

YEDEKLİ ELEKTROMEKANİK HAREKETLENDİRİCİ GELİŞTİRME FAALİYETLERİ

Yunus AKMAN¹
Türk Havacılık Uzak Sanayii A.Ş., Ankara

ÖZET

Bu bildiri kapsamında yerli olarak geliştirilme faaliyetleri devam eden Yedekli Elektromekanik Hareketlendirici anlatılmaktadır. Hava araçlarında kullanılmakta olan farklı hareketlendiriciler mevcuttur. Bu ekipmanlar insan gücünün yeterli olmadığı durumlarda (örneğin, büyük kontrol yüzeyi hareketlerinin sağlanması) veya insansız platformlarda kullanılmaktadır. Güç ihtiyacına göre ve hava araçlarında mevcut kurulu güce uygun olarak hareketlendirici tipleri belirlenmektedir. Hava araçlarında elektrik gücü kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Ayrıca hidrolik gücün olmadığı hava araçlarında Elektromekanik Hareketlendiriciler (Electromechanical Actuator (EMA)) tercih edilmektedir.

GİRİŞ

Hava araçlarında kullanılmakta olan “Güç” tanımlaması genel olarak iki çeşide ayrılmaktadır:

- Birincil Güç: Hava aracındaki itkiyi sağlayan Motor Sistemleri birincil güç kapsamında değerlendirilmektedir. Turbojet, turboşaft ve içten yanmalı motorlar başlıca güç kaynakları olarak sayılabilir.
- İkincil Güç: Hava aracındaki mevcut birincil güç sisteminden aldığı enerji ile hava aracı sistemlerine güç sağlayan sistemlerdir. Başlıca kullanılan çeşitleri:
 - Hidrolik: Uçuş kontrol yüzeyleri ve iniş takımı katlaması
 - Pnömatik: Çevresel kontrol ve buz önleme
 - Elektrik: Aviyonik ekipmanlar
 - Mekanik: Motordan sürülen aksesuarlar (örneğin, pompa)

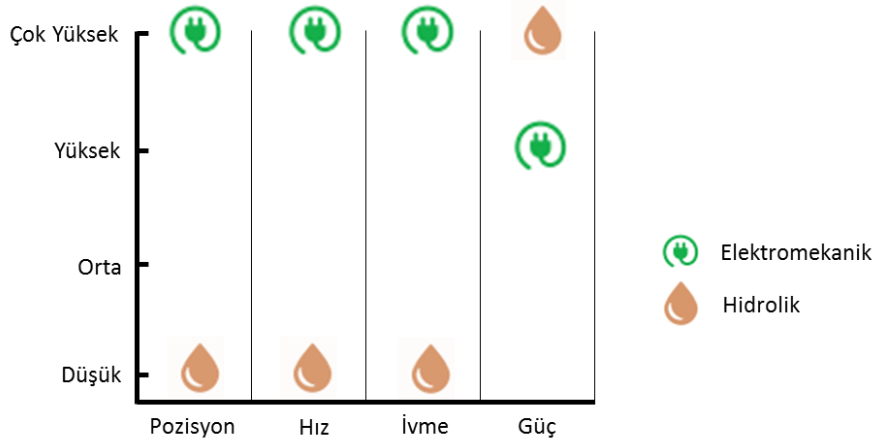
Hava aracında elektrik gücünün kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. “More Electric Aircraft (MEA)” olarak tanımlanan çalışmaların uygulanabilir olduğu yapılan araştırmalarla görülmüştür. Bu kapsamda yapılan çalışmalardan biride hava araçlarında kullanılmakta olan Hidrolik Hareketlendiriciler yerine Elektromekanik Hareketlendiricilerin (EMH) kullanılmasıdır [Stephen C.J., Gavin D.J., Bruce, R. and David, D., 2000].

Hareketlendirici uygulamaları incelendiğinde hidrolik hareketçilerin yüksek güç kabiliyetleri nedeniyle tercih edildikleri görülmektedir. Hidrolik hareketlendiriciler yaygın oluşu ve uygun fiyatları ile hala geniş uygulama alanı bulmaktadırlar. Fakat hidrolik hareketçilerin ihtiyaç duyduğu hidrolik güç üretim sistemi (pompa, rezervuar, filtre, basınç hattı, geri dönüş hattı, vb.) karmaşıklığı ve hidrolik sıvıların kullanımındaki zorluklarda dikkat çekmektedir.

¹ Kıdemli Tasarım Uzmanı, E-posta: yakman@tai.com.tr

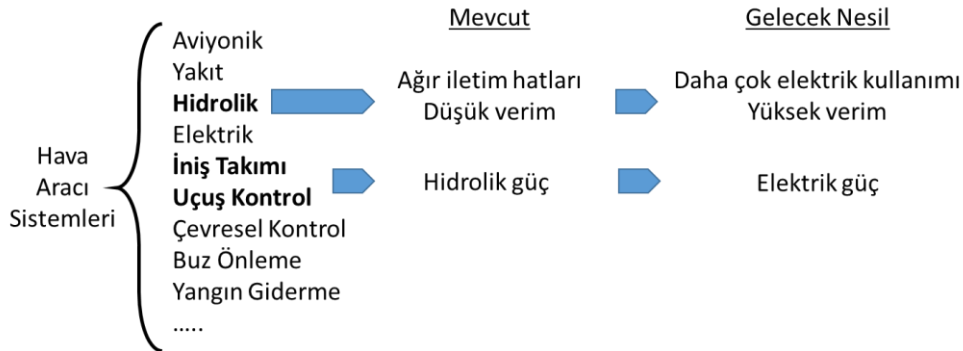
Elektromekanik hareketçiler; uygulamalardaki esneklikleri, hassaslıkları ve karmaşık bir güç sistemine ihtiyaçlarının olmaması nedeniyle son yıllarda tercih edilmeye başlanmıştır.

Hidrolik ve Elektromekanik hareketçilerin temel karşılaştırması Şekil 1’de belirtilmektedir:



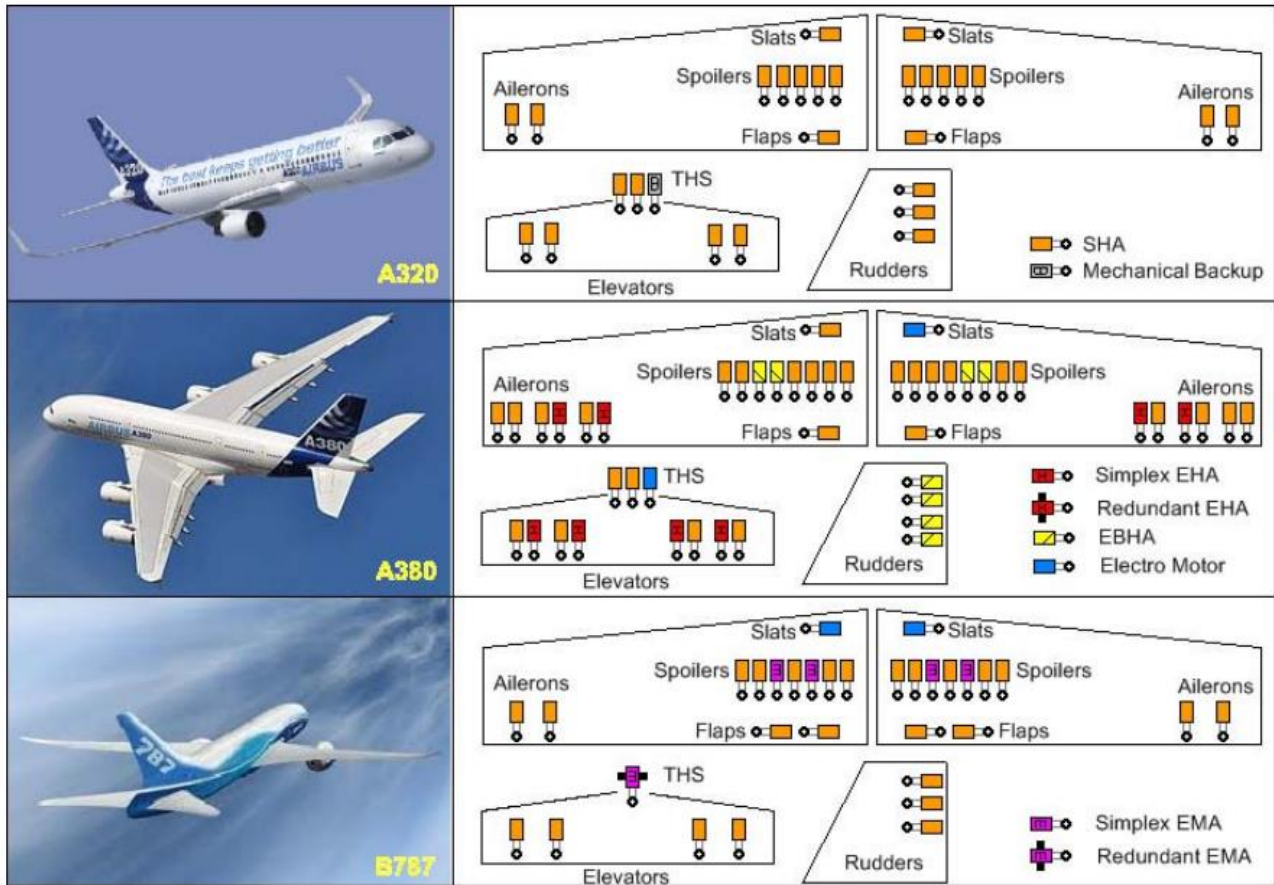
Şekil 1: Elektromekanik ve Hidrolik Hareketlendirici karşılaştırması

Hava araçlarında yer alan hidrolik sistemler genellikle uçuş kontrol sistemi ve iniş takımı sistemlerine güç sağlamak için kullanılmaktadır. Bu sistemler motordan aldıkları mekanik gücü hidrolik pompalar kullanarak hidrolik güce çevirmektedirler. Pompada üretilen hidrolik güç karmaşık ve ağır hidrolik iletim ağlarından (borular, valfler ve bağlantı elemanları) geçirilerek güç ihtiyacı duyan diğer sistem ekipmanlarına iletilir. Hidrolik güç gerek hidrolik hareketlendiriciler gerekse de hidrolik motorlar kullanılarak mekanik hareket dönüştürülür. Hidrolik iletim ağları, elektrik iletim ağları ile karşılaştırıldıklarında ağırlık, kontrol, bakım ve çevrecilik gibi birçok yönden daha az verimli oldukları görülmektedir. Bu ve benzeri nedenlerle gelecek nesil havacılık uygulamalarında elektrik sistemlerin daha yaygın olarak kullanılması beklenmektedir.

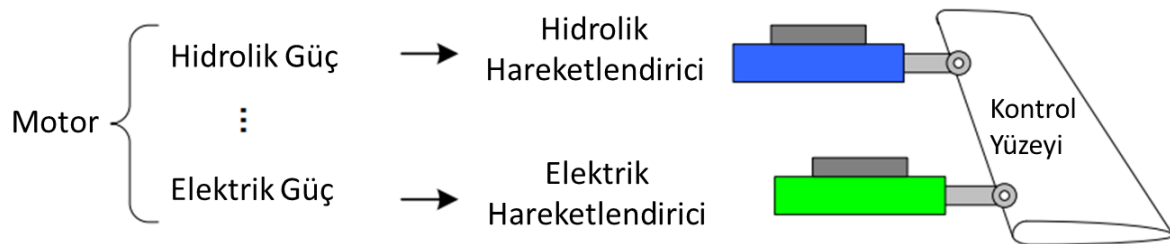


Şekil 2: Hava Aracı Sistemleri

Airbus A380 ve Boeing B737 uçaklarında yedek hidrolik sistemlerden birinin yerine elektrik sistemi kullanılmaya devam edilmektedir. EMH lar olgunluk seviyeleri yeterli olmadığı için yedek sistem olarak tercih edilmektedirler. Fakat EMH ların geliştirilmesi konusunda çalışmalar devam etmekte ve gelecek nesil hava araçlarında yaygın olarak kullanılacağı düşünülmektedir.



Şekil 3: A320, A380 ve B737 Hava araçlarında kullanılan hareketlendiriciler [Dominique, B., Christian, F. and Pascal, T.,2001], [Bossche, D., 2006], [System Provider for the Boeing 787 Dreamliner, 2012]

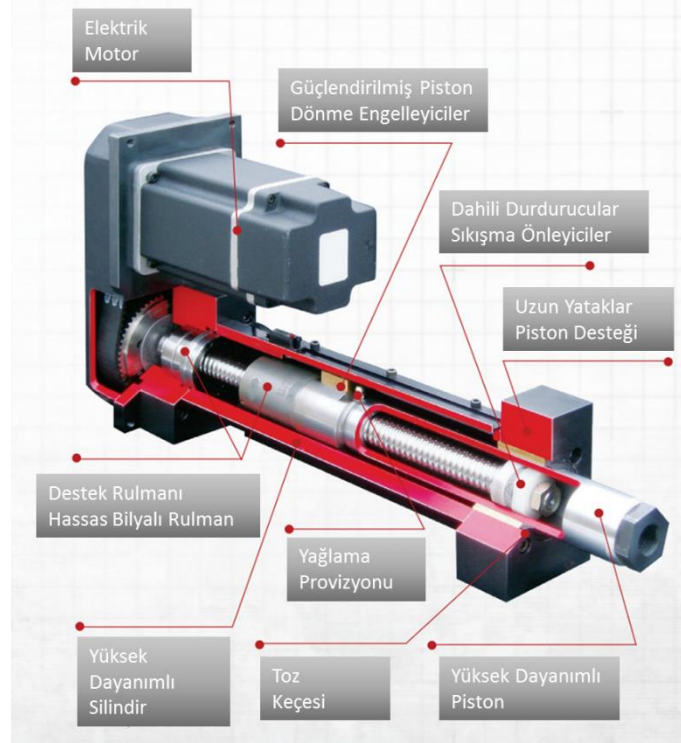


Şekil 4: Hava Aracı Sistemlerinde daha çok elektriğin kullanımı

ELEKTROMEKANİK HAREKETLENDİRİCİ

Elektromekanik hareketlendiriciler, elektrik akımı sayesinde çalışan motorlardan oluşur. Hızlı ve hassastırlar. Lineer hareketlendiriciler incelendiğinde temel olarak aşağıdaki sistem bileşenlerinden oluştuğu görülmektedir:

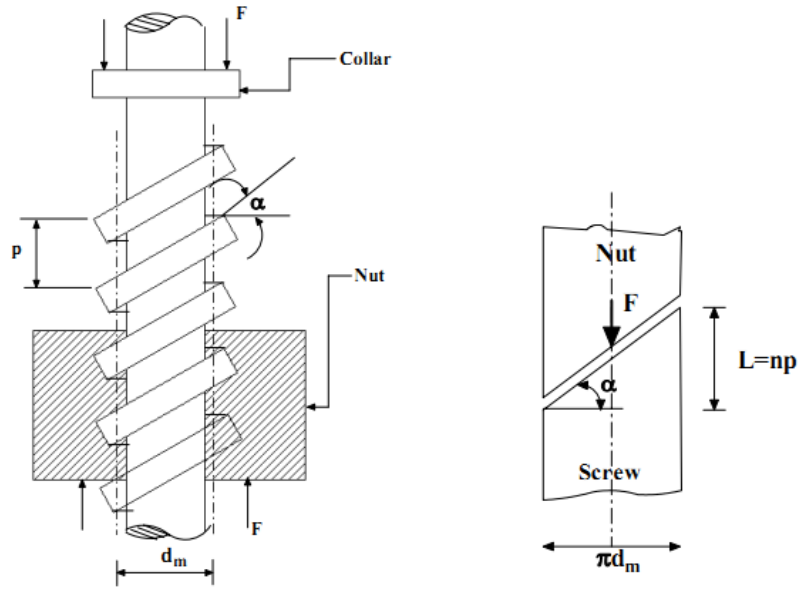
- Elektrik motoru
- Dişli kutusu (ihtiyaç olması durumunda)
- Trapez vida
- Yataklama ve sızdırmazlık elemanları



Şekil 5: Elektromekanik Hareketlendirici [Electric Heavy-Duty Ball Screw Linear Actuators, EDRIVE]

BOYUTLANDIRMA YÖNTEMİ

Elektromekanik hareketlendiricinin omurgasını trapez vida oluşturmaktadır. Trapez vida ile dönme hareketi lineer harekete çevrilmektedir. Trapez vida boyutlandırması için aşağıdaki formüller kullanılmaktadır [Shigley, J.E., Mischke, C.R., 1989]:



Şekil 6: Trapez vida

Yükü kaldırırken:

$$T_L = F \frac{d_m}{2} \frac{(\mu \pi d_m + L)}{(\pi d_m - \mu L)} \quad (1)$$

Yükü indirirken:

$$T_L = F \frac{d_m}{2} \frac{(\mu \pi d_m - L)}{(\pi d_m + \mu L)} \quad (2)$$

T_L : Tork

F : Kuvvet

d_m : Diş ortalama çapı

P : Adım

L : İlerleme

n : Başlangıç sayısı

α : Diş açısı

μ : Sürtünme katsayısı

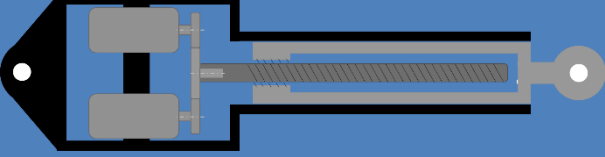
Sistemin sürtünme katsayısı diş açısının tanjantından büyük olduğu durumlarda sistem oto blokajlıdır.

$$\mu > \tan \alpha \quad (3)$$

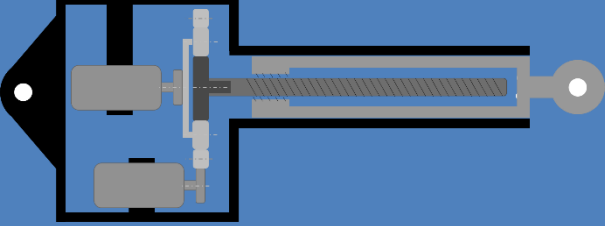
ALTERNATİF HAREKETLENDİRİCİ MİMARİLERİ

İhtiyaç duyulan Elektromekanik hareketlendiricinin mekanik sıkışmalara ve motor arızalarına karşı yedekli olması gerekmektedir. Yapılan incelemeler sonrasında 5 adet alternatif hareketlendirici mimarisi belirlenmiştir:

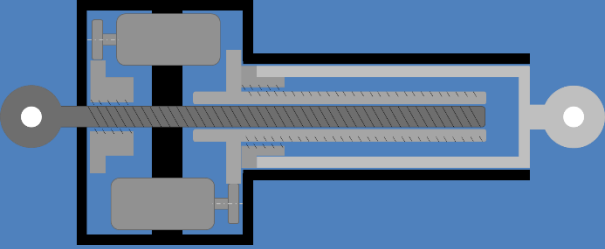
EMH Mimari-1:

	Olumlu	Olumsuz
	Motor yedekli	Mekanik sıkışma yedeği yok
	Güç yedekli	
	Basit mekanik tasarım	

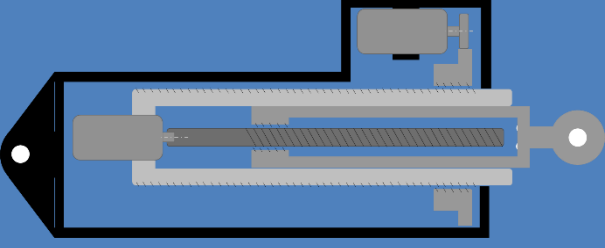
EMH Mimari-2:

	Olumlu	Olumsuz
	Motor yedekli	Motorda fren ihtiyacı
	Güç yedekli	Fren arızası hata modu
	Mekanik sıkışma yedekli	

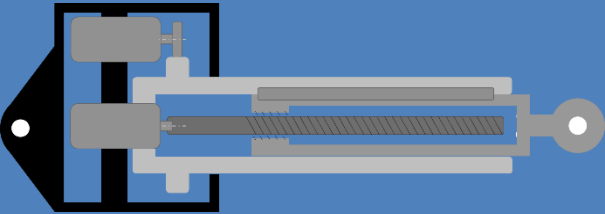
EMH Mimari-3:

	Olumlu	Olumsuz
	Motor yedekli	Karmaşık mekanik tasarım
	Güç yedekli	Büyük hacim ihtiyacı
	Mekanik sıkışma yedekli	

EMH Mimari-4:

	Olumlu	Olumsuz
	Motor yedekli	Karmaşık mekanik tasarım
	Güç yedekli	
	Mekanik sıkışma yedekli	

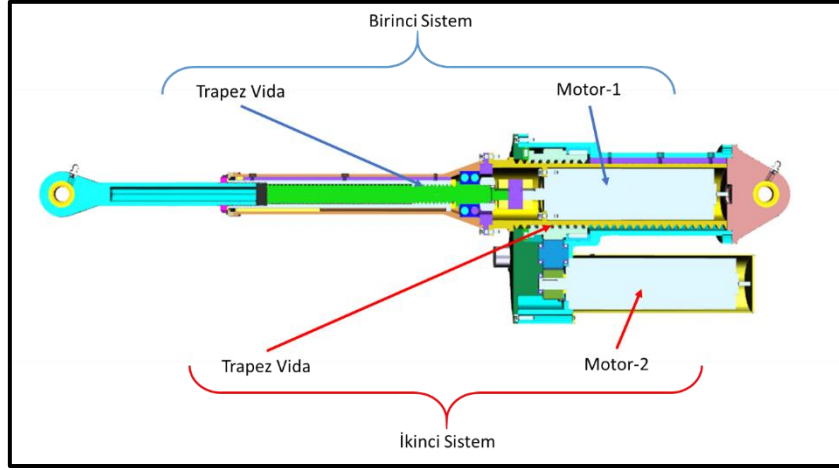
EMH Mimari-5:

	Olumlu	Olumsuz
	Motor yedekli	Motorda fren ihtiyacı
	Güç yedekli	Fren arızası hata modu
	Mekanik sıkışma yedekli	

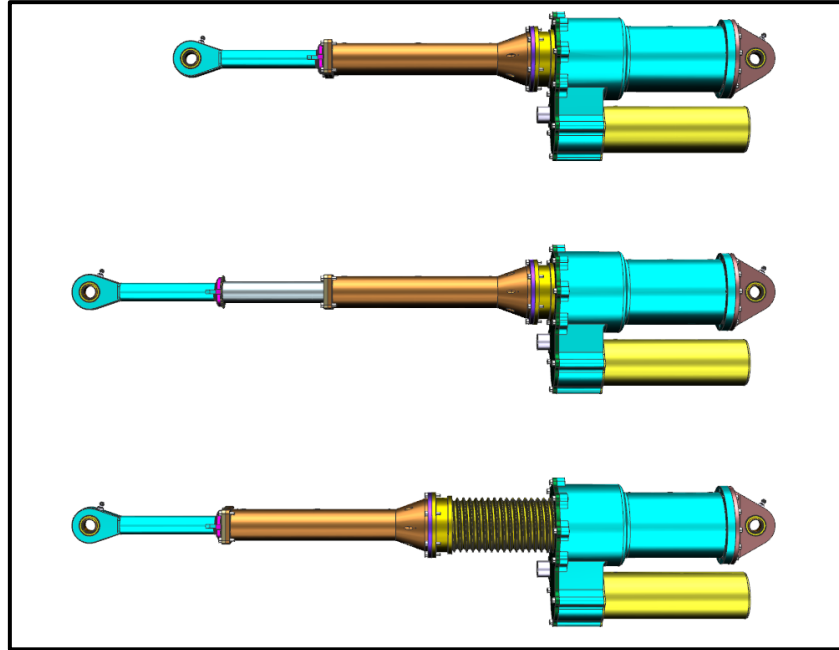
DETAY TASARIM

Yapılan değerlendirme sonrasında EMH tasarım faaliyetleri için Mimari-4’de tanımlanan konfigürasyon seçilmiştir.

Mimarisi belirlenen EMH sistemi parçalarının boyutlandırması yapılmış ve 3 boyutlu katı modelleri tamamlanmıştır. Katı modeller tamamlandıktan sonra kinetik ve yapısal analiz çalışmaları yapılarak prototip imalat öncesi doğrulama çalışmaları tamamlanmıştır.



Şekil 7: EMH Birinci ve İkinci Sistem Tanımı

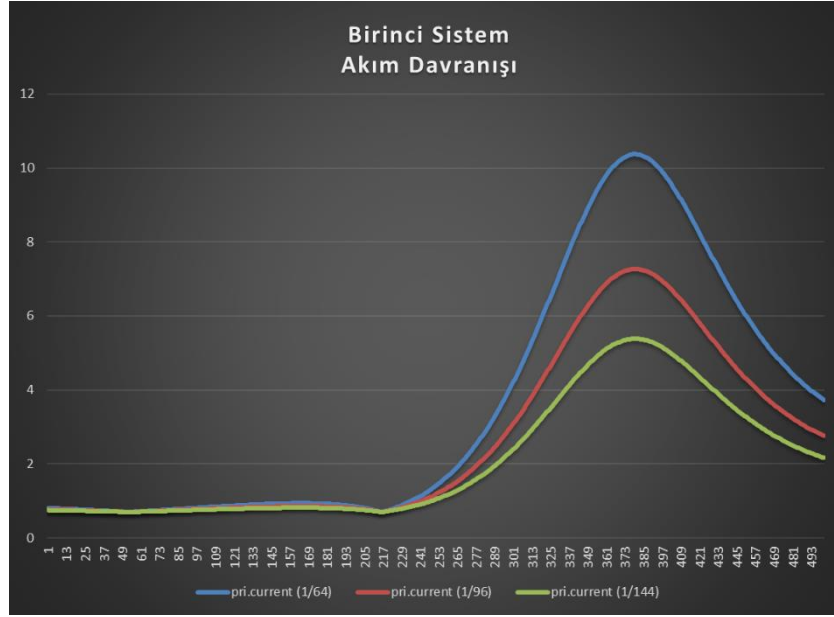


Şekil 8: EMH Birinci ve İkinci Sistem Çalışması

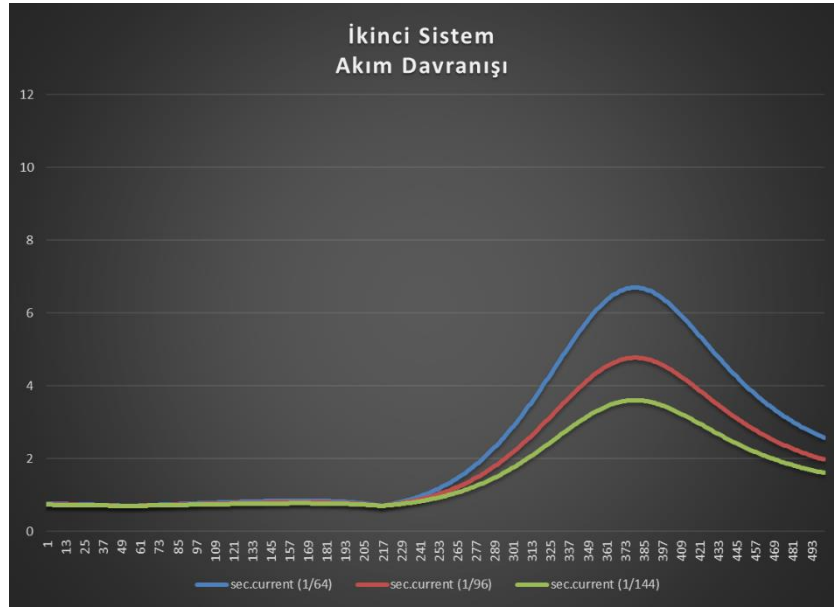
Boyutlandırma faaliyetleri sırasında temel olarak “Boyutlandırma Yöntemi” kısmında tanımlanan 1 ve 2 numaralı formüller kullanılarak tork hesapları yapılmıştır. Hesaplama sırasında farklı açılma/kapanma süre ihtiyaçları tanımlandığı için farklı trapez vidalar tercih edilmiştir.

Detay tasarım aşamasında sökme ve takma için minimum takım ihtiyaçları göz önünde bulundurulmuştur. Bu kapsamda tüm montaj sadece 2 adet alyan ve 1 adet açık ağız anahtar ile yapılabilmektedir.

Yapılan hesaplara uygun olarak seçilen elektrik motoru ile birlikte ilk kademe redüksiyon parametreleri incelenerek akım ihtiyaçları belirlenmiştir.



Şekil 9: EMH Birinci Sistem Akım Davranışı



Şekil 10: EMH İkinci Sistem Akım Davranışı

PROTOTİP İMALAT

Boyutlandırması tamamlanan Elektromekanik Hareketlendiricinin prototip imalat süreci devam etmektedir.



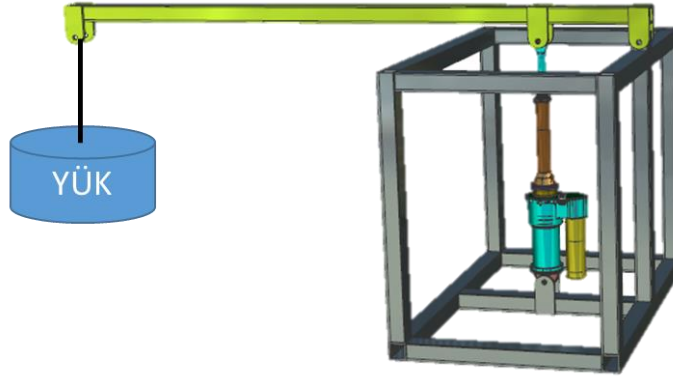
Şekil 11: Prototip İmalat Resimleri

FONKSİYONEL TESTLER

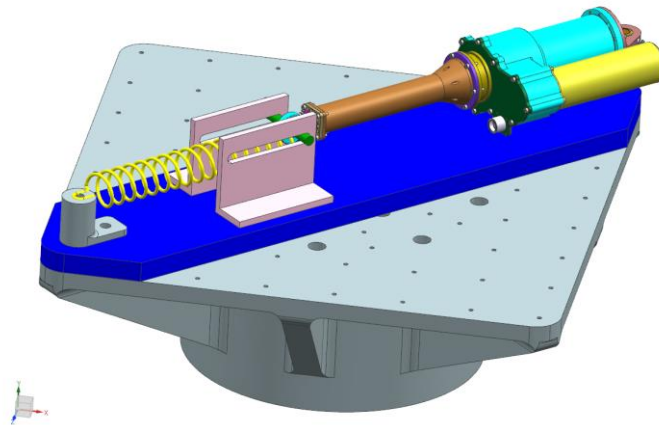
Prototip imalatı yapılan EMH 'nın doğrulaması aşamasında yapılacak testler için öncelikle test düzenekleri tasarlanmış ve üretilmiştir.



Şekil 12: Fonksiyonel Test Düzeneği – Çekme Yüğü



Şekil 13: Fonksiyonel Test Düzeneği – Basma Yüğü



Şekil 14: Titreşim Test Düzeneği

Prototip imalatı yapılan EMH'nın doğrulaması için planlanan testler Tablo 1 'de gösterilmiştir.

Tablo 1: EMH Planlanan Testler

Test Tanımı	Planlanan Ölçümler
Fonksiyonel Çalışma Yük Testi	Deplasman, süre, dişli kutusu sıcaklığı, motor sıcaklığı, akım
Yük Tutma Testi	Deplasman, süre
Stall Yük Testi	Deplasman, süre, dişli kutusu sıcaklığı, motor sıcaklığı, akım
Düşük Mod Performans Testleri	Deplasman, süre, dişli kutusu sıcaklığı, motor sıcaklığı, akım
Yüksek Sıcaklık Performans Testleri	
Fonksiyonel Çalışma Yük Testi	Deplasman, süre, dişli kutusu sıcaklığı, motor sıcaklığı, akım
Düşük Mod Performans Testleri	Deplasman, süre, dişli kutusu sıcaklığı, motor sıcaklığı, akım
Düşük Sıcaklık Performans Testleri	
Fonksiyonel Çalışma Yük Testi	Deplasman, süre, dişli kutusu sıcaklığı, motor sıcaklığı, akım
Düşük Mod Performans Testleri	Deplasman, süre, dişli kutusu sıcaklığı, motor sıcaklığı, akım
Ömür Testleri	
Oda sıcaklığı	Deplasman, süre, dişli kutusu sıcaklığı, motor sıcaklığı, akım
Yüksek Sıcaklık	Deplasman, süre, dişli kutusu sıcaklığı, motor sıcaklığı, akım
Düşük Sıcaklık	Deplasman, süre, dişli kutusu sıcaklığı, motor sıcaklığı, akım
Çevresel Testler (MIL-STD-810)	
Düşük Basınç / İrtifa	
Yüksek Sıcaklık	Deplasman, süre, dişli kutusu sıcaklığı, motor sıcaklığı, akım
Düşük Sıcaklık	Deplasman, süre, dişli kutusu sıcaklığı, motor sıcaklığı, akım
Yağmur	Deplasman, süre, dişli kutusu sıcaklığı, motor sıcaklığı, akım
Nem	Deplasman, süre, dişli kutusu sıcaklığı, motor sıcaklığı, akım
Toz ve Kum	Deplasman, süre, dişli kutusu sıcaklığı, motor sıcaklığı, akım
Titreşim	Deplasman, süre, dişli kutusu sıcaklığı, motor sıcaklığı, akım
EMI/EMC (MIL-STD-461)	Deplasman, süre

SONUÇ

Hava araçlarında kullanılmak üzere Yedekli Elektromekanik Hareketlendirici tasarım faaliyetleri tamamlanmıştır.

Fonksiyonel ve performans gereksinimleri ışığında boyutlandırması yapılan hareketlendiricinin 3 adet prototip imalat süreci (sözleşme, malzeme temini, imalata hazırlık ve imalat) devam etmektedir. Prototip imalatın ve montajın Ağustos ayı içinde tamamlanacağı öngörülmektedir.

Prototip ürünlerin montajından sonra doğrulama ve performans testleri gerçekleştirilecektir.

Kaynaklar

Bossche, D., 2006, The A380 Flight Control Electro-hydrostatic Actuators Achievements and Lessons Learnt. 25th International Congress of the Aeronautical Sciences, Germany
Dominique, B., Christian, F. and Pascal, T., 2001, Electrical Flight Controls, from Airbus A320/330/340 to Future Military Transport Aircraft, Chapter 12. CRC Press LLC
Electric Heavy-Duty Ball Screw Linear Actuators, EDRIVE
Shigley, J.E., Mischke, C.R., 1989, Mechanical Engineering Design, Fifth edition
Stephen C.J., Gavin D.J., Bruce, R. and David, D., 2000, Flight Test Experience With an Electromechanical Actuator on the F-18 Systems Research Aircraft
System Provider for the Boeing 787 Dreamliner, 2012, Moog Inc.,
(<http://www.moog.com/markets/aircraft/civil-aircraft/commercial-transport>.Jul.2012)