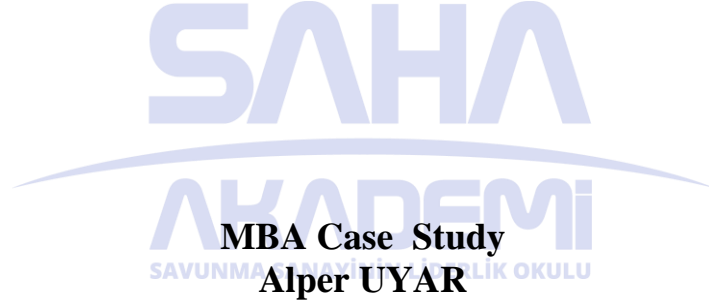


T.C
SAHA İSTANBUL & TÜBİTAK TÜSSİDE
SAHA AKADEMİ MBA YÖNETİCİ GELİŞTİRME PROGRAMI

Ülkemizde Askeri Hava Platformlarına Güç Vermek Amacıyla Yerli ve Milli İmkanlarla Geliştirilmekte Olan Havacılık Yardımcı Güç Ünitelerinin (APU'ların) Çift Kullanım (Dual Use) İmkanlarının Araştırılması



Danışman
Dr. Uğur TARÇIN
Ankara- 2025



ARAŞTIRMA PROJESİ UYGUNLUK FORMU



MBA: 2024-2025/37

1. SAHA İstanbul Yönetim Kurulu kararıyla, 2024-2025 eğitim döneminden itibaren SAHA AKADEMİ MBA katılımcılarına “Araştırma Projesi” hazırlama yükümlülüğü getirilmiştir. Bu uygulama; katılımcıların sektörel bilgi, stratejik düşünme ve akademik üretkenlik yetkinliklerini geliştirmeyi hedeflerken, savunma sanayii ekosistemine bilimsel katkıyı artırmayı amaçlamaktadır. Bu girişim, Türk savunma sanayii ekosisteminde bilimsel katkıyı artırmaya yönelik önemli bir adımdır.

2. SAHA İstanbul-SAHA AKADEMİ tarafından yayımlanan bu çalışma, ilgili yazar tarafından özgün biçimde hazırlanmış ve beyan edilmiştir. Çalışmada yer alan görüşler yazara ait olup, SAHA İstanbul’un kurumsal görüşünü yansıtmamaktadır. İçerikte sunulan bilgi, yorum ve sonuçların doğruluğu sorumlu yazara aittir. SAHA AKADEMİ; benzerlik oran tespitini yapmıştır.

3. Bu çalışma, [Alper Uyar] tarafından hazırlanmıştır. Araştırma Projesi danışman tarafından değerlendirilmiş ve sunumu [20 Mayıs 2025] tarihinde yeterli görülerek kabul edilmiştir.

Araştırma Projesi Sunum Jüri Üyeleri

Başkan	Dr. Uğur Tarçın (SAHA AKADEMİ Öğr.Görevlisi)	<i>e- imzalıdır</i>
Üye	İlker Özkan (Genel Sekreter Yrdc)	<i>e- imzalıdır</i>
Üye	Pınar Erguvan Kaya (SAHA İstanbul Kurumsal İlişkiler Müdürü)	<i>e- imzalıdır</i>

(Formun aslı, imzalı olarak ilgili dosyada muhafaza edilmektedir.)

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	2
1. Vaka Özeti.....	3
2. Amaç.....	3
3. Vaka Arka Planı	4
3.1 APU'nun tanımı, işlevi ve önemi	4
3.2 Çalışma Prensipleri.....	4
4. Vaka Arka Planı	6
4.1 Askeri Uçaklar için APU'nun Önemi.....	6
4.2 Sivil/Ticari Uçaklarda APU Kullanımı Tarihçesi.....	7
5. Analiz Yöntemi.....	8
5.2 Sektörün Gelecek Beklentileri.....	9
5.2.1. Talep Yönlü Faktörler.....	10
5.2.2. Arz Yönlü Faktörler.....	11
6. Çözüm Önerileri ve Gerçekleştirilmesi Gereken Eylemler	12
Türkiye'de askeri APU Geliştirme Çalışmaları	12
Sertifikasyon Gereklilikleri	13
Çevresel ve Operasyonel Uyumluluk.....	13
Güvenlik ve Test Gereklilikleri.....	14
7. Bulgular	14
7.1 Engeller (Zorluklar).....	14
7.2 Fırsatlar (Avantajlar).....	15
8. Değerlendirme, Sonuç ve Tavsiyeler	16
9. Kaynakça	17

ÜLKEMİZDE ASKERİ HAVA PLATFORMLARINA GÜÇ VERMEK AMACIYLA YERLİ VE MİLLİ İMKANLARLA GELİŞTİRİLMEKTE OLAN HAVACILIK YARDIMCI GÜÇ ÜNİTELELERİNİN (APU'LARIN) ÇİFT KULLANIM (DUAL USE) İMKANLARININ ARAŞTIRILMASI (CASE(VAKA)STUDY)

Alper UYAR

TRMotor Güç Sistemleri A.Ş.

alper.uyar@trmotor.com.tr

1. Vaka Özeti

Proje çerçevesi, ülkemizde yeni nesil askeri havacılık platformlarının ihtiyaçları göz önüne alınarak tasarım ve geliştirme faaliyetleri yürütülmekte olan yerli ve milli yardımcı güç ünitelerinin sivil havacılığın en büyük pazarı durumundaki ticari yolcu uçaklarında da kullanılabilirliği ile sınırlandırılmış; sivil/askeri helikopter, iş jeti, küçük uçak ve diğer karasal kullanım alanları (enerji üretimi, deniz platformları vs.) kapsam dışında tutulmuştur.

Birinci bölümde havacılıkta kullanılan yardımcı güç ünitelerinin tanımı, fonksiyonları ve askeri kullanım alanındaki önemi ele alınmış, ikinci bölümde yardımcı güç ünitesi pazarına ve sektör oyuncularına bakış verilmiştir. Üçüncü bölümde ülkemizdeki yardımcı güç ünitesi alanında yerli ve milli çalışmalar incelenmiştir. Dördüncü bölümde askeri amaçlı tasarım ve geliştirmesi yapılan yardımcı güç ünitelerinin sivil hava araçları için uygunluğu ele alınmıştır. Beşinci bölümde çift kullanım için avantaj ve zorluklar değerlendirilmiş, sonuç bölümünde nihai önerme verilmiştir.

2. Amaç

Bu çalışma, ülkemizde kendi askeri ihtiyaçlarımıza cevap verebilmek için yerli ve milli mühendislik gücümüz kullanılarak tasarım, geliştirme ve üretimi yapılmakta olan Havacılık Yardımcı Güç Ünitelerinin ticari havacılık pazarlarında da kullanılabilirliğinin incelenmesi amacıyla hazırlanmıştır. Bu inceleme, çift kullanım (dual use) kavramı çerçevesinde ele alınmıştır. İkili kullanım, hem sivil hem de askeri amaçlarla kullanılabilen teknolojileri, ürünleri veya bilgileri ifade eden bir terim olup, savunma sanayisinde özellikle ihracat kontrolleri ve stratejik iş birlikleri açısından büyük önem taşımaktadır. NATO ve AB gibi kuruluşlar, çift

kullanımlı teknolojilere yönelik çeşitli düzenlemeler yaparken, ülkemizde de bu konu son dönemde giderek daha fazla öne çıkmaktadır.

3. Vaka Arka Planı

3.1 APU'nun tanımı, işlevi ve önemi

Havacılık Yardımcı Güç Üniteleri, sabit ve döner kanatlı hava platformlarının yerde ve havada, belirli şartlar altında ihtiyaç duyduğu pnömatik ve elektrik enerjisini sağlayan küçük ölçekli gaz türbini motorlarıdır (Saravanamuttoo 2017). Yardımcı güç ünitelerinin en temel fonksiyonu, hava araçlarına itki gücü sağlayan ana motorları çalıştırabilmek için gerekli dönme torkunu sağlamaktır. Bunun yanında, günümüzde kullanılan modern yardımcı güç üniteleri, uçakların aviyonik sistemlerine elektrik sağlama, kabin içi iklimlendirme, acil durumlarda ya da iniş ve kalkışlarda yedek güç sağlamak gibi fonksiyonları da yerine getirmektedirler. Anılan bu fonksiyonları nedeniyle yardımcı güç üniteleri günümüzde hava araçlarının vazgeçilmez bir güç bileşeni olarak karşımıza çıkmaktadırlar. Bkz. Şekil-1



Şekil 1. Modern Havacılık APU'su (PW-980)

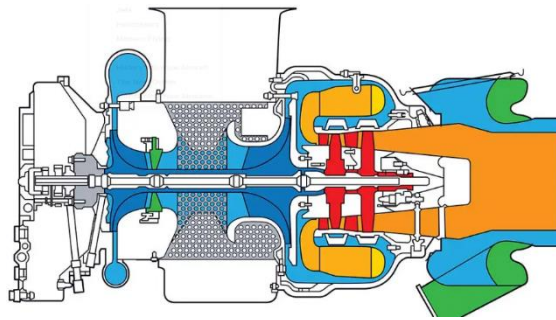
Kaynak: <https://www.prattwhitney.com/en/products/auxiliary-power-units> sitesinden alınmıştır.

3.2 Çalışma Prensibi

Yardımcı Güç ünitesi küçük bir gaz türbin motorudur (Gao ve Shen 2016). Termodinamik çalışma prensibi ve yapısal mimari olarak tüm gaz türbini motorları gibi giriş havasını

basınçlandırılan bir kompresör modülü, sıkıştırılmış havayı yakıt ile karıştırarak yakan bir yanma odası modülü ve ortaya çıkan ısı enerjisini faydalı mekanik enerjiye çeviren bir türbin modülünden oluşmaktadır. Kompresör – Türbin mimarisi genel olarak, aksel-eksel, aksel-radyal veya radyal-radyal olarak kategorize edilebilir. Söz konusu yapı, içinde dönen parçaları destekleyen yataklar, miller, çerçeveler, kabuk elemanları, dönen ve sabit kanatçıklar, dişli kutuları vb. gibi birçok yapısal elemanın yanında, yakıt, hava, yağ akışını sağlayan sistemler ve farklı koşullarda en uygun çalışma modunu yakalamak için motor kontrolü sağlayan ve motor sağlığını takip eden gibi çok çeşitli sistemlerden oluşan karmaşık ve üst seviye teknoloji barındıran bir makinedir. Bkz. Şekil2. Uçağın yardımcı güç ünitesi olarak APU, uçağa yardımcı güç ve hava kaynağı sağlayan, uçuş güvenliği ve konforunu sağlamak için kritik bir sistemdir (Gao ve Shen 2016). Bir hava taşıtında APU'nun spesifik faydaları şunlardır:

- Yer operasyonları sırasında, uygun bir yer güç kaynağı ve hava kaynağı bulunmadığında, gaz kaynağı üreterek ana motorun çalıştırılmasını sağlar ve çevresel kontrol sistemine (ECS) hava temin eder.
- Mekanik enerji üreterek APU jeneratörünü çalıştırır. Bu jeneratör, ana jeneratörle aynı parametrelere sahip olup, ana jeneratör devreye girene veya harici bir güç kaynağı bağlanana kadar tüm uçak elektrik sistemine enerji sağlayabilir.
- Uçuş sırasında yüksek irtifada duran ana motorun yeniden çalıştırılmasını sağlar
- Uçak henüz ana motorları çalışmamışken ECS sistemine hava besler
- Arızalanan ana jeneratörün yerine geçerek, güç sisteminin çalışmasını ve önemli elektrikli ekipmanların güç kaynağının yedeklenmesini güvence altına alır.
- Bakım elektrik ve hava faaliyetleri için gereken gücünü temin eder.



Şekil 2. Tipik bir APU kesiti ve bileşenleri

Kaynak: <https://www.flyingmag.com/how-an-auxiliary-power-unit-works/> sitesinden alınmıştır

4. Vaka Arka Planı

4.1 Askeri Uçaklar için APU'nun Önemi

Askeri uçaklar için yardımcı güç üniteleri (APU), sadece bir yardımcı sistem değil, görev başarısını ve operasyonel esnekliği doğrudan etkileyen kritik bir bileşendir. Özellikle hızlı hazırlık, bağımsız operasyon ve acil durum desteği gibi askeri gereklilikler göz önüne alındığında, APU'nun önemi daha net bir şekilde ortaya koyulmuş olur. Bkz. Şekil.3. Askeri uçaklarda APU şunları sağlar:

- **Bağımsız çalışma yeteneği:** Askeri operasyonlarda uçaklar ileri harekât üsleri, geçici pistler veya uçak gemileri gibi sınırlı destek altyapısına sahip alanlarda konuşlanabilir. Bu gibi senaryolarda uçak üzerindeki APU, harici yer destek ekipmanı (GPU, hava üniteleri vb.) olmadan motorları çalıştırma ve sistemleri devreye alma yeteneği sağlar.
- **Hızlı görev hazırlığı ve reaksiyon süresi:** Savaş uçakları, acil kalkış (scramble) gerektiren durumlarla karşılaşabilir. Bu gibi durumlarda, APU, motorların hızla çalıştırılmasını sağlayarak kalkış süresini minimize eder ve operasyonel etkinliği artırır.
- **Elektrik ve Pnömatik güç desteği:** Askeri uçaklarda gelişmiş aviyonik sistemler, radarlar, silah kontrol sistemleri ve sensörler gibi enerji yoğun bileşenler bulunur. APU, uçak yerde veya düşük güç modunda çalışırken bu sistemlere elektrik ve pnömatik destek sağlayarak sürekli operasyonel kalmasını sağlar.
- **Gizlilik ve düşük görünürlük:** Harici güç kaynaklarına bağımlılığı azalttığı için radar kesiti ve termal izleri düşük tutmaya yardımcı olur.
- **Acil durumda güvenlik ve hayatta kalma:** Savaş sahasında ana motorlar hasar gördüğünde veya yakıt sistemi arızalandığında APU devreye girerek temel uçuş sistemlerini çalıştırmaya devam ederek uçak mürettebatının güvenli iniş yapabilmesini temin edebilir.
- **Yakıt ve operasyonel verimlilik:** Ana motorları çalıştırmaya gerek kalmadan bakım işlemleri ve diğer yer operasyonlarının yürütülmesini mümkün kılarak yakıt tasarrufu ve işletme maliyetlerinde belirgin bir düşüş sağlar.



Şekil 3. Bir askeri uçakta APU çalıştırma

Kaynak: This Is What F-22 Engine Startup Sounds Like
(https://www.youtube.com/watch?v=U9l_NnvsB-g)

4.2 Sivil/Ticari Uçaklarda APU Kullanımı Tarihçesi

1950’li yıllardan itibaren kullanıma giren Comet, 707 ve DC-8 gibi sivil/ticari havacılığın ilk uçaklarında yardımcı güç üniteleri bulunmamaktaydı. Bu uçaklar dönemin lüks ulaşım araçlarıydı ve yalnızca yer hizmetlerinin kolayca sağlanabildiği büyük havalimanlarından operasyon yapıyorlardı. APU ile donatılan ilk uçak ise 727 idi ve bu ünite kanat köküne monte edilmişti (Saravanamuttoo 2017). DC-9, 737 ve BAC 1-11 gibi daha küçük jetler de bu trende katıldı ve her zaman yer güç kaynağının bulunmadığı, daha az gelişmiş havalimanlarını kullanmaya başladılar. Bu uçakların hepsi, kuyruk konisinde yer alan APU'ları içerecek şekilde tasarlandı, çünkü bu bölgede alan oldukça kısıtlıydı ve APU’nun düşük hacimli olması büyük önem taşıyordu. Bir sonraki nesil büyük uçaklar (747, DC-10, L-1011, A300) da APU kullanmaya başladı ve zaman içinde bunlar sivil hava taşımacılığında standart hale geldi. Günümüzde tüm modern yolcu uçakları yardımcı güç ünitesi ile donatılmış olarak üretilmektedir (Scholz 2015). Özellikle okyanus aşırız seferlerde 3 ve 4 motorlu uçaklar yerine modern çift motorlu uçakların (ETOPS sertifikasına sahip çift motorlu B737, B777, B787, A320, A350, A380 gibi uçaklar) kullanımının yaygınlaşmasıyla yardımcı güç ünitelerinin son derece güvenilir, uçuş esnasında motorları yüksek irtifada çalıştırabilir ve diğer aviyonik sistemleri besleyebilir olması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Bkz. Şekil 4.



Şekil 4. Bir sivil/ticari uçak APU'su (uçanın egzoz konisine yerleştirilmiş)

Kaynak: Aeroclass.org (<https://www.aeroclass.org/auxiliary-power-unit/>)

5. Analiz Yöntemi

Öncelikle küresel APU pazarına genel bir bakış sağlanmıştır. Pazarın gelecek beklentisi, mevcut kullanıcıların pozisyonu ve Pazar büyüme dinamikleri incelenmiştir.

5.1 Yardımcı Güç Ünitesi Pazarına Genel Bakış

Günümüz havacılık sektöründe (sivil ve askeri) Yardımcı güç ünitesi pazarı başta Honeywell olmak üzere Pratt & Whitney Canada, Safran, PBS ve Ivchenko Progress SE gibi bu alanda uzun yıllara dayanan bir tecrübe birikimiyle yoluna devam eden oyuncularından oluşmaktadır. 50 yıldan uzun süredir ve 100K dan fazla ürünle pazarda yer alan Sektörün lideri konumundaki Honeywell firması internet sitesinde şu mesajı paylaşmaktadır. "2009 yılında US Airways Flight 1549, Hudson Nehri'ne zorunlu iniş yapmak zorunda kaldığında, bir Honeywell 131-9A, uçuş kontrol sistemlerini ve ekranları çalışır durumda tutmak için gereken gücü sağladı. Bu, Kaptan Chesley Sullenberger'in uçağı kontrollü bir şekilde ve mümkün olan en düşük hava hızıyla indirmesini sağladı."

Bu ifade doğrudur, çünkü eğer o anda o uçakta güvenilir ve başarıyla çalışan bir APU çalışmasaydı yalnızca Ram Air Türbini (RAT) ve bataryalardan sağlanan güçle, uçağın kanat kapakları (flaplar) açılmazdı. Yalnızca bu örnek bile yardımcı güç ünitelerinin havacılık sektöründeki önemini vurgulamak için yeterli görünmektedir.

Sivil/ticari havacılık sektöründeki APU ürün çeşitliliği ve üretici firmalar Tablo1. de verilmiştir. Önümüzdeki yıllarda ülkemizin başarılı havacılık motor tasarım firmalarından TRMotor firmasının bu sektörde pay sahibi, güçlü bir oyuncu olması beklenmektedir.

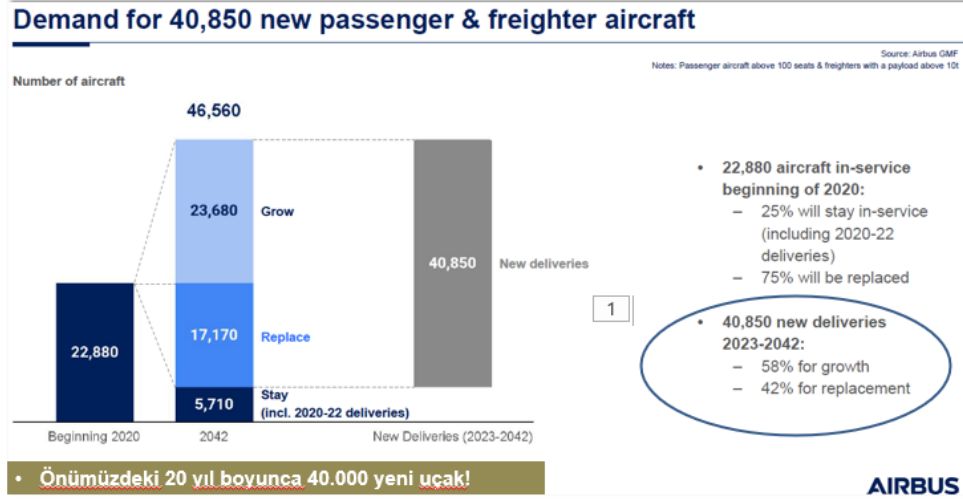
Tablo 1. Ticari Yolcu Uçak APU'ları*

aircraft type	MTOW [kg]	range [km]	APU Type	APU dry mass [kg]	shaft power [kW]	power-to- mass ratio [kW/kg]	APU dry mass/MTOW [%]
B737-600	66.000	5970	Honeywell 131-9B	145	447	3,09	0,22
B737-700	70.080	6370	Honeywell 131-9B	145	447	3,09	0,21
B737-800	79.010	5765	Honeywell 131-9B	145	447	3,09	0,18
B777-200	247.200	9700	Honeywell 331-500B	310	895	2,89	0,13
B777-300	299.370	11120	Honeywell 331-500B	310	895	2,89	0,10
B787-8	227.930	14500	Hamilton Sundstrand APS5000	245	820	3,35	0,11
B787-9	252.651	15327	Hamilton Sundstrand APS5000	245	820	3,35	0,10
B787-10	252.651	13000	Hamilton Sundstrand APS5000	245	820	3,35	0,10
A318	68.000	5780	Honeywell 131-9A	145	447	3,09	0,21
A319	75.500	6850	Honeywell 131-9A	145	447	3,09	0,19
A320	78.000	6100	Honeywell 131-9A	145	447	3,09	0,19
A321	93.900	5950	Honeywell 131-9A	145	447	3,09	0,15
A330-200	242.000	13400	Honeywell 331-350	250	745	2,98	0,10
A330-300	242.000	11300	Honeywell 331-350	250	745	2,98	0,10
A340-500	380.000	16670	Honeywell 331-600	307	895	2,91	0,08
A340-600	380.000	14600	Honeywell 331-600	307	895	2,91	0,08
A350-800	248.000	15300	Honeywell HGT1700	335	1268	3,78	0,14
A350-900	268.000	14350	Honeywell HGT1700	335	1268	3,78	0,13
A350-1000	308.000	14800	Honeywell HGT1700	335	1268	3,78	0,11
A380-800	569.000	15200	PRW CANADA PW980A	447	1342	3.00	0.08

* **Kaynak:** Scholz, Dieter. 2015. CEAS an Optional Apu For Passenger Aircraft

5.2 Sektörün Gelecek Beklentileri

Uçak Yardımcı Güç Üniteleri 2023 yılı küresel market raporuna göre, APU pazarı hem ticari hem de askeri havacılık sektörlerinde süregelen büyüme trendlerine paralel olarak ivmeli bir büyüme öngörülmektedir. Airbus firmasının hazırladığı projeksiyonda önümüzdeki 20 yılda yaklaşık 40.000 yeni yolcu uçağı üretimi öngörülmektedir (Airbus Global Market Forecast 2023). Benzer şekilde Forecast International'ın öngörüsü ise önümüzdeki 10 yılda yıllık 3000 adet APU üretimini işaret etmektedir.. Bkz. Şekil 5 & 6. Söz konusu büyüme beklentisinin arkasındaki temel faktörler şunlardır:



Şekil 5. Airbus 2020-2042 Projeksiyonu

Kaynak: Airbus Global Market Forecast, 2023

5.2.1. Talep Yönlü Faktörler

a) Küresel Hava Trafikindeki Artış: Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği (IATA) verilerine göre, hava yolculuğu talebi yıllık ortalama %4-5 oranında artacaktır. Asya-Pasifik, Orta Doğu ve Afrika gibi bölgelerdeki ekonomik büyüme, yeni hava yolu rotalarının açılmasını ve uçak filolarının genişletilmesini teşvik etmektedir. Hava yolu şirketleri, operasyonel maliyetleri düşürmek için daha verimli uçaklar tercih ederken, modern APU sistemlerine olan talep de artmaktadır.

b) Askeri ve Savunma Harcamalarının Artışı: Küresel güvenlik tehditleri ve askeri modernizasyon projeleri, savaş uçakları, kargo uçakları ve özel görev uçakları için yeni nesil APU'ların geliştirilmesini teşvik etmektedir. ABD, Çin, Hindistan gibi ülkeler, askeri havacılık alanında büyük bütçeler ayırarak yeni uçak alımları yapmaktadırlar.

c) Çevresel Düzenlemeler ve Yakıt Verimliliği: Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO) ve Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi (EU ETS) gibi düzenlemeler, uçakların karbon ayak izini azaltmaya odaklanmaktadır. Daha düşük yakıt tüketimi ve emisyon sağlayan yeni nesil APU'lar geliştirilmekte, bu da pazardaki dönüşümü hızlandırmaktadır. Buna paralel olarak elektrikli ve hibrit APU sistemlerinin gelecekte daha fazla talep görmesi beklenmektedir.

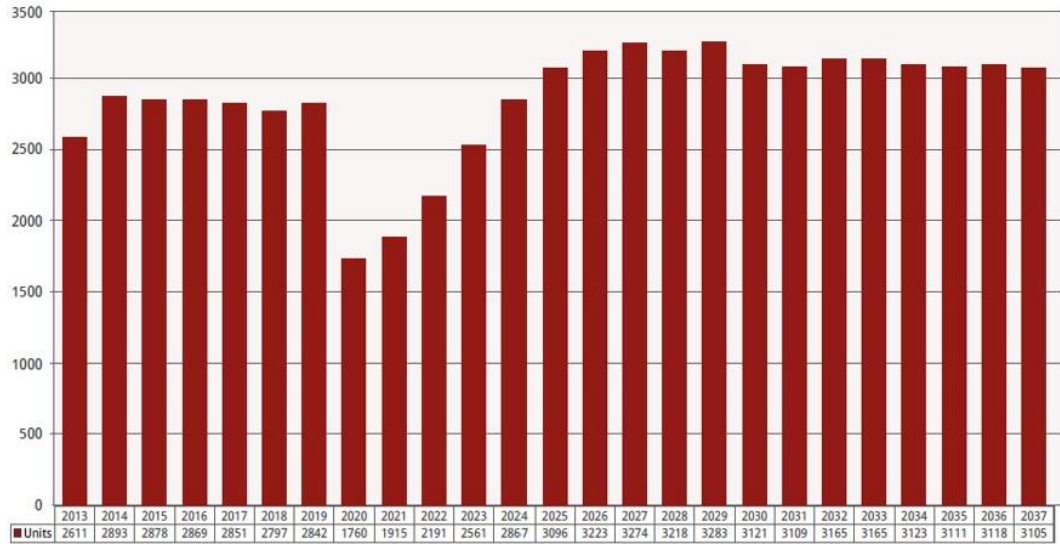
5.2.2. Arz Yönlü Faktörler

a) Teknolojik Gelişmeler: Yeni nesil APU'lar, hafif malzemeler, gelişmiş termal yönetim sistemleri ve daha düşük yakıt tüketimi sunmaktadır. Dijitalleşme ve IoT (Nesnelerin İnterneti) destekli akıllı bakım sistemleri, APU kullanım ömrünü arttırmakta ve arıza süresini azaltmaktadır.

b) Rekabetçi Pazar ve Üretici Profili: Honeywell, Pratt & Whitney ve Safran gibi büyük oyuncular, sektöre yön veren başlıca üreticiler arasında yer almaktadır. Küresel tedarik zinciri sorunları ve ham madde fiyatlarındaki dalgalanmalar, üretim maliyetlerini etkilemektedir.

c) Dual-Use Fırsatları (Askeri APU'ların Sivil Kullanımı): Askeri uçaklar için üretilen APU'ların, ticari havacılıkta kullanım potansiyeli, maliyetleri düşürmek ve üretim ölçeğini artırmak açısından büyük bir fırsat sunmaktadır.

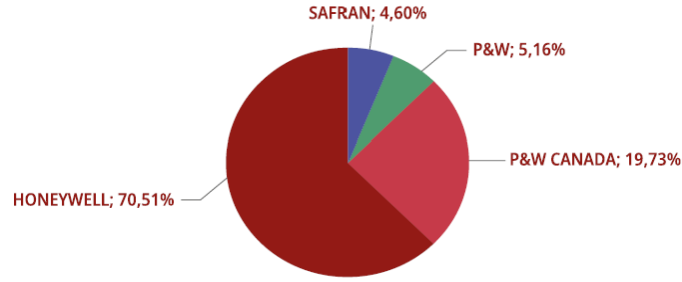
Forecast International 2023 araştırması sonuçlarına göre, APU pazarı 2029 yılına kadar genişleyeceği, daha sonra satışın yatay seyredeceği tahmin edilmektedir. Şekil 4. Pazardaki oyuncuların dağılım ise 2021-2035 aralığı için Honeywell 70.5%, Pratt& Whitney Canada 19.7%, Pratt& Whitney 5.2%, Safran 4.6% olarak öngörülmektedir. Bkz. Şekil7. Ayrıca satışların, 88% inin ticari uçaklar, 12% sinin ise askeri uçaklar için olacağı değerlendirilmektedir.



Şekil 6. Yıllara göre APU pazarı gelecek öngörüsü

Kaynak: Forecast International, 2023

YGÜ ÜRETİCİLERİ 2021-2035 PAZAR TAHMİNİ



Şekil 7. 2021-2035 Pazar Tahmini

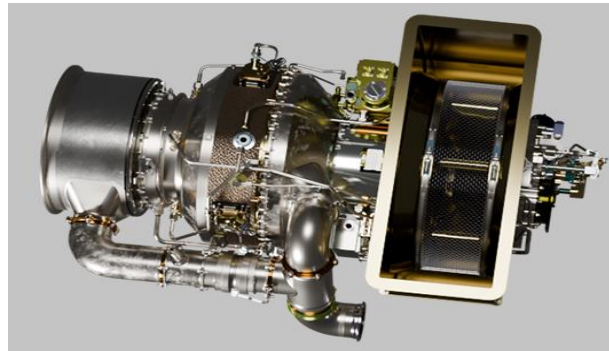
Kaynak: Forecast International

6. Çözüm Önerileri ve Gerçekleştirilmesi Gereken Eylemler

Ülkemizde yerli ve milli olarak geliştirilmekte olan askeri APU ürünleri, önümüzdeki 20 yılda büyüme potansiyeli yüksek olacak ticari havacılık pazarında yer alabilirse, yüksek teknolojlili ürün ihracatı sağlanacak aynı zamanda yüksek kaliteli istihdam imkanları da oluşacaktır. Bu anlamda yerli APU çalışmalarımızı değerlendirmek yerinde olacaktır.

Türkiye’de askeri APU Geliştirme Çalışmaları

Ülkemizde havacılık platformları için güç sistemleri geliştirme çalışmaları geçtiğimiz birkaç sene içinde başlamıştır. Yerli savaş uçağı ve helikopter projelerinin ilerlemesiyle birlikte bu platformlar için gereken güç sistemlerinin de yine yerli ve milli imkanlarla geliştirilmesinin son derece kritik olduğu görülmüş ve bu çerçevede TRMotor firması çalışmalarına başlamıştır. Halihazırda, TRMotor firması yerli ve milli APU geliştirme projelerinde tek yerli oyuncu olarak devam etmekte, ülkemizin hava savunma alanındaki kritik projeleri için farklı konfigürasyonlarda yardımcı güç üniteleri ve motor başlatma üniteleri tasarlamaktadır. Bkz. Şekil 8.



Şekil 8. TRMotor APU *

Kaynak: <https://www.trmotor.com.tr/>

Askeri uçaklar için geliştirmekte olduğumuz Yardımcı Güç Ünite'lerini (APU)'ları sivil ticari uçaklarda kullanabilmek için, sivil havacılık regülasyonlarına uyum sağlaması gerekir. Bu süreç, sertifikasyon, operasyonel uygunluk, güvenlik ve test gereklilikleri açısından aşağıda özetlendiği gibi, ayrıntılı çalışmalar gerektirir.

Sertifikasyon Gereklilikleri

- i. EASA ve FAA Sertifikaları: Sivil uçaklarda kullanılan tüm bileşenler, Avrupa Havacılık Emniyet Ajansı (EASA) ve Amerikan Federal Havacılık İdaresi (FAA) gibi uluslararası havacılık otoriteleri tarafından sertifikalandırılmalıdır. EASA CS-APU (Certification Specification for Auxiliary Power Units), FAA TSO-C77a (Technical Standard Order for APU) Askeri bir APU'nun sivil uçaklara adapte edilebilmesi için bu sertifikalara uygun hale getirilmesi gerekmektedir.
- ii. Tip Sertifikasyonu (Type Certification - TC): Askeri bir APU, ticari uçaklarda kullanılmadan önce tip sertifikası almalıdır. Eğer APU tamamen yeni bir model olarak sunuluyorsa, Tam Tip Sertifikası (Full Type Certification) gereklidir. Eğer mevcut bir sivil APU'ya dayanıyorsa, Değişiklik Tip Sertifikası (Supplemental Type Certificate - STC) alınabilir.
- iii. Üretim Sertifikasyonu (Production Certification - PC): Sivil havacılıkta kullanılan bileşenlerin Part 21 (EASA) ve Part 33 (FAA) kapsamında üretim sertifikasına sahip olması gerekir. Askeri APU üreticisinin, sivil havacılık standartlarına uygun kalite yönetim sistemleri (DO-178, DO-254, ISO 9001, AS9100 gibi) kullanması gerekmektedir.

Çevresel ve Operasyonel Uyumluluk

- i. Gürültü ve Emisyon Standartları: ICAO Annex 16 ve FAR Part 36 düzenlemeleri, APU'ların gürültü ve emisyon seviyelerini sınırlandırmaktadır. Askeri APU'lar genellikle daha yüksek ses seviyelerine ve farklı egzoz yapısına sahip olabilir, bu nedenle susturucu sistemleri veya emisyon azaltıcı modifikasyonlar gerekebilir.

- ii. Yakıt Uyumluluğu:Askeri APU'lar genellikle JP-8 veya diğer askeri yakıtları kullanırken, sivil uçaklarda Jet A veya Jet A-1 yakıtları tercih edilir. APU'nun yakıt sisteminin sivil uçaklardaki yakıt türüyle uyumlu olması gerekmektedir.
- iii. Elektrik ve Pnömatik Sistem Uyumluları:Ticari uçakların APU'ları genellikle 115V AC 400Hz elektrik sistemleriyle çalışırken, askeri uçaklarda farklı voltaj ve frekanslar kullanılabilir. APU'nun uçağın pnömatik sistemleri ve hava basıncı gereksinimleriyle uyumlu olması gerekir.

Güvenlik ve Test Gereklilikleri

- i. Dayanıklılık ve Performans Testleri: DO-160G (RTCA Environmental Testing Standard) kapsamında titreşim, sıcaklık, basınç değişimi, elektromanyetik uyumluluk (EMI/EMC) gibi testlerden geçmesi gerekmektedir. Askeri APU'ların daha yüksek dayanıklılık gereksinimlerine göre tasarlanmış olması avantaj olabilir, ancak sivil havacılığın sürekli operasyon gereksinimlerine uygunluğu test edilmelidir.
- ii. Yangın ve Patlama Güvenliği: FAA/EASA, APU yangın güvenliği ve aşırı ısınma testleri konusunda sıkı kurallara sahiptir. APU'nun yangın dedektörleri ve yangın söndürme sistemleriyle uyumlu olması gerekir.
- iii. Bakım ve Ömür Döngüsü Uyumluluğu: APU'nun bakım gereklilikleri sivil havacılıkta belirlenen standartlara uygun olmalıdır. FAA/EASA tarafından onaylanmış Bakım Programları (MSG-3 Maintenance Steering Group) gereklidir.

7. Bulgular

Askeri uçaklar için tasarlanan bir Yardımcı Güç Ünitesi (APU)'nun sivil yolcu uçaklarında kullanılabilirliği amacıyla yukarıdaki eylemleri gerçekleştirirken karşılaşılabilecek bazı engeller ve fırsatlar aşağıda ele alınmıştır. Bu iki yönlü değerlendirme, hem teknik hem de düzenleyici açıdan gözönünde bulundurulmalıdır.

7.1 Engeller (Zorluklar)

- i. Sertifikasyon Süreci (FAA/EASA Uyumu): Askeri APU'ların FAA (ABD) ve EASA (Avrupa) gibi sivil havacılık otoritelerinin sıkı regülasyonlarına uyum sağlaması gerekmektedir. Tip Sertifikası (TC) ve Üretim Sertifikası (PC) almak maliyetli ve zaman alıcıdır. DO-160G, TSO-C77a ve FAR Part 36 gibi sivil havacılık testlerinden geçmesi gerekecektir.

- ii. Gürültü ve Emisyon Standartlarına Uyum: Askeri APU'lar gürültü ve emisyon gereksinimlerine odaklanmadan tasarlandığından, ICAO Annex 16 ve FAR Part 36 gibi çevresel standartlara uyum sağlamak için modifikasyon gerekebilir. Susturucu sistemleri ve egzoz modifikasyonları gerekebilir, bu da maliyeti artırabilir.
- iii. Elektrik ve Pnömatik Sistem Uyum Sorunları: Askeri uçaklar farklı voltaj ve frekanslarda çalışabilen elektrik sistemleri kullanabilir. Ticari uçaklar genellikle 115V AC, 400Hz sistemler kullanırken, askeri APU'lar 28V DC veya değişken frekanslı sistemler kullanabilir. Pnömatik sistemlerin (hava basıncı çıkışı) ticari uçaklarla uyumlu olması için Hava türbin başlatma (ATS) için tasarım değişiklikleri gerekebilir.
- iv. Yakıt Uyumluluğu: Askeri uçaklarda genellikle JP-8, JP-5 gibi askeri jet yakıtları kullanılırken, ticari uçaklarda Jet A veya Jet A-1 yakıtları kullanılır. Askeri APU'nun yakıt sisteminin sivil uçak yakıtı ile çalışabilmesi için adaptasyon gerekebilir.
- v. Maliyet ve Yatırım Gerekliliği: Askeri bir APU'nun ticari havacılığa uyarlanması yüksek Ar-Ge ve modifikasyon maliyetleri doğurabilir. Havayolu şirketleri, sertifikasyon süreci tamamlanmamış bir APU'yu ticari kullanım için benimsemekte tereddüt edebilir. Uyum sürecinde ekstra mühendislik çalışmaları ve testler gerekeceğinden, proje süresi uzayabilir.
- vi. Lojistik ve Yedek Parça Uyumluluğu: Ticari havayolları bakım ve yedek parça temini açısından geniş bir tedarik zincirine bağlıdır. Askeri APU üreticileri, ticari uçakların bakım süreçleri ve global lojistik sistemleriyle entegre olmalıdır. Sivil uçak bakım programlarına (MSG-3 vb.) uyum sağlamak için yeni prosedürler geliştirilmelidir.

7.2 Fırsatlar (Avantajlar)

- i. Daha Dayanıklı ve Yüksek Performanslı Tasarım: Askeri APU'lar, ağır operasyon koşullarına dayanacak şekilde tasarlandığı için genellikle daha sağlam ve uzun ömürlüdür. Düşük sıcaklık, yüksek irtifa ve zorlu çevre koşullarında güvenilir çalışma kabiliyeti, ticari havayolları için avantaj sağlayabilir.
- ii. Gelişmiş Teknoloji ve Verimlilik: Askeri sistemler genellikle en son teknolojiye sahip olup, hafif malzemeler, gelişmiş yakıt verimliliği ve düşük bakım gereksinimleri ile optimize edilmiştir. Sivil havacılıkta yakıt tüketimi önemli bir maliyet kalemi olduğu için, daha verimli APU'lar havayollarına tasarruf sağlayabilir.

- iii. Özerklik ve Daha Hızlı Operasyon: Askeri APU'lar, harici yer destek ekipmanlarına (GPU vb.) bağımlılığı azaltarak uçakların daha hızlı hazırlanmasını sağlar. Havalimanlarında bağımsız operasyon kabiliyeti, özellikle yoğun havalimanlarında uçak çevrim sürelerini kısaltabilir.
- iv. Ticari Uçaklar İçin Yeni Pazar Fırsatları: Askeri APU üreticileri, ticari havacılık pazarına girerek yeni bir müşteri kitlesine ulaşabilir. Eğer askeri APU'lar sivil kullanım için sertifikalandırılabilirse, bu yeni bir gelir kaynağı yaratabilir. Bir havacılık APU'sunun yaklaşık satış fiyatı \$1M (Bir milyon USD) civarındadır.
- v. Düşük Bakım İhtiyacı: Askeri APU'lar genellikle zorlu görevler için tasarlandığından, daha uzun bakım aralıklarına sahip olabilir. Daha az arıza ve daha uzun bakım süreleri, ticari havayolları için operasyonel verimliliği artırabilir.

8. Değerlendirme, Sonuç ve Tavsiyeler

Vaka çalışması sonucunda, Askeri platformlar için tasarlanan APU ların sivil ticari uçaklarda da kullanılması teknik olarak mümkün görünmektedir. Ancak burada başarılı olabilmek için ciddi mühendislik ve sertifikasyon süreçleri gereklidir. Eğer askeri APU'nun daha dayanıklı, daha hafif ve daha verimli olduğu kanıtlanabilirse, sivil havacılık için önemli bir fırsat olabilir. Bunun ötesinde sözkonusu APU lar FAA ve EASA sertifikalarına uygun hale getirilmelidir. Gürültü, emisyon, yakıt ve elektrik sistemleri uyarlanmalıdır. DO-160G ve yangın güvenliği testlerinden geçirilmelidir. Bakım ve operasyonel gerekliliklere uygun olmalıdır. Eğer bu süreçler başarıyla tamamlanırsa, askeri APU'lar ticari uçaklarda kullanılabilir, ancak yüksek maliyetler ve sıkı regülasyonlar nedeniyle bu sürecin maliyet ve zaman açısından stratejik bir şekilde planlanması gereklidir.

Ayrıca, pazar araştırmaları göstermektedir ki, sivil/ticari havacılık pazarı önümüzdeki 10 senede büyümeye devam edecek, bunun sonucu olarak da toplamda 30.000 yeni APU (yılda 3000) pazara girecektir. Türkiye'de halihazırda geliştirme çalışmaları devam eden yerli ve milli askeri APU'larımız için bu fırsatlar oluşturmaktadır. Bu fırsatları değerlendirebilirse, bir yandan ülkemizin askeri ihtiyaçlarına kendi ürünlerimizle cevap verirken, diğer yandan APU pazarında dünya çapında bir oyuncu firma olma hedefimize doğru büyük bir adım atmış olacağız.

9. Kaynakça

1. Saravanamuttoo, H. I. H.. 2017. *Gas turbine theory*. Pearson.
2. Pratt & Whitney resmi web sayfası <https://www.prattwhitney.com/en/products/auxiliary-power-units> Erişim tarihi, 11 Mart 2025
3. Gao, Lixia, ve Hanlin Shen. 2016. *Importance Analysis of Civil Aircraft APU*.
4. Flyingmag web sitesi <https://www.flyingmag.com/how-an-auxiliary-power-unit-works/> Erişim tarihi 11 Mart 2025
5. Youtube web sitesi https://www.youtube.com/watch?v=U9l_NnvsB-g Erişim tarihi, 11 Mart 2025
6. Scholz, Dieter. 2015. *CEAS AN OPTIONAL APU FOR PASSENGER AIRCRAFT*.
7. Aeroclass.org web sitesi <https://www.aeroclass.org/auxiliary-power-unit> Erişim tarihi 13 Mart 2025
8. Honeywell resmi web sitesi https://aerospace.honeywell.com/us/en/about-us/blogs/hudson-landing-still-a-miracle-a-decade-later?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=23-aero-ww-dsa-blogs&utm_content=dyn-en-lp&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwhMq-BhCFARIsAGvo0Kd_7GtbMAjflAvoiVJbiThepbVnIj5S3EMx0UTDpoco8SWGBmxgNIQaAm7gEALw_weB Erişim tarihi 11 Mart 2025
9. TRMotor resmi web sayfası, <https://www.trmotor.com.tr> Erişim tarihi, 13 Mart 2025
10. Airbus Global Market Forecast, 2023
11. Forecast Internaitonal, 2023Report