



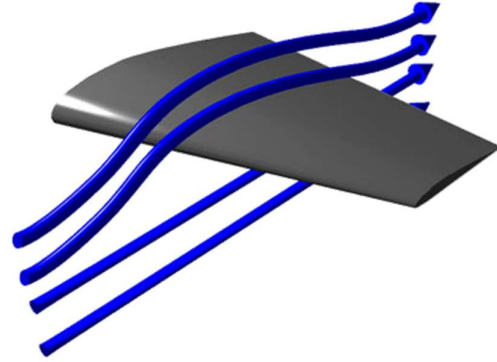
**Aerodinamik**  
**Eğitim Ders Notları**



## AERODİNAMİK

Hava ve diğer gaz şeklindeki akışkanların hareketlerini, aynı zamanda bu akışkanlar içinde hareket eden katı cisimlerin durumlarını ve bunlara tesir eden kuvvetleri inceleyen bilimdir.

Bize uçuşun temel prensiplerini verir ve havacılık temelini teşkil eder. Teorik bilgisi iyi olan pilotlar uçuşta karşılaştıkları problemleri daha bilinçli olarak çözerler.

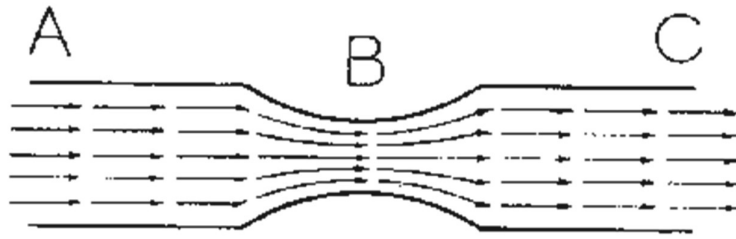


### 1.1. Bernoulli Prensibi

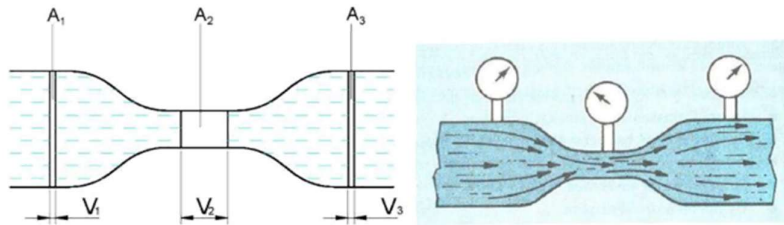


Bernoulli, akışkanlar (gaz, hava, su) kanununu çıkaran bir araştırmacıdır. Bir kanat profiline yaratılması ve meydana gelmesinin en önemli fizik yasası Bernoulli Prensibidir.

Bu prensibe göre, bir akışkanın hızı arttıkça o akışkan içindeki basınç azalır veya tersine olarak bir akışkanın hızı azaldıkça o akışkan içindeki basınçta artar.

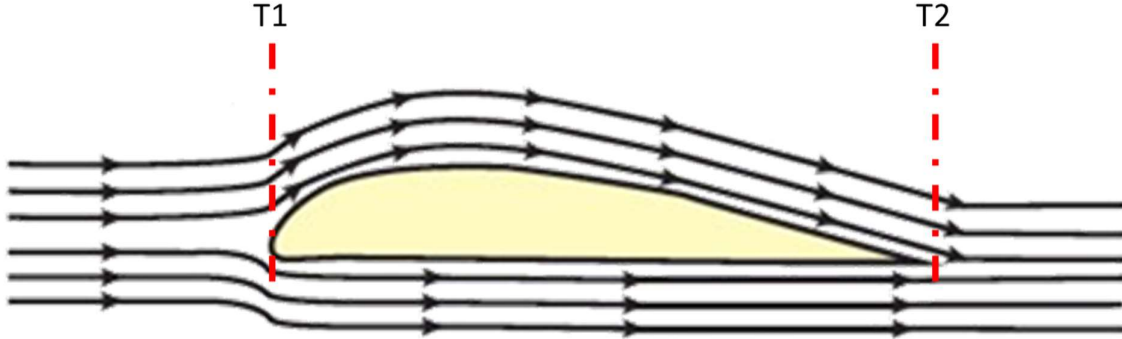


Bernoulli prensibinin en bariz anlatımı "Venturi Borusu" üzerinde yapılan çalışmadır. Venturi borusu, orta kısmı uçlarına oranla daha dar olan bir borudan oluşur. Hava bu borunun içinden geçerken dar kısma geldiği zaman sürati artar basınç düşer dar bölgeden geniş kısma geldiği zaman ise sürati azalır basınç yükselir.



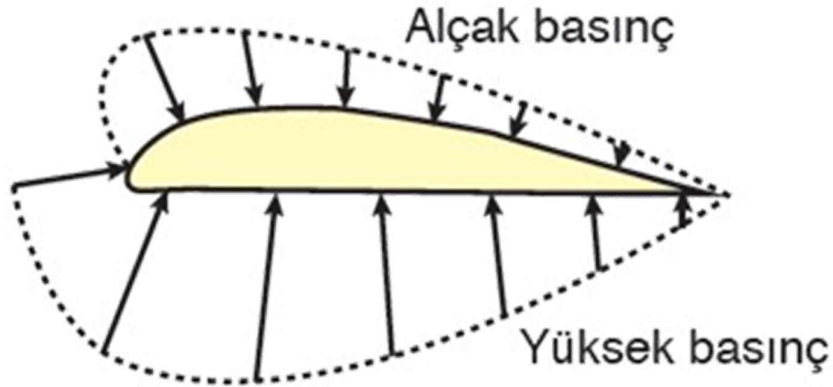
Şekil 1. Bernoulli Prensibi

Kanat alt yüzeyine göre, üst yüzeyin kamburumsu şekli hava akımının burada daha hızlı ve dolayısıyla basıncın daha düşük olmasını sağlar. Alt ve üst yüzeylerdeki bu basınç farklarından dolayı da bir kaldırma kuvveti oluşur.



Şekil 2. Kanadın üst yüzeyinde oluşan kaldırma kuvveti. (Alçak Basınç)

Havanın daha yavaş geçtiği kanadın alt yüzeyinde yüksek basınç, havanın daha hızlı geçtiği kanadın üst yüzeyinde ise alçak basınç oluşur.

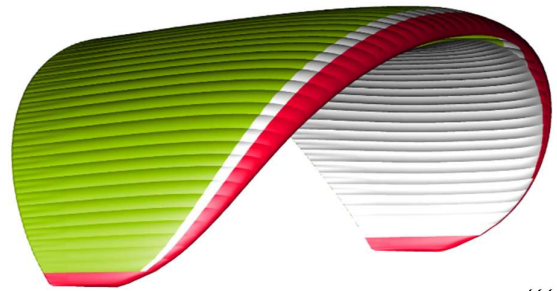


Şekil 3. Kanat da oluşan basınç alanları.

## Yamaç paraşütü Nasıl Uçar?

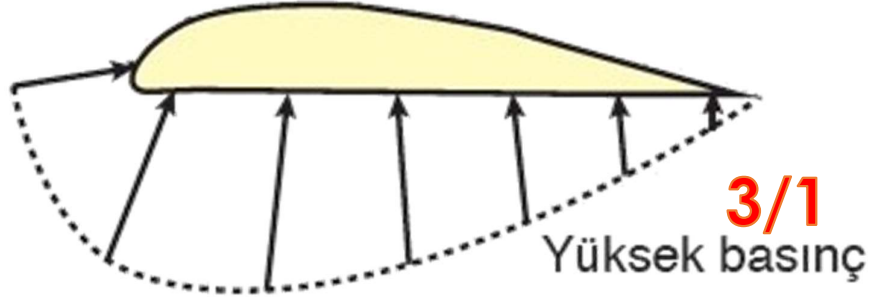
Yamaç paraşütü rüzgâr yardımıyla tamamen şişirildiğinde kanat şeklini alır ve bu yapısı, diğer hava araçlarında olduğu gibi kaldırma gücü oluşturur. Kanat uçuşunu ileri ve aşağı doğru sürdürürken üzerinde hava akımları oluşturur.

Burada 3 kuvvet etkilidir; birincisi bizi aşağı doğru çeken **yerçekimi kuvveti**, ikincisi bizi yukarı doğru çeken **kaldırma kuvveti**, üçüncüsü ise hareket halindeki kanadın yüzeyinden geçen hava akımına karşı oluşturduğu **sürükleme kuvvetidir**.



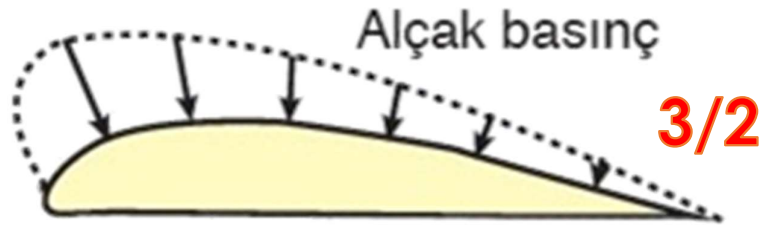
Şekil 4. Yamaç paraşütü kanadı.

Hava molekülleri ilk olarak ön kenara çarpar ve kanat çevresinde, altında ve üstünde olmak üzere iki farklı akım oluşturur. Alttan geçen hava akımı alt yüzeye az bir açıyla çarparken kısa bir yol izler ve yüksek basınç alanı (itme) yaratır. Kanat üzerindeki kaldırma kuvvetinin yaklaşık üçte biri bu itmeden dolayı oluşur.



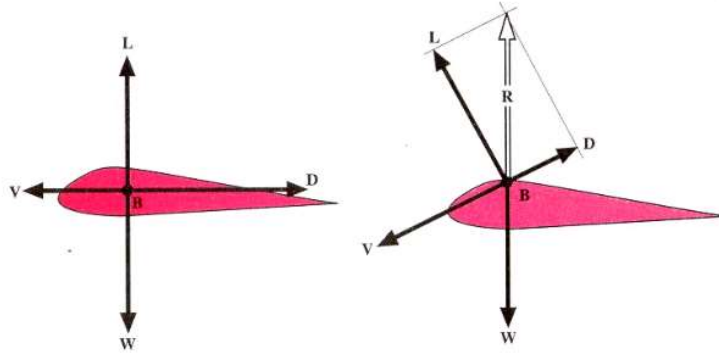
Şekil 5. Kanadın altında oluşan itme kuvveti.

Hava akımı üst yüzeyi yalayarak geçerken kamburumsu üst yüzeyden dolayı daha uzun bir yol izler ve akım yukarı doğru saptırılır ve düşük basınç alanı oluşturur. Kanat üzerinden hava akıp geçerken kanadın fiziksel engellemesi nedeniyle kanat aşağı doğru sıkıştırılırken normal hava yukarı doğru iter. Kanadın kaldırma kuvvetinin üçte ikisi de burada oluşur.



Şekil 6. Kanadın üstünde oluşan kaldırma kuvveti.

Kanat üzerinde etkili olan üçüncü kuvvet ise sürüklenmedir. Bizi geriye doğru çekmeye çalışır, kanadın hızını ve etkinliğini azaltır. Bütün bu kuvvetler belli bir dengede ise kanat süzülmesini sürdürür.



Şekil 7. Kanada Etki Eden Kuvvetler



- W : Yerçekimi kuvveti
- D : Sürüklenme kuvveti
- L : Kaldırma kuvveti
- V : Uçuş Hattı Üzerindeki İleri Hız
- R : Ağırlığın tersindeki kaldırıcı (L/D Bileşeni)
- B : Basınç merkezi

**AERODİN** : Kanat profili sabit olan hava araçlarının kanat kesitlerine denir.



Şekil 8. Planör

**AEROFOİL** : Kanat profili sabit olmayan hava araçlarının tahmini kanat kesitlerine denir.



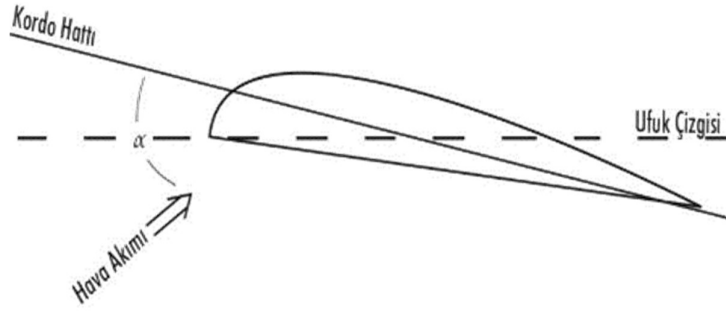
Şekil 9. Yamaç paraşütü

**Yerçekimi** : Ağırlığın aşağı doğru çekilmesine etki eden bir kuvvettir.

**Basınç Merkezi** : Şişmiş kanadın hareketinden dolayı farklı bölgelerinde farklı oranlarda kaldırma kuvveti oluştururlar. Basınç merkezi kaldırmanın etkili olabileceği teorik denge merkezidir.

## Hücum Açısı

Hücum Açısı kanadın havaya göre hareket doğrultusu ile kanat düzlemi arasındaki açıdır. Kanadın belirli bir hızda ve uygun bir hücum açısında uçması durumunda en ideal süzülmesi sağlanmış olacaktır. Bir yamaç paraşütünün uçuşu genellikle pilotun kumandalarına bağlı olarak sabitlenir.



Şekil 10. Hücüm Açısı

Fakat frenlerle oynayarak hücüm açısını değiştirilebilir. Frenler yukarı bırakılırsa hücüm açısı düşürülür, aşağıya çekilirse hücüm açısı yükseltilir. Ancak bu eşitlikler bozulursa buna bağlı olarak kanadın uçuş ve süzülmesinde değişiklikler meydana gelecektir. Düşük ve yüksek hücüm açısı diye ikiye ayrılır.

### 1. Düşük Hücüm Açısı

Frenlerin sıfırlanması veya hız çubuğuna basarak kanadın hücüm açısı düşürülebilir. Hücüm açısı düşen kanat daha hızlı hareket edecektir. Hücüm açısı aşırı düşürüldüğünde sabit olmayan kanat yapısı bozulmaya başlar, kanadın ön tarafındaki sel ağızları içeri doğru kırılır ve kanatta önden kapanmalara neden olur.



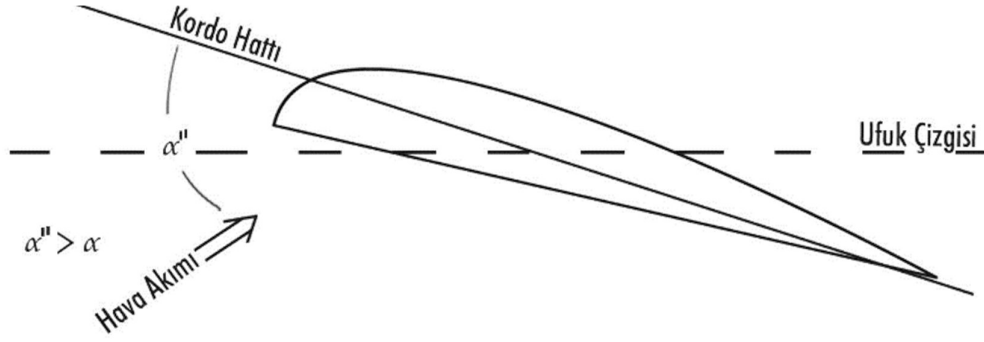
Şekil 11. Düşük Hücüm Açısı



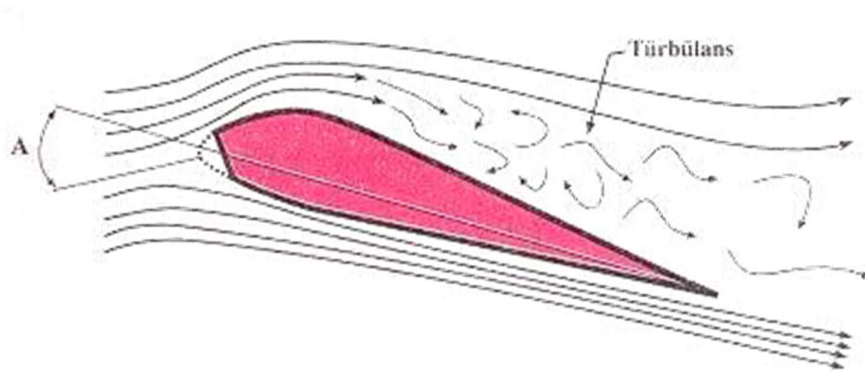
Şekil 12. Önden Kapanmış Bir Kanat

## 2. Yüksek Hücüm Açısı

Yüksek hücüm açısında ise kanat üzerinde daha az hava akımı olur ve kanat daha yavaş hareket eder. Eğer hücüm açısı daha çok arttırılırsa hava kanadın üzerinde düzenli olarak akamaz ve kanat geriye doğru yıkılmaya başlar, kanadın üst yüzeyinde türbülans oluştuğundan alçak basınç alanı bozulur ve kanat uçma özelliğini kaybederek stola girer.



Şekil 13. Yüksek Hücüm Açısı



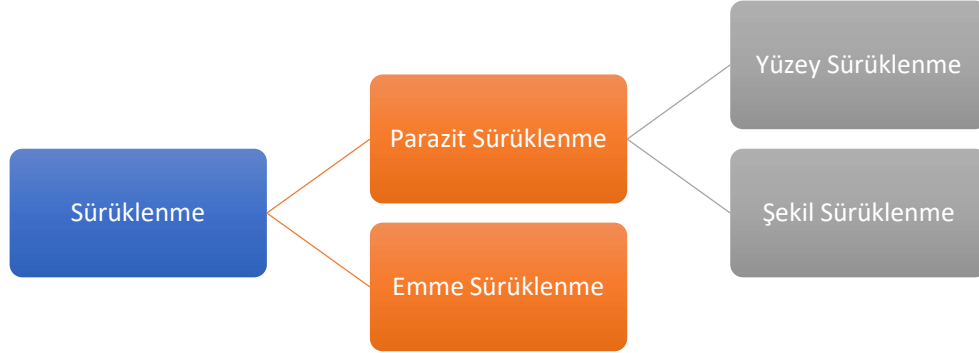
Şekil 14. Yüksek Hücüm Açısı Yüzünden Stola Girmiş Bir Kanat



Şekil 15. Stola Girmiş Bir Kanat.

## Sürüklenme

Sürüklenme bizi geriye doğru çeken kuvvet yani uçuş sırasında ilerlerken havanın oluşturduğu dirençtir.



Şekil 16. Sürüklenme Şeması

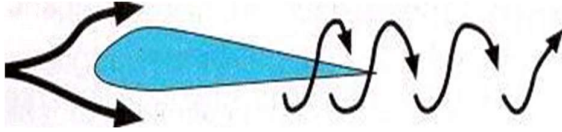
### 1. Parazit Sürüklenme

Yüzey üzerindeki engellerin neden olduğu sürtünmedir. Hava içinde daha hızlı uçuş daha fazla parazit sürüklenme meydana getirir. Parazit sürüklenme hızla doğru orantılı olarak artar. Parazit sürüklenme kendi içinde de ikiye ayrılır.

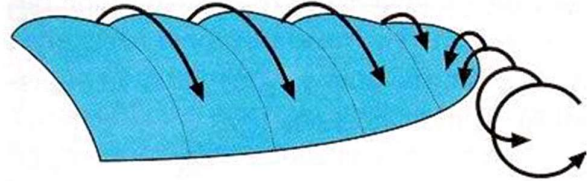
- Yüzey Sürüklenme** : Hava ve hareket halindeki kısmın yüzeyinin sürtünmeyle birbirine etki etmelerinden doğar. Yüzeyin kaygan veya pürüzlü oluşu bunu etkiler.
- Şekil Sürüklenme** : Hava akımının bozulmasından ve anaforlaşmasından ortaya çıkar.

### 2. Emme Sürüklenme

Şişmiş kanatın hareketi havanın durumunu bozar ve emme sürüklenme yaratır. Her zaman emme sürüklenme ön kenarda az da olsa bulunur. En fazla kanat uçlarında oluşur. Kanat üzerindeki alçak basınç alanı alttaki yüksek basınca göre daha fazla hava çeker fakat kanat uçlarında hava daha kolay akım oluşturur ve arka kenarlarda anaforlar oluşur.



Şekil 17. Kanadın Firar Kenarında Oluşan Emme Sürüklenme



Şekil 18. Kanadın Uçlarında Oluşan Emme Sürüklenme

Kanat uçlarında alt ve üst yüzey arasındaki basınç farklılığı arka taraftaki havanın kanat çevresinde dönmesiyle eşitlenmektedir. Yamaçparaşütü ileri doğru giderken kanat uçlarında anaforlar oluşturur. Bu emme sürüklemenin en önemli sebebidir. Kanat uçlarında kulaklar gibi bazı dizayn özelliklerinin görevi bu problemi en aza indirmeye çalışmaktır.

Emme sürüklenme hızın artmasıyla azalır, dolayısıyla parazit ve emme sürüklenmenin toplamı en ideal noktaya gelir. Bu nokta aynı zamanda süzülme oranının en iyi olduğu hızdır.



**Şekil Sürüklenme** : Hızla sürüklenme arasında doğru orantı vardır. Hız arttıkça sürüklenme de artar.

**Emme Sürüklenme** : Hızla sürüklenme arasında ters orantı vardır. Hız arttıkça sürüklenme azalır.

**Toplam Sürüklenme** :  $(\dot{S})$  ile  $(ES)$ 'nin kesiştiği noktada toplam sürüklenme minimum olur.

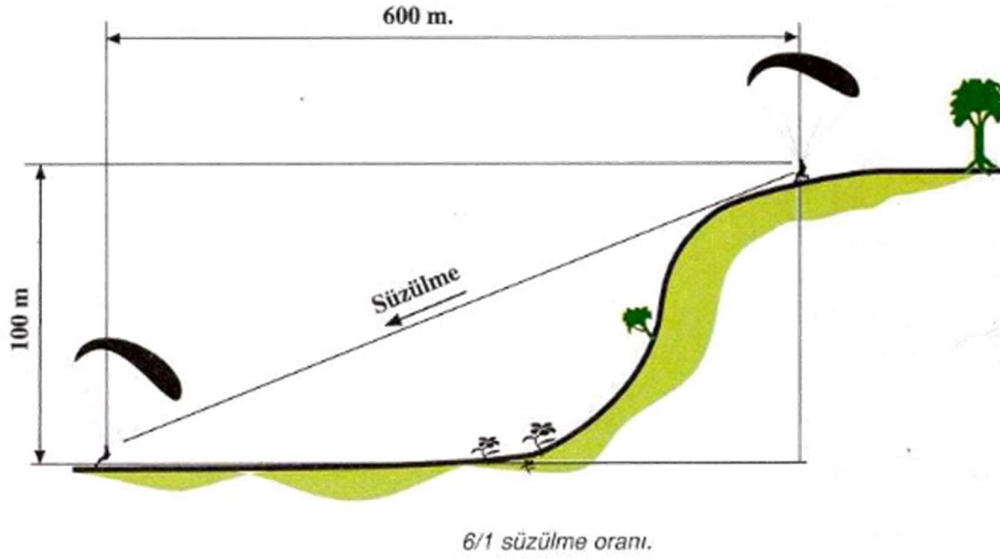
## Süzülme

Yamaçparaşütünün irtifa kaybına karşı kat edebileceği mesafe arasındaki orandır. Bu oran kanadın performansının belirlenmesinde kullanılmasının yanında rüzgâr hızı da dikkate alındığında hangi yükseklikten yaklaşık olarak ne kadar uzağa gidilebileceğini verir.

En iyi L / D oranı, kaldırma gücünün sürüklemeye göre en yüksek olduğu noktada oluşur,

L : Kaldırma gücü

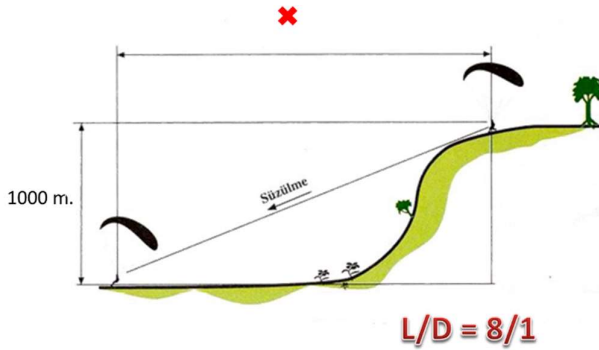
D : Toplam sürüklenme



L / D oranı 6/1 olan bir yamaç paraşütü,  
600 metre süzülürken 100 metre yükseklik kaybeder.

### Örnek Soru?

L/ D oranı 8/1 olan bir yamaç paraşütü, 1000 m.lik bir tepeden kalktığında ne kadar ileriye doğru süzülebilir?



### Cevap:

L/D Oranı 8/1 olan bir yamaç paraşütü 8 metre süzülüşte 1 metre irtifa kaybediyordur. 1 metre irtifa kaybederken 8 metre süzülüyorsa 1000 metre yüksekliğindeki bir tepeden havalanan yamaç paraşütü 0 metreye inmek için 8000 metre süzülür.

## Çökme Miktarı

Üretilen yamaç paraşütünün "Üretici Bilgi Kartlarında" minimum çökme miktarı belirtilmektedir. Bu miktar kanadın hava içerisinde birim zamanda kaybettiği irtifayı belirtir. Eğer çöküş oranınız 1.5 m/s ise uçuş sırasında saniyede 1.5 m alçalyorsunuz demektir.

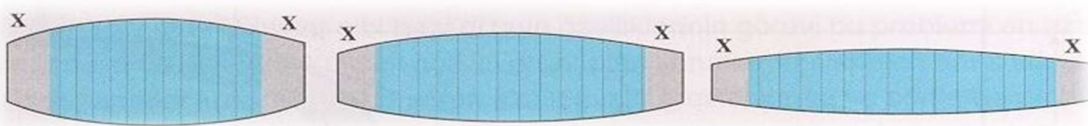
Tablo 1. Örnek Kanat Mukayese Tablosu

Bilgi	Başlangıç	Orta Seviye
Alan düz [m <sup>2</sup> ]	28	28
Açıklık düz [m]	11.72	13.23
Açıklık Genişlik Oranı	4.81	6.48
Hücre Sayısı	32	75
Kanat Ağırlığı [kg]	5.9	6.2
Ağırlık Aralığı [kg]*	85-110	90-110
Minimum Hız [km/h]	22-24	23-25
Süzülüş Hızı [km/h]	35-37	37-39
Üst Hz (gaz) [km/h]	44-46	55-58
Süzülüş Oranı	7.4	10
Min. Çökme Miktarı[m/s]	1.25	1.05
Sertifika (Belge)	EN-A	EN-C

## Açıklık Oranı

Açıklık oranı kanadın şeklinin bir ölçümüdür. Kanat yere düz bir şekilde sırt üstü yayılıp yukarıdan bakıldığında kanada ait performans ve özellikleri hakkında ipuçları verir. Yüksek rakamlar yüksek performansı, ancak düşük güvenilirliği belirtir. Açıklık oranına göre kanat ucu anaforlarının etki alanı da farklılık gösterir.

Verilen bir kanat yüzeyine göre, kanat ucu anaforları kanat ucundan çok içlere kadar etkili olurlar. Kanat ucu anaforlarının tesir ettiği kanat alanı kısmı X ile gösterilmiştir. Şekildeki bütün kanatların alanı eşittir. (Açıklık oranı, kanat uzunluğunun karesinin alana bölünmesiyle bulunur.)



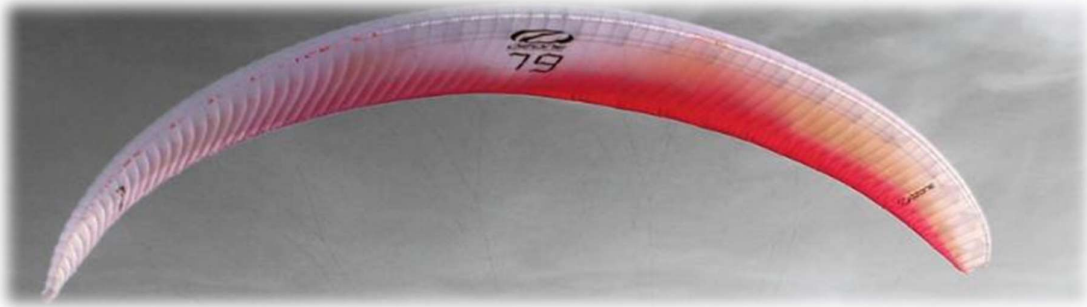
Şekil 19. Açıklık Oranları Farklı Olan Kanat Örnekleri



Şekil 20. Başlangıç Seviyesindeki Kanadın Açıklık Oranı



Şekil 21. Orta Seviyedeki Bir Kanadın Açıklık Oranı



Şekil 22. İleri Seviye Bir Kanadın Açıklık Oranı



Tablo 2. Başlangıç ve Yarışma Kanatlarının Birbiri İle Mukayesesi

Açıklamalar	Eğitim Paraşütü	Yarışma Paraşütü
Süzülüş Oranı	Düşük	Yüksek
Çöküş Oranı	Yüksek	Düşük
Stabilize	Yüksek	Düşük
Hız	Düşük	Yüksek
Seller	Büyük	Küçük
Emniyet	Yüksek	Düşük
Sertifikasyon	EN-A	EN-D