostu olarak kablosuz link sistemlerine katılması şeklindedir. Bu nedenlerle yakın gelecekte WiFi, GSM gibi alanlarda ticari uygulamalar için kolay entegre edilebilir, güçlü, portatif sert çevre koşullarında çalışabilen yeni anten geometrilerine ihtiyaç duyulacaktır. Tasarlanan projede 2.4/5.8 GHz Çift Polarize /802.11b/g/n Anten sistemi, kablosuz haberleşme endüstrisinin 2 farklı frekansta kullanılabilir üstün özellikli anten talebini karşılayabilmektedir.

Geliştirilecek anten sistemi yeni nesil sistemlerin önemli bir parçası olan Personel Digital Assistant (PDAs), notebooklar ve hücrel telefonlar içinde geliştirilebilecektir. NiTi alaşımın kullanılabilirliğini gösteren bazı benzetim ve ölçüm sonuçları aşağıdaki gibidir [5]. Hipotezimizi destekleyen ilgili deney sonuçları;

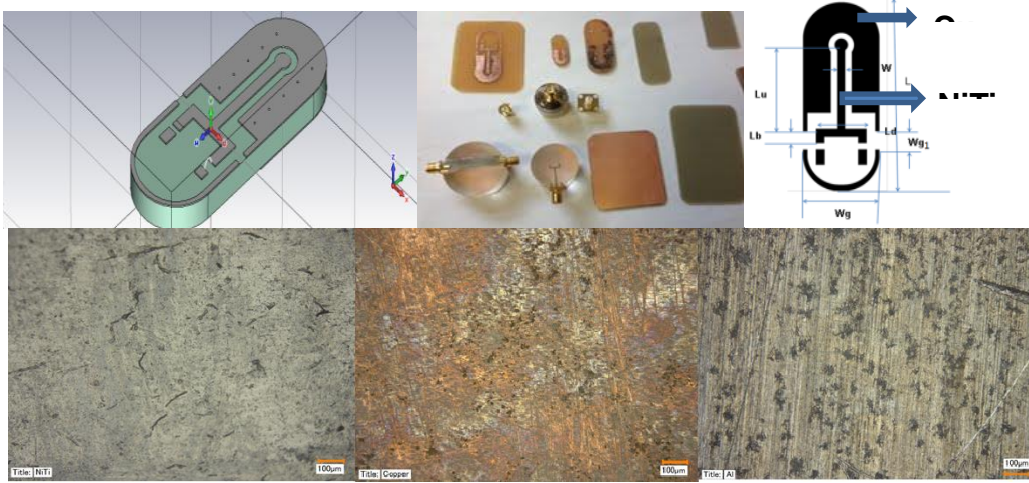


Şekil 1. Prototip NiTi mikroşerit hat,  $S_{11}$  ve  $S_{21}$  parametreleri (Boyut:  $L=28$  mm,  $W=5$  mm,  $t=0.2$  mm and Substrat FR4-glass Epoxy:  $h=0.793$  mm  $\epsilon_r=4.34$  and  $\tan \delta =0.0016$ )

Tablo 1. İlk rezonanstaki çalışma için ölçüm ve benzetimlerden elde edilen  $S$  performansı

NiTi	Substrat FR4 Epoxy- Glass		Benzetim		Ölçüm		$F_r$ (GHz)	$T_d$ (ns)	$Z_c$ Ohm	Skin Depth @ $f_r$ (mm)	Faz (Deg)	Sıcaklık (C)
	$W \times L \times t$ (mm)	$h$ (mm)	$\epsilon_r$ , $\tan \delta$	$S_{11}$ (dB)	$S_{21}$ (dB)	$S_{11}$ (dB)						
5x50x0.8	0.8	4.34, 0.0016	-22	-0.5	-19.22	-3.4	1.6-1.6	12	21.92	0.018	40	+25
5x50x0.2	0.8	4.34, 0.0016	-26	-0.5	-19.8	-2.4	1.7-1.6	12	21.92	0.018	45	+25
5x28x0.62	0.8	4.34, 0.0016	-50	-0.2	-32.01	-5.11	2.7-2.4	11	21.92	0.018	64	+25
5x28x0.2	0.8	4.34, 0.0016	-52	-0.1	-40.19	-5.34	2.7-2.4	10	21.92	0.018	65	+25
5x28x0.8	0.8	4.34, 0.0016	-49	-0.12	-33.99	-3.68	2.7-2.4	10	21.92	0.018	65	+25

Anten yapmak için kullanacağımız  $Ni_{50}Ti_{50}$  alaşımının değerleri  $\sigma = 263200S / m$ ,  $Rho = 6450kg / m^3$ ,  $Young\ Modulus = 114\ GPa$  and  $thermal\ genişleme\ katsayısı = 10[1e-6/K]$  dir.[7] Yüksek sağlamlık, dayanıklılık ve iletkenlik özellikleri nedeniyle mikrodalga devrelerinde de kullanılabilir. En basit mikrodalga devre uygulaması olarak NiTi alaşımlı mikroşerit hat için frekans tepkisi yukardaki şekilde gibidir ( $S_{11}$ ,  $S_{21}$ ). NiTi tabanlı mikroşerit hat FR4 –Glass Epoxy üzerine yapılmıştır. İletkenlik  $1.2 \cdot 10^6 - 2 \cdot 10^6\ S/m$  civarındadır. Bu projede ŞHA iletkenliğini arttıracak diğer modeller üzerine de araştırma devam edecektir.



(NiTi, Cu, Al)

**Şekil 2.** Bazı geometriler NiTi ŞHA Anten konfigürasyonu, Konektör modeli ( $r_1=0.18mm$ ,  $r_2=0.38mm$ ,  $r_3=1.22mm$ ), Mikro fotoğraf **NiTi, Cu, Al** örnekleri

Bu çalışmada NiTi kullanılarak U şeklinde slot antenler 2.92 mm lik Mikrodalga konektörleri ile yapılmıştır.(**Şekil 2**) Optik makroskopiden görüldüğü gibi  $Ni_{50}Ti_{50}$  nin yüzey pürüzlülüğü diğer alaşımlardan daha düşük seviyelerdedir.(**Şekil 2**) CST MWS ile simülasyonlar yapılmıştır ve tasarlanan NiTi anten 2.4 GHz frekansında,  $|S_{11}| -47.8\ dB$  olacak şekilde elde edilmiştir. Empedans band genişliği bakır anten için 8% iken NiTi için 12.3 % ye artmıştır. Aşağıdaki şekilde  $E$  ve  $H$  düzlemlerinde ışınma örüntüleride 2.4 GHz de simüle edilmiştir.

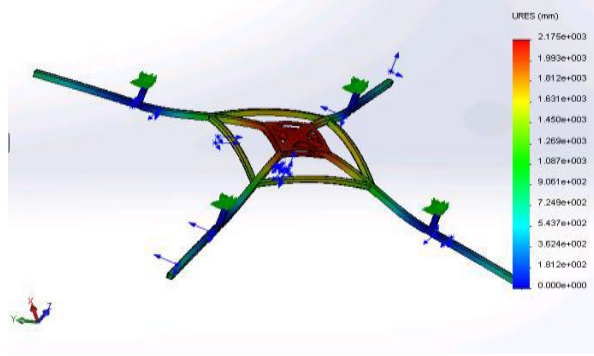
#### 4. Quad-Rotor Yapısal tasarım

Sistem tasarımı için gerekli olan fırçasız motorlardan Himax **2025-4200 6.6:1** dişlisine sahip fırçasız motorlar, motorların hız kontrol ünitelerinden E-Max 30 (30 Amper) ve 12x4.5 pervaneleri temel alınmıştır. İlk olarak istatistiksel benzetim programlarından olan Drive Calculator programı kullanılarak fırçasız motorların üretebilecek maksimum itme kuvvetleri hesaplanmıştır. Her bir motor ayrı ayrı test edilerek itme kuvvetleri hesaplanmıştır. Motorlardan alınan toplam kuvvetin %60 ' ı sistemin ağırlığı ve yük kapasitesi için ayrılmış, geriye kalan %40 'lık kuvvet ise sistemin yönelim ve stabilizasyonu için kullanılmıştır [1].

Sistemin tasarım aşamasında ağırlık kısıtlamaları, uzunluk kısıtlamaları, titreşimi azaltıcı çalışmalar göz önünde bulundurulmuştur [2].

#### 4.1 Titreşim analizi

Uçan sistemin havada sabit kalması esnasında, sistemin sahip olduğu rezonans frekans aralığının motorlardan gelen titreşim aralığından olabildiğince uzak olması ön koşuldur. Bu sebepten dolayı sistem, motorların olduğu yerlerden sabitlenerek benzetim programında çözüm sonuçları birbirine yaklaşıncaya kadar ağ boyutları küçültülüp benzetim tekrarlanmıştır. Aşağıdaki şekilde benzetim programında yapılan Frekans analiz sonucu gösterilmiştir (**Şekil 3**).



**Şekil 3.** Solidworks Frekans Analiz Sonucu

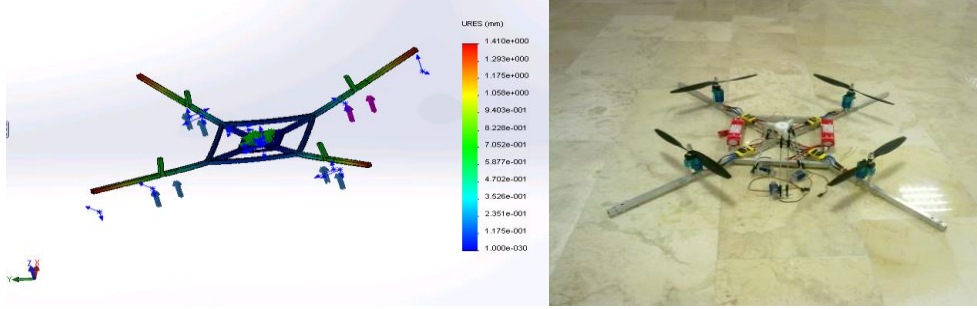
Sistem, havada asılı olduğu durumdaki motorların dönüş hızlarının 193.73rad/s ile 644rad/s olduğu hesaplanmıştır. **Tablo 2** de, benzetim programında yapılan analiz sonuçları verilmiştir. Titreşim analizinin ön koşulu, maksimum görülen frekans ile motorların dönüş frekansının epeyce uzak olduğu görülmüştür [1].

**Tablo 2.** Frekans Analiz Sonuçları

Mod Numarası	Rezonans frekansı(rad/sec)	Rezonans frekansı(Hz)
1	922.49	146.82
2	1403.41	223.36
3	1416.41	225.43
4	1437.46	228.78
5	1602.02	254.97

#### 4.2 Statik Analiz

Sistemin havada kalma süresi boyunca motorlar tarafından üretilen itme kuvvetine karşı sistemin yapısal bütünlüğünün koruyup koruyamadığının gözlemlenmesi için ve sistemin esneme miktarlarının tespit edilebilmesi için statik analiz yapılmıştır. Sistemin statik analizi, motorların olduğu bölgelerden motorların üretebileceği maksimum kuvvet uygulanarak yapılmıştır (**Şekil 4**).

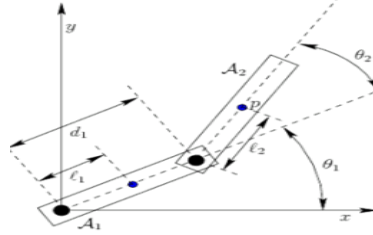


Şekil 4. Statik Analiz Sonucu

Benzetim programı sonucu sistem üzerindeki maksimum basınç 13.8MPa, maksimum kaydırım ise 1.4mm olarak bulunmuştur [1]. Sistem üzerinde meydana gelen basınçlara ve yüzey gerilmeleri göz önünde bulundurulduğunda malzeme olarak sistemin dayanıklılığı için Alüminyum seçilmiştir. Tüm analizler sonucunda, sistemin yapısal tasarımı iyileştirilerek üretime başlanmıştır.

### 5. Robot Kol (Gimbal ) ve Alt Sistem Tasarımı

Şekil 6 da, 2 serbestlik derecesine sahip robot kolun ileri kinematik denklemleri çıkarılmıştır.

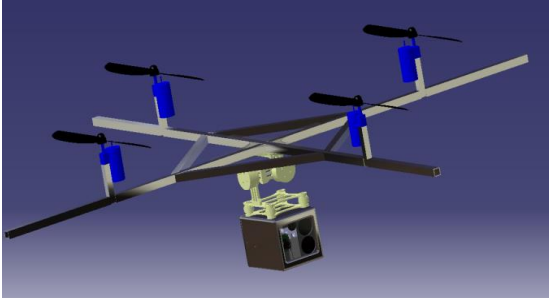


Şekil 6 Robot Kolun XY Eksenindeki Durumu

$$X = L_1 * \cos \theta_1 + L_2 * \cos(\theta_1 + \theta_2) \quad (1)$$

$$Y = L_1 * \sin \theta_1 + L_2 * \sin(\theta_1 + \theta_2) \quad (2)$$

Şekil 7 de tasarlanan 2 serbestlik derecesine sahip robot kolun (gimbal) ve buna bağlı olan alt sistemin katı modeli gösterilmiştir.



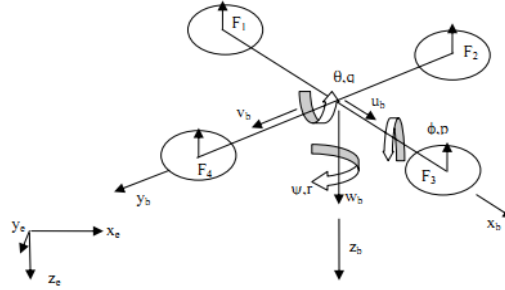
Şekil 7 Gimbal ve alt sistem tasarımı

### 6. Dinamik Modelleme

Sistemin modellenmesinde bazı varsayımlara gidilmesi öngörülmüştür. Bunun nedeni gerekli basitleştirmeleri yaparak bazı etkenler ihmal edilmiştir. Öngörülen bazı varsayımlar;

- Sistemin simetrik olması sonucunda eylemsizlik matrisinin köşegen kabul edilmesi,
- Havada asılı kalma durumu
- Sistemin fiziksel karakteristiğinin katı olarak kabul edilmesi

Şekil 8 de sistemin genel durumu görülebilir. Bu serbest cisim diyagramında , “b” gövde için “e” ise yerin referans eksenlerini belirtmek için kullanılmıştır [3].



Şekil 8: Serbest cisim diyagramı

Sistemin yönelim dinamiği için kullanılacak genel durum vektörü;

$$x = [p \quad q \quad r \quad \phi \quad \theta \quad \psi]^T \quad (3)$$

Zamana göre değişimi veren denklemler;

$$[\dot{p} \quad \dot{q} \quad \dot{r}]^T = I^{-1}[M_x \quad M_y \quad M_z]^T - I^{-1}[p \quad q \quad r]^T x I [p \quad q \quad r]^T \quad (3)$$

$$\frac{d}{dt} [\phi \quad \theta \quad \psi]^T = T [p \quad q \quad r]^T \quad (4)$$

$$T = \begin{bmatrix} 1 & \tan\theta \cdot \sin\phi & \tan\theta \cdot \cos\phi \\ 0 & \cos\phi & -\sin\phi \\ 0 & \sec\theta \cdot \sin\phi & \sec\theta \cdot \cos\phi \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\dot{\phi} = p + q * \tan\theta * \sin\phi + r * \tan\theta * \cos\phi \quad (6)$$

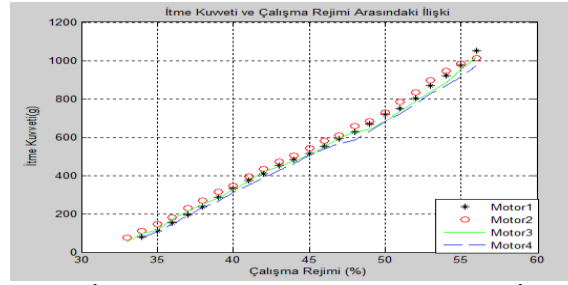
$$\dot{\theta} = q * \cos\phi - r * \sin\phi \quad (7)$$

$$\dot{\psi} = q * \sec\theta * \sin\phi + r * \sec\theta * \cos\phi \quad (8)$$

$$I = \begin{bmatrix} 0.05146 & 0 & 0 \\ 0 & 0.05146 & 0 \\ 0 & 0 & 0.09420 \end{bmatrix} \quad (9)$$

İtme testleri sonucu elde edilen motor modelleri sayesinde sistem üzerinde oluşan kuvvetler ve momentler bulunmuştur. Şekil 9 da Matlab Programından alınan itme kuvveti ile çalışma rejimi arasındaki ilişki verilmiştir [1].





Şekil 9. İtme Kuvveti ile Çalışma Rejimi İlişkisi

$$L= 30\text{cm}$$

$$F_1=(36.04*\text{rejim}_1-1104 /1000)*9.81 \quad (10)$$

$$F_2=(35.48*\text{rejim}_2-1055 /1000)*9.81 \quad (11)$$

$$F_3=(34.67*\text{rejim}_3-1044/1000)*9.81 \quad (12)$$

$$F_4=(32.44*\text{rejim}_4-961.4 /1000)*9.81 \quad (13)$$

$$M_x=(F_3-F_1)*L/2 \quad (14)$$

$$M_y=(F_4-F_2)*L/2 \quad (15)$$

$$M_z=(M_2+M_4)-(M_1+M_3) \quad (16)$$

### 6.1 Denklemlerin Doğrusallaştırılması

Dinamik denklemler sistemin havada asılı kalma durumu temel alınarak, jacobianlar kullanılarak doğrusallaştırılma yöntemi izlenmiştir [3].

$$x_0 = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0] \quad (17)$$

Verilen n genel durum denklemi,  $y= f(x)$ , ve n genel durum değişkeni  $x_1, x_n$ , kullanılarak Jacobian matrisi aşağıda gösterildiği gibi hesaplanır;

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \dots \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \dots \\ \vdots & \vdots & \ddots \end{bmatrix} \quad (18)$$

B girdi matrisi, dört motorun çalışma rejimlerinden oluşan girdi vektörü, u ve jacobian metodu kullanılarak doğrusallaştırıldı.

$$u(t) = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{bmatrix} \quad (19)$$

Microstrain GX-2 ataletsel ölçüm sensörü kullanılarak sistemin üç eksenindeki açılar ve açılar hızları ölçülebilmekte olduğu için C matrisi 6x6 özdeşlik matrisi haline gelir. Düz geçiş matrisi D ise, sistemin girdi ve çıktıları arasında doğrudan bir bağlantı olmadığı için sıfır alınır. Böylece çıkış matrisi

$$y = Cx + Du \quad x = \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \\ \varphi \\ \theta \\ \psi \end{bmatrix} \quad (20)$$

Olarak bulunur.

### 7. Kontrol Birimi ve Ara Yüz tasarımı

Sistemin Ara yüz ve video işleme kısmı Visual Studio C# ile yapılmıştır. Video kaynağından görüntü alma kısmında Aforge.net kütüphanesi kullanılmıştır. Bu kütüphane sisteme dâhil kamera veya USB kameralardan görüntü yakalamamızı sağlamaktadır.[6] (Şekil 10)

```
private void VideoCaptureDev(object sender, NewFrameEventArgs eventArgs)
{
    // enumerate video devices
    videoDevices = new FilterInfoCollection( FilterCategory.VideoInputDevice );
    // create video source
    VideoCaptureDevice videoSource = new VideoCaptureDevice( videoDevices[0].MonikerString );
    // set NewFrame event handler
    videoSource.NewFrame += new NewFrameEventHandler( video_NewFrame );
    // start the video source
    videoSource.Start( );
}
```

Şekil 10 Video kaynağının oluşturulması ve başlatılması

Sistemin diğer birimleri GPS, IMU ve RangeFinder haberleşmesi ve anlık verilerin edinilmesi Seri Port bağlantı ile yapılmıştır. Bu kısım ile ilgili kod aşağıda Şekil 11 gösterilmiştir.

```
private void Connect()
{
    serialPort1.PortName = PortName;
    serialPort1.BaudRate = BaudRate;
    serialPort1.DtrEnable = true;
    serialPort1.Open();
    serialPort1.DataReceived += serialPort1_DataReceived;
}

private void serialPort1_DataReceived(object sender, System.IO.Ports.SerialDataReceivedEventArgs e)
{
    string line = serialPort1.ReadLine();
    this.BeginInvoke(new LineReceivedEvent(LineRead), line);
}
```

Şekil 11 Seri port anlık verilerin okunması

Tasarlanan sistemin ana kontrol kısmı ile veri transferi ISM bandında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmayla ilgili TCP basit kod örneği aşağıdaki gibidir.

```
public static void Main()
{
    IPEndPoint ip = new IPEndPoint(IPAddress.Parse("127.0.0.1"), 9999);
    Socket server = new Socket(AddressFamily.InterNetwork, SocketType.Stream, ProtocolType.Tcp);
    try
    {
        server.Connect(ip);
    } catch (SocketException e){
```



```

        Console.WriteLine("Unable to connect to server.");
        return;
    }
    while(true)
    {
        string input = Console.ReadLine();
        if (input == "exit")
            break;
        server.Send(Encoding.ASCII.GetBytes(input));
        byte[] data = new byte[1024];
        int receivedDataLength = server.Receive(data);
        string stringData = Encoding.ASCII.GetString(data, 0, receivedDataLength);

    }
    server.Shutdown(SocketShutdown.Both);
    server.Close();
}
}

```

Video kaynaklarından elde edilen görüntü çıktıları aşağıda gösterilmiştir. Elde edilen görüntüye zaman bilgisi eklenebilir ve Aforge.net kütüphanesini kullanarak video kaydı yapılabilir. Ayrıca sistemde lazer takibi de laboratuvar ortamında denenmiş olup olumlu sonuç elde edilmiştir. Bu çalışmayla ilgili ekran çıktısı aşağıdaki gibidir. (**Şekil 13**) Lazer takip için yine Aforge.net kütüphanesi kullanılmış olup ilgili kütüphane kod örnekleri ve dokümanlar Aforge.net kütüphanesinin sitesinde yer almaktadır.[6]



**Şekil 13** Lazer Takibi ve Video Overlay

## 7. Sonuç

Sonuç olarak bu çalışmada, döner kanatları ile dikey olarak iniş ve kalkış yapabilen, yönelim ve seyir denetimini sağlayabilecek eyleyici konfigürasyonuna sahip, dört rotorlu uçan robotun yapısal tasarımı, matematiksel modellemesi, yönelim ve seyir denetimcisi tasarlanmıştır. Sistemin haberleşmesinde, NiTi alaşımın bazı benzetim ve ölçüm sonuçları, microşerit anten tasarımı ve ilgili parametre sonuçları gösterilmiştir.

Anten tasarımı, kablosuz haberleşme endüstrisinin 2 farklı frekansta (2.4/5.8 GHz ) kullanılabilir üstün özellikli anten talebini karşılayabilmektedir. Projede tasarlanan anten ile RF ön uç modüllerde sistem maliyetlerinin düşürülmesi, sistem kazancı verimliliğinin artırılması konusunda gelişmeler sağlanabilecektir. Sistemin güç ihtiyacını karşılayabilmek için şarj

edilebilir Lithium polymer 11,1 volt 5100mAH bir batarya kullanılmıştır. Bu sistem için istenilen çalışma süresine ulaşmak için çalışmalarımız devam etmektedir.

## Referanslar

[1] Bozkır, B. H., Ertürk, A., Arıkan, B., K., (2012), " Manipülatörler ile Donatılmış Dört Rotorlu Uçan Robot", [http://memok.atilim.edu.tr/shares/memok2013/files/MeM%C3%96K2012\\_bildirikitapci gi.pdf](http://memok.atilim.edu.tr/shares/memok2013/files/MeM%C3%96K2012_bildirikitapci gi.pdf)

(Erişim: 8.1.2014)

[2]Pounds,P., (2011), "5.Case Study: Large Quadrotor MAV Design"

[3] Kıvrak, Ö., A., (2006), " Design of Control Systems for a Quadrotor Flight Vehicle Equipped with inertial sensors", Y. Lisans Tezi, Atılım Üniversitesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü (Erişim: 23.02.2010)

[4] [http://www.eng.yale.edu/pep5/nasa\\_ct\\_space\\_grant\\_workshop/5\\_Special\\_topic\\_\\_Large\\_quadrotor\\_MAV\\_design.pdf](http://www.eng.yale.edu/pep5/nasa_ct_space_grant_workshop/5_Special_topic__Large_quadrotor_MAV_design.pdf) (Erişim: 15.10.2013)

[5] Adnan Kaya, E. Yeşim Yüksel Aktif Uyumlandırılmış Yükselteçli Mikroşerit Anten Tasarımı ve Performans Analizi URSI 3.Bilimsel Kongresi ve 4. Ulusal Genel Toplantısı 2006;p.122

[6] <http://www.aforgenet.com/framework/docs/>(Erişim: 15.10.2013)

[7] Kaya Adnan, Active microstrip antennas: investigation of active microstrip antennas and improved performance techniques. Deutschland: LAP Lambert Academic Publishing: 2010.