

DÖNEN PARAŞÜTLERİN GEOMETRİK PARAMETRELERİNİN KRİTİK DÖNME HIZLARINA ETKİSİ

Özgür Evren YAĞIZ, Kahraman ALBAYRAK, R. Orhan YILDIRIM

ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Dönen paraşütler, gereçlerin düşme hızlarını yavaşlatmak ve paraşüt eksenini etrafında dönmelerini sağlamak amacıyla kullanılırlar. Paraşütün dönüşü, cisme askı ipleri ile iletilir. Askı ipleri elastik malzemeler olduklarından dönen paraşütün torkunun cisme iletilmesi kolay bir iş değildir ve bu bazen sorunlar yaratmaktadır. İki ayrı paraşütün ve bir yuvarlak paraşütün geometrik parametreleri (askı ipi ve sendeleme uzunluğu gibi) değiştirilerek oniki çeşit paraşüt yapısı oluşturulmuştur. Deney düzeneğine uyarlanan bir tork ölçüm mekanizması kullanılarak bu paraşüt yapılarının silindirik cisme iletebildikleri maksimum tork değerleri ölçülmüştür. İletilebilir maksimum tork değerleri, düzgün açılmayan üç paraşüt yapısı dışında, 0.072 ile 0.104 N.m arasında değişmektedir. En yüksek tork değeri Yuvarlak Paraşüte aittir. Elde edilen sonuçlardan her bir dönen paraşüt yapısı için bir kritik dönme hızının olduğu gözlenmiştir. Bu değer altında, dönen paraşütün ipleri dolanmaktadır. Düşük dönme hızına ve/veya kısa askı ipi uzunluğuna sahip bir paraşüt yapısının yüksek dönme hızına ve/veya uzun askı ipi uzunluğuna sahip bir paraşüt yapısına göre daha düşük bir kritik dönme hızına sahip olduğu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Dönen paraşütler, artı paraşütler, paraşütlerin aerodinamiği

ABSTRACT

Rotating parachutes are used to decelerate payloads and to provide roll about the axis of the parachute system. Rotation of the parachute is transferred to the payload by the cords. Since the cords are elastic materials, transferring of the torque of the rotating parachute to the payload is not an easy task and sometimes it creates problems. By changing the geometrical parameters (such as cord length and staggering distance) of two Cross Parachutes and one Round Parachute, twelve different configurations were constructed. By using a torque measurement mechanism which was adapted to the test set-up, the maximum transferable torques of these configurations to the cylindrical payload were measured. The maximum transferable torque values lie between 0.072 and 0.100 N.m, except the results of three configurations that they failed to open successfully. The highest transferable torque value belongs to the Round Parachute. From the results obtained, it is observed that there is a critical spin rate value for each rotating configuration. Below this value, the cords of the rotating parachute are wrapped around. It is found that a configuration with low spin rate and/or a short cord length has a low critical spin rate value compared with configuration with a high spin rate and/or long cord length.

Keywords: Rotating parachutes, cross parachutes, aerodynamics of parachutes

Giriş

Son yıllarda paraşütlere yeni görevler yüklenmektedir. Bu görevler, bir kişinin/malzemenin yere indirilmesi veya bir uçağın hızının yavaşlatılması gibi geleneksel fonksiyonların dışında olup özel bir görevi yerine getirmek üzere yere indirilen cisimlere süzülme, dönme veya kombine (süzülme+dönme) manevralar yaptıracak şekilde, cisimlerin uçuş rotalarını kontrol altına almak üzerinedir. Bugün, modern paraşüt sistemlerinden biri dönen paraşüt-gereç sistemleridir.

Dönen paraşütler taşıdıkları cisimlerin (gereçlerin) düşme hızlarını yavaşlatmak ve aynı zamanda cisimleri paraşüt eksenini etrafında döndürmede kullanılırlar. Bu paraşütler ile birlikte kullanılan malzemeler silindirik biçimde cisimlerdir. Bu sistemlerin kararlı düşüşte en önemli performans parametreleri, belirli ağırlıktaki bir silindirik cisim için, sabit düşme hızı V , sabit dönme hızı f ve dinamik stabilitedir.

Tanımlanmış bir uçuş gereksinimini yerine getirmek üzere tasarlanan dönen paraşütlerin geometrik boyutları

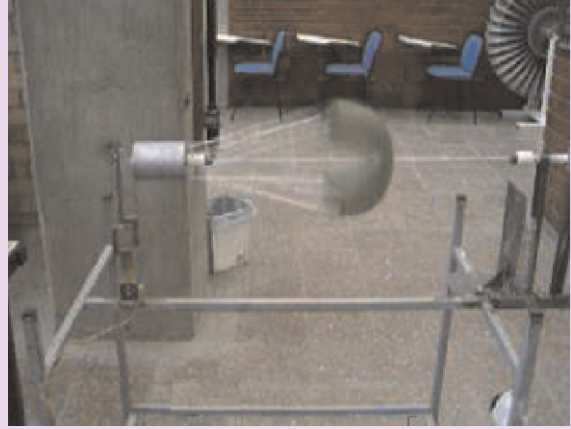
değiştirilerek elde edilen modelleri uygun deney düzenekleri yardımıyla rüzgar tünellerinde test edilirler [1-5]. Bu hızlı dönen paraşütler ile ilgili bir önemli sorun, paraşütün yarattığı torku ipleri dolanmadan yere indirdiği cisme iletebilmesidir. Eğer tork çok büyükse, askı ipleri dolanmakta ve paraşüt çökmektedir.

Dönen paraşütlerin cisimlerine iletebilecekleri torkun belirlenmesi üzerine yapılan çalışmaların birinde, yazarlar iletebilir tork için analitik bir denklem üretmişlerdir [6]. Diğer bir çalışmada ise yazarlar tasarladıkları deney düzeneği ile çeşitli dönen paraşütler için iplerinin dolanmadan önce iletebileceği maksimum torku ölçmüşlerdir [7].

ODTÜ-Makina Mühendisliği Bölümü'ne bağlı Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarı'nda gerçekleştirilen tork ölçüm testlerinde çeşitli dönen paraşütlerin kararlı akıştaki sabit dönme hızlarından başlayarak, artırılan sürtünme kuvveti etkisi altında paraşütlerin askı ipleri dolanmaya kadar döndürdükleri cisme ilettikleri torklar ölçülmüştür. Her dönen paraşüt yapısı için torkun, dönme hızı ile değişimi göz önünde bulundurulmuş ve o paraşüt yapısı için kritik dönme hızı belirlenmiştir.

DENEY DÜZENEĞİ VE KULLANILAN ALETLER

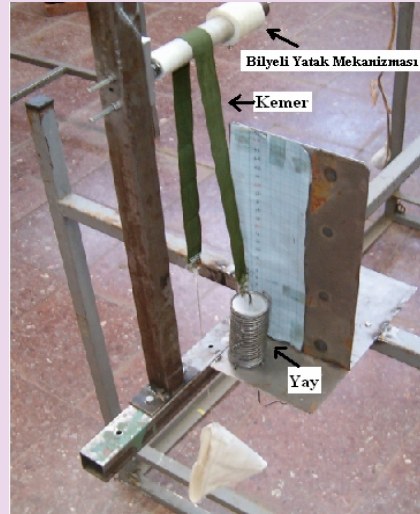
Deney düzeneği, rüzgar tünelli çıkış jeti yolu üzerinde ancak tünel çıkışından belirli bir uzaklıkta kurulmuştur. Deney düzeneğinin tasarımında demir bir iskelet üzerine monte edilmiş iki destek arasında, ağırlığının ve sürtünme kuvvetinin göreceli olarak ihmal edildiği bilyeli yataklar kullanılmıştır (Şekil 1). Her iki destek üzerine monte edilen bu bilyeli yatak mekanizmaları ince bir alüminyum çubuk ile bağlanarak sistemin birlikte dönmesi sağlanmıştır. Bilyeli yatak mekanizmalarından birinin üzerinde, dönen paraşütün iplerine direk bağlı olan ve ağırlığı ihmal edilebilir ince sacdan imal edilmiş silindirik cisim bulunur (Şekil 2). Diğer yatak mekanizmasının olduğu kısım, yay-kemer mekanizması aracılığıyla dönen paraşütün yarattığı torkun ölçüldüğü kısımdır (Şekil 3).



Şekil 1. Tork Ölçüm Mekanizması



Şekil 2. Dönen Paraşüt-Gereç Sistemi



Şekil 3. Yay-Kemer Mekanizması



Şekil 4. Rüzgar Tüneli

Şekil 1'de görülen paraşüt-gereç sistemi tork ölçüm (bilyeli yatak) mekanizması ile birlikte rüzgar tünelinden çıkan kararlı rüzgar hızı (V) etkisiyle sabit bir hızda (f) döner. Bilyeli yataktaki sürtünme katsayısı ve dolayısıyla sürtünme kuvveti göreceli olarak çok küçük olduğundan yatakların sürtünmesiz olduğu varsayılmıştır.

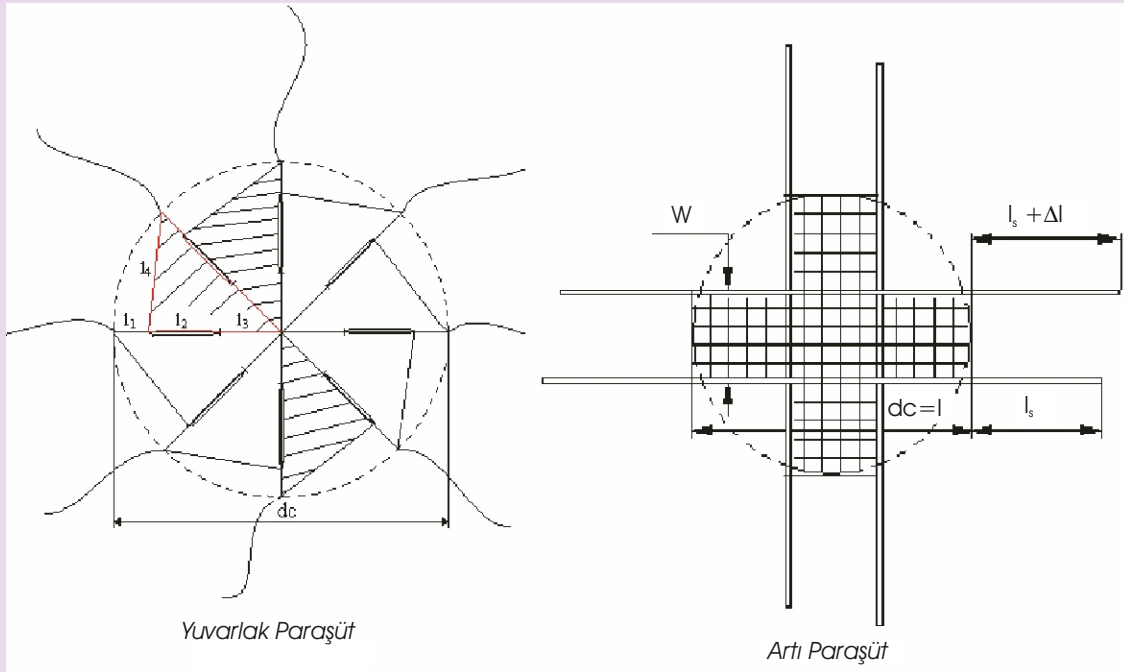
Deneyler sırasında kullanılan tünel, aerodinamik cisimlerin test edilmesine olanak sağlayan bir ses-altı

rüzgar tüneldir. Tünelin test alanı $300 \times 300 \text{ mm}^2$ olup, deney bölgesindeki maksimum rüzgar hızı yaklaşık 35 m/s 'dir (Şekil 4). Ancak, deneylerde test alanı yerine tünel çıkışındaki kararlı hava jeti kullanılmıştır. Tünel çıkışındaki jet karakteristiği yapılan ölçümlerle belirlenerek paraşüt ölçüleriyle olan ilişkisi kurulmuş ve paraşütlerin jet içerisinde kalması sağlanmıştır. Deneyler sırasında, paraşütlerin dönme hızları bir takometre kullanılarak ölçülmüştür.

PARAŞÜT MODELLERİ

Deneylerde üç farklı paraşüt kullanılmıştır. Bu paraşütlerden ikisi "Artı Paraşüt"tür. Diğer paraşüt ise özel olarak tasarlanmış "Yuvarlak Paraşüt" olarak adlandırılan bir paraşüttür. Şekil 5'te bu iki paraşütün şematik çizimleri gösterilmiştir.

Yuvarlak Paraşüt sekiz adet panodan oluşup, paraşütün eteklerine yakın yerlerinde her pano için bir jet açıklığı bulunmaktadır. Paraşütün altından giren hava akımı, geçirgen paraşüt kumaşından çok daha hızlı bir şekilde bu jet açıklıklarından çıkmakta ve paraşütü



Şekil 5. Testlerde Kullanılan Paraşütlerin Şematik Çizimleri

döndürmektedir. Bu paraşüt havada, tek yöne olmak üzere sürekli biçimde dönmektedir. Paraşütün askı iplerinin (l_s) uzunlukları birbirine eşittir.

birlikte kullanılarak maksimum iletilebilir tork değerleri ölçülmüştür. Oluşturulan paraşüt yapıları ve bunların geometrik uzunlukları Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Oluşturulan Paraşüt Yapıları

Paraşüt Yapı No	Paraşüt Tipi	İmalat Çapı, $d_c=L$	Askı İpi Uzunluğu, l_s	Sendeleme Uzunluğu, Δl
1	Artı Paraşüt L/W=3.0	450 mm.	0.7 × L	0.05 × L
2				0.1 × L
3				0.05 × L
4				0.1 × L
5	Artı Paraşüt L/W=3.8	490 mm.	0.7 × L	0.05 × L
6				0.07 × L
7				0.1 × L
8				0.05 × L
9				0.07 × L
10				0.1 × L
11	Yuvarlak Paraşüt	450 mm.	0.7 × L	-
12				450 mm.

Artı Paraşütler literatürde statik (dönmeyen) paraşütler olarak bilinirler. Bu paraşütlerin en önemli geometrik parametreleri dikdörtgen kumaşın uzun kenar, L, ve kısa kenar, W, uzunluklarıdır. Bu uzun kenarın kısa kenara oranı, L/W, kol oranı olarak bilinir. Artı Paraşütler farklı kol oranlarında tasarlanırlar. Kullanılan kol oranları genellikle 2.5 ila 4.0 arasında değişir. Bir Artı Paraşütün bütün askı ipleri aynı uzunlukta ise bu paraşüt statik (dönmeyen) bir paraşüttür. Eğer, paraşütün dört lobunun her birinde, askı iplerinden birine, diğer ipe göre belirli bir sendeleme uzunluğu (Δl), kadar daha fazla uzunluk verildiği takdirde bu paraşüt dönen bir paraşüte dönüşmektedir. Literatürde, Dönen Artı Paraşütler üzerine birçok deneysel çalışma bulunmaktadır [2-7].

Deneylerde bir adet Yuvarlak Paraşüt ve farklı kol oranlarına (L/W) sahip iki Artı Paraşüt test edilmiştir. Üç paraşüt de aynı kumaş alanına sahiptir. Kullanılan kumaşın nominal geçirgenlik değeri 12.7 mm su kolunu basınç farkı altında 410-610 mm³/(mm².saniye)'dir. Bu üç paraşütün geometrik parametrelerini değiştirmek suretiyle 12 farklı paraşüt yapısı oluşturulmuştur. Her bir paraşüt yapısı, Şekil 2'de gösterilen silindirik cisim ile

DENEYİN YAPILIŞI

Tork ölçüm mekanizmasına bağlanan bir dönen paraşüt-cisim sistemi, rüzgar tünelinin çalıştırılmasıyla birlikte V hızına sahip kararlı hava akımında sabit bir dönme hızında (ω) kendi eksenini etrafında dönmeye başlar (Şekil 1). Dönen paraşüt, askı ipleri aracılığıyla silindirik cisim ve ona bağlı olan tork ölçüm mekanizmasını döndürür. Şekil 3'de gösterilen yay-kemer mekanizmasında kemerin bir ucu yaya bağlı, diğer ucu ise sabittir. Dönen paraşüt-cisim sisteminin dönme yönüne ters yönde olacak şekilde kemerin sabit ucundan bir karşı ağırlık asıldığı zaman, bu ağırlık bilyeli yatak mekanizması üzerinden yayı, belirli bir mesafeye kadar çekecektir. Kemerin sabit ucundan asılan karşı ağırlığın büyüklüğü bellidir. Asılan ağırlığa karşılık gelen yay uzaması ve sistemin dönme hızındaki değişim ölçülür ve her seferinde karşı ağırlık belirli oranda artırılarak veriler toplanır. Verilerin toplanması paraşütün askı ipleri dolanincaya kadar sürdürülür.

Yayın karşı ağırlık ile uzamasına karşılık gelen çekme kuvvetinin büyüklüğü yayın kalibrasyon eğrisi kullanılarak bulunur. Asılan karşı ağırlık ile yayın uzamasına karşılık gelen çekme kuvvetinin farkı, kemer aracılığıyla paraşüt sistemine uygulanan sürtünme kuvveti değerini verir. Böylece bu sürtünme kuvvetinin, çapı belli olan tork

koluna uyguladığı tork değeri paraşütün cisme ilettiği torku verir (Eşitlik 1).

$$T_r = \text{Sürtünme Kuvveti (N)} \times \text{Tork Kolu (m)} \quad (1)$$

KALIBRASYON VE DENEYE HAZIRLIK

Deneylerden önce yay-kemer mekanizmasında kullanılan yayın karşı ağırlıklar kullanılarak kalibrasyonu yapılmıştır. Yayın başlangıç konumundan itibaren karşı ağırlık ile uzamasına karşılık gelen değerleri göz önünde bulundurularak veriler toplanmış ve kalibrasyon eğrisi çizilmiştir.

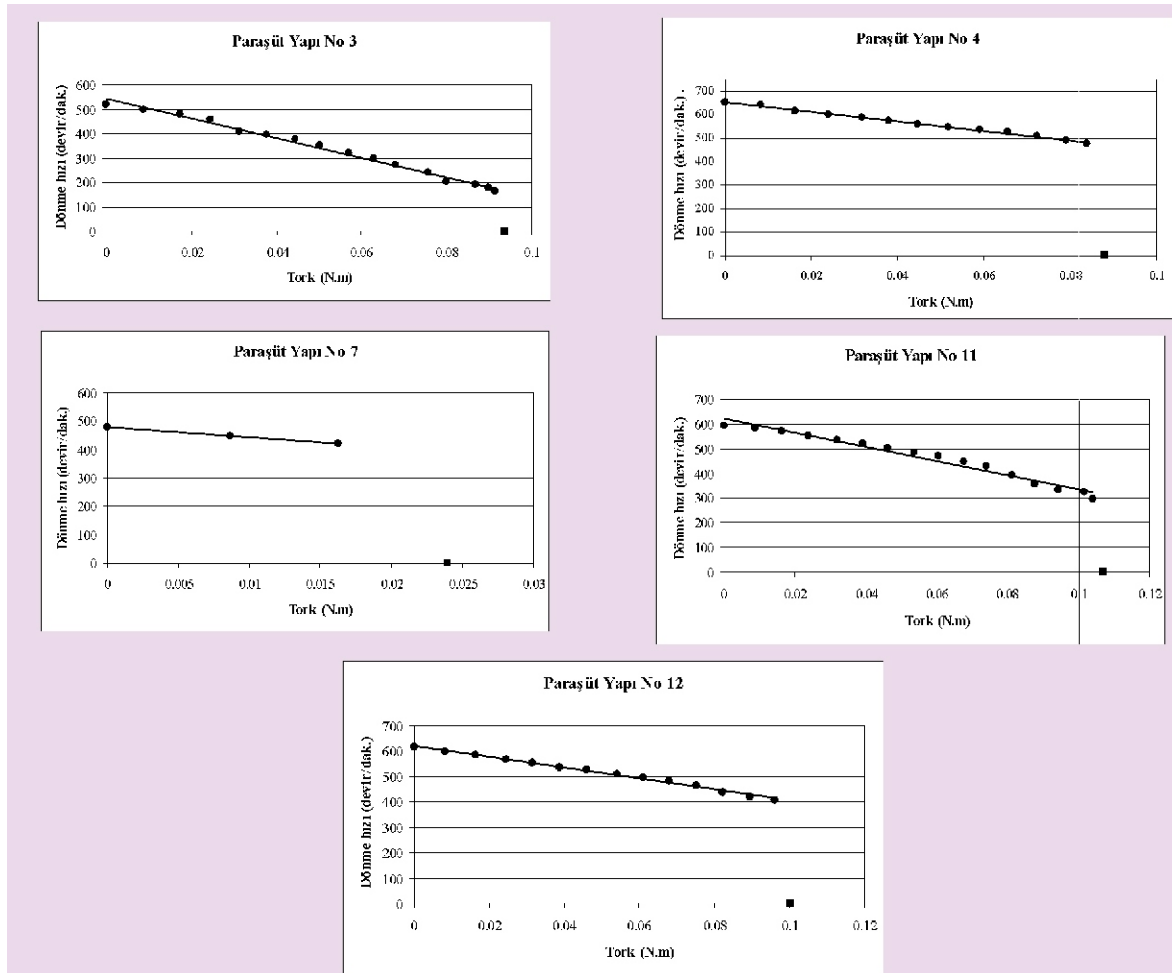
Deneylerden önce yay-kemer mekanizmasında kullanılan yayın karşı ağırlıklar kullanılarak kalibrasyonu yapılmıştır. Yayın başlangıç konumundan itibaren karşı ağırlık ile uzamasına karşılık gelen değerleri göz önünde bulundurularak veriler toplanmış ve kalibrasyon eğrisi çizilmiştir.

Deneylerden önce yapılan bir diğer çalışma, rüzgar tünelinin jet çıkışındaki akışın hız profilinin çıkarılmasıdır. Bir pitot tüp ve eğik manometre kullanılarak jet çıkışı boyunca yatay ve düşey ekseninde iki boyutlu hız profili çıkarılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre test mekanizması, paraşüt sistemi akış içerisinde en uygun bölgede kalacak şekilde sabitlenmiştir. Deneylerde kullanılan rüzgar hızı 18 m/s civarındadır.

DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Tork ölçüm testlerinde her bir paraşüt yapısı için elde edilen veriler toplanmış ve her bir yapı için dönme hızının tork ile değişimi Şekil 6'da gösterildiği gibi grafikler halinde çizilmiştir.

Şekil 6'da sunulan grafiklere göre tork değerinin sıfır olduğu andaki dönme hızı, dönen paraşüt sisteminin



Şekil 6. Bazı Paraşüt Yapılarına Ait Tork Ölçüm Sonuçları

deneyin yapıldığı kararlı akıştaki rüzgar hızına, V (m/s), karşılık gelen serbest durumdaki dönme hızıdır, f (devir/dakika) (Çizelge 2). Artı Paraşüt Yapıları için Çizelge 2'de verilen değerler göz önünde bulundurulursa, Paraşüt Yapı No 7 ve 10 dışındaki bütün yapılar için sendeleme uzunluğu (Δl) arttıkça kararlı akıştaki dönme hızının (f) arttığı görülür. Paraşüt Yapı No 7 ve 10'un deneyleri sırasında paraşütler tam olarak açılmamıştır. Bu nedenle, bu iki paraşüt yapısının kararlı akıştaki dönme hızları, kendi sınıfındaki diğer iki düşük sendeleme uzunluğuna sahip yapıların değerlerinden daha düşük olmuştur. Paraşütün sendeleme uzunluğunun büyük oluşu, askı ipleri tarafından çekiliştirilen paraşütün tam olarak açılmamasına neden olduğu düşünülmektedir. Bunun yanında, her üç paraşüt tipine ait yapılar göz önünde bulundurulduğunda, askı ipi uzunluğu arttıkça kararlı dönme hızının arttığı gözlenmiştir.

Şekil 6'daki grafiklerden görüleceği üzere, her dönen paraşüt sisteminde, paraşüt çökünceye kadar dönme hızı ve tork arasında doğrusal bir ilişki vardır. Bu doğrusal değişim paraşütün ipleri dolanana kadar sürmektedir. Elde edilen sonuçlara göre Artı Paraşütlerin iletebildikleri maksimum tork değerleri 0.072 ila 0.096 N.m arasındadır (Çizelge 3). Paraşüt Yapı No 6, 7 ve 10 için bu değerler

daha düşüktür. Paraşüt Yapı No 7 ve 10'da paraşütler güzel açılmadıkları için iletilen torkların daha düşük olması beklenebilir. Fakat Yapı No 6 da ölçülen düşük tork değeri için mantıklı bir neden bulunamamıştır. Yuvarlak Paraşütler için maksimum iletebilir tork değerleri 0.1 N.m civarındadır. Yuvarlak Paraşütün Artı Paraşütlere göre daha büyük tork iletebilme değerlerine sahip olmasındaki en büyük etken, bu paraşütün tasarım farkı ve kubbeye benzer yapısıdır.

Şekil 6'da sunulan tork ölçüm grafiklerinden çıkarılan diğer bir sonuç, her bir dönen paraşüt yapısı için kritik bir dönme hızının var olduğudur. Bu kritik değer altında paraşütün askı ipleri dolanmaktadır. Diğer grafiklerden elde edilen sonuçlar da göz önünde bulundurulduğunda, V rüzgar hızındaki kararlı akışta düşük dönme hızına sahip bir paraşüt yapısının, kendi sınıfındaki diğer yüksek dönme hızlı paraşüt yapısından daha az bir kritik dönme hızına sahip olduğu gözlenmiştir. (örneğin Paraşüt Yapı No 5 ve 6) (Çizelge 2 ve 3). Benzer şekilde, kısa askı iplerine sahip bir paraşüt yapısının, kendi sınıfındaki diğer uzun askı iplerine sahip paraşüt yapısından daha az bir kritik dönme hızına sahip olduğu bulunmuştur (örneğin Paraşüt Yapı No 11 ve 12) (Çizelge 3).

Çizelge 2. Her Bir Paraşüt Yapısının $T_r = 0$ için Dönme Hızı

Paraşüt Yapı No	Paraşüt Tipi	Askı İpi Uzunluğu, l_s	Sendeleme Uzunluğu, Δl	$T_r=0$ için Dönme Hızı (devir/dak)
1	Artı Paraşüt	$0.7 \times L$	$0.05 \times L$	495
2			$0.1 \times L$	630
3		$1.0 \times L$	$0.05 \times L$	520
4			$0.1 \times L$	661
5	Artı Paraşüt	$0.7 \times L$	$0.05 \times L$	554
6			$0.07 \times L$	595
7			$0.1 \times L$	485
8		$1.0 \times L$	$0.05 \times L$	612
9			$0.07 \times L$	620
10			$0.1 \times L$	578
11	Yuvarlak Paraşüt	$0.7 \times L$	-	603
12	Yuvarlak Paraşüt	$1.0 \times L$	-	618

* $V \approx 18$ m/s.

Çizelge 3. Her Bir Paraşüt Yapısına Ait İletilebilir Maksimum Tork Değeri ve Kritik Dönme Hızı

Paraşüt Yapı No	Paraşüt Tipi	Aski İpi Uzunluğu, l_s	Sendeleme Uzunluğu, Δl	Kritik Dönme Hızı (devir/dak)	İletilebilir Maksimum Tork (N.m)
1	Artı Paraşüt L/W=3.0	0.7 × L	0.05 × L	98	0.095
2			0.1 × L	396	0.088
3		1.0 × L	0.05 × L	164	0.091
4			0.1 × L	476	0.084
5	Artı Paraşüt L/W=3.8	0.7 × L	0.05 × L	247	0.072
6			0.07 × L	414	0.054
7			0.1 × L	422	0.016
8		1.0 × L	0.05 × L	384	0.084
9			0.07 × L	428	0.086
10			0.1 × L	497	0.039
11	Yuvarlak Paraşüt	0.7 × L	-	298	0.104
12		1.0 × L	-	405	0.096

SONUÇ

Aynı kumaş alanına sahip üç ayrı paraşütün geometrik parametrelerinin değiştirilmesi ile elde edilen değişik paraşüt yapılarının, silindirik cisme iletebildikleri tork değerleri genel olarak birbirlerine yakın büyüklüktedir (0.072-0.104 N.m). Kumaş alanı aynı olmasına rağmen Yuvarlak Paraşütten oluşturulan yapıların Artı Paraşütlerden oluşturulan yapılara göre daha büyük iletebilir tork değerlerine sahip olmaları paraşütlerin tasarımlarındaki farklılıkları ortaya koymaktadır.

Her bir paraşütten oluşturulan yapılar kendi aralarında değerlendirildiğinde, iletebilir tork değerlerinin birbirlerine yakın oldukları görülse de, paraşütlerin geometrik parametrelerindeki farklılıkların paraşütün çokmeden en az hızla dönebileceği kritik dönme hızını etkilediği görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, tork ölçüm mekanizmasının hazırlanmasında emeği geçen Prof. Dr. Cahit ERALP'e Makina Mühendisi Abdullah NALBANTOĞLU ve Makina Mühendisi Hüseyin Evren KOCAKAYA'ya teşekkür ederler.

SİMĞELER

- V : Kararlı akıştaki rüzgar hızı, [m/s]
f : Dönme hızı, [devir/dakika]
L : Dikdörtgen kumaşın uzun kenarı, [m]
W : Dikdörtgen kumaşın kısa kenarı, [m]
d_c : İmalat çapı, [m]

l_s : Aski ipi uzunluğu, [m]

Δl : Sendeleme uzunluğu, [m]

T_t : İletilebilen tork, [N.m]

KAYNAKÇA

1. Yağız Ö. E., Yavaşça Düşen Bir Cismin Aerodinamik Şekil Tasarımı ve Uçuş Rotası Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara-2005.
2. Shpund Z. and Levin D., "Improved Measurement of the Dynamic Loads Acting on Rotating Parachutes", Journal of Aircraft, Volume 29, Number 3, May-June, 465-469, (1992).
3. Shpund Z. and Levin D., "Dynamic Investigation of the Angular Motion of a Rotating Body-Parachute System", Journal of Aircraft, Volume 31, Number 1, January-February, 93-99, (1995).
4. Shpund Z. and Levin D., "Forebody Influence on Rotating Parachute Aerodynamic Properties", Journal of Aircraft, Volume 34, Number 2, March-April, 181-186, (1997).
5. Shpund Z. and Levin D., "Canopy Geometry Effect on the Aerodynamic Behavior of Cross-Type Parachutes", Journal of Aircraft, Volume 34, Number 5, September-October, 648-652, (1997).
6. Doherr K.F. and Synofzik R., "Investigations of Rotating Parachutes for Submunitions", American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA) 9th Aerodynamic Decelerator and Balloon Technology Conference, AIAA Paper 86-2438 CP, Albuquerque, 59-65, (1986).
7. Shpund Z. and Levin D., "Static and Dynamic Coefficients of a Cross-Type Parachute", Journal of Aircraft, Volume 31, Number 1, January-February, 132-137, (1994).