

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

GİRİ TABANLI İNSANSIZ HAVA ARACI SEÇİMİ

(Yüksek Lisans Tezi)

**Hazırlayan
Serdar ULUCAN**

**Danışman
Doç. Dr. Emel Kızılkaya AYDOĞAN**

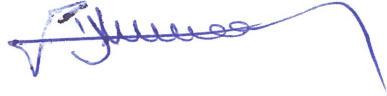
**Eylül 2016
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

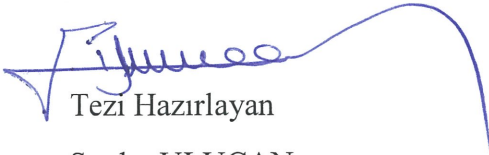
Adı-Soyadı: Serdar ULUCAN


İmza:




YÖNERGEYE UYGUNLUK

“Gri Tabanlı İnsansız Hava Aracı Seçimi” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ne uygun olarak hazırlanmıştır.


Tezi Hazırlayan
Serdar ULUCAN


Danışman
Doç. Dr. Emel Kızılkaya AYDOĞAN


Endüstri Mühendisliği ABD Başkanı
Prof. Dr. Mithat ZEYDAN

Doç. Dr. Emel KIZILKAYA AYDOĞAN danışmanlığında **Serdar ULUCAN** tarafından hazırlanan “**Gri Tabanlı İnsansız Hava Aracı Seçimi**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

23/09/2016

JÜRİ:

Danışman : Doç. Dr. Emel KIZILKAYA AYDOĞAN

Üye : Doç.Dr. Duran TOKSARI

Üye : Doç.Dr. Nimet UZAL

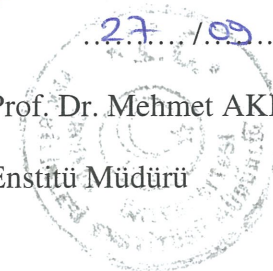
ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 27/09/2016 tarih ve 2016/42-49...sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Mehmet Akkurt
27/09/2016

Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü



TEŞEKKÜR

“Gri Tabanlı İnsansız Hava Aracı Seçimi” konulu tez çalışmamın seçiminde, yürütülmesinde, sonuçlandırılmasında ve sonuçlarının değerlendirilmesinde manevi destek ve yardımlarını esirgemeyen, değerli hocam Sayın Doç.Dr. Emel Kızılkaya AYDOĞAN’a teşekkür ederim.

Ayrıca, çalışmalarım süresince desteğini esirgemeyen ve bana her zaman güvenen eşim Yeşim ULUCAN’a, oyun zamanını çaldığım oğlum Göktuğ ULUCAN’a ve aileme teşekkür eder, saygı ve sevgilerimi sunarım.

Serdar ULUCAN

Kayseri, Eylül 2016

GRI TABANLI İNSANSIZ HAVA ARACI SEÇİMİ

Serdar ULUCAN

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Eylül 2016
Danışman: Doç. Dr. Emel Kızılkaya AYDOĞAN

ÖZET

İhtiyaç duyulan silah sistemlerinin seçimi çok fazla değişken içeren, içinde bulunulan zamana ve şartlara göre değişkenlik gösteren ve birbirini etkileyen elemanların olduğu kompleks bir problemdir. Ülkelerin seçecekleri silah sistemleri, ülke savunmasının bel kemiğini oluşturmaktadır. Teknolojik gelişmelere ayak uydurmak, alım ve idame maliyetleri çok yüksek olan söz konusu silah sistemlerinin seçimini karmaşık bir hale getirmektedir. Dünya Savunma Sanayinde çok büyük bir paya sahip olan havacılık sektörü içerisinde son derece teknolojik olan insansız hava aracı silah sistemine yönelim artmaktadır. Bu tez çalışması ile karar vericilerin seçilen kriterler üzerinde yaptıkları değerlendirmeler ile çok kriterli karar verme yöntemlerinden gri ilişki analizi yöntemi kullanılarak ihtiyaç duyulan insansız hava aracının seçim problemi ele alınmıştır. Gerek askeri görevler gerek sivil görevler için sisteme dahil edilmesi düşünülen insansız hava aracının kriter ve alternatifler değiştirilerek kullanım ihtiyacına yönelik değişiklik yapılarak çeşitli problem tiplerine uygun çözüm kümeleri oluşturulabilir. Bu çalışma havacılık gibi geniş bir alanı incelemesi, belirlenen alternatiflere göre seçimi yapılacak hava araçlarının teknik, bilişsel uzmanlık gereksiniminin ticari diğer sektörlerle göre, göreceli yüksek olması gibi kısıtları içermesi nedeniyle, seçim kriterleri Türkiye çapında konusunda uzman kişilerle mülakatlar yapılarak belirlenmiştir. Alternatif uzayı ise havacılık sektöründeki mevcut sistemlerin benzetim yöntemiyle modellenmesi şeklinde sezgisel olarak belirlenmiştir. Alternatiflerin belirlenen kriterlere göre incelenmesinde gri ilişkisel analiz yöntemi kullanılarak ideale en yakın çözüm alternatifi belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çok Kriterli Karar Verme, Gri İlişki Analizi, İnsansız Hava Aracı, Silah Sistemleri

GREY BASED UNMANNED AERIAL VEHICLE CHOICE

Serdar ULUCAN

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M. Sc. Thesis September 2016

Supervisor: Ass.Prof. Emel Kızılkaya AYDOĞAN

ABSTRACT

Weapon system selection is a complex problem which contains too much variable and they interact each other according to time and conditions. Selected weapon systems form the national defense basis. Keeping up with technological developments make selection problem of weapon systems which has very high follow-on cost harder. Nowadays in the aviation sector, has big portion on world defense industry, unmanned aerial vehicles (UAVs) are getting more important day by day. In this study, selection of UAVs problem according to grey relational analysis method which is one of the methods of multicriteria decision making is tackled. UAVs can be used for civilian sector and military sector. Because of this fact criterias and alternatives can be various according to aims. In this study decision criterias are specified by unconfigured interviews which are made with experts of UAV area. Alternatives are selected among present UAVs by heuristic simulation method. Alternatives are evaluated according to criterias by grey relational analysis method and most suitable alternative selected.

Key Words: Multi-criteria decision making, grey relational analysis, unmanned aerial vehicles, weapon systems

İÇİNDEKİLER

GRİ TABANLI İNSANSIZ HAVA ARACI SEÇİMİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK.....	1
YÖNERGEYE UYGUNLUK	2
KABUL ONAY	3
TEŞEKKÜR.....	4
ÖZET	5
ABSTRACT.....	6
İÇİNDEKİLER	7
KISALTMALAR.....	9
TABLolar LİSTESİ.....	10
ŞEKİLLER LİSTESİ	12
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

1.1. İnsansız Hava Araçlarına Genel Bakış	3
1.2. İnsansız Hava Araçlarının Kullanımı	8
1.2.1. Askeri Görevler	8
1.2.2. Sivil Görevler	10
1.3. Karar Verme	10
1.3.1. Karar Verme Sürecindeki İşlem Adımları.....	12
1.4. Çok Kriterli Karar Verme	12
1.5. Gri İlişkisel Analiz	14

1.5.1. Gri Teori.....	15
1.6. Literatür Özeti	16

2. BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal.....	19
2.2. Yöntem	19
2.2.1. Alternatif ve Kriterlerin Belirlenmesi.....	19
2.2.2. Gri İlişkisel Analiz Yöntemi.....	24
2.2.3. Bulanık Mantık	30

3. BÖLÜM

DENEYSEL BULGULAR	32
-------------------------	----

4. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Tartışma.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
4.2. Sonuç ve Öneriler.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.6
KAYNAKLAR	47
ÖZGEÇMİŞ.....	51

KISALTMALAR

AHP	: Analitik Hiyerarşi Prosesi
ÇAKV	: Çok Amaçlı Karar Verme
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
ÇNKV	: Çok Nitelikli Karar Verme
ÇÖKV	: Çok Öğeli Karar Verme
KV	: Karar Verici
GİA	: Gri İlişkisel Analiz
İHA	: İnsansız Hava Aracı
MCDM	: Multi Criteria Decision Making
MODM	: Multi Objective Decision Making
MADM	: Multi Attribute Decision Making
UAV	: Unmanned Aerial Vehicle

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Uzmanlardan alınan cevaplar tablosu.....	21
Tablo 2.2 Kriterler için değerlendirme skalası	25
Tablo 2.3. X normalize matrisi.	29
Tablo 2.4. Referans serisi ve normalize karar matrisi	30
Tablo 2.5. Kriterler için dilsel ifade değerlendirme skalası.....	31
Tablo 3.1. İHA seçimi ile ilgili alternatif ve kriterler	33
Tablo 3.2. Normalize matrisi	35
Tablo 3.3. Referans serisi.....	36
Tablo 3.4. Referans serisi ve referans serisine olan uzaklıklar matrisi.....	36
Tablo 3.5. Gri ilişkisel katsayıları matrisi.....	36
Tablo 3.6. Gri ilişkisel dereceler ve sıralamaları	36
Tablo 3.7. İHA-1 için kriter bazında uzman değerlendirmeleri.....	37
Tablo 3.8. İHA-1 için uzman değerlendirmelerinin matematiksel karşılıkları	38
Tablo 3.9. İHA-1 kriter değerleri	38
Tablo 3.10. İHA-2 için kriter bazında uzman değerlendirmeleri.....	39
Tablo 3.11. İHA-2 için uzman değerlendirmelerinin matematiksel karşılıkları	39
Tablo 3.12. İHA-2 kriter değerleri	40
Tablo 3.13. İHA-3 için kriter bazında uzman değerlendirmeleri.....	40
Tablo 3.14. İHA-3 için uzman değerlendirmelerinin matematiksel karşılıkları	41
Tablo 3.15. İHA-3 kriter değerleri	41
Tablo 3.16. İHA-4 için kriter bazında uzman değerlendirmeleri.....	42
Tablo 3.17. İHA-4 için uzman değerlendirmelerinin matematiksel karşılıkları	42
Tablo 3.18. İHA-4 kriter değerleri	43
Tablo 3.19. Alternatif için kriter değerleri.....	43

Tablo 3.20. Normalizasyon.....	43
Tablo 3.21. Referans serisi ve referans serisine olan uzaklıklar matrisi.....	44
Tablo 3.22. Gri ilişkisel katsayıları matrisi.....	44
Tablo 3.23. Gri ilişkisel dereceler ve sıralamaları	44

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. MQ-9 Reaper	6
Şekil 1.2. Pistten kalkmaya hazırlanan MQ-9 Reaper	6
Şekil 1.3. MQ-1 Preadator	7
Şekil 1.4. Heron	7
Şekil 1.5. Heron iniş yaparken	8
Şekil 2.1. Delfi metodunun aşamaları ve döngüsü	20

GİRİŞ

Dünya üzerindeki hiçbir coğrafyada kaynakların sonsuz olması söz konusu değildir. Sınırlı sayıdaki kaynakların etkin bir şekilde kullanılması, en fazla verimi elde edebilmeyi sağlar. Kaynakların kısıtlı olması, bu kısıtlı kaynaklardan en yüksek faydayı elde etmek açısından, etkinliğin sağlanabilmesi ile doğru orantılıdır. Kaynak diye tabir edilen şeyler her hangi bir madde veya insan gücü olabileceği gibi ülkelerin topraklarını savunmak için kullandıkları silah sistemleri de olabilir. Bu bağlamda silah sistemleri kısıtlı kaynaklardır.

Bütün ülkeler sahip oldukları toprakları korumak amacıyla ve diğer ülkeler üzerinde caydırıcılık oluşturmak amacıyla bünyelerinde çok fazla sayıda silah sistemi barındırırlar. Kısıtlı olan ekonomik kaynaklarla, etkin bir ülke savunması oluşturulabilmesi, seçilecek silah sisteminin etkinliğinin önemini ön plana çıkarmaktadır. Silah sistemlerinin, her açıdan değerlendirilerek; lojistik, ekonomik ve etkinlik gibi seçilmesi, kısıtlı kaynaklardan en yüksek verim alınmasını sağlar. Seçilecek silah sistemlerinin verimliliği ve etkinliği ülke savunması ve caydırıcılık açısından etkin bir rol oynamaktadır.

Silah sistemlerini değerlendirmek birbirini etkileyen elemanlarla kompleks bir sistemdir. Örneğin, iyi bir silah sistemi iyi bir silah performansına ve minimum maliyete gereksinim duyar; performans ve maliyet bilim, teknoloji ve ekonomik kaynakların geliştirilmesine bağlıdır; teknoloji fikirlere ve kaynaklara bağlıdır; fikirler kabullerin ve desteklerin akla uygunluğuna bağlıdır ve böyle devam eder.

Yeni silah sistemleri alımı, ihtiyaca cevap verecek silah sistemlerinin araştırılması, incelenmesi, seçimi uzun zaman alan bir süreçtir. Karar verilen silah ve teknoloji uzun süre ihtiyaçlara cevap verebilmesi ve sistemden elde edilen faydanın maksimum olması beklenmektedir. Söz konusu sistemler ucuz ve basit olmayıp ülke ekonomisinden son derece büyük kaynak ayrılmasını gerektiren pahalı sistemlerdir. Tüm bu sebeplerle,

silah sistemlerinin seçimi oldukça detaylı bir incelemeyi ve birçok kriterin bir arada ele alınmasını gerektirir. Durumun karmaşıklığı, önemli maliyeti ve ciddiyeti, problemin tahmine dayalı geleneksel yöntemlerle değil; deterministik çok ölçütlü karar verme yöntemleriyle çözülmesini gerektirir. Bu kapsamda gri ilişkisel analiz yöntemi ile karar vericiler için en uygun olan insansız hava aracı seçilmiştir.

Çalışmanın birinci bölümünde insansız hava araçları ile ilgili genel bilgiler, insansız hava araçlarının askeri ve sivil alanda kullanımı ile ilgili bilgiler, karar verme, çok kriterli karar verme, gri teori konusunda özet bilgi verilmiş ve literatür özetine yer verilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde kullanılan materyal ve yöntem hakkında açıklamalar yapılmış, uzman görüşleri alınmış ve gri ilişkisel analiz yönteminin adımları açıklanmıştır. Üçüncü bölümde deneysel bulgulara yer verilmiş uygulama sonuçları ortaya konulmuştur.

Çalışmanın son bölümü olan tartışma sonuç ve öneriler kısmında ise yapılan çalışmanın niteliklerinden, literatüre olan katkısından bahsedilmiş ve çeşitli önerilere yer verilmiştir.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

İnsansız hava aracı çağımızın en gelişmiş silah sistemlerinden biridir. Havacılık sektörü ve ülkelerin karar verme mekanizmaları özellikle savaş pilotlarının yetiştirilme maliyeti, pilotların hayatının hareket ortamında riske atılmaması, kullanım kolaylığı, daha az maliyet gibi unsurları göz önünde tutarak insansız hava aracına doğru yönelmişlerdir.

1.1. İnsansız Hava Araçlarına Genel Bakış

Günümüz silah sistemlerinden belki de en gelişmiş ve en teknolojik olanları insansız hava araçlarıdır. İnsansız hava aracı (İHA) 21'nci yüzyılın modern silah sistemlerinden birisidir.

Pilotlar İHA'ları yerden kumanda ederek, haberleşme vasıtaları yardımı ile uçururlar. İHA'nın kendisinden beklenen görevini başarı ile tamamlaması, üssünden kalkan İHA'nın uçuş sonunda tekrar üssüne emniyetli dönmesi anlamına gelmektedir. İHA'nın üssünden kalkıp uzaklaşabileceği en uzak mesafe İHA'nın menziline bağlıdır. Dolayısıyla İHA kalkış üssü merkez nokta olmak üzere menzili kadar bir yarıçapa bağlı olarak dairesel bir kapsama alanına sahiptir. İHA bu kapsama alanı dışına çıkamaz. meğer ki kapsama alanı dışına çıkar ise görevini yerine getiremez, çünkü artık pilotunun haberleşme alanının dışına çıkmıştır, diğer bir deyişle kumanda menzili dışına çıkmıştır ve artık pilot İHA'ya kumanda edemez. Birçok İHA sisteminde İHA'nın kumanda menzili dışına çıkması halinde, üssüne geri dönebilmesini sağlayan sistemler vardır. İHA kumanda menzili üzerindeki her nokta üzerinde uçabilir ve kabiliyet sahibi olduğu görevleri yerine getirebilir; görüntü alabilir yani istihbarat faaliyetinde bulunabilir ya da özelliğine göre gerektiğinde bombalama yapabilir. İHA Sistemleri, kısaca içerisinde insan bulunmadan uçabilen ve de üstlendikleri görevleri uzaktan yönetilerek ya da

otonom biçimde, insan etkisi olmaksızın yerine getirebilen hava platformları olarak tanımlanabilirler [1].

ABD Savunma Bakanlığı 2002-2027 İHA yol haritasında yapılan tanıma göre ise İHA motoru üzerinde bulunan, insan kullanıcı taşımayan, kendi başına veya uzaktan kumanda ile uçabilen, yeni sistemler ile telafi edilebilen, öldürücü veya öldürücü olmayan faydalı yükler taşıyabilen hava aracı olarak tanımlanmaktadır [2].

İHA sistemlerinin tarihsel gelişimini dronlar (uçaktan bırakılan uzaktan kontrollü araçlar, sahte uçaklar), uzaktan kumandalı uçaklar (remotely piloted vehicles, RPVs) ve günümüz İHA'ları olmak üzere üç ana başlık altında toplanabilir [3].

Oldukça sınırlı yeteneklere sahip dronların ilk kullanımı, Birinci Dünya Savaşı'na kadar uzanmaktadır. İlk İHA Kettirieng Bug, 1918 yılında İngiliz C.Ketterin tarafından imal edilmiş hava torpidosudur. İngiltere 1934 yılında deniz kuvvetleri'nde kullanılmak üzere bir modeli de geliştirmiştir. Genellikle insanlı bir uçaktan atılan hava hedefleri ve uçan bombalar şeklinde kullanılan bu ilkel araçların başarısız olduğu bilinmektedir [3].

Amerika Birleşik Devletleri 1951 yılında Ateş Arısı (Fire Bee) olarak bilinen, ilk jet motorlu pilotsuz hedef uçağını üretmiştir. Ayrıca Kore Savaşı'nda Amerika Birleşik Devletleri, Cehennem Kedisi (Hell Cat) olarak anılan uzaktan kontrollü uçaklar imal etmiş ve bu hava araçlarına patlayıcı madde yükleyerek, düşmanın kritik askeri tesislerine karşı bir silah olarak kullanmıştır. Amerika Birleşik Devletleri, eski Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği üzerinde kullandığı bir U-2 keşif uçağını bir kaza sonucunda kaybedince, istihbarat toplamak maksadıyla 60.000 feet irtifanın üzerinde uçabilen uzaktan komutalı keşif uçaklarını imal etmiş ve kullanmıştır.

Vietnam Savaşı'nda Amerika Birleşik Devletleri'nin yoğun olarak kullandığı uzaktan kumandalı uçaklar (RPV's) dahi, günümüzde kullanılan İHA sistemi tanımına uzaktırlar [4].

Günümüzde yapılan tanımlamalara uyan İHA'lar ilk kez 1970'li yıllarda İsrail tarafından kullanılmıştır. Bilindiği gibi İsrail, 1970'li yıllarda Arap dünyası ile girmiş olduğu gerek sıcak gerekse soğuk savaş ortamında sürekli olarak keşif ve gözetleme yapma ihtiyacı ortaya çıkmış ve bu ihtiyacın giderilmesi amacıyla ilk olarak gerçek zamanlı gözetleme yapmıştır. İsrail Devleti yaptığı gözetleme sonucu elde ettiği bilgileri

yerde bir istasyona aktaran ve bu istasyondan aldığı elektronik sinyaller vasıtasıyla uçuşuna ve gözetlemesine devam eden ilk İHA tasarlamıştır. Bu İHA'nın ilk olarak yerden kalkışını temin etmek amacıyla sapan tipi bir fırlatma rampası kullanılmış ve bu rampa üzerinden sağlam bir kauçuk ile ileri doğru fırlatılarak İHA uçuşuna başlatılmıştır. İHA inişini ise güvenli bölgeye geldikten sonra gerilen bir ağa takılmak suretiyle yapmıştır [3].

Amerika Birleşik Devletleri Körfez Savaşı'nda, Pioneer ve Pointer adlı iki değişik İHA sistemini denemiştir. Bu araçlardan menzili kısa olan ve çöl şartlarında kullanılmasında problemler çıkan Pointer etkili olamamış, bunun yanında Pioneer ise daha başarılı bir şekilde kullanılmıştır. Amerika Birleşik Devletleri Kara ve Deniz Piyade birlikleri bu harekatta, Pioneer İHA'sının sağladığı gerçek zamanlı istihbarat bilgilerinden istifade etmişlerdir. Yine aynı savaşta İHA'lar, Suudi Arabistan'a yönelik Irak Hücumunu tespit etmiş ve Amerika Birleşik Devletleri birliklerinin zamanında tedbir almasına imkan sağlamıştır. Bu savaşta İHA'lar gerçek zamanlı istihbarat sağlamış ve hasar tespit görevlerinde kullanılmıştır. Amerika Birleşik Devletleri'nin resmi hükümet raporlarında Pioneer İHA sistemlerinden "istihbaratın kahramanları" şeklinde söz edilmiştir [3].

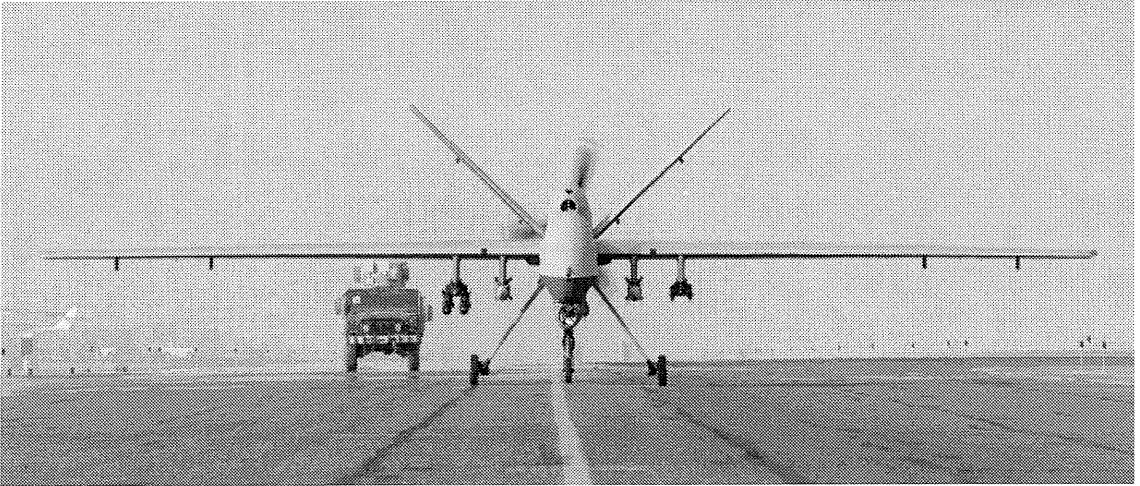
Ayrıca Bosna-Hersek Krizi ve Kosova Harekatı'nda başta Amerika Birleşik Devletleri olmak üzere, Almanya, Fransa ve İngiltere tarafından İnsansız Hava Araçları etkin bir şekilde kullanılmıştır. Özellikle bu son iki harekatta, yine Amerika Birleşik Devletleri üretimi bir İHA olan Predator, sıkça kullanılmıştır [3].

İnsansız hava araçları kullanım amaçlarına göre çok çeşitlidirler, günümüzde çok düşük fiyatlarla drone denilen kişisel kullanıma özgü insansız hava araçları da mevcuttur, ancak bizim inceleyeceğimiz İHA sistemleri Savunma Sanayi'ne büyük bütçeli sistemlerdir. Ülkelerin silahlı kuvvetlerinde kullanılan İHA'lar artık insanlı uçakların yapabildiği her şeyi ve daha da fazlasını yapabilmektedirler. Özellikle insan hayatının çok önemli olduğu hele ki, bir savaş uçağı pilotunun yetiştirilmesi için harcanan emek, zaman ve maliyet düşünülecek olursa, insanlı olarak yapılması güç olan tüm görevler İHA'lar tarafından rahatlıkla yapılabilmektedir. İHA'lar çok düşük süratler ile stall (perdovites) olmadan, gürültüsüz olarak uçabilmekte ve düşman hava sahasında ya da gözetlenmesi gereken bir yerde icra edilecek faaliyetleri çok rahat bir şekilde uzaktan kumanda edilerek yapabilmektedir.

Amerika Birleşik Devletleri tarafından etkin bir şekilde kullanılan MQ-9 Reaper modeli insansız hava aracına ait bazı görseller Şekil 1.1 ve Şekil 1.2’de gösterilmiştir [4].



Şekil 1.1. MQ-9 Reaper



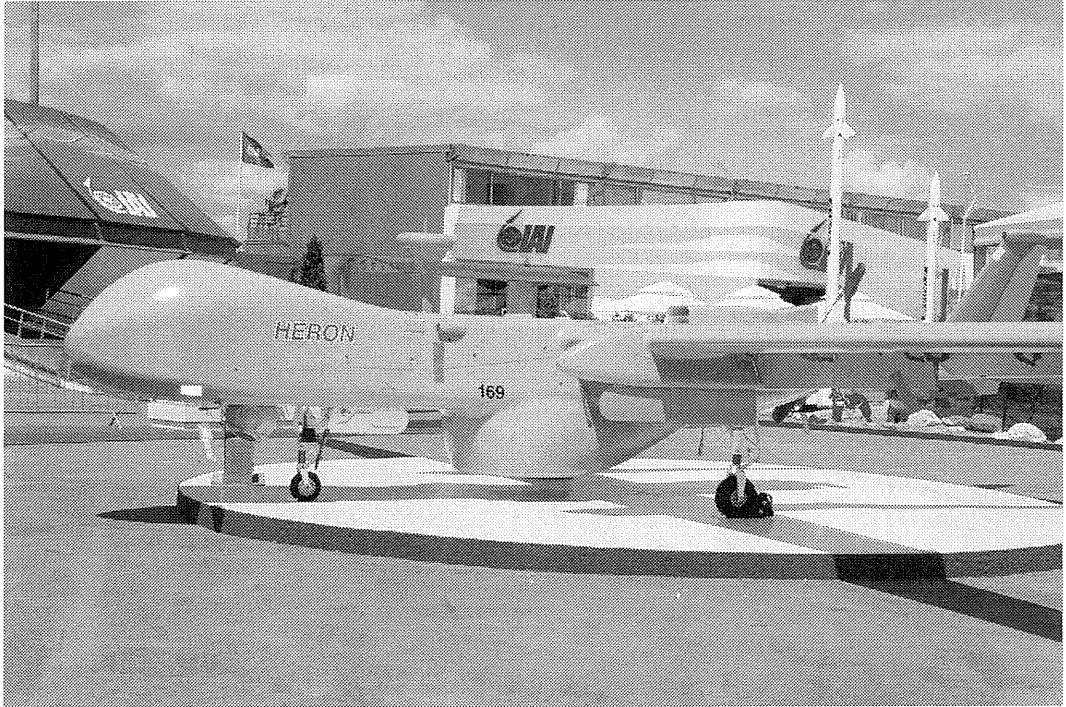
Şekil 1.2. Pistten kalkmaya hazırlanan MQ-9 Reaper

ABD tarafından kullanılan MQ-1 Predator modeli insansız hava aracına ait görsel Şekil 1.3’de verilmiştir.



Şekil 1.3. MQ-1 Preadator

Türk Hava Kuvvetleri tarafından kullanılan İsrail yapımı Heron isimli insansız hava aracına ait göresel Şekil 1.4’de gösterilmiştir [6].



Şekil 1.4. Heron (Paris Air Show 2009)

İniş için piste yaklaşma yapan heron isimli insansız hava aracına ait görsel Şekil 1.5’te gösterilmiştir [6].



Şekil 1.5. Heron iniş yaparken

1.2. İnsansız Hava Araçlarının Kullanımı

Günümüz modern İHA'ları hem askeri hem de sivil görevlerde etkin olarak kullanılmaktadır.

1.2.1 Askeri Görevler

İHA sistemleri, özellikle askeri alanda, görevin kritik ve tehdidin yoğun olduğu görev bölgelerinde, insan kaybı riskinin bulunmaması ve hava aracı performansının insan zaafalarına bağlı olmaması, pilota bağlı kalmadan uzun süreler havada kalabilmesi gibi sebeplerle insanlı sistemlere göre çok büyük avantajlara sahiptir.

İHA'ların keşif-gözetleme ve istihbarat maksatlı olarak kullanılmalarının yanında meydana gelecek gelişmelere bağlı olarak 2020'li yıllarda İnsanlı Hava Araçlarının(uçaklar) yapmış olduğu görevleri yapabilecek seviyeye ulaşması beklenmektedir. Bu gelişmelere bağlı olarak İHA'lar [3];

- Keşif-gözetleme maksatlı ve gerçek zamanlı görüntü istihbaratı elde etmek,hasar tespiti yapmak, düşman derinliklerinde yapılan operasyonların neticelerini araştırmak,
- Kullanılan silahların etkilerini belirlemek, hasar tespiti yaparak gerçek zamanlı hedef bilgilerini aktarmak,

- Harekat alanında keşif-gözetleme sistemlerinde karada konuşlu veya yüksek irtifada görevli keşif ve gözetleme araçlarının eksik bıraktığı alanları ve hedeflerin ayrıntılarını ayrıntılı olarak tespit ve teşhis etmek,
- Açık denizlerde, geniş karasal bölgelerde düşmanla göz temas sağlanmadan çok önce hedeflerin pozitif (ayrıntılı) teşhisi ve hassas, öncelikli hedeflere ön taarruz, baskı yapılması,
- Meteorolojik araştırma ve NBC (Nükleer, Biyolojik, Kimyasal kirlilik) kontrolü yapmak,
- Düşman hava savunmasını etkisiz hale getirmek (DEAD), Düşman hava savunmasını bastırma (SEAD),
- Komuta kontrol ve muhabere imkanlarını artırmak, havada röle görevi yapmak,
- Amfibi harekat öncesi çıkarma bölgesi keşfi yapmak,
- Denizatlılara karşı önleme savaşı yapmak,
- Elektronik Harp desteği sağlamak,
- Kitlesel imha silahı atmak, (NBC silahları),
- Karasuları ve sınır güvenliği imkanlarını artırmak,
- Sabit ve hareketli hedeflere taarruz,
- Bölgesel Hava füze savunması yapmak,
- Sahte hedef oluşturmak,
- Yakın hava desteği sağlamak,
- Hava-hava savunması yapmak,
- Havadan ve denizden trafik kontrolü yapmak,
- Dost ve düşman bölgesinde arama-kurtarma faaliyetleri icra etmek,
- Mayın tespiti yapmak,
- Hedef işaretlemesi yapmak,
- Doğal afetlerde hasar tespiti ve arama-kurtarma faaliyeti icra etmek,

- Psikolojik harekat,
- Eğitim desteği

gibi askeri görevlerde etkin olarak kullanılmaktadır.

1.2.2. Sivil Görevler

İHA' lar askeri görevlerin yanında [3];

- Narkotik karşı tedbirleri,
- Havadan trafiđin gözlenmesi ve düzenlenmesi,
- Orman yangınlarının kontrol edilmesi,
- Arama görevleri,
- Hava kirliliğinin araştırılması,
- Meteorolojik hava tahminleri,
- Havadan tarım ilaçlaması,
- Maden arama,
- Cep telefonu ağını genişletme amaçları için sivil görevlerde de kullanılabilir.

1.3. Karar Verme

İlk kez, Thomas SAATY (1980) tarafından ortaya konan Analitik Hiyerarşı Prosesi metodu, kolay uygulama ve doğruya yakın sonuçlar vermesi nedeniyle en çok tercih edilen ÇKKV yöntemlerinden biridir. Popüler ve pratik olan bu yöntem Expert Choice, Matlab vb. gibi yazılım programları ile de desteklenmekte ve bu yazılımlar sayesinde çok kriterli karar verme problemi kolaylıkla çözümlenebilmektedir.

Karar vermeyi gerektiren herhangi bir problemin çözüme; karar verici ya da problem sahibi, alınacak karar üzerinde kontrolü olan kişi veya grup, çözüm kullanıcı, karar verici tarafından oluşturulan çözümü kullanan ve/veya kararı uygulayan fakat çözüm/karar üzerinde herhangi bir değişiklik yetkisi bulunmayan kişi/kişiler, karardan etkilenenler, çözümün veya kararın sonuçlarından faydalanan ya da zarar gören kişiler,

karar analisti/problem çözücü, problemi analiz eden ve karar verici için çözüm geliştiren ya da çözüm sürecinde yardımcı olan analistler katılırlar [7].

Karar verme; en genel şekilde, belirli bir hareket payını benimsemeye yönelten ve bu hareket payı çerçevesinde karar verilen bir seçim süreci olarak tanımlanmaktadır [8].

Literatürde karar verme ile ilgili çeşitli tanımlar mevcuttur. Bu tanımlardan bazıları şunlardır:

- Karar verme, mevcut tüm alternatifler arasından amaç veya amaçlara en uygun, mümkün bir veya birkaçını seçme sürecidir.
- Karar verme, mevcut alternatifler arasından tercihler yapma sanatıdır.
- Karar verme, her yönetim düzeyinde sonuçlandırılması zorunlu olan bir veya birkaç problemin bütün boyutlarıyla değerlendirilerek en uygun sonucu verebileceği tespit edilen seçenek veya seçeneklerin belirlenmesidir.
- Karar verme, birden fazla boyutlu olan olay veya olayların mevcut olduğu durumlarda seçim yapmaktır.
- Karar verme işlemindeki seçeneklerin ve kriterlerin artması durumunda, karar verme daha zor, zaman alıcı ve pahalı olabilir. Bu genel ve tipik özelliğinin yanında karar verme işleminin birtakım özellikleri vardır. Bu özellikler şunlardır:
- Karar verme, çeşitli mantıksal analizlerin yer aldığı bir süreçtir.
- Karar verme işleminin sonucu kesin olarak saptanamamaktadır.
- Karar verme, bir planlama, bir programlama sürecidir.
- Karar vermenin temel amacı, mevcut problemin en uygun çözümünü gerçekleştirebilmektir.
- Karar verme işlemi, geçmişteki olaylar mantıki bir şekilde değerlendirilip gelecek için yapılmaktadır.

1.3.1. Karar Verme Sürecindeki İşlem Adımları

Karar verme sürecinin aşamaları, karar verme olayını dar ya da geniş anlamda ele almaya ya da bu kavramdan ne anlaşıldığına bağlı olarak değişik biçimlerde belirtilmektedir. Karar türü ne olursa olsun, izlenecek karar verme adımları yaklaşık olarak aynıdır. Bununla birlikte, her adımda izlenecek yöntemler, başvurulacak teknik ve ayrıntılar kararın niteliğine ve söz konusu karara etki edecek değişkenlere bağlı olarak değişebilir.

Karar verme süreci, birçok araştırmacı ve akademisyen tarafından kendi çalışma alanlarına uygun olarak incelenmiş ve basamaklandırılmıştır. En genel şekilde karar verme sürecindeki işlem basamakları şu şekilde sıralanabilir [9]:

- Problemin tanımlanması,
- Problemin çözümü için gerekli bilgilerin toplanması,
- Problemin çözümünde kullanılacak yöntem veya yöntemlerin belirlenmesi,
- Problemin çözüm maliyetinin her yöntem için saptanması,
- Her çözümün neden olacağı çeşitli durumların belirlenmesi,
- Kararın verilmesi (Çözümlerden birinin seçilmesi),
- Kararın uygulanması,
- Uygulama sonuçlarının belirlenmesi.

1.4. Çok Kriterli Karar Verme

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) (Multi-Criteria Decision Making, MCDM), en iyi bilinen karar verme yöntemlerinden biridir. Birçok akademisyene göre, ÇKKV; Çok Amaçlı Karar Verme (ÇAKV) (Multi-Objective Decision Making, MODM) ve Çok Ölçütlü Karar Verme (ÇÖKV) (Multi-Attribute Decision Making, MADM) olarak ikiye ayrılmaktadır. Bununla birlikte, ÇKKV ile ÇÖKV terimleri çok sık olarak aynı sınıf modelleri ifade etmek için kullanılırlar [10].

ÇÖKV metotları, belirlenen kesin alternatifler içerisinde bir alternatifin seçilmesi için kullanılırken; ÇAKV metotları, matematiksel kısıtlar yardımı ile tanımlanan sınırsız sayıdaki alternatifleri içeren karar amaç problemleri için kullanılır [11].

ÇKKV ile çoklu ve birbiriyle çelişen kriterler göz önünde bulundurularak istenilen amaca ulaşmak istenir. ÇKKV, alternatiflerin kesikli küme içerisinde en iyisinin seçildiği alandır [12].

ÇKKV yaklaşımlarının başlıca amaçlarından birisi karar vericilere karar verme hakkında güvenli ve rahat hissetmeleri yönünde bilgiyi organize ve sentez etmek ve tüm kriterlerin doyurulması ile karar sonrası pişmanlığı en aza indirmek için yardım etmektir [13].

Karar süreçlerinin temel ortak unsurları şu şekilde sıralanabilir [14].

- Başarılmak istenen amaç veya amaçlar
- Karar verici (KV) veya karar verici grupları
- Bağımsız değişkenler ve karar ortamı
- Karar alternatifleri
- Alternatif kısıtları
- Alternatif kriterleri

Potansiyel karmaşık bir çevrede bu tür basit araçların kullanımını daha etkili kılmak için önemli beceriler gereklidir. Karar vericiler için en iyi seçeneği seçmek oldukça zor bir iştir. Bu süreci zorlaştıran en önemli faktör karar vericilerin alternatifler arasından seçim yaparken değişik amaçları gerçekleştiren, bazen de birbiriyle çelişen seçenekler arasından en uygun olanı bulmak zorunda olmalarıdır. Bu nedenle birçok karar verici bu tür problemlerin çözümünde ÇKKV yöntemlerini kullanır [14].

ÇKKV ile ilgili önemli noktaları aşağıdaki gibi sıralanabilir [15]:

- ÇKKV, karar verme desteğinde çelişen kriterlerin ve çoklu işlemlerin açıkça ortaya konmasını araştırır.
- ÇKKV süreci, problemi yapılandırmaya yardım eder.
- Genellikle modeller, ilgili konuya odaklanma ve tartışma dili sağlamada kullanılır.
- ÇKKV'deki temel amaç, karar vericilere problemin durumunu, kendilerinin ve diğerlerinin değerlerini ve yargılarını öğrenmelerini, örgüt içinde uygun bilginin sunumu ile bilginin sentezini tartışarak tercih edilen faaliyetin belirlenmesine yardım etmektir.
- Süreç, daha iyi düşünülen, doğrulanabilen ve açıklanabilen kararlara götürür. Bir anlamda bu analiz bir karar için denetlemeyi sağlar.
- En çok kullanılan yaklaşımlar basit ve anlaşılır olanlarıdır.

1.5. Gri İlişkisel Analiz

Gri İlişki Analizi (GİA), Gri Sistem Teorisinin alt başlıklarından biri olan karar verme ve tahmin için kullanılan bir analiz tekniğidir. Bu teoride yetersiz ve eksik olan bilgi, gri bilgi veya gri eleman olarak tanımlanır. Belirli bir sistem içerisinde iki eleman veya iki alt sistem arasında değişen ilişkinin ölçümü, “Gri İlişki” olarak isimlendirilir. Bu ölçüm, analiz edilen elemanlar arasındaki benzerlikleri veya farklılıkları gösterir. İki eleman arasındaki değişim sürekli olduğunda, oluşan değişimler birlikte meydana geliyorsa; elemanlar arasında daha yüksek, birlikte meydana gelmiyorsa daha düşük bir ilişki söz konusu olacaktır [16].

Stokastik ve bulanık karar verme yöntemleriyle çözülemeyen problemlerin modellenmesini ve çözülmesini sağlayan Gri teori, sistemler arası analiz modeller kurulması tahmin ve karar verme problemleri için sıkça başvurulan bir yöntemdir. Deng “System and Control Letters” isimli uluslararası dergide gri sistem alanındaki “Gri Sistemin Denetim Problemleri” isimli ilk araştırmasını yayımlamasından itibaren gri sistem kuramı, kısmen bilinmeyen değişkenlere sahip sistemleri çözümlenebilmesi yeteneğinden dolayı oldukça popüler olmaya başlamıştır [17].

1.5.1. Gri Teori

Gri teori ilk defa 1982 yılında Tayland'da ki Hua Chung Bilim ve Teknoloji Üniversite'si öğretim üyelerinden olan Profesör Julong Deng tarafından ortaya atılmıştır. Gri teori gri ilişkisel analiz, gri modelleme, gri tahmin ve gri karar verme gibi alt başlıklar altında farklı alanlarda uygulanmaktadır. Son yıllarda gri sistem teorisi farklı disiplinlerde kullanılan popüler bir analiz yöntemi olmuştur [18].

Gri sistem teorisi temel olarak sistemler arasındaki ilişkinin analizi, model kurulması, tahmin ve karar problemlerinde sıkça kullanılan bir yöntemdir [19].

Gri sistem teorisi belirsizliğin sayılaşdırılmasında alternatif bir metottur. Stokastik veya bulanık yöntemlerle üstesinden gelinemeyen belirsizlik durumlarının modellenmesini sağlar. Gri sistem teorisinde, belirsizliğin olmadığı kusursuz bilgiye sahip olan bir sistem beyaz renk ile sembolize edilmiştir. Tam zıt özelliklere sahip olan sistem ise siyah olarak nitelendirilmiştir. Yalnızca kısmi bilgiye sahip olan sistemler ise “gri sistemler” olarak nitelendirilmiştir. Siyah bilinmeyen bilgi, beyaz bilinen bilgi, gri ise kısmen bilinen ve kısmen bilinmeyen bilgi olmaktadır. Böylece kesin olarak bilinmeyen bilgiyle sistemler siyah sistemler, kesin olarak bilinen bilgiyle sistemler beyaz sistemler, kısmen bilinmeyen ve kısmen bilinen bilgiyle sistemler ise gri sistemler olarak tanımlanırlar [20].

Hayattaki olayların, işlemlerin ve süreçlerinin çoğunluğu hiçbir zaman ne tam siyah ne de tam beyazdır. Örneğin tarım sektöründe ekilecek alanın büyüklüğü, kullanılacak tohumun kalitesi, gübre, sulama gibi tüm faktörlerin kesin bilindiği bir durumda, hasat miktarını tam olarak belirlemek mümkün değildir. Örneğin hava koşulları ürün miktarını etkileyen bir belirsizliktir. Çoğu zaman tam olmayan, eksik bilgi ve varsayımlar altında modeller kurar ve kararlar veririz. Gri sistem teorisinin ortaya çıkış felsefesi de bu fikirlere dayanmaktadır. Sistem faktörleri (parametreleri), faktörler arasındaki ilişki, sistemin işleyiş yapısı ve işleyiş şeklinin belirsiz olduğu bu durumlar gri sistemlerin karakteristik özelliklerindedir [21].

Gri sistem ile bulanıklık arasındaki temel farklılık kavramların taşıdığı dar ve geniş anlamdan kaynaklanmaktadır. Gri sistem kesin geniş anlama ve belirsiz dar anlama

sahip nesnelere veya kavramlarla ilgilenirken, bulanık matematik kesin ve tam bir dar anlama sahip ve belirsiz geniş anlama sahip kavramlarla ilgilenir. Deng gri sistemlerin karakteristik yapılarını ortaya çıkarmak için sıkıcı matematiksel hesaplamalar, istatistiksel varsayımlarla uğraşmak yerine, gri modelleme kullanarak yetersiz/eksik-gri bilgiye sahip sistemleri basit hesaplama yöntemlerinden faydalanarak incelemiştir. İstatistiksel analizlerde farklı veri yapıları farklı rassal özellikler göstermekte ve dolayısıyla farklı rassal yöntemlerle analiz edilmektedir. Gri sistem teorisinde ise tüm farklı rassal prosesler gri kaynaklı/temelli kabul edilmektedir. Gri sistem teorisinin bir başka önemli özelliği ise çok az sayıda verinin olması durumunda bile örneğin 3,4 veya daha fazla, bu tür bir sistemin gri olarak modellenemesidir [18].

1.6. Literatür Özeti

İnsansız Hava Araçları ile ilgili olarak yapılmış olan çok kriterli karar verme çalışmaları literatürde incelenmiştir. Yapılan inceleme neticesinde İHA sistemleri ile ilgili olarak yoğun olarak rotalama problemlerinin ele alındığı görülmüştür. Çok kriterli karar verme alanında özellikle tedarikçi seçimi problemleri, tesis yeri seçimi problemleri, muhasebe ve finans gibi alanlarda çok sayıda çalışma yapılmıştır. Havacılık gibi teknolojinin üst seviyede olduğu bir alanda yapılan çalışmalar daha kısıtlıdır. İnsansız hava aracı sistemleri çağımızın en teknolojik sistemlerinden biridir. Silah sisteminin seçimi ile ilgili yapılan çalışmalar kısıtlı olup, çok kriterli karar verme yöntemleri ile uçak, tank, helikopter seçimi gibi savunma sanayi uygulamaları yapılmış ancak insansız hava aracı sistemleri ile ilgili olarak özellikle insansız hava aracı rotalama, hava yolu ağ tasarımı gibi konularda çalışmalar yapılmıştır. Niş ve teknolojinin en üst seviyelerinin kullanıldığı söz konusu araçlarla ilgili ve havacılık sektörü ile ilgili olarak daha önce yapılmış çalışmalar aşağıya kısaca özetlenmiştir.

Kuo-Ping Lin ve Kuo-Chen Hung 2011 yılında yaptıkları bir çalışmada askeri gereksinimleri sağlayan bir insansız hava aracını seçebilmek için bulanık ağırlıklandırılmış ortalama ile bilgisayar tabanlı bir arayüz geliştirmişlerdir. Klasik yöntemlere nazaran geliştirilen ve önerilen bilgisayar destekli yöntem ile karar vericinin karar aşamasında kolaylıkla en ideal ve efektif kararı verebilmesi için kolaylıklar sağlanmıştır [22].

J.M. Sánchez-Lozano ve J. Serna, A. Dolón-Payán 2015 yılında yaptıkları bir çalışmada İspanyol Hava Kuvvetleri Akademisi için bir vaka çalışması yapmışlardır. Söz konusu çalışma bir vaka çalışması olduğundan, gerçek veriler kullanılarak irdelendiğinden önemli bir çalışmadır. Çalışmada askeri eğitim uçağı değerlendirilmesi için bulanık mantık ile çok kriterli karar verme yöntemlerini uygulamışlardır. Çok kriterli karar verme yöntemlerinden analitik hiyerarşi metodu ile (AHP) yöntemi ile kriterlerin ağırlıkları tespit edilmiştir. Ağırlıkları tespit edilen kriterler vasıtasıyla ideal seçime TOPSIS yöntemi kullanılarak ulaşılmıştır [23].

Xixia Sun, Chao Cain, Jie Yang ve Xubang Shen 2015 yılında yaptıkları çalışmada bulanık küme yaklaşımı ile belirsizlikler de dahil olmak üzere farklı şekillerde rota değerlendirmesi problemi üzerinde çalışmışlardır. Subjektif sözsöz ifadeleri farklı varyasyonlarda rota probleminin çözümlenmesi için kullanmışlardır. Çalışmalarında küme setlerini oluştururken dilbilimsel ağırlıklandırılmış ortalama metodundan faydalanmışlardır [24].

Nafiz Arıca Halil Cicibaş ve Kadir Alpaslan Demir 2012 yılında yaptıkları çalışma ile insansız hava araçları için çok kriterli güzergah planlama modeli üzerinde çalışmışlardır. Önerdikleri model ile uçuş öncesi (offline) ve uçuş esnasında (online) güzergâh planlamalarının dinamik olarak yapılabilmesine ve hava araçlarının uçuş kabiliyetlerini, temel havacılık kurallarını, ortam dinamiklerini dikkate alarak insansız hava araçları için mesafe, süre, yakıt tüketimi açısından optimal güzergâhlar planlanabilmektedir [25].

F. Guerriero, R. Surace, V. Loscrí, E. Natalizio 2014 Çok kriterli karar verme yaklaşımı ile sivil kullanım için insansız hava aracı rotalama problemi ele almışlardır. Söz konusu problem için matematiksel bir algoritma geliştirmişlerdir. Önerilen matematiksel metod ile insansız hava aracı pozisyonlaması ve rotalaması için çok kriterli bir optimizasyon sağlanmıştır [26].

Ching-Hsue Cheng, Kuo-Lung Yang, Chia-Lung Hwang 1999 yılında çok kriterli saldırı helikopteri seçim problemi için sezgiciliğe dayalı, insanın yeniden düşünmesini içeren dilbilimsel değişken ağırlığına dayalı Analitik Hiyerarşi Prosesi yaklaşımıyla silah sistemi değerlendirilmesinde yeni bir metod önermişlerdir. Önerilen metotla üyelik

fonksiyonlarının oluşumu için karar vericilerin sübjektif yargılama sınırlamalarının önlenilmesini çalışılmış ve birçok uzman görüşünden faydalanılmıştır [27].

Hsu ve Wen 2000 yılında yaptıkları çalışmada, GİA yönteminden yararlanarak belirsizlik ortamında en az sayıda veriyle havayolu trafiği konusunda tahmin ve buna dayalı olarak uçuş frekanslarının belirlenmesi yoluyla havayolu ağ tasarımı gerçekleştirmiştir [28].

Yang (2009), mevsimsel talepler doğrultusunda stokastik hava taşımacılığı için ana üs belirleme ve uçuşların rotalaması üzerine çalışmıştır [29].

2. BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Yapılan uygulama konusunda uzman kişilerle icra edilen yapılandırılmamış mülakatlar sonucunda, ihtiyaca en iyi şekilde cevap verecek insansız hava aracının seçimini kapsamaktadır.

Uygulama problemi dünya havacılığında benzetim yöntemiyle ele alınan alternatiflerin kriterler ışığında kıyaslanması ve ideal çözüme ulaşılmasını kapsamakta olup, alternatiflerin değerlendirilmesinde ve uygulamanın yapılmasında Microsoft Excel 2007 programından faydalanılmıştır.

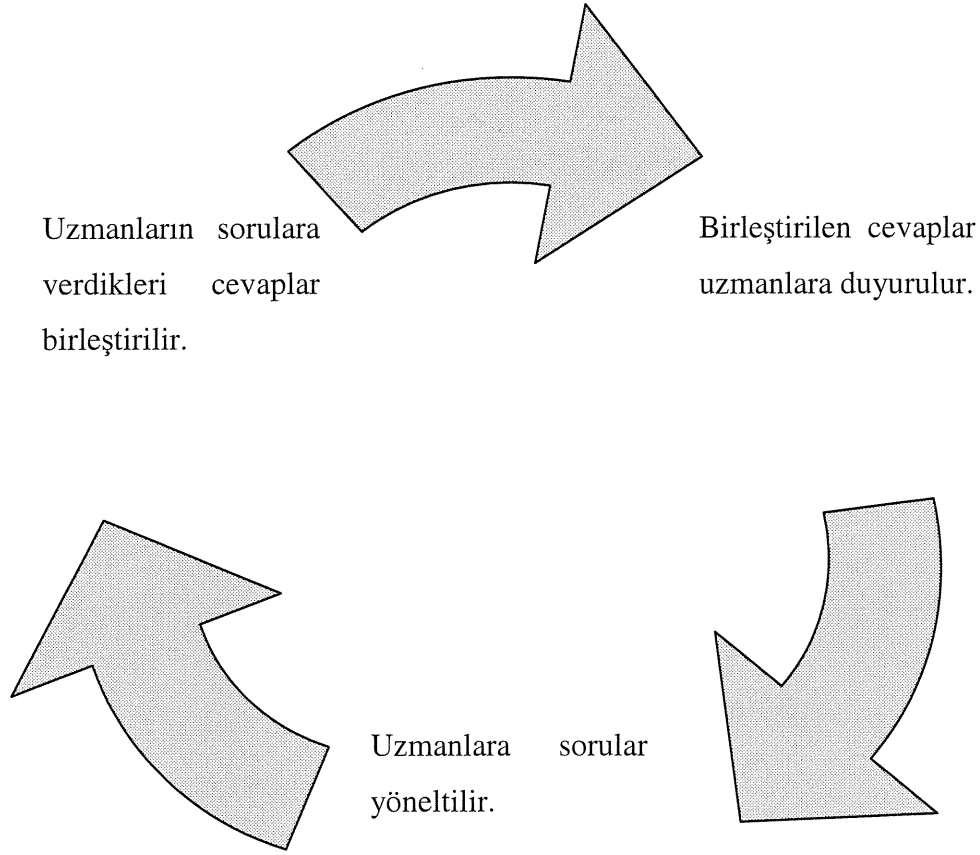
2.2. Yöntem

Çalışmada öncelikli olarak, İHA konusunda uzman olan kişilerin görüşleri delfi yönteminden faydalanılarak alınmıştır. Alınan görüşler sonucunda elde edilen verilerden yararlanarak alternatif ve kriterler belirlenmiştir. İdeal insansız hava aracının seçiminin yapılabilmesi için gri ilişkisel analiz yöntemi kullanılmıştır.

2.2.1. Alternatif ve Kriterlerin Belirlenmesi

Alternatif uzayı havacılık sektöründeki mevcut sistemlerin benzetim yöntemi yöntemiyle modellenmesi şeklinde sezgisel olarak belirlenmiş ve İHA1, İHA2, İHA3 ve İHA 4 olarak adlandırılmıştır. Kriterler ise konusunda uzman kişilerle yapılan yapılandırılmamış mülakatlar icra edilerek belirlenmiştir. Kriterlerin belirlenmesi sürecinde delfi metodu kullanılmıştır. Öncelikle ideal insansız hava aracının belirlenebilmesi için hangi kriterlerin değerlendirilmeye alınması ile ilgili konusunda uzman kişilere sorular sorulmuş alınan cevaplar birleştirilmiş ve ortalaması alınmıştır. Birleşik tahminler uzmanlara söylenmiş ve tekrar kıymetlendirme yapmaları istenmiştir,

yapılan kıymetlendirme neticesinde tekrar ortalamalar çıkarılmıştır. Uzmanların kıymetlendirmelerine dayanılarak çıkarılan kriterler tekrar uzmanlara açıklanmış ve aynı sorular tekrar uzmanlara sorulmuştur. Verilen cevaplar ışığında ortak (birleşik) sonuca ulaşılmıştır. Delfi metodunun aşamaları ve döngüsü şekil 2.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Delfi metodunun aşamaları ve döngüsü

Konusunda uzman kişilere hareket ortamında kullanılmak üzere ihtiyaç duyulan insansız hava aracının sahip olması gereken özelliklerin neler olabileceği yönünde soru sorulmuştur. Bu sorunun ardından bu özelliklere ulaşılabilmesi için hangi kriterlerin değerlendirilmesi gerektiği sorulmuştur. Verilen cevaplar sonucunda temel olarak 12 adet kriter belirlenmiştir. Uzmanlara belirlenen 12 adet kriterin insansız hava aracı seçiminde değerlendirmeye alınıp alınmaması ile ilgili tekrar soru sorulmuştur. Bu aşama 3 kez tekrarlanmıştır.

Uzmanların 3 tur soru aşamasından sonra vermiş oldukları cevaplar neticesinde oluşturulan değerlendirme tablosu tablo 2.1.'de verilmiştir. Tabloda gösterilen ilk rakam 1.tur soru cevap aşamasını, 2.rakamlar 2.tur soru cevap aşamasını, 3.rakamlar da son tur soru cevap aşamasını göstermektedir. Örneğin Harekat Kabiliyeti isimli kriter için 1.tur soru cevap aşaması sonucunda 6 evet 3 hayır, 2. Tur soru cevap aşamasından sonra 8 evet 1 hayır, 3.tur soru cevap aşamasından sonra 9 evet 0 hayır şeklinde değerlendirme oluşmuştur. Delfi yöntemi ile 3 tur soru cevaptan sonra 10 kriter için ortak görüş oluşmuştur.

Tablo 2.1. Uzmanlardan alınan cevaplar tablosu

	Aviyonik Sistemler	Maliyet	Hava Hava Muharebesi Kabiliyeti	Harekat Kabiliyeti	Elektronik Karıştırma	Ekonomik Ömür
Evet Sayısı	8, 9, 9	9, 9, 9	4, 2, 0	6, 8, 9	3, 1, 0	8, 9, 9
Hayır Sayısı	1, 0, 0	0, 0, 0	5, 7, 9	3, 2, 0	6, 8, 9	1, 0, 0
	Maks.Faydalı Yük	Azami İrtifa	Azami Menzil	Kumanda Kabiliyeti	Elektronik Sistemler	Maks. Havada Kalış Süresi
Evet Sayısı	7, 8, 9	8, 8, 9	9, 8, 9	9, 9, 9	9, 9, 9	9, 9, 9
Hayır Sayısı	2, 1, 0	1, 1, 0	0, 1, 0	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0

Delfi metodu sonucu konusunda uzman kişilerle yapılan mülakatlar ile elde edilen kriterler; aviyonik sistemler, elektronik sistemler, maliyet, harekat kabiliyeti, kumanda

kabiliyeti, ekonomik ömür, maksimum irtifa, maksimum menzil, maksimum faydalı yük ve maksimum havada kalış süresi olarak belirlenmiştir.

- **Aviyonik Sistemler:** İHA'nın aviyonik sistemleri arasında iletişim, navigasyon, birden fazla sistemin görüntü ve yönetimi ve bireysel işlevleri gerçekleştirmek için uçaklara takılan yüzlerce sistem sayılabilir. Aviyonik sistemler bir hava aracının tüm uçuş kabiliyetini etkileyebilecek tüm sistemlerdir. Aviyonik sistem kriterine ait puanlamının yüksek olduğu İHA alternatifinin bizim için ideal alternatif olduğu kabul edilmiştir.
- **Elektronik Sistemler:** Elektronik sistemler İHA'nın özellikle haberleşme, görüntü alma, görüntü kaydetme, veri iletimi, istihbarat ve elektronik istihbarat gibi özelliklerini içerisine alan, görevin icrasında çok büyük öneme haiz sistemlerdir. İnsansız olarak icra edilecek görevler için makine-insan etkileşimi ve uyumu elektronik sistemlerin güvenilirliklerinin önemini ön plana çıkarmaktadır. Elektronik sistemler kriterine verilen puan yüksek puan yüksek fayda olacak şekilde kabul edilmiştir.
- **Maliyet:** İHA sisteminin envantere kazanılması sonucunda 1 İHA için katlanılacak maliyettir. Söz konusu maliyete İHA sisteminin yer teçhizatları da dahildir. Söz konusu teçhizatlar insansız hava aracının görevini icra edebilmesi için zorunlu olan tüm yer tesisleri ve aygıtlardır. Ancak İHA pilotlarının eğitimi, alınacak kurslar vb. maliyetler eklenmemiştir. Maliyeti düşük olan İHA sisteminin ideal İHA sistemi olduğu kabul edilmiştir.
- **Harekat Kabiliyeti:** İHA'nın verilecek harekat görevlerindeki etkinliğinin puanlandığı kriterdir. Her türlü hava şartında, zor koşullarda dahi görev yapabilecek, görevin icrasında karşılaşılabilecek farklı durumlara kolay adabte olabilecek şekilde dizayn edilmiş, gerektiğinde hava hava görevlerini dahi icra edebilecek esnek görevlerde kullanılabilen İHA seçimi kriteridir. Harekat kabiliyet puanı yüksek olan İHA sisteminin efektif sistem olduğu kabul edilmiştir.
- **Kumanda Kabiliyeti:** İHA sisteminin görevi esnasında İHA Pilotuna sağladığı kolaylıklardır. İHA'lar uzaktan kumanda edilen araçlar olduğundan, pilot için iniş,

kalkış ve uçuş için önemli olan tüm kumandaların kolaylıkla kullanılabilmesi, verilen kumandaların İHA tarafından anında yanıtlanması, emergency durumlarda dahi İHA'nın verilen komutlara iyi derecede reaksiyon göstermesi önemlidir. Kumanda kabiliyetinin yetersiz duruma düşmesi, İHA'nın kırımı uğramasına sebebiyet verebilir, tüm bu sebeplerle kumanda kabiliyeti kriterine verilen puanın yüksek olduğu İHA bizim için ideal alternatif olarak kabul edilmiştir.

- **Ekonomik Ömür** : İHA sisteminin envantere katılmasından itibaren, idame edilmesi şartıyla en uzun süre sistemde faal olarak kalabileceği ve fayda sağlayabileceği süreyi ifade etmektedir. Son derece yüksek maliyetlere ulaşabilen ve ileri teknoloji gerektiren havacılık sektöründe, ülke ekonomisinin de savunma sanayine harcanan kısmının efektif bir şekilde kullanılabilmesi için ekonomik ömür kriteri çok büyük öneme sahiptir. Ekonomik ömür kriteri yüksek olan alternatif ideal alternatif olarak değerlendirilmiştir.
- **Azami İrtifa**: İHA'nın görevi esnasında hem basit hava savunma sistemlerinden etkilenmemesi, hem fark edilememesi, hem de görüntü alabileceği yarıçapın artması yükselbileceği irtifa ile ilişkilidir. Uygulamamızda en yüksek irtifaya çıkabilen İHA sistemini ideal alternatif olarak kabul edilmiştir.
- **Azami Menzil**: İHA'nın konuşlu bulunduğu üssünden kalktıktan sonra, pilot tarafından kumanda edilebileceği aynı zamanda içerisindeki yakıt ve üzerindeki yük ile gidebileceği ve tekrar güvenli bir şekilde üssüne dönüp inebileceği en uzak mesafeyi ifade eder. Menzilin uzun olması yapılacak görevlerin etkinliğini arttıracak, daha büyük ve geniş bir alanın kontrol edilmesi ve savunulabilmesine katkı sağlayacaktır. Menzili en uzun olan İHA sistemi bizim için ideal İHA sistemi olarak kabul edilmiştir.
- **Maksimum Faydalı Yük**: Hava aracının güvenilir bir şekilde kalkışını, uçuşunu ve inişini sağlayan aviyonik, data linkin havadaki kısmı, yakıt ve ekipman dışında kalan ve doğrudan göreve yönelik olarak seçilen birimler faydalı yük olarak adlandırılmaktadır. Hava aracının boyutuna göre faydalı yük taşıma kapasitesi değişmektedir. Kullanılan faydalı yüklerin küçük, hafif ve düşük güç harcama zorunluluğu, İHA sistemlerine özel ve teknolojinin sınırlarında tasarımları

gerektirmektedir. Bu nedenle faydalı yükler, birçok durumda İHA sistemlerinin en pahalı alt sistemi olma özelliğini göstermektedir. Keşif, gözetleme, hedef tespit, teşhis, tanıma ve izleme görevleri için genellikle top şeklinde bir muhafaza içine takılan video kameralar kullanılmaktadır. Hedefin işaretlenmesi ve hedefe olan uzaklığın yüksek doğrulukta bulunması istendiğinde, lazer işaretleyici ve mesafe ölçer sisteme eklenmektedir. Video kameraların görev yapamadığı kötü hava koşullarında keşif ve gözetleme görevi, radarlar kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Faydalı yük kapasitesi doğrudan İHA'nın taşıyabileceği faydalı yükü etkilediğinden faydalı yük kapasitesi ne kadar fazlaysa hava aracına eklenebilecek kabiliyet ve donanımlar o kadar çeşitli olabilmektedir. Uygulamanın çözümlenmesinde maksimum faydalı yükün yüksek olduğu İHA'nın efektif olduğu kabul edilmiştir [31].

- Maksimum Havada Kalış Süresi :İHA'nın pistten teker kesmesinden itibaren, kullanabildiği yakıt miktarı ile güvenli bir şekilde havada görev yapabileceği maksimum süreyi ifade etmektedir. Havada kalabilme süresi özellikle uzun süre izlenmesi ve takip edilmesi gereken olguların takibi, izlenen hedefin hareketlerinin takibi ve planlama için çok büyük katkı sağlayacaktır. Seçimi yapılacak olan İHA'nın yapacağı görevler itibariyle en uzun süre havada kalması, görevin icrasına yönelik olarak verimi arttıracaktır. Maksimum havada kalış süresinin en fazla olduğu İHA alternatifinin ideal alternatif olduğu kabul edilmiştir.

2.2.2. Gri İlişkisel Analiz Yöntemi

Alternatif ve kriterler oluşturulduktan sonra, gri ilişkisel analiz yönteminin adımları kullanılmıştır.

Kriterlere yönelik mülakat sonuçlarının değerlendirileceği skala Tablo 2.1 de verilmiştir [32];

Tablo 2.2. Kriterler için değerlendirme skalası

Değerlendirme	Gri Sayı Karşılığı
Çok Zayıf	[0,1]
Zayıf	[1,3]
Orta Zayıf	[3,4]
Ortalama	[4,5]
Orta Derecede İyi	[5,6]
İyi	[6,9]
Çok İyi	[9,10]

Alternatifler kriter bazında değerlendirilirken 0,1 puan aralığının karşılığı çok zayıf değerlendirmenin karşılığını, 1,3 puan aralığı zayıf değerlendirmenin karşılığını, 3,4 puan aralığı orta zayıf, 4,5 puan aralığı ortalama, 5,6 puan aralığı orta derecede iyi, 6,9 puan aralığı iyi ve 9,10 puan aralığı ise çok iyi değerlendirmesinin karşılığı olarak belirlenmiştir.

Gri ilişkisel analiz metodunun hesaplamasında kullanılan adımlar sırasıyla açıklanmıştır. Eşitlik 2.1 'de referans serisine yer verilmiştir [27].

Adım 1: n uzunluğundaki referans seri aşağıdaki gibi olsun.

$$x_0 = (x_0(1), x_0(2), x_0(3), \dots, x_0(n)) \quad (2.1)$$

Adım 2: Verilerin normalize edilmesi

Faktörlerin farklı kaynaklardan geldiği, farklı birimlerde ölçüldüğü düşünülürken GIA'nın ilk adımı verilerin aynı birime dönüştürülmesidir. Ayrıca serinin çok geniş aralıklarda değerler aldığı durumlarda standartlaştırmayla verilerin küçük bir aralığa çekilmesinde de fayda vardır. Gri sistem teorisinde bu normalleştirme prosesine "gri ilişkisel oluşum" adı verilmektedir. Verilerin normalizasyonunda en sık kullanılan yöntemlerden birisi lineer veri önileme metodudur. Faktör serilerinin

normalizasyonunda dikkat edilmesi gereken “daha yüksek daha iyi”, “daha düşük daha iyi” ve “ideal değer daha iyi” kriterlerinden hangisinin serinin özelliğini yansıttığıdır. Örneğin serideki noktaların küçük değerler olması istenen bir özellik ise lineer normalizasyonda küçük değer alan noktalar normalizasyonda “1’e yakın değerler alırken, büyük değer alan noktalar 0’a yakın değerler alacaktır.”

“Daha yüksek daha iyi” durumunda normalizasyon eşitlik 2.2 ’deki gibidir:

$$x_i(k) = \frac{x_i^0(k) - \min x_i^0(k)}{\max x_i^0(k) - \min x_i^0(k)} \quad (2.2)$$

$x_i^0(k)$, i serisi k.sıradaki orijinal değer, $x_i(k)$ normalizasyon sonrası i.seri k. Sıradaki değer, $\min x_i^0(k)$ i serisindeki minimum değer, $\max x_i^0(k)$ i serisindeki maksimum değerdir.

“Daha düşük daha iyi” için eşitlik 2.3’deki gibidir:

$$x_i(k) = \frac{\max x_i^0(k) - x_i^0(k)}{\max x_i^0(k) - \min x_i^0(k)} \quad (2.3)$$

“İdeal değer daha iyi” için eşitlik 2.4’deki gibidir:

$$x_i(k) = 1 - \frac{|x_i^0(k) - x^0|}{\max x_i^0(k) - x^0} \quad (2.4)$$

x^0 istenilen ideal değeri göstermektedir.

Adım 3: x^0 serisi ile karşılaştırılacak m tane seri eşitlik 2.5 ’te tanımlanmış olsun.

$$x_i = (x_i(1), x_i(2), x_i(3), \dots, x_i(n)) \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2.5)$$

Adım 4: k, n uzunluğundaki serideki k. sırayı gösterebilir. $\varepsilon(x_0(k), x_i(k))$, k. noktadaki gri ilişkisel katsayı olup eşitlik 2.6, 2.7, 2.8, 2.9'e göre hesaplanır.

$$\varepsilon(x_0(k), x_i(k)) = \frac{\Delta_{\min} + \xi \Delta_{\max}}{\Delta_{0i}(k) + \xi \Delta_{\max}} \quad (2.6)$$

$$\Delta_{0i}(k) = |x_0(k) - x_i(k)| \quad (2.7)$$

$$\Delta_{\min} = \min_j \min_k |x_0(k) - x_j(k)| \quad (2.8)$$

$$\Delta_{\max} = \max_j \max_k |x_0(k) - x_j(k)| \quad (2.9)$$

ve $\xi \in (0,1)$ arasındaki bir katsayıdır, $j=1,2,\dots,m$; $k=1,2,\dots,n$. işlevi, Δ_{0i} ile Δ_{\max} arasındaki farkı ayarlamaktır. Çalışmalar ξ değerinin gri ilişkisel derece sonrası oluşacak sıralamayı etkilemediğini göstermektedir. [27]

Adım 5: Son olarak gri ilişkisel derece ise eşitlik 2.10 ile hesaplanır:

$$\gamma(x_0, x_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \varepsilon(x_0(k), x_i(k)) \quad (2.10)$$

$\gamma(x_0, x_i)$ gri bir sistemdeki x_i serisi ile x_0 referans serisi arasındaki geometrik benzerliğin bir ölçüsüdür. Gri ilişkisel derecenin büyüklüğü x_i ile x_0 arasında kuvvetli bir ilişki olduğunun göstergesidir. Eğer karşılaştırılan iki seri birbirinin aynı ise gri ilişkisel derece değeri 1 olarak bulunur. Gri ilişkisel derece karşılaştırılan serinin referans seriye ne kadar benzer olduğunu gösterir.

Eğer her bir kriterin ağırlıkları verildiyse, kriterin gri ilişki katsayısı ile kriterin önem derecesine ilişkin ağırlık değeri çarpılarak gri ilişki derecesi bulunabilir. Bu eşitlik 2.11'e göre hesaplanır.

$$r(X_0, X_i) = \sum_{k=1}^n \varepsilon(X_0(k), X_i(k)) \times W_i(k) \quad (2.11)$$

Hsia ve Wu(1998) gri ilişkisel derecenin hesaplanmasında (Adım 5) aşağıdaki farklı hesaplama yöntemini önermiştir.

$$r(X_0, X_i) = \frac{\Delta_{min} + \Delta_{max}}{\Delta' + \Delta_{max}} \quad (2.12)$$

Burada $\Delta' = \sqrt{\sum_{k=1}^n \frac{\Delta_{oi}^2(k)}{n}}$ formülüyle hesaplanmaktadır.

Wen (2004), ise eşitlik 2.13'de gri ilişkisel derecenin hesaplanmasında daha genel bir formül önermiştir.

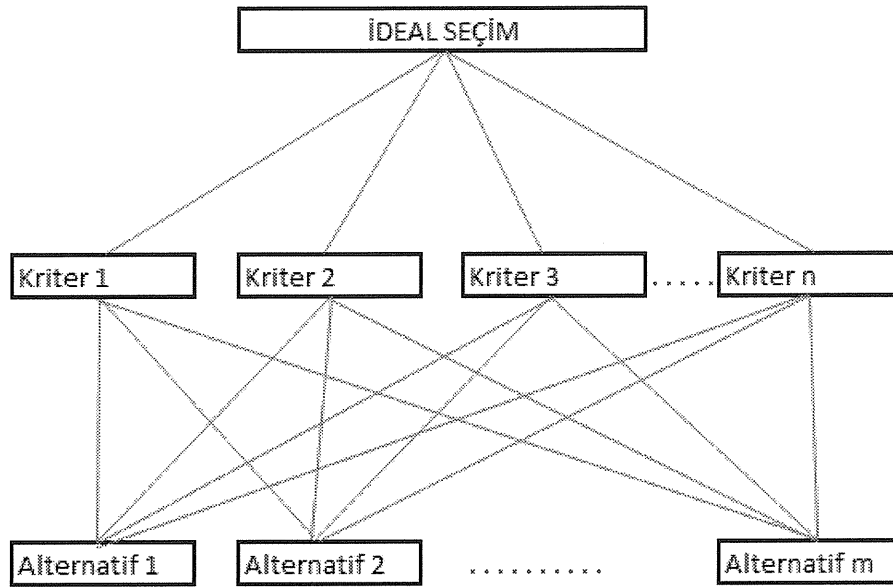
$$r(X_0, X_i) = \frac{\Delta_{min} + \Delta_{max}}{\bar{\Delta}_{oi} + \Delta_{max}} \quad (2.13)$$

Burada $\bar{\Delta}_{oi} = \left\{ \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \Delta_{oi}(k) \right\}$ formülüyle hesaplanmaktadır. (2.14)

Hsia ve Wu ve Wen'in formülasyonlarında ξ' nin etkisi hesaplamadan çıkartılmış ve gri ilişkisel katsayılar hesaplanmadan doğrudan gri ilişkisel derece hesaplanmıştır [13,27].

Karar verme problemlerinde referans seri, kriterlerin alması istenen en büyük, en küçük ve en ideal değerler olarak seçilirse, karşılaştırması yapılacak faktör serilerinin referans seriye göre hesaplanacak gri ilişkisel derecesi kriterleri yakalama seviyesinin bir göstergesi olacaktır. Diğer bir deyişle gri ilişkisel derecesi en yüksek olan faktör serisi(alternatif) karar verme probleminde en iyi karar alternatifini gösterecektir [30].

Dünya havacılığında benzetim yöntemi ile elde edilen alternatif uzayı ve uzman görüşlerine dayanılarak oluşturulan kriter uzayı ile gri ilişki analizi yöntemi kullanılarak ideal İnsansız Hava Aracı seçimi yapılacaktır. Seçim için oluşturulan hiyerarşik yapı şekil 2.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Hiyerarşik yapı

Öncelikle farklı birim uzunluğuna sahip olan değerlerin, aynı vektör birim uzunluğuna sahip olabilmeleri için veriler normalize edilir. Normalizasyon için eşitlik 2.2., 2.3. ve 2.4. kullanılır.

Hesaplamalar sonucunda tablo 2.3.'deki normalize karar matrisi elde edilir.

Tablo 2.3. X normalize matrisi.

$X=$	X_{11}	X_{12}	...	X_{1n}
	X_{21}	X_{22}	...	X_{1n}

	X_{m1}	X_{m2}	...	X_{mn}

m: alternatif sayısı

n: kriter sayısı

Tablo 2.4. referans serisi ve normalize karar matrisi

R	R ₁	R ₂	...	R _n
X=	X ₁₁	X ₁₂	...	X _{1n}
	X ₂₁	X ₂₂	...	X _{2n}

	X _{m1}	X _{m2}	...	X _{mn}

R: referans serisi

m: alternatif sayısı

n: kriter sayısı

Referans serisi elde edilmiş normalize matriste kriter değerlerinin referans seriye olan uzaklıkları tespit edilerek tekrar bir matris oluşturulur. Referans seriye göre uzaklıkları hesaplanan kriter değerleri ile eşitlik 2.6. kullanılarak gri ilişkisel katsayılar hesaplanır.

$$\varepsilon(x_0(k), x_i(k)) = \frac{\Delta_{\min} + \xi \Delta_{\max}}{\Delta_{oi}(k) + \xi \Delta_{\max}} \quad (2.6)$$

Son olarak eşitlik 2.14 kullanılarak gri ilişki dereceleri hesaplanır ve alternatifler derecelerine göre sıralanarak ideal alternatif seçimi gerçekleştirilir.

$$\bar{\Delta}_{oi} = \left\{ \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \Delta_{oi}(k) \right\} \quad (2.14)$$

2.2.3. Bulanık Mantık

Bulanık mantıkta klasik yöntemlerden farklı olarak kesin ve tam matematiksel modellere ihtiyaç duyulmaz. Bulanık mantık matematiksel olarak ölçülebilen ve belirlenebilen değerlerin yanı sıra insan düşüncesinin ve dilsel ifadelerinin de modele katılmasıdır. Bulanık mantık bazı durumlarda kolayca cevap verilemeyen durumların , basitce evet veya hayır cevabı verilemeyecek durumların çözümleri için de kullanılır. Bulanık mantığın klasik modellemeye göre avantajı matematiksel ifadelerle ihtiyaç

duymaması ve dilsel ifadelerden ve yakınsamalardan yola çıkarak çok kriterli karar verme amacına ulaşılabilmesidir. Matematiksel ifadeler tamamen insanın dilsel ifadelerine dayanır. Söz konusu dilsel ifadeler matematiksel ifadelere dönüştürülürler. Bulanık mantıkta kriter değerleri 0 ile 1 arasında değerler alır. Değerler kesin değildirler. Dilsel değişkenler değeri matematiksel bir karşılık olan ifadelerdir. İnsansız hava aracı seçimindeki belirsizliği arttıran önemli ölçüde belirsizlik unsurları olduğu için bulanık mantıkla dilsel ifadelerle elde edilen matematiksel değerler üzerinden gri ilişki analizi tekrarlanmıştır. Tablo 2.3’de dilsel ifadelerle karşılık kullanılacak matematiksel bulanık sayılar gösterilmiştir.

Tablo 2.5. Kriterler için dilsel ifade değerlendirme skalası

Değerlendirme	Bulanık Sayı
Çok Zayıf	[0,00]
Zayıf	[0,25]
Orta	[0,50]
İyi	[0,75]
Çok İyi	[1,00]

Konusunda uzman kişilere her bir İHA için ve her bir kriter için sorular sorulmuş ve değerlendirme yapımları istenmiştir. Uzmanlara kriterler için 5 cevap seçeneği sunulmuştur, bunlar; tablo 2.3’de görülen çok zayıfı zayıf, orta, iyi ve çok iyi seçenekleridir. Verilen dilsel ifadeler ile bulanık sayılar oluşturulmuş ve ardından gri ilişkisel analiz işlem adımları uygulanmıştır.

İlgili adımlar kullanılarak öncelikle uzmanları vermiş olduğu puanlamalar ve var olan değerler ile gri ilişkisel analiz yöntemi uygulanmıştır. Sonrasında uzmanlara bulanık mantık uygulanmak üzere tekrar sorular sorulmuş ve ikinci bir değerlendirme yapımları istenmiştir. Tüm bunların ardından gri ilişkisel analiz yöntemi hem klasik hem de bulanık mantığa göre uygulanmıştır. Söz konusu yöntemler sonucunda ortaya çıkan bulgular/sonuçlar 3.Bölüm’de verilmiştir.

3. BÖLÜM

DENEYSEL BULGULAR

Dünya havacılığında benzetim yöntemiyle ve konunun uzmanı kişilerle yapılan yapılandırılmamış mülakatlar sonucunda alternatif ve kriterler belirlenmiştir. Kriterlerin bir kısmı (maliyet, ekonomik ömür, azami irtifa, azami menzil, maksimum faydalı yük, maksimum havada kalış sürati) dünya havacılık sektöründeki verilerin benzetilmesi yoluyla, diğer kısmı (aviyonik sistemler, elektronik sistemler, hareket kabiliyeti, kumanda kabiliyeti) ise uzman görüşleriyle oluşturulmuştur. Uzman görüşleri sonucunda kullanılan skalaya göre her bir alternatif için seriler oluşturularak ideal İHA seçim yapılacaktır. Söz konusu uygulama ile niş ve çok geniş bir alan olan İHA sistemlerinin seçiminde AHP, TOPSIS, ELECTRE ve SAW gibi benzer problemlerin çözümlenmesinde çok sık kullanım alanı olan yöntemlerden farklı bir yöntem ele alınacaktır. Belirlenen kriterler eşit önem derecesine haizdirler. Kriterler şöyle sıralanabilir;

Kriterler;

- 1- Aviyonik Sistemler (AS)
- 2- Elektronik Sistemler (ES)
- 3- Maliyet (MLYT) (\$)
- 4- Harekat Kabiliyeti (HK)
- 5- Kumanda Kabiliyeti (KK)
- 6- Ekonomik Ömür (EÖ) (YIL)
- 7- Azami İrtifa (Aİ) (Feet)

8- Azami Menzil (AM) (Mil)

9- Maksimum Faydalı Yük (MFY) (lbs)

10- Maksimum Havada Kalış Süresi (MHKS) (saat)

Belirlenen 4 alternatif için mülakatlar ve benzetilmiş değerlendirmeler sonucu oluşturulan kriter değerleri Tablo 3.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. İHA seçimi ile ilgili alternatif ve kriterler

	İHA 1	İHA 2	İHA 3	İHA 4
Aviyonik Sistemler	7	2	5	6
Elektronik Sistemler	3	4	8	1
Maliyet	20.000.000 \$	7.000.000 \$	24.000.000\$	30.000.000 \$
Harekat Kabiliyeti	6	4	5	7
Kumanda Kabiliyeti	3	4	8	9
Ekonomik Ömür	20 yıl	25 yıl	30 yıl	27 yıl
Azami İrtifa	25.000 feet	29.000 feet	50.000 feet	65.000 feet
Azami Menzil	780 Mil	820 Mil	1.151 Mil	10.000 Mil
Maksimum Faydalı Yük	750 lbs	1.000 lbs	2.800 lbs	18.000 lbs
Maksimum Havada Kalış Süresi	40 saat	30 saat	30 Saat	35 Saat

Uzman görüşleri neticesinde derecelendirmeler oluşturulmuştur. Birinci kriter olan aviyonik sistemler kriteri için İHA 1 alternatifi için 7 gri ilişki sayısı, İHA 2 için 2, İHA 3 için 5 ve İHA 4 için 6 gri ilişki sayısı belirlenmiştir.

İkinci kriterimiz olan elektronik sistemler kriteri için; İHA 1 alternatifi 3, İHA 2 alternatifi 4, İHA 3 alternatifi 8 ve İHA 4 alternatifi 1 gri ilişki sayısı ile derecelendirilmiştir.

Dördüncü kriterimiz olan Harekat kabiliyeti kriteri için İHA 1 alternatifi için 6, İHA 2 alternatifi için 4, İHA 3 alternatifi için 5 ve İHA 4 alternatifi için 7 gri ilişki sayıları belirlenmiştir.

Beşinci kriterimiz olan kumanda kabiliyeti kriteri için İHA 1 alternatifi 3, İHA 2 alternatifi 4, İHA 3 alternatifi 8 ve İHA 4 alternatifi 9 gri ilişki sayısı ile derecelendirilmiştir.

Dünya havacılığında benzetim yoluyla yapılan kriter değerlendirmelerinde ise;

- 3 numaralı maliyet kriteri için İHA 1 alternatifi maliyeti 20.000.000 \$, İHA 2 alternatifi maliyeti 7.000.000 \$, İHA 3 alternatifi maliyeti 24.000.000 \$ ve İHA 4 alternatifi maliyeti 30.000.000 \$,
- 6 numaralı ekonomik ömür kriteri için İHA 1 alternatifi ekonomik ömrü 20 yıl, İHA 2 alternatifi ekonomik ömrü 25 yıl, İHA 3 alternatifi ekonomik ömrü 30 yıl ve İHA 4 alternatifi ekonomik ömrü 27 yıl,
- 7 numaralı azami irtifa kriteri için, İHA 1 alternatifi azami irtifası 25.000 feet, İHA 2 alternatifi azami irtifası 29.000 feet, İHA 3 alternatifi azami irtifası 50.000 feet ve İHA 4 alternatifi azami irtifası 65.000 feet,
- 8 numaralı azami menzil kriteri için, İHA 1 alternatifi azami menzili 780 mil , İHA 2 alternatifi azami menzili 820 mil, İHA 3 alternatifi azami menzili 1.151 mil ve İHA 4 alternatifi azami menzili 10.000 mil,
- 9 numaralı maksimum faydalı yük kriteri için, İHA 1 alternatifi maksimum faydalı yükü 750 lbs, İHA 2 alternatifi maksimum faydalı yükü 1.000 lbs, İHA 3 alternatifi maksimum faydalı yükü 2.800 lbs ve İHA 4 alternatifi maksimum faydalı yükü 18.000 lbs,

- 10 numaralı maksimum havada kalış süresi kriterleri için, İHA 1 alternatifinin maksimum havada kalış süresi 40 saat , İHA 2 alternatifinin maksimum havada kalış süresi 30 saat, İHA 3 alternatifinin maksimum havada kalış süresi 30 saat ve İHA 4 alternatifinin maksimum havada kalış süresi 35 saat değerlerini almıştır.

Söz konusu puanlama ve değerlerin arasında bir karşılaştırma yapılabilmesi için verilerin normalizasyon işleminin yapılması gerekir. Normalizasyon işleminde 3 farklı durum için 3 farklı eşitlik mevcuttur. Bu eşitlikler eşitlik 2.1, 2.2. ve 2.3.'te yer alan daha büyük daha iyi, daha küçük daha iyi ve ideal olan daha iyi eşitlikleridir. Kriter değerleri arasından maliyet kriteri hariç tüm kriterler bakımından daha büyük değerdeki olan daha iyiyi göstermektedir. Maliyet kriterinde ise daha küçük olan daha iyiyi göstermektedir. Bu durumda maliyet kriteri için farklı bir eşitlikten yararlanarak, diğer kriterler için farklı bir eşitlikten yararlanarak normalize matrisi oluşturulmuştur. Normalizasyon işlemi sonrasında tablo 3.2.'deki matris elde edilmiştir.

Tablo 3.2. Normalize matrisi

	max	max	min	max	max	max	max	max	max	max
	AS	ES	MLYT	HK	KK	EÖ	AI	AM	MFY	MHKS
İHA 1	1,0000	0,2857	0,4348	0,6667	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000
İHA 2	0,0000	0,4286	1,0000	0,0000	0,1667	0,5000	0,1000	0,0043	0,0145	0,0000
İHA 3	0,6000	1,0000	0,2609	0,3333	0,8333	1,0000	0,6250	0,0402	0,1188	0,0000
İHA 4	0,8000	0,0000	0,0000	1,0000	1,0000	0,7000	1,0000	1,0000	1,0000	0,5000

Tablo 3.2.'deki normalize işleminde maliyet kriteri dışındaki kriterler için normalizasyon işlemi eşitlik 2.2.'ye göre; matriste yer alan kriterlerin değerlerinin en küçük sütun değeri ile olan farkının, sütundaki en büyük değer ile en küçük değer arasındaki farka bölünmesi ile, maliyet kriteri için ise eşitlik 2.3.'e göre; ilgili sütundaki en büyük değer ile kriter değerleri arasındaki farkın, o sütundaki en büyük değer ile en küçük değer arasındaki farka bölünmesi ile elde edilmiştir.

$$\chi_i(k) = \frac{\chi_i^0(k) - \min \chi_i^0(k)}{\max \chi_i^0(k) - \min \chi_i^0(k)} \quad (2.2)$$

$$\chi_i(k) = \frac{\max \chi_i^0(k) - \chi_i^0(k)}{\max \chi_i^0(k) - \min \chi_i^0(k)} \quad (2.3)$$

Referans seri mevcut alternatiflerin her bir kriter için aldıkları en yüksek, maliyet kriteri için ise en düşük değerlerden oluşur. Alternatif ve kriterler için yapılan değerlendirme sonucu referans serisi tablo 3.3'deki gibi oluşmuştur.

Tablo 3.3. Referans serisi

	AS	ES	I	HK	KK	EÖ	Aİ	AM	MFY	S
Referans	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1

Her bir satırdaki değer ilgili sütundaki referans serisine olan uzaklığı, değerlerin ilgili oldukları sütundaki referans serisinden çıkarılması ile bulunmuştur. Bu işlem sonucunda oluşan matris tablo 3.4.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.4. Referans serisi ve referans serisine olan uzaklıklar matrisi

	AS	ES	MLYT	HK	KK	EÖ	Aİ	AM	MFY	MHKS
Referans	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
İHA 1	0,0000	0,7143	0,4348	0,3333	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000
İHA 2	1,0000	0,5714	1,0000	1,0000	0,8333	0,5000	0,9000	0,9957	0,9855	1,0000
İHA 3	0,4000	0,0000	0,2609	0,6667	0,1667	0,0000	0,3750	0,9598	0,8812	1,0000
İHA 4	0,2000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,3000	0,0000	0,0000	0,0000	0,5000

$\varepsilon(\chi_0(k), \chi_i(k)) = \frac{\Delta_{\min} + \xi \Delta_{\max}}{\Delta_{0i}(k) + \xi \Delta_{\max}}$ eşitliği kullanılarak gri ilişkisel katsayılar matrisi oluşturulmuştur.

Tablo 3.5. Gri ilişkisel katsayıları matrisi

	AS	ES	MLYT	HK	KK	EÖ	Aİ	AM	MFY	MHKS
İHA 1	1,000	0,412	0,535	0,600	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	1,000
İHA 2	0,333	0,467	0,333	0,333	0,375	0,500	0,357	0,334	0,337	0,333
İHA 3	0,556	1,000	0,657	0,429	0,750	1,000	0,571	0,343	0,362	0,333
İHA 4	0,714	0,333	1,000	1,000	1,000	0,625	1,000	1,000	1,000	0,500

Son olarak gri ilişki dereceleri bulundu ve aşağıdaki seri elde edildi.

Tablo 3.6. Gri ilişkisel dereceler ve sıralamaları

	İHA 1	İHA 2	İHA 3	İHA 4
GRI İLİŞKİ DERECESİ	0,521	0,370	0,600	0,817
SIRALAMA	3	4	2	1

Uzman kişilerin kriter bazında vermiş oldukları puanlamalar ve dünya havacılığında benzetim yöntemiyle elde edilen veriler ile elde edilen sonuç tablo 3.6.'da verilmiştir.

İnsansız hava aracı seçimi uygulaması klasik mantık çözümünün ardından bulanık mantık ile çözümlenmiştir. Değerlendirmede uzmanların uçak bazında verdikleri cevaplar tablolar halinde düzenlenmiştir. Çok iyi cevabının karşılığı "Çİ" ve puanlaması 1, iyi dilsel ifadesinin karşılığı "İ" ve puanlaması 0,75, orta dilsel ifadesinin karşılığı "O" ve puanlaması 0,50, zayıf dilsel ifadesinin karşılığı "Z" ve puanlaması 0,25 ve çok zayıf ifadesinin karşılığı "ÇZ" ve puanlaması da 0,00 olarak alınmıştır. Uzman kişilerin tabloda gösterimi ise U-1, U-2 şeklindedir. Bu kapsamda uzmanların vermiş oldukları cevaplar ile tablo gösterimlerindeki kısaltmalar kullanılarak her bir İHA için tablolar hazırlanmıştır.

Uzman kişilerin İHA-1 için kriter bazında yapmış oldukları değerlendirmeler Tablo 3.7'de gösterilmiştir.

Tablo 3.7. İHA-1 için kriter bazında uzman değerlendirmeleri.

	U-1	U-2	U-3	U-4	U-5	U-6	U-7	U-8	U-9	U-10
K-1	Çİ	Çİ	İ	İ	İ	İ	Çİ	İ	O	İ
K-2	İ	İ	O	Z	Z	Z	ÇZ	İ	O	İ
K-3	Z	Z	O	Z	ÇZ	ÇZ	ÇZ	Z	O	O
K-4	O	Z	İ	İ	Çİ	O	Çİ	İ	İ	O
K-5	Z	ÇZ	O	O	Z	İ	İ	O	İ	O
K-6	İ	İ	O	İ	O	Z	Z	İ	İ	O
K-7	Z	Z	Z	ÇZ	ÇZ	Z	O	O	Z	Z
K-8	ÇZ	ÇZ	Z	Z	O	ÇZ	ÇZ	ÇZ	Z	ÇZ
K-9	ÇZ	ÇZ	ÇZ	ÇZ	Z	Z	Z	O	Z	Z
K-10	Çİ	Çİ	Çİ	İ	Çİ	Çİ	Çİ	İ	Çİ	Çİ

Tablo 3.7.'deki dilsel ifadelerin matematiksel karşılıkları tablo 3.8.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.8. İHA-1 için uzman değerlendirmelerinin matematiksel karşılıkları

	U-1	U-2	U-3	U-4	U-5	U-6	U-7	U-8	U-9	U-10
K-1	1,00	1,00	0,75	0,75	0,75	0,75	1,00	0,75	0,50	0,75
K-2	0,75	0,75	0,50	0,25	0,25	0,25	0,00	0,75	0,50	0,75
K-3	0,25	0,25	0,50	0,25	0,00	0,00	0,00	0,25	0,50	0,50
K-4	0,50	0,25	0,75	0,75	1,00	0,50	1,00	0,75	0,75	0,50
K-5	0,25	0,00	0,50	0,50	0,25	0,75	0,75	0,50	0,75	0,50
K-6	0,75	0,75	0,50	0,75	0,50	0,25	0,25	0,75	0,75	0,50
K-7	0,25	0,25	0,25	0,00	0,00	0,25	0,50	0,50	0,25	0,25
K-8	0,00	0,00	0,25	0,25	0,50	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00
K-9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,25	0,25	0,50	0,25	0,25
K-10	1,00	1,00	1,00	0,75	1,00	1,00	1,00	0,75	1,00	1,00

Uzmanların dilsel ifadelerinin karşılığı olan matematiksel değerlerin ortalaması alınarak, İHA-1 için kriterlerin değerlerin oluşturulmuş ve bu değerler tablo 3.9.'da gösterilmiştir.

Tablo 3.9. İHA-1 kriter değerleri

İHA-1									
K-1	K-2	K-3	K-4	K-5	K-6	K-7	K-8	K-9	K-10
0,8	0,475	0,25	0,675	0,475	0,575	0,25	0,125	0,175	0,95

Uzman kişilerin İHA-2 için kriter bazında yapmış oldukları değerlendirmeler Tablo 3.10'da gösterilmiştir.

Tablo 3.10. İHA-2 için kriter bazında uzman değerlendirmeleri

	U-1	U-2	U-3	U-4	U-5	U-6	U-7	U-8	U-9	U-10
K-1	ÇZ	O	Z	Z	Z	Z	ÇZ	O	Z	ÇZ
K-2	O	İ	O	O	ÇZ	Z	O	Z	Z	O
K-3	Çİ	Çİ	Çİ	İ	İ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	İ
K-4	Z	O	O	ÇZ	ÇZ	Z	İ	Z	ÇZ	ÇZ
K-5	ÇZ	Z	Z	Z	O	İ	O	O	O	Z
K-6	İ	İ	O	İ	O	Z	Z	İ	İ	O
K-7	Z	Z	Z	ÇZ	ÇZ	Z	O	Z	O	Z
K-8	Z	ÇZ	ÇZ	O	Z	Z	ÇZ	Z	ÇZ	ÇZ
K-9	Z	Z	Z	ÇZ	ÇZ	O	ÇZ	Z	Z	Z
K-10	Çİ	İ	İ	Çİ	İ	Çİ	Çİ	Çİ	İ	Çİ

Tablo 3.10.'daki dilsel ifadelerin matematiksel karşılıkları tablo 3.11.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.11. İHA-2 için uzman değerlendirmelerinin matematiksel karşılıkları

	U-1	U-2	U-3	U-4	U-5	U-6	U-7	U-8	U-9	U-10
K-1	0,00	0,50	0,25	0,25	0,25	0,25	0,00	0,50	0,25	0,00
K-2	0,50	0,75	0,50	0,50	0,00	0,25	0,50	0,25	0,25	0,50
K-3	1,00	1,00	1,00	0,75	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00	0,75
K-4	0,25	0,50	0,50	0,00	0,00	0,25	0,75	0,25	0,00	0,00
K-5	0,00	0,25	0,25	0,25	0,50	0,75	0,50	0,50	0,50	0,25
K-6	0,75	0,75	0,50	0,75	0,50	0,25	0,25	0,75	0,75	0,50
K-7	0,25	0,25	0,25	0,00	0,00	0,25	0,50	0,25	0,50	0,25
K-8	0,25	0,00	0,00	0,50	0,25	0,25	0,00	0,25	0,00	0,00
K-9	0,25	0,25	0,25	0,00	0,00	0,50	0,00	0,25	0,25	0,25
K-10	1,00	0,75	0,75	1,00	0,75	1,00	1,00	1,00	0,75	1,00

Uzmanların dilsel ifadelerinin karşılığı olan matematiksel değerlerin ortalaması alınarak, İHA-2 için kriterlerin değerlerin oluşturulmuş ve bu değerler Tablo 3.12.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.12. İHA-2 kriter değerleri

İHA-2									
K-1	K-2	K-3	K-4	K-5	K-6	K-7	K-8	K-9	K-10
0,225	0,4	0,925	0,25	0,375	0,575	0,25	0,15	0,2	0,9

Uzman kişilerin İHA-3 için kriter bazında yapmış oldukları değerlendirmeler Tablo 3.13'da gösterilmiştir.

Tablo 3.13. İHA-3 için kriter bazında uzman değerlendirmeleri

	U-1	U-2	U-3	U-4	U-5	U-6	U-7	U-8	U-9	U-10
K-1	O	Z	İ	O	İ	O	İ	Z	O	Z
K-2	İ	Çİ	O	İ	Z	O	O	O	İ	İ
K-3	ÇZ	Z	Z	ÇZ	O	Z	Z	ÇZ	ÇZ	Z
K-4	O	İ	İ	Z	O	O	O	O	İ	O
K-5	İ	Çİ	Çİ	İ	O	O	O	İ	İ	O
K-6	Çİ	Çİ	İ	Çİ	O	Çİ	Çİ	İ	Çİ	Çİ
K-7	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	O	İ	İ	Çİ	İ	Çİ
K-8	Z	Z	Z	O	ÇZ	ÇZ	O	O	Z	Z
K-9	Z	ÇZ	ÇZ	Z	Z	O	Z	Z	O	Z
K-10	O	İ	İ	Z	Z	Z	O	O	İ	O

Tablo 3.13.'deki dilsel ifadelerin matematiksel karşılıkları tablo 3.14.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.14. İHA-3 için uzman değerlendirmelerinin matematiksel karşılıkları

	U-1	U-2	U-3	U-4	U-5	U-6	U-7	U-8	U-9	U-10
K-1	0,50	0,25	0,75	0,50	0,75	0,50	0,75	0,25	0,50	0,25
K-2	0,75	1,00	0,50	0,75	0,25	0,50	0,50	0,50	0,75	0,75
K-3	0,00	0,25	0,25	0,00	0,50	0,25	0,25	0,00	0,00	0,25
K-4	0,50	0,75	0,75	0,25	0,50	0,50	0,50	0,50	0,75	0,50
K-5	0,75	1,00	1,00	0,75	0,50	0,50	0,50	0,75	0,75	0,50
K-6	1,00	1,00	0,75	1,00	0,50	1,00	1,00	0,75	1,00	1,00
K-7	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,75	0,75	1,00	0,75	1,00
K-8	0,25	0,25	0,25	0,50	0,00	0,00	0,50	0,50	0,25	0,25
K-9	0,25	0,00	0,00	0,25	0,25	0,50	0,25	0,25	0,50	0,25
K-10	0,50	0,75	0,75	0,25	0,25	0,25	0,50	0,50	0,75	0,50

Uzmanların dilsel ifadelerinin karşılığı olan matematiksel değerlerin ortalaması alınarak, İHA-3 için kriterlerin değerlerin oluşturulmuş ve bu değerler tablo 3.15'de gösterilmiştir.

Tablo 3.15. İHA-3 kriter değerleri

İHA-3									
K-1	K-2	K-3	K-4	K-5	K-6	K-7	K-8	K-9	K-10
0,5	0,625	0,175	0,55	0,7	0,9	0,875	0,275	0,25	0,5

Uzman kişilerin İHA-4 için kriter bazında yapmış oldukları değerlendirmeler Tablo 3.16'da gösterilmiştir.

Tablo 3.16. İHA-4 için kriter bazında uzman değerlendirmeleri.

	U-1	U-2	U-3	U-4	U-5	U-6	U-7	U-8	U-9	U-10
K-1	İ	O	O	İ	İ	O	O	İ	İ	O
K-2	ÇZ	ÇZ	Z	Z	ÇZ	Z	O	ÇZ	ÇZ	ÇZ
K-3	ÇZ	ÇZ	ÇZ	ÇZ	ÇZ	ÇZ	Z	Z	Z	ÇZ
K-4	İ	O	Çİ	İ	İ	O	İ	İ	O	İ
K-5	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	O	İ	İ	Çİ	İ	İ
K-6	Çİ	İ	İ	Çİ	Çİ	Çİ	İ	Çİ	İ	Çİ
K-7	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	İ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ
K-8	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	İ	İ	Çİ	Çİ
K-9	Çİ	İ	İ	İ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ
K-10	İ	Çİ	Çİ	Çİ	İ	İ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ

Tablo 3.16'daki dilsel ifadelerin matematiksel karşılıkları tablo 3.17.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.17. İHA-4 için uzman değerlendirmelerinin matematiksel karşılıkları

	U-1	U-2	U-3	U-4	U-5	U-6	U-7	U-8	U-9	U-10
K-1	0,75	0,50	0,50	0,75	0,75	0,50	0,50	0,75	0,75	0,50
K-2	0,00	0,00	0,25	0,25	0,00	0,25	0,50	0,00	0,00	0,00
K-3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,25	0,25	0,00
K-4	0,75	0,50	1,00	0,75	0,75	0,50	0,75	0,75	0,50	0,75
K-5	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,75	0,75	1,00	0,75	0,75
K-6	1,00	0,75	0,75	1,00	1,00	1,00	0,75	1,00	0,75	1,00
K-7	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00
K-8	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,75	0,75	1,00	1,00
K-9	1,00	0,75	0,75	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K-10	0,75	1,00	1,00	1,00	0,75	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00

Uzmanların dilsel ifadelerinin karşılığı olan matematiksel değerlerin ortalaması alınarak, İHA-5 için kriterlerin değerlerin oluşturulmuş ve bu değerler tablo 3.18'de gösterilmiştir.

Tablo 3.18. İHA-4 kriter değerleri

İHA-4									
K-1	K-2	K-3	K-4	K-5	K-6	K-7	K-8	K-9	K-10
0,625	0,125	0,075	0,7	0,85	0,9	0,975	0,95	0,925	0,925

Tüm insansız hava araçları için kriter değerlendirmeleri oluşturulmasının ardından tablo 19’da alternatiflerin her bir kriter için matematiksel ifadeleri gösterilmiştir.

Tablo 3.19. Alternatif için kriter değerleri.

	K-1	K-2	K-3	K-4	K-5	K-6	K-7	K-8	K-9	K-10
İHA-1	0,8	0,475	0,25	0,675	0,475	0,575	0,25	0,125	0,175	0,95
İHA-2	0,225	0,4	0,925	0,25	0,375	0,575	0,25	0,15	0,2	0,9
İHA-3	0,5	0,625	0,175	0,55	0,7	0,9	0,875	0,275	0,25	0,5
İHA-4	0,625	0,125	0,075	0,7	0,85	0,9	0,975	0,95	0,925	0,925

Gri ilişki analizi işlem adımları tekrarlanarak bulanık sayılar için çözüm bulunmuştur. Öncikle normalizasyon işlemi yapılmış sonuçları tablo 3.20’de gösterilmiştir.

Tablo 3.20. Normalizasyon

	AS	ES	MLYT	HK	KK	EÖ	Aİ	AM	MFY	MHKS
İHA 1	1,0000	0,7000	0,2059	0,9444	0,2105	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000
İHA 2	0,0000	0,5500	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0303	0,0333	0,8889
İHA 3	0,4783	1,0000	0,1176	0,6667	0,6842	1,0000	0,8621	0,1818	0,1000	0,0000
İHA 4	0,6957	0,0000	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,9444

Her bir satırdaki değerlerin ilgili sütundaki referans serisine olan uzaklığı, değerlerin ilgili oldukları sütundaki referans serisinden çıkarılması ile bulunmuştur. Bu işlem sonucunda oluşan matris tablo 3.21.’de gösterilmiştir.

Tablo 3.21. Referans serisi ve referans serisine olan uzaklıklar matrisi

	AS	ES	MLYT	HK	KK	EÖ	Aİ	AM	MFY	MHKS
Referans	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
İHA 1	0,0000	0,3000	0,7941	0,0556	0,7895	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000
İHA 2	1,0000	0,4500	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,9697	0,9667	0,1111
İHA 3	0,5217	0,0000	0,8824	0,3333	0,3158	0,0000	0,1379	0,8182	0,9000	1,0000
İHA 4	0,3043	1,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0556

Tablo 3.22. Gri ilişkisel katsayıları matrisi

	AS	ES	MLYT	HK	KK	EÖ	Aİ	AM	MFY	MHKS
İHA 1	1,000	0,625	0,386	0,900	0,388	0,333	0,333	0,333	0,333	1,000
İHA 2	0,333	0,526	1,000	0,333	0,333	0,333	0,333	0,340	0,341	0,818
İHA 3	0,489	1,000	0,362	0,600	0,613	1,000	0,784	0,379	0,357	0,333
İHA 4	0,622	0,333	0,333	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,900

Tablo 3.23. Gri ilişkisel dereceler ve sıralamaları

	İHA 1	İHA 2	İHA 3	İHA 4
GRI İLİŞKİ DERECESİ	0,563	0,469	0,592	0,819
SIRALAMA	3	4	2	1

Gri ilişki analizi ve bulanık mantık ile gri ilişki analizi kullanılarak yapılan uygulamanın karşılaştırma tablosu tablo 3.24'de gösterilmiştir.

KLASİK	İHA 1	İHA 2	İHA 3	İHA 4
GRI İLİŞKİ DERECESİ	0,521	0,370	0,600	0,817
SIRALAMA	3	4	2	1
BULANIK MANTIK	İHA 1	İHA 2	İHA 3	İHA 4
GRI İLİŞKİ DERECESİ	0,563	0,469	0,592	0,819
SIRALAMA	3	4	2	1

İki farklı çözüm için de sıralamalar aynı çıkmıştır.

4. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Tartışma

Ele aldığımız problem çok sayıda alternatifi ve çok sayıda kriteri barındırdığından dolayı çok kriterli karar verme yöntemleri uygulanmıştır. İHA seçimi uygulaması için uzman değerlendirmeleri ile öncelikle klasik gri ilişkisel analiz yöntemi kullanılarak dünya havacılığında benzetim yöntemiyle oluşturulan alternatiflerden, İHA 4 alternatifi en iyi alternatif olarak seçilmiştir. İkinci en iyi alternatif İHA 2, üçüncü en iyi alternatif İHA 1 ve dördüncü alternatif ise İHA 2 olmuştur. İki seri arasındaki gri ilişki derecesi ne kadar yüksekse o seriler arasındaki geometrik benzerlik o denli yüksek olduğundan gri ilişki dereceleri incelendiğinde referans seriye geometrik olarak en yakın serinin yani İHA 4 alternatifinin mevcut kriter ağırlıkları ve değerlendirmelerine göre en iyi alternatif olduğu görülmüştür. Uzman kişilerle yapılan mülakatlar sonucunda belirlenen kriterlerle bulunan ideal alternatif değerlendirmeleri bu şekilde olup, kriterlerin değiştirilmesi, ağırlıklarının değiştirilmesi veya alternatiflerin değiştirilmesi söz konusu olduğunda bulunacak çözüm kümesi değişkenlik gösterebilecektir. Ancak görevin icrası için uzman görüşlerinin yardımıyla belirlenen kriterler ile 4 numara ile belirlenen alternatif diğer alternatiflerden üstün gelmiş ve bu şartlarda en efektif alternatif olduğu sonucu ortaya çıkmıştır.

Klasik yöntemle uygulama çözümlendikten sonra değerlendirmelerin net olarak yapılamadığı durumlarda sonucun değişimini gözlemleyebilmek adına uzmanların dilsel ifadelerinin karşılığı olan bulanık sayılar ile bulanık mantık çerçevesinde gri ilişki analizi tekrar uygulanmıştır. Bulanık mantık ile yapılan uygulama sonucunda çıkan

sonuç klasik çözüm ile aynı çıkmış, alternatiflerin sıralaması değişmemiş, 4 numaralı alternatif en iyi alternatif olarak belirlenmiştir.

4.2. Sonuç ve Öneriler

Yeni silah sistemleri alımı, ihtiyaca cevap verecek silah sistemlerinin araştırılması, incelenmesi, seçimi uzun zaman alan ucuz ve basit olmayıp ülke ekonomisinden son derece büyük kaynak ayrılmasını gerektiren bir süreçtir. Bundan dolayı silah sistemlerinin seçimi oldukça detaylı bir incelemeyi ve birçok kriterin bir arada ele alınmasını gerektirir. Yapılan tezde, karar vericiler için en uygun olan insansız hava aracı seçimi problemi, problemin yapısından da dolayı gri ilişkisel analiz yöntemi ile deterministik ve bulanık ortamda ayrı ayrı çözülmüştür.

Önerilen yaklaşımlar İHA seçimi gibi benzer silah sistemlerinin seçiminde de kullanılabilir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, terörle mücadelede İHA sistemlerinin tasarımında etkinlik ve maliyet gibi, çelişen amaçlarla eşleşen durumlarda, optimum tasarımı ve tasarlanan sistemlerin çeşitli ölçeklerde karşılaştırılması da yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Çetin Ö. 2008. Otonom İHA'ların Uçuş Kontrol ve Navigasyon Görevleri İçin Bulanık Mantık Tabanlı Çözüm Yaklaşımı, HHO HUTEN Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi.
2. Ülgüner B. 2005. TSK'nın İnsansız Hava Aracı İhtiyacının Analiz Edilmesi, KHO SAVBEN Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi.
3. Kaplankıran Ö. 2007. Mini İnsansız Hava Aracı Etrafındaki Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi, HHO HUTEN Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi.
4. Vikipedi, 2015. MQ-9 Reaper. (https://tr.wikipedia.org/wiki/General_Atomics_MQ-9_Reaper), (Erişim tarihi: Nisan 2016).
5. Vikipedi, 2015. MQ-1 Predator (https://tr.wikipedia.org/wiki/MQ-1_Predator), (Erişim tarihi: Nisan 2016).
6. Vikipedi, 2014. Heron (https://tr.wikipedia.org/wiki/IAI_Heron) (Erişim tarihi: Nisan 2016).
7. Topçu, Y.İ. 2000. Çok Ölçütlü Sorun Çözümüne Yönelik Bir Bütünleşik Karar Destek Modeli. Doktora Tezi. İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
8. Gregory, G. 1988. Decision Analysis. Pitman Publishing, London.
9. Özden, K. 1989. Yöneylem Araştırması. Hava Harp Okulu Yayınları, İstanbul..
10. Öz A.H., 2007. Yük Helikopteri Seçiminde Bulanık Çok Amaçlı Karar Verme Modeli Doktora Tezi İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
11. Fihburn P.C., 1967. Additive Utilities with Incomplete Product Set: Applications to Priorities and Assignments, Operation Research Society of America, USA.

12. Saaty, T. L., 2005. Theory and Applications of the Analytic Network Process: Decision Making with Benefits, Opportunities, Costs and Risks, RWS Publications.
13. Belton,V. ve Steward,T., 2002. Multiple Criteria Decision Analysis, **Kluwer Academic Publishers**, s.2.
14. Şener, B., 2004 “Landfill Site Selection by Using Geographic Information systems”, A Thesis Submitted to Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, s.30.
15. Subaşı, H., 2011 Çok Kriterli Karar Vermede Kullanılan Topsis ve Ahp Yöntemlerinin Karşılaştırılması ve Bir Uygulama Yüksek Lisans Tezi, Marmara Ü., İstanbul.
16. Nurullah U., Nuray G., 2011 Türkiye’de Kamu ve Özel Bankaların Performanslarının Gri İlişki Analizi İle İncelenmesi, **Akdeniz İ.İ.B.F. Dergisi** (21), 46-66.
17. Kayacan, E., Ulutag, B., Büyükgalvarcı, A. ve Kaynak, O., 2007 “ Gri Sistem Kuramı ve Finansman Uygulamaları”, *GMKB Örneği, 1. Ulusal Finans Sempozyumu, Zonguldak*, 215-229.
18. Deng, J.L., 1989 “Introduction to grey system”, **The Journal of Grey System**, **1**(1): 1-24.
19. Wen, K.L., 2004 “Grey systems: Modeling and prediction”, **YangSky Scientific Press**, Tucson, USA, 49-51.
20. Lin CS., Sun WZ., Chan WH., Lin CJ., Yeh HM., Mok MS., 2004 Intravenous lidocaine and ephedrine, but not propofol, suppress fentanyl-induced cough. **Can J Anaesth**, (51), 654-9.
21. Wu, H.H. (2002) “A Comparative Study of Using Grey Relational Analysis in Multiple Attribute Decision-Making Problems” **Quality Engineering**, **15**(2): 209-217.

22. Kuo, P. L., Kuo, C. H., 2011. An efficient fuzzy weighted average algorithm for the military UAV selecting under group decision-making, **Knowledge-Based Systems**, 877–889..
23. J.M. Sánchez., J. Serna, A. Dolón, P., 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**, 58–65.
24. Xixia S., Chao C., Jie Y., Xubang S., 2015. Route evaluation for unmanned aerial vehicle based on type-2 fuzzy sets **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, 132–145.
25. Arica N., Cicibaş H., Demir K., A., 2012. İnsansız Hava Araçları için Çok Kriterli Güzergâh Planlama Modeli. **Savunma Bilimleri Dergisi**, **11** (1), 251-270.
26. Francesca G., R. Surace , V. Loscrí , E. Natalizio 2014 A multi-objective approach for unmanned aerial vehicle routing problem with soft time windows constraints. **Applied Mathematical Modelling**, 839–852.
27. Ching H., C., a, Kuo L. Y., Chia L. H., 1999. Evaluating attack helicopters by AHP based on linguistic variable weight. **European Journal of Operational Research**.
28. Hsu, C.I. And Wen, Y.H., 2000. “Application of grey theory and multiobjective programming towards airline network design”, **European Journal of Operational Research**, **127** (1): 44-68.
29. Akkuş Y., 2009 İnsansız Uçaklarla Türkiye Kara Sınırları Güvenliğinin Sağlanmasında Ana Dağıtım Üssü Belirleme ve Rotalama Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Ankara.
30. Ustunişik, Z., N., 2007. Türkiye’de İller Ve Bölgeler Bazında Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik Sıralaması Araştırması: Gri İlişkisel Analiz Yöntemi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara..

31. İhsan Ö., 2008. İç Güvenlikte Kullanılacak İnsansız Hava Aracı Seçiminde Analitik Hiyerarşi Metodunun Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi. Ankara.
32. Li vd., 2007; Mohammad vd., 2011 Liu, S. ve Lin,Y. (2006) “Grey Information Teoryand Practical Applications” **Springer**,11-21.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Serdar ULUCAN

Uyruğu: Türkiye (TC)

Doğum Tarihi ve Yeri: 28 Nisan 1984, Altındağ/ANKARA

Medeni Durumu: Evli

Tel: +90 352 222 45 45

E-mail: ulucnserdar@gmail.com

Yazışma Adresi: 2'nci Hava İkmal Bakım Merkezi Komutanlığı Maliye Şube
Müdürlüğü Esenyurt/KAYSERİ

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Hava Harp Okulu Komutanlığı Endüstri Müh. İSTANBUL	2006
Lise	Çankaya Milli Piyango Anadolu Lisesi, ANKARA	2002

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2006-2007	2'nci Ana Jet Üs K.lığı	Öğrenci Pilot
2007-2008	Hava Teknik Okullar Komutanlığı	Maliye Kursiyer Subayı
2008-2016	2'nci Hava İkmal Bakım Merkezi Komutanlığı (HVKK)	Tahakkuk Subayı
2016-Halen	Ankara Merkez Müdürlüğü (GENKUR)	Orduevi İkmal ve Mali İşler Amiri

YABANCI DİL

İngilizce