



**YERLİ SAVAŞ UÇAĞI İÇİN PLANFORM SEÇİM PROBLEMİNİN ÇOK
ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME METOTLARI KULLANILARAK
ÇÖZÜLMESİ**

Sercan YILDIRIM

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

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

AĞUSTOS 2019

Sercan YILDIRIM tarafından hazırlanan “YERLİ SAVAŞ UÇAĞI İÇİN PLANFORM SEÇİM PROBLEMİNİN ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME METOTLARI KULLANILARAK ÇÖZÜLMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Mehmet ATAK

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Başkan: Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Prof. Dr. Tamer EREN

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 21/08/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu çalışmanın Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

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

- 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 çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirim, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

.....
Sercan YILDIRIM

21/08/2019

YERLİ SAVAŞ UÇAĞI İÇİN PLANFORM SEÇİM PROBLEMİNİN ÇOK ÖLÇÜTLÜ
KARAR VERME METOTLARI KULLANILARAK ÇÖZÜLMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Sercan YILDIRIM

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ağustos 2019

ÖZET

Tasarım sürecini bilimsel temellerle yönetmeyi hedefleyen “Sistemik Mühendislik Tasarımı”; amacın belirlenmesi, kavramsal, şekillendirme ve detay tasarım aşamalarından oluşmaktadır. Bir ürünün yaşam döngüsü boyunca pek çok özelliğini etkileyen kararlar, kavramsal tasarım geliştirme aşamasında alınmaktadır. Savaş uçaklarının kavramsal tasarım aşamasında uçağın uzunluğu, boyu, kanat tipi, kanat açıklığı gibi temel özelliklerine karar verilmektedir. Eğer planform şeklini oluşturan bu unsurlardan biri yada birkaçı doğru belirlenemez ise uçağın ilerideki tasarım aşamalarında geri dönüşü çok maliyetli olan problemler ile karşılaşılabilir. Muhtemel riskleri minimize etmek amacıyla nesnel analizlerin, planform şekline karar verilirken yapılması gerekir. Bu kararın öznellikten uzak, bilimsel bir yolla verilebilmesi için Çok Ölçütlü Karar Verme(ÇÖKV) yollarından TOPSIS ve ELECTRE kullanılmıştır. Sonuçlar irdelenip, alternatifler arasından uygun olan planform şekli önerilmiştir.

Bilim Kodu : 90602
Anahtar Kelimeler : Savaş Uçağı, Planform Seçim, Çok Kriterli Karar Verme, Çok Ölçütlü Karar Verme, TOPSIS, ELECTRE, MCDM, MADM
Sayfa Adedi : 59
Danışman : Doç.Dr. Mehmet ATAK

THE ASSESSMENT OF NATIONAL FIGHTER AIRCRAFT PLANFORM
SELECTION PROBLEM WITH MULTI ATTRIBUTE DECISION MAKING

METHODS

(M. Sc. Thesis)

Sercan YILDIRIM

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

August 2019

ABSTRACT

Systematic Engineering Design aims to manage design activities based on a scientific approach. Principally, this consists of four main steps; Aiming, Conceptual, Forming and Detailed Design. The majority of decisions identified, which affect the characteristics of the product throughout its life cycle, will be captured during the conceptual design improvement step. For example, the decision on length, height, wing type and wingspan of the fighter will be taken at this conceptual design step. If the level of detail is insufficient to make an accurate decision or key data is omitted, there is a risk that corrective action and re-work will potentially cause major delays and cost impacts during the later design phase. Therefore, it is imperative that detailed objective analysis is performed during the decision making phase to negate avoidable and costly risk. The use of Multi criteria decision making methods, such as TOPSIS and ELECTRE are good examples of decision making processes that are currently available, to assist in providing an objectively based decision. Results can then be correctly analysed with the appropriate planform being selected against the data provided.

Science Code : 90602

Key Words : Fighter Aircraft, Planform Selection, Multi Criteria Decision Making, Multi Attribute Decision Making, TOPSIS, ELECTRE, MCDM, MADM

Page Number : 59

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Mehmet ATAĞ

TEŞEKKÜR

Bu alıőmanın yűrűtűlmesi sırasında deęerli bilgi ve tecrűbeleri ile beni yűnlendiren danıőmanım Do Dr. Mehmet ATAK'a, deęerli yorumları ile eksiklerimi dűzeltmemi saęlayan Sayın Prof. Dr. Hadi GŶKEN ve Prof. Dr. Tamer EREN'e, hayatımın her dűneminde motivasyonumu hep yűksek tutan annem Gűlizar YILDIRIM ve babam Őaban YILDIRIM'a ve dostlarıma çok teőekkűr ederim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	5
3. YÖNTEMLER.....	15
3.1. Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri.....	15
3.1.1. ELECTRE	15
3.1.2. TOPSIS	20
3.1.3. Çok ölçütlü karar verme yöntemlerinin kıyaslaması	25
4. UYGULAMA	27
4.1. Alternatiflerin Belirlenmesi	27
4.1.1. F-35 Joint Strike Aircraft(JSF)	27
4.1.2. F-22 Raptor	28
4.1.3. Mig-35.....	29
4.1.4. Sukoi PAK FA	29
4.1.5 Eurofighter Typhoon.....	30
4.1.6. F-15E Eagle.....	31

	Sayfa
4.1.7. JAS-39 Gripen.....	32
4.1.8. F/A-18E/F Super Hornet.....	32
4.1.9. Alternatif savaş uçağı tasarımlarının oluşturulması.....	33
4.2. Kriterlerin Belirlenmesi	37
4.3. Karar Matrisinin Oluşturulması	40
4.4. TOPSIS Uygulaması	41
4.5. ELECTRE Uygulaması.....	45
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	53
KAYNAKLAR	55
EKLER.....	57
EK-1. Bir Örnek Savaş Uçağı Planformu	58
ÖZGEÇMİŞ	59

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. ÇÖKV-ÇAKV karşılaştırma tablosu.....	6
Çizelge 2.2. Literatür taraması özet tablo	9
Çizelge 4.1. Yamuk kanatlı tasarım alternatifi girdileri-1	34
Çizelge 4.2. Delta + kanarlı tasarım alternatifi-2.....	35
Çizelge 4.3. Ok kanatlı tasarım alternatifi-3	36
Çizelge 4.4. Karar matrisi(A).....	40
Çizelge 4.5. TOPSIS karar matrisi(A)-1	41
Çizelge 4.6. TOPSIS karar matrisi(A)-2.....	42
Çizelge 4.7. TOPSIS standart karar matrisi(R)-1	42
Çizelge 4.8. TOPSIS standart karar matrisi(R)-2	42
Çizelge 4.9. TOPSIS ağırlıklı standart karar matrisi(V)-1	43
Çizelge 4.10. TOPSIS ağırlıklı standart karar matrisi(V)-2	43
Çizelge 4.11. İdeal ayırım ölçüsü hesaplama-1	43
Çizelge 4.12. İdeal ayırım ölçüsü hesaplama-2	43
Çizelge 4.13. Negatif ideal ayırım ölçüsü hesaplama-1.....	44
Çizelge 4.14. Negatif ideal ayırım ölçüsü hesaplama-2.....	44
Çizelge 4.15. İdeal çözüm görelî yakınlığı	44
Çizelge 4.16. ELECTRE karar matrisi(A)-1.....	46
Çizelge 4.17. ELECTRE karar matrisi(A)-2.....	46
Çizelge 4.18. ELECTRE standart karar matrisi(X)-1	46
Çizelge 4.19. ELECTRE standart karar matrisi(X)-2.....	46
Çizelge 4.20. ELECTRE ağırlıklı standart karar matrisi(y)-1	47
Çizelge 4.21. ELECTRE ağırlıklı standart karar matrisi(Y)-2	47

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.22. Uyum ve uyumsuzluk setlerinin oluşturulması	47
Çizelge 4.23. Uyum matris elemanlarının hesaplanması.....	48
Çizelge 4.24. Uyumsuzluk matris elemanlarının hesaplanması-1	48
Çizelge 4.25. Uyumsuzluk matris elemanlarının hesaplanması-2.....	49
Çizelge 4.26. Uyum üstünlük matris elemanları.....	49
Çizelge 4.27. Uyumsuzluk üstünlük matris elemanları	50
Çizelge 4.28. Uyum ve uyumsuzluk indekslerinin hesaplanması.....	51



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 4.1. Yamuk kanatlı tasarım alternatifi-1	34
Şekil 4.2. Delta + kanatlı tasarım alternatifi-2.....	35
Şekil 4.3. Ok kanatlı tasarım alternatifi-3	36
Şekil 4.4. Kavramsal tasarım yazılımları çalışma mantığı	37
Şekil 4.5. Kanat tasarım parametreleri.....	38
Şekil 4.6. TOPSIS yöntemi akış şeması.....	41
Şekil 4.7. ELECTRE yöntemi akış şeması	45

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. Farklı modelleriyle F-35 uçağı	28
Resim 4.2. F-22 Raptor avcı uçağı.....	28
Resim 4.3. Mikoyan Mig-35 avcı uçağı.....	29
Resim 4.4. Sukhoi PAK FA savaş uçağı.....	30
Resim 4.5. Eurofighter typhoon avcı uçağı	31
Resim 4.6. F-15 eagle avcı uçağı	31
Resim 4.7. JAS-39 gripen savaş uçağı.....	32
Resim 4.8. F/A-18E/F super hornet savaş uçağı.....	33

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

db	Desibel
deg/sec	Derece bölü saniye(dönüş hızı)
kg	Kilogram
kN	KiloNewton
M	Mach(Ses Hızı)
m/s	Metre bölü saniye(hız)
m³	metreküp

Kısaltmalar

AAS	Analitik Ağ Süreci
AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
ÇÖKV	Çok Ölçütlü Karar Verme
DEMATEL	The Decision Making Trial and Evaluation Laboratory
JSF	Joint Strike Aircraft
KV	Karar Verici
PROMETHEE	The Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation

1. GİRİŞ

İnsanoğlu bilimsel çalışmalar sayesinde her geçen gün daha üstün özellikte işlevsellik sunan, insan hayatını daha kolay hale getirecek buluşlara imza atmaktadır. Yapılan bu yenilikler çeşitli süreçlerin kısalmasına, problemlerin üzülmesine, kabiliyetlerin artmasına fayda sağlamaktadır. Bu durum çoğu ülke tarafından tartışmasız şekilde kabul edilmiştir. Devletler bu gibi insan hayatını kolaylaştıracak, teknoloji seviyesini artıracak çalışmaları yoğun bir şekilde teşvik etmeye çalışmaktadır. Bu alışmalar neticesi ekonomik olarak fayda sağlayan ülkeler, refah düzeylerini de artırmaktadır.

Ülkemizde son yıllarda özellikle belirli sektörlerdeki teknolojik gelişmeler daha yakından takip edilmektedir. 2019 yılı ortalarında yayınlanmış olan on birinci kalkınma planı verilerine göre tarım, turizm ve savunma sanayi öncelikli gelişme alanları olarak belirlenmiştir. Kritik teknolojilerin yerli olarak üretilmesi ve dışa bağımlılığın mümkün olduğunca azami seviyeye çekilmesini amaç edinen bu plana göre milli ürünlerimizin çeşitlendirilmesi ve sayısının artırılması ülke bekası için son derece önemlidir.

Günümüzde lkeler deniz, hava ve kara sınır bütünlüklerini korumak için ordu güçlerini istenilen düzeyin ötesine taşımayı hedeflerken, bir diğer yandan da kullanılacak olan ekipmanların, sistemlerin milli bir şekilde üretimini yapmayı tercih edip güçlerini perçinlemek gayretindedirler. Savuma sanayisindeki gelişmeler salt, ülke bütünlüğü ile ilintili değildir; savunma sanayisindeki teknolojik gelişmeler yatayda tüm alana adapte edilebilir nitelikte olduğu için, teknolojik gelişmelerde savunma sanayisinin ağırlığı hafife alınamaz. Diğer yandan, üstün teknolojiye sahip olan ülkeler kendi menfaatlerini daha kolay bir şekilde koruyabilmektedir. Diğer ülkelere verdikleri ya da verebilecekleri danışmanlık sayesinde uluslararası ilişkilerde söz sahibi konuma geçebilmektedirler. Savunma sanayisinde yapılan çalışmalar, hem politik ilişkileri, hem de teknolojik üstünlükleri belirleyen unsurların lokomotifi konumundadır. Savunma sektörü içinde de özellikle hava savunma sanayisi; havadan gelecek tehdit veya tehlikelerin önlenmesinde baş rolde olduğundan, muhtemel savaş durumunda hem kara, hem de deniz donanımlarına destek verdiğinden, savaşta ve barışta kritik roldedir. İş bu nedenlerle, ülkelerin kendi hava savunmasını tesis edebilmesi elzem durumdadır. Ülkelerin politik ve teknolojik

üstünlüklerini elde etmesi ve elde ettiği üstünlüklerini koruyabilmesi için kendi savaş uçağını, mühimmatlarını, savunma sistemlerini geliştirmesi kaçınılmaz olmuştur.

Bu tezde, bir savaş uçağının geliştirilmesinde geçilmesi gereken ilk adım olan kavramsal tasarım aşamasında yaşanan seçim problemi ele alınmıştır. Kavramsal tasarım bir ürünün belli başlı, kaba özelliklerinin belirlendiği ve detay tasarıma temel oluşturan bir aşama olarak tanımlanabilir. Ürün yaşam döngüsünün en temel adımı olan bu aşamada, tasarlanmak istenen uçağın kanat tipinin neye benzeyeceği, kalkış ağırlığının ne olması gerektiği, motor itki kuvvetinin ne kadar kuvvet üretmesi gerektiği gibi kritik bilgilere karar verilir. Bu etmenlerin her biri birbiri ile ilişkilidir, o nedenle sistemin bir bütün olarak ele alınıp çözülmesi gerekir. Havacılık sektöründe, tasarlanacak uçağın kuş bakışı görünüşünün yani genel itibari ile kanat tipinin benzediği şekle “planform” denilmektedir.

Kaba tasarım(planform) aşamasında verilen kararlar, savaş uçağının yaşam döngüsü boyunca birçok özelliğini etkiler. O nedenle bu süreçte verilen kararların mümkün olduğunca öznellikten uzak, bilimsel yollarla verilmesi kritiktir. Bu kararın nesnel verilere dayandırılarak verilebilmesi için Çok Ölçütlü Karar Verme metodlarının kullanılabilceği düşünülmüştür. Burada amaç, hareket gerekliliklerini karşılayabilecek optimum uçak planformunu seçmektir. Savaş uçağı için optimum planform seçiminde Havacılık ve Uzay Mühendisliği, Uçak Mühendisliği disiplinlerinde etkin bir biçimde kullanılmakta olan araçlardan yararlanılarak veri üretimi yapılmıştır. Tez kapsamında ilgili mühendislik disiplinlerinde kullanılan araçlar aracılığıyla üretilen verilerin, ÇÖKV yöntemleri ile yorumlanarak, muhtemel savaş uçağının optimum planform seçimi için kullanılması hedeflenmektedir.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde literatürde yer alan benzer çalışmalardan bahsedilmiş, ve yapılan çalışmalardan farklı olarak nasıl bir yol izlendiği açıklanmıştır. Literatür taraması sırasında özellikle Havacılık ve Uzay alanında yapılmış olan akademik yayınlar araştırılmaya çalışılmıştır. Devamında ise çözüm getirilmek istenen problemin yapısına uygun olan çözüm yönteminin belirlenmesinde izlenen yaklaşımlardan söz edilmiştir.

Üçüncü bölümde alternatiflerimizi oluşturan uçak tasarımlarına ilham olabilecek günümüz savaş uçakları anlatılmıştır. Sonrasında tasarlanan uçakların temel özellikleri ve kaba şekilleri hakkında bilgiler verilmiştir. Alternatiflerin tanıtımından sonra kriter belirleme

aşasına geçilmiştir. Kriter belirlenirken kullanılan yazılımlardan ve kriterlerin kısaca açıklamalarından bahsedilmiştir.

Uygulama bölümünde, üçüncü bölümde elde edilen karar matrisi baz alınarak TOPSIS ve ELECTRE metoları uygulanmış. Elde edilen sonuçlar sunulup, yorumlanmıştır.

Son kısım olan sonuç ve öneriler bölümünde ise uygulama kısmında elde edilen sonuçların kıyaslaması yapılmıştır. İleriki çalışmalarda yapılabileceklerle ilgili önerilerde bulunulmuştur.





2. LİTERATÜR TARAMASI

Sosyal ve profesyonel yaşamda birçok işleme kararlar eşlik eder. Karar verme işlemi, Karar Verici(KV)'nin değişik seçeneklerle karşı karşıya bulunduğu durumlarda, bunlar arasından kendi amaçlarına ve kendi belirlendiği kriterlere en uygun olanı seçebilmesidir [1]. İnsana özgü irrasyonel davranışların karar verme sürecine etkisini asgari düzeye indirme, en uygun kararı vermek için sayısız ve çeşitli alternatiflerle karşılaşan karar vericilere destek verme, çok kriterli karar verme yöntemlerinin ortaya çıkmasının arkasındaki motivasyondur [2].

Karar verme tipleri üç ana başlıkta toplanmaktadır. İlki karar vericinin her seçeneğin getirisini kesin bir şekilde bildiği, en iyi seçimin en yüksek getirisi olan Belirlilik Altında Karar Verme, ikincisi karar vericinin doğanın sunduğu olayların olasılıklarını bilmediği, güvenlik, olasılık ve iyimserlik düzeyi dikkate alınarak Belirsizlik Altında Karar Verme, üçüncü ve sonuncusu da karar vericinin doğanın sunduğu olayların nesnel ve öznel olasılıklarını bildiği, fayda analizine fırsat tanıyan Risk Altında Karar Verme'dir [3]. Belirtilen 3 karar tipi içinde uygulanabilecek ÇKKV yöntemleri mevcuttur.

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri; Çok Amaçlı Karar Verme (ÇAKV) ve Çok Ölçütlü Karar Verme (ÇÖKV) olarak ikiye ayrılmaktadır.

Çok Amaçlı Karar Verme sayesinde birden çok kriter yani değerlendirme faktörü ile birden çok alternatif aynı anda çözülebilmektedir [4]. ÇAKV genelde çok yada sonsuz sayıda alternatifin olduğu problemlerde kullanılmaktadır. Karar Verici ile etkileşim yüksek miktarlardadır.

Çok Ölçütlü Karar Verme; amaç-araç ilişkilerinin açıkça ortaya konulduğu, belirli sayıdaki alternatifin başlangıçta açıkça belirlenebildiği ve Karar Verici'den başlangıçta temin edilen tercih bilgisinin sonuçlara ulaşmakta kullanılabildiği yapıdaki problemleri inceler [5]. Alternatifler sonlu sayıda ve önceden tanımlanmış biçimdedir.

Zimmermann'e göre Çok Amaçlı Karar Verme ve Çok Ölçütlü Karar Verme yöntemleri alternatif sayısına göre Çizelge 2.1'deki gibi incelenebilir.

Çizelge 2.1. ÇÖKV-ÇAKV karşılaştırma tablosu

Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri	
Çok Amaçlı Karar Verme Yöntemleri	Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri
<p>Karar Vericinin Bilgi Vermesi İstenmeyenler</p> <ul style="list-style-type: none"> - Srinivasan ve Shocker Yöntemi - Toplu Kriter Yöntemi 	<p>Fayda Temelli Yöntemler</p> <ul style="list-style-type: none"> - Basit Toplamalı Ağırlıklandırma - Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) - Ağırlıklı Çarpım Yöntemi - TOPSIS - Çok Ölçütlü Değer Teorisi-SMARTS
<p>KV'den Ön Bilgi Vermesi İstenenler</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ardışık Sıralama Yöntemi - Değer Fonksiyonu Yöntemi - Hedefe Erişim Tekniği - Sınırlanmış Amaçlar Yöntemi - Hedef Programlama 	<p>Üstünlük Yöntemleri</p> <ul style="list-style-type: none"> - ELECTRE (I-IV) - PROMETHEE (I-II)
<p>KV'den Etkileşimli Olarak Bilgi İsteyenler</p> <ul style="list-style-type: none"> - Etkileşimli Hedef Programlama - Zionts-Wallenius Yöntemi - STEM Yöntemi - Yedek Değer İkame Yöntemi - STEUER Yöntemi - Etkileşimli Uzlaşık Programlama(ICP) - Geoffrion, Dyer ve Feinberg (GDF) Yöntemi 	<p>Diğer Yöntemler</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kötümserlik (Maksimin) - İyimserlik (Maksimaks) - Leksikografik Model

Çok kriterli karar verme yöntemleri politikadan, eğitime, insan kaynaklarından, üretime geniş bir yelpazede uygulama alanına sahiptir. Çalışma kapsamında, yerli savaş uçağı için planform seçim probleminin çok ölçütlü karar verme yöntemleri kullanılarak çözümlenmesine odaklanılmıştır.

Ülkelerin ekonomik ve siyasal gücünü belirleyen unsurların başında gelen savunma sanayisi teknolojik gelişmelere uyumlu bir şekilde güçlenmektedir. Savunma sanayisindeki gelişmelerin yatayda diğer sektörlere adapte edilebilirliğinin yanında, ülke sınırı tehditlerine karşı caydırıcılık sağlayacak güçlü bir orduya sahip olma isteği savunma ve havacılık sanayisinin güçlü olmasını zorunlu hale getirmiştir.

İş bu nedenle son yıllarda savunma ve havacılık sanayisinin gündeminde savaş uçağı, askeri helikopterler, insansız hava araçları, vb. uzun soluklu, büyük ve zorlu projeler yer almaktadır. Rekabetin ve gücün yoğun olduğu savunma ve havacılık sanayisinde bilimsel metotlarla karar verme süreçleri desteklenmektedir.

2002 yılında yayınlanan bir yüksek lisans tezinde, çok amaçlı (multi-role) savaş uçağı seçiminde mekanik performans, uçuş emniyeti, kontrol yeteneğı, aviyonik sistemleri, silah sistemleri ve ekonomiklik ana ölçütlerini dikkate alarak, 21 alt ölçütü AHP ve TOPSIS ile değerlendirmiştir. Duyarlılık analizleri ile alternatifler kıyaslanmış ve sonuç olarak, optimum savaş uçağı seçiminde kullanılan yöntemlerde aynı sıralama elde edilmiştir. Bu durum karar vericiye optimum çok amaçlı savaş uçağı seçiminde güvenilirlik açısından daha olumlu bir tablo çizmiştir [6].

Benzer bir çalışma 2014 yılında tekrarlanmıştır. Türkiye için muhtemel bir savaş uçağı alımında, maksimum hız, irtifa, faydalı yük, menzil, manevra, korunma, güvenirlilik, tamir edilebilirlik, satın alma maliyeti, işletme maliyeti kriterlerini dikkate alarak Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) tekniklerinden TOPSIS, Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve ELECTRE yöntemleriyle çalışılmış ve ortaya çıkan farklı tercih sıralamaları karşılaştırmıştır [7].

Savaş uçaklarının yanı sıra yolcu uçakları içinde benzer yaklaşımlar uygulanmıştır. Sektör askeri havacılıktan sivil havacılığa kaydığı için belirlenen kriterlerde gözle görünür bir şekilde değişmiştir. Performanstan çok verimliliğın ön planda olduğu kriterler kullanılmıştır. 2015 yılında yapılan bu çalışmada Even Swap Metodu, AHP ile birlikte çözüm olarak sunulmuştur [8].

ÇKKV birçok alanda kullanıldığı için havacılığında birden fazla alanında uygulanmıştır. Taarruz helikopterlerinin değerlendirilmesi yapılırken de bu yöntemlere başvurulmuştur. Üç farklı saldırı helikopteri daha çok teknik özelliklerini belirten kriterler baz alınarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmada diğerlerine nazaran farklı olarak dilsel değişkenlerden de yararlanılmış, probleme bulanıklık katılmıştır [9].

Havacılıkta eğitim uçakları da son derece kritiktir. Savaş uçak pilotlarının uçuş deneyimlerini ilk olarak yaşadıkları bu hava araçları askeri konularda stratejik öneme

sahiptir. O nedenle bazı benzer yaklaşımlar bu alanda da sergilenmiştir. Tayvan’da yapılan çalışmada çoğunluğu teknik olan on altı farklı kriter, sekiz farklı alternatif eğitim uçakları için değerlendirilmiştir. Bulanık Küme Teorisi’nden de yararlanılmıştır [10].

2015 yılında İspanyol Hava Kuvvetleri için yapılan çalışmada on iki farklı kriter, beş farklı alternatif için değerlendirilerek kapsamlı bir çalışma yürütülmüştür. TOPSIS, AHP ve Bulanık Mantığın bir arada kullanıldığı makalede kriterlerin kapsamı geniş tutulup tüm isterlere cevap vermeye çalışılmıştır [11].

Yukarıda bahsedilen çalışmalar ve benzerleri çizelge 2.2’de toplu bir şekilde sunulmuştur. Bu çizelge oluşturulurken özellikle savunma sanayisinde yapılmış, hava araçları ile ilgili olan ÇKKV yöntemleri üzerine araştırma yapılmıştır. Literatür taranırken ilgili alanları kısıtlayacak anahtar kelimeler kullanılmıştır.

No	Referans	Kullanılan Kriterler	Uygulanan Yöntem	Yapılan Çalışma	Yorumlar
1	Jiao, Z. ve diğerleri 2019	Ağırlık, Güç, Maliyet	AHP	Uçağın kontrolünü sağlayan yüzeylere hareket sağlayan aktüatör parçası için tasarım alternatifleri arasından optimalin seçimi yapılmıştır.	Sonuçlar parato diagramına dökülerek alternatiflerin daha net bir şekilde kıyaslaması yapılmıştır.
2	Baharözü, E. Ve diğerleri 2017	Karbon emisyonu, su emisyonu, Nitrojen oksit emisyonu	Çok Kriterli Notlandırma Yöntemi	Üç farklı tip uçak uzun mesafe uçuşları için değerlendirilmiştir. Alternatifler olarak elektrik destekli uçaklar, geleneksel uçaklar ve sıvı nitrojen ile çalışan uçaklar seçilmiştir.	Basit bir ÇKKV yöntemi uygulanmıştır. Daha detay analizlerin yapılabileceği yöntemler ilerki çalışmalarda kullanılabilir.
3	Çuhadar, İ. 2017	10 farklı kriter altında birden çok alt-kriter oluşturulmuştur. Bilgi güvenliğini tehlikeye sokabilecek durumlar kriter olarak değerlendirilmiştir.	Ağırlıklı Toplam Yöntemi	Risk yönetimi ve ÇKKV yöntemleri birlikte kullanılarak, insansız hava araçlarındaki veri güvenliği problemine çözüm aranmıştır.	Ağırlık belirlenirken, Risk Yönetiminde kullanılan olasılık ve şiddet bilgilerinden yararlanılmıştır. Aynı zamanda kriterler risk yönetimi çalışmaları sırasında tanımlanan tehlikeler baz alınarak oluşturulmuştur.
4	Slavica, D. Ve diğerleri 2018	Koltuk kapasitesi, Kalkış ağırlığı, Uçuş mesafesi, Satınalma maliyeti, Bakım maliyeti, Operasyonel maliyeti, Temin zamanı, Ödeme imkanları, Filo uyumu, Müşteri rahatlığı	Bulanık AHP	Havayolu şirketleri için belirli bir güzergahta hizmet verecek olan uçak tiplerinin, müşteri ve firmanın kendi beklentilerine bağlı olarak seçim problemine yeni bir metodoloji geliştirilerek çözüm aranmıştır.	Kriterlerin ikili kıyaslaması sırasında farklı olarak Logaritmik Bulanık Tercih Programlama yöntemlerinden yararlanılmıştır. Sonuç bölümünde benzer bir uygulamanın küçük değişiklikler ile kargo uçaklarında da kullanılabileceği belirtilmiştir.

5	Bruno, G. Ve diğ erleri 2015	Ekonomik performans, Teknik performans, İç konfor, Çevresel etkiler	AHP, Bulanık Küme Teorisi	İtalyan havayolları için üç farklı alternatif AHP ve Bulanık Küme Teorisinin birlikte kullanıldığı hibrit bir yöntem ile değerlendirilmiştir.	Dilsel değişkenlerin sayısal verilere çevrilmesi için bulanık mantıktan yararlanılmış. Sonrasında ağırlık ataması sırasında tüm kriterlerin etikeleri bu sayede ölçülmeye çalışılmıştır.
6	Dozic, S. Ve Kalic, M. 2015	Koltuk kapasitesi, Fiyat, Bagaj alanı, Maksimum kalkış ağırlığı, Ödeme imkanları, Operasyonel maliyeti	AHP, Even Swaps Method(ESM)	Havayolu şirketleri için yolcu uçağı seçim problemi temel alınarak iki farklı ÇKKV yöntemi kıyaslanmıştır.	Karar matrislerindeki değerler 23 farklı şekilde değiştirilerek ÇKKV yöntemlerinin duyarlılıkları ölçülmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak AHP'nin sıralama ihtiyacının olmadığı problemlerde daha sağlıklı sonuçlar verdiği gösterilmiştir.
7	Tüysüz, G. 2014	Maksimum hız, İrtifa, Faydalı yük, Mezil, Manevra, Korunma, Güvenilirlik, Tamir edilebilirlik, Satın alma maliyeti, İşletme maliyeti	AHP, ELECTRE, TOPSIS	Türkiye için muhtemel savaş uçağı seçim probleminin değerlendirilmesi yapılmıştır.	Sonuçların yorumlanması sırasında yöntemlerden çıkan sonuçlar birbirini destekler nitelikte değildir.
8	Sanchez-Lozano, J.M. Ve diğ erleri 2014	Servis tavanı, Seyrüsefer hızı, Kavrama hızı, Dayanıklılık, Pozitif G limiti, Negatif G limiti, Kalkış mesafesi, İniş Mesafesi, Pilot rahatlığı, Uçuş kontrol kabiliyeti, Acil durum sistemleri, Taktik kabiliyeti	AHP, TOPSIS	İspanyol Hava Kuvvetleri için askeri eğitim uçak seçim problemleri hem dilsel hemde kesikli verilerle analiz edilmiştir.	On iki farklı kriter, beş farklı alternatif için dilsel değişkenlerin yardımıyla değerlendirilmiştir.

Çizelge 2.1. (devam) Literatür taraması özet tablo

9	Lin, K. Ve Hung, K. 2011	Hava aracının uzunluğu, kanat açıklığı, Ağırlığı, Çalıştığı frekans aralığı, Kalkış sistemi, İniş Sistemi, Motor gücü, Yakıt kapasitesi, Faydalı yük kapasitesi, Maksimum Kalkış Ağırlığı, Sensör sistemleri, Servis tavanı, En yüksek hız, Ekonomik en yüksek hız, Dayanıklılık, Harekat yarıçapı	Bulanık Ağırlıklı Ortalamalar Yöntemi	İnsansız hava araçları için dilsel ve kesikli veriler değerlendirilmiş sonuçlar paylaşılmıştır.	Sonuçlar analiz edilirken bilgisayar destekli arayüzler kullanılmıştır. Bu da kullanıcıya daha rahat ve esnek bir hizmet sunmaktadır.
10	Ersöz, F. Ve Kabak, M. 2010	Temel kurallar ve kullanım amaçları	AHP, ANP	Bu çalışmada ÇKKV yöntemleri dayandıkları temeller ve kullanım amaçları bakımından sınıflandırılmıştır.	Sonuç olarak özellikle son yıllarda AHP'nin bazı diğer yöntemlerle entegre edilerek yaygın bir şekilde kullanıldığı ortaya konmuştur. ANP yönteminde hiyerarşi basamaklarında iç geri besleme yapısı sayesinde daha güvenilir sonuçlar ürettiği belirtilmiştir.
11	Aksakal, E. Ve Dağdeviren, M. 2010	Yabancı dil, Tecrübe, Yazılı ve sözlü iletişim, Stratejik düşünme, Bilgisayar bilgisi, Takım oyunculuğu	DEMATEL, Analitik Ağ Süreci	Uluslararası bir firma için personel seçim problemi konu edinmiştir. DEMATEL ve AAS yöntemleri bütünleşik şekilde kullanılmıştır.	Bu çalışmada farklı olarak kriter ağırlıkları AAS ile hesaplanmış, ikili kıyaslamalar DEMATEL yöntemi ile yapılmıştır.
12	Tien-Chin, W. Ve Tsung-Han C. 2007	Yakıt kapasitesi, Motor gücü, Servis tavanı, Maksimum G limiti, Maksimum hızı, Ekonomik uçuş hızı, Maksimum iniş hızı, Kontrol yüzeylerinin dayanabileceği maksimum hız, Kavrama hızı, Maksimum seyri sefer hızı, Tırmanma oranı, Kalkış mesafesi, İniş mesafesi, Güvenli yükseliğe ulaşma mesafesi, Güvenli yükseklikten iniş mesafesi	TOPSIS	Tayvan Hava Kuvvet Akademisi için eğitim uçağı seçim problemi dilsel değişkenler kullanılarak çözülmüştür.	Yedi farklı alternatif, on beş farklı kriter yardımıyla karşılaştırılmış, en yüksek puanı alan alternatif önerilmiştir.

13	Soner, Y. 2006	Direkt işletme maliyeti, fiyat, performans, Teknoloji düzeyi, Bakım kolaylığı, İşletme esnekliği, Konfor, Değerini koruması, Dış gürültü, Teknik destek, Kargo kapasitesi	AHP, Bulanık AHP	Dar gövdeli tek koridorlu orta menzilli ticari uçak model seçim problemi ele alınmıştır.	AHP ve Bulanık AHP sonuçlarının tutarlı olduğu görülmüştür. Bulanık AHP'nin sonuçları daha belirgin hale getirdiği; yani iyi olan alternatifin puanını daha da yükselttiği, kötü olan alternatifin puanını daha da düşürdüğü belirtilmiştir.
14	Çelikyay, S. 2002	Hız, Maximum irtifa, Maximum menzil, Maksimum kalkış ağırlığı, Her türlü hava karekatında kullanılabilirlik, Dayanıklılık, Her hava koşulunda/gece uçabilirlik, Maksimum uçuş sortisi, Atış yeteneği, Maksimum mühimmat taşıma kapasitesi, Elektronik harp yeteneği, Radar sistem yeteneği, Kullanılabilecek mühimmat çeşitliliği, Muhabere sistemleri, Yardımcı uçuş gösterge sistemleri, Acil kurtarma sistemleri, Pilot destek sistemleri, Satınalma maliyeti, Bakım ve idamedilebilirlik maliyeti, Ekonomik ömür, Servis donanım devamlılığı,	AHP, TOPSIS	Çok amaçlı savaş uçağı seçim problemi için dünya üzerinde kullanılmakta olan alternatifler kıyaslanmıştır.	Kriter sayısının fazla olması ağırlık ataması sırasında KV'nin aklının karışmasına sebep olabilir.
15	Yayan, İ 2001	Ana kriterler: Ülke beklentileri, Silah sistemleri, Aviyonik ve seyrüsefer sistemleri, Teknik performans, Lojistik, Hayatta kalma	AHP	Türk Kara Kuvvetlerinin ihtiyaç duyduğu etkin Taarruz Taktik Keşif Helikopter tipinin 5 farklı alternatif için AHP ile analizi yapılmıştır.	İkili kıyaslamalar için uzman görüşleri anketler yoluyla toplanmıştır. En yüksek ağırlık hayatta kalma kriterine atanmıştır.
16	Ching-Hsue, C. Ve diğerleri 1997	Teknolojik üstünlük, Lojistik kabiliyeti, Silah sistemleri, Aviyonik sistemleri, Sahip olduğu diğer kabiliyetler	AHP	Taarruz helikoptelerinin dilsel değişkenler kullanılarak değerlendirilmesi yapılmıştır.	AHP'ye dilsel değişiklikler ile bulanıklık katılmak istenmiştir.

2000 ile 2018 yılında yayınlanmış , ÇKKV metotlarından yararlanmış, havacılık ile ilgili toplam 166 makale sistematik bir şekilde incelenmiş ve bir makale olarak Slavica Dozic tarafından yayınlanmıştır. Çalışmanın amacı literatürdeki bilgi birikimini sınıflandırıp, yönelimin ne tarafa doğru olduğunu anlamaktır. Bu amaç ile dört ana sınıf belirlenmiştir: Havalimanları, havayolu şirketleri, hava kontrolörlüğü ve diğer. Sonrasında her sınıf, kendi içinde daha detaylı analizlere tabi tutulmuştur. Bu analizlerde sınıf içinde yapılan çalışmalar yaptıkları değerlendirme, sıralama, seçme yada geliştirme çalışmalarına göre ayrılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre örneklem kümesindeki çalışmaların %55'i hava yolları firmaları için, %24'ü havalimanlarındaki problemleri çözmek için, %5'inin hava kontrolörlüğü ile ilgili konularda ve kalan %16'sında diğer problemleri çözmek için yapılmıştır [12].

Yapılan literatür çalışması neticesi, Havacılık alanında yapılan çalışmaların çoğunun bitmiş son ürün için yapıldığı, tasarıma yön verecek kararlar üzerine herhangi bir çalışma yürütülmediği farkedilmiştir. Bu çalışmada literatürde yapılan çalışmalardan farklı olarak uçağın planform tipini belirlemek için uçak tasarımına geri beslemede bulunacak kararlar üzerine Çok Ölçütlü Karar Verme yöntemleri uygulanmıştır. Buna ek olarak karar matrisi doğrudan uçak performans analiz yazılımlarından elde edilen nesnel verilerle oluşturulmuştur. Bu da problemde kullanılan verilerin güvenilirliğini artırmakta, çalışmayı öznel etkilerden uzaklaştırmaktadır.



3. YÖNTEMLER

3.1. Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri

3.1.1. ELECTRE

ELECTRE yönteminde değerlendirme faktörlerinden her biri, alternatif değerlendirme noktaları için ikili olarak kıyaslanmaktadır. Bu yöntem ilk kez 1966 yılında Beneyoun tarafından ortaya atılmıştır. 8 adımdan oluşan ELECTRE (Elimination Et Choix Traduisant la Réalité) karar verme yönteminin adımları aşağı.2ıda maddeler halinde sıralanmıştır.

Adım 1 : Karar Matrisinin (A) Oluşturulması

Karar verici tarafından oluşturulan başlangıç A matrisinde, üstünlükleri sıralanmak istenen karar noktaları karar matrisinin satırlarında yer alır. A matrisinin sütunlarını ise arar vermede kullanılacak değerlendirme faktörleri oluşturur.

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

A_{ij} matrisinde n değerlendirme faktörü sayısını, m karar noktası sayısını ifade eder.

Adım 2 : Standart Karar Matrisinin (X) Oluşturulması

A matrisinde yer alan veriler, 3.2 numaralı denklem kullanılarak Standart Karar Matrisinin (X) oluşturulması sağlanır.

$$x_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (3.2)$$

Örnek olarak, X matrisinin x_{11} elemanı, A matrisinin a_{11} elemanı aynı matrisin 1. sütununda yer alan verilerin kareleri toplamının karaköküne bölünerek hesaplanır. Böylelikle karar noktası ile ilgili değerlendirme faktörünü ilişkilendirirken diğer değerlendirme faktörleri ile kıyaslanması sağlanabilir. Sonuç olarak aşağıdaki şekilde X matrisi elde edilmiş olur.

$$X_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

Adım 3 : Ağırlıklı Standart Karar Matrisinin (Y) Oluşturulması

Karar verici açısından değerlendirme faktörlerinin önemleri farklı seviyede olabilir. Bu gibi durumlarda önem farklılıklarını ELECTRE çözümüne yansıtmak amacıyla Y matrisi kullanılır. Bu durumda değerlendirme faktörlerinin ağırlıklarını karar verici tarafından

(w_i) belirlenmelidir ($\sum_{i=1}^n w_i = 1$).

Y matrisi , X matrisi sütununda yer alan verilerin ilgili w_i değeri ile çarpılarak elde edilir.

Y matrisinin gösterimi 3.4 numaralı denklemde gösterilmiştir.

$$Y_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 x_{11} & w_2 x_{12} & \dots & w_n x_{1n} \\ w_1 x_{21} & w_2 x_{22} & \dots & w_n x_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ w_1 x_{m1} & w_2 x_{m2} & \dots & w_n x_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

Adım 4 : Uyum (C_{kl}) ve Uyumsuzluk (D_{kl}) Setlerinin Belirlenmesi

Y matrisi uyum setlerinin belirlenmesi amacıyla kullanılır. Setler 3.5 numaralı denklemde yer alan satır elemanlarının birbirlerine göre büyüklüklerinin karşılaştırılmasına dayanan formülasyon yardımıyla belirlenerek karar noktaları birbiriyle değerlendirme faktörleri açısından kıyaslanır.

$$C_{kl} = \{j, y_{kj} \geq y_{lj}\} \quad (3.5)$$

Uyum seti sayısı (m.m-m) olarak hesaplanır. Değerlendirme faktörü sayısı (n), bir uyum setinde olabilecek en fazla eleman sayısını verir.

ELECTRE yönteminde uyum seti sayısı uyumsuzluk seti sayısına eşittir. Uyum setine ait olmayan j değerleri , uyumsuzluk seti elemanlarını oluşturmaktadır.

Değerlendirme faktörlerinin anlamları, ELECTRE yönteminde uyum setlerini oluşturma aşamasında oldukça önemlidir. Değerlendirme faktörü kar olarak seçilirse , uyum seti için 3.5 numaralı denklemde gösterilen formül kullanılacaktır; maliyet olarak seçilirse uyum seti için gerek şart $y_{kj} < y_{lj}$ eşitsizliği olacaktır.

Adım 5 : Uyum (C) ve Uyumsuzluk Matrislerinin (D) Oluşturulması

Uyum setlerinden yararlanılarak oluşturulan $m \times m$ boyutlu C matrisini oluşturan elemanlar 3.6 numaralı denklemde yer alan formülasyona göre hesaplanır.

$$c_{kl} = \sum_{j \in C_{kl}} w_j \quad (3.6)$$

$$C = \begin{bmatrix} - & c_{12} & c_{13} & \dots & c_{1m} \\ c_{21} & - & c_{23} & \dots & c_{2m} \\ \cdot & & & & \cdot \\ \cdot & & & & \cdot \\ \cdot & & & & \cdot \\ c_{m1} & c_{m2} & c_{m3} & \dots & - \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

3.8 numaralı denklemde yer alan formül Uyumsuzluk matrisinin (D) elemanlarını hesaplamak için kullanılır.

$$d_{kl} = \frac{\max_{j \in D_{kl}} |y_{kj} - y_{lj}|}{\max_j |y_{kj} - y_{lj}|} \quad (3.8)$$

Payda kısmını oluşturmak için Y matrisinin ilk iki satırındaki tüm elemanların karşılıklı mutlak farkları bulunur ve bu farklardan en yüksek olanı seçilir.

D matrisi $m \times m$ boyutundadır ve $k = l$ için değer alamaz. D matrisi aşağıda gösterildiği gibidir.

$$D = \begin{bmatrix} - & d_{12} & d_{13} & \dots & d_{1m} \\ d_{21} & - & d_{23} & \dots & d_{2m} \\ \cdot & & & & \cdot \\ \cdot & & & & \cdot \\ \cdot & & & & \cdot \\ d_{m1} & d_{m2} & d_{m3} & \dots & - \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

Adım 6 : Uyum Üstünlük (F) ve Uyumsuzluk Üstünlük (G) Matrislerinin Oluşturulması

Uyum eşik değerinin (\underline{c}) uyum matrisinin elemanlarıyla (c_{kl}) karşılaştırılmasından elde edilen matris uyum üstünlük matrisidir(F) ve $m \times m$ boyutludur. 3.10 numaralı denklem uyum eşik değerinin(\underline{c}) hesaplanması için kullanılmaktadır.

$$\underline{c} = \frac{1}{m(m-1)} \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^m c_{kl} \quad (3.10)$$

m : Karar noktası sayısı

F matrisi 1 ya da 0 değerlerinden oluşur. Köşegen üzerindeki elemanlar aynı karar noktasını gösterdiğinden değeri yoktur. Eğer $c_{kl} \geq \underline{c} \Rightarrow f_{kl} = 1$, eğer $c_{kl} < \underline{c} \Rightarrow f_{kl} = 0$ dır.

Uyum üstünlük matrisiyle(F) aynı boyutta ($m \times m$) olan uyumsuzluk üstünlük matrisi (G) , F matrisine benzer şekilde oluşturulur. 3.11 numaralı denklem uyumsuzluk eşik değerinin hesaplanması amacıyla kullanılır.

$$\underline{d} = \frac{1}{m(m-1)} \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^m d_{kl} \quad (3.11)$$

G matrisi 1 ya da 0 değerlerinden oluşur. Köşegen üzerindeki elemanlar aynı karar noktasını gösterdiğinden değeri yoktur. Eğer $d_{kl} \geq \underline{d} \Rightarrow g_{kl} = 1$, eğer $d_{kl} < \underline{d} \Rightarrow g_{kl} = 0$ dır.

Adım 7 : Toplam Baskınlık Matrisinin (E) Oluşturulması

f_{kl} ve g_{kl} elemanlarının karşılıklı çarpımı Toplam Baskınlık Matrisinin (E) elemanları olan (e_{kl}) değerlerine eşittir. C ve D matrislerine bağlı olarak oluşan $m \times m$ boyutlu E matrisi yine 1 ya da 0 değerlerinden oluşur.

Adım 8 : Karar Noktalarının Önem Sırasının Belirlenmesi

Karar noktaları E matrisinde satır ve sütunlarda gösterilir. 3.12 numaralı denklemde örnek olarak verilen E matrisini inceleyecek olursak :

$$E = \begin{bmatrix} - & 0 & 0 \\ 1 & - & 0 \\ 1 & 1 & - \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

$e_{21} = 1$, $e_{31} = 1$ ve $e_{32} = 1$ değerlerini alır. Bu durum 2. karar noktasının 1. karar noktasına, 3. karar noktasının 1. karar noktasına ve 3. karar noktasının da 2. karar noktasına mutlak üstünlüğünü olduğunu gösterir. Yukardaki örnekte karar noktaları A_i ($i = 1, 2, \dots, m$) şeklinde ifade edilirse, karar noktalarının önem sırası A_3 , A_2 ve A_1 şeklinde ortaya çıkacaktır.

3.1.2. TOPSIS

ELECTRE yönteminin temellerini kullanan “Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution” (TOPSIS) 1980 yılında Yoon ve Hwang tarafından ortaya atılmıştır. Çözüm süreci bakımından ELECTRE yönteminden daha kısadır ve ana prensip olarak karar noktalarının ideal çözüme yakınlığını/uzaklığını esas alır. TOPSIS yöntemi aşağıda özetlendiği gibi 6 adımdan oluşur ve yöntemin ilk iki adımı ELECTRE yöntemi benzerdir.

Adım 1 : Karar Matrisinin (A) Belirlenmesi

Karar verici tarafından belirlenen A matrisi başlangıç matrisi olmakla birlikte, matrisin satırları üstünlükleri sıralanmak istenen alternatifleri yani karar noktalarını, sütunları ise kriterleri yani değerlendirme faktörlerini gösterir.

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

m: Alternatifler (Karar noktası sayısı)

n: Kriterler (Değerlendirme faktörü sayısı)

Adım 2 : Standart Karar Matrisinin (R) Hesaplanması

A matrisinin elemanları denklem 3.14'de yerine konularak elde edilen matrise Standart Karar Matrisi (R) denilmektedir.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (3.14)$$

R matrisi denklem 3.15'te gösterilmiştir.

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

Adım 3 : Ağırlıklı Standart Karar Matrisinin (V) Hesaplanması

Denklem 3.16'ya bağlı alınarak öncelikle değerlendirme faktörlerine ilişkin ağırlık değerleri (w_i) atanır.

$$\left(\sum_{i=1}^n w_i = 1 \right) \quad (3.16)$$

Elde edilen ağırlık değerleri , R matrisinin sütununda yer alan değerler ile çarpılarak V matrisi elde edilir. V matrisi denklem 3.17'de gösterilmiştir.

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.17)$$

Adım 4 : İdeal (A^*) ve Negatif İdeal (A^-) Çözümlerin Oluşturulması

İdeal çözüm kümesi, $A^* = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\}$, V matrisinde yer alan ağırlıklandırılmış değerlendirme faktörlerinin en büyüklerini (ilgili değerlendirme faktörü maliyet ise en küçüğü) seçerek, denklem 3.18'de yer alan formül kullanarak oluşturulur.

$$A^* = \left\{ \left(\max_i v_{ij} \mid j \in J \right), \left(\min_i v_{ij} \mid j \in J' \right) \right\} \quad (3.18)$$

Negatif ideal çözüm kümesi, $A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\}$, V matrisinde yer alan ağırlıklandırılmış değerlendirme faktörlerinin en küçüklerini (ilgili değerlendirme faktörü fayda ise en büyüğü) seçerek, denklem 3.19'da yer alan formül kullanarak oluşturulur.

$$A^- = \left\{ \left(\min_i v_{ij} \mid j \in J \right), \left(\max_i v_{ij} \mid j \in J' \right) \right\} \quad (3.19)$$

J : Fayda (maksimizasyon) değeri

J' : Kayıp (minimizasyon) değeri

Adım 5 : Ayırım Ölçülerinin Hesaplanması

Öklit Uzaklık Yaklaşımı TOPSIS yönteminde karar noktalarının ilişkin değerlendirme faktör değerlerinin, ideal ve ideal negatif çözüm setinden sapmalarının bulunması için kullanılır. Denklem 3.20 ve 3.21'de yer alan eşitlikler sırasıyla karar noktalarına ilişkin İdeal Ayırım (S_i^*) ve Negatif İdeal Ayırım (S_i^-) değerlerini göstermektedir. S_i^* ve S_i^- sayısı, karar noktası sayısıyla aynı olacaktır.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad (3.20)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (3.21)$$

Adım 6 : İdeal Çözüme Göreli Yakınlığın Hesaplanması

İdeal ve negatif ideal ayırım ölçüleri, her bir karar noktasının ideal çözüme göreli yakınlığının (C_i^*) hesaplanmasında kullanılır. Negatif ideal ayırım ölçüsünün toplam ayırım ölçüsü içindeki payı burada kullanılan ölçütü vermektedir. İdeal çözüme göreli yakınlık değeri denklem 3.22'de yer alan formül ile hesaplanır.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad (3.22)$$

$C_i^* = 0$ ilgili karar noktasının negatif ideal çözüme, $C_i^* = 1$ ilgili karar noktasının ideal çözüme tam tamına uyum sağladığını gösterir.

Literatürde kullanılan bazı ÇKKV yöntemlerinin detaylarına ve kıyaslamalarına aşağıdaki kısımda yer verilmiştir.

Karar hiyerarşisinden söz edilebilen durumlarda kullanılabilen Analitik Hiyerarşi Prosesi(AHP), kararı etkileyen faktörler açısından karar noktalarının yüzde dağılımlarını veren bir karar verme ve tahminleme yöntemi olarak 1968'de Myers ve Alpert ikilisi tarafından ortaya atılmıştır. Karar verme problemlerinin çözümünde kullanabilir hale getirilmesi Saaty tarafından gerçekleştirilmiştir. Analitik Hiyerarşi Prosesi kararı etkileyen faktörler ve bu faktörler için karar noktalarının önem değerleri açısından birebir karşılaştırmaya dayanmaktadır. Karşılaştırma yapılırken daha önce tanımlanmış olan

karşılaştırma skalası kullanılmaktadır. AHP analizi sonucunda önem farklılıklarının karar noktaları üzerinde yüzde dağılıma dönüşümü elde edilir.

Analitik Ağ Süreci(AAS), Saaty tarafından AHP yönteminin devamı olarak geliştirilmiştir. AAS, karar verme sürecinde faktörler arasındaki ilişkilerin dikkate alınmasını sağlamak ve problemi tek bir yöne bağlı kalarak modelleme zorunluluğunu ortadan kaldırmaktadır [13]. Bu işleyiş neticesi AAS yöntemi karar verme problemlerini daha etkin ve gerçekçi bir şekilde analiz edebilme imkanı sunmaktadır [14]. Analiz sırasında geri bildirimlerin de etkisi göz ardı edilmemiştir. Ağ modeli, AHP den farklı olarak yukarıdan aşağı tek yönlü bir hiyerarşiye sahip değildir. Geri beslemeli bir model barındırmaktadır. Karmaşık akışların olduğu modeller insan aklının çözemeyeceği yapıdadır. AAS yönteminin sahip olduğu sistemsel bir yaklaşım sayesinde bu tip problemler çözülebilmektedir.

DEMATEL, bir modeldeki karmaşık faktörler arasındaki nedenselliği analiz eden kapsamlı bir ÇKKV yöntemidir [15] ve Cenova Battele Enstitüsü tarafından kompleks küresel problemleri çözmek için geliştirilmiştir [16]. DEMATEL yöntemi, uzlaşmacı sebep-sonuç modeli içeren dolaylı ilişkileri kapsamaktadır [13]. Bu yöntemde, uzmanların bilgisi yapısal modellerin düzenlenmesi için kullanılır [17]. DEMATEL yöntemi yardımıyla kriter ağırlıkları belirlenebildiği gibi bu kriterler önem derecelerine göre de sıralanabilir. DEMATEL yönteminde bütün değerlerin birbiri ile ilişkisi olduğu kabul edilmektedir ve kriterler arasındaki etki derecesi de ölçülebilmektedir. Sisteme yaptığı etki daha baskın olanlara dağıtıcı, sistemden etkilenme derecesi daha baskın olanlara alıcı denilmektedir [18]. DEMATEL, kriter ağırlıklarını belirleme de başarılı olmasına rağmen alternatifleri derecelendirmede diğer çok ölçütlü karar verme yöntemlerine ihtiyaç duyar.

1982 yılında Brans. tarafından geliştirilen PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) yöntemi ile çok ölçütlü olarak öncelik belirleme çalışmaları yürütülebilmektedir. Yöntemde tercih fonksiyonları sıralama yapılırken kullanılır. Tüm parametrelerin açık bir şekilde belirlenmiş olması KV'nin kararını kolayca verebilmesini sağlar. Belirli sayıdaki alternatifin, PROMETHEE yöntemi yardımıyla hem kısmi sıralaması (PROMETHEE I) hem de tam sıralaması (PROMETHEE II) yapılabilir [19].

3.1.3. Çok ölçütlü karar verme yöntemlerinin kıyaslaması

Bir önceki bölümde bahsedilen ÇÖKV yöntemlerinden tezimizde konu edindiğimiz probleme uygun olanı seçebilmek için yöntemler birbirleri ile kapsam ve metodoloji açısından karşılaştırılmıştır.

Yapılan literatür taraması sonucunda TOPSIS yönteminin; sade, akla uygun, anlaşılır ve her alternatifin performansını ölçebilme imkanına sahip olduğu anlaşılmıştır. Tezde konu edinilen problemde alternatiflerin sıralanması istendiğinden uygulama aşamasında TOPSIS yönteminden yararlanılmıştır. Bu avantajlara rağmen TOPSIS'te atanan kriter ağırlıkları ikili eşleştirmelerden bağımsız olarak yapıldığı için tutarlılık oranına bakılamamaktadır. Yine de mevcut problemin karmaşıklığı düşünüldüğünde bahsedilen durumun sorun oluşturmayacağı varsayılmıştır.

AHP yönteminde kriterler arasında hiyerarşik ilişki söz konusudur. Bu hiyerarşi, karmaşık problemlerin sebeplerini bileşenlerine ayırarak daha kolay bir şekilde çözülebilmesini sağlar. Karar vericiden kriterleri ikili şekilde karşılaştırması istenmektedir. Sonrasında bu karşılaştırmanın tutarlılığı kontrol edilir. Bu yöntemde dilsel değişkenlere 1 ile 9 arası bir değer atanarak sayısallaştırma yapılmaktadır. Fakat bu sayı aralığı bazen karar verici tarafından karıştırılabilmektedir. O nedenle AHP'nin az sayıda kriterin olduğu ve hiyerarşik yapının uygulanabileceği problemlerde tercih edilmesi daha mantıklıdır. Bu tez çalışması sırasında çözülmek istenen problem belirtilen özellikleri taşımadığı için bu yöntem tercih edilmemiştir.

AAS, AHP'nin daha genel bir formudur. AAS karışık, zor anlaşılan ve kalıplaşmış sorunlar için kullanılır. Saaty 1996 yılında AAS'yi; gruplara ve bireylere karar verme sürecindeki karmaşık yapıyı yansıtan karşılıklı bağımlılık ve geri beslemeyi de değerlendirme olanağı veren bir yöntem olarak tanımlamıştır [20]. Kriterlerin birbirleri ile bağımlılığının olduğu problemlerin çözümü için uygun olan bu yöntem tez çalışmasına işlenen probleme uygun olmadığına uygulama aşamasında tercih edilmemiştir.

DEMATEL alternatifleri derecelendirmede başarısız bir yöntem olduğu için tezde yer alan problem çözümü için uygun bulunmamıştır.

ELECTRE yöntemi ile alternatiflerin birbirlerine göre üstünlükleri ortaya konulabilir. Seçme, sıralama yada sınıflandırma için kullanılabilir. Nitel ve nicel verilerden yararlanılabilir. Birden fazla versiyonu vardır. Bu versiyonlarda ilki seçim, ikincisi sıralama, üçüncüsü ise sınıflama için kullanılmaktadır. (ELECTRE I-II-III) Bulanık yaklaşımlar ile birlikte entegre edilebilir bir yapıdadır. Alternatiflerin sıralamasının yapılabildiği bu yöntemden de uygulama kısmında yararlanılmıştır.

PROMETHEE ile ELECTRE aynı aileden gelen , etkin bir sıralama yöntemidir [21]. PROMETHEE yönteminde de her kriter için alternatif çiftleri kıyaslanır. Grafikselleştirme ile birlikte kullanılabilir. Bu yöntemin dezavantajı yeni bir alternatif sürece dahil edildiğinde sıralama köklü bir şekilde değişebilmektedir. Bu nedenle, değişimin sıkça yaşandığı tasarım süreçleri ile ilgili problemlere uygun olmayacağı değerlendirilmiştir [22]. Ayrıca ELECTRE yöntemi ile çoğunlukla benzer özellik taşıdığından iki benzer yöntemden biriyle yapılacak olan analizin yeterli olacağı düşünülmüştür.

4. UYGULAMA

Literatürde yapılan incelemeler neticesinde, başlangıç adımları aynı olan TOPSIS ve ELECTRE yöntemlerinin, bu tezde konu edilen problemin çözümü için yöntemlerin esneklikleri ve veri setinin büyüklüğü göz önüne alındığında daha doğru sonuçlar vereceği anlaşılmıştır. İki yöntem de aynı veri seti üzerine uygulanıp, sonuçlarının kıyaslaması yapılmıştır.

4.1. Alternatiflerin Belirlenmesi

Alternatif uçak tasarımları oluşturulurken mevcutta dünya üzerinde kullanılan yeni nesil savaş uçakları incelenmiş, onların tasarımlarından esinlenerek başlıca tasarım parametreleri oluşturulmuştur. Aşağıda incelenen savaş uçaklarının genel geçer bilgileri derlenmiştir.

4.1.1. F-35 Joint Strike Aircraft(JSF)

Lignting II olarak da bilinen F-35 Joint Strike Aircraft(JSF), tüm görevlerin tek bir uçak tarafından yerine getirilebilmesi amacıyla tasarlanan, Lockheed-Martin (ABD) şirketi tarafından üretilen beşinci nesil bir savaş uçağıdır. İlk uçuşunu 2006 yılında gerçekleştiren uçağın geliştirme projesine içerisinde Türkiye'nin de bulunduğu dokuz ülke tarafından destek verilmektedir. Uçak F-22'de kullanılan teknolojilerden faydalanılarak üretilmiştir. Radarlardaki görünmezlik seviyesi F-22 uçağıninkine kadar olmasa bile günümüzdeki uçaklardan daha düşüktür. Dikey olarak iniş kalkış yapabilmesi için farklı modelleri de mevcuttur (F-35B), böylelikle uçak gemilerine ve uygun olmayan yerlere rahatlıkla inebilme yeteneğine sahiptir. Kanatların şekli, büyüklüğü ve gövde üzerindeki konumu uçakların özelliklerini (hız, denge, kaldırma kuvveti, manevra kabiliyeti) belirgin şekilde etkiler. F-35 uçağının kanat yapısı diğer savaş uçakları gibi ses üstü hızlarda uçmasından dolayı trapezoidal (ikizkenar yamuk) şekle sahiptir. Bu kanat tipini kullanmanın asıl nedeni, diğer kanat tiplerine kıyasla sağladıkları gizlilik özelliğidir. Uçağın uzunluğu, kanat alanı ve kanat açıklığı sırasıyla 15.4 metre, 42.7 metrekare ve 10.7 metredir. Daha iyi anlaşılabilmesi için F-35A uçağı resim 4.1.' de gösterilmiştir.



Resim 4.1. Farklı modelleriyle F-35 uçağı

4.1.2. F-22 Raptor

F-22 Raptor uzun menzilli havadan havaya ve havadan yere silahlarla bir araya getirilen çok yüksek gizlilik, hız, çevikliğe sahip olan ve Lockheed Martin (ABD) firması tarafından üretilen beşinci nesil bir avcı uçağıdır. Amerika Birleşik Devletleri hükümeti, bu uçakların kesinlikle başka bir ülkeye satışına izin vermemektedir. İlk uçuşunu 1997 yılında gerçekleştiren F-22 Raptor uçağının üretiminde kullanılan kompozit malzemeler, onun radar sistemlerinde görünürlüğünü oldukça azaltmaktadır. F-22'nin kombat yapımı "temiz"dir, yani bütün silahlar gövde içinde taşınmakta ve gövde dışında hiçbir yük bulunmamaktadır. Bu F-22'nin görünmezlik özelliği için önemli bir husustur. F-22 Raptor uçağı trapezoidal kanat tipine sahiptir. Uçağın uzunluğu, kanat alanı ve kanat açıklığı sırasıyla 18.9 metre, 78.04 metrekare ve 13.56 metredir. F-22 Raptor uçağı daha iyi anlaşılabilmesi için resim 4.2. 'de gösterilmiştir.



Resim 4.2. F-22 Raptor avcı uçağı

4.1.3. Mig-35

MiG-35, üretici firmalar tarafından beşinci nesil savaş uçaklarına geçiş modeli olarak MiG-29 uçağının daha gelişmiş bir versiyonu olarak üretilmiştir. Mig-35 savaş uçağı Mikoyan tarafından tasarlanan 4++ nesil olarak sınıflandırılan çok amaçlı bir Rus avcı uçağıdır. İlk uçuşunu 2016 yılında gerçekleştiren ve NATO'daki kod adı Fulcrum-F olan çok işlevli avcı uçağı, düşman hava sahasına girmeden her türlü hedefi hassas silahlarla vurabilmektedir. Mig-35 yüksek manevra kabiliyeti gerektiren, iyi bir kanat aerodinamik verimi gerektiren yüksek açılı dönüş hızlarında uçabilme yeteneğine sahiptir. Maksimum kalkış ağırlığı 29500 kg olan Mig-35 avcı uçağı ok kanat yapısına sahiptir. Bu kanat yapısına sahip olan uçakların çoğu çift motorlu ve ağır uçaklardır. Uçağın uzunluğu, kanat alanı ve kanat açıklığı sırasıyla 17.3 metre, 38 metrekare ve 12 metredir. Mig-35 uçağı daha iyi anlaşılabilmesi için resim 4.3.'te gösterilmiştir.



Resim 4.3. Mikoyan Mig-35 avcı uçağı

4.1.4. Sukoi PAK FA

Eski adı PAK FA ve T-50 olan ve şuan da Su-57 olarak bilinen uçak beşinci nesil çok amaçlı bir Rus savaş uçağıdır ve Sukhoi OKB tarafından geliştirilmektedir. Uçağın gizliliğinin sağlanabilmesi için radar emici malzemelerden yararlanılmıştır. İlk uçuşunu 2010 yılında gerçekleştiren çift motorlu uçak üstün manevra kabiliyetine sahiptir. Beşinci nesil olan bu uçak yakın ve uzak mesafelerde olan hava, kara ve su hedeflerini imha edebilme yeteneğine sahiptir. Yamuk kanat tipine sahip olan bu uçağın uzunluğu, kanat alanı ve kanat açıklığı sırasıyla 22 metre, 78.8 metrekare ve 14.2 metredir. Yamuk kanatlar uçağın gizliliğini ve performansını artırmaktadır. Su-57 savaş uçağı saatte 2600 km hıza

kadar çıkabilmektedir ve azami kalkış ağırlığı 37000 kilogramdır. Uçağın görüntüsü resim 4.4. 'te gösterilmiştir.



Resim 4.4. Sukhoi PAK FA savaş uçağı

4.1.5 Eurofighter Typhoon

Eurofighter gmbH şirketi tarafından Avrupa Birliği ülkelerinin yeni nesil savaş uçağı ihtiyacını karşılamak için geliştirilmiştir. İlk uçuşunu 1994 yılında gerçekleştirmiş olan uçak 4. Nesil savaş uçağı sınıfındadır. Güçlü motorlara sahip olan Eurofighter Typhoon uçağı yüksek manevra kabiliyeti kazandırılabilmesi amacıyla stabil olmayacak şekilde, delta kanat yapısına sahip olarak tasarlanmıştır. Delta kanat tipi, tüm uçuş bölgelerinde(ses altı, transonik ve ses üstü) etkili olan bir kanat tipidir, aynı zamanda uçağın manevra kabiliyetini artırmaktadır. Bu kanat yapısı, uçağa çeviklik, süpersonik performans gibi avantajlar sağlamaktadır. Yüksek aviyonik sistemlerle donatılan bu uçak sürekli bilgisayar kontrolünde uçmaktadır çünkü sadece insan kontrolü, uçağın stabil olarak uymasına izin vermemektedir. Radar görünürlüğüne düşük olabilmesi için tasarlanan uçakta, karbon-fiber kompozit malzemeler kullanılmıştır. Yakın havadan havaya ve yer hedeflerine saldırı yapabilmektedir. Uçağın uzunluğu, kanat alanı ve kanat açıklığı sırasıyla 15.96 metre, 50 metrekare ve 10.95 metredir. Azami kalkış ağırlığı 23500 kilogram olan bu uçak saatte 2390 kilometre hıza ulaşabilmektedir. Resim 4.5. 'te delta kanat yapısına sahip olan Eurofighter Typhoon uçağı gösterilmektedir.



Resim 4.5. Eurofighter typhoon avcı uçağı

4.1.6. F-15E Eagle

Amerika Birleşik Devletleri (ABD) kökenli olan F-15E Eagle, tüm hava şartlarında görev yapabileme yeteneğine sahip olan uzun mesafeli ve yüksek hızlı müdahaleler için McDonnell Douglas tarafından tasarlanmış 4. nesil bir avcı uçağıdır. İlk uçuşunu 1972 yılında gerçekleştiren çift motorlu uçak saatte maksimum 3017 kilometre hıza ulaşabilmektedir. Ok kanat şekline sahip olan F-15 Eagle yüksek manevra, hızlanma yetenekleri ve aviyonik sistemleriyle oldukça üstün bir uçaktır. Yamuk kanat yapısına oldukça benzeyen ok kanatlar uçaklara daha fazla kanat alanı sağlamaktadırlar. Yüksek kanat alanı ve düşük kanat yüklemesi ok kanat yapısının avantajlarından birkaçıdır. Maksimum kalkış ağırlığı 30844 kilogram olan uçağın uzunluğu, kanat alanı ve kanat açıklığı sırasıyla 19.45 metre, 56 metrekare, 13.05 metredir. F-15 Eagle uçağının görüntüsü resim 4.6. 'da verilmiştir.



Resim 4.6. F-15 eagle avcı uçağı

4.1.7. JAS-39 Gripen

JAS-39 Gripen 1987 yılında İsveç havacılık şirketi olan Saab tarafından tasarlanan tek motorlu 4.nesil savaş uçağıdır. JAS kodu İsveççe “Jakt” (Av), “Attack” (Taarruz) ve “Spaning” (foto-keşif) kelimelerinin baş harflerinden meydana gelmektedir. Bunun sebebi, uçağın her üç görevi de yerine getirebilecek yeteneğe sahip olmasıdır. Herhangi bir savaş durumunda hazırlanmamış pistlerden kalkış ve iniş yapabilen JAS-39 Gripen her türlü hava şartında muhafaza edilebilirler. Tamamen hayalet bir uçak olmasa da radar görünürlüğü çok düşüktür. İlk uçuşunu 1988 yılında gerçekleştiren uçak saatte 2204 kilometre hıza kadar çıkabilme ve havadan havaya, havadan karaya olan mühimmatları taşıma ve kullanabilme yeteneğine sahiptir. Hayalet özelliği olmayan bu uçağın aerodinamik özelliklerini koruması sayesinde manevra kabiliyeti F-35 uçaklarına göre oldukça iyidir. Çok gelişmiş elektronik sistemleri olan JAS-39 Gripen, delta kanat yapısına sahiptir. Maksimum kalkış ağırlığı 12500 kilogram olan İsveç uçağının uzunluğu, kanat alanı ve kanat açıklığı sırasıyla 14.1 metre, 25.5 metrekare ve 8.4 metredir. JAS-39 Gripen savaş uçağının görüntüsü resim 4.7.’de verilmiştir.



Resim 4.7. JAS-39 gripen savaş uçağı

4.1.8. F/A-18E/F Super Hornet

F/A-18E/F Super Hornet uçağı Amerika Birleşik Devletleri (ABD) kökenli McDonnell Douglas şirketi tarafından tasarlanan 1982 yılında üretimine başlanan 4. nesil bir muharebe uçağıdır. İlk uçuşunu 1995 yılında gerçekleştiren çift motora sahip hem av hem saldırı uçağı olan F/A-18E/F, kara üslerinden ve uçak gemilerinden kalkış yapabilme yeteneğine sahiptir. Saatte 1915 kilometre hıza ulaşabilen uçağın manevra kabiliyeti dijital kontrol

sistemleri kullanılarak desteklenmekte ve pilota kullanma kolaylığı sağlamaktadır. Yapım aşamasında radar görünürlüğünün düşük tutulmasına dikkat edilen F/A-18E/F savaş uçağı F/A-18C/D uçağının geliştirilmiş bir modelidir. Gövdenin büyümesi ve silah istasyonlarının artışı sebebiyle kanatlar daha kalın bir şekilde güçlendirilmiştir. Yamuk kanat yapısına ve 46.45 metrekare kanat alanına sahip olan F/A-18E/F uçağı orijinal Hornet'den yüzde 25 daha fazla kanat alanına sahiptir. Azami kalkış ağırlığı 29935 kilogram olan uçak 18.31 metre uzunluğa ve 13.62 metre kanat genişliğine sahiptir. Resim 4.8. 'de F/A-18E/F uçağı gösterilmiştir.



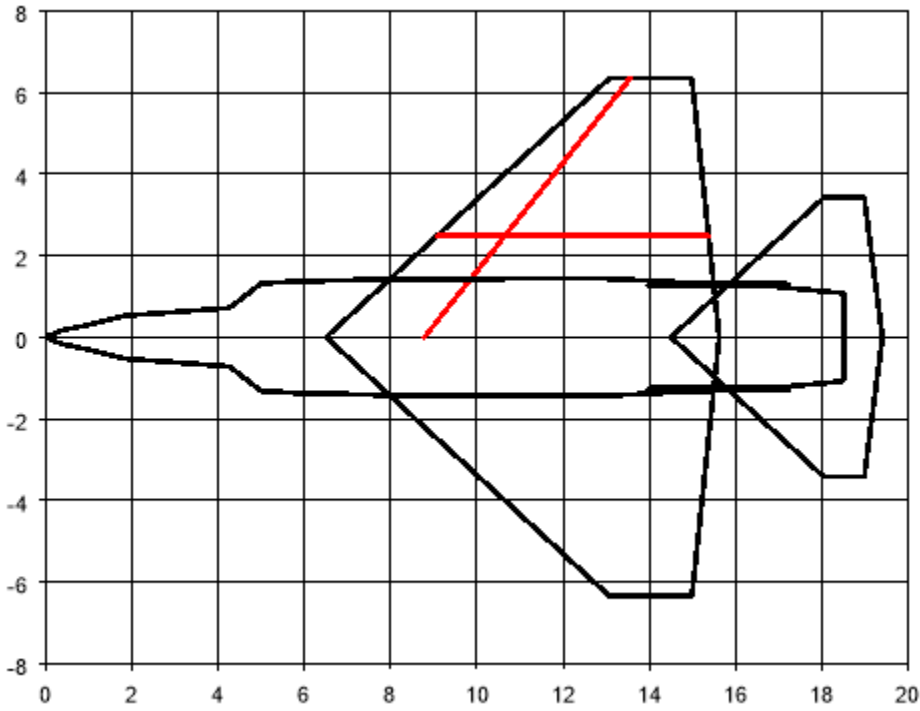
Resim 4.8. F/A-18E/F super hornet savaş uçağı

4.1.9. Alternatif savaş uçağı tasarımlarının oluşturulması

Dördüncü bölümün başında kısaca bilgileri paylaşılan sekiz farklı savaş uçağının geometrik özellikleri baz alınarak, çizelge 4.1, 4.2 ve 4.3 te verilen üç yeni uçak tasarımı oluşturulmuştur. Bu tasarımlar oluşturulurken dünya üzerinde kullanılmakta olan 4. ve 5. nesil savaş uçaklarından esinlenilmiştir. Oluşturulan bu tasarımların kabaca benzedikleri şekiller şekil 4.1, 4.2 ve 4.3'te verilmiştir. Bu tasarımlar uygulama aşamasında kullanılan alternatifleri oluşturmaktadır.

Çizelge 4.1. Yamuk kanatlı tasarım alternatifi girdileri-1

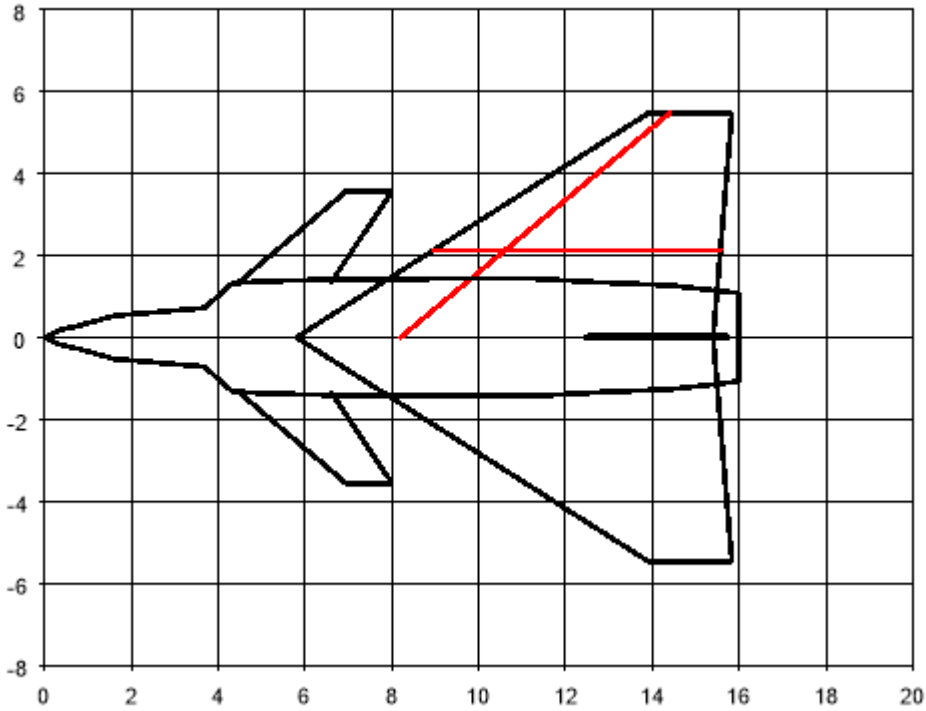
Tasarım 1 Yamuk Kanatlı Planform					
Motor		Birimi	Yatay Kuyruk		Birimi
Sayısı	2	adet	Kuyruk Alanı	20	metrekare
Art Yanmalı İtici Gücü	200	kN	Açıklık Oranı	2,4	-
Art Yanmasız İtici Gücü	140	kN	Sivrilme Oranı	0,2	-
Kanat			Hücum Kenar Açısı	46	derece
Kanat Alanı	70	metrekare	Kuyruk Lokasyonu (x)	14,5	metre
Kanat Açıklık Oranı	2,3	-	Dikey Kuyruk		
Kanat Sivrilme Oranı	0,21	-	Sayısı	2	adet
Hücum Kenar Açısı	46	derece	Kuyruk Alanı	10	metrekare
Ortalama Kalınlık	0,04	-	Yüksekliği	2,4	metre
Kanat Lokasyonu (x)	6,5	metre	Sivrilme Oranı	0,3	-
Gövde			Hücum Kenar Açısı	37	derece
Uzunluk	18,5	metre	Kuyruk Lokasyonu (x)	14	metre
Maksimum Kesit Alanı	4,5	metrekare	Ağırlık		
Hava Alığı Alanı	1	metrekare	Boş Ağırlığı	20000	kg
			Dahili Silah Yuvaları	5000	kg
			Yakıt	1205	kg



Şekil 4.1. Yamuk kanatlı tasarım alternatifi-1

Çizelge 4.2. Delta + kanarlı tasarım alternatifi-2

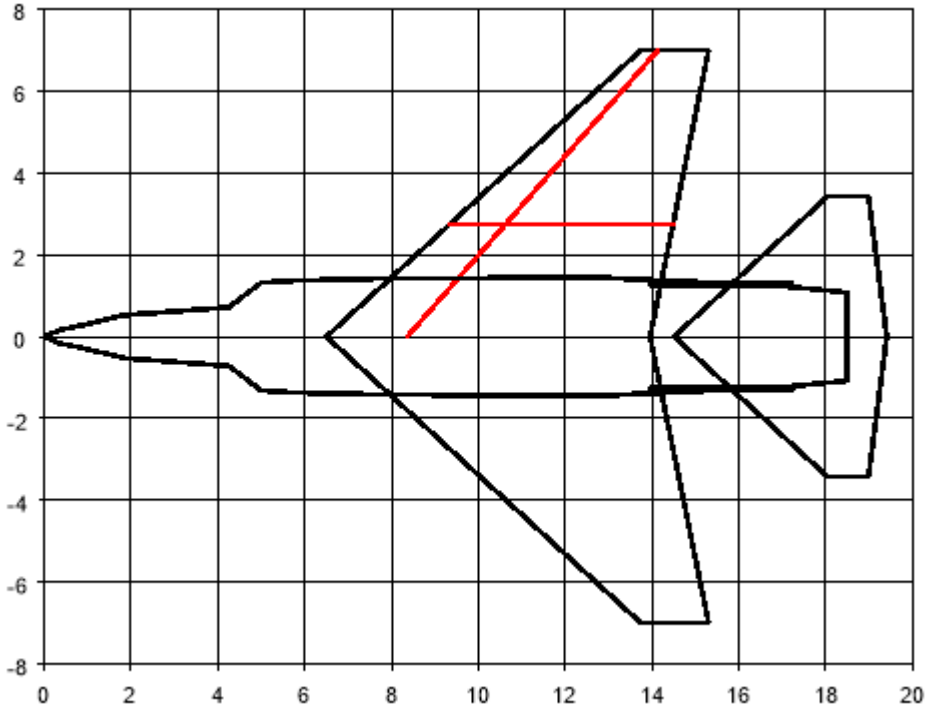
Tasarım_2_Delta + Kanarlı Planform					
Motor		Birimi	Kanart		
Sayısı	2	adet	Kuyruk Alanı	7	metrekare
Art Yanmalı İtici Gücü	200	kN	Açıklık Oranı	2,8	-
Art Yanmasız İtici Gücü	140	kN	Sivrilme Oranı	0,5	-
Kanat			Hücum Kenar Açısı	48	derece
Kanat Alanı	63	metrekare	Kuyruk Lokasyonu (x)	4,5	metre
Kanat Açıklık Oranı	1,9	-	Dikey Kuyruk		
Kanat Sivrilme Oranı	0,2	-	Sayısı	1	adet
Hücum Kenar Açısı	56	derece	Kuyruk Alanı	5	metrekare
Ortalama Kalınlık	0,04	-	Yüksekliği	2,4	metre
Kanat Lokasyonu (x)	5,8	metre	Sivrilme Oranı	0,3	-
Gövde			Hücum Kenar Açısı	37	derece
Uzunluk	16	metre	Kuyruk Lokasyonu (x)	12,5	metre
Maksimum Kesit Alanı	4,5	metrekare	Ağırlık		
Hava Alığı Alanı	1	metrekare	Boş Ağırlığı	19000	kg
			Dahili Silah Yuvaları	5000	kg
			Yakıt	1205	kg



Şekil 4.2. Delta + kanarlı tasarım alternatifi-2

Çizelge 4.3. Ok kanatlı tasarım alternatifi-3

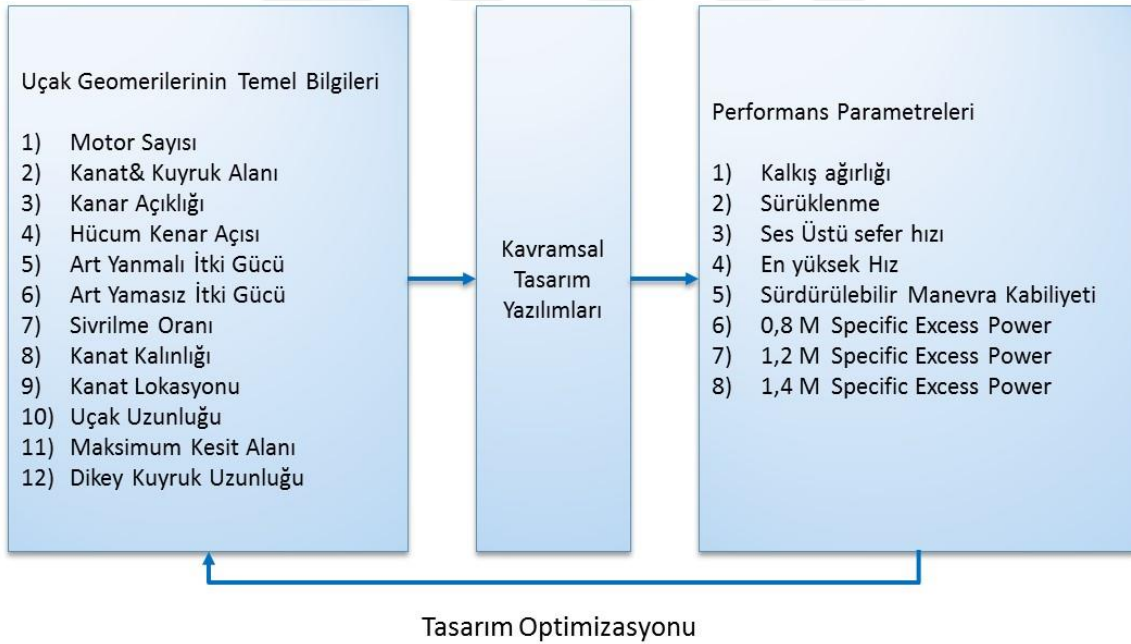
Tasarım 3 Ok Kanatlı Planform					
Motor		Birimi	Yatay Kuyruk		
Sayısı	2	adet	Kuyruk Alanı	20	metrekare
Art Yanmalı İtici Gücü	200	kN	Açıklık Oranı	2,4	-
Art Yanmasız İtici Gücü	140	kN	Sivrilme Oranı	0,2	-
Kanat			Hücum Kenar Açısı	46	derece
Kanat Alanı	63	metrekare	Kuyruk Lokasyonu (x)	14,5	metre
Kanat Açıklık Oranı	3,1	-	Dikey Kuyruk		
Kanat Sivrilme Oranı	0,21	-	Sayısı	2	adet
Hücum Kenar Açısı	46	derece	Kuyruk Alanı	10	metrekare
Ortalama Kalınlık	0,04	-	Yüksekliği	2,4	metre
Kanat Lokasyonu (x)	6,5	metre	Sivrilme Oranı	0,3	-
Gövde			Hücum Kenar Açısı	37	derece
Uzunluk	18,5	metre	Kuyruk Lokasyonu (x)	14	metre
Maksimum Kesit Alanı	4,5	metrekare	Ağırlık		
Hava Alığı Alanı	1	metrekare	Boş Ağırlığı	19000	kg
			Dahili Silah Yuvaları	5000	kg
			Yakıt	1205	kg



Şekil 4.3. Ok kanatlı tasarım alternatifi-3

4.2. Kriterlerin Belirlenmesi

Bir hava aracı tasarımına başlanmadan önce ilk olarak hava aracının genel boyutlandırmasına ve kaba geometrisine karar verilmektedir. Havacılık ve Uzay Mühendisliğinin konusu olan bu karar için kavramsal tasarım aşamasında kullanılan çeşitli benzetim ve analiz yazılımlarından yararlanılmaktadır. Bunlardan bazıları, dünyaca ünlü havacılık firmaları tarafından geliştirilerek sadece kendileri tarafından kullanılmaktadır. Üçüncü parti yada kişiler ile paylaşılmamaktadır. Bunun yanında açık kaynak olarak kullanılan yazılımlarda mevcuttur. Örneğin Stanford Üniversitesinin açık kaynak olarak paylaştığı, “SUAVE” isimli yazılım hava araçlarının kavramsal tasarımı için kullanılabilir. Bu tez çalışması sırasında Orta Doğu Teknik Üniversitesinde Havacılık ve Uzay Mühendisliği bölümünde geliştirilmiş olan kurum içi bir makro kodu bu yazılım yerine kullanılmıştır.

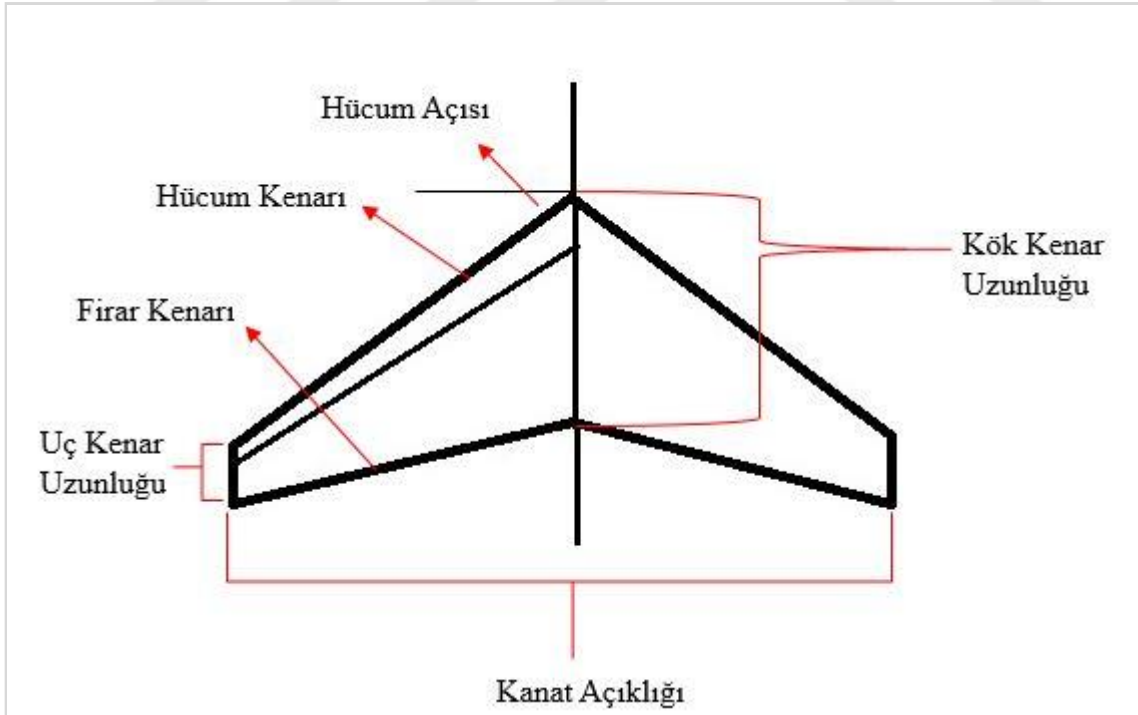


Şekil 4.4. Kavramsal tasarım yazılımları çalışma mantığı

Bu tip yazılımlar temel olarak Raymer’in “Aircraft Design A Conceptual Approach” isimli kitabında açıklanmış olan eşitlikleri kullanarak çıktıları üretmektedir. Bazı aerodinamik veriler için varsayımlar yapılmaktadır. Tüm alternatiflere aynı varsayımlar uygulandığı için veri setinin değerlendirmesinde problem olmayacağı değerlendirilmiştir.

Yazılımın, performans çıktılarını üretebilmesi için gerekli olan bilgiler aşağıdaki gibidir. Bu girdilere bölüm başında bahsedilen uçakların spesifikasyonları ve uzman görüşleri baz alınarak karar verilmiştir [23].

1. Motor Sayısı
2. Art Yanmalı İtici Gücü
3. Art Yanmasız İtici Gücü
4. Kanat, Yatay Kuyruk, Dikey Kuyruk Alanı
5. Kanat Açıklık Oranı(Kanat, Yatay Kuyruk, Dikey Kuyruk)
6. Sivrilme Oranı(Kanat, Yatay Kuyruk, Dikey Kuyruk)
7. Hücüm Kenar Açısı(Kanat, Yatay Kuyruk, Dikey Kuyruk)
8. Kanat Kalınlığı
9. Kanat Lokasyonu(Kanat, Yatay Kuyruk, Dikey Kuyruk)
10. Uçak Uzunluğu
11. Maksimum Kesit Alanı
12. Dikey Kuyruk Uzunluğu



Şekil 4.5. Kanat tasarım parametreleri

Girdilerin, Raymer'in kitabında belirtilen kurallara göre kavramsal tasarım yazılımlarında analiz edilmesi sonucunda aşağıda belirtilen çıktılar elde edilmektedir. Bu çıktılar aynı zamanda problem çözümü için gerekli olan kriterleri oluşturmaktadır. Normal şartlarda uçak performansı hakkında fikir veren toplam 20 adet kriter bulunmaktadır verilerin gizliliğinin korunması amacıyla sadece jenerik olan 8 tanesi bu tez çalışmasında kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar bu 8 kritere bağlı kalınarak üretilmiştir.

1. Kalkış Ağırlığı
2. 0,8 M Specific Excess Power
3. 1,2 M Specific Excess Power
4. 1,4 M Specific Excess Power
5. Sürdürülebilir Manevra Kabiliyeti
6. Sürüklenme
7. Ses Üstü Sefer Hızı
8. En Yüksek Hız

Kalkış Ağırlığı: Uçağın kendisinden beklenen görevi başarılı bir şekilde yapabilmesi için gereken faydalı yükleri ve tam kapasiteli olarak yakıtını taşıdığı ağırlığıdır. Uçuş performansının iyi olabilmesi için düşük olması tercih edilir.

Specific Excess Power: Uçağın belirli bir hızda motorundan çekilebilen güç ile uçuşu idame ettirmesi için gereken güç arasındaki farktır. Fark ne kadar çok ise uçağın yapabileceği hareket kabiliyeti o kadar geniş olur.

Sürdürülebilir Manevra Kabiliyeti: Uçağın optimum hız ve irtifasını sabit tutarak dönüş yapabilmesini tanımlayan performans parametresidir. Uçağa etkilen yerçekimi kuvvetinin katları ile ifade edilir.

Sürüklenme: Uçağın motordan aldığı itki kuvvetine ters yönde etkiyen, uçağın geometrik formundan ve uçağın havada kalmasını sağlayan aerodinamik özelliklerinden kaynaklanan kuvvettir. Düşük olması kabiliyetlerinin artmasında yardımcı olur. Optimum tasarım yapılırken minimize edilmesi gereken öncelikli unsur olarak değerlendirilmektedir.

Ses Üstü Sefer Hızı: Bir hava aracının motorlarını art yanmasız çalıştırarak ulaşabileceği ses üstü hızın düzeyidir.

En Yüksek Hız: Hava aracının motor kapasitesini bütünüyle(art yanıcı dahil) kullanarak ulaşabileceği maksimum hızı gösteren ifadedir.

4.3. Karar Matrisinin Oluşturulması

Kurum içi yazılımda, günümüzde kullanılan üç farklı planform tipine sahip uçak tasarımı analiz edilerek çıktılar elde edilmiştir. Bu verilerin doğrudan çeşitli havacılık ve uzay mühendislerinin kullandığı denklemlerin sonucu elde edilen nesnel bilgilere dayanıyor olması diğer çok kriterli karar verme uygulamalarında sıkça rastlanmayan bir durumdur. Literatürde yapılan çalışmalarda bazı dilsel değişkenler ile öznel görüşlerinde karar matrisinde yer aldığı görülmektedir.

Çizelge 4.4. Karar matrisi(A)

		Yamuk Kanatlı	Delta + Kanatlı	Ok Kanatlı	
#	Kriterler	Tasarım 1	Tasarım 2	Tasarım 3	Birim
1	Kalkış Ağırlığı *	26205	25205	25205	kg
2	SEP @Max A/B	417	440	434	m/s @0,8M
3	SEP @Max A/B	470	442	490	m/s @1,2M
4	SEP @Max A/B	473	420	494	m/s @1,4M
5	Sürdürülebilir Manevra Kabiliyeti	23	22	22	deg/sec @0,6M
6	Sürüklenme *	93	98	92	kN @1M
7	Sesüstü Seyrüsefer Hızı	1,33	1,15	1,3	M
8	En Yüksek Hız	1,85	1,87	1,9	M

Savaş uçağı tasarımı yapabilmek için temel oluşturan planform tipi için üç farklı alternatif öngörüşmüştür. Bu alternatifler kavamsal tasarım yazılımları ile analiz edilerek, kriterleri oluşturan performans değerleri üretilmiştir. Elde edilen performans değerleri karar matrisinin verilerini oluşturmuştur. Sonrasında elde edilen karar matrisi TOPSIS ve ELECTRE yöntemlerinin girdisi olarak kullanılmıştır.

4.4. TOPSIS Uygulaması

Karar matrisi oluşturulduktan sonra problem çözümü için uygun olarak belirlenen yöntemlerden TOPSIS metodu ilk olarak uygulanmıştır. Adımların net bir şekilde anlaşılabilmesi için akış şeması oluşturulmuştur.



Şekil 4.6. TOPSIS yöntemi akış şeması

Akış şemasında belirtilen adımlar sırasıyla uygulanmış ve aşağıdaki çizelgeler elde edilmiştir.

Çizelge 4.5. TOPSIS karar matrisi(A)-1

Karar Matrisi (A)				
Alternatifler	Kalkış Ağırlığı *	SEP @0,8M	SEP @1,2M	SEP @1,4M
Tasarım 1	26205	417	470	473
Tasarım 2	25205	440	442	420
Tasarım 3	25205	434	490	494
Birim	kg	m/s	m/s	m/s
Ağırlık	0,09	0,08	0,08	0,08

Çizelge 4.6. TOPSIS karar matrisi(A)-2

Alternatifler	Sürdürülebilir Manevra Kabiliyeti	Sürüklenme *	Ses Üstü Seyrüsefer Hızı	En Yüksek Hız
Tasarım 1	23	93	1,33	1,85
Tasarım 2	22	98	1,15	1,87
Tasarım 3	22	92	1,3	1,9
Birim	deg/sec	kN	M	M
Ağırlık	0,22	0,18	0,15	0,12

Her kriter için tecrübeli pilotlar ile Havacılık ve Uzay Mühendisliği bölüm öğretim üyelerinin görüşleri doğrultusunda ağırlık ataması yapılmıştır. İki farklı öğretim üyesi ve üç farklı pilottan kriterler için toplamları bire eşit olacak şekilde ağırlık tahmininde bulunmaları istenmiştir. Sonrasında her kriter için ortalama ağırlıklar hesaplanmış ve karar matrisine işlenmiştir.

3.14 numaralı denklem kullanılarak veriler standart hale getirilmiştir.

Çizelge 4.7. TOPSIS standart karar matrisi(R)-1

Standart Karar Matrisi (R)				
Alternatifler	Kalkış Ağırlığı *	SEP @0,8M	SEP @1,2M	SEP @1,4M
Tasarım 1	0,59232	0,55932	0,58013	0,58934
Tasarım 2	0,56972	0,59017	0,54557	0,52330
Tasarım 3	0,56972	0,58212	0,60482	0,61550

Çizelge 4.8. TOPSIS standart karar matrisi(R)-2

Standart Karar Matrisi (R)				
Alternatifler	Sürdürülebilir Manevra Kabiliyeti	Sürüklenme *	Ses Üstü Seyrüsefer Hızı	En Yüksek Hız
Tasarım 1	0,59445	0,56897	0,60824	0,57012
Tasarım 2	0,56861	0,59956	0,52592	0,57629
Tasarım 3	0,56861	0,56285	0,59452	0,58553

Her kriterin ağırlıklar ilgili değerler ile çarpılarak Ağırlıklı Karar Matrisi oluşturulmuştur. İdeal çözüm elemanları yeşil, negatif ideal çözüm elemanları kırmızı ile işaretlenerek çizelgenin alt satırına eklenmiştir.

Çizelge 4.9. TOPSIS ağırlıklı standart karar matrisi(V)-1

Ağırlıklı Standart Karar Matrisi (V)				
	Kalkış Ağırlığı *	SEP @0,8M	SEP @1,2M	SEP @1,4M
Tasarım 1	0,05331	0,04475	0,04641	0,04715
Tasarım 2	0,05127	0,04721	0,04365	0,04186
Tasarım 3	0,05127	0,04657	0,04839	0,04924
A +	0,05127	0,04721	0,04839	0,04924
A -	0,05331	0,04475	0,04365	0,04186

Çizelge 4.10. TOPSIS ağırlıklı standart karar matrisi(V)-2

Ağırlıklı Standart Karar Matrisi (V)				
	Sürdürülebilir Manevra Kabiliyeti	Sürüklenme *	Ses Üstü Seyrüsefer Hızı	En Yüksek Hız
Tasarım 1	0,13078	0,10241	0,09124	0,06841
Tasarım 2	0,12509	0,10792	0,07889	0,06915
Tasarım 3	0,12509	0,10131	0,08918	0,07026
A +	0,13078	0,10131	0,09124	0,07026
A -	0,12509	0,10792	0,07889	0,06841

İdeal ayırım ölçüleri 3.20 numaralı denklem ile hesaplanmıştır.

Çizelge 4.11. İdeal ayırım ölçüsü hesaplama-1

Si* Hesaplama	Kalkış Ağırlığı *	SEP @0,8M	SEP @1,2M	SEP @1,4M	Sürdürülebilir Manevra Kabiliyeti
Tasarım 1	0,0000041384	0,0000060909	0,0000039003	0,0000043815	0,0000000000
Tasarım 2	0,0000000000	0,0000000000	0,0000224656	0,0000544059	0,0000323313
Tasarım 3	0,0000000000	0,0000004145	0,0000000000	0,0000000000	0,0000323313

Çizelge 4.12. İdeal ayırım ölçüsü hesaplama-2

Si* Hesaplama	Sürüklenme *	Ses Üstü Seyrüsefer Hızı	En Yüksek Hız	Toplam	Kök Toplam
Tasarım 1	0,0000012127	0,0000000000	0,0000034190	0,00002	0,00481
Tasarım 2	0,0000436576	0,0001524658	0,0000012308	0,00031	0,01751
Tasarım 3	0,0000000000	0,0000042352	0,0000000000	0,00004	0,00608

Negatif ideal ayırım ölçüsü 3.21 numaralı denklem ile hesaplanmıştır.

Çizelge 4.13. Negatif ideal ayırım ölçüsü hesaplama-1

Si- Hesaplama	Kalkış Ağırlığı *	SEP @0,8M	SEP @1,2M	SEP @1,4M	Sürdürülebilir Manevra Kabiliyeti
Tasarım 1	0,0000000000	0,0000000000	0,0000076445	0,0000279084	0,0000323313
Tasarım 2	0,0000041384	0,0000060909	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000
Tasarım 3	0,0000041384	0,0000033275	0,0000224656	0,0000544059	0,0000000000

Çizelge 4.14. Negatif ideal ayırım ölçüsü hesaplama-2

Si- Hesaplama	Sürüklenme *	Ses Üstü Seyrüsefer Hızı	En Yüksek Hız	Toplam	Kök Toplam
Tasarım 1	0,0000303178	0,0001524658	0,0000000000	0,00025	0,01583
Tasarım 2	0,0000000000	0,0000000000	0,0000005470	0,00001	0,00328
Tasarım 3	0,0000436576	0,0001058790	0,0000034190	0,00024	0,01540

Son olarak 3.22 numaralı denkleme göre, İdeal Çözüm Görelî Yakınlığı hesaplanmıştır.

Çizelge 4.15. İdeal çözüm görelî yakınlığı

Ci* Hesaplama	Ci* Hesaplama
Tasarım 1	0,766959785
Tasarım 2	0,157888148
Tasarım 3	0,716962863

TOPSIS metodun elde edilen sonuçlara göre:

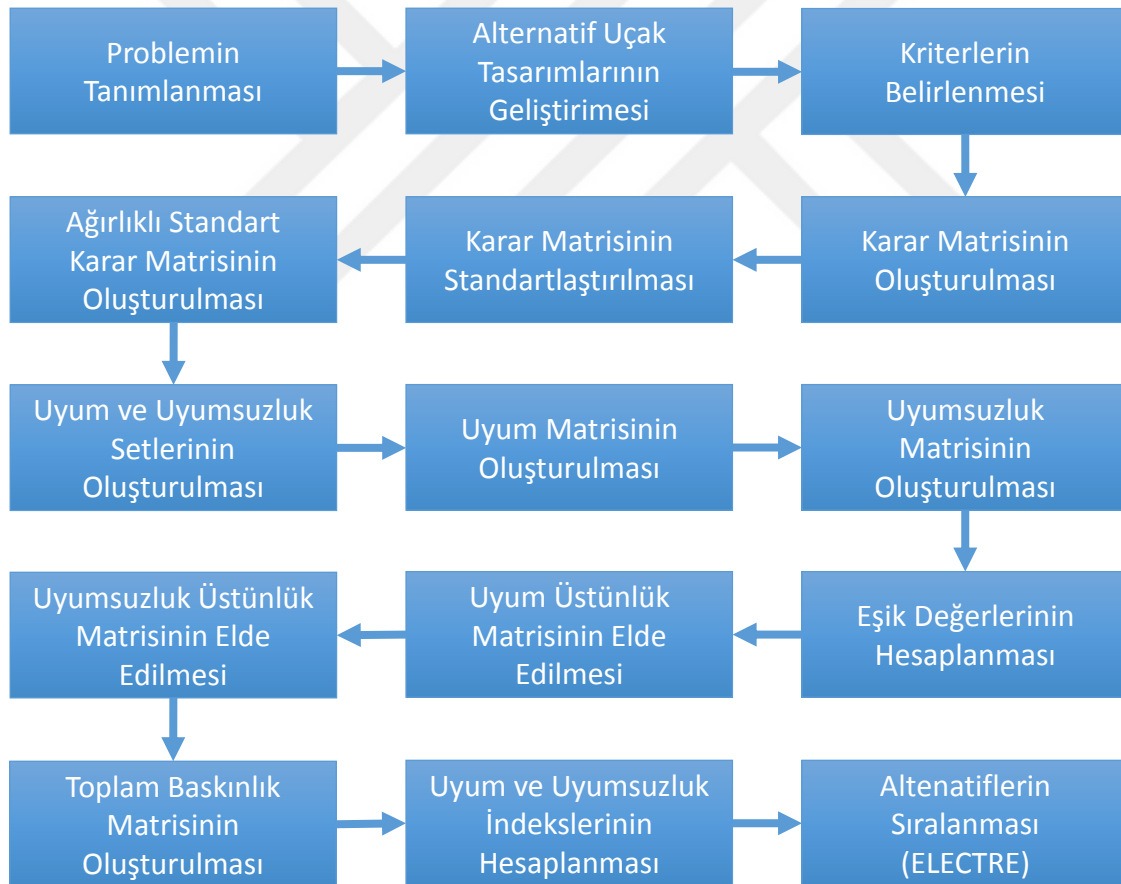
1. Bir numaralı yamuk kanat konfigürasyonuna sahip olan uçak tasarımı 0,766
2. İki numaralı ok kanat konfigürasyonuna sahip olan uçak tasarımı 0,157
3. Üç numaralı delta kanat ve kanart konfigürasyonuna sahip olan uçak tasarımı 0,716

İdeal çözüme görelî yakınlık derecesini almışlardır. Karar vericinin TOPSIS metoduna dayanarak sırasıyla 1>3>2 numaralı tasarımlar üzerine yoğunlaşması mantıklı bulunmuştur. Nitekim 4.1. bölümde kısaca özelliklerinden bahsedilen mevcut dünya üzerindeki uçaklarında yamuk kanatlı planform şekline sahip oldukları görülmektedir. Bu durum elde edilen sonucun güvenilirliğini daha da pekiştirmektedir. Sonuçlara göre bir

numaradan sonra, üç numaralı ok kanat konfigürasyonu tercih edilmelidir. Bu iki konfigürasyonun ideal çözüme ve birbirlerine son derece yakın, üç numaralı konfigürasyonun da hattı sayılır bir miktarda ideal çözüme uzak olduğu açıkça görülmektedir.

4.5. ELECTRE Uygulaması

TOPSIS uygulamasında kullanılan karar matrisinin aynısı ELECTRE uygulamasının başında da kullanılarak uygulamaya başlanmıştır. Ağırlıklar TOPSIS'te kullanılan değerler ile aynı olacak şekilde alınmıştır. ELECTRE yönteminin adımları şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.7. ELECTRE yöntemi akış şeması

Çizelge 4.16. ELECTRE karar matrisi(A)-1

Karar Matrisi (A)				
#	1	2	3	4
Alternatives	Kalkış Ağırlığı *	SEP @0,8M	SEP @1,2M	SEP @1,4M
Tasarım 1	26205	417	470	473
Tasarım 2	25205	440	442	420
Tasarım 3	25205	434	490	494
Birim	kg	m/s	m/s	m/s
Ağırlık	0,09	0,08	0,08	0,08

Çizelge 4.17. ELECTRE karar matrisi(A)-2

Karar Matrisi (A)				
#	5	6	7	8
Alternatives	Sürdürülebilir Manevra Kabiliyeti	Sürüklenme *	Ses Üstü Seyrüsefer Hızı	En Yüksek Hız
Tasarım 1	23	93	1,33	1,85
Tasarım 2	22	98	1,15	1,87
Tasarım 3	22	92	1,3	1,9
Birim	deg/sec	kN	M	M
Ağırlık	0,22	0,18	0,15	0,12

3.2 numaralı denklem kullanılarak veriler standart hale getirilmiştir.

Çizelge 4.18. ELECTRE standart karar matrisi(X)-1

Standart Karar Matrisi (X)				
	Kalkış Ağırlığı *	SEP @0,8M	SEP @1,2M	SEP @1,4M
Tasarım 1	0,59232	0,55932	0,58013	0,58934
Tasarım 2	0,56972	0,59017	0,54557	0,52330
Tasarım 3	0,56972	0,58212	0,60482	0,61550

Çizelge 4.19. ELECTRE standart karar matrisi(X)-2

Standart Karar Matrisi (X)				
	Sürdürülebilir Manevra Kabiliyeti	Sürüklenme *	Ses Üstü Seyrüsefer Hızı	En Yüksek Hız
Tasarım 1	0,59445	0,56897	0,60824	0,57012
Tasarım 2	0,56861	0,59956	0,52592	0,57629
Tasarım 3	0,56861	0,56285	0,59452	0,58553

Her kriterin ağırlıklar ilgili değerler ile çarpılarak Ağırlıklı Karar Matrisi oluşturulmuştur.

Çizelge 4.20. ELECTRE ağırlıklı standart karar matrisi(y)-1

Ağırlıklı Standart Karar Matrisi (Y)				
	1	2	3	4
	Kalkış Ağırlığı *	SEP @0,8M	SEP @1,2M	SEP @1,4M
Tasarım 1	0,05331	0,04475	0,04641	0,04715
Tasarım 2	0,05127	0,04721	0,04365	0,04186
Tasarım 3	0,05127	0,04657	0,04839	0,04924

Çizelge 4.21. ELECTRE ağırlıklı standart karar matrisi(Y)-2

Ağırlıklı Standart Karar Matrisi (Y)				
	5	6	7	8
	Sürdürülebilir Manevra Kabiliyeti	Sürüklenme *	Ses Üstü Seyrüsefer Hızı	En Yüksek Hız
Tasarım 1	0,13078	0,10241	0,09124	0,06841
Tasarım 2	0,12509	0,10792	0,07889	0,06915
Tasarım 3	0,12509	0,10131	0,08918	0,07026

Uyum ve uyumsuzluk setleri ELECTRE 4.adımda anlatıldığı gibi belirlenir.

Çizelge 4.22. Uyum ve uyumsuzluk setlerinin oluşturulması

Uyum ve Uyumsuzluk Setlerinin Oluşturulması			
k	l	C_{kl}	D_{kl}
1	2	3,4,5,6,7	1,2,8
1	3	5,7	1,2,3,4,6,8
2	1	1,2,8	3,4,5,6,7
2	3	2,5	1,3,4,6,7,8
3	1	1,2,3,4,6,8	5,7
3	2	3,4,5,6,7,8	1,2

Belirlenen setlere göre uyum matris hesaplamaları aşağıdaki şekilde yapılır.

Çizelge 4.23. Uyum matris elemanlarının hesaplanması

Uyum Matrisinin Oluşturulması	C_{kl}
$C_{12} = w_3 + w_4 + w_5 + w_6 + w_7$	0,02
$C_{13} = w_5 + w_7$	0,00
$C_{21} = w_1 + w_2 + w_8$	1,00
$C_{23} = w_2 + w_5$	0,00
$C_{31} = w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_6 + w_8$	1,01
$C_{32} = w_3 + w_4 + w_5 + w_6 + w_7 + w_8$	0,02

$$C = \begin{bmatrix} - & 0,71 & 0,37 \\ 0,29 & - & 0,30 \\ 0,63 & 0,83 & - \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

Benzer şekilde uyumsuzluk matris elemanları da hesaplanmıştır.

Çizelge 4.24. Uyumsuzluk matris elemanlarının hesaplanması-1

Uyumsuzluk Matrisinin Oluşturulması						
k	l	D_{kl}			$ y_{kj} - y_{lj} $	$\max_{j \in D_{kl}} y_{kj} - y_{lj} $
1	2	1,2,8	j=1	$ y_{11} - y_{21} $	0,002034302	0,00247
			j=2	$ y_{12} - y_{22} $	0,002467976	
			j=8	$ y_{18} - y_{28} $	0,000739621	
1	3	1,2,3,4,6,8	j=1	$ y_{11} - y_{31} $	0,002034302	0,00209
			j=2	$ y_{12} - y_{32} $	0,001824156	
			j=3	$ y_{13} - y_{33} $	0,001974911	
			j=4	$ y_{14} - y_{34} $	0,002093200	
			j=6	$ y_{16} - y_{36} $	0,001101232	
			j=8	$ y_{18} - y_{38} $	0,001849053	
2	1	3,4,5,6,7	j=3	$ y_{23} - y_{13} $	0,002764876	0,01235
			j=4	$ y_{24} - y_{14} $	0,005282838	
			j=5	$ y_{25} - y_{15} $	0,005686064	
			j=6	$ y_{26} - y_{16} $	0,005506158	
			j=7	$ y_{27} - y_{17} $	0,012347704	
2	3	1,3,4,6,7,8	j=1	$ y_{21} - y_{31} $	0	0,01029
			j=3	$ y_{23} - y_{33} $	0,004739787	
			j=4	$ y_{24} - y_{34} $	0,007376038	
			j=6	$ y_{26} - y_{36} $	0,00660739	
			j=7	$ y_{27} - y_{37} $	0,010289754	
			j=8	$ y_{28} - y_{38} $	0,001109432	
3	1	5,7	j=5	$ y_{35} - y_{15} $	0,005686064	0,00569
			j=7	$ y_{37} - y_{17} $	0,002057951	
3	2	1,2	j=1	$ y_{31} - y_{21} $	0	0,00064
			j=2	$ y_{32} - y_{22} $	0,00064382	

Çizelge 4.25. Uyumsuzluk matris elemanlarının hesaplanması-2

Uyumsuzluk Matrisinin Oluşturulması						
k	l	t=1	t=2	t=3	t=4	t=5
1	2	0,00203	0,00247	0,00276	0,00528	0,00569
1	3	0,00203	0,00182	0,00197	0,00209	0,00569
2	1	0,00203	0,00247	0,00276	0,00528	0,00569
2	3	0,00000	0,00064	0,00474	0,00738	0,00000
3	1	0,00203	0,00182	0,00197	0,00209	0,00569
3	2	0,00000	0,00064	0,00474	0,00738	0,00000
k	l	t=5	t=6	t=7	t=8	$\max_j y_{kj} - y_{lj} $
1	2	0,00569	0,00551	0,01235	0,00074	0,01235
1	3	0,00569	0,00110	0,00206	0,00185	0,00569
2	1	0,00569	0,00551	0,01235	0,00074	0,01235
2	3	0,00000	0,00661	0,01029	0,00111	0,01029
3	1	0,00569	0,00110	0,00206	0,00185	0,00569
3	2	0,00000	0,00661	0,01029	0,00111	0,01029

3.8 numaralı denklem kullanılarak Uyumsuzluk matrisi oluşturulur.

$$D = \begin{bmatrix} - & 0,20 & 0,37 \\ 1 & - & 1 \\ 1 & 0,06 & - \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

Aşağıda belirtilen formüller kullanılarak \underline{c} eşik değeri hesaplanır.

$$\underline{c} = \frac{1}{m(m-1)} \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^m c_{kl} \implies 0,52 \quad (4.3)$$

C matrisindeki değerler eğer eşik değerinden yüksek ise 1 değilse 0 değeri atanarak Uyum Üstünlük (F) matrisi elde edilir.

$$\begin{aligned} c_{kl} \geq \underline{c} &\implies f_{kl} = 1 \\ c_{kl} < \underline{c} &\implies f_{kl} = 0 \end{aligned} \quad (4.4)$$

Çizelge 4.26. Uyum üstünlük matris elemanları

Uyum Üstünlük Matrisi (F)	
f_{12}	1
f_{13}	0
f_{21}	0
f_{23}	0
f_{31}	1
f_{32}	1

$$F = \begin{bmatrix} - & 1 & 0 \\ 0 & - & 0 \\ 1 & 1 & - \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

Aşağıda belirtilen formüller kullanılarak \underline{d} eşik değeri hesaplanır.

$$\underline{d} = \frac{1}{m(m-1)} \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^m d_{kl} \Rightarrow 0,61 \quad (4.6)$$

D matrisindeki değerler eğer eşik değerinden yüksek ise 1 değilse 0 değeri atanarak Uyumsuzluk Üstünlük (G) matrisi elde edilir.

$$\begin{aligned} d_{kl} \geq \underline{d} &\Rightarrow g_{kl} = 1 \\ d_{kl} < \underline{d} &\Rightarrow g_{kl} = 0 \end{aligned} \quad (4.7)$$

Çizelge 4.27. Uyumsuzluk üstünlük matris elemanları

Uyumsuzluk Üstünlük Matrisi (G)	
g_{12}	0
g_{13}	0
g_{21}	1
g_{23}	1
g_{31}	1
g_{32}	0

$$G = \begin{bmatrix} - & 0 & 0 \\ 1 & - & 1 \\ 1 & 0 & - \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

Son adımda f_{kl} ve g_{kl} elemanları çarpılarak Toplam Baskınlık Matrisi (E) elde edilir.

$$E = \begin{bmatrix} - & 0 & 0 \\ 0 & - & 0 \\ 1 & 0 & - \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

ELECTRE metodu kullanılarak yapılan analiz sonucunda Toplam baskınlık matrisinin sadece bir elemanın 1'e eşit olduğu görülmektedir. ($e_{31} = 1$) Bu matrisin bize gösterdiği kadarıyla üç numaralı alternatif, bir numaralı alternatife nazaran daha üstün davranış sergilemektedir. İki numaralı alternatif için bu matrise dayanarak bir yorum yapılması

mümkün değildir. Bu aşamada yorum yapabilmek için net uyum ve uyumsuzluk indekslerini hesaplanmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.28. Uyum ve uyumsuzluk indekslerinin hesaplanması

Net Uyum ve Uyumsuzluk İndekslerinin Hesaplanması	
$c_1 = (c_{12}+c_{13})-(c_{21} + c_{31})$	0,16
$c_2 = (c_{21}+c_{23})-(c_{12} + c_{32})$	-1,05
$c_3 = (c_{31}+c_{32})-(c_{13} + c_{23})$	0,79
$d_1 = (d_{12}+d_{13})-(d_{21} + d_{31})$	-1,43
$d_2 = (d_{21}+d_{23})-(d_{12} + d_{32})$	1,74
$d_3 = (d_{31}+d_{32})-(d_{13} + d_{23})$	-0,31

Yukarıdaki çizelgeden de anlaşılacağı üzere iki numaralı tasarım uyum indekslerin arasından en küçük değer olan -1,05 'i alarak ve uyumsuzluk indeksleri arasından en yüksek değer olan 1,74 'ü alarak tercih sıralamasında sonuncu olmuştur. Karar vericinin ELECTRE metoduna dayanarak sırasıyla 3>1>2 numaralı tasarımlar üzerine yoğunlaşması mantıklı olacaktır.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tezde üretilecek bir savaş uçağı için seçilmek istenen planform şekline bilimsel yollarla karar verilmek istenmiştir. Bu nedenle dünya üzerindeki çeşitli, kabiliyetleri herkes tarafından kabul edilmiş savaş uçaklarından esinlenilerek üç farklı planform tasarımı oluşturulmuştur. Bu üç farklı tasarımın sahip olacağı performans parametreleri(kriterler) kavramsal tasarım yazılımları ile hesaplanarak karar matrisleri oluşturulmuştur. Üretilen veriler problemin yapısına uygun olması nedeniyle TOPSIS ve ELECTRE metotları ile analiz edilmiştir.

Yöntemlerden elde edilen sonuçlara göre, iki numaralı delta ve kanatlı yapıya sahip tasarımın istenen yetkinliği en uzak olan alternatif olduğu anlaşılmıştır. KV'nin bu alternatifi son sırada tercih etmesi gerektiği vurgulanmıştır. Mantıklı bir karar için değerleri birbirine yakın olan üç ya da iki numaralı tasarımlar ideal seçim olarak önerilmektedir. TOPSIS yöntemine göre bir numaralı yamuk kanatlı planform tasarımı, ELECTRE yöntemine göre ise üç numaralı ok kanatlı planform tasarımının ilk sırada tercih edilmesi gerektiği sonucu elde edilmiştir. İki alternatifin değerlerinin birbirine yakın olması bu iki yöntemden de elde edilen sıranın farklı olmasının sebebi olarak anlaşılmıştır. Tasarlanmak istenen savaş uçağı bu iki alternatif planformdan biri seçilerek geliştirilebilir.

İlerleyen çalışmalarda planform tipi aynı olan ama detayda farklı geometrik özelliklere sahip tasarımlar için benzer çalışmaların yürütülebileceği düşünülmektedir. Bunu gerçekleştirebilmek için daha hassas performans verisi üretebilecek kavramsal tasarım yazılımlarına ihtiyaç duyulmaktadır.



KAYNAKLAR

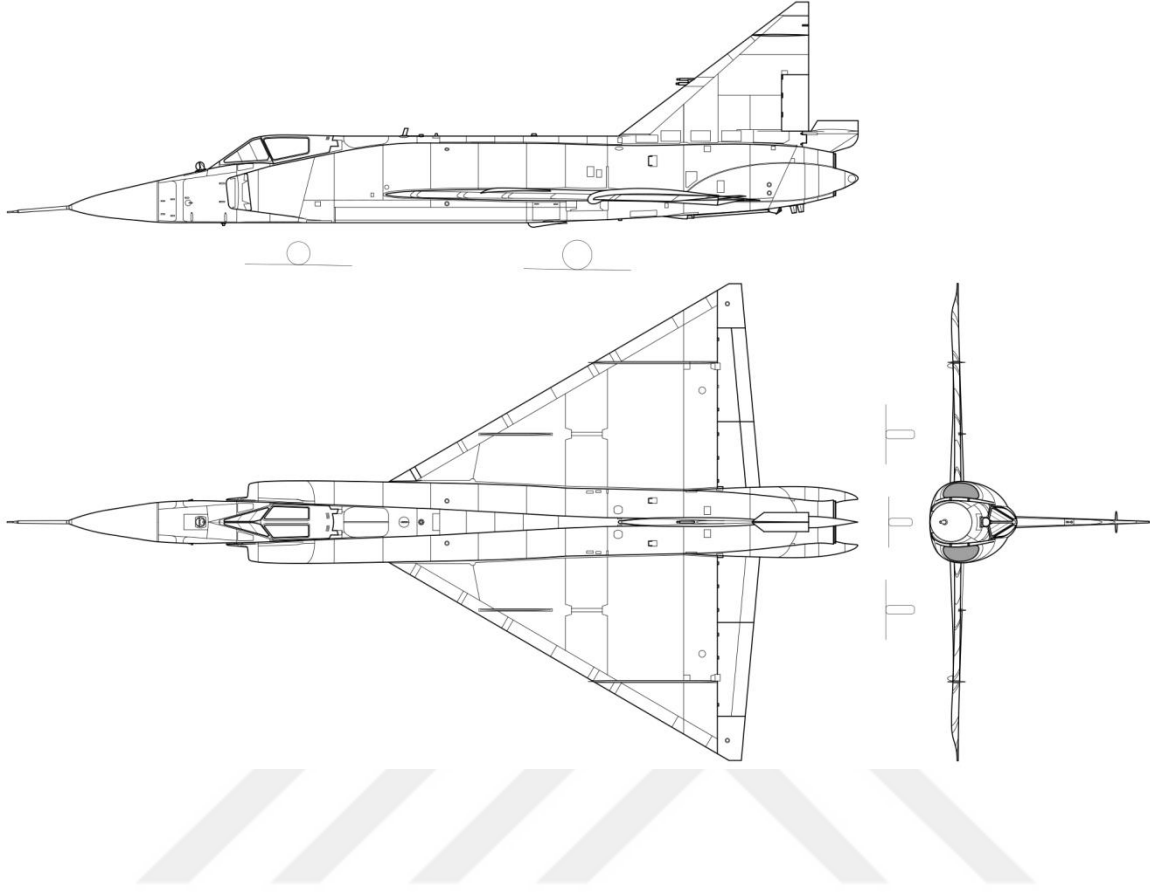
1. Tekin, H. (1996). *Eğitimde Ölçme ve Değerlendirme* (Dokuzuncu Baskı). Ankara: Yargı Yayınları, 1-28.
2. Tzeng, G., and Huang, J. J. (2011). *Multiple Attribute Decision Making : Methods and Applications(1st Eddition)*. Florida: Chapman and Hall/CRC, 1-15.
3. Topçu, Y. İ. (2000). *Çok Ölçütlü Sorun Çözümüne Yönelik Bir Bütünleşik Karar Destek Modeli*, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 4-11.
4. Dumanoğlu, S. (2010). İMKB’de İşlem Gören Çimento Şirketlerinin Mali Performansının TOPSIS Yöntemi İle Değerlendirilmesi. *Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 29 (2), 323-324
5. Çınar, Y. (2004). *Çok Nitelikli Karar Verme ve Bankaların Mali Performanslarının Değerlendirilmesi Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, 48.
6. Çelikyay, S. (2002). *Çok amaçlı savaş uçağı seçiminde çok ölçütlü karar verme yöntemlerinin uygulanması*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 95-98.
7. Tüysüz, G. (2014). *Çok kriterli karar verme teknikleri ile savaş uçağı seçimi*, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 29-31.
8. Dozic, S., and Kalic, M. (2015). Comparison of two MCDM methodologies in aircraft type selection problem. *Transportation Research Procedia*, 10, 910 – 919
9. Cheng, C. H., Yang, K .L., and Hwang, C. L. (1997). Evaluating attack helicopters by AHP based on linguistic variable weight. *European Journal of Operational Research*, 116, 423-435
10. Wang, T.C., and Chang, T. H. (2007). Application of TOPSIS in evaluating initial training aircraft under a fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, 33, 870–880
11. Sanchez-Lozano, J. M., Serna, J., and 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
12. Dozic, S. (2019). Multi-criteria decision making methods: Application in the aviation industry. *Journal of Air Transport Management*, 79, 101683.
13. Aksakal, E., ve Dağdeviren, M. (2010). ANP ve DEMATEL Yöntemleri ile Personel Seçimi Problemine Bütünleşik Bir Yaklaşım. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25-4, 905- 913.

14. Dağdeviren, M. (2005). *Performans Değerlendirme Sürecinin Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri ile Bütünleşik Modellenmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 72-85.
15. Wu, W. W., and Lee, Y. T. (2007). Developing Global Managers' Competencies Using The Fuzzy DEMATEL Method. *Expert Systems with Applications*, 32, 499-507.
16. Huang, C. Y., Shyu, J. Z., and Tzeng, G. H. (2007). Reconfiguring The Innovation Policy Portfolios For Taiwan's SIP Mall Industry. *Technovation*, 27, 744-765.
17. Liou, J.J.H., Yen, L., and Tzeng, G. H. (2008). Building An Effective Safety Management System for Airlines. *Journal of Air Transport Management*, 14, 20-26.
18. Seyed-Hosseini, S. M., Safaei, N., and Asgharpour, M. J. (2006). Reprioritization of Failures in A System Failure Mode and Effects Analysis by Decision Making Trial and Evaluation Laboratory Technique. *Reliability Engineering and System Safety*, 91, 872-881.
19. Brans, J. B., Vincke, P., ve Mareschal, B. (1986). How to Select and How to Rank Projects: The PROMETHEE Method. *European Journal of Operational Research*, 24, 228-238.
20. Saaty, T. L. (1996). *Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process*. Pittsburgh: RWS Publications, 24-29.
21. Dağdeviren, M., ve Eraslan, E. (2008). PROMETHEE Sıralama Yöntemi ile Tedarikçi Seçimi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(1), 69-75.
22. Rohan, K. G. (2014). Multi-Criteria Decision Making: An overview of different selection problems and methods. *(IJCSIT) International Journal of Computer Science and Information Technologies*, 5(4), 5643-5646.
23. Raymer, D. P. (1999). *Aircraft Design: A Conceptual Approach(Third Edition)*. Virginia: American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc, 531-569.



EKLER

EK-1. Bir Örnek Savaş Uçağı Planformu



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : Yıldırım, Sercan
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 14.03.1993, Ankara
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (505) 339 00 93
 e-mail : sercanyildirim@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans Tezi	Gazi Üniversitesi / Endüstri Müh.	Devam ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi / Endüstri Müh.	2015
Lise	Gazi Anadolu Lisesi	2011

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2017-Halen	TUSAŞ	Proje Mühendisi
2017-2017	KAREL Elektronik	Üretim Planlama Mh.
2015-2017	Huawei	Proje Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayımlar

Yıldırım, S., (2019). *Yerli savaş uçağı için platform seçim probleminin çok ölçütlü karar verme metotları kullanılarak çözülmesi*. I. Ulusal Mühendislikte Bilimsel ve Mesleki Çalışmalar Kongresi (UMUH BILMES 2019) Özet Bildiri Kitabı, 9

Hobiler

Fitness



GAZİ GELECEKTİR..