T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME TEKNİKLERİ İLE SAVAŞ UÇAĞI SEÇİMİ

Hazırlayan
Gökhan TÜYSÜZ

Danışman
Doç.Dr. Sinem KULLUK

Yüksek Lisans Tezi

Mayıs 2014
KAYSERİ

T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME TEKNİKLERİ İLE SAVAŞ UÇAĞI SEÇİMİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Hazırlayan
Gökhan TÜYSÜZ

Danışman
Doç.Dr. Sinem KULLUK

Mayıs 2014
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.

Gökhan TÜYSÜZ

İmza :

YÖNERGEYE UYGUNLUK

"Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ile Savaş Uçağı Seçimi" adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

Gökhan TÜYSÜZ

Danışman

Doç.Dr.Sinem KULLUK

Endüstri Mühendisliği ABD Başkanı

Doç.Dr. İbrahim DOĞAN

Doç.Dr. Sinem KULLUK danışmanlığında **Gökhan TÜYSÜZ** tarafından hazırlanan "**Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ile Savaş Uçağı Seçimi**" adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

23 / 05 / 2014

(Tez savunma sınav tarihi yazılacaktır.)

JÜRİ:

Danışman	: Doç.Dr. Sinem KULLUK .....
Üye	: Doç.Dr. Lale ÖZBAKIR .....
Üye	: Yrd.Doç.Dr. Esra KAHYA ÖZYİRMİDOKUZ .....

ONAY:
Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 03/06/2014 tarih ve 2014/25-18 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

....03./.06./.2014

Prof. Dr. Kâzım KEŞLİOĞLU

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca farklı bakış açıları ve bilimsel katkılarıyla beni aydınlatan, yakın ilgi ve yardımlarını esirgemeyen değerli danışmanım Doç.Dr. Sinem KULLUK'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca; çalışmalarım süresince sabır göstererek beni daima destekleyen eşim Sevim TÜYSÜZ'e ve oğlum Hasan Turan TÜYSÜZ'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Gökhan TÜYSÜZ

Kayseri, Mayıs 2014

ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME TEKNİKLERİ İLE SAVAŞ UÇAĞI SEÇİMİ

Gökhan TÜYSÜZ

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Mayıs 2014

Danışman: Doç.Dr. Sinem KULLUK

ÖZET

Ülkelerinin dış saldırılara karşı bekasını sağlamak isteyen devletler savunmalarına büyük önem vermelidirler. Dıştan gelebilecek tehditlere en kısa ve en etkili şekilde cevap verebilecek olan savunma gücü ise hava savunma gücüdür. Ülke savunmasında bu kadar önemli bir yere sahip olan hava savunmasını sağlamada en önemli konu savaş uçağı seçimidir.

Bu çalışmada uluslararası alanda en etkili uçaklardan beşi Çok Kriterli Karar Verme teknikleri ile belli kriterler çerçevesinde karşılaştırılmıştır. Belirlenen kriterler açısından en uygun olan uçak Analitik Hiyerarşi Prosesi, ELECTRE ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Savaş uçağı seçimi; karar verme; AHP; ELECTRE; TOPSIS.

CHOICE OF FIGHTER AIRCRAFT WITH MULTI CRITERIA DECISION MAKING

Gökhan TÜYSÜZ

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M.Sc. Thesis, May 2014

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Sinem KULLUK

ABSTRACT

States that want to ensure the survival of their country against external attacks, should give great importance to defense. Air defence force is the defence force that can respond the external attacks in the shortest and the most efficient way. And the choice of fighter aircraft is the most important thing to create air defence efficiently.

In this study, five of the most influential aircraft of the world are compared with Multi Criteria Decision Making techniques in accordance with certain criteria. Determining the most appropriate aircraft in terms of the certain criteria, AHP, TOPSIS and ELECTRE methods are used.

Keywords: Choice of fighter aircraft; decision making; AHP; ELECTRE; TOPSIS.

İÇİNDEKİLER

ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME TEKNİKLERİ İLE SAVAŞ UÇAĞI SEÇİMİ

Sayfa

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK SAYFASI i
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI ii
ONAY SAYFASI iii
TEŞEKKÜR iv
ÖZET v
ABSTRACT vi
İÇİNDEKİLER vii
KISALTMALAR ix
TABLOLAR LİSTESİ x
ŞEKİLLER LİSTESİ xii

GİRİŞ 1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

Literatür Taraması 3

2. BÖLÜM

GEREÇ VE YÖNTEM

2.1. Savaş Uçakları 7
2.1.1. F-35 Joint Strike Fighter (JSF) 8
2.1.2. F-22 Raptor 9
2.1.3. Mig-35 10

2.1.4. Sukhoi PAK FA 11
2.1.5. Eurofighter Typhoon 11
2.2. Karar Verme 12
2.2.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi 12
2.2.2. TOPSIS 18
2.2.3. ELECTRE 22

3. BÖLÜM
BULGULAR

3.1. AHP Uygulaması 30
3.2. ELECTRE Uygulaması 40
3.3. TOPSIS Uygulaması 44

4. BÖLÜM
TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuç 46

KAYNAKLAR 47
ÖZGEÇMİŞ 50

KISALTMALAR

ÇKKV	**:** Çok Kriterli Karar Verme
AHP	**:** Analitik Hiyerarşi Prosesi
ELECTRE	**:** Elimination and Choice Translating Reality
TOPSIS	**:** Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
KV	**:** Karar Verici
BAHP	**:** Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi
PROMETHEE	**:** Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation
ÇED	**:** Çevresel Etki Değerlendirmesi
DT	**:** Deneysel Tasarım
BT	**:** Bilişim Teknolojisi
BBÜ	**:** Bilgisayarla Bütünleşik Üretim
BEİ	**:** Bulanık Egemenlik İlişkisi
CR	**:** Tutarlılık Oranı
CI	**:** Tutarlılık İndeksi
RI	**:** Rastgelelik İndeksi

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Önem skalası....14
Tablo 2.2. RI değerleri....17
Tablo 2.3. X normalize matrisi....24
Tablo 2.4. Standart normalize matris.....24
Tablo 2.5. Ağırlıklı standart karar matrisinin oluşturulması….....24
Tablo 2.6. Ağırlıklı standart karar matrisi sonucu.....25
Tablo 2.7. Uyumluluk matrisi....26
Tablo 2.8. Uyumsuzluk matrisi....26
Tablo 3.1. Aday uçaklar ile ilgili veriler....30
Tablo 3.2. Kriter karşılaştırma matrisi....30
Tablo 3.3. Normalize matris....31
Tablo 3.4. Öncelik vektörü....31
Tablo 3.5. D sütun vektörü....31
Tablo 3.6. E sütun vektörü....32
Tablo 3.7. I. kritere göre karşılaştırma....32
Tablo 3.8. Normalize matris ile W, D ve E sütun vektörleri....33
Tablo 3.9. λ_{max}, CI, RI, CR değerleri....33
Tablo 3.10. II. kritere göre karşılaştırma....33
Tablo 3.11. Normalize matris ile W, D ve E sütun vektörleri....33
Tablo 3.12. λ_{max}, CI, RI, CR değerleri....33
Tablo 3.13. III. kritere göre karşılaştırma....34
Tablo 3.14. Normalize matris ile W, D ve E sütun vektörleri....34
Tablo 3.15. λ_{max}, CI, RI, CR değerleri....34
Tablo 3.16. IV. kritere göre karşılaştırma....34
Tablo 3.17. Normalize matris ile W, D ve E sütun vektörleri....34
Tablo 3.18. λ_{max}, CI, RI, CR değerleri....35
Tablo 3.19. V. kritere göre karşılaştırma....35
Tablo 3.20. Normalize matris ile W, D ve E sütun vektörleri....35
Tablo 3.21. λ_{max}, CI, RI, CR değerleri....35
Tablo 3.22. VI. kritere göre karşılaştırma....35
Tablo 3.23. Normalize matris ile W, D ve E sütun vektörleri....36

Tablo 3.24. λ_{max}, CI, RI, CR değerleri 36
Tablo 3.25. VII. kritere göre karşılaştırma 36
Tablo 3.26. Normalize matris ile W, D ve E sütun vektörleri 36
Tablo 3.27. λ_{max}, CI, RI, CR değerleri 36
Tablo 3.28. VIII. kritere göre karşılaştırma 37
Tablo 3.29. Normalize matris ile W, D ve E sütun vektörleri 37
Tablo 3.30. λ_{max}, CI, RI, CR değerleri 37
Tablo 3.31. IX. kritere göre karşılaştırma 37
Tablo 3.32. Normalize matris ile W, D ve E sütun vektörleri 37
Tablo 3.33. λ_{max}, CI, RI, CR değerleri 38
Tablo 3.34. X. kritere göre karşılaştırma 38
Tablo 3.35. Normalize matris ile W, D ve E sütun vektörleri 38
Tablo 3.36. λ_{max}, CI, RI, CR değerleri 38
Tablo 3.37. Aday önceliklerinin bulunması 38
Tablo 3.38. Aday uçakların kriter değerleri 40
Tablo 3.39. Kriter karşılaştırma matrisi 40
Tablo 3.40. Kriterlerin normalize matrisi 40
Tablo 3.41. Kriterlerin W, D ve E sütun vektörleri 41
Tablo 3.42. Kriterlerin λ_{max}, CI, RI, CR değerleri 41
Tablo 3.43. Normalize karar matrisi 41
Tablo 3.44. Ağırlıklandırılmış normalize matris 41
Tablo 3.45. Net Uyum-Net Uyumsuzluk kümeleri 42
Tablo 3.46. Net Uyum-Net Uyumsuzluk indeksleri 43
Tablo 3.47. Karşılaştırma çizelgesi 44
Tablo 3.48. Ağırlıklandırılmış normalize matris 44
Tablo 3.49. Aday uçakların sıralaması 45

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. B-29 Superfortress ağır bombardıman uçağı 7
Şekil 2.2. F-16 Savaşan Şahin avcı uçağı 7
Şekil 2.3. F-35 JSF. 8
Şekil 2.4. F-22 Raptor 9
Şekil 2.5. Mig-35 10
Şekil 2.6. Sukhoi PAK FA 11
Şekil 2.7. Eurofighter Typhoon 11
Şekil 2.8. AHP Hiyerarşik Yapısı 13
Şekil 2.9. "İdeal" ve "Negatif İdeal" Çözümlere Olan Uzaklıkların İki Boyutlu Uzayda Gösterimi 19

GİRİŞ

Ülkeleri ayakta tutan en önemli parametrelerden birisi ekonomidir. İyi bir ekonomiye sahip olmak, bir ülkenin ihtiyaç duyduğu her alanda gelişebilmesine imkan verir. Böylece o ülkenin; öncelikle bulunduğu coğrafyada, genel olarak da tüm dünyada söz sahibi olmasına olanak sağlar. Dünya çapında yaşanan gelişmeler karşısında, ülkenin başına neler geleceğinin beklenilmesi yerine, bu olaylara ülke menfaatleri çerçevesinde nasıl yön verilebileceğinin hesabını yaptırır. Bu sayede devletler kendi bekaları adına pasif değil aktif bir rol almış olurlar.

İyi bir ekonomiye sahip olmak kadar, onu iyi koruyabilmek de çok önemlidir. İyi bir ekonominin göstergelerinden olan yerli üretimin gelişerek devam etmesi, yabancı yatırımların artması, ihracatın çeşitlenerek daha fazla ülkeye yapılması gibi veriler ülke ekonomisinin verdiği güvene bağlı olarak artış gösterir. İstikrar ise bu güvenin en temel etmenlerinden biridir. İstikrarı sağlayan en önemli etkenlerden birisi de ülke güvenliğidir.

Devletler günümüzde birçok tehditle karşı karşıya kalabilmektedir. Ve kendi güvenliklerini sağlayabilmek için tehdidin çeşidine göre birçok farklı önlem almaya çalışmaktadırlar. Önlem alınması gereken durumlardan birisi dışarıdan gelebilecek olan, ülkenin fiziki bütünlüğünü tehdit edebilecek saldırılardır. Dışarıdan gelebilecek bu tarz saldırılara karşı ülkenin silahlı kuvvetleri gerekli donanım, personel, silah ve teçhizatla donatılır.

Türkiye'yi ele aldığımızda, silahlı kuvvetlerimiz ülkenin güvenliğini Kara, Hava, Deniz, Jandarma ve Sahil Güvenlik birimleriyle sağlar. Bu birimlerin her birinin ülke savunmasında çok önemli yerleri olmakla birlikte, saliselerin bile çok fazla ehemmiyete haiz olduğu Hava Kuvvetlerinin ülkemizin güvenliği ve caydırıcılığında doldurulamaz bir yeri vardır.

Ülkenin güvenliğini sağlamanın yanında caydırıcılığını artırmak da çok ehemmiyetlidir. Hava Kuvvetlerinin ülkemizin caydırıcılığını sağlamada kullandığı en etkin unsurlardan birisi olan savaş uçaklarının seçimi kritik önem arz etmektedir. Savaş uçağı seçimi yapılırken ülkenin coğrafi konumu, yer şekilleri, sınırlarının durumu, dış tehditlerinin çeşidi gibi koşullar dikkate alınır.

Bu tezde, Türkiye için muhtemel bir savaş uçağı alımında, ülkenin yukarıda bahsedilen özellikleri de göz önüne alınarak yapılabilecek en iyi tercih Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) tekniklerinden Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), TOPSIS ve ELECTRE yöntemleriyle çalışılmış ve ortaya çıkan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışmayı yaparken gerekli olan kriterler, savunma sanayisinde savaş uçaklarıyla ilgili çalışan, alanında uzman kişi görüşleri alınarak belirlenmiştir.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

Literatür Taraması

Çok Kriterli Karar Verme konusu literatürde üretim, pazarlama, planlama, insan kaynakları, tesis yeri seçimi, grup karar verme, risk analizi, başvuru değerlendirme, teknoloji seçimi, sermaye yatırımı, muhasebe ve finans alanlarında yaygın olarak çalışılmıştır.

Shen vd. [1], madencilik sektöründe Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi uygulama kriterlerinin seçimi problemini çalışmışlar ve "uygun uygulama yaklaşımı" ile "sürekli iyileştirme" kriterlerinin en zayıf alanlar olduğunu ortaya koymuşlardır.

Srdjevic ve Srdjevic [2], Karar Vericilerin (KV) yerel öncelikli vektörlerinin AHP ile nasıl sentezleneceğini ve bu şekilde grup için tutarsızlığın nasıl azaltılabileceğini çalışmışlardır. Yaptıkları iki örnekle, geliştirilen yaklaşım ve algoritmanın en düşük toplam tutarsızlık ile alternatiflerin nihai önceliklerini oluşturduğunu göstermişlerdir.

Yu vd. [3], kentsel yol kavşakları trafik tıkanıklığının durum değerlendirme indeks sistemini AHP ile oluşturmuşlar, ardından da kavşakların trafik durumunu TOPSIS ile hesaplayıp karar vermişlerdir. En sonunda da kurdukları algoritmayı gerçek bir problem üzerinde deneyerek doğrulamışlardır.

Supçiller ve Çapraz [4], çalışmalarında tedarikçi seçimi problemini ele almışlardır. AHP ve TOPSIS yöntemleri birlikte bir işletmeye en uygun tedarikçinin seçilmesi amacıyla uygulanmıştır. Çalışmada; kalite, maliyet, teslimat ve hizmet kriterleri ana kriterler olarak belirlenmiş ve bunların alt kriterleri tanımlanmıştır. AHP yöntemi ana kriterler ve alt kriterlerin önem derecesinin belirlenmesi için, TOPSIS yöntemi ise tedarikçilerin sıralanması için kullanılmıştır. AHP yönteminde kriter ağırlıkları ve tutarsızlık oranları

Super Decisions 2.0.8 programı ile elde edilmiştir. Çalışma sonunda en önemli kriter "kalite" olarak belirlenmiş ve işletmenin mevcut tedarikçileri arasındaki en yüksek puana sahip tedarikçi saptanmıştır.

Bankaların performans değerlendirmesi alacaklılar, yatırımcılar ve paydaşlar açısından çok önemlidir. Seçme vd. [5], bankaların performansını ölçmek için bulanık bir ÇKKV modeli önermişlerdir. Çalışmada Türkiye'nin önde gelen beş büyük bankası ele alınmış olup, çeşitli finansal ve finansal olmayan göstergelerle değerlendirilmişlerdir. Önerilen modelde Bulanık AHP (BAHP) ile TOPSIS entegre edilmiştir. Sonuçlar rekabetçi bir ortamda sadece finansal performansların değil, aynı zamanda finansal olmayan performansların da hesaba katılması gerektiğini ortaya koymuştur.

Silah seçme problemi stratejik bir olgudur ve savunma sistemlerinin etkinliğinde önemli bir etkiye sahiptir. Dağdeviren vd. [6], çalışmalarında AHP ve TOPSIS'e dayalı bir model geliştirmişlerdir. Model savunma sanayisindeki aktörlerin bulanık bir ortamda silah seçimine destek oluşturmaktadır. Burada muğlaklık ve öznellik sorununun, dilsel değerlerin üçgen bulanık sayılarla parametrelendirilmesiyle üstesinden gelinmiştir. Gerçek bir uygulama yapılarak modelin etkinliği gösterilmiştir.

ÇKKV problemlerinin çözümü için çok farklı metotlar olmasına rağmen literatürde en fazla kullanılanlar AHP, TOPSIS, ELECTRE ve Gri Teori'dir. Özcan vd. [7] bu metotları karar verme teorisinin ana nitelikleri bakımından karşılaştırmış olup, avantaj ve dezavantajlarını göstermişlerdir. Ardından bu metotları kullanarak depo problemi çözmüş ve birçok alternatif yer arasından en iyi depo yeri belirlenmiştir.

Kurniati vd. [8], bir baraj yeri belirleme projesi için AHP kullanarak kamulaştırma ve iskan eylem planı geliştirmişlerdir. Hükümetin kentsel planları ve etkilenecek olan halkın beklentileri göz önüne alınarak, ekonomik, sosyo-kültürel ve çevresel faktörlere göre en iyi yer belirlenmiştir.

ÇKKV tekniklerinin birçok alanda kullanılmasına rağmen turizm alanında fazla çalışma mevcut değildir. Botti ve Peypoch [9], ELECTRE I kullanarak Hawai'deki dört adanın göreceli rekabetini analiz etmişlerdir. Sonuçlar mekanların karşılaştırmalı ve rekabetçi avantajlarını ortaya koymuştur.

Corrente vd. [10], ELECTRE ve PROMETHEE yöntemlerini kriterlerin hiyerarşik olduğu bir durum için daha önceden denenmemiş bir şekilde uygulamışlardır. Daha sonra da Güçlü Sıralı Regresyonu ELECTRE ve PROMETHEE'nin hiyerarşik versiyonuna uyarlamışlardır.

Bojkovic vd. [11], uluslararası taşımacılık kriterlerinden oluşan bir gösterge tablosunu başlangıç noktası kabul ederek ELECTRE I yöntemiyle makro seviyede bir sürdürülebilir taşımacılığın değerlendirmesini yapmışlardır. Metot örnek bir olay kapsamında seçilmiş bazı Avrupa ülkelerine uygulanmıştır. KV'lerin öznelliğini azaltmak için yöntemde değişikliğe gitmişler ve en sonunda da iki metotla da olayı çözmüşlerdir. Sonuçlar bir grafik yardımıyla gösterilerek karşılaştırılmıştır.

Ertuğrul ve Karakaşoğlu [12], işletmelerde karar vermeye yardımcı olmak için ELECTRE ve BAHP yöntemlerinin bir arada kullanılmasına dayanan bir yaklaşım sunmuşlardır. Bu yaklaşımda, klasik AHP yönteminin karar vericilerin sübjektif yargılarını ele almada yetersiz olmasından dolayı kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesinde, BAHP yönteminden yararlanılmıştır. Daha sonra alternatiflerin sıralanmasında ELECTRE yöntemi kullanılmıştır. Uygulama bölümünde ise sunulan bu yaklaşımın uygulanabilirliğini göstermek için bir işletmede dizüstü bilgisayar seçim problemi ele alınmıştır.

Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) hayata geçirilmesi düşünülen bir plan veya projenin çevrede oluşturabileceği muhtemel doğasal, sosyal ve ekonomik etkilerin değerlendirmesidir. Kaya ve Kahraman [13], entegre bir BAHP-ELECTRE yaklaşımıyla kentsel endüstriyel planlamaya uygun bir ÇED metodolojisi ileri sürmüşlerdir. Değişik çevresel faktörlerdeki belirsizlikleri ve muğlaklıkları ifade etmek için bulanık kümeler kullanmışlar ve bu sayede ÇED'in karmaşıklığını basitleştirmişlerdir. Bulanık ELECTRE ile de gelecekte İstanbul'un endüstriyel yapısını meydana getirecek olan altı farklı endüstriyel bölgenin oluşturacağı çevresel etkiyi değerlendirmişlerdir. En sonunda da Bulanık Egemenlik İlişkisi (BEİ) metodolojisi kullanarak alternatifleri en riskli bölgeden risksiz bölgeye doğru sıralamışlardır. Ayrıca duyarlılık analizi de yapmışlardır.

Günümüzde şirketlerin daha da gelişebilmelerindeki en önemli rol yöneticilerindir. Şirketlerin rekabetçi özelliklerini daha da artırmalarında yönetici seçiminin etkisi

büyüktür. Kelemenis vd. [14], bu seçimdeki zorlukları aydınlatmak için TOPSIS'e dayalı bir öneri sunmuşlardır. Üç yeni konsept ortaya koymuş ve Yunanistan'ın büyük bir Bilişim Teknolojisi (BT) firmasının orta kademe yönetici seçiminde deneysel bir uygulama yapmışlardır.

KV'ler için Bilgisayarla Bütünleşik Üretim (BBÜ) teknolojilerinin bir çok alternatif arasından seçimi gittikçe zorlaşmaktadır. İç [15], entegre bir TOPSIS-Deneysel Tasarım (DT) yönteminin gerçek zamanlı endüstriyel BBÜ teknolojisi seçimi problemlerinde uygulanabilirliğini göstermiştir. Dört problem ele alınmış ve uygulama sonuçlarının iyi tahminler yaptığı ortaya koyulmuştur.

2. BÖLÜM

GEREÇ VE YÖNTEM

2.1. Savaş Uçakları

Savaş uçakları, savaşlarda kara ve su üstündeki hedefleri bombalamak, diğer uçakları tahrip etmek, keşif yapmak, personel ve mühimmat taşımak gibi amaçlarla silahlı kuvvetler tarafından kullanılan hava taşıtlarıdır. Özellikle av ve bombardıman görevlerinde kullanılanlar savaş uçağı ve saldırı helikopteri olarak adlandırılırlar. Askerî uçaklar av, bombardıman, av-bombardıman ve nakliye gibi kategorilere ayrılırlar [27]. Şekil 2.1-2.2'de savaş uçaklarına örnekler verilmektedir.



Şekil 2.1. B-29 Superfortress ağır bombardıman uçağı [27]



Şekil 2.2. F-16 Savaşan Şahin avcı uçağı [27]

Görevlerine göre Havadan yere füze (AGM), havadan havaya füze (AAM) ve top taşıyan ayrıca hedeflerin tespiti, gözlenmesi için çeşitli radar, podlar taşırlar. Avcı uçakları kendi aralarında sınıflara ayrılırlar; hava üstünlük uçağı (genelde tek kişilik, hızlı, yüksek irtifalı uçaklar. Mig 25, Su 27, F-14A, F-15C gibi), hücum uçağı (15-25 ton arası tek motorlu ateş gücü yüksek uçaklardır F-16C, Mırage 2000, Mig 29, F-18C, Mig 23, F-15C örnek verilebilir), hücum destek uçağı (çok ağır silah donanımları vardır genelde düşman kara gücünü baskı altında tutarlar Mig 27, Su-25, Jaguar, AV 8B Harrier, A-10 gibi) ve bombardıman uçağı şeklinde tipleri vardır [27].

Bu çalışmada kullanılan uçaklar aşağıda tanıtılmıştır:

2.1.1. F-35 Joint Strike Fighter (JSF)



Şekil 2.3. F-35 JSF [28]

F-35 (Joint Strike Fighter / Müşterek Saldırı Uçağı), savaştaki her amaç için farklı uçak geliştirmenin masraflı olmasından dolayı tek bir uçağın tüm görevleri yerine getirmesi amacıyla tasarlanan bir savaş uçağıdır. Aynı zamanda ABD'nin son insanlı savaş uçağı projesidir.

ABD, deniz ve hava kuvvetlerindeki F-16, A-10, F/A-18 (yeni olan E/F "Super Hornet" varyantları hariç), AV-8B'leri İngiltere ise Harrier'ları bu uçak ile değiştirecektir. Uçağın üretim projesinde 9 ülke yer almıştır bu ülkeler içinde Türkiye de bulunmaktadır. Türkiye elindeki F-16'ları bu uçak ile takviye edip değiştirecektir. Uçak F-22'de kullanılan teknolojilerden faydalanılarak üretilmiştir. Radardaki izi F-22 kadar küçük olamasa bile günümüz uçaklarından düşüktür. Bunu sağlamak için silah

istasyonları gövdenin içine saklanmıştır. Dikine inip kalkabilmesi için bir modeli de vardır, bu sayede uçak gemilerine ve elverişsiz yerlere rahatlıkla inebilecektir. Uçak gemisine inip kalkarken mancınık ile fırlatılabilmesi ve kanca ile yakalanabilmesi için gövde altı sağlamlaştırılmıştır. Tek kişilik ve tek motorludur.

2.1.2. F-22 Raptor



Şekil.2.4. F-22 Raptor [29]

F-22 tek kişilik, çift motorlu bir uçaktır. Tasarımı ve gövdesinde kullanılan kompozit malzemeler sayesinde radar izi çok düşüktür. Radar izinin düşük olmasını sağlamak için taşınan bombaları ve füzeleri kanatları altında değil, uçağın içinde bulunan özel depolarda bulunması gerekir. Aksi taktirde radar izinin mühim bir oranda yükselip uçağı radar tesisleri için yine tespit edilebilir hale gelmesine neden olur.

F-22 radar görüntüsü çok küçük olan bir uçak olduğu için düşman hava sahasına sızabilir ve öncü darbeyi gerçekleştirebilir. F-22'nin çok yüksek manevra kabiliyeti vardır. Uçakta bulunan itki yönlendirme sistemi sayesinde uçak burnu yukarıya bakacak şekilde sabit irtifada gidebilir. İtki yönlendirmesi uçağın jet çıkışlarının yönlendirilmesi ile yapılmaktadır. Bu özellik F-22'yi it dalaşında üstün kılar. F-22'nin tasarlanmasının bir diğer amacı da havadan havaya füze taşıyamayan dolayısıyla kendini hava saldırılarına karşı koruyamayan F-117'nin bu eksikliğini gidermektir. F-22 silah yükünü gövde içinde taşır, gövde dışında kanat altındaki iki paylonda da harici yakıt tankı ya da bomba taşınabilir. Uçağın maliyetinin pahalı olması en önemli dezavantajıdır, bu nedenle üretim sayısı sınırlıdır.

F-22 düşman hava sahasına sızmak, ilk görünme, birden fazla hedeflere karşı ilk yok etme görevlerini ifa etmek üzere tasarlanmıştır. Düşük saptanabilme yeteneği, yüksek manevra kabiliyeti, gelişmiş entegre aviyonikleri ve aerodinamik performansı ile öne çıkmaktadır. F-22'nin motoru uzun süreli olarak süpersonik hızlarda uçarken yüksek verim sağlayan ve bunu düşük hızlarda da gerçekleştiren bir uçaktır.

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 çünkü bu tip yüklerin olmaması hava direncini azaltacağı gibi menzilini de arttırır.

2.1.3. Mig-35



Şekil 2.5. Mig-35 [30]

Gelişmiş aviyonikleriyle Mig-29'un daha gelişmiş bir versiyonu olarak üretilmiştir. Son model aktif elektronik taramalı radara ve çok gelişmiş silahlara sahiptir. Güvenilirliğinin ve servis kabiliyetinin artırılmasıyla birlikte işletme maliyeti azaltılmıştır. Hava-yer saldırılarında hedefi bulma hassasiyetini artırmak için sağ hava alığı altına, elektro-optik bir hedefleme modülü yerleştirilebilir. Mig-35 dahili savunma sisteminin parçası olarak radar uyarı, füze uyarı, lazer uyarı ve aktif koruma özellikleriyle donatılmıştır. Uçak yüksek güçte iki adet dijital kontrollü dumansız motora sahiptir.

2.1.4. Sukhoi PAK FA



Şekil 2.6. Sukhoi PAK FA [31]

Uçak ilk test uçuşunu 29 Ocak 2010 tarihinde gerçekleştirmiş olup, yüksek performanslı, düşük radar izine sahip, farklı görevleri icra edebilme yeteneğine haiz 5. nesil bir savaş uçağıdır. Gövde aerodinamiği uçağa müthiş bir çeviklik sağlamakta ve birçok batılı eşdeğerine göre daha üstün kılmaktadır. Bu çeviklik; nozulların üç boyutlu itki kontrolü, hareketli kuyruk parçaları ve serbest yönlü statik istikrar ile uygun kütle dağılımlı zarif aerodinamik tasarımın kombinesiyle başarılmıştır. Uçak yüksek güçlü çoklu modlu radarı ve gelişmiş aviyonikleriyle göz doldurmaktadır.

2.1.5. Eurofighter Typhoon



Şekil 2.7. Eurofighter Typhoon [32]

Uçak Fransa, Almanya ve İngiltere'nin teknolojik açıdan geri kalmış olan uçaklarını Amerikan uçakları seviyesine çıkarmak için tasarlanmıştır. Uçağın ağırlığını azaltmak ve yüksek dayanıklı bir yapıya kavuşturmak için gövdesinde karbon fiber kompozitler, titanyum parçalar ve alüminyum-lityum alaşımlar kullanılmıştır. Yüksek hız, irtifa, menzil ve manevra kabiliyetine sahiptir. Bu güçlü yanlarının yanında modern ve kapsamlı aviyonikleriyle de öne çıkmaktadır. Yapılan bunca geliştirmeye rağmen görünürlüğünün yeteri kadar az olmaması gibi bazı özellikleri onu fazlaca öne çıkarmamaktadır.

2.2. Karar Verme

Literatürde bir çok karar verme tekniği bulunmakla birlikte bu çalışmada uygulanacak olan teknikler aşağıda anlatılmıştır.

2.2.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi

AHP 1970'li yıllarda Saaty tarafından ortaya atılmış bir ÇKKV tekniğidir. Karmaşık problemlerin çözümünü kolaylaştıran, karar verme sürecinde öznel ve nesnel faktörleri birlikte ele alabilen bir tekniktir. Hiyerarşik bir yapıya sahiptir.

İnsan yargısının karar verme sürecinde dikkate alınması karar vermede etkinliği artırabilmektedir. Her bir insan için aynı karar probleminde karar kriterlerinin önem düzeyi ve karar seçeneklerinin değerlendirilmesinde yargılar farklılık gösterebilmektedir. Bu tür karar problemlerinin çözümünde AHP daha etkin karar verme imkanı sağlayabilmektedir [16].

İnsan doğası, analitik düşünme ve ölçümler üzerine yapılan temel gözlemler; AHP'nin problemlerin niceliksel olarak çözümünde kullanışlı bir model olarak gelişmesini sağlamıştır. Bundan başka AHP, bireylerin ya da grupların kendi varsayımlarını yapmaları ve onlardan beklenen çözümün türetilmesi vasıtasıyla fikirlerini paylaşmasına ve problemleri tanımlamasına olanak sağlayan esnek bir modeldir. Ayrıca bilgilerde değişiklik yaparak çözümün ve sonucun duyarlılığının bireylerce test edilebilmesine olanak sağlamaktadır [17].

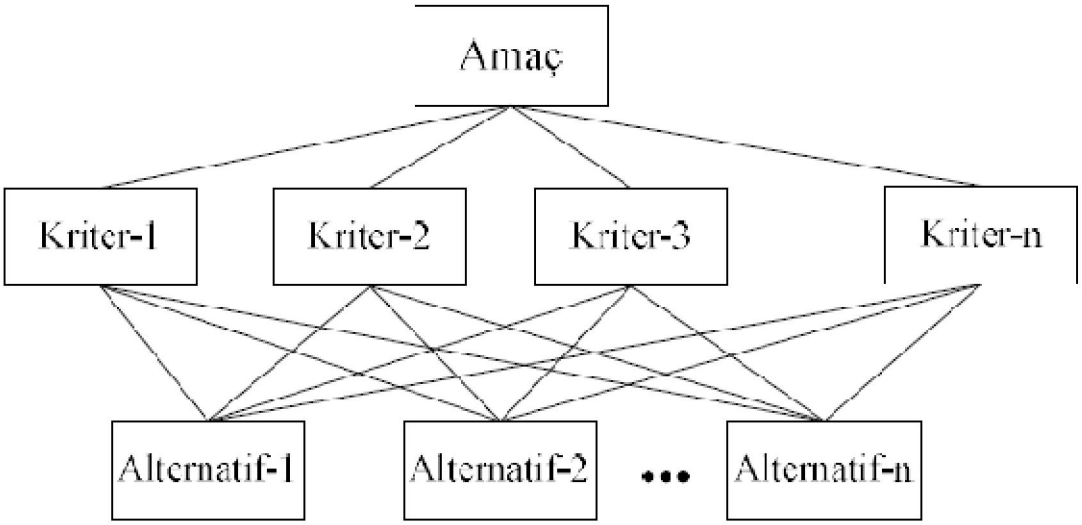
Karar vermede, seçeneklerin değerlendirilmesinde birden fazla kriterin olması ve bu kriterlerin verilecek karara etkilerinin eşit olmaması durumunda, analitik hiyerarşi

süreci ile karar seçeneklerinin ikili karşılaştırmaları yapılarak seçeneklerin sıralamasını yapmak mümkündür [16].

AHP, karar vericilere ve onların danışmanlarına olası en iyi sonuca ulaşmada problemleri yapılandırabilecekleri ve problemle alakalı hedef, önemli nokta ve alternatifleri analiz edebilecekleri bir çerçeve çizmektedir. AHP doğrusal cebir ve grafik teorisi üzerine inşa edilmiştir. Amacı ise, uygulamadaki problemlerin modellenmesinin birliği doğrultusunda, her bir problemin kendine özgü model ve terminolojide eğilimli olduğu modellerin var olan parçalanmasından kaçınarak bir katkı sağlamaktır. Prosesin temel farzı; bilgi edinmek, öngörebilmek ve dünyayı kontrol edebilmek için kullanılan metotların birbiriyle bağlantılı olduğu ve bilgiyi bulmak için kovalanan hedeflerin de bağlantılı olduğudur [17].

AHP yönteminin uygulama adımları şu şekildedir[18]:

1. *Hiyerarşik Yapının Oluşturulması:* Karar amacı ile tepeden başlayarak karar hiyerarşisi oluşturulur. Orta seviyede kriterler ve en düşük seviyede ise alternatifler bulunur [19]. Şekil 2.8'de AHP yönteminin hiyerarşik yapısı verilmiştir.



Şekil 2.8. AHP Hiyerarşik Yapısı

2. *Kriterler için ağırlıklar türetilir:* Bu aşamada hiyerarşik yapıdaki elemanlar birbiriyle Saaty'nin geliştirdiği aşağıdaki tabloda görünen skalalara göre kıyaslanmaktadır.

Tablo 2.1.Önem skalası

ÖNEM ÖLÇEĞİ	TANIM	AÇIKLAMA
1	Eşit derecede önemli	İki seçenek eşit derecede öneme sahiptir
3	Orta derecede önemli	Bir seçenek diğerine göre biraz üstündür
5	Kuvvetli derecede önemli	Bir seçenek diğerine göre oldukça üstündür
7	Çok kuvvetli derecede önemli	Bir seçenek diğerine göre kuvvetle üstündür
9	Kesin önemli	Bir seçenek diğerine göre kesin üstündür
2,4,6,8	Ara değerler	Ara değerler

3. *İkili Karşılaştırma Matrisleri (A) ve Üstünlüklerin Belirlenmesi:* Amaç, kriterler ve alt kriterler belirlendikten sonra kriterlerin ve alt kriterlerin kendi aralarında önem derecelerinin belirlenmesi için (2.1) numaralı ifadede gösterilen (nxn) ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur [20]. Karar verici kriter matrisi veya alternatif matrisi için kriterleri veya alternatifleri ikili olarak karşılaştırır.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \cdots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & a_{23} & \cdots & a_{2n} \\ 1/a_{13} & 1/a_{23} & 1 & \cdots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & 1/a_{3n} & \cdots & 1 \end{bmatrix}_{nxn} \quad (2.1)$$

4. *Normalizasyon:* Karşılaştırma matrisinde her bir sütun için normalizasyon işlemi uygulanır. Normalizasyon işlemi aşağıdaki formüle göre gerçekleştirilir.

$$c_{xy} = \frac{a_{xy}}{\sum_{x=1}^{n} a_{xy}} \quad (2.2)$$

x = 1,2,...,n

y = 1,2,...,n

5. *C matrisinin oluşturulması*: Bütün sütunlar için dördüncü adım uygulanır ve sonra C matrisi oluşturulur.

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \cdots & c_{nn} \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

6. *Öncelik vektörü W'nin belirlenmesi:* C matrisinden yararlanarak, faktörlerin birbirine yüzde önem dağılımları elde edilebilir. Bunun için aşağıdaki formülde gösterildiği gibi C matrisini oluşturan satır bileşenlerinin aritmetik ortalaması alınır ve Öncelik Vektörü olarak adlandırılan W sütun vektörü elde edilir.

$$w_x = \frac{\sum_{y=1}^{n} c_{xy}}{n} \quad (2.4)$$

$$W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

7. W ağırlık vektörü hesaplandıktan sonra üst basamaktaki kriterlerin ağırlıklarıyla ilişkilendirilir. Bu aşama hiyerarşinin en üstüne kadar devam eder.

8.*Tutarlılık indeksinin hesaplanması:* Yapılan kıyaslamaların doğruluğunu belirlemek için tutarlılık indeksi hesaplanmalıdır. AHP'de tutarlılık indeksi faktör sayısı ile öz değer adı verilen (λ) bir katsayının çarpılması ile bulunmaktadır. λ'nın hesaplanması için öncelikle A karşılaştırma matrisi ile W öncelik vektörünün matris çarpımından D sütun vektörü elde edilir.

$$D = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \cdots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & a_{23} & \cdots & a_{2n} \\ 1/a_{13} & 1/a_{23} & 1 & \cdots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & 1/a_{3n} & \cdots & 1 \end{bmatrix}_{nxn} X \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

D matrisinin tutarlı olması, n eleman sayısı olmak üzere, yalnız ve yalnız A* w = n * w eşitliğinin sağlanması ile mümkündür. D matrisinin tüm satırları birinci satırın sabit bir katına karşılık gelmekte olduğundan bu matrisin rankı 1'dir. Matris cebrinde n, D matrisinin "özdeğeri" (eigenvalue) ve w, D matrisinin "sağ özvektörü" (right eigenvector) olarak adlandırılır [21].

Bu gösterimin analize kazandırdığı esneklik, karar vericinin ikili karşılaştırmalarında tutarsızlığın varlığının ve derecesinin belirlenmesini ve karar vericinin göreli ağırlıkları kesin olarak bilemediği varsayımı ile bunların tahminlerinin elde edilmesini sağlamasıdır. D'nin tutarlı olmadığı durumda w'nin tahmini, w' ile gösterilirse aşağıdaki eşitlik elde edilebilir [21]:

$$A' \times w' = \lambda_{max} \times w' \quad (2.7)$$

Burada A', ikili karşılaştırmalar için gözlemlenen matris; λ_{max}, A' matrisinin en büyük özdeğeri ve w', A' matrisinin sağ özvektörüdür. T.L.Saaty, λ_{max} değerinin A.w = n.w eşitliğindeki n değerinin bir tahmini olabileceğini ve her zaman n'den büyük veya eşit olacağını göstermiştir. λ_{max} değeri, $\sum_{y=1}^{n} w_y = 1$ kısıtı altında A'.w' çarpımının sonuç vektörünün elemanlarının toplanması ile elde edilebilir [21].

Bu iki değerin eşit olması matrisin tutarlı olduğunu gösterir. Maksimum özdeğerin n sayısına yaklaşması tutarlılığın artmasına, uzaklaşması azalmasına işaret eder [22].

Analitik hiyerarşi sürecinde yapılan hesaplamalarda sade özdeğerin en büyük değerlerini (λ_{max}'ı) içeren vektör, özvektör olarak alınır. Bir ideal karşılaştırma matrisinde bağımsız vektör sayısı yani rank, 1 olacağından, özdeğer, dolayısıyla da özvektör bir tane olacaktır. Yargılardaki bozulma durumunda ise birden fazla özdeğer ortaya çıkacak ve en büyüğünün değeri, matrisin derecesi n'ye yakın olacaktır [23].

D matrisinin tutarlı olması için gerek ve yeter koşul D'nin en büyük özdeğerinin n'ye eşit olmasıdır. D'nin yapısındaki tutarsızlık ne kadar fazla olursa $\lambda_{max} \geq$ n'dir [23].

D sütun vektörü ile W sütun vektörünün karşılıklı elemanları bölünerek her bir değerlendirme faktörüne ilişkin temel değer (E) elde edilir. E eşitlik (2.8) ile hesaplanır.

$$E_x = \frac{d_x}{w_x} \qquad x = 1,2,...,n \tag{2.8}$$

Hesaplanan temel değerlerin (E) aritmetik ortalaması λ_{max}'ı verir.

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_{x=1}^{n} \frac{d_x}{w_x}}{n} \tag{2.9}$$

Sonrasında Tutarlılık İndeksi (CI) (2.10) formülüyle hesaplanmaktadır:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \tag{2.10}$$

Tutarlılık oranı (CR), Tutarlılık İndeksinin Rastgelelik İndeksine (RI) oranına eşittir ve (2.11) eşitliğiyle hesaplanır.

$$CR = \frac{CI}{RI} \tag{2.11}$$

RI n'ye bağlı olarak Tablo 3.2'deki değerleri alır [22]:

Tablo 2.2. RI değerleri

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48

CR $\leq$ 0.1 ise kabul edilebilir ölçüde tutarsızlık vardır. Eğer değilse KV'in yargılarını gözden geçirmesi gerekir.

AHP’nin avantajları şöyle sıralanabilir[18]:

• Kurulan hiyerarşik yapı sayesinde probleme bütünsel olarak yaklaşılabilir. Bileşenler ayrı ayrı konumlandırılarak problem basit bir yapıya kavuşturulur.

• Yapılan ikili karşılaştırmalar sayesinde değerlendirmeler titizlikle gerçekleşmiş olmaktadır.

• Sayısal verilere dayalı karşılaştırmaların yanı sıra karar vericinin görüşlerine de çözümde yer verilmektedir.

• Yöntemin tutarlılık testi sayesinde verilen yargıların tutarlı olup olmadığı ortaya çıkmaktadır ve böylece bir tutarsızlıkla karşılaşıldığı durumda sonucu düzeltme imkanı da bulunmaktadır.

• Uygun yazılım programlarıyla da karar vericinin hızlı ve doğru bir şekilde sonuca ulaşmasına imkan tanımaktadır.

AHP’nin dezavantajları ise [18]:

• Yeni alternatifler eklendiği takdirde, alternatiflerin sıralaması değişiklik gösterebilmektedir.

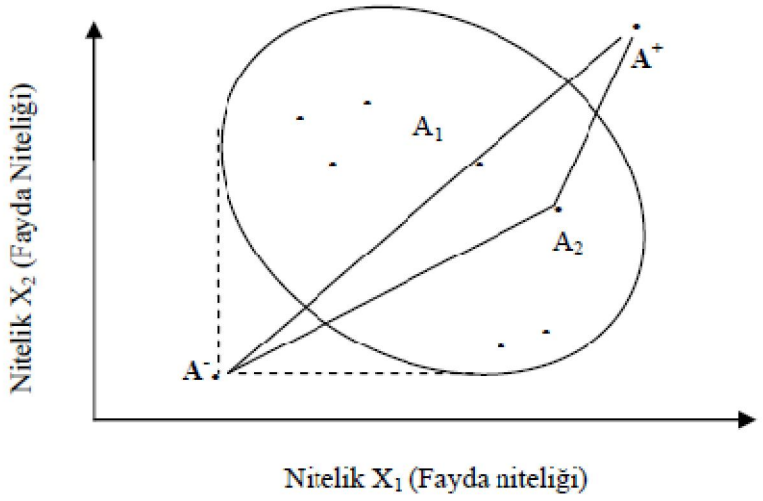
• Karar verici karşılaştırmaları göreceli olarak belirlediği için ölçeklendirmede yanlış tercihler yapılmış olabilmektedir. Bu nedenle bu durum karar vericiyi yanlış sonuca da yönlendirebilmektedir.

• Alternatif ve kriter sayısı arttıkça ikili karşılaştırma sayısı da artmaktadır. Bu durum da hassasiyeti azaltmaktadır. Karar vericiyi yanlış sonuçlara yönlendireceğinden bu durumda bu yöntemle tercih yapmaktan kaçınılmalıdır.

2.2.2. TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)

ÇKKV'de "ideal çözüm"; tüm niteliklerde ulaşılabilecek en iyi değerlere sahip olan çözüm (alternatif), "negatif-ideal çözüm" ise tüm niteliklerde olası en kötü puanları alan alternatif olarak tanımlanmaktadır. Çoklu karar vermede, kriterler arası çatışma durumu nedeniyle ideal çözüme ulaşmak genelde mümkün olmadığından bir "uzlaşı" çözümden bahsedilir. ÇKKV yöntemlerinin bir kısmı, ideale olabildiğince yaklaşık olan bir çözüme ulaşmaya çalışan "Uzlaşma (Compromising) Modeli"ni kullanırlar[24].

Bunlardan biri olan ve C.L. Hwang ile K. Yoon tarafından geliştirilen TOPSIS, ideal alternatife göreli yakınlığı en fazla olan alternatifi seçme mantığına dayalıdır. Bu yöntemde seçilen alternatif aynı anda hem ideal çözüme en yakın olan, hem de negatif-ideal çözüme en uzak olandır. Yöntemin esası her iki niteliğin de fayda niteliği olduğu varsayımıyla iki nitelikli bir uzayda aşağıdaki şekilde açıklanabilir [25]:



Şekil 2.9. "İdeal" ve "Negatif İdeal" Çözümlere Olan Uzaklıkların İki Boyutlu Uzayda Gösterimi

Burada ideal, negatif ideal ve diğer alternatifler yer almaktadır. A1 alternatifi diğer bir alternatif A2 ye göre ideal alternatife (A+) daha yakın olmakla birlikte, negatif-ideal olana (A-) da daha yakındır ve TOPSIS'e göre uzlaşı çözüm değildir [21].

TOPSIS yukarıdaki özelliklerle tanımlanan uzlaşı bir alternatife ulaşmak için öncelikle birçok nitelikli karar matrisini ele alır. Daha sonra, karar matrisini değerlendirme ve alternatifleri derecelendirme prosedürü aşağıdaki adımları izler [25]:

1. *Normalize Edilmiş Karar Matrisinin Oluşturulması:*

Bu adımdaki işlem, farklı nitelik boyutlarını boyutsuz birimlere dönüştürerek nitelikler arası karşılaştırmalara olanak tanınmasını sağlamaya yöneliktir. Bunun için karar matrisindeki (X) çıktılar (xij) yerine “Normalize değerler" (rij) hesaplanarak “Normalize edilmiş karar matrisi” (R) elde edilir.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad \Rightarrow \quad R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \qquad (2.12)$$

Normalizasyonun bir yolu, karar matrisindeki her satır vektörünü, o "Vektörün Normu" na bölerek rij değerlerine ulaşmaktır[26]. Buna "vektör normalizasyonu" denir.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}^{\,2}}} \qquad (2.13)$$

Bu şekilde oluşturulan yeni matriste, sütunlar (nitelikler) aynı vektör birim uzunluğuna sahip olurlar.

2. *Ağırlıklandırılmış Normalize Matrisin Oluşturulması:*

Bu adımda, kriterlerin göreli önemlerini gösteren ağırlıklar kümesi **w** = (w_1, w_2,…,w_j…,w_n); Σw_j = 1.0 karar matrisinin içine yerleştirilir. Bu ağırlıklandırılmış matris (V), R matrisinin her sütununu karşılığı olan ağırlık değeri ile çarpılarak aşağıda gösterildiği gibi elde edilir:

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \cdots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \cdots & v_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{m1} & v_{m2} & \cdots & v_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \cdots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \cdots & w_n r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \cdots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \qquad (2.14)$$

3. *İdeal ve Negatif-İdeal Çözümlerin Belirlenmesi:*

Bu adımda iki hipotetik alternatif; A^+ ile A^-, aşağıdaki gibi tanımlanır:

i = 1,2,...,m

j = 1,2,...,n olmak üzere,

$A^+ = \{v_1^+, v_2^+, ..., v_j^+, ..., v_n^+\}$; her kriterde "en iyi" değerleri alan alternatiftir.

Burada v_j^+;

$= \{\max_i v_{ij}\} \Rightarrow$ eğer j fayda kriteri ise

$= \{\min_i v_{ij}\} \Rightarrow$ eğer j maliyet kriteri ise

olarak belirlenir.

$A^- = \{v_1^-, v_2^-, ..., v_j^-, ..., v_n^-\}$; her kriterde "en kötü"değerleri alan alternatiftir.

Burada v_j^-;

$= \{\min_i v_{ij}\} \Rightarrow$ eğer j fayda kriteri ise

$= \{\max_i v_{ij}\} \Rightarrow$ eğer j maliyet kriteri ise

olarak belirlenir.

Böylece, A^+ en çok tercih edilen alternatif (yani ideal çözüm), A^- ise en az tercih edilen alternatif (negatif-ideal çözüm) olarak belirlenmiş olur.

4. *Ayırma Ölçüsünün Hesaplanması:*

Bu adımda alternatifler arasındaki ayrım ölçüsü için n-boyutlu öklid uzayındaki uzaklıklar tanımlanır. Buna bağlı olarak her alternatifin ideal olandan uzaklığı aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad , \quad i = 1,2,...,m \tag{2.15}$$

Benzer bir şekilde, her alternatifin negatif-ideal olandan uzaklığı ise eşitlik (2.16) ile hesaplanır:

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad , \quad i = 1,2,...,m \tag{2.16}$$

5. *İdeal Çözüme olan Göreli Yakınlığın Hesaplanması:*

Bir A_i alternatifinin A^+ 'ya olan göreli yakınlığı aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$V_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \quad , \quad i = 1,2,...,m \tag{2.17}$$

Burada $0 \leq V_i \leq 1$ arasında yer alır.

Hesaplanan V_i değeri ne kadar büyürse ilgili A_i alternatifinin o kadar fazla tercih edildiği söylenir. Eğer, $A_i = A^+$ ise V_i değeri 1'e eşit olur. Eğer $A_i = A^-$ ise o zaman $V_i = 0$ değerini alacaktır. Kısaca, bir alternatif ideal alternatife yaklaştıkça değeri de 1'e yaklaşır.

6. *Tercih Derecelendirilmesinin Yapılması (Alternatiflerin Sıralanması):*

Karar probleminde her alternatif için yukarıdaki adımdaki değer (ideale yakınlık) ölçüsü ile hesaplanmış değerler azalan bir sıraya sokulduğunda en çok tercih edilen alternatif(ler)e ulaşılmış olacaktır.

TOPSIS yönteminin avantajları şöyle sıralanabilir[18]:

• Yöntem basit bir hesaplama sürecinden oluşmaktadır. Bu yönüyle yöntemi tercih edenler için büyük kolaylık sağlamaktadır.

• Her alternatif kendi değerini alarak çözümde yer almaktadır. Bu nedenle alternatifler arasındaki farklılıklar ile ilgili net görüşler elde edilebilmektedir.

2.2.3. ELECTRE (Elimination and Choice Translating Reality)

ELECTRE metodunun ana konsepti; her bir kriter için ayrı ayrı olmak üzere alternatiflerin aralarındaki ikili karşılaştırmaları kullanmaktır. İki alternatifin (A_i ve A_j) tercih edilebilirliğinin üstünlük ilişkisi $A_i \rightarrow A_j$ şeklinde gösterilir ve eğer i. alternatif j. alternatife niceliksel baskınlık kuramazsa karar verici, A_i'nin A_j'ye göre daha iyi olduğu riskini alabilmelidir. Alternatifler, eğer başka bir alternatif bir ya da daha fazla kriterde üstün ve kalan diğer kriterlerde eşit olursa baskın olarak adlandırılabilirler. ELECTRE metodu her bir kriter için alternatiflerin ikili karşılaştırmaları ile başlamaktadır. Fiziksel ve parasal değerlerin kullanılması A_i alternatifi için $g_i(A_j)$, A_k alternatifi için $g_i(A_k)$ şeklinde gösterilir ve $g_i(A_j)$ - $g_i(A_k)$ farkı için eğik değerlerinin ortaya çıkarılması ile karar verici; alternatifler arasında düşünüldüğünde kayıtsız kaldığını ya da birinin diğeri için zayıf veya tam bir tercihe sahip olduğunu ya da bu tercih ilişkilerinden hiçbirine sahip olmadığını açıklamaktadır. Bu nedenle alternatiflerin ikili ilişkilerinin bir seti

tamamlansa da tamamlanmasa da tercih edilebilirliğinin üstünlük ilişkisi olarak adlandırılmaktadır. Daha sonra karar vericiden kriterlerin birbirine göre göreli önemlerini açıklamak için ağırlıklarını ya da önem derecelerini belirlemesi beklenmektedir [17].

ELECTRE metodu alternatiflerin tercih edilebilme üstünlük ilişkisinin ardışık yargılar arasından, A_j alternatifi A_k alternatifine üstünlük sağlar veya daha önemlidir sonucunu destekleyen kanıt sayısı şeklinde tanımlanan uyumluluk indeksini ve uyumluluk indeksinin karşı tarafı olan uyumsuzluk indeksini çıkartmaktadır. Sonuç olarak ELECTRE metodu alternatifler arasında ikili tercih edilebilirliğinin üstünlük ilişkisi sistemini getirmektedir. Bunun nedeni, bu sistemin tamamlanması gerekmemektedir, ELECTRE metodu bazen pek çok tercih edilmiş alternatifi tanımlayamamaktadır. Metot sadece lider alternatiflerin merkezini üretmektedir. Bu metot alternatiflerin daha açık bir görüntüsünü daha az favori olanları eleyerek sağlamaktadır. Metot özellikle birkaç kriter fakat çok sayıda alternatif içeren karar problemleri için uygundur [17].

ELECTRE yönteminin adımları şu şekildedir [18]:

1. *Karar matrisinin normalizasyonu:*

İlk adım olarak karar matrisi normalize edilmektedir. Şu formülle hesaplamalar gerçekleştirilmektedir:

Fayda kriterleri için:

$$x_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^{m} a_{kj}^2}} \tag{2.18}$$

Maliyet kriterleri için:

$$x_{ij} = \frac{\frac{1}{a_{ij}}}{\sqrt{\sum_{k=1}^{m} \left(\frac{1}{a_{kj}}\right)^2}} \tag{2.19}$$

Hesaplamalar sonrasında X normalize matrisi aşağıdaki gibi oluşturulmaktadır:

Tablo 2.3. X normalize matrisi

X =	X_{11}	X_{12}	⋯	X_{1n}
	X_{21}	X_{22}	⋯	X_{2n}
	⋯	⋯	⋯	⋯
	X_{m1}	X_{m2}	⋯	X_{mn}

Burada, m = alternatif sayısı

n = kriter sayısı

x_{ij} = i. alternatifin j. kriter için normalize tercih ölçümü

2. *W_n ağırlıklarının belirlenmesi*

X matrisinin her bir sütunu uygun karar kriterlerinin birleştirilmiş önem ağırlıkları ile çarpılmaktadır. Bu ağırlıklar (W_n) ile gösterilmektedir.

Tablo 2.4. Standart normalize matris

W =	W_1	0	⋯	0
	0	W_2	⋯	0
	⋯	⋯	⋯	⋯
	0	0	⋯	W_n

$$\sum_{i=1}^{n} w_i = 1 \qquad (2.20)$$

Tablo 2.5. Ağırlıklı standart karar matrisinin oluşturulması

Y =	W_1X_{11}	W_2X_{12}	⋯	W_nX_{1n}
	W_1X_{21}	W_2X_{22}	⋯	W_nX_{2n}
	⋯	⋯	⋯	⋯
	W_1X_{m1}	W_2X_{m2}	⋯	W_nX_{mn}

Tablo 2.6. Ağırlıklı standart karar matrisi sonucu

Y =	Y_{11}	Y_{12}	⋯	Y_{1n}
	Y_{21}	Y_{22}	⋯	Y_{2n}
	⋯	⋯	⋯	⋯
	Y_{m1}	Y_{m2}	⋯	Y_{mn}

3. *Uyumluluk ve Uyumsuzluk Setlerinin Belirlenmesi*:

A_k ve A_l şeklinde gösterilen iki alternatifin uyumluluk seti C_{kl}; A_k'nin A_l'ye tercih edildiği bütün kriterlerin seti olarak tanımlanmaktadır. Her uyumluluk setine karşılık bir uyumsuzluk seti vardır. Uyumsuzluk seti elemanları ilgili uyum setine ait olmayan j değerlerinden oluşur. n = 4 durumunda $C_{12} = \{1,4\}$ ise $D_{12} = \{2,3\}$ olur. ELECTRE yönteminde uyum setlerini oluştururken değerlendirme faktörlerinin anlamlarına dikkat edilmelidir. Örneğin ilgili değerlendirme faktörü kar ise uyum seti için (2.21) formülü kullanılacaktır. Ancak değerlendirme faktörü maliyet ise bu durumda uyum seti için gerek şart $y_{kj} < y_{lj}$ eşitsizliği olacaktır [33] .

$$C_{kl} = \{j, y_{kj} \geq y_{lj}\} \text{ , } j = 1,2,3,\ldots,n \tag{2.21}$$

Uyumsuzluk seti de aşağıdaki gibi gösterilmektedir:

$$D_{kl} = \{j, y_{kj} < y_{lj}\} \text{ , } j = 1,2,3,\ldots,n \tag{2.22}$$

4. *Uyumluluk ve Uyumsuzluk matrislerinin hesabı:*

C uyumluluk matrisinin elemanları uyumluluk indeksi aracılığıyla hesaplanmaktadır. Uyumluluk indeksi (c_{kl}) kriterlerin ağırlıkları toplamıdır.

$$C_{kl} = \sum_{j \in cm} w_j \text{ , } j = 1,2,...,n \tag{2.23}$$

Uyumluluk indeksi alternatif A_k'nın alternatif A_l'ye göre göreli önemini göstermektedir.

$$0 \leq C_{kl} \leq 1 \tag{2.24}$$

Tablo 2.7. Uyumluluk matrisi

C =	-	c_{12}	⋯	c_{1n}
	c_{21}	-	⋯	c_{2n}
	⋯	⋯	⋯	⋯
	c_{m1}	c_{m2}	⋯	-

Burada k=1 olduğu durumda C matrisinin girişi tanımlanamamaktadır.

Uyumsuzluk matrisi D, A_k'nın A_l'den düşük derecesini açıklamaktadır. Uyumsuzluk matrisinin d_{kl} elemanları aşağıdaki gibidir:

$$d_{kl} = \frac{\max_{j \in Djk} \left| y_{kj} - y_{li} \right|}{\max_{j} \left| y_{kj} - y_{li} \right|} \tag{2.25}$$

Örneğin Y matrisinin 1. ve 2. satır elemanlarının kıyaslamasından d_{12} ($k = 1$ ve $l = 2$) elemanı elde edilir. d_{12} için, (2.25) formülünün pay kısmında $D_{12} = \{2,3\}$ uyumsuzluk setini oluşturan $j = 2$ ve $j = 3$ değerleri dikkate alınır ve $\left| y_{12} - y_{22} \right|$ ve $\left| y_{13} - y_{23} \right|$ mutlak farklarından büyük olanı seçilir. Formülün payda kısmı için ise Y matrisinin 1. ve 2. satırlarındaki tüm elemanların karşılıklı mutlak farkları bulunarak bunlardan en büyük olanı seçilir [33] .

Tablo 2.8. Uyumsuzluk matrisi

D =	-	d_{12}	⋯	d_{1n}
	d_{21}	-	⋯	d_{2n}
	⋯	⋯	⋯	⋯
	d_{m1}	d_{m2}	⋯	-

5. *Üstünlük matrisinin belirlenmesi*

Uyumluluk üstünlük matrisi uyumluluk matrisi için bir eşik değeri aracılığıyla oluşturulmaktadır. Örneğin; alternatif A_k alternatif A_l'ye üstünlük sağlamak için eğer

uygun uyumluluk indeksi c_{kl} en az belirli bir eşik değeri $\underline{c}$'yi geçerse sadece bir ihtimal sahibi olacaktır. Dolayısıyla aşağıdaki gösterim doğru olmaktadır.

$C_{kl} \geq \underline{c}$ (2.26)

Eşik değeri $\underline{c}$ ortalama uyumluluk indeksi olarak belirlenebilmektedir. Aşağıdaki şekilde gösterilmektedir:

$$\underline{c} = \frac{1}{m(m-1)} \sum_{k=1 ve k \neq l}^{m} \sum_{l=1 ve l \neq k}^{m} c_{kl} \quad (2.27)$$

Eşik değerini temel alan uyumluluk üstünlük matrisi F'nin elemanları aşağıdaki gibi belirlenmektedir.

$f_{kl} = 1$, eğer $c_{kl} \geq \underline{c}$ ise, (2.28)

$f_{kl} = 0$, eğer $c_{kl} < \underline{c}$ ise. (2.29)

Benzer şekilde, uyumsuzluk üstünlük matrisi G, bir eşik değeri $\underline{d}$'yi kullanarak tanımlanmaktadır. Bu tanımlama aşağıdaki gibidir:

$$\underline{d} = \frac{1}{m(m-1)} \sum_{k=1 ve k \neq l}^{m} \sum_{l=1 ve l \neq k}^{m} d_{kl} \quad (2.30)$$

ve

$g_{kl} = 1$, eğer $d_{kl} \geq \underline{d}$ ise, (2.31)

$g_{kl} = 0$, eğer $d_{kl} < \underline{d}$ ise. (2.32)

Toplam üstünlük matrisinin elemanları aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

$e_{kl} = f_{kl} \times g_{kl}$ (2.33)

Toplam üstünlük matrisinden alternatiflerin kısmi tercih sırası çıkarılabilir. Eğer $e_{kl} = 1$ ise, bu hem uyumluluk hem de uyumsuzluk kriterini kullanarak alternatif A_k, A_l'ye tercih edilir anlamına gelmektedir.

ELECTRE yönteminin avantajları şöyle sıralanabilir [18]:

• Bu yöntemde çözüm yaparken diğer yöntemlerde olduğunun aksine ayrıntılı bir veriye ihtiyaç duyulmamaktadır.

• Birkaç kriterin yer aldığı karşılaştırmalarda daha elverişli sonuçlar sağlamaktadır.

ELECTRE yönteminin dezavantajları ise [18]:

• Alternatiflerin kesin bir sıralamasını sunamamaktadır.

• Alternatiflerin birbirine üstünlüklerini belirleyerek çözüm sağlayan yöntem alternatif sayısının çok olduğu problemlerde elverişli olamamaktadır.

3. BÖLÜM

BULGULAR

Bu tezde, Türkiye için muhtemel bir savaş uçağı seçimi AHP, TOPSIS ve ELECTRE teknikleriyle çalışılmıştır. Çalışmayı yaparken gerekli olan kriterler, savunma sanayisinde savaş uçaklarıyla ilgili çalışan, uzman kişi görüşleri alınarak belirlenmiştir.

Savaş uçağı seçimi için belirlenen kriterler şöyle sıralanabilir;

I. Maksimum hız(mach) (Hız)
II. İrtifa(1000 feet) (İrt.)
III. Faydalı yük(1000 pound) (FY)
IV. Menzil(km) (Men.)
V. Manevra (Man.)
VI. Korunma (Kor.)
VII. Güvenilirlik (Güv.)
VIII. Tamir edilebilirlik (TE)
IX. Satın alma maliyeti($M) (SAM)
X. İşletme maliyeti($1000/yıl) (İM)

Faydalı yük, yapacağı operasyona göre uçağa yüklenebilecek olan bombalar, füzeler gibi hedefe ulaşmayı sağlayan malzemelerin ağırlığıdır. Manevra, düşman uçağıyla karşılaşıldığında gösterilecek olan çeviklik, çabukluk, ani hareketler gibi avantajı elinde tutacak bir özelliktir. Korunma, yapılabilecek olan her türlü saldırıya karşı uçağın kendini koruyabilme yeteneğidir. Güvenilirlik, uçakta gerçekte olan özelliklerin, var olacağı belirtilen özellikleri karşılama oranıdır. Tamir edilebilirlik, ortaya çıkabilecek olan arızaların kolay giderilebilirliğidir. İşletme maliyeti ise bir uçağın bir yıl içinde ihtiyacı olan bakım ve onarımların ortalama maliyetidir.

Bir savaş uçağının sisteme girmesi çok büyük maliyetler gerektirmektedir. Bunun için seçim yapılırken yukarıda belirtilen tüm kriterler göz önüne alınarak seçim yapılmalıdır. Belirlenen kriterlerle ilgili uzman kişi görüşleri alınarak oluşturulan veriler aşağıda sunulmuştur [28][29][31][34][35].

Tablo 3.1. Aday uçaklar ile ilgili veriler

	F-35	F-22	Mig-35	Sukhoi PAK FA	Eurofighter Typhoon
	Aday 1	Aday 2	Aday 3	Aday 4	Aday 5
Max.hız (mach)	1,6	2,25	2,35	2,45	2
İrtifa (1000 ft)	60	65	55	65	55
Faydalı yük (1000 pound)	40,7	48,3	41,2	40,7	27,4
Menzil (km)	2200	2900	2000	1800	2900
Manevra	8	9	8	9	7
Korunma	9	8	8	9	7
Güvenilirlik	8	7	8	7	9
Tamir edilebilirlik	9	8	7	7	8
Satın alma maliyeti ($M)	160	140	150	100	120
İşletme maliyeti ($1000/yıl)	110	150	130	160	100

3.1. AHP Uygulaması

Kriterlerin ikili karşılaştırması ve her bir kritere göre aday yerlerin karşılaştırması uzman kişilerin görüşleri alınarak yapılmıştır. Karşılaştırmalar aşama aşama aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 3.2. Kriter karşılaştırma matrisi

	Hız	İrt.	FY	Men.	Man.	Kor.	Güv.	TE	SAM	İM
Hız	1	9	5	2	2	1	2	3	3	3
İrt.	1/9	1	1/2	1/6	1/5	1/9	1/6	1/4	1/3	1/3
FY	1/5	2	1	1/3	1/3	1/5	1/3	1/2	1/2	1/2
Men.	1/2	6	3	1	1	1/2	1	1	2	2
Man.	1/2	5	3	1	1	1/2	1	1	2	2
Kor.	1	9	5	2	2	1	2	3	3	3
Güv.	1/2	6	3	1	1	1/2	1	2	2	2
TE	1/3	4	2	1	1	1/3	1/2	1	1	1
SAM	1/3	3	2	1/2	1/2	1/3	1/2	1	1	1
İM	1/3	3	2	1/2	1/2	1/3	1/2	1	1	1

Normalizasyon işlemi yapılarak aşağıdaki tablo elde edilir.

Tablo 3.3. Normalize Matris

	Hız	İrt.	FY	Men.	Man.	Kor.	Güv.	TE	SAM	İM
Hız	0,208	0,188	0,189	0,211	0,210	0,208	0,222	0,218	0,189	0,189
İrt.	0,023	0,021	0,019	0,018	0,021	0,023	0,019	0,018	0,021	0,021
FY	0,042	0,042	0,038	0,035	0,035	0,042	0,037	0,036	0,032	0,032
Men.	0,104	0,125	0,113	0,105	0,105	0,104	0,111	0,073	0,126	0,126
Man.	0,104	0,104	0,113	0,105	0,105	0,104	0,111	0,073	0,126	0,126
Kor.	0,208	0,188	0,189	0,211	0,210	0,208	0,222	0,218	0,189	0,189
Güv.	0,104	0,125	0,113	0,105	0,105	0,104	0,111	0,145	0,126	0,126
TE	0,069	0,083	0,075	0,105	0,105	0,069	0,056	0,073	0,063	0,063
SAM	0,069	0,063	0,075	0,053	0,052	0,069	0,056	0,073	0,063	0,063
İM	0,069	0,063	0,075	0,053	0,052	0,069	0,056	0,073	0,063	0,063

Her bir satırdaki verilerin ortalaması alınarak Öncelik Vektörü (W) oluşturulur.

Tablo 3.4. Öncelik Vektörü

W
0,203
0,020
0,037
0,109
0,107
0,203
0,117
0,076
0,064
0,064

Karşılaştırma matrisi ile Öncelik Vektörünün çarpımı ile D sütun vektörü elde edilir.

Tablo 3.5. D Sütun Vektörü

D
2,050
0,204
0,372
1,100
1,079
2,050
1,176
0,769
0,640
0,640

D sütun vektörünün her bir satırı W vektörünün aynı satırına bölünerek E sütun vektörü elde edilir.

Tablo 3.6. E Sütun Vektörü

E
10,092
10,061
10,065
10,063
10,069
10,092
10,089
10,087
10,062
10,062

Bu tablodaki satırların ortalaması λ_{max}'ı verir.

$\lambda_{max} = 10{,}0741$

λ_{max} bulunduktan sonra Tutarlılık İndeksi(CI) hesaplanır.

$$CI = \frac{10{,}0741 - 10}{10 - 1} = 0{,}0082$$

Tutarlılık oranı (CR), Tutarlılık İndeksinin Rastgelelik İndeksine (RI) bölünmesiyle bulunur. RI değeri ilgili tablodan alınarak hesap yapılır [22].

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0{,}0082}{1{,}49} = 0{,}0055$$

$CR \leq 0.1$ olduğundan kabul edilebilir ölçüde tutarsızlık vardır.

I. Hız kriterine göre aday yerlerin karşılaştırması.

Tablo 3.7. I. kritere göre karşılaştırma

	A1	A2	A3	A4	A5
A1	1	1/4	1/5	1/6	1/3
A2	4	1	1/2	1/3	2
A3	5	2	1	1/2	3
A4	6	3	2	1	4
A5	3	1/2	1/3	1/4	1

Tablo 3.8. Normalize matris ile W, D ve E sütun vektörleri

	A1	A2	A3	A4	A5	W	D	E
A1	0,053	0,037	0,050	0,074	0,032	0,049	0,248	5,040
A2	0,211	0,148	0,124	0,148	0,194	0,165	0,842	5,104
A3	0,263	0,296	0,248	0,222	0,290	0,264	1,362	5,158
A4	0,316	0,444	0,496	0,444	0,387	0,418	2,153	5,156
A5	0,158	0,074	0,083	0,111	0,097	0,104	0,527	5,040

Tablo 3.9. λ_{max}, CI, RI, CR değerleri

Lmax	CI	RI	CR<0,1
5,0996	0,0249	1,12	0,0222

II. İrtifa kriterine göre aday yerlerin karşılaştırması.

Tablo 3.10. II. kritere göre karşılaştırma

	A1	A2	A3	A4	A5
A1	1	1/2	2	1/2	2
A2	2	1	3	1	3
A3	1/2	1/3	1	1/3	1
A4	2	1	3	1	3
A5	1/2	1/3	1	1/3	1

Tablo 3.11. Normalize matris ile W, D ve E sütun vektörleri

	A1	A2	A3	A4	A5	W	D	E
A1	0,167	0,158	0,200	0,158	0,200	0,176	0,885	5,012
A2	0,333	0,316	0,300	0,316	0,300	0,313	1,572	5,021
A3	0,083	0,105	0,100	0,105	0,100	0,099	0,494	5,006
A4	0,333	0,316	0,300	0,316	0,300	0,313	1,572	5,021
A5	0,083	0,105	0,100	0,105	0,100	0,099	0,494	5,006

Tablo 3.12. λ_{max}, CI, RI, CR değerleri

Lmax	CI	RI	CR<0,1
5,013274	0,003319	1,12	0,002963

III. Faydalı Yük kriterine göre aday yerlerin karşılaştırması.

Tablo 3.13. III. kritere göre karşılaştırma

	A1	A2	A3	A4	A5
A1	1	1/3	1	1	6
A2	3	1	3	3	9
A3	1	1/3	1	1	6
A4	1	1/3	1	1	6
A5	1/6	1/9	1/6	1/6	1

Tablo 3.14. Normalize matris ile W, D ve E sütun vektörleri

	A1	A2	A3	A4	A5	W	D	E
A1	0,162	0,158	0,162	0,162	0,214	0,172	0,869	5,059
A2	0,486	0,474	0,486	0,486	0,321	0,451	2,301	5,104
A3	0,162	0,158	0,162	0,162	0,214	0,172	0,869	5,059
A4	0,162	0,158	0,162	0,162	0,214	0,172	0,869	5,059
A5	0,027	0,053	0,027	0,027	0,036	0,034	0,170	5,013

Tablo 3.15. λ_{max}, CI, RI, CR değerleri

Lmax	CI	RI	CR<0,1
5,058789	0,014697	1,12	0,013123

IV. Menzil kriterine göre aday yerlerin karşılaştırması.

Tablo 3.16. IV. kritere göre karşılaştırma

	A1	A2	A3	A4	A5
A1	1	1/3	2	3	1/3
A2	3	1	4	5	1
A3	1/2	1/4	1	2	1/4
A4	1/3	1/5	1/2	1	1/5
A5	3	1	4	5	1

Tablo 3.17. Normalize matris ile W, D ve E sütun vektörleri

	A1	A2	A3	A4	A5	W	D	E
A1	0,128	0,120	0,174	0,188	0,120	0,146	0,738	5,066
A2	0,383	0,359	0,348	0,313	0,359	0,352	1,798	5,104
A3	0,064	0,090	0,087	0,125	0,090	0,091	0,457	5,018
A4	0,043	0,072	0,043	0,063	0,072	0,058	0,294	5,022
A5	0,383	0,359	0,348	0,313	0,359	0,352	1,798	5,104

Tablo 3.18. λ_{max}, CI, RI, CR değerleri

Lmax	CI	RI	CR<0,1
5,062552	0,015638	1,12	0,013963

V. Manevra kriterine göre aday yerlerin karşılaştırması.

Tablo 3.19. V. kritere göre karşılaştırma

	A1	A2	A3	A4	A5
A1	1	1/2	1	1/2	2
A2	2	1	2	1	3
A3	1	1/2	1	1/2	2
A4	2	1	2	1	3
A5	1/2	1/3	1/2	1/3	1

Tablo 3.20. Normalize matris ile W, D ve E sütun vektörleri

	A1	A2	A3	A4	A5	W	D	E
A1	0,154	0,150	0,154	0,150	0,182	0,158	0,791	5,012
A2	0,308	0,300	0,308	0,300	0,273	0,298	1,494	5,019
A3	0,154	0,150	0,154	0,150	0,182	0,158	0,791	5,012
A4	0,308	0,300	0,308	0,300	0,273	0,298	1,494	5,019
A5	0,077	0,100	0,077	0,100	0,091	0,089	0,445	5,006

Tablo 3.21. λ_{max}, CI, RI, CR değerleri

Lmax	CI	RI	CR<0,1
5,013278	0,003319	1,12	0,002964

VI. Korunma kriterine göre aday yerlerin karşılaştırması.

Tablo 3.22. VI. kritere göre karşılaştırma

	A1	A2	A3	A4	A5
A1	1	2	2	1	3
A2	1/2	1	1	1/2	2
A3	1/2	1	1	1/2	2
A4	1	2	2	1	3
A5	1/3	1/2	1/2	1/3	1

Tablo 3.23. Normalize matris ile W, D ve E sütun vektörleri

	A1	A2	A3	A4	A5	W	D	E
A1	0,300	0,308	0,308	0,300	0,273	0,298	1,494	5,019
A2	0,150	0,154	0,154	0,150	0,182	0,158	0,791	5,012
A3	0,150	0,154	0,154	0,150	0,182	0,158	0,791	5,012
A4	0,300	0,308	0,308	0,300	0,273	0,298	1,494	5,019
A5	0,100	0,077	0,077	0,100	0,091	0,089	0,445	5,006

Tablo 3.24. λ_{max}, CI, RI, CR değerleri

Lmax	CI	RI	CR<0,1
5,0133	0,003319	1,12	0,0030

VII. Güvenilirlik kriterine göre aday yerlerin karşılaştırması.

Tablo 3.25. VII. kritere göre karşılaştırma

	A1	A2	A3	A4	A5
A1	1	3	1	3	1/2
A2	1/3	1	1/3	1	1/5
A3	1	3	1	3	1/2
A4	1/3	1	1/3	1	1/5
A5	2	5	2	5	1

Tablo 3.26. Normalize matris ile W, D ve E sütun vektörleri

	A1	A2	A3	A4	A5	W	D	E
A1	0,214	0,231	0,214	0,231	0,208	0,220	1,100	5,006
A2	0,071	0,077	0,071	0,077	0,083	0,076	0,380	5,002
A3	0,214	0,231	0,214	0,231	0,208	0,220	1,100	5,006
A4	0,071	0,077	0,071	0,077	0,083	0,076	0,380	5,002
A5	0,429	0,385	0,429	0,385	0,417	0,409	2,047	5,011

Tablo 3.27. λ_{max}, CI, RI, CR değerleri

Lmax	CI	RI	CR<0,1
5,0053	0,00133	1,12	0,0012

VIII. Tamir edilebilirlik kriterine göre aday yerlerin karşılaştırması.

Tablo 3.28. VIII. kritere göre karşılaştırma

	A1	A2	A3	A4	A5
A1	1	3	5	5	3
A2	1/3	1	2	2	1
A3	1/5	1/2	1	1	1/2
A4	1/5	1/2	1	1	1/2
A5	1/3	1	2	2	1

Tablo 3.29. Normalize matris ile W, D ve E sütun vektörleri

	A1	A2	A3	A4	A5	W	D	E
A1	0,484	0,500	0,455	0,455	0,500	0,479	2,399	5,013
A2	0,161	0,167	0,182	0,182	0,167	0,172	0,859	5,005
A3	0,097	0,083	0,091	0,091	0,083	0,089	0,445	5,002
A4	0,097	0,083	0,091	0,091	0,083	0,089	0,445	5,002
A5	0,161	0,167	0,182	0,182	0,167	0,172	0,859	5,005

Tablo 3.30. λ_{max}, CI, RI, CR değerleri

Lmax	CI	RI	CR<0,1
5,0053	0,00133	1,12	0,0012

IX. Satın alma maliyeti kriterine göre aday yerlerin karşılaştırması.

Tablo 3.31. IX. kritere göre karşılaştırma

	A1	A2	A3	A4	A5
A1	1	1/3	1/2	1/7	1/5
A2	3	1	2	1/5	1/3
A3	2	1/2	1	1/6	1/4
A4	7	5	6	1	3
A5	5	3	4	1/3	1

Tablo 3.32. Normalize matris ile W, D ve E sütun vektörleri

	A1	A2	A3	A4	A5	W	D	E
A1	0,056	0,034	0,037	0,078	0,042	0,049	0,249	5,069
A2	0,167	0,102	0,148	0,109	0,070	0,119	0,603	5,070
A3	0,111	0,051	0,074	0,090	0,052	0,076	0,381	5,026
A4	0,389	0,508	0,444	0,543	0,627	0,502	2,657	5,290
A5	0,278	0,305	0,296	0,181	0,209	0,254	1,327	5,228

Tablo 3.33. λ_{max}, CI, RI, CR değerleri

Lmax	CI	RI	CR<0,1
5,1364	0,034111	1,12	0,0305

X. İşletme maliyeti kriterine göre aday yerlerin karşılaştırması.

Tablo 3.34. X. kritere göre karşılaştırma

	A1	A2	A3	A4	A5
A1	1	5	3	6	1/2
A2	1/5	1	1/3	2	1/6
A3	1/3	3	1	4	1/4
A4	1/6	1/2	1/4	1	1/7
A5	2	6	4	7	1

Tablo 3.35. Normalize matris ile W, D ve E sütun vektörleri

	A1	A2	A3	A4	A5	W	D	E
A1	0,270	0,323	0,350	0,300	0,243	0,297	1,562	5,259
A2	0,054	0,065	0,039	0,100	0,081	0,068	0,340	5,022
A3	0,090	0,194	0,117	0,200	0,121	0,144	0,738	5,117
A4	0,045	0,032	0,029	0,050	0,069	0,045	0,228	5,055
A5	0,541	0,387	0,466	0,350	0,486	0,446	2,339	5,247

Tablo 3.36. λ_{max}, CI, RI, CR değerleri

Lmax	CI	RI	CR<0,1
5,1399	0,034971	1,12	0,0312

On kriter için de CR $\leq$ 0.1 olduğundan hepsi için kabul edilebilir ölçüde tutarsızlık vardır.

Tablo 3.37. Aday önceliklerinin bulunması

	Kriterler	Kriterlerin Öncelik Vektörü	AdaylarınÖncelik Vektörleri	Öncelik Vektörlerinin Çarpımı	Aday Üstünlüğü
1.ADAY	**I**	0,203	0,049	0,0100	**0,1973**
	II	0,020	0,176	0,0036	
	III	0,037	0,172	0,0063	
	IV	0,109	0,146	0,0159	
	V	0,107	0,158	0,0169	

	VI	0,203	0,298	0,0605	
	VII	0,117	0,220	0,0256	
	VIII	0,076	0,479	0,0365	
	IX	0,064	0,049	0,0031	
	X	0,064	0,297	0,0189	
2.ADAY	I	0,203	0,165	0,0335	0,1928
	II	0,020	0,313	0,0064	
	III	0,037	0,451	0,0166	
	IV	0,109	0,352	0,0385	
	V	0,107	0,298	0,0319	
	VI	0,203	0,158	0,0321	
	VII	0,117	0,076	0,0089	
	VIII	0,076	0,172	0,0131	
	IX	0,064	0,119	0,0076	
	X	0,064	0,068	0,0043	
3.ADAY	I	0,203	0,264	0,0536	0,1673
	II	0,020	0,099	0,0020	
	III	0,037	0,172	0,0063	
	IV	0,109	0,091	0,0100	
	V	0,107	0,158	0,0169	
	VI	0,203	0,158	0,0321	
	VII	0,117	0,220	0,0256	
	VIII	0,076	0,089	0,0068	
	IX	0,064	0,076	0,0048	
	X	0,064	0,144	0,0092	
4.ADAY	I	0,203	0,418	0,0848	0,2468
	II	0,020	0,313	0,0064	
	III	0,037	0,172	0,0063	
	IV	0,109	0,058	0,0064	
	V	0,107	0,298	0,0319	
	VI	0,203	0,298	0,0605	
	VII	0,117	0,076	0,0089	
	VIII	0,076	0,089	0,0068	
	IX	0,064	0,502	0,0320	
	X	0,064	0,045	0,0029	
5.ADAY	I	0,203	0,104	0,0212	0,1958
	II	0,020	0,099	0,0020	
	III	0,037	0,034	0,0013	
	IV	0,109	0,352	0,0385	
	V	0,107	0,089	0,0095	
	VI	0,203	0,089	0,0181	
	VII	0,117	0,409	0,0476	
	VIII	0,076	0,172	0,0131	
	IX	0,064	0,254	0,0161	
	X	0,064	0,446	0,0284	

Hesaplamalar sonucunda tercih sırası A4-A1-A5-A2-A3 olarak bulunmuştur.

3.2. ELECTRE Uygulaması

ELECTRE yöntemi ile aday yerlerin her bir kriter bazında ikili karşılaştırması yapılarak, birbirlerine olan üstünlükleri elde edilmiştir.

Tablo 3.38. Aday uçakların kriter değerleri

	Hız	İrt.	FY	Men.	Man.	Kor.	Güv.	TE	SAM	İM
A1	1,6	60	40,7	2200	8	9	8	9	160	110
A2	2,25	65	48,3	2900	9	8	7	8	140	150
A3	2,35	55	41,2	2000	8	8	8	7	150	130
A4	2,45	65	40,7	1800	9	9	7	7	100	160
A5	2	55	27,4	2900	7	7	9	8	120	100

Tablo 3.39. Kriter karşılaştırma matrisi

	Hız	İrt.	FY	Men.	Man.	Kor.	Güv.	TE	SAM	İM
Hız	1	9	5	2	2	1	2	3	3	3
İrt.	1/9	1	1/2	1/6	1/5	1/9	1/6	1/4	1/3	1/3
FY	1/5	2	1	1/3	1/3	1/5	1/3	1/2	1/2	1/2
Men.	1/2	6	3	1	1	1/2	1	1	2	2
Man.	1/2	5	3	1	1	1/2	1	1	2	2
Kor.	1	9	5	2	2	1	2	3	3	3
Güv.	1/2	6	3	1	1	1/2	1	2	2	2
TE	1/3	4	2	1	1	1/3	1/2	1	1	1
SAM	1/3	3	2	1/2	1/2	1/3	1/2	1	1	1
İM	1/3	3	2	1/2	1/2	1/3	1/2	1	1	1

Tablo 3.40. Kriterlerin Normalize matrisi

	Hız	İrt.	FY	Men.	Man.	Kor.	Güv.	TE	SAM	İM
Hız	0,208	0,188	0,189	0,211	0,210	0,208	0,222	0,218	0,189	0,189
İrt.	0,023	0,021	0,019	0,018	0,021	0,023	0,019	0,018	0,021	0,021
FY	0,042	0,042	0,038	0,035	0,035	0,042	0,037	0,036	0,032	0,032
Men.	0,104	0,125	0,113	0,105	0,105	0,104	0,111	0,073	0,126	0,126
Man.	0,104	0,104	0,113	0,105	0,105	0,104	0,111	0,073	0,126	0,126
Kor.	0,208	0,188	0,189	0,211	0,210	0,208	0,222	0,218	0,189	0,189
Güv.	0,104	0,125	0,113	0,105	0,105	0,104	0,111	0,145	0,126	0,126
TE	0,069	0,083	0,075	0,105	0,105	0,069	0,056	0,073	0,063	0,063
SAM	0,069	0,063	0,075	0,053	0,052	0,069	0,056	0,073	0,063	0,063
İM	0,069	0,063	0,075	0,053	0,052	0,069	0,056	0,073	0,063	0,063

Tablo 3.41. Kriterlerin W, D ve E sütun vektörleri

	W	D	E
Hız	0,203	2,050	10,092
İrt.	0,020	0,204	10,061
FY	0,037	0,372	10,065
Men.	0,109	1,100	10,063
Man.	0,107	1,079	10,069
Kor.	0,203	2,050	10,092
Güv.	0,117	1,176	10,089
TE	0,076	0,769	10,087
SAM	0,064	0,640	10,062
İM	0,064	0,640	10,062

Tablo 3.42. Kriterlerin λ_{max}, CI, RI, CR değerleri

Lmax	CI	RI	CR<0,1
10,0741	0,0082	1,49	0,0055

$CR \leq 0.1$ olduğundan kabul edilebilir ölçüde tutarsızlık vardır.

Tablo 3.43. Normalize karar matrisi

	Hız	İrt.	FY	Men.	Man.	Kor.	Güv.	TE	SAM	İM
A1	0,3326	0,4460	0,4524	0,4092	0,4345	0,4888	0,4566	0,5137	0,3585	0,5040
A2	0,4677	0,4831	0,5369	0,5394	0,4888	0,4345	0,3995	0,4566	0,4097	0,3696
A3	0,4884	0,4088	0,4579	0,3720	0,4345	0,4345	0,4566	0,3995	0,3824	0,4265
A4	0,5092	0,4831	0,4524	0,3348	0,4888	0,4888	0,3995	0,3995	0,5736	0,3465
A5	0,4157	0,4088	0,3046	0,5394	0,3802	0,3802	0,5137	0,4566	0,4780	0,5544

Kriterlerin ağırlıkları ile normalize karar matrisini çarparak ağırlıklandırılmış normalize matris elde edilir.

Tablo 3.44. Ağırlıklandırılmış normalize matris

	Hız	İrt.	FY	Men.	Man.	Kor.	Güv.	TE	SAM	İM
A1	0,0676	0,0091	0,0167	0,0447	0,0466	0,0993	0,0532	0,0391	0,0228	0,0321
A2	0,0950	0,0098	0,0198	0,0589	0,0524	0,0883	0,0466	0,0348	0,0261	0,0235
A3	0,0992	0,0083	0,0169	0,0407	0,0466	0,0883	0,0532	0,0304	0,0243	0,0271
A4	0,1035	0,0098	0,0167	0,0366	0,0524	0,0993	0,0466	0,0304	0,0365	0,0220
A5	0,0845	0,0083	0,0112	0,0589	0,0408	0,0772	0,0599	0,0348	0,0304	0,0353

Tablo 3.45. Net Uyum-Net Uyumsuzluk kümeleri

Net uyum-net uyumsuzluk kümeleri			
C(1,2)	6,7,8,9	D(1,2)	1,2,3,4,5,10
C(1,3)	2,4,5,6,7,8,9	D(1,3)	1,3,10
C(1,4)	3,4,6,7,8,9	D(1,4)	1,2,5,10
C(1,5)	2,3,5,6,8,9,10	D(1,5)	1,4,7
C(2,1)	1,2,3,4,5,10	D(2,1)	6,7,8,9
C(2,3)	2,3,4,5,6,8,10	D(2,3)	1,7,9
C(2,4)	2,3,4,5,7,8,9	D(2,4)	1,6,10
C(2,5)	1,2,3,4,5,6,8,9,10	D(2,5)	7
C(3,1)	1,3,5,7,10	D(3,1)	2,4,6,8,9
C(3,2)	1,6,7,9	D(3,2)	2,3,4,5,8,10
C(3,4)	3,4,7,8,9	D(3,4)	1,2,5,6,10
C(3,5)	1,2,3,5,6,9,10	D(3,5)	4,7,8
C(4,1)	1,2,3,5,6,10	D(4,1)	4,7,8,9
C(4,2)	1,2,5,6,7,10	D(4,2)	3,4,8,9
C(4,3)	1,2,5,6,8,10	D(4,3)	3,4,7,9
C(4,5)	1,2,3,5,6,10	D(4,5)	4,7,8,9
C(5,1)	1,4,7	D(5,1)	2,3,5,6,8,9,10
C(5,2)	4,7,8	D(5,2)	1,2,3,5,6,9,10
C(5,3)	2,4,7,8	D(5,3)	1,3,5,6,9,10
C(5,4)	4,7,8,9	D(5,4)	1,2,3,5,6,10

C(1,2): Birinci aday uçağın, ikinci aday uçağa göre üstün olduğu kriterler bu kısma yazılır.

D(1,2): Birinci aday uçağın, ikinci aday uçağa göre üstün olmadığı kriterler ise bu kısma yazılır.

Tablo 3.46. Net Uyum-Net Uyumsuzluk indeksleri

Net uyum-net uyumsuzluk indeksleri			
C(1,2)	0,460	D(1,2)	1,000
C(1,3)	0,696	D(1,3)	1,000
C(1,4)	0,606	D(1,4)	1,000
C(1,5)	0,571	D(1,5)	0,765
C(2,1)	0,540	D(2,1)	0,402
C(2,3)	0,617	D(2,3)	0,364
C(2,4)	0,530	D(2,4)	0,494
C(2,5)	0,883	D(2,5)	1,000
C(3,1)	0,527	D(3,1)	0,348
C(3,2)	0,586	D(3,2)	1,000
C(3,4)	0,403	D(3,4)	0,907
C(3,5)	0,698	D(3,5)	1,000
C(4,1)	0,634	D(4,1)	0,381
C(4,2)	0,714	D(4,2)	1,000
C(4,3)	0,674	D(4,3)	1,000
C(4,5)	0,634	D(4,5)	1,000
C(5,1)	0,429	D(5,1)	1,000
C(5,2)	0,302	D(5,2)	0,884
C(5,3)	0,322	D(5,3)	0,808
C(5,4)	0,366	D(5,4)	0,987
∑C	11,193	∑D	16,340
Ort C	0,560	Ort D	0,817

C(1,2): Birinci aday uçağın, ikinci aday uçağa göre üstün olduğu kriterlerin öncelik vektöründeki değerlerinin toplamına eşittir.

D(1,2): Buradaki değer 2.25 formülüne göre hesaplanır.

Tablo 3.47. Karşılaştırma Çizelgesi [18]

Cpq	Cpq >= Ort C	Dpq	Dpq >= Ort D	Ap→Aq
C(1,2)	HAYIR	D(1,2)	Evet	HAYIR
C(1,3)	Evet	D(1,3)	Evet	1→3
C(1,4)	Evet	D(1,4)	Evet	1→4
C(1,5)	Evet	D(1,5)	HAYIR	HAYIR
C(2,1)	HAYIR	D(2,1)	HAYIR	HAYIR
C(2,3)	Evet	D(2,3)	HAYIR	HAYIR
C(2,4)	HAYIR	D(2,4)	HAYIR	HAYIR
C(2,5)	Evet	D(2,5)	Evet	2→5
C(3,1)	HAYIR	D(3,1)	HAYIR	HAYIR
C(3,2)	Evet	D(3,2)	Evet	3→2
C(3,4)	HAYIR	D(3,4)	Evet	HAYIR
C(3,5)	Evet	D(3,5)	Evet	3→5
C(4,1)	Evet	D(4,1)	HAYIR	HAYIR
C(4,2)	Evet	D(4,2)	Evet	4→2
C(4,3)	Evet	D(4,3)	Evet	4→3
C(4,5)	Evet	D(4,5)	Evet	4→5
C(5,1)	HAYIR	D(5,1)	Evet	HAYIR
C(5,2)	HAYIR	D(5,2)	Evet	HAYIR
C(5,3)	HAYIR	D(5,3)	HAYIR	HAYIR
C(5,4)	HAYIR	D(5,4)	Evet	HAYIR

Yukarıdaki tabloda 1'in 3 ve 4'e, 4'ün 2,3 ve 5'e, 3'ün 2'ye, 2'nin ise 5'e tercih edildiği görülmektedir. Bunun neticesinde aday uçaklar arasındaki tercih sıralaması A1-A4-A3-A2-A5 olarak bulunmuştur.

3.3. TOPSIS Uygulaması

Daha önce Tutarlılık Oranı (CR) 0,0055 olarak bulunmuştu. Bu oran 0,1'den küçük olduğu için kabul edilebilir bir tutarsızlık vardır. İdeal ve negatif ideal noktaları bulmak için daha önce oluşturulmuş olan aşağıdaki tablodan faydalanılır.

Tablo 3.48. Ağırlıklandırılmış normalize matris

	Hız	İrt.	FY	Men.	Man.	Kor.	Güv.	TE	SAM	İM
A1	0,0676	0,0091	0,0167	0,0447	0,0466	0,0993	0,0532	0,0391	0,0228	0,0321
A2	0,0950	0,0098	0,0198	0,0589	0,0524	0,0883	0,0466	0,0348	0,0261	0,0235
A3	0,0992	0,0083	0,0169	0,0407	0,0466	0,0883	0,0532	0,0304	0,0243	0,0271
A4	0,1035	0,0098	0,0167	0,0366	0,0524	0,0993	0,0466	0,0304	0,0365	0,0220
A5	0,0845	0,0083	0,0112	0,0589	0,0408	0,0772	0,0599	0,0348	0,0304	0,0353

İdeal noktalar:

$A^+ = \{0.1035,0.0098,0.0198,0.0589,0.0524,0.0993,0.0599,0.0391,0.0228,0.0220\}$

Negatif ideal noktalar:

$A^- = \{0.0676,0.0083,0.0112,0.0366,0.0408,0.0772,0.0466,0.0304,0.0365,0.0353\}$

Bu aşamadan sonra her alternatifin ideal olandan uzaklığı (S^+) ve negatif ideal olandan uzaklığı (S^-) hesaplanır.

$(S_1^+, S_2^+, S_3^+, S_4^+, S_5^+) = (0.0410,0.0200,0.0258,0.0308,0.0362)$

$(S_1^-, S_2^-, S_3^-, S_4^-, S_5^-) = (0.0306,0.0430,0.0383,0.0460,0.0319)$

Alternatiflerin A^+ 'ya olan göreli yakınlıkları bulunur.

$(V_1,V_2,V_3,V_4,V_5,) = (0.4273,0.6823,0.5972,0.5989,0.4684)$

Her alternatif için yukarıdaki adımdaki değer (ideale yakınlık) ölçüsü ile hesaplanmış değerler azalan bir sıraya sokulduğunda en çok tercih edilen alternatif(ler)e ulaşılmış olacaktır.

Tablo 3.49. Aday uçakların sıralaması

ADAYLAR	S^+	S^-	V
A1	0,0410	0,0306	0,4273
A2	0,0200	0,0430	0,6823
A3	0,0258	0,0383	0,5972
A4	0,0308	0,0460	0,5989
A5	0,0362	0,0319	0,4684

TOPSIS tekniğine göre tercih sırası A2-A4-A3-A5-A1 olarak bulunmuştur.

4. BÖLÜM

TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

Savaş uçağı seçiminde ele alınan kriterlere göre uygulanan üç karar verme yönteminde de farklı tercih sıralamaları ortaya çıkmıştır.

AHP'ye göre tercih sıralaması: A4-A1-A5-A2-A3

ELECTRE'ye göre tercih sıralaması: A1-A4-A3-A2-A5

TOPSIS'e göre tercih sıralaması: A2-A4-A3-A5-A1

Yukarıdaki tercih sıraları değerlendirildiğinde:

A4; AHP'de birinci tercih, ELECTRE ve TOPSIS'de ise ikinci tercih olarak bulunmuştur.

A1; ELECTRE'de birinci tercih, AHP'de ikinci tercih, TOPSIS'de ise beşinci tercih olarak bulunmuştur.

A2; TOPSIS'de birinci, AHP ve ELECTRE'de ise dördüncü tercih olarak bulunmuştur.

Yani A4; A1 ve A2'ye iki farklı yöntemde üstün gelmiş, A1 ve A2 ise A4'e birer yöntemde üstün gelebilmiştir.

Sonuç olarak A4 yani Sukhoi PAK FA uçağı belirlenen kriterlerde diğer uçaklara üstün gelerek ilk tercih edilmesi gereken uçak olarak belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

1. Shen, L., Muduli, K., Barve, A., 2013. Developing a sustainable development framework in the context of mining industries: AHP approach. (Web sayfası: **http://dx.doi.org/10.1016/j.resourpol.2013.10.006**), (Erişim tarihi: Ocak 2014)**.**
2. Srdjevic, B., Srdjevic, Z., 2013. Synthesis of individual best local priority vectors in AHP-group decision making. **Applied Soft Computing, 13:** 2045-2056.
3. Yu, J., Wang, L., Gong, X., 2013. Study on the status evaluation of urban road intersections traffic congestion base on AHP-TOPSIS modal. **Procedia-Social and Behavioral Sciences, 96:** 609-616.
4. Supçiller, A.A., Çapraz, O., 2011. AHP-TOPSIS yöntemine dayalı tedarikçi seçimi uygulaması. **İstanbul Üniversitesi İktisat Fakültesi Ekonometri ve İstatistik Dergisi, 13:** 1-22.
5. Seçme, N.Y., Bayrakdaroğlu, A., Kahraman, C., 2009. Fuzzy performance evaluation in Turkish banking sector using Analytic Hiyerarchy Process and TOPSIS. **Expert Systems with Applications, 36:** 11699-11709.
6. Dağdeviren, M., Yavuz, S., Kılınç, N., 2009. Weapon selection using the AHP and TOPSIS methods under fuzzy environment. **Expert Systems with Applications, 36:** 8143-8151.
7. Özcan, T., Çelebi, N., Esnaf, Ş., 2011. Comparative analysis of multi-criteria decision making methodologies and implementation of a warehouse location selection problem. **Expert Systems with Applications, 38:** 9773-9779.
8. Kurniati, E., Sutanhaji, A.T., Anggraini, O.A., 2013. Land acquisition and resettlement action plan (LARAP) of dam project using Analytical Hierarchical Process (AHP): A case study in Mujur Dam, Lombok Tengah District-West Nusa Tenggara, Indonesia. **Procedia Environmental Sciences, 17:** 418-423.
9. Botti, L., Peypoch, N., 2013. Multi-criteria ELECTRE method and destination competitiveness. **Tourism Management Perspectives, 6:** 108-113.
10. Corrente, S., Greco, S., Slowinski, R., 2013. Multiple Criteria Hierarchy Process with ELECTRE and PROMETHEE. **Omega, 41:** 820-846.
11. Bojkovic, N., Anic, I., Tarle, S.P., 2010. One solution for cross-country transport-sustainability evaluation using a modified ELECTRE method. **Ecological Economics, 69:** 1176-1186.

12. Ertuğrul, İ., Karakaşoğlu, N., 2010. Electre ve bulanık AHP yöntemleri ile bir işletme için bilgisayar seçimi. **Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 25** (2): 23-41.
13. Kaya, T., Kahraman, C., 2011. An integrated fuzzy AHP-ELECTRE methodology for environmental impact assessment. **Expert Systems with Applications, 38:** 8553-8562.
14. Kelemenis, A., Ergazakis, K., Askounis, D., 2011. Support managers' selection using an extension of fuzzy TOPSIS. **Expert Systems with Applications, 38:** 2774-2782.
15. İç, Y.T., 2012. An experimental design approach using TOPSIS method for the selection of computer-integrated manufacturing technologies. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 28:** 245-256.
16. Dündar, S., 2008. Ders seçiminde analitik hiyerarşi proses uygulaması. **Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 13** (2): 217-226.
17. Özkan, Ö., 2007. Personel seçiminde karar verme yöntemlerinin incelenmesi: AHP, ELECTRE ve TOPSIS örneği. Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 180 s.
18. Can, A.M., 2012. Çok kriterli karar verme teknikleri ile Samsun lojistik köyü yerinin belirlenmesi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 144 s.
19. Saaty, T.L., 2008. Decision Making with the Analytic Hierarchy Process. **International Journal of Services Sciences, 1** (1): 83-98.
20. Saaty, T.L., 1990. How to make a decision: the analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research, 48:** 9-26.
21. Çınar, Y., 2004. Çok nitelikli karar verme ve "bankaların mali performanslarının değerlendirilmesi" örneği. Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 204 s.
22. Saaty, T.L., 1980. The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill, New York, 181 pp.
23. Keçek, G., Yıldırım, E., 2010. Kurumsal kaynak planlama (ERP) sisteminin analitik hiyerarşi süreci (AHP) ile seçimi: otomotiv sektöründe bir uygulama.

Süleyman Demirel Üniveristesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 15 (1): 193-211.

24. Zeleny, M., 1982. Multiple Criteria Decision Making. McGraw-Hill, New York, 315 pp.
25. Hwang, C.L., Yoon, K., 1981. Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. Springer-Verlag, Berlin, 128 pp.
26. Nijkamp, P., Vos, J.B., 1977. Stochastic quantitative and qualitative multicriteria analysis for environmental design. **Papers of the Regional Science Association, 39:** 175-199.
27. Vikipedi, 2013. Askeri uçak. (Web sayfası: **http://tr.wikipedia.org/wiki/Askerî** uçak), (Erişim tarihi: Ocak 2014).
28. Vikipedi, 2013. F-35 Lightning II. (Web sayfası: **http://tr.wikipedia.org/wiki/F-35_Lightning_II**), (Erişim tarihi: Ocak 2014).
29. Vikipedi, 2013. F-22 Raptor. (Web sayfası: **http://tr.wikipedia.org/wiki/F-22_Raptor**), (Erişim tarihi: Ocak 2014).
30. Defense Update, 2007. Mig-35 Multi-Role Combat Aircraft. (Web sayfası: **http://defense-update.com/products/m/mig35.htm**), (Erişim tarihi: Ocak 2014).
31. Kopp, C., Goon, P., 2013. Assessing the Sukhoi PAK-FA. (Web sayfası: **http://www.ausairpower.net/APA-2010-01.html**), (Erişim tarihi: Ocak 2014).
32. Kopp, C., 2000. Eurofighter Typhoon-Demon or Lemon. (Web sayfası: **http://www.ausairpower.net/Analysis-Typhoon.html**), (Erişim tarihi: Ocak 2014).
33. Yücel, M., Ulutaş, A., 2008. Çok kriterli karar yöntemlerinden ELECTRE yöntemiyle Malatya'da bir kargo firması için yer seçimi. **Sakarya Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi, 1:** 327-344.
34. Wikipedia, 2007. Mikoyan Mig-35. (Web sayfası: **http://en.wikipedia.org/wiki/Mig-35**), (Erişim tarihi: Ocak 2014).
35. Wikipedia, 2014. Eurofighter Typhoon. (Web sayfası: **http://en.wikipedia.org/wiki/Eurofighter_Typhoon**), (Erişim tarihi: Ocak 2014).

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Gökhan TÜYSÜZ
Uyruğu: Türkiye (TC)
Doğum Tarihi ve Yeri: 15 Mayıs 1982, Araklı
Medeni Durumu: Evli
Tel: +90 352 222 45 45 (4570)
email: goochaan@hotmail.com
Yazışma Adresi: 2'nci HİBM K.lığı Melikgazi/KAYSERİ

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Marmara Ü. End. Müh.	2007
Lise	Yunus Emre A.L., Trabzon	2000

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2013-Halen	2'nci HİBM K.lığı	Yrd. İmalat Atölyeler Amiri
2009-2013	2'nci HİBM K.lığı	Kalite Güvence Amiri
2008-2009	2'nci HİBM K.lığı	Malzeme Planlama Kısım Amiri

YABANCI DİL

İngilizce