

HİBRİT ELEKTRİK İTKİ SİSTEMLERİ VE SİSTEM TASARIMINDA KOMPONENT SEÇİMİNİN ÖNEMİ

Emrah Yiğit¹
WIKI Instruments
Ankara

Işıl Yazar²
Osmangazi Üniversitesi
Eskişehir

T. Hikmet Karakoç³
Anadolu Üniversitesi
Eskişehir

ÖZET

Günümüz havacılık şartlarında ihtiyaçlar ve teknolojik gelişim bir arada düşünüldüğünde, elektrikli itki sistemleri sahip oldukları birçok avantaj sebebiyle geleneksel itki sistemlerine karşı üstünlük sağlamaktadır. Bu nedenle başta otomotiv olmak üzere, denizcilik ve son yıllarda artan bir ivme ile havacılık sektöründe de genel itki sistemlerinde kısmen ya da tamamen 'elektrikli itki sistemleri' nin uygulamasına yönelik çalışmalar başlamıştır. Fosil yakıt kaynaklarının giderek azalması ve bu yakıt kaynakları ile enerji elde etmenin çevreye verdiği zarar göz önünde bulundurulduğunda, alternatif itki sistemlerine yönelimin gerekliliği daha net anlaşılmaktadır. Elektrikli itki sistemleri havacılık uygulamaları için sürdürülebilir, temiz bir teknoloji olmasına rağmen henüz bu teknolojinin pratikte uygulanabilirliği geleneksel itki sistemleri kadar gelişkin değildir. Elektrikli itki sistemlerini oluşturan birçok komponentin birbiriyle uyum içerisinde, tehlike arz etmeden çalışabilmesi genel havacılık kuralları açısından önem arz etmektedir. Bu çalışmada hibrit elektrik itki sistemleri, sistemin genel tanıtımı ve komponent tasarım / seçiminde en dikkat çeken unsurlara değinilecektir.

GİRİŞ

Son yıllarda ulaştırma sektöründe, sağladığı çeşitli avantajlar nedeniyle genel olarak 'Elektrikli İtki Sistemleri'ne özel olarak da 'Hibrit Elektrik İtki Sistemleri' (HEİS) uygulamalarına bir yönelim söz konusudur. Hava trafiği gün geçtikçe artmakta ve yakın gelecekte bu artışın daha da katlanması beklenmektedir. Airbus firmasının verilerine göre dünya hava trafiği 15 yılda bir kendini ikiye katlamaktadır [Airbus Global Market Forecast, 2012]. Orta vadede kısmen kullanım, uzun vadede ise tamamen elektrik sistemleri kullanımına geçiş NASA'nın gelecek dönem çalışma perspektifi için sıkça değindiği bir konudur [Dudzinski L.A., Pencile J., Dankanich J.W., 2007]. Ebatları itibari ile uygulama kolaylığı sağlaması ve ekonomik olması, HEİS'nin İnsansız Hava Aracı (İHA) uygulamaları için de kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Bu durum pratik denemelere hız kazandırmıştır. Bununla birlikte HEİS tasarımı yaparken uygun özelliklerde komponentlerin seçimi de göz önünde bulundurulması gereken bir diğer önemli konudur. Bunun için öncelikle tasarımı yapılacak itki sistemi yapısının, komponentlerin ve tasarıma etkileyen kilit parametrelerinin bilinmesi gereklidir. [Fletcher S., Flynn M-C., Jones C. E., Norman P. J. , 2016; Perullo C.A., Trawick D.R., Mavris D.N., 2016; Schwarze M.C., 2013]. Bu çalışmada HEİS genel yapısı ve farklı versiyonları yanmalı motor üzerinden anlatılmış ve sistem tasarımında komponent tasarım ve seçiminin önem arz eden unsurlarına yer verilmiştir.

Hibrit Elektrikli İtki Sistemleri

Tanım olarak bir HEİS; bir tanesi elektrik motoru olmak üzere iki veya daha fazla güç kaynağının birlikte ya da bağımsız olarak kullanılmasıyla oluşturulan bir itki sistemidir. Geleneksel

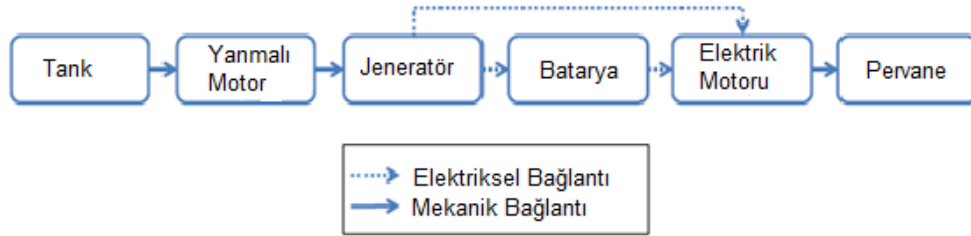
¹ Makine Mühendisi, Instrumentation Technology, E-posta: emrahyigit06@gmail.com

² Dr. Öğretim Üyesi, Mekatronik Bölümü, E-posta: iyazar@ogu.edu.tr

³ Prof. Dr., Uçak Gövde Motor Bakım Bölümü, E-posta: hkarakoc@anadolu.edu.tr

uygulamalarda diğer güç kaynağı Gaz Türbinli / Yanmalı Motor olsa da alternatif olarak Yakıt Pili, batarya gibi başka kaynaklar da kullanılabilir. Temelde bu sistemlerin amacı farklı alt sistemlerin avantajlarını tek sistemde toplamaktır. Örneğin Gaz Türbinli / Yanmalı Motorlarda enerji yoğunluğu yüksek, verim göreceli olarak düşük, sistemi kontrol edebilme hızı düşük, sistem karakteristikleri değişken iken; Elektrik Motorlarında ise enerji verimliliği yüksek, sistem kontrolü daha hızlı, sistem karakteristikleri daha stabildir [FriedrichC., RobertsonP., 2014; FriedrichC., RobertsonP., 2015; GlassockR, GaleaM, WilliamsW, GleskT, 2017; PornetC, 2015]. HEİS bu iki sistemi avantajları ile birlikte tek sistem olarak tasarlamayı ve çalıştırmayı hedefleyen bir itki sistemidir. Sistem sonucunda yakıt tasarrufu, düşük çevre kirliliği, hava aracı kalkış gürültüsünde azalma gibi başkaca avantajlar da sağlayacağı öngörülmektedir. HEİS'ler birkaç farklı konfigürasyona sahiptir. Seri, paralel ve bu iki sistemin de birlikte kullanıldığı kombinasyonları mevcuttur.

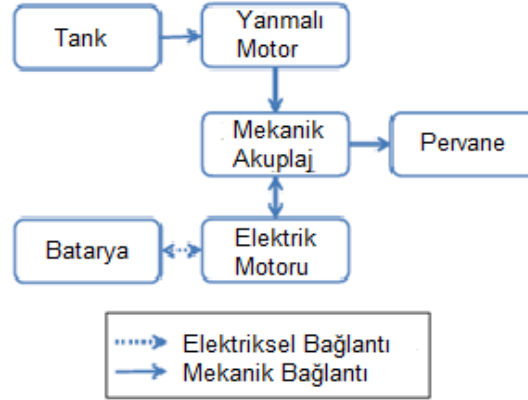
Seri Hibrit Elektrik Konfigürasyonu: Bu konfigürasyonda pervane, şaftına bağlanmış elektrik motoru tarafından tahrik edilir. Yanmalı Motorun / Gaz Türbinli Motorun mekanik gücü bir jeneratör yardımı ile elektrik gücüne çevrilir. Sonrasında direk elektrik motoruna bağlanabildiği gibi bir bataryayı şarj etmekte de kullanılabilir. Yanmalı Motor için Seri Bağlı Hibrit Elektrik İtki Sistemi Konfigürasyonu Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1: Yanmalı Motor için Seri Bağlı Hibrit Elektrik İtki Sistemi Konfigürasyonu (Schömann ve Horning (2012) çalışmasından uyarlanmıştır) [SchömannJ, 2014]

Seri konfigürasyonda, yanmalı motorun itki üretiminden tamamen ayrılmış olması nedeniyle sabit şekilde optimum çalışma noktasında verimli bir biçimde çalışıyor olması bir avantaj olarak değerlendirilir. Motor sürekli çalışmaz ve çalıştığı zamanlarda en verimli haliyle en etkin güç değerlerinde çalışır. Ayrıca genel olarak incelendiğinde sistemin basit kurgusu itki kontrolünü kolaylaştırmaktadır. Tercihen kullanılan batarya ile hava araçlarına belirli bir süre hareket imkanı sağlanabilir, bu avantajdan genellikle taksi aşamasında faydalanılmaktadır. Ayrıca hava araçlarının kalkış aşamasına kadar geçen süre içerisinde motor direkt olarak APU'dan güç alabilir ve bu şekilde yakıt tasarrufu sağlandığı gibi ana motorun start alma ihtiyacı kalkış aşamasına kadar erteleyerek hava aracı verimliliğini de geliştirir (BOEING 737 NG). Elektrik motorunun tüm itkiyi tek başına karşılamak zorunda olmasından kaynaklı sürekli maksimum fazda çalışma ve bu duruma uygun ebatlandırılma zorunluluğu ve sistemin bir jeneratör içermesinin kütle artışına neden olması durumları ise birer dezavantaj olarak sıralanabilir [PornetC, IsikverenA.T., 2015; CampbellC, DittmanE, MacRaeJ, EhringerC, StoneA, LakeK, HaskinsS, MankbadiR.R., 2011; SchömannJ, 2014]

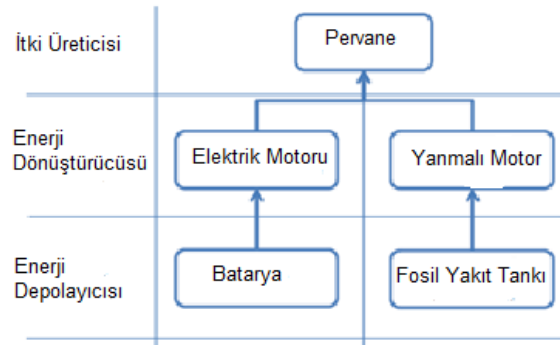
Paralel Hibrit Elektrik Konfigürasyonu: Bu konfigürasyonda elektrik motoru ile Yanmalı Motor / Gaz Türbinli Motor mekanik akuplaj halinde paralel bağlı çalışarak pervaneyi tahrik eder. Buradaki amaç esasında üretilen torku birleştirebilmektir. Paralel konfigürasyonda yanmalı motor / türbinli motor ve elektrik motoru, pervaneyi birlikte de tahrik edebilir, ayrı ayrı da tahrik edebilir. Yanmalı motor / gaz türbinli motor, pervaneyi ve dolaylı olarak da elektrik motorunun sürücüsü olduğunda sistemde kullanılan bataryayı da şarj imkanı sağlar. Batarya kullanımı zorunlu değildir ancak avantajlı olduğu için tercih edilmektedir. Ayrıca batarya yerine bir diğer tercih edilen seçenek de yakıt pilleridir. Bu iki güç kaynağı ayrı ayrı pervaneyi tahrik ettiğinde, paralel sistemin toplamda üreteceği itki gereğinden fazla olabilir, dezavantaja yol açabilir. Tersinden bakıldığında ise iki güç kaynağının akuplaj biçimde pervaneyi tahrik etmesi durumu, ebat olarak daha küçük bir sistem tasarımına olanak sağlayıp avantaja dönüştürülebilir [HungJ.Y., GonzalezL.F., 2012; CampbellC, DittmanE, MacRaeJ, EhringerC, StoneA, LakeK, HaskinsS, MankbadiR.R., 2011; SchömannJ, 2014]. Yanmalı Motor için Paralel Bağlı Hibrit Elektrik İtki Sistemi Konfigürasyonu Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2: Yanmalı Motor için Paralel Bağlı Hibrit Elektrik İtici Sistemi Konfigürasyonu (Schömann ve Horning (2012) çalışmasından uyarlanmıştır) [SchömannJ, 2014]

Hibrit Elektrik İtici Sistemleri Komponentleri

HEİS tasarımı serisi ve paralel bağlı konfigürasyonlardan sonra bir diğer önemli konu sistem komponentlerinin doğru seçilmesidir. Özellikle sistem verimi açısından doğru özelliklerde komponent seçimi önemlidir. Bu yüzden de komponentlerin kilit özelliklerinin bilinmesi gerekir. Bir HEİS temelde 5 tane ana komponent içerir. Bunlar, itici üretici olarak pervane; iki enerji dönüştürücüsü olarak elektrik motoru ve yanmalı motor / gaz türbinli motor; iki enerji depolama kaynağı olarak da batarya ve fosil yakıt tankı olarak sıralanabilir. Bu 5 ana komponent dışındaki elemanlar daha çok tamamlayıcı komponent olarak kullanılmakta olup tasarıma etki eden parametrelere çok fazla etkisi bulunmamaktadır [SchömannJ, 2014]. Temel HEİS Komponentleri Şekil 3'de gösterilmektedir.



Şekil 3. Temel HEİS Komponentleri [SchömannJ, 2014]

1. **Elektrik Motoru:** HEİS tasarımı en önemli komponent elektrik motorlarıdır. Diğer tüm komponentlerin elektrik motoru ile uyumlu seçilmesi, toplamda sistemin verimi için önemlidir. Elektrik Motorları elektrik enerjisini mekanik enerjiye çevirirler. Elektrik Motorlarını çok geniş bir çerçevede sınıflandırmak mümkündür ancak en genel anlamda Alternatif Akım (AA) ve Doğru Akım (DA) Motorlar olarak sınıflandırılabilir.

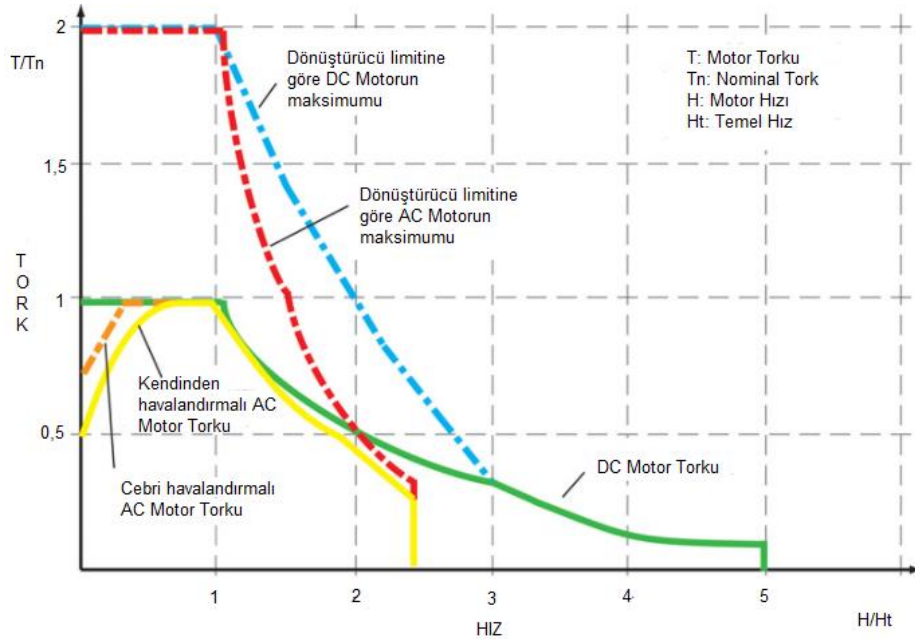
AA Motorlar yapısal olarak üç fazlı ve tek fazlı olabilirler. AA Motorlar stator sargılarında üretilen elektrik enerjisini rotorunda dönme hareketi yaparak mekanik enerjiye çevirir. Asenkron ve senkron motorlar olmak üzere 2 farklı tipi mevcuttur. Yüksek tork üretebilirler, frekans dönüştürücülerle devir sayısı kolayca ayarlanabilir, maliyetleri düşüktür, aynı güç

değerlerine göre kıyasla DA motorlara göre daha hafiftir, bakım gereksinimi daha azdır, kimyasal-petrokimyasal ortamlar gibi zor ortamlarda daha rahat çalışırlar [HughesA, 2006].

DA motorlar en genel anlamda fırçalı ve fırçasız DA motorlar olmak üzere 2 kısımda incelenir. Rotor, üzerinde iletken sargıların (bobinlerin) bulunduğu motorun dönen kısmıdır. Manyetik alan yardımıyla oluşan indüklenme, yine motorun bu kısmında oluşur. Meydana gelen manyetik alan, rotorda bir tork meydana getirir. Böylece mekanik enerji dolayısıyla dönme hareketi bu şekilde elde edilmiş olur. Eğer motor yapısında yardımcı elemanlardan kollektör ve fırça yapıları da kullanılmışsa fırçalı DA Motor olarak isimlendirilir. Fırçalı DA motorlar havacılık uygulamalarında sürtünme, ısınma, gürültü ve kıvılcım özelliklerinden dolayı çok tercih edilmezler [HughesA, 2006]. Ayrıca fırça yapılarının zaman içerisinde aşınması nedeniyle bakım gereksinimi ortaya çıkmaktadır. Zamanla fırçanın aşınması motorun dönme sayısında değişiklik meydana gelir. Bu da sabit dönüş sayısı gerektiren uygulamalar için tercih edilmemektedir..

Öte yandan fırçasız doğru akım motorlarında fırça ve kollektör bulunmaz. Birçok avantajı nedeniyle özellikle havacılık ve robotik uygulamalarında bu motorlar tercih edilmektedir. Çalışmaları ve kontrolleri için ESC ismi verilen özel sürücü devreler kullanılır. Avantajları, sürtünmenin en az düzeyde olması sayesinde verimliliklerinin çok yüksek olması ve fırça gibi aşınan parça olmaması nedeniyle yüksek performansa ihtiyaç duyulan uygulamalarda kullanılabilirlerdir. Motor kontrolü fırçalı DA Motorlara kıyasla daha kompleks olmasına rağmen havacılık uygulamalarında daha çok tercih edilirler [HughesA, 2006].

HEİS'lerinin uygulamalarının tasarımında motor seçimi yaparken dikkat edilmesi gereken en önemli husus sistem ağırlığını minimumda tutmaktır. Bu noktada motorun alternatif akımlı ya da doğru akımlı olarak hangisinin seçileceği önemlidir. AA Motorlar DA Motorlara göre daha hafif motorlardır ancak güç dönüşümü için daha kompleks donanım gerektirmektedir. Üç fazlı AA Motorlar tek fazlılarına göre daha hafiftirler ama üç fazlı sinyal için ekstra donanım gerektirirler. Bir DA Motor, eşdeğer özelliklerde bir AA Motora göre daha büyüktür ve bakım maliyeti daha fazladır [FehrenbacherJ., Stanley D.L., JohnsonM.E. Dr., HonchellJ., 2011]



Şekil 4. AC ve DC Motorların Tork Karşılaştırması [SimonB, 2010]

Eşdeğer DA ve AA motorların tork üretim oranları ve motor hız oranları Şekil 4' bakarak karşılaştırıldığında, DA motorların ulaşabildiği hız oranları ve yüksek verimliliklerinden dolayı daha fazla tercih edilebilirliği daha açık görülmektedir.

2. **Pervane:** Pervane dönel mekanik enerjiyi çevirici mekanik enerjiye çevirir. Dönel hareketteki hız, dönüşüm geçirerek zamanla hava aracını hareket ettiren hıza dönüşür. Pervane kanatları havada hareket sırasında kaldırma / taşıma üretir. Ayrıca pervane kanatları, hücum açısına ve burulma açısına göre değişerek birlikte pervane itkisine katkı sağlar. Pervane geometrisi, serbest akış ve dönme hızı ile tanımlanmış nisbi rüzgar; oluşacak itki ve pervane verimi açısından önemlidir. İtki üretimi göz önüne alındığında daha çok pervane kanadı ya da daha büyük disk çapı tercih ederek dönme hızı ve dolayısıyla da oluşan itki artırılabilir. Ancak burada bir diğer önemli parametre verimdir. Uygulamalarda düşük dönme hızlarındaki büyük çaplı pervaneler, yüksek hızlardaki düşük çaplı pervanelere göre daha verimli çalışmaktadır. Buradan hareketle işlev açısından bakıldığında çap ve dönme hızına nazaran pervane kanat profili, hücum ve burulma açısı itki üretimi açısından daha çok önem arz etmektedir. Tüm bu parametrelerin uygun seçilmesi, büyük bir gürültü kaynağı olan pervanelerin gürültüsünün azaltılmasında da rol oynamaktadır [CampbellC, DittmanE, MacRaeJ, EhringerC, StoneA, LakeK, HaskinsS, MankbadiR.R., 2011; SchömannJ, 2014].
3. **Batarya:** Bataryalar kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren ve elektrik enerjisi depolamada kullanılan elektrokimyasal cihazlardır. Bir ya da birkaç hücrenin seri ya da paralel bağlanması tasarımı üzerine çalışırlar. Hücreler de elektrolit içindeki elektrotlardan oluşur. Pozitif elektrot (katot) genellikle metal oksit, karşılığı olan negatif elektrot (anot) ise metalden oluşur.

Bataryalar havacılık uygulamalarında şarj edilebilir ve şarj edilemeyen bataryalar olarak kullanılırlar. Şarj edilemeyen tip bataryalar (birincil tip) tek kullanımlık, şarj edilebilir bataryalar (ikincil tip) çok kullanımlıdır. Şarj edilemeyen bataryaların performansı şarj edilebilir bataryalarınkine göre daha yüksektir [LindenD., ReddyT.B., 2001]

Batarya tasarımında ve HEİS'lerde kullanım tercihlerinde ilk olarak hedeflenen batarya ağırlığıdır. Olabildiğince düşük ağırlıklı bataryaların tercih edilmesi istenir. Bu sebeple Lityum temelli bataryalar havacılık uygulamalarında sıkça tercih edilir. Lityum elementi hem hafif olması hem de yüksek elektro-kimyasal potansiyeli ile batarya üretiminde ve tasarımında günümüzde yoğun olarak tercih edilmektedir. Dolayısıyla Lityum bazlı bataryalar, enerji yoğunluğu yönünden kıyaslandığında diğer malzeme bazlı bataryalara göre oldukça yüksek kapasiteye sahiptir [PerulloC.A., MavrisD.N., 2014; BradleyT.H., MoffittB.A., ParekhD.E., FullerT.F., MavrisD.N., 2009; VerstraeteD, LehmkuehlerK, GongA, HarveyJ.R., BrianG, PalmerJ.L., 2014]

4. **Gaz Türbinli / İçten Yanmalı Motor:** HEİS'lerde kullanılan bir diğer komponent gaz türbinli motorlar ya da içten yanmalı motorlardır. Bu tip motorlarda yanma ile açığa çıkan kimyasal enerji mekanik enerjiye dönüştürülür. HEİS tasarımında bu motorlardan beklenen ağırlığın ve özgül yakıt tüketiminin düşük olmasıdır. HEİS tasarımında kullanılabilecek gaz türbinli motorlar ve içten yanmalı motorlar sınıflandırma, kullanım tercihleri ve özellikleri bakımından oldukça çeşitlilik göstermektedir.
5. **Fosil Yakıt:** Fosil yakıtlar, içlerinde çeşitli uygun motorlar yardımı ile mekanik enerjiye dönüşecek olan kimyasal enerjiyi bulundurlar. Çoğunlukla ham petrolün işlenmesi ile elde edilirler. HEİS uygulamalarına baktığımızda yakıt; içten yanmalı motorlarda benzin ve dizel; gaz türbinli motorlarda benzin, doğalgaz, dizel, propan, kerosen olarak karşımıza çıkabilmektedir. Günümüzde havacılık uygulamalarında HEİS denemeleri daha çok küçük boyutlu uçaklarda ve İHA'larda yapıldığından otomotiv sektöründeki uygulamalara benzer biçimde araç yakıtı kullanılabilir. Ancak gelecek perspektifi olarak bakıldığında yukarıda bahsedilen tüm yakıtların havacılık uygulamalarında da kullanılacağı öngörülmektedir. Benzin, dizel ve kerosene göre daha hafif bir yakıttır. Dizel, benzine göre daha ağır bir yakıttır, özellikleri kerosenle benzerdir. Kerosen daha çok jet uygulamalarında tercih edilir [SchömannJ, 2014].

HİBRİTLEŞME [%]									
Hibritleşme Yüzdesi [%]	0	30	40	50	60	70	80	90	100
Elektrik Motoru [kW]	0	6	8	10	12	14	16	18	20
Yanmalı Motor [kW]	15	14	12	10	8	6	4	2	0
Toplam [kW]	15	20	20	20	20	20	20	20	20
KOMPONENT AĞIRLIKLARI [kg]									
Hava aracı ağırlığı [kg]	182,5	182,5	182,5	182,5	182,5	182,5	182,5	182,5	182,5
Elektrik Motoru [kg]	0	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
Yanmalı Motor [kg]	22,5	21	18	15	12	9	6	3	0
Batarya [kg]	0	16	20,5	25	29,5	34	38,5	43	47,5
Yakıt [kg]	20	14	12	10	8	6	4	5	0
Toplam Ağırlık [kg]	225	235	235	235	235	235	235	235	235

Tablo 1. Friedrich ve Robertson'un Midscale Aircraft çalışmalarında kullandıkları tasarımın hibritleştirme denemeleri [FriedrichC., RobertsonP., 2014]

Friedrich ve Robertson Tablo 1'de verilen çalışmalarında farklı komponent denemeleri ile tasarımlarını yaptıkları hava aracının elektriksel hibritleşme oranını adım adım tabloya dökmüşlerdir. Bu tabloya bakıldığında elektriksel hibritleşme oranı arttıkça aracın yakıttan ve geleneksel itki sistemlerinden uzaklaştığını görmek mümkündür. Tablonun ikinci kısmı ise ağırlıklar bazında elektriksel hibritleşme oranı değişimi görülmektedir. Bu tabloya göre de, oran arttıkça motorların ve yakıtın ağırlığının azaldığı, bununla birlikte batarya sisteminin ağırlığının arttığı görülmektedir. Böylelikle elektriksel hibritleşme yüzdesinin artması ile birlikte aynı ağırlıkta sistem veriminin, performansının arttığı net bir biçimde görülmektedir.

Bir diğer önemli husus olarak, dünyada üniversiteler ile havacılık kurumlarının hibrit elektrikli itki sistemlerini geliştirmek amacıyla yaptığı ortak çalışmalarda komponent seçimi, komponent performansları konuları ayrı konu başlıkları olarak ele alınmakta ve bu konularda yapılan çalışmalar giderek artmaktadır. Örnek olarak The National Academy of Science (NAS) kurumunun ticari uçakların elektrikli itki sistemleri ile ilgili bir araştırmasında birçok kurumun yapmış olduğu çeşitli komponentle birlikte batarya konusunun incelendiği ve performans mukayesesi yapıldığı çalışma kayda değerdir. Çalışmada; paralel hibrit bağlı bir sistemde benzer zaman ve koşullarda yapılmış testlerde Boeing SUGAR'ın batarya performansını 750 Wh/kg, Bauhaus'un 1000-1500 Wh/kg, Cambridge'in 750 Wh/kg, Georgia Tech'in yine 750 Wh/kg olarak ölçtüğü ve bu sonuçlar üzerinden kapsamlı performans değerlendirmesi yer almaktadır. Diğer komponentler için de kapsamlı mukayeseli performans testleri yapılmaktadır [National Academies of Sciences (NAS), 2016].

SONUÇ

Havacılık alanında 'elektrikli uçuş' son yıllarda önemli bir başlık haline gelmiştir. Yakıt tasarrufu, gürültü kirliliği, enerji verimliliği, düşük emisyon ve daha bir çok çalışma alanında elektrikli uçuş, geleneksel yöntemlere kıyasla daha çok avantajı bünyesinde barındırmaktadır. Elektrikli uçuş ağırlığının artması sistemsel olarak birçok noktada olabilmekle birlikte asıl olarak itki sistemlerinde gerçekleşebilmektedir. Bu noktada hibrit elektrikli sistemler tarafından otomotiv endüstrisinde yakalanan pratik deneyimlerin havacılık endüstrisinde de uygulanma şansı bulması, orta ve uzun vadede gerçekleşmesi beklenen hedefler arasındadır. Bu hedeflerin gerçekleştirilmesi ise teknolojik alt yapının ve tasarlanacak sistemlerin birbiri ile uyumundan ve uygulamada tercih edilecek komponentlerinin doğru seçilmesinden geçmektedir.

Kaynaklar

- Airbus Global Market Forecast, 2012, 2012 – 2031 <http://www.airbus.com/company/market/forecast/>, (alınış tarihi 25 September 2012).
- BradleyT.H., MoffittB.A., ParekhD.E., FullerT.F., MavrisD.N., 2009, Energy Management for Fuel Cell Powered Hybrid-Electric Aircraft, 7th International Energy Conversion Engineering Conference, Copyright © 2009 by T. H. Bradley. Published by the American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc.
- CampbellC, DittmanE, MacRaeJ, EhringerC, StoneA, LakeK, HaskinsS, MankbadiR.R., 2011, Design of a Hybrid Electrical Propulsion System, 52nd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference
- DudzinskiL.A., PencileJ., DankanichJ.W., 2007, Electric Propulsion Requirements and Mission Analysis Under NASA's In-Space Propulsion Technology Project, The 30th International Electric Propulsion Conference, Florence, Italy
- FehrenbacherJ., Stanley D.L., JohnsonM.E. Dr., HonchellJ., 2011, Electric Motor & Power Source Selection for Small Aircraft Propulsion, Purdue e-Pubs
- FletcherS., FlynnM-C., JonesC. E., NormanP. J. , 2016, Hybrid electric aircraft: state of the art and key electrical system challenges, The Transportation Electrification eNewsletter
- FriedrichC., RobertsonP., 2015, Hybrid-Electric Propulsion for Aircraft, JOURNAL OF AIRCRAFT Vol. 52, No. 1
- FriedrichC., RobertsonP., 2014, Hybrid-Electric Propulsion for Automotive and Aviation Applications, University of Cambridge, 9 JJ Thomson Avenue, CB3 0FA Cambridge, UK
- GlasscockR, GaleaM, WilliamsW, GleskeT, 2017, Hybrid Electric Aircraft Propulsion Case Study for Skydiving Mission, Aerospace 2017, 4, 45; doi:10.3390/aerospace4030045
- HughesA., 2006 (Third Edition), Electric Motors and Drives Fundamentals, Types and Applications, Published by Elsevier Ltd.
- HungJ.Y., GonzalezL.F., 2012, On parallel hybrid-electricpropulsion system for unmanned aerial vehicles, Progress inAerospaceSciences51(2012)1–17
- LindenD., ReddyT.B., 2001, Handbook of Batteries, Third Edition, McGraw-Hill Handbooks.
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2016). Commercial aircraft propulsion and energy systems research: reducing global carbon emissions. National Academies Press.
- PerulloC.A., TrawickD.R., MavrisD.N., 2016, Assessment of Engine and Vehicle Performance Using Integrated Hybrid-Electric Propulsion Models, JOURNAL OF PROPULSION AND POWER Vol. 32, No. 6,
- PerulloC.A., MavrisD.N., 2014, A review of hybrid-electric energy management and its inclusion in vehicle sizing, erald Group Publishing Limited [ISSN 1748-8842]
- PornetC, 2015, Electric Drives for Propulsion System of Transport Aircraft, Chapter 5, Intech
- PornetC, IsikverenA.T., 2015, Conceptual design of hybrid-electric transport aircraft, Progressin Aerospace Sciences79 (2015) 114–135
- SimonB, 2010, DC motors: Why are they still used?, <https://www.plantservices.com/articles/2010/02dcmotors>
- SchömannJ, 2014, Hybrid-Electric Propulsion Systems for Small Unmanned Aircraft, Technische Universität München
- SchwarzeM.C., 2013, Operation and Performance Evaluation of Novel Electric Wheel Driven Hybrid Electric Propulsion Systems on Standard Short Range Passenger Airplanes, Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2013
- VerstraeteD, LehmkuehlerK, GongA, HarveyJ.R., BrianG, PalmerJ.L., 2014, Characterisation of a hybrid, fuel-cell-based propulsion system for small unmanned aircraft, Journal of Power Sources 250 (2014) 204e211