

## Sabit Hücüm Açısı ile Yapılan Wingsuit Atlayışlarının Aerodinamik Hesaplamalarının İncelenmesi

Emin Tugay KEKEÇ<sup>1</sup> , Mehmet KONAR<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Kapadokya Üniversitesi, Kapadokya Meslek Yüksek Okulu, Uçak Teknolojisi Bölümü, 50350, Nevşehir, Türkiye

<sup>2</sup> Erciyes Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Havacılık Elektrik ve Elektronik Bölümü, 38039, Kayseri, Türkiye

### Özet

Bilgisayar destekli tasarım, analiz ve üretim sistemlerinin gelişimi ile sportif havacılık disiplinleri ilerlemiştir. Sportif havacılık disiplinleri içerisinde yamaç paraşütleri, yelken kanatlar ve planörler en bilinen ve tercih edilebilen sportif havacılık branşlarıdır. Buna rağmen son on yılda yarası adam uçuşu olarak bilinen wingsuit uçuşları da oldukça popüler bir konuma gelmiştir. İnsanlar için kuş gibi uçuşun en doğal hali olarak tanımlanan wingsuit uçuşları, deneyimli serbest paraşütçüler tarafından yapılmaktadır. Wingsuit'ler insan bedenine aerodinamik bir şekil vermek için tasarlanmış uçuş tulumlarıdır. Kontrol edilmesi, uzun bir serbest düşüş deneyimine sahip paraşütçüler tarafından rahatlıkla yapılmaktadır. Bu çalışmada wingsuit'ler hakkında genel tanımlamalar ve wingsuit BASE (Building Antenna Span Earth) atlayışları açıklanmıştır. Ayrıca wingsuit'lerin sabit bir hücüm açısı ile yapılan atlayışta aerodinamik özellikleri bilimsel eşitliklerden yararlanarak açıklanmıştır. Bu çalışmanın bu spor ile ilgilenen insanlar için faydalı olacağı ve bu alanda bilimsel çalışma yapmak isteyen bilim insanlarına ve çalışmalarına ışık tutacağı düşünülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Wingsuit uçuşu, Wingsuit aerodinamiği, Sportif Havacılık, Skydiving, Paraşütler,

## Investigation of Aerodynamic Calculations of Wingsuit Jumps with Fixed Angle of Attack

### Abstract

Sports aviation disciplines have advanced with the development of computer aided design, analysis and production systems. Among the sportive aviation disciplines, paragliding, sail wings and gliders are the most known and preferred sports aviation branches. However, wingsuit flights, known as bat-man flight, have become quite popular in the last decade. Wingsuit flights, which are defined as the most natural form of flight like a bird for humans, are carried out by experienced free paratroopers. Wingsuits are flight suits designed to give an aerodynamic shape to the human body. Controlling is easily done by paratroopers with a long experience of free fall. In this study, general definitions about wingsuits and wingsuit BASE (Building Antenna Span Earth) jumps are explained. In addition, the aerodynamic properties of wingsuits in the jump made with a fixed angle of attack are explained by using scientific equations. It is thought that this study will be beneficial for people who are interested in this sport and will shed light on scientists who want to do scientific work in this field and their studies.

**Keywords:** Wingsuit flight, Wingsuit aerodynamics, Sports Aviation, Skydiving, Parachutes

**Corresponding Author/Sorumlu Yazar:** Emin Tugay KEKEÇ tugay.kecec@kapadokya.edu.tr

**Citation/Alıntı:** Kekeç E.T., Konar M. (2021). Sabit Hücüm Açısı ile Yapılan Wingsuit Atlayışlarının Aerodinamik Hesaplamalarının İncelenmesi J. Aviat. 5 (1), 1-8.

**ORCID:** <sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1530-996X> ; <sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0002-9317-1196>

**DOI:** <https://doi.org/10.30518/jav.866712>

**Gelis/Received:** 22 Ocak 2021 **Kabul/Accepted:** 26 Haziran 2021 **Yayınlanma/Published (Online):** 30 Haziran 2021

**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 License

## 1. Giriş

İnsanlar binlerce yıldır kuş gibi uçmanın özgürlüğünü hayal etmiştir. Bu uçuş hayalini efsanelere ve tarihi kalıntılarda rastlamak mümkündür [1]. Buradan da anlaşılacağı üzere insanların özgür olmak ve uçabilme arzusu binlerce yıldır hep var olmuştur. Ancak günümüzde fiziksel eşitlikler insanın yalnız kol gücü ile böyle bir şey yapmasının neredeyse imkânsız olduğunu söylese de sportif havacılık branşları insanların rüzgârı hissederek uçuş yapabilmesine imkân tanımaktadır. Havacılık, Wright kardeşlerin havadan ağır insanlı uçuş denemelerinden sonra oldukça yüksek bir ivme ile gelişimini devam ettirmektedir [2]. Bu gelişim hızı aynı zamanda günümüzde sportif havacılık olarak bilinen, yelken kanatlar, planörler ve yamaç paraşütleri gibi branşlarında ilerlemesine sebep olmuştur. Bu branşlardan yelken kanatlar ve planörlerin tarihi çok daha eskidir. Wright kardeşler motorlu uçuş denemelerinden önce yüksek ve eğimli tepelerden, yeni tasarladıkları hava araçlarının planör uçuş stili (motorsuz) ile deneme uçuşlarını yapmıştır. Daha önceki yıllarda, planörlerin atası olarak bilinen Otto Lillihental tarafından tasarlanan ve binlerce sorti uçuş denemeleri yapılan planörlerde üretilmiştir [3].

Sportif havacılık tarihinde serbest paraşütçülükte (skydiving) oldukça eski bir tarihe sahiptir. Serbest paraşütçülüğün başlangıcı bazı kaynaklara göre 1100'lü yıllara dayandığı söylenmektedir. Ancak bilinen ilk paraşüt tasarımı 1485 yılında Leonardo DaVinci tarafından çizilmiştir. DaVinci tarafından çizilen bu paraşüt tasarımı, 515 yıl sonra 26 Haziran 2000 yılında Adrian Nicholas tarafından denenmiştir. Adrian başarılı bir iniş yaparak DaVinci'nin paraşütünün başarılı olduğunu kanıtlamıştır [4]. Serbest paraşütçülüğün gerçek tarihi ise 1797 yılında, sıcak hava balonunun altına bağlanarak atlayış yapan Fransız Andre-Jacques Garnerin tarafından başlamıştır. Tarihe geçen ilk serbest atlayış ise Leslie Irvin tarafından 1919 yılında gerçekleşmiştir [5-6]. Statik paraşütler üzerinde modern çalışmalar yapan Irvin, 27 Temmuz 1918'de patent başvurusunda bulundu ve dünyanın ilk paraşüt tasarımcısı ve üreticisi olan Irving Air Chute Company şirketini kurdu [6]. Daha ileri yıllarda Amerikan ordusu tarafından taktiksel bir hareket olarak kullanılan serbest paraşütçülük 2. Dünya savaşından sonra dönen askerler tarafından

oldukça popülerlik kazanmış ve 1952'de ulusal bir spor haline gelmiştir [3-4].

1990'ların sonlarında gelişmeye başlayan modern wingsuit'lerin ilk fikri ise 1912 yılına dayanmaktadır. 4 Şubat 1912'de bir terzi olan Franz Reichelt, modern wingsuit'e benzeyen buluşunu denemek için Eyfel Kulesi'nden atlamıştır (Şekil 1) [4]. Ancak erken bir denemede bulunduğu için başarısız bir atlayış yaparak hayatını kaybetmiştir [4]. 1930 yılında 19 yaşında bir genç olan Rex G. Finney, geleneksel kumaşlar ve ahşap kullanarak geliştirdiği wingsuit'i yatay hareket ve süzülüş yeteneği kazanmak için kullanmıştır [6].



**Şekil 1.** Franz Reichelt'in tasarımının gösterimi

1990'de, modern wingsuit, Fransız Patrick de Gayardon tarafından geliştirilmiştir. 1997'de Bulgar asıllı Sammy Popov, bir wingsuit tasarlamış ve prototipini Nevada'da geliştirmiştir [7]. Daha sonra ilk test Ekim 1998'de yine Nevada'da, uçurulmuştur. Serbest paraşütçü olan Jari Kuosma ve Robert Pečnik, Bird-Man International Ltd.'yi kurarak serbest paraşütçüler için kolay ulaşılabilen ve güvenli olan ilk ticari wingsuit'i geliştirmiş ve satışa sunmuştur. Bu ikili aynı zamanda wingsuit eğitimleri açarak ve eğitim standartları geliştirerek bu sporun tehlikeli olduğu imajını ortadan kaldırmak istemişlerdir [4,5,7].

Wingsuit'lerin gelişimi her geçen gün daha çok ilerlemesine rağmen wingsuit'leri konu alan bilimsel çalışmalar aynı ölçüde gelişim gösterememiştir. Ancak şu an literatürde bilinen en önemli çalışmalardan birisi Geoffrey ve Raffaello tarafından yapılmıştır. Çalışmalarında wingsuit'lerin süzülüşleri için bilinen aerodinamik yasalar kullanılarak, bir takım uçuş parametrelerini hesaplamışlardır. Daha uzun süreli uçuşlar için gerekli olan itiş göstermek için bilimsel eşitlikler

kullanmışlardır. Ayrıca wingsuit'ler için uzunlamasına ekseninde stabilite sağlamak için bir model önerisi sunmuşlardır. Bu çalışma ayrıca jetsuit olarak bilinen küçük jet motoru ve kompozit malzemeden üretilen kanatlara sahip hava araçlarının da aerodinamik ve itki açısından incelemiştir [8].

Michael ve arkadaşları tarafından yapılan çalışma da delta kanatlı bir uçak tasarımına benzer farklı bir wingsuit tasarım önerisi yapmıştır. Bununla birlikte bu yeni tasarımın kanat alnını genişletmeye çalışmış ve rüzgâr tüneline bir manken üzerinde bu tasarımın aerodinamik performansını analiz etmiştir. Ayrıca yeni tasarımını modern wingsuit performans parametre değerleri ile kıyaslamıştır [9].

Timothy çalışmasında, wingsuit'lerin üretiminde kullanılan malzemelerin ve kumaşların aerodinamik etkilerini incelemiştir. NACA 4418 kanat profili kullanarak düşük hızlı rüzgâr tüneline analizler yapmıştır. Bu çalışmada ayrıca yeni malzeme yapısına sahip bir wingsuit tasarımı ele alınmıştır. Yeni tasarım wingsuit testleri üretilen wingsuitlere kıyasla daha pürüzsüz bir yapıda olduğu için düşük bir sürtünme kuvveti oluşturmuş ve yüksek bir  $L/D$  oranı elde edilmiştir [10].

Bu çalışmada ise wingsuit'lerin gelişimi ile günümüzde üretilen modern wingsuit'ler ve wingsuit tipleri ele alınmıştır. Bununla birlikte, binalar, anten kuleleri, viyadükler veya köprüler ve kayalıkların baş harflerinden oluşan, BASE atlayış olarak bilinen ve deneyimli serbest paraşütçüler tarafından yapılan atlayışlar açıklanmıştır. Aynı zamanda BASE atlayışlarını örnek olarak başlayan ve wingsuit'ler kuşanılarak yapılan, Wingsuit BASE atlayışlarının temel teknikleri, atlayış basamakları ve uçuş sırasında oluşan aerodinamik kuvvetler bilimsel eşitlikler kullanılarak açıklanmıştır.

## 2. Wingsuitler

Wingsuit'ler, aerodinamik olarak tasarlanmış uçuş tulumlarıdır. Ülkemizde daha çok yarası adam kıyafeti olarak bilinmekte olmasına rağmen yarasalardan esinlendiği kanısı yanlıştır. Uçan sincap olarak halk dilinde bilinen Şekil 2'de gösterilen Squirrel glider'lar wingsuit'lerin esin kaynağıdır [11]. Temel wingsuit'lerin ortalama 2.5/1 süzülüş oranına sahiptir. Ancak gelişen teknoloji ile farklı tip wingsuit çeşitleri ortaya çıkmıştır [12].



Şekil 2. Squirrel glider ve wingsuit

### 2.1. Wingsuit tipleri ve uçuş stilleri

Temel olarak wingsuit çeşitleri arasındaki farklar, pilotun tecrübesine bağlı olarak seçilmektedir. Tıpkı diğer sportif havacılık branşlarında olduğu gibi yeni başlangıç pilotları için daha güvenli ve yapılan hataları telafi edebilecek wingsuit'ler tercih edilmektedir. Buna karşılık deneyimli ve uçuş sayısı fazla olan wingsuit pilotları için daha performanslı yani yüksek  $L/D$  oranı ve daha hızlı wingsuit'ler tercih sebebi olmaktadır. Performans ve güvenlik birbiri ile ters orantılı olmasından dolayı bu tip wingsuit'leri tercih etmeden önce yeterli deneyime sahip olmak şarttır. Ayrıca yüksek performanslı wingsuit'ler, başlangıç seviyesinde olanlara göre daha büyük yüzey alanına sahiptir. Buda süzülüş kabiliyetini arttırmakta ve dolayısıyla kanat yüklemesini (wing loading) azaltmaktadır. Şekil 3'te modern wingsuit tipleri gösterilmiştir [11-13].



Şekil 3. Farklı tip wingsuit görünümleri

### 2.2. Wingsuit BASE atlayış

Modern paraşütlerin gelişimi ile deneyimli serbest paraşütçüler uçaktan atlayarak bu ekipmanlar ile başarılı pek çok atlayış yapmıştır. Ancak bir dönem sonra farklı arayışlar içerisine giren meraklı bir grup, BASE adını verdikleri atlayış stilini keşfetmiştir. BASE jumping olarak nitelendirilen ve Şekil 4'te sırasıyla gösterilen bu atlayış stili binalar, anten kuleleri, viyadükler ve kayalıklar gibi sabit nesnelere yapılan atlayışların bütünüdür [14]. Oldukça zor ve tehlikeli olarak nitelendirilen bu atlayışların atası olarak



bilinen Carl Boenish, 1978 yılında Yosemite Ulusal Parkı'nda yer alan El Capitan kayalıklarından ilk BASE atlayışını yapmıştır [15]. Başlangıçta tıpkı uçaktan atlayarak yapılan serbest paraşütler gibi sabit nesnelere serbest düşüş yaptıktan sonra paraşütlerini açan BASE jumper'lar sonrasında güvenli iniş yapmaktadır [10-15].

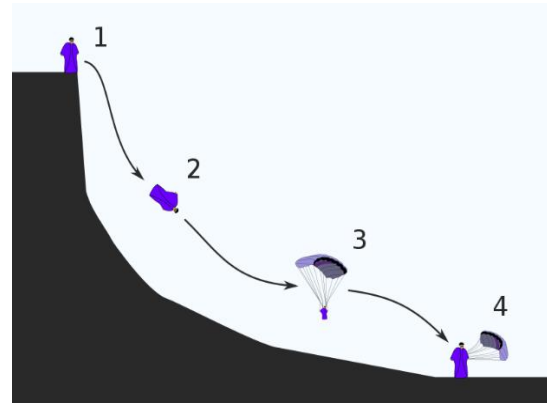


**Şekil 4.** BASE atlayış stilleri (Binalar, Anten kuleleri, Viyadükler, Uçurumlar)

Adrenalin ve merak duygusu ilerleyen yıllarda daha çok etkisini göstermiştir. Bu nedenle başlangıçta wingsuit'ler ile sadece uçaktan atlayış yapılabilmesine karşın kumaş teknolojisi ve aerodinamik olarak daha verimli wingsuit'lerin üretilmesi ile BASE atlayışlarda da kullanılmaya başlanmıştır. Uçaktan yapılan wingsuit atlayışları ile sabit nesnelere yapılan wingsuit BASE atlayışlar çok farklı temellere dayanmaktadır. Bu iki stil arasındaki en belirgin fark ise BASE atlayışlar çok daha teknik bilgi ve deneyim gerektirir. Çünkü BASE atlayışlar genelde alçak irtifalardan ve birçok engelin olduğu bölgelerden yapılmaktadır. Buna karşı uçaktan yapılan atlayışlar çoğunlukla 4000 metrenin üzerinden yapılır ve uçak kapı çıkışından itibaren bir engel ile karşılaşmaz. Bu nedenle uçaktan yapılan atlayışlarda, wingsuit pilotlarına çoğunlukla oluşabilecek acil durumların veya hataların önüne geçilebilecek kadar zaman verir. BASE atlayışlarda genellikle alçak irtifa nedeniyle ilk çıkış ve uçuş boyunca vücut pozisyonunun kusursuz olması beklenir. Kusursuz bir vücut pozisyonu olmadan yapılacak atlayışlar çoğunlukla kazalar ile sonuçlanmaktadır. Sonuç olarak serbest paraşütçülerin genellikle wingsuit BASE atlayışlara yönelmeden önce uçaktan pek çok atlayış yapması ve burada kendisini hazırlaması oldukça büyük bir öneme sahiptir [8-15]. Normal olarak uçaktan yapılan bütün wingsuit atlayışlarında

pilot iki paraşüt sistemi taşımaktadır. Bunlardan birincisi ana paraşüt ve ikincisi de ana paraşütte oluşabilecek herhangi bir problemde kullanılabilecekleri yedek paraşüttür. Wingsuit BASE atlayışlarının ekstra bir risk faktörü de tek ve özel bir paraşüt sistemine sahip olmasıdır. Çünkü yapılan atlayışlar genellikle uçaktan yapılan atlayışlara kıyasla çok alçak irtifadadır ve yedek paraşüt kullanma ihtimali çok düşüktür. Bu nedenle wingsuit BASE atlayışlarından önce paraşütün doğru katlanması ve harness içerisinde doğru yerleştirilmesi büyük önem arz eder. Wingsuit BASE atlayışları alınan pek çok önlem ve düzenlemeye rağmen tehlikeli bir eğlence sporu olmuştur [15]. Colorado üniversitesinde yapılan bir araştırmaya göre Mei-Dan ve arkadaşları, 2006 ve 2010 yılları arasında 102 farklı BASE atlayış etkinliğini incelemiş sonuç olarak ortalama her 1000 BASE atlayış için 2 ciddi kaza olduğu istatistiğini oluşturmuştur [16].

Temelde wingsuit BASE atlayışları Şekil 5'te görüldüğü gibi dört farklı bölümde numaralandırılarak incelenmektedir [15]. Bu bölümler sırasıyla çıkış, uçuş, paraşütü açma ve iniş aşamalarından oluşmaktadır. Bütün adımlar planlı ve zamanlı olmak zorundadır [6]. Bu adımların öncesinde bölgenin incelenmesi ve meteorolojik şartların göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Genelde iniş alanı, atlayıştan önce kontrol edilmelidir. Bunun yanında atlayış yapılması planlanan uçurumların iniş alanı ile arasında bulunan yükseklik bilinmeli ve atlayış yapılacak wingsuit'in süzülüş oranının, iniş alanı mesafesi için yeterli olup olmadığı kontrol edilmelidir. Kontrol edilen süzülüş oranı sonrasında uçurumların ve dağlık bölgenin çıkıntıları gibi engellerin süzülüş rotası içerisinde olmaması istenmektedir [15].



**Şekil 5.** Wingsuit BASE atlayış basamakları

Wingsuit BASE atlayışların zorluklarından bir diğeri ise doğru bir çıkıştır. Çünkü çıkış sırasında ilk saniyelerde pilot artan bir ivme ile düşüşe başlar, bu düşüş esnasında wingsuit'lerin yeterli hıza ulaşması biraz zaman alır ve bu zaman aralığında kaldırma kuvveti çok azdır. Bu durum vücudu doğru pozisyona getirmeyi güçleştirmektedir. Bu nedenle wingsuit BASE atlayışlar güçlü, koordineli ve simetrik olmalıdır. Bu kısımda en önemli olgulardan bir tanesi pilotun hücum açısıdır. Çünkü pilot, doğru hücum açısına ne kadar çabuk geçerse o kadar çabuk uçuşa başlar ve nesnelere uzaklaşabilirler. Daha iyi bir süzülüş için çıkış büyük bir önem taşır. Ayrıca wingsuit'ler çıkıştan hemen sonra uçuşa geçemezler öncelikle hava içerisinde bir ivme kazanır ve wingsuit'in sel ağzı denilen hava giriş kanallarından giren hava ile aerodinamik bir yapı oluşturur. Hemen sonra uçuş aşaması başlar. Wingsuit BASE atlayışlarda doğru çıkış için ayak pozisyonu Şekil 6'da gösterilmiştir [15-17].



Şekil 6. BASE wingsuit atlayışı için doğru çıkış

Sonuç olarak wingsuit BASE atlayışlarının iki önemli ve temel kuralı vardır. Bunlardan birincisi alt tarafta bulunma ihtimali olan engellerde uzağa atlayarak olası çarpma durumundan kaçınmaktır. İkinci kural ise öne doğru eğilerek, uçuş için gerekli hücum açısına yakın bir açı ile atlamaktır [15]. Böylece pilot, klasik yapılan bir atlayıştan onlarca metre daha yüksekte ve daha erken süzölmeye başlayacaktır.

### 3. Sabit Hücum Açısı ile Yapılan Wingsuit Atlayışlarının Aerodinamik Hesaplamalarının İncelenmesi

Wingsuit Denklemleri, iki boyutta uçuş dinamiklerini belirleyen diferansiyel eşitliklerdir. Bu basit eşitlikler, ile wingsuit simülasyonu yapmak mümkündür. Ancak hız gibi bazı değişkenlerin yüksek hassasiyet ile sürekli takip edilmesi gerekmektedir. Ancak bu durum çok zordur bu nedenle wingsuit uçuşunu bilgisayar destekli olarak modellemesini yapmak imkansızdır. Uçuş güzergahını ve ivmeyi hesaplamak için uçuşun herhangi bir anında wingsuit'in üzerine etki eden kuvvetleri kesin olarak bilmesi gerekmektedir. Wingsuit'e ilk hız verildiği anda ivmenin hesaplanabilir ve daha sonra tüm yörüngeyi sayısal olarak modellenenir. Dolaylı olarak ivmeden hareket ederek hızı da entegre etmiş olacaktır [8].

Uçan bir nesne üzerine etki eden aerodinamik kuvvetler olan taşıma ve sürükleme sırasıyla hava yoğunluğu, yüzey alanı, taşıma ve sürükleme katsayıları ve hava hızının karesiyle doğru orantılıdır. Yüzey alanı ve taşıma ve sürükleme katsayıları tam olarak ne olduğunu bilinmiyor. Bunun karşın, bu değişkenler hücum açısına ve vücut pozisyonuna bağlıdır [18].

Wingsuit'i etkileyen 3 kuvvet ağırlık ( $W$ ), taşıma ( $L$ ) ve sürükleme ( $D$ ) sırasıyla, Eşitlik 1-3'de verilmiştir [8,19-22].

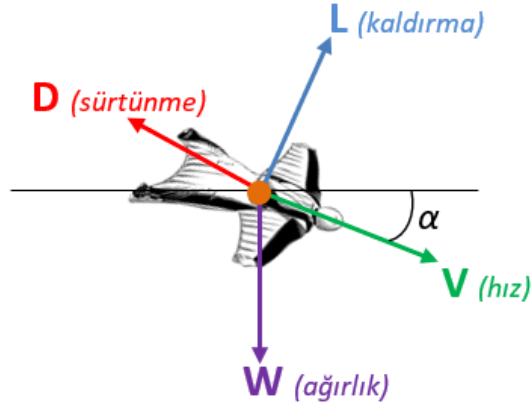
$$W = mg \quad (1)$$

$$L = \frac{1}{2} C_l \cdot \rho \cdot S \cdot V^2 \quad (2)$$

$$D = \frac{1}{2} C_d \cdot \rho \cdot S \cdot V^2 \quad (3)$$

Burada  $m$ , kütle;  $g$ , yer çekimi ivmesini;  $V$ , hızı;  $C_l$  ve  $C_d$ , (noktalama işaretlerini kontrol etsene) sırasıyla kaldırma ve sürüklemenin boyutsuz katsayılarıdır,  $\rho$  havanın yoğunluğu iken  $S$  ise, kanat tulumunun etkili alanıdır.

Şekil 7'de Wingsuit uçuşu esnasında vücutta oluşan aerodinamik kuvvetlerin gösterimi verilmiştir [18]. Şekil 7'de de görüldüğü gibi, ufuk çizgisi ile mevcut süzölme istikametinin yaptığı açı  $\alpha$  ise, kaldırma kuvveti ve sürtünme kuvvetinin yatay bileşenleri  $L \sin \alpha$  ve  $-D \cos \alpha$ 'dır, dikey bileşenler  $-L \cos \alpha$  ve  $-D \sin \alpha$  dır. Böylece, Eşitlik 4 ve Eşitlik 5 Newton'un hareket eşitliklerini göstermektedir.



Şekil 7. Wingsuit uçuşu esnasında vücutta oluşan aerodinamik kuvvetlerin gösterimi

$$F_x = m\alpha_x = L \sin a - D \cos a \quad (4)$$

$$F_y = m\alpha_y = mg - L \cos a - D \sin a \quad (5)$$

Eşitlik 4 ve 5'teki  $\alpha_x$  ve  $\alpha_y$  yatay ve dikey ivmeler olup Eşitlik 6 ve 7'de verilmiştir.

$$\alpha_x = dV_x / dt \quad (6)$$

$$\alpha_y = dV_y / dt \quad (7)$$

Eşitlik 6-7'de verilen,  $V_x$  ve  $V_y$  toplam hızın yatay ve dikey bileşenleri olup, Eşitlik 8'de verilmiştir [8-18].

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} \quad (8)$$

$\sin a = V_y / V$ ,  $\cos a = V_x / V$  olduğundan, standart kaldırma kuvveti ( $L$ ) ve sürtünme kuvveti ( $D$ ) eşitliklerinden yola çıkılmıştır. Eşitlik-8'den hareketle  $L$  ve  $D$  eşitlikleri yeniden düzenlendiği zaman Eşitlik 9'da ve Eşitlik 10'da gösterildiği gibi yazılabilmektedir [18].

$$\frac{dV_x}{dt} = \frac{1}{2} \frac{\rho S}{m} V (C_l V_y - C_d V_x) \quad (9)$$

$$\frac{dV_y}{dt} = g - \frac{1}{2} \frac{\rho S}{m} V (C_l V_x + C_d V_y) \quad (10)$$

Eşitlik 9 ve 10'da  $C_l$ ,  $C_d$  ve  $S$  değerleri bilinemediği için başarılı bir şekilde çözebilmek oldukça zordur. Çeşitli hücum açıları için  $C_l$  ve  $C_d$ 'yi bulmak için kapsamlı rüzgâr tüneli analizleri yapılmalıdır [18]. Bir wingsuit uçuşunun her anında rüzgâr tüneli ile  $C_l$  ve  $C_d$  değerleri için analizler yapmak mümkün değildir. Böylece yeni eşitliklere

ihtiyaç duyulmaktadır. Eşitlik 11 ve 12 şu şekilde açıklanmaktadır;

$$K_l = \frac{1}{2} \frac{\rho S}{m g} C_l \quad (11)$$

$$K_d = \frac{1}{2} \frac{\rho S}{m g} C_d \quad (12)$$

Eşitlik 11 ve 12'den yola çıkarak hareket eşitliklerinin yeni biçimi;

$$\frac{dV_x}{dt} = g V (K_l V_y - K_d V_x) \quad (13)$$

$$\frac{dV_y}{dt} = g - g V (K_l V_x + K_d V_y) \quad (14)$$

$K_l$  ve  $K_d$  için, mevcut vücut pozisyonu ve hücum açısı ile wingsuit pilotunun sabit yatay ve dikey hızlarının  $V_{xs}$  ve  $V_{ys}$  olduğu düşünülürse, ivme sıfır olacaktır. Böylece yeni eşitlikler şu şekilde (Eşitlik 15 ve 16) gösterilebilecektir [8-18].

$$g V_s (K_l V_{ys} - K_d V_{xs}) = 0 \quad (15)$$

$$g - g V_s (K_l V_{xs} + K_d V_{ys}) = 0 \quad (16)$$

Eşitlik 15 ve 16'da  $V_s$ , toplam sürekli hızdır. İki bilinmeyenli bu iki eşitlikte,  $K_l$  ve  $K_d$  için Eşitlik 17 ve Eşitlik 18'de gösterildiği gibi çözülebilmektedir.

$$K_l = \frac{V_{xs}}{V_s^3} \quad (17)$$

$$K_d = \frac{V_{ys}}{V_s^3} \quad (18)$$

$K_l$  ve  $K_d$  katsayılarının oranı aynı zamanda wingsuit'lerin  $L/D$  oranına eşittir ve Eşitlik 19'da gösterilmektedir [8-10].

$$\frac{K_l}{K_d} = \frac{V_{xs}}{V_{ys}} = \frac{L}{D} \quad (19)$$

Eşitlik 19'dan sonra hala bilinmeyen aerodinamik parametreler kanat yüklemesi  $mg/S$  ve aerodinamik katsayıları  $C_l$ ,  $C_d$ 'dir. Bu parametreler  $K_l$  ve  $K_d$  katsayılarının içerisinde yer almaktadır. Belirli yatay ve dikey hızlarda kolaylıkla hesaplanabilmektedir.

Burada türetilen diferansiyel eşitliklerin tamamına wingsuit eşitlikleri denilmektedir (Eşitlik 20 ve 21) [18].

$$\frac{dV_x}{dt} = gV(K_l V_y - K_d V_x) \quad (20)$$

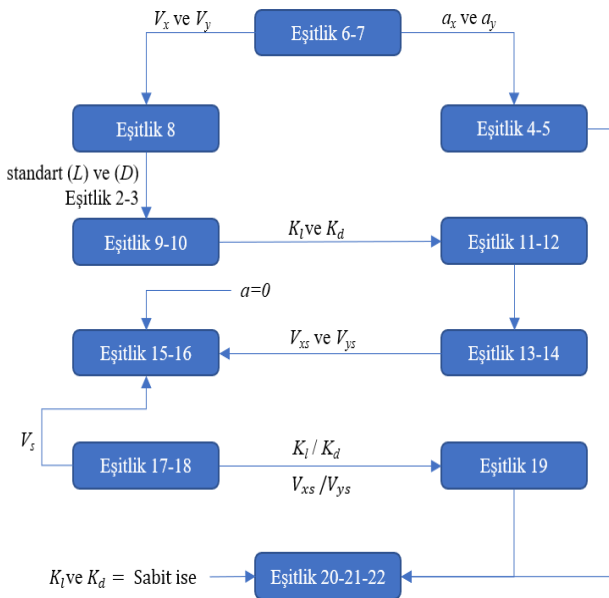
$$\frac{dV_y}{dt} = g - gV(K_l V_x + K_d V_y) \quad (21)$$

Ayrıca matris formunda yazımı (Eşitlik 22);

$$\frac{\vec{V}}{g} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} - V \begin{bmatrix} K_d & -K_l \\ K_l & K_d \end{bmatrix} \vec{V} \quad (22)$$

Bu eşitlikleri basitleştiren temel unsur  $K_l$  ve  $K_d$ 'nin uçuş boyunca sabit olmasıdır. Yani wingsuit pilotu uçuş boyunca vücut pozisyonunu ve hücum açısını koruduğu varsayılmıştır [8-18].

Bu bölüm içerisinde bahsedilen bütün Eşitlikler'in birbirleri ile olan bağlantılarının anlaşılması wingsuit BASE atlayışları için büyük önem taşımaktadır. Bu önemle Şekil 8'de bütün eşitliklerin birbirleri ile olan ilişkisinin açıklandığı akış diyagramı sunulmuştur. Ayrıca eşitliklerde  $K_l$ ,  $K_d$ ,  $V_{xs}$  ve  $V_{ys}$  gibi katsayıların hangi eşitliklerde katkı sağladıklarında akış diyagramında gösterilmiştir.



Şekil 8. Eşitlikler için akış diyagramı

#### 4. Sonuçlar

Rüzgâr olmayan, stabil bir havada GPS bağlantılı bir uçuş veri cihazı (flight sight) ile kaydedilen verilerin sonuçları kullanılarak en iyi  $L/D$  oranı bulunabilmektedir. Bu veriler ışığında sabit bir

nesneden atlayış yapan bir wingsuit pilotu için aynı vücut pozisyonu ve aynı hücum açısında yapılan bir atlayışta yunuslama açısı (pitch angle) değiştirilirse sabit hızlardan hesaplanan wingsuit denklemleri ile sayısal olarak kolayca ifade etmek mümkündür. Kısaca bir BASE atlayışı yapan wingsuit pilotunun atlayışı esnasında ölçülebilecek iki parametre ile uçuşun her anında konumu ve hızını rahatlıkla hesaplamak mümkündür.

Hücum açısı ve vücut pozisyonunun sabit olmadığı yani farklı hücum açılarında birtakım uçuş parametrelerini bilmemiz şarttır. Bu parametreler  $V_x$  ve  $V_{ys}$  kombinasyonları veya  $K_l$  ve  $K_d$  değerleridir. Bu değerlerin tam olarak bilinmesi için bir wingsuit BASE atlayışta kaydedilen uçuş verilerinin analiz edilmesi gereklidir. Bulunan değerlerin, wingsuit eşitliklerine uygulayıp bir sonraki anda uçuş durumunu hesaplamak için o anki duruma karşılık gelen hücum açısı kullanılmalıdır.

Bununla birlikte verilen bilimsel eşitlikler, wingsuit atlayışlarında kullanılmak üzere üretilmesi planlanan, uçuş kayıt ve uçuş yönlendirici cihaz için bir temel oluşturmuştur.

Gerçekte yapılan bir Wingsuit BASE atlayış ele alınacak olursa, atlayış yapılan ilk birkaç saniye (çıkış) güvenlik açısından çok önemlidir. Ancak bu ilk birkaç saniyede aerodinamik kuvvetler oldukça küçüktür. İlk çıkış anında Hücum açısında, kaldırma ve sürtünme katsayılarında yaşanan önemli değişiklikler, genel uçuş için önemli bir etkiye sahip değildir. Yapılan en iyi atlayışlarda, çıkışlar wingsuit'i süzülüşe geçirene kadar hızlı ve pratik olmalıdır. Bu pratiklik ile yapılan bir uçuşta hücum açısını ve vücut pozisyonunu korumak kolay olacağı için sabit uçuş eşitlikleri daha gerçekçi olacaktır.

#### Etik Kurul Onayı

Gerekli değil

#### Kaynaklar

- [1] Krölller, E., 2016. Fear of Flying? The Myth of Daedalus and Icarus in Canadian Culture: To the Memory of Greg Curnoe. Journal of Canadian Studies, 28(4), 102-116.
- [2] Culick, F. E. C., 2003. The Wright Brothers: First Aeronautical Engineers and Test Pilots. AIAA Journal, 41(6), 985-1006.



- [3] Raffel, M., Wienke, F., Dillmann, A. 2019. Flight-Testing Stability and Controllability of Otto Lilienthal's Monoplane Design from 1893. *Journal Of Aircraft*, 56(4), 1735-1742.
- [4] Skydiving Melbourne. 2015. Where did it all start? <http://www.skydivingmelbourne.com.au/> (Erişim Tarihi: 09.11.2020).
- [5] Rodwell, T. 2018. *Daredevil Dads*. ss 1-83. . Crux Publishing Ltd, 214s.
- [6] Salazar, K. 2011. Leslie Leroy Irvin. <https://www.findagrave.com/memorial/74770725/leslie-leroy-irvin> (Erişim Tarihi: 13.12.2020).
- [7] Ferguson, M. 2016. Flying without Dying: The Future of Wingsuit Design. <https://openscholarship.wustl.edu/engr310/1/> (Erişim Tarihi: 13.12.2020).
- [8] Robson, G., D'andrea, R., 2010. Longitudinal Stability Analysis of a Jet-Powered Wingsuit. *AIAA Atmospheric Flight Mechanics Conference*, 1-9.
- [9] Berry, M, S., Fargeas, J, L., Blair K, B., 2010. Wind Tunnel Testing of a Novel Wingsuit Design. *Journal of Canadian Studies*, 2(2), 2735-2740.
- [10] Sestak, T, A. 2017. The Effect of Surface Materials and Morphology on Wingsuit Aerodynamics. *Embry-Riddle Aeronautical University, PhD Dissertations and Master's Theses*, 355s, Daytona Beach, Florida.
- [11] Rodney, R., Bennet, A, F., 2003. Home range of the squirrel glider (*Petaurus norfolcensis*) in a network of remnant linear habitats. *Journal of Zoology*, 259(4), 327-336.
- [12] Schwartz, D. 2012. Wing-Suits: Humans Surpassing Animals in Flight. <http://blogs.bu.edu/bioaerial2012/2012/09/26/wing-suits-humans-surpassing-animals-in-flight/> (Erişim Tarihi: 09.11.2020).
- [13] Reddit,. 2014. Wingsuit progression (beginner/intermediate/advanced). [https://www.reddit.com/r/pics/comments/2mb52c/wingsuit\\_progression\\_beginner\\_intermediate\\_advanced/](https://www.reddit.com/r/pics/comments/2mb52c/wingsuit_progression_beginner_intermediate_advanced/) (Erişim Tarihi: 09.11.2020).
- [14] Carina A. H., Reidar J. M., 2006. Space and Place for BASE: On the Evolution of a BASE - Jumping Attraction Image. *Scandinavian Journal of Hospitality and Tourism*, 6(2), 95-117.
- [15] Gerdes, M. 2010. *The Great Book of BASE*. s Publishing, 270s.
- [16] Mei-Dan, O., Carmont, M., 2012. The Epidemiology of Severe and Catastrophic Injuries in BASE Jumping. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 22(4), 262-267.
- [17] Stöckl, A., Sieker, J., Westman, A., 2012. Practical and Conceptual Analysis of Wingsuit BASE Flight. *Muscle, Ligaments and Tendons Journal*, 10(2), 257-268.
- [18] Yuri, B. 2006. The Wingsuit Theory, or How to fly like an eagle while barely moving on the couch. <https://www.dropzone.com/forums/topic/97830-the-wingsuit-theory-or-how-to-fly-like-an-eagle-while-barely-moving-on-the-couch> (Erişim Tarihi: 09.11.2020).
- [19] Konar M. (2019). "Redesign of morphing UAV's winglet using DS algorithm based ANFIS model", *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 91 (9), 1214-1222.
- [20] 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.
- [21] Arik, S., Turkmen, I., & Oktay, T. (2018). Redesign of morphing UAV for simultaneous improvement of directional stability and maximum lift/drag ratio. *Advances in Electrical and Computer Engineering*, 18(4), 57-62.
- [22] Oktay, T., Arik, S., Turkmen, I., Uzun, M., & Celik, H. (2018). Neural network based redesign of morphing UAV for simultaneous improvement of roll stability and maximum lift/drag ratio. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*.