

**TEK PİSTON MOTORLU PERVANELİ EĞİTİM  
UÇAKLARINDA AĞIRLIK ve MOTOR GÜCÜNÜN  
YAKIT TÜKETİMİ ve İŞLETME GİDERLERİNE ETKİSİ**

Kadir ARMUTLU

Doktora Tezi

Sivil Havacılık Anabilim Dalı

Mart 2009

## JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

**Kadir Armutlu'nun "Tek Piston Motorlu Pervaneli Eğitim Uçaklarında Ağırlık ve Motor Gücünün Yakıt Tüketimi ve İşletme Giderlerine Etkisi"** başlıklı **Sivil Havacılık** Anabilim Dalındaki, Doktora Tezi 16.02.2009 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	<b>Adı-Soyadı</b>	<b>İmza</b>
Üye (Tez Danışmanı) :	<b>Prof. Dr. MUSTAFA CAVCAR</b>	.....
Üye	<b>: Prof. Dr. NEJAT KIRAÇ</b>	.....
Üye	<b>: Prof. Dr. İRFAN ARIKAN</b>	.....
Üye	<b>: Yard. Doç. Dr. DİLEK TURAN</b>	.....
Üye	<b>: Yard. Doç. Dr. A. AKİLE TANATMIŞ</b>	.....

**Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun**  
.....tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

**Enstitü Müdürü**

## ÖZET

### Doktora Tezi

# TEK PİSTON MOTORLU PERVANELİ EĞİTİM UÇAKLARINDA AĞIRLIK ve MOTOR GÜCÜNÜN YAKIT TÜKETİMİ ve İŞLETME GİDERLERİNE ETKİSİ

Kadir ARMUTLU

Anadolu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Sivil Havacılık Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mustafa CAVCAR

2009, 65 sayfa

Bu tezde gerçek uçuş eğitiminde kullanılan farklı performanslara sahip tek piston motorlu pervaneli uçaklar incelenmiş olup, gerçek uçuş eğitimi şartlarında uçak motor gücü ve ağırlığının yakıt tüketimine ve işletme giderlerine etkisi analiz edilmiştir. Uçuş eğitimi için sivil havacılık talimatlarından gerekli olan şartlar belirlenmiş, bu talimatları karşılayacak şekilde yapılan uçuş eğitiminin uçuş profili çıkarılmış ve uçuş incelenmek üzere safhalara ayrılmıştır. Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksek Okulunda uçuş eğitiminde kullanılan uçaklardan gerçek uçuş eğitimi şartlarında safhalara göre yakıt ve süre verileri alınarak bu veriler analiz edilmiş, gerçek uçuş şartları için uçak ağırlığına, motor gücüne bağlı yakıt tüketim formülleri çıkarılmıştır. Bu formüller kullanılarak üretilmiş olan diğer uçakların yakıt tüketim değerleri ve değişken direkt işletme giderleri bulunmuş, bu giderlerin uçak ağırlık ve motor gücüne bağlı değişimi analiz edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Tek motorlu pervaneli eğitim uçakları, uçuş profili, uçak ağırlığı, motor gücü, yakıt tüketimi, değişken direkt işletme giderleri

## **ABSTRACT**

**Ph. D. Dissertation**

### **EFFECT OF AIRPLANE WEIGHT AND ENGINE POWER ON FUEL CONSUMPTION AND OPERATION COSTS OF SINGLE PISTON ENGINE PROPELLER TRAINING AIRPLANES**

**Kadir ARMUTLU**

**Anadolu University  
Graduate School of Sciences  
Civil Aviation Program**

**Supervisor: Prof. Dr. Mustafa CAVCAR**

**2009, 65 pages**

In this thesis, single piston engine propeller airplanes having different performances used at the real training flight were examined carefully and how fuel consumption of the airplane weight and engine power effected at the real flight training conditions were analyzed. Conditions being necessary from civil aviation instructions for the flight training were determined. The flight profile was formed for a flight training including these instructions and the flight was separated phases on condition of examining. These data were analyzed by taking fuel and time data according to phases at the real flight training conditions from airplanes used at the flight training at the Anadolu University School of Civil Aviation and fuel consumption formulas were formed dependent on the airplane weight, engine power for the real flight conditions. Effect of airplane weight and engine power on fuel consumption and operation costs of other manufactured airplanes were analyzed using these formulas.

**Keywords:** Single engine propeller training aircraft, flight profile, airplane weight, engine power, fuel consumption, variable direct operating costs.

## TEŞEKKÜR

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Sivil Havacılık Anabilim Dalı doktora programı kapsamındaki tez aşamasında bana yol gösteren değerli hocam ve tez danışmanım olan Prof. Dr. Mustafa CAVCAR'a, ders aşamasında benimle bilgilerini paylaşan Prof. Dr. Hidayet BUĞDAYCI, Yard. Doç. Dr. Akile TANATMIŞ, Yard. Doç. Dr. Hakan OKTAL' a, sonsuz teşekkür ederim.

Bu çalışma sırasında olumlu desteklerini her zaman hissettiğim Jüri Üyelerim Prof. Dr. Nejat KIRAÇ ve Yard. Doc. Dr. Dilek TURAN'a, iyi niyetli yardımlarından dolayı Prof. Dr. Mustafa KARA ve Doç. Dr. Aydan CAVCAR'a teşekkür ederim.

Bu çalışma sırasında desteklerini esirgemeyen uçak bakım bölümü yöneticisi Hasan KESKİN'e, Serkan GÖVCE, Onur TOPÇU, Muammer ALKAN, Turgut ALIM, Sami SEFEROĞLU başta olmak üzere tüm çalışma arkadaşlarıma, veri toplama aşamasında emeği geçen başta, pilotaj bölüm yöneticileri Lütfi ŞENEL, Önder ÖZLER'e, öğretmen pilotlar Ayhan ATLAMA, Ramazan TÜRKOĞLU, Zafer BAYDIN, Ziya DÜZTEPELİLER, Sinan PİŞİRİCİ, Ahmet CİVELEK olmak üzere tüm öğretmen pilotlarımıza teşekkür ederim.

Ayrıca evde ve tüm yaşamımda bana destek olan, çalışmam sırasında da yardımlarını esirgemeyen sevgili eşim Pınar ve oğlum Kayra'ya çok teşekkür ederim.

Kadir ARMUTLU

Mart-2009

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>iii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iv</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Temel Uçak Karakteristikleri.....	1
1.2. Küçük Uçakların Kullanımı.....	2
1.3. NASA Kişisel Hava Aracı Geliştirme Projesi.....	3
<b>2. EĞİTİM UÇUŞLARI</b> .....	<b>8</b>
2.1. Uçuş Eğitimi Süreleri.....	8
2.2. Uçuş Profili.....	9
2.2.1. Motor çalıştırma safhası.....	10
2.2.2. Taksi safhası.....	10
2.2.3. Kalkış ve tırmanma safhası.....	10
2.2.4. Düz uçuş safhası.....	11
2.2.5. Çalışma bölgesi safhası.....	11
2.2.6. Alçalma, iniş ve meydan turu safhası.....	11
2.2.7. Dönüş için taksi safhası.....	12
2.3. Uçuş Eğitimi Hava Sahası.....	12
2.4. Eğitim Uçuşları için Uçak İşletme Karakteristikleri.....	13
2.5. Toplam İşletme Giderleri.....	16
2.5.1. Endirekt işletme giderleri.....	16
2.5.2. Direkt işletme giderleri.....	17

2.5.3.	Sabit direkt işletme giderleri .....	18
2.5.4.	Değişken direkt işletme giderleri .....	21
<b>3.</b>	<b>EĞİTİM UÇUŞLARINDA YAKIT TÜKETİMİ ANALİZİ.....</b>	<b>24</b>
3.1.	Yakıt Tüketimi Ölçümlerinde Kullanılan Uçakların Özellikleri .....	24
3.1.1.	Cessna 172S performans verileri .....	24
3.1.2.	Socata TB20 performans verileri .....	25
3.2.	Ölçme Yöntemi.....	27
3.2.1.	EDM-700 Motor veri kayıt sistemi .....	27
3.2.2.	Pilotlardan toplanan veriler .....	30
3.3.	Pistonlu Motorlu Pervaneli Uçaklarda Yakıt Sarfıyatı .....	32
3.4.	Eğitim Uçuşlarında Safhalara Bağlı Yakıt Analizi .....	33
3.5.	Cessna 172S ile Socata TB20 uçakları için safhalara göre yakıt tüketimlerinin gözlenen değerlere göre karşılaştırılması.....	41
3.6.	Verilerin Uçuş El Kitapları ile Karşılaştırılması.....	45
3.7.	Entegre ATPL Kurs Uygulaması ve Analizi .....	47
3.8.	Motor Gücü ve Uçak Ağırlığının Etkisi.....	53
<b>4.</b>	<b>DEĞİŞKEN DİREKT İŞLETME GİDERLERİNİN UÇAK KARAKTERİSTİKLERİ İLE İLİŞKİSİ.....</b>	<b>57</b>
4.1.	Bakım Giderlerinin Hesaplanması .....	57
4.2.	Motor Yenileştirme Giderlerinin Hesaplanması .....	59
4.3.	Pervane Yenileştirme Giderlerinin Hesaplanması .....	59
4.4.	Uçak Ağırlığı ve Motor Gücünün Değişken Direkt işletme Giderlerine Etkisi .....	60
4.4.1.	Maksimum kalkış ağırlığının $G_{YBMP}$ 'ye etkisi .....	60
4.4.2.	Maksimum motor gücünün $G_{YBMP}$ 'ye etkisi .....	61
<b>5.</b>	<b>SONUÇ VE DEĞERLENDİRME .....</b>	<b>63</b>
	<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>77</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
1.1. FAA aktif genel havacılık ve hava taksi filo tahmini [5].....	5
1.2. FAA aktif genel havacılık ve hava taksi uçuş süresi tahmini [5].....	5
1.3. FAA aktif genel havacılık yakıt tüketim tahmini (x milyon galon) [5].....	6
1.4. FAA tip sertifikalı aktif pilot sayısı [5].....	7
2.1. Eğitim uçuşu için uçuş profili .....	9
2.2. Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksek Okulu uçuş eğitimi hava sahası [9].....	13
3.1. Cessna 172S [24].....	24
3.2. Socata TB20 [28] .....	26
3.3. EDM-700 [30].....	28
3.4. EDM-700 motor veri kayıt sisteminden alınan grafik örneği .....	30
3.5. Socata TB20 uçaklarından veri toplamak için kullanılan form örneği .....	31
3.6. FT-101A yakıt akış göstergesi .....	31
3.7. Shadin M22 yakıt akış göstergesi .....	32
3.8. Cessna 172S taksi safhası için gözlenen değerler .....	35
3.9. Cessna 172S kalkış ve tırmanma safhası için gözlenen değerler .....	35
3.10. Cessna 172S düz uçuş safhası için gözlenen değerler .....	36
3.11. Cessna 172S çalışma bölgesi safhası için gözlenen değerler .....	36
3.12. Cessna 172S alçalma, iniş safhası için gözlenen değerler .....	37
3.13. Cessna 172S meydan turu safhası için gözlenen değerler .....	37
3.14. Cessna 172S taksi dönüş safhası için gözlenen değerler .....	38
3.15. Socata TB20 taksi safhası için gözlenen değerler .....	38
3.16. Socata TB20 kalkış ve tırmanma safhası için gözlenen değerler.....	39
3.17. Socata TB20 düz uçuş safhası için gözlenen değerler .....	39
3.18. Socata TB20 çalışma bölgesi safhası için gözlenen değerler.....	40
3.19. Socata TB20 taksi safhası için gözlenen değerler.....	40
3.20. Socata TB20 taksi dönüş safhası için gözlenen değerler .....	41
3.21. Cessna 172S, Socata TB20 taksi safhası.....	41
3.22. Cessna 172S, Socata TB20 kalkış ve tırmanma safhası.....	42
3.23. Cessna 172S, Socata TB20 kalkış ve tırmanma safhası.....	42



3.24. Socata TB20 kalkış ve tırmanma safhası için düzeltilmiş gözlenen değerler .....	43
3.25. Cessna 172S, Socata TB20 düz uçuş safhası .....	43
3.26. Cessna 172S, Socata TB20 çalışma bölgesi safhası .....	44
3.27. Cessna 172S, Socata TB20 alçalma, iniş, meydan turu safhası .....	44
3.28. Cessna 172S, Socata TB20 taksi dönüş safhası .....	45
3.29. Cessna 172S kalkış ve tırmanma safhası grafikleri [23, 25] .....	45
3.30. Socata TB20 kalkış ve tırmanma safhası grafikleri [23, 25] .....	46
3.31. Cessna 172S düz uçuş safhası grafikleri [23] .....	46
3.32. Socata TB20 düz uçuş safhası grafikleri [25] .....	47
3.33. ATPL Kursu için Safhalara Göre Süre Dağılımı .....	51
3.34. Cessna 172S safhalara göre yakıt tüketimi .....	52
3.35. Socata TB20 safhalara göre yakıt tüketimi .....	52
3.36. Cessna 172S, Socata toplam yakıt tüketimleri .....	53
3.37. Uçaklarda yakıt tüketim değerlerinin karşılaştırma grafiği <sup>5</sup> [31-75] .....	56
4.1. Bakım giderlerinin maksimum kalkış ağırlığına bağlı değişim grafiği [31-75] .....	57
4.2. Bakım giderlerinin maksimum güce bağlı değişim grafiği [31-75] .....	58
4.3. Bakım giderlerinin maksimum kalkış ağırlığı ile maksimum gücün çarpımına bağlı değişim grafiği [31-75] .....	58
4.4. Motor yenileştirme giderlerinin maksimum motor gücüne bağlı değişim grafiği [31-75] .....	59
4.5. $G_{YBMP} - MTOW$ grafiği [31-75] .....	60
4.6. $G_{YBMP} - P_{max}$ grafiği [31-75] .....	61

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
2.1. Gerçek uçakla yapılan uçuş eğitim süreleri [6].....	8
2.2. Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksekokulu uçuş eğitim süreleri.....	9
3.1. EDM-700 motor veri kayıt sisteminden alınan veri örneği .....	29
3.2. Cessna 172S, Socata TB20 için safhalara göre k katsayısı.....	54

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AD	: FAA'in yayınlamış olduğu havacılık emri
AIAA	: Amerika Birleşik Devletleri Havacılık ve Uzay Enstitüsü
as	: Adam saat
ATC	: Hava trafik kontrol
ATPL	: Havayolu nakliye pilotu lisansı
B	: Batı
BAT	: Batarya gerilimi
BG	: Beygir Gücü
C1	: 1 numaralı silindir başı sıcaklığı
C2	: 2 numaralı silindir başı sıcaklığı
C3	: 3 numaralı silindir başı sıcaklığı
C4	: 4 numaralı silindir başı sıcaklığı
$C_D$	: Sürüklenme katsayısı
$C_L$	: Taşıma katsayısı
$c_p$	: Özgül yakıt sarfiyatı
CPL	: Ticari pilot lisansı
CPL/IR	: Aletli uçuş yetkisine sahip ticari pilot lisansı
CPST	: Ticari pilot lisans kontrol uçuşu
CRE	: Sınıf kontrol pilotluğu yetkisi
CRI	: Sınıf öğretmenliği yetkisi
D	: Doğu
D	: Sürüklenme kuvveti
DIF	: Çift kumanda temel alet uçuşu
dk	: Dakika
DNF	: Çift kumanda gece uçuşu
DOT	: Amerika Birleşik Devletleri Ulaştırma Departmanı
DR	: Öğretmen ile çift kumanda yapılan uçuş
DRI	: Çift kumanda radyo alet uçuşu
DRX	: IFR seyrüsefer uçuşu

du	: Düz uçuş safhası
DVF	: Çift kumanda VFR uçuş
DVX	: Çift kumanda VFR seyrüsefer uçuşu
E1	: 1 numaralı silindir egzoz gazı çıkış sıcaklığı
E2	: 2 numaralı silindir egzoz gazı çıkış sıcaklığı
E3	: 3 numaralı silindir egzoz gazı çıkış sıcaklığı
E4	: 4 numaralı silindir egzoz gazı çıkış sıcaklığı
EASA	: Avrupa Havacılık Güvenlik “Dairesi European Aviation Safety Agency”
EDM	: Motor Veri Yönetimi “Engine Data Management”
FAA	: Amerika Birleşik Devletleri Federal Havacılık Otoritesi “Federal Aviation Administration”
FAM	: Tanıtım uçuşu
FAR	: Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Havacılık Otoritesi kuralları
FCL	: Uçuş mürettebat lisansı “flight crew licence”
FE	: Uçuş kontrol pilotluğu yetkisi
FF	: Yakıt akışı (lt/s, lt/dk)
FI	: Uçuş öğretmenliği yetkisi
FIE	: Uçuş öğretmenliği kontrol pilotluğu yetkisi
FNPT	: Uçuş ve seyrüsefer usulleri eğitim cihazı
fpm	: Feet/dakika
ft	: Feet
FTO	: Uçuş eğitim organizasyonu
F <sub>Yg br</sub>	: Yağ birim fiyatı
G	: Güney
gal	: Amerikan galonu
G <sub>Bi</sub>	: Bakım işçilik giderleri
G <sub>bkm</sub>	: Bakım giderleri
G <sub>BP</sub>	: Uçak bakımı ile ilgili program giderleri
G <sub>BPG</sub>	: Bakım personeli maaşları
G <sub>EĞT</sub>	: Personel eğitim, eğitim tekrarı giderleri
G <sub>HA</sub>	: Hangar, apron giderleri

$G_{HSR}$	: Hasar giderleri
$G_{IPÜ}$	: İniş ve park ücretleri
$G_{KRZÖP}$	: Komponent revizyon ve zaman ömürlü parça giderleri
$G_{MA}$	: Amortisman giderleri
$G_{mtr}$	: Motor giderleri
$G_{MÜ}$	: Meteorolojik üyelik giderleri
$G_{MY}$	: Motor yenileştirme giderleri
$G_{PR}$	: Pervane revizyon giderleri
$G_{SGR}$	: Sigorta giderleri
$G_{SSG}$	: Seyrüsefer verilerini güncelleme giderleri
$G_{TY}$	: Toplam yıllık işletme giderleri
$G_{TY D}$	: Direkt işletme giderleri
$G_{TY Di}$	: Toplam yıllık direkt işletme giderleri
$G_{TY Di-D}$	: Değişken direkt işletme giderleri
$G_{TY Di-D}$	: Toplam yıllık değişken direkt işletme giderleri
$G_{TY Di-S}$	: Toplam yıllık sabit direkt işletme giderleri
$G_{TY EDi}$	: Toplam yıllık endirekt işletme giderleri
$G_{UPM}$	: Uçucu personel maaşları
$GY$	: Yakıt giderleri
$G_{YBMP}$	: Yakıt, bakım, motor, pervane giderlerinin toplamı
$G_{Yg}$	: Yağ giderleri
$G_{YG BU}$	: Blok uçuş saati başına yağ gideri
$G_{ykt}$	: Yakıt giderleri
$G_{YP}$	: Yedek parça giderleri
$K_{i ort}$	: Ortalama teknik işçilik katsayısı
ICAO	: Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü
IFR	: Aletli uçuş şartları
IP	: Aletli uçuş yetkisi
IRE	: Alet kontrol pilotluğu yetkisi
IRI	: Aletli uçuş öğretmenliği yetkisi
IRST	: Aletli uçuş sertifika kontrol uçuşu
(i)	: Uçak modeli

(j)	: Uçuş safhası
JAR	: Avrupa Havacılık Otoriteleri Birliği kuralları
JPDO	: Amerika Birleşik Devletleri Müşterek Planlama ve Geliştirme Ofisi
K	: Kuzey
$k_c$	: Cessna 172S için yakıt katsayısı
kg	: Kilogram
$k_{i \text{ ort}}$	: Blok uçuş saati başına programlı ve programsız bakımlar için
km	: Kilometre
km/s	: Kilometre/saat
$k_s$	: Socata TB20 için yakıt katsayısı
Kts	: knot
$K_{Yg}$	: Uçak motoru yağ kapasitesi
L	: Taşıma kuvveti
lbs	: Libre
lt	: Litre
lt/kgBG	: Litre/kilogram beygirgücü
m	: Zamanın üs ifadesini
m/dk	: metre/dakika
MCC	: Uçuş ekibi işbirliği
MCCI	: MCC öğretmenliği yetkisi
mph	: Deniz mili / saat
MTOW	: Maksimum kalkış ağırlığı
N	: Gözlem sayısı
NASA	: Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
$N_{bp}$	: Programlı ve programsız bakımlarda çalışan personel sayısı
$N_{E \text{ UEG ort}}$	: Eskişehir için ortalama uçuşa elverişli gün sayısı
$n_j$	: Safhalara bağlı veri sayısı
NK	: Pilot lisansı almak için açılan kurstaki sorti sayısı
NM	: Deniz mili
$N_{ÖY}$	: Yıllık öğrenci sayısı
$N_{SG}$	: Günlük ortalama sorti sayısı

$N_{SGmax}$	: Günlük yapılabilecek maksimum sorti sayısı
$N_{Y UEG}$	: Yıllık uçuşa elverişli gün sayısı
OAT	: Dış hava sıcaklığı “outside air temperature”
OILT	: Yağ sıcaklığı
PAVs	: Kişisel hava araçları
$P_{max}$	: Maksimum motor gücü
PPL	: Hususi pilot lisansı
qts	: Amerikan galonun dörtte biri (quarts)
s	: Saat
SB	: Servis Bülteni
SFE	: Sentetik uçuş kontrol pilotluğu yetkisi
SFI	: Sentetik uçuş öğretmenliği yetkisi
SHGM	: Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü
SHY-1	: Uçak pilotu lisans yönetmeliği
SHYO	: Sivil Havacılık Yüksek Okulu
sn	: Saniye
SNF	: Solo gece uçuşu
SOLO	: Öğrencinin yalnız olduğu uçuş
SPIC	: Öğrenci sorumlu pilot süresi
SVF	: Solo VFR uçuş
SVX	: Solo IFR seyrüsefer uçuşu
T	: Süre (dakika veya saat)
$T_0$	: Motor çalıştırma safhası süresi (dk)
$T_1$	: Taksi safhası süresi (dk)
$T_2$	: Kalkış ve tırmanma safhası süresi (dk)
$T_3$	: Düz uçuş safhası süresi (dk)
$T_4$	: Çalışma bölgesi safhası süresi (dk)
$T_5$	: Alçalma, iniş safhası süresi (dk)
$T_6$	: Meydan turu safhası süresi (dk)
$T_7$	: Taksi dönüş safhası süresi (dk)
$T_{bu ort}$	: Uçağın yıllık ortalama blok uçuş süresi
$T_{BU}$	: Uçak blok uçuş saati

$T_{G\ VFRort}$	: Günlük ortalama VFR uçuş süresi
$TİG$	: Toplam işletme giderleri
$TİGe$	: Toplam işletme gelirleri
$Tİ_{y\ ort}$	: Ortalama yıllık teknik işçilik
$T_K$	: Pilot lisansı almak için açılan kursta yapılan toplam eğitim uçuşu
$T_{S\ ort,}$	: Ortalama uçuş öncesi servis süresi
$T_S$	: Servis süresi
$TSN$	: Üretimden itibaren toplam uçuş süresi
$T_{SU\ ort}$	: Bir sorti için ortalama uçuş süresi
$T_{TS\ ort}$	: Bir sorti uçuş için ortalama toplam süre
$T_{Y\ max}$	: Yıllık maksimum uçuş süresi
$T_{Y\ VFR}$	: Yıllık VFR uçuş süresi
$USD$	: Amerikan Doları
$V_{csm}$	: Cessna 172S tırmanma hızı
$VFR$	: Görerek uçuş şartları
$VPF$	: Görerek şartlarda başlangıç uçuş
$W$	: Uçak ağırlığı
$W_F$	: Yakıt ağırlığı
$Y$	: Yakıt tüketimi (litre)
$Y\%55$	: %55 motor gücü için yakıt tüketimi
$Y\%65$	: %65 motor gücü için yakıt tüketimi
$Y\%75$	: %75 motor gücü için yakıt tüketimi
$Y[31]$	: Kaynak [31] den alınan yakıt tüketim değerleri
$\eta$	: Pervane verimi
$\rho$	: Uçuş irtifaındaki hava yoğunluğu



## 1. GİRİŞ

Bu çalışmanın konusu “Tek Piston Motorlu Pervaneli Eğitim Uçaklarında Ağırlık ve Motor Gücünün Yakıt Tüketimi ve İşletme Giderlerine Etkisi” olarak belirlenmiştir. Havacılık sektöründe eğitim en önemli konulardan biri olup, maliyetleri de çok yüksektir. Bu eğitimi veren kuruluşlar açısından verecekleri eğitim sırasında oluşacak maliyetleri bilmek ve havacılık standartlarını karşılayacak şekilde verilen eğitimde maliyetleri minimuma indirmek önemlidir. Uçak üreticileri açısından ise eğitim kuruluşlarının isteğini karşılayacak performanslara sahip aynı zamanda hem üretim hem de işletme maliyetlerini düşürecek şekilde uçaklar üretmek çok önemlidir. Ayrıca NASA tarafından yürütülen kişisel hava aracı geliştirme projesi konunun önemini daha da arttırmaktadır.

### 1.1. Temel Uçak Karakteristikleri

Herhangi bir uçağı tanımak için bilinmesi gerekli olan özelliklerin tümü uçak karakteristiklerini oluşturur ve bu karakteristikler hizmet karakteristikleri, yapı karakteristikleri, performans karakteristikleri, işletme karakteristikleri olmak üzere dört grupta toplanabilir [1].

Hizmet karakteristiklerine göre uçaklar askeri, sivil ve özel hizmet uçakları olmak üzere üç grupta incelenebilir. Askeri hizmet uçakları askeri ihtiyaçları karşılamak için üretilmiş uçaklardır. Sivil hizmet uçakları başta nakliye olmak üzere sivil ihtiyaçları karşılamak için üretilmiş uçaklardır. Özel hizmet uçakları ise zirai ilaçlama, ambulans, sportif faaliyetler, eğitim gibi özel hizmetlerde kullanılan uçaklardır. Bu çalışmada eğitim uçakları incelenmiştir [1].

Uçağın yapımında kullanılan ana malzemenin cinsi, gövde imalat tekniği, kanat güç grubu ve iniş takımlarının tipi, sayısı, bunların gövdeye bağlanma tarzları, dış geometrik büyüklükleri, değişik ağırlık değerleri yapı karakteristiklerini oluşturur [1].

Performans, uçağın kendinden beklenen görevi yerine getirebilme kabiliyeti olarak tanımlanabilir [1]. Uçak kalkış mesafesi, iniş mesafesi, menzili, tırmanma oranı, alçalma oranı, seyir sürati, tavan irtifası gibi parametreler ise

uçak performans karakteristiklerini ortaya koyarlar.

İşletme karakteristikleri bir uçağın işletme özelliklerini yansıtan karakteristikler olup ekonomik ve teknik işletme karakteristikleri adı altında iki kategoride incelenebilir [1]. Teknik işletme karakteristikleri uçağın kullanımı ile ilgili olup, kullanımına bağlı olarak ortaya çıkan maliyetleri belirlemede etkili olur. Ekonomik işletme karakteristikleri ise uçağın verdiği hizmet karşılığı getirdiği gelir ve giderlerini kapsar.

Bir uçağın bakım gereksinimleri o uçağın işletmenin hâlihazırdaki filosuyla uyumu, yedek parçalarının bulunabilirliği, satış sonrası ürün ve eğitim desteği gibi teknik konuları içermektedir. Bu çalışmada değerlendirilecek uçak veya uçakların havacılık otoritesinin öngördüğü tüm bakım gereksinimlerini karşılaması için yapılan ilk yatırım maliyetinin benzer olduğu kabul edilmiş olup, uçağın kullanımıyla ortaya çıkan bakım maliyetleri ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Uçağın edinme maliyetleri uçağın kendisinin, yedek parçalarının ve kullanılmasını gerektirdiği yer ekipmanlarının ve personel eğitiminin maliyetlerini, finansman şartlarını, ödeme koşullarını ve taahhütlerini kapsamaktadır. Bu faktör de, incelenecek uçağın veya uçakların finansman şartlarının benzer ve şirketin mali yapısına uygun olduğu kabul edilerek bu çalışmanın konusu dışında tutulmuştur.

Bütün bu tanımlar ve sınırlamalar doğrultusunda uçak ekonomik ve teknik işletme karakteristikleriyle uçak ağırlığı, motor gücü ve bunlar arasındaki etkileşim ele alınmıştır.

## **1.2. Küçük Uçakların Kullanımı**

ABD’de sivil havacılık filosunun çoğunluğunu genel havacılık uçakları oluşturmaktaydı. Bu uçakların büyük bölümü piston motorlu uçaklar olup kişisel ulaşım ve eğlence amaçlı uçuşlar için kullanılmaktaydı. Ancak son 20 yılda bu uçakların kullanımı ve özel pilot lisansı alanların sayısı önemli ölçüde azaldı. Bu durum yakın gelecekte küçük uçak kullanımının dramatik şekilde azalacağına işarettir. Bu duruma karşılık genel havacılık uçakları üreten firmalar iş amaçlı kullanılan, jet motorlu ve profesyonel pilot gerektiren uçaklar üretmeye yöneldiler. Jet motorlu uçakların sağladığı yüksek seviyedeki uçuş emniyeti,

konfor, hız kısa sürede yolcuların bu tip uçakları tercih etmesine neden oldu. Bazı iş çevreleri kendileri için özel jet motorlu uçaklar kullanmaya başladılar. Küçük jet motorlu bir uçak 20-30 kez daha pahalı olması ve profesyonel pilot gerektirmesi nedeni ile yine birçok iş adamı ticari havayollarını tercih etmektedirler. Ayrıca yine bu uçakların 1200 m den daha uzun pistler gerektirmesi, pilot eğitimlerinin daha uzun süreli olması bu uçakların kullanımını sınırlayan en büyük etkenlerdir [2].

Yukarıdaki değerlendirmelere bağlı olarak NASA gelecekteki ulaşım sistemi olarak küçük uçakların geliştirilmesi ve kişisel hava araçlarının üretilmesi konusunda çalışmalar başlatmıştır.

### **1.3. NASA Kişisel Hava Aracı Geliştirme Projesi**

Küçük uçakların geliştirilerek kişisel hava araçlarına dönüştürülmesi ile ilgili olarak yürüttüğü proje sonucu geliştirilecek olan araçlar kısaca PAVs olarak adlandırılmıştır. Bu araçlar kısa mesafede iniş ve kalkış yapabilecek kabiliyete sahip, işletilmesi çok kolay ve kullanma lisansına sahip olan herkes tarafından çok rahatlıkla kullanılacak araçlar olarak geliştirilecektir. Geliştirilen araçlarla neredeyse her yere istenilen zamanda, 240 km/saat'ten daha hızlı bilgisayar kontrollü hava trafik kontrol sistemi ile trafik sıkışıklığı olmaksızın istenilen yere zamanında varılacak şekilde emniyetli bir uçuş yapılması hedeflenmektedir. NASA 2020 yılında seyahat edilen tüm mesafelerin %45'inin bu araçlarla yapılabileceğini ve 130-1400 km arasındaki yolculuklar için bu araçların tercih edileceğini açıklamıştır. Ayrıca FAA'ye bağlı JPDO birimi de bu araçların gelecekteki ulaşım sistemi içinde yer alacağını düşünerek bu konuda gerekli planlamaları yapmaktadır. Kişisel hava araçlarının geliştirilmesi ve pazara sunulması yönünde yeni teknolojilerin geliştirilmesi için NASA, "National Research Council ve AIAA arasında fikir birliği bulunmaktadır [2, 3].

Amerika Birleşik Devletlerinde DOT tarafından yapılan araştırmalara göre araba ile kapıdan kapıya hız 56 km/s olarak tespit edilmiştir. Bu hızın Los Angeles gibi büyük bölgelerde 2020 yılında 35 km/s olacağı tahmin edilmektedir. Yine DOT tarafından yapılan araştırmada her yıl 25 milyar litre yakıt trafik sıkışıklığı nedeni ile israf edilmektedir. Bu değer günümüzde genel havacılık

filolarının kullandığı yakıtın 20 katına denk gelmektedir. Bu durum gelecek için kişisel hava araçlarının geliştirilmesini zorunlu hale getirmektedir [3, 4].

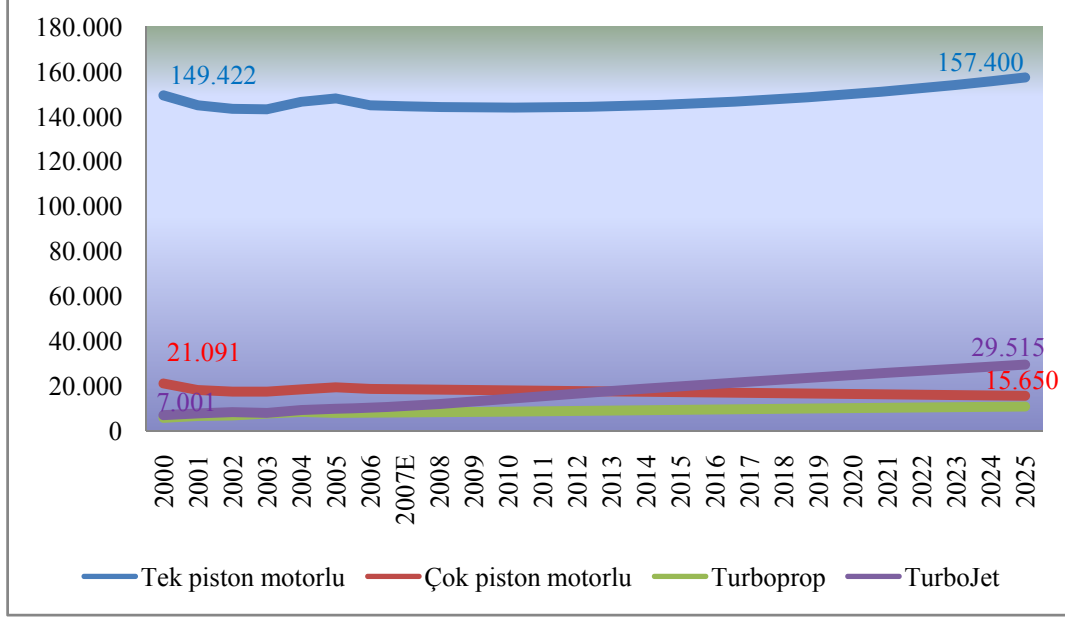
Son yıllarda Amerika Birleşik Devletlerinde ticari havayolları ile seyahat etmek kabul edilemez seviyelerde zorluklar ve korkular ortaya çıkarmaktadır. Bu korkuların başında terörizm, uçak kaçırma eylemleri ve zamanında istenilen yerde olacaklarının kesin olmaması gelmektedir. Havaalanını şehir merkezlerine bağlayan otoyollardaki ve ara yollardaki tıkanıklıklar, havaalanlarında park sorunları ve park yerlerinin terminallere uzak olması nedeni ile seyahat etmek isteyen kişiler zamanında terminalde olabilmek için uçuşlarından saatler önce evden ayrılmak zorundadırlar. Yolcular zamanında terminalde olsalar bile uçuşlarının iptal edilme veya gecikme riski her zaman vardır. Ayrıca havaalanlarında park ücretleri oldukça yüksektir ve yolcular terminale ulaşmak için uzun mesafeler yürümek zorunda kalabilirler. Havaalanı terminalleri kalabalık ve gürültülüdür. Kontroller sırasında bagajlarını kaybetme korkusu yaşamaktadırlar. Ayrıca yolcuların ağır valizler taşımaları nedeni ile kendilerini incitme riskleri vardır. Havaalanı içinde yüzlerce metre valizleri ile yürümek zorunda kalmaktadırlar [3].

Bütün bu gelişmeler önümüzdeki yıllarda taşımacılık sisteminde küçük uçak kullanımının artacağını göstermektedir. Küçük uçakların günümüzün arabaları gibi kullanılacak olması bu konudaki eğitimin önemini arttırmaktadır. Günümüzdeki eğitim ile ilgili uçakların performans ve işletme analizlerini doğru bir şekilde yapabilmek gelecekteki gelişmelere daha iyi ayak uydurmak açısından önemlidir. Bu konudaki yapılacak çalışmalar gelecekteki eğitim uçaklarının şekillendirilmesinde de katkıda bulunacaktır.

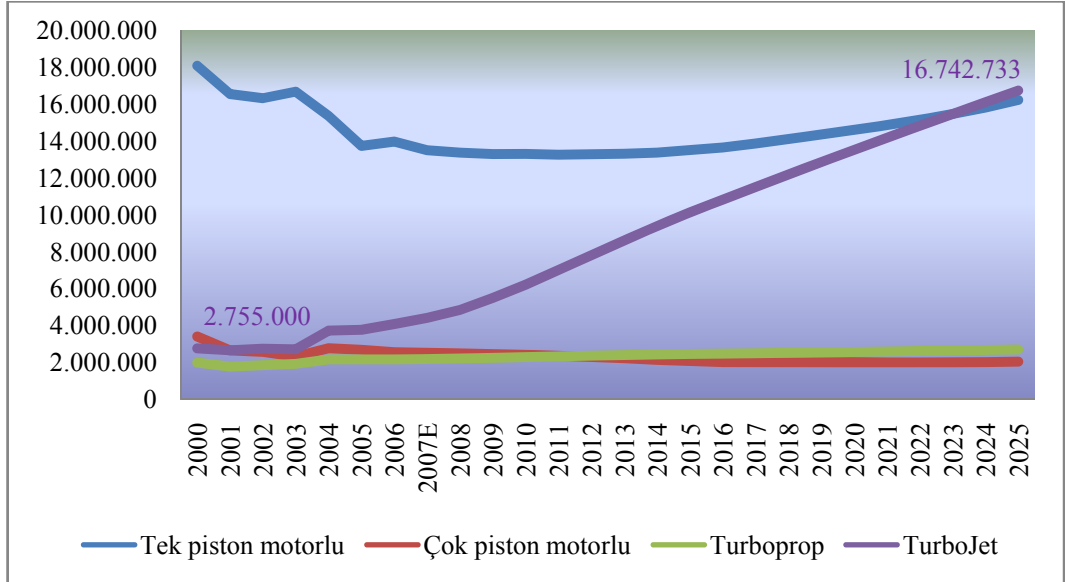
Yukarıda açıklanan gelişmelerin yanında FAA tarafından geçmiş yıllardaki istatistiklere dayanılarak hazırlanan geleceğe yönelik tahminlerin grafikleri Şekil 1.1, Şekil 1.2, Şekil 1.3 ve Şekil 1.4'te verilmiştir.

FAA'in yapmış olduğu Şekil 1.1'de verilen genel havacılık ve hava taksi filo tahminlerine göre tek piston motorlu uçaklarda 2010 yılından itibaren yıllık yaklaşık %0,4 artma, çok piston motorlu uçaklarda yaklaşık %0,9 azalma, turboprop uçaklarda yaklaşık %1,7 artma, turbojet uçaklarda %5,8 artma

beklenmektedir. Bu durum tek piston motorlu uçakların genel havacılık ve hava taksi içinde önemini ortaya koymaktadır [5].



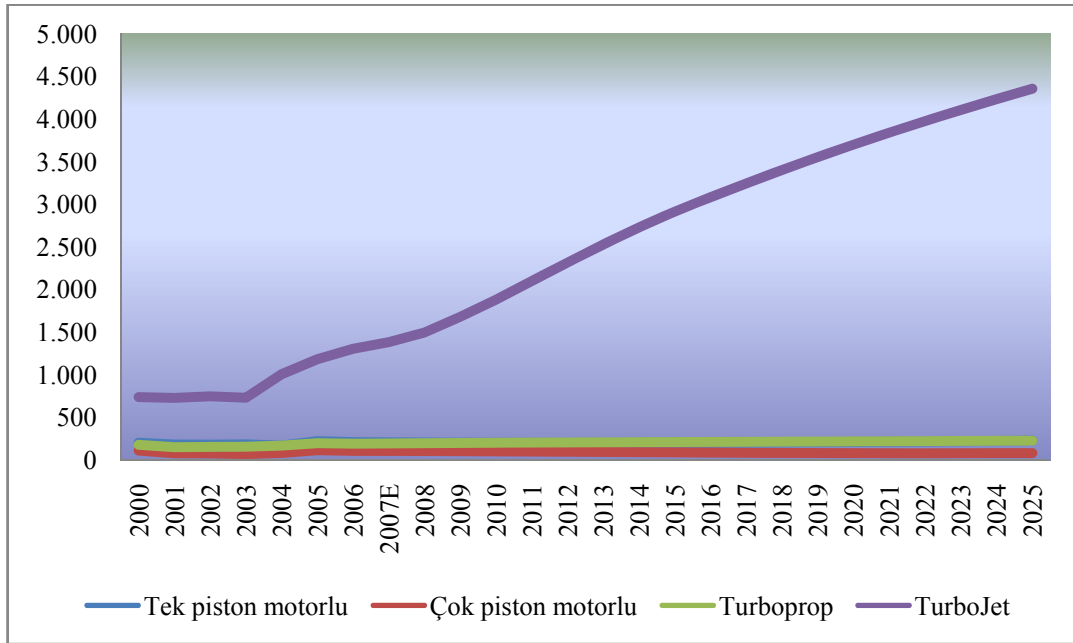
Şekil 1.1. FAA aktif genel havacılık ve hava taksi filo tahmini<sup>1</sup> [5]



Şekil 1.2. FAA aktif genel havacılık ve hava taksi uçuş süresi tahmini<sup>2</sup> [5]

<sup>1</sup> FAA'e kayıtlı ve yılda en az 1 saat uçan uçaklar değerlendirmeye alınmıştır. Helikopterler, deneysel uçaklar, planörler, sportif amaçlı uçaklar değerlendirmeye alınmamıştır

FAA'in yapmış olduğu Şekil 1.2'de verilen genel havacılık ve hava taksi uçuş süresi tahminlerine göre tek piston motorlu uçaklarda 2010 yılından itibaren yıllık yaklaşık %0,9 artma, çok piston motorlu uçaklarda yaklaşık %1,8 azalma, turboprop uçaklarda yaklaşık %1,2 artma, turbojet uçaklarda %8,1 artma beklenmektedir. Bu durum turbojet uçakların genel havacılık ve hava taksi içinde çok büyük önem kazanacağını göstermektedir. Turbojet uçaklar çok daha kapsamlı uçuş eğitimi gerektirir [5].

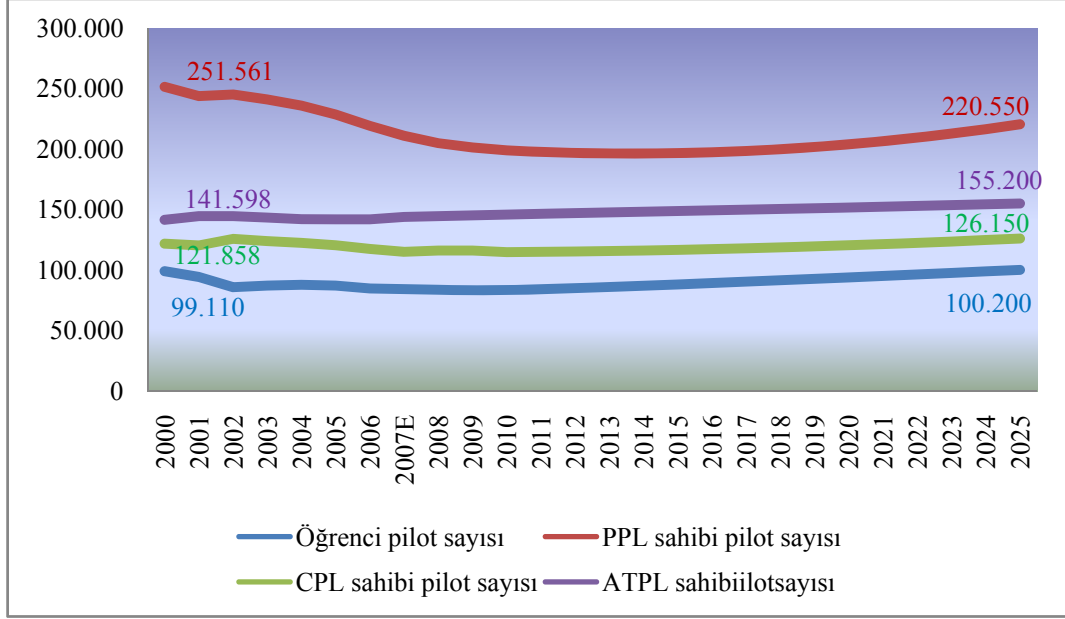


Şekil 1.3. FAA aktif genel havacılık yakıt tüketim tahmini (x milyon galon)<sup>3</sup> [5]

FAA'in yapmış olduğu Şekil 1.3'te verilen genel havacılık ve hava taksi yakıt tüketim tahminlerine göre tek piston motorlu uçaklarda 2010 yılından itibaren yıllık yaklaşık %0,3 artma, çok piston motorlu uçaklarda yaklaşık %2,4 azalma, turboprop uçaklarda yaklaşık %0,9 artma, turbojet uçaklarda %7 artma beklenmektedir. Bu durum piston motorlu uçakların diğer grup uçaklara göre çok daha ekonomik olduğunu göstermektedir [5].

<sup>2</sup> FAA'e kayıtlı ve yılda en az 1 saat uçan uçaklar değerlendirmeye alınmıştır. Helikopterler, deneysel uçaklar, planörler, sportif amaçlı uçaklar değerlendirmeye alınmamıştır

<sup>3</sup> Yakıt tüketim değerleri galon cinsinden (x milyon) olarak verilmiştir.



Şekil 1.4. FAA tip sertifikalı aktif pilot sayısı<sup>4</sup> [5]

FAA'in yapmış olduğu Şekil 1.4'te verilen lisanslı pilot sayıları incelendiğinde yıllık yaklaşık 100.000 öğrenci pilot olacağı görülmektedir. Bu durum, yıllık pilot ihtiyacının ne kadar çok olduğunu ve uçuş eğitiminin ne kadar büyük bir pazara sahip olduğunu göstermektedir.

Pilot lisansı almak için uzun süreli ve pahalı bir eğitime ihtiyaç vardır. Eğitim giderlerini düşürmek için sivil havacılık otoriteleri tarafından uygun görülen çalışmalar simülatörlerde yapılabilmektedir. Bu durumda gerçek uçakla yapılan uçuş eğitiminin süresi azalmaktadır. Havacılık otoritelerinin kabul ettiği ve uygulanması gereken eğitim uçuşları bölüm 2'de incelenmiştir.

<sup>4</sup> Aktif pilot ile pilot lisansı olan ve aynı zamanda sağlık sertifikasına da sahip kişiler tanımlanmaktadır.

## 2. EĞİTİM UÇUŞLARI

Eğitim uçuşları belirlenmiş havacılık kurallarına uygun sivil havacılık otoriteleri tarafından yetkilendirilmiş kurumlarda yapılmak zorundadır. Uçuş eğitim maliyetleri oldukça yüksek olduğundan, bu eğitimin belirlenmiş bir bölümü simülatörlerde yapılabilir. Çalışmamızda yalnız gerçek uçakla yapılması gereken minimum uçuş süreleri değerlendirilmiştir.

### 2.1. Uçuş Eğitimi Süreleri

Uçuş eğitimleri tüm dünyada sivil havacılık otoriteleri tarafından düzenlenmiş olan kurallar çerçevesinde yapılmaktadır. Eğitim uçuşlarının süreleri JAR-FCL ve SHY-1 yönetmeliğinde belirtilmiştir. Özel pilot lisansı (PPL), ticari pilot lisansı (CPL), aletli uçuşu da kapsayan ticari pilot lisansı (CPL/IR) ve havayolu nakliye pilotu lisansı (ATPL) alabilmek için belirtilen kuralların zorunlu gördüğü gerçek uçakla yapılan minimum eğitim uçuş süreleri çizelge 2.1’de özetlenmiştir.

**Çizelge 2.1.** Gerçek uçakla yapılan uçuş eğitim süreleri [6]

Lisans Tipi	Çift Kumanda Eğitim Uçuşu Süresi	Yalnız Uçuş Süresi		Sorumlu Pilot Uçuş Süresi		TOPLAM
		Mahalli	Seyrüsefer	VFR	IFR	
PPL	25 saat	10 Saat	5 saat			40 saat
Entegre CPL	75 saat			65 saat	5 saat	145 saat
Entegre CPL/IR	40 saat			50 saat	50 saat	140 saat
Entegre ATPL	40 saat			50 saat	50 saat	140 saat

Türkiye’de ilk ve tek uçuş eğitimi veren akademik kuruluş olan Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksek Okulunun uçuş programı çalışmada incelenmiş olup, bu program esas alınarak çeşitli analizler yapılmıştır. Anadolu



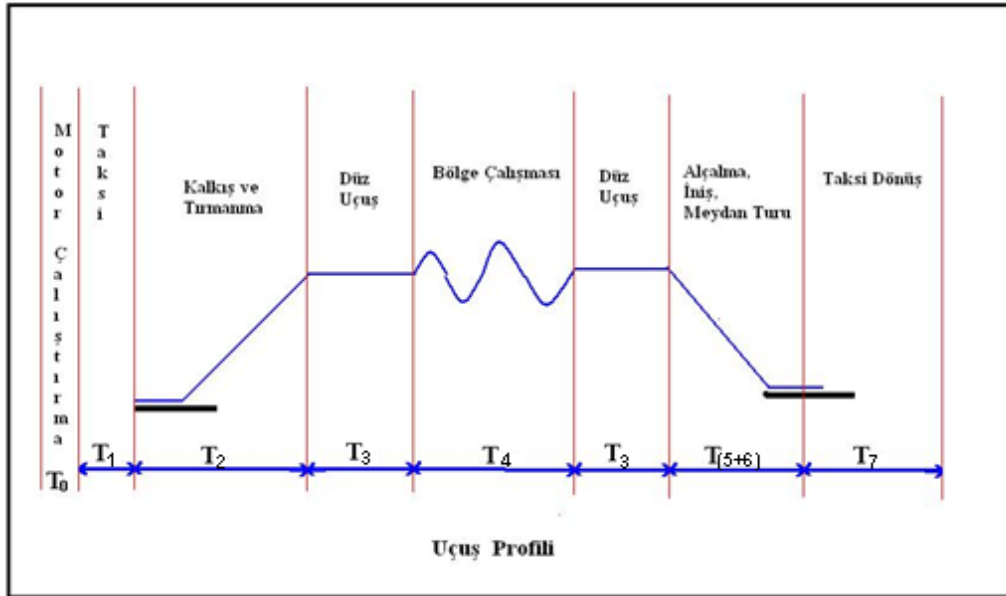
Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksek Okulunun uçuş programı özet olarak aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

**Çizelge 2.2.** Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksekokulu uçuş eğitim süreleri [7]

Lisans Tipi	AA-5B TB9 Cessna 172S		TB 20		C90 (Çift Motor)		Gece Uçuş Süresi TOPLAM
	VFR	IFR	VFR	IFR	VFR	IFR	
Entegre ATPL	75 saat		12:30 saat	75 saat	7:30 saat	7:30 saat	177:30 saat

## 2.2. Uçuş Profili

Eğitim uçuşları çeşitli aşamalardan oluşur. Eğitim uçuşu için belirli bir hava alanından pist başına gitmek üzere hareket eden bir uçak kalkışı takiben çalışma bölgesine gider veya eğitimin içeriğine göre seyrüsefer yaparak tekrar kalktığı piste iniş ve apronda park edeceği alana taksi hareketi yapar. Uçağın bir uçuşu esnasındaki bu hareketlerin tamamına uçuş profili denir [8].



**Şekil 2.1.** Eğitim uçuşu için uçuş profili

Bir eğitim uçuşunun uçuş profili en genel haliyle aşağıdaki safhalardan oluşur.

- Motor çalıştırma safhası
- Taksi safhası
- Kalkış ve tırmanma safhası
- Düz uçuş safhası
- Çalışma bölgesi safhası
- Alçalma, iniş safhası
- Meydan turu safhası
- Taksi dönüş safhası

### **2.2.1. Motor çalıştırma safhası**

Bu safha uçak motorunun çalıştırıldığı andan başlayıp pist başına taksi için fren bırakılarak hareket etmeye başladığı ana kadar geçen süreyi kapsar. Bu safhada geçen süre uçuş süresi olarak değerlendirilmez. Bu safha süresi öğrencinin zaman içinde kazanacağı pratiğe ve atmosfer sıcaklığına bağlı olarak değişir.  $T_0$  süresi içinde motor ısıtma süresi, yer kontrolleri yer almaktadır. Dolayısı ile bu süre uçak modelinden bağımsız olarak değerlendirilebilir.

### **2.2.2. Taksi safhası**

Uçak pist başına gitmek için fren bırakıp taksi hareketine başladığı andan pist başında uçağın kalkış için hazır olduğu ana kadar geçen zamanı içine alan safhadır. Bu safha içinde pist başına taksi hareketi ve kalkış öncesi kontroller yer alır. Kalkış yapılacak pist başı mesafesi, meydan trafik yoğunluğu, öğrencinin toplam uçuş süresi bu safhanın süresini etkileyen en önemli faktörlerdir. Bu safhada geçen zaman bu çalışmada  $T_1$  olarak tanımlanmıştır.

### **2.2.3. Kalkış ve tırmanma safhası**

Uçağın kalkış için hazır olduğu andan gideceği bölge için düz uçuşa geçtiği ana kadar geçen zamanı içine alan safhadır. Bu safha içinde kalkış ve

tırmanma hareketleri yer alır. Tırmanma eğimi, düz uçuş irtifası, atmosfer sıcaklığı ve yoğunluğu bu safhanın süresini ve bu safhada kullanılan yakıtı etkileyen en önemli faktörlerdir. Bu safhada geçen zaman bu çalışmada  $T_2$  olarak tanımlanmıştır.

#### **2.2.4. Düz uçuş safhası**

Uçağın düz uçuşa geçtiği andan çalışma bölgesine girdiği ana kadar geçen zamanı içine alan safhadır. Bu safhada belirli bir irtifada düz uçuş yapılır. Ayrıca seyrüsefer uçuşlarında yapılan düz uçuş süresi de bu safha içinde kabul edilmiştir. Statik hava basıncı, çalışma bölgesinin yeri, seyrüsefer uçuş süresi, motor rejim ayarları, atmosfer sıcaklığı ve yoğunluğu bu safhanın süresini ve kullanılan yakıtı etkileyen en önemli faktörlerdir. Bu safhada geçen zaman bu çalışmada  $T_3$  olarak tanımlanmıştır.

#### **2.2.5. Çalışma bölgesi safhası**

Bu safhada eğitim için ayrılmış bir bölgede belirlenmiş irtifalar arasında uçuş eğitimi verilmektedir. Bu safhada yapılan uçuşlarda hava hareketleri çalışıldığı için harcanan yakıt miktarını hesaplamak oldukça zordur. Bu nedenle uçaktaki yakıt ölçme sistemlerinden alınan veriler değerlendirilerek bu çalışma bölgesinde kullanılan yakıt miktarını hesaplamak daha doğru bir yöntemdir. Çalışılan hava hareketleri, çalışma irtifası, bu irtifadaki statik basınç, hava sıcaklığı ve yoğunluğu safhanın süresini ve kullanılan yakıtı etkileyen en önemli faktörlerdir. Bu safhada geçen zaman bu çalışmada  $T_4$  olarak tanımlanmıştır.

#### **2.2.6. Alçalma, iniş ve meydan turu safhası**

Uçak çalışma bölgesinden ayrıldıktan sonra kalkış yaptığı piste veya farklı bir hava alanına gitmek için bir süre düz uçuş yapar ve hava alanına belirli bir mesafe kaldığında alçalmaya başlar. Uçağın alçalmaya başladığı andan iniş hareketini tamamlayıp pisti terk ettiği ana kadar geçen süreyi içine alan safhadır. Uçuş programına bağlı olarak bu safha içinde meydan turları atılabilir. Alçalma

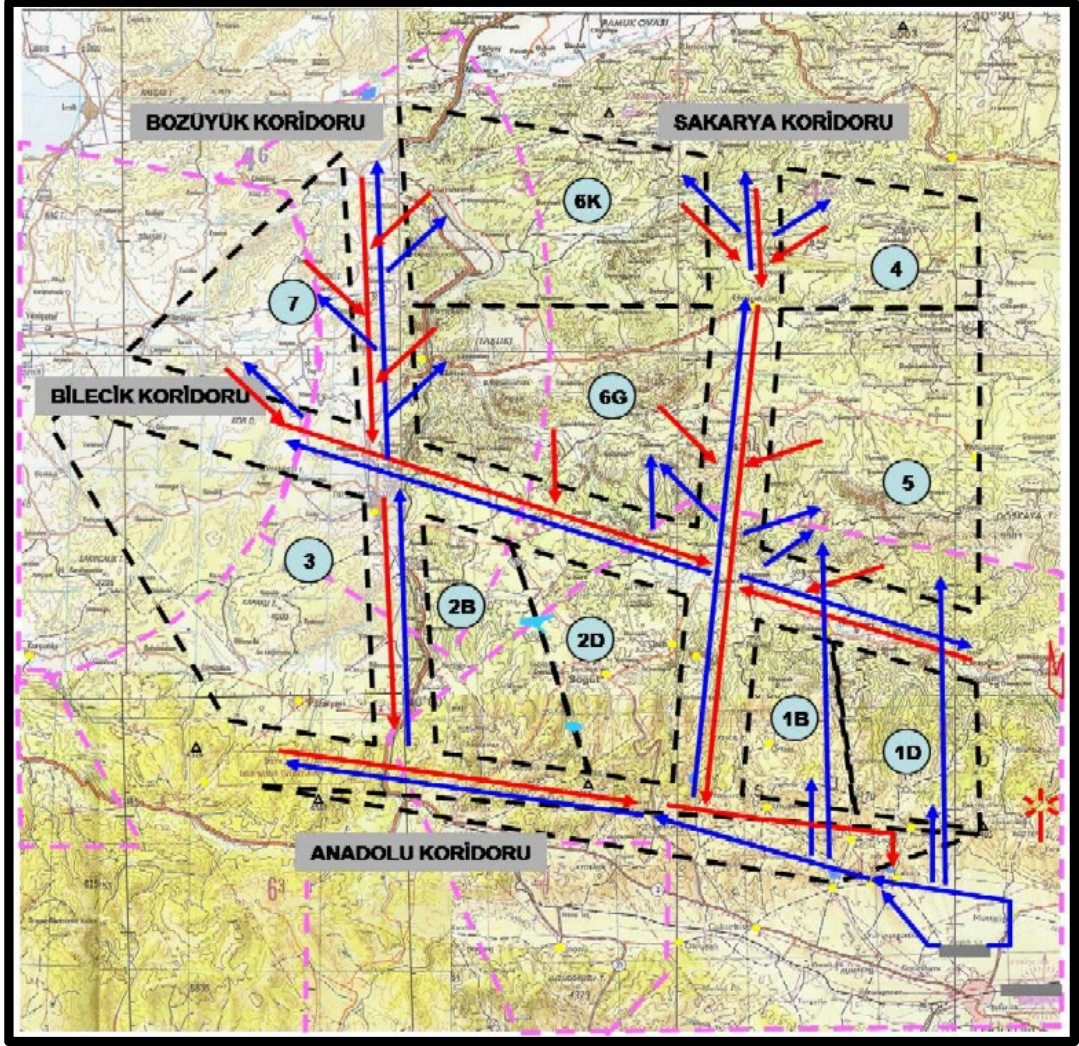
eğimi, uğağın alęalmaya başladığı irtifa, bekleme sũresi, pas geğme ve meydan turu sayısı, meydan trafik yoğunluğu bu safhanın sũresini ve kullanılan yakıtı etkileyen en önemli faktœrlerdir. Bu safhada geçen zaman bu ęalıřmada  $T_{(5+6)}$  olarak tanımlanmıştır.

### **2.2.7. Dœnũř için taksi safhası**

Uğağın iniş hareketini tamamlayarak pisti terk etmesinden apronda park edip motor durdurduğu ana kadar geçen zamanı içine alan safhadır. İnilen pist başı ile apronda park edilecek bœlge arasındaki mesafe, meydan trafik yoğunluğu bu safhanın sũresini etkileyen en önemli faktœrlerdir. Bu safhada geçen zaman bu ęalıřmada  $T_7$  olarak tanımlanmıştır.

### **2.3. Uğuş Eğitimi Hava Sahası**

Genel havacılıkta uğuş eğitimleri œnceden belirlenmiş œzel hava sahalarında yapılır. Anadolu Őniversitesi Sivil havacılık Yũksekokulu'nun eğitim uğuşları da bu Şekilde œzel tahsis edilmiş hava sahasında geręekleřtirilmektedir. Bu saha Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2. Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksek Okulu uçuş eğitimi hava sahası [9]

#### 2.4. Eğitim Uçuşları için Uçak İşletme Karakteristikleri

Uçak kalkış mesafesi, iniş mesafesi, menzili, tırmanma oranı, alçalma oranı, seyir sürati, tavan irtifası, kanat yüklemesi, maksimum finis, stol hızı gibi parametreler uçak performans karakteristiklerini ortaya koyarlar [10-13].

İşletme karakteristikleri bir uçağın işletme özelliklerini yansıtan karakteristikler olup ekonomik ve teknik işletme karakteristikleri adı altında iki kategoride incelenebilir. Teknik işletme karakteristikleri uçağın kullanımı ile ilgili olup kullanımına bağlı olarak ortaya çıkan maliyetleri belirlemede etkili olur [1].

Uçaklar için teknik işletme karakteristikleri, uçağın kullanımı (yıllık, aylık, günlük), menzili, seyrüsefer irtifası, çalışma bölgeleri şartları (irtifa, meydana olan

uzaklık, atmosfer sıcaklığı ve yoğunluğu) olarak ifade edilebilir. Eğitim uçuşları genellikle düşük irtifa ve belirli bir çalışma bölgesi içinde yapıldığından menzil ve seyrüsefer irtifası çok kritik karakteristikler olmamaktadır.

Uçuş eğitiminde uçağın kullanımı ile ilgili karakteristikleri uçuş eğitimi yapılacak bölgenin özelliklerine bağlıdır. Eğitim uçuşları özellikleri gereği çok büyük bölümü VFR uçuş süresi içinde yapılması gereken uçuşlardır. VFR uçuş süresi gün doğumundan 30 dk. önce başlar ve gün batımından 30 dk. sonra sona erer. Dolayısı ile dünya üzerinde bölgeler arasında bu süre farklı değerler alır. VFR uçuş süresi uçuş eğitimi yapılacak bölge için önceden belirlenmesi uçuş süresi planlamasında oldukça önemlidir. Ayrıca uçuş planlaması yapmak için uçuş eğitimi yapılacak bölgenin uçuşa elverişli gün sayısının da bilinmesi gerekir. Bu bilgilerden faydalanarak yıllık yapılabilecek maksimum eğitim uçuşu süresi;

$$T_{Y \max} = N_{Y \text{ UEG}} \times N_{SG \max} \times T_{SU \text{ ort}} \quad (2.1)$$

olarak ifade edilir. Burada  $T_{Y \max}$ , yıllık yapılabilecek maksimum uçuş süresini;  $N_{Y \text{ UEG}}$ , yıllık uçuşa elverişli gün sayısı;  $N_{SG \max}$ , günlük yapılabilecek maksimum sorti sayısını;  $T_{SU \text{ ort}}$ , bir sorti için ortalama uçuş süresini ifade eder.

Günlük yapılabilecek maksimum sorti sayısı;

$$N_{SG \max} = \frac{T_{G \text{ VFRort}}}{T_{TS \text{ ort}}} \quad (2.2)$$

olarak ifade edilir. Burada  $T_{G \text{ VFRort}}$ , günlük ortalama VFR uçuş süresini  $T_{TS \text{ ort}}$ , bir sortinin ortalama toplam süresini ifade eder.

Günlük ortalama VFR uçuş süresi;

$$T_{G \text{ VFRort}} = \frac{T_{Y \text{ VFR}}}{365,25} \quad (2.3)$$

olarak ifade edilir. Burada  $T_{Y \text{ VFR}}$ , yıllık VFR uçuş süresini ifade eder.

Bir sortinin ortalama toplam süresi;

$$T_{TS\ ort} = T_{SU\ ort} + \left( \frac{k_{i\ ort}}{N_{bp}} \times T_{SU\ ort} \right) + T_{S\ ort} + T_0 \quad (2.4)$$

olarak ifade edilir. Burada  $T_{SU\ ort}$ , bir sorti eğitim uçuşunun ortalama süresini;  $k_{i\ ort}$ , blok uçuş saati başına programlı ve programsız bakımlar için harcanan teknik işçilik katsayısını;  $N_{bp}$ , programlı ve programsız bakımlarda çalışan personel sayısını;  $T_{S\ ort}$ , ortalama uçuş öncesi servis süresini;  $T_0$ , motor çalıştırma süresini ifade eder.

Eğitim uçuşlarında bir sorti eğitim uçuşunun ortalama süresi;

$$T_{SU\ ort} = \frac{T_K}{N_K} \quad (2.5)$$

olarak ifade edilir. Burada  $T_{SU\ ort}$ , bir sorti eğitim uçuşunun ortalama süresini;  $T_K$ , pilot lisansı almak için açılan kursta yapılan toplam eğitim uçuşu süresini;  $N_K$ , pilot lisansı almak için açılan kurstaki sorti sayısını ifade eder.

Eğitim uçuşları sırasında uçağın uçuşa hazırlanması, uçuş öncesi uçuş arası, uçuş sonrası bakımlarının yapılması ve yakıt alınması gerekir. Daha sonra öğrenci pilotun uçuş öncesi kontrolleri tamamlayıp öğretmen pilot ile veya yalnız olarak motor çalıştırma işlemini yapması gerekir. Bütün bu işlemler için geçen süre uçağın yerde geçirdiği süredir yaklaşık her sorti için 20 dk. olarak gözlenmiştir.

Motor çalıştırma süresi bölüm 2.2.1'de açıklanmıştır. Bu süre uçuşlardan elde ettiğimiz gözlemsel verilere göre 2,3 dk. dır.

Blok uçuş saati başına programlı ve programsız bakımlar için harcanan ortalama teknik işçilik katsayısı;

$$k_{i\ ort} = \frac{T_{i\ y\ ort}}{T_{bu\ ort}} \quad (2.6)$$

olarak ifade edilir. Burada  $T_{i\ y\ ort}$ , bir uçak için harcanan yıllık ortalama teknik işçilik;  $T_{bu\ ort}$ , uçağın yıllık ortalama blok uçuş süresini ifade eder.

Bir uçak için harcanan yıllık ortalama teknik işçilik ve uçağın yıllık ortalama blok uçuş süresi istatistiksel çalışma yapılarak bulunabilir.

Ekonomik işletme karakteristikleri bir uçağın eğitim hizmeti karşılığı olan geliri ve bu hizmetin toplam üretim maliyetini kapsar. İşletmeci için gelirler toplam işletme gelirleri ( $TİG_e$ ), giderler ise toplam işletme giderleri ( $TİG$ ) olarak ele alınabilir [1].

## 2.5. Toplam İşletme Giderleri

Toplam işletme giderleri işletmenin sivil havacılık otoritelerinin belirmiş olduğu standartlarda uçuş eğitimi vermesi için yapmış olduğu harcamalardır. Direkt işletme giderleri ve endirekt işletme giderleri olarak iki grupta incelemek mümkündür.

Uçuş eğitimi veren işletmeler için toplam yıllık işletme giderleri;

$$G_{TY} = G_{TY EDİ} + G_{TY Dİ} \quad (2.7)$$

olarak ifade edilir. Burada  $G_{TY}$  toplam yıllık işletme giderlerini;  $G_{TY EDİ}$ , toplam yıllık endirekt işletme giderlerini;  $G_{TY Dİ}$ , direkt işletme giderlerini ifade eder.

### 2.5.1. Endirekt işletme giderleri

Hava meydanlarında, uçağın emniyet içinde uçuş yapmasını, inmesini, kalkmasını veya beklemesini temin eden her türlü hizmet, malzeme, yer ve yardımcı personel masraflarından oluşan meydan servis giderleri, reklam, ilan, piyasa araştırması masraflarını içine alan satış ve reklam giderleri, ticari bir müessese olan işletmenin genel ve idari hizmet harcamalarını içine alan idari giderler olmak üzere başlıca üç grup gider toplamıdır [1].

Endirekt işletme giderleri konumuz dışında tutulduğu için ayrıntılı olarak incelenmeyecektir. Direkt işletme giderlerini sabit işletme giderleri ve değişken işletme giderleri olarak iki grupta incelenebilir.



### 2.5.2. Direkt işletme giderleri

Doğrudan uçak ve eğitim uçuşu ile ilgili olan giderlerdir. Sabit direkt işletme giderleri ve değişken direkt işletme giderleri olarak sınıflandırabiliriz. Sabit direkt işletme giderleri uçak uçmasa da oluşan giderleri kapsar. Genel olarak aşağıdaki gibi sınıflandırabiliriz [15, 16].

- Uçucu personel maaşları
- Bakım personeli maaşları
- Uçağın hangar/apron giderleri
- Sigorta giderleri
- Personel eğitimleri/eğitim tekrarı ile ilgili giderler
- Uçakların Modernizasyonu ve sigorta dışında kalan hasarların giderilmesi ile ilgili giderler
- Seyrüsefer verilerinin güncellenme giderleri
- Uçak ile ilgili dokümanların güncellenme giderleri
- Uçak bakımı ile ilgili kayıtları tutmak ve saklamak için kullanılan bilgisayar programı giderleri
- Meteoroloji üyelik giderleri
- Amortisman giderleri

Değişken direkt işletme giderleri doğrudan uçak ve uçağın uçuşu ile ilgili giderler olup, genel olarak aşağıdaki gibi sınıflandırabiliriz.

- Yakıt giderleri
- Buz önleme sistem sıvılarının giderleri
- Yağ giderleri
- Bakım işçilik giderleri
- Yedek parça giderleri
- Motor yenileştirme giderleri
- Komponent yenileştirme ve zaman ömürlü parça giderleri
- Pervane yenileştirme giderleri
- İniş ve park ücretleri

Direkt işletme giderleri;

$$G_{TYDi} = G_{TYDi-S} + G_{TYDi-D} \quad (2.8)$$

Burada  $G_{TY\ DI}$ , toplam yıllık direkt işletme giderlerini;  $G_{TY\ DI-S}$ , toplam yıllık sabit direkt işletme giderlerini;  $G_{TY\ DI-D}$ , değişken direkt işletme giderlerini ifade eder.

### 2.5.3. Sabit direkt işletme giderleri

Sabit direkt işletme giderleri,

(2.9)

$$G_{TY\ DI-S} = G_{UPM} + G_{BPM} + G_{HA} + G_{SGR} + G_{EĞT} + G_{HSR} + G_{SSG} + G_{DG} + G_{BP} + G_{MÜ} + G_A$$

olarak ifade edilir. Burada  $G_{UPM}$ , Uçucu personel maaşlarını;  $G_{BPM}$ , bakım personeli maaşlarını;  $G_{HA}$ , hangar, apron giderlerini;  $G_{SGR}$ , sigorta giderlerini;  $G_{EĞT}$ , personel eğitim, eğitim tekrarı giderlerini;  $G_{HSR}$ , hasar giderlerini;  $G_{SSG}$ , seyrüsefer verilerini güncelleme giderlerini;  $G_{BP}$ , uçak bakımı ile ilgili program giderlerini;  $G_{MÜ}$ , meteorolojik üyelik giderlerini;  $G_{MA}$ , amortisman giderlerini ifade eder.

#### Uçucu Personel Maaşları

İşletmenin yapısına bağlı olarak uçucu personel olarak isimlendirilen lisanslı öğretmen pilotlara ödenen maaşları kapsayan giderlerdir. İşletme öğretmen pilotlara yıllık sürekli maaş ödeyebileceği gibi uçuş saati başına da ücret ödeyebilir. Bu durumda değişken direkt işletme giderleri kapsamına girer.

#### Bakım Personeli Maaşları

İşletmenin yapısına bağlı olarak sivil havacılık otoritesinin standartlarını karşılayacak şekilde uçaklara gerekli bakımları yapmaya yetkili lisanslı bakım personeline ödenen maaşları kapsayan giderlerdir. İşletme uçak bakımlarını kendisi ilgili yetkileri alarak yapabileceği gibi, uçaklarının bakımlarını sivil havacılık otoritesi tarafından yetkilendirilmiş farklı bir bakım kuruluşuna da yaptırabilir.

### **Uçağın hangar/apron giderleri**

İşletmenin yapısına bağlı olarak işletme kendi hangarlarına ve apronuna sahip olup uçaklarını uçmadıkları zamanlarda bu hangarlarda veya apronda bulundurabilir yada diğer işletmelerden kiralayabilir.

### **Sigorta Giderleri**

İşletmelerin hava araçları için yaptırmak zorunda olduğu veya zorunlu olmadıkları halde yaptırabilecekleri aşağıdaki tanımlanmış olan sigortalardan dolayı oluşan giderleri kapsar.

Hava araçları gövde (tekne) sigortası; Tekne sigortası hava taşıtının işleticisi, sahibi, kiracısı veya zilyetine sahip bir kişi tarafından yaptırılabilir. Bu sigorta hava taşıtının, yerde dururken, hareket halindeyken (taksi hali) ya da uçuş sırasındaki herhangi bir nedenle oluşan zararlarını karşılar. Bu sigortanın yaptırılması sivil havacılık otoritesi tarafından zorunlu tutulmamıştır [17].

Hava aracı mali mesuliyet sigortası; Türkiye Cumhuriyeti sınırları içinde herhangi bir noktaya iniş yapan veya herhangi bir noktadan kalkış yapan Türk Sivil Hava Aracı Siciline kayıtlı hava araçları ile yabancı sivil hava araçlarının işletenleri tarafından yapılması gerekli; hava aracında bulunduğu süre içinde veya iniş veya biniş esnasında meydana gelen bir kaza sonucunda yolcuya; hava aracında, havaalanında veya havaalanı dışına inilmesi halinde inilen yerde taşıyıcının muhafaza ve nezareti altında bulunduğu sırada bagaj, yük ve postaya gelebilecek zararları teminat altına alır. Bu sigortanın yaptırılması sivil havacılık otoritesi tarafından zorunlu tutulmuştur [18].

Üçüncü Şahıs Mali Mesuliyet Sigortası; Türk hava sahasında uçuş gerçekleştiren Türk Sivil Hava Aracı Siciline kayıtlı hava araçları ile yabancı sivil hava araçlarını işletenlerin, üçüncü şahıslara verebilecekleri zararlara karşı yaptırmaları gereken sigortadır. Bu sigortanın yaptırılması sivil havacılık otoritesi tarafından zorunlu tutulmuştur [19].

Hava Aracı Ferdi Kaza Sigortası; Bu sigorta teminatı, uçak yolcuları ve uçuş ekibinin bir kaza nedeniyle, ölüm-sürekli tam sakatlık-tedavi giderleri gibi bedensel zararlarını karşılar. Bu sigortanın yaptırılması sivil havacılık otoritesi tarafından zorunlu tutulmamıştır [18].

### **Personel eğitimleri/eğitim tekrarı ile ilgili giderler**

Uçuş ve bakım personelinin gerekli görüldüğü hallerde teknolojik gelişmelere bağlı olarak veya sivil havacılık otoritesinin zorunlu tuttuğu alması gereken eğitimlerin giderlerini kapsar.

### **Uçakların modernizasyonu ve sigorta dışında kalan hasarların giderilmesi ile ilgili giderler**

Uçağa isteğe bağlı servis bültenlerinin uygulaması, aviyoniklerin yenileştirilmesi, sigorta kapsamı dışında kalan uçakta oluşabilecek hasarların onarımı ile ilgili giderleri kapsar.

### **Seyrüsefer verilerinin güncellenme giderleri**

Uçakların seyrüsefer yapmaları için uçaklarda bulunan seyrüsefer cihazlarındaki verilerin güncellenmesi için yapılan aboneliklerin giderlerini kapsar.

### **Uçak ile ilgili dokümanların güncellenme giderleri**

Uçak uçuşu ve bakımı ile ilgili dokümanların güncellenmesi için yapılan aboneliklerin giderlerini kapsar.

### **Uçak bakımı ile ilgili kayıtları tutmak ve saklamak için kullanılan bilgisayar programı giderleri**

Gelişen yeni teknoloji ile birlikte birçok uçak bakımında, arıza bulma ve giderme işlemlerinde kullanılmak üzere gerekli olan programların alınması ve abonelikleri ile ilgili giderleri kapsar.

### **Meteoroloji üyelik giderleri**

Meteoroloji ile ilgili bilgilere bilgisayar ve internet üzerinden ulaşmak için servis veren kuruluşlara abonelik giderlerini kapsar.

## **Amortisman giderleri**

Uçaklarda amortisman kullanıldıklarında uğradıkları değer kaybı olarak tanımlanır ve bundan dolayı oluşan giderleri kapsar.

### **2.5.4. Değişken direkt işletme giderleri**

Değişken direkt işletme giderleri,

$$G_{TY\ DI-D} = G_Y + G_{BÖS} + G_{Yg} + G_{Bi} + G_{YP} + G_{MY} + G_{KRZÖP} + G_{PR} + G_{IPÜ} \quad (2.10)$$

olarak ifade edilir. Burada  $G_{TY\ DI-D}$ , toplam yıllık değişken direkt işletme giderleri  $G_Y$ , Yakıt giderlerini  $G_{BÖS}$ , buz önleme sistem sıvılarının giderlerini  $G_{Yg}$ , yağ giderlerini  $G_{Bi}$ , bakım işçilik giderlerini  $G_{YP}$ , yedek parça giderlerini  $G_{MY}$ , motor yenileştirme giderlerini  $G_{KRZÖP}$ , komponent revizyon ve zaman ömürlü parça giderlerini  $G_{PR}$ , pervane revizyon giderlerini  $G_{IPÜ}$ , iniş ve park ücretlerini ifade eder.

## **Yakıt giderleri**

Eğitim uçuşlarında değişken direkt işletme giderlerini oluşturan en önemli giderlerden biri olan yakıt giderlerini etkileyen birçok faktör vardır. Bu faktörleri belirleyip optimum seçimler yaparak yakıt maliyetlerini düşürmek mümkündür. Bu çalışmanın ana konularında biri olan eğitim uçuşlarında uçak ağırlığına ve motor gücüne bağlı olarak yakıt tüketimindeki değişim bölüm 3'te ayrıntılı olarak incelenmiştir. Yakıt giderlerini bölüm 3.8'de açıklandığı şekilde hesaplamak mümkündür.

## **Buz önleme sistem sıvılarının giderleri**

Uçaklarda bulunan buz önleme sistemlerinin sıvıları için oluşan giderleri kapsar. Uçulan bölgedeki meteorolojik şartlarla bağlı olarak değişir. Eğitim uçuşları meteorolojik açıdan uçakta buzlanma oluşturmayacak hava şartlarında yapıldığı için buz önleme sistem sıvılarının giderlerini hesaba dahil etmeye gerek yoktur.

### **Yağ giderleri**

Uçak sistemleri ve motorda kullanılan her türlü yağ giderlerini kapsar. Tek motorlu pervaneli eğitim uçaklarında genellikle yağ değişim süresi 50 blok uçuş saatidir. Bu durumda blok uçuş saati başına yağ gideri;

$$G_{YG BU} = \frac{K_{Yg}}{50} \times F_{Yg br} \quad (2.11)$$

olarak ifade edilir. Burada  $G_{YG BU}$ , Blok uçuş saati başına yağ giderini;  $K_{Yg}$ , uçak motorunun yağ kapasitesini;  $F_{Yg br}$ , yağ birim fiyatını ifade eder.

Buradan yağ giderleri,

$$G_{Yg} = G_{YG BU} \times T_{BU} \quad (2.12)$$

olarak ifade edilir. Burada  $G_{Yg}$ , yağ giderlerini;  $G_{YG BU}$ , Blok uçuş saati başına yağ giderini;  $T_{BU}$ , uçak blok uçuş saatini ifade eder.

### **Bakım işçilik giderleri**

Uçaklara uygulanan programlı ve programsız bakımlarda, yenileştirmelerde, AD/SB uygulamalarında harcanan işçilikten dolayı meydana gelen giderleri kapsar. Yapılan bakımlardan bağımsız olarak yıllık, aylık ücret ödeniyor ise sabit direkt işçilik giderleri arasında yer alır ve değişken direkt işletme giderleri içinde hesaplanmaz.

### **Yedek parça giderleri**

Uçakların uçuş emniyetini sağlayacak şekilde uçuşlarını sürdürmeleri için programlı bakımların ve ortaya çıkacak programsız bakımların kısa sürede tamamlanabilmesi için işletme deposunda yedek parça bulundurmak ve gerektiğinde kullanılmak zorundadır. Kullanılan bu yedek parçaların oluşturduğu giderler yedek parça giderlerini oluşturur. Depolarda bu amaçla uzun süreli depolanan malzemelerin de ayrıca stoklama maliyetleri vardır. Ancak bu konunun incelenmesi ayrı bir uzmanlık alanı gerektirdiğinden çalışmamızda stoklama maliyetleri hesaba katılmamıştır. Komponent, motor, pervane yenileştirmeleri için kullanılan parçaları ve zaman ömürlü parçaları kapsamaz.

### **Motor yenileştirme giderleri**

Motor revizyonu ve AD/SB uygulama giderlerini kapsar. Tek piston motorlu eğitim uçaklarının motorlarında genellikle 2000 uçuş saatinde yenileştirme yapılır.

### **Komponent yenileştirme ve ömürlü parça giderleri**

Uçak üzerinde bulunan komponentlerin yenileştirme ve uçak üzerinde bulunan ömürlü parçaların değişim giderlerini kapsar. Bu komponentlerin ve parçaların listeleri uçak bakım kitaplarında bulunur. Genel olarak bu komponentler manyeto, karbüratör veya enjeksiyon ünitesi, alternatör, starter, guvernörden oluşur. Komponentlerin büyük çoğunluğuna motor ile birlikte yenileştirme işlemi yapılır.

### **Pervane yenileştirme giderleri**

Pervane yenileştirme işlemi için oluşan giderleri kapsar. Sabit hatveli pervanelerin uçuş saatlerine veya zamana bağlı olarak belirli dönemlerde çatlak kontrolleri yapılırken, değişken hatveli pervanelerin revizyon yapılması gerekmektedir. Bu işlem değişken hatveli pervanelerin giderlerini arttırır.

### **İniş ve park ücretleri**

Uçakların harici meydanlara gerçekleştirdikleri uçuşlarda ödenen iniş ve park ücretlerini kapsayan giderlerdir.

Yukarıda açıklanan giderler içinde uçakların performansına bağlı olarak değişen en önemli gider yakıt giderleridir. Dolayısı ile eğitim uçuşlarında yakıt tüketiminin doğru olarak bulunabilmesi oldukça önemlidir. Uçak ile ilgili üretici firma kitaplarında genellikle tırmanma ve düz uçuş için belirli standart şartlarda yakıt tüketim bilgileri bulmak mümkündür. Bu bilgilerden yararlanarak yakıt tüketim tahmini yapmak mümkündür. Ancak uçuş eğitiminde özellikle bölgelerde çalışılan hava hareketleri sırasında tüketilen yakıtı uçak üretici firma kitaplarında verilen bilgilerle hesaplamak mümkün değildir.

### 3. EĞİTİM UÇUŞLARINDA YAKIT TÜKETİMİ ANALİZİ

Uçakların yakıt tüketimi işletme giderleri içinde oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Bu nedenle eğitim uçuşlarında kullanılan uçakların eğitim uçuşu şartlarındaki yakıt tüketim değerlerinin bilinmesi çok önemlidir. Yakıt tüketiminin belirlenmesi için gerçek uçuş eğitimi şartlarında kullanılan uçaklardan ölçüm yapılmıştır.

#### 3.1. Yakıt Tüketimi Ölçümlerinde Kullanılan Uçakların Özellikleri

Çalışmada Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksek Okulu envanterinde bulunan ve uçuş eğitiminde kullanılan Cessna 172S ve Socata TB20 uçaklarından veriler alınmıştır.

##### 3.1.1. Cessna 172S performans verileri

Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksek Okulu envanterinde bulunan TC-SHR çağrı kodlu Cessna 172S uçağının performans verileri aşağıda verilmiştir [20-23].



Şekil 3.1. Cessna 172S [24]

Üretici Firma .....Cessna  
Model.....172S  
Seri Numarası.....172S8989  
İmalat Yılı.....2003



Motor Üretici Firması .....	Lycoming
Motor Modeli.....	IO-360-L2A
Motor Gücü.....	2700 d/dk da 180 BG
Pervane.....	McCauley, Sabit Hatveli, 2 palli, Metal
İniş Takımları.....	Sabit
Rampa Ağırlığı. ....	1160 kg (2558 lbs)
Maksimum Kalkış Ağırlığı. ....	1157 kg (2550 lbs)
Maksimum İniş Ağırlığı. ....	1157 kg (2550 lbs)
Standart Boş Ağırlık.....	780,91 kg (1721 lbs)
Maksimum Kullanılır Yük . ....	379 kg (837 lbs)
Bagaj Kapasitesi. ....	54kg (120 lbs)
Toplam Yakıt Kapasitesi . ....	212 lt (56 gal)
Toplam Kullanılabilir Yakıt. ....	200,6 lt (53 gal)
Toplam Yağ Kapasitesi.....	8,5 lt (9 qts)
Yağ Karteri Kapasitesi.....	7,6 lt (8 qts)
Servis Tavanı . ....	4267.2 m (14,000 ft)
Kalkış Mesafesi (Deniz Seviyesi, teker kesme).....	292,6 m (960 ft)
Kalkış Mesafesi (Deniz Seviyesi, 50 ft irtifa).....	496,8 m (1630 ft)
Maksimum Tırmanma Oranı (Deniz Seviyesi).....	222,5 m/dk (730 fpm)
Maksimum Hız (deniz Seviyesi).....	233 km/s (126 kts / 145 mph)
Maksimum Menzil ve Havada Kalma Süresi.....	996 km (538 NM ) / 6,72 saat
Düz Uçuş Hızı (8500 ft'te %75 güç ile).....	230 km/s (124 kts / 143 mph)
Düz Uçuş Menzili ve Havada Kalma Süresi (8500 ft'te %75 güç ile)....	959 km (518 NM ) / 4,26 saat
İniş Mesafesi (teker koyma).....	175 m (575 ft)
İniş Mesafesi (50 ft irtifadan sonra).....	407 m (1335 ft)

### 3.1.2. Socata TB20 performans verileri

Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksek Okulu envanterinde bulunan TC-AUC, TC-AUD, TC-AUE, TC-AUF, TC-AUG, TC-AUH, çağrı kodlu Socata TB20 uçaklarından analiz yapmak için veriler alınmıştır. Bu uçakların performans verileri aşağıda verilmiştir [25-27].



Şekil 3.2. Socata TB20 [28]

Üretici Firma .....	Aerospatale Socata
Model.....	TB20 Trinidad
Seri Numarası.....	0958, 0964, 1223, 1224, 1225, 1226
İmalat Yılı.....	1990, 1991
Motor Üretici Firması .....	Lycoming
Motor Modeli.....	IO-540-C4D5D
Motor Gücü.....	2575 d/dk da 250 BG
Pervane.....	Hartzell, Değişken Hatveli, 2 palli, Metal
İniş Takımları.....	Toplanabilir
Maksimum Kalkış Ağırlığı. ....	1400 kg (3086 lbs)
Maksimum İniş Ağırlığı .....	1400 kg (3086 lbs)
Standart Boş Ağırlık.....	800 kg (1764 lbs)
Maksimum Kullanılır Yük .....	600 kg (1322 lbs)
Bagaj Kapasitesi. ....	65 kg (143 lbs)
Toplam Yakıt Kapasitesi .....	336 lt (88,8 gal)
Toplam Kullanılabilir Yakıt. ....	326 lt (86,2 gal)
Toplam Yağ Kapasitesi.....	12,6 lt (13,3 qts)
Yağ Karteri Kapasitesi.....	11,3 lt (12 qts)
Servis Tavanı .....	6096 m (20,000 ft)
Kalkış Mesafesi (Deniz Seviyesi, MTOW, teker kesme).....	405 m (1329 ft)
Kalkış Mesafesi (Deniz Seviyesi, MTOW, 50 ft irtifa).....	635 m (2083 ft)
Maksimum Tırmanma Oranı (Deniz Seviyesi).....	480 m/dk (1576 fpm)
Maksimum Hız (deniz Seviyesi).....	346 km/s (187 kts / 215 mph)
Düz Uçuş Hızı (8500 ft'te %70 güç ile).....	293 km/s (158 kts / 182 mph)

İniş Mesafesi (teker koyma).....	251 m (825 ft)
İniş Mesafesi (50 ft irtifadan sonra).....	555 m (1820 ft)

### **3.2. Ölçme Yöntemi**

Çalışmada yakıt tüketim değerlerinin belirlenmesi için Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksek Okulunda uçuş eğitimi için kullanılan Socata TB20 ve Cessna 172S uçaklarından veriler alınmıştır. Ölçüm gerçek uçuş eğitimi şartlarında Socata TB20 uçaklarında bulunan “FT101A” ve “Shadin M22” yakıt akış ölçüm cihazlarından yakıt tüketim değerlerin her uçuş safhası için Şekil 3.5’te verilen formun gözlemsel olarak doldurulması ile, Cessna 172S uçaklarında TC SHR çağrı kodlu uçak üzerinde bulunan “J.P Instrument” firmasının üretmiş olduğu EDM-700 model motor veri kayıt sistemi tarafından her 6 sn’de bir kaydedilen verilerin alınması yöntemi ile yapılmıştır.

Çalışmada veriler gerçek eğitim uçuşlarından yıl içerisinde farklı zamanlarda rastgele alınmış olup atmosfer şartlarındaki değişiklikler ihmal edilmiştir. Eğitim uçuşlarında kullanılan havaalanı irtifası 789 m (2588 ft), çalışma bölgelerine gidişte kullandıkları uçuş irtifası 1675 m (5500 ft), çalışma bölgesinden havaalanına dönüşte kullandıkları irtifa 1525 m (5000 ft) dir. Bölgelerdeki uçuş eğitimleri 1220 – 2135 m (4000-7000 ft) arasında yapılmıştır. Uçuşlar bir öğrenci pilot, bir öğretmen pilot ve tam dolu yakıt ile gerçekleştirilmiş olup, uçaklar her uçuştan önce tartılmamış, maksimum kalkış ağırlığı ile uçuşa başladığı kabul edilmiş, uçuş sırasında tüketilen yakıt nedeni ile oluşan ağırlık değişimi ihmal edilmiştir. Her iki model uçakta enjeksiyonludur.

#### **3.2.1. EDM-700 Motor veri kayıt sistemi**

Uçak motorlarındaki küçük problemlerin gözlenmesi, fark edilmesi ve çözülmesi için zamanında uygun bakımların yapılması, zaman içinde büyük sorunların ortaya çıkmasını engelleyecektir. Bu amaç ile “JP Instrument” firması çeşitli modellerde dijital olarak motor verilerini gösteren ve kaydeden veri kayıt sistemini geliştirmiştir. TC SHR çağrı kodlu Cessna 172S uçağında bulunan EDM-700 model motor veri kayıt sistemi zaman, her bir silindir için motor

silindir başı sıcaklık, egzoz gazları çıkış sıcaklık, motor yağ sıcaklık, dış hava (atmosfer) sıcaklık, uçak batarya gerilim, yakıt akış, kullanılan yakıt değerlerini ölçer, kendi göstergesi üzerinden dijital olarak gösterir ve aynı zamanda 6 saniyede bir bu değerleri hafızasına kaydeder. Kaydedilen bu veriler analiz edilerek motor performansı hakkında bilgi edinmek mümkündür. Ayrıca motorda meydana gelen sorunlara zamanında müdahale edilerek arızaların önlenmesi sağlanır. Örneğin, silindir başı sıcaklığının çok yükselmesi motor soğutma sisteminde bir sorun olduğuna işaretler. Bu sistemden alınan verilerle bu durum kolaylıkla tespit edilebilir ve önleyici bakım motorda daha büyük sorunlar oluşmadan yapılabilir. Aynı zamanda silindir başı sıcaklığının ani bir şekilde büyük değerlerde düşmesi de motorda yapısal hasarlara neden olabilir. Bu durumda yine bu sistemden alınan verilerle kolaylıkla görülebilir [29].

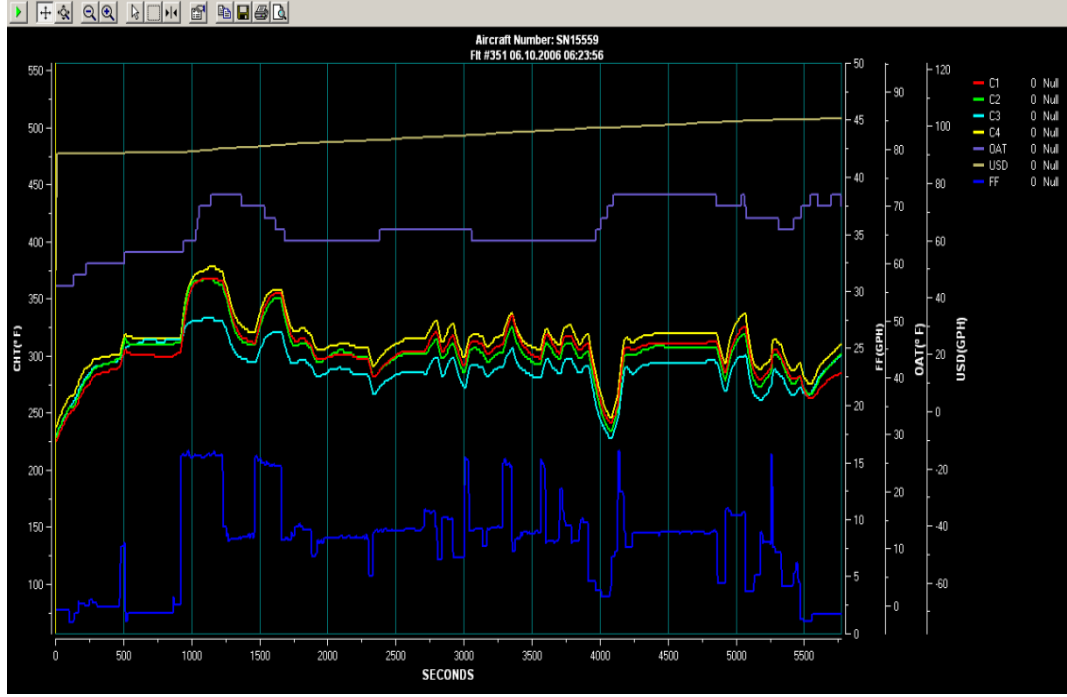


Şekil 3.3. EDM-700 [30]

Bu sistemde kaydedilen veriler “JP Instrument” firmasının sağlamış olduğu programlar kullanılarak bilgisayara aktarılabilir ve analiz edilebilir. Bu çalışmamızda “JP Instrument” firmasından sağlanan “JPI EzTrends” programı kullanılarak veriler uçak üzerindeki sistemden alınarak analiz edilmiştir. Bu programdan elde edilen verilerin ve grafiklerin örneği çizelge 3.1’de ve Şekil 3.4’te gösterilmiştir.

**Çizelge 3.1.** EDM-700 motor veri kayıt sisteminden alınan veri örneği

INDEX	TIME	E1	E2	E3	E4	C1	C2	C3	C4	OILT	OAT	BAT	FF	USD
0	06:25:08	1084	1058	1112	1086	236	243	245	250	123	76	28,3	2,3	49,5
1	06:25:14	1084	1058	1112	1086	236	243	245	250	123	76	28,3	2,3	75,0
2	06:25:20	1084	1058	1112	1086	238	245	247	253	123	76	28,3	2,3	100,5
3	06:25:26	1084	1058	1112	1086	240	247	249	253	123	76	28,3	2,3	126,0
4	06:25:32	975	988	1040	1024	242	247	251	256	123	76	25,1	1,0	151,5
5	06:25:38	996	954	1006	958	242	249	251	256	123	76	24,7	1,0	177,0
6	06:25:44	967	928	973	929	242	249	253	256	123	76	24,7	1,0	202,5
7	06:25:50	974	914	956	914	244	251	253	258	125	76	24,5	1,0	228,0
8	06:25:56	1114	1068	1111	1082	246	253	255	260	125	76	28,2	3,6	253,5
9	06:26:02	1069	1038	1086	1070	248	255	255	262	125	76	28,2	4,6	279,0
10	06:26:08	1131	1119	1152	1131	251	258	258	265	125	76	28,2	3,6	304,5
11	06:26:14	1136	1119	1163	1141	253	260	260	267	125	76	28,2	3,0	330,0
12	06:26:20	1122	1105	1150	1123	253	262	260	269	125	76	28,2	2,6	355,5
13	06:26:26	1115	1090	1141	1111	256	262	263	269	127	76	28,2	2,6	381,0
14	06:26:32	1115	1090	1141	1111	258	265	263	272	127	76	28,2	2,6	406,5
15	06:26:38	1115	1090	1141	1111	258	265	265	272	127	76	28,2	2,6	432,0
16	06:26:44	1115	1090	1141	1111	260	267	265	274	127	76	28,2	2,6	457,5
17	06:26:50	1109	1090	1141	1111	262	269	268	276	127	76	28,2	2,6	483,0
18	06:26:56	1114	1090	1141	1111	262	269	268	276	129	76	28,2	2,6	508,5
19	06:27:02	948	1032	1063	1046	265	273	270	280	129	76	26,1	0,9	534,0
20	06:27:08	1081	1081	1131	1103	265	273	272	280	129	78	28,3	3,3	559,5
21	06:27:14	1144	1133	1173	1151	268	276	272	283	129	78	28,3	2,5	585,0
22	06:27:20	1136	1111	1157	1136	268	278	275	283	129	78	28,3	3,3	610,5
23	06:27:26	1154	1136	1178	1167	270	280	275	286	129	78	28,3	3,3	636,0
24	06:27:32	1141	1126	1171	1151	272	280	278	288	131	78	28,3	2,9	661,5
25	06:27:38	1141	1121	1163	1151	272	283	278	288	131	78	28,3	2,9	687,0
26	06:27:44	1141	1121	1163	1146	274	283	280	290	131	78	28,3	2,0	712,5
27	06:27:50	1079	1057	1103	1067	274	283	280	290	131	78	27,5	2,0	738,0
28	06:27:56	1058	1035	1079	1038	274	285	282	290	131	78	27,5	2,0	763,5
29	06:28:02	1044	1020	1070	1022	274	285	282	290	131	78	27,5	2,0	789,0
30	06:28:08	1029	1012	1070	1022	274	285	282	292	131	78	27,3	2,0	814,5



Şekil 3.4. EDM-700 motor veri kayıt sisteminden alınan grafik örneği

### 3.2.2. Pilotlardan toplanan veriler

Socata TB20 uçaklarında yakıt akışını ölçen ve gösteren Şekil 3.6’da gösterilen “FT101A” ve Şekil 3.7’de gösterilen “Shadin M22” sistemi bulunmaktadır. Bu sistem anlık olarak motorun saatteki yakıt tüketimini gösterir; ayrıca pilotun belirlediği veya motorun çalıştırıldığı andan itibaren toplam yakıt tüketimini gösterir. Bu sistem hafızasına düzenli olarak ölçülen değerleri kaydetmediği için safhalara bağlı zaman ve yakıt tüketim değerleri pilotlara verilen Şekil 3.5’te görülen formların doldurulması ile elde edilmiştir.

OAT:.....  
Meydan Barometrik Basıncı:.....  
Görev Kodu:.....  
Uçakta Bulunan Yakıt Miktarı:.....  
Motor Çalıştırma Saati:.....

Tarih:.....  
Uçak Çağrı Kodu:.....  
Uçak Modeli:.....  
Uçaktaki Kişi Sayısı:.....

Pist Başı		Düz Uçuşa Geçiş			Çalışma Bölgesine Giriş			Çalışma Bölgesinden Çıkış		İniş		Motor Durdurma	
Saat	Yakıt	İrtifa	Saat	Yakıt	Bölge No	Saat	Yakıt	Saat	Yakıt	Saat	Yakıt	Saat	Yakıt

Not: İsim / İnzaz

Şekil 3.5. Socata TB20 uçaklarından veri toplamak için kullanılan form örneği



Şekil 3.6. FT-101A yakıt akış göstergesi



Şekil 3.7. Shadin M22 yakıt akış göstergesi

### 3.3. Pistonlu Motorlu Pervaneli Uçaklarda Yakıt Sarfiyatı

Pistonlu motorlu uçakların özgül yakıt sarfiyatı

$$c_p = \frac{dW_F}{P dt} \quad (3.1)$$

bağıntısı ile ifade edilir. Yakıt sarfiyatı nedeniyle uçağın ağırlığında meydana gelecek değişme

$$dW = -dW_F \quad (3.2)$$

olur. pervane verimi  $\eta$  olmak üzere, uçağın ivmesiz (sabit hızlı) sanki yatay uçuş yaptığı kabul edilirse, bu durumdaki gerekli motor gücü

$$P = \frac{DV}{\eta} \quad (3.3)$$

olur. Uçak sanki yatay uçuş yaptığına göre  $L = W$  kabul edilerek; bu bağıntılardan, uçuş süresi için



$$dt = -\frac{\eta}{c_P} \frac{LdW}{DVW} \quad (3.4)$$

diferansiyel denklemi bulunur. Taşıma ve sürüklenme kuvvetleri

$$L = C_L \frac{\rho}{2} V^2 S \quad \text{ve} \quad D = C_D \frac{\rho}{2} V^2 S$$

bağıntıları ile ifade edilebileceğine göre (3.4) denklemi

$$dt = -\frac{\eta}{c_P} \sqrt{\frac{\rho S}{2}} \frac{C_L^{3/2}}{C_D} \frac{dW}{W^{3/2}} \quad (3.5)$$

olur. Uçağın başlangıçtaki ağırlığı  $W_0$  olmak üzere,  $W_F$  kadar yakıt sarf edene kadarki uçuş süresi (3.5) denkleminde bulunabilir. Bu sonuç, aynı zamanda  $t$  uçuş süresinde tüketilen yakıt miktarını da

$$W_F = \frac{W_0 \left( \frac{\sqrt{2}}{2} \frac{c_P}{\eta \sqrt{\rho S}} \frac{C_D}{C_L^{3/2}} t + \frac{1}{\sqrt{W_0}} \right)^2 - 1}{\left( \frac{\sqrt{2}}{2} \frac{c_P}{\eta \sqrt{\rho S}} \frac{C_D}{C_L^{3/2}} t + \frac{1}{\sqrt{W_0}} \right)^2} \quad (3.6)$$

şeklinde verecektir.

### 3.4. Eğitim Uçuşlarında Safhalara Bağlı Yakıt Analizi

Bir önceki bölümde bulunan yakıt sarfiyatı denklemi özgül yakıt sarfiyatının, taşıma ve sürüklenme katsayılarının sabit, uçuş irtifasının sanki sabit olduğu gibi pek çok basitleştirici kabule dayanmaktadır. Ancak, gerçek uçuş koşullarında, özellikle öğrenciler tarafından veya öğrencilere çeşitli hareketlerin gösterilmesi için öğretmenler tarafından yapılan uçuşlarda, 3.6 denkleminde sabit olarak kabul edilen parametreler uçuş süresince değiştirilmektedir. Bu nedenle 3.6 denklemi veya bu denklemin elde edildiği gibi basitleştirici kabullerle

bulunabilecek diğer çözümlerin sonuçları gerçek uçuş koşullarında elde edilenlerle uyuşmayacaktır. Nitekim, deneyde elde edilen veriler incelendiğinde zamana bağlı olarak toplam yakıt tüketim denklemi en genel haliyle

$$Y = at^m \quad (3.7)$$

olarak bulunmuştur. Burada t, zamanı; a uçağa ve uçuşa bağlı olarak değişen katsayıyı; m, zamanın üs ifadesini göstermektedir.

Bu denklem uçak modeline ve eğitim uçuşu safhalarına bağlı olarak;

$$y_{ij} = a_{ij}t_{ij}^{m_{ij}} \quad (3.8)$$

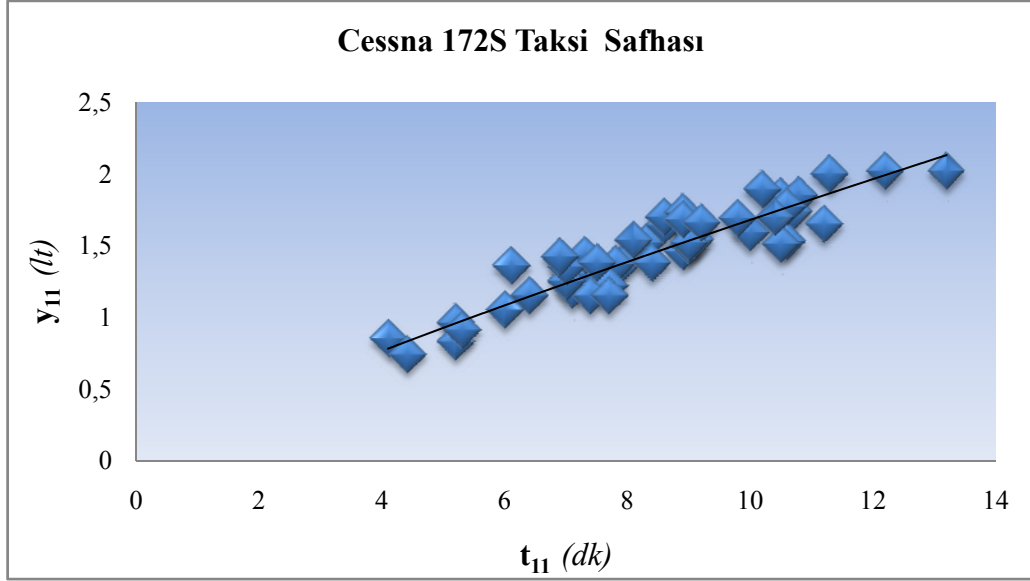
olarak ifade edilir. Burada t, zamanı; a uçağa ve uçuşa olarak değişen katsayıyı; m, zamanın üs ifadesini; i, uçak modelini; j, uçuş safhasını göstermektedir.

Deney için gerçek uçuş şartlarında veri aldığımız uçaklar ve uçuş safhaları,

- i = 1 : Cessna 172S
- i = 2 : Socata TB20
- j = 1 : Taksi safhası
- j = 2 : Kalkış ve tırmanma safhası
- j = 3 : Düz uçuş safhası
- j = 4 : Çalışma bölgesi safhası
- j = 5 : Alçalma iniş safhası
- j = 6 : Meydan turu safhası
- j = 7 : Taksi dönüş safhası

olarak tanımlanmıştır. Bu durumda her safha için yakıt tüketim denklemlerini elde etmek için deney sonucu elde edilen verilerden her bir uçak için  $a, m, t$  değerlerini bulmak gerekir.

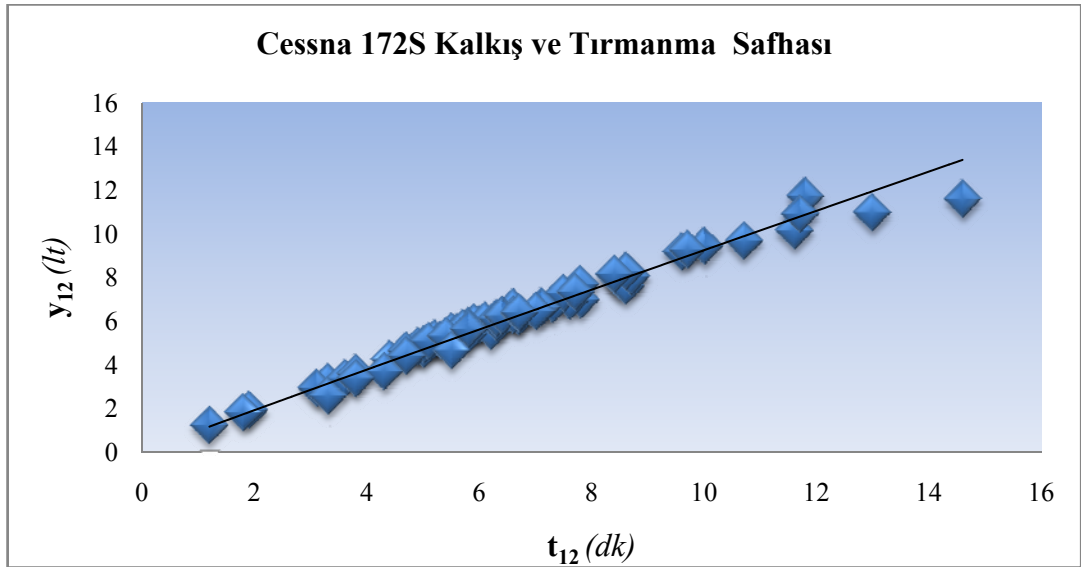
Yapılan ölçümlerde elde edilen veriler Cessna 172S uçakları için ek-1'deki, Socata TB20 uçakları için Ek-2'deki çizelgelerde verilmiştir. Bu veriler değerlendirilerek "Microsoft Excel" programında aşağıdaki grafikler oluşturulmuş, eğilim/regresyon türü belirleme katsayısı ( $R^2$ ) daha yüksek olduğu için "üs" olarak seçilmiş, her bir safhanın uçak modeline bağlı olarak ortalama süresi ( $\bar{t}_{ij}$ ) ve yakıt tüketim denklemleri ( $y_{ij}$ ) elde edilmiştir.



Şekil 3.8. Cessna 172S taksi safhası için gözlenen değerler

$$\bar{t}_{11} = 8,46 dk$$

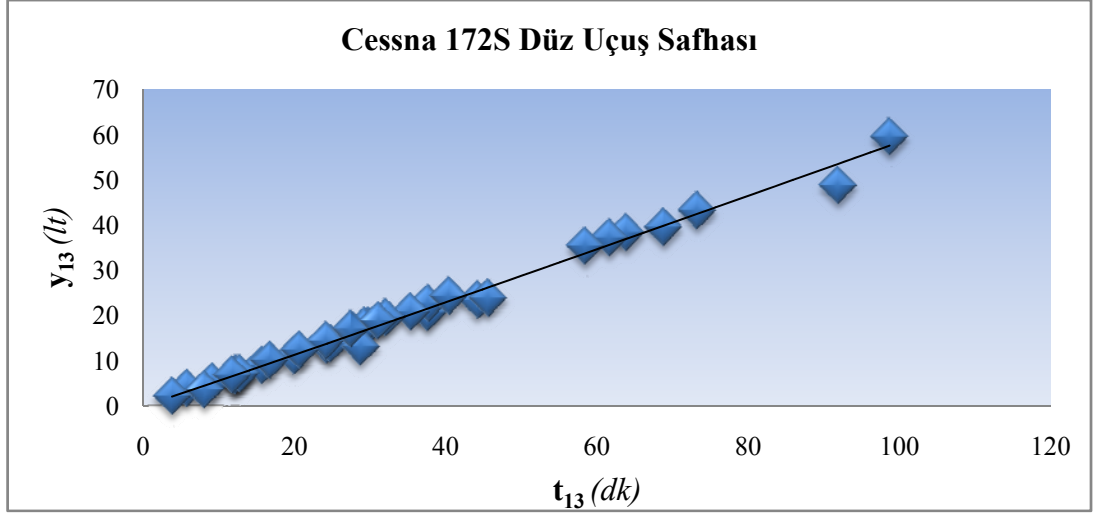
$$y_{11} = 0,232 t_{11}^{0,859}$$



Şekil 3.9. Cessna 172S kalkış ve tırmanma safhası için gözlenen değerler

$$\bar{t}_{12} = 6,63 dk$$

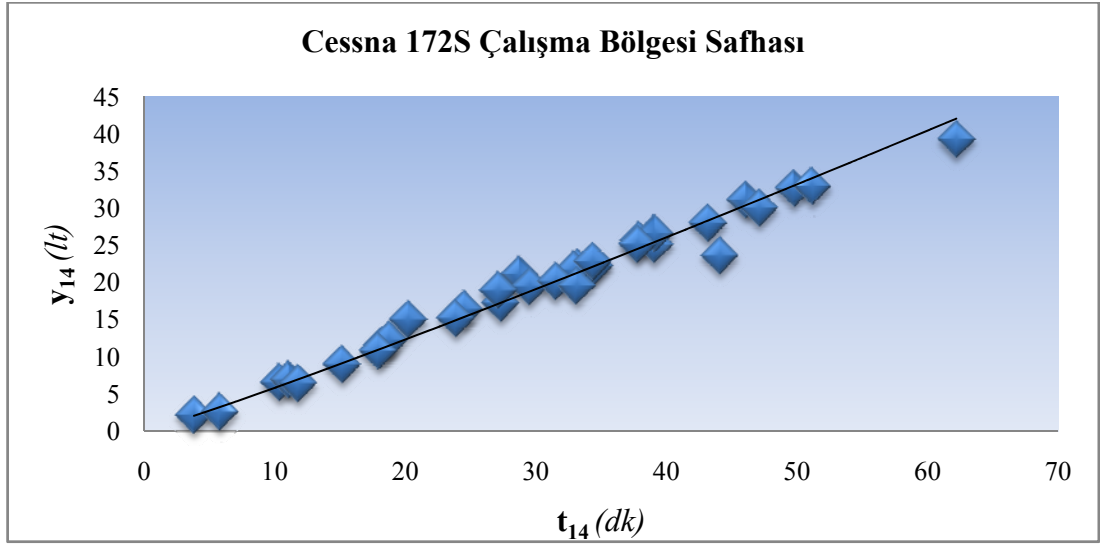
$$y_{12} = 0,974 t_{12}^{0,977}$$



Şekil 3.10. Cessna 172S düz uçuş safhası için gözlenen değerler

$$\bar{t}_{13} = 33,56 dk$$

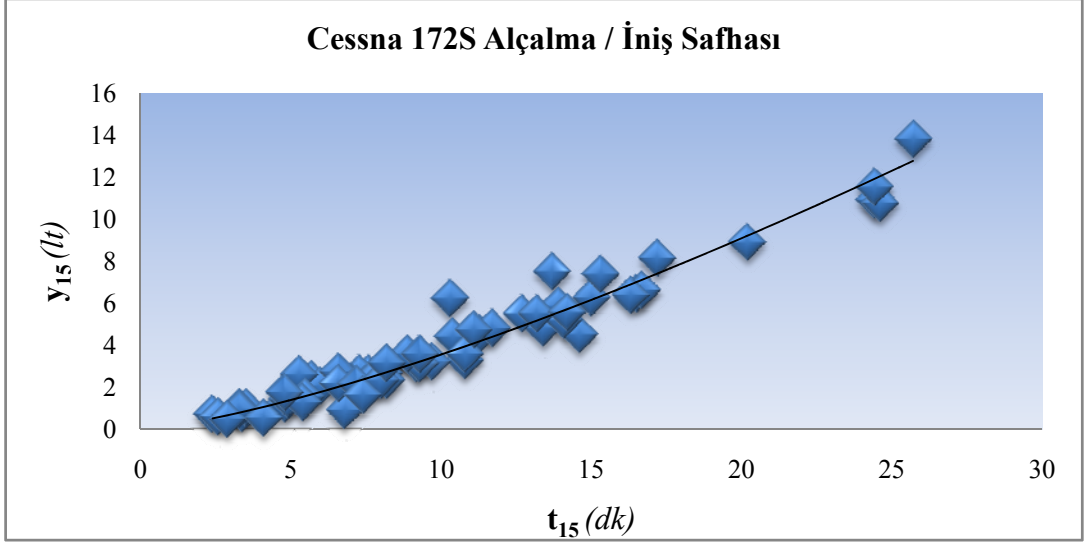
$$y_{13} = 0,533 t_{13}^{1,019}$$



Şekil 3.11. Cessna 172S çalışma bölgesi safhası için gözlenen değerler

$$\bar{t}_{14} = 30,14 dk$$

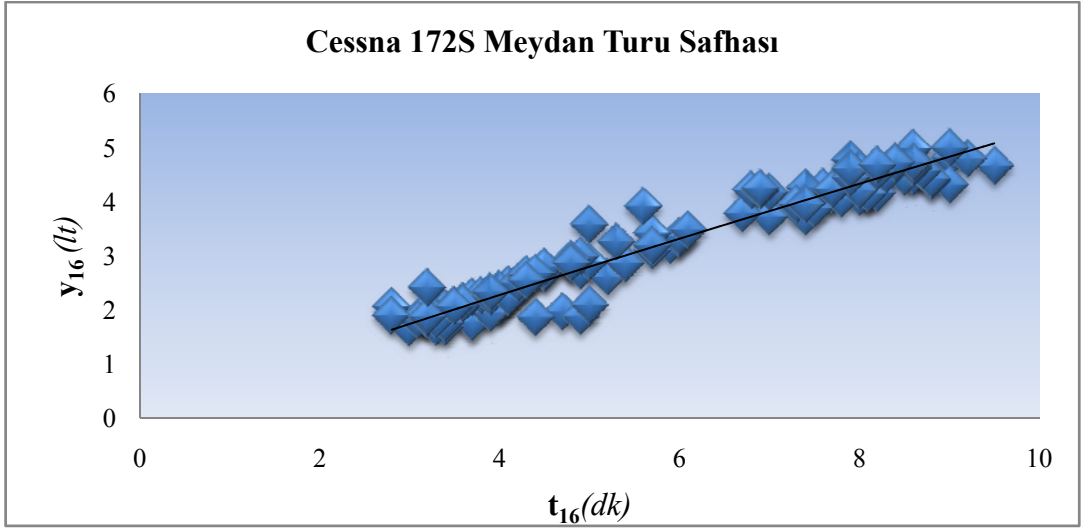
$$y_{14} = 0,480 t_{14}^{1,082}$$



**Şekil 3.12.** Cessna 172S alçalma, iniş safhası için gözlenen değerler

$$\bar{t}_{15} = 10,15 \text{ dk}$$

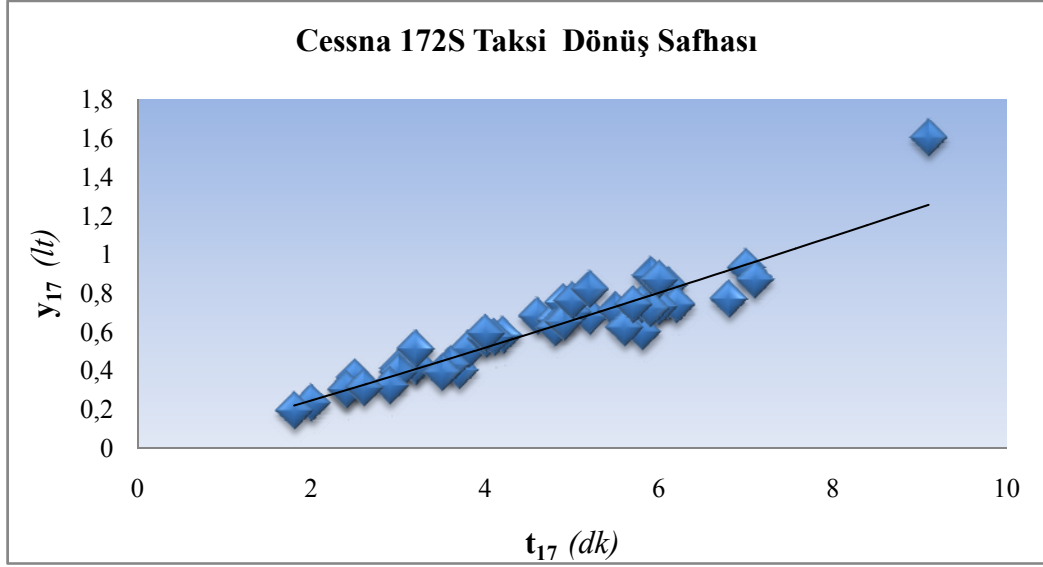
$$y_{15} = 0,156 t_{15}^{1,355}$$



**Şekil 3.13.** Cessna 172S meydan turu safhası için gözlenen değerler

$$\bar{t}_{16} = 5,72 \text{ dk}$$

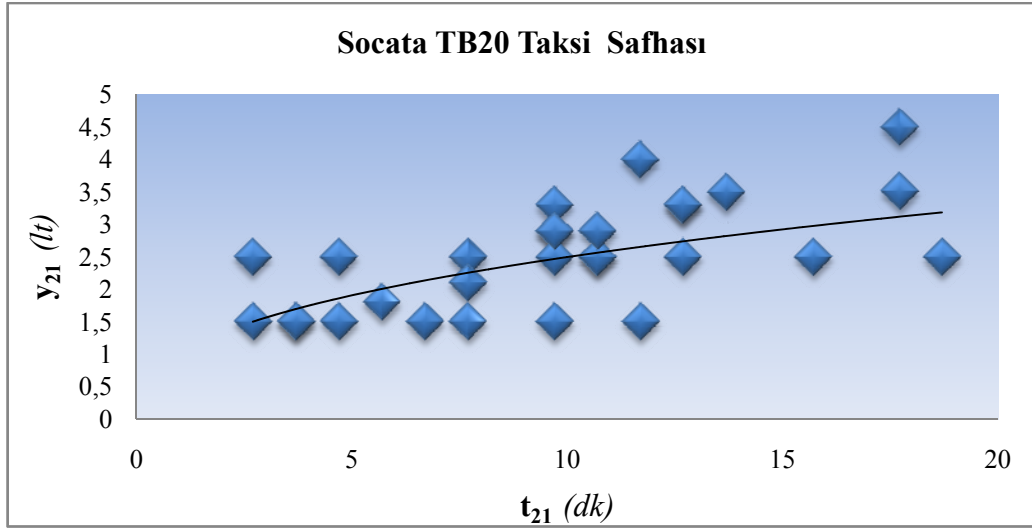
$$y_{16} = 0,630 t_{16}^{0,926}$$



Şekil 3.14. Cessna 172S taksi dönüş safhası için gözlenen değerler

$$\bar{t}_{17} = 4,68 \text{ dk}$$

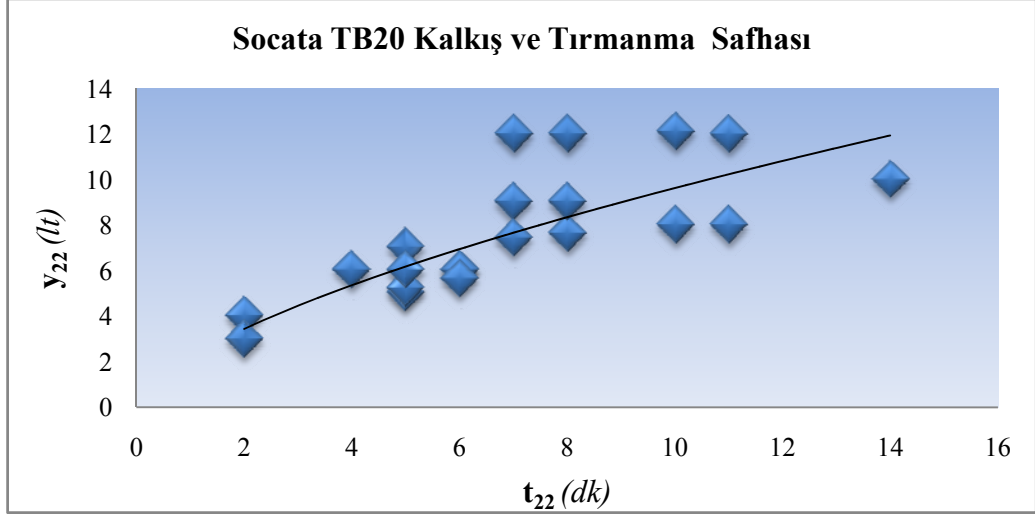
$$y_{17} = 0,116 t_{17}^{1,076}$$



Şekil 3.15. Socata TB20 taksi safhası için gözlenen değerler

$$\bar{t}_{21} = 9,77 \text{ dk}$$

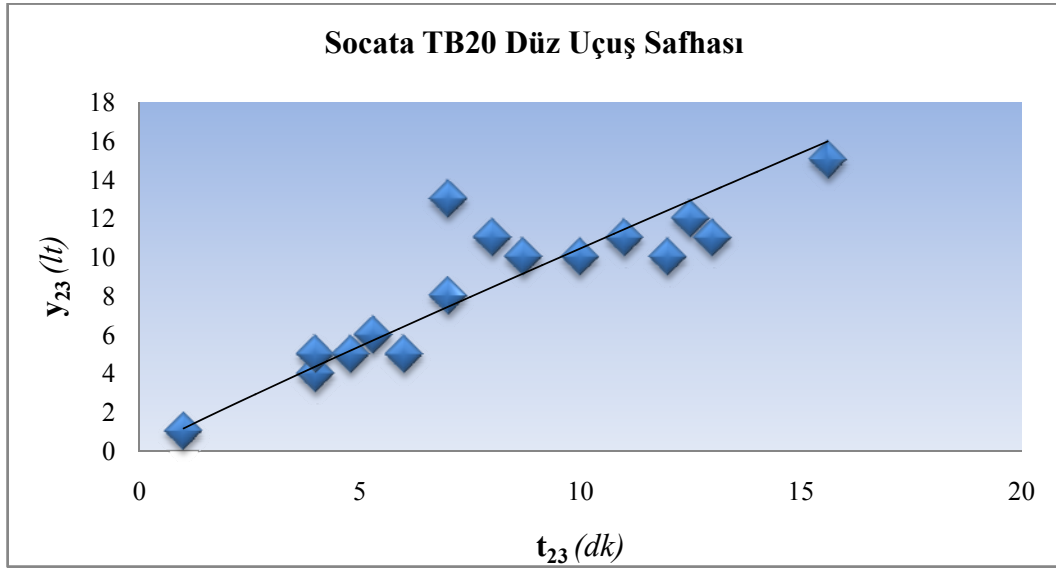
$$y_{21} = 1,017 t_{21}^{0,389}$$



Şekil 3.16. Socata TB20 kalkış ve tırmanma safhası için gözlenen değerler

$$\bar{t}_{22} = 7 \text{ dk}$$

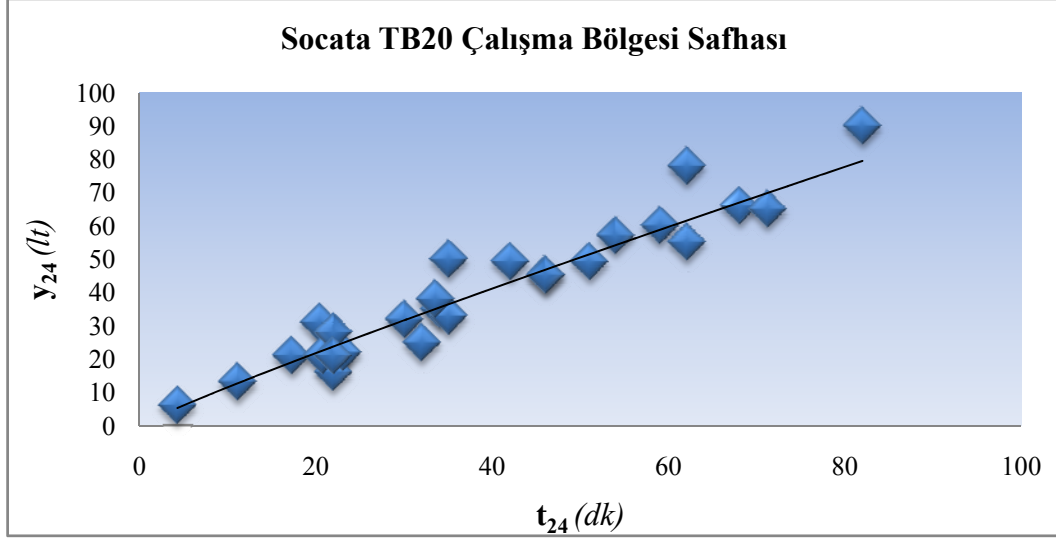
$$y_{22} = 2,213 t_{22}^{0,638}$$



Şekil 3.17. Socata TB20 düz uçuş safhası için gözlenen değerler

$$\bar{t}_{23} = 8,12 \text{ dk}$$

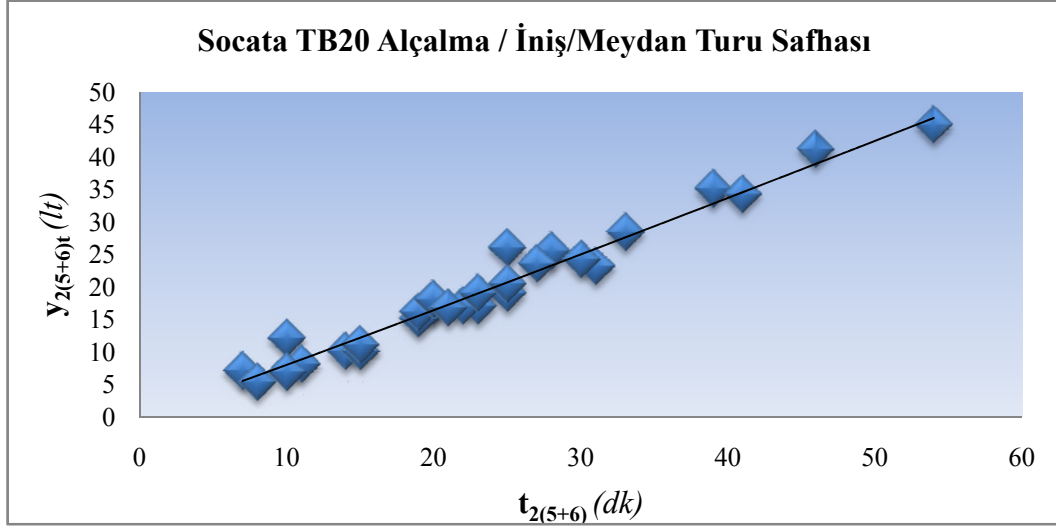
$$y_{23} = 1,166 t_{23}^{0,952}$$



**Şekil 3.18.** Socata TB20 çalışma bölgesi safhası için gözlenen değerler

$$\bar{t}_{24} = 37,51 dk$$

$$y_{24} = 1,401 t_{24}^{0,916}$$

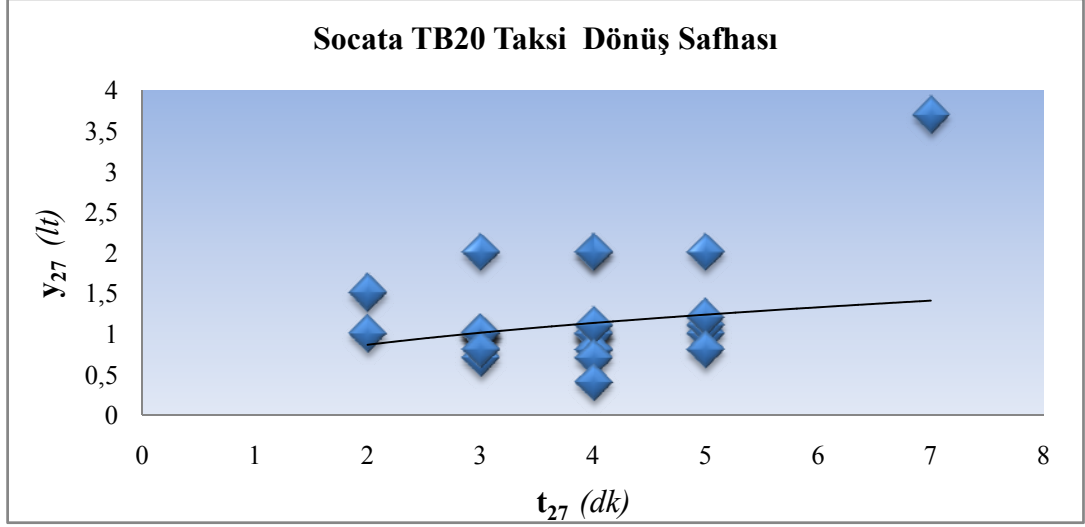


**Şekil 3.19.** Socata TB20 taksi safhası için gözlenen değerler

$$\bar{t}_{2(5+6)} = 23,48 dk$$

$$y_{2(5+6)} = 0,734(t_{2(5+6)})^{1,037}$$





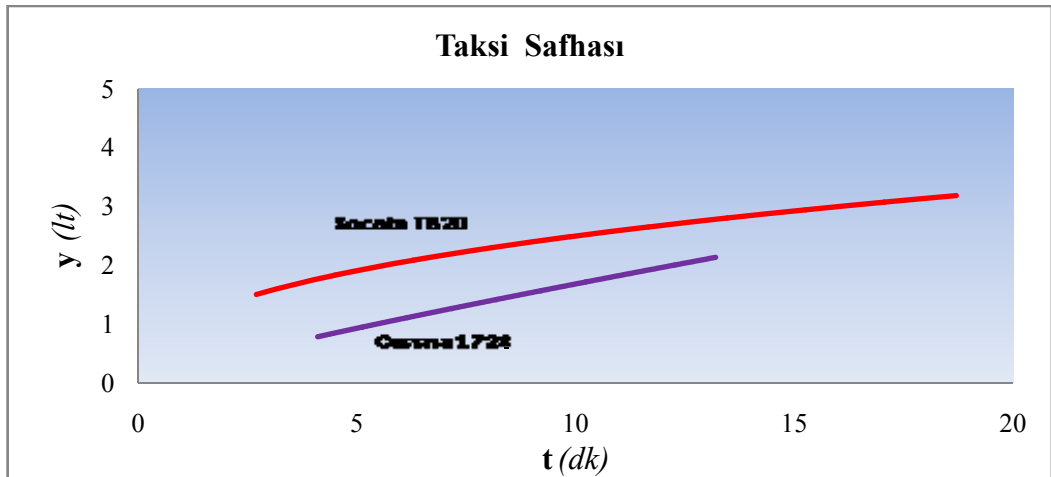
Şekil 3.20. Socata TB20 taksi dönüş safhası için gözlenen değerler

$$\bar{t}_{27} = 3,81 dk$$

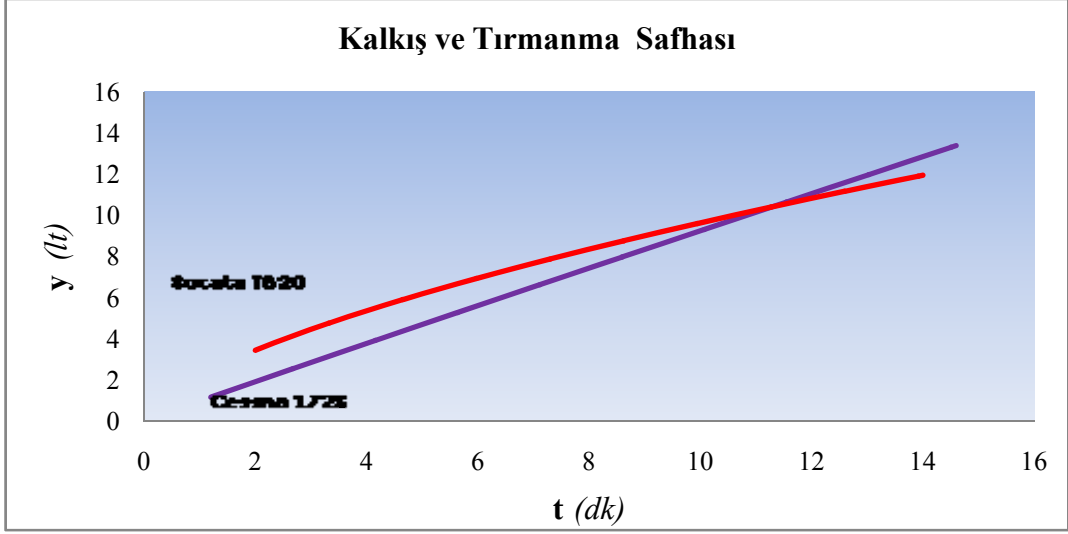
$$y_{27} = 0,663 t_{27}^{0,387}$$

### 3.5. Cessna 172S ile Socata TB20 uçakları için safhalara göre yakıt tüketimlerinin gözlenen değerlere göre karşılaştırılması

Deneyde elde edilen veriler karşılaştırıldığında aşağıdaki grafikler elde edilir.

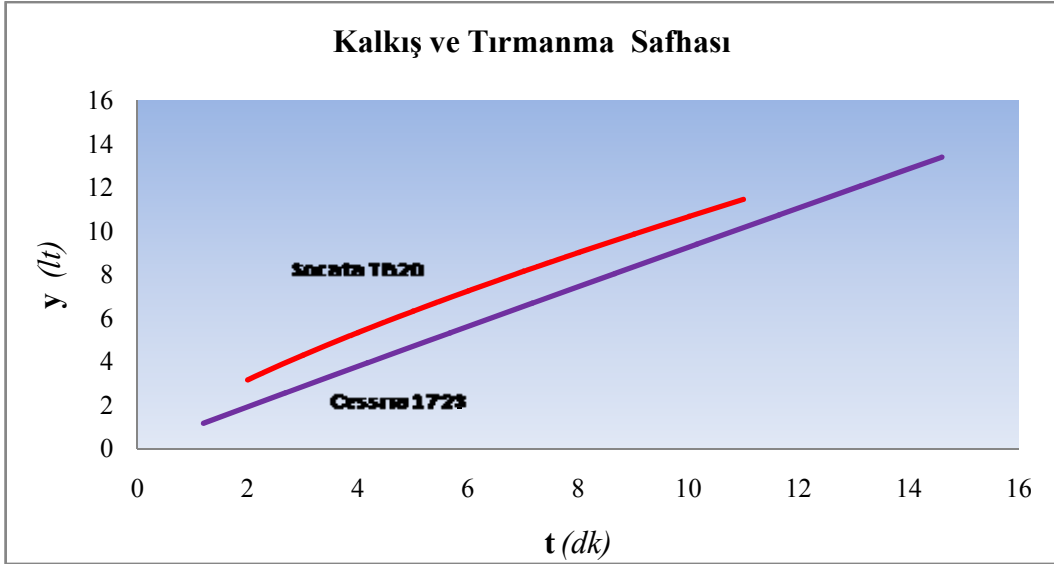


Şekil 3.21. Cessna 172S, Socata TB20 taksi safhası



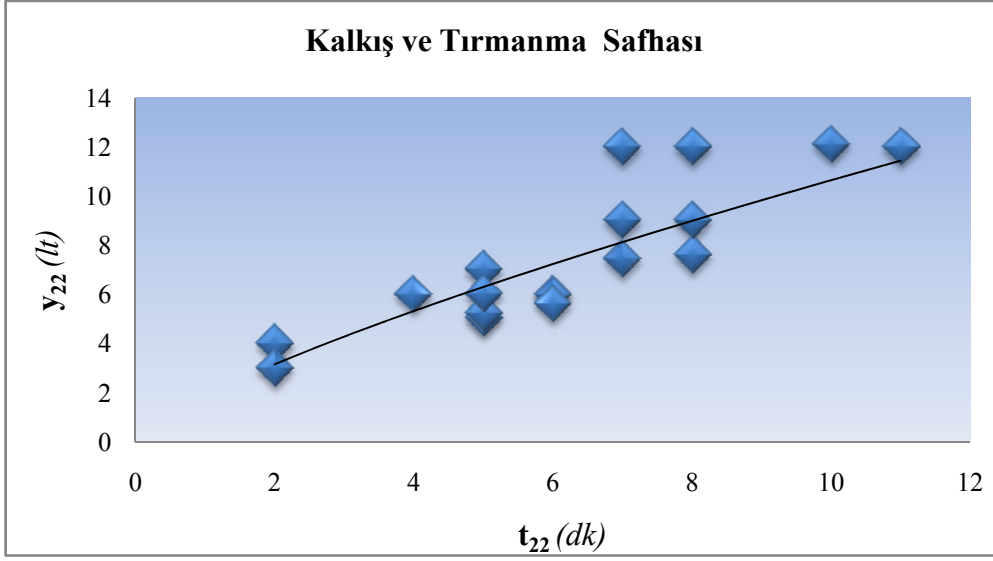
Şekil 3.22. Cessna 172S, Socata TB20 kalkış ve tırmanma safhası

Şekil 3.22'de verilen grafikte de görüldüğü gibi Socata TB20 grafiğinin tırmanma safhasında Cessna 172 grafiğini kesmemesi gerekmektedir. Uzun süreli alınan tırmanma verileri içinde meydan turu ya da çok düşük dikey hız ile tırmanma bulunabileceğinden bu grafikte aşağıdaki gibi bir düzeltme yapılmıştır.



Şekil 3.23. Cessna 172S, Socata TB20 kalkış ve tırmanma safhası

Bu düzeltmeye bağlı olarak Socata TB20 uçakları için tırmanma safhasında kullanılması gereken değerler; ek-2 çizelge 2'de verilmiştir. Bu veriler değerlendirildiğinde;

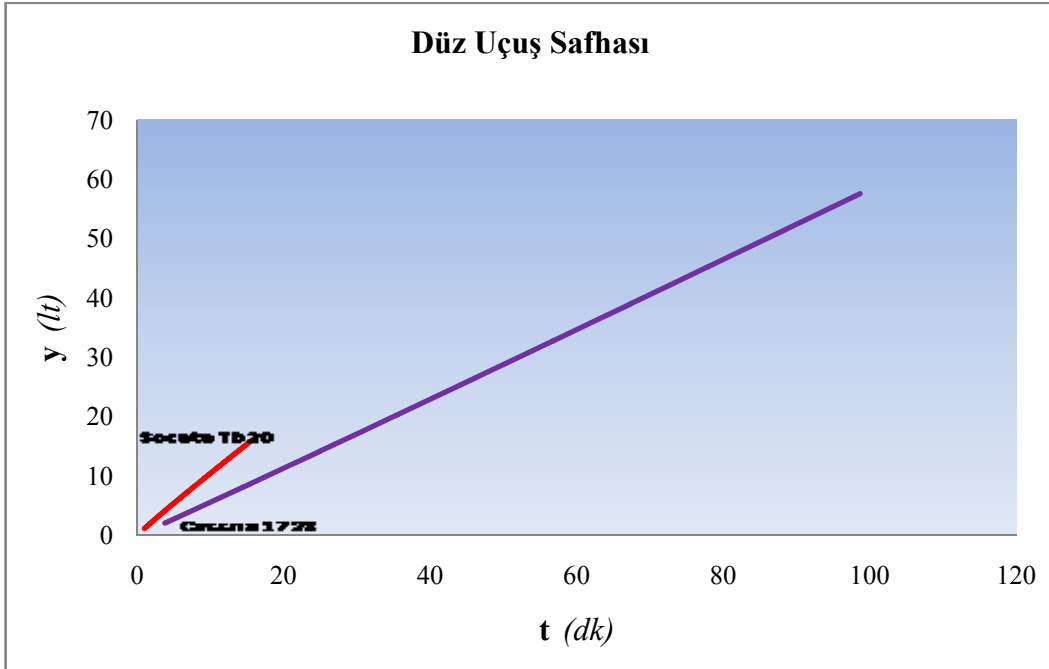


Şekil 3.24. Socata TB20 kalkış ve tırmanma safhası için düzeltilmiş gözlenen değerler

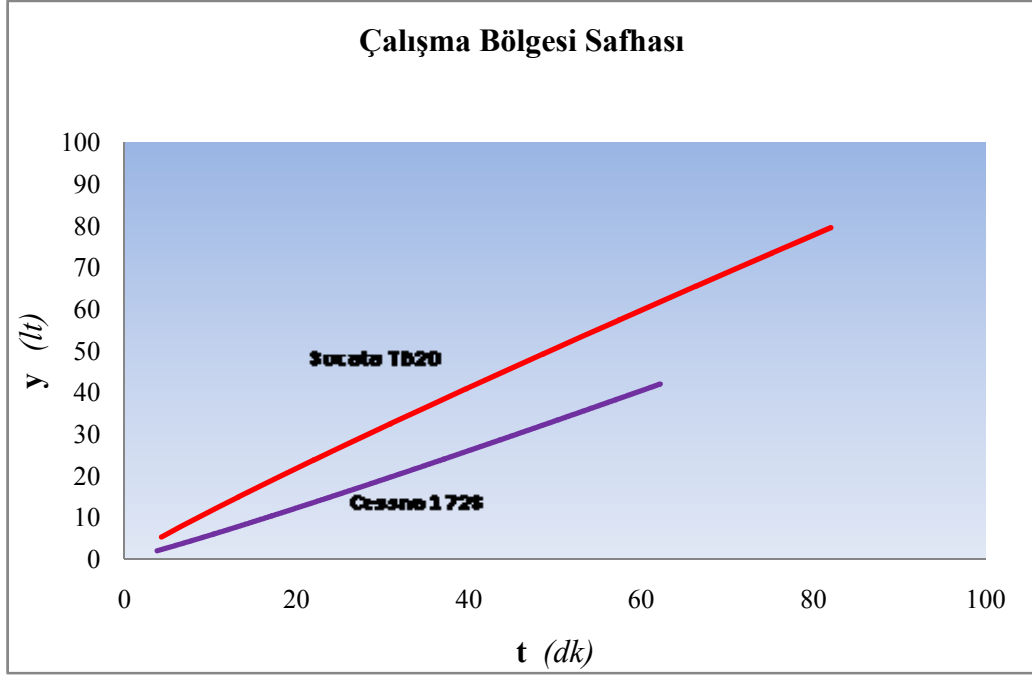
$$\bar{t}_{22} = 6,22 dk$$

$$y_{22} = 1,864 t_{22}^{0,756}$$

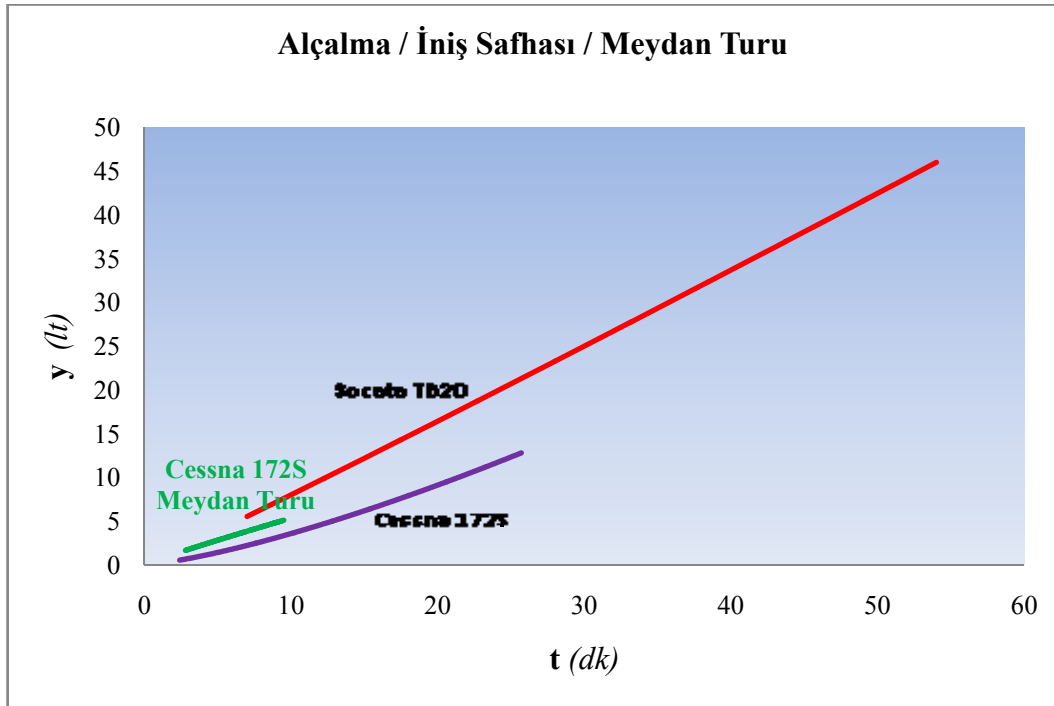
olarak elde edilir.



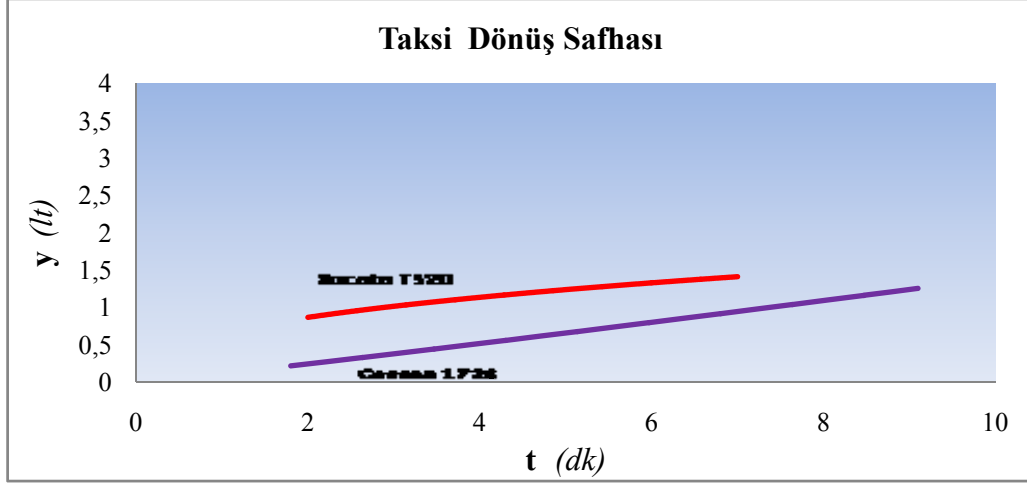
Şekil 3.25. Cessna 172S, Socata TB20 düz uçuş safhası



Şekil 3.26. Cessna 172S, Socata TB20 çalışma bölgesi safhası



Şekil 3.27. Cessna 172S, Socata TB20 açılma, iniş, meydan turu safhası

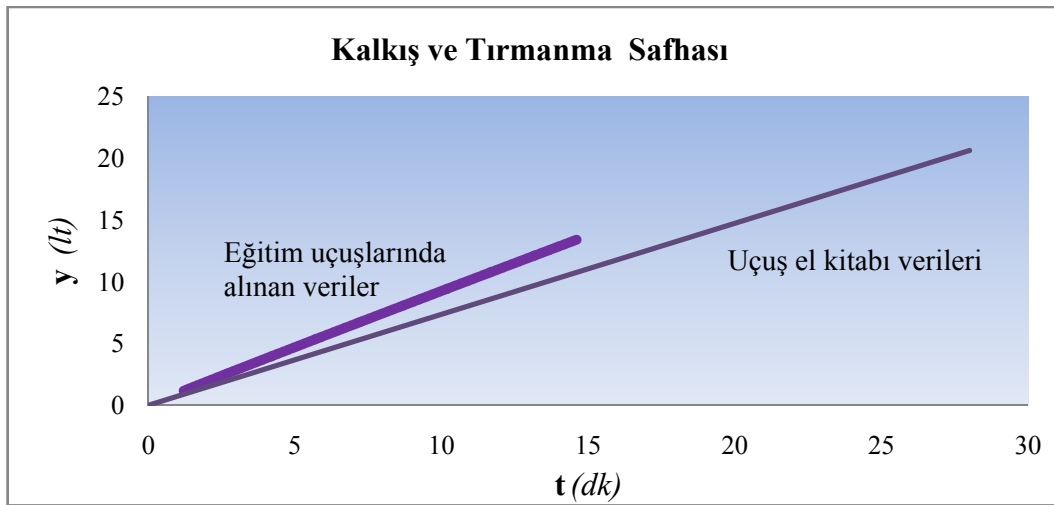


Şekil 3.28. Cessna 172S, Socata TB20 taksi dönüş safhası

Yukarıdaki karşılaştırma grafiklerinden bulunan sonuçların mantıklı olduğu görülür. Ayrıca maksimum kalkış ağırlığı ve maksimum motor gücü fazla olan Socata TB20 uçağının yakıt tüketimi Cessna 172S uçağına göre oldukça fazladır.

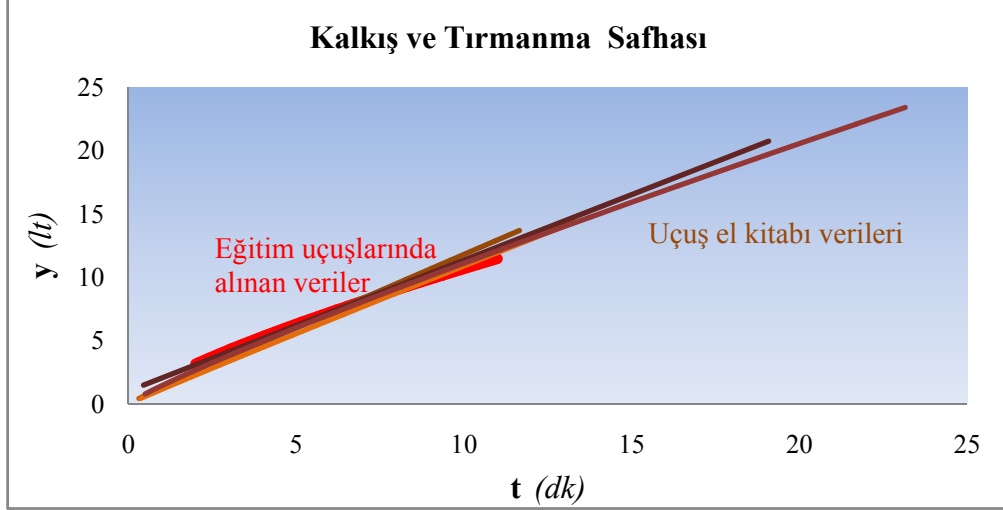
### 3.6. Verilerin Uçuş El Kitapları ile Karşılaştırılması

Deneyde elde edilen veriler uçak uçuş el kitaplarındaki verilerle karşılaştırıldığında aşağıdaki grafikler elde edilir.



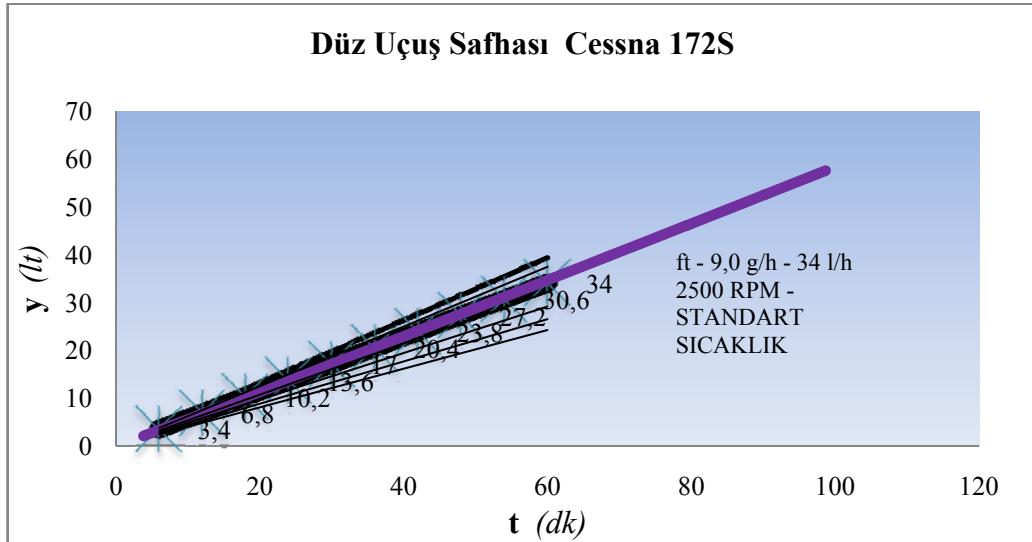
Şekil 3.29. Cessna 172S kalkış ve tırmanma safhası grafikleri [23, 25]

Kalkış ve tırmanma safhasında Cessna 172S uçağından alınan verilerin uçuş el kitabındaki standart atmosfer şartları için verilmiş olan verilerle karşılaştırılması sonucunda gerçek kullanımdaki yakıt tüketiminin daha fazla olduğu tespit edilmiştir.



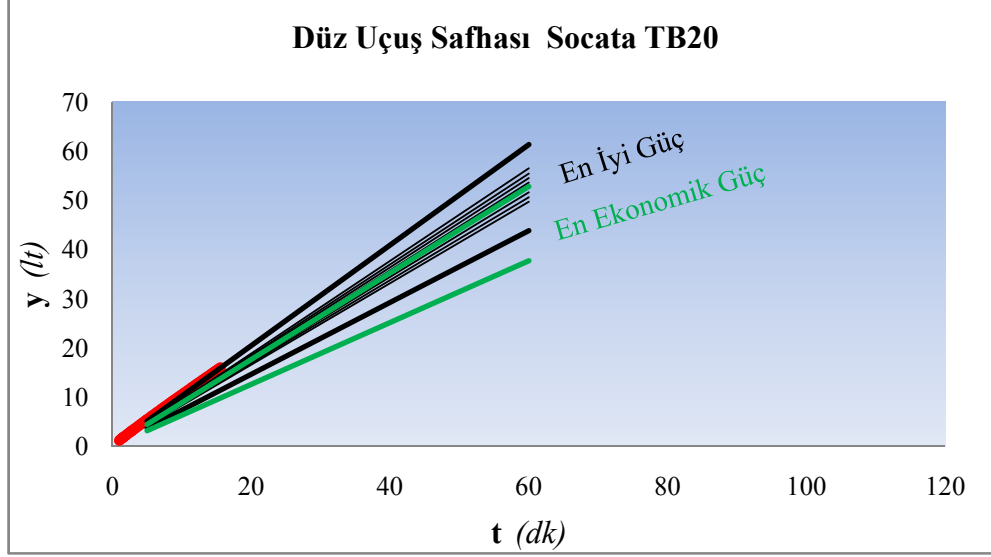
Şekil 3.30. Socata TB20 kalkış ve tırmanma safhası grafikleri [23, 25]

Kalkış ve tırmanma safhasında Socata TB20 uçağından alınan verilerin uçuş el kitabında verilerle uyumlu olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3.31. Cessna 172S düz uçuş safhası grafikleri [23]

Düz uçuş safhasında Cessna 172S uçağından alınan verilerin uçuş el kitabındaki 6000 feet standart atmosfer şartları için verilmiş olan verilerle karşılaştırılması sonucunda gerçek kullanımdaki yakıt tüketiminin %70 güç oranına karşılık geldiği tespit edilmiştir.



Şekil 3.32. Socata TB20 düz uçuş safhası grafikleri [25]

Düz uçuş safhasında Socata TB20 uçağından alınan verilerin uçuş el kitabındaki standart atmosfer şartları için verilmiş olan verilerle karşılaştırılması sonucunda gerçek kullanımdaki yakıt tüketiminin en iyi güç oranının üst değerlerinde olduğu tespit edilmiştir.

### 3.7. Entegre ATPL Kurs Uygulaması ve Analizi

Bölüm 3.3'te değerlendirilen veriler Cessna 172 ve Socata TB20 uçaklarının rastgele uçuşlarından alınmıştır. Bu nedenle bu verilerin sonuçlarını doğrudan karşılaştırmak uygun olmayacaktır. Bu uçakları karşılaştırabilmek için benzer şartları oluşturmak gerekir. Bunun için bölüm 3.3'te elde edilen değerler Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksekokulunun ATPL entegre kurs programına uygulanmıştır. Bu kurs süresince yapılan eğitim uçuşlarında ilk 49 sorti uçuş için Cessna 172S kalan sortilerde ise Socata TB20 uçakları kullanılmaktadır. Hazırlanmış ve sivil havacılık otoritesi tarafından onaylanmış

olan eğitim programına göre daha önce belirttiğimiz uçuş safhalarının süre dağılımı Ek-3 çizelge 1'de verilmiştir. Bu veriler değerlendirildiğinde ATPL programında safhaların ortalama süresi;

$$\bar{T}_j = \frac{1}{n_j} \sum_{k=1}^{n_j} t_{j,k} \quad (3.9)$$

deklemleri ile ifade edilir. Burada  $\bar{T}_j$ , safhaların ortalama süresini;  $n_j$ , safhalar için elde edilen veri sayısını;  $t_j$ , her görev için safha süresini göstermektedir.

ATPL programında her safha için uçak modeline bağlı toplam yakıt tüketimi;

$$Y_{ij} = n_j a_{ij} \bar{T}_j^{m_{ij}} \quad (3.10)$$

denklemleri ile ifade edilir. Burada Y, toplam yakıt tüketimini;  $n_j$ , safhalar için elde edilen veri sayısını;  $\bar{T}_j$ , safhaların ortalama süresini;  $m$ , zamanın üs ifadesini; i, uçak modelini; j, uçuş safhasını göstermektedir.

Bu durumda ATPL kursu için her bir safhanın ortalama süresi;

$$\bar{T}_1 = \frac{1}{100} \sum_{k=1}^{100} t_{1,k} = \frac{939,5}{100} = 9,39 \text{ dk}$$

$$\bar{T}_2 = \frac{1}{95} \sum_{k=1}^{95} t_{2,k} = \frac{701,76}{95} = 7,39 \text{ dk}$$

$$\bar{T}_3 = \frac{1}{94} \sum_{k=1}^{94} t_{3,k} = \frac{4271,98}{94} = 45,45 \text{ dk}$$

$$\bar{T}_4 = \frac{1}{41} \sum_{k=1}^{41} t_{4,k} = \frac{1466,6}{41} = 35,77 \text{ dk}$$



$$\bar{T}_{(5+6)} = \frac{1}{100} \sum_{k=1}^{100} t_{(5+6),k} = \frac{1947,4}{100} = 19,47 \text{ dk}$$

$$\bar{T}_7 = \frac{1}{100} \sum_{k=1}^{100} t_{7,k} = \frac{422,76}{100} = 4,23 \text{ dk}$$

olarak bulunur. Bu değerlere bağlı olarak Cessna 172S ve Socata TB20 için safhalara bağlı yakıt tüketime;

$$Y_{11} = n_1 a_{11} \bar{T}_1^{m_{11}} = 100(0,232(9,39)^{0,859}) = 158,9 \text{ lt}$$

$$Y_{21} = n_1 a_{21} \bar{T}_1^{m_{21}} = 100(1,017(9,39)^{0,389}) = 243 \text{ lt}$$

$$Y_{12} = n_2 a_{12} \bar{T}_2^{m_{12}} = 95(0,974(7,39)^{0,977}) = 653 \text{ lt}$$

$$Y_{22} = n_2 a_{22} \bar{T}_2^{m_{22}} = 95(1,864(7,39)^{0,756}) = 803,3 \text{ lt}$$

$$Y_{13} = n_3 a_{13} \bar{T}_3^{m_{13}} = 94(0,533(45,45)^{1,019}) = 2448,4 \text{ lt}$$

$$Y_{23} = n_3 a_{23} \bar{T}_3^{m_{23}} = 94(1,166(45,45)^{0,952}) = 4147,6 \text{ lt}$$

$$Y_{14} = n_4 a_{14} \bar{T}_4^{m_{14}} = 41(0,480(35,77)^{1,082}) = 943,9 \text{ lt}$$

$$Y_{24} = n_4 a_{24} \bar{T}_4^{m_{24}} = 41(1,401(35,77)^{0,916}) = 1521,4 \text{ lt}$$

$$Y_{17} = n_7 a_{17} \bar{T}_7^{m_{17}} = 100(0,116(4,23)^{1,076}) = 54,8 \text{ lt}$$

$$Y_{27} = n_7 a_{27} \bar{T}_7^{m_{27}} = 100(0,663(4,23)^{0,387}) = 115,8 \text{ lt}$$

olarak hesaplanır. Socata TB20 uçaklarından gerçek uçuş şartlarında ayrı olarak meydan turu safhası için veriler alınmamış olup, bu uçaklardan alçalma/iniş (j=5) ve meydan turu (j=6) safhalarının toplamı için veriler alınmıştır. Bu nedenle Cessna 172S uçaklarında karşılaştırmanın sağlıklı yapılabilmesi için alçalma/iniş ve meydan turu safhaları için ayrı olarak alınan veriler birleştirilmiştir (j=5+6). Birleştirme işlemi için meydan turu sayısı Ek-3 çizelge 1'den elde edilmiştir. Bu durumda;

$$Y_{1(5+6)} = Y_{15} + Y_{16} = n_5 a_{15} \bar{T}_5^{m_{15}} + n_6 a_{16} \bar{T}_6^{m_{16}} \quad (3.11)$$

olur. Burada,

$$\bar{T}_5 = \frac{(\bar{T}_{(5+6)} \times n_{(5+6)}) - (n_6 \times \bar{t}_{16})}{n_{(5+6)}} = \frac{(19,47 \times 100) - (121 \times 5,72)}{100}$$

$$\bar{T}_5 = 12,55 \text{ dk}$$

olarak bulunur.

$$Y_{1(5+6)} = 100(0,156(12,55)^{1,355}) + 121(0,630(5,72)^{0,926}) = 864 \text{ lt}$$

$$Y_{2(5+6)} = n_{(5+6)} a_{1(5+6)} \bar{T}_{(5+6)}^{m_{1(5+6)}} = 100(0,734(19,47)^{1,037}) = 1595 \text{ lt}$$

olarak hesaplanır.

ATPL kursunun toplam süresi;

$$T = \sum_{k=1}^j n_j \bar{T}_{j,k} \quad (3.12)$$

$$T = \sum_{k=1}^7 n_j \bar{T}_{j,k} = 9750 dk = 162,5 \text{ saat}$$

olur. Bu kurs için toplam yakıt tüketimi;

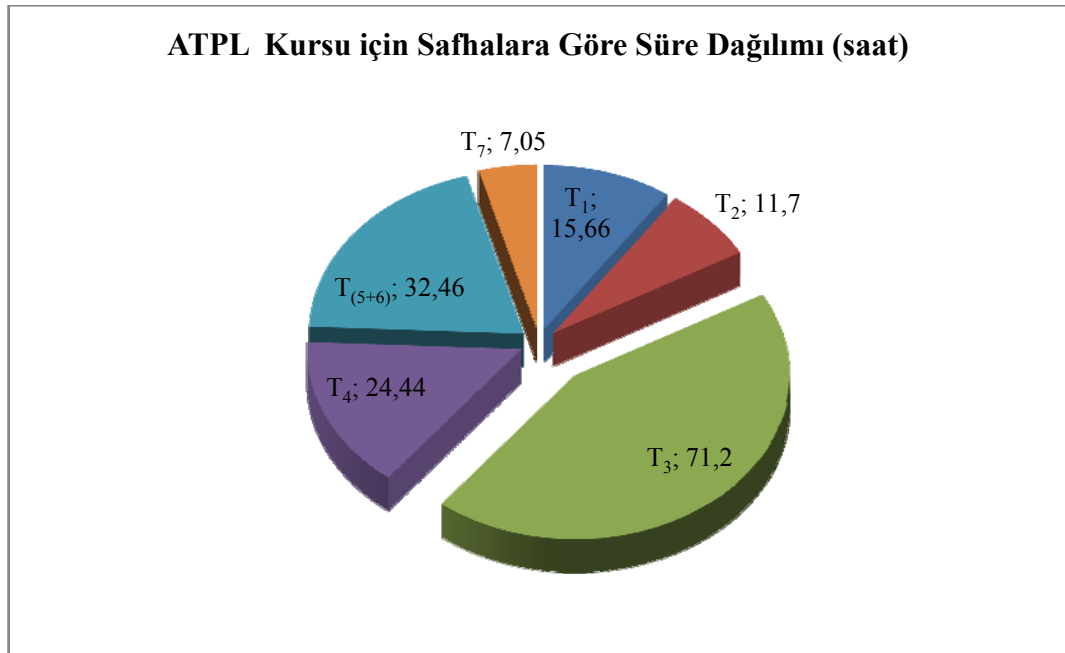
$$Y_i = \sum_{k=1}^j Y_{ij,k} \quad (3.13)$$

$$Y_1 = \sum_{k=1}^7 Y_{1j,k} = 5123 \text{ lt}$$

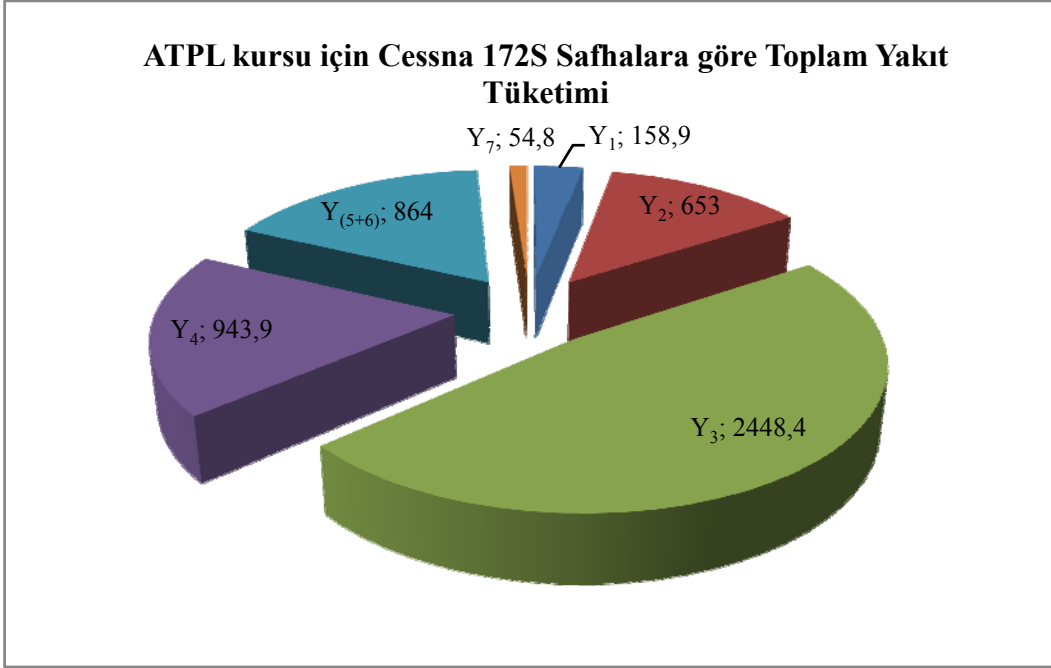
$$Y_2 = \sum_{k=1}^7 Y_{2j,k} = 8426,1 \text{ lt}$$

olarak bulunur.

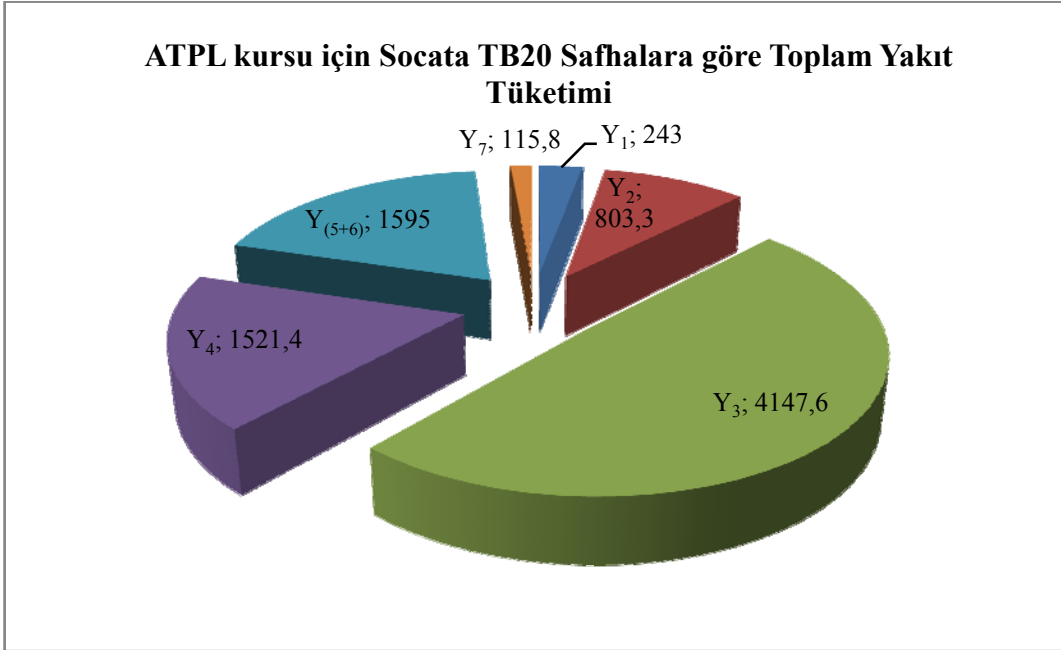
ATPL kursu için toplam süre ve toplam yakıt tüketimi hesaplanırken motor çalıştırma safhasındaki süre ve yakıt tüketimi uçuş süresi fren bırakma anından başladığı için değerlendirilmeye katılmamıştır. Bu süre deneyde elde edilen verilere göre yaklaşık 2,3 dakikadır.



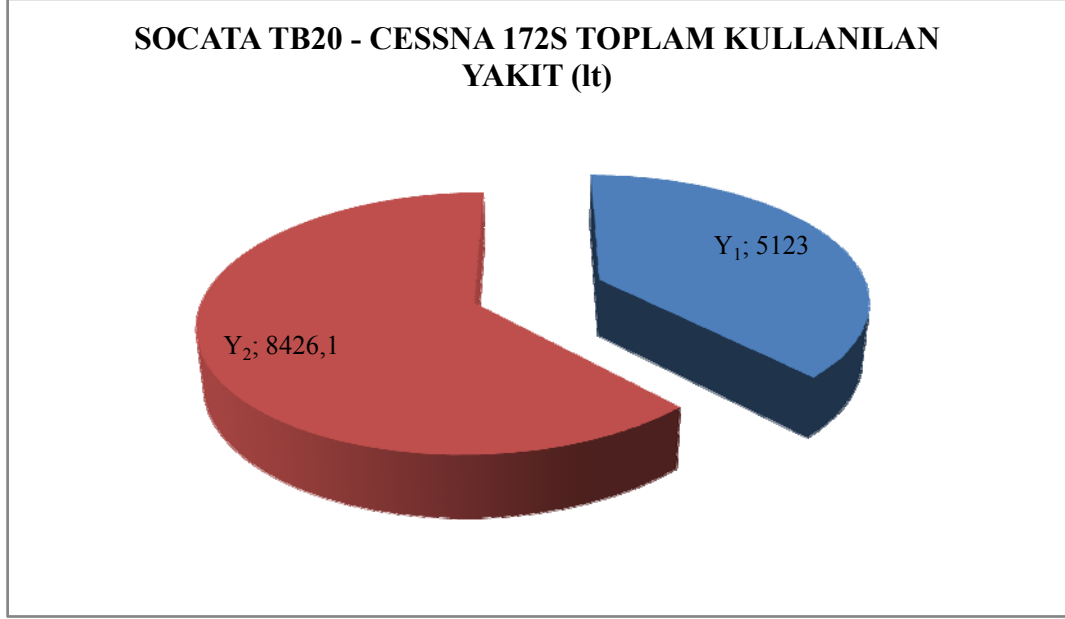
Şekil 3.33. ATPL Kursu için Safhalara Göre Süre Dağılımı



Şekil 3.34. Cessna 172S safhalara göre yakıt tüketimi



Şekil 3.35. Socata TB20 safhalara göre yakıt tüketimi



**Şekil 3.36.** Cessna 172S, Socata TB20 toplam yakıt tüketimleri

Yukarıdaki grafiklerde görüldüğü gibi ATPL programı içinde yakıt tüketimi ve süresi en fazla olan safha düz uçuş safhasıdır. Ayrıca Cessna 172S uçağının Socata TB20 uçağına göre daha ekonomik olduğu açıkça görülmektedir.

### 3.8. Motor Gücü ve Uçak Ağırlığının Etkisi

Bölüm 3.7’da Cessna 172S ve Socata TB20 uçakları için elde edilen safhalara bağlı yakıt tüketim değerlerini aşağıdaki şekilde uçak ağırlığı ve motor gücü çarpımı ile oranladığımızda çizelge 3.2’deki değerleri elde ederiz.

$$k = \frac{Y}{MTOW \times P_{max}} \quad (lt/kgBG) \quad (3.14)$$

$$Y = k \times MTOW \times P_{max} \quad (lt) \quad (3.15)$$

**Çizelge 3.2.** Cessna 172S, Socata TB20 için safhalara göre k katsayısı

j	$n_j \bar{T}_j$ (Saat)	Cessna 172S MTOW=1157 kg, P <sub>max</sub> =180 BG		Socata TB20 MTOW=1400 kg, P <sub>max</sub> =250 BG	
		Y (lt)	$k_c = \frac{Y}{MTOW \times P_{max}}$ (lt/kgBG)	Y (lt)	$k_s = \frac{Y}{MTOW \times P_{max}}$ (lt/kgBG)
1	15,66	158,9	0,000763	243	0,000694
2	11,70	653	0,003136	803,3	0,002295
3	71,20	2448,4	0,011756	4147,6	0,01185
4	24,44	943,9	0,004532	1521,4	0,004347
5+6	32,46	864	0,004149	1595	0,004557
7	7,05	54,8	0,000263	115,8	0,000331
<b>Toplam</b>	162,5	5123	0,024599	8426,1	0,024075

Çizelge 3.2’de görüldüğü gibi Cessna 172S uçakları için elde edilen  $k_c$  ve Socata TB20 uçakları için elde edilen  $k_s$  katsayıları birbirlerine oldukça yakın değerlerdir. Burada Socata TB20 uçaklarından verilerin pilotlar tarafından alındığı dikkate alındığında Cessna 172S uçaklarından alınan verilerin daha hassas olduğu dolayısı ile  $k_s$  katsayılarının  $k_c$  katsayılarını desteklediği kabul edilebilir ve  $k_c$  katsayıları TB20 içinde kullanılabilir. Bu durumda, diğer tek piston motorlu uçaklar için de bu katsayılar kullanılarak yakıt tüketim değerleri hesaplanabilir. Bu durumun ispatı olan diğer uçaklarla karşılaştırma grafikleri Şekil 3.37’de verilmiştir<sup>5</sup>. Bu durumda toplam uçuş için yakıt tüketim denklemi;

<sup>5</sup> Grafik üzerinde tanımlanan “Ydenklem 3.16” ifadesinde belirtilen yakıt değerleri denklem 3.16 ile elde edilmiştir. “Y[31]” ifadesinde belirtilen yakıt değerleri kaynak [31]’den alınmıştır. “Y%75” ifadesinde belirtilen yakıt değerleri o model uçağın %75 güç oranında tükettiği yakıttır ve büyük bölümü kaynak [32]’den alınmıştır. “Y%65” ifadesinde belirtilen yakıt değerleri o model uçağın %65 güç oranında tükettiği yakıttır ve büyük bölümü kaynak [32]’den alınmıştır. “Y%55” ifadesinde belirtilen yakıt değerleri o model uçağın %55 güç oranında tükettiği yakıttır ve büyük bölümü kaynak [32]’den alınmıştır. “Yd” ifadesinde belirtilen yakıt değerleri diğer kaynaklardan alınan değerleri göstermektedir. Bu kaynaklar diğer internet siteleri, üretici firma internet siteleri ve uçaklara ait uçuş el kitaplarından alınan verilerdir.

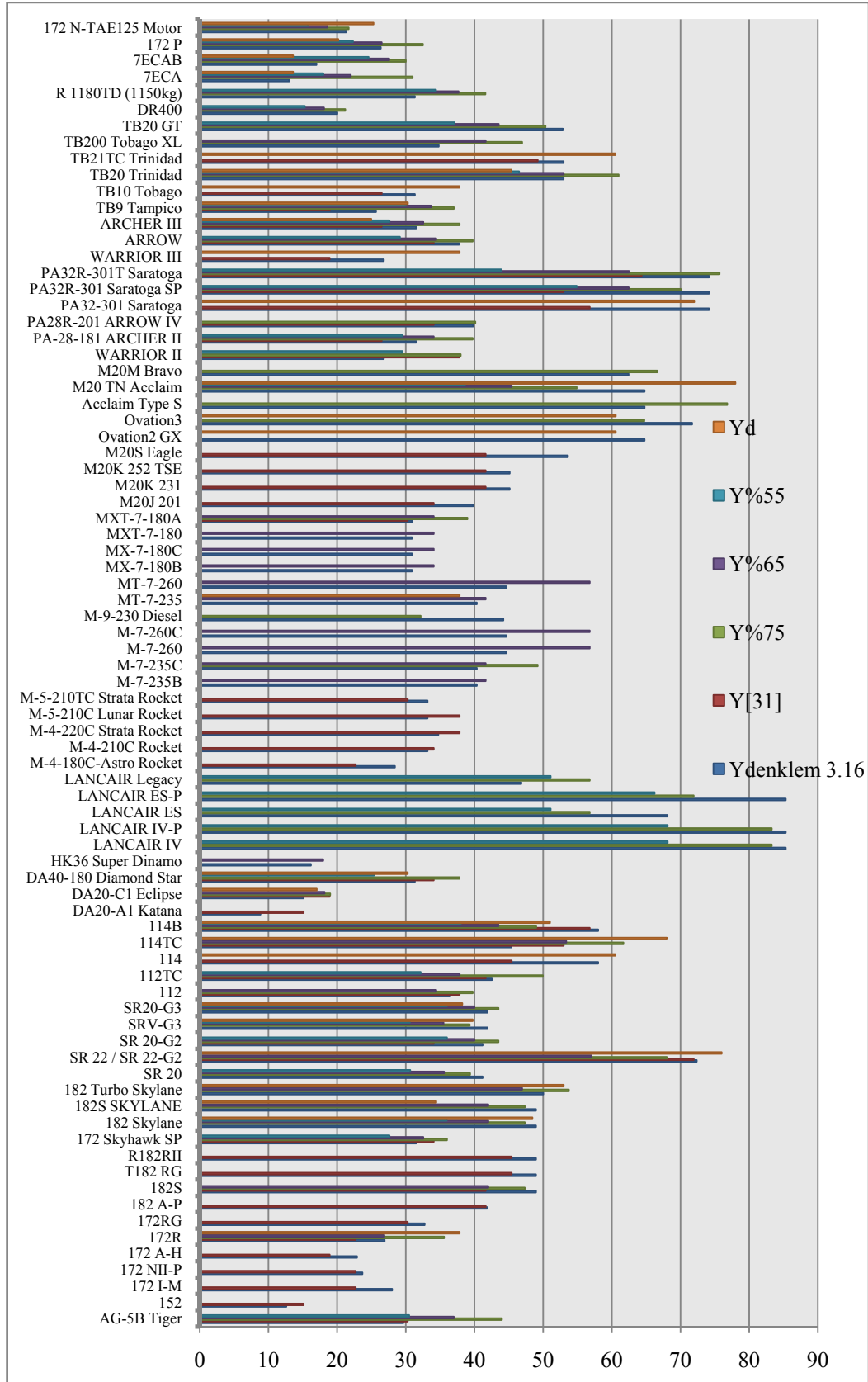
$$Y = 1,51385 \times 10^{-4} MTOW \times P \text{ (lt/saat)} \quad (3.16)$$

olarak ifade edilebilir. Planequest.com internet sitesinde [31] yakıt tüketimleri verilen 44 uçaktan 20'si (%45,5) için yakıt tüketiminin 3.16 denklemine göre  $\pm\%10$  hata aralığında olduğu bulunmuştur. 44 uçağın tamamı için ortalama karekök hata  $\%19,1$  dir. Ayrıca, Planequest.com'da verilen yakıt tüketimlerinin uçuş el kitaplarından farklı sonuçlar da verdiği görülmektedir. Planequest.com'da verilen yakıt tüketimleri genellikle eğitim değil de seyahat amaçlı uçuşlar için verilmektedir. Bu nedenle, eğitim uçuşlarına dayalı 3.16 denkleminin daha yüksek yakıt sarfıyatı vermesi doğaldır. Diğer kaynaklarda yakıt tüketimleri verilen 27 uçaktan 11'inin (%40,7) yakıt tüketiminin 3.16 denklemine göre  $\pm\%10$  hata aralığında olduğu bulunmuştur. 27 uçağın tamamı için ortalama karekök hata  $\%20$  dir. Uçuş el kitaplarında verilen yakıt tüketimleri için yapılan karşılaştırmada 54 uçaktan 33'ü (%61,1) için yakıt tüketiminin 3.16 denklemine göre  $\pm\%10$  hata aralığında olduğu bulunmuştur. Bu durumda, 54 uçağın tamamı için ortalama karekök hata  $\%13,4$  tür. Görüldüğü gibi 3.16 denklemini uçuş el kitaplarına daha yakın sonuçlar vermektedir.

Ayrıca ATPL şartlarından farklı safha sürelerine sahip uçuşlar için, herhangi bir tek piston motorlu pervaneli bir uçağın bir sorti uçuş toplam yakıt tüketimi;

$$Y = \left[ (8,12048 \times 10^{-7} \times t_1 ) + (4,47 \times 10^{-6} \times t_2 ) + (2,75 \times 10^{-6} \times t_3 ) + (3,09 \times 10^{-6} \times t_4 ) + (2,13 \times 10^{-6} \times t_{(5+6)}) + (6,2175 \times 10^{-7} \times t_7 ) \right] \times MTOW \times P \text{ (lt)} \quad (3.17)$$

denklemini ile bulunabilir.



Şekil 3.37. Uçaklarda yakıt tüketim değerlerinin karşılaştırma grafiği <sup>5</sup>[31-75]

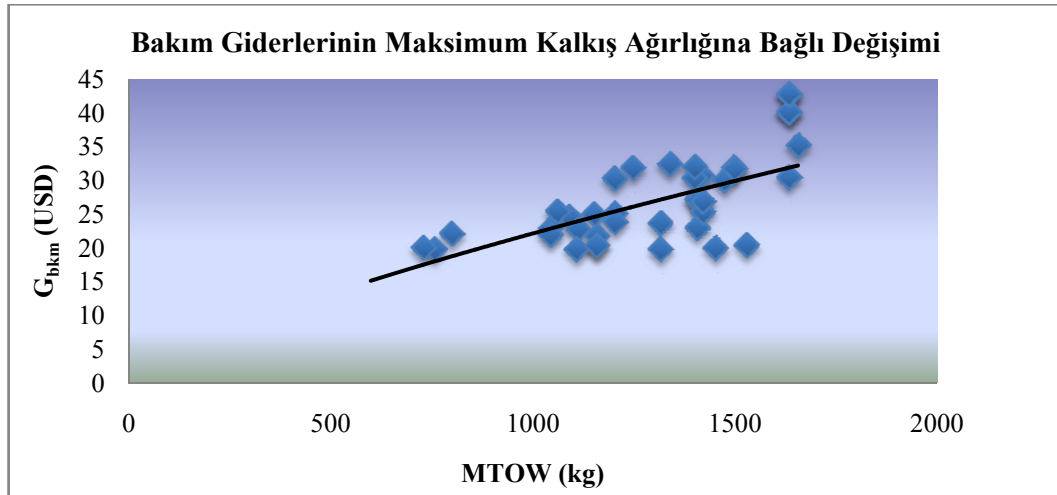


#### 4. DEĞİŞKEN DİREKT İŞLETME GİDERLERİNİN UÇAK KARAKTERİSTİKLERİ İLE İLİŞKİSİ

Değişken direkt işletme giderlerinin uçak karakteristikleri ile ilişkisini analiz etmek için <http://www.planeandpilotmag.com>, <http://www.planequest.com>, <http://www.whattofly.com> internet sitelerinde bulunan verilerden, uçak üretici firma internet sitelerinden, uçak uçuş el kitaplarından, FAA ve EASA'nın yayınlamış oldukları uçak tip sertifikalarından veriler toplanmıştır. İncelenmek istenen tüm uçaklarla ilgili yakıt, bakım, motor yenileştirme ve pervane yenileştirme giderlerini elde etmek mümkün değildir. Yakıt giderlerinin hesaplanmasında bölüm 3' te yapılan analizin sonucunda bulunan bağıntı kullanılmıştır. Bakım, motor yenileştirme ve pervane yenileştirme giderlerini hesaplamak için elde edilen verileri değerlendirerek diğer uçakların verilerini hesaplamak gerekmektedir. Bunun için bölüm 4.1 ve bölüm 4.2'de elde edilen denklemler kullanılmıştır.

##### 4.1. Bakım Giderlerinin Hesaplanması

Uçakların bakım giderlerini hesaplamak için yukarıda açıklanan kaynaklardan elde edilen verilerden maksimum kalkış ağırlığına bağlı bakım giderleri değişim grafiği aşağıda çıkarılmıştır.

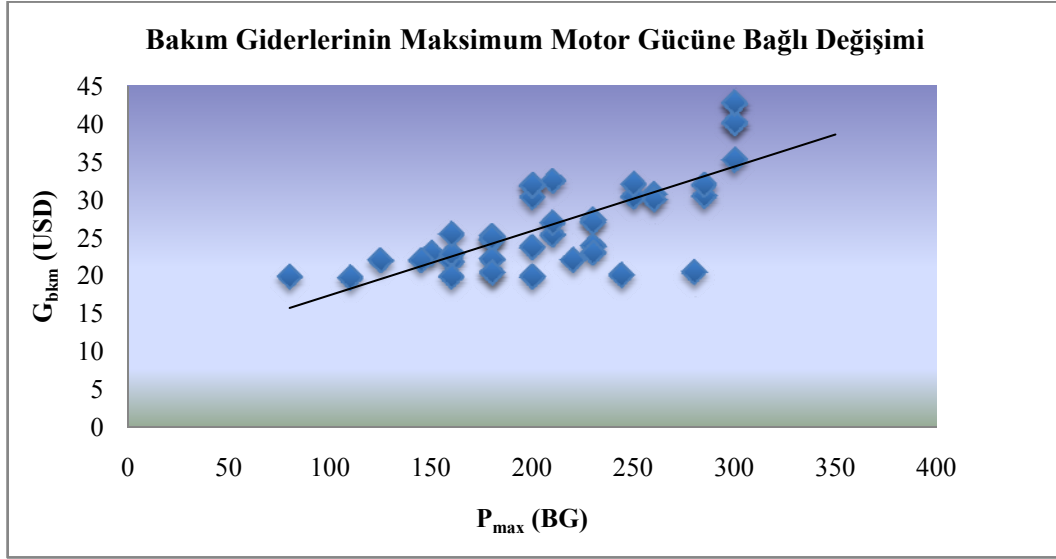


Şekil 4.1. Bakım giderlerinin maksimum kalkış ağırlığına bağlı değişim grafiği [31-75]

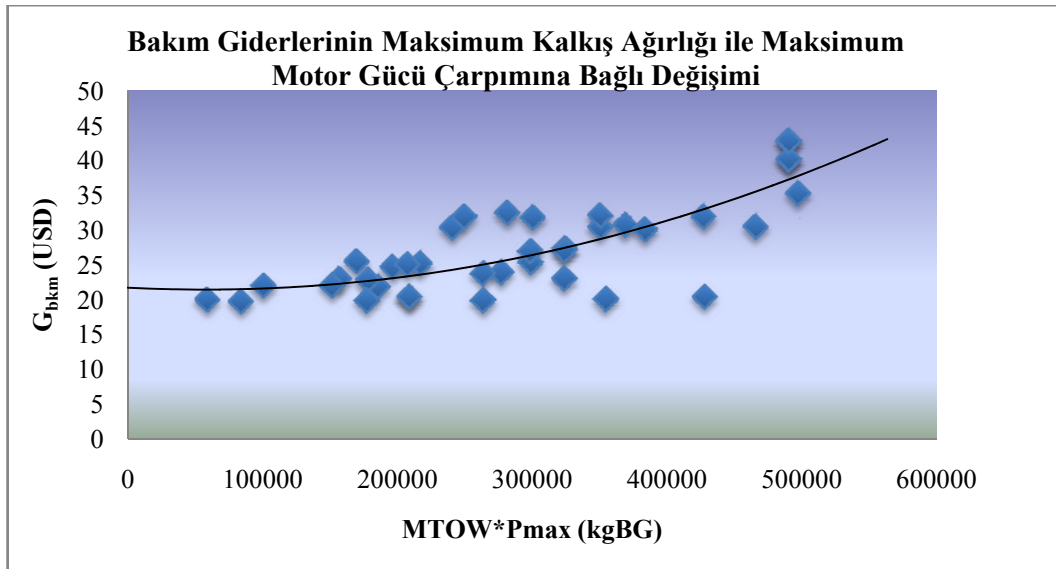
Elde edilen verilerden bakım giderleri ile maksimum kalkış ağırlığının grafiği oluşturularak, maksimum kalkış ağırlığına bağlı bakım giderleri denklemi;

$$G_{\text{bkm}} = 0,1289 \times MTOW^{0,7447} \text{ USD} \quad (4.1)$$

elde edilir.

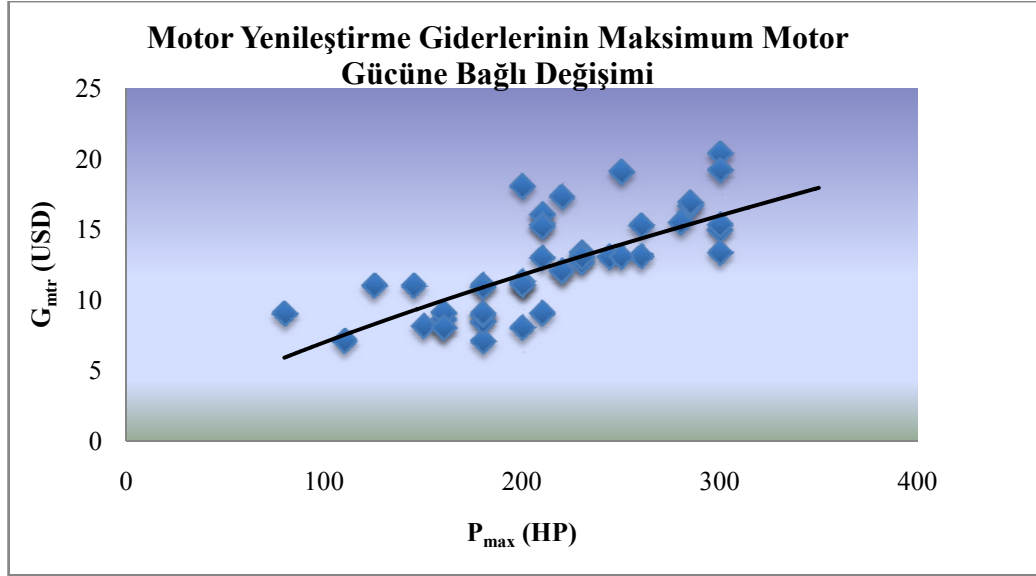


Şekil 4.2. Bakım giderlerinin maksimum güce bağlı değişim grafiği [31-75]



Şekil 4.3. Bakım giderlerinin maksimum kalkış ağırlığı ile maksimum gücün çarpımına bağlı değişim grafiği [31-75]

#### 4.2. Motor Yenileştirme Giderlerinin Hesaplanması



Şekil 4.4. Motor yenileştirme giderlerinin maksimum motor gücüne bağlı değişim grafiği [31-75]

Elde edilen verilerden motor revizyon giderleri ile maksimum motor gücünün grafiği oluşturularak, maksimum motor gücüne bağlı motor revizyon giderleri denklemi;

$$G_{mtr} = 0,2175xP_{max}^{0,7531} USD \quad (4.2)$$

elde edilir.

#### 4.3. Pervane Yenileştirme Giderlerinin Hesaplanması

Kaynak [31-75]'ten edilen veriler incelendiğinde maksimum kalkış ağırlığı 1100 kg'ın altındaki uçaklar için pervane yenileştirme giderleri 1 USD, 1100-1650 kg arasındaki uçaklar için yaklaşık 2 USD olduğu görülmüştür. Bu nedenle incelenen uçaklarda pervane revizyon giderlerini hesaplamak için bu kabul kullanılmıştır.

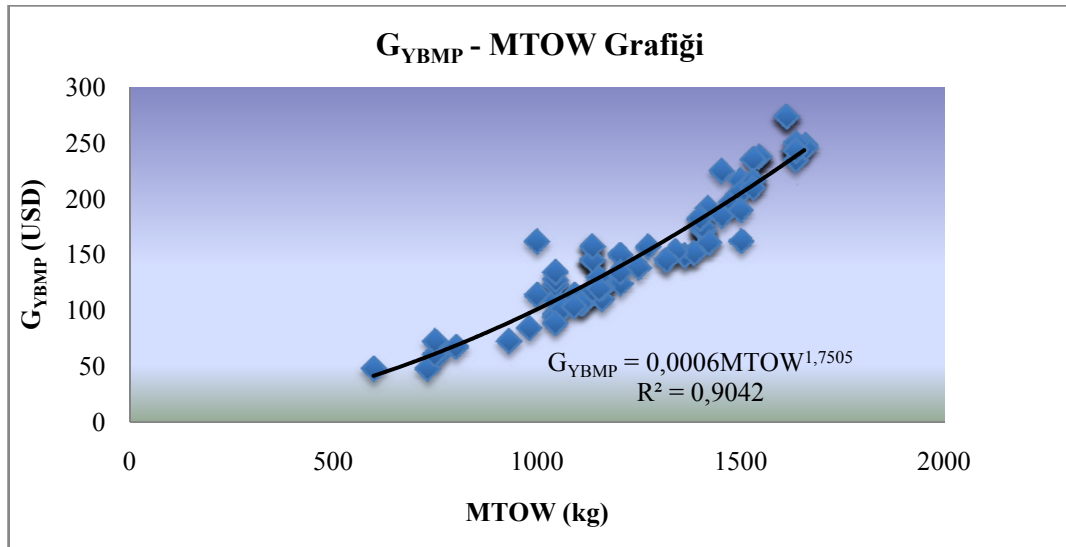
#### 4.4. Uçak Ağırlığı ve Motor Gücünün Değişken Direkt İşletme Giderlerine Etkisi

İşletme karakteristikleri bölüm 2’de açıklanmıştır. Bu bölümde uçak değişken direkt işletme giderlerinin uçak ağırlığı ve motor gücüne bağlı olarak değişimi incelenmiştir. Değişken direkt işletme giderlerinden yakıt giderlerinin, bakım giderlerinin, motor yenileştirme giderlerinin, pervane yenileştirme giderlerinin toplamı değerlendirmeye katılmıştır.

$$G_{YBMP} = G_{ykt} + G_{bkm} + G_{mtr} + G_{PR} \quad (4.3)$$

denklemden incelenen tüm uçaklar için maksimum kalkış ağırlığına bağlı  $G_{YBMP}$  değişimi Şekil 4.5’te verilen grafikte gösterilmiştir. Yakıt giderleri denklem 3.16<sup>6</sup>, bakım giderleri denklem 4.1, motor yenileştirme giderleri denklem 4.2 kullanılarak, pervane yenileştirme giderleri bölüm 4.3’te açıklandığı şekilde hesaplanmıştır.

##### 4.4.1. Maksimum kalkış ağırlığının $G_{YBMP}$ ’ye etkisi



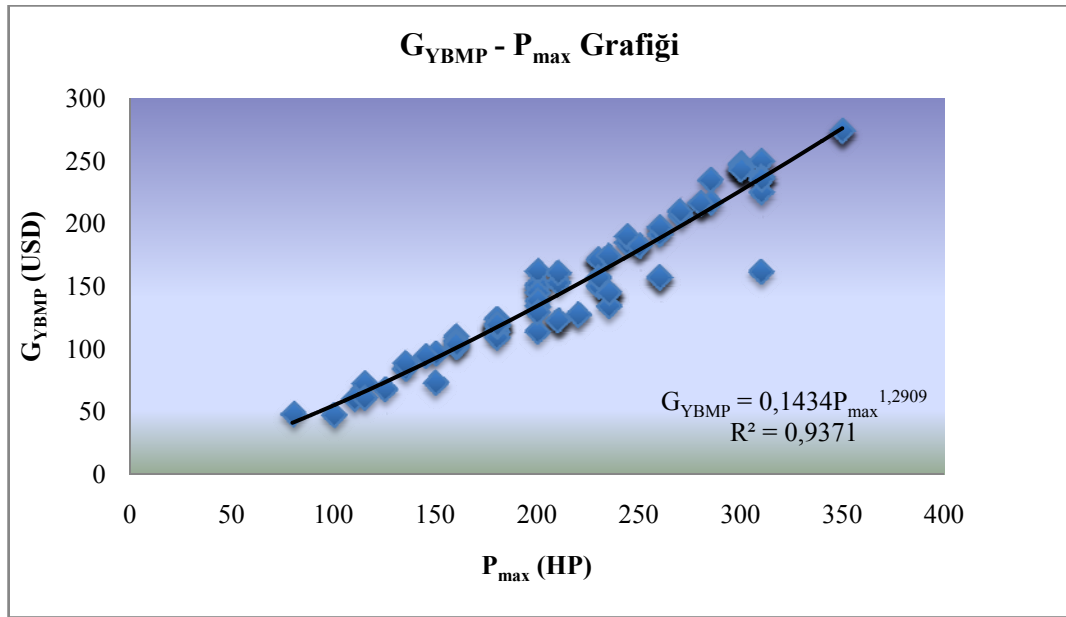
Şekil 4.5.  $G_{YBMP}$  – MTOW grafiği [31-75]

<sup>6</sup> Piston motorlu uçaklarda kullanılan 100/130 oktan yakıt fiyatı 2,60 USD/lit olarak alınmıştır.

Grafikte görüldüğü gibi  $G_{YBMP}$  uçak maksimum kalkış ağırlığı ile artmaktadır. Bu değişimin sebepleri aşağıdaki gibi açıklanabilir.

- Uçak ağırlığının artması daha güçlü motor kullanılmasını gerektirir. Bu durum yakıt giderlerinin ve motor yenileştirme giderlerinin artmasına neden olur.
- Uçak ağırlığının artması üzerinde daha fazla ve daha ayrıntılı sistemler (örneğin toplanabilir iniş takımları) olduğu anlamına gelebilir. Bu durum bakım giderlerinin artmasına neden olur.
- Uçak ağırlığının artması ile birlikte verimi arttırmak için değişken hatveli pervane kullanılmasını gerektirir. Bu durum pervane yenileştirme giderlerinin artmasına neden olur.

#### 4.4.2. Maksimum motor gücünün $G_{YBMP}$ 'ye etkisi



Şekil 4.6.  $G_{YBMP} - P_{max}$  grafiği [31-75]

Grafikte görüldüğü gibi  $G_{YBMP}$  maksimum motor gücü ile artmaktadır. Bu değişimin sebepleri aşağıdaki gibi açıklanabilir.

- Uçak motor gücünün artması yakıt giderlerinin ve motor yenileştirme giderlerinin artmasına neden olur.

- Uçak motor gücünün artması motorun daha ağır bir uçağa takıldığı veya hafif uçağa takıldıysa genellikle akrobasi yapmak için kullanılan bir uçağa takıldığı anlamına gelir. Bu durumlar bakım giderlerinin artmasına neden olur.

## 5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Çalışmanın giriş bölümünde açıklandığı gibi kişisel hava araçlarının geliştirilmesi ile ilgili projeler tüm dünyada özellikle ABD’de yürütülmektedir ve 2020 yılına kadar bu projenin tamamlanması planlanmaktadır. Bu projenin gerçekleştirilmesi durumunda kişisel hava araçları kısa ve orta menzilli uçuşlarda karayolu taşımacılığına alternatif olacaktır. Dolayısı ile pazar payı çok büyük olan bu projelere yönelik çalışmalar yapılması önemlidir. Ayrıca bu gelişme uçuş eğitimi için de çok büyük bir pazar oluşturacaktır. Dolayısı ile bu konudaki çalışmalara katılmak, çalışmaları yakından izlemek ve uçuş eğitimi için gerekli olan çalışmaları zamanında yapmak bu pazar payından faydalanmak için önemlidir. Ayrıca FAA kayıtlarına göre 2025 yılına kadar yıllık yaklaşık yüz bin öğrenci pilotun olacağı tahmin edilmektedir. Bu durum eğitimde doğru uçak kullanarak maliyetlerin düşürülmesinin çok önemli olduğu görülmektedir.

Direkt değişken işletme giderlerini en fazla etkileyen faktör yakıt tüketimidir. Araştırmanın bulgularına göre yakıt tüketimi uçak ağırlığı ve motor gücü’ne bağlı olarak değişmektedir. Bu durumda uçuş eğitimi yapılacak bölgenin coğrafi ve meteorolojik koşullarına uygun en hafif ve en düşük motor güçlü uçağın, yani uçak ağırlığı ile motor gücü çarpımı en küçük olan uçağın seçilmesi yakıt tüketiminde, dolayısı ile değişken direkt işletme giderlerinin düşürülmesinde avantaj sağlayacaktır. Araştırmada kullanılmış olan iki uçak için bir ATPL eğitim programında yaklaşık 3300 litre yakıt tüketim farkı oluşmaktadır. Uygun uçağın kullanılması ülke ekonomisine önemli katkı sağlayacağı gibi direkt işletme maliyetlerinin düşürülmesi ve rekabet gücünün artırılması için de oldukça önemlidir. Düşük yakıt tüketimi, ayrıca çevrenin korunması bakımından da önemlidir.

Uçakların teknik işletme karakteristikleri değerlendirildiğinde uçakların kullanımı açısından VFR uçuş süresinin ve uçuşa elverişli gün sayısının yüksek olduğu bölgelerde eğitim merkezleri kurmak daha avantajlı bir durumdur. Ayrıca uçakların bakımlarının daha kısa sürede yapılması ve arızaların giderilme süresi bakım kuruluşunun uygun ekipmanlara sahip olması ve teknik personelin kapasiteleri ile yakından ilgilidir. Dolayısı ile teknik personelin gelişen

teknolojileri yakından takip etmesi ve kendini geliştirmesi de çok önemlidir. Ayrıca bakım kuruluşu da teknik personelin eğitimi için gerekli şartları sağlaması ve ilgili konularda yeterli teknik eğitim almaları için ilgili kurslara gitmelerini sağlaması da verimliliğin artırılması için önemlidir. Anadolu Üniversitesi SHYO için uçakların kullanım sürelerini etkileyen en önemli konulardan biri de komponent revizyon kabiliyetlerinin sınırlı olmasıdır. Anadolu Üniversitesi SHYO kendi bakım kuruluşu içinde özellikle pervane revizyon, yakıt sistem komponentlerinin revizyon kabiliyetlerini kazanması uçakların kullanım sürelerini arttıracaktır.

Uçakların yakıt tüketimlerini hesaplamak için standart atmosfer şartlarında ve belirli bir uçuş konfigürasyonunda uçuş yapıldığı kabul edilir. Gerçekte ise uçuş dinamiklerdir, atmosfer şartları ve uçuş konfigürasyonu sürekli olarak değişir. Gerçek uçuş şartlarında bu çalışmada yapılan deney sonunda elde edilen 3.16 ve 3.17 denklemleri yakıt giderlerini belirlemek için tek piston motorlu uçakların ortalama yakıt tüketimlerinin hesaplanmasında büyük kolaylık sağlayacaktır.

Deneyde oluşan uçuş şartları tek piston motorlu uçakların genel kullanım şartlarını büyük ölçüde karşılamaktadır. Eğitim dışında, genellikle kişisel gezi amaçlı kullanıma yönelik üretilen bu uçakların yakıt tüketim giderlerini hesaplamak için de denklem 3.16 ve 3.17 kullanılabilir.

Deneyde kullanılan uçaklarda 100/130 oktan yakıt kullanılmaktadır. Farklı tip yakıt kullanan uçaklar için denklem 3.16 ve 3.17'nin uygunluğu ayrıca araştırılmalıdır.

Denklem 3.16 ve 3.17 ortalama yakıt tüketim giderlerinin hesaplanmasında kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Uçuş ile ilgili tüm hesaplamalarda uçak uçuş el kitaplarının kullanılması esastır.

Deney şartlarından çok büyük farklılık gösteren atmosfer şartlarında yapılan uçuşlar için denklem 3.16 ve 3.17'nin uygunluğu ayrıca araştırılmalıdır.

2025 yılına kadar FAA'in yaptığı tahminlere göre genel havacılık içinde turbojet uçakların üretiminde ve kullanımında önemli artış beklenmektedir. Uçuş okullarında bu tip uçaklara yönelik tip eğitimi vermek için çalışmalar yapmak önemlidir.



Tek piston motorlu uçaklar genel havacılık içinde yer alan turboprop ve turbojet uçaklarla karşılaştırıldığında işletme giderleri açısından oldukça ekonomik uçaklardır. Bu nedenle genel havacılık içinde önemini her zaman koruyacaklardır.

Taksi safhası uçuş eğitim süresi içinde yer aldığı için motor çalıştırma işleminden sonra motor ısıtma süresinin uzun olmayacağı atmosfer şartlarında taksi mesafesinin kısa olması öğrencinin daha fazla süreyi uçuşta geçirmesi açısından avantajlıdır.

Deneyde elde edilen verilere göre entegre ATPL kursunda uçuşun yaklaşık yarısı düz uçuş safhasından oluşmaktadır. Özellikle düz uçuş rejim ayarlarında ekonomik rejim ayarlarının seçilmesi yakıt tüketimini azaltacağı için işletme giderlerini de düşürecektir.

## Ek-1 Cessna 172S Uçağından alınan veriler

Çizelge 1. Cessna 172S için gözlenen değerler

N	t <sub>10</sub>	y <sub>10</sub>	t <sub>11</sub>	y <sub>11</sub>	t <sub>12</sub>	y <sub>12</sub>	t <sub>13</sub>	y <sub>13</sub>
1	1,9	0,26	8,9	1,45	5,5	5,45	12,3	6,98
2	1,8	0,22	9	1,62	4,4	4,2	5,8	3,76
3	1,9	0,25	11,2	1,64	5,8	5,72	12,1	6,63
4	2,2	0,26	13,2	2,01	6	5,77	44,3	23,39
5	1,5	0,2	7,9	1,36	11,8	11,67	24,3	13,45
6	1,8	0,26	7,8	1,36	5,9	5,86	45,7	23,8
7	2,7	0,4	4,1	0,84	5,2	5,12	68,8	39,37
8	2,3	0,32	10	1,58	3,3	3,12	3,8	2,05
9	1,3	0,18	10,7	1,73	9,6	9,13	37,6	21,68
10	5,3	0,71	11,3	1,99	6,1	5,95	15,7	8,89
11	5,5	0,74	12,2	2,01	8,5	7,78	37,6	20,67
12	4,4	0,63	10,5	1,83	11,6	10,1	73,3	43,05
13	2,8	0,49	10,6	1,52	5	4,67	37,7	22,63
14	4,1	0,64	10,8	1,84	6,7	6,16	9,1	5,21
15	3,3	0,42	10,6	1,76	6,6	6,55	29,8	17,64
16	2	0,28	7,4	1,29	5,6	5,43	12,1	6,64
17	1,9	0,19	5,2	0,82	8,6	8,25	29,3	17,61
18	3,3	0,48	8,3	1,51	7,8	7,63	63,8	38,12
19	4,4	0,6	9,8	1,68	5,8	5,66	12,8	7,05
20	5	0,69	8,6	1,63	7,8	6,93	24,8	13,74
21	0,8	0,09	8,6	1,69	8,6	8,02	19,9	10,97
22	1,8	0,22	6,4	1,14	4,9	4,77	11,8	6,71
23	0,7	0,09	5,2	0,95	5,3	5,06	24,2	14,34
24	1,4	0,21	5,3	0,9	4,7	4,57	20,7	12,28
25	3,3	0,46	10,5	1,5	8,6	7,57	61,6	37,07
26	1,8	0,24	7,1	1,18	7,6	6,87	35,4	20,77
27	1,5	0,19	7,7	1,21	3,6	3,3	28,8	13,05
28	1,8	0,23	7,4	1,14	5	4,86	40,5	24,24
29	1,4	0,17	8,9	1,72	8,7	7,99	8,1	3,52
30	1,7	0,28	7,3	1,42	10,7	9,62	32,1	19,45
31	1,4	0,18	6	1,04	5,7	5,59	27,5	16,99
32	1,5	0,2	8,4	1,37	3,1	2,88	31,1	18,8
33	2,3	0,32	9	1,49	6,2	5,49	16,7	9,99
34	3	0,42	7	1,24	6,3	5,89	58,4	35,18
35	3	0,41	9,1	1,53	5,1	5,02	98,7	59,37
36	1,7	0,19	7	1,34	7,3	6,71	91,8	48,52
37	1,2	0,15	9	1,51	3,8	3,53		
38	2,3	0,32	10,2	1,88	7,5	7,22		

<b>39</b>	1,9	0,27	8,9	1,67	4,3	3,62
<b>40</b>	1,3	0,21	6,1	1,35	3,3	2,51
<b>41</b>	1	0,13	6,9	1,41	5,4	5,24
<b>42</b>	1,6	0,18	9,2	1,65	6,4	6,22
<b>43</b>	3,3	0,46	7,7	1,14	7,1	6,58
<b>44</b>	1,2	0,14	7,5	1,37	6,3	6,07
<b>45</b>	3,3	0,51	10,4	1,69	4,7	4,35
<b>46</b>	0,8	0,08	8,1	1,53	6,6	6,22
<b>47</b>	1,8	0,21	4,4	0,73	6,4	6,18
<b>48</b>					6,7	6,27
<b>49</b>					5,8	5,36
<b>50</b>					13	10,94
<b>51</b>					8,6	8,22
<b>52</b>					7	6,38
<b>53</b>					3,8	3,31
<b>54</b>					14,6	11,57
<b>55</b>					5,5	4,61
<b>56</b>					7,7	7,27
<b>57</b>					11,7	10,85
<b>58</b>					5,8	5,58
<b>59</b>					6,7	6,34
<b>60</b>					8,4	8,09
<b>61</b>					10	9,38
<b>62</b>					9,7	9,22
<b>63</b>					1,9	1,87
<b>64</b>					1,2	1,17
<b>65</b>					1,8	1,76

Çizelge 1(devam). Cessna 172S için gözlenen değerler

N	t <sub>14</sub>	y <sub>14</sub>	t <sub>15</sub>	y <sub>15</sub>	t <sub>16</sub>	y <sub>16</sub>	t <sub>17</sub>	y <sub>17</sub>
1	37,9	25,49	4,8	1,17	8	4,31	4,6	0,68
2	44,1	23,47	3,4	0,73	7,4	4,11	4,8	0,66
3	28,7	20,89	7,6	2,61	3,7	2,02	6,1	0,76
4	46,1	30,97	10,8	3,25	3,3	1,91	3,7	0,4
5	62,2	39,15	7,3	2,61	3	1,67	4,9	0,75
6	29,5	19,28	7	2,23	4	2,1	4,8	0,62
7	27,3	17,07	3,5	0,99	4,9	2,73	6,1	0,84
8	24,5	16,19	8,1	2,64	4	2,09	2,4	0,3
9	33,2	21,77	7,5	2,11	4	2,15	3,8	0,51
10	39,1	24,94	8,2	2,29	3,9	2,04	7	0,93
11	18,2	11,31	6,8	0,86	5,2	2,61	6	0,79
12	49,8	32,52	5,7	2,33	5,4	2,86	6	0,75
13	10,3	6,34	14,6	4,49	3,7	1,77	6,8	0,77
14	23,8	15	7,8	2,47	7,4	3,73	5,2	0,68
15	34,4	22,06	10,4	4,37	7,6	4,05	6,2	0,74
16	34,1	22,21	11,3	4,53	8,2	4,17	5	0,7
17	47,1	29,9	16,5	6,44	7,9	4,6	2	0,23
18	39,1	26,41	6	2,02	9,5	4,67	5,5	0,71
19	51,2	32,8	6,6	2,69	8,1	4,15	4,9	0,65
20	37,8	25,02	13,4	4,8	8,6	4,51	7,1	0,87
21	32,9	21,54	5,3	2,56	8,1	4,19	5,8	0,6
22	43,2	27,86	15	6,25	9	4,82	3	0,41
23	31,5	19,95	15,3	7,38	8	4,1	3,2	0,42
24	15,1	8,77	12,7	5,48	5,9	3,2	3,2	0,43
25	11	6,72	24,4	10,91	8,6	4,48	5,8	0,74
26	20,2	14,84	20,2	8,9	9	4,32	4,2	0,58
27	18,7	12,09	16,7	6,61	8,5	4,46	5	0,76
28	33,1	19,38	13,9	5,85	8,1	4,15	5,6	0,62
29	34,3	22,65	24,6	10,76	8,8	4,39	2,5	0,36
30	17,9	10,59	9,7	3,18	8,8	4,42	6	0,73
31	27,1	18,81	6,6	2,16	8,7	4,58	3,2	0,51
32	11,7	6,24	14,1	5,16	8,6	4,63	4	0,56
33	3,8	2,16	5,5	1,51	7,7	4,13	2,4	0,3
34	5,8	2,56	7,2	2,13	7,5	3,88	5,9	0,72
35			3,3	1	7,8	4,06	4,1	0,57
36			4,9	1,39	6	3,31	3	0,39
37			16,3	6,37	9,2	4,81	4	0,59
38			25,7	13,82	8,6	4,67	5,9	0,89
39			13,2	5,47	8	4,22	6	0,87
40			10,8	3,55	6	3,36	9,1	1,6
41			24,4	11,53	4,7	1,96	3,6	0,43

42	2,4	0,68	7	3,73	5,7	0,74
43	9,2	3,1	7,8	4,39	2,9	0,32
44	3,3	0,91	5,7	3,1	2,6	0,31
45	8	2,29	4,4	1,86	3,5	0,39
46	11,7	4,79	3,7	1,77	5,2	0,82
47	10,3	6,21	8,3	4,51	1,8	0,19
48	11,1	4,72	5,7	3,42		
49	13,7	7,48	2,8	2,06		
50	9,3	3,09	3,2	1,82		
51	17,2	8,12	4,1	2,23		
52	14,2	5,54	4,5	2,68		
53	5,4	1,25	4,2	2,44		
54	8,9	3,56	4,1	2,46		
55	4,8	1,72	4	2,37		
56	8,2	3,13	4	2,27		
57	8,2	3,11	3,4	1,86		
58	9,3	3,54	4,9	1,88		
59	2,6	0,55	6,7	3,79		
60	2,9	0,45	3,8	2,12		
61	4,1	0,49	3,4	1,68		
62	7,4	1,61	3,4	2,02		
63			7,6	4,27		
64			7,4	4,26		
65			8,6	4,99		
66			3,3	1,68		
67			7,3	3,96		
68			7,7	4,23		
69			7,4	3,96		
70			5	3,58		
71			8,6	4,73		
72			8,4	4,74		
73			3,7	2,22		
74			4	2,38		
75			9	5		
76			4,5	2,71		
77			8,4	4,72		
78			5,6	3,92		
79			5	2,89		
80			8,2	4,56		
81			7,9	4,78		
82			3,6	2,15		
83			4,2	2,44		
84			3,9	2,26		
85			3,8	2,16		
86			3,5	2,08		

87	6,1	3,48
88	3,2	2,02
89	3,1	1,81
90	4	2,16
91	3,2	1,83
92	3,4	1,76
93	2,8	1,89
94	3,3	1,82
95	3,9	1,94
96	6,8	4,22
97	3,7	2,24
98	8	4,6
99	3,8	2,26
100	3,6	2,11
101	3,6	2,12
102	3,9	2,24
103	3,5	2,06
104	7,9	4,45
105	5,7	3,19
106	7	4,18
107	4,1	2,24
108	7,9	4,61
109	4,2	2,5
110	4,9	2,99
111	4,3	2,61
112	4,8	2,93
113	4,8	2,88
114	4,3	2,65
115	6,9	4,21
116	8,2	4,68
117	6,9	4,25
118	3,2	1,87
119	5,3	3,26
120	4,5	2,79
121	4,4	2,68
122	4,3	2,54
123	4,8	2,87
124	3,9	2,33
125	3,2	2,41
126	5	2,09
127		

## Ek-2 Socata TB20 Uçaklarından alınan veriler

Çizelge 1. Socata TB20 için gözlenen değerler

N	$t_{2(0+1)}$	$y_{2(0+1)}$	$t_{21}$	$y_{21}$	$t_{22}$	$y_{22}$
1	10	3	7,7	2,49	8	12
2	14	2	11,7	1,49	6	6
3	12	2	9,7	1,49	10	8
4	16	4	13,7	3,49	5	7
5	5	2	2,7	1,49	11	8
6	20	5	17,7	4,49	11	12
7	6	2	3,7	1,49	7	12
8	9	2	6,7	1,49	5	5
9	10	2	7,7	1,49	14	10
10	6	2	3,7	1,49	7	9
11	15	3	12,7	2,49	4	6
12	13	3	10,7	2,49	2	4
13	20	4	17,7	3,49	2	3
14	18	3	15,7	2,49	6	6
15	5	3	2,7	2,49	6	5,6
16	12	3	9,7	2,49	8	7,6
17	7	2	4,7	1,49	5	5,2
18	7	3	4,7	2,49	10	12,1
19	12	3,8	9,7	3,29	7	7,4
20	14	4,5	11,7	3,99	8	9
21	15	3,8	12,7	3,29	5	6
22	12	3,4	9,7	2,89		
23	21	3	18,7	2,49		
24	12	3,4	9,7	2,89		
25	15	3,8	12,7	3,29		
26	13	3	10,7	2,49		
27	10	2,6	7,7	2,09		
28	8	2,3	5,7	1,79		
29	13	3,4	10,7	2,89		
30						

**Çizelge 1 (Devam).** Socata TB20 için gözlenen değerler

N	t <sub>23</sub>	y <sub>23</sub>	t <sub>24</sub>	y <sub>24</sub>	t <sub>2(5+6)</sub>	y <sub>2(5+6)</sub>	t <sub>27</sub>	y <sub>27</sub>
1	7	13	30	32	54	45	2	1
2	10	10	35	50	23	17	4	1
3	12	10	46	45	20	17	3	1
4	8	11	46	45	25	19	4	1
5	4	4	59	60	10	12	3	1
6	4	5	51	49	19	15	3	1
7	7	8	34	35	19	16	3	1
8	6	5	68	66	14	10	3	1
9	13	11	62	78	15	10	4	1
10	11	11	82	90	7	7	3	1
11	15,6	15	42	49	20	18	4	1
12	12,5	12	54	57	11	8	3	0,7
13	5,3	6	22	20	22	17	5	1
14	4,8	5	32	25	25	26	4	0,8
15	8,7	10	22	16	39	35	5	1,1
16	1	1	62	55	23	19	5	1,2
17			35	33	20	18	5	0,8
18			17,3	21	31	23,1	3	0,8
19			20,4	31	41	34,2	4	1,1
20			22,4	23	33	28,4	4	0,7
21			20,8	21	28	25,5	7	3,7
22			4,3	6	46	41,2	3	2
23			23,1	22	27	23,5	4	2
24			71,2	65	10	6,8	4	2
25			11,14	13	8	5,3	5	2
26			22	28	25	20,4	2	1,5
27			33,5	38	15	11	4	0,4
28			22	21	21	16,7		
29					30	24,2		
30								



**Çizelge 2.** Socata TB20 için kalkış ve tırmanma safhasında düzeltilmiş gözlenen değerler

N	t <sub>2</sub> (dk)	y <sub>22</sub> (lt)
1	28	12
2	6	6
3	5	7
4	11	12
5	7	12
6	5	5
7	7	9
8	4	6
9	2	4
10	2	3
11	6	6
12	6	5,6
13	8	7,6
14	5	5,2
15	10	12,1
16	7	7,4
17	8	9
18	5	6

### Ek-3 Entegre ATPL kurs programı

**Çizelge 1.** Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksek Okulu entegre ATPL(A) kursu uçuş programına bağlı uçuş safhası sürelerinin dağılımı [7]

N	Görev	ΣT	Σiniş	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>(5+6)</sub>	T <sub>7</sub>
1	FAM01	60	1	8,46	6,63	30,08		10,15	4,68
2	VPF01	60	1	8,46	6,63	30,08		10,15	4,68
3	VPF02	60	1	8,46	6,63	30,08		10,15	4,68
4	VPF03	60	2	8,46	6,63	18,64		21,59	4,68
5	VPF04	60	3	8,46	6,63	9,4	3,52	27,31	4,68
6	VPF05	75	4	8,46	6,63	9,4	12,8	33,03	4,68
7	VPF06	75	4	8,46	6,63	9,4	12,8	33,03	4,68
8	VPF07	75	4	8,46	6,63	9,4	12,8	33,03	4,68
9	VPF08	75	5	8,46	6,63	9,4	7,08	38,75	4,68
10	VPF09	75	5	8,46	6,63	9,4	7,08	38,75	4,68
11	VPF10	75	5	8,46	6,63	9,4	1,36	44,47	4,68
12	VPF11	75	5	8,46	6,63	10,76		44,47	4,68
13	VPF12	75	5	8,46	6,63	9,4	7,08	38,75	4,68
14	SVF01	30	1	8,46		11,14		5,72	4,68
15	DVF01	60	2	8,46	6,63	9,4	9,24	21,59	4,68
16	SVF02	45	2	16,92		6,24		17,16	4,68
17	DVF02	60	2	16,92		15,52		22,88	4,68
18	SVF03	60	2	16,92		15,52		22,88	4,68
19	DVF03	75	2	8,46	6,63	9,4	24,24	21,59	4,68
20	SVF04	60	1	8,46	6,63	9,4	20,68	10,15	4,68
21	DVX01	90	1	8,46	6,63	60,08		10,15	4,68
22	SVF05	75	1	8,46	6,63	9,4	35,68	10,15	4,68
23	DVX02	90	1	8,46	6,63	60,08		10,15	4,68
24	SVF06	90	3	8,46	6,63	48,64		21,59	4,68
25	DVX03	90	3	8,46	6,63	48,64		21,59	4,68
26	DVX04	120	3	8,46	6,63	60,08	18,56	21,59	4,68
27	SVX01	75	1	8,46	6,63	45,08		10,15	4,68
28	SVX02	90	1	8,46	6,63	60,08		10,15	4,68
29	SVX03	90	1	8,46	6,63	60,08		10,15	4,68
30	DVX05	120	2	8,46	13,26	73,3		20,3	4,68
31	DVX06	150	2	8,46	13,26	103,3		20,3	4,68
32	DVF04	90	2	8,46	6,63	9,4	44,96	15,87	4,68
33	DVX07	150	2	8,46	13,26	103,3		20,3	4,68

34	DVF05	90	2	8,46	6,63	9,4	39,24	21,59	4,68
35	DVX08	150	2	8,46	13,26	103,3		20,3	4,68
36	DVF06	90	2	8,46	6,63	9,4	44,96	15,87	4,68
37	DVX09	150	2	8,46	13,26	103,3		20,3	4,68
38	DVF07	90	2	8,46	6,63	9,4	44,96	15,87	4,68
39	DVX10	150	2	8,46	13,26	103,3		20,3	4,68
40	DVF08	90	2	8,46	6,63	9,4	39,24	21,59	4,68
41	DVX11	150	2	8,46	13,26	103,3		20,3	4,68
42	DVF09	90	2	8,46	6,63	9,4	44,96	15,87	4,68
43	DVF09	150	3	8,46	19,89	86,52		30,45	4,68
44	DVF10	120	2	8,46	6,63	9,4	74,96	15,87	4,68
45	DVX13	150	3	8,46	19,89	86,52		30,45	4,68
46	DVF11	120	2	8,46	6,63	9,4	74,96	15,87	4,68
47	DVX14	150	3	8,46	19,89	86,52		30,45	4,68
48	DVX15	150	2	8,46	13,26	60,08	43,22	20,3	4,68
49	VPF-13	90	2	9,77	6,22	54,84		15,36	3,81
50	VPF-14	90	3	9,77	6,22	16,24	38,60	15,36	3,81
51	VPF-15	90	3	9,77	6,22	16,24	38,60	15,36	3,81
52	VPF-16	90	4	9,77	6,22	16,24	38,60	15,36	3,81
53	VPF-17	90	4	9,77	6,22	16,24	38,60	15,36	3,81
54	VPF-18	90	4	9,77	6,22	16,24	38,60	15,36	3,81
55	VPF-19	90	4	9,77	6,22	16,24	38,60	15,36	3,81
56	SVF-07	30	1	9,77				16,42	3,81
57	DIF-01	90	2	9,77	6,22	54,84		15,36	3,81
58	DIF-02	90	2	9,77	6,22	54,84		15,36	3,81
59	DIF-03	90	2	9,77	6,22	16,24	38,60	15,36	3,81
60	DIF-04	105	2	9,77	6,22	16,24	53,60	15,36	3,81
61	DIF-05	90	2	9,77	6,22	16,24	38,60	15,36	3,81
62	DIF-06	90	2	9,77	6,22	16,24	38,60	15,36	3,81
63	DIF-07	105	2	9,77	6,22	16,24	53,60	15,36	3,81
64	DIF-08	90	2	9,77	6,22	16,24	38,60	15,36	3,81
65	DIF-09	90	2	9,77	6,22	16,24	38,60	15,36	3,81
66	DIF-10	105	2	9,77	6,22	16,24	53,60	15,36	3,81
67	DIF-11	105	2	9,77	6,22	16,24	53,60	15,36	3,81
68	DIF-12	105	2	9,77	6,22	16,24	53,60	15,36	3,81
69	DIF-13	105	2	9,77	6,22	16,24	53,60	15,36	3,81
70	DIF-14	120	2	9,77	6,22	16,24	68,60	15,36	3,81
71	DRI-01	120	1	9,77	6,22	84,84		15,36	3,81
72	DRI-02	90	1	9,77	6,22	54,84		15,36	3,81
73	DRI-03	120	1	9,77	6,22	84,84		15,36	3,81

74	DRI-04	90	1	9,77	6,22	54,84		15,36	3,81
75	DRI-05	120	1	9,77	6,22	84,84		15,36	3,81
76	DRI-06	120	1	9,77	6,22	84,84		15,36	3,81
77	DRI-07	120	1	9,77	6,22	84,84		15,36	3,81
78	DRI-08	120	1	9,77	6,22	84,84		15,36	3,81
79	DRI-09	120	1	9,77	6,22	84,84		15,36	3,81
80	DRI-10	120	1	9,77	6,22	84,84		15,36	3,81
81	DRI-11	120	1	9,77	6,22	84,84		15,36	3,81
82	DRI-12	120	1	9,77	6,22	84,84		15,36	3,81
83	DRI-13	120	1	9,77	6,22	84,84		15,36	3,81
84	DRI-14	120	1	9,77	6,22	84,84		15,36	3,81
85	DNF-01	60	4	9,77	6,22			40,20	3,81
86	DNF-01	60	4	9,77	6,22			40,20	3,81
87	DNF-03	60	4	9,77	6,22			40,20	3,81
88	SNF-01	60	3	9,77	6,22			40,20	3,81
89	SNF-02	60	2	9,77	6,22			40,20	3,81
90	DRX-01	120	1	9,77	6,22	84,84		15,36	3,81
91	DRX-02	120	1	9,77	6,22	84,84		15,36	3,81
92	DRX-03	120	3	9,77	6,22	84,84		15,36	3,81
93	DRX-04	120	1	9,77	6,22	84,84		15,36	3,81
94	DRX-05	120	1	9,77	6,22	84,84		15,36	3,81
95	DRX-06	120	1	9,77	6,22	84,84		15,36	3,81
96	DRX-07	120	1	9,77	6,22	84,84		15,36	3,81
97	DRX-08	120	1	9,77	6,22	84,84		15,36	3,81
98	DRX-09	120	1	9,77	6,22	84,84		15,36	3,81
99	IRST-01	120	1	9,77	6,22	84,84		15,36	3,81
100	CPST-01	90	1	9,77	6,22	27,42	27,42	15,36	3,81
Toplam (dk)		9760		939,5	701,76	4271,98	1466,6	1947,4	422,76
$N_j$				100	95	94	41	100	100
$\bar{T}_j$ (dk)				9,39	7,39	45,45	35,77	19,47	4,23

## KAYNAKLAR

- [1] Buğdaycı, H., *Uçak Performanslarının İşletme Karakteristiklerine Etkisinin Etüdü*, Doktora Tezi, 1980.
- [2] National Research Council, *Future Flight: A Review of the Small Aircraft Transportation System Concept*, National Academy Press, Washington, A.B.D., 2002.
- [3] Stephen, A.M., *Aeronatics Innovation: NASA's Challenges and Opportunities*, The National Academies Press, Washington, D.C., A.B.D., 2006
- [4] Moore, M.D., *Personal Air Vehicles: A rural/reginal and intra-urban on-demand transportation system*, NASA Langley Research Center, Hampton, A.B.D., 2003.
- [5] Federal Aviation Administration, *FAA Aerospace Forecast Fiscal Years 2008–2025*. A.B.D., 2008.
- [6] Ulaştırma Bakanlığı Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü, *Uçak Pilotu Lisans Yönetmeliği (SHY-1)*. Ankara, 2006.
- [7] Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksek Okulu, *Pilotaj Bölümü Uçuş Görev Rehberi*. Eskişehir, 2006.
- [8] Cavcar A., Cavcar M., *Uçuş Prenipleri*, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 1999.
- [9] Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksek Okulu, *Pilotaj Bölümü Eğitim El Kitabı*. Eskişehir, 2001.
- [10] Aksan M. M., *Uçak Performansı*. İTÜ, İstanbul, 1964.
- [11] Özelgin Z. G., *Uçuş Mekaniği*. İTÜ, İstanbul, 1978.
- [12] Hale, F. J., *Introduction to Aircraft Performance, Slection and Design*, A.B.D., 1984.
- [13] Layton, D., *Aircraft Performance*. Matrix Publishers Inc., Chesterland, Ohio, 1988.
- [14] Ruijgrog, G.J.J., *Elements of Airplane Performance*. Delft University Press, Delft, 1990.
- [15] Kanafani, A., Taghavi S., *An Analysis of Short Haul Airline Operatng Cost.*, A.B.D., 1975.

- [16] Conklin & Decker Aviation Information, *Cost Report Sample*, Texas, A.B.D., 2008.
- [17] İltay Sigorta Ara. Havacılık Sigortaları Hizmetleri, *Havacılık Sigortaları*, 2006.  
<http://www.iltaysigorta.com/havacilik-sigortalari.htm>
- [18] Ulaştırma Bakanlığı Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü, *Türk ve Yabancı Sivil Hava Araçları Mali Mesuliyet Sigortası Yönetmeliği*. Ankara, 2006.
- [19] Ulaştırma Bakanlığı, *Türk Hava Sahasında Uçuş Yapan Türk ve Yabancı Sivil Hava Araçlarının Yaptırması Gereken Üçüncü Şahıs Mali Mesuliyet Sigortası Yönetmeliği*, Ankara, 2005.
- [20] Cessna, *Cessna 172S, Skyhawk SP Model 172S Specifications and Descriptions*, A.B.D., 2008.
- [21] Lycoming a Textron Company, *IO-360 Operator's Manual*. A.B.D, 1989.
- [22] Cessna a Textron Company, *172S Maintenance Manual*. A.B.D., 1996.
- [23] Cessna a Textron Company, *Cessna 172S Pilot Operating Manual*. A.B.D., 1998.
- [24] Cessna a Textron Company, *Skyhawk SP. Your Next Wing Tips*, 2008.  
<http://skyhawksp.cessna.com>
- [25] EADS Socata, *TB20 Pilot's Information Manual*, Fransa, 1988.
- [26] Lycoming a Textron Company, *IO-540 Operator's Manual*, A.B.D., 1991.
- [27] EADS Socata, *TB20 Maintenance Manual*, Fransa, 1991
- [28] EADS Socata, *TB20 Trinidad GT*, 2008.  
<http://www.socata.eads.net/1024/en/General%20Aviation/aircraft/TB%20Series/Retractable%20Gear/TB20%20GT/TB20%20GT.html>
- [29] J.P. Instrumant Inc., *Pilot's Guide Engine Data Management EDM-700*. A.B.D., 2007.
- [30] J.P. Instrumant Inc., *EDM-700 is Precision Engine Performance*, 2009.  
[http://www.jp instruments.com/edm\\_700.html](http://www.jp instruments.com/edm_700.html)
- [31] Planequest.com, *Operating Costs*, 2008.  
<http://www.planequest.com/operationcosts/default.asp>.
- [32] Pilaneandpilot.com, *Airplane Specifications*, 2008.  
<http://www.planeandpilotmag.com/aircraft/specifications.html>

- [33] What2fly.com, *Compare Planes*, 2008.  
[http://www.what2fly.com/search/results.php?speed\\_min=0&payload\\_min=0&range\\_min=0&seating\\_min=0&EngineQty=1&EngineType=2&Type=1&Warbird=1&Experimental=1&Retractable=1&sort=ManufacturerName&limit=25&Submit=Search](http://www.what2fly.com/search/results.php?speed_min=0&payload_min=0&range_min=0&seating_min=0&EngineQty=1&EngineType=2&Type=1&Warbird=1&Experimental=1&Retractable=1&sort=ManufacturerName&limit=25&Submit=Search)
- [34] Maule Air Inc., *Aircraft Price Guide*, 2008.
- [35] Mooney Airplane Company, *Specifications/Performance*, 2008.  
<http://www.mooney.com/index.php>
- [36] Piper Fly Wise, *Aircraft Home Page*, 2008.  
<http://newpiper.com/aircraft>
- [37] Diamond Aircraft, 2008.  
<http://www.diamondaircraft.com/index.php>
- [38] Cessna a Textron Company, *Single Engine*, 2008.  
<http://www.cessna.com/single-engine.html>.
- [39] Lancair, *Lancair Performance*, 2008.  
<http://www.lancair.com/Main>
- [40] Cirrus Aircraft, 2008.  
<http://www.cirrusaircraft.com>
- [41] Avex 2008.  
<http://www.newavex.com/tb20gt.htm>.
- [42] Premier Aircraft Sales, *Comparison Report*, 2008.  
<http://www.flypas.com/comparisons.html>.
- [43] Marchman, J., Interatep, N., Skelton, E., Mason, W.H. *An Investigation of CTOL Dual-Mode PAVE Concepts*, A.B.D. : NASA, 2002.
- [44] Aviation Week Bussiness & Commercial Aviation, *Bussiness Airplanes*, A.B.D., Mayis 2007.
- [45] Piper Aircraft Corporation, *PA-28-18, Cherokee Archer II Pilot Operating Manual*.
- [46] Diamond Aircraft Industries. *Flight Manual DA 20 Katana*. Londra, 1994.
- [47] The New Piper Aircraft, Inc., *Arrow PA-28R-201 Pilot's Operating Handbook and FAA Approved Airplane Flight Manual*, A.B.D., 1995.

- [48] Piper Aircraft Corporation, *Archer II PA-28-181 Pilot's Operating Handbook and FAA Approved Airplane Flight Manual*, A.B.D., 1979.
- [49] Thielert Aircraft Engines, *Supplement Pilot's Operating Handbook and FAA Approved Airplane Flight Manual for the Cessna 172 N-P Equiped with TAE 125 Installation*, Linchtenstein, 2007.
- [50] Cessna Aircraft Company, *Pilot's Operating Handbook and FAA Approved Airplane Flight Manual for 1984 Model 172P*, Wichita, Kansas, A.B.D., 1983.
- [51] Univair Aircraft Corporation, *Pilot's Operating Manual Bellanca Citabria*, 1978.
- [52] Thielert Aircraft Engines, *Supplement Pilot's Operating Handbook for DR400 Equiped with TAE 125 Installation*, Linchtenstein, 2006.
- [53] Socata Group Aerospatale, *TB9 Pilot's Information Manual*. Fransa, 1989.
- [54] Commander Aircraft Company, *Commander 114B Pilot's Operating Handbook and FAA Approved Airplane Flight Manual*, Bethany, Oklahoma, A.B.D., 1992.
- [55] Cirrus Design Corporation, *Airplane Information Manual for the Cirrus Design SR20*, Duluth, 2007.
- [56] Cirrus Design Corporation, *Pilot's Operating Handbook and FAA Approved Airplane Flight Manual for Cirrus Design SR22*, Duluth, 2005.
- [57] Piper, *Warrior II PA-28-161 Pilot's Operating Handbook and FAA Approved Airplane Flight Manual*, A.B.D., 1982.
- [58] Maule Aircraft Corporation, *FAA Aproved Airplane Flight Manual Model M-4-180 Series*, Moultrie, Georgia, A.B.D., 1970.
- [59] Maule Aircraft Corporation, *FAA Aproved Airplane Flight Manual Model M-4-210 Series*, Jackson, Michigan, A.B.D.
- [60] Maule Aircraft Corporation, *FAA Approved Airplane Flight Manual Model M-4-220 Series*, Jackson, Michigan, A.B.D., 1966.
- [61] Maule Aircraft Corporation, *FAA Aproved Airplane Flight Manual Model M-5-210C*, Moultrie, Georgia, A.B.D., 1973.
- [62] Maule Aircraft Corporation, *Airplane Flight Manual for Model M-5-210TC*, Moultrie, Georgia, A.B.D., 1980.



- [63] Maule Aerospace Technology, Inc., *FAA Approved Airplane Flight Manual for Model M-7-235B*, Moultrie, Georgia, A.B.D., 1993.
- [64] Maule Aerospace Technology, Inc., *FAA Approved Airplane Flight Manual for Model M-7-235C*, Moultrie, Georgia, A.B.D., 1995.
- [65] Maule Aerospace, *FAA Approved Airplane Flight Manual for Model M-7-260C*, Moultrie, Georgia, A.B.D., 1998.
- [66] Maule Aerospace Technology, Inc., *FAA Approved Airplane Flight Manual for Model MX-7-180A*, Moultrie, Georgia, A.B.D., 1993.
- [67] Maule Aerospace Technoloy, Inc., *FAA Approved Airplane Flight Manual for Model MX-7-180C*, Moultrie, Georgia, A.B.D., 1996.
- [68] Maule Aerospace Technology, Inc., *FAA Approved Airplane Flight Manual for Model MXT-7-180*, Moultrie, Georgia, A.B.D., 1990.
- [69] Maule Aerospace Technoloy, Inc., *FAA Approved Airplane Flight Manual for Model MXT-7-180A*, Moultrie, Georgia, A.B.D., 1993.
- [70] Department of Transportation Federal Aviation Administration, *Aircraft Specification No 2A3*, A.B.D., 2008.
- [71] Federal Aviation administration, *Type Certificate Data Sheet No. 3A12*, A.B.D., 2008.
- [72] Federal Aviation administration, *Type Certificate Data Sheet No. 3A1*, A.B.D., 2007.
- [73] Federal Aviation administration, *Type Certificate Data Sheet No. 3A17*, A.B.D., 2007.
- [74] Federal Aviation administration, *Type Certificate Data Sheet No. 3A23*, A.B.D., 2006.
- [75] Federal Aviation administration, *Type Certificate Data Sheet No. A00009CH*, A.B.D., 2009.