

Sportif Havacılık İçin Düşük Maliyetli, Kullanışlı Variometre Tasarımı ve Gerçekleştirimi

Emin Tugay KEKEÇ^{1*}, Mehmet KONAR², Fatma YILDIRIM DALKIRAN³

¹ Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivil Havacılık Anabilim Dalı, Türkiye

^{2,3} Erciyes Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Havacılık Elektrik ve Elektronik Bölümü, Türkiye

Özet

Dünyada sportif havacılığa olan ilginin her geçen gün artmasıyla birlikte gelişimi de devam etmektedir. Bu gelişim ile orantılı olarak branşların teknik ve mühendislik boyutu da ilerlemektedir. Sportif havacılıkta en çok tercih edilen, planör, delta kanat ve yamaç paraşütü branşlarıdır. Bu branşlar, akrobasi, hedef ve mesafe uçuşları gibi farklı disiplinleri içermektedir. Mesafe uçuşu olarak adlandırılan ileri seviye uçuşlarda, kilometrelerce uzaklara herhangi bir itki olmadan doğada bulunan taşıyıcı hava akımları ile seyrüsefer uçuşları gerçekleştirilmektedir. Mesafe uçuşlarında sportif havacılık pilotları bir takım elektronik donanım kullanmak zorundadırlar. Bunlardan en temel olanı variometre adı verilen, sesli ve görüntülü olarak pilota düşey ekseninde, hızını ve irtifasını anlık olarak ileten elektronik cihazdır.

Bu çalışmada sportif havacılıkta kullanılan variometrelerin tasarımı ve maliyetleri ele alınmıştır. Çalışmada ayrıca basit ve uygun maliyetli bir variometre tasarım ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Önerilen model, mesafe uçuşu yapan başlangıç ve orta seviye sportif havacılık pilotları için uygun görülmüştür. Çalışmada üretilen variometre, küçük boyutludur ve kullanım kolaylığı sunan bir arayüze sahiptir. Ayrıca bu model, dünyada sınırlı sayıda firmanın yüksek maliyetli olarak ürettiği ürünleri kullanan sportif havacılık pilotları için alternatif bir ürün olması beklenmektedir. Avantajları göz önüne alındığında önerilen modelin, sportif havacılık pilotları için alternatif ve cazip bir model olduğu açıkça görülmektedir. Bütün bu avantajlar ile bu çalışmanın sportif havacılık branşları için elektronik donanım üretmek isteyen kişilere bir rehber olması planlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Variometre, Sportif Havacılık, Yamaç Paraşütü, Mesafe Uçuşu.

Realization of Low Cost Useful Variometer Application for Sportive Aviation

Abstract

With the increasing interest in sports aviation in the world, it continues to develop day by day. In line with this development, the technical and engineering aspects of the branches are also expanding. The most preferred branches in sportive aviation are glider, delta wing and paragliding. These branches contain different disciplines such as aerobatics,

Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Yüksek Lisans, Emin Tugay KEKEÇ, etugaykekeç@gmail.com

Alıntı/Citation: Kekeç E.T., Konar M., Dalkıran F. (2020). Sportif Havacılık İçin Düşük Maliyetli, Kullanışlı Variometre Tasarımı ve Gerçekleştirimi J. Aviat. 4 (1), 79-88.

ORCID: ¹ <https://orcid.org/0000-0003-1530-996X>; ² <https://orcid.org/0000-0002-9317-1196>; ³ <https://orcid.org/0000-0001-8663-241X>

DOI: <https://doi.org/10.30518/jav.732148>

Geliş/Received: 5 Mayıs 2020 **Kabul/Accepted:** 4 Haziran 2020 **Yayınlanma/Published (Online):** 22 Haziran 2020

Copyright © 2020 Journal of Aviation <https://javsci.com> - <http://dergipark.gov.tr/jav>



This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International Licence

destination and distance flights. In advanced flights, also known as distance flights, flights are carried out with carrier air currents in nature without any thrust force to kilometers away. In aviation flights, sportive aviation pilots must use some electronic equipment. The most basic of these is the electronic device, called variometer, that notifies the pilot the vertical axis speed and altitude instantly and visually.

In this study, the design and costs of variometers used in sportive aviation are tackle. In addition to study, a simple and cost-effective variometer design and production was also performed. In the designed model, it has been found suitable for the use of beginner and intermediate level sport aviation pilots flying distances. The variometer produced in the study has a small size and easy to use interface. In the meantime, this designed model is expected to be an alternative product for sportive aviation pilots using the products produced by a limited number of companies at high cost in the world. Considering its advantages, it is clearly seen that the model designed is an alternative and attractive model for sportive aviation pilots. With all these advantages, this study is planned to be a guide for people who want to produce electronic equipment for sportive aviation branches.

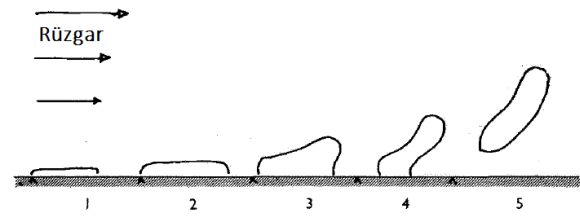
Keywords: : Variometer, Sportive Aviation, Paragliding, Distance Flight

1. Giriş

Havacılık son yüzyılda hızla gelişmekte ve daha güvenli hale gelmektedir. Bu gelişim sadece ticari havacılıkta değil aynı zamanda sportif havacılıkta da devam etmektedir. Yamaç paraşütü, delta kanat ve planörler, sportif havacılıkta en çok tercih edilen hava araçlarıdır. Maliyet ve kullanım kolaylığı açısından yamaç paraşütü, diğer hava araçlarına göre daha çok tercih edilmektedir. Ayrıca yamaç paraşütü, sporculara doğada birçok noktada özgürce süzülme imkânı sağlamaktadır. Bu imkânların yanı sıra geçtiğimiz 10 yılda, yamaç paraşütünün farklı disiplinleri gelişmiştir. Mesafe uçuşları (Cross Country, XC), akrobasi uçuşları ve kayakla yapılan yüksek süratlere çıkılabilen Speed Flying, bu disiplinlerden başlıca olanlarıdır.

Yamaç paraşütü ve diğer sportif havacılık branşları için farklı uçuş disiplinlerinde yarışmalar düzenlenmektedir. Başlıca yamaç paraşütü yarışmaları; hedef iniş, mesafe uçuş ve akrobasi uçuş yarışmalarından meydana gelmektedir. Ülkemizde ve dünyada en çok tanınan ve katılım sağlanan yarışmalar mesafe uçuşlarının yapıldığı yarışmalardır. Yamaç paraşütü ve diğer sportif hava araçları pilotları; uzun süre havada süzülme, uzak mesafelere uçuş gerçekleştirmek ve mesafe uçuş yarışmaları için termal hava akımlarını kullanmak zorundadır. Sportif havacılıkta, termal hava akımları ve doğal taşıyıcıların tespiti için pilotlar bazı elektronik ekipmanlara ihtiyaç duymaktadır. Bu elektronik ekipmanlardan en temeli variometredir [1]. Pilotlar, bulunan termalin hava aracını ne kadar hızla yükselttiğini, sesli ve görüntülü olarak variometreler vasıtasıyla görebilmektedir. Sportif hava araçları ile hedeflenen mesafe uçuşlarının, genellikle güneş

ışınlarının yeryüzünü en çok ısıttığı saatlerde yapılması planlanmaktadır. Planlanan mesafe uçuşu için uçuş yapılacak bölge önceden belirlenir ve harita üzerinde uçuş rotası çizilir [2].



Şekil 1. Termal hava akımının oluşumu

Mesafe uçuşu esnasındaki termal hava akımları, Şekil 1'de gösterildiği gibi ısınan yeryüzünün, etrafını çevreleyen hava kütesinin ısınması ile oluşurlar. Isınan havanın yükselmesi ile kuşlar ve sportif hava araçları da irtifa kazanabilirler.

Termal hava akımlarının kuvvetleri (güçleri), havanın yoğunluğu ve basınç ile ilişkili olarak değişmektedir. Ayrıca termal hava akımları olduğu yeryüzü şekline bağlı olarak farklı güçlerde oluşmaktadır. Bulunan termal hava akımının merkezine (çekirdeğinde) yakın uçuş yapmak, hava aracının hızlı bir şekilde irtifa kazanmasına sebep olmaktadır [1-2]. Bu sayede tespit edilen termal hava akımı verimli bir şekilde kullanılabilir. Variometreler, termal hava akımının tespiti ve çekirdeğine yakın uçuş yapmak için kullanılmaktadır. Ayrıca uçuş esnasında da gerekli olan, irtifa, sıcaklık ve yoğunluk gibi birçok veriyi pilotlara iletmektedir.

Hava aracının geliştirilmesi üzerine birçok tasarım yapılmıştır. Bu tasarımlar aerodinamik, güç sistemi ve kullanılan ekipmanların geliştirilmesi üzerine yapılmıştır [3-6]. Hava araçları gibi sportif

havacılıktada ekipman geliştirilmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır [7-9]. Sportif havacılıktaki kullanılan ekipmanlardan olan variometreler üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde ise Pescara et al. termal hava akımlarının kullanılması için giyilebilir teknoloji ile bir variometre tasarlamışlardır. Dikey hava hızındaki değişimleri tespit edebilen bu variometreler, bileklik şeklinde olup, titreşim ile pilota termal hava akımı hakkında bilgi vermektedir [7]. Kudlacák çalışmasında, yamaç paraşütü ve diğer sportif havacılık branşları için variometre tasarlamıştır. Bu variometre, GPS desteği ile anlık olarak uçuşların kayıtlarını tutmaktadır. Oluşturulan bu kayıtları ortak bir format ile bilgisayar ortamına aktarmaktadır [8]. Wirz et al., farklı bölgelerde uçuş yapan pilotlara cep telefonları aracılığı ile buldukları bölgeler hakkında uçuş bilgilerinin geldiği, gerçek zamanlı olarak termal aktivitenin tespit edildiği çalışma yapmışlardır. Alınan bilgiler ve bu termal aktiviteler sayesinde, ideal termal özelliklere sahip bölgelerin tespit edilmesi sağlanmıştır. Elde edilen veriler, pilotlara uçuş süresini göstermektedir ve yüksekliklerini artırıp-azaltacağı bilgisini de vermektedir [9].

Yapılan bu çalışmada variometre tasarımı ve gerçekleştirimi yapılmıştır. Bu variometre, mesafe uçuş yarışmaları için yedek bir cihaz olarak pilotların kullanımı için önerilmektedir. Ayrıca termik uçuşları yapmak isteyen orta seviye (P3) pilotlar ve P4 seviyesinde mesafe uçuşuna yeni başlayan pilotların kullanımına da uygun bir cihazdır.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde sportif havacılıktan ve sportik havacılıktaki kullanılan ekipmanlardan bahsedilmiştir. Gerçekleştirilen variometre uygulamasına, çalışmanın üçüncü bölümünde yer verilmiştir. Son bölümde ise sonuç ve tartışmalar sunulmuştur.

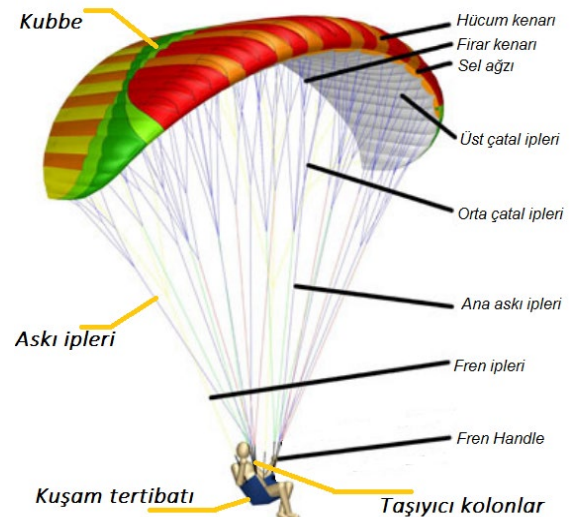
2. Sportif Havacılık ve Sportif Havacılıktaki Kullanılan Ekipmanlar

Sportif havacılığın temelleri, 1894 yılında Otto Lilienthal' in motorsuz bir planör kullanarak, ilk uçuş denemelerini yapması ile atılmıştır. Planörcülerin atası olarak bilinen Otto, 2000'e yakın yaptığı uçuş denemeleri ile yakın gelecekte ortaya çıkacak motorlu uçaklar için de önemlidir

Daha sonraki dönemde kurduğu fabrika ile bu ilkel planörleri satışa çıkarmıştır. Bu sayede sportif havacılığın gelişmesinde öncü olmuştur [1].

Sportif havacılık, içerisinde birçok farklı havacılık disiplini bulunmasına rağmen bunlardan en bilinen başlıca branşlar, planör, yelken kanat ve yamaç paraşütüdür. Ayrıca skydiving, sıcak hava balonları, ultralight uçaklar, mikrolightlar ve gyrocopterler de sportif havacılık branşları içerisinde yer almaktadır [3]. Dünyada ve ülkemizde son 10 yılda yoğun ilgi gören sportif havacılık, özellikle yamaç paraşütü üzerine düzenlenen etkinlik ve yarışmalar ile birçok kişinin bu alana yönelmesini sağlamıştır [10].

Serbest paraşütçüler tarafından keşfedilen yamaç paraşütü sporu, uçmanın en keyifli ve kolay yolu olarak tanımlanmaktadır. Çünkü diğer havacılık branşlarından farklı olarak uçuş için gerekli minimum ekipman ile kolaylıkla bütün yamaçlardan uçuş gerçekleştirmek mümkündür. Kısa bir eğitim ile uçmanın mümkün olduğu yamaç paraşütü, her geçen gün gelişmekte olan bir sportif havacılık branşıdır. Yamaç paraşütü temel olarak, Şekil 2'de gösterilen 4 bölümde incelenir. Bu bölümler kubbe, askı ipleri, taşıyıcı kolonlar ve kuşam tertibatıdır [11].



Şekil 2. Yamaç paraşütünün bölümleri

Gelişen teknoloji ile yamaç paraşütü ve diğer sportif havacılık disiplinleri de ilerlemiştir. Bu ilerleme ile hava araçlarının tasarımı ve üretilen materyal değişikliklerinin yanı sıra uçuşa yardımcı birçok yeni ekipman da üretilmiştir. Üretilen bu

ekipmanlar ile birlikte pilotlar son yıllarda akıllı telefonlara yüklenen uygulamalar ile uçuş bilgilerini anlık olarak alabilmekte ve kayıt edebilmektedir. Aynı zamanda pilotlar, barometre sensörüne sahip bazı akıllı telefon modelleri sayesinde, cep telefonlarını yüklenen uygulamalarla variometre gibi kullanılabilirler. Ancak mobil uygulamalar, telefonda yaşanan gecikmeler ve güneş ışığında ekran kararması gibi sorunlardan dolayı doğru sonuçlar alınamamıştır. Bu nedenle yarışma pilotları ve profesyonel termik uçuş yapan pilotlar, yardımcı uçuş ekipmanı olarak, variometre ve GPS sistemlerini kullanmaktadır. Şekil 3’de elektronik uçuş ekipmanları ile uçuş gerçekleştiren bir yamaç paraşütü pilotu gösterilmiştir [12].



Şekil 3. Yamaç paraşütü uçuş elektronikleri

2.1. Sportif Havacılık İçin Uçuş Bilgisayarı

Uçuş bilgisayarı, elektronik mürekkep teknolojisi ile geliştirilen daha çok profesyonel yarışma pilotları tarafından kullanılmaktadır. Elektronik mürekkep teknolojisi güneş ışığının çok fazla olduğu bölgelerde bile pilotlar tarafından oldukça yüksek görünürlük sağlamaktadır. Uçuş boyunca, uçuş bilgisayarı sayesinde, anlık olarak konum görülebilmekte, irtifa takip edilebilmekte aynı zamanda bir rota çizilerek uçuş planlaması yapılabilmektedir. Bu bilgilerin yanı sıra uçuşta yer hızı ve uçuş ile ilgili zaman bilgileri de ekranda görülebilmektedir. Bu avantajlarının yanında, dokunmatik ekranda yaşanan gecikmeler ve çevresel etkenlere karşı hassas olması gibi dezavantajları da bulunmaktadır [12]. Şekil 4’de örnek bir uçuş bilgisayarı gösterilmiştir [13].

2.2. Variometre

Termik ve uzun mesafe uçuşlarının en temel ekipmanı variometrelerdir. Bütün uçuş boyunca variometreden alınan sesli ve görsel mesajlar ile pilotlar uçuş gerçekleştirmektedir. Farklı boyut, özellik ve fiyat aralığında variometreler

bulunmaktadır [7]. Variometreler, pilotlara anlık olarak irtifa, dikey hız, sıcaklık ve zaman bilgilerini vermektedir. Şekil 5’deki Volirium marka P1 model, örnek bir variometre olarak gösterilmiştir [12].



Şekil 4. Uçuş bilgisayarı



Şekil 5. Volirium P1 variometre

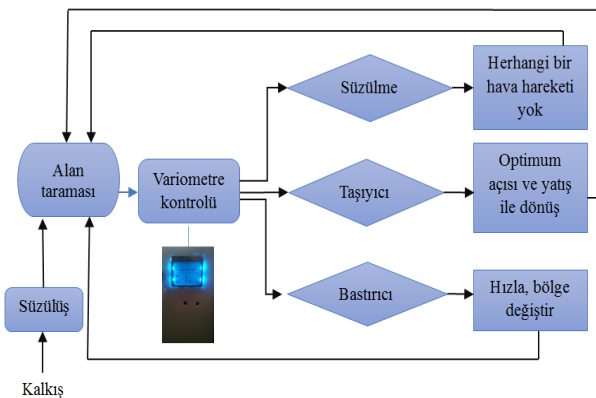
3. Variometre Tasarımının ve Uygulamasının Gerçekleştirilmesi

Sportif havacılık için farklı özelliklerde variometreler bulunmaktadır. Çalışmada tasarlanıp üretilen variometre için mevcut variometreler incelendikten sonra pilotların fikirleri de ele alınmıştır. Bu incelemeler sonucunda, variometreler ile ilgili bazı problemler gözlemlenmiştir. Bu problemlerden başlıca olanları, maliyetlerinin yüksek olması, uzun süreli kullanımlarda sistemde duraksamaların olması, bazılarının ekran büyüklüğü ve dış kasalarının zorlu şartlara dayanamamasıdır. Bu çalışmada tasarlanan ve üretilen variometre, özellikle maliyet olarak mevcut variometrelerin çok altındadır. Ayrıca hafif ve kullanışlı bir dış kasata sahiptir. Böylece toz ve darbe gibi zorlu şartlardan etkilenmediği gözlemlenmiştir. Variometre, sistemde yaşanan duraksamaları önlemek için minimum işlem basamakları ile programlanmıştır.

Gerçekleştirilen variometre, uçuş esnasında sensörlerden aldığı verileri, Şekil 6’da gösterilen işlem basamakları ile pilotlara iletmektedir [3]. Bu bildirim, buzzer ile sesli tonlamalar ile bildirildiği

gibi, pilotlara görsel olarak LCD ekran aracılığıyla da iletilmektedir. Tasarlanan variometre, uçuş esnasında süzülüşe geçildiğinde, otomatik olarak termal hava akımlarını aramaya başlar. Bu arama esnasında, herhangi bir bastırıcı veya kaldıracı hava akımına maruz kalmaz ise alan taramasına devam eder. Eğer bir taşıyıcı hava akımı ile karşılaşır, pilota hava aracının saniyede düşeyde yaptığı hız ile orantılı olacak tonlarda ses sinyali gönderir. Ayrıca LCD ekran üzerinde de düşeyde hava aracının yaptığı hızı, m/s cinsinden gösterir. Pilot variometreden aldığı sinyal eşliğinde termal hava akımının merkezine yakın dönüşler yaparak, termali kullanabilir. Böylece termal hava akımından pilota çıkana kadar variometre anlık olarak pilota yardımcı olur.

Variometre, alan taraması sırasında hava aracı, bastırıcı hava akımı ile karşılaşır, pilota farklı bir ses tonu ile uyarı verir. Aynı şekilde düşeyde yaptığı hız ile orantılı olarak, bu ses sinyali artar. Taşıyıcı hava akımında olduğu gibi bastırıcı hava akımlarında da LCD ekran üzerinde düşeyde yapılan aşağı yönlü hız, -m/s cinsinden pilota gösterilir. Pilot, bastırıcı hava akımının olduğu bölgelerden kaçınmak için hızla farklı bir bölgeye gitmelidir. Bastırıcı hava akımları sportif hava araçları için istenmeyen bir durumdur. Çünkü hava aracının irtifasını düşürerek acil bir iniş durumu yaşanabilir. Ayrıca bastırıcı hava akımları hava aracının aerodinamik yapısı için uygun değildir ve stall veya spin gibi istenmeyen acil durum manevraları oluşturabilir.

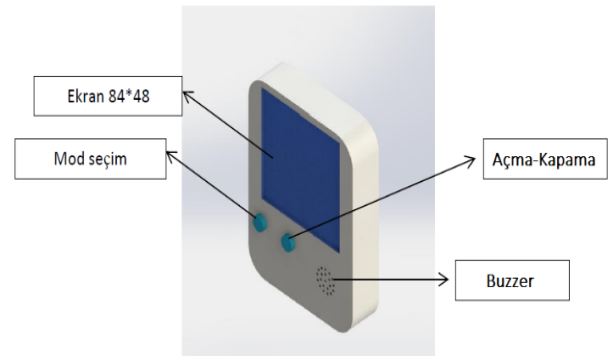


Şekil 6. Variometre'nin uçuş blok diyagramı

Bu çalışmada tasarlanıp, gerçekleştirilen variometre oldukça temel seviyede işlem basamaklarından oluşmaktadır. Yapılan uçuş denemelerinde gerçekleştirilen variometrenin

uçuşun her aşamasında kararlı bir şekilde ve duraksamadan çalıştığı gözlemlenmiştir. Ayrıca temel ve az işlem basamaklarından oluştuğundan dolayı piyasada bulunan birçok kontrol kartı, bu variometrede kullanılabilir. Bu sayede düşük maliyetli kontrol kartları kullanılarak, toplam maliyet ciddi ölçüde azalmıştır. Gerçekleştirilen variometrenin boyutları, kullanıcılar için ideal ölçülerdedir.

Pilotların mevcut variometreler üzerinde yaşadığı bir diğer problem ise ara yüzlerinin karışık olması ile birlikte tuş sayısının fazla olmasıdır. Tasarlanan variometrede ekran, oldukça küçüktür ve iki adet tuş eklentisine sahiptir. Bu iki tuştan, sol tuş, irtifa, vario, basınç ve sıcaklık verileri arasında geçiş sağlamaktadır. Sağ tuş ise sistemin açma-kapama tuşudur. Şekil 7' de tasarlanan ve gerçekleştirilen variometrenin katı modeli ve bazı fonksiyonları gösterilmiştir.

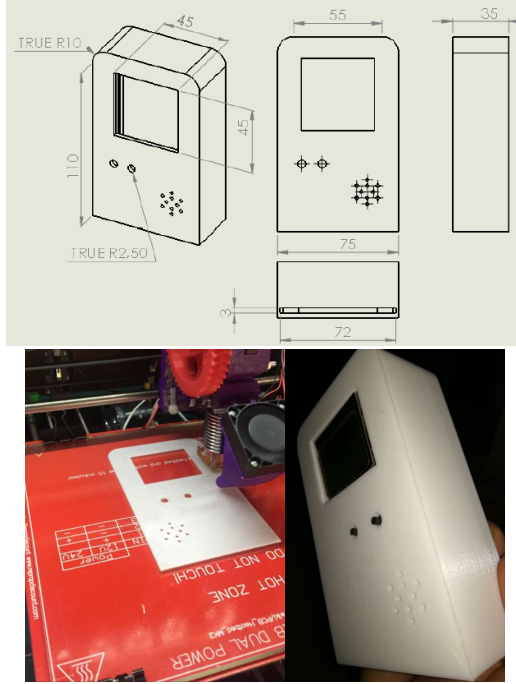


Şekil 7. Variometre katı modeli

Ayrıntılı olarak tasarlanmış dış kasa, 3 boyutlu yazıcı ile %20 doluluk oranı ile üretilmiştir ve Şekil 8' de de gösterilmiştir. Üretilen dış kasası ile variometrenin, darbe, tozlu ortam ve düşmelere karşı dayanıklılığı artırılmıştır. Ayrıca doluluk oranı düşük olduğu için variometre, hafif ve daha kullanışlı bir yapı kazanmıştır.

Çalışmada kullanılan elektronik ekipmanlar seçilirken fiyat ve performans oranına dikkat edilerek, seçim yapılmıştır. Bu seçimler için üretici firmaların katalogları incelenmiştir. Aynı zamanda bu cihazlarla uğraşan kişilerin yorumları göz önünde tutulmuştur. Bu nedenle gerçekleştirilen variometrenin zorlu hava şartlarında uçuşu esnasında herhangi bir problem yaşamamasının önüne geçilmiştir.

Bu çalışmada gerçekleştirilen variometrede kullanılan ekipmanlar için yapılan fiyat araştırması, Tablo 1’ de sunulmuştur. Bu tabloya göre toplam maliyet en alt satırda belirtilmiştir. Toplam maliyeti artıran en temel ekipmanlar, ekran ve kontrol kartıdır.



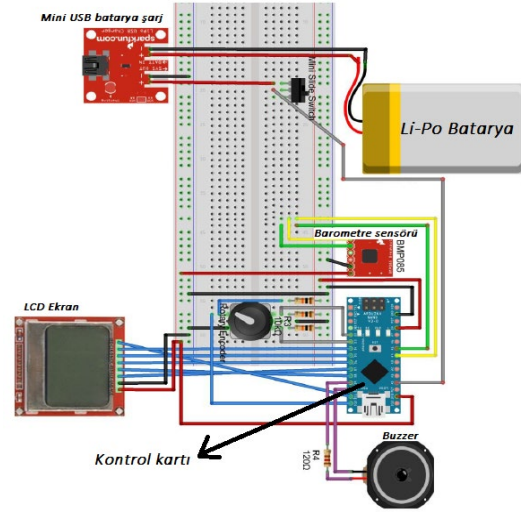
Şekil 8. Dış kasa tasarım ve üretimi

Tablo 1. Araçların hızları ve kapasiteleri

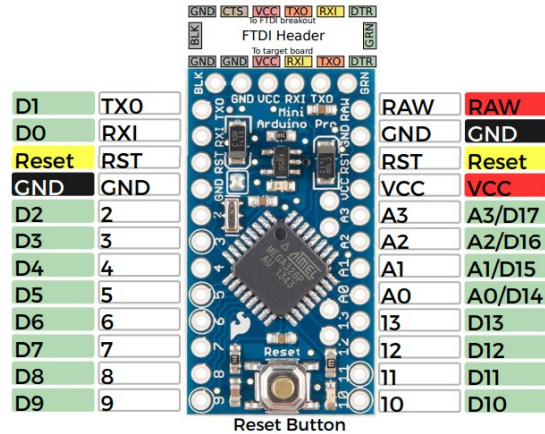
Ekipman	Özellikler	Maliyet
Kontrol kartı	Arduino ProMini-Atmega328	15,91
LCD ekran	Nokia 5110-84x48 Grafik	18,61
Barometre	BMP 180 basınç sensörü	8,38
Batarya	Li-Po 3.7v 100mah	9,68
Buzzer	12V 22mm	3,82
Şarj Modülü	TP4056-7 V -1S	2,77
Tuş	Arduino Switch	1,28
	Toplam Maliyet (TL)	60,45

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen variometrenin elektronik devre şeması, Şekil 9’da yer almaktadır. Elektronik devrede, uygun maliyeti ve işlem yeteneğinden dolayı kontrol kartı olarak, Arduino ProMini kullanılmıştır. Arduino ProMini, 36 mm x 18 mm ölçülerinde ve Atmega328 mikro denetleyici temelli bir kontrol kartıdır. Şekil 10’da

da gösterilen bu kart, 14 adet dijital giriş ve çıkış pini ile birlikte 6 adet analog giriş pinine sahiptir. Ayrıca bu kart oldukça kullanışlıdır ve küçük boyuta sahiptir [8].



Şekil 9. Variometrenin elektronik devresi ve bağlantı şeması



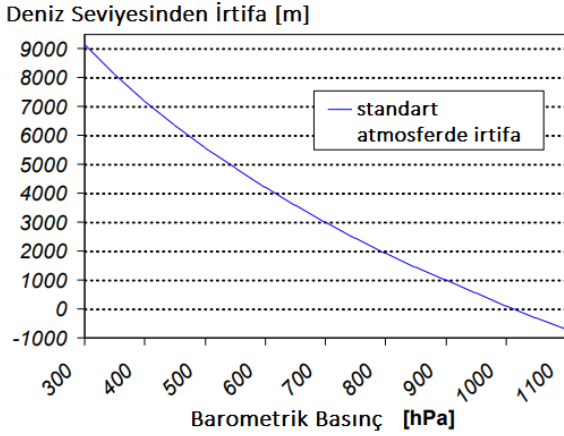
Şekil 10. Arduino ProMini Pin şeması

Gerçekleştirilen variometre için barometrik basınç sensörü olarak, Bosch firması tarafından üretilen BMP 180 seçilmiştir. Bu seçim, fiyat ve performans düşünülerek belirlenmiştir. Şekil 11’de gösterilen BMP180 barometrik basınç sensörü, anlık olarak açık hava basıncı ve sıcaklık ölçümü için kullanılmıştır. Uluslararası barometrik eşitlik ile irtifa hesaplanabilmektedir. Eşitlik-1’de variometre için anlık irtifa formülasyonu verilmiştir [14].

$$\text{irtifa} = 44330 * \left(1 - \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{1}{5,255}}\right) \quad (1)$$

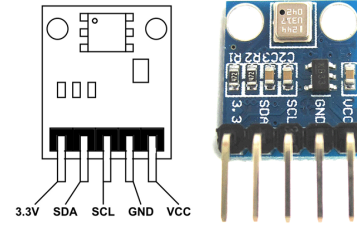
Burada p , ölçülen açık hava basıncını, p_0 ise deniz seviyesindeki açık hava basıncını temsil

etmektedir. Eşitlik-1'e göre 1hPa'lık basınç değişikliği, 8.43 m'ye karşılık gelmektedir. Barometrik basınç değişimi ile deniz seviyesinde gerçekleşen irtifa değişikliğine ait grafik, Şekil 11'de verilmiştir [14]. Bu çalışma için açık hava basıncının doğru değerlendirilmesi önemlidir. Bu yüzden gerçekleştirimde BMP 180 barometrik basınç sensörü, dış kasa içerisine hava akımlarından etkilenmeyecek şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 11. Deniz seviyesinden irtifa -barometrik basınç değişim grafiği

-500 metreden 9000 metreye kadar irtifa bilgisi verebilen BMP 180 barometrik basınç sensörü 25cm çözünürlüğe sahiptir. Çözünürlük değeri, sensörün hassasiyetini vermektedir. Bu çalışmada maliyet göz önünde bulundurulduğu için MS5611 gibi 10cm hassasiyete sahip sensörler tercih edilmemiştir. Sportif hava araçları için üretilen variometreler santimetre birimi ile ölçümü göstermezler, bu nedenle üretilen variometre için 25cm hassasiyet yeterli düzeydedir. Sensörün daha çok metre cinsinden yaşanacak irtifa değişimlerine duyarlı olması yeterlidir. BMP 180 barometrik basınç sensörü 300hPa ve 1100hPa arasındaki basınç değerini ölçebilmektedir ve Şekil 12' de gösterilen 5 adet pine sahiptir. Tablo 2' de BMP 180 barometrik basınç sensörünün pin yapısı ve pin fonksiyonları gösterilmiştir. 14x12mm boyutlarında bulunan barometrik basınç sensörü 3.3 V giriş gerilimine sahiptir [14].



Şekil 12. BMP 180 barometrik basınç sensörü ve pin yapısı

BMP180 hem basıncı hem de sıcaklığı ölçer, çünkü sıcaklık gazların yoğunluğunu değiştirir. Daha yüksek sıcaklıklarda, az yoğun ve hafiftir, bu nedenle sensöre daha az basınç uygular. Düşük sıcaklıklarda hava daha yoğundur ve daha ağırdır, bu nedenle sensör üzerinde daha fazla basınç uygular. BMP 180, hava yoğunluğundaki değişiklikleri telafi etmek için anlık sıcaklık değerini ölçer ve barometrik basınç için bu verileri kullanır.

Tablo 2. BMP 180 pinleri ve pin fonksiyonları

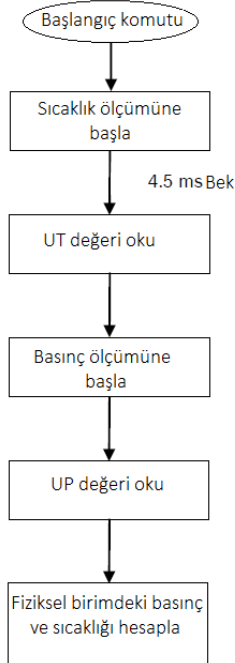
BMP180 Pinleri	Pin Fonksiyonu
DA (SDA)	I ² C data
CL (SCL)	I ² C clock
- (GND)	Toprak
+ (VDD)	3.3V güç
IO (VDDIO)	I/O voltaj

BMP180, kalibre edilmemiş sıcaklık (uncompensated temperature, UT) değeri ve kalibre edilmemiş basınç (uncompensated pressure, UP) değeri üretmektedir. Önce sıcaklık ölçümü, ardından bir basınç ölçümü yapmaktadır. Şekil 13'de verilen akış şeması BMP 180 barometrik basınç sensörü için anlık ölçümü özetlemektedir [15].

BMP180 içerisinde, her bir sensöre özgü 11 farklı kalibrasyon katsayısı içeren 176 bit EEPROM mevcuttur. UP ve UT ile birlikte bunlar, gerçek barometrik basıncı ve sıcaklığı hesaplamak için kullanılmaktadır. Gerçek basınç ve sıcaklık, oldukça karmaşık algoritmalar kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu algoritmalar, Tablo 3'de gösterilmiştir [15].

Gerçekleştirilen variometrede BMP 180 barometrik basınç sensörü ile irtifa, basınç ve

sıcaklık verilerinin alınmasından sonra, LCD ekran denemeleri yapılmıştır. Çalışmada fiyat performans olarak ideal bulunan Nokia 5110 84x48 Grafik LCD ekran kullanılmıştır. Ekran modülünün ölçüleri Şekil 14’ de gösterilmiştir. Bu ekran modülünün boyutunun küçük olması, yapılan tasarım için uygun bulunmuştur. Çünkü zorlu şartlar altında kullanılacak variometre için daha büyük bir ekran modülünün kullanılması durumunda, variometrenin alacağı ilk darbe anında ekranda kırım yaşanması kaçınılmaz olacaktır. Nokia 5110 ekran modülü içerisinde, Philips PCD8544 sürücüsü yer almaktadır [16]. Bu ekran, kontrol kartından alınan irtifa, sıcaklık ve dikey hız verilerini pilota göstermek için kullanılmıştır



Şekil 13. BMP 180 anlık ölçüm iş akış şeması

Tablo 3. Gerçek barometrik basınç ve gerçek sıcaklık hesaplama algoritmaları

Gerçek Barometrik Basınç Hesaplaması	Gerçek Sıcaklık Hesaplaması
$B6=B5-4000$	$X1=(UT-AC6)*AC5/2^{15}$
$X1=(B2*(B6^2/2^{12}))/2^{11}$	$X2=MC*2^{11}/(X1+MD)$
$X2=AC2*B6/2^{11}$	$B5=X1+X2$
$X3=X1+X2$	$T(B5+8)/2^4$
$B3=((AC1*4+X3)<<oss)+2)/4$	
$X1=AC3*B6/2^{13}$	
$X2=(B1*(B6*B6/2^{12}))/2^{16}$	
$X3=((X1+X2)+2)/2^2$	

$$B4=AC4*(\text{unsigned long})(X3+32768) / 2^{15}$$

$$B7=((\text{unsigned long})UP-B3)*(50000>>oss)$$

$$\text{if}(B7 < 0x8*10^7 \{p=(B7*2)/B4\}$$

$$\text{else } \{p=(B7/B4)*2\}$$

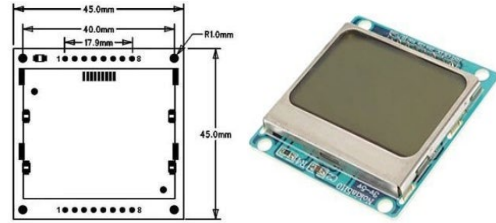
$$X1=(p/2^8)*(p/2^8)$$

$$X1=(X1*3038)/2^{16}$$

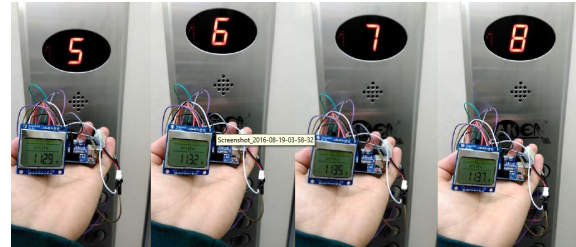
$$X2=(-7357*p)/2^{16}$$

$$p=p+(X1+X23791)/2^4$$

BMP 180 barometrik basınç sensörü ile Nokia 5110 LCD ekranın uyum içerisinde çalışması önemlidir. Çünkü variometredeki irtifa değişiminin LCD ekranda gözlemlenmesi gerekmektedir. İrtifa değişiminin gözlemlenmesi için pratik bir yöntem uygulanmıştır. Uygulama için asansörde test edilen devre, Şekil 15’ de verilmiştir. Şekilde asansördeki kat değişimlerinin irtifadaki anlık değişime etkisi açıkça gösterilmiştir.



Şekil 14. Nokia 5110 ekran modülü



Şekil 15. Asansörde devrenin ilk çalışması

Çalışma kapsamında LCD ekran modülünün ve BMP180 barometrik basınç sensörünün testleri başarıyla sonuçlanmıştır. Bu çalışmada amaçlanan variometre için boyutu ve fiyatı nedeniyle tercih edilen Arduino ProMini kontrol kartı ile Şekil 9’da gösterilen elektronik devre kurulmuştur. Kurulum için delikli bakır plaket üzerinde lehimlemeler yapılmıştır. Daha sonra Arduino IDE yazılımı ile programlanan kontrol kartı ve devre, Şekil 16’ da gösterildiği gibi dış kasa içerisine sabitlenerek, yerleştirilmiştir. Daha önce belirtildiği gibi BMP 180 barometrik basınç sensörü dış kasa içerisinde

dış etkenlere maruz kalmayacak şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 16. Elektronik ekipmanların dış kasa içerisine yerleştirilmesi

Şekil 17’de devrenin çalışmasının ve ekran testinin gerçekleştirildiği görüntü yer almaktadır. Şekilde ekran modülünün anlık olarak basınç, irtifa, sıcaklık ve düşey eksende yapılan hız gösterilmektedir. Ayrıca testte gerçekleştirilen variometrenin sesli olarak sinyal verdiği de tespit edilmiştir. Şekil 17’deki gerçekleştirilen variometrenin sağ kısımdaki gösteriminde arka plan aydınlatma ışığı, açık ve sol kısımdaki gösteriminde arka plan aydınlatması kapalıdır.



Şekil 17. Variometre'nin çalışma görüntüleri

4. Sonuçlar

Bu çalışmada sportif havacılık branşlarından, mesafe ve termik uçuş disiplinleri için gerekli olan düşük maliyetli bir variometre tasarımı ve gerçekleştirimi yapılmıştır. Gerçekleştirilen bu variometre sayesinde mesafe uçuşu yapan başlangıç ve orta seviye sportif havacılık pilotları için ara yüzü ve kullanımı oldukça basit ve uygun maliyetli bir ürün ortaya çıkmıştır. Ayrıca tasarlanan variometre ile başta ülkemizdeki sportif havacılık pilotları olmak üzere bütün dünyadaki sportif havacılık pilotları için düşük maliyetli ve kullanımı daha kolay variometrelerin yapılabileceği gösterilmiştir.

Dünyada oldukça büyük bir pazara sahip olan sportif havacılık ekipmanlarının, her geçen gün daha fazla kişiye hitap ettiği düşünülmektedir. Bu nedenle daha kullanışlı bir variometre tasarımı, diğer sportif havacılık ekipmanları için büyük önem arz etmektedir. Bu çalışma ülkemizde yeni gelişen, sportif havacılık ekipman üretimi için bir kilometre taşı olması öngörülmüştür. Böylece sportif havacılık üzerine yapılacak yeni çalışmalara ışık tutacağı düşünülmüştür.

Teşekkür

Bu çalışma için Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu tarafından, 2017 / 2 döneminde 1139B411700311 numaralı, 2209-B Sanayiye Yönelik Lisans Araştırma Projeleri Destekleme Programı neticesinde verilen destekten dolayı teşekkür ederiz.

Etik Kurul Onayı

Gerekli değil

Kaynaklar

- [1] Forster, G. H., 1955. "Thermal air currents and their use in bird-flight". Brit. Birds, 48, 241-253.
- [2] Becker, S., 2017. Experimental Study of Paraglider Aerodynamics. Master of Science Thesis, Imperial College London.
- [3] Kekeç, E. T., Konar, M., Oktay, T., 2019. "Termal hava akımlarının sabit kanatlı hava araçlarının uçuş süresi ve menziline etkisinin incelenmesi", Uluslararası Bilim, Teknoloji Ve Sosyal Bilimlerde Güncel Gelişmeler Sempozyumu, Ankara, 476-481.
- [4] Konar M., 2020, "Simultaneous determination of maximum acceleration and endurance of morphing UAV with ABC algorithm-based model", Aircraft Engineering and Aerospace Technology, 92 (1), 579-586.
- [5] Şahin, H., Oktay, T., Konar, M., 2020. "Anfis Based Thrust Estimation of a Small Rotary Wing Drone". Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (18), 738-742.

- [6] Çoban, S., 2020. "Autonomous performance maximization of research-based hybrid unmanned aerial vehicle". Aircraft Engineering and Aerospace Technology. 92(4), 645-651
- [7] Pescara, E., Beigl, M., Gräser, J., 2017. "Introducing a spatiotemporal tactile variometer to leverage thermal updrafts". In Proceedings of the 2017 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2017 ACM International Symposium on Wearable Computers, 1038-1042.
- [8] Kudlacák, F., 2012. "Variometer with GPS logger". Information Sciences and Technologies Bulletin of the ACM Slovakia, 47.
- [9] Wirz, M., Strohrmann, C., Patscheider, R., Hilti, F., Gahr, B., Hess, F., ... & Tröster, G., 2011. "Real-time detection and recommendation of thermal spots by sensing collective behaviors in paragliding". In Proceedings of 1st international symposium on from digital footprints to social and community intelligence ,7-12.
- [10] Keskin, G., Durmuş, S., Karakaya, M., Teoman, A., Kuşhan, M. C., 2019. Motorsuz Uçuş Prensipleri: Planör. Engineer & the Machinery Magazine, 60 (695).
- [11] APPI., APPI Pilot Manual, <https://paraglajdingsavez.me/wp-content/uploads/2019/02/APPI-Pilot-Manual-1.2.pdf>, [Erişim Tarihi: 19 Mayıs 2020]
- [12] Clark, P., Volirium P1 Vario Review, <https://flybubble.com/blog/volirium-p1-vario-review-first-impressions-phil-clark>, [Erişim Tarihi: 30 Nisan 2020]
- [13] Flybubble., Flight Instruments For Mapping, <https://flybubble.com/blog/flight-instruments-for-mapping>, [Erişim Tarihi: 19 Mayıs 2020]
- [14] Kızıl, Ü., Aksu, S., 2019, "Design of an Arduino based digital psychrometric device", 1st Int. Congress on Biosystems Engineering 2019, 24 (1-8), 2667-7733.
- [15] Duran, M., BMP180 basınç sensörü kullanımı, <https://www.projehocam.com/bmp180-basinc-sensoru-kullanimi/>, [Erişim Tarihi: 30 Nisan 2020]
- [16] Samant, S., Babababu, S., 2014. "Portable Oscilloscope using Programmable System on Chip and Nokia 5110 Graphics LCD". International Journal of Computer Applications, 106 (3).