



**ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME VE HEDEF PROGRAMLAMA İLE
EĞİTİM UÇAĞI SEÇİMİ**

ÖZGENUR YILMAZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2024

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Özgenur YILMAZ

...../...../.....

ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME VE HEDEF PROGRAMLAMA İLE EĞİTİM UÇAĞI SEÇİMİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Özgenur YILMAZ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2024

ÖZET

Pilotaj eğitimi, başlangıç ve ileri seviye eğitim uçaklarının kullanıldığı filolarda teorik ve pratik fazlardan oluşan uzun bir süreçtir. Aday pilot, bu safhaları geçtikten sonra tekâmül safhasına geçmektedir. Pilot adayının yeteneklerinin belirlenmesi açısından, eğitim uçağının donanımı son derece önemlidir. Eğitim uçağının donanımındaki limitler, pilot adayının yeteneklerini göstermesi açısından engel teşkil etmemelidir. Bu nedenle eğitim uçağı seçimi kritik bir karar sürecidir ve bu süreçte çok sayıda nicel ve nitel kriter göz önünde bulundurulmalıdır. Bu çalışmada, literatür taraması ve uzmanlardan alınan görüşler doğrultusunda; altı ana kriter ve yirmi yedi alt kriter değerlendirme aşamasında kullanılmak üzere belirlenmiştir. Bu kriterler, belirlenen yedi alternatif eğitim uçağının seçiminde dikkate alınmıştır.

Kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi için Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS, Analytic Hierarchy Process-AHP) yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen ağırlıklar ideal çözüme olan yakınlığın hesaplanması mantığı ile kurulan Technique for Order Preference by Similarity (TOPSIS) yönteminde alternatif uçakların sıralamasının yapılması için kullanılmıştır. Çalışmada, AHS yöntemindeki ikili karşılaştırmalar ve TOPSIS yöntemindeki alternatif uçakların nicel kriterlerinin değerlendirilmesi kısmında veri toplama yöntemlerinden “anket” tekniğinden yararlanılmıştır. Anket aralarında eğitim uçağı pilotlarının, havacılık alanındaki akademisyenlerin, mühendislerin, uçuş okulu sahibinin ve hava trafik kontrolörünün yer aldığı uzman bir ekibe uygulanmıştır.

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinin, hedef programlama-matematiksel model kurulması yöntemiyle entegre olarak kullanılması yapısı farklı kriterleri olan karar problemlerini çözümlmek için efektif şekilde kullanılabilir. Bu çalışmada eğitim uçağı seçiminde etkili bir karar verme süreci için AHP yöntemiyle bulunan ağırlıklar ve TOPSIS yönteminde bulunan alternatiflerin sıralama değerleri matematiksel modelde kullanılmıştır. Ayrıca matematiksel modele farklı kısıtlar (Bütçe, yerli kaynaklarla üretilmiş olma vb.) eklenmiştir. Çalışma, bu kısıtların yanı sıra kurulan farklı senaryoları da değerlendirmiş ve karar vericilere optimal alternatiflerin belirlenmesinde rehberlik etmiştir.

Sonuç olarak, bu çalışmada eğitim uçağı seçimi sürecinde kullanılabilecek etkili bir karar verme modeli sunulmaktadır. Entegre edilen yöntemler ve dikkate alınan kısıtlar, karar vericilere objektif ve bilgiye dayalı bir karar alma süreci sunmaktadır. Bu çalışmanın literatüre katkısı, eğitim uçağı seçiminde farklı karar verme yöntemlerinin entegre şekilde uygulanması, farklı kriterlerin ve kısıtların değerlendirilmesi ve yerli kaynaklarla üretilmiş olma kriterinin ilk kez dikkate alınmış olmasıdır.

Bilim Kodu : 90602
Anahtar Kelimeler : Eğitim uçağı seçimi, çok kriterli karar verme, analitik hiyerarşi süreci, TOPSIS, hedef programlama
Sayfa Adedi : 137
Danışman : Prof. Dr. Mehmet KABAK

SELECTION OF TRAINING AIRCRAFT BY MULTI CRITERIA DECISION MAKING AND GOAL PROGRAMMING

(M. Sc. Thesis)

Özgenur YILMAZ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2024

ABSTRACT

Pilot training is a lengthy process consisting of theoretical and practical phases conducted using beginner and advanced training aircraft in fleets. Once the candidate pilot passes through these stages, they advance to the proficiency stage. The equipment of the training aircraft is crucial in determining the abilities of the pilot candidate. The limitations of the training aircraft's equipment should not hinder the demonstration of the pilot candidate's abilities. Therefore, the selection of a training aircraft is a critical decision-making process, where numerous quantitative and qualitative criteria must be considered. In this study, based on a literature review and expert opinions, six main criteria and twenty-seven sub-criteria were identified for use in the evaluation stage. These criteria were taken into account in the selection of the seven designated alternative training aircraft.

The Analytic Hierarchy Process (AHP) method was employed to determine the weights of the criteria. The weights obtained were then used in the Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) method to rank the alternative aircraft by calculating their proximity to the ideal solution. In the study, the data collection methods utilized included the "survey" technique for pairwise comparisons in the AHP method and for evaluating the quantitative criteria of alternative aircraft in the TOPSIS method. The survey was administered to an expert team consisting of training aircraft pilots, academics in the field of aviation, engineers, flight school owners, and air traffic controllers.

Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods, when integrated with the establishment of a mathematical model through goal programming, can effectively solve decision problems with diverse criteria structures. In this study, the weights obtained with the AHP method and the ranking values of alternatives obtained with the TOPSIS method were utilized in the mathematical model for an effective decision-making process in training aircraft selection. Additionally, various constraints (budget, being domestically produced, etc.) were added to the mathematical model. The study evaluated these constraints along with different scenarios and guided decision-makers in determining optimal alternatives.

In conclusion, this study presents an effective decision-making model that can be used in the process of training aircraft selection. The integrated methods and considered constraints offer decision-makers an objective and knowledge-based decision-making process.

The contribution of this study to the literature lies in the integrated application of various decision-making methods in training aircraft selection, the evaluation of different criteria and constraints, and the consideration of being domestically produced as a criterion for the first time.

Science Code : 90602

Key Words : Training Aircraft Selection, Multi-Criteria Decision Making, Analytic Hierarchy Process, TOPSIS, Goal Programming

Page Number : 137

Supervisor : Prof. Dr. Mehmet KABAK

TEŞEKKÜR

Bu çalıőmanın yűrűtűlmesi sűrecinde beni akademik açıdan destekleyen ve katkılarını hiçbir zaman esirgemeyen yűksek lisans tez danıőmanım, saygıdeęer hocam Prof. Dr. Mehmet KABAK'a sonsuz teőekkűrlerimi sunarım. Çalıőmamın her aőamasında gűsterdięi sabır ve ilgisiyle bana yol gűsterici olduęu için minnettarım.

Tecrűbesiyle, sahip olduęu derya deniz bilgi birikimiyle havacılık sektűrűnű bana benimseten ve bu çalıőmamda çok deęerli katkıları olan Doç. Dr. Tamer SARAçYAKUPOęLU hocama teőekkűr ederim.

Bu sűrete vaktimizden aldıęım oęlum Kerem'e ve her zaman yanımda olan, bana destek veren eőim Aykut YILMAZ'a sonsuz teőekkűrlerimi sunarım. Onların anlayıőı ve desteęi, bu çalıőmayı műmkűn kılan en bűyűk gű kaynaęım olmuőtur.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	iv
RESİMLERİN LİSTESİ	v
SİMGELER VE KISALTMALAR	vi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	5
3. PİLOTAJ EĞİTİMİ HAKKINDA BİLGİLER.....	23
3.1. Tekâmül, İleri Seviye Pilotaj Eğitimi	23
4. SEÇİM SÜRECİNDE DEĞERLENDİRİLECEK EĞİTİM UÇAKLARI	27
4.1. Hürkuş	27
4.2. KT-1	28
4.3. Pilatus PC-21	30
4.4. A29 Super Tucano	31
4.5. Yakovlev YAK-152.....	33
4.6. Diamond DART-550	35
4.7. Beechcraft T-6C Texan II.....	37
5. EĞİTİM UÇAĞI SEÇİMİ KRİTERLERİ	39
5.1. Mekanik Performans Ana Kriteri.....	39
5.1.1. Maksimum hız.....	39
5.1.2. Maksimum irtifa	39
5.1.3. Maksimum menzil	40
5.2. Kontrol Yeteneği Ana Kriteri.....	43
5.3. Silah Sistemleri Ana Kriteri	45
5.4. Aviyonik Sistemler Ana Kriteri.....	46

5.5. Uçuş Emniyeti Ana Kriteri	47
5.6. Maliyet Ana Kriteri	49
5.7. Yerli Kaynaklarla Üretilmiş Olma Ana Kriteri.....	50
6. YÖNTEM	53
6.1. Çok Kriterli Karar Verme	53
6.2. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Sınıflandırılması	54
6.3. AHP Yöntemi	56
6.4. TOPSIS Yöntemi.....	58
6.5. Hedef Programlama	61
7. UYGULAMA	65
7.1. Alternatiflerin Belirlenmesi	65
7.2. Kriterlerin Belirlenmesi.....	66
7.3. Seçimde Kullanılacak Yöntemlerin Belirlenmesi-Önerilen Çözüm Yöntemi	69
7.4. AHP Yöntemi ile Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi.....	72
7.5. TOPSIS ile Alternatiflerin Sıralanması	79
7.6. (0-1) Hedef Programlama Modeli.....	88
7.7. Değerlendirme ve Analiz.....	98
8. SONUÇ.....	103
KAYNAKLAR.....	107
EKLER	114
EK-1. Ana kriterler için karşılaştırma anket tablosu.....	115
EK-2. Alt kriterler için karşılaştırma anket tabloları.....	116
EK-3. Super Decisions kriter ağırlıkları ve karşılaştırma tutarlılık oranları	118
EK-4. TOPSIS anket.....	119
ÖZGEÇMİŞ	120

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Literatür taraması	10
Çizelge 4.1. Hürkuş teknik özellikler	28
Çizelge 4.2. KT-1 teknik özellikler.....	29
Çizelge 4.3. Pilatus PC-21 teknik özellikler.....	31
Çizelge 4.4. A29 Super Tucano teknik özellikler	32
Çizelge 4.5. Yakovlev YAK-152 teknik özellikler	34
Çizelge 4.6. Diamond DART-550 teknik özellikler	36
Çizelge 4.7. Beechcraft T-6C Texan II teknik özellikler.....	38
Çizelge 5.1. Bazı yaygın ticari yolcu uçaklarının maksimum yakıt kapasitesi.....	41
Çizelge 5.2. Uçak Üretiminde Yayın Olarak Kullanılan Malzemelerin Yoğunlukları	42
Çizelge 6.1. Karar Verme Türleri	53
Çizelge 6.2. ÇAKV ve ÇÖKV karşılaştırması.....	54
Çizelge 6.3. Saaty standart (1-9) ölçeği.....	57
Çizelge 6.4. Rassallık indeksleri.....	58
Çizelge 6.5. Hedef programlama modeli	62
Çizelge 7.1. ana ve alt kriterler için kısaltmalar	67
Çizelge 7.2. Seçim kriterlerinin ağırlıkları.....	78
Çizelge 7.3. Karar matrisi	80
Çizelge 7.4. Normalize karar matrisi	82
Çizelge 7.5. Ağırlıklı Normalize Karar Matrisi.....	85
Çizelge 7.6. Yakınlık indeksi ve alternatif sıralaması.....	88
Çizelge 7.7. Ülkelere göre ihracaat değerleri.....	92
Çizelge 7.8. Alternatiflerin üretici ülkeleri	92
Çizelge 7.9. Senaryola göre kısıtlar	93
Çizelge 7.10. Senaryolara göre matematiksel modelleme türü.....	96
Aşağıdaki Çizelge 7.11.'de senaryolarda kullanılan hedef bilgileri özetlenmiştir.	97
Çizelge 7.11. Senaryo hedef bilgileri.....	97
Çizelge 7.12. Seçilmesi gereken uçak tipleri	98
Çizelge 7.13. Hürkuş-2 teknik verileri	99
Çizelge 7.14. TOPSIS değerlendirilen kriterlere göre sıralama sonuç korelasyon kat sayıları	101

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 5.1. Uçuş Safhaları	40
Şekil 7.1. Eğitim uçağı seçiminde değerlendirme kriterleri hiyerarşisi	68
Şekil 7.2. Yerli kaynaklarla üretilmiş olma ana kriterinin alt kriteri bulunmadığı için “Alternatifler” kümesine direkt bağlanmıştır	74

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. Hürkuş Eğitim Uçağı	28
Resim 4.2. KT-1 Eğitim Uçağı	30
Resim 4.3. Pilatus PC-21 eğitim uçağı	31
Resim 4.4. A29 Super Tucano eğitim uçağı.....	33
Resim 4.5. Yakovlev YAK-152 eğitim uçağı	35
Resim 4.6. Diamond DART-550 Eğitim Uçağı.....	36
Resim 4.7. Beechcraft T-6C Texan II Eğitim Uçağı.....	38

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
gr	Gram
h	Hour/saat
min	Minute
km	Kilometre
cm³	Santimetre küp
shp	Shaft horse power
i	Hedef
k	Eğitim uçağı
W_k	k. uçağın TOPSIS yönteminde bulunan sıralama değeri
B_k	k. uçağın satın alma maliyeti
T_k	k. uçağın tırmanma oranı
F_k	k. uçağın faydalı yük değeri
Y_k	k. uçağın ihracat değeri
M_k	k. uçağın motor gücü değeri
Z_i	i. hedefin amaç fonksiyonu kat sayısı/ağırlığı
~	Yaklaşık

Kısaltmalar**Açıklamalar**

AHP	Analytic Hierarchy Process
AHS	Analitik Hiyerarşi Süreci
AKA	Azami Kalkış Ağırlığı
ARAS	Additive Ratio ASsesment
ARB	Ataletsel Referans Birimleri
AT2 BTOPSIS	Aralık Tip-2 Bulanık TOPSIS
AT2 BAHS	Aralık Tip-2 Bulanık AHS
ATC	Air Traffic Control
BOY	Bakım, Onarım ve Yenileme
BWM	Best Worst Method
COPRAS	Complex Proportional Assessment
ÇAKV	Çok Amaçlı Karar Verme
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
ÇÖKV	Çok Ölçütlü Karar Verme
DEMATEL	The Decision Making Trial and Evaluation Laboratory
DUD	Decision Uncertainty Distance
ELECTRE	Elimination and Choice Expressing Reality
ESM	Even Swaps Method
EWM	Entropy Weighting Method
FGD	Focus Group Discussion
FMS	Flight Management System
FRIM	Fuzzy Reference Ideal Method
FUCOM	Full Consistency Method
GİA	Gri İlişkisel Analiz
GTİP	Gümrük Tarife İstatistik Pozisyonu
HTK	Hava Trafik Kontrol
IFR	Insturment Flight Rules
IMC	Instrument Meteorological Conditions
IRU	Inertial Reference Units
IT2FAHP	Interval Type-2 Fuzzy AHP
IT2FTOPSIS	Interval Type-2 Fuzzy TOPSIS

LFPP	Logarithmic Fuzzy Preference Programming
MADM	Multiple Attribute Decision Making
MAVT	Multi Attribute Value Theory
MCAS	Maneuvering Characteristics Augmentation System
MKGS	Manevra Karakteristliği Güçlendirme Sistemi
MODM	Multiple Objective Decision Making
MRO	Maintenance, Repair and Overhaul
MTOW	Maximum Takeoff Weight
OPA	Ordinal Priority Approach
RIM	Reference Ideal Method
SMAA	Stochastic Multi-Criteria Acceptability Analysis
SWARA	Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity
UYS	Uçuş Yönetim Sistemi
VMC	Visual Meteorological Conditions
WASPAS	Weighted Agg- regated Sum Product Assessment

1. GİRİŞ

Pilotaj eğitimi, başlangıç ve ileri seviye eğitim uçaklarının kullanıldığı filolarda teorik ve pratik aşamalardan oluşan uzun ve karmaşık bir süreçtir. Bu süreç, pilot adaylarının temel uçuş prensiplerini öğrenip uygulayarak uçuş yeteneklerini geliştirdikleri kritik bir eğitim sürecini kapsar. Eğitim süresince pilot adayları, çeşitli uçuş manevralarını, navigasyon tekniklerini ve acil durum prosedürlerini öğrenirler.

Bu çalışmanın temel problemi, başlangıç seviye pilotaj eğitimi için uygun eğitim uçağının seçilmesidir. Eğitim uçaklarının donanımı ve performansı, pilot adaylarının yeteneklerini geliştirme sürecinde önemli bir rol oynar. Yanlış seçilen bir eğitim uçağı, adayların yeteneklerini tam anlamıyla göstermelerini engelleyebilir ve eğitim sürecini olumsuz yönde etkileyebilir. Aynı zamanda, uçuş eğitim kurumları için eğitim uçağı seçimi yukarıdaki gibi bazı risk ve belirsizlikler taşımaktadır. Yeni bir filo kurulması veya filoya yeni eğitim uçakları kazandırılması ciddi finansal kaynak ve yatırıma ihtiyaç duyulmaktadır. Finansal kaynakların, uygun eğitim uçağı yatırımı için kullanılması, uçak eğitim kurumlarının ileriki dönemleri açısından büyük öneme sahiptir. Uygun olmayan bir eğitim uçağı seçimine sağlanan finansal kaynak kurumları zor bir duruma getirebilir. Bu nedenle, eğitim uçağının seçiminde dikkate alınması gereken doğru kriterlerin belirlenmesi ve bu kriterler doğrultusunda en uygun uçağın seçilmesi gerekmektedir.

Pilotaj eğitimlerinde eğitim uçağının seçiminde birçok faktör dikkate alınmalıdır. En iyi alternatifin değerlendirilmesinde, daha iyi niteliklere sahip bir eğitim uçağı aslında en iyi seçenek olmayabilir. Uluslararası iş stratejileri, ülke politikaları, bakım-idame-yenileme maliyetleri, yerli kaynaklarla üretilmiş olma gibi bazı faktörler de önem taşımaktadır.

Birçok eğitim uçağı benzer özellikler taşıdığından, temel gereksinimleri ve bazı teknik şartları birçoğu karşılayabilmektedir. Bu nedenle, günümüzde incelenen eğitim uçakları arasında belirgin bir üstünlük gösteren bir model bulunmamaktadır. Bazı uçaklar teknik kriterlerde benzerlik gösterdiği için, seçimlerde teknik özellikler ikinci planda kalmakta ve nitel ile nicel kriterler daha fazla önem kazanmaktadır. Eğitim uçaklarının temel teknik özelliklerinin yanı sıra, manevra kabiliyeti ve yerli üretim gibi subjektif kriterler de değerlendirilmektedir. Bu durum, farklı nitel ve nicel kriterlerin seçim sürecinde etkili olmasını sağlamaktadır. Bu ise

seçim sürecini etkileyen faktörlerin hem nitelik hem nicelik olarak artmasına ve karar verme sürecinin karmaşık bir hale gelmesine sebep olmuştur.

Böyle bir ortamda, klasik yöntemlerle karar verme yeterli olmayacaktır ve bilimsel yöntemlerle çözüm bulmak daha etkili bir seçim sunacaktır. Nitekim günümüzde yanlış kararların verildiği, yapılan seçim ihalelerinde alınan kararlara itiraz edildiği örnekler mevcuttur. Bilimsel yöntemler ile karar verenlerin veya seçimlerin yapıldığı ihalelerde bu bilimsel yöntemler uygulanmalı ve sonuç olarak duruma en uygun eğitim uçağının seçilmesi, seçimlerde objektifliğin sağlanması gerekmektedir.

Literatürde seçim için kullanılan yöntemler incelendiğinde nicel ve nitel verilerle Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinin oldukça etkili sonuçlar verdiği ve yine bu yöntemlerin ihtiyaca göre birbiriyle entegre şekilde kullanıldıkları gözlemlenmiştir. Bu yöntemler, aynı zamanda hedeflere ne kadar ulaşıldığını göstermektedir ve değişikliklere göre amaca yaklaşabilme durumunu da karar vericiye sunmaktadır.

Bu araştırmanın amacı, pilotaj eğitimi için birbirine benzer teknik özelliklerde belirlenen yedi eğitim uçağı alternatifinin, belirli senaryolar altında en uygun olanının belirlenmesidir. Bu amaç doğrultusunda, literatür taraması ve uzman görüşleri kullanılarak yedi ana kriter ve yirmi beş alt kriter belirlenmiştir. Bu kriterlerin bazıları nitel bazıları ise nicel kriterler olarak belirlenmiştir ve eğitim uçağının seçiminde dikkate alınarak, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS, Analytic Hierarchy Process-AHP) yöntemi ile ağırlıkları belirlenmiştir. İdeal Çözümüne Dayalı Sıralama Tekniğı (Technique for Order Preference by Similarity-TOPSIS) ile ise alternatiflerin önem sıralamasına ulaşılmıştır. Farklı senaryolar altında 0-1 hedef programlama yöntemi kullanılarak uçağı alternatif seçimleri değerlendirilecektir. Araştırma, bu yöntemlerin entegrasyonu yoluyla eğitim uçağı seçim sürecinde daha objektif ve bilgiye dayalı bir yaklaşım sunmayı ve ayrıca istenen hedef, hedef sıralaması ve kısıtlar altında seçimin nasıl değiştiğini göstermeyi amaçlamaktadır.

Bu çalışma, başlangıç seviye pilotaj eğitimi için uygun eğitim uçağının seçiminde kullanılan kriterlerin ve yöntemlerin belirlenmesi açısından literatüre önemli katkılar sağlamaktadır. AHP, TOPSIS ve hedef programlama yöntemlerinin entegrasyonu ile eğitim uçağı seçimi sürecinin objektif ve bilgiye dayalı olarak gerçekleştirilmesi, eğitim kalitesinin artırılmasına yardımcı olacaktır. Bu çalışma, eğitim uçaklarının seçimi konusunda sadece teorik bir çerçeve sunmakla

kalmayıp, aynı zamanda gerçek hayatta yapılan seçim ihalelerine de rehberlik edecek pratik bir yaklaşım sunmaktadır.

Ayrıca, yerli kaynaklarla üretilmiş yeni versiyon Hürkuş-2 uçağının değerlendirilmesi, yerli havacılık sanayisinin gelişimine katkı sağlayacaktır. Yerli eğitim uçaklarının tercih edilmesi, ülke ekonomisine katkıda bulunarak dışa bağımlılığı azaltacak ve yerli teknoloji kullanımını teşvik edecektir.

Bu araştırma, pilotaj eğitimi için eğitim uçağı seçiminde yerlilik kriterinin değerlendirildiği ilk çalışma olma özelliğini taşımaktadır. Yerlilik kriterinin ağırlığının belirlenmesi, yerli üretim uçakların değerlendirme sürecinde ne kadar öncelikli olduğunu ortaya koyar. Bu, karar vericilere yerli uçakların stratejik, ekonomik ve teknolojik faydalarını daha iyi anlamaları konusunda yardımcı olur. Ayrıca, yerlilik kriteri, ekonomik sürdürülebilirlik ve ulusal güvenlik açısından diğer teknik ve operasyonel kriterlerle dengeli bir şekilde değerlendirildiğinde, en uygun eğitim uçağının seçilmesine katkı sağlar. Yerlilik kriterinin diğer kriterlerle dengelenmesi, karar vericilerin yerli üretim uçakların potansiyel avantajlarını ve dezavantajlarını kapsamlı bir şekilde değerlendirmelerine olanak tanır.

Ayrıca, AHP, TOPSIS ve Hedef Programlama yöntemlerinin entegre kullanıldığı bir çalışma olması, eğitim uçağı seçimi alanında yenilikçi bir yaklaşım sunmaktadır. Bu yöntemlerin entegrasyonu, karar vericilerin daha dengeli ve kapsamlı bir değerlendirme yapmalarına olanak tanımaktadır. Araştırmanın sonuçları, gerçek hayatta yapılan uçak seçimi ihalelerine uygulanabilir ve bu süreçlerde bilgiye dayalı kararların alınmasını sağlayabilir.

Eğitim uçağı seçiminde veri toplama sürecinde grup karar verme metodolojisi kullanılmıştır. Araştırmanın sınırlılıkları arasında, veri toplama sürecinde kullanılan anketlerin sınırlı sayıda uzman görüşünü yansıtması bulunmaktadır. Ayrıca, kullanılan yöntemlerin sonuçlarının doğruluğu, kullanılan verilerin doğruluğuna ve yöntemlerin doğru uygulanmasına bağlıdır. Bu nedenle, araştırma bulgularının başka çalışmalarla desteklenmesi ve farklı yöntemlerle doğrulanması gerekmektedir.

Bu çalışmada, pilotaj eğitimi için en uygun eğitim uçağının belirlenmesi sürecinde kullanılan kriter ve yöntemler detaylı olarak ele alınmıştır. Araştırmanın bulguları, pilotaj eğitimi veren kurumlar ve karar vericiler için değerli bir rehber niteliğindedir. Eğitim uçaklarının seçimi, pilot adaylarının yeteneklerini geliştirme sürecinde kritik bir rol oynadığından, bu çalışmanın

sonuçları, eğitim kalitesinin artırılmasına ve kurumların doğru finansal kaynak kullanımını sağlamasına önemli katkılar sağlayacaktır. Yerli uçakların tercih edilmesi, ekonomik ve stratejik açıdan ülkeye önemli avantajlar sağlayarak, ulusal havacılık sanayisinin gelişimine katkıda bulunacaktır. Bu alışma hem teorik hem de pratik açıdan değerli bilgiler sunarak, eğitim uçaklarının seçim sürecine kapsamlı bir bakış açısı getirmektedir.

Bu alışma 8 ana başlık altında toplanan bölümden oluşmaktır. İlk bölümde yapılan tez çalışması ile ilgili bilgilendirmeler yapılmıştır. İkinci bölümde literatür taraması yer almaktadır. nc bölümde pilotaj eğitimi ve seviyeleri hakkında bilgiler bulunmaktadır. Dördüncü bölümde, belirlenen eğitim uçağı alternatifleri ile ilgili teknik ve genel bilgilendirmeler, beşinci bölümde ise seçim aşamasında değerlendirmeye alınması için belirlenen kriterlerin tanımlarına yer verilmiştir. Altıncı bölümde, ÇKKV hakkında bilgiler verilmiş ve çalışmanın uygulama bölümünde kullanılan yöntemlerin adımları detaylı olarak aktarılmıştır. Yedinci bölümde, 3 aşamadan oluşan uygulama yer almaktadır. Ayrıca bu bölümde, Hürkuş-2 uçağının değerlendirilmesi yapılmıştır ve nicel ve nitel kriterlerin seçim sürecinde etkisi ile ilgili bir analiz sunulmuştur. Son bölümde ise ulaşılan sonuçlar değerlendirilmiş, çalışmanın literatüre olan katkısından söz edilmiş ve gelecekte yapılabilecek araştırmalara öneriler sunulmuştur.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Farklı alanlarda faaliyet gösteren hava araçlarının seçimi üzerine literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Seçilen hava aracının gereksinimlerine uygun farklı kriterler belirlenip değerlendirilerek çalışmalar yapılmaktadır. Seçim problemlerinde kriterlerin belirlenmesi adımı, uzman değerlendirmelerinin yanında literatürdeki çalışmalar da kıymetlidir. Bu kriterlere ve seçim problemine uygun farklı yöntem veya yöntemlerin entegrasyonu ile sonuca ulaşılmıştır. Bu bölümde yapılan literatür incelemesinde, çalışmalarda değerlendirmeye alınan kriterler ve değerlendirme yöntemleri üzerine durulmuştur.

Aşağıda yer alan Çizelge.2.1’de ise literatürdeki çalışmalar ilgili kapsamda özetlenmiştir. Yazar, yayın yılı, değerlendirmeye alınan seçim kriterleri ve seçimde kullanılan yöntemler ilgili sütunlarda aktarılmıştır.

2002 yılında, Serdal Çelikyay tarafından gerçekleştirilen çalışmada ÇKKV yöntemlerinden AHP ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak belirlenen 5 savaş uçağı için bir seçim süreci yürütmüştür. Çalışmada 6 ana kriter ve 21 alt kriter belirlenmiştir. Mekanik performans ana kriteri altında; Maksimum hız, maksimum menzil, maksimum kalkış ağırlığı alt kriterleri bulunmaktadır. Kontrol yeteneğı ana kriteri altında; Her tür hava hareketinde kullanılabilirlik, dayanıklılık, her tür hava koşulları ile gündüz ve gece şartlarında uçabilirlik, maksimum uçuş sortisi yer almaktadır. Silah sistemleri ana kriteri altında; Her tür hava atış yeteneğı, maksimum mühimmat taşıma kapasitesi, elektronik harp yeteneğı, radar sistem yeteneğı, her tür silah atabilme ve uyumluluk bulunmaktadır. Aviyonik sistemler ana kriteri altında ise; Muhabere sistemleri, yardımcı uçuş gösterge sistemleri olmak üzere iki alt kriter değerlendirilmiştir. Uçak seçiminde oldukça öneme sahip Uçuş emniyeti ana kriteri altında; Acil kurtarma sistemleri ve her tür harekatta pilot destek sistemleri bulunmaktadır. En son Ekonomiklik ana kriteri altında, Satın alma maliyeti, bakım ve idame etme maliyeti, ekonomik ömür ve servis donanım devamlılığı alt kriterleri kullanılmıştır. Belirlenen seçim kriterleri içerisinde hem nitel hem de nicel ölçütler yer almaktadır. Nitel kriterlerin ikili karşılaştırılması için anket yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmada farklı olarak, TOPSIS yönteminde alternatiflerin nitel kriterler için puanlanmasında AHP yönteminde bulunan, alternatiflerin bu nitel kriterler için karşılaştırma matrisiyle bulunan ağırlıklarının kullanıldığı dikkat çekmektedir [1].

2006 yılında, Yılmaz yürüttüğü çalışmada Türkiye’ye ait bir ticari havayolu firması olan Türk Hava Yolları’nın mevcut filosuna yeni uçaklar kazandırma kararı alması durumu için bir

çalışma yapılmıştır. Bu çalışma ileride, havayolu şirketlerinin var olan filolarına yeni bir uçak kazandırmak isteme durumlarında doğru tercihi yapmaları için rehber amacıyla yapılmıştır. Tek koridorlu, dar gövdeli ve orta menzilli 5 farklı alternatif uçak belirlenmiştir. Genel Sistem Özellikleri, Kullanılan Teknoloji Seviyesi, Yapısal Sistem Özellikleri, Motor Özellikleri, Bakım Özellikleri, Bileşen Yetenek Kazanma Özellikleri, Teknik Destek, İşletme ve Yedek Parça Maliyetleri, Uçuş Kontrol Sistemleri ve Mevcut Filoya Benzerlik kriterleri altında değerlendirme yapılmıştır. Belirsiz ve kesin olmayan çalışmada kullanılan verilerden kaynaklı, AHP ve bulanık AHP yöntemleri birlikte kullanılmıştır [2].

2015 yılında, Sanchez Lozano vd. çalışmalarında İspanyol Hava Kuvvetleri'nin Hava Personeli ve Lojistik Destek Komutanlığı için alternatif askeri eğitim uçağı seçimi için ön çalışma niteliğinde oluşturulmuş. 5 alternatif eğitim uçağı aralarında hem nicel kriterlerin (maksimum irtifa, seyir hızı gibi.), hem de nitel kriterlerin (insan faktörleri, uçuş ve kontrol kaliteleri gibi.) bulunduğu kriterler altında bulanık mantık ve ÇKKV yöntemlerinden AHP ve TOPSIS'in entegrasyonu ile yapılmıştır. Eğitimli test pilotları ve uçuş eğitmenlerinden dilsel değerlendirmelerde destek alınmıştır. Bu uzman ekip, yöntemler sonucu çıkan eğitim uçağı seçim alternatif sırasının sübjektif beklentileri ile uyumlu olduğunu vurgulamıştır. İleriki çalışmalarda ülkeler arası iş stratejileri, operasyonel ömür boyunca silah sistemlerinin sürdürülebilirliği ve maliyet bakımından farklı kriterlerin de çalışmaya eklenmesi gerektiği üzerinde durulmuştur [3].

2018 yılında ise, Petrovic ve de Kankaraš çalışmalarında hava trafik koruma uçağı seçimine ait bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Kriterler 45 katılımcılı, görece sayıca fazla bir ekip ile değerlendirilmiştir. The Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) yöntemi ile kriterler ve kriterlerin özelliklerin etkileşimi değerlendirilmiştir. Tablo z'de değerlendirilen kriterler ayrıntılı olarak verilmiştir. Bu kriterlerin ağırlığına ise AHP yöntemi ile ulaşılmıştır. Bu çalışma, benzer coğrafi özelliklere sahip farklı ülkeler için de kullanılabilir [4].

2019 yılında, Kartika ve Hanani çalışmalarında Endonezya'da Soekarno Hatta Uluslararası Havalimanı'nda yüksek frekanslı iç hatta kullanılan rotaları dikkate almaktadır. En iyi uçak tipini seçmek için Odak Grup Tartışması (Focus Group Discussion-FGD), ve AHP yöntemlerinin entegre şekilde kullanılması dikkat çekmektedir. Değerlendirmede Maksimum Kalkış Ağırlığı, Koltuk Kilometre Başına Maliyet, Operasyonel Performanslar, Teslimat

Süresi, Filo Benzerliği ve Ek Avantajlar olmak üzere 6 kriter dikkate alınmıştır. Koltuk Kilometre Başına Maliyet kriteri iç hat rotasında kullanılacak olan uçak için öncelikli kriter olarak değerlendirilmiştir. 4 alternatif uçak arasından seçim yapılmıştır. Çalışmada yalnızca belirli rotalar değerlendirmeye alındığı için bu bağlamda sınırlılıklar mevcuttur. Farklı rotalarda farklı sonuçlar elde edilebileceği için çalışma genişletilmelidir [5].

2019 yılında, Lozano ve Rodriguez, tarafından yine askeri ileri eğitim uçağının seçimi için İspanyol Hava Kuvvetleri'nin rehber olarak kullanımı için yürütülmüş bir çalışmadır. 4 alternatif eğitim uçağı, nitel ve nicel toplam 13 kriter altında değerlendirilmiştir. Değerlendirmeye alınan kriter seti; muharebe tavanı, dayanıklılık, itme gücü, kalkış ağırlığı, operasyonel hız, kalkış mesafesi, dönüş hızı, menzil, taktiksel kabiliyet, manevra kabiliyeti, ergonomi, uyumluluk, maliyet kriterlerinden oluşmaktadır. Nitel kriterler için Savaş ve Taaruz Eğitim Filosu uçuş eğitmenlerinden bilgiler alınmıştır. Kriterlerin önem ağırlıklarının belirlenmesi adına AHP yöntemi kullanılmıştır. Alternatiflerin seçim sırasını elde etmek için ise İdeal Referans Yöntemi (Reference Ideal Method-RIM) ve aynı yöntemin bulanık versiyonu olarak Bulanık İdeal Referans Yöntemi (Fuzzy Reference Ideal Method-FRIM) kullanılmıştır. Bu çalışma, birçok çalışmada kullanılan AHP ile RIM yöntemlerinin ve onun bulanık versiyonu FRIM entegre şekilde çalışma durumunu göstermektedir. Çalışmanın sonunda, çeşitli değerlendirmeleri içeren bir analiz olması da kullanılan yöntemlerin tutarlılığını ve doğruluğunu kanıtlar nitelik taşımaktadır [6].

2020 yılında, Kiracı ve Akan çalışmasının en öne çıkan özelliklerinden biri belirsiz ortamda ticari uçak seçim sürecinde, ilk kez yeni bu yöntemlerin kullanılmasıdır. Aralık Tipi-2 Bulanık AHS (AT2 BAHS, Interval Type-2 Fuzzy AHP-IT2FAHP) ve Aralık Tipi-2 Bulanık TOPSIS (AT2 BTOPSIS, Interval Type-2 Fuzzy TOPSIS-IT2FTOPSIS) hibrid yöntemleri kullanılmıştır. Bunun klasik yöntemleri kullanmaya göre avantajları arasında ileride daha belirsiz durumlarda uçak seçiminde daha doğru kararların alınmasını sağlayacaktır. Çalışmada değerlendirmeye alınan kriterler ise ana kriterler (Teknik Yönler, Ekonomik Yönler, Çevresel Yönler) ve alt kriterler (Menzil, Koltuk Başına Yakıt Tüketimi, Hız, Uçak Kullanım Ömrü, İniş ve Kalkış Mesafesi, Maksimum Kalkış Ağırlığı, Uçak Koltuk Kapasitesi; Bakım Maliyeti, Hurda Maliyeti, İşletme Maliyeti, Uçak Fiyatı; Kirlilik, Gürültü) olarak belirlenmiştir. Çalışma, değerlendirilen kriterlerin çok yönlü olmasıyla da dikkat çekmektedir. Ayrıca, ilk yazarın ÇKKV yöntemleri ile uçak seçimi ile ilgili birçok yayının olduğu bilinmektedir [7].

2021 yılında, günümüz çalışmalarına yaklaşıldığında, Hoan ve Ha çalışmasında Vietnam Halkının Hava Kuvvetleri için en uygun savaş uçağı seçimi probleminde çözüm getirilmek istenmektedir. Kriterlerin ağırlıkları, Tam Tutarlılık Yöntemi (Full Consistency Method - FUCOM) yöntemi ile bulunmuştur ve ardından alternatiflerin sıralaması Toplam Oran Değerlendirme (Additive Ratio Assessment-ARAS) yöntemi ile yapılmıştır. Çalışmanın sonunda duyarlılık analizi yapılmıştır ve yöntemin tutarlılığı incelenmiştir. Çalışmada kullanılan FUCOM tekniği sayesinde ikili karşılaştırma sayısı diğer tekniklere göre daha az yapılmıştır ve bu da tutarlılığı arttırmıştır [8].

Yine 2021 yılında, Do Nascimento Maêda ve arkadaşlarının çalışmasında Brezilya Deniz kuvvetleri gereksinimlerine uygun helikopter seçimi ile ilgili bir çalışmadır. Deniz operasyonları için kapasitesinin artırılması hedeflenmektedir. AHP, TOPSIS ve “2N” yöntemi kullanılmıştır. Burada “2N” yöntemi olarak bahsedilen, iki normalleştirme çeşidinden oluşan bir yöntemdir. Bu iki farklı şekilde yapılan normalizasyon işlemi sayesinde TOPSIS yöntemindeki sonuçlarını daha güvenilir kılmaktadır. Farklı uygulama alanlarında da bu yöntemler hibrit şekilde efektif kullanılabilir. Çalışmada, 6 helikopter alternatifi için seçim süreci gerçekleştirilmiştir. Maksimum Hız, Taşıma Kapasitesi, Ana Top, Ana Top Mühimmat Sayısı, Roket Sayısı, Hava-Yere Füze Sayısı, Menzil kriterleri seçimde ölçüt olarak kullanılmıştır [9].

2022 yılında, Torğul ve arkadaşları çalışması incelendiğinde, son yıllarda uçuş okulu kurumların sayısı oldukça artış göstermektedir. Bu çalışmada kurumlar için uygun eğitim uçağı seçimi için bulanık En iyi-en kötü (Best Worst Method-BWM) kullanılmıştır. Bir sonraki adım olarak, gerçek hayatta da olduğu gibi farklı kısıtlar altında alınması gereken uçak sayısı belirlenmesi için matematiksel modelleme yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmada, benzer şekilde matematiksel modelleme ve ÇKKV yöntemleri ileriki bölümlerde bütünleşmiş şekilde kullanılacaktır. Bu bakımdan, çalışmalar benzerlik taşımaktadır. Çalışmada 8 alternatif uçak, 9 kriter altında incelenmiştir. Bu kriterler, Maksimum Seyir Hızı, Maksimum Menzil, Kalkış ve İniş Yer Yalpalaması, Maksimum Tırmanış Hızı, Güç Çıkışı, Boş Ağırlık, Fiyat, Faydalı Yakıt Kapasitesi, Revizyon Öncesi Süredir. Bu çalışmada, BWM yöntemi eğitim uçağı seçiminde ilk kez kullanılmıştır [10].

Ardil tarafından, 2022 yılında yapılan bir diğer çalışmada ise kriter ağırlıklarının bulunması için Entropi Ağırlıklandırma Yöntemi (Entropy Weighting Method-EWM) kullanılmıştır.

Ardından, alternatiflerin sıralanması için Karar Belirsizliği Mesafe (Decision Uncertainty Distance-DUD) yöntemi kullanılmıştır. İki yöntem birbirine entegre şekilde eğitim uçağı seçiminde kullanılmıştır. DUD yönteminin sıralamasının kontrolü için uçaklar TOPSIS yöntemi ile de sıralanmıştır. DUD ve TOPSIS'te bulunan sıralamaların aynı olduğu kaydedilmiştir. Bu sayede, yöntemin güvenilirliği ortaya konmuştur. Çalışmada 5 alternatif, 7 kriter (Uçak bagaj kapasitesi, Azami Kalkış Ağırlığı (AKA, Maximum Takeoff Weight-MTOW), Koltuk kapasitesi, Fiyat, Hız, Çevresel maliyet, Mevcut koltuk mili başına maliyet) ile değerlendirilmiştir. Bu çalışmanın sınırlılıkları, belirlenen kriterler olarak değerlendirilmiştir [11].

Deveci ve arkadaşlarının 2024 yılında yaptığı çalışmada, 4 yolcu uçağı alternatifinin seçim süreci için bir yol izlenmiştir. 5 ana kriter ve 10 alt kriter altında değerlendirme yapılmıştır. Seçilen uçak tipinin yolcu uçağı olması nedeniyle, değerlendirmeye alınan kriterlerin farklı olduğu dikkat çekmektedir. Bu kriterler; Gelir Yönlendirici Yönü ana kriteri altında, Koltuk Doluluk Oranı, Biletli Yolcu Geliri (Fayda), Kargo Geliri alt kriterleridir. Kapasite Yönü ana kriteri için Ekonomi Sınıfı Yolcu ve İş Sınıf Yolcu Kapasitesi alt kriterleridir. Müşteri Deneyimi Yönü ana kriteri için, Ekonomi Sınıfı ve Business Sınıfı Yolcu Deneyimi alt kriterleri ile değerlendirilmiştir. Yıllık İşletme Maliyeti Yönü ana kriteri, Sabit Maliyet ve Değişken Maliyet alt kriterleri ile değiştirilmiştir. Rekabet Yönü ana kriteri ise, rakibin ürünü alt kriteri ile değerlendirilmiştir. Bu çalışma, kullanılan iki aşamalı yöntem bakımından diğer çalışmalardan ayrılmaktadır. İlk aşamada yeni bir yöntem olan, bulanık trigonometrik tabanlı Sıralı Öncelik Yaklaşımı (Ordinal Priority Approach- OPA) kriter ağırlıklarını belirler. İkinci aşamada ise, optimal uçak türünü belirlemek için Fonksiyonel Kriter Alt Aralıklarının Tek Aralıklara Haritalanması Yoluyla Alternatiflerin Sıralanması (Ranking of Alternatives through Functional Mapping of Criteria Subintervals into Single Intervals-RAFSI) ilk yöntem ile entegre şekilde kullanılmıştır. Çalışmanın sonunda gerçekleştirilen duyarlılık analizi ise kurulan çözüm modelinin doğruluğunu göstermektedir [12].

Çizelge 2.1. Literatür taraması

Yazar	Yıl	Method	Kriterler
Çelikyay [1]	2002	AHP, TOPSIS	Mekanik Performans Maksimum Hız Maksimum Menzil Maksimum Kalkış Ağırlığı Kontrol Yeteneği Her Tür Hava Harekatında Kullanılabilirlik Dayanıklılık Her Tür Hava Koşulları ile Gündüz ve Gece Şartlarında Uçabilirlik Maksimum Uçuş Sortisi Silah Sistemleri Her Tür Hava Atış Yeteneği Maksimum Mühimmat Taşıma Kapasitesi Elektronik Harp Yeteneği Radar Sistem Yeteneği Her Tür Silah Atabilme ve Uyumluluk Aviyonik Sistemler Muhabere Sistemleri Yardımcı Uçuş Gösterge Sistemleri Uçuş Emniyeti Acil Kurtarma Sistemleri Her Tür Harekatta Pilot Destek Sistemleri Ekonomiklik Satın Alma Maliyeti Bakım ve İdame Etme Maliyeti Ekonomik Ömür Servis Donanım Devamlılığı
See vd. [13]	2004	Çok Nitelikli Yöntem	Maksimum Seyir Hızı Maksimum Menzil Maksimum Kalkış Ağırlığı Keskin/Pürüzsüz (Crisp) Yolcu Sayısı
Yılmaz [2]	2006	AHP, Bulanık AHP	Genel Sistem Özellikleri Kullanılan Teknoloji Seviyesi Yapısal Sistem Özellikleri Motor Özellikleri Bakım Özellikleri Bileşen Yetenek Kazanma Özellikleri Teknik Destek İşletme ve Yedek Parça Maliyetleri Uçuş Kontrol Sistemleri Mevcut Filoya Benzerlik

Çizelge 2.2. (devam) Literatür taraması

Wang & Chang [14]	2007	AHP, TOPSIS	<p>Yakıt Kapasitesi Güç Santrali Servis Tavanı Maksimum G Sınırları Minimum G Sınırları Maksimum İşletme Hızı Ekonomik Seyir Hızı Maksimum İşletme Hızı (İniş takımları açıkken) Maksimum İşletme Hızı (Flapler açıkken) Flameout Durumunda Düşüş Hızı Maksimum Seyir Hızı Deniz Seviyesinde Maksimum Tırmanış Hızı Kalkış Mesafesi İniş Mesafesi Kalkış ve 50 ft Yüksekliğe Ulaşma Mesafesi 50 ft Yükseklikten İniş ve Tam Durma Mesafesi</p>
Yeh & Chang [15]	2009	TOPSIS, MAVT, Yeni Bulanık Grup ÇKKV	<p>Teknolojik İlerleme Bakım Gereksinimleri Pilot Uyum Sağlama Uçak Güvenirliği Maksimum Menzil Sosyal Sorumluluk Yolcu Tercihi Gürültü Seviyesi Ekonomik Verimlilik Operasyonel Verimlilik Havayolu Filo Ekonomisi Doğrudan İşletme Maliyeti Satın Alma Fiyatı Kurumsal Stratejiye Uygunluk</p>
Ozdemir & Basligil [16]	2011	ANP	<p>Maliyet Satın Alma Maliyeti İşletme ve Yedek Maliyeti Bakım Maliyeti Hurda Maliyeti Zaman Teslimat Süresi Kullanım Ömrü Fiziksel Özellikler ve Diğerleri Boyutlar Güvenlik Güvenilirlik Hizmet Kalitesine Uygunluk</p>

Çizelge 2.3. (devam) Literatür taraması

Sun vd. [17]	2011	ELECTRE, SAW, TOPSIS, Taguchi Kayıp Fonksiyonu	Maksimum Seyir Hızı Kullanılabilir Koltuk Mil Yolcu Başına Kabin Hacmi Koltuk Mil Başına Yakıt Tüketimi
Mello vd. [18]	2012	NAIADE	Edinme Maliyeti Uçağın Satın Alma Maliyeti Likidite İşletme Maliyetleri Menzil Esneklik Sefer Hızı Yedek Parça Bulunabilirliği İniş ve Kalkış Mesafesi Konfor Aviyonikler Kullanılabilirlik Güvenlik
Dožić & Kalić [19]	2014	AHP	Koltuk Kapasitesi Fiyat Bagaj Kapasitesi Maksimum Kalkış Ağırlığı Ödeme Koşulları Koltuk/km Başına Maliyet
Schwening vd. [20]	2014	AHP, TOPSIS	Uçak Alan Kapasitesi Kalkış Mesafesi Yakıt Deposu Kapasitesi Motor Gücü En Boy Oranı Tırmanma Oranı Kanat Dihedral Açısı Kanat Açıklığı Yakıt Tüketimi
Sanchez- Lozano vd. [3]	2015	Bulanık AHP, Bulanık TOPSIS, Bulanık Mantık	Servis Tavanı Seyir Hızı Durma Hızı Dayanıklılık Pozitif Limit Yük Faktörü (+G) Negatif Limit Yük Faktörü (-G) Kalkış Mesafesi İniş Mesafesi İnsan Faktörleri: Kokpit içindeki konfor koşulları Uçuş ve Elleçleme Teknikleri Güvenlik Sistemleri Taktiksel Kabiliyet

Çizelge 2.4. (devam) Literatür taraması

Dožić & Kalić [21]	2015a	AHP, ESM	Uçak Koltuk Kapasitesi Uçak Fiyatı Toplam Bagaj Maximal Take-Off Mass (MTOM) Maksimum Kalkış Ağırlığı Ödeme Koşullar Koltuk Başına Kullanılabilir Mil Başına Toplam Maliyet
Bruno vd. [22]	2015	AHP Bulanık Küme Teorisi	Ekonomik Performans Operasyonel Birim Maliyetler Uçak Fiyatı Teknik Performans Seyir Hızı Otonomi Uçak İçi Kalite Koltuk Konforu Kabin Bagaj Bölmesi Boyutu Çevresel Etki Çevresel Kirlilik Gürültü
Dožić & Kalić [23]	2015b	AHP, ESM, Regresyon Bulanık Mantık	Koltuk Kapasitesi Fiyat Toplam Bagaj Kapasitesi MTOW (Maksimum kalkış ağırlığı) Ödeme Koşulları Uçuş Başına Koltuk Başına Maliyet
Ali vd. [24]	2017	AHP, Maliyet-Fayda Analizi	Edinme Maliyeti İşletme Maliyeti Seyrüsefer Hızı Hassas Hedef Yeteneği Savaş Yarıçapı Maksimum Kalkış Ağırlığı (MTOW) Servis Tavanı Manevra Kabiliyeti Kullanılabilirlik Bakım Kolaylığı
Dožić vd. [25]	2017	Bulanık AHP, LFPP	Uçak Karakteristikleri Uçak Koltuk Kapasitesi MTOM (Maksimum Kalkış Ağırlığı) Uçak Menzili Maliyet Satın Alma Maliyeti Bakım Maliyetleri Kullanılabilir Koltuk Mili Başına Maliyet Eklenmiş Değer Göstergeleri Teslimat Süresi Ödeme Koşulları Filo Ortaklığı Konfor

Çizelge 2.5. (devam) Literatür taraması

Paul vd. [26]	2017	TOPSIS	Maksimum Hız Uçuş Menzili Maksimum Yük Kapasitesi Edinim Maliyeti Güvenilirlik Manevra Kabiliyeti
Petrovic & Kankaraš [4]	2018	DEMATEL, AHP	<p>Aerodinamik ve Uçuş Mekanığı Ağırlık, Hava Hızı İvme Performansı Kalkış-İniş Uzunluğu Uçuş Tavanı Tırmanma Hızı Uçuş Menzili Manevra ve Stabilite Performansı Süpersonik Seyir Yeteneği Tepki Süresi</p> <p>Yapı ve Genel Sistemler Kanat Mekanizasyonu ve Uçuş Kontrol Sistemi Engel Önleme Sistemi GPS Yükseklik Takip Sistemi Ses Komut Sistemi Oksijen Sistemi Radar Kesit Alanı ve Kızılötesi İmza Modernizasyon Potansiyeli Dayanıklılık Hava İkmal Kabiliyeti Pilot Koltuğunun Atılabilirliği</p> <p>Tahrik Sistemi Güvenilirlik ve Bakım Kolaylığı, Maksimum Motor İtme Gücü (afterburning) Maksimum Motor İtme Gücü (afterburning olmadan) Termal Emisyon Bakım Sistemi</p> <p>Aviyonik ve Sensörler Radarlar ve Diğer Sensörler İletişim Ekipmanı Ateş Kontrol Radarı Elektronik Harp Ekipmanı Çok Fonksiyonlu Ekran Navigasyon Ekipmanı Multimedya Bağlantısı</p> <p>Entegre Lojistik Destek Uçağın Güvenilirliği Bakım Kolaylığı Uçak Bakımı Bakım Yapılabilirlik</p>

			Bakım Personelinin Yeteneği Bakım Ekipmanı Altyapı Silahlandırma Silah Montajı için Yer Kapasitesi Silah Çeşitliliği Silah Standardizasyonu Silah Hardpoint Sayısı Gövde Altı Hardpoint'ler Silah Kullanma Olasılığı Yerde Silahla Çalışma Güvenliği Hava-Hava Füzeleri ve Roketler Bombalar ve Diğer Hava-Yüzey Silahları Top (toplar) Keşif Ekipmanları Farklı Hava Koşullarında Keşif Yapma Olasılığı Sensörlerin Menzili Keşif Bilgilerinin Veri İşleme Keşif Fotoğraflarının Veri İşleme Keşif Videolarının Veri İşleme Pilot Eğitim Konsepti Yurtdışı Pilot Eğitimi Bireysel Eğitim Kolektif Eğitim Uçuş Simülatörleri Ekonomi Edinme Maliyeti Yaşam Döngüsü Maliyetleri Uçak İmha Maliyetleri
--	--	--	--

Çizelge 2.6. (devam) Literatür taraması

Durmaz & Gencer [27]	2018	SMAA, SWARA	Uçak Performansı Uluslararası Prestij Pilot Adaptasyonu Lojistik Performan Ekonomiklik
Kiraci vd. [28]	2018a	TOPSIS	Menzil Maliyet Hız Koltuk Kapasitesi Yakıt Tüketimi
Kiracı & Bakır [29]	2018b	AHP, COPRAS, MOORA	Fiyat Menzil Hız Koltuk Kapasitesi Yakıt Tüketimi Maksimum Yük Taşıma Kapasitesi

Çizelge 2.7. (devam) Literatür taraması

Semercioğlu & Özkoç [30]	2019	AHP Destekli Sosyal Seçim Süreci	Uçak Özellikleri Koltuk Kapasitesi Menzil Maksimum Kalkış Ağırlığı (MTOW) Maliyet Satın Alma Maliyeti Bakım Maliyeti Kullanılabilir koltuk-km maliyeti Diğer Faktörler Teslimat Süresi Ödeme Koşulları Filo Yapısında Çeşitlilik Yolcu Beklentileri Konfor
Kartika & Hanani [5]	2019	AHP, FGD	Maksimum Kalkış Ağırlığı Koltuk Kilometre Başına Maliyet Operasyonel Performanslar Teslimat Süresi Filo Benzerliği Ek Avantajlar
Lozano & Rodriguez [6]	2019	Bulanık mantık, AHP, RIM, FRIM	Muharebe Tavanı Dayanıklılık İtme Gücü Kalkış Ağırlığı Operasyonel Hız Kalkış Mesafesi Dönüş Hızı Menzil Taktiksel Kabiliyet Manevra Kabiliyeti Ergonomi Uyumluluk Maliyet
İlgın [31]	2019	Lineer Fiziksel Programlama	Yakıt Tüketimi Bagaj Hacmi Koltuk Sayısı Fiyat Menzil
Yılmaz vd. [32]	2020	AHP, TOPSIS	Stratejik Operasyonel Finansal Bakım

Çizelge 2.8. (devam) Literatür taraması

<p>Kiracı & Akan [7]</p>	<p>2020</p>	<p>AHP ve TOPSIS, Aralık Tipi-2 Bulanık Kümelere</p>	<p>Teknik Uçağın Beklenen Hizmet Ömrü Koltuk Mili Başına Yakıt Tüketimi Azami Kalkış Ağırlığı Uçak Koltuk Kapasitesi Ekonomik Uçağın Fiyatı İşletme Maliyeti Çevresel Gürültü Kirliliği</p>
<p>Başar vd. [33]</p>	<p>2020</p>	<p>AHP, Taksonomi</p>	<p>Stratejik ve Yönetimsel Eğitim Modeline Uygunluk Uçak Bakımı ve İşletme Sürdürülebilirliği Okul Bütçesi Yeterliliği Eğitilecek Öğrenci Sayısı Mevcut Uçaklarla Benzerlik Ülke İçinde Okulların Durumu Operasyonel ve Performans Uçak Fiziksel Özelliklerinin ve Meteorolojik Koşulların Bölgeye Uygunluğu Uçağın Stabilitesi ve Dayanıklılığı Tırmanma Yeteneği ve Maksimum Tırmanma Yüksekliği Stall Hızı Minimum Kalkış Mesafesi Kokpit Ergonomisi Kaza Anında Uçağın Dayanıklılığı Eğitmen Pilotların Lisans ve Nitelikleri Kare İşlem Karakteristikleri Finansal Uçak Tedarik Maliyeti Yedek Parça Tedarik Süresi, Yeri ve Kolaylığı İşletme ve Sigorta Maliyetleri Yağ-Yakıt Giderleri Bakım ve Onarım Uçuş Personelinin ve Ekipmanın Uyumluluğu Teknik Destek Sağlanması Bakım ve Onarım Giderleri Bakım Onarım Tesisleri Bakım ve Onarım Faaliyetlerinin Kolaylığı Derecesi Uçağın Teknik ve Hizmet Ömrü</p>

Çizelge 2.9. (devam) Literatür taraması

Kiracı & Akan [34]	2020	IT2FAHP, IT2FTOPSIS	Teknik Yönler Menzil Koltuk Başına Yakıt Tüketimi Hız Uçak Kullanım Ömrü İniş ve Kalkış Mesafesi Maksimum Kalkış Ağırlığı Uçak Koltuk Kapasitesi Ekonomik Yönler Bakım Maliyeti Hurda Maliyeti İşletme Maliyeti Uçak Fiyatı Çevresel Yönler Kirlilik Gürültü
Akyurt & Kabadayı [35]	2020	Bulanık AHP, Bulanık GİA	Maliyet Kriterleri İlk Alış Maliyeti Bakım Maliyeti Hurda Değeri Yedek Parça Maliyeti Finansman Olanığı Birim Yakıt Maliyeti Operayonel Uyumluluk Kriterleri Menzil Gürültü Sınıfı Tip Uyumluluğu- Filoya Uyum Operasyon Yapılacak Meydanlara Uyum Yükleme kapasitesi Bakım Süreleri Uçak kapı büyüklüğü Zaman Kriterleri Uçuş hızı Teslim Zamanı Ekonomik Ömür
Ardil [36]	2020	PARIS, TOPSIS	Uçak Fiyatı Uçak Yakıt Tüketimi Koltuk Başına Uçak Yakıt Verimliliği Uçak Menzili Uçak Koltuk Sayısı Uçak Bagaj Hacmi Uçak Maksimum Kalkış Ağırlığı

Çizelge 2.10. (devam) Literatür taraması

Hoan & Ha [8]	2021	FUCOM, ARAS	Aerodinamik Özellik Maksimum Kalkış Ağırlığı (MTOW) Silahlandırma Aviyonik Güç Motoru Maksimum Hız Servis Tavanı Tırmanma Hızı Savaş Yarıçapı Edinim Maliyeti İşletme Maliyeti Güvenilirlik Stratejik İş birliği
Do Nascimento Maêda vd. [9]	2021	AHP TOPSIS, 2N	Maksimum Hız Taşıma Kapasitesi Ana Top Ana Top Mühimmat Sayısı Roket Sayısı Hava-Yere Füze Sayısı Menzil
Karamaşa vd. [37]	2021	AHP, MULTIMOORA	Gerekli Pist Uzunluğu IFR/VFR İşletim Yeteneği Güvenilirlik/Güvenlik Satın Alma Maliyeti Bakım Maliyeti İşletme Maliyeti Sertifikalı Personel Sayısı Tesislerin Kullanılabilirliği Yedek Parça Bulunabilirliği Kolaylığı
Kocakaya vd. [38]	2021	Bulanık AHP, Bulanık TOPSIS	Maliyet Teknik Özellikler Emniyet Geçmişi
Bakır vd. [39]	2021	F-PIPRECIA, F-MARCOS	Koltuk Kapasitesi Maksimum Kalkış Ağırlığı (MTOW) Bakım Maliyeti İşletme Maliyeti Uçak Fiyatı Hizmet Ömrü Kabin İçi Kalite Güvenlik Algısı Uçak Gövde Görünümü Karbondiyoksit Emisyonu Azotoksit Emisyonu

Çizelge 2.11. (devam) Literatür taraması

Deveci vd. [40]	2021	Entropi temelli WASPAS, Tip-2 Tereddütlü Bulanık Küme Setleri	Gelir Beklenen Doluluk Oranı Yolcu Geliri Kargo Geliri Kapasite Ekonomi Sınıfı Kabin Koltuk Kapasitesi Business Sınıfı Kabin Kapasitesi Müşteri Beklentisi Ekonomi Sınıfı Kabin Ürünü Business Sınıfı Kabin Ürünü Maliyet Sabit İşletme Maliyeti Değişken İşletme Maliyeti Rekabet Rakiplerin Uçak Türü
Günes [41]	2022	AHP, DEMATEL, TOPSIS	Fiyat Doğrudan İşletme Maliyeti Menzil Koltuk Kapasitesi Kargo Kapasitesi Güvenilirlik CO2 Emisyonları Gürültü Seviyesi Kabin Hacmi Koltuk Başına
Ardil [42]	2022	Bulanık Tercih Optimizasyon Programlama, Bulanık TOPSIS	Bağlantılılık Yük Taşıma Kapasitesi Manevra Kabiliyeti Hız Kabiliyeti Gizlilik
Torğul vd. [10]	2022	BWM, Matematiksel Modelleme	Maksimum Seyir Hızı Maksimum Menzil Kalkış ve İniş Yer Yalpalaması Maksimum Tırmanış Hızı Güç Çıkışı Boş Ağırlık Fiyat Faydalı Yakıt Kapasitesi Revizyon Öncesi Süre

Çizelge 2.12. (devam) Literatür taraması

Ardil [11]	2022	ENTROPİ, DUD, TOPSIS	Uçak Bagaj Kapasitesi Azami Kalkış Ağırlığı (MTOW) Koltuk Kapasitesi Fiyat Hız Çevresel Maliyet Mevcut Koltuk Mili Başına Maliyet (CASM)
Güntut & Gökdalay [43]	2023	Bulanık TOPSIS, Bulanık MOORA	Teknik Kriterler Menzil Taşıma Kapasitesi Yakıt Verimliliği Yardımcı Ekipman Yedek Parça Teknik Destek Azami Kalkış Ağırlığı (MTOW) Kullanım Süresi Ekonomik Kriterler Fiyat Talep Finansman Seçenekleri Uçak Benzerliği Mevcut Koltuk Mil Başına Maliyet (CASM) İç Getiri Oranı Politik Kriterler Ambargo Dış Politika Çevresel Kriterler Gürültü CO2 Emisyonu Diğer Kriterler Yolcu Memnuniyeti Güvenilirlik Uçuş İçi Eğlence Sistemleri
Ardil [44]	2023	Referans Lineer Kombinasyon	Uçuş Menzili Koltuk Sayısı Maksimum Kalkış Ağırlığı (MTOW) Bagaj Hacmi Yakıt Tüketimi Satın Alma Maliyeti

Çizelge 2.13. (devam) Literatür taraması

Deveci vd [12]	2024	OPA, RAFSI (Ranking of Alternatives through Functional Mapping of Criteria Subintervals into Single Intervals)	Gelir Yönlendirici Yönü Koltuk Doluluk Oranı Biletli Yolcu Geliri (Fayda) Kargo Geliri Kapasite Yönü Ekonomi Sınıfı Yolcu Kapasitesi İş Sınıf Yolcu Kapasitesi Müşteri Deneyimi Yönü Ekonomi Sınıfı Yolcu Deneyimi İş Kabini Yolcu Deneyimi Yıllık İşletme Maliyeti Yönü Sabit Maliyet (Maliyet): Havayolu sabit maliyeti Değişken Maliyet (maliyet) Rekabet Yönü Rakibin Ürünü (Maliyet)
Bağcı & Kartal [45]	2024	SWARA, COPRAS	Satın Alma Maliyeti Yakıt Kapasitesi Maksimum Koltuk Kapasitesi Menzil Maksimum Kalkış Ağırlığı Kargo Kapasitesi

*Ana kriterler “bold” yazılmıştır.

3. PİLOTAJ EĞİTİMİ HAKKINDA BİLGİLER

Temel veya başlangıç uçuş eğitimi olarak da bilinen pilot eğitimi, daha sonraki tüm pilotaj beceri ve bilgilerinin üzerine inşa edildiği temel eğitim setidir.

Genellikle kalkış, iniş, dönüş, tırmanış ve alçalmalar gibi temel manevraları kapsayan 40-60 saatlik uçuş eğitimini içermektedir. Temel uçuş eğitimi sırasında, pilot adayı öğrenciler temel uçak kontrollerini, navigasyon tekniklerini ve acil durum prosedürlerini öğrenmektedirler. Bu süreçler fiziksel mukavemetin ve anatomik limitlerin de değerlendirilmeye alındığı zorlu süreçlerdir. Öğrencilerden her bir teorik ve uçuş dersinde yüksek performans beklenmektedir. Örneğin, acil durum prosedürleri dersinin geçme notu yüz üzerinden yüz olarak değerlendirilmektedir.

Temel pilot eğitiminin amacı, uçuş prensiplerine ilişkin sağlam bir anlayış geliştirmek ve öğrencileri alet eğitimi veya ticari pilot eğitimi gibi ileri eğitimlere hazırlamaktır. Genellikle öğrencilerin aerodinamik, hava durumu, hava sahası ve navigasyonun temellerini öğrendikleri yer okulu eğitimi ile başlamaktadır. Öğrenciler güçlü bir teorik temele sahip olduktan sonra sertifikalı bir uçuş eğitmeni eşliğinde uçuş eğitimine geçmektedirler.

Uçuş eğitimi, hem öğrencinin eğitmen eşliğinde olduğu ikili eğitimi hem de öğrencinin uçağı bağımsız olarak uçurduğu solo uçuşları içermektedir. Öğrenciler havada eğitim izlencelerinde yer alan manevraları uygulayarak, durumsal farkındalık geliştirmektedir. Her sortide çeşitli uçuş senaryoları uygulamaktadır. Pilot adayı bu sayede acil durumlarda kısa sürede karar verme yeteneğini geliştirmektedir. Temel pilot eğitimi, öğrencilerin eğitim sırasında kapsanan yeterliliklerini gösterdikleri uygulamalı bir testle sonuçlanır. Temel pilot eğitiminin başarıyla tamamlanması, bir pilotun mesleki yolculuğunda önemli bir kilometre taşıdır ve havacılıkta sürekli öğrenmenin ve ilerlemenin yolunu açmaktadır.

Genel itibarıyla pilotaj eğitiminin temel kısmında, çok yüksek performans gerektirmeyen piston-prop motorlara sahip Cessna C-172, Diamond D-20, Tecnam P2020, T-41, SF-261 gibi uçaklar kullanılmaktadır.

3.1. Tekâmül, İleri Seviye Pilotaj Eğitimi

Temel pilotaj eğitiminin tamamlanmasından sonra öğrenciler, daha yüksek performanslı hava araçları ile tekâmül / ileri (Advanced) pilotaj eğitim seviyesine geçmektedirler [46].

Tekâmül / ileri seviye pilotaj eğitiminde öğrencinin temel pilotaj eğitimi sırasında aldığı dersleri daha yüksek performanslı uçaklarla ileri seviyeye taşımak amaçlanmaktadır.

Örneğin, temel pilotaj eğitiminde kullanılan Cessna C-172 uçağında kabin basınçlandırması mevcut değilken tekâmül seviyesinde kullanılan Pilatus PC-21, Hürkuş, Dimaond Dart-550 gibi uçaklarda kabin basınçlandırması sistemi mevcuttur. Bu tezin odağında yer alan uçakların, tekâmül pilotaj eğitiminde yer alan uçakların motorları Gas Turbine Compressor (Gaz Türbin Kompresör), tipi aksenel turbo-prop olduğunun altını çizmek gerekmektedir. Bu bağlamda, motor gücü, tırmanma oranı ve manevra yeteneği açısından tekâmül pilotaj eğitiminde kullanılan hava araçları, başlangıç eğitiminde kullanılanlara oranla çok daha yüksek uçuş performansına sahiptir.

Tekâmül safhasında amaç, pilot adayının temel eğitime nazaran daha karmaşık uçakları uçurmak ve uçuş yeteneklerini bir üst seviyeye çıkarmaktır. Bu safhadaki eğitim, karmaşık manevralar ve Aletli Uçuş Usulleri (Instrument Flight Rules- IFR) gece uçuşu (Night Flight) veya dağlık arazi gibi zorlu koşullardaki operasyonlar için özel eğitim dahil olmak üzere çok çeşitli disiplinleri kapsamaktadır.

Aynı zamanda bu seviyede öğrencilerin turbojet / turbofan uçaklara adaptasyonu da gözlemlenmektedir. Askeri eğitim sürecinde bu eğitim fazı savaş manevralarını da içermektedir. Ayrıca, pilotlar, uçuş eğitiminin ilk aşamalarından ileri düzey tazeleme eğitimine kadar sürekli gelişen havacılık ortamında becerilerini, bilgilerini ve karar verme yeteneklerini korumak için sürekli eğitime katılmak zorundadırlar. “Validasyon / Standardizasyon” adı verilen eğitim programları ile meslek hayatına devam eden pilotların bilgilerinin taze olarak kalması hedeflenmektedir [47].

İlave olarak, havacılık sanayii, yenilikçi teknolojileri ilk uyarlayan öncü bir endüstri olmuştur [48]. Yenilikçi teknolojileri hızlı bir şekilde adapte etmek aynı zamanda, tüm eğitim müfredatlarının sürekli güncel tutulması zorunluluğunu oluşturmaktadır. Uçuş emniyeti açısından olmazsa olmaz olan eğitim güncellenmesi konusunda herhangi bir zafiyet yaşanırsa kazalar hemen baş göstermektedir. Havacılık tarihinin en dikkat çekici kazalarından olan Boeing 737-Max kazaları eğitim konusundaki bir aksamanın ne kadar ölümcül olabileceğinin en doğru örneğini teşkil etmektedir. 29 Ekim 2018 tarihinde Endonezya’da 189 kişinin ve 10 Mart 2019’da Etiyopya’da 157 kişinin hayatını kaybettiği kazaların arkasında Boeing 737-Max uçaklarına uyarlanan yenilikçi Manevra Karakteristiği Güçlendirme Sistemi (MKGS,

Maneuvering Characteristics Augmentation System-MCAS) sisteminin pilotlara eğitiminin tam olarak verilmediğinden kaynaklandığı ortaya çıkmıştır [49,50].

Temel ve ileri seviye ile çalışma hayatı boyunca pilotaj eğitimi uçuş emniyetinin en önemli nüvesini oluşturmaktadır. Sadece pilotları değil, bakım ve üretim gibi birimlerde çalışan diğer havacılık profesyonellerini, uçakları etkili bir şekilde yönetmek ve acil durumlara müdahale etmek için bilgi, beceri ve yeterliliklerle donatmak zorunluluğu mevcuttur. Sürekli güncellenen eğitim programları aracılığıyla pilotlar, uçak sistemleri, uçuş dinamikleri, hava trafik kontrol prosedürleri ve acil durum müdahale protokolleri hakkında derinlemesine bir durum farkındalığı geliştirmektedirler. Bu eğitim, onlara bilinçli kararlar verme, potansiyel riskleri azaltma ve yolcuların ve mürettebatın güvenliğini sağlama konusunda güç vermektedir. Sonuç olarak, havacılık endüstrisi, eğitime öncelik vererek bir güvenlik kültürünü teşvik etmekte, olay ve kaza olasılığını en aza yıldıan yıla azaltmakta ve en yüksek düzeyde operasyonel verimliliği korumaktadır.

4. SEÇİM SÜRECİNDE DEĞERLENDİRİLECEK EĞİTİM UÇAKLARI

Temel pilotaj eğitimini başarı ile tamamlayan öğrenciler, tekâmül / ileri (Advanced) pilotaj eğitim seviyesine geçmektedirler. Bu tez çalışması kapsamında; bu eğitim seviyesi için seçim sürecinde değerlendirilecek alternatif eğitim uçakları belirlenmiştir. Hürkuş, KT-1, Pilatus PC-21, A29 Super Tucano, Yakovlev YAK-152, Diamond Dart-550, Beechcraft T-6c Texan II olmak üzere yedi alternatif eğitim uçağı belirlenmiştir. Bu uçakların ortak özelliğı Gas Turbine Compressor (Gaz Türbin Kompresör), tipi eksenel turbo-prop tek motora sahip, yüksek performanslı olmalarıdır. Görünümleri dışarıdan bakıldığında birbirlerine çok benzemektedir. Aşağıda bu uçaklar hakkında genel bilgiler ve teknik bilgiler yer almaktadır. Bu teknik bilgiler seçim yöntemlerinde ileriki bölümlerde kullanılmıştır.

4.1. Hürkuş

Türk Havacılık ve Uzay Sanayii (TUSAŞ) tarafından geliştirilen, iki kişilik, alçak kanatlı, tek motorlu turboprop bir uçaktır ve temel eğitim ile hafif kara saldırı görevlerini üstlenmektedir. Adını Türk havacılık tarihinde önemli bir yere sahip olan Vecihi Hürkuş'tan almıştır.

Bu uçak, gelişmiş eğitim ve hafif taarruz görevleri için tasarlanmıştır. Tandem oturma düzenine sahip olan Hürkuş, pilotların temel eğitimden savaş uçaklarına dönüşüm aşamasına kadar tüm eğitim seviyelerinde kullanılabilir ve zorlu operasyonlarda yakın hava desteğı sağlayabilir.

Hürkuş'un rolleri arasında temel ve ileri seviye pilot eğitimi, devriye ve sınır güvenliğı, narkotikle mücadele operasyonları, yakın hava desteğı, silahlı keşif, havadan tecrit, gözetleme ve keşif, havadan ileri hava kontrolü, eskort ve tarama görevleri bulunmaktadır.

Hürkuş'un genel özellikleri arasında üstün aerodinamik performansı, gelişmiş aviyonikler, iki kokpitten gelişmiş görüş, görerek ve aletli uçuş kabiliyeti, anti-G sistemi, 1600 shp PT6A-68T Pratt & Whitney Canada turboprop motoru, Martin-Baker MK T16N 0/0 fırlatma koltukları, ters uçuş kabiliyeti, uçak içi oksijen üretme sistemi, güçlendirilmiş kanopi ve yüksek şok emici iniş takımları bulunmaktadır [51]. Teknik özellikleri Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

Üretici Şirket/Ülke: Türk Havacılık ve Uzay Sanayii/Türkiye

Motor Tipi: Tek motorlu, PT6A-68T Pratt & Whitney Canada Turboprop Motor

Çizelge 4.1. Hürkuş teknik özellikler

TEKNİK ÖZELLİKLER [51]

Maksimum Hız	km/h	574
Maksimum İrtifa	feet	34705
Maksimum Menzil	km	1140
Maksimum Kalkış Ağırlığı (MTOW)	kg	3750
Maksimum Havada kalma süresi	dk	255
Tırmanma Oranı	feet/min	3297
Maksimum Yakıt Kapasitesi	kg	544
Faydalı Yük	kg	750
Motor Gücü	shp	1600
Satın Alma Maliyeti	milyon \$	~9

Resim 4.1’de Hürkuş eğitim uçağının görseli yer almaktadır.



Resim 4.1. Hürkuş Eğitim Uçağı

4.2. KT-1

Korea Aerospace Industries tarafından geliştirilen, KT-1, temel eğitim uçağıdır. Üstün dönüş kabiliyeti ve yakıt verimliliğı öne çıkmaktadır. Yine yerli teknolojiyle geliştirilen model olan KA-1 ise, silahlı hava kontrol uçağı sınıfına girmektedir ve güvenlik performansı ve güvenilirliğı sağlamaktadır. Uçaklar, Kore Cumhuriyeti Hava Kuvvetleri tarafından işletilmektedir.

KT-1 eğitim uçağının, geniş yelpazeye sahip ihracat ağı vardır. Endonezya'dan başlayarak Türkiye, Peru ve Senegal'e kadar uçak ihracatı yapılmaktadır.

Öğrenci pilotların uçuş eğitimi için geliştirilmiş KT-1'in öğrenci pilotların ihtiyaçlarına yönelik olarak geliştirilmiş bir kokpite sahip olduğu bilinmektedir. Bu özellikli kokpit, pilotlara mükemmel bir görüş açısı sunar ve uçuş sırasında konforlu bir ortam sağlamak adına klima sistemiyle donatılmıştır.

KT-1, ileri aviyonik sistemlere sahiptir. GPS/INS, TACAN, VOR/ILS gibi modern navigasyon sistemlerine sahip olan uçak, ayrıca son teknoloji dijital göstergelerle donatılmıştır.

Uçuş Güvenliği her zaman çok önemlidir ve KT-1, uçuş güvenliği için bir dizi önemli sistemle donatılmıştır. ARTS (Airborne Radio Telephone System) gibi uçuş güvenliği sistemlerinin yanı sıra, bağımsız acil hidrolik sistem ve kayma önleyici fren sistemi gibi önlemler de bulunmaktadır [52]. Teknik özellikleri Çizelge 4.2.'de verilmiştir.

Teknik Bilgiler

Üretici Şirket:	Korea Aerospace Industries/Kore
Motor Tipi:	Tek motorlu, PT6A-62, Pratt & Whitney Canada PT6

Çizelge 4.2. KT-1 teknik özellikler

TEKNİK ÖZELLİKLER [52]

Maksimum Hız	km/h	648
Maksimum İrtifa	feet	38000
Maksimum Menzil	km	1333
Maksimum Kalkış Ağırlığı (MTOW)	kg	2775,196
Maksimum Havada kalma süresi	h	270
Tırmanma Oranı	feet/min	4100
Maksimum Yakıt Kapasitesi	kg	385
Faydalı Yük	kg	1405
Motor Gücü	shp	950
Satın Alma Maliyeti	milyon \$	~7

Resim 4.2'de KT-1 eğitim uçağının görseli yer almaktadır.



Resim 4.2. KT-1 Eğitim Uçağı

4.3. Pilatus PC-21

Pilatus PC-21, öğrenci pilotlara özel olarak tasarlanmış bir eğitim uçağıdır. Hava kuvvetleri bütçeleri her zaman önemle harcanması gerektiğinden maliyet ve performans olarak son derece verimli bir uçak tasarımı hedeflenmiştir. Savaş uçağı kullanan pilotların bu eğitim uçağından sonra herhangi bir jete geçiş yapmasına gerek kalmaması yönüyle maliyet ve eğitim süresi önemli ölçüde azalmaktadır. Bu başarıyı elde etmek için, Pilatus tasarım ve performans aralığını önemli ölçüde genişleterek bu tek motorlu turboprop uçağı ile şimdiye kadar yalnızca jet eğitim uçaklarının alanı olan bir bölgeye adımını atmıştır.

2017 yılında kullanılmaya başlanmış Pilatus PC-21 tasarımı, öngörülebilir bir işletme maliyeti profili sağlar. Yenilikçi bir konsept, modern malzemeler ve tam ölçekli yorgunluk testi ile onaylanması, geleneksel ve performans temelli operasyonlar için ideal bir uçak elde edilmesini sağlar. Mevcut PC-21 müşterileriyle elde edilen deneyimler, bir öğrenciyi mezuniyetine kadar eğitmenin maliyetini %50'den fazla azaltmanın mümkün olduğunu göstermektedir.

PC-21, temel ve ileri düzey askeri pilot eğitimi gereksinimlerini karşılamakla kalmaz. Aynı zamanda görev planlaması, taktiksel navigasyon, görev sistem yönetimi, sivil uçuş yönetimi, elektronik harp, radar eğitimi, simüle edilmiş silah kullanımı ve gece görüş operasyonları gibi konularda da eğitim olanakları sağlar [53]. Teknik özellikleri Çizelge 4.3.'te verilmiştir.

Teknik Bilgiler

Üretici Şirket:	Pilatus Aircraft
Motor Tipi:	Tek motorlu, Pratt & Whitney PT6A-68B Motor

Çizelge 4.3. Pilatus PC-21 teknik özellikler

TEKNİK ÖZELLİKLER

Maksimum Hız	km/h	685,64
Maksimum İrtifa	feet	25000
Maksimum Menzil	km	1333
Maksimum Kalkış Ağırlığı (MTOW)	kg	3100
Maksimum Havada kalma süresi	h	180
Tırmanma Oranı	feet/min	4091
Maksimum Yakıt Kapasitesi	kg	540
Faydalı Yük	kg	1150
Motor Gücü	shp	1600
Satın Alma Maliyeti	milyon \$	~9

Şekil 4.3'te Pilatus PC-21 eğitim uçağı görseli yer almaktadır.



Resim 4.3. Pilatus PC-21 eğitim uçağı

4.4. A29 Super Tucano

A-29 Super Tucano, dünya genelinde 16'dan fazla ülkenin hava kuvvetleri tarafından tercih edilen ve kullanımda olan, kanıtlanmış bir hafif saldırı uçağıdır. Bu uçak, savaş alanlarının haricinde, aynı zamanda sınır güvenliği, silahlı keşif, engelleme, karşı hava operasyonları gibi

çeşitli görevler için de iyi bir alternatiftir. Sahip olduğu geniş operasyonel esneklik ve manevra kabiliyeti sayesinde, farklı görevler için hızlı ve etkili bir şekilde kullanılabilir.

A-29 Super Tucano'nun öne çıkan özellikleri arasında son derece sağlam bir gövde yapısı, modern bir kokpit ve çeşitli entegre sistemler bulunmaktadır. Bu sistemler arasında elektro-optik/kızılötesi sistemler, lazer menzil bulucular, veri bağlantısı ve gece görüş gözlükleri gibi ileri teknoloji ekipmanlar bulunmaktadır. Uçak, bu donanımları sayesinde her türlü hava ve görev koşulunda etkili bir şekilde çalışabilmektedir.

A-29 Super Tucano'nun operasyon ve bakım maliyetleri oldukça uygun fiyatlıdır. En üstün sivil ve askeri gereksinimleri karşılamak üzere tasarlanmıştır. Bu özellikleriyle alternatiflerine kıyasla önemli farklar yaratır ve bu özellikler tercih edilen bir model haline gelmesini sağlar. Ayrıca, uzun yıllar boyunca kanıtlanmış bir geçmişe sahip olması, farklı ortamlarda ve koşullarda test edilmiş olması, güvenilirliğini ve etkinliğini daha da artırır [54]. Teknik özellikleri Çizelge 4.4.'te verilmiştir.

Teknik Bilgiler

Üretici Şirket:	Embraer
Motor Tipi:	Tek motorlu, Pratt & Whitney Canada PT6A-68C Motor

Çizelge 4.4. A29 Super Tucano teknik özellikler

TEKNİK ÖZELLİKLER

Maksimum Hız	km/h	592,64
Maksimum İrtifa	feet	35000
Maksimum Menzil	km	1330
Maksimum Kalkış Ağırlığı (MTOW)	kg	5400
Maksimum Havada kalma süresi	h	390
Tırmanma Oranı	feet/min	3240
Maksimum Yakıt Kapasitesi	kg	556
Faydalı Yük	kg	1550
Motor Gücü	shp	1600
Satın Alma Maliyeti	milyon \$	~11,6

Resim 4.4'te A29 Super Tucano eğitim uçağı görseli yer almaktadır.



Resim 4.4. A29 Super Tucano eğitim uçağı

4.5. Yakovlev YAK-152

Yak-152 temel eğitim uçağı, profesyonel pilotların seçimi ve ilk eğitimlerini sağlamak amacıyla kullanılmaktadır.

Yak-152 tasarımcıları, Yakovlev Tasarım Bürosu'nun eğitim uçakları geliştirme konusunda biriktirdiğı zengin deneyime dayanmıştır. 1935'ten beri, 22.000'den fazla UT-2, Yak-11, Yak-18, Yak-52 pistonlu eğitim uçağı üretilmiştir.

Kapsamlı Eğitim Yak-152 uçağı, operatörün isteğine bağılı olarak uçuş simülatörleri, bilgisayar eğitim sınıfları ve objektif kontrol araçlarını içerebilen entegre bir eğitim sisteminin bir parçasıdır. Uçağın aerodinamik konfigürasyonu, yanlış uçuş durumlarında uçuş güvenliğini sağlar ve kontrol edilebilir dönüşleri garanti eder.

Özellikler Motor ve pervaneyi tek koldan kontrol etme Temel, ileri ve akrobasi pilotajını gerçekleştirme Navigasyonun temellerini, enstrümanlarla pilotaj tekniğini ve grup içinde hareket etmeyi öğrenme Acil durumlarda hareket etme SKS-94M fırlatma sistemi, her iki mürettebat üyesinin de acil kaçışını sağlar.

Operatör İçin Havacılık keroseninin kullanımıyla uçuş saati maliyetinin düşük olması Açık havada depolama olanağı Uçak, tüm hava koşullarında gece gündüz çalışabilir Uçak, 5 kg/cm²'lik zemin dayanıklılığına sahip küçük havaalanlarından işletilebilir Uçağın agregaları, sistemleri ve ekipmanı koşullara göre işletilebilir [55]. Teknik özellikleri Çizelge 4.5.'te verilmiştir.

Teknik Bilgiler

Üretici Şirket: Design Bureau

Motor Tipi: Tek motorlu, RED A03 Motor

Çizelge 4.5. Yakovlev YAK-152 teknik özellikler

TEKNİK ÖZELLİKLER

Maksimum Hız	km/h	500
Maksimum İrtifa	feet	13124
Maksimum Menzil	km	1500
Maksimum Kalkış Ağırlığı (MTOW)	kg	1700
Maksimum Havada kalma süresi	h	300
Tırmanma Oranı	feet/min	1968,5
Maksimum Yakıt Kapasitesi	kg	245
Faydalı Yük	kg	200
Motor Gücü	shp	500
Satın Alma Maliyeti	Milyon \$	~8,32

Resim 4.5'te Yakovlev YAK-152 eğitim uçağı görseli yer almaktadır.



Resim 4.5. Yakovlev YAK-152 eğitim uçağı

4.6. Diamond DART-550

DART-550, Avusturyalı bir üretici olan Diamond Aircraft Industries firması tarafından geliştirilmiş ve serisinin ikinci uçağıdır. Serinin ilk uçağı olan DART-450 ilk kez 2016 yılında uçuşa başlamıştır.

DART-550'nin ana kullanım alanları sivil ve askeri pilotların eğitimidir. Bununla beraber akrobatik, yardımcı ve keşif görevlerini yapmak üzere de kullanılabilir. Uçak özellikle karbon fiber malzemelerin kullanımı ile düşük kanat konfigürasyonuna sahip olarak üretilmektedir. Genel özellikleri itibari ile çift kanat yarıklı kanatlar, deicing sistemi, büyük iç yakıt tankları, güvenli kabin, gelişmiş aviyonikler ve GE H75-100 turboprop motoruna sahiptir. Kanatlar uçağın 8 saat boyunca uçuşunu sağlayacak şekilde tasarlanmış, rüzgar tüneline 0,65 Mach hızına dayanacak şekilde test edilmiştir. Uçağın toplam kanat açıklığı 11,79 metre, uzunluğu 9,75 metre ve toplam yüksekliği 3,43 metredir [56].

Teknik Bilgiler

Üretici Şirket: Diamond Aircraft Industries

Motor Tipi: Tek motorlu, GE H75- 100 Motor

Teknik özellikleri Çizelge 4.6.'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Diamond DART-550 teknik özellikler

TEKNİK ÖZELLİKLER

Maksimum Hız	km/h	460
Maksimum İrtifa	feet	23000
Maksimum Menzil	km	2800
Maksimum Kalkış Ağırlığı (MTOW)	kg	2400
Maksimum Havada kalma süresi	h	480
Tırmanma Oranı	feet/min	2990
Maksimum Yakıt Kapasitesi	kg	663
Faydalı Yük	kg	710
Motor Gücü	shp	550
Satın Alma Maliyeti	milyon \$	~4,5

Resim 4.6.'da Diamond DART-550 eğitim uçağının görseli yer almaktadır.



Resim 4.6. Diamond DART-550 Eğitim Uçağı

4.7. Beechcraft T-6C Texan II

Textron Aviation tarafından geliştirilen, Beechcraft T-6C, her eğitim seviyesine uygun olarak tasarlanmış askeri eğitim uçağıdır. Bu uçak, başlangıç seviyesinden ileri operasyonel eğitime kadar geniş bir yelpazede eğitim imkanı sunmaktadır.

T-6C, uzun vadeli güvenilirlik ve maliyet odaklı işletme olanakları ile dikkat çekmektedir. Bu özellikler, simülatörler, bilgisayar destekli akademik programlar ve sürdürülebilir lojistiklerle birlikte toplam bir eğitim çözümü sunarak, dünya çapındaki seçkin askeri güçler için ideal bir seçenek haline gelmektedir.

Dünya genelinde 900'den fazla T-6 uçağı teslim edilmiş ve toplamda 2,5 milyon uçuş saati biriktirilmiştir. Bu, uçağın güvenilirliği ve etkinliği konusundaki kanıtı olarak kabul edilmektedir.

T-6C uçağının sağlayabildiğı limitler doğrultusunda sağladığı birçok üstünlük vardır. Bunlar; T-6C, geniş sıcaklık aralığına uygun işlemlerle onaylanmıştır. Bu özellik, çeşitli iklim koşullarında güvenilirlik sağlar. ABD Hava Kuvvetleri tarafından istenen 18720 saatlik tasarım ömrünü aşan bir ömre sahiptir. Bu, uçağın dayanıklılığı ve uzun ömürlülüğünü vurgular. Uçak, üç ömür boyunca (56160 saat) test edilmiştir. Bu kapsamlı testler, uçağın güvenilirliğini ve yine dayanıklılığını doğrulamaktadır. Programlı depo seviyesi incelemesi gerektirmemektedir. Bu özellik, bakım maliyetlerini düşürür ve uçağın operasyonel sürekliliğini artırır. Standart olarak harici yakıt tankları için kanat sabitleme noktalarına sahiptir ve silah eğitimi için ek (opsiyonel) depolar mevcuttur. Bu, uçağın çok yönlülüğünü ve operasyonel esnekliğini artırır. Gömülü sentetik hava-kara ve hava-hava eğitim imkanları sunmaktadır. Bu özellik, pilotların çeşitli eğitim ihtiyaçlarını karşılar. F-16 veya F/A-18 ekranları ile donatılmış Başa Dönük Göstergeye sahiptir. Bu, pilotların modern savaş uçakları ile entegre bir şekilde eğitilmesini sağlar. Gelişmiş Esterline CMC Kokpit 4000 aviyonik paketi ile donatılmıştır. Bu, uçağın modern aviyonik teknolojisiyle donatıldığını ve pilotlara gelişmiş bir uçuş deneyimi sağladığını gösterir. Tam sertifikalı ve entegre çift FMS, GPS/INS navigasyon sistemi mevcuttur. Bu, uçağın güvenli ve hassas navigasyon kabiliyetini vurgular ve operasyonel etkinliğini artırır [57]. Teknik özellikleri Çizelge 4.7.'te verilmiştir.

Üretici Şirket/Ülke: Textron Aviation/ Amerika Birleşik Devletleri

Motor Tipi: Tek motorlu, PT6A-68A Pratt & Whitney Canada Turboprop Motor

Çizelge 4.7. Beechcraft T-6C Texan II teknik özellikler

TEKNİK ÖZELLİKLER

Maksimum Hız	km/h	585
Maksimum İrtifa	feet	31000
Maksimum Menzil	km	1667
Maksimum Kalkış Ağırlığı (MTOW)	kg	3130
Maksimum Havada kalma süresi	h	270
Tırmanma Oranı	feet/min	3300
Maksimum Yakıt Kapasitesi	kg	528
Faydalı Yük	kg	1319
Motor Gücü	shp	1100
Satın Alma Maliyeti	milyon \$	~8

Resim 4.7’de Beechcraft T-6C Texan II eğitim uçağının görseli yer almaktadır.



Resim 4.7. Beechcraft T-6C Texan II Eğitim Uçağı

5. EĞİTİM UÇAĞI SEÇİMİ KRİTERLERİ

Bu bölümde, eğitim uçağı seçiminde uygulama bölümünde değerlendirmeye alınan kriterler ile ilgili tanımlar yer almaktadır. Çalışmada, Mekanik Performans, Kontrol yeteneği, Silah Sistemleri, Aviyonik Sistemler, Uçuş Emniyeti, Maliyet ve Yerli Kaynaklarla Üretilmiş Olma olmak üzere 7 ana kriter belirlenmiştir.

5.1. Mekanik Performans Ana Kriteri

Mekanik Performans ana kriterine ait Maksimum hız, Maksimum irtifa, Maksimum menzil, Maksimum kalkış ağırlığı, Maksimum yakıt kapasitesi, Maksimum havada kalış süresi, Tırmanma oranı, Faydalı yük ve Motor gücü alt kriterleri belirlenmiştir.

5.1.1. Maksimum hız

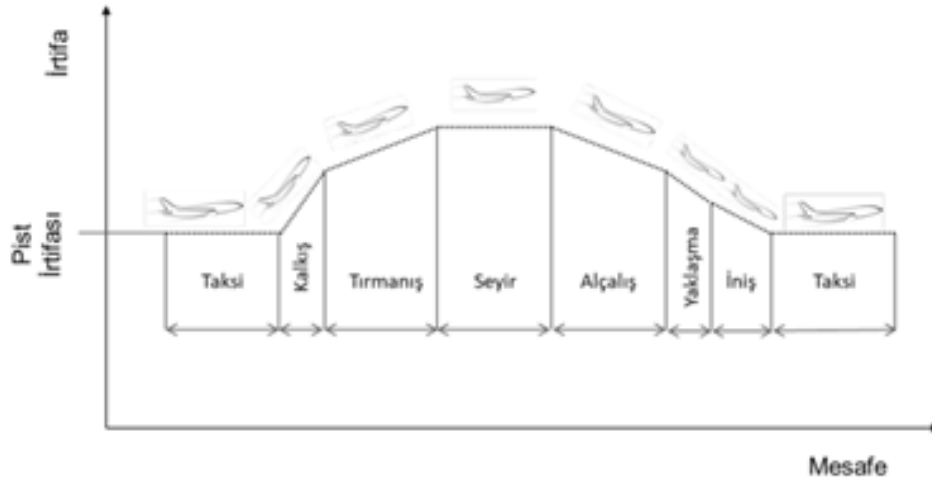
V_{mo} (Velocity maximum operating speed, maksimum çalışma hızı-MÇH), normal manevralara sırasında uçağın uçabileceği en yüksek hız olarak tanımlanmaktadır. Maksimum hız, bir hava aracının uçuş performansının belirlenmesine yönelik en önemli parametrelerden birisidir. Hava aracının yapısal strese mukavemetinin de göstergesi olarak kabul edilmektedir. Havacılık malzemelerindeki kalite artışı ile beraber zaman içerisinde hava araçlarının maksimum süratlerinin arttığı gözlemlenmektedir [58].

5.1.2. Maksimum irtifa

Servis tavanı (Service ceiling) olarak tanımlanmaktadır. Uçağın maksimum irtifası, gereken itme kuvvetinin mevcut itme kuvvetine eşit olduğu noktadır. Bu, hava hızını ve irtifayı korumak için gereken itme kuvvetini, motorlardan elde edilen itme kuvvetiyle karşılaştırır. Bu çalışmada yer alan tüm motor tipleri hava soluyan-yakıt içen (Air Breathing-Fuel Drinking) [59] motorlar olarak anılmaktadır. Hava soluyan motorlar irtifa arttıkça daha az itme kuvveti üretme eğiliminde olacağından, bu, mevcut itme kuvvetinin irtifaya bağlı olarak azaldığı anlamına gelmektedir [60].

5.1.3. Maksimum menzil

Bir hava aracının uçuş fazları Şekil 5.1’de sunulmaktadır [59].



Şekil 5.1. Uçuş Safhaları

Maksimum menzil, bir uçağın kalkış ve iniş arasında uçabileceği maksimum mesafedir. Motorlu uçak menzili, hem ağırlık hem de hacim sınırları dikkate alınarak havacılık yakıtı enerji depolama kapasitesi (kimyasal veya elektrik) ile sınırlıdır [61].

5.1.4 Maksimum kalkış ağırlığı

Yapısal veya diğer sınırlamalar nedeniyle pilotun kalkış yapmasına izin verilen maksimum ağırlıktır. Aynı zamanda Maximum Takeoff Weight (MTOW, Azami Kalkış Ağırlığı-AKA) uçağın kendisi için geçerli tüm uçuşa elverişlilik gerekliliklerini karşıladığı gösterilen en yüksek ağırlıktır. Uçuşa elverişlilik en temel anlamda bir hava aracının uçuş yapmaya uygunluğu olarak belirlenmektedir [62]. Uçuşa elverişliliğin, bir uçağın yasal ve fiziksel durumuyla ilgili çeşitli yönleri vardır. Uçuşa elverişli terimi, "Bir uçağın, motorun, pervanesinin veya parçanın onaylanmış tasarımına uygun olduğu ve emniyetli bir şekilde çalıştırılabilir durumda olduğu durum" anlamına gelmektedir. Maksimum kalkış ağırlığı genellikle, uçak yapısal parçalarının kalkış sırasında üzerine gelebilecek tüm yüklere dayanabilmesini sağlamak için yapısal gerekliliklere göre uygun "uçuşa elverişli" olarak üretildiğini belirlemektedir [63].

5.1.5. Maksimum yakıt kapasitesi

Maksimum yakıt kapasitesi, bir uçağın taşıyabileceği yakıtın hacmi hakkında bilgi veren değerdir [63]. Çizelge 5.1'de bazı yaygın ticari yolcu hava araçlarının maksimum yakıt kapasitesi hakkında bilgi verilmektedir [64].

Çizelge 5.1. Bazı yaygın ticari yolcu uçaklarının maksimum yakıt kapasitesi

Aircraft type	Maximum fuel capacity (tones)
Boeing 737-800	18.2
Airbus A320-200	16.9
Boeing 747-400	151.7
Airbus A380	323.5

50 lt (~35 kg) yakıt deposu orta sınıf bir aile arabasının ağırlığı ile karşılaştırıldığında miktarları daha net olacaktır. Birçok büyük nakliye uçağında toplam yakıt ağırlığının toplam uçak brüt ağırlığına oranı %50'ye kadar çıkabilir. Karşılaştırıldığında, ortalama bir arabanın oranı yaklaşık %5'tir. Maksimum yakıt kapasitesi bir hava aracının yapısal mukavemetini de belirleyen ve uçuş performansını doğrudan etkileyen bir özelliktir.

5.1.6. Maksimum havada kalış süresi

Bir uçağın seyir uçuşunda harcayabileceği maksimum süredir. Başka bir deyişle, bir uçağın bir yakıt yüküyle havada kalabileceği süredir. Maksimum Havada Kalış Süresi uçulan mesafenin bir ölçüsü olan menzilden farklıdır. Maksimum havada kalış süresi, gereken minimum güç noktasında elde edilebilmektedir. Çünkü bu değer uçağı sabit, yatay uçuşta tutmak için en düşük yakıt akışını gerektirmektedir. Oysa maksimum menzil koşulu, gereken hız/güç oranının en yüksek olduğu yerde ortaya çıkmaktadır [65].

5.1.7. Tırmanma oranı

Rate of Climb (Roc-Tırmanma Oranı-TO), bir uçağın dikey hızıdır; yani zamana göre pozitif veya negatif irtifa değişimi oranıdır. Yaklaşık 3 feet (ft) bir metreye tekabül etmektedir. Tırmanma, uçağın dakika başına kaldırabileceği en yüksek fit değeridir. Basit bir ifadeyle, tırmanma hızı uçağın yükselme hızını, alçalma hızı ise alçalma hızını ifade eder. Bu oranlar dakika başına fit (ft/dak) cinsinden ölçülür ve uçuş operasyonlarının güvenliği ve verimliliği açısından kritik faktörlerdir [66]. Uçağın maniaları temizlemek (Obstacle clearance) ve emniyet

irtifasına (Safety altitude) ulaşmak için hızlı bir şekilde irtifa kazanması gerektiğinden, özellikle kalkış sırasında tırmanma oranı kritik öneme sahiptir [67].

5.1.8. Faydalı yük

Faydalı Yük (Payload), yolcuların, kargonun ve bagajın mevcut ağırlığıdır. "Payload" adını, taşınması için ücret ödenmesinden almaktadır. Bu, hava aracında depolanabilecek ve yine de güvenle uçuş gerçekleştirilebilecek mevcut ağırlık miktarını ifade. Yakıtı içermez ancak uçakta depolanan yükün yanı sıra mürettebatı, yolcuları ve bagajlarını da kapsamaktadır [68]. Askeri havacılıkta payload kavramı aynı zamanda pilotla beraber mühimmat yükü kavramına da tekabül etmektedir [69]. Uçağın gövde ağırlığının azaltılması, faydalı yükün artırılması anlamını taşımaktadır. Bu kapsamda, zaman içerisinde havacılık malzemelerinin mukavemet değerlerini değiştirilmeksizin ağırlıklarının azaltılmasına yönelik gelişme sağlanmıştır [70]. Çizelge 5.2'de hava aracı üzerinde yaygın olarak kullanılan malzemelerin yoğunluk sıralaması yer almaktadır [71].

Çizelge 5.2. Uçak Üretiminde Yaygın Olarak Kullanılan Malzemelerin Yoğunlukları

Sıra No	Malzeme Tipi	Yoğunluk (gr/cm ³)
1	Çelik (4130 Tipi)	7,8
2	Titanyum	4,7
3	Aluminyum (7074 Serisi)	2,7
4	Karbon Fiber Takviyeli Polimer (KFTP, Carbon Fiber Reinforced Polymer-CFRP)	1,6

Hava aracı üzerinde elde edilen her bir kg'lık ağırlık tasarrufu, ilave faydalı yük alma kapasitesinin artmasının yanı sıra karbon ayak izinin de azalmasına yardımcı olmaktadır. Uçak tipine bağlı olarak 1 kg'lık ağırlık azaltımı 0,475 kg ile 0,94 kg arasında daha az karbon salınımı anlamına gelmektedir [70]. Bu kapsamda, uçak üretiminde çelikten KFTP malzemelere hızlı bir geçiş olduğu gözlemlenmektedir. Havacılık endüstrisi KFTP malzemelerin kullanımında öncü olduğu bilinmektedir [72]. Bunun nedeni ticari yolcu uçaklarında daha fazla insan ve kargo yükü, askeri uçaklarda ise daha fazla mühimmat taşınmasının sağlanmasıdır [73]. Sivil ve askeri helikopterlerde KFTP oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Askeri ve ticari amaçlı helikopterlerin neredeyse üçte ikisi KFTP kullanılarak üretilmiştir [74].

5.1.9. Motor gücü

Bir uçak motoru veya güç kaynağı (Propulsion), bir uçağı havada tutmak ve manevra yaptırmak için itki kuvveti üreten sistemdir. Pistonlu motorlar ve turboprop motorlar itme kuvveti üretmek için bir pervane ile birlikte çalışmaktadır. Turbojet ve turbofan motorlar, motordan geçen havanın hızını artırarak itme kuvveti üretmektedirler. Bu çalışmada yer alan uçak tiplerinin hepsinde değişik versiyonlarda turboprop motor kullanılmaktadır. Turboprop motorlar temel olarak, gaz-türbin, serbest türbin, çift-zıt yönlü ve tek yönlü olmak üzere dört grupta yer almaktadır [75].

5.2. Kontrol Yeteneği Ana Kriteri

Kontrol Yeteneği ana kriterine ait Her meteorolojik şartta uçabilirlik ((Instrument Meteorological Conditions (IMC) & Visual Meteorological Conditions (VMC)), Dayanıklılık, Gece uçabilirlik, Maksimum sorti alt kriterleri belirlenmiştir.

5.2.1. Her meteorolojik şartta uçabilirlik (Instrument Meteorological Conditions (IMC) & Visual Meteorological Conditions (VMC))

Aletli Meteorolojik Koşullar (AMK, Instrument Meteorological Conditions-IMC) ve Görsel Meteorolojik Koşullar (GMK, Visual Meteorological Conditions-VMC), pilotların uçarken karşılaştığı görüş mesafesini ve hava koşullarını tanımlayan iki terimdir. IMC, görüş mesafesinin üç kara milinden az olduğu veya tavanın yerden yüksekliğinin 300 metreden az olduğu durumları ifade eder. Bu koşullarda pilotlar, uçaklarını yönlendirmek ve kontrolünü sürdürmek için göstergelere güvenmek zorundadır. Öte yandan VMC, görüş mesafesinin üç kara milinden fazla olduğu ve tavanın yerden 300 feet yükseklikte olduğu durumları ifade eder. Bu koşullarda pilotlar, uçaklarının kontrolünü sağlamak ve yönlendirmek için görsel ipuçlarına güvenebilirler [76]. VMC'den IMC'ye geçiş tehlikeli olabilir çünkü pilotların görsel işaretler yerine göstergelere güvenmeye hızla uyum sağlamaları gerekmektedir. Pilotların, uçakları her türlü hava koşulunda güvenli bir şekilde kullanabilmeleri için IMC'de uçuş konusunda eğitilmiş ve yetkin olmaları gerekmektedir. Bu nedenle bu çalışmada özellikle IMC ve VMC şartlarında uçuş kabiliyeti ele alınmaktadır.

5.2.2. Dayanıklılık

Uçağın yapısal dayanıklılığı, bir uçağın yapısal bileşenlerinin, operasyonel ömrü boyunca karşılaştığı çeşitli yüklere ve gerilmelere dayanma yeteneğini kapsamaktadır. Hava araçlarının

ortalama ömrü 35 yıl olarak kabul edilmektedir [77]. Tasarım yükleri (örneğin maksimum çalışma ağırlığı, manevra yükleri, türbülans), çevre koşulları (örneğin aşırı sıcaklıklar, nem, korozyon) ve operasyonel kullanım (örneğin uçuş frekansları, yük spektrumları) gibi faktörler bir yapının yapısal dayanıklılığını etkilemektedir. Hava aracında yeterli dayanıklılığın sağlanması, çeşitli uçak bileşenlerine uygulanabilen malzeme özelliklerinin, yapısal tasarımın ve potansiyel arıza modlarının kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını gerektirmektedir. Bu nedenle, uçağın yapısal dayanıklılığı, uçağın amaçlanan hizmet ömrü boyunca yapısal olarak sağlam ve yetenekli kalmasını sağlamak için tasarım, sertifikasyon ve operasyonel yönetim açısından kritik bir husustur [77,78]. Bu çalışmada uçakların manevra yüklerinin yüksek olabileceği ön görüldüğü için dayanıklılık parametresi özellikle dikkate alınmıştır.

5.2.3. Gece uçabilirlik

Hava araçları olağanüstü zorlu meteorolojik şartlarda görev yapacak şekilde tasarlanmışlardır [59,79]. Bununla beraber, verimli ve emniyetli hava operasyonlarını sürdürmek için uçağın gece uçuş kabiliyetine de sahip olması gerekmektedir. Düşük ışık koşullarında navigasyon ve iniş yapma yeteneği sayesinde uçaklar, zorlu çalışma şartlarına uygun operasyon yapabilir ve gece boyunca kritik hizmetleri sunabilir. Gece uçuş kabiliyetine ulaşmak için uçaklar özel navigasyon ve aydınlatma sistemleriyle donatılmıştır. İniş, taksi ve stobe (Çakar) ışıkları gibi harici ışıklar uçağı ve çevresindeki alanları aydınlatarak pilotların karanlıkta görmesine olanak tanımaktadır. İç aydınlatma (Interior lighting) sistemleri kabin ve kokpit içinde aydınlatma sağlayarak yolcu konforunu ve mürettebatın görünürlüğünü sağlar. GPS ve ataletsel navigasyon sistemleri gibi gelişmiş navigasyon teknolojileri, gece uçuşları sırasında doğru konumlandırma ve rehberlik sağlamaktadır. İlave olarak, pilotların düşük ışık koşullarında görüşünü geliştirmek için gece görüş gözlükleri (Night Vision Gogle) kullanılabilir. Hava yolu firmaları ve askeri filolar, bu teknolojileri birleştirerek ve uygun pilot eğitimini sağlayarak uçuş emniyetinden taviz vermeksizin etkili gece uçuş operasyonları gerçekleştirebilmektedir.

5.2.4. Maksimum sorti

Maksimum sorti üretimi (Maximum Sortie Generation), özellikle askeri pilotlar için verimli ve etkili eğitimin sağlanmasında kritik bir faktördür. Sorti oluşturma, tek bir eğitim uçuşuna hazırlanma, uçuşu gerçekleştirme ve sonrasında de-briefing süreçlerini kapsamaktadır. Sorti üretimini en üst düzeye çıkarmak, daha fazla eğitim fırsatına, kaynakların daha iyi kullanılmasına ve pilotlar için artan yeterliliğe olanak tanımak anlamına gelmektedir.

Maksimum sorti üretimine ulaşmak için uçağın kullanılabilirliği, bakım programları, pilot eğitim seviyeleri ve hava koşulları dahil olmak üzere çeşitli faktörlerin dikkate alınması gerekmektedir [80]. Ayrıca, yüksek sorti üretim oranının sürdürülmesi, pilotların becerilerini geliştirmek ve yeterlilik seviyelerini korumak için gerekli uçuş saatlerini almasını sağlayarak, sonuçta operasyonel hazırlığa ve görev etkinliğine katkıda bulunmaktadır. Bu kapsamda bu çalışmada kontrol yeteneği ana kriteri içerisinde maksimum sorti üretimi konusu üzerinde özellikle durulmuştur.

5.3. Silah Sistemleri Ana Kriteri

Silah Sistemleri ana kriterine ait Elektronik harp yeteneği, Hava-yer ve hava-hava mühimmat atma yeteneği alt kriterleri belirlenmiştir.

5.3.1. Elektronik harp yeteneği

Uçağın elektronik harp yeteneğinin eğitimi, modern askeri havacılık eğitiminin önemli bir safhasıdır. Elektronik savaş, düşmanın radar ve iletişim sistemleri gibi elektronik sistemlerini yanıltmak, engellemek veya bozmak için elektromanyetik spektrumun kullanılmasını ifade etmektedir. Eğitim uçağı elektronik harp yeteneği, pilotların gerçek savaş durumlarına ihtiyaç duymadan kontrollü bir ortamda elektronik harp senaryolarını simüle etmesine ve uygulamasına olanak tanımaktadır. Bu tür eğitim, pilotların gerçek savaşta karşılaşılabilecekleri karmaşık ve dinamik elektronik harp ortamlarına hazırlanmasında kritik öneme sahiptir [81].

Eğitim uçağı, uçuş emniyetinden veya performansından ödün vermeden elektronik harp sistemlerini barındırabilmelidir. Ayrıca elektronik harp sistemlerinin aviyonik ve haberleşme sistemleri gibi diğer uçak sistemleriyle de uyumlu olması gerekmektedir. Aksi takdirde kendi üzerindeki aviyonik sistemleri karıştırması durumu söz konusu olabilecektir [82].

5.3.2. Hava-yer, hava-hava mühimmat atma yeteneği

Havadan yere ve havadan havaya füze yeteneklerinin modern askeri uçaklara entegrasyonu, bunların çok yönlülüğünü ve savaş etkinliğini önemli ölçüde artırmıştır. Hassas güdümlü bombalar ve lazer güdümlü roketler gibi havadan yere füzeler, uçaklara belirli bir mesafeden yer hedeflerini doğru bir şekilde vurma, düşman konumlarını etkisiz hale getirme ve kara kuvvetlerini destekleme yeteneği sağlamaktadır.

Gerçek muharebe şartlarında, füzeler, hedefleri yok etmeye yönelik yüksek patlayıcı savaş başlıkları ve belirli görevler için özel mühimmatlar da dâhil olmak üzere çeşitli yükleri taşıyabilmektedir. Havadan havaya füzeler ise hava muharebesinde uçakların düşman uçaklarına saldırmasını ve onları etkisiz hale getirmesini sağlamaktadır [83]. Optimum doğruluk ve kesinlik sağlayacak şekilde radar, ısı arama veya kızılötesi teknolojisiyle yönlendirilebilirler. Modern uçaklar, bu yetenekleri birleştirerek hem yer hedeflerine karşı uzun menzilli saldırı operasyonları gerçekleştirebilir hem de kendilerini savunabilir veya havadan havaya angajmanlarda hava desteği sağlayabilmektedir.

Eğitim uçaklarında bu yeteneklerin simüle edildiği donanımın yer alması oldukça önemlidir.

5.4. Aviyonik Sistemler Ana Kriteri

Aviyonik Sistemleri ana kriterine ait Muhabere sistemleri ve Yardımcı uçuş göstergeleri alt kriterleri belirlenmiştir.

5.4.1. Muhabere sistemleri

Uçak muhabere sistemleri, pilotlar, hava trafik kontrolörleri ve yer personeli arasında hayati bilgilerin alışverişini sağlayan, güvenli ve verimli hava yolculuğunun omurgasıdır. Bu sistemler, VHF (Çok Yüksek Frekanslı) radyolar, uydu iletişimleri ve özel aviyonik ekipmanlar dahil olmak üzere bir dizi teknolojiyi kapsamaktadır. VHF telsizleri, gerçek zamanlı talimatlar ve izinler sağlayarak, uçaklar ve hava trafik kontrol kuleleri arasında birincil iletişim aracı olarak hizmet etmektedir. Uydu iletişimi, uçağın VHF sinyalleri aralığının ötesinde bağlantıyı sürdürmesine olanak tanıyarak küresel navigasyonu ve acil durum sinyalizasyonunu kolaylaştırmaktadır. Gelişmiş aviyonik sistemler, iletişim işlevlerini navigasyon, uçuş kontrolü ve durumsal farkındalık yetenekleriyle birleştirmektedir. Bu entegrasyon iletişimin doğruluğunu ve güvenilirliğini artırmanın yanı sıra pilotun iş yükünü de azaltmaktadır. Uçak iletişim sistemleri, etkinliklerini ve birlikte çalışabilirliğini sağlamak için katı düzenlemelere ve standartlara tabidir. Bu sistemler, tüm çalışma koşullarında sürekli kullanılabilirliği ve optimum performansı garanti etmek için sıkı testlerden ve bakım prosedürlerinden geçmektedir. Uçak muhabere sistemleri, kesintisiz iletişimi sağlayarak pilotaj eğitiminin verimliliğinin artmasına önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır [84].

5.4.2. Yardımcı uçuş göstergeleri

Bir uçaktaki ana uçuş göstergeleri sürat göstergesi, suni ufuk göstergesi, irtifa göstergesi, yatış & kayış müşiri, istikamet göstergesi ve variometre olarak ele alınmaktadır. Bu temel uçuş aletleri, herhangi bir uçağın kritik bir bileşenidir ve pilota uçağın tutumu (attitude), irtifası, hava hızı ve yönü hakkında gerekli bilgileri sağlamaktadır. Bu göstergeler, pilota uçağın performansı ve konumu hakkında gerçek zamanlı veriler vererek güvenli ve verimli uçuşu sürdürmesine yardımcı olmak için tasarlanmıştır.

Yardımcı uçuş göstergeleri ise özellikle uçuşun kritik aşamalarında pilotlara yedek ve tamamlayıcı bilgi sağlamak için uçakta kullanılan özel bir elektronik ekrandır. Tipik olarak hava hızı, tutumu (attitude), irtifa gibi temel uçuş parametrelerini görüntüleyen birincil uçuş ekranının aksine, yardımcı uçuş göstergeleri ek veriler ve sistem durumuna ilişkin daha kapsamlı ve özelleştirilebilir bir görünüm sunmaktadır. Pilotların, motor performansı, navigasyon yardımcıları, iletişim frekansları ve uçuş planı ayrıntıları dâhil olmak üzere çok çeşitli bilgilere erişmesine ve bunları izlemesine olanak tanımaktadır. Yardımcı uçuş göstergeleri merkezi ve erişilebilir bir bilgi kaynağı sağlayarak durumsal farkındalığı artırır, iş yükünü azaltır ve genel güvenliği ve verimliliği artırır. Çok yönlülüğü ve uyarlanabilirliği, onu pilotlar için değerli bir araç haline getirmektedir. Yeni nesil yardımcı uçuş göstergeleri ekranları ise genelde dokunmatik ekran olup pilotu kendi özel ihtiyaç ve tercihlerine göre uyarlamalarına olanak tanımaktadır [85].

5.5. Uçuş Emniyeti Ana Kriteri

Uçuş Emniyeti ana kriterine ait Acil kurtarma sistemleri ve Her tür harekatta pilot destek sistemleri alt kriterleri belirlenmiştir.

5.5.1. Acil kurtarma sistemleri

Eğitim uçağı acil durum sistemleri, acil bir durumda uçağı, eğitimci pilotu ve pilot adayını korumak için tasarlanmıştır. Bu sistemler, bir veya daha fazla sistem arızalansa bile uçağın güvenli bir şekilde çalışmaya devam edebilmesini sağlamak için çeşitli güvenlik tedbirleri ve yedeklemeler içerir. Tipik acil durum sistemleri; uçaktaki yangınları söndürmek için tasarlanmış yangın söndürme sistemleri, kabin basınç kaybı durumunda pilotlara ve yolculara solunabilir hava sağlayan oksijen sistemleri On-Board Oxygen Generating System, ve acil durumlarda pilotların uçaktan kaçmasına olanak tanıyan fırlatma koltuklarını içermektedir [86].

Diğer acil durum sistemleri, hidrolik bir arıza durumunda manuel olarak indirilebilen iniş takımlarını ve birincil elektrik sistemi arızası durumunda temel sistemlere güç sağlayabilecek bir yedek elektrik sistemini içerebilir. Bu sistemler, askeri uçakların en zorlu ortamlarda güvenli ve etkin bir şekilde çalışmaya devam edebilmesini sağlamak için sürekli olarak geliştirilmekte ve güncellenmektedir.

5.5.2. Her tür harekatta pilot destek sistemleri

Pilotaj eğitimi, her hava şartında ve her tür harekâta pilotaj yeteneğinin sınındığı zorlu bir eğitimidir. Pilot destek sistemleri, her türlü havacılık operasyonunun emniyeti ve verimliliğinin sağlanmasında çok önemli bir rol oynamaktadır. Bu sistemler pilotlara gerekli bilgileri, rehberliği ve yardımı sağlayarak, bilinçli kararlar almalarını ve değişen durumlara etkili bir şekilde yanıt vermelerini sağlamaktadır. Ticari havacılıkta Air Traffic Control (ATC, Hava Trafik Kontrol-HTK) hizmetleri birincil pilot destek sistemidir. HTK, pilotlara uçağın ayrılması, rotası ve potansiyel tehlikeler hakkında talimatlar vererek yoğun hava sahasında uçağın düzenli ve güvenli hareket etmesini sağlar. Ek olarak, küresel konumlandırma sistemleri (GPS) ve Inertial Reference Units (IRU, Ataletsel Referans Birimleri-ARB) gibi navigasyon sistemleri, hassas konum ve tutum bilgileri sağlayarak pilotların doğru ve verimli bir şekilde yön bulmasına olanak tanır. Askeri havacılıkta ise durum daha farklıdır. Taktik veri bağlantıları ve durumsal farkındalık sistemleri, pilotlara dost ve düşman kuvvetler, arazi ve hava koşulları hakkında gerçek zamanlı bilgi sağlamaktadır. Bu sistemler koordineli operasyonları kolaylaştırır, durumsal farkındalığı artırır ve pilotların zamanında ve etkili taktiksel kararlar almasını sağlamaktadır. Genel havacılıkta uçuş planlama yazılımı ve hava durumu bilgi hizmetleri, pilotların güvenli ve verimli uçuşları planlamalarına destek olmaktadır [87].

Bu değerlendirmeler ışığında bu çalışmada, her tür harekâta pilot destek sistemleri önemli bir girdi olarak ele alınmıştır.

5.5.3. Uçuş yönetim sistemi

Flight Management System (FMS, Uçuş Yönetim Sistemi-UYS), modern bir uçağın navigasyon ve yönlendirme sisteminin kalbi olarak hizmet veren gelişmiş bir bilgisayar sistemidir. Uçağın seyrüsefer hattını oluşturmak ve yönetmek için sensörler, veritabanları ve pilot girdileri dahil olmak üzere çeşitli kaynaklardan gelen girdileri entegre etmektedir. UYS, en verimli rotayı hesaplamak, uçağın irtifasını ve hızını izlemek ve ayarlamak, otopilotu yönlendirmek ve pilota hayati durumsal farkındalık bilgileri sağlamak da dahil olmak üzere bir

dizi kritik işlevi yerine getirmektedir. Gelişmiş algoritmaları, en ekonomik ve güvenli uçuş yolunu sağlamak için hava durumu, meteorolojik aktiviteleri ve uçak performansı gibi faktörleri dikkate alarak uçuş planlarını optimize etmektedir [88]. Ayrıca UYS, otopilota gerekli navigasyon verilerini sağlayarak doğru konum, yükseklik ve hava hızı parametrelerini korumasını sağlamaktadır. Kapsamlı özellikleri ve entegre yaklaşımı sayesinde Uçuş Yönetim Sistemi, modern havacılıkta uçuş güvenliğini, verimliliğini ve hassasiyetini artıran önemli bir rol oynamaktadır [89].

5.6. Maliyet Ana Kriteri

Maliyet ana kriterine ait Satın alma maliyeti, Bakım-idame-yenileme maliyeti, Ekonomik ömür, Servis Donanım Devamlılığı alt kriterleri belirlenmiştir.

5.6.1. Satın alma maliyeti

Uçak satın alma maliyeti, bir uçağın satın alınması, bakımı ve işletilmesiyle ilgili çeşitli maliyetleri kapsayan önemli bir finansal yatırım kavramını ifade etmektedir. Uçağın başlangıç fiyatı, tipi, boyutu, yaşı ve üreticisi gibi faktörlere bağlı olarak büyük ölçüde değişkenlik göstermektedir. İlave masraflar, güvenliği ve uçuşa elverişliliği sağlamak için düzenli denetimleri, onarımları ve donanımların değiştirmelerini içeren devam eden bakımı içerir.

Hava aracının satın alımı sırasında, üretici firmadan alınacak destek ve hizmetlerinin iyi belirlenmesi son derece önemlidir. Özellikle Initial Spare Parts (ISP, Başlangıç Yedek Parçaları, BYP) çok kritik bir öneme sahiptir.

Bir hava aracının doğrudan operasyonel maliyetinin belirlenmesinde en önemli üç girdiden biri olan tedarik maliyeti yaklaşık ömür devri boyunca ortaya çıkan maliyetin yaklaşık % 10,6'lık bir değere sahiptir [90].

5.6.2. Bakım, idame, yenileme maliyeti

Uçak Bakım, Onarım ve Yenileme (BOY, Maintenance, Repair, And Overhaul-MRO) temel maliyeti, ilgili uçağın tipine ve karmaşıklığına bağlı olarak büyük ölçüde değişkenlik göstermektedir. Genel itibarıyla uçak tedarik maliyeti bir birim ise 35 yıl kabul edilen ömür devri boyunca 3 birim de BOY için harcanmaktadır [78].

Daha karmaşık sistemlere sahip daha büyük uçaklar genellikle daha yüksek bakım maliyetleri gerektirir. Bakım kontrollerinin ve revizyonların sıklığı da BOY maliyetinin artmasına

sebebiyet vermektedir. Planlı bakım aralıkları uçak modelleri arasında değişiklik göstermektedir. Tedarik maliyetinde izah edildiği üzere, Bir hava aracının doğrudan operasyonel maliyetinin belirlenmesinde en önemli üç girdiden biri olan BOY maliyeti ömür devri boyunca ortaya çıkan maliyetin yaklaşık % 9,4'lük bir değere sahiptir [90].

5.6.3 Ekonomik ömür

Bir hava aracının ömrü tasarım, üretim, geliştirme, kullanım, destek ve emeklilik fazlarından oluşmaktadır [78]. Hava aracının ekonomik ömrü ise, genel olarak bir uçağın gelir elde etmesi ve operasyonel maliyetlerini etkin bir şekilde karşılaması beklenen süreyi ifade etmektedir. Daha önceden bahsedildiği üzere yaklaşık 35 yıl olarak ele alınmaktadır [78, 91]. Yapısal ömür uzatma programı (Structural Life Extension Program) ve modernizasyon gibi çalışmalarla ekonomik ömrün uzaması söz konusu olabilmektedir.

5.6.4. Servis donanım devamlılığı

Servis donanım devamlılığı, uçağın sürekli emniyetli ve güvenilir şekilde çalışmasını sağlamak için gereken bakım görevlerinin ve eylemlerin kesintisiz akışını ifade etmektedir. Bakım programlarındaki küçük kesintiler bile önemli gecikmelere ve potansiyel güvenlik tehlikelerine yol açabileceğinden, bu süreklilik uçağın uçuşa elverişliliğinin korunması açısından kritik öneme sahiptir. Servis donanım devamlılığını sağlamak için sağlam planlama, koordinasyon ve kaynak tahsisini içeren kapsamlı bir yaklaşım gerekmektedir. Bu, ayrıntılı bakım programlarının oluşturulmasını, kritik yedek parçaların ve kaynakların belirlenmesini ve öngörülemez koşullar durumunda acil durum planlarının uygulanmasını içermektedir. Her bir parçanın ve donanımın yıllık ihtiyaçlarına göre servis çevrim adedi belirlenmektedir. Ayrıca, bakım personeli, mühendislik ekipleri ve uçuş operasyonları arasındaki etkili iletişim ve işbirliği, uçağın bakımının en yüksek standartlarda tutulmasını ve olası sorunların derhal ele alınmasını sağlamak için çok önemlidir. Yetkili bakım birimleri, servis donanım devamlılığını sağlayarak arıza süresini en aza indirebilir, işletme maliyetlerini azaltabilir ve uçaklarının genel güvenliğini ve güvenilirliğini artırabilmektedir [92].

5.7. Yerli Kaynaklarla Üretilmiş Olma Ana Kriteri

“Yerli kaynaklarla üretilmiş olma” kriteri, birçok farklı yönden avantaj sağlamaktadır. Yerli üretim eğitim uçaklarının pilotaj eğitimlerinde kullanılması, öncelikle ülke ekonomisine doğrudan katkı sağlamaktadır. Dolayısıyla, dış ticaret açığının azaltılmasına katkı

sağlamaktadır. Yerlilik, aynı zamanda yerli teknoloji ve mühendislik kapasitelerinin geliştirilmesini teşvik etmesi ile birlikte uzun vadede bakıldığında ulusal sanayi ve teknoloji altyapısının güçlenmesine katkıda bulunmaktadır. Bunların yanında, yerli ürünlerin kullanılması bakım, yedek parça temini kolaylığını sağlar ve operasyonel verimliliği artırır.

Yerli ürünlerin tercih edilmesi, stratejik ve ekonomik bağımsızlığı beraberinde getirir. Dışa bağımlılığın azalması, ulusal güvenlik açısından bakıldığında kritik bir öneme sahiptir. Özellikle, yerli üretimin havacılık gibi yüksek teknoloji gerektiren alanlarda desteklenmesiyle ülkenin savunma sanayi ve havacılık teknolojilerindeki rekabet gücünün artmasını sağlar.

Yerli eğitim uçaklarının tercih edilmesi, yerli iş gücünün ve teknolojinin desteklenmesine, eğitim maliyetlerinin azalmasına ve ulusal markaların uluslararası ortamda tanıtılmasına katkı sağlamaktadır.

6. YÖNTEM

Bu bölümde ÇKKV ile ilgili genel bilgilendirme ve sonrasında karar vermede kullanılan yöntemlerin sınıflandırılmasından bahsedilmiştir. En son ise çalışmada kullanılan yöntemlere yer verilmiştir.

6.1. Çok Kriterli Karar Verme

Hayatımızın birçok alanında kararlar vermek durumunda kalmaktayız. Verdiğimiz karara bağlı olarak karar vermenin boyutu da değişmektedir ve çoğu zaman karar vermek zor ve karmaşık bir hale gelebilmektedir. Çünkü kararı etkileyen birçok parametre, karar verilecek birçok alternatif ve istenilen birçok amaç söz konusu olabilir.

Bu karmaşık ve zor karar ihtiyacı için verilen kararın en az maliyet/zarar, maksimum fayda sağlayabilmesi adına zaman içerisinde geliştirilen yöntemler olmuştur. Her karar probleminin seçilmeyen bir alternatif doğurmasından dolayı ve bu seçilmeyen alternatifin farklı açılardan zarar oluşturmasından kaynaklı karar verilirken tüm ölçütler, ölçütlerin önem dereceleri, istenilenler anlaşılmalı ve değerlendirilmelidir. Bunu yaparken ise doğru yöntem seçilmiş olmalıdır.

Karar verme türleri aşağıdaki Çizelge 6.1.'de özetlenmiştir [93].

Çizelge 6.1. Karar Verme Türleri

Kriter Sayısı	Mevcut Bilgi Açısından	Karar Verici/Vericiler Açısından
• Tek Kriterli	• Belirlilik Altında Karar Verme	• Bireysel/Kişisel Karar Verme
• Çok Kriterli	• Belirsizlik Altında Karar Verme	• Grup Karar Verme

ÇKKV Yöntemleri en uygun alternatifin belirlenmesinde kullanılan bir analitik araçtır. En iyi alternatifin seçilmesini sağlayan, seçim sırasını oluşturan, alternatifleri belirli durumlara bağlı olarak gruplara ayıran, karar verme sırasında değerlendirilecek olan kriterlerin önem durumunu söyleyebilen yöntemlerdir.

ÇKKV'de birden fazla yani en az iki kriter ile sayılabilen sonlu veya sayılamayan sonsuz alternatif arasından seçim sürecidir. ÇKKV yöntemlerinde değerlendirilecek olan kriterlerin önem ağırlıkları ve alternatiflerin önem sıralamasının yapılabildiği çok fazla yöntem bulunmaktadır. Yöntemler seçim yapılacak farklı durumlara uygun olacak şekilde

çeşitlenmektedir. Karar vermenin ilk ve önemli adımı bu yüzden uygun yöntemin seçilmesidir [94].

ÇKKV, karar vericilerin birden fazla ve genellikle birbiriyle çelişen kriteri dikkate alarak en iyi seçeneği belirlemeye çalıştığı bir süreçtir. ÇKKV, karar vericilere, farklı kriterler arasında denge kurarak en iyi çözümü bulma imkanı sağlar. Bu yöntem, karmaşık karar verme problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılmaktadır ve genellikle ekonomi, mühendislik, yönetim ve planlama gibi disiplinlerde uygulanır [95].

6.2. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Sınıflandırılması

Yoon ve Hwang'a göre ÇKKV yöntemleri iki kategoride incelenebilmektedir [94].

- Çok Amaçlı Karar Verme (ÇAKV) (Multiple Objective Decision Making (MODM))
- Çok Ölçütlü Karar Verme (ÇÖKV) (Multiple Attribute Decision Making (MADM))

Bu iki ayrı kategoride bulunan yöntemlerin özellikleri karşılaştırmalı olarak aşağıdaki Çizelge 6.2'de görülmektedir [96].

Çizelge 6.2. ÇAKV ve ÇÖKV karşılaştırması

Özellikler	Çok Kriterli Karar Verme	
	Çok Nitelikli Karar Verme	Çok Amaçlı Karar Verme
Kriterlerin Tanımlanması	Nitelikler	Amaçlar
Amaçların Tanımlanması	Açık olmayan/Belirgin değil	Açık/Belirgin
Niteliklerin Tanımlanması	Açık/Belirgin	Açık olmayan/Belirgin değil
Kısıtlılıklar	Aktif değil (Niteliklere dâhil edilmiş)	Aktif
Seçenekler	Sonlu sayıda, ayrık (önceden tanımlanmış)	Sonsuz sayıda, sürekli (süreç esnasında belirir)
Karar Verici ile İletişim	Çok fazla değil	Çoğunlukla
Kullanım Amacı & Problem Türü	Seçim/Değerlendirme	Tasarım

6.2.1. Çok nitelikli karar verme (ÇNKV)

ÇNKV, karar alternatiflerinin niteliklerine göre değerlendirilmesi gerektiği durumlarda kullanılmaktadır. Bu yöntemler, genellikle belirli kriterlere göre en iyi seçeneğin bulunmasını amaçlamaktadır. ÇNKV’de kullanılan bazı yöntemler şunlardır:

- AHP
- TOPSIS
- VIKOR (VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje)
- ELECTRE (Elimination and Choice Expressing Reality)
- PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations)
- MAUT
- UTADIS

6.2.2. Çok amaçlı karar verme (ÇAKV)

ÇAKV, birden fazla hedefin optimize edilmesi gerektiği karar problemlerinde kullanılmaktadır. Bu tür problemler, genellikle belirli amaçların en iyi şekilde gerçekleştirilmesini amaçlamaktadır. ÇAKV’de kullanılan bazı yöntemler şunlardır:

- Lineer Programlama
- Hedef Programlama
- Çok Amaçlı Lineer Programlama
- Genetik Algoritmalar

ÇKKV konusunda birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler birbiri ile kıyaslandığında birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Karar verecek, seçimi yapacak kişinin ilk yapması gereken sürece uygun yöntemi seçmesidir. Bu çalışmada, kriter ağırlıklarının belirlenmesi için AHP, alternatiflerin sıralanması için TOPSIS ve farklı senaryolar için alternatif seçimlerinin değerlendirilmesi için Hedef Programlama kullanılmıştır. Çalışmanın devamında bu yöntemlerin adımları anlatılmıştır. Eğitim uçağı seçiminde bu yöntemlerin belirlenme detaylarına “Uygulama” bölümünde yer verilmiştir.

6.3. AHP Yöntemi

AHP, ÇKKV’de, Çok Nitelikli Karar Verme sınıfında yer alan yöntemlerden biridir. Thomas L. Saaty tarafından geliştirilmiştir. Karmaşık karar verme problemlerini çözmek için kullanılan bir yöntemdir. AHP yöntemi, nitel kriterlerin olması durumunda da etkili bir karar verme sağlayabilmektedir. Yani, hem nitel hem nicel kriterlerin değerlendirilebildiği bir yöntemdir. Karar verme için belirlenen kriterlerin alt kriterlere hiyerarşik bir yapı kurularak karar vermenin yapılmasını sağlar [97]. Bu sayede çok fazla kriterin yer aldığı seçim süreçlerinde de kullanılabilir. Bu hiyerarşik yapının her seviyesindeki kriterleri birbiri ile ikili karşılaştırmalarla karşılaştırır ve öncelik sırasına göre ağırlıklandırır [98].

AHP yönteminin uygulama adımları aşağıdaki gibidir;

6.3.1. Hiyerarşik yapının kurulması

Problemin, belirlenen amaç, belirlenen kriterler ve alt kriterler şeklinde hiyerarşik bir yapıya dönüştürülen adımdır.

Bu adımdaki kriterlerin belirlenmesinde literatür taramasından faydalanılabilmektedir. Ayrıca yine bu adımda karar verme sürecini etkileyen tüm kriterlerin değerlendirmeye alınması için anket çalışması veya uzman ekibe başvurulabilmektedir. Bu aşamada karar sürecini etkileyen tüm faktörlerin belirlenebilmesi için anket çalışmasına veya bu konuda uzman kişilerin görüşlerine başvurulabilmektedir [99].

6.3.2. Karşılaştırma matrisinin oluşturulması

Bir önceki adımda hiyerarşide belirlenen kriterlerin ikili olarak karşılaştırıldığı adımdır. Karar verici her kriter ve alt kriter için ikili karşılaştırmalar yapmaktadır. Bu ikili karşılaştırmalar, aşağıdaki tabloda verilen 1-9 ölçeğine (1: eşit önem, 9: mutlak üstünlük) göre yapılmaktadır.

Matris karşılaştırmada kullanılan ölçek değerlerine göre kriterlerin ikili karşılaştırması ile “Eş. 6.1”deki gibi oluşturulmaktadır. i ve j kriterlerinin karşılaştırma matrisindeki değerleri " a_{ij} " ile ifade edilmektedir.

Karşılaştırma matrisinin köşegen değerleri “1” değerini almaktadır.

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} = 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} = 1/a_{1n} & a_{n2} = 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Çizelge 6.3. Saaty standart (1-9) ölçeği

Standart Tercih Tablosu	
Önem Değerleri	Tanımları
1	Eşit Önemde
3	Biraz Daha Önemli (Az Üstünlük)
5	Oldukça Önemli (Fazla Üstünlük)
7	Çok Önemli (Çok Üstünlük)
9	Son Derece Önemli (Kesin Üstünlük)
2, 4, 6, 8	Ara Değerler (Uzlaşma Değerleri)

6.3.3. İkili karşılaştırma matrisinin normalize edilmesi

Normalizasyonun yapılması için, matristeki her eleman kendi sütun toplamına bölünür [99]. i ve j kriterlerinin karşılaştırma matrisindeki normalizasyon işlemi için “Eş. 6.2”deki formülasyon kullanılmaktadır. Formülasyonda a'_{ij} normalize edilmiş matris değerlerini ifade etmektedir. Normalizasyon uygulanmış matrisin her bir sütun toplamı 1 olmaktadır.

$$a'_{ij} = a_{ij} / \sum_{i=1}^n a_{ij}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

6.3.4. Öncelik vektörünün hesaplanması

Normalizasyon yapılmış olan karar matrisin her bir satır toplamı, matrisin boyutuna (n) bölünür ve ortalaması alınır “Eş. 6.3”de bulunan bu değerler her bir ölçüt için hesaplanan önem ağırlıklarıdır. Bu ağırlıklar, öncelik vektörünü oluşturur. Kriterlerin önem ağırlıkları (w_i) bu adımda bulunmaktadır.

- Hesaplanan ağırlıkların toplamı “1” eşit olmalıdır.

$$w_i = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n a'_{ij}, \quad i, j=1, 2, \dots, n \quad (3)$$

6.3.5. Tutarlılık oranının hesaplanması

İkili karşılaştırmaların tutarlılığını hesaplamak için Saaty tarafından önerilen Tutarlılık Oranı kullanılmaktadır (Palaz, Kovancı, 2008: 56). Tutarlılık Oranı aşağıdaki formüller ile hesaplanır ve bulunan değer 0.10'dan küçükse karşılaştırma tutarlı olarak değerlendirilir. Büyük ise karşılaştırma tutarsız olarak değerlendirilir ve karşılaştırma tekrarlanmalıdır [100]. Tutarlılık Oranı (CR) değeri "Eş. 6.4"teki gibi hesaplanmaktadır.

$$\text{Tutarlılık Oranı (CR)} = \text{Tutarlılık İndeksi (CI)} / \text{Rassallık İndeksi (RI)} \quad (4)$$

Tutarlılık İndeksini (CI), hesaplamak için ise "Eş. 6.5"teki formül kullanılmaktadır. Burada λ değeri, normalize edilmemiş ikili karşılaştırma matrisi ile, bulunan kriter ağırlıkları vektör elemanlarının birbiri ile çarpıldıktan sonra, ağırlıklı vektör elemanlarına karşılıklı olarak bölünmesiyle elde edilen matrisin satırlarının ortalaması alınarak bulunmaktadır [101].

$$\text{CI hesaplanması; } CI = (\lambda_{max} - n) / (n-1) \quad (5)$$

RI Rassallık İndeksi ise, n matris boyutu (kriter sayısı) olmak üzere Saaty tarafından aşağıdaki Çizelge 6.4'teki gibi belirlenmiştir [100].

Çizelge 6.4. Rassallık indeksleri

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,4	1,45	1,49	1,51	1,53	1,56	1,57	1,59

6.4. TOPSIS Yöntemi

TOPSIS yöntemi, 1981 yılında Hwang ve YOON tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemde, belirlenen alternatiflerin değerlendirmeye alınan kriterlere göre sıralanır. Bu sıralama yapılırken, ideal ve negatif ideal değerlere olan alternatif değerlerinin uzaklarının hesaplanmasından yararlanır. TOPSIS yönteminin adımları aşağıdaki şekildedir [94];

TOPSIS yönteminin uygulama adımları aşağıdaki gibidir [101,103]:

6.4.1. Karar matrisinin oluşturulması

Karar matrisi (X_{ij}), alternatifler ve alternatiflerin belirlenen kriterlere göre değerlerinden oluşmaktadır. Matris satırlarında değerlendirilecek alternatifler (m tane), sütunlarda ise

karşılaştırma yapılması için belirlenen kriterler (n tane) yer almaktadır. Her bir hücre bu değerleri temsil etmektedir. Nicel veriler için alternatiflerin nicel verileri yer alırken, nitel veriler için kriterlere göre uygun ölçekler kullanılarak alternatiflerin puanlamaları kullanılabilir. Her bir hücre, i alternatifinin j numaralı kriterlere göre değerini ifade eder ve “ x_{ij} ” şeklinde ileriki adımlarda gösterilir. Matris “Eş. 6.6”teki gibi bir formdadır ve “Başlangıç Karar Matrisi” olarak adlandırılmaktadır.

$$X_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

6.4.2. Karar matrisinin normalize edilmesi

Farklı ölçek ve birimlerdeki kriterlerin karşılaştırılabilir bir hale getirilmesi için karar matrisinin normalizasyonu yapılmaktadır. “ r_{ij} ” normalize edilmiş değeri ifade etmektedir. Normalizasyon yapılırken, aşağıdaki “Eş. 6.7”deki formülasyon kullanılmaktadır. Bu işlem adımı sayesinde tüm kriterler boyutsuzlaştırılmaktadır ve karşılaştırılabilir bir duruma getirilmektedir. Normalize işleminin uygulandığı matris, “Standart Karar Matrisi” olarak adlandırılmaktadır.

$$r_{ij} = x_{ij} / \sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2} \quad (7)$$

6.4.3. Ağırlıklı normalize karar matrisinin oluşturulması

Kriterlerin ağırlıkları (w_i) ile normalize edilmiş karar matrisi çarpılır. Genellikle kriterlerin ağırlıklarının bulunmasında literatürde AHP yöntemi kullanılmakla beraber farklı yöntemler ile kriter ağırlıkları belirlenmektedir. Kriterlerin ağırlıkları için uzman görüşü de kullanılabilir. Ağırlıklı normalize değer “ v_{ij} ” ile ifade edilmekle birlikte, “Eş. 6.8”teki şekilde normalize karar matrisi değerlerine ulaşılır. “Ağırlıklı Standart Karar Matrisi” (V_{ij}) “Eş. 6.9”daki formdadır.

$$v_{ij} = w_i \cdot r_{ij} \quad (8)$$

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (9)$$

6.4.4. İdeal ve negatif ideal çözümlerin belirlenmesi

İdeal çözüm (A^+) ve negatif ideal çözüm (A^-) olmak üzere bu değerler aşağıdaki “Eş. 10” ve “Eş. 11”deki şekilde belirlenir. Aşağıdaki eşitliklerde “ J ” fayda kriterlerini, “ J' ” zarar/maliyet kriterlerini ifade eder. İdeal çözüm, en çok fayda ve en az zarar/maliyeti olan alternatifleri içerir. Negatif ideal çözüm ise, en az fayda ve en çok zarar/maliyeti olan alternatifleri içerir.

$$A^+ = \{(max_i v_{ij} \mid j \in J), (min_i v_{ij} \mid j \in J')\} \text{ ve } A^- = \{(min_i v_{ij} \mid j \in J), (max_i v_{ij} \mid j \in J')\} \quad (10-11)$$

6.4.5. Ayırım ölçütlerinin (ideal ve negatif ideal çözümlere olan uzaklıkların) hesaplanması

Alternatiflerin ideal çözümden olan uzaklığı (S_i^+) ve negatif çözümden olan uzaklığı (S_i^-) “Eş. 12” ve “Eş. 13”deki şekilde hesaplanır.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^+)^2} \text{ ve } S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (12-13)$$

6.4.6. Yakınlık indeksinin (C_i^*) (ideal çözüme göreli yakınlığın) hesaplanması

Yakınlık indeksi değerinin (C_i^*) hesaplanması için “Eş. 14” kullanılmaktadır.

$$C_i^* = S_i^- / (S_i^- + S_i^+) \quad (14)$$

Bu hesaplama ile bulunan değerler 1’den küçük olmakla beraber ne kadar büyük ise alternatifin o kadar iyi olduğu değerlendirilmektedir. Yakınlık indeksi değeri (C_i^*), $0 \leq C_i^* \leq 1$ aralığındadır.

6.4.7. Alternatiflerin sıralanması

Yakınlık indeksi değerinin (C_i^*), büyükten küçüğe doğru sıralanması ile alternatiflerin sıralanmasına ulaşılabilir. İlk sırada yer alan alternatif en yüksek önem ağırlığına sahip olarak değerlendirilir.

6.5. Hedef Programlama

Hedef Programlama yöntemi, 1961 yılında Charnes ve Cooper tarafından ortaya çıkarılmakla birlikte, 1970' lerde Lee ve Ignizio tarafından bu yöntem geliştirilmiştir. Doğrusal Programlama yönteminde tek amaç optimize edilir ve amaç fonksiyonun maksimizasyonu veya minimizasyonu sağlanır. Eğer birden fazla hedef var ise Çok Amaçlı programlamaya ihtiyaç duyulabilir. Hedef Programlama yöntemi Çok Amaçlı Karar Verme Yöntemlerinden biridir. Hedef Programlama, kısıtlar altında belirlenen hedeflerden sapmaların minimizasyonunu sağlar. Bu sapmaların eksi veya artı sapma olarak ifade edilmesi belirlenen hedefe göre belirlenmektedir. [104].

Hedef programlama yönteminde, her bir amaç için istenen hedef değerler belirlenmelidir. Ardından, her bir hedef kısıt haline getirilir. Daha sonra ise hedeflerden sapmalar minimize edilir. Bu yöntemin avantajları arasında, eğer hedefler arasında öncelik veya ağırlık var ise yöntem önem sıralarına göre hedeflerden sapmalar minimize edilip optimal çözüme ulaşılır. Bir diğer avantajı ise, birbirine zıt hedefler amaç fonksiyonunda beraberlerdir [105].

6.5.1. Hedef programlama kavramları

Aşağıda Hedef Programlamaya ait kavramların tanımlarına yer verilmiştir [106].

Karar değişkeni

Karar değişkenleri, kontrol değişkenleri olarak da adlandırılabilir. Problemin matematiksel modelde ifade edilmesine yardımcı olur ve modelin bilinmeyen ve değeri bulunmaya çalışılan değişkenleridir. Karar değişkenlerinin değerleri modelin çözülmesi ile çıktı olarak elde edilir. Literatüre bakıldığında, karar değişkeni genellikle (X_{ij}) şeklinde ifade edilir.

Hedef

Karar verici tarafından hedefler kesin olarak belirlenir. Hedef kısıtlarının sağ taraf değerleri (kaynak miktarı) hedef doğrultusunda belirlenen somutlaştırılmış değerlerdir. Hedef programlama modellerinden bu değerden minimum sapma ile çözüme ulaşılması istenmektedir.

Amaç fonksiyonu

Amaç fonksiyonu, karar vericinin belirlediği amaçlar doğrultusunda modelin var olan değişkenleri ile değişken parametrelerinin maksimizasyon veya minimizasyon şeklinde ifade edilmesidir.

Model kısıtları

Model kısıtları, genel kısıtlar ve hedef kısıtları olarak ikiye ayrılmaktadır. Genel kısıtlar, modelde zorunlu olarak sağlanması gereken limitlerdir. Hedef kısıtlar ise, karar vericinin belirlediği hedefleri ifade eden ve amaç fonksiyonunda bu hedeften sapmanın minimize edildiği kısıtlardır. Bir başka deyişle, Hedef kısıtlarının sağlanması zorunlu olmamakla birlikte, belirlenen hedefin minimum sapma ile gerçekleşmesi istenmektedir. Hedef programlama modellerinden iki tür kısıt birlikte modelde yer alabilir.

Sapma değişkenleri

Sapma, hedeflenen değer ile gerçekleşen değer arasındaki farkı ifade etmektedir. Hedef kısıtta yer alan sağ taraf değerlerinden sapma miktarını gösterirler. Modelde istenen hedef sayısı i olmak üzere, i değerinden pozitif sapma (d_i^+), negatif sapma ise (d_i^-) şeklinde gösterilmektedir. Belirlenen hedefe göre amaç fonksiyonuna Çizelge 6.5'te bu değişkenler eklenmektedir.

Çizelge 6.5. Hedef programlama modeli

Hedefler	Hedef Kısıt	Amaç fonksiyonu (istenmeyen sapma değişkenleri)
$f(x) \geq t$	$f(x) + d_i^- - d_i^+ = t$	$\min (d_i^-)$
$f(x) \leq t$	$f(x) + d_i^- - d_i^+ = t$	$\min (d_i^+)$
$f(x) = t$	$f(x) + d_i^- - d_i^+ = t$	$\min (d_i^- + d_i^+)$

Teknolojik kat Sayılar

Bir modelde, (X_j) karar değişkeninin oluşumunda gereken birim kaynak miktarını ifade etmektedir. Literatürde genelde, (a_{ij}) şeklinde gösterilmektedirler.

Ağırlıklar

Hedefler için belirlenen önem seviyelerine göre amaç fonksiyonunda sapma değişkenlerine kat sayı olarak bu ağırlık değerleri tayin edilir. Sapmaların göreceli önemini ifade etmektedirler. (W_{ik}) şeklinde gösterilmektedirler. Ağırlık yerine hedefler için öncelik belirlendi ise, Modeldeki hedeflerin önem sırasına göre gerçekleşme isteğini ifade etmektedir.

6.5.2. Hedef programlama türleri

Hedef Programlama, hedeflerin türlerine göre ayrılmaktadır. Hedef programlama temelde belirlenen ulaşmak istenen hedef sayısına göre, tek hedefli ve çok hedefli olmak üzere 2'ye ayrılmaktadır. Birden fazla hedefin aynı anda hedeflendiği çok hedefli programlamalar ise aşağıdaki 4 başlık altında incelenmektedir;

Eşit ağırlıklı (ağırlıksız) çok hedefli programlama

Probleme uygun olarak belirlenen hedefler eşit ağırlıklı (ağırlıksız) ise, amaç fonksiyonu istenmeyen sapma değişkenlerinin toplamının minimizasyonu şeklinde kurulur [107].

Ağırlıklı çok hedefli programlama

Belirlenen hedeflerin gerçekleşmesinin birbirine göre daha önemli olduğu durumda, amaç fonksiyonunda önem derecesi ağırlık olarak hedef sapma değişkenlerinin önüne kat sayı olarak eklenmektedir [107].

Öncelikli çok hedefli programlama

Öncelikli çok hedefli programlamada, karar vericinin hedeflerinin birbirine göre öncelik durumları vardır. Bu durumda, hedefleri öncelik seviyesine (1,2,3..) göre sıralaması gerekmektedir [107].

Ağırlıklı-öncelikli çok hedefli programlama

Hedef programlama modellerinde aynı hedefe hizmet eden ikiden fazla sapma değişkeni aynı öncelik düzeyinde amaç fonksiyonunda yer alabilmektedir. Bu gibi modellerde, sapma değişkenlerinin önceliği (P_i) olmak üzere, (P_i) kat sayısına ek olarak sapma değişkenlerine ağırlık kat sayıları atanır. Hangi sapmanın bu hedefi sağlamakta daha önemli olduğu belirlenir [107].

Hedef Programlama modelinin gösterimi aşağıdaki gibidir [106];

$$\mathbf{Min} \mathbf{Z} = \sum_{k=1}^P P_k \sum_{i=L+1}^M (W_{ik} d_i^- + W_{ik} d_i^+)$$

s.t

$$R_i(\mathbf{X}) = b_i, \quad i=1, \dots, L$$

$$g_{i-L}(\mathbf{X}) + d_i^- - d_i^+ = t_{i-L} \quad i=L+1, \dots, M$$

$$d_i^-, d_i^+ \geq 0 \quad i=1, \dots, M$$

Bu modelde yer alan gösterimlerin neyi ifade ettiği “6.5.1” başlığında yer almaktadır.

7. UYGULAMA

Çalışmanın “yöntem” başlıklı bölümünde eğitim uçağı seçiminde kullanılacak olan yöntemlerin detaylarına yer verilmiştir. Bu bölümde ise "Eğitim Uçağı Seçimi" sürecinin belirlenen yöntemlere uygun adımlar takip edilerek uygulaması ve değerlendirmesi yer almaktadır.

Çalışmanın literatür taraması ve teorik çerçevesi, eğitim uçağı seçim sürecinin temelini oluşturmuş ve bu alandaki kritik noktaların belirlenmesine ışık tutmuştur. Şimdi ise, teorik bilgilerin pratiğe dökülmesi adına belirli bir metodoloji ve analitik yaklaşım izlenmiştir.

Bu uygulama bölümü, belirli adımları içeren bir akış ile ilerlemektedir. "Eğitim Uçağı Seçimi" sürecindeki adımlar aşağıda belirtilmiştir:

- Alternatiflerin Belirlenmesi
- Kriterlerin Belirlenmesi
- Seçimde Kullanılacak Yöntemlerin Belirlenmesi
- Kriter Ağırlıklarının AHP ile Belirlenmesi
- Alternatiflerin TOPSIS ile Sıralanması
- 0-1 Hedef Programlama İle Seçim Yapılması
- Değerlendirme ve Analiz

7.1. Alternatiflerin Belirlenmesi

Eğitim amaçlı kullanılacak uçak alternatifleri Hürkuş, KT-1, Pilatus PC-21, A29 Super Tucano, Yakovlev YAK-152, Diamond DART-550 ve T-6C Texan II olmak üzere yedi tane belirlenmiştir. Seçime tabi tutulacak alternatif eğitim uçakları ile ilgili genel bilgilendirme ve teknik veriler 4.bölümde detaylı olarak yer almaktadır.

Eğitim uçakları için bu alternatifler belirlenirken bazı kriterler göz önünde bulunulmuştur. Alternatifler, piyasada yayın olarak bulunan ve erişilebilen uçaklar arasından seçilmiştir. Piyasa yaygınlığı ve erişilebilirlik, uçak eğitim kurumları ve dolaylı olarak öğrencilerin uçağına erişimini kolaylaştırır. Teknolojik yetkinlikleri ve güncellikleri dikkate alınmıştır. Seçilen alternatifler, yeni teknolojilere sahip ve eğitim amacına uygun uçaklardır. Uçuş performansı yüksek alternatifler seçilmeye özen gösterilmiştir. Önceki bölümlerde “güvenlik” kriterinin önemi vurgulanmıştır. Bu bağlamda; piyasada yer alan ama düşük performanslı uçaklar alternatifler arasında değerlendirmeye alınmamıştır. Özellikle öğrenci pilotların güvenliği ve eğitim kalitesi ön planda tutulmuştur.

Ayrıca, literatür taraması, sektör analizleri ve uzman görüşleri de göz önünde bulundurularak eğitim uçağı alternatifleri belirlenmiştir. Seçilen alternatifler, çalışmanın ileri aşamalarında detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir.

7.2. Kriterlerin Belirlenmesi

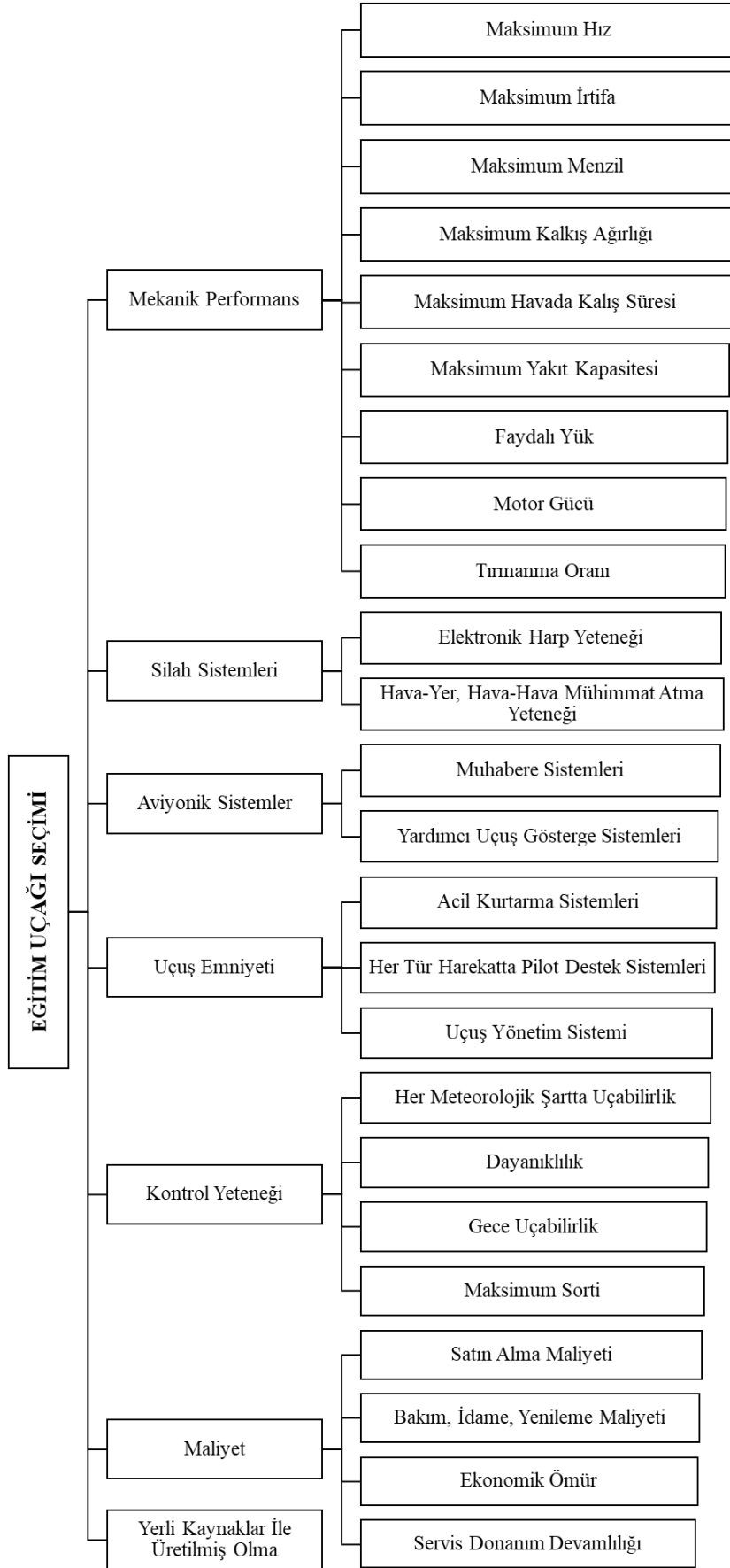
Çalışmada, “Eğitim uçağı seçimi” için yedi ana kriter ve bu ana kriterlere bağlı yirmi beş alt kriter belirlenmiştir. Belirlenen kriterler arasında hem nicel hem nitel kriterler yer almaktadır. TOPSIS yönteminin yer aldığı ileriki bölümde detaylıca bahsedilmiştir. Seçim kriterleri ile ilgili bilgilendirme 5.bölümde detaylı olarak yer almaktadır. Çizelge 7.1’de seçimde değerlendirilecek olan kriterler ve kısaltmaları verilmiştir.

Bu kriterler belirlenirken; eğitim uçağı seçiminde etkili olan birçok paydaşla (eğitmen, pilot, test pilotu, öğrenci pilot, uçuş okulu sahibi, mühendis, hava trafik kontrolörü) görüşmeler yapılmış ve geri bildirimler alınmıştır. Ayrıca, literatür taraması ve endüstri analizi yapılmıştır. Mevcut eğitim uçağı modellerinin özellikleri, yetenekleri ve pazar trendleri araştırılmıştır. Toplanan bilgiler ışığında oluşturulan seçimin hangi ana kriterler ve alt kriterler altında değerlendirdiği hiyerarşik olarak belirlenmiştir.

Çizelge 7.1. ana ve alt kriterler için kısaltmalar

	ANA KRİTER	KISALTMA
	Mekanik Performans	K1
	Kontrol Yeteneği	K2
	Silah Sistemleri	K3
	Aviyonik Sistemler	K4
	Uçuş Emniyeti	K5
	Maliyet	K6
	Yerli kaynaklarla üretilmiş olma	K7
	ALT KRİTER	KISALTMA
Mekanik Performans	Maksimum Hız	K11
	Maksimum İrtifa	K12
	Maksimum Menzil	K13
	Maksimum Kalkış Ağırlığı	K14
	Maksimum Havada Kalış Süresi	K15
	Maksimum Yakıt Kapasitesi	K16
	Faydalı Yük	K17
	Motor Gücü	K18
	Tırmanma Oranı	K19
Kontrol Yeteneği	Her Meteorolojik Şartta Uçabilirlik	K21
	Dayanıklılık	K22
	Gece Uçabilirlik	K23
	Maksimum Sorti	K24
Silah Sistemleri	Elektronik Harp Yeteneği	K31
	Hava-Yer, Hava-Hava Mühimmat Atma Yeteneği	K32
Aviyonik Sistemler	Muhabere Sistemleri	K41
	Yardımcı Uçuş Gösterge Sistemleri	K42
Uçuş Emniyeti	Acil Kurtarma Sistemleri	K51
	Her Tür Harekatta Pilot Destek Sistemleri	K52
	Uçuş Yönetim Sistemi	K53
Maliyet	Satın Alma Maliyeti	K61
	Bakım, İdame, Yenileme Maliyeti	K62
	Ekonomik Ömür	K63
	Servis Donanım devamlılığı	K64

Seçimde değerlendirmeye alınan ana kriterler ve alt kriterler için kriter hiyerarşisi Şekil 7.1’de sunulmaktadır.



Şekil 7.1. Eğitim uçağı seçiminde değerlendirme kriterleri hiyerarşisi

7.3. Seçimde Kullanılacak Yöntemlerin Belirlenmesi-Önerilen Çözüm Yöntemi

İlk olarak, çeşitli eğitim uçağı alternatifleri tespit edilmiş, ardından bu alternatiflerin seçimi için kritik öneme sahip olan kriterler saptanmıştır. Belirlenen eğitim uçağı alternatiflerinin belirlenen kriterler, kısıtlar altında ve istenilen hedefler doğrultusunda seçiminin doğru yapılabilmesi adına seçim sürecinde kullanılacak yöntemlerin uygun belirlenmiş olması gerekmektedir.

7.3.1. Kriter ağırlıklarının belirlenmesi

"Eğitim Uçağı Seçimi" sürecinde kriter ağırlıklarını belirlemek için AHP yöntemi kullanılmıştır. Alternatifler arasından seçim yapma sürecinin temel adımıdır ve seçim sonuçlarının güvenilirliği için bu adım oldukça önemlidir.

Eğitim uçağı seçimini etkileyen çok fazla nicel ve nitel kriter vardır. Çalışma özelinde, yedi ana kriter ve yirmi beş alt kriter seçim için belirlenmiştir. Belirlenen kriterler arasında da nicel ve nitel kriterler bulunmaktadır. Çok fazla sayıda kriterin var olması ise seçim sürecini karmaşık ve zor bir hale getirmektedir. Aynı zamanda, eğitim uçağı seçiminde kararın sonuçlarını etkileyen çok fazla paydaş vardır. Bundan kaynaklı seçim kriterlerinin ağırlıklarını farklı değerlendirme durumu söz konusudur. Örneğin, pilotlar, teknik personel, hava trafik kontrolörü, eğitimciler, eğitim kurum sahipleri ve mali uzmanlar gibi farklı uzmanlar, karar verme sürecinde farklı yönleri ve ihtiyaçları göz önünde bulunduracağından farklı alandaki uzmanlardan veri alınmasını gerekli kılmıştır.

AHP, karar verme problemlerindeki karmaşıklığı yönetmek ve objektif bir şekilde karar vermek için önemli bir matematiksel ve analitik araç olarak birçok seçim alanında kullanılmaktadır. Aşağıdaki özelliklerinden dolayı, eğitim uçağı seçiminde uygun bir yöntem olarak değerlendirilmiş ve seçilmiştir [108];

- Karar verme sürecini hiyerarşik bir yapı içerisinde değerlendirir. Hiyerarşi kurulurken ana kriterler belirlendikten sonra alt kriterler ise bu amaçları destekleyen ölçütler olarak değerlendirilir. Bu hiyerarşik çözüm yaklaşımı, süreci sistematik hale getirir ve karmaşık yapının daha anlaşılır olmasını sağlar. Aynı zaman da farklı kriterler arasındaki ilişkileri netleştirir.
- AHP yönteminde hem nitel hem nicel kriterler matematiksel olarak değerlendirmeye alınabilir. Nicel kriterlerin de değerlendirilmeye alınabilmesi değerlendirme kapsamını büyütmektedir. Aynı zamanda farklı ölçütler ile değerlendirilen kriterlerin bir arada değerlendirmesine olanak tanır.

- AHP, grup ile karar verme yapısına uygun bir yöntemdir. Yukarıda belirtildiği gibi eğitim uçağı seçimi farklı alandaki uzmanlardan veri almasının ihtiyacı olan bir seçimdir. Farklı alanlardaki uzmanlardan veri almak hataları, subjektifliği azaltır. Kararın kalitesini artırır.

Bu ve benzeri sebeplerden dolayı çalışmada, AHP yöntemi Eğitim Uçağı Seçimi sürecinde kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesinde uygun olarak değerlendirilmiştir.

7.3.2. Alternatiflerin Performanslarına göre Sıralanması

Eğitim uçağı alternatifleri AHP yöntemi ile bulunan kriter ağırlıkları kullanılarak, TOPSIS yöntemi ile performanslarına göre sıralanmıştır. TOPSIS, ÇKKV problemlerinde alternatiflerin sıralanması için kullanılan etkili bir yöntemdir.

TOPSIS yöntemi, her alternatifin ideal ve anti-ideal çözümlere olan benzerliğini hesaplayarak, en uygun seçeneğin belirlenmesinde etkili olmuştur [96]. AHP yönteminin kullanılması ile ilgili sunulan gerekçelerin bazıları bu yöntem için de geçerlidir. Eğitim uçağı seçiminde alternatiflerin sıralanmasında TOPSIS yöntemi aşağıdaki sebeplerden dolayı uygun bir yöntem olarak değerlendirilmiş ve seçilmiştir [94];

- Eğitim uçağı seçimi daha önce bahsedildiği gibi birden fazla kriterin değerlendirilmesini gerektiren bir seçim problemidir. TOPSIS yöntemi, bu tür çok boyutlu problemleri ele alabilmektedir. Karar verme sürecinde farklı ölçütlerle değerlendirilen hem nitel hem nicel kriterlerin değerlendirilmesine olanak sağlar.
- TOPSIS yöntemi, seçim problemlerinde uygulaması kolay olan bir yöntemdir. Matematiksel olarak bakıldığında kısa, net ve kolay bir formülasyona sahiptir. Bu sayede, birçok alanda ve karmaşık yapılarda da kullanım kolaylığı sağlar. Bu sebeplerden, literatüre bakıldığında karşımıza çok fazla çıkan yöntemlerden biridir. Bu da güvenilirliği de arttırmaktadır.
- TOPSIS, alternatiflerin ideal ve anti-ideal çözümlere olan benzerliğini değerlendirerek sıralama yapar. Bu şekilde, her bir alternatif, ideal çözüme ne kadar yakın ve anti-ideal çözüme ne kadar uzak olduğu ölçülerek açık bir şekilde sıralanabilir.
- AHP yönteminde olduğu gibi grup ile karar verme yapısına uygulanabilir özellik taşımaktadır.

Yukarıdaki sebeplere ek olarak çalışmada, TOPSIS yönteminin seçilmesinin önemli bir sebebi daha vardır. Alternatifler arasında yer alan Hürkuş eğitim uçağının yeni nesil Hürkuş uçağı olarak tanıtılan yeni bir versiyonu üretilmektedir. Hürkuş-2 uçağının ulaşılan teknik verilerinin,

ideal çözümlere olan benzerliğinin değerlendirilmesi istenmektedir. Buna göre avantajlı olduğu noktalar daha net bir şekilde ortaya konulabilecektir.

7.3.3. Belirli kısıtlar ve hedefler altında seçim

Pilot eğitimi amacıyla kullanılacak olan eğitim uçaklarının seçimi, önceki bölümlerde bahsedildiği üzere pilot adaylarının beceri ve performansları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Eğitim uçaklarının seçimi, çok boyutlu bir karar verme problemidir. Çok fazla niceliksel ve niteliksel kriteri bünyesinde barındırmaktadır. Bu nedenle, eğitim uçaklarının seçimi için farklı boyutları eş zamanlı olarak dikkate alan analitik yöntemlerin kullanılması gerekmektedir.

Eğitim uçağı seçiminin ilk aşamasında, AHP kullanılarak belirlenen kriterlerin ağırlıkları belirlenmiştir. İkinci aşamada, TOPSIS yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıkları kullanılarak, tüm alternatif eğitim uçakları sıralanmış ve en ideal çözüme en yakın olanı belirlenmiştir.

Bu iki aşamalı analizden sonra, karar verme sürecinin daha da geliştirilmesi, detaylandırılması ve alternatif seçimlerdeki esnekliği artırmak için 0-1 hedef programlama modeli kullanılmıştır. AHP ve TOPSIS yönteminde sadece belirli kriterleri optimize etmekteki sınırlılıkları sebebiyle, farklı senaryolara göre uyarlanabilen 0-1 hedef programlama modelinin entegrasyonuna ihtiyaç duyulmuştur. Savunma sanayiine, ÇKKV yöntemlerinin uygulanması konusunda geniş kapsamlı çalışmalar bulunmaktadır. Eğitim uçağı seçimi gibi kritik sistemlerin seçiminde de yakın metodolojiler kullanılabilir [109]. Bu yöntemlerin entegrasyonu, karar vericilere daha objektif karar verme süreci tanıması yanında aynı zamanda kapsamlı analizler yapma imkanı da sunar [110].

0-1 Hedef programlama, özellikle çok amaçlı karar verme problemlerindeki hedeflerin gerçekleşmesini maksimize etmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, bazı kısıtlar altında belirlenen hedeflerin ağırlıklarını dikkate alarak, en iyileştirilmiş alternatifleri bulmayı sağlamaktadır. Eğitim uçaklarının seçimi gibi maliyet, performans, yerlilik, kurum ya da ülke politikaları gibi birbiriyle çatışan hedefleri olan karmaşık karar verme problemlerinde hedef programlama, kısıtlar ve hedefler arasında dengeyi kurmayı amaçlamaktadır. Aynı zamanda, eğitim uçağı seçiminde, alternatifler arasından sadece birinin veya birkaçının seçilmesi gerektiği durumlar vardır. Yani, karar değişkenlerinin sadece 0-1 olabileceği durumlar olabilir. Gerçek hayattaki bu durumlar için 0-1 programlama, bu kısıtları matematiksel olarak modellemek ve optimal çözümü bulmayı sağlar [111].

Bu kapsamda, AHP ile belirlenen kriter ağırlıkları ve TOPSIS ile sıralanan alternatifler hedef programlama modelinde veri olarak kullanılmıştır. Belirli kısıtlar, hedefler altında ve farklı hedef öncelik sıralamaları için farklı senaryolar kurulmuş ve 0-1 Hedef Programlama yöntemi bu senaryolar için eğitim uçağı seçiminin yapılmasında kullanılmıştır. Hedef programlama, matematiksel bir optimizasyon aracı olarak, sınırlı kaynaklar altında en iyi çözümünün elde edilmesini sağlamıştır [112]. Bu sayede, değişebilen hedefler, hedef sıralamaları ve kısıtlar için, yöneticilere çeşitli senaryolar altında optimize edilmiş kararlar sunulmuştur.

Bu çalışmanın ilerleyen bölümlerinde, 0-1 hedef programlama ile elde edilen senaryolara göre hangi alternatif eğitim uçaklarının seçildiği detaylandırılmıştır.

Sonuç olarak, AHP ve TOPSIS'in sağlamış olduğu sayısal verilerden sonra, 0-1 hedef programlama modeli ile, farklı senaryoların değerlendirilmesi ve karmaşık gerçek dünya problemlerine tatmin edici çözümler sunulması hedeflenmiştir. Aynı zamanda, ÇKKV yöntemlerinin birbiriyle etkili şekilde kullanıldığı birçok çalışma vardır. Savunma sanayii gibi kritik sektörlerde, karar süreçlerinin iyileştirilmesi adına yöntemlerin birleşik kullanımıyla daha objektif ve güvenilir sonuçlar elde edilebilir [113].

Bu anlayışla, belli başlı karar verme aşamalarının entegre edilmesi, karar vericilere yol gösterici olmanın ötesinde, optimize edilmiş, gerçekçi ve esnek çözüm önerilerinin sunulmasını sağlamaktadır.

7.4. AHP Yöntemi ile Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

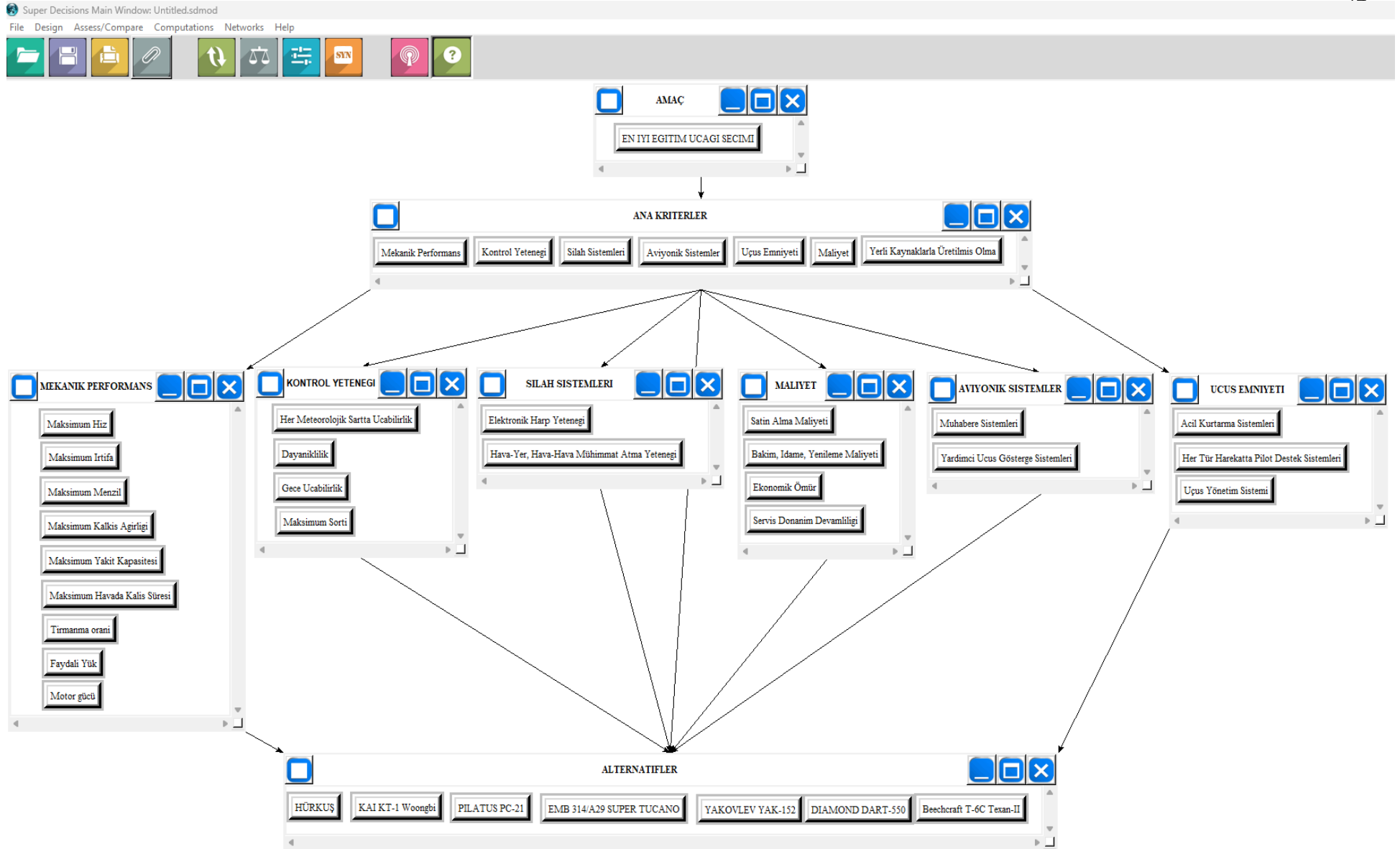
Belirlenmiş olan yedi ana kriter ve yirmi beş alt kriterin ağırlıkları AHP yöntemi ile bulunmuştur. Yöntem bölümünde detayları verilen AHP adımları eğitim uçağı seçimi kriterlerinin ağırlık değerlerinin bulunması için uygulanmıştır.

AHP yönteminin ilk adımı olan “problem tanımlanması” adımı, önceki başlıklarda tanımlanan amaç, kriterlerin ve kriterlere ait olan alt kriterlerin belirlenmesi ile gerçekleştirilmiştir. AHP yönteminde öncelikle amaç tanımlanmakta ve bu amaç doğrultusunda amacı etkileyen kriterler belirlenmeye çalışılmaktadır [99].

7.4.1. Hiyerarşik yapının oluşturulması

Seçim kriterlerin ağırlıklarının elde edilmesi için AHP yöntemi uygulanırken “Super Decisions”, “Expert Choice”, “JavaAHP”, “AutoMan”, “ECPro”, “HIPRE3+”, “Microsoft Excel” gibi programlar ile sonuçlar elde edilebilir [1]. Çalışmada AHP yönteminin

uygulanabilmesi için “Super Decisions 2.10” programı kullanılmıştır. “Super Decisions” programında Şekil 7.2’de belirtilen amaç, yedi ana kriter ve yirmi beş alt kriter tanımlanmıştır. Kriter ağırlıklarının belirlenmesi için Şekil 7.2’deki program ekran görüntüsündeki gibi hiyerarşik yapı oluşturulmuştur. Hiyerarşik yapıda amaç, ana kriterlerin bulunduğu kümeye; ana kriterler, ilgili alt kriterler kümesine; alt kriterler, alternatifler kümesine bağlanmıştır. Yerli kaynaklarla üretilmiş olma ana kriterinin alt kriteri bulunmamasından kaynaklı direkt alternatifler kümesine bağlanmıştır.



Şekil 7.2. Yerli kaynaklarla üretilmiş olma ana kriterinin alt kriteri bulunmadığı için “Alternatifler” kümesine direkt bağlanmıştır

7.4.2. İkili karşılaştırma matrislerinin kurulması

Hiyerarşik yapının kurulmasından sonra bir sonraki adım olarak ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmalıdır.

Kriter ağırlıklarının belirlenmesi için ana kriterlerin ve alt kriterlerin kendi aralarında ikili karşılaştırmaları anket yöntemi ile uzman ekip tarafından yapılmıştır. İkili karşılaştırmalar EK-1. ve EK-2.'de verilen anket formlarındaki karşılaştırmaların “Google Forms” üzerinde oluşturulması ile yapılmıştır. Uzman ekip farklı alanlarda görev yapan birbirinden bağımsız 10 kişi tarafından yapılmıştır. Uzman ekip, değerlendirmenin kalitesini arttırmak adına uçuş okulu sahibi, pilot, test pilotu, öğrenci pilot, mühendis, eğitmen, Savunma Sanayi Başkanlığı'nda uçak seçim uzmanı, hava trafik kontrolörü gibi farklı disiplinlerden 20 yılı aşkın tecrübeye sahip kişilerden oluşturulmuştur.

Uzman ekipten ikili karşılaştırmaların Saaty standart karşılaştırma ölçeğine uygun olarak yapılması istenmiştir.

Uzman ekip tarafından kriter karşılaştırmaları yapılırken Saaty ölçeğine göre örneğin; A ve B kriteri karşılaştırılırken, A'nın B'ye göre önemi bir uzmana göre 9 önem değeri, diğer uzmana göre 1/9 önem değeri olabilir. Karşılaştırmalarda birbirinden uzak önem değerlerinin verilmesinin mümkün olmasından kaynaklı geometrik ortalamalarının alınması uygun olacaktır.

Uzman ekip tarafından grup kararı ile yapılan değerlendirmelerin geometrik ortalamaları hesaplanarak ortalama ikili karşılaştırma matrisleri elde edilmiştir. Karşılaştırma matrislerinin “Super Decisions” programına girişlerinin yer aldığı ekran görüntüleri Şekil 7.3' de gösterilmiştir.

Birinci Düzey İkili Karşılaştırma Matrisi

Inconsistency	Kontrol Y~	Maliyet ~	Mekanik P~	Silah Sis~	Uçus Emniy~	Yerli Kay~
Aviyonik ~	↑ 3.936	← 1.606	↑ 1.369	← 3.969	↑ 8.275	← 1.312
Kontrol Y~		← 4.036	← 2.737	← 7.051	↑ 8.275	← 4.174
Maliyet ~			↑ 2.176	↑ 1.026	↑ 8.486	↑ 1.488
Mekanik P~				← 3.353	↑ 8.275	← 2.292
Silah Sis~					↑ 7.863	↑ 1.224
Uçus Emniy~						← 8.558

İkinci Düzey İkili Karşılaştırma Matrisleri

Mekanik Performans Ana Kriterinin Alt Kriterleri

Inconsistency	Max Havada~	Max Hiz ~	Max İrtifa~	Max Kalkis~	Max Menzil~	Max Yakıt ~
Faydalı Yü~	↑ 1.070	← 1.689	← 2.979	← 2.408	↑ 1.425	← 1.684
Max Havada~		← 1.870	← 3.271	← 2.559	← 1.288	← 1.017
Max Hiz ~			← 1.079	← 1.355	↑ 1.034	↑ 1.107
Max İrtifa~				↑ 1.060	← 1.007	← 1.052
Max Kalkis~					↑ 2.310	← 1.214
Max Menzil~						← 1.183

Kontrol Yeteneği Ana Kriterinin Alt Kriterleri

Inconsistency	Gece Ucab~	Her Meteo~	Max Sorti ~
Dayanıklı~	← 2.760	← 1.184	← 4.039
Gece Ucab~		↑ 3.936	← 1.355
Her Meteo~			← 1.949

Silah Sistemleri Ana Kriterinin Alt Kriterleri

Inconsistency	Hava-Yer, ~
Elekt. Har~	↑ 1.500

Maliyet Ana Kriterinin Alt Kriterleri

Inconsistency	Ekonomik Ö~	Satin Alma~	Servis Don~
Bakim, İda~	← 1.885	← 5.455	← 1.355
Ekonomik Ö~		← 4.945	↑ 1.390
Satin Alma~			↑ 3.936

Aviyonik Sistemler Ana Kriterinin Alt Kriterleri

Inconsistency	Her Tür H~	Uçus Yönet~
Acil Kurta~	← 1.870	← 2.667
Her Tür H~		← 1.463

Uçus Emniyeti Ana Kriterinin Alt Kriterleri

Inconsistency	Yardımcı U~
Muhabere ~	← 1.204

Şekil 7.3. İkili karşılaştırma matrisleri

İkili karşılaştırma matrislerinin Yöntem bölümünde detayları anlatılan şekilde normalize edilmesi ve ardından ilgili işlemlerin uygulanması ardından kriterlerin öncelik vektörü hesaplanabilir. “Super Decisions” programı tarafından bu işlemler sağlanır ve “tutarlılık oranı” bilgileri ile birlikte kriterlerin göreceli önem ağırlıkları kullanıcıya verilir.

“Super Decisions” programı tarafından göreceli önem ağırlıklarının ve tutarlılık oranlarının yer aldığı ekran görüntüleri EK-3.’de yer almaktadır.

Tutarlılık Oranı (CR), karşılaştırma matrisleri için hesaplanır. Saaty tarafından önerilen 0.10 değerinin üstündeki karşılaştırmalar “tutarsız” olarak değerlendirilir ve karşılaştırmaların tekrarlanması gerekmektedir [114]. EK-3.’deki program ekran çıktılarında yer alan tutarlılık oranlarının üst limit olan 0.10 değerinin altında kaldığından karşılaştırmalar “tutarlı” olarak değerlendirilmiştir.

Alt kriterlerin tüm ölçütler içinde ağırlığı, ana kriterine bağlı alt kriterler arasında bulunan ağırlığının ikili karşılaştırmalar matrisinden elde edilen bağlı olduğu ana kriter ağırlığının çarpılması ile hesaplanır. Örneğin “Maksimum hız” alt kriterinin “Super Decisions” programı aracılığı ile “Mekanik Performans” ana kriterinin alt kriterleri içindeki ağırlığı 0,079026 olarak bulunmuştur. Birinci düzeydeki ikili karşılaştırmalar matrisinden ise “Mekanik Performans” ana kriterinin ağırlığı 0,080623 olarak bulunmuştur. “Maximum Hız” alt kriteri için tüm alt kriterler içindeki ağırlığı $0.0,080623 \times 0.079026 = 0.006371$ ’ dir. Tüm ölçütler içerisinde alt kriterlerin hesaplanan ağırlıkları $\sum W_i = 1$ olacak şekilde hesaplanmıştır [1]. Elde edilen kriter ağırlıkları Çizelge 7.2 verilmiştir.

Çizelge 7.2. Seçim kriterlerinin ağırlıkları

Ana Kriter	Alt Kriter	Kısaltma	Kriter Önem Derecesi *Ana kriteri içinde	Kriter Önem Derecesi *Tüm ölçütler içinde
Mekanik Performans (K1) W=0,080623	Maksimum Hız	K11	0,079026	0,006371
	Maksimum İrtifa	K12	0,062771	0,005061
	Maksimum Menzil	K13	0,104344	0,008413
	Maksimum Kalkış Ağırlığı	K14	0,065302	0,005265
	Maksimum Havada Kalış Süresi	K15	0,123768	0,009979
	Maksimum Yakıt Kapasitesi	K16	0,075594	0,006095
	Faydalı Yük	K17	0,129324	0,010426
	Motor Gücü	K18	0,150533	0,012136
	Tırmanma Oranı	K19	0,209334	0,016877
Kontrol Yeteneği (K2) W=0,174374	Her Meteorolojik Şartta Uçabilirlik	K21	0,120224	0,020964
	Dayanıklılık	K22	0,403564	0,070371
	Gece Uçabilirlik	K23	0,128176	0,022351
	Maksimum Sorti	K24	0,348034	0,060688
Silah Sistemleri (K3) W=0,033078	Elektronik Harp Yeteneği	K31	0,39992	0,013229
	Mühimmat Atma Yeteneği	K32	0,600079	0,019849
Aviyonik Sistemler (K4) W=0,065692	Muhabere Sistemleri	K41	0,546385	0,035893
	Yardımcı Uçuş Gösterge Sistemleri	K42	0,453614	0,029799
Uçuş Emniyeti (K5) W=0,562407	Acil Kurtarma Sistemleri	K51	0,52332	0,294319
	Pilot Destek Sistemleri	K52	0,282168	0,158693
	Uçuş Yönetim Sistemi	K53	0,19451	0,109394
Maliyet (K6) W=0,038737	Satın Alma Maliyeti	K61	0,064768	0,002509
	Bakım, İdame, Yenileme Maliyeti	K62	0,398467	0,015435
	Ekonomik Ömür	K63	0,244279	0,009463
	Servis Donanım Devamlılığı	K64	0,292484	0,011330
Yerlilik (K7) W=0,045086				0,045086

Ana kriter önem ağırlıklarının büyükten küçüğe doğru sıralaması $K5 > K2 > K1 > K4 > K7 > K6 > K3$ şeklindedir. Eğitim uçağı seçiminde, “Uçuş Emniyeti” ana kriterinin diğer kriterlere göre oldukça önemli olduğu dikkat çekmektedir. Yine “Kontrol Yeteneği” ana kriterinin “Uçuş Emniyeti” ana kriterini takip ettiğini ve eğitim uçağı seçiminde öneminin diğer kriterlere göre öne çıktığı belirlenmiştir. Önem sırasıyla “Mekanik Performans”, “Aviyonik Sistemler”, “Yerli Kaynaklarla Üretilmiş Olma-Yerlilik”, “Maliyet”, “Silah Sistemleri” ana kriterlerinin ilk iki ana kritere göre daha az olmak üzere ağırlıkları bulunmuştur.

Ana kriterlere bağlı alt kriterler kümesi içindeki kriterlerin birbirlerine göre ağırlıkları ikinci düzey karşılaştırmalar ile bulunmuştur. “Mekanik Performans” ana kriteri için, “Tırmanma

Oranı”, “Motor Gücü” ve “Faydalı Yük” kriterleri önem sırasına sahiptir. “Kontrol Yeteneği” ana kriteri için, sırasıyla “Dayanıklılık” ve “Maksimum Sorti” önemlidir. Diğer alt kriterlerinin ağırlıkları birbirine yakındır. “Silah Sistemleri” ana kriteri için. “Hava-Yer, Hava-Hava Mühimmat Atma Yeteneği” ~%60, “Elektronik Harp Yeteneği” ~%40 öneme sahiptir. Ana kriterler arasından en fazla öneme sahip olan “Uçuş Emniyeti” ana kriteri için ise en önemli alt kriter “Acil Kurtarma Sistemleri” dir. Diğer iki alt kriter ise görece birbirlerine yakın öneme sahip kriterlerdir. “Maliyet” ana kriteri için “Bakım, İdame, Yenileme Maliyeti” alt kriteri en önemli görülmüştür. Sırasıyla “Servis Donanım Devamlılığı” ve “Ekonomik Ömür” alt kriterleri görece birbirine yakın öneme sahip olarak bu kriteri takip eder. “Satın Alma Maliyeti” alt kriteri diğer kriterlere göre oldukça az öneme sahip olarak görülmüştür.

Alt kriterler için tüm kriterler arasındaki önem sıralaması incelendiğinde ise; ilk beş önem sırasını sırasıyla “Acil Kurtarma Sistemleri”, “Pilot Destek Hizmetleri”, “Uçuş Yönetim Sistemi”, “Dayanıklılık”, Maksimum Sorti” almaktadır. Onları ise sırasıyla, K7>K41>K42>K23>K21 alt kriterleri takip eder.

7.5. TOPSIS ile Alternatiflerin Sıralanması

Belirlenen eğitim amaçlı kullanılacak uçak alternatifleri bu bölümde ele alınmıştır. Bu eğitim uçak alternatifleri; Hürkuş, KT-1, Pilatus PC-21, A29 Super Tucano, Yakovlev YAK-152, Diamond DART-550 ve T-6C Texan II olmak üzere yedi tanedir.

Çalışmada, “Eğitim Uçağı Seçimi” nde belirlenen alt kriterlerin bazıları nitel bazıları ise nicel kriterlerdir. Sayısal olarak ifade edilebilen “Maksimum Hız”, “Maksimum İrtifa”, “Maksimum Menzil”, “Maksimum Kalkış Ağırlığı (MTOW)”, ”Maksimum Havada Kalış Süresi”, “Tırmanma Oranı”, “Maksimum Yakıt Kapasitesi”, “Faydalı Yük”, “Motor Gücü”, “Satın Alma Maliyeti” kriterleri yanında; “Her Meteorolojik Şartta Uçabilirlik”, “Dayanıklılık”, “Gece Uçabilirlik”, “Maksimum Sorti”, “Elektronik Harp Yeteneği”, “Hava-Yer, Hava-Hava Mühimmat Atma Yeteneği”, “Muhabere Sistemleri”, “Yardımcı Uçuş Gösterge Sistemleri”, “Acil Kurtarma Sistemleri”, “Her Tür Harekatta Pilot Destek Sistemleri”, “Bakım, İdame, Yenileme Maliyeti”, “Ekonomik Ömür”, “Servis Donanım Devamlılığı”, “Uçuş Yönetim Sistemi” gibi sayısal olarak ifade edilemeyen kriterler vardır. TOPSIS yöntemi hem nicel hem nitel kriterler ile çalışmayı mümkün kılmaktadır.

TOPSIS yöntemi uygulanırken nicel kriterler için çalışmada daha önce verilen teknik veriler kullanılmıştır. Nitel kriterler için ise EK-4. 'te yer alan tablo 10 kişilik uzman ekip tarafından birbirinden bağımsız olarak oluşturulmuştur. Uzman ekip alternatifleri, nitel kriterlere göre

uygun skala ile puanlamıştır. Puanlama yapılırken uzman ekipten alınan geri bildirimler ile 1-5 skalası) kullanılması uygun değerlendirilmiştir. Skala olarak 1-5 skalasının kullanılmış olmasından dolayı ise uzman ekibin puanlamalarının aritmetik ortalaması alınarak puanlama matrisi oluşturulmuştur. “Yerli Kaynaklarla Üretilmiş Olma” kriteri için ise yalnızca HÜRKUŞ alternatif uçağının yerli olmasından kaynaklı Hürkuş’a “1” değeri, diğer uçak alternatiflerine ise “0” değeri atanmıştır.

AHP yöntemi ile “Eğitim Uçağı Seçimi” nde belirlenen alt kriterlerin tüm kriterler içindeki ağırlıkları kullanılarak TOPSIS yöntemi adımları “Microsoft-Excel” aracılığı ile uygulanarak eğitim uçağı alternatifleri sıralanmış ve en iyi eğitim uçağı belirlenmiştir.

7.5.1. Karar matrisinin oluşturulması

TOPSIS yönteminin ilk adımı karar matrisinin oluşturulmasıdır. Çalışmada 7 alternatif ve 25 alt kriter belirlendiğinden 5x25’lik bir karar matrisi oluşturulmuştur.

Karar matrisi (Çizelge 7.3) oluşturulurken eğitim uçaklarının teknik verileri, uzman ekibinin alternatifleri nitel kriterler için puanlamalarının aritmetik ortalamaları kullanılmıştır. AHP yöntemi ile belirlenen kriter ağırlıklarının tüm kriterler içerisindeki ağırlıkları matrisin altındaki satırda verilmiştir.

Çizelge 7.3. Karar matrisi

Uçak Tipi	Maksimum Hız	Maksimum İrtifa	Maksimum Menzil	Maksimum Kalkış Ağırlığı (MTOW)	Maksimum Havada kalma süresi
	km/h	feet	km	kg	dk
HÜRKUŞ	574,00	34705	1140	3750,000	255
KT-1	648,00	38000	1333	2775,196	270
PILATUS PC-21	685,64	25000	1333	3100,000	180
A29 SUPER TUCANO	592,64	35000	1330	5400,000	390
YAKOVLEV YAK-152	500,00	13124	1500	1700,000	300
DIAMOND DART 550	460,00	23000	2800	2400,000	480
T-6C TEXAN II	585,00	31000	1667	3130,000	270
Ağırlık	0,00637	0,00506	0,00841	0,00526	0,00998

Çizelge 7.3. (devam) Karar matrisi

Uçak Tipi	Tırmanma Oranı	Maksimum Yakıt Kapasitesi	Faydalı Yük	Motor Gücü	Satın Alma Maliyeti
	feet/min	kg	kg	shp	milyon dolar
HÜRKUŞ	3297,0	544	750	1600	9,00
KT-1	3500,0	385	1405	950	7,00
PILATUS PC-21	4091,0	540	1150	1600	9,00
A29 SUPER TUCANO	3240,0	556	1550	1600	11,60
YAKOVLEV YAK-152	1968,5	245	200	500	8,32
DIAMOND DART 550	2990,0	663	710	550	4,50
T-6C TEXAN II	3300,0	528	1319	1100	8,00
Ağırlık	0,01688	0,00609	0,01043	0,01214	0,00251
Uçak Tipi	Her Meteorolojik Şartta Uçabilirlik	Dayanıklılık	Gece Uçabilirlik	Maksimum Sorti	Elektronik Harp Yeteneği
	Nitel	Nitel	Nitel	Nitel	Nitel
HÜRKUŞ	4,5	4,6	4,6	4,2	3,8
KT-1	4,2	3,4	4,1	3,7	3,2
PILATUS PC-21	4,1	4,4	4,3	4,2	3,4
A29 SUPER TUCANO	4,1	4,1	4,1	4,0	3,8
YAKOVLEV YAK-152	3,5	3,2	3,5	3,5	2,9
DIAMOND DART 550	4,2	4,4	4,6	4,2	3,4
T-6C TEXAN II	4,5	4,7	4,6	4,5	4,4
Ağırlık	0,02096	0,07037	0,02235	0,06069	0,01323
Uçak Tipi	Mühimmat Atma Yeteneği	Muhabere Sistemleri	Yardımcı Uçuş Gösterge Sistemleri	Acil Kurtarma Sistemleri	Her Tür Harekatta Pilot Destek Sistemleri
	Nitel	Nitel	Nitel	Nitel	Nitel
HÜRKUŞ	4,2	4,4	4,6	4,2	4,6
KT-1	2,9	4,0	4,4	4,0	3,7
PILATUS PC-21	3,3	4,3	4,3	4,1	4,5
A29 SUPER TUCANO	3,9	4,2	4,4	4,1	4,1
YAKOVLEV YAK-152	2,8	3,8	3,8	3,4	3,6
DIAMOND DART 550	3,5	4,5	4,6	4,6	4,4
T-6C TEXAN II	4,0	4,6	4,6	4,6	4,6
Ağırlık	0,01985	0,03589	0,02980	0,29432	0,15869

Çizelge 7.3. (devam) Karar matrisi

Uçak Tipi	Bakım, İdame, Yenileme Maliyeti	Ekonomik Ömür	Servis Donanım Devamlılığı	Uçuş Yönetim Sistemi	Yerli kaynaklarla Üretilmiş Olma
	Nitel	Nitel	Nitel	Nitel	Nitel
HÜRKUŞ	4,4	4,1	4,7	4,2	1
KT-1	3,4	3,5	3,5	3,7	0
PILATUS PC-21	3,5	4,0	4,1	4,3	0
A29 SUPER TUCANO	3,8	3,9	4,1	4,2	0
YAKOVLEV YAK-152	2,9	2,7	3,2	3,3	0
DIAMOND DART 550	3,6	4,2	4,5	4,6	0
T-6C TEXAN II	3,9	4,3	4,6	4,7	0
Ağırlık	0,01544	0,00946	0,01133	0,10939	0,04509

7.5.2. Karar matrisinde normalizasyon

Karar matrisi oluşturulduktan sonra ikinci adım bu matrisin normalizasyon işleminin gerçekleştirilmesidir. Normalizasyondaki amaç, farklı birimlere sahip olan kriterlerin boyutsuz hale getirerek karşılaştırılabilir bir hale getirilmesidir.

Karar matrisinde normalizasyon yapılırken karar matrisindeki her hücredeki değer, kritere ait sütundaki değerlerin kareleri toplamının karekökü alınarak bulunan değere bölünür [115]. Normalize karar matrisi Çizelge 7.4'te verilmiştir.

Çizelge 7.4. Normalize karar matrisi

Uçak Tipi	Maksimum Hız	Maksimum İrtifa	Maksimum Menzil	Maksimum Kalkış Ağırlığı (MTOW)	Maksimum Havada kalma süresi
HÜRKUŞ	0,37250	0,44216	0,25822	0,422	0,30142
KT-1	0,42052	0,48414	0,30193	0,312	0,31915
PILATUS PC-21	0,44495	0,31851	0,30193	0,349	0,21276
A29 SUPER TUCANO	0,38459	0,44592	0,30125	0,608	0,46099
YAKOVLEV YAK-152	0,32447	0,16721	0,33976	0,191	0,35461
DIAMOND DART 550	0,29852	0,29303	0,63422	0,270	0,56737
T-6C TEXAN II	0,37964	0,39495	0,37759	0,352	0,31915
Ağırlık	0,00637	0,00506	0,00841	0,00526	0,00998

Çizelge 7.4. (devam) Normalize karar matrisi

Uçak Tipi	Tırmanma Oranı	Maksimum Yakıt Kapasitesi	Faydalı Yük	Motor Gücü	Satın Alma Maliyeti
HÜRKUŞ	0,4	0,40288	0,25656	0,49746	0,40
KT-1	0,4	0,28512	0,48063	0,29536	0,31
PILATUS PC-21	0,5	0,39991	0,39340	0,49746	0,40
A29 SUPER TUCANO	0,4	0,41176	0,53023	0,49746	0,52
YAKOVLEV YAK-152	0,2	0,18144	0,06842	0,15546	0,37
DIAMOND DART 550	0,3	0,49101	0,24288	0,17100	0,20
T-6C TEXAN II	0,4	0,39103	0,45121	0,34200	0,36
Ağırlık	0,01688	0,00609	0,01043	0,01214	0,00251

Uçak Tipi	Her Meteorolojik Şartta Uçabilirlik	Dayanıklılık	Gece Uçabilirlik	Maksimum Sorti	Elektronik Harp Yeteneği
HÜRKUŞ	0,40800	0,41891	0,40684	0,39146	0,40053
KT-1	0,38080	0,30963	0,36262	0,34486	0,33729
PILATUS PC-21	0,37173	0,40070	0,38031	0,39146	0,35837
A29 SUPER TUCANO	0,37173	0,37338	0,36262	0,37282	0,40053
YAKOVLEV YAK-152	0,31733	0,29142	0,30955	0,32622	0,30567
DIAMOND DART 550	0,38080	0,40070	0,40684	0,39146	0,35837
T-6C TEXAN II	0,40800	0,42802	0,40684	0,41943	0,46377
Ağırlık	0,02096	0,07037	0,02235	0,06069	0,01323

Uçak Tipi	Mühimmat Atma Yeteneği	Muhabere Sistemleri	Yardımcı Uçuş Gösterge Sistemleri	Acil Kurtarma Sistemleri	Her Tür Harekatta Pilot Destek Sistemleri
HÜRKUŞ	0,44711	0,38992	0,39571	0,38160	0,41080
KT-1	0,30872	0,35447	0,37851	0,36343	0,33042
PILATUS PC-21	0,35130	0,38105	0,36991	0,37251	0,40187
A29 SUPER TUCANO	0,41518	0,37219	0,37851	0,37251	0,36614
YAKOVLEV YAK-152	0,29807	0,33675	0,32689	0,30891	0,32149
DIAMOND DART 550	0,37259	0,39878	0,39571	0,41794	0,39294
T-6C TEXAN II	0,42582	0,40764	0,39571	0,41794	0,41080
Ağırlık	0,01985	0,03589	0,02980	0,29432	0,15869

Çizelge 7.4. (devam) Normalize karar matrisi

Uçak Tipi	Bakım, İdame, Yenileme Maliyeti	Ekonomik Ömür	Servis Donanım Devamlılığı	Uçuş Yönetim Sistemi	Yerli kaynaklarla Üretilmiş Olma
HÜRKUŞ	0,45337	0,40264	0,42975	0,380875	1
KT-1	0,35033	0,34372	0,32003	0,335533	0
PILATUS PC-21	0,36063	0,39282	0,37489	0,389943	0
A29 SUPER TUCANO	0,39154	0,38300	0,37489	0,380875	0
YAKOVLEV YAK-152	0,29881	0,26515	0,29259	0,299259	0
DIAMOND DART 550	0,37094	0,41246	0,41146	0,417149	0
T-6C TEXAN II	0,40185	0,42228	0,42060	0,426217	0
Ağırlık	0,01544	0,00946	0,01133	0,10939	0,04509

7.5.3. Ağırlıklandırılmış normalize matris ve ideal (A^*) ve negatif ideal (A^-) çözümlerin oluşturulması

Normalize edilen karar matrisi, matris sütununda yer alan kriterin ağırlığı ile çarpılması ile “Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisi” oluşturulur. Çizelge 7.5’teki matristeki hesaplamalarda alt kriterlerin tüm kriterler içerisindeki önem ağırlıkları hesaplamada kullanılmıştır.

Elde edilen yeni ağırlıklı Normalize Matristeki alternatiflere ait kriter değerlerinin “ideal (A^*)” ve “negatif ideal (A^-)” çözümleri belirlenir. “İdeal” ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisinin en iyi değerlerini, “negatif ideal” en kötü değerlerini temsil eder [116]. Kriterin fayda ya da zarar/maliyet kriteri olduğu belirlenmiştir. Buna göre artan veya azalan iyi kararı ile pozitif ve negatif ideal çözümler belirlenmiştir. Ağırlıklı normalize karar matrisi tablosunda belirlenen pozitif ve negatif ideal çözüm değerleri belirtilmiştir.

Çizelge 7.5. Ağırlıklı Normalize Karar Matrisi

Uçak Tipi	Maksimum Hız	Maksimum İrtifa	Maksimum Menzil	Maksimum Kalkış Ağırlığı (MTOW)	Maksimum Havada kalma süresi
	<i>Fayda</i>	<i>Fayda</i>	<i>Fayda</i>	<i>Maliyet</i>	<i>Fayda</i>
HÜRKUŞ	0,00237	0,00224	0,00217	0,00222	0,00301
KT-1	0,00268	0,00245	0,00254	0,00164	0,00318
PILATUS PC-21	0,00283	0,00161	0,00254	0,00184	0,00212
A29 SUPER TUCANO	0,00245	0,00226	0,00253	0,00320	0,00460
YAKOVLEV YAK-152	0,00207	0,00085	0,00286	0,00101	0,00354
DIAMOND DART 550	0,00190	0,00148	0,00534	0,00142	0,00566
T-6C TEXAN II	0,00242	0,00200	0,00318	0,00185	0,00318
Ağırlık	0,00637	0,00506	0,00841	0,00526	0,00998
A*	0,00283	0,00245	0,00534	0,00101	0,00566
A-	0,00190	0,00085	0,00217	0,00320	0,00212

Uçak Tipi	Tırmanma Oranı	Maksimum Yakıt Kapasitesi	Faydalı Yük	Motor Gücü	Satın Alma Maliyeti
	<i>Fayda</i>	<i>Fayda</i>	<i>Fayda</i>	<i>Fayda</i>	<i>Maliyet</i>
HÜRKUŞ	0,00647	0,00246	0,00268	0,00604	0,00101
KT-1	0,00686	0,00174	0,00501	0,00358	0,00079
PILATUS PC-21	0,00802	0,00244	0,00410	0,00604	0,00101
A29 SUPER TUCANO	0,00635	0,00251	0,00553	0,00604	0,00130
YAKOVLEV YAK-152	0,00386	0,00111	0,00071	0,00189	0,00093
DIAMOND DART 550	0,00586	0,00299	0,00253	0,00208	0,00051
T-6C TEXAN II	0,00647	0,00238	0,00470	0,00415	0,00090
Ağırlık	0,01688	0,00609	0,01043	0,01214	0,00251
A*	0,00802	0,00299	0,00553	0,00604	0,00051
A-	0,00386	0,00111	0,00071	0,00189	0,00130

Çizelge 7.5. (devam) Ağırlıklı Normalize Karar Matrisi

Uçak Tipi	Her Meteorolojik Şartta Uçabilirlik	Dayanıklılık	Gece Uçabilirlik	Maksimum Sorti	Elektronik Harp Yeteneği
	<i>Fayda</i>	<i>Fayda</i>	<i>Fayda</i>	<i>Fayda</i>	<i>Fayda</i>
HÜRKUŞ	0,00855	0,02948	0,00909	0,02376	0,00530
KT-1	0,00798	0,02179	0,00810	0,02093	0,00446
PILATUS PC-21	0,00779	0,02820	0,00850	0,02376	0,00474
A29 SUPER TUCANO	0,00779	0,02627	0,00810	0,02263	0,00530
YAKOVLEV YAK-152	0,00665	0,02051	0,00692	0,01980	0,00404
DIAMOND DART 550	0,00798	0,02820	0,00909	0,02376	0,00474
T-6C TEXAN II	0,00855	0,03012	0,00909	0,02545	0,00614
Ağırlık	0,02096	0,07037	0,02235	0,06069	0,01323
A*	0,00855	0,03012	0,00909	0,02545	0,00614
A-	0,00665	0,02051	0,00692	0,01980	0,00404

Uçak Tipi	Mühimmat Atma Yeteneği	Muhabere Sistemleri	Yardımcı Uçuş Gösterge Sistemleri	Acil Kurtarma Sistemleri	Her Tür Harekatta Pilot Destek Sistemleri
	<i>Fayda</i>	<i>Fayda</i>	<i>Fayda</i>	<i>Fayda</i>	<i>Fayda</i>
HÜRKUŞ	0,00887	0,01400	0,01179	0,11231	0,06519
KT-1	0,00613	0,01272	0,01128	0,10696	0,05244
PILATUS PC-21	0,00697	0,01368	0,01102	0,10964	0,06377
A29 SUPER TUCANO	0,00824	0,01336	0,01128	0,10964	0,05810
YAKOVLEV YAK-152	0,00592	0,01209	0,00974	0,09092	0,05102
DIAMOND DART 550	0,00740	0,01431	0,01179	0,12301	0,06236
T-6C TEXAN II	0,00845	0,01463	0,01179	0,12301	0,06519
Ağırlık	0,01985	0,03589	0,02980	0,29432	0,15869
A*	0,00887	0,01463	0,01179	0,12301	0,06519
A-	0,00592	0,01209	0,00974	0,09092	0,05102

Çizelge 7.5. (devam) Ağırlıklı Normalize Karar Matrisi

Uçak Tipi	Bakım, İdame, Yenileme Maliyeti	Ekonomik Ömür	Servis Donanım Devamlılığı	Uçuş Yönetim Sistemi	Yerli kaynaklarla Üretilmiş Olma
	*Fayda	Fayda	Fayda	Fayda	Fayda
HÜRKUŞ	0,00700	0,00381	0,00487	0,04167	0,04509
KT-1	0,00541	0,00325	0,00363	0,03671	0,00000
PILATUS PC-21	0,00557	0,00372	0,00425	0,04266	0,00000
A29 SUPER TUCANO	0,00604	0,00362	0,00425	0,04167	0,00000
YAKOVLEV YAK-152	0,00461	0,00251	0,00332	0,03274	0,00000
DIAMOND DART 550	0,00573	0,00390	0,00466	0,04563	0,00000
T-6C TEXAN II	0,00620	0,00400	0,00477	0,04663	0,00000
Ağırlık	0,01544	0,00946	0,01133	0,10939	0,04509
A*	0,00700	0,00400	0,00487	0,04663	0,04509
A-	0,00461	0,00251	0,00332	0,03274	0,00000

*"Bakım, İdame, Yenileme Maliyeti" alternatifler puanlanırken maliyeti az olan uçağa yüksek puan verildiğinden Maliyet yerine Fayda olarak sınıflandırılmıştır.

7.5.4. Ayrım ölçüleri ve ideal çözüme göreceli yakınlıklar

Ayrım ölçüsü, ideal ve negatif ideal çözüme olan uzaklığı belirtir. Alternatiflerin ideal ve negatif ideal çözüme uzaklıkları Öklit bağlantısı ile hesaplanır. İdeal çözüme olan uzaklık S_i^* ile, negatif ideal çözüme olan uzaklık S_i^- ile ifade edilir [117].

Her eğitim uçağı alternatifinin ideal çözüme olan göreceli yakınlığı, göreceli yakınlık indeksi (C_i^*) olarak ifade edilir. Yakınlık indeksi değeri "Negatif ideal çözümün (S_i^-), İdeal ve negatf ideal çözüm toplamına bölünmesi hesabı ile bulunur.

Çizelge 7.6.'da her bir uçak alternatifinin "ideal", "negatif ideal" çözümleri ve "göreceli yakınlık indeksi" değeri görülmektedir. Bu değerlerinin büyükten küçüğe sıralanması ile eğitim uçağı seçim sırasını elde etmiş olmaktadır. Kısacası, en iyi alternatif ideal çözüme en yakın, negatif ideal çözüme en uzak olan alternatiftir.

Çizelge 7.6. Yakınlık indeksi ve alternatif sıralaması

Alternatifler	İdeal Çözüm	Negatif İdeal Çözüm	Yakınlık İndeksi	Sıralama
HÜRKUŞ	0,01316570	0,054195040	0,804549341	1
KT-1	0,05181689	0,017984721	0,257654812	6
PILATUS PC-21	0,04765160	0,027394415	0,365034900	4
A29 SUPER TUCANO	0,048298063	0,024424641	0,335859913	5
YAKOVLEV YAK-152	0,060813922	0,002727907	0,042930886	7
DIAMOND DART-550	0,045671476	0,038214515	0,455553002	3
T-6C TEXAN II	0,045305964	0,040245622	0,470425204	2

TOPSIS ile yapılan hesaplamalar sonrasında seçim sıralaması Hürkuş, T-6C Texan II, Diamond DART-550, Pilatus PC-21, A29 Super Tucano, KT-1, Yakovlev YAK-152 şeklinde olmuştur. En iyi eğitim uçağı yerli kaynaklarla üretilmiş olma kriterinin de etkisi ile açık ara Hürkuş olmuştur. Hürkuş'u T-6C Texan II ve Diamond DART-550 alternatif eğitim uçağı takip etmektedir ve bu iki uçağın önem değerleri birbirine epey yakın çıkmıştır.

7.6. (0-1) Hedef Programlama Modeli

Eğitim uçağı seçim sürecinin farklı hedefler, hedef sıralamaları ve kısıtlar altında değerlendirilmesi adına 0-1 hedef programlama modelleri kullanılmıştır. Amaç fonksiyonunda sapmalar minimize edilmiştir. Modellerde, alternatiflerin TOPSIS sıralama değerleri ve sınırlanan kriterlerin sapma hedef değişkeni kat sayılarında AHP ağırlıkları kullanılmıştır. Bu sayede ÇKKV yöntemleri destekli hedef programlama modelleri oluşturulmuştur.

Farklı hedef ve kısıtlar altında toplam yirmi farklı senaryo kurulmuştur. İlerleyen kısımlarda bu senaryolarda, kurulan amaç fonksiyonları ve modele eklenen kısıtlardan bahsedilmiştir.

Matematiksel Modellemeler

Farklı senaryolar için kurulan matematiksel modellerde kullanılan parametreler, karar değişkenleri, hedef kısıtları, genel kısıtlar ve amaç fonksiyonları aşağıdaki başlıklar altında aktarılmıştır.

Parametreler

k: Eğitim uçağı $k=1,2,3,\dots,7$

i: hedef

W_k : k. uçağın TOPSIS yönteminde bulunan sıralama değeri

B_k : k. uçağın satın alma maliyeti

T_k : k. uçağın tırmanma oranı

F_k : k. uçağın faydalı yük değeri

Y_k : k. uçağın ihracat değeri

M_k : k. uçağın motor gücü değeri

Z_i : i. hedefin amaç fonksiyonu kat sayısı/ağırlığı

Karar Değişkenleri

$$X_k = \begin{cases} 1, & \text{k. eğitim uçağı seçilirse} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

$$X_k = 0 \text{ veya } 1 \quad (\forall_k)$$

d_i^+ = Hedeflere ait kısıtlardaki pozitif yönde sapma değişkenleri

d_i^- = Hedeflere ait kısıtlardaki negatif yönde sapma değişkenleri

Hedefler için oluşturulan kısıtlar ve genel kısıtlar;

Toplam yedi tane hedef kısıt ve üç tane genel kısıt modele dahil edilmiştir. Çizelge 7.9'da senaryolara göre oluşturulan matematiksel modellerde kullanılan kısıtlar gösterilmiştir.

AHP ile bulunan alt kriter ağırlığı değerlerindeki, nicel kriterler arasındaki "Tırmanma Oranı", "Faydalı Yük", "Motor Gücü" kriterlerinin diğer nicel kriterlerden önem ağırlığı büyük olmak üzere, ağırlık değerleri 0,01 değerinden büyük olduğundan modele dahil edilmiştir.

Kısıt-1) "TOPSIS" yönteminde bulunan sıralama değerlerine göre seçilmesi istenilen eğitim uçağını gösteren hedef kısıttır.

$$\sum_{k=1}^8 W_k X_k + d_1^- - d_1^+ = 1. (X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$$

$$0,804.X_1+0,258.X_2+0,365.X_3+0,336.X_4+0,0429.X_5+0,455.X_6+0,470.X_7 + d_1^- - d_1^+=1. (X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$$

Kısıt-2) Eğitim uçağı satın alma için ayrılan “bütçe miktarı” hedef kısıttır.

$$\sum_{k=1}^8 B_k X_k + d_2^- - d_2^+ = 6,56 \text{ milyon \$}$$

$$9.X_1 + 7.X_2 + 9.X_3 + 11,6.X_4 + 8,32.X_5 + 4,5.X_6 + 8.X_7 + d_2^- - d_2^+ = 6,56$$

*Kısıt sağ tarafı: eğitim uçak satın alma fiyatlarının ortalamasından %20 daha az olacak şekilde tek uçak için 6,56 milyon \$ olarak belirlenmiştir.

Kısıt-2'1) Eğitim uçağı satın alma için ayrılan “bütçe miktarı” hedef kısıttır.

**Yerli kaynaklarla üretilmiş olma durumu dahil edilecektir.

Yerli kaynaklarla üretilmiş olma: 4734 sayılı Kamu İhale Kanunu olmak üzere kamu ihale mevzuatında yerli istekliler ve yer malına ilişkin düzenlemelere yer verilmiştir. Kanunun “Yerli İstekliler ile ilgili düzenlemeler” başlıklı 63 maddesine göre; yerli kaynaklara fiyat avantajı %15 olarak değerlendirilmiştir. Bu yüzden yerli malı uçaklar için indirim kısıta dahil edilecektir.

$$\sum_{k=1}^8 B_k X_k + d_2^- - d_2^+ = 6,4 \text{ milyon \$}$$

$$7,65.X_1 + 7.X_2 + 9.X_3 + 11,6.X_4 + 8,32.X_5 + 4,5.X_6 + 8.X_7 + d_2^- - d_2^+ = 6,4$$

*Alternatifler arasında tek yerli uçak olan Hürkuş eğitim uçağının satın alma maliyetine %15 indirim uygulanarak 7,65 olarak belirlenmiştir.

*Kısıt sağ tarafı: eğitim uçak satın alma fiyatlarının ortalamasından %20 daha az olacak şekilde, Hürkuş için uygulanan %15 indirimde dahil edilerek tek uçak için 6,4 milyon \$ olarak belirlenmiştir.

Kısıt-3) Eğitim uçağı “Tırmanma Oranı”n yer aldığı hedef kısıttır.

$$\sum_{k=1}^8 T_k X_k + d_3^- - d_3^+ = (3838 \text{ veya } 3940 \text{ feet/min}). (X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7)$$

$$3297.X_1 + 4100.X_2 + 4091.X_3 + 3240.X_4 + 1968,5.X_5 + 2990.X_6 + 3300.X_7 + d_3^- - d_3^+ = (3284 \text{ veya } 3940). (X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7)$$

* Kısıt sağ tarafı, eğitim uçak tırmanma oranları değerlerinin ortalamasından %20 veya %25 daha fazla olacak şekilde 3284 veya 3940 olarak senaryolarda kullanılmıştır.

Kısıt-4) Eğitim uçağı “*Faydalı Yük*”ün yer aldığı hedef kısıttır.

$$\sum_{k=1}^8 F_k X_k + d_4^- - d_4^+ = (1215 \text{ veya } 1265 \text{ kg}). (X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$$

$$750.X_1+1405.X_2+1150.X_3+1550.X_4+200.X_5+710.X_6+1319.X_7 + d_4^- - d_4^+=(1215 \text{ veya } 1265 \text{ kg}). (X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$$

* Kısıt sağ tarafı, eğitim uçak faydalı yük değerleri ortalamasından %20 veya %25 daha fazla olacak 1215 veya 1265 olarak senaryolarda kullanılmıştır.

Kısıt-5) Eğitim uçağı “*Motor Gücü*”nün yer aldığı hedef kısıttır.

$$\sum_{k=1}^8 M_k X_k + d_5^- - d_5^+ = (1215 \text{ veya } 1265 \text{ kg}). (X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$$

$$1600.X_1+950.X_2+1600.X_3+1600.X_4+500.X_5+550.X_6+1100.X_7 + d_5^- - d_5^+=(1354 \text{ veya } 1411 \text{ shp}). (X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$$

* Kısıt sağ tarafı, eğitim uçak motor gücü değerleri ortalamasından %20 veya %25 daha fazla olacak 1215 veya 1265 olarak senaryolarda kullanılmıştır.

Kısıt-6) Uçakların “*mümkün olduğunca tek çeşit*” seçilmesi için oluşturulan hedef kısıttır.

$$\sum_{k=1}^8 X_k + d_6^- + d_6^+ = 1$$

$$X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7 + d_6^- - d_6^+=1$$

Kısıt-7) “Yerlilik” Kısıtı

$$\sum_{k=1}^8 Y_k X_k + d_7^- - d_7^+ = 63262 \text{ bin \$}$$

$$15846060.X_1+14768.X_2+19227,6.X_3+134.X_4+4263.X_5+13813,8.X_6+264101.X_7 + d_7^- - d_7^+=63262. (X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$$

Türkiye’nin ihraç ettiği “Uçak, uzay aracı ve bunların parçaları” olarak tanımlanan, “Gümrük Tarife İstatistik Pozisyonu (GTİP) Kodu: 88” olan ürünlerin ithalat pazarları listesindeki ülkelere son beş yılda yaptığı ihracat değerleri Çizelge 7.7.’de verilmiştir [118,119].

Ürün: Uçak, hava aracı ve bunların parçaları (GTİP: 88), Birim: bin \$

Çizelge 7.7. Ülkelere göre ihracaat değerleri

İthalatçılar	İhracat Değeri (2019 yılı)	İhracat Değeri (2020 yılı)	İhracat Değeri (2021 yılı)	İhracat Değeri (2022 yılı)	İhracat Değeri (2023 yılı)	Ortalama
KORE	13754	16441	19253	15391	8999	14768
İSVİÇRE	16182	53897	4687	7958	13414	19228
BREZİLYA	11	198	44	54	364	134
RUSYA	304	1597	12527	2906	3981	4263
KANADA	18180	12188	9540	10366	18795	13814
ABD	370890	238118	305592	196067	209839	264101

Alternatif olarak belirlenen uçakların üretildiği ülkeye göre Çizelge 7.8.'de son beş yıldaki ortalama ihracat değeri, alternatif karar değişkenlerinin kat sayısı olarak belirlenmiştir. Hürkuş eğitim uçağının, yerlilik oranı yaklaşık %60 olarak bilinmektedir. HÜRKUŞ alternatifinin karar değişkeni kat sayısı, ihracat değeri en fazla olan uçağın kat sayısının 60 katı olarak belirlenmiştir.

Çizelge 7.8. Alternatiflerin üretici ülkeleri

Uçak Tipi	Üretici Şirket	Ülke
HÜRKUŞ	TUSAŞ	Türkiye
KAI KT-1 WOONGBI	Korea Aerospace Industries	Kore
PILATUS PC-21	Pilatus Aircraft	İsviçre
EMB 314/A29 SUPER TUCANO	Embraer	Brezilya
YAKOVLEV YAK-152	Yakovlev	Rusya
DIAMOND DART 550	Diamond Aircraft	Kanada
BEECHCRAFT T-6C TEXAN II	Textron Aviation	ABD

*Kısıt sağ tarafı: Ülkelere göre ihracat değerlerinin (Hürkuş hariç) ortalamasından %20 daha fazla olacak şekilde 63262 bin \$ olarak belirlenmiştir.

Yukarıda detayları paylaşılan kısıtlar içerisinde, kısıt sağ tarafına ($X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7$) ifadesi eklenen kısıtlar bulunmaktadır. Bu ifade eklenmezse model çözümünde, negatif sapmayı minimize eden kısıtlarda birden fazla çeşit uçak seçimini ve istenmeyen kat sayılı alternatiflerin seçimi tetiklenebilmektedir. Bu istenmeyen bir durum oluşturacaktır.

Genel kısıtlar;

Kısıt-1) Uçakların “tek çeşit” seçilmesi için oluşturulan genel kısıttır.

$$\sum_{k=1}^8 X_k = 1$$

$$X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7=1$$

Kısıt-2) Uçaklardan “en az birinin seçilmesi” için oluşturulan genel kısıttır.

$$\sum_{k=1}^8 X_k \geq 1$$

$$X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7 \geq 1$$

Kısıt-3) “TOPSIS” yönteminde belirlenen alternatif sırasına göre ilk üçte yer alan uçaklardan en az birinin seçilmesi için oluşturulan genel kısıttır.

$$X_1+X_6+X_7 \geq 1$$

Senaryolara göre kullanılan kısıt bilgisi Çizelge 7.9.’da verilmiştir.

Çizelge 7.9. Senaryola göre kısıtlar

Kısıtlar	Hedef Kısıt-1	Hedef Kısıt-2	Hedef Kısıt-3	Hedef Kısıt-4	Hedef Kısıt-5	Hedef Kısıt-6	Hedef Kısıt-7	Kısıt-1	Kısıt-2	Kısıt-3
Senaryo-1	X	X	X (%20)	X (%20)	X (%20)	X				X
Senaryo-2	X	X	X (%25)	X (%25)	X (%25)	X				X
Senaryo-3	X	X	X (%20)	X (%20)	X (%20)	X			X	
Senaryo-4	X	X	X (%25)	X (%25)	X (%25)	X			X	
Senaryo-5	X	X	X (%20)	X (%20)	X (%20)	X			X	
Senaryo-6	X	X	X (%25)	X (%25)	X (%25)	X			X	
Senaryo-7		X	X (%20)	X (%20)	X (%20)	X			X	
Senaryo-8		X	X (%25)	X (%25)	X (%25)	X			X	
Senaryo-9	X	X					X		X	
Senaryo-10	X	X					X	X		
Senaryo-11	X	X					X		X	
Senaryo-12	X	X					X		X	
Senaryo-13	X	X					X	X		
Senaryo-14	X	X					X		X	
Senaryo-15	X	X					X	X		
Senaryo-16	X	X					X		X	
Senaryo-17	X	X					X		X	
Senaryo-18	X	X					X		X	
Senaryo-19	X	X	X (%20)	X (%20)	X (%20)		X		X	
Senaryo-20	X	X	X (%20)	X (%20)	X (%20)		X	X		

Hedefler için oluşturulan amaç fonksiyonları;

Toplam yirmi senaryo için oluşturulan amaç fonksiyonları ve var ise ağırlık değerleri bilgisi aşağıda detaylandırılmıştır. Ayrıca, oluşturulan senaryolara göre kurulan matematiksel modellerin türü Çizelge 7.10.'da verilmiştir.

Senaryo-1 ve 2)

$$\text{Min } Z = Z_1 \cdot d_1^- + 0,5(Z_2 \cdot d_2^+ + Z_3 \cdot d_3^- + Z_4 \cdot d_4^- + Z_5 \cdot d_5^- + Z_6 \cdot (d_6^- + d_6^+))$$

$$Z_1=0,5 \text{ (TOPSIS için 0,5)}$$

$$Z_2=0,0025 \text{ (“Satın Alma” alt kriteri AHP ağırlığı)}$$

$$Z_3=0,0169 \text{ (“Tırmanma Oranı” alt kriteri AHP ağırlığı)}$$

$$Z_4=0,0104 \text{ (“Faydalı Yük” alt kriteri AHP ağırlığı)}$$

$$Z_5=0,012 \text{ (“Motor Gücü” alt kriteri AHP ağırlığı)}$$

$$Z_6=0.0154 \text{ (“Bakım, İdame, Yenileme Maliyeti” alt kriteri AHP ağırlığı)}$$

*”Hedef Programlama-Ağırlıklı” amaç fonksiyonudur.

*Karar verici tarafından, amaç fonksiyonundaki TOPSIS hedef sapma değeri kat sayısı 0,5 olarak belirlenmiştir.

*Hedef sapma değerleri olan $(d_6^- + d_6^+)$, uçakların “*mümkün olduğunca tek çeşit*” seçilmesi için oluşturulan hedef kısıttaki sapma için amaç fonksiyonuna eklenmiştir. Filoda tek çeşit uçak istenmesindeki temel neden “Bakım, idame, yenileme maliyeti”ni minimize etmek olduğundan bu kriterin AHP ağırlığı kat sayısı olarak belirlenmiştir.

Senaryo-3 ve 4)

$$\text{Min } Z = P_1 \cdot d_1^- + P_2 (Z_2 \cdot d_2^+ + Z_3 \cdot d_3^- + Z_4 \cdot d_4^- + Z_5 \cdot d_5^- + Z_6 \cdot (d_6^- + d_6^+))$$

*”Hedef Programlama-Ağırlıklı Öncelikli” amaç fonksiyonudur.

* $(P_1 \gg \gg P_2)$

Senaryo-5 ve 6)

$$\text{Min } Z = P_2 \cdot d_1^- + P_1 (Z_2 \cdot d_2^+ + Z_3 \cdot d_3^- + Z_4 \cdot d_4^- + Z_5 \cdot d_5^- + Z_6 \cdot (d_6^- + d_6^+))$$

*"Hedef Programlama-Ağırlıklı Öncelikli" amaç fonksiyonudur.

$$* (P_1 \gg \gg P_2)$$

Senaryo-7 ve 8)

$$\text{Min } Z = Z_2 \cdot d_2^+ + Z_3 \cdot d_3^- + Z_4 \cdot d_4^- + Z_5 \cdot d_5^- + Z_6 \cdot (d_6^- + d_6^+)$$

*"Hedef Programlama-Ağırlıklı" amaç fonksiyonudur.

Senaryo-9 ve 10)

$$\text{Min } Z = P_1 \cdot d_1^- + P_2 \cdot d_2^+ + P_3 \cdot d_7^-$$

*"Hedef Programlama-Öncelikli" amaç fonksiyonudur.

$$*(P_1 \gg \gg P_2 \gg \gg P_3)$$

Senaryo-11)

$$\text{Min } Z = P_2 \cdot d_1^- + P_1 \cdot d_2^+ + P_3 \cdot d_7^-$$

*"Hedef Programlama-Öncelikli" amaç fonksiyonudur.

$$*(P_1 \gg \gg P_2 \gg \gg P_3)$$

Senaryo-12 ve 13)

$$\text{Min } Z = P_2 \cdot d_1^- + P_3 \cdot d_2^+ + P_1 \cdot d_7^-$$

*"Hedef Programlama-Öncelikli" amaç fonksiyonudur.

$$*(P_1 \gg \gg P_2 \gg \gg P_3)$$

Senaryo-14 ve 15)

$$\text{Min } Z = P_1 \cdot d_1^- + P_3 \cdot d_2^+ + P_2 \cdot d_7^-$$

*"Hedef Programlama-Öncelikli" amaç fonksiyonudur.

$$*(P_1 \gg \gg P_2 \gg \gg P_3)$$

Senaryo-16)

$$\text{Min } Z = P_3 \cdot d_1^- + P_1 \cdot d_2^+ + P_2 \cdot d_7^-$$

*"Hedef Programlama-Öncelikli" amaç fonksiyonudur.

$$*(P_1 \gg \gg P_2 \gg \gg P_3)$$

Senaryo-17)

$$\text{Min } Z = P_2 \cdot d_1^- + P_3 \cdot d_2^+ + P_1 \cdot d_7^-$$

*"Hedef Programlama-Öncelikli" amaç fonksiyonudur.

$$*(P_1 \gg \gg P_2 \gg \gg P_3)$$

Senaryo-18)

$$\text{Min } Z = d_1^- + d_2^+ + d_7^-$$

*"Hedef Programlama-Eşit Ağırlıklı" amaç fonksiyonudur.

Senaryo-19 ve 20)

$$\text{Min } Z = d_1^- + d_2^+ + d_3^- + d_4^- + d_5^- + d_7^-$$

*"Hedef Programlama-Eşit Ağırlıklı" amaç fonksiyonudur.

Çizelge 7.10. Senaryolara göre matematiksel modelleme türü

Senaryo	Matematiksel Model Türü		
1-2	HP-Ağırlıklı		
3-4	HP-Ağırlıklı Öncelikli	→	(Hedef-1 >>> Hedef - 2, 3, 4, 5, 6)
5-6	HP-Ağırlıklı Öncelikli	→	(Hedef - 2, 3, 4, 5, 6 >>> Hedef-1)
7-8	HP-Ağırlıklı		
9-10	HP-Öncelikli	→	(Hedef-1 >>> Hedef-2 >>> Hedef-3)
11	HP-Öncelikli	→	(Hedef-2 >>> Hedef-1 >>> Hedef-3)
12-13	HP-Öncelikli	→	(Hedef-3 >>> Hedef-1 >>> Hedef-2)
14-15	HP-Öncelikli	→	(Hedef-1 >>> Hedef-3 >>> Hedef-2)
16	HP-Öncelikli	→	(Hedef-2 >>> Hedef-3 >>> Hedef-1)
17	HP-Öncelikli	→	(Hedef-3 >>> Hedef-2 >>> Hedef-1)
18	HP-Eşit Ağırlıklı		
19-20	HP-Eşit Ağırlıklı		

Aşağıdaki Çizelge 7.11.'de senaryolarda kullanılan hedef bilgileri özetlenmiştir.

Çizelge 7.11. Senaryo hedef bilgileri

Senaryo	Hedef-1	Hedef-2	Hedef-3	Hedef-4	Hedef-5	Hedef-6
1-2	TOPSIS Ağırlıkları	Bütçe	Tırmanma Oranı	Faydalı Yük	Motor Gücü	Tek çeşit
3-4	TOPSIS Ağırlıkları	Bütçe	Tırmanma Oranı	Faydalı Yük	Motor Gücü	Tek çeşit
5-6	TOPSIS Ağırlıkları	Bütçe	Tırmanma Oranı	Faydalı Yük	Motor Gücü	Tek çeşit
7-8	Bütçe	Tırmanma Oranı	Faydalı Yük	Motor Gücü	Tek çeşit	-
9-10	TOPSIS Ağırlıkları	Bütçe	İhracat Oranları	-	-	-
11	TOPSIS Ağırlıkları	Bütçe	İhracat Oranları	-	-	-
12-13	TOPSIS Ağırlıkları	Bütçe	İhracat Oranları	-	-	-
14-15	TOPSIS Ağırlıkları	Bütçe	İhracat Oranları	-	-	-
16	TOPSIS Ağırlıkları	Bütçe	İhracat Oranları	-	-	-
17	TOPSIS Ağırlıkları	Bütçe	İhracat Oranları	-	-	-
18	TOPSIS Ağırlıkları	Bütçe	İhracat Oranları	-	-	-
19-20	TOPSIS Ağırlıkları	Bütçe	Tırmanma Oranı	Faydalı Yük	Motor Gücü	İhracat Oranları

Modellerin LINGO 20.0x64 programı ile çözülmesi sonucu elde edilen verilere göre seçilmesi gereken uçak alternatifi bilgileri Çizelge 7.12'de özetlenmektedir. TOPSIS yöntemi ile bulunan alternatiflerin ağırlıklarına göre seçim sırası seçim sıralaması Hürkuş, T-6C Texan II, Diamond DART-550, Pilatus PC-21, A29 Super Tucano, KT-1, Yakovlev YAK-152 şeklinde olmuştur.

Karmaşık gerçek dünya problemlerinde farklı hedefler ve kısıtlar altında en iyi alternatif değişebilmektedir. Eğitim uçağı seçiminde de kurulan senaryolara göre seçim sonucunun değişiklikler gösterdiği görülmektedir.

Çizelge 7.12. Seçilmesi gereken uçak tipleri

Alternatifler	HÜRKUŞ	KT-1	PILATUS PC-21	A29 SUPER TUCANO	YAKOVLEV YAK-152	DIAMOND DART 550	T-6C TEXAN II
Senaryo-1			X				X
Senaryo-2							X
Senaryo-3	X						
Senaryo-4	X						
Senaryo-5			X				
Senaryo-6				X			
Senaryo-7			X				
Senaryo-8				X			
Senaryo-9	X					X	
Senaryo-10	X						
Senaryo-11						X	
Senaryo-12	X					X	
Senaryo-13	X						
Senaryo-14	X					X	
Senaryo-15	X						
Senaryo-16						X	
Senaryo-17	X						
Senaryo-18							X
Senaryo-19			X				X
Senaryo-20							X

7.7. Değerlendirme ve Analiz

Çalışmanın bu bölümünde Hürkuş-2 uçağı hakkında genel bilgiler ve ardından Hürkuş-1 ve Hürkuş-2 uçağı için nitel ve nicel kriterlerin karar verme sürecinde değerlendirmeye alınma durumu için bir analiz sunulmuştur.

Bu çalışmada yukarıdaki bölümlerde bahsedilen, alt yapıda oluşan avantajlardan dolayı “yerli kaynaklarla üretilmiş olma” kriteri eğitim uçağı seçiminde değerlendirilmiştir. “Yerli kaynaklarla üretilmiş olma” kriterinin önem ağırlığı uzman görüşleri doğrultusunda 0,045086 olarak değerlendirilmiştir.

Türk Havacılık Uzay Sanayii, Hürkuş Programı'nda geliştirdiği kabiliyetlerle bir süredir Hürkuş-2 Projesi yürütmektedir. Bir sonraki bölümde, yeni nesil Hürkuş uçağının ulaşılabilen verileri değerlendirilmiştir.

7.7.1. Yeni Nesil Hürkuş uçağı

İlk versiyon Hürkuş eğitim uçağına göre, önemli iyileştirme faaliyetlerini içermekte olan Hürkuş-2 projesi yürütölmeye devam etmektedir.

Hürkuş-2 projesinde, aşağıdaki avantajlar göze çarpmaktadır [120];

- **Hafif Yapı:** Önceki versiyona göre çok daha hafif bir yapıya sahiptir. Bunun sayesinde, uçağın performansı daha yüksektir. Ayrıca, yüksek manevra kabiliyeti sunmaktadır.
- **Gelişmiş Aviyonik Sistemler:** Pilotlara daha kapsamlı bir eğitim sunan, önceki nesle göre daha modern ve gelişmiş aviyonik sistemlere sahiptir.
- **Silah ve Mühimmat Entegrasyonu:** Hürkuş-2 uçağı eğitimden, savaş görevlerine geçiş için daha etkin sonuçlar verebilmesi adına önceki versiyonuna göre, silah ve mühimmat atma entegrasyonu açısından daha yetenekli olacaktır.

Hürkuş-2 uçağının edinilen yaklaşık teknik verileri aşağıdaki Çizelge 7.13.'de verilmiştir.

Çizelge 7.13. Hürkuş-2 teknik verileri

TEKNİK ÖZELLİKLER

Maksimum Hız	km/h	~650
Maksimum İrtifa	feet	~35000
Maksimum Menzil	km	~1478
Maksimum Kalkış Ağırlığı (MTOW)	kg	~3275
Maksimum Havada kalma süresi	dk	~300
Tırmanma Oranı	feet/min	~4370
Maksimum Yakıt Kapasitesi	kg	~454
Faydalı Yük	kg	~1200
Motor Gücü	shp	1600

Bir sonraki bölümdeki TOPSIS yöntemi için Hürkuş-2 uçağının nitel kriterleri için puanlamada, Elektronik harp yeteneğı "4", Bakım-idame-yenileme "4,6", Ekonomik ömür "4,2" ve Servis donanım devamlılığı "4,8" olarak uçak üzerinde değişen özellikler ve kullanılan malzemeler doğrultusunda Hürkuş-1'e göre olan iyileştirme ile uzman görüşü ile belirlenmiştir.

7.7.2. Değerlendirmeye alınan kriterler ve sıralama değerleri arasındaki ilişki

Hürkuş-1 ve Hürkuş-2 uçaklarının yer aldığı farklı kümelerde 1. aşamada nicel ve nitel kriterlerin değerlendirmeye alındığı durum için AHP ve TOPSIS yöntemleri uygulanmıştır. 2. aşamada ise yalnızca nicel kriterler değerlendirmeye alınarak bu yöntemler uygulanmıştır. Yöntemlerin uygulanması sonucu elde edilen yakınlık indeks değerleri ve sıralama değerleri aralarındaki korelasyon kat sayısı değerleri Çizelge 7.14.'de özetlenmiştir.

Bu bölümdeki birinci çevrimde Hürkuş-1'in yer alması durumunda, sadece nicel ve nitel ile nitel kriterlerin dikkate alındığı durumda, yakınlık indeks değerleri arasındaki korelasyon kat sayısı 0,1847644 olarak belirlenmiştir. Aynı çalışma ikinci çevrimde Hürkuş-2 ile yapıldığında ise korelasyon kat sayısı 0,2164046 olarak hesaplanmaktadır.

Elde edilen farklı serilerdeki Spearman korelasyon kat sayıları incelendiğinde anlamlılık düzeyi pozitifdir.

Hürkuş-2 uçağının Hürkuş-1 uçağına göre 475 kg daha hafif olmasının tırmanma oranı, faydalı yük, maksimum menzil ve maksimum irtifa üzerinde olumlu bir etki yaratmasının söz konusu korelasyon kat sayısının artışında etkili olduğu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bir anlamda, aynı motor gücü ile daha hafif olan Hürkuş-2 uçağının en temelde manevra yeteneğinin arttığı değerlendirilmektedir.

Özet olarak, itki-ağırlık oranı (Thrust-to-Weight-T/W ratio) olarak belirlenen değerlerin yükselmesi korelasyon kat sayısının artması olarak ortaya çıkmaktadır. Diğer bir ifade ile yüksek itme-ağırlık oranı, uçağın daha verimli bir yakıt tüketim değeri ile önemli bir miktarda enerji tasarrufu sağlanabileceğini göstermektedir.

Çevreye olan etkisi açısından değerlendirildiğinde ise söz konusu oranın yükselmesi ile daha düşük bir karbon ayak izinin bırakılacağı değerlendirilmektedir.

Çizelge 7.14. TOPSIS değerlendirilen kriterlere göre sıralama sonuç korelasyon kat sayıları

		Hürkuş	KT-1	Pilatus PC-21	A29 Super Tucano	Yakovlev YAK-152	Diamond DART 550	T-6C Texan II	r
Hürkuş 1 grubu	Nitel ve nitel kriterlerle (25 kriter ile)	0,8045	0,2577	0,365	0,3359	0,0429	0,4556	0,4704	0,1847644
	Nitel kriterlerle (10 kriter ile)	0,4376	0,6043	0,4833	0,3747	0,3611	0,7038	0,5368	
Hürkuş 2 grubu	Nitel ve nitel kriterlerle (25 kriter ile)	0,8128	0,2568	0,3646	0,3352	0,0423	0,4551	0,4701	0,2164046
	Nitel kriterlerle (10 kriter ile)	0,4481	0,5977	0,4812	0,371	0,3581	0,695	0,5298	

8. SONUÇ

Bu çalışmada, başlangıç seviye pilotaj eğitimi için belirlenen yedi eğitim uçağı içerisinde en uygun eğitim uçağının belirlenmesi amacıyla “yerli kaynaklarla üretilmiş olma” kriterinin de içinde yer aldığı nicel ve nitel kriterlerden oluşan yedi ana kriter ve yirmi beş alt kriter altında, farklı senaryolarda belirlenen yöntemler ile seçim yapılmıştır. Seçim süreci için ÇKKV yöntemleri entegre şekilde kullanılmıştır. AHP ve TOPSIS’te ulaşılan veriler 0-1 Hedef programlama modellerini veri olarak beslemiştir ve temelini oluşturmuştur.

İlk olarak, içerisinde eğitmen, pilot, uçuş okulu sahibi, mühendis, hava trafik kontrolü bulunan eğitim uçağı seçiminde etkili uzman paydaş ekibin sağladığı karşılaştırmalara dayanarak kriter ağırlıkları belirlenmiştir. Ana ve alt kriterlerin ağırlıkları ÇKKV yöntemlerinden AHP ile bulunmuştur. Eğitim uçağı seçiminde, “Uçuş Emniyeti” ana kriterinin diğer kriterlere göre oldukça önemli olduğu dikkat çekmektedir. Yine “Kontrol Yeteneği” ana kriterinin “Uçuş Emniyeti” ana kriterini takip ettiğini ve eğitim uçağı seçiminde öneminin diğer kriterlere göre öne çıktığı ortaya çıkmıştır.

Alt kriterler için tüm kriterler arasındaki önem sıralaması incelendiğinde ise; ilk beş önem sırasını sırasıyla “Acil Kurtarma Sistemleri”, “Pilot Destek Hizmetleri”, “Uçuş Yönetim Sistemi”, “Dayanıklılık”, Maksimum Sorti” almaktadır. AHP ile belirlenen diğer kriter ağırlıkları ile bütün olarak değerlendirildiğinde, eğitim uçaklarının birçok sistemin uyumu ile bir bütünün parçası olarak değerlendirilmesi gerekliliği, hiçbir sistemin diğerinin yerini alamayacağı çıkarımı elde edilmektedir. Bu sistemlerin olmaması veya yetersiz kalması durumunda istenen hedeflere tam manasıyla ulaşılamayacaktır.

Sonraki aşamada, TOPSIS yöntemi ile alternatif eğitim uçakları sıralanmıştır. Eğitim alternatifleri önem ağırlık sıralaması; Hürkuş, T-6C Texan II, Diamond DART-550, Pilatus PC-21, A29 Super Tucano, KT-1, Yakovlev YAK-152 şeklinde olmuştur. Ama alternatiflerin önem ağırlıklarının birbirine çok yakın olduğu alternatifler söz konusudur. Hem bu değerlerin birbirine yakın olanlarının olması hem de gerçek hayattaki sebepler, politikalar dolayısıyla farklı senaryolar ile seçimin değerlendirilmesi gerekli olmaktadır.

Bu yüzden, farklı senaryolar altında 0-1 Hedef Programlama modelleri kullanılmıştır ve oluşturulan yirmi farklı senaryoda, farklı uçak alternatiflerinin en iyi alternatif olarak değerlendirebileceği ortaya çıkmıştır.

Bu çalışma, eğitim uçağı seçim sürecinin bilgiye dayalı ve objektif hale getirilmesiyle, eğitim kalitesinin buna paralel olarak artırılmasını sağlayacaktır. Karmaşık yapıya sahip ve içerisinde birçok nicel ve nitel kriter etkili olan bu seçim sürecine pratik bir yol önerilmiştir. Bu çalışma, eğitim uçaklarının seçimi süreci ile ilgili teorik bir yapı oluşturmakla birlikte, gerçek hayatta yapılan seçim ihalelerine de kullanılabilir bir rehber niteliğindedir ve bu yapı farklı seçim süreçlerinde kolaylıkla uygulanabilir. Yerlilik kriterinin, diğer teknik ve operasyonel kriterlerle uyumlu bir şekilde değerlendirildiğinde, eğitim uçağının etkili şekilde seçilmesine katkı sağlar. Yerlilik kriterinin diğer kriterlerle beraber dengelenmesi ile aslında yerlilik kriterinin doğru etkisi değerlendirilmiştir.

Bu çalışmanın literatüre katkıları ise, eğitim uçağı seçiminin birçok farklı nitel ve nitel kriterin dikkate alınması ile değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu çalışmanın, literatür taraması kısmında literatürdeki çalışmaların dikkate aldığı kriterlere değinilmiştir. Birçok çalışmada çok az sayıda kriterin değerlendirmeye alındığı dikkat çekmektedir. “Yerli kaynaklarla üretilmiş olma” kriteri, eğitim uçakları seçiminde ilk kez değerlendirmeye alınmıştır ve aynı zamanda senaryolarda değerlendirilmiştir. Aynı zamanda, ÇKKV yöntemlerinin birbiriyle etkili şekilde kullanıldığı birçok çalışma vardır. Çalışmalarda etkili sonuçların elde edilmesi ise yöntemlerin entegre şekilde güvenilir olarak çalıştığını kanıtlamaktadır. Bu bağlamda, eğitim uçağı seçiminde AHP, TOPSIS ve 0-1 Hedef programlama yöntemleri entegre şekilde farklı bir bakış açısıyla değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada, şu anda geliştirilmekte olan HÜRKUŞ-2 uçağının özelliklerinin değerlendirildiği bir bölüm bulunmaktadır. HÜRKUŞ-2 uçağı ile çalışmada bulunan verilerin karşılaştırmalarının olduğu bu bölüm, bu uçağın avantajlarını vurgulamaktadır. Bu ise, yerli üretim eğitim uçaklarının kullanılmasına katkıda bulunur. Yerli eğitim uçağının kullanılması ise ülke ekonomisi, operasyonel verimliliği, rekabet gücü, düşük eğitim maliyetleri, yerli iş gücü gibi çeşitli açılardan önemli avantajlar sunmaktadır.

Bu çalışmada, veri toplamak amacıyla grup karar verme metodolojisinden yararlanılmıştır. Veri toplama adımında oluşturulan anketlerin sınırlı sayıda uzman ekip tarafından yanıtlanmış olması çalışmanın sınırlılıkları arasındadır. Buna ek olarak, kullanılan yöntemlerde belirlenen alternatifler, oluşturulan modellere göre belirlenmiştir. Farklı yöntemlerle desteklenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmayı genişletmek için, şu anda geliştirme aşamasında olan ek alternatiflerin dikkate alındığı ek çalışmalar yapılabilir. Bu kriterlerin geçerliliği ve güvenilirliğinin test edilmesine

katkı sağlayabilir. Eğitim uçağı seçiminde, farklı kriterlerin dikkate alındığı çalışmalar yapılabilir. Bu yeni kriterlerin eklenmesi ile değerlendirmede belirsizlikler söz konusu olur ise belirsizliklerin ortadan kalkması için “Bulanık Ortamda Karar Verme” yöntemlerinden faydalanılabilir. Bunun yanı sıra, diğer ÇKKV yöntemlerinin de entegrasyonu incelenerek, eğitim uçağı seçim süreçlerinin daha da iyileştirilmesi hedeflenebilir. Son olarak, yerli üretim uçakların uzun vadeli performans ve maliyet analizlerinin yapılması, bu uçakların eğitim süreçlerine katkılarını daha kapsamlı bir şekilde ortaya koyabilir.

KAYNAKLAR

1. Çelikyay, S. (2002). Çok Amaçlı Savaş Uçağı Seçiminde Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemlerinin Uygulanması, (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
2. Yılmaz S. (2006). Uçak Seçim Kriterlerinin Değerlendirilmesinde Ahp ve Bulanık Ahp Uygulanması, (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
3. Sanchez-Lozano, J.M., Serna, J. & Dolon-Payan, A. (2015). "Evaluating Military Training Aircrafts Through the Combination of Multi-Criteria Decision Making Processes with Fuzzy Logic: A Case Study in The Spanish Air Force Academy". *Aerospace Science and Technology*, 42: 58-65.
4. Petrović, I., & Kankaraš, M. (2018). "DEMATEL-AHP Multi-Criteria Decision Making Model for The Selection and Evaluation of Criteria For Selecting An Aircraft For The Protection of Air Traffic". *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 1(2), 93–110.
5. Kartika, A., & Hanani, A. D. (2019). Analytic hierarchy process (AHP) approach to aircraft type selection on high-frequency domestic routes. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 8, 697-704.
6. Sanchez-Lozano, J.M., & Naranjo-Rodriguez, O. (2019). Application of Fuzzy Reference Ideal Method (FRIM) to the Military Advanced Training Aircraft Selection.
7. Kiracı, K., & Akan, E. (2020). Aircraft selection by applying AHP and TOPSIS in interval type-2 fuzzy sets. *Journal of Air Transport Management*, 89, 101924.
8. Hoan, P., & Ha, Y. (2021). ARAS-FUCOM approach for VPAF fighter aircraft selection. *Decision Science Letters*, 10(1), 53–62.
9. Nascimento, M., Araujo, C., & Pinto, C. (2021). Multi-criteria analysis applied to aircraft selection by Brazilian Navy.
10. Torğul, B., Demiralay, E., & Paksoy, T. (2022). TRAINING AIRCRAFT SELECTION FOR DEPARTMENT OF FLIGHT TRAINING IN FUZZY ENVIRONMENT. <https://doi.org/10.31181/dmame0311022022t>.
11. Ardil, C. (2022). "Aircraft Selection Problem Using Decision Uncertainty Distance in Fuzzy Multiple Criteria Decision Making Analysis". *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 16(3): 62-69.
12. Deveci, M., & Pamucar, D. (2023). "Aircraft Type Selection Using Fuzzy Trigonometric based OPA and RFSI model".
13. See, T. K., Gurnani, A., & Lewis, K. (2004). Multi-attribute decision making using hypothetical equivalents and inequivalents. *Journal of Mechanical Design*, 126(6), 950-958.
14. Wang, T. C., & Chang, T. H. (2007). Application of TOPSIS in evaluating initial training aircraft under a fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, 33(4), 870-880.
15. Yeh, C. H., & Chang, Y. H. (2009). Modeling subjective evaluation for fuzzy group multicriteria decision making. *European Journal of Operational Research*, 194(2), 464-473.
16. Ozdemir, S., & Basligil, H. (2011). "Using a Multi-Criteria Decision-Making Approach to Evaluate Subcontractor Selection in an Electronic Industry".

17. Sun, X., Gollnick, V., & Stumpf, E. (2011). Robustness Consideration in Multi-Criteria Decision Making to an Aircraft Selection Problem. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 18(1-2), 55-64.
18. de Mello, J. C. C. S., Fernandes, J. E. M., & Gomes, L. F. A. M. (2012, February). Multicriteria selection of an aircraft with NAIADE. In *International Conference on Operations Research and Enterprise Systems* (Vol. 2, pp. 427-431). SCITEPRESS.
19. Dožić, S., & Kalić, M. (2014). "Comparison of Two MCDM Methodologies in Aircraft Type Selection Problem".
20. Schwening, G. S., Abdalla, Á. M., & EESC-USP. (2014). Selection of agricultural aircraft using AHP and TOPSIS methods in fuzzy environment. *Congress of the International Council of Aeronautical Sciences 2014*.
21. Dožić, S., & Kalić, M. (2015a). Comparison of two MCDM methodologies in aircraft type selection problem. *Transportation Research Procedia*, 10, 910–919.
22. Bruno, G., Esposito, E., Genovese, A., & Passaro, R. (2015). "A new MCDM approach for aircraft selection in a regional airline company". *Journal of Air Transport Management*.
23. Dožić, S., & Kalić, M. (2015b). Three-stage airline fleet planning model. *Journal of Air Transport Management*, 46, 30-39.
24. Ali, Y., Asghar, A., Muhammad, N., & Salman, A. (2017). Selection of a fighter aircraft to improve the effectiveness of air combat in the war on terror: Pakistan Air Force – A case in point. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 9.
25. Dožić, S., Kalić, M., & Polić, M. (2017). "Multi-criteria Decision Making in Aircraft Selection". *Aerospace Science and Technology*.
26. Paul, S., Bose, S., Singha, J., Pramanik, D., Midya, R., & Haldar, A. (2017). Fighter aircraft selection using TOPSIS method. *National Conference on Recent Trends in Information Technology & Management 2017*.
27. Durmaz, D., & Gencer, C. (2018). "Multi-criteria decision-making approaches for aircraft selection: A comparative analysis".
28. Kiracı, K., & Bakır, M. (2018a). Application of commercial aircraft selection in aviation industry through multi-criteria decision making methods. *Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 16(4), 307-332.
29. Kiracı, K., & Bakır, M. (2018b). Using the multi criteria decision making methods in aircraft selection problems and an application. *Journal of Transportation and Logistics*, 3 (1), 13–24.
30. Semercioglu, H., & Özkoç, A. (2019). "A Hybrid Multi-Criteria Decision-Making Approach for Aircraft Type Selection". *Transportation Research Procedia*.
31. Ilgın, M. A. (2019). Aircraft selection using linear physical programming. *Journal of Aeronautics and Space Technologies*, 12(2), 121-128.
32. Yilmaz, A. K., Malagas, K., Jawad, M., & Nikitakos, N. (2020). Aircraft selection process with technique for order preference by similarity to ideal solution and AHP integration. *International Journal of Sustainable Aviation*, 6 (3), 220–235.
33. Başar, E., Çimen, M., & Dağdeviren, M. (2020). "A hybrid MCDM approach for aircraft selection problem in defense industry".
34. Kiracı, K., & Akan, E. (2020). Aircraft selection by applying AHP and TOPSIS in interval type-2 fuzzy sets. *Journal of Air Transport Management*, 89, 101924.
35. Akyurt, M., & Kabadayı, M. (2020). "A multi-criteria decision-making approach for aircraft type selection: A case study".
36. Ardil, C. (2020). "Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Approach for Aircraft Selection". *Journal of Air Transport Management*.

37. Karamaşa, Ç., Karabasevic, D., Stanujkic, D., Kookhdan, A., Mishra, A., & Erturk, M. (2021). An extended single-valued neutrosophic AHP and MULTIMOORA method to evaluate the optimal training aircraft for flight training organizations. *FACTA UNIVERSITATIS-SERIES MECHANICAL ENGINEERING*, 19(3), 555–578.
38. Kocakaya, S., & Akkaya, A. (2021). "Application of an Integrated MCDM Approach for Aircraft Selection".
39. Bakır, M., Akan, Ş., & Özdemir, E. (2021). Regional aircraft selection with fuzzy PIPRECIA and fuzzy MARCOS: A case study of the Turkish airline industry. *Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering*, 19(3), 423–445.
40. Deveci, M., Pamucar, D., & Cakmak, E. (2021). "Fuzzy MCDM-based approach for aircraft selection".
41. Gunes, E. (2022). "Application of a hybrid MCDM approach for aircraft type selection under an intuitionistic fuzzy environment".
42. Ardil, C. (2022). Fighter Aircraft Selection Using Fuzzy Preference Optimization Programming (POP). *International Journal of Aerospace and Mechanical Engineering*, 16(1), 23-30.
43. Güntut, N., & Gökdalay, H. (2023). Aircraft Selection Decision Support Model for Fleet Planning of the Low Cost Airlines. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 460-478. <https://doi.org/10.17153/oguiibf.1253980>
44. Ardil, C. (2023). Aircraft Selection Using Reference Linear Combination in Multiple Criteria Decision Making Analysis. *International Journal of Transport and Vehicle Engineering*, 17(4), 136-145.
45. Bağcı, M., & Kartal, S. (2024). Uçak seçimi için SWARA ve COPRAS yöntemlerinin entegrasyonu. *Journal of Aviation Studies*, 35(4), 123-145.
46. Khamraev, A. (2022). The methods of training young military pilots. *Texas Journal of Multidisciplinary Studies*, 5, 196-199.
47. Mumaw, R., Billman, J. D., & Feary, M. S. (2020). Analysis of pilot monitoring skills and a review of training effectiveness.
48. Mansor, M. R., Nurfaizey, A. H., Tamaldin, N., & Nordin, M. N. A. (2019). Natural fiber polymer composites: Utilization in aerospace engineering. In D. Verma, E. Fortunati, S. Jain, & X. Zhang (Eds.), *Biomass, Biopolymer-Based Materials, and Bioenergy* (pp. 203-224). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102426-3.00011-4>
49. Saraçyakupoğlu, T. (2020). Havacılıkta organizasyonel kazalar: B-737 Max uçak kazalarının mühendislik perspektifinden incelenmesi. *Mühendis ve Makina*, 61(701), 241-261. <https://doi.org/10.46399/muhendismakina.741842>
50. Saraçyakupoğlu, T. (2020). The adverse effects of implementation of the novel systems in the aviation industry in pursuit of maneuvering characteristics augmentation system (MCAS). *Journal of Critical Reviews*, 7(11), 2530-2538. <https://doi.org/10.31838/jcr.07.19.374>
51. TUSAŞ. (n.d.). Hürkuş. <https://www.tusas.com/urunler/ucak/ozgun-gelistirme/hurkus>
52. Korea Aerospace Industries. (n.d.). KT-1. <https://m.koreaaero.com/EN/Business/KT1.aspx>
53. Pilatus Aircraft. (n.d.). PC-21. <https://www.pilatus-aircraft.com/en/fly/pc-21>
54. Embraer Defense. (n.d.). A-29 Super Tucano. <https://defense.embraer.com/air/a29-super-tucano/>
55. Yakovlev. (n.d.). Yak-152. <https://eng.yakovlev.ru/products/yak-152/>
56. Diamond Aircraft. (n.d.). DART. <https://www.diamondaircraft.com/en/flight-school-solution/aircraft/dart/overview/>
57. Textron Aviation Defense. (n.d.). T-6C. <https://defense.txtav.com/en/t-6c>

58. Kuśmierk, A., Galiński, C., Stalewski, W. (2023). "Review of the hybrid gas - electric aircraft propulsion systems versus alternative systems" *Progress in Aerospace Sciences*, Vol:141, <https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2023.100925>
59. Saraçyakupoğlu, T. (2020). *Emniyet İrtifasından Bilgiler: Genel Havacılık, Üretim ve Bakım Süreçleri*. Ankara: Nobel Academic Publishing
60. Alexandrov, V.A., Zybin, E.Y., Kosyanchuk, V.V. (2023). "Aircraft Cruise Altitude and Speed Profile Optimization in a Real Atmosphere". *Automation and Remote Control*, Vol:84, <https://doi.org/10.1134/S0005117923040021>
61. Wragg, D. W. (1973). "A Dictionary of Aviation" (first ed.). Osprey. p. 221., United Kingdom. ISBN 9780850451634.
62. Saraçyakupoğlu, T., (2020). "3D Manufacturing Applications in Aviation Industry in Accordance with the Airworthiness Rules And Regulations: A Review". *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, Volume 4, Issue 1, Pages 53-65,
63. Torenbeek, E. (2013). "Synthesis of Subsonic Airplane Design: An introduction to the preliminary design of subsonic general aviation and transport aircraft, with emphasis on layout, aerodynamic design, propulsion and performance". Springer Netherlands. p. 272. ISBN 978-94-017-3202-4. Retrieved 22 October 2023
64. Saraçyakupoğlu, T. (2022). "Manufacturing and Maintenance Operations for Bladder-Type Aircraft Fuel Tanks". In: Kuşhan, M.C., Gürgen, S., Sofuoğlu, M.A. (eds) *Materials, Structures and Manufacturing for Aircraft. Sustainable Aviation*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-91873-6_8
65. Rodrigues, L. (2028). "A Unified Optimal Control Approach for Maximum Endurance and Maximum Range," in *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 54, no. 1, pp. 385-391, doi: 10.1109/TAES.2017.2760538
66. Soekkh, H.M. (Ed.). (1997). "Aviation Safety, Human Factors - System Engineering - Flight Operations - Economics - Strategies - Management" (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429070372>
67. Beard, J. E., Takahashi, T. T. (2018). "(Un) Controlled Flight Into Terrain: A History of Obstacle Clearance Regulations". In 2018 AIAA Aerospace Sciences Meeting (p. 1614).
68. Kretov, A. (2021), "Sensitivity factors of aircraft mass for the conceptual design", *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, Vol. 93 No. 9, pp. 1470-1477. <https://doi.org/10.1108/AEAT-11-2020-0256>
69. Mancini, A., Zamboni, J., Moerland, E. (2021). "A Knowledge-based Methodology for the Initiation of Military Aircraft Configurations", In: *AIAA Forum*, Session: Knowledge-Based Engineering, <https://doi.org/10.2514/6.2021-2789>
70. Saraçyakupoğlu, T. (2021). "Usage of Additive Manufacturing and Topology Optimization Process for Weight Reduction Studies in the Aviation Industry". *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, Vol: 6(2), 815-820, <https://doi.org/10.25046/aj060294>
71. Gorbatiikh, L. (2016). "Hierarchical lightweight composite materials for structural applications", *MRS Bulletin*, Vol:41(9), doi:<https://doi.org/10.1557/mrs.2016.17>
72. Saraçyakupoğlu, T. "Abrasive Water Jet (AWJ) Applications in the Aviation Industry". *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development* 2019, Vol:9, 347–356.
73. Lewis, S.J. (1994). "The use of carbon fibre composites on military aircraft", *Composites Manufacturing*, Volume 5, Issue 2, Pages 95-103, ISSN 0956-7143, [https://doi.org/10.1016/0956-7143\(94\)90060-4](https://doi.org/10.1016/0956-7143(94)90060-4)
74. Tushar, D., Prosenjit, G., Narayan, D. (2019). "Preparation, development, outcomes, and application versatility of carbon fiber-based polymer composites: a review".

- Advanced Composites and Hybrid Materials. Vol: 2. <https://doi.org/10.1007/s42114-018-0072-z>.
75. Saraçyakupoğlu, T. (2021). "Bir Gaz Türbin Motoru Kompresör PalesininTi6Al4V Alaşımından Eklemeli Üretim Yöntemi ile İmalatı ve Boyutsal Doğrulaması". *Mühendis ve Makina*, 62(702), 151-179. doi:10.46399/muhendismakina.865357
 76. Hartman III, J. H. (2020). "An Exploratory Study of General Aviation Visual to Instrument Meteorological Condition Contextual Factors". Doctorate Thesis. Embry-Riddle Aeronautical University, 10.13140/RG.2.2.35544.11526.
 77. Wroblewski, G. E., & Ansell, P. J. (2019). "Mission analysis and emissions for conventional and hybrid-electric commercial transport aircraft". *Journal of Aircraft*, 56(3), 1200-1213, <https://doi.org/10.2514/1.C035070>
 78. Saracyakupoglu, T., Ates, M. (2020). "A methodological research on the correlation between the airborne part manufacturing system and aircraft maintenance operations". *Journal of Green Engineering*, 20(12), 13734–13742.
 79. Saraçyakupoğlu, T. (2021). "Fracture and Failure Analysis of the Trainer Aircraft Rudder Pedal Hanger", *Engineering Failure Analysis*, Volume 122, 105254, <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105254>
 80. Choo, N., Ahner, D., Champagne, L.(2023). "The effects of aircraft use and available repair spares on aircraft sortie generation: a long-duration logistical wargaming simulation tool". *The Journal of Defense Modeling and Simulation*. 20(2), . <https://doi.org/10.1177/15485129211040782>
 81. Najgebauer, A. (2023). "Methods for System Anaalysis of the Operational Capability of Armed Forces for Defence Including Electronic Warfare", NATO Science & Technology Organization.
 82. Wipf, H. (2020). "Safety Versus Security in Aviation". *The Coupling of Safety and Security: Exploring Interrelations in Theory and Practice*, 29-41, https://doi.org/10.1007/978-3-030-47229-0_4.
 83. Bilich, L. A., Lyovin, S. A., & Ostapova, V. V. (2018). "Air-To-Air Missile Guidance For Nonmaneuverable Target Interception At Maximum Distance". *TsAGI Science Journal*, 49(7), <https://doi.org/10.1615/TsAGISciJ.2018029598>
 84. Przybylski, T., Sugunaraj, N., & Ranganathan, P. (2023). "Aircraft Communication Systems-Topologies, Protocols, and Vulnerabilities". *Electrical Engineering Student Publications*, University of North Dakota
 85. Pandie, A. R., & Kirillov, A. V. (2021). Development of Flight Multifunctional Indicator Based on A320 and B737 NG Flight Indicator. *AVIA*, 3(1), <https://doi.org/10.47355/AVIA.V3I1.37>
 86. Kuşhan, M.C. (2018), *Aircraft Technology*, InTechOpen, London, <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.73689>
 87. Carroll, M., Sanchez, P., Wilt, D. (2021). "An examination of pilot-reported trust and response to information conflicts experienced on the flight deck". *Aviation Psychology and Applied Human Factors*, 11 (2), <https://doi.org/10.1027/2192-0923/a000209>
 88. Ghazi, G., Botez, R. M. (2019). "Identification and validation of an engine performance database model for the flight management system". *Journal of Aerospace Information Systems*, 16(8), 307-326, <https://doi.org/10.2514/1.I010663>
 89. Ghazi, G., Gerardin, B., Gelhaye, M., Botez, R. M. (2020). New adaptive algorithm development for monitoring aircraft performance and improving flight management system predictions. *Journal of Aerospace Information Systems*, 17(2), 97-112, <https://doi.org/10.2514/1.I010748>

90. Saracyakupoglu, T., (2019). "The Qualification Of The Additively Manufactured Parts in The Aviation Industry", American Journal of Aerospace Engineering, Vol. 6, Issue 1, Pages 1-10, doi: <https://doi.org/10.11648/j.ajae.20190601.11>
91. Gallagher, R. (2023). "An Investigation Into the Economic Useful Life of Commercial Aircraft as Impacted by Maintenance and Economic Variables". Doctorate Thesis, Embry-Riddle Aeronautical University
92. Zhou, L., Liang, Z., Chou, C. A., Chaovalitwongse, W. A. (2020). Airline planning and scheduling: Models and solution methodologies. *Frontiers of Engineering Management*, 7(1), 1-26, <https://doi.org/10.1007/s42524-020-0093-5>
93. Subaşı, H. (2011). Çok kriterli karar vermede kullanılan TOPSIS ve AHP yöntemlerinin karşılaştırılması ve bir uygulama [Yüksek Lisans Tezi]. Marmara Üniversitesi.
94. Hwang, C. L., & Yoon, K. P. (1981). *Multiple attribute decision making: Methods and applications*. Berlin: Springer-Verlag.
95. Keeney, R. L., & Raiffa, H. (1993). *Decisions with multiple objectives: Preferences and value trade-offs*. Cambridge University Press.
96. Yoon, K. P., & Hwang, C. L. (1995). *Multiple attribute decision making*. California: SAGE Üniversitesi Yayını.
97. Önder, E. (2014). Identifying the importance level of factors influencing the selection of nursing as a career choice using AHP: Survey to compare the precedence of private vocational high school nursing students and their parents. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 122, 398-404.
98. Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83-98. <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>
99. Dağdeviren, M., Akay, D., & Kurt, M. (2004). An analytic network process (ANP) approach to resource allocation in project management. *International Journal of Production Economics*, 96(1), 1-16, 133. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2004.02.003>
100. Saaty, T. L. (1987). The analytic hierarchy process—What it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9(3-5), 161-176. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)
101. Özcan, E. C., Ünlüsoy, S., & Eren, T. (2017). A combined goal programming–AHP approach supported with TOPSIS for maintenance strategy selection in hydroelectric power plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 1410-1423.
102. Lin, M. C., Wang, C. C., Chen, M. S., & Chang, C. A. (2008). Using AHP and TOPSIS approaches in customer-driven product design process. *Computers in Industry*, 59(1), 17-31.
103. Li, H., Adeli, H., Sun, J., & Han, J. G. (2011). Hybridizing principles of TOPSIS with case-based reasoning for business failure prediction. *Computers and Operations Research*, 38(2), 409-419.
104. Tütek, H., & Gümüşoğlu, Ş. (2008). *Sayısal Yöntemler: Yönetmel Yaklaşım (5. Baskı)*. İstanbul: Beta Basım Yayın.
105. Dağdeviren, M., Akay, D., & Kurt, M. (2004). İş değerlendirme, faktör derece puanlarının belirlenmesinde Hedef Programlama yönteminin kullanılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19(1).
106. Karagül, B. Z. (2019). Hedef programlama ve en küçük kar farkı yaklaşımları ile optimal reasürans [Doktora tezi]. Hacettepe Üniversitesi.
107. Öztürk, A. (2009). *Yöneylem Araştırması (12. Baskı)*. Ekin Yayınevi.
108. Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation*. McGraw-Hill.
109. Kabak, M. (2018). Application of goal programming and MCDM in defense industry. *International Journal of Production Research*, 56(12), 4236-4250.

- 110.Kabak, M. (2019). Multi-criteria decision making in defense projects. *Journal of Defense Management*, 34(2), 215-230.
- 111.Baker, K. R., & Aydin, G. (2009). A survey on the application of 0-1 integer programming techniques to the fleet assignment problem. *Annals of Operations Research*, 173(1), 203-229.
- 112.Winston, W. L. (2003). *Operations research: Applications and algorithms*. Cengage Learning.
- 113.Kabak, M. (2017). Integration of AHP and TOPSIS for enhanced decision making. *Journal of Decision Systems*, 26(4), 345-360.
- 114.Palaz, H., & Kovancı, A. (2008). Türk deniz kuvvetleri denizaltılarının seçilimin AHP ile değerlendirilmesi. *Journal of Aeronautics and Space Technologies*, 3(3), 53-60.
- 115.Yurdakul, M., & İç, Y. T. (2003). Türk Otomotiv Firmalarının Performans Ölçümü ve Analizine Yönelik TOPSIS Yöntemini Kullanan Bir Örnek Çalışma. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18(1), 1-18.
- 116.Shyjith, S. R., Ilangkumaran, M., & Kumanan, S. (2008). Multi-criteria decision-making approach to evaluate optimum maintenance strategy in textile industry. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 14(4), 375-386. <https://doi.org/10.1108/13552510810909975>
- 117.Opricovic, S., & Tzeng, G. H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*, 156(2), 445-455. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00020-1](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00020-1)
- 118.TradeAtlas. (n.d.). <https://www.tradeatlas.com/tr>
- 119.TradeMap. (n.d.). <https://m.trademap.org/#/main>
- 120.TUSAŞ. (n.d.). Hürkuş. <https://www.tusas.com/urunler/ucak/ozgun-gelistirme/hurkus>

EKLER

EK-1. Ana kriterler için karşılaştırma anket tablosu

önem artıyor (<i>i</i> kriter için)	← Eşit önemde →									önem artıyor (<i>j</i> kriteri için)
Ana Kriter (i)	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Ana Kriter (j)
Mekanik Performans										Kontrol Yeteneği
										Silah Sistemleri
										Aviyonik Sistemler
										Uçuş Emniyeti
										Maliyet
										Yerli kaynaklarla üretilmiş olma
Kontrol Yeteneği										Silah Sistemleri
										Aviyonik Sistemler
										Uçuş Emniyeti
										Maliyet
Silah Sistemleri										Yerli kaynaklarla üretilmiş olma
										Aviyonik Sistemler
										Uçuş Emniyeti
										Maliyet
Aviyonik Sistemler										Yerli kaynaklarla üretilmiş olma
										Uçuş Emniyeti
										Maliyet
Uçuş Emniyeti										Yerli kaynaklarla üretilmiş olma
										Maliyet
Maliyet										Yerli kaynaklarla üretilmiş olma

EK-2. (devam) Alt kriterler için karşılaştırma anket tabloları

önem artıyor (i kriter için)		← Eşit önemde →								önem artıyor (j kriteri için)		
Alt Kriter (i) (Kontrol Yeteneği Ana Kriterinin)		9	7	5	3	1	3	5	7	9	Alt Kriter (j)	
Her Meteorolojik Şartta Uçabilirlik (IMC&VMC)											Dayanıklılık	
											Gece Uçabilirlik	
											Maksimum Sorti	
Dayanıklılık											Gece Uçabilirlik	
											Maksimum sorti	
Gece Uçabilirlik											Maksimum sorti	

önem artıyor (i kriter için)		← Eşit önemde →								önem artıyor (j kriteri için)		
Alt Kriter (i) (Silah Sistemleri Ana Kriterinin)		9	7	5	3	1	3	5	7	9	Alt Kriter (j)	
Elektronik Harp Yeteneği											Mühimmat Atma Yeteneği	

önem artıyor (i kriter için)		← Eşit önemde →								önem artıyor (j kriteri için)		
Alt Kriter (i) (Aviyonik Sistemler Ana Kriterinin)		9	7	5	3	1	3	5	7	9	Alt Kriter (j)	
Muhabere Sistemleri											Yardımcı Uçuş Gösterge	

önem artıyor (i kriter için)		← Eşit önemde →								önem artıyor (j kriteri için)		
Alt Kriter (i) (Uçuş Emniyeti Ana Kriterinin)		9	7	5	3	1	3	5	7	9	Alt Kriter (j)	
Acil Kurtarma Sistemleri											Her Tür Harekatta Pilot Destek Sistemleri	
											Uçuş Yönetim Sistemi	
Pilot Destek Sistemleri											Uçuş Yönetim Sistemi	

önem artıyor (i kriter için)		← Eşit önemde →								önem artıyor (j kriteri için)		
Alt Kriter (Maliyet Ana Kriterinin)		9	7	5	3	1	3	5	7	9	Alt Kriter (j)	
Satın Alma Maliyeti											Bakım, İdame, Yenileme Maliyeti	
											Ekonomik Ömür	
											Servis Donanım Devamlılığı	
											Yakıt Tüketimi	
Bakım, İdame, Yenileme Maliyeti											Ekonomik Ömür	
											Servis Donanım Devamlılığı	
											Yakıt Tüketimi	
Ekonomik Ömür											Servis Donanım Devamlılığı	
											Yakıt Tüketimi	
Servis Donanım Devamlılığı											Yakıt Tüketimi	

EK-3. Super Decisions kriter ağırlıkları ve karşılaştırma tutarlılık oranları

3. Results		
Normal		Hybrid
Inconsistency: 0.03114		
Faydalı Y~		0.12932
Max Havad~		0.12377
Max Hiz		0.07903
Max İrtifa		0.06277
Max Kalkı~		0.06530
Max Menzil		0.10434
Max Yakıt~		0.07559
Motor gücü		0.15053
Tırmanma ~		0.20933

3. Results		
Normal		Hybrid
Inconsistency: 0.03820		
Dayanıklı~		0.40356
Gece Ucab~		0.12818
Her Meteo~		0.34803
Max Sorti		0.12022

3. Results		
Normal		Hybrid
Inconsistency: 0.00000		
Elekt. Ha~		0.39992
Hava-Yer,~		0.60008

3. Results		
Normal		Hybrid
Inconsistency: 0.01411		
Bakım, İd~		0.39847
Ekonomik ~		0.24428
Satın Alm~		0.06477
Servis Do~		0.29248

3. Results		
Normal		Hybrid
Inconsistency: 0.00000		
Muhabere ~		0.54639
Yardımcı ~		0.45361

3. Results		
Normal		Hybrid
Inconsistency: 0.00007		
Acil Kurt~		0.52332
Her Tür H~		0.28217
Uçuş Yöne~		0.19451

3. Results		
Normal		Hybrid
Inconsistency: 0.05580		
Aviyonik ~		0.06589
Kontrol Y~		0.17437
Maliyet		0.03874
Mekanik P~		0.08062
Silah Sis~		0.03308
Uçuş Emni~		0.56241
Yerli Kay~		0.04509

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : YILMAZ, Özgenur
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 19.03.1995, Ankara
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (553) 647 63 53
e-mail : ozgenurgunaydinyilmaz@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı	Devam ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi / Endüstri Mühendisliği Bölümü	2017

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2022-Halen	Türk Havacılık ve Uzay Sanayi	Mühendis
2018-2022	Ortadoğu Rulman Sanayi	Mühendis

Yabancı Dil

İngilizce



Gazili olmak ayrıcalıktır