

KONVANSİYONEL VE KONVANSİYONEL OLMAYAN KONTROL YÜZEYİNE SAHİP İNSANSIZ HAVA ARACI KANATLARININ AĞIRLIKLARININ İNCELENMESİ

Pınar ARSLAN^(a), Uğur KALKAN^(b), Harun TIRAŞ^(c), Ercan GÜRSES^(d),
Melin ŞAHİN^(e), Serkan ÖZGEN^(f), Yavuz YAMAN^(g)

^(a) ODTÜ, Havacılık ve Uzay Müh. Böl., 06800, Ankara, pinar.arslan@metu.edu.tr

^(b) ODTÜ, Havacılık ve Uzay Müh. Böl., 06800, Ankara, ugur.kalkan@metu.edu.tr

^(c) ODTÜ, Havacılık ve Uzay Müh. Böl., 06800, Ankara, tiras.harun@metu.edu.tr

^(d) Y. Doç. Dr. ODTÜ, Havacılık ve Uzay Müh. Böl., 06800, Ankara, gurses@metu.edu.tr

^(e) Doç. Dr. ODTÜ, Havacılık ve Uzay Müh. Böl., 06800, Ankara, msahin@metu.edu.tr

^(f) Prof. Dr. ODTÜ, Havacılık ve Uzay Müh. Böl., 06800, Ankara, sozgen@ae.metu.edu.tr

^(g) Prof. Dr. ODTÜ, Havacılık ve Uzay Müh. Böl., 06800, Ankara, yvaman@metu.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, aerodinamik yükler altında istenilen yer değiştirmeleri yaptıracak servolara sahip konvansiyonel ve konvansiyonel olmayan kontrol yüzeylerinin kanada ayrı ayrı entegre edildiğinde oluşan modellerin ağırlıkları karşılaştırılmıştır. Her iki kanat modeli de CATIA® V5-6R2012 programı kullanılarak geliştirilmiştir. Geliştirilen modellerin sonlu elemanlar analizi ANSYS® 14.0 Static Structural paket programı kullanılarak yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Konvansiyonel Kontrol Yüzeyi, Konvansiyonel Olmayan Kontrol Yüzeyi, Servo-Motor Seçimi, Ağırlık Artışı, Yapısal Analiz

ABSTRACT

In this study, conventional and unconventional control surfaces having servo motors that can sufficiently deflect the control surfaces under the aerodynamic loads are integrated to the wing separately and both models were then compared in terms of weight. Each wing model was constructed by using CATIA® V5-6R2012 package program. Finite element analysis of these models were conducted by using ANSYS® 14.0 Static Structural software.

Keywords: Conventional Control Surfaces, Unconventional Control Surfaces, Selection of Servo-Motor, Increase in Weight, Structural Analysis

1. GİRİŞ

Konvansiyonel olmayan kontrol yüzeylerine sahip göreve uyumlu bir kanadın, uçakların uçuş zarfını ve aerodinamik verimliliğini arttırdığı, her bir görev fazında maksimum verimliliği sağladığı ve bundan dolayı da çevreye zararlı

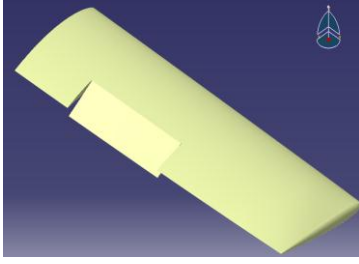
gazların yayılımını en aza indirdiği ve yakıt tasarrufu sağladığı bilinmektedir [1]. Fakat bu tür kontrol yüzeylerine sahip kanatların, konvansiyonel kontrol yüzeyine sahip kanatlara göre daha karmaşık bir yapıda olduğu da bilinmektedir [2]. Bu nedenden dolayı konvansiyonel olmayan kontrol yüzeyine sahip bir kanadın, konvansiyonel kontrol yüzeyine sahip bir kanada göre daha ağır olacağı tahmin edilmektedir.

Bu çalışmada konvansiyonel ve konvansiyonel olmayan kontrol yüzeylerine sahip iki kanat modeli incelenecektir. Her iki modelde, kontrol yüzeyinin aerodinamik yükler altında istenilen yer değiştirmeleri yapabilmesi için servo motorlar tarafından sağlanması gereken kuvvetler belirlenecektir. Bu kuvvetlerden yola çıkarak gerekli tork değeri hesaplanıp, hesaplanan bu tork değerlerini verebilecek en az ağırlığa ve hacime sahip servo motorları ve bu motorları çalıştıracak pil seçimi yapılacaktır.

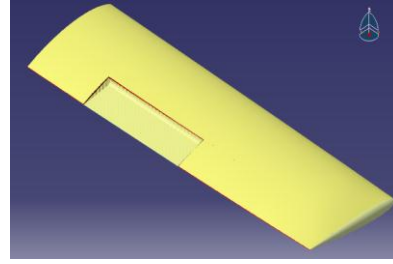
Sonuç olarak, oluşturulan her iki modelde kullanılan malzemenin cinsi, servo motor seçimi, kullanılan piller ve kontrol yüzeylerinin iç yapısındaki farklılıklar da göz önüne alınarak bu modellerin ağırlıkları karşılaştırılacaktır.

2. KATI MODELLEME

Bu çalışmada incelenen kanat geometrisi bir Avrupa Birliği 7. Çerçeve Programı olan 'CHANGE, Combined morphing Assessment software using flight Envelope data and mission based morphing prototype wing development' [3] projesi kapsamında tasarlanacak ve üretilecek olan bir insansız hava aracına ait olup diğer proje ortaklarından temin edilmiştir. Kanat geometrisi CATIA® paket programı kullanılarak geliştirilmiş ve kontrol yüzeyleri eklenmiştir. Geliştirilmiş bu modeller Şekil 1 ve Şekil 2'de gösterilmiştir. Oluşturulan her iki modelde de kontrol yüzeylerinin kanat veteri boyunca uzunluğu kanat veter uzunluğunun %30' u kadardır. Şekil 1'de kullanılan kontrol yüzeyi TÜBİTAK 107M103 projesinden [4] esinlenilerek oluşturulmuştur. Bu kontrol yüzeyi kanada bütün serbestlik dereceleri tutulmuş şekilde bağlanmış olup, kanat ile kontrol yüzeyi arasında herhangi bir boşluk bulunmamaktadır. Tasarlanan kanatlar için kompozit malzeme olarak 7781 E-Glass Fabric-Araldite fiber ve LY5052 Resin-Aradur HY5052 sertleştirici kullanılmıştır. Sadece konvansiyonel olmayan kontrol yüzeyi için Alüminyum 2024-T3 malzemesi kullanılmıştır. Üretim kolaylığı açısından konvansiyonel olmayan kontrol yüzeyi kanat kamburu göz önüne alınmadan tasarlanmıştır. Ayrıca oluşan yapısal gerilme değerlerini minimum seviyelerde tutmak amacıyla bu kontrol yüzeyi firar kenarı açık kesit olarak modellenmiştir [5]. Şekil 2'de modellenen kanat ise konvansiyonel kontrol yüzeyine sahip olup kanat ile kontrol yüzeyi arasında boşluk bulunmamaktadır.

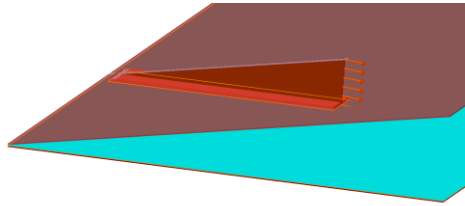


Şekil 1. Konvansiyonel olmayan kontrol yüzeyine sahip kanat katı modeli



Şekil 2. Konvansiyonel kontrol yüzeyine sahip kanat katı modeli

Şekil 3'te konvansiyonel olmayan kontrol yüzeyinin iç yapısı detaylı olarak görülmektedir. Bu kontrol yüzeyinde servo motordan gelen kuvvetler alt ve üst yüzeye destek çubukları aracılığı ile iletilmektedir. Bu kuvvetler Şekil 3'te görüldüğü gibi destek çubuklarının kenarlarına eşit şekilde yayılı yük olarak uygulanmıştır. Destekler üst yüzeye mesnetlenmiş olup, alt yüzeyde bulunan kanallar içerisinde kayarak kontrol yüzeyine istenilen yer değiştirme hareketlerini yaptırmaktadırlar. Modelin basitleştirilmesi amacı ile bu kanallar modellenmemiştir. Tasarlanan kanatların geometrik ve malzeme özellikleri Çizelge 1'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Konvansiyonel olmayan kontrol yüzeyinin iç yapısı

3. YAPISAL ANALİZ

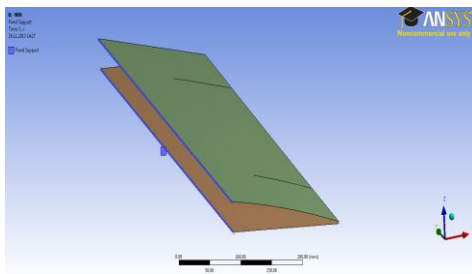
3.1 Konvansiyonel Olmayan Kontrol Yüzeyi

Yapısal analizde kullanılan aerodinamik yükler bu çalışmaya paralel yapılan bir başka çalışmadan temin edilmiştir [6]. Yapısal analizde asıl amaç kontrol yüzeylerine aerodinamik yükler altında istenilen yer değiştirme hareketlerini yaptırmak olduğundan ve çözüm süresinin kısa tutulması istenildiğinden bu analizlerde tüm kanat yerine sadece kontrol yüzeyi kullanılmıştır. Kontrol yüzeyindeki destekler ile kontrol yüzeyinin alt kısmının birbiri üzerinde kaydığı düşünüldüğünden sonlu eleman analizlerinde buralara gerekli temas yüzeyleri tanımlanmıştır. Tanımlanan temas yüzeylerinde sürtünme katsayısı sıfır olarak alınmıştır. Modelin basitleştirilmesi amacıyla modellenmeyen kanalların yerine temas özelliği olarak ANSYS® Static Structural paket programında bulunan "no separation" seçeneği kullanılmıştır. Şekil 4'te gösterildiği gibi kontrol yüzeyinin

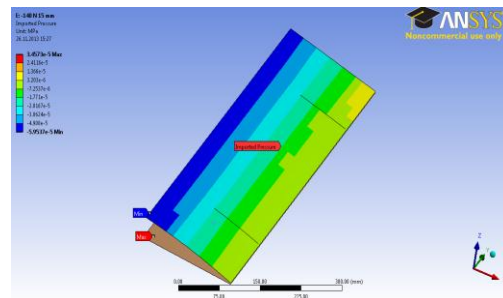
kanada bağlandığı bölgede bütün serbestlik dereceleri tutulmuştur. Bu çalışmaya paralel yürütülen diğer çalışmadan [6] Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) ile elde edilen aerodinamik yükler Şekil 5'de gösterildiği gibi enterpolasyon yöntemi kullanılarak konvansiyonel olmayan kontrol yüzeyine aktarılmıştır.

Çizelge 1. Konvansiyonel ve Konvansiyonel Olmayan Kontrol Yüzeylerine Sahip Kanatların Geometrik ve Malzeme Özellikleri

Konvansiyonel Olmayan Kontrol Yüzeyine Sahip Kanat		Konvansiyonel Kontrol Yüzeyine Sahip Kanat	
Kanat Hacmi [m ³]	0.002468	Kanat Hacmi [m ³]	0.002482
Kontrol Yüzeyi Hacmi [m ³]	0.0002	Kontrol Yüzeyi Hacmi [m ³]	0.000298
Kanat Malzeme Yoğunluğu [kg/m ³]	1772	Kanat Malzeme Yoğunluğu [kg/m ³]	1772
Kanat Kalınlığı [m]	0.00108	Kanat Kalınlığı [m]	0.00108
Kontrol Yüzeyi Kalınlığı [m]	0.000635	Kontrol Yüzeyi Kalınlığı [m]	0.00108
Kontrol Yüzeyi Malzeme Yoğunluğu [kg/m ³]	2780	Kontrol Yüzeyi Malzeme Yoğunluğu [kg/m ³]	1772
Kanat Kütlesi [kg]	4.374	Kanat Kütlesi [kg]	4.398
Kontrol Yüzeyi Kütlesi [kg]	0.556	Kontrol Yüzeyi Kütlesi [kg]	0.528



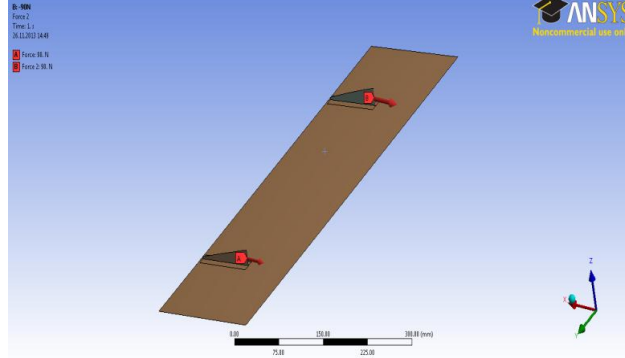
Şekil 4. Sabit Sınır Şartı Uygulanmış Konvansiyonel Olmayan Kontrol Yüzeyi



Şekil 5. Aerodinamik Yüklerin Konvansiyonel Olmayan Kontrol Yüzeyine Aktarılması

Şekil 6'da ise kontrol yüzeyinin destek bölgelerine uygulanan kuvvetler gösterilmiştir. Kuvvetler veter boyunca (x-yönünde) uygulanarak kontrol yüzeyine z yönünde bir hareket yaptırmaktadırlar. Kontrol yüzeyine uçuş ortamında istenilen yer değiştirme hareketlerini yaptıracak kuvvet değerlerinin

destek başına 140 [N] mertebesinde olduğu saptanmıştır. Çizelge 2’de, 5 [mm]’lik dörtgen elemanlarla yapılan çözüm ağının düğüm noktası ve eleman sayısı gösterilmektedir.

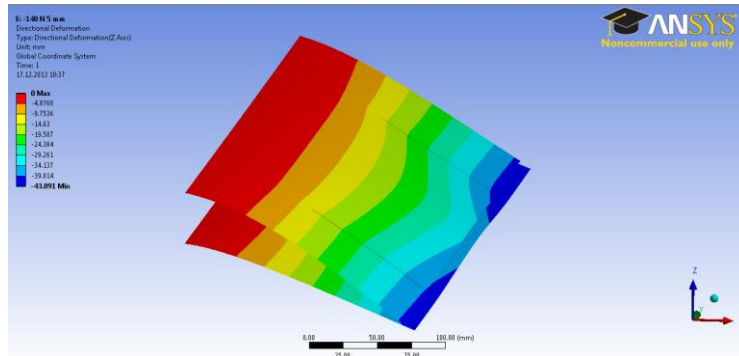


Şekil 6. Konvansiyonel Olmayan Kontrol Yüzeyi Destek Bölgelerine Uygulanan Yükler

Çizelge 2. Konvansiyonel Olmayan Kontrol Yüzeyi Yapısal Analiz
Çözüm Ağı Özellikleri

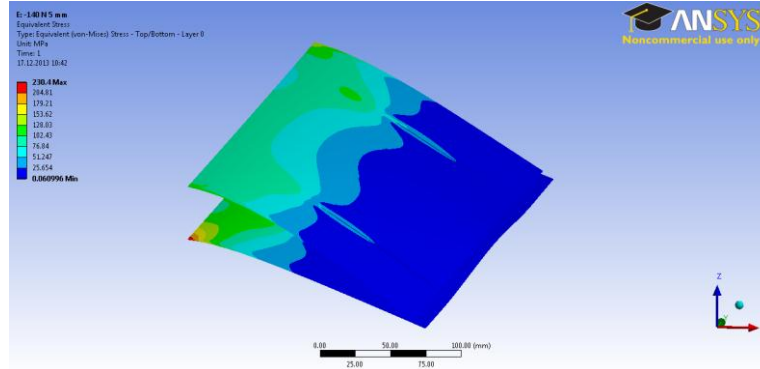
Eleman Tipi	Eleman Uzunluğu [mm]	Düğüm Noktası Sayısı	Eleman Sayısı
Dörtgen	5	10703	10266

Şekil 7’de servo motordan gelen destek başına 140 [N], toplamda 280 [N]’luk kuvvet ile aerodinamik yükler altındaki konvansiyonel olmayan kontrol yüzeyinin kalınlık boyunca (z-yönünde) yer değiştirmeleri gösterilmiştir. Firar kenarı kalınlık boyunca en fazla 43.5 [mm] yer değiştirmiştir.



Şekil 7. Servo Yükleri ve Aerodinamik Yükler ile Yapılan Yapısal Analiz Sonucu
Konvansiyonel Olmayan Kontrol Yüzeyinin Dikey Yer Değiştirme Miktarları [mm]

Şekil 8’de ise Şekil 7’deki yer değişme sonucu oluşan von-Misses gerilmeleri [MPa] olarak gösterilmiştir. Beklendiği gibi en yüksek gerilmeler kontrol yüzeyi kanat bağlantısında süreksizliğin olduğu bölgede oluşmaktadır.



Şekil 8. Konvansiyonel Olmayan Kontrol Yüzeyinde Oluşan von Mises Gerilmeleri

3.1.1 Konvansiyonel Olmayan Kontrol Yüzeyi İçin Servo Motor ve Pil Seçimi

Servo motoru seçiminde kontrol yüzeyini gerekli miktarda yer değiştirebilecek tork göz önüne alınmıştır. Moment kolunun uzunluğunu 2 [cm] olarak alınmış ve ihtiyaç duyulan tork aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$T = 140[N] \times 2[cm] = 280[N - cm] = 28.54[kg - cm] \quad (1)$$

Hesaplanan tork değeri göz önüne alınarak, Futaba S9157 Dijital Yüksek Torklu Çekirdeksiz Servo Motoru'nun kullanılması uygun görülmüştür [7]. Servo motor teknik özellikleri Çizelge 3'de gösterilmiştir. [2]

Çizelge 3. Futaba S9157 Servo Motoru'nun Teknik Özellikleri

Hız	0.14 [s/60°] @ 6 [V]
Tork	30.6 [kg-cm] @ 6 [V]
Boyutlar	L: 41 x W: 21 x H: 37 [mm]
Ağırlık	71 [g]

Seçilen servo motor için kullanılacak batarya özellikleri ise Çizelge 4'de gösterilmiştir.

Çizelge 4. Konvansiyonel Olmayan Kontrol Yüzeyi Servo Motoru İçin Kullanılacak Batarya Teknik Özellikleri

Tip	Kapasite [mAh]	Voltaj [V]	Uzunluk [mm]	Yükseklik [mm]	Genişlik [mm]	Ağırlık [gr]
NiMH	2200	6	72	15	51	141.74

3.2 Konvansiyonel Kontrol Yüzeyi

Konvansiyonel kontrol yüzeyi kanada menteşe ile bağlıdır. Bu nedenden dolayı kontrol yüzeyi kanat bağlantı noktalarında önemli miktarda gerinim beklenmemektedir. Servo motorlarından kontrol yüzeyine aktarılan kuvvetler elastik şekil değiştirmelere karşı koymaktan çok aerodinamik yüklere karşı

koymaktadırlar. Bu çalışmaya paralel yürütülen bir diğer çalışmada [6] konvansiyonel kontrol yüzeyi için kullanılması gereken tork değeri 12.3 [kg-cm] olarak bulunmuştur. Servo motor seçiminde aynı zamanda servo motorun ağırlığı da dikkate alınmış ve sonuç olarak Graupner RBS581 Servo Motor'u seçilmiştir [8]. Servo motor teknik özellikleri Çizelge 5'da gösterilmiştir.

Çizelge 5. Graupner RBS581 Servo Motor Teknik Özellikleri

Hız	0.17 [s/60°] @ 4.8 [V]
Tork	12.75 [kg-cm] @ 4.8 [V]
Boyutlar	L: 38.1x W: 19.1 x H: 39.9 [mm]
Ağırlık	42.0 [g]

Seçilen servo motoru için kullanılacak batarya seçiminde bataryanın kapasitesi önemli bir role sahiptir. Daha iyi performans alınması için 2200 [mAh] NiMH kullanılmıştır. Kullanılan bataryanın teknik özellikleri Çizelge 6'de gösterilmiştir.

Çizelge 6. Konvansiyonel Kontrol Yüzeyinde Kullanılacak Batarya Teknik Özellikleri

Tip	Kapasite [mAh]	Voltaj [V]	Uzunluk [mm]	Yükseklik [mm]	Genişlik [mm]	Ağırlık [gr]
NiMH	2200	4.8	58	15	51	113.4

4. KONVANSİYONEL ve KONVANSİYONEL OLMAYAN KONTROL YÜZEYLERİNE SAHİP KANATLARIN KÜTLELERİNİN HESAPLANMASI ve KARŞILAŞTIRILMASI

Çizelge 7'de kanat toplam kütleleri hesaplanmıştır. Hesaplanan kütlelerde pillerin kanat içerisinde kullanılacağı varsayılmıştır.

Çizelge 7. Konvansiyonel ve Konvansiyonel Olmayan Kontrol Yüzeyine Sahip Kanat Ağırlıkları

	Konvansiyonel Kontrol Yüzeyine Sahip Kanat	Konvansiyonel Olmayan Kontrol Yüzeyine Sahip Kanat
Kanat Kütle	4.398 [kg]	4.374 [kg]
Kontrol Yüzeyi Kütle	0.528 [kg]	0.556 [kg]
Servo Motor Kütle	0.0042 [kg]	0.142 [kg]
Batarya Kütle	0.11340 [kg]	0.1417 [kg]
Toplam Kütle	5.0436 [kg]	5.2137 [kg]

Konvansiyonel olmayan kontrol yüzeyi için kütle artış miktarı;

$$\% \text{ ağırlık artışı} = \frac{|5.2137 \text{ [kg]} - 5.0436 \text{ [kg]}|}{5.0436 \text{ [kg]}} \times 100 \cong 3.37\% \quad (2)$$

ile hesaplanmıştır.

5.SONUÇ

Elde edilen bulgular doğrultusunda, konvansiyonel olmayan kontrol yüzeyine sahip göreve uyumlu bir insansız hava aracının kanadının, konvansiyonel kontrol yüzeyine sahip bir kanada göre % 3.37 daha ağır olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni tahmin edildiği gibi konvansiyonel olmayan kontrol yüzeylerinin konvansiyonel kontrol yüzeylerine oranla daha karmaşık bir yapıya sahip olması ve konvansiyonel olmayan kontrol yüzeylerinin elastik gerilmelere neden olması sonucu daha büyük servo-motor ve pillere ihtiyaç duyması ile açıklanabilmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma 'FP7-AAT-2012-RTD-1, Collaborative Project, Grant Agreement Number: 314139. 'CHANGE, Combined morphing Assessment software using flight Envelope data and mission based morphing prototype wing development' projesi kapsamında desteklenmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Y.Yaman, S. Özgen, M. Şahin, E. Gürses, FP7-AAT-2012-RTD-1, AAT.2012.1.1-2: Aerostructures, <http://ae.metu.edu.tr/~yyaman/> [15/12/2013 tarihinde erişilmiştir.]
- [2] O. Bilgen, R. M. Ajaj, M. I. Friswell ve D. J. Inman "A Review of Morphing Aircraft", *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 22, 823-877.
- [3] CHANGE (2012), CHANGE FP7 Project, <http://change.tekever.com/homepage>, [15/12/2013 tarihinde erişilmiştir.]
- [4] Y.Yaman, S. Özgen, M. Şahin, G. Seber, E. Sakarya, L. Ünlüsoy, E. T. İnsuyu, (2007-2011), TÜBİTAK/107M103 'Taktik İnsansız Hava Araçlarının Göreve Uyumlu Kanatlarında Kambur ve Burulma Etkisinin Çırpma ve Kontrol Yönünden Analizi'
- [5] Seber, Güçlü, Evren Sakarya (2010), "Nonlinear Modeling and Aeroelastic Analysis of an Adaptive Camber Wing", *Journal of Aircraft*, Vol. 47, No. 6, pp. 2067-2074.
- [6] İ.O. Tunçöz, Y. Yang, E. Gürses, S. Özgen, M. Şahin, Y. Yaman, (2014), "İnsansız Bir Hava Aracına Ait Kanadın İki Farklı Konfigürasyonda Aerodinamik Özelliklerinin İncelenmesi", SAVTEK2014, 7. Savunma Teknolojileri Kongresi, 25-27 Haziran 2014, ODTÜ, Ankara.
- [7] <http://www.servodatabase.com/servo/futaba/s9157>, [17/12/2013 tarihinde erişilmiştir.]
- [8] <http://www.servodatabase.com/servo/graupner/rbs581>, [17/12/2013 tarihinde erişilmiştir.]