

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇOK AMAÇLI SAVAŞ UÇAĞI SEÇİMİNDE  
ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME YÖNTEMLERİNİN  
UYGULANMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Endüstri Müh. Serdal ÇELİKİYAY**

**Anabilim Dalı: Endüstri Mühendisliği**

**Programı: Endüstri Mühendisliği**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Cengiz KAHRAMAN**

**MAYIS 2002**

## ÖNSÖZ

Günümüzün hızla değişen ve yenilenen teknolojileri yanında ekonomik ve uluslar arası ilişkilerin de karmaşıklaşması, yönetim kadrolarında “karar verme” durumunda olan insanların karar sürecinde birçok ölçütü ve alternatifi bilimsel yöntemlerle değerlendirmesini zorunlu kılmaktadır. Bu gerçek, rekabetin yoğun olduğu günümüzde herkesim için geçerli olduğu kadar Silahlı Kuvvetler için de geçerlidir.

Karmaşık silah sistemlerin değerlendirilmesi ve seçimi bir çok ölçütü ve alternatifi aynı anda çok iyi bir şekilde değerlendirmeyi ve sonuçta doğru karar vermeyi gerektirmektedir. Ülkemizin güvenliği ve insanlarımızın refahı için eldeki kıt kaynakların etkin ve verimli bir biçimde kullanılması alınacak kararların doğruluğuna bağlıdır. Bu amaçla yaptığımız bu çalışmada, Türk Hava Kuvvetleri’ nin temel silah sistemi olan savaş uçaklarının seçimi Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri kullanılarak yapılmıştır.

Yönetimde doğru ve etkin karar vermede her zaman kullanılan deneyim, sezgi, deneme-yanılma, kişisel yargı gibi yöntemlerin günümüz sorunları için yetersiz kaldığı anlaşılmış ve yönetim kadrosunda bulunacak insanların sorunlara bilimsel yaklaşımlarının gereği ortaya çıkmıştır. Bu amaçla bizlere bu eğitim yolunu açan komutanlarıma saygılarımı sunuyorum.

Çalışmam esnasında bana her türlü desteği sunan başta değerli hocam Sayın Doç. Dr. Cengiz Kahraman’ a ve Endüstri Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine, Hava Harp Okulu Komutanlığı ve HUTEN Müdürlüğü’ne ve beni bu çalışmamın her aşamasında destekleyen eşime teşekkürlerimi sunarım.

MAYIS 2002

Serdal ÇELİKİYAY

## İÇİNDEKİLER

|                                                                   |             |
|-------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>KISALTMALAR</b>                                                | <b>v</b>    |
| <b>TABLO LİSTESİ</b>                                              | <b>vi</b>   |
| <b>ŞEKİL LİSTESİ</b>                                              | <b>vii</b>  |
| <b>SEMBOL LİSTESİ</b>                                             | <b>viii</b> |
| <b>ÖZET</b>                                                       | <b>ix</b>   |
| <b>SUMMARY</b>                                                    | <b>xi</b>   |
| <br>                                                              |             |
| <b>1. GİRİŞ</b>                                                   | <b>1</b>    |
| <br>                                                              |             |
| <b>2. KARAR VERME VE TEMEL KAVRAMLARI</b>                         | <b>3</b>    |
| 2.1. Karar Verme                                                  | 3           |
| 2.2. Karar Verme Sürecinin Aşamaları                              | 4           |
| 2.3. Karar Modelinin Öğeleri                                      | 5           |
| 2.3.1. Karar Verilecek Problem                                    | 5           |
| 2.3.2. Karar Verme Sürecine Katılanlar                            | 5           |
| 2.3.3. Alternatifler                                              | 5           |
| 2.3.4. Amaçlar, Kriterler ve Ölçütler                             | 6           |
| 2.3.4.1. Amaçlar                                                  | 6           |
| 2.3.4.2. Kriterler                                                | 7           |
| 2.3.4.3. Ölçütler                                                 | 7           |
| 2.3.5. Yöntemler                                                  | 8           |
| 2.4. Karar Tipleri                                                | 8           |
| <br>                                                              |             |
| <b>3. ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME YÖNTEMLERİ</b>                      | <b>10</b>   |
| 3.1. Çok Ölçütlü Karar Verme                                      | 10          |
| 3.2. ÇÖKV Problemlerinde Veri, Ağırlık ve Ölçütlerin Belirlenmesi | 13          |
| 3.2.1. Ölçütlerin Belirlenmesi                                    | 14          |
| 3.2.2. Ölçüt Ağırlıklarının Belirlenmesi                          | 15          |
| 3.2.2.1. Sıralamalar ve Ağırlıklar                                | 15          |
| 3.2.2.2. Oransal Ağırlıklandırma                                  | 16          |
| 3.2.3. Nitel Oranların Ölçümü                                     | 17          |
| 3.2.4. Ölçüt Oranlarının Normalizasyonu                           | 18          |
| 3.3. ÇÖKV Yöntemlerinin Sınıflandırılması                         | 20          |
| 3.3.1. Deterministik ÇÖKV Yöntemleri                              | 22          |
| 3.3.1.1. Puanlama Modelleri                                       | 22          |
| 3.3.1.2. Hedef Programlama                                        | 24          |
| 3.3.1.3. Karar Destek Sistemleri                                  | 25          |
| 3.3.1.4. Verimlilik Modelleri                                     | 27          |
| 3.3.1.5. 0-1 Tamsayılı Çok Ölçütlü Programlama                    | 27          |
| 3.3.1.6. Dinamik Programlama                                      | 28          |
| 3.3.1.7. Sıralama Yöntemleri                                      | 29          |
| 3.3.1.8. Analitik Hiyerarşi Prosesi                               | 31          |

|                                                                   |            |
|-------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.3.1.9. TOPSIS Yöntemi                                           | 31         |
| 3.3.2. Deterministik Olmayan ÇÖKV Yöntemleri                      | 32         |
| 3.3.2.1. Bulanık Kümeler                                          | 32         |
| 3.3.2.2. Uzman Sistemler                                          | 35         |
| 3.3.2.3. Fayda Modelleri                                          | 37         |
| 3.3.2.4. Oyun Teorisi Modelleri                                   | 39         |
| <b>4. ÇOK AMAÇLI SAVAŞ UÇAĞI SEÇİMİ</b>                           | <b>41</b>  |
| 4.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi                                   | 41         |
| 4.1.1. Hiyerarşik Yapı                                            | 42         |
| 4.1.2. Ölçme ve Yapı Oluşturma                                    | 45         |
| 4.1.3. İkili Karşılaştırmalar Matrisi ve Ağırlıklar Kümesi        | 47         |
| 4.1.4. Analitik Hiyerarşi Prosesinde Kullanılan Ölçek             | 51         |
| 4.1.5. Özvektörün Bulunması                                       | 51         |
| 4.1.5.1. En Basit ve Sapmalı Yöntem                               | 52         |
| 4.1.5.2. Daha İyi Yöntem                                          | 53         |
| 4.1.5.3. Bölmeli İyi Yöntem                                       | 53         |
| 4.1.5.4. Çarpmalı İyi Yöntem                                      | 53         |
| 4.1.6. Tutarlılık                                                 | 55         |
| 4.1.7. Literatürde AHP İle Çözülen Problemler                     | 57         |
| 4.2. TOPSIS Yöntemi                                               | 60         |
| 4.2.1. Literatürde TOPSIS Yöntemi İle Çözülen Problemler          | 64         |
| 4.3. Seçime Tabi Tutulacak Çok Amaçlı Savaş Uçakları              | 65         |
| 4.3.1. JAS-39 (Gripen)                                            | 66         |
| 4.3.2. Eurofighter (Typhoon)                                      | 68         |
| 4.3.3. X-35 (JSF)                                                 | 70         |
| 4.3.4. F/A-18E/F (Super Hornet)                                   | 72         |
| 4.3.5. F-15E (Eagle)                                              | 74         |
| 4.4. Savaş Uçağı Seçiminde Kullanılacak Değerlendirme Ölçütleri   | 76         |
| 4.5. Analitik Hiyerarşi Prosesi İle Çok Amaçlı Savaş Uçağı Seçimi | 76         |
| 4.5.1. Modelin Çözümü                                             | 79         |
| 4.5.2. Duyarlılık Analizleri                                      | 85         |
| 4.6. TOPSIS Yöntemi İle Çok Amaçlı Savaş Uçağı Seçimi             | 89         |
| <b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b>                                    | <b>95</b>  |
| <b>KAYNAKLAR</b>                                                  | <b>99</b>  |
| <b>EKLER</b>                                                      | <b>108</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ</b>                                                   | <b>136</b> |

## KISALTMALAR

|               |                                                                  |
|---------------|------------------------------------------------------------------|
| <b>KV</b>     | : Karar Verici                                                   |
| <b>ÇÖKV</b>   | : Çok Ölçütlü Karar Verme                                        |
| <b>ÇKKV</b>   | : Çok Kriterli Karar Verme                                       |
| <b>ÇAKV</b>   | : Çok Amaçlı Karar Verme                                         |
| <b>KDS</b>    | : Karar Destek Sistemleri                                        |
| <b>YBS</b>    | : Yönetim Bilişim Sistemleri                                     |
| <b>AHP</b>    | : Analitik Hiyerarşi Prosesi                                     |
| <b>TOPSIS</b> | : Technique For Order Preference By Similarity To Ideal Solution |
| <b>CI</b>     | : Tutarlılık göstergesi                                          |
| <b>CR</b>     | : Tutarlılık derecesi                                            |
| <b>RI</b>     | : Tesadüfilik göstergesi                                         |
| <b>İÜT</b>    | : İleri Üretim Teknolojileri                                     |
| <b>KOBİ</b>   | : Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmeler                          |
| <b>OCRA</b>   | : Operational Competitiveness Rating                             |
| <b>ÇAP</b>    | : Çok Amaçlı Programlama                                         |
| <b>MFD</b>    | : Multi Function Display                                         |
| <b>HUD</b>    | : Head Up Display                                                |
| <b>BVR</b>    | : Beyond Visual Range                                            |
| <b>JSF</b>    | : Joint Strike Fighter                                           |
| <b>USAF</b>   | : Amerikan Hava Kuvvetleri                                       |
| <b>USN</b>    | : Amerikan Deniz Kuvvetleri                                      |
| <b>USMC</b>   | : Amerikan Deniz Birlikleri                                      |
| <b>STOVL</b>  | : Dikey iniş kalkış                                              |
| <b>RAM</b>    | : Radar emici madde                                              |
| <b>ATFLIR</b> | : İleri Bakan İnfrared Radar                                     |
| <b>UHF</b>    | : Çok Yüksek Frekans                                             |
| <b>ECM</b>    | : Elektronik Karıştırma Modülü                                   |
| <b>IR</b>     | : İnfrared                                                       |

## TABLO LİSTESİ

|                                                                                                       | <u>Sayfa No</u> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| <b>Tablo 3.1.</b> Malcolm Baldrige Ödülü Değerlendirme Ölçütleri ve Değerleri..                       | 15              |
| <b>Tablo 3.2.</b> Bir Monotonik Olmayan Ölçüt Normalizasyonu.....                                     | 20              |
| <b>Tablo 3.3.</b> Ağırlıklandırılmamış 0-1 Faktör Puanlama Modeli.....                                | 23              |
| <b>Tablo 3.4.</b> Ağırlıklandırılmamış Faktör Puanlama Modeli.....                                    | 24              |
| <b>Tablo 4.1.</b> Analitik Hiyerarşi Prosesinde Kullanılan Ölçek.....                                 | 52              |
| <b>Tablo 4.2.</b> Birinci Seviye Karşılaştırmalar Matrisi .....                                       | 54              |
| <b>Tablo 4.3.</b> İkinci Seviye İkili Karşılaştırmalar Matrisleri .....                               | 55              |
| <b>Tablo 4.4.</b> Tesadüfîlik Göstergesi .....                                                        | 57              |
| <b>Tablo 4.5.</b> TOPSIS Karar Matrisi .....                                                          | 90              |
| <b>Tablo 4.6.</b> TOPSIS Normalize Edilmiş Karar Matrisi.....                                         | 91              |
| <b>Tablo 4.7.</b> TOPSIS Ölçüt Ağırlıkları Tablosu .....                                              | 92              |
| <b>Tablo 4.8.</b> TOPSIS Ağırlıklandırılmış Karar Matrisi Ve İdeal Ve Negatif<br>İdeal Çözümler ..... | 93              |
| <b>Tablo 4.9.</b> TOPSIS Göreceli Uzaklıklar Matrisi .....                                            | 94              |

## ŞEKİL LİSTESİ

|                                                                                             | <u>Sayfa No</u> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Şekil 3.1. : Analiz Yöntemlerinin Sınıflandırılması ( Lavelle ve Lingett ).....             | 11              |
| Şekil 3.2. : Analiz Yöntemlerinin Sınıflandırılması ( Kolli ve Diğ.) .....                  | 11              |
| Şekil 3.3. : ÇÖKV Yöntemleri Sınıflandırması.....                                           | 22              |
| Şekil 4.1. : Konut Seçimi İle İlgili Örnek Problemin Hiyerarşiye Ayrıştırılması .....       | 44              |
| Şekil 4.2. : Araba Seçim Problemi İçin Hiyerarşik Yapı.....                                 | 54              |
| Şekil 4.3. : Çok Amaçlı Savaş Uçağı Seçiminde Değerlendirme Ölçütleri Hiyerarşisi .....     | 77              |
| Şekil 4.4. : Birinci Düzey İkili Karşılaştırmalar Matrisi Ve Göreli Önemler Vektörü .....   | 80              |
| Şekil 4.5. : “Mekanik Performans” Ölçütü Alt Düzeyinin İkili Karşılaştırmalar Matrisi ..... | 81              |
| Şekil 4.6. : “Kontrol Yeteneği” Ölçütü Alt Düzeyinin İkili Karşılaştırmalar Matrisi .....   | 82              |
| Şekil 4.7. : “Silah Sistemleri” Ölçütü Alt Düzeyinin İkili Karşılaştırmalar Matrisi .....   | 82              |
| Şekil 4.8. : “Aviyonik Sistemleri” Ölçütü Alt Düzeyinin İkili Karşılaştırmalar Matrisi..... | 83              |
| Şekil 4.9. : “Uçuş Emniyeti” Ölçütü Alt Düzeyinin İkili Karşılaştırmalar Matrisi.....       | 83              |
| Şekil 4.10. : “Ekonomiklik” Ölçütü Alt Düzeyinin İkili Karşılaştırmalar Matrisi.....        | 84              |
| Şekil 4.11. : Çok Amaçlı Savaş Uçağı Seçimi Birleşik Göreli Önemler Vektörü.....            | 85              |
| Şekil 4.12. : Birinci Düzey Ölçütleri Duyarlılık Analizi Grafiği.....                       | 86              |
| Şekil 4.13. : Birinci Düzey Ölçütlerin Duyarlılık Analizleri.....                           | 87              |

## SEMBOL LİSTESİ

|                      |                                                                     |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------|
| $r_j$                | : j nci ölçütün derecesidir.                                        |
| $x_j^*$              | : j nci ölçütün maksimum değeri                                     |
| $\bar{x}_j$          | : j nci ölçütün minumum değeridir                                   |
| $x_j^o$              | : En iyi değer                                                      |
| $\sigma_j$           | : j nci ölçütün oranlarının standart sapması                        |
| $d_i^-, d_i^+$       | : Hedeften eksi ve artı sapmalar                                    |
| $w_i$                | : i' nci faktörün ağırlığı                                          |
| $S_i$                | : i' nci faktöre verilen puan                                       |
| $\tilde{A}$          | : Bulanık küme                                                      |
| $\mu_{\tilde{A}}(x)$ | : Bulanık kümede üyelik fonksiyonu                                  |
| $\alpha$             | : Alfa kesmesi                                                      |
| $\lambda_{\max}$     | : En büyük özdeğer                                                  |
| $x_{ij}$             | : j' nci kritere göre i' nci alternatifin performans değeri         |
| $A^*$                | : TOPSIS Yönteminde ideal çözüm                                     |
| $A^-$                | : TOPSIS Yönteminde negatif ideal çözüm                             |
| $S_{j^*}$            | : TOPSIS Yönteminde alternatiflerin ideal çözümden olan uzaklığı    |
| $S_{j^-}$            | : TOPSIS Yönteminde alternatiflerin negatif ideal çözümden uzaklığı |
| $C_{j^*}$            | : TOPSIS Yönteminde alternatiflerin ideal çözüme göreceli uzaklığı, |

## ÖZET

İnsanoğlunun yaşama başlamasıyla birlikte ortaya çıkan “Karar Verme” olgusu, bütün yaşamı boyunca çok çeşitli şekillerde ve ortamlarda devam etmektedir. Toplumsal ve bireysel sebeplerle ve hızla değişen çevrenin ortaya çıkardığı karmaşıkla oluşan problemlerin çözümünün nasıl olması gerektiği konusu her geçen gün önemini artırmaktadır. Karar vericiler, bundan dolayı karmaşık ve kompleks ortamlarda karar vermek zorundadırlar.

Çok Ölçütlü Karar Verme (ÇÖKV) problemleri, bir bireyin ev seçiminden bir şirkette kaynak dağılımına, bir ülkenin savaş uçağı seçimi gibi oldukça farklı yapılarda karşımıza çıkmaktadır. Ancak, hemen hemen bütün ÇÖKV problemleri aynı karakteristiklere sahiptirler. Öncelikle hepsinde, önceden belirlenen alternatifler arasından en iyi alternatifin seçimi yapılır. İkinci olarak, değerlendirme aşamasında birçok ölçüt kullanılır. Üçüncü olarak, ölçütler arasındaki çatışmanın çözülmesi ve takas yapılır. Son olarak da, birbiriyle doğrudan karşılaştırılamayacak farklı birimler kullanılır. Genellikle ÇÖKV yöntemleriyle, en iyi alternatif ölçütlerin birbiriyle karşılaştırılması sonucunda bulunur.

Bu çalışmada, çok yaygın şekilde her alanda kullanılan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve TOPSIS ÇÖKV yöntemleri kullanılmıştır. Analitik Hiyerarşi Prosesi, problemi alt problemlere bölerek, her bir alt problemin çözümünü tek bir sonuçta toplamaktadır. Bu tarz, kararı etkileyen kuvvetler olan algılamaları, duyguları, yargıları ve geçmiş tecrübeyi bir çerçevede toplayarak karar vermeyi kolaylaştırmaktadır. Basit ve en genel haliyle; kuvvetler, daha genel ve az kontrol edilebilenden daha spesifik ve daha çok kontrol edilebilen bir yapı içerisinde düzenlenmektedir. Analitik Hiyerarşi Prosesi, bu özelliğiyle karar vericiye kompleks bir problemi basit bir hiyerarşide yapılandırması ve fazla sayıda nitel ve nicel faktörleri farklı sayıdaki kriterlere göre sistematik bir şekilde değerlendirmesi konusunda yardımcı olmaktadır.

AHP, ikili karşılaştırmalar yoluyla bir seviyedeki her bir öğeyi bir üst seviyedeki bir öğe ile diğer öğe ve özellikleri dikkate almadan karşılaştırarak ikili karşılaştırmalar matrisi oluşturmaktadır. Bu matris sayesinde, probleme ilişkin öz vektör ve en büyük özdeğer bulunabilmektedir. Söz konusu özvektör, faktörlere

ilişkin ağırlıkların; özdeğer ise, karar vericinin yargılarının tutarlılığının tespitinde kullanılmaktadır.

TOPSIS yönteminde de bir karar matrisi ve ağırlıklar seti kullanılmaktadır. TOPSIS yönteminin mantığı, çok fazla tercih edilen alternatifin ideal alternatife en yakın olması ve negatif ideal (en kötü durumda olan) alternatiften de en uzak olmasıdır. İdeal alternatif, tüm ölçütlerin en iyi değerlerinden oluşmaktadır. Negatif ideal alternatif de, tüm ölçütlerin en kötü değerlerinden oluşmaktadır. İdeal ve negatif ideal alternatifler mevcut alternatiflere bağlı değildir fakat ekstrim(uç) model veya hedef olarak düşünülebilirler. Her bir alternatifin ideal alternatife olan göreceli yakınlığı, hem ideal hem de negatif ideal alternatiflere olan uzaklığı aynı anda hesaba katılarak değerlendirilir. Sonuçta, alternatiflerin tercih sıralaması yakınlıkların büyükten küçüğe sıralanması sonucunda bulunur.

Bu çalışmada, öncelikle Çok Amaçlı (multi-role) Savaş Uçağı seçimi bir grup uzman tarafından objektif ve subjektif tüm ölçütler dikkate alınarak AHP ile yapılmıştır. AHP ile, uzmanların alternatifler için farklı değerlendirmelerinin geometrik ortalamaları alınarak en iyi savaş uçağı seçimi yapılmıştır. Daha sonra da yapılan duyarlılık analizleri ile karar vericiye alternatifler arasında kıyaslama imkanı sunulmuştur. Diğer bir ÇÖKV yöntemi olarak kullandığımız TOPSIS yöntemi ile de en iyi çok amaçlı savaş uçağı seçimi yapılmıştır. Sonuç olarak, en iyi savaş uçağı seçiminde kullanılan iki ÇÖKV yöntemine göre aynı sonuçların elde edilmesi karar vericiye en iyi çok amaçlı savaş uçağı seçiminde daha sağlam bir karar zemini oluşturmaktadır.

## **SELECTION OF THE MULTI-ROLE FIGHTER AIRCRAFT WITH USING MULTI-ATTRIBUTE DECISION MAKING METHODS**

### **SUMMARY**

“The Decision Making” fact that arises with the beginning of human life, continues in many various circumstances and forms in its living. The subject of how the people will solve the problems which occur with the complexity and quick changing environment and depends on individual and social causes, increases the importance of the decision making fact in every day. Because of this, decision makers have to make decisions in a conflicting and complex situations.

Multi-Attribute Decision Making (MADM) problems are rather diverse in nature as they may range from selection of an apartment by an individual to the allocation of resources within a company to the selection of fighter aircraft by a country. However, almost all MADM problems have the following common characteristics. First of all, they involve the selection of the best alternative from among a set of predetermined alternatives. Secondly, They involve the use of multiple attributes in the evaluation process. Thirdly, they are required to resolve conflicts and value-tradeoff among the attributes. Finally, they involve the use of incommensurable units which cannot be compared directly. Generally MADM methods select the best alternative based on inter-attribute comparisons.

In this study, Analytic Hierarch Process (AHP), which is widely used in every areas, and TOPSIS MADM methods are used. AHP is about breaking a problem down and then aggregating the solutions of all the subproblems into a conclusion. It facilitates decision making by organizing perceptions, feelings, judgements and memories into a framework that exhibits the forces that influence a decision. In the simple and most common case, the forces are arranged from the more general and less controllable to the more specific and controllable. By the help of these properties, AHP enables the decision-makers to structure a complex problem in the form of a simple hierarchy and to evaluate a large number of quantitative and qualitative factors in a systematic manner under conflicting multiple criteria.

By the way of pairwise comparisons, AHP takes a pair of elements in one level and compares them on a single property of the next higher level without concern for other properties or other elements. Then reflecting the comparison in a pairwise comparison matrix and find the eigenvector with the largest eigenvalue. The eigenvector provides the priority ordering, and the eigenvalue is a measure of the consistency of the decision maker's judgements.

Also in TOPSIS method, a decision matrix and a set of weights are used. The logic of TOPSIS is that a more preferred alternative should be closer to the ideal alternative and farther from the negative-ideal alternative, where the ideal alternative is composed of all the best attribute values obtainable, and the negative-ideal alternative is composed of all the worst attribute values attainable. The ideal and negative-ideal alternatives usually do not correspond to real alternatives, but they may be considered as extreme models or targets. The relative closeness of each alternative to the ideal alternative is defined by considering its distances from both the ideal and negative-ideal alternatives simultaneously, and the alternatives' preference order is finally ranked in ascending order of their closeness measures.

In this study, firstly a group of experts that considered both the objective and subjective attributes, chose the best multi-role fighter aircraft with AHP. The best fighter aircraft were chosen with the geometric means of the experts' evaluations. After that, a comparison ability was presented by doing sensitivity analysis to decision-maker. The other MADM method TOPSIS were used also selection of the best multi-role fighter aircraft. As a result, the selection of the best multi-role aircraft were achieved with the both MADM methods and we had same results. So, this results give a strong decision baseline for the decision-maker to select the best multi-role fighter aircraft.

## 1. GİRİŞ

Günümüzde teknolojik alanda ilerlemelerin yanında, ekonomik ve uluslararası ilişkilerin de büyük önem kazanması, yönetim ve karar sürecini etkileyen etmenlerin nitelik ve nicelik bakımından artmasına ve karar vermenin daha fazla karmaşıklaşmasına sebep olmuştur. Bu ortamda, klasik yöntemlerle sorunlara çözüm bulma imkanı gittikçe azalmakta ve bilimsel yöntemlere olan ihtiyaç da artmaktadır.

Bu ihtiyaç tüm organizasyonlar için olduğu kadar Silahlı Kuvvetler içinde geçerlidir. Karmaşık silah sistemlerin değerlendirilmesi ve seçimi; silah, araç ve insan gücü planlaması; eldeki olanak ve kısıtlamaların etkin bir biçimde kullanılması gibi durumlarda kararların doğru alınması ancak bilimsel karar verme yöntemlerinin kullanılmasıyla mümkün olmaktadır.

Milli güvenliğimizin teminatı olan Silahlı Kuvvetlerin her bakımdan güçlü olması gerekmektedir. Bu amaçla, ihtiyaç duyduğu silah sistemlerini elinde bulundurması zorunludur. Eldeki kıt kaynakların verimli kullanılması ve görevin etkin bir biçimde yerine getirilebilmesi için değerlendirmelerin bilimsel yöntemler kullanılarak yapılması ve özellikle karar verme durumunda olan kişilerin bu yöntemleri uygulaması gerekmektedir. Bu amaçla yaptığımız bu uygulamada en iyi Çok Amaçlı Savaş Uçağı Seçimi ÇÖKV problemi olarak değerlendirilmiştir.

Karar verme, mevcut tüm alternatifler arasından amaç veya amaçlara en iyi karşılayan bir veya birkaçını seçme sürecidir. Bu süreçte kullanılacak yöntem veya yöntemleri genelde problemin tipi ve karar verici belirlemektedir. Çok Ölçütlü Karar Verme (ÇÖKV) Yöntemleri, organizasyonların ekonomik performanslarını ölçmede kullanılan karlılık ve maliyet gibi sadece sayısal verilerle ölçülemeyen birçok ölçütün (kriter) aynı anda değerlendirilmesini gerektiren karar problemleri için geliştirilmiştir. ÇÖKV yöntemleri sayesinde karar verici, amaçlarına ne derece ulaştığına görme ve problem üzerinde amaçlarını maksimize edebilecek değişiklikler yapma fırsatına sahip olabilmektedir.

Ele alacağımız uygulamanın yapısına uygun ÇÖKV yöntemleri olarak değerdendirđimiz Analitik Hiyerarşı Prosesi (AHP) ve TOPSIS yöntemleri bize objektif ve subjektif tüm ölçütleri aynı anda değerdendirme ve duyarlılık analizi yapma fırsatı vermektedir. Çok Amaçlı Savaş Uçağı Seçiminde, her seviyedeki insan tarafından kolay anlaşılabilir ve uygulanabilir olmalarından dolayı AHP ve TOPSIS yöntemleri kullanılmıştır. Değerdendirme aşamasında konularında uzman fakat karar verme durumunda olmayan kişilerin de değerdendirmeye katılmaları sağlanmıştır. Böylece insanların bilgi ve deneyimleri bilimsel yöntemlerle birleştirilerek değerdendirilmiş ve doğru kararın alınması amaçlanmıştır.

## 2. KARAR VERME VE TEMEL KAVRAMLARI

### 2.1. Karar Verme

İnsanoğlu, varoluşundan bugüne değin günlük hayatının her safhasında karşılaştığı sorunlara çözüm bulmak amacıyla, sahip olduğu bilgi ve metotları kullanarak kararlar almak durumunda kalmıştır. Karar verme olgusu insan hayatının vazgeçilmez bir parçasıdır. Bu olgu, kişisel kararlardan organizasyonların aldığı kararlara kadar çok farklılıklar arz etmektedir. Bugünün hızla değişen toplum, ekonomik ve teknolojik yapısında ve globalleşen dünyamızda karar vermenin ne kadar önem kazandığını ve alınan kararların ne kadar büyük bir etki alanına sahip olduğunu görmemiz gerekmektedir.

Birey, aile, iş ve toplum hayatının önemli bir olayı olan karar verme olgusuyla ilgili karşımıza pek çok tanım çıkmaktadır. Bu tanımlardan bazılarına göre karar verme: En iyi hareket biçimini seçmektir. Amacı gerçekleştirmek üzere en iyi hareket biçiminin seçimidir (Demir ve diğ., 1985); Karar verme, bir amacı gerçekleştirmek üzere en iyi hareket biçimini seçme, uygulama ve kontrol etme niteliğini taşıyan bilinçli bir süreçtir (Özden, 1989); Karar verme, mevcut tüm alternatifler arasından amaç ve amaçlara en uygun, mümkün bir veya birkaçını seçme sürecidir (Evren ve Ülengin, 1992a).

Bir sorunun karar verme sorunu olarak nitelenebilmesi için, iki koşul gerekir. Bunlardan ilki, sorunun çözümü için birden çok hareket biçiminin (seçeneğin) bulunması; ikincisi ise, her bir hareket biçiminin sonuçlarının birbirinden farklı olmasıdır (Özden, 1989).

Karar verme bir süreçtir ve bu süreçte amaca en iyi hizmet eden alternatif veya alternatiflerin seçiminin yapılmasıdır. Bu süreçte kullanılan yöntem karar vericinin (KV) psikolojik ve fizyolojik özelliklerine bağlı olduğu kadar kullanacağı metodun doğruluğuna ve uygulanabilirliğine de bağlıdır. KV kendi sezgi, inanç ve taklit yeteneklerini bilimsel metotlarla birlikte kullanırsa büyük bir olasılıkla verdiği karar

doğru ve sonuçları olumlu olacaktır. Bugüne kadar geliştirilen bilimsel metotlarla karar verme olgusunu tüm etkenleriyle ele alma şansına sahibiz.

## **2.2. Karar Verme Sürecinin Aşamaları**

Karar verme sürecinin aşamaları, karar verme olayını dar yada geniş anlamda ele almaya ya da bu kavramdan ne anlaşıldığına bağlı olarak değişik biçimlerde belirtilmektedir. Karar türü ne olursa olsun, izlenecek karar verme basamakları yaklaşık olarak aynıdır; bununla birlikte her basamakta izlenecek yöntemler, başvurulacak teknik ve ayrıntılar kararın niteliğine bağlı olarak değişebilir (Özden,1989).

Karar verme süreci, bir çok araştırmacı tarafından kendi çalışma alanlarına uygun olarak incelenmiş ve aşamalandırılmıştır. Glibert ve Israel, karar verme süreci aşamalarını aşağıdaki gibi sıralandırmışlardır:

1. Amacın belirlenmesi,
2. Kontrol edilebilir değişkenlerin belirlenmesi,
3. Kontrol edilemeyen değişkenlerin belirlenmesi,
4. Kısmi kontrol edilebilen değişkenleri ve kısmi kontrol edilebilir değişkenlerle kontrol edilebilen değişkenler arası ilişkilerin belirlenmesi,
5. Amaca bağlı olarak her bir olası kararın etkisinin belirlenmesi,
6. Kararı verilmesi,
7. Sonuçların yorumlanması,
8. Sonraki çalışmalar için karar sürecinin yinelenmesi.

Hicks, karar verme sürecinin aşamalarını beş aşamada ifade etmiştir:

1. Kararın amaçlarının belirlenmesi,
2. Amaçları karşılayan alternatif yolların bulunması,
3. Değerlendirme kriterlerinin/tekniklerin belirlenmesi,
4. En iyi eylem tarzının seçimi,
5. Seçilen eylem tarzının uygulanması (Yayan, 2001).

Karar verme sürecini özetle hazırlık, uygulama ve kontrol (geri besleme) işlemlerinin yerine getirilmesi olarak ifade edebiliriz.

## **2.3. Karar Modelinin Öğeleri**

### **2.3.1. Karar Verilecek Problem**

KV durumundaki kişilerin önüne problem iki şekilde gelebilir. Birincisi; KV' ler çevrede karar verilmesini gerektiren değişiklikleri ya da yeni koşulları bulmak için iktisadi, siyasi, toplumsal teknik alanları incelerler. Böylece örgütle ilgili çözülecek problemler olup olmadığını araştırırlar. İkincisi; problem KV' lerin önüne onlar aramadan da gelebilir. Bunun içinde, ya örgüt dışındaki çeşitli gruplar isteklerde bulunurlar, çözülmesi gereken problemi örgüte getirirler ya da problem örgütün içinden çıkar. Örgütün içinde, ya karar verme biriminin üstündeki kademelerden ya da alttaki kademelerden gelir. Genelge ve emirlerin belirsiz oluşu, yetki alanlarının ya da emirlerin çatışması ve benzeri gibi nedenlerle astlar, bir problemde karar alınmasını üstlerden isteyebilir. Birde astlar, kendilerini ilgilendiren problemlerde çözüm bulmaları için üstlere başvurabilirler (Onaran, 1971).

### **2.3.2. Karar Verme Sürecine Katılanlar**

Herhangi bir karar verme gerektiren problem çözümüne; karar verici ya da problem sahibi; alınacak karar üzerinde kontrolü olan kişi veya grup, çözüm kullanıcı; KV tarafından oluşturulan çözümü kullanan ve/veya kararı uygulayan fakat çözüm/karar üzerinde herhangi bir değişiklik yetkisi olmayan kişi/kişiler, karardan etkilenenler; çözümün veya kararın sonuçlarından faydalanan ya da zarar gören kişiler, karar analisti/ problem çözücü; problemi analiz eden ve KV için çözüm geliştiren ya da çözüm sürecinde yardımcı olan analistler katılırlar (Topçu, 2000).

Karar verme sürecinde hiçbir KV tek başına karar alamaz. Bu süreçte KV' yi etkileyenler, kararın sonuçlarını kendi amaçları doğrultusunda oluşmasına yardımcı olmaktadır.

### **2.3.3. Alternatifler**

Karar vericinin sorunu çözmek üzere seçip izleyebileceği yollardan her birine alternatif denir. Alternatiflere seçenek, hareket tarzı, eylem, davranış ve strateji isimleri de verilmektedir. Alternatifler, değişik kaynak kullanımı birleşimlerini (kombinasyonlarını) belirtir. Kaynak kullanımı birleşiminin seçimi yöneticiye bağlı

olduğundan, alternatifler karar değişkeni (kontrol edilebilir değişken) konumundadırlar.

Alternatif geliştirmenin belli bir yöntemi yoktur. Alternatifler amaca, eldeki kaynaklara, çevre ve koşullara bağlı olarak geliştirilir. Alternatifi geliştirmenin temel dayanağı yaratıcılıktır. Bununla birlikte, alternatifi geliştirmek için uygulanabilecek en önemli yaklaşım, kaynakların kullanım oranlarını değiştirmektir.

Alternatifi geliştirirken dikkat edilecek iki noktadan ilki, alternatiflerin birbirini dışlayıcı (birinin seçiminin ötekilerin seçimini engelleyici) nitelikte olması; ikincisi de, çözümü güçleştirmesi nedeniyle alternatif sayısının gereğinden çok olmamasıdır. Alternatif sayısı çok ise, karar verici görgü, deneyim, bilgi ve sezgisini kullanarak amacı gerçekleştirmede etkin olmayacağını umduğu alternatifleri elemelidir (Özden, 1989).

#### **2.3.4. Amaçlar, Kriterler ve Ölçütler**

Çok kriterli karar vermede alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan;

- Amaçlar ( Objectives )
- Kriterler ( Criteria )
- Ölçütler ( Attributes )

gibi kavramlar değişik kişiler tarafından değişik anlamlarda kullanılmaktadır. Birçok kaynakta belirtildiği gibi, tartışmasız tanımları olmayan ve birbirleri yerine bazı durumlarda kullanılan bu kavramlar aşağıdaki alt bölümlerde açıklanmaktadır.

##### **2.3.4.1. Amaçlar**

Bir karar probleminde amaçlar, kriterlerin KV' nin arzuları doğrultusunda yönlendirilmiş şekli olarak tanımlanabilir. Amaç belirleme bir tündengelim işlemidir. Genel amaçtan alt amaçlara inmek suretiyle, niteliksel tanımlamalardan sayısal sonuçlara geçiş sağlanmış olur. Amaçlar alternatiflerin değerlendirilmesi için temel oluşturur. Karar verme durumu ile amaçların hepsinin tanımlanmış olması ve karar vermede kullanılması dengesiz bir karar alınmasını engeller.

Amaçlar,

1. Hangi bilginin aranması gerektiğini belirlemeye,
2. KV' nin seçimini başka insanlara açıklamasını,
3. Kararın önemini ve sonuç olarak ihtiyaç duyulan zaman ve emeği belirlemeye yardımcı olur.

#### **2.3.4.2. Kriterler**

Kriterler, çeşitli çözüm alternatiflerinin değerlendirilerek en uygun olanına karar verebilmek, bir alternatifin yeterliliğini kanıtlayabilmek veya amacı ne ölçüde gerçekleştirebileceğini ortaya koyabilmek için kullanılan karar problemi elamanlarıdır.

Kriter, karar vermeyi yönlendiren ölçü, kural ve standarttır. Alternatiflerin karşılaştırılmasını sağlayan araçtır. Kriterlerin alternatiflerden bağımsız olması ve çok genel, öz ve çapraşık olması beklenir. Bu durumda kriterleri ya da ana amacı alternatifler ile doğrudan ilişkilendirmek imkansızlaşır. Alternatiflerin somutluğu ile kriterlerin belirsizliği arasını doldurmak için ara kademelerinde alt amaçlar ve ölçütler olan hiyerarşik bir yapı kullanılabilir. Kriter hem KV' nin nereye ulaşmak istediğini hem de alternatiflerin hangi özelliklerinin KV' nin tercihini daha çok etkilediğini gösterir.

#### **2.3.4.3. Ölçütler**

KV' nin, problemin çözümü için geliştirdiği alternatiflerin amacı ne kadar gerçekleştirdiklerini saptamak ve izleyeceği alternatifi seçmek üzere kullanacağı etkinlik ölçüleridir. Bir başka deyişle, alternatiflerin amacı başarıya yönünden karşılaştırılmasında kullanılan ölçüttür. Sonuçları karar ölçütü birimleriyle belirtmede (değerlendirmede), temel olarak iki ölçüt kullanılabilir: Objektif ölçüt ve subjektif ölçüt (Özden, 1989).

Bir ölçütün özelliklerinin aşağıdaki gibi olması istenir.

- Ölçülebilirlik: İlgili amaçları ölçerek anlamlı hale getirebilmektir.

- Kullanılabilirlik: Olası sonuçları ilgili amaca göre tanımlayıp ve değer yargıları için amacın ne kadarının başarıldığını gösterebilmektir.
- Anlaşılabilirlik: Ölçütler cinsinden sonuçların yorumlanmasında herhangi bir belirsizlik olmamasını gösterebilmektir.

### 2.3.5. Yöntemler

Yöntemler denilince sorunu, koşulları, çevresi, varsayımları, çözüm yolları bakımından kendine özgü bir problem olarak gören ve her sorunu ayrı bir sorunmuş gibi titizlikle inceleyerek çözüm yolları öneren yaklaşımlar anlaşılır.

II nci Dünya Savaşından sonra önem kazanan yöneylem araştırması ve sistem yaklaşımı, problem çözümünde bilimsel yöntemleri esas alır. Bilimsel yöntemde, sorunu etkileyen etmenler sayısallaştırılır, modeller kurulur, en uygun seçeneğin bulunması için matematiksel ve istatistiksel çözüm tekniklerinden, bilgisayar programlarından yararlanır.

Karar verme sürecinde gerek problemin yapılandırılması, gerek modelin kurulması, gerekse de sentez ve duyarlılık için yaklaşımlara göre oluşturulmuş çok sayıda yöntem mevcuttur. Bu yapılandırma, değerlendirme, çözüm ve analiz yöntemleri hakkında üçüncü bölümde detaylı bilgi verilecektir.

### 2.4. Karar Tipleri

Karar verme durumunda kullanılan karar tipleri arasındaki farklılık ortaya çıkması beklenen olaylara göre yapılır ve karar verenin olaylar hakkındaki bilgi derecesini yansıtır. Olaylar ve gerçekleşme olasılığı arasındaki ilişkiyi tanımlayan bu farklılık aşağıdaki gibidir:

1. Belirlilik halinde karar verme: Ortaya çıkacak olay kesinlikle bilinirse karar matrisinde bir tek olay söz konusu olan problemler belirlilik halinde karar problemi olarak incelenir.

2. Risk halinde karar verme: Olay sayısı birden fazla ve olayların olasılıkları bilinirse risk halinde karar probleminden söz edilebilir olasılıklar kesikli olarak verilebileceği gibi bir dağılımdan da elde edilebilir.

3. Belirsizlik halinde karar verme: Olayların kesinliği olmadığı gibi olasılıkları da bilinemez ise belirsizlik halinde karar problemi olarak incelenir.

4. Kısmi bilgi halinde karar verme: Olayların oluşma olasılıkların yalnız dağılımları ve standart ölçülerin bazıları örneğin ortalama, mod, medyan bilinirse kısmi bilgi halinde karar verme söz konusudur.

5. Rekabet halinde karar verme (oyun teorisi): Rekabete dayanan problemler bu grupta düşünölmür. İşletme ve ekonomi kaynaklarında oyun zamanla ortaya çıkacak olan belli ödemeleri önceden kestirmek için karar verme zorunda kalan tarafların menfaat çatışmalarını ve/veya rekabetini yansıtır. Oyun teorisi, karar sürecinde matematik yönüyle tarafların seçeneklerini formüle etmeyi amaçlamaktadır. Oyun teorisinin lineer programlama ile sıkı bir ilişkisi vardır (Halaç,1983).

### 3. ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME YÖNTEMLERİ

#### 3.1. Çok Ölçütlü Karar Verme

Karar vericiler genelde, eldeki kaynaklar, istenen çıktılar, amaçlar, insanlar ve bunun gibi bir çok boyutu olan karmaşık sistemler içinde karar vermeye çalışırlar. Bu noktada karar vericilerin tüm ilgileri sistemi analiz etmektir. Karar vericiler kararlarını objektif olarak belirlemek, öğelerini ortaya koymak, seçeneklerini sayısal modellerle analiz etmek ve doğru olan kararı vermek zorundadırlar.

Analiz Yöntemleri ile ilgili literatür gözden geçirildiğinde karşımıza birkaç değişik sınıflandırma çıkmaktadır. Meridith ve Suresh (1986), ekonomik analiz yöntemlerini üç ana başlıkta incelediklerini görmekteyiz. Bunlar:

1. Tek başına imalat sistemleri için uygun yöntemler,
2. Bağlantılı sistem için uygun yöntemler,
3. Bütünleşik sistemlere uygulanabilen ve içerik olarak daha stratejik yöntemler.

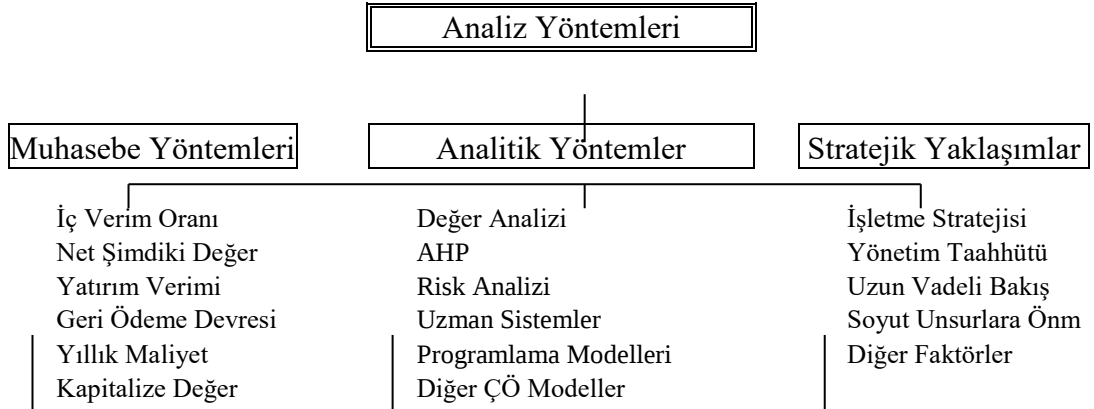
Lavelle ve Lingett (1992) analiz yöntemlerini,

1. Muhasebe Yöntemleri,
2. Analitik Yöntemler,
3. Stratejik Yaklaşımlar

olarak üç ana grup altında toplamıştır. Şekil 3.1.' de bu sınıflandırma gösterilmiştir.

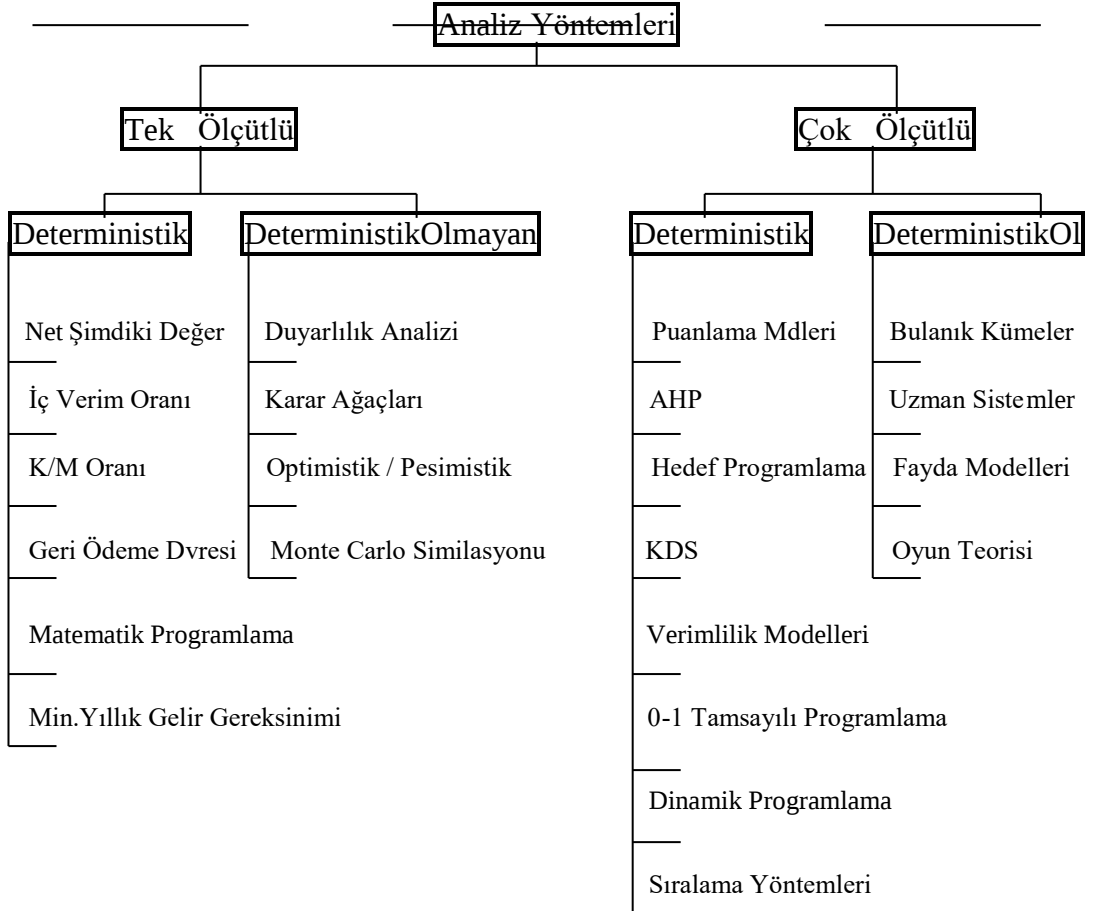
Bir başka sınıflandırmada Soni ve diğ. (1992) tarafından yapılmıştır. Bu planda mevcut analiz yöntemlerini dört gruba ayırmışlardır. Bu grupları,

1. Tek amaçlı deterministik yöntemler,
2. Çok amaçlı deterministik yöntemler,
3. Probabilistik yöntemler,
4. Bulanık kümeler yöntemleridir.



Şekil 3.1. Analiz Yöntemlerinin Sınıflandırılması ( Lavelle ve Lingett )

Ayrıca Kolli ve diğ. (1992) mevcut analiz yöntemlerini tek ölçütlü ve çok ölçütlü yöntemler olarak iki gruba ayırmışlardır. Her büyük grubu da deterministik ve deterministik olmayan yöntemlere göre ikiye ayırmışlardır. Şekil 3.2.' de bu sınıflandırma gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Analiz Yöntemlerinin Sınıflandırılması ( Kolli ve Diğ.)

Deterministik sistem, parçalar arasındaki etkileşimin tam olarak hesaplanabildiği sistemlerdir. İçinde bulunulan durum ile sistemin dinamik ağını tamamlayan bilgiler verildiğinde sistemin hangi durumu alacağı hatasız olarak hesaplamak mümkündür. Deterministik olmayan sistemler, parçalar arasındaki etkileşimin tam olarak hesaplanamadığı sistemlerdir. Kolli ve diğ. (1992) yapmış oldukları sınıflandırmaya göre Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemlerini ayrıntılı olarak inceleyeceğiz.

Analiz yöntemlerini sınıflandırırken karşımıza çıkan Çok Ölçütlü Karar Verme (ÇÖKV) yöntemleri, bireyin ev seçiminden şirketlerin kaynak seçimine, bizim de uygulamamızda ele almaya çalışacağımız gibi bir ülkenin savunmasında önemli görevleri yerine getiren savaş uçağı seçimine kadar çok farklı alanlarda kullanılmaktadır.

ÇÖKV yöntemleri, organizasyonların sayısal verilere dayanmayan veya kısmen dayanan karar verme problemlerinin çözümünde, maliyet ve kar esaslı ölçütlerin kullanılmadığı durumlarda performansların ölçülmesi ve doğru seçimin yapılabilmesi için kullanılmaktadır. ÇÖKV yöntemleri sayesinde karar verici (KV) amaçlara ne derece ulaşabildiğini görme ve problem üzerinde amaçları maksimize edecek bir takım değişiklikleri yapma fırsatına sahip olmaktadır.

ÇÖKV, elde mevcut birden fazla ve genelde birbirleriyle çelişen alternatifler arasından bir tercih (değerlendirme, önceliklendirme, seçim) yapma durumunda bilgiler sunmaktadır. ÇÖKV, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV)' nin bir dalıdır. ÇKKV, aynı zamanda Çok Amaçlı Karar Vermeyi (ÇAKV) de içermektedir. ÇKKV ise, KV' nin sayılabilir sonlu sayıda yada sayılamayan sayıda seçenekten oluşan bir küme içersinden en az iki kriter kullanarak yaptığı seçim işlemi yada diğer bir deyişle, iki veya daha fazla kritere dayanarak değerlendirme yaparak seçim yapması olarak tanımlanabilir. Aslında KV' nin alternatifleri kriterlere göre değerlendirip soruna en uygun çözümü bulmasına yardım etmek için kullandığı ÇKKV yöntemleri çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadır. Bunlardan biri şu şekildedir:

Seçenek sayısına göre:

1. Çok Amaçlı Karar Verme: Seçeneklerin bir matematiksel programlama yapısı ile dolaylı olarak tanımlandığı ve sonsuz sayıda olduğu sürekli durumlarda kullanılır.

2. Çok Ölçütlü Karar Verme: Seçeneklerin sonlu sayıda olduğu ve listelenebildiği kesikli durumlarda kullanılır.

ÇÖKV problemlerinin hepsinde aşağıda belirtilen ortak karakteristikleri görmekteyiz.

Alternatifler: Yüzlercesi arasından sınırlı sayıdaki alternatifler ayıklanır, önceliklendirilir, seçilir ve/veya sıralanır. Örneğin binlerce iş başvurusu içinden sayılı miktarın seçilmesi gibi.

Çok Ölçütlülük: Her problem birden fazla ölçüte sahiptir. Her problem setinde ilgili ölçütler belirlenir. Ölçütlerin miktarı problemin doğasına bağlıdır. Karar için düşünülmesi gereken yüzlerce faktör olmasına rağmen KV, en önemlilerini ölçüt olarak kabul edebilir. Ölçüt kelimesi “hedef” ve “kriter” kelimelerini çağrıştırmaktadır.

Aynı Birimle Ölçülememe: Her ölçüt farklı ölçüm birimlerine sahip olabilir. Bir araba seçiminde yakıt tüketimini litre/km olarak ifade ederken, satış fiyatı Türk Lirasıdır. Güvenlik ise sayısal olmayan yollarla ifade edilir.

Ölçüt Ağırlıkları: Hemen hemen bütün ÇÖKV yöntemleri her ölçütün göreceli önemini bulmak için bilgiye ihtiyaç duyar. Bu da Ordinal veya Kardinal ölçekler kullanılarak sağlanır. Ağırlıklar doğrudan KV tarafından belirlenebileceği gibi daha sonra açıklanacak olan yöntemlerle bulunabilir.

Karar Matrisi: ÇÖKV problemleri basit olarak matris formatında ifade edilebilir. Burada sütunlar, verilen problemdeki ölçütleri, satırlar ise alternatifleri belirtir.

### **3.2. ÇÖKV Problemlerinde Veri, Ağırlık ve Ölçütlerin Belirlenmesi**

ÇÖKV metodolojisi, alternatifleri değerlendirmek için çok boyutlu veriden anlamlı bir gösterge oluşturma gayretindedir. Analiz, ilgili hedefleri yerine getirmeyi ölçecek ölçütlerin oluşturulmasıyla başlar. Daha sonra alternatifler seçilen ölçütlerle karşılaştırılır. Genellikle bütün ölçütler KV için eşit öneme sahip değildir. Bu nedenle ölçütler arasında uygun ağırlıkların tespiti KV’ nin en önemli işlerinden birisidir. Ölçütler nitel olabileceği gibi nicel de olabilir. Örneğin bir araba seçimi

problemde ekonomiklik ve performans gibi ölçütler sayısal olarak ifade edilebilirken güvenlik ve servis ağı ölçütleri sayısal olarak ifade edilemezler. Çoğu ÇÖKV yöntemleri homojen veri tipi gerektirmektedir. Ölçüt belirlenmesi ve ölçüt ağırlıklandırılmasıyla ilgili teknikler aşağıdaki bölümlerde açıklanmıştır.

### 3.2.1. Ölçütlerin Belirlenmesi

Çok ölçütlü karar analizleri, hedeflere ulaşmayı değerlendiren araçları ortaya koyan ölçütlerin belirlenmesiyle başlar.

Keeney ve Raiffa (1976), problemde ölçütlerin belirlenmesi için literatür araştırması yapılmasını ve/veya uzmanlardan seçilecek kişilerle bir panel düzenlenmesini teklif etmişlerdir. Bu teklif ile ölçüt kümesinin zenginleşeceğini fakat bunun yanında ölçütlerin istenen görevi temsil etmesi de gerekmektedir. Bunu sağlamanın bir yolu da, ana hedeften hiyerarşik olarak ölçütlerin çekilmesidir. Hedef Hiyerarşi Formülasyonu, ana hedefe hizmet eden alt hedeflerin listelenmesiyle başlar.

Pardee (1969)' ye göre istenen hedefler (ölçütler) listesi:

1. Tam ve ayrıntılı olmalı,
2. Karşılıklı ilişkileri içinde barındırmalı,
3. En üst önem derecesine sahip performans ölçütü ile sınırlandırılmalıdır.

En tepedeki amaç genellikle özet niteliğindedir tıpkı “İyi bir yaşam” gibi. Hiyerarşide “Ailenin kazancı” gibi ölçülebilir hedeflere ulaşmaya kadar alt seviyelere inilmesi genellikle faydalı olmaktadır. Alt seviye ölçütleri çelişkili olmayıp bir küme gibi mantıklı ve birbiriyle uyumlu olmalıdır.

Hiyerarşi ağacı kurulurken yaklaşık 350 ölçütün belirlendiği görülmektedir. Temel ve alt ölçütlerin 7 ile sınırlandırıldığına dikkat edilmelidir. Buradaki 7 sayısı Miller Teorisine (Miller, 1956) dayanmaktadır. Miller Teorisine göre  $7 \pm 2$ , karara temel teşkil edecek bir amaç hakkında alabileceğimiz maksimum bilgi miktarını temsil etmektedir (Hwang ve Yoon, 1981).

### 3.2.2. Ölçüt Ağırlıklarının Belirlenmesi

Belirlenen bütün ölçütlerin eşit önem seviyesine sahip oldukları düşünülmemelidir. Ağırlıklandırma, her ölçütün diğerlerine göre göreceli önemini belirler. Bu nedenle ölçütlerin ağırlıklarının belirlenmesi ÇÖKV problemlerinde anahtar rolü oynamaktadır ve bu da KV' lere göre değişmektedir.

Ağırlıkların kendisi, KV' nin ne hakkında daha ilgili olduğunu sayısal olarak göstermeye yarayan program veya proje yönetimi ile ilgili yararlı bilgilerdir. Örneğin, bazı ülkelerde firmalarda kalite ve verimliliği teşvik etmek için kalite ödülü yarışmaları düzenlenmektedir.

Tablo 3.1.' de Amerika' da Ticaret Bakanlığı tarafından düzenlenen Malcolm Baldrige Ulusal Kalite Ödülü Yarışması ile ilgili ölçütler ve onların ağırlıkları gösterilmektedir. Müşteri memnuniyeti ağırlığının diğerlerine göre daha yüksek olması, Bakanlığın müşteri memnuniyetine odaklandığını göstermektedir. Ağırlıkların belirlenmesinde, Ordinal veya Kardinal ölçeklerden birisi ölçütler arasındaki tercihi belirtmek için kullanılabilir.

Tablo 3.1. Malcolm Baldrige Ödülü Değerlendirme Ölçütleri ve Değerleri

| PROGRAMLAR                                 | DEĞER | AĞIRLIK |
|--------------------------------------------|-------|---------|
| 1.0 : Liderlik                             | 90    | 0.09    |
| 2.0 : Bilgi ve Analiz                      | 80    | 0.08    |
| 3.0 : Stratejik Kalite Planlaması          | 60    | 0.06    |
| 4.0 : İnsan Kaynakları Yönetimi            | 150   | 0.15    |
| 5.0 : Proses Kalitesi Yönetimi             | 140   | 0.14    |
| 6.0 :Kalite ve Operasyon Sonuçları         | 180   | 0.18    |
| 7.0 :Müşteri Odaklanması<br>Ve Memnuniyeti | 300   | 0.30    |
| TOPLAM                                     | 1000  | 1.00    |

#### 3.2.2.1. Sıralamalar ve Ağırlıklar

Ağırlık atamanın en basit yolu, ölçütlerin basit bir sıra dahilinde düzenlenmesi ile olur. En fazla önemli ölçüt birinci, en az önemli ölçüt ise sonuncu sırada yer alır.

Eğer en fazla önemli ölçüte 1 değerini, en az önemli ölçüte de  $n$  (eldeki ölçüt sayısı) değerini atarsak; Kardinal ağırlıklar aşağıdaki formülden elde edilebilir.

$$W_j = \frac{1/r_j}{\sum_{k=1}^n (1/r)_k} \quad W_j = \frac{(n-r_j+1)}{\sum_{k=1}^n (n-r_k+1)} \quad (3.1)$$

$r_j$  : j nci ölçütün derecesidir.

Birinci formülle elde edilen ağırlıklar Sıralı Eşlenik Ağırlıklar olarak adlandırılır. İkinci formül ise Sıralı Toplam Ağırlıklardır. Eğer ağırlıklar sıralamada eşit iseler, onların ortalama değerleri sıralamada kullanılır. Örneğin iki ölçüt, 2 ve 3 ncü sıralar için eşit şartlarda ise, 2.5 değeri her ikisine de atanır.

$n$  adet ölçütü aynı zamanda sıralandırmak KV için ağır bir zihinsel yorgunluk oluşturabilir. Bu nedenle ikili karşılaştırmalar yoluyla elde edilecek sıralama tercih edilmesi gereken bir yaklaşımdır. Bu yöntemle KV, ölçütler arasında ikili karşılaştırmalar yapmak zorundadır. Eğer  $n$  adet ölçüt mevcutsa, toplam  $n(n-1)/2$  adet karşılaştırma yapılması gerekmektedir. Örneğin 5 ölçütün sıralanması yapılmak istendiğinde;  $5(5-1)/2 = 10$  adet ikili karşılaştırma yapılacaktır. Bunlar:

$$(X_1 > X_2), (X_1 > X_3), (X_1 > X_4), (X_1 > X_5), (X_2 > X_3), (X_2 > X_4), \\ (X_2 > X_5), (X_3 > X_4), (X_3 > X_5) \text{ ve } (X_4 > X_5)$$

(“>” işareti tercih edildiğini gösterir)

İkili karşılaştırmalar sonucunda bir karar matrisi elde edilir ve bunun sonucunda KV tercih sıralamasını daha kolay yapabilecektir.

### 3.2.2.2. Oransal Ağırlıklandırma

Bu teknikler iki ölçütü karşılaştırarak, onlar arasındaki önem oranını ortaya koymaya çalışmaktadır. Örneğin “Kaç defa  $X_i$  ölçütü  $X_j$  ölçütünden daha fazla önemlidir?”. Matematiksel olarak  $(n-1)$  adet ikili karşılaştırmayı,  $n$  adet ölçüt

arasındaki göreceli üstünlüğü tesis etmek için yapmak zorundayız. Ancak ikili karşılaştırmalarda tutarsızlık da görülebilir. Bu nedenle, bu yaklaşımlar insan yargılarından kaynaklanan bu tutarsızlıkları karşılamak için daha fazla bilgiye ihtiyaç duyarlar.  $n(n-1)/2$  adet ikili karşılaştırmadan ağırlıkları bulmanın en etkin yolu, Saaty tarafından ortaya konulan “Özvektör Önceliklendirme Yöntemi” dir. Saaty’nin basitleştirilmiş Özvektör Önceliklendirme Yöntemi aşağıda olduğu gibi iki basamakta incelenmektedir.

### 1. Basamak: Girdileri Kodlama

KV ölçütler arasındaki  $n(n-1)/2$  adet ağırlık oranını tesbit eder. Bu bilgi  $(n \times n)$  matrisinin üst veya alt üçgeninde muhafaza edilir.

$$\begin{matrix} & \begin{matrix} X_1 & X_2 & X_3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{matrix} & \begin{pmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & w_1/w_3 \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & w_2/w_3 \\ w_3/w_1 & w_3/w_2 & w_3/w_3 \end{pmatrix} \end{matrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1/3 & 1/2 \\ 3 & 1 & 3 \\ 2 & 1/3 & 1 \end{pmatrix}$$

### 2. Basamak: Hesaplama

Matrisin her satırının geometrik ortalamasını hesaplayıp, daha sonra çıkan değerleri normalize edilir.

$$\begin{matrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{matrix} \begin{pmatrix} (1 \cdot 1/3 \cdot 1/2)^{1/3} = 0.5503 \\ (3 \cdot 1 \cdot 3)^{1/3} = 2.0801 \\ (2 \cdot 1/3 \cdot 1)^{1/3} = 0.8736 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.1571 \\ 0.5936 \\ 0.2493 \end{pmatrix}$$

Toplam = 3.5040

### **3.2.3. Nitel Oranların Ölçümü**

ÇÖKV problemlerinde bir alternatif hem nitel hem de nicel ölçütlerle tanımlanabilmektedir. Eğer nitel ölçütlerin miktarı nicel ölçütlerinkinden fazla ise, nicel olanları nitel ölçütler haline çevrilir ve Ortanca Sıralama Yöntemi uygulanır. Aksi halde nitel verilere bir ölçeğe uygun sayısal değerler atanması tercih edilen bir yöntemdir. Likert Ölçeği amacımıza en uygun olan ölçektir. Likert Ölçeği nitel

ölçütleri kapsayan eşit miktarda “Olumlu” ve “Olumsuz” ifadelerin karışımı ile oluşmuş bir kümedir. Örneğin yeni bir fabrikanın açılmasına yöre sakinlerinin yaklaşımı beş değerli bir ölçekle ifade edildiğinde, “Çok kötü”, “Kötü”, “Normal”, “İyi”, “Çok iyi” şeklinde olacaktır. Bu değerleri puanlamak için 1,2,3,4 ve 5 rakamları kötüden iyiye doğru atanacaktır.

Beş değerli Likert Ölçeği, çoğunlukla pazarlama ve sosyoloji edebiyatında uygulanır. Daha detaylı yedi ve dokuz değerli ölçekler, karar problemi içeriklerine daha uygun olabilirler. Likert tipi ölçek, bir aralık ölçeğidir. Kelimeler arası aralık anlamlı fakat ölçekteki değerleri anlamsızdır. Bu nedenle (1,2,3,4,5)’li ölçek sistemi yerine (3,5,7,9,11)’li ölçek sistemi kullanılmalıdır. “Çok iyi” ve “İyi” oranları arasındaki fark, “İyi” ile “Normal” arasındaki fark tıpkı “Normal” ile “Kötü” arasındaki fark gibi aynıdır. Bu nedenle “İyi”, “Kötü” ye oranla iki kat daha avantajlıdır diyemeyiz. Çünkü, (1,2,3,4,5)’ li ölçekte “İyi” nin “Kötü” ye oranı 2 ( $=4/2$ )’ dir. Aynı oran (3,5,7,9,11)’ li ölçekte 1.8 ( $=9/5$ )’ dir. Ölçekteki ifadeler nitel ölçüte göre değişebilmektedir. Eğer ölçütümüz fiyat ise, ölçekteki muhtemel ifadeler: “Çok pahalı”, “Pahalı”, “Eşit fiyat”, “Nispeten ucuz”, “Çok ucuz” şeklinde olacaktır. Karşılıklı uçları anlatan ifadeler çok rahatlıkla bulunabilmektedir. Örneğin; Yüksek-Alçak, İyi-Kötü, Pahalı-Ucuz vb. 76 kelime çiftinden oluşan daha detaylı bir araştırmayı Osogod, Suci ve Tannenbaum (1975)’ in çalışmasında bulunabilir.

#### **3.2.4. Ölçüt Oranlarının Normalizasyonu**

Karar matrisindeki farklı ölçüm ünitelerinden kaynaklanan hesaplama hatalarının ortadan kaldırılması için ölçüt oranları normalize edilir. Buna her zaman ihtiyaç olmayabilir ancak bir çok ÇÖKV yönteminde normalizasyona ihtiyaç duyulmaktadır. Normalizasyondan amaç, ölçütler arası karşılaştırmaları sağlayan karşılaştırma ölçeğini elde etmektir. Normalize edilen oranlar boyutsuz ünitelerdir ve oran ne kadar artarsa, öncelik de o kadar artıyor demektir. Ölçütler üç sınıfta gruplandırılır

Kazanç Ölçütleri: Artan monotonik fayda arz eder. Ölçüt değeri ne kadar büyürse, öncelik oranı da o oranda artar. Örneğin arabanın yakıt tasarrufu sağlama oranı.

Maliyet Ölçütleri: Azalan monotonik fayda arz eder. Ölçüt değeri ne kadar büyürse, öncelik oranı da o oranda azalır. Örneğin üretim maliyeti gibi.

Monotonik Olmayan Ölçütler: Monotonik olmayan fayda arz eder. Tıpkı ofisteki oda sıcaklığı veya vücuttaki kan şekeri gibi. Maksimum fayda, ölçüt değişim aralığının ortasında bir yerlerdedir.

Kar Ölçütleri Normalizasyon Yöntemleri:

### 1. Doğrusal Normalizasyon

Basit şekli ile ölçüt oranlarının maksimum değere bölünmesiyle bulunur.

Normalize edilmiş  $X_{ij}$  değeri:

$$r_{ij} = \frac{X_{ij}}{X_j^*} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3.2)$$

$X_j^*$  = j nci ölçütün maksimum değeri

$r_{ij}$  değeri 0 ile 1 arasında bir değer alır ve 1' e yaklaşması daha fazla tercih edilir.

### 2. Vektör Normalizasyonu

Her ölçütün oranlarının kendi normlarına bölünmesiyle bulunur. Böylelikle normalize edilmiş  $X_{ij}$  oranları aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$r_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m X_{kj}^2}} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3.3)$$

Yukarıda normalizasyon eşitlikleri kar ölçütleri içindir. Maliyet ölçütleri ters orantısı alınarak  $(1/X_{ij})$  kar ölçütlerine dönüştürülebilir. Daha sonra maliyet ölçütünden kar ölçütüne dönüştürülen ölçütler yukarıda belirtilen normalizasyon adımlarını takip eder. Doğrusal Ölçek Yöntemi ile maliyet normalizasyonu aşağıdaki basit formülasyon şeklindedir.

$$r_{ij} = \frac{1/x_{ij}}{\max_k(1/r_{kj})} = \frac{1/x_{ij}}{1/\min_k(x_{kj})} = \frac{\min_k(x_{kj})}{x_{ij}} = \frac{\bar{x}_j}{x_{ij}} \quad (3.4)$$

$\bar{x}_j$  : j nci ölçütün minumum değeridir.

Monotonik olmayan ölçütler istatistiksel Z değeri olarak monotonik hale dönüştürülürler.

$$\text{Exp}(-Z^2/2) \quad Z = (X_{ij} - X_j^0)/\sigma_j \quad (3.5)$$

$X_j^0$  : En iyi değer,  $\sigma_j$  : j nci ölçütün oranlarının standart sapması

Daha sonra karşılaştırma oranları normalizasyonu eşitliklerinden birisi ile edilir.

Bir evdeki oda sayılarının normalizasyonu Tablo 3.2’ de olduğu gibi hesaplanır.

Tablo 3.2. Bir Monotonik Olmayan Ölçüt Normalizasyonu

| Oda Sayısı | Z       | Exp ( -Z <sup>2</sup> / 2 ) | NORMALİZASYON |        |
|------------|---------|-----------------------------|---------------|--------|
|            |         |                             | Doğrusal      | Vektör |
| 1          | -0.6324 | 0.8187                      | 0.8187        | 0.5107 |
| 2          | 0.0000  | 1.0000                      | 1.0000        | 0.6238 |
| 3          | 0.6324  | 0.8187                      | 0.8187        | 0.5107 |
| 4*         | 1.2649  | 0.4493                      | 0.4493        | 0.2803 |
| 5          | 1.8974  | 0.1653                      | 0.1653        | 0.0317 |

\* : KV tarafından belirlenen optimum oda sayısıdır

### 3.3. ÇÖKV Yöntemlerinin Sınıflandırılması

ÇÖKV yöntemleri üzerinde araştırmalar MacCrimmon (1968-1973) ile başlamıştır. Keeney ve Raiffa (1976)’nın yılında geliştirdikleri Çok Ölçütlü Fayda Teorisinden sonra, birbirinden farklı disiplinlerdeki araştırmacılar tarafından bir çok yöntem geliştirilmiştir.

ÇÖKV yöntemleri, yöntemlerin karakteristiklerine ve kullanım alanlarına göre çok farklı şekillerde sınıflandırılabilirler. Tecle ve Duckstein (1992), ÇÖKV Yöntemlerinin karakteristiklerini dört gruba ayırmışlardır. Bunlar KV ile ilgili karakteristikler, yöntemle ilgili karakteristikler, problem ile ilgili karakteristikler ve çözüm ile ilgili karakteristiklerdir.

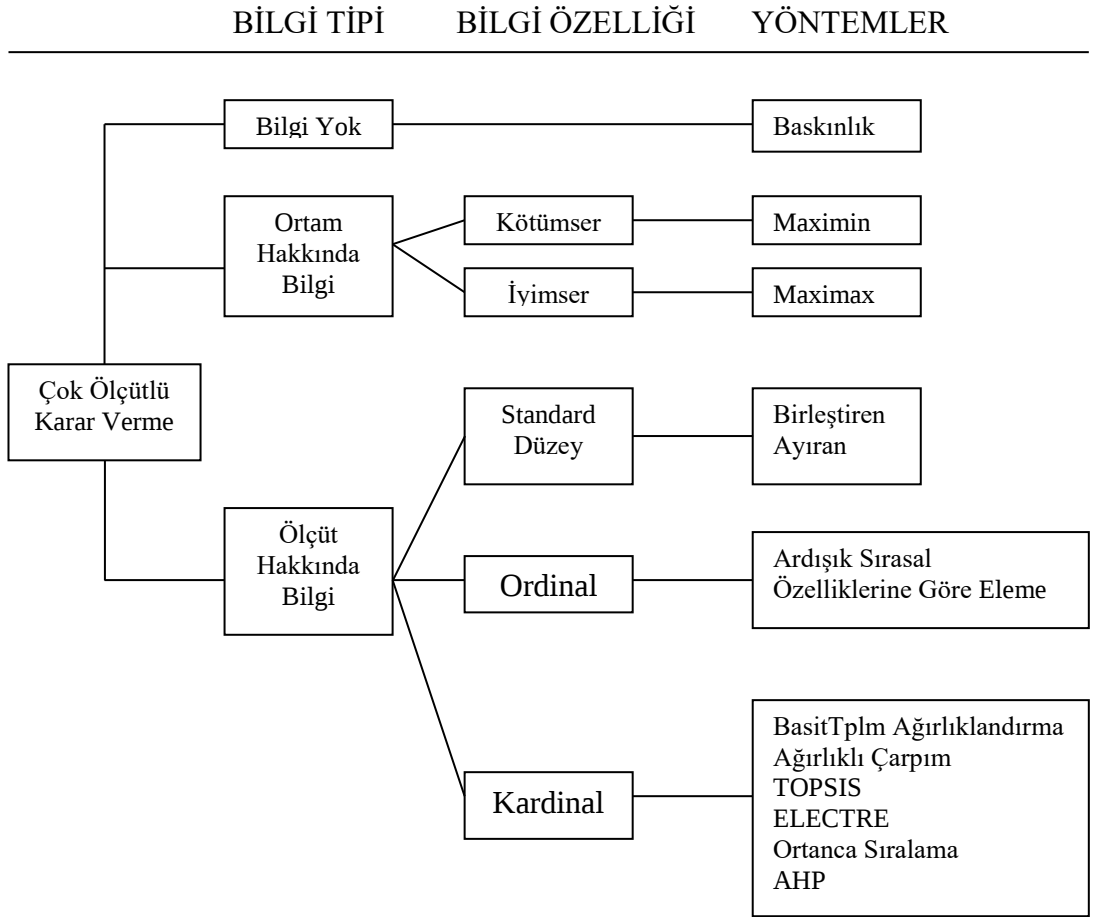
KV' nin bir problemi çözmek için kullanmayı tercih edeceği metot, KV ile ilgili karakteristiklerdir. Bir ÇÖKV metodunun çözümü ile ilgili karakteristikler, yöntemle ilgili karakteristikleri belirtir. Örneğin ELECTRE ve TOPSIS yöntemlerinde normalize edilmiş ölçek kullanılır. Problem ile ilgili karakteristikler, doğrudan karar verilecek probleme bağlıdır. Son olarak da çözüm ile ilgili karakteristikler ise, kullanılan ÇÖKV Yöntemlerinin çözümleriyle ilgilidir. Yukarıdaki sınıflandırmaya göre Poh (1998), ÇÖKV Yöntemlerinin 18 farklı karakteristiği bulunduğunu ortaya koymuştur.

Hwang ve Yoon (1981) ÇÖKV Yöntemlerini, KV' den alınan bilginin özelliklerine ve tipine göre sınıflandırmışlar ancak belirsizlik altındaki yöntemleri incelememişlerdir. Şekil 3.3.' de bu sınıflandırmayı görebiliriz.

Bu sınıflandırmaya göre, yöntemler öncelikle bilgi tiplerine göre gruplandırılmıştır. Eğer hiç bilgi yoksa “Baskınlık” yöntemi uygulanır. Eğer ortam hakkında iyimser veya kötümser bilgi verilirse, “Maximin” veya “Maximax” yöntemi uygulanır. Eğer ölçütler hakkında bilgi verilirse, bir alt grup bilginin özelliği ve yöntemleri gruplama yapılır. Bunlarda her ölçüt için Standart (kabul edilebilir minimum seviye) düzey veya ölçüt ağırlıkları ile ilgili Ordinal veya Kardinal ölçeklerdir (Hwang ve Yoon, 1995).

Chen ve Hwang (1991), ÇÖKV yöntemlerini belirlilik ve belirsizlik altında incelemişlerdir. Daha önce de bahsettiğimiz gibi, Kolli ve diğ. (1992)' nin yaptıkları sınıflandırmada analiz yöntemleri tek ve çok ölçütlü olarak ikiye ayrılmış, belirlilik ve belirsizlik durumlarına göre incelenmiştir.

Ayrıca Hwang ve Lin (1987) tarafından yapılan başka bir sınıflandırmada ÇÖKV yöntemleri, karar verme prosesine katılan kişilerin sayılarına göre, tek ve grup karar verme ÇÖKV yöntemleridir.



Şekil 3.3. ÇÖKV Yöntemleri Sınıflandırması

### 3.3.1. Deterministik ÇÖKV Yöntemleri

#### 3.3.1.1. Puanlama Modelleri

Puanlama modellerinin başlıca özelliği, yatırım kararına ait bir analitik yaklaşımda parasal olmayan veya ekonomik yönden sayısallaştırılamayan unsurların göz önüne alınmasına imkan vermesidir. Puanlama modelleri başlıca üç sınıfa ayrılırlar (Parsei ve Wilhelm, 1989).

- Ağırlıklandırılmamış 0-1 faktör modelleri
- Ağırlıklandırılmamış faktör puanlama modelleri
- Ağırlıklandırılmamış puanlama modelleri

Puanlama modellerinde kullanılan giriş verileri, diğer modellerde kullanılanlardan daha subjektiftir. Bilinen puanlama modelleri arasında lineer toplamsal model,

rekabet halindeki alternatiflerin puanlanması için araştırmacılar tarafından en çok kullanılanıdır.

En basit puanlama modeli, ağırlıklandırılmamış 0-1 faktör puanlama modelidir. Bu model, ilgili faktörler kümesi seçildikten sonra bir veya daha fazla sayıdaki analist, her bir projenin ele alınan faktörü karşılayıp karşılamadığını bağlı olarak puanlama yapar. Puanların her bir proje için toplamı, projelerin sıralamasında kullanılır. Böyle bir prosesin avantajı, basitliği ve birden fazla ölçütü ele alabilmesidir. Dezavantajları ise, bütün ölçütlere eşit önem vermesi ve çeşitli ölçütleri karşılayan özel bir proje için dereceli puanların kullanılmasına izin vermesidir. Tablo 3.3.' de bu modele ait bir örnek gösterilmektedir (Meridith ve Suresh, 1986).

Tablo 3.3. Ağırlıklandırılmamış 0-1 Faktör Puanlama Modeli

| Faktör             | Proje Numarası |   |   |   |
|--------------------|----------------|---|---|---|
|                    | 1              | 2 | 3 | 4 |
| Verim Oranı        | X              |   | X | X |
| Uyuşma             |                | X | X |   |
| Miktar Esnekliği   | X              | X |   | X |
| Manuel Esnekliği   |                |   | X | X |
| Kalite İyileştirme |                | X | X |   |
| Toplam Puan        | 2              | 3 | 4 | 3 |

Ağırlıklandırılmamış 0-1 faktör puanlama modelinin biraz daha gelişmiş Ağırlıklandırılmamış faktör puanlama modelidir. Bu modelde, projelerin seçiminde göz önünde bulundurulan faktörleri 0-1 şeklinde puanlamak yerine, örneğin 1 ile 5 arasındaki sayılarla puanlama yapılmasıdır. Bu modelin avantajı ise, projelerin puanlama sonucunda daha kolay sıralanmasını sağlamasıdır. Dezavantajı ise, bütün faktörlere eşit önem vermesidir. Tablo 3.4.' de bu modele ilişkin bir örnek verilmiştir.

Önemlerini göstermek için her bir faktöre ağırlıklar vererek, ağırlıklandırılmamış faktör puanlama modeli bir adım daha geliştirilebilir. Bu model, en çok kullanılan ağırlıklandırılmış faktör puanlama yöntemidir. Genellikle ağırlıklar normalize edilir.

Her projenin puanı, her faktörün ağırlığı ile faktöre ait projenin puanı çarpılarak bulunan ağırlıklı puanların toplanmasıyla elde edilir. Eşitlik (3.5)' de gösterilmiştir.

$$T = w_1 \cdot s_1 + w_2 \cdot s_2 + \dots \quad (3.5)$$

$w_i$  : i' nci faktörün ağırlığı  $s_i$  : i' nci faktöre verilen puan

Tablo 3.4. Ağırlıklandırılmamış Faktör Puanlama Modeli

| Faktör             | Proje Numarası |   |    |   |
|--------------------|----------------|---|----|---|
|                    | 1              | 2 | 3  | 4 |
| Verim Oranı        | 2              |   | 4  | 2 |
| Uyuşma             |                | 3 | 5  |   |
| Miktar Esnekliği   | 1              | 2 |    | 4 |
| Manuel Esnekliği   |                |   | 2  | 3 |
| Kalite İyileştirme |                | 2 | 1  |   |
| Toplam Puan        | 3              | 7 | 12 | 9 |

### 3.3.1.2. Hedef Programlama

Charnes ve Cooper (1961) tarafından, ilk defa doğrusal hedef programlaması olarak önerilmiştir. Daha sonraları birçok araştırmacı özellikle Lee (1973), Ijiri (1976), Ignizio (1976) tarafından da geliştirilen hedef programlama, lineer olmayan modeller içinde kullanılmaya başlanmıştır. Bu yöntemin temel ilkesi şudur: Karar vericiden her bir amaç için erişilmesini arzu ettiği bir hedef değer belirlemesi istenir. Bu yöntemeye göre “tercih edilen çözüm”, bu hedef değerlerden sapmaları minimize eden çözümdür. Böylece vektör maksimizasyonu probleminin hedef programlaması şeklindeki basit formülasyonu aşağıdaki gibidir (Evren ve Ülengin, 1992a).

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Min} \left[ \sum_{i=1}^m (d_i^- + d_i^+)^a \right]^{1/a} \quad a \geq 1 \quad (3.6)$$

Kısıtlar:

$$\begin{aligned} g_k(x) &\leq 0, & k &= 1, 2, \dots, p \\ f_i(x) + d_i^- - d_i^+ &= b_i, & i &= 1, 2, \dots, m \\ d_i^-, d_i^+ &\geq 0, \forall i \\ d_i^- \cdot d_i^+ &= 0, \forall i \end{aligned}$$

Burada  $b_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$  karar verici tarafından amaçlar için belirlenmiş hedef değerlerdir.  $d_i^-$  ve  $d_i^+$  I. hedeften eksi ve artı sapmaları göstermektedir.  $a$ 'nın değeri karar vericinin değer fonksiyonuna  $D(X)$ 'e bağlıdır.

Bu problemin lineer hallerde çözümü için bazı özel bilgisayar programları geliştirilmiştir. Bunlara Ignizio (1976) tarafından geliştirilen, lineer programlama problemleri için modifiye simpleks algoritma ve Dauer ve Krueger (1977) tarafından gerçekleştirilen ve problemi iterasyonla çözen temel simpleks algoritma örnek verilebilir.

Hedef programlamanın faydası, karar vericinin amaçlara sayısal olarak ağırlıklar vermesini gerektirmemesidir. Sadece onların önem derecelerine göre sıralamasını sözlü olarak ifade etmesi yeterli olmaktadır. Ancak karar vericiden, amaçlar arasında değersel bir tercih yapmasını ister.

Uygulamada, lineer hallerden ziyade lineer olmayan hallerle karşılaşılır. Ancak, lineer olmayan modellerin doğrudan çözümü zor olduğundan, kısmi lineerleştirmelerle çözülürler.

### 3.3.1.3. Karar Destek Sistemleri (KDS)

Bilgisayar bilişim sistemleri, organizasyonlarda doğal bir gelişim göstermişlerdir. Pek çok organizasyon bilgi işlem (data prosesing) sistemleriyle işe başlamıştır. Taktik ve stratejik seviyedeki kararları desteklemek için yönetim bilişim sistemleri geliştirilmiştir. Karar destek sistemi adı verilen sistem, bilişim sistemleri alanında popülarite kazanmıştır. Karar destek sistemleri, yönetim bilişim sistemlerinin zaman içinde gelişen bir uzantısıdır.

Yönetim bilişim sistemleri, geçmişte rutin ve yapısal tipteki kararların verilmesinde çok başarılı olmuşlardır. Ayrıca, çok sayıda ayrıntılı bilgi üzerinde

güncelleştirme gibi çeşitli işlemler yapılmasını sağlamışlardır. Yarı yapısal ve yapısal olmayan bilgilerin elde edilmesinde daha az başarılı olmuşlardır. Karar destek sistemlerinin amacı, bilgisayar destekli bazı yardımcı araçlar sağlamaktır. Böylece, yönetim bilişim sistemleri yarı yapısal ve yapısal olmayan kararları destekleyecek bilgileri üretebilmektir (Cebeci, 1988).

Karar destek sistemlerinin temel amacı, yöneticiye doğru kararlar alması için gerekli bilgiyi sağlamaktır. Burada önemli nokta, ham verileri yönetimin karar verme sürecinde gerçekten kullanabileceği bilgilere çeviren bir sisteme ihtiyaç olduğudur. KDS, Yönetim Bilişim Sistemlerinden (YBS), direkt olarak yönetimin vereceği kararlara destek sağlama amacına yönelik olması bakımından farklılık gösterir. YBS, sadece ve sadece yönetime ait kararlara destek olma amacıyla tasarlanmışsa KDS' dir. Her KDS bir YBS' dir, fakat her YBS bir KDS değildir, çünkü her ikisinin de amaçları farklıdır.

KDS, karar vermenin tüm aşamalarında yöneticiye destek olmak amacıyla tasarlanmış özel bir YBS' dir. Bu aşamalar, problemi belirleme, ilgili verileri seçme, karar vermek için kullanılacak yaklaşımı seçme ve alternatifleri değerlendirmektir. Bir KDS, bilgiyi yöneticilerin anlayacağı formda ve böyle bir bilgiye ihtiyaç duydukları anda sağlamalıdır (Donnelly ve diğ., 1990).

Hicks (1986), karar destek sistemlerini, karar vericinin yarı yapısal ve yapısal olmayan kararlarda yararlı bilgi üretmek için, bilgisayarlarla doğrudan ilişki kurmasını sağlayan bilgisayar destekli araçlar topluluğu olarak tanımlamaktadır.

Karar Destek Sistemlerinin içerdiği işlevler ve bu işlevlere ait özellikler şu şekilde sıralanabilir (Briggs, 1982):

- a) Model Kurma: Bir karar verme probleminin modelini kurma, pek çok karar destek sisteminin ana amacıdır. Bu model, genellikle iki veya daha çok boyutlu tablolar şeklindedir.
- b) İşlemsel ve/veya İşlemsel Olmayan Diller: Bu diller, kullanıcı ile KDS' nin iletişim kurmasını sağlar. İşlemsel diller BASIC, COBOL, PASCAL, vb.; işlemsel olmayan diller ise Veri Tabanı Yönetim Sistemlerinde kullanılan dillerdir.

- c) Duyarlılık Analizi: KDS'nin en yararlı özelliklerinden birisi, veride herhangi bir değişiklik yapıldığı zaman sonuçların nasıl değişeceğini göstermesidir. Bu nedenle, tablolama yazılımları KDS için çok uygundur
- d) Risk Analizi: Karar verici için çok yararlı bilgilerden bir tanesi risk analizi ile elde edilen olasılık dağılımıdır. Örneğin, kardaki artışın 0, %5, %10 gibi değerleri için hesaplanan olasılıklar karar verici için önemli bilgilerdir.
- e) İstatistik Analiz ve Yönetim Bilimi Modelleri: İyi bir KDS, regresyon ve zaman serisi analizi gibi yönetim bilimi modellerinden elde edilen bilgileri kullanarak, gelecek ile ilgili kararlar verilmesine yardımcı olurlar.
- f) Grafikler: Bir KDS' deki son derece önemli özelliklerden biri grafik üreticidir. Sistem, veriyi uygun grafik formlarda görüntüleyecek grafik üreticiye sahip olmalıdır.
- g) Donanım Olanakları: KDS, hem PC' ler gibi küçük bilgisayarlarda hem de main-frame' ler gibi büyük bilgisayarlarda kullanılabilir.
- h) Veri Tabanları ve Dış Dosyalar: KDS' nin kullanacağı bilgileri içeren veri tabanından kendi olanaklarıyla faydalanabilir. KDS yazılımı, kendi iç ve ayrıca dış dosyalar üzerinde de çeşitli işlemleri yapabilmelidir.

#### **3.3.1.4. Verimlilik Modelleri**

Bu yöntem, önerilen yatırımın verimlilik açısından karlılık üzerine etkisini tayin etmek için kullanılır. Bir proje, önceden belirlenmiş bir verimlilik seviyesine eşit veya ondan daha büyük bir toplam verimlilik seviyesine sahipse kabul edilir.

Sumanth ve Pino (1986) tarafından önerilen toplam verimlilik modeli, personel, malzeme, sermaye, enerji ve diğer ölçütler ile ilgili beş verimlilik ölçüsünü göz önüne almaktadır. Projeler, bu verimlilik ölçülerine göre kabul edilebilir seviyelerde puan alma yeteneklerine bağlı olarak değerlendirilirler. Bu yöntemin bilgisayar yazılımları da hazırlanmıştır.

#### **3.3.1.5. 0-1 Tamsayılı Çok Ölçütlü Programlama**

0-1 tamsayılı çok ölçütlü programlama, bir projeler kümesinden en iyi projenin seçimi problemini modellemek ve çözmek için kullanılan bir yaklaşımdır. Bir projeler kümesi aşağıdaki gibi gösterilsin;

$$X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\} \quad (3.7)$$

$X_i$ : i' nci proje  $i = 1, 2, \dots, n$

$X_i = 1$ , i' nci proje seçilirse

$X_i = 0$ , diğer durumlarda

Yaklaşımında, net şimdiki değer, geri ödeme devresi, proses envanterindeki iş, esneklik, rekabet avantajı, vb. gibi ölçütlerin minimum kabul edilebilir değerlerinin bilindiği ve bulunabildiği varsayılır. Sayısal olmayan ölçütler göz önünü alındığında, her ölçüt için 0' dan 1' e kadar olan ağırlık kullanılır. Her projeye ait bu ölçütlerin değerleri, modelin amaç fonksiyonu ve kısıtlardaki karar değişkenlerinin katsayısını oluşturur. Yöntemin temel amacı, çok sayıda alternatif içerisinde kısa sürede en iyi alternatifi seçmektir (Kolli ve diğ., 1992).

Yöntemin dezavantajı, kısıtlardaki “ $b_j$ ” değerlerinin (her ölçütün minimum kabul edilebilir değerleri) bilinmesini veya belirlenmesini gerektirmesidir. Çok ölçütlü 0-1 tamsayılı programlama problemi aşağıdaki gibi formülize edilebilir.

$$\text{Min. veya Maks. } \{ f(x_1), \dots, f(x_k) \} \quad (3.8)$$

$$\text{Kısıtlar: } a_{ij}x_i \geq b_j$$

$$\sum x_i = 1, \quad x_i = 0 \text{ veya } x_i = 1 \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

Burada  $f(x_i)$ , geri ödeme devresinin, proses envanterindeki işin vb.' nin minimizasyonu ve net şimdiki değer, rekabet edilebilirliğin vb.' nin maksimizasyonu gibi çeşitli amaç fonksiyonlarını ifade etmektedir. Çeşitli çok ölçütlü karar verme teknikleri, bu modellerin çözümü için geliştirilmiştir. Bunları bir çoğu için, etkileşimli ve/veya etkileşimsiz olarak çalıştırılmak üzere bilgisayar yazılımları geliştirilmiştir.

### 3.3.1.6. Dinamik Programlama

1950 de Richard Bellman tarafından geliştirilen ve isimlendirilen dinamik programlama, çok yaygın kullanım alanı olan yineleme denklemi ile optimizasyon

teknikidir. “Yineleme denklemi ile optimizasyon yöntemi” deyimi ile, optimizasyonun bir önceki aşamasının içerdiği bilgilerden yararlanarak aşama aşama yapıldığı anlatılmak istenir. Diğer matematik programlama yöntemlerinde de en iyi çözüme aşama aşama gidilmektedir. Ancak, yaklaşım yineleme değil iteratiftir. Dinamik programlamada, her aşama daha önceki aşamalar ile sırasal olarak ilişki içindedir. Her bir aşamada bulunan çözüm kendi başına problemin çözümü değildir, ancak optimum çözümün bir parçasını belirleyen bilgiyi içermektedir (Halaç, 1983).

Dinamik programlama yaklaşımı şu ilkeleri içerir;

- a) Çok aşamalı problem alt parçalara, adımlara veya tek tek aşamalara bölünür. Buna ayrıştırma denir.
- b) Her aşamada, her seferinde bir kez olmak üzere, belirli bir optimizasyon amacına bağlı kalınarak kararlar verilir.
- c) Problemin tümüne ait çözümü elde etmek için aşama sonuçları birleştirilir. Birleştirme sonucu, politika olarak adlandırılan ardışık kararlar dizisi elde edilir.

### 3.3.1.7. Sıralama Yöntemleri

Sıralama yöntemleri, karar vericinin tercihlerine dayalı olarak çeşitli alternatiflerin sıralanması için çok ölçütlü karar verme durumlarında kullanılabilmektedirler. Çok ölçütlü karar vermede sıralama yöntemlerinin kullanılmasına ilk defa 1966 yılında Benayoun önermiştir. ELECTRE, ORESTE, PROMETHEE ve MELCHIOR gibi yöntemler bu aileye bağlıdır.

Bu yöntemlerin avantajları, basitlik, açıklık ve kararlılıktır. Bu yöntemler bulanık küme gibi uygulamalarla bazı özel hallere genişletilmişlerdir. İleri imalat sistemlerinin çok ölçütlü değerlendirilmesinde sıralama yöntemlerinin kullanılması, Kolli ve Parsei (1992) tarafından önerilmiştir.

ELECTRE, alternatifler arasında istenen sıralama bağıntısını elde etmek için her alternatife ait öncelik bağıntılarını bir araya getirir. Bu sentez, bir uyumluluk ve uyumsuzluk indeksi ile elde edilir. Uyumluluk indeksi, bir alternatifin diğerine tercih edildiği durumda ölçütlerin ağırlıklandırılmış göreceli sıklığını göstermektedir. Uyumsuzluk indeksi, bir ölçüt diğerine tercih edildiği zaman en büyük anlaşmazlığı

yaratan ölçütlerin direncini gösterir. Bu uyumluluk ve uyumsuzluk indekslerine göre alternatiflerin sıralaması yapılır (Parsei ve diğ.,1993).

ELECTRE, iki ana aşamadan ibarettir: Bir sıralama bağıntısının oluşturulması ve bu bağıntının problemin çözümü için kullanılmasıdır. Bu yöntem bağıntının geçişken olmasını gerektirmez. Sıralama bağıntısı, her bir düğümün baskın olunmayan bir alternatifi temsil ettiği grafik çiziminde kullanılır.

ELECTRE-I de, bir alternatif diğerine uyumluluk ve uyumsuzluk koşullarına her ikisi de sağladığında tercih edilmektedir. ELECTRE-II de, birden fazla uyumluluk ve uyumsuzluk seviyesi, kuvvetli ve zayıf olmak üzere iki uç sıralama bağıntısı geliştirmek için kullanılmaktadır. ELECTRE-III yapı olarak ELECTRE-II' ye benzerdir, fakat sıralama bağıntısı bulanık teoriden türetilmektedir. ELECTRE-IV' de, alternatiflerin değerlendirilmesinde belirsizliği ele almak için geliştirilmiştir.

M. Roubens' in 1979 yılında önerdiği ORESTE, ELECTRE yönteminin değiştirilmiş şeklidir. ORESTE' nin birinci aşamasında alternatiflerin bir sıralaması oluşturulur ve ikinci aşamada bu sıralamanın bazı kısımları uyumsuzluk analizi ile geçersiz kılınır. ORESTE, ölçüt ağırlıklarının ve sayısal değerlerin kullanılmasını gerektirmez.

PROMETHEE, hastahane hizmetleri, nükleer atık yöntemi, çimento endüstrisi ve bankaların çeşitli problemlerine uygulanmıştır. Bu problemlerin çoğu, büyük yatırımlar içermekte ve uzun vadeli kazançlara sahip olmaktadır.

PROMETHEE, J.P. Brans tarafından geliştirilen yeni bir sıralama yöntemidir ve dört versiyonu vardır. PROMETHEE aşağıdaki aşamalardan oluşmaktadır:

1. Bir tercih fonksiyonu göz önüne alınarak her ölçüte göre geliştirilmiş ölçütler yapısı oluşturulur.
2. Çok ölçütlü bir tercih indeksi, karar vericinin tercihlerini temsil eden bir sıralama bağıntısı elde etmek üzere tanımlanır.
3. Probleme göre sıralama bağıntısının bir değerlendirmesi yapılır.

### **3.3.1.8. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)**

Saaty (1971) tarafından ortaya atılmış olan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP); kişileri nasıl karar vermeleri gerektiği konusunda bir yöntem kullanmaya zorunlu kılmak yerine, onlara kendi karar verme mekanizmalarını tanıma olanağı sağlayıp, bu şekilde daha iyi kararlar vermelerini amaçlar.

AHP, karar modelini oluşturan hiyerarşik yapıdaki tüm kriterlerin ağırlıklandırılarak birbirleri ile karşılaştırılmaları ve oluşan bu ikili karşılaştırmaların çözümlenmesi esasına dayanan çok ölçütlü bir karar verme yöntemidir. Karar problemi en küçük ayrıntıdaki kriterlere kadar ayrıştırılmak suretiyle en ufak ayrıntının bile karar üzerindeki etkisi gözardı edilmemiş olur. AHP, karar analizi yöntemleri içinde gerçek hayata en çok uyarlanıp başarılı sonuçlar vermiş olan bir yöntemdir (Evren ve Ülengin, 1992b). Basit kişisel problem alanlarındaki kararlardan, karmaşık ve sermaye yoğun problem alanlarındaki kararlara kadar geniş bir alanda yoğun olarak kullanılmaktadır.

Analitik Hiyerarşi Prosesi hakkında ayrıntılı bilgi 4 ncü bölümde verilecektir.

### **3.3.1.9. TOPSIS (Technique For Order Preference By Similarity To Ideal Solution) Yöntemi**

Hwang ve Yoon (1981) tarafından geliştirilen bu yöntem ile belirlilik altında ÇÖKV problemleri çözülebilmektedir. Bu yöntemin dayandığı temel prensip, seçilen alternatifin ideal çözüme en yakın olması ve negatif ideal çözüme de uzak olmasıdır.

Genelde seçim aşamasında karşımıza çıkan alternatifin, diğer alternatiflerden her değerlendirme ölçütüne göre en iyi olması çok az rastlanılan bir durumdur. İşte bu durumda TOPSIS yöntemi, insanlara en iyi ve en kötü alternatifi belirlemeyi ve buna göre ideal ve negatif ideal çözümü bulmayı sağlamaktadır.

Bu yöntem sayesinde homojen olmayan birimlerle ölçülen farklı kriterler aynı anda değerlendirilebilmektedir. Yöntem basit fakat etkin olduğu için bir çok karar verme probleminde kullanılmıştır. Bu yöntemde kullanılan temel adımlar 4 ncü bölümde ayrıntısıyla açıklanmıştır.

### 3.3.2. Deterministik Olmayan ÇÖKV Yöntemleri

#### 3.3.2.1. Bulanık Kümeler

Klasik kümelerde elemanların kümeye üyelikleri iki gruba ayrılır: Üyeler (kesinlikle kümeye ait olanlar) ve üye olmayanlar (kesinlikle kümeye ait olmayanlar). Klasik kümenin temsil ettiği sınıfa üye olan ve üye olmayan elemanlar arasında kesin bir ayrım vardır. Ancak, yaygın şekilde kullanılan sınıfların birçoğu (uzun insanlar, pahalı otomobiller, güneşli günler, vb.) bu karakteristiği göstermez. Bu sınıfların sınırları belirsizdir ve üyeliği kesin olmaktan çok, derece derecedir.

Bulanık bir küme, evrensel kümedeki her olası elemana, onun bulanık kümedeki üyelik derecesini temsil edecek şekilde bir değer atayarak matematiksel olarak tanımlanabilir. Elemanlar, bulanık kümeye daha büyük veya daha küçük üyelik dereceleri ile yani, daha fazla veya daha az derecelerle bağlı olabilir.

Bu üyelik dereceleri  $[0,1]$  kapalı aralığındaki gerçek sayılarla temsil edilebilirler. Böylece, “güneşli” kavramını temsil eden bir bulanık kümede, %0 bulutlu havaya 1’ lik; %20 bulutlu havaya 0,8’ lik; %30 bulutlu havaya 0,4’ lük ve %75 bulutlu havaya 0’ lık bir üyelik derecesi atanabilir.

Aşağıda bulanık kümelerde kullanılan temel kavramlar açıklanmıştır:

1.  $X$  evrensel kümesinin bir bulanık alt kümesi olan  $\tilde{A}$ ,  $X$  kümesindeki her bir  $x$  ögesini  $[0,1]$  aralığında gerçek bir sayıya eşleyen  $\mu_{\tilde{A}}(x)$  üyelik fonksiyonu ile tanımlanır.  $\mu_{\tilde{A}}(x)$  fonksiyonunun değeri,  $x$ ’ in  $\tilde{A}$  içindeki üyelik derecesi ile ifade edilir (Zadeh, 1965).

2.  $X$  evrensel kümesinin bir bulanık alt kümesi olan  $\tilde{A}$ , yalnız ve yalnız her  $x_1, x_2 \in X$  kümesi içinde ise konvektir;

$$\mu_{\tilde{A}}(\lambda x_1 + (1-\lambda)x_2) \geq \min(\mu_{\tilde{A}}(x_1), \mu_{\tilde{A}}(x_2))$$
$$\lambda \in [0,1]$$
(3.9)

3. Eğer  $\exists x_i \in X$  için  $\mu_{\tilde{A}}(x) = 1$  sağlanıyorsa  $X$  evrensel kümesindeki  $\tilde{A}$  bulanık kümesine, normal bir bulanık küme denir.

4. Bir bulanık sayı,  $X$  evrensel kümesinin bir bulanık alt kümesi ise hem konvektir hem de normaldir.

5. Bulanık  $\tilde{n}$  sayısının  $\alpha$ -kesmesi,

$$\tilde{n}^\alpha = \{x_i : \mu_{\tilde{n}}(x_i) \geq \alpha, \quad x_i \in X\} \quad \alpha \in [0,1] \quad (3.10)$$

şeklinde gösterilmektedir.  $\tilde{n}$ ,  $X$  içindeki boş olmayan kapalı aralıkta  $\tilde{n} = [n_l^\alpha, n_u^\alpha]$ ;  $n_l^\alpha$  alt,  $n_u^\alpha$  üst kapalı aralığının sınırlarını gösterir. (Zimmermann, 1991).

$$\tilde{n}^{\alpha_1} = [n_l^{\alpha_1}, n_u^{\alpha_1}]; \quad \tilde{n}^{\alpha_2} = [n_l^{\alpha_2}, n_u^{\alpha_2}]; \quad (3.11)$$

Ayrıca, eğer  $\alpha_2 \geq \alpha_1$  ise  $n_l^{\alpha_2} \geq n_l^{\alpha_1}$  ve  $n_u^{\alpha_2} \geq n_u^{\alpha_1}$  olduğu görülmektedir.

6. Üçgensel bir bulanık sayı  $\tilde{n}$ ,  $(n_1, n_2, n_3)$  şeklinde gösterilir. Bu sayının üyelik fonksiyonu  $\mu_{\tilde{A}}(x)$  aşağıdaki gibi gösterilir (Kaufmann, 1985);

$$\mu_{\tilde{n}}(x) = \begin{cases} 0, & x < n_1, \\ \frac{x - n_1}{n_2 - n_1}, & n_1 \leq x \leq n_2, \\ \frac{x - n_3}{n_2 - n_3}, & n_2 \leq x \leq n_3, \\ 0, & x > n_3. \end{cases} \quad (3.12)$$

7. Eğer  $\tilde{n}$  bir bulanık sayı ve  $n_l^\alpha > 0$  için  $\alpha \in [0,1]$  ise,  $\tilde{n}$  pozitif bir bulanık sayıdır (Buckley, 1985).

$\tilde{m}, \tilde{n}$  iki pozitif bulanık sayı ve  $r$  de pozitif bir gerçekte sayıdır. Her iki bulanık sayının  $\alpha$ -kesmesi,  $\tilde{m}^\alpha = [m_l^\alpha, m_u^\alpha]$  ve  $\tilde{n}^\alpha = [n_l^\alpha, n_u^\alpha]$  ( $\alpha \in [0,1]$ )' dir.  $\alpha$ 'nın

güvenilirlik aralıklarına göre, bazı temel bulanık sayı işlemleri aşağıdaki gibidir (Kaufmann, 1985):

$$(\tilde{m}(+)\tilde{n})^\alpha = [m_l^\alpha + n_l^\alpha, m_u^\alpha + n_u^\alpha] \quad (3.13)$$

$$(\tilde{m}(-)\tilde{n})^\alpha = [m_l^\alpha - n_u^\alpha, m_u^\alpha - n_l^\alpha] \quad (3.14)$$

$$(\tilde{m}(\bullet)\tilde{n})^\alpha = [m_l^\alpha \bullet n_l^\alpha, m_u^\alpha \bullet n_u^\alpha] \quad (3.15)$$

$$(\tilde{m}(\div)\tilde{n})^\alpha = \left[ \frac{m_l^\alpha}{n_u^\alpha}, \frac{m_u^\alpha}{n_l^\alpha} \right], \quad (3.16)$$

$$(\tilde{m}^\alpha)^{-1} = \left[ \frac{1}{m_u^\alpha}, \frac{1}{m_l^\alpha} \right], \quad (3.17)$$

$$(\tilde{m}(\bullet)r)^\alpha = [m_l^\alpha \bullet r, m_u^\alpha \bullet r] \quad (3.18)$$

$$(\tilde{m}(\div)r)^\alpha = \left[ \frac{m_l^\alpha}{r}, \frac{m_u^\alpha}{r} \right], \quad (3.19)$$

**8.**  $\tilde{m} = (m_1, m_2, m_3)$  ve  $\tilde{n} = (n_1, n_2, n_3)$  iki üçgensel bulanık sayıdır. Eğer  $\tilde{m} = \tilde{n}$  ise  $m_1 = n_1, m_2 = n_2$  ve  $m_3 = n_3$  olur.

**9.** Eğer  $\tilde{n}$  üçgensel bir bulanık sayı ise ve  $n_l^\alpha > 0$ ,  $n_u^\alpha \leq 1$   $\alpha \in [0,1]$  için  $\tilde{n}$  normalize edilmiş pozitif üçgensel bulanık bir sayıdır (Negi, 1989).

**10.** Eğer  $\tilde{D}$  içinde herhangi bir bulanık sayı mevcutsa,  $\tilde{D}$  matrisi bulanık bir matristir (Buckley, 1985).

**11.** Dilsel bir değişken, değerleri dilsel terimler olan değişkendir.

Dilsel değişken konsepti, klasik sayısal ifadelerle ifade edilemeyecek kadar çok karmaşık veya kesin olmayan durumlarda çok kullanışlıdır (Zadeh, 1975). Örneğin

“ağırlık” dilsel bir değişkendir; çok az, az, orta, fazla, çok fazla, vb. ifadelerle değerlendirilebilir. Ayrıca bu değerler bulanık sayılarla da gösterilebilir.

Bulanık kümelerle ilgili literatürde çok farklı alanlarda yapılmış uygulamalar bulunmaktadır. Wilhelm ve Parsei (1991), uygulanabilir teknolojilerin yeteneklerini karakterize etmek ve ileri üretim teknolojilerine geçmek için planlamada en iyi teknolojiyi seçmek için bulanık dilsel değişkenleri kullanmak için sezgisel bir algoritma geliştirmişlerdir.

Tolga ve diğ. (1998), yatırım alternatiflerini bulanık kümeleri kullanarak yaptıkları çok ölçütlü değerlendirmelerinde her bir ölçüt için ağırlıkları Saaty’ nin özvektör yöntemini kullanarak hesaplamışlardır. Yine Tolga ve Kahraman (1991), yatırım projelerini maksimum entropi yöntemini kullanarak belirsizlik altında çok ölçütlü bir değerlendirme yapmaktadırlar.

### **3.3.2.2. Uzman Sistemler**

Uzman sistem, açık olarak sunulmuş bilgi alanını ve işlemsel karar prosedürlerini kullanma yoluyla, şimdiye kadar uzmana ihtiyaç duyan problemleri çözen bilgisayar programıdır (Kastner ve Hong, 1984). Uzman sistemler, ilgili oldukları problemlerin çeşidine göre üç ana grupta sınıflandırılabilirler. Şimdiye kadar en yaygını, teşhis problemleri ile ilgili sınıflandırma sistemleridir. İkinci grup, tasarım problemleri ile ilgili sistemleri; üçüncü grup, karar destek sistemleri için düzenlenmiş uzman sistemleri kapsar (Sowa, 1984).

Uzman sistemlerin temel karakteristikleri ve avantajları şunlardır:

- a) Karmaşık görevlerin icrasında uygun zeki davranışlar,
- b) Tam ve kesin olmayan bilgi ile ilgilenme kabiliyeti,
- c) Fırsatları değerlendirerek bilgilerden yararlanma kabiliyeti,
- d) Sonuçları belirleme ve açıklama kabiliyeti (Yapıcıoğlu, 1991).

Tüm uzman sistemlerin ortak özellikleri ise şöyle sıralanabilir: Uzmanca inceleme, sembol hareketi, kesin olmama, karmaşıklık ve sonuç çıkarma ve açıklamadır.

Uzmanca inceleme, bütün sistemin üzerinde kurulduğu temeldir. Daha sonraki iki özellik, sembol hareketi ve kesin olmama karşılıklı etkileşim halindedir. Prolog ve Lisp gibi diller, uzman sistemlerin bilginin nitel ve zor alanlardaki uygulaması için onları pratik hale getiren sembollerin, kelimelerin ve ifadelerin yorumuna izin verir.

Uzman sistemlerin son iki karakteristiği, karmaşıklık ve sonuç çıkarma ve açıklama kapasiteleridir. Bir uzman sistemi çalıştıran sonuç çıkarma mekanizması, bir sonuca ulaşmak için ihtiyaç duyulan stratejiyi planlayan kontrol bilgisini içerir.

Uzman sistemi bir bütün olarak ele alırsak, bu sistemin bileşenleri; uzman sistem, uzman kişi, bilgi mühendisi, uzman sistem geliştirme araçları ve kullanıcıdır.

Son yıllarda geliştirilen başarılı uzman sistemler esas olarak herhangi bir konuda danışmanlık sağlamak için geliştirilmiştir. Bu danışmanlık çoğunlukla, iyi tanımlanmış bir alan, girdi ve çıktılar için özel ihtiyaçlar, iyi incelenmiş örnek olaylar ve üzerinde çalışılabilecek geniş ölçekli literatür ile bilgi mühendisi tarafından sağlanır. Bu aynı zamanda, belli bir alanda geniş ölçekli bilgiye sahip uzmanların kullanacağı anlamına da gelmektedir.

Birçok uzman sistem, ilk değerden sonuç üretmekten çok gerçek bilgiye dayalı olarak problemleri çözmeye yönelmiştir. Uzmanın bilgisi, derlenmiş ifadelerde bulunmaktadır. Böylece, çözüme ulaşmak için sadece ilgili faktörlerin gözden geçirilmesi yeterli olacaktır. Çözüme ulaşmak için gerekli sonuç çıkarmalar, daha önce meydana gelmiş aynı tip olaylardan elde edilebilir. Sonuç çıkarma prosesi sırasında alternatif çözümlerin sayısı, olumlu tahminler yapmak ve uygun yaklaşımları kullanmak kaydıyla uzman kişi tarafından azaltılabilir.

Uzman sistemler kullanıcılara temel yararlar sağlarlar. Bu yararlar; Maliyet düşümü, çıktılarda yükselme, artan kalite, azalan işletim zamanı, esneklik, donanım operasyonu, daha az pahalı teçhizat kullanımı, tehlikeli çevrelerde operasyon, güvenilirlik, cevap zamanı, tam olmayan ve belirsiz bilgi ile çalışma ve kompleks problemleri dar bir alanda çözmedir.

### 3.3.2.3. Fayda Modelleri

Modern fayda yaklaşımında fayda kavramı, genel ekonomide ele alınan faydadan farklıdır. Genel ekonomide fayda kavramı, tüketici açısından ele alınarak, tüketilen malın tüketiciye sağladığı doyuma dayanmaktadır. Karar kuramında ise fayda kavramı, ilk kez John Von Neumann ve Oscar Morgenstern’ in 1947 yılında yayınladıkları “Theory of Games and Economic Behavior” adlı yapıtlarında açıklanmıştır. Bu düşünürlere göre modern fayda kavramı, karar verici tarafından strateji seçiminde söz konusu olmakta ve risk karşısında baş vurulan değer ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Böylece karar kuramında fayda, malın yerine parasal değerlerin, psikolojik doyum ölçüsü yerine de risk karşısında beliren değer ölçüsü biçiminde incelenmektedir. Ortak özellik ise, subjektif değer ölçüsü olmasıdır. Karar kuramındaki faydanın subjektifliği, kişiden kişiye olduğu kadar, kişideki psikolojik ve sosyo-ekonomik durumun değişmesine de bağlıdır. Neumann-Morgenstern’ in sözü edilen yapıtlarında, karar vericinin risk ortamındaki davranışını açıklayan kurama “kardinal fayda kuramı” adı verilmiştir. Kardinal fayda kuramının özü:

1. Her kişinin fayda olarak belirlenen sonuçların beklenen değerini en iyileyecek biçimde davranışta bulunacağı,
2. Her kişi için parasal değerle fayda arasındaki fonksiyonel ilişkinin saptanabileceği gerçeğine dayanmaktadır (Badiru ve Foote, 1992).

İşte, karar verici açısından parasal değerle fayda arasındaki ilişkiyi belirleyen fonksiyona kişisel fayda fonksiyonu denir. Bu fonksiyon, karar vericinin risk karşısında subjektif tercihlerini belirleyerek her bir parasal sonuca karşılık olan göreceli fayda değerini verir. Karar vericinin kişisel fayda fonksiyonunu belirlemede dikkat edilmesi gereken iki nokta vardır:

1. Kişisel fayda fonksiyonu subjektif tercihlere ilişkin eğilimleri içerdiğinden, bu fonksiyonun doğruluk derecesi tartışılabilir. Bununla birlikte, bir karar verme problemi, kişisel fayda fonksiyonundaki önemsiz değişiklikler karşısında yüksek duyarlılık göstermesinde, kişisel tercihlerin olurlu bir yaklaşımını belirten bir fayda fonksiyonunun elde edilmesi güç değildir.

2. Kişisel fayda fonksiyonu zaman içinde sabit kalan bir fonksiyon niteliğinde değildir. Kişinin hayatında zamanla ortaya çıkan maddi ve diğer etkenlerdeki değişiklikler, subjektif tercihlerini belirleyen değer sistemini etkiler. Bu etki ile, kişisel fayda fonksiyonun biçimi değişir. Başka bir değişle, kişisel fayda fonksiyonun konveks durumundan konkavlığa ya da konkavlıktan konveksliğe dönüşümüne neden olur. Böylece karar vericinin risk karşısında değişik tiplerde olabileceği gerçeğiyle karşılaşılır. Karar vericinin kişisel fayda fonksiyonu belirlendiğinde;

- riskten kaçan,
- riske giren,
- riske karşı nötr ya da risk karşısında kayıtsız

olmak üzere üç farklı karar verici tipi ortaya çıkmaktadır (Demir ve diğ., 1985).

Fayda eğrisi konkav biçimde ise, riskten kaçan verici söz konusudur. Belli bir kazanç artışının sağladığı fayda, eşit zarar azalmasının sağladığı faydadan azdır. Kazanılan parasal değer arttığında, karar verici artan parasal değere daha küçük subjektif değerler verecektir. Karar verici açısından, kazanılan parasal değer artışının subjektif olarak daha az değer yaratması, ekonomide azalan marjinal fayda yasası adıyla bilinmektedir.

Karar vericinin kişisel fayda fonksiyonu grafiği konveks bir eğri biçimindedir. Belli bir kazanç artışının faydası, eşit zarar azalmasının faydasından daha büyüktür. Yani kazanılan parasal değer arttığında, karar verici artan her para birimine bir öncekinden daha büyük bir subjektif değer vermektedir. Kazanılan parasal değer artışının subjektif olarak daha büyük bir değer yaratması, artan marjinal fayda yasası biçiminde formülize edilir (Demir ve diğ., 1985).

Karar vericinin kişisel fayda fonksiyonu doğrusal ise, risk karşısında kayıtsızlık söz konusudur. Bu doğrunun eğiminin sabit olmasının anlamı, belli bir kazanç artışının faydasının eşit olan zarar azalışının faydasına eşit olduğudur. Kazanılan parasal değer artışlarının eşit subjektif değerler yaratması bir bakıma, sabit marjinal fayda yasası biçiminde formülize edilebilir. Bu durumda, karar verici en büyük beklenen parasal değer ölçütünü uygulamakla, beklenen faydayı da en büyüklemiş

olur. En büyük beklenen değer ölçütünün parasal ya da fayda birimlerine dayalı olarak uygulanışında, aynı stratejinin seçimi söz konusu olmaktadır.

Karar vericinin, yukarıda açıklanan bu üç tipten hangisine ilişkin olduğunu gösteren kişisel fayda fonksiyonlarından hiç birinin uygulamada tek başına gerçeği yansıtmadıkları ileri sürülmüştür. 1948 yılında Friedman ve Savage, fonksiyonun yalnızca konkav ya da konveks olarak belirlenmesinin yerinde olmadığı düşüncesiyle, her ikisinin de birlikte içerildiği bir fayda fonksiyonu önermişlerdir.

#### 3.3.2.4. Oyun Teorisi Modelleri

İşletme ve ekonomi kaynaklarında “oyun”, zamanla ortaya çıkacak olan belli ödemeleri önceden kestirmek için karar verme zorluğunda kalan tarafların menfaat çatışmalarını veya rekabetini yansıtır. Oyun teorisi, karar sürecinde matematik yönü ile tarafların seçeneklerini formüle etmeyi amaçlamaktadır. Oyun teorisinin lineer programlama ile sıkı bir ilişkisi vardır ve lineer programlama yöntemi ile çözüm ayrıca verilmektedir (Halaç, 1983).

Oyun teorisi, sistematik olarak matematikçi John Von Neumann ve ekonomist Oscar Morgstern tarafından II nci Dünya savaşı sırasında geliştirilmiştir. Oyun teorisi problemleri ve lineer programlama problemi arasındaki ilişki George B. Dantzig tarafından tanımlanmış ve simpleks yöntem, oyun teorisi problemlerine uygulamada başarı sağlamıştır.

Teorik ekonominin, teorik de olsa, temel özelliklerinden birisi rekabet halidir. Bir işletmenin mutlaka rakipleri vardır. Dolayısıyla, işletmenin iç problemlerine en iyi çözümleri bulması, işletme gelişimi açısından yetmeyecektir. Üstelik bu defa, çoğu zaman kontrolü dışında olan rakiplere göre kendisini ayarlaması ve rakipleri karşısında kendisine olurlu en çok geliri sağlayacak bir strateji saptaması gerekecektir (Karayalçın, 1979). Genel olarak rekabet problemlerinde şu özellikler bulunmaktadır.

1.  $n$  oyuncu sayısını göstermek üzere  $n \geq 2$  dir.  $n = 2$  için “iki kişili oyun”,  $n > 2$  için “ $n$  kişili oyun” adı verilir. Dolayısıyla oyuncu sayısı sonludur.
2. Her bir oyuncu rasyonel davranacaktır ve kendi çıkarını dikkate alarak karar verecektir.

3. Oyun sonucu oyunu kazanma, kaybetme veya oyundan çekilme olarak belirlenir. Her bir sonuç veya ödeme; negatif, pozitif ve sıfır olmak üzere her oyuncunun diğerine ödemeleri ile belirlenir.
4. Tarafların seçenekleri belirlidir veya her bir oyuncunun davranışlar seti (S1, S2, S3...gibi) rakibince bilinmektedir.
5. Her bir oyuncunun seçenek sayısı sonludur.

Verilen rakip yapılı problemlerin özelliklerine göre tarafların karar için benimseyeceği strateji veya alternatif “sıfır toplamlı oyunlarda” tam ve karma strateji olarak adlandırılır. Sıfır toplamlı oyun, rakiplere ödemeler toplamının sıfır olduğunu belirtir. Yani iki kişili oyunlarda bir oyuncunun kazancı diğer oyuncunun kaybına eşittir. Oyunlar genellikle;

1. Sıfır toplamlı oyunlar,
2. Sıfır toplamlı olmayan oyunlar,

olarak iki sınıfa ayrılırlar.

Oyun teorisinde çok fazla çalışma yapılmış olmasına rağmen işletme problemlerine uygulama, teorik çalışma yanında çok azdır. Etkin uygulama alanı olarak savaş veya askeri problemler gösterilmektedir (Halaç, 1983).

#### 4. ÇOK AMAÇLI SAVAŞ UÇAĞI SEÇİMİ

Bu bölümde öncelikle, çok amaçlı savaş uçağı seçiminde kullanacağımız ÇÖKV yöntemleri ayrıntısıyla anlatılacak, daha sonra da değerlendirmeye tabi tutulacak savaş uçaklarının özellikleri, teknik bilgileri ve değerlendirme ölçütleri verilecektir. Son kısımda da bu bölümde incelediğimiz ÇÖKV yöntemlerini uygulayarak en uygun savaş uçağı seçimi yapılacaktır. Uygulamada kullanılacak ÇÖKV yöntemleri; Analitik Hiyerarşi Prosesi ve TOPSIS yöntemidir.

##### 4.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

İlk olarak Saaty tarafından ortaya atılan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)' nin tarihçesi 1970' li yıllara dayanmaktadır. Saaty tarafından 1972 yılında Amerika Birleşik Devletleri' nde, firmalara dağıtılacak olan elektriğin ülke refahına katkıda bulunma derecesine göre gerçekleştirilmesi çalışmasında kullanılmıştır. AHP' nin 1973 yılında “Sudan Ulaşım Projesi” nde kullanımıyla olgunlaştığı ve her yönüyle gelişimini 1974-1978 yılları arasında gerçekleştirdiği görülmektedir.

Analitik Hiyerarşi Prosesinin dayandığı teori; gerçekte insanoğlunun hiçbir şekilde kendisine öğretilmemiş olmasına karşın tamamen içgüdüsel olarak benimsediği karar mekanizmasını yansıtır. Çok sayıda ve birbiriyle ilişkili öğeler seti ile karşılaşp, bunların ancak bir kısmını kontrol altında tutabileceğimizi anladığımızda çoğunlukla içgüdüsel olarak söz konusu öğeleri, belirli bir takım ortak özelliklere sahip olup olmamalarına bağlı olarak, gruplar halinde birleştirmeye çalışırız. İşte Analitik Hiyerarşi Prosesinin temelde gerçeklemeyi amaçladığı da, insanoğlunda doğuştan var olan bu gruplara ayırmaya yönelik beyinsel faaliyet sürecini taklit edip, söz konusu grupları sistemin belirli bir düzeyinin öğeleri olarak yansıtmaktır. Bu gruplar, daha sonra, bir başka özellikler kümesine göre yine kendi aralarında gruplandırılıp, sistemin bir üst düzeyini oluştururlar ve bu süreç sistemin en üst düzeyine; bizim karar verme sürecimizin ana gayesini oluşturan öğeye ulaşana kadar devam eder (Evren ve Ülengin, 1992b).

AHP, sayısal ve sayısal olmayan kriterlerin ölçülmesine yardımcı olarak probleme etki eden soyut/somut her şeyin probleme katılmasına olanak tanır. Kişi ve gruplara kendi varsayımlarını denemek suretiyle bunlardan yararlı sonuçlar çıkarma olanağı sağlar. Kişisel yargıları ve nesnel değerleri mantıksal bir şekilde birleştirip problemin hiyerarşisini oluşturma, çözümün duyarlılığını ve bilgideki değişimleri sınaama olanağı verir.

AHP, öğeleri arasında karmaşık ilişkiler içeren sistemlere ait karar problemlerinde; sistemi, alt sistemleriyle ilişkili hiyerarşik bir yapıda oldukça basitleştirerek ifade edip sezgisel ve mantıksal düşünceyle irdeleyebilen, çok ölçütlü karar verme yöntemidir. Karar vermeye uygulandığında, karmaşık bir problemi amaçlar, kriterler/ölçütler, yardımcı kriterler/ölçütler ve alternatiflerden oluşan çok seviyeli bir yapıya ayırarak karar verme sürecinin aydınlanmasına yardım eder.

AHP' nin pratikteki uygulaması beş temel adımdan oluşur:

1. Karar hiyerarşisinin yapılandırılması,
2. Verilerin bire bir karşılaştırmalar ile toplanması,
3. Nesnel yargıların tutarlılığının kontrol edilmesi,
4. Ağırlıkların hesabı için özvektör yönteminin kullanılması,
5. Karar alternatiflerinin sıralamasının belirlenmesi için ağırlıkların bir araya getirilmesi (Canada ve Sullivan, 1996).

#### **4.1.1. Hiyerarşik Yapı**

Günümüzde sosyal ve davranış bilimlerine ilişkin problemlere sistem yaklaşımının önemi giderek daha iyi anlaşılmaktadır. Sistem yaklaşımı bir sistemin çeşitli öğelerinin tüm sistem üzerindeki etkilerini değerlendirip; onların görece önemlerini bulmaya yöneliktir ve AHP süreçlerinin temelinde de böylesi bir sistem yaklaşımı vardır. Bir sistem incelenirken onun bileşenlerinin fiziksel, sosyal, vs. yapısı, her bir bileşenin işlevi, hangi amaca hizmet ettiği bu amaçların hangi daha üst düzeyde amaç ya da amaçların parçası oldukları, sistemin esas ana amacının ne olduğu saptanmaya çalışılır. Bir sistemin yapısı ve işlevleri, birbirlerinden ayrılmaz bir bütün teşkil ederler. AHP süreçleri bu yapı-işlev bileşkesini bir bütün olarak eşzamanlı olarak irdelemeye yöneliktirler. Sürecin kullandığı hiyerarşiler, sistem

yapısını oluşturan öğelerin birbirleri ile olan işlevsel ilişkilerini ve tüm sistem üzerindeki etkilerini saptamak amacı ile, söz konusu yapıyı ortaya çıkarmak üzere oluşturulurlar. Hiyerarşiler çeşitli şekilde olabilir fakat hepsi bir ana amaçtan başlayıp, alt amaçlara, bu alt amaçları etkileyen kuvvetlere, kuvvetlere tesir eden kişilere, onların amaçlarına, politikalarına, stratejilerine ve son olarak da söz konusu stratejilerin çıktılarına doğru bir iniş gösterirler. Görüldüğü gibi AHP' nin kullanılabilmesi için kat edilmesi gereken ilk aşama sistem işlevlerini hiyerarşik bir yapıda ortaya koymak olacaktır. Bundan sonraki aşamada ise hiyerarşideki herhangi bir öğenin etkilerini saptamaya yönelik bir ölçüm tekniği kullanmaktır.

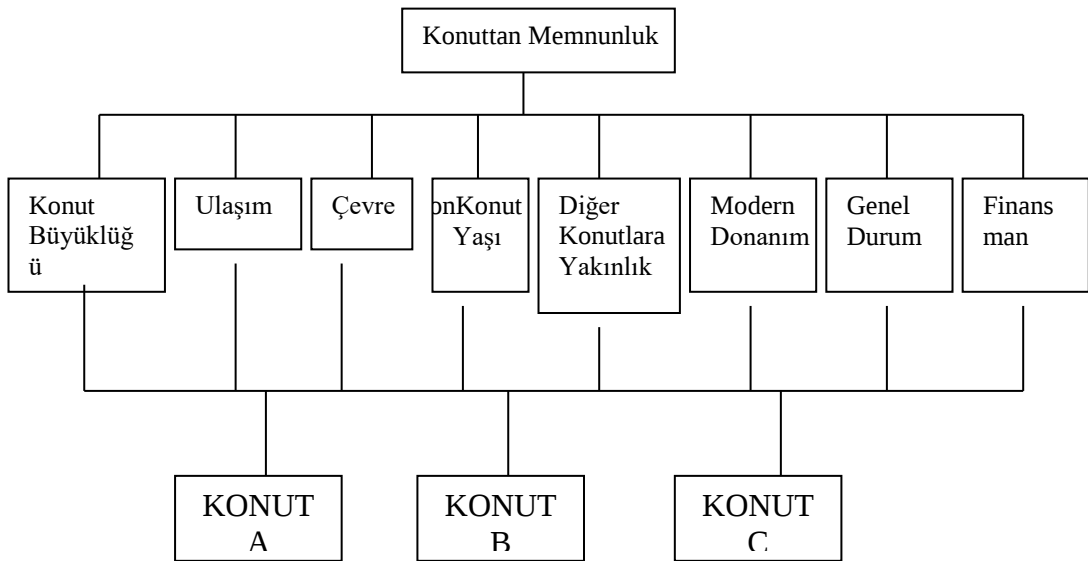
Hiyerarşi aslında özel bir sistem tipidir ve ortaya çıkarılan birimlerin ayrı ayrı diziler halinde gruplanabileceği ve bir gruba ait öğelerin diğer gruptaki öğeleri etkileyeceği varsayımına dayanır (Saaty, 1989). Bir gruba ait öğeler birbirinden bağımsız olarak kabul edilir. Eğer bunlar arasında da karşılıklı ilişkiler varsa önce bağımsızlık sonra bağımlılık incelenip ikisi birleştirilir. Bir hiyerarşide mutlaka belirli bir düzeydeki bir öğenin, o düzeyin bir altındaki tüm öğelerle ilişkili olması gerekmez. Öte yandan hiyerarşi bir karar ağacı da değildir. Her düzey probleme ilişkin farklı bir kesiti yansıtabilir. Bir düzey sosyal öğeleri ortaya koyarken diğeri sosyal olmayan öğeler cinsinden değerlendirilerek politik öğeleri temsil edebilir vs. Ayrıca, karar verici söz konusu sisteme yeni düzey veya öğeler ekleyip çıkartabilir ve bu şekilde görelî önemleri daha belirginleştirmek veya sistemin bir veya daha fazla parçası üzerinde yoğunlaşmak isteyebilir. Tüm öğelerin görelî önemlerinin saptanması sonucunda, daha az önemli olan öğeler ana amaç üzerinde daha az etki yaptıklarından sistemden çıkarılabilir ve görelî önemler tekrar hesaplanabilir (Saaty, 1994a).

Hiyerarşiler insanların gerçekleri kümelendirmedeki temel yoludur. En basit hiyerarşi bir düzeydeki bir elemandan bitişik bir düzeye bağlanan doğrusal hiyerarşidir. Doğrusal olmayan hiyerarşi dairesel (bilgi akışı durumu) düzenlemeleridir. Bir üst düzeyin bir alt düzey tarafından etkilendiği matematiksel hiyerarşi teorisinde, bir düzeyin bitişik bir düzey üzerindeki etkisi, o düzeyin elemanlarının görelî öncelikleri ile bitişik düzeydeki her bir elemanın ilişkilerinin karması ile değerlendirilir. Bu karma hiyerarşi yukarıya doğru genişletilebilir. Şekil 4.1' de bir hiyerarşi örneği görülmektedir (Evren ve Ülengin, 1992b).

Konut seçimi ile ilgili kişi için, yukarıdaki sekiz kriterin ana hedef olan “konuttan memnunluğu” sağlamadaki göreceli önemlerinin saptanmasıdır. Kişi, kendisine önerilen üç konuttan birini seçecektir. Hiyerarşinin en üst düzeyinde kişinin hedefini, ikinci düzeyde hedefe katkıda bulunan sekiz kriteri, son düzeyde ise seçenekleri görmekteyiz.

Hiyerarşi kurmanın avantajları;

- i. Sistemin hiyerarşik olarak gösterimi, üst seviyedeki bir ögenin önceliğinde olacak değişimin, alt seviyelerdeki ögelerin önceliklerini nasıl etkileyeceğini görmeyi sağlar.
- ii. Hiyerarşik gösterim, alt seviyelerde, sistemin yapısı ve işleyişi hakkında büyük oranda detaylı bilgi verirken, üst seviyelerde problemin bir bütün olarak görülüp ele alınmasına imkan verir. Seviyeler içindeki ögelere ait kısıtların tatmin edilmesini garantileyerek, kısıtın bir üst seviyede en iyi şekilde temsil edilmesini sağlar.
- iii. Doğal sistemlerin hiyerarşik olarak temsil edilmesi ve daha etkin olarak geliştirilmesi için uygundur.
- iv. Hiyerarşik yapı katı ve esnektir. Şöyle ki; katıdır, çünkü yapı içinde yapılacak ufak değişiklikler, hiyerarşide ancak ufak etkiler yapabilir. Esnektir, çünkü iyi oluşturulmuş bir yapıya daha sonradan yapılacak eklemeler, hiyerarşinin performansını bozmaz (Saaty, 1990).



Şekil 4.1. Konut Seçimi İle İlgili Örnek Problemin Hiyerarşiyeye Ayrıştırılması

#### 4.1.2. Ölçme ve Yapı Oluşturma

Genellikle AHP metodu ile karar verme sürecinde karar vericinin karşısına ölçmeyle ilgili üç problem çıkmaktadır. Birincisi ölçme tekniği ile ilgilidir. Yeterince hafif ve el ile kaldırılabilen türden bir dizi nesneyi tartacak ağırlık ölçmek için gerekli bir alet olmadığı takdirde ilk akla gelecek olan yöntem, onların göreceli ağırlıklarını tahmin etmek olacaktır. Bunun bir yolu; tüm nesnelerin ağırlıklarını saptamak üzere hepsini tek tek elle kaldırmak ve tüm grup ile karşılaştırıp doğrudan bir ağırlık tahmini yapmaktır. Her birinin bu şekilde tahmin edilen ağırlığını, toplam ağırlığa bölmek sureti ile, nesnelerin göreceli ağırlıkları belirlenebilir. Mevcut bilgiden daha fazla yararlanmaya olanak tanıyabilecek bir başka yöntem ise nesneleri ikiye ikiye karşılaştırmaya dayanır. Diğer bir deyişle önce bir nesne kaldırılır sonra ikinci bir nesne kaldırılır sonra tekrar ilk kaldırılan nesne kaldırılır vs. ve bu süreç her ikili grup için göreceli ağırlıkları (oranları) saptanana kadar devam ettirilir. Bu ikinci yöntem her seferinde salt iki nesneyi karşılaştırıp birbirleri ile nasıl bir ilişki içinde olduklarını saptamaya yöneliktir ve birinci yöntemle kıyasla daha fazla aşama gerektirmesine karşın daha basittir. Bu nedenle, genellikle sonucun geçerliliğinin irdelenmesini olanaklı kılacak bir ölçeğin bulunmadığı durumlarda, genellikle ikili karşılaştırmalar yöntemi tercih edilir.

Hiçbir ölçüm türü için kesin olarak tutarlılık garantisi verilemez. Hassas ölçüm aletleri ile yapılanlar da dahil olmak üzere tüm ölçümler deneysel hata ya da ölçme aleti hatası ile karşı karşıya kalıp tutarsız sonuçlara yol açabilirler. Yukarıdaki ağırlık saptama problemi yeniden ele alınırsa böylesi bir ölçüm hatası sonucu, nesnelerin ağırlıklarına göre yapılan sıralama değişir. Bu hata, özellikle ağırlıkları birbirlerine yakın ve kullanılan ölçme aletinin yeterince hassas olmaması durumlarda ortaya çıkar. Bazı problemler için tutarsızlık gerçekten önemli sonuçlara yol açabilir (Evren ve Ülengin, 1992b).

Tutarlılık, karar teorisinin en önemli temel taşlarından bir tanesidir. Ancak aslında bir ölçüm sırasında, en duyarlı aletler kullanılsa dahi, mükemmel bir tutarlılığa erişmek hemen hemen imkansızdır. Bu nedenle bir karar modelinin etkinliğini irdelerken, modelin kullanımı sonucunda verilen karardaki tutarsızlığın, ilgili problem açısından ne denli kötü olduğu araştırılmalıdır.

Burada tutarlılıktan kasıt salt tercih zinciri geçişlerindeki mantıklılık değil (elmanın portakala, portakalın da muza tercih edilmesi durumunda, elmanın muza tercih edilmesi gibi), aynı zamanda bu tercihlerin yoğunluklarına ilişkin sayısal tutarlılıktır. Diğer bir deyişle eğer elma, portakala iki kez daha fazla tercih ediliyor, portakalda muza üç kez daha fazla tercih ediliyor ise sayısal tutarlılığın olması için elmanın muza altı kez daha fazla tercih ediliyor olması gerekir. Analitik Hiyerarşi Prosesi, seçeneklerin karşılaştırılmasında tutarsız olup olunmadığı ile değil de incelenen problem için tutarlılık varsayımından sayısal olarak sapma derecesi ile ilgilenir. Buna ilişkin olarak ise irdelenecek olan bir tutarlılık indeksi kullanır.

Genellikle karar vericilerin bir probleme ilişkin bilgi düzeyleri arttıkça, söz konusu problemin modelinin daha tutarlı bir şekilde oluşturulması beklenilir. İkili karşılaştırmalar ise kişinin, probleme ilişkin olabildiğince fazla bilgi kullanarak, tutarlılığını arttırmasına yardımcı olurlar. Ancak unutmamak gerekir ki; tutarlılık, gerçeği yakalamak açısından istenilen ve gerekli bir amaç olmakla birlikte, yeterli değildir. Örneğin başarı ve mutluluğun ölçülmesi ile ilgili bir problemde, iki seçenek için de dengeli karşılaştırma yapmayı imkan tanıyan tek ölçü sistemi ikili karşılaştırma yapmaktır. Gerçek probleme karşılık gelecek iyi çözümler bulabilmek için, probleme ilişkin tüm düşünce, inanç ve yargıları ortaya koymak ve bunlar arasındaki farkları saptamak üzere sayısal bir ölçek bulmak gerekmektedir. Bu sayede, karar vericilerin yargıları ile bu sayılar arasında güvenilir bir ilişki kurulabilir ve son olarak da vardıkları sonuçların ne denli tutarsız olduğu ölçülebilir.

İkinci problem, genellikle tahmine dayanan ölçümleri, büyük ölçüde sabit ve değişmeyecek bir ölçüm sistemine oturtmaktır. Acaba bir sistemin değişken alt öğelerinin hiyerarşi içindeki bir üst seviye özelliklerini, bir üst seviye özelliklerinin de daha üst seviyelerdeki özellikleri ne derece etkileyebileceği nasıl ölçülür?

Bu gibi durumlarda, çok değişkenli problemlerde yapıldığı gibi uzun süre sabit kalabilecek özellikler (deney süresi gibi), sabit değişken olarak tanımlanır. Bu yaklaşım ise karar vericileri, hiyerarşilerin ölçülmesine ve analiz edilmesine götürür. Yine değişik yollardan tekrar tekrar hiyerarşiler oluşturularak problemin çözülmesi suretiyle elde edilen sonuçlar sayesinde, yapılan ölçümlerin değişmezliği konusunda fikir edinilebilir. Elde edilen ölçümler, sistemi dengelemede veya yeni bir hedef güdümlü sistemi tasarlamada kullanılabilir.

Üçüncü problem ise, insanların problemi formüle etmesi ve problem önceliklerini tanımlaması için, gerekli yargılar elde etmesini sağlayacak uygun ortamlar oluşturmaktır. İkili karşılaştırmalar, doğrudan doğruya ilgili kişilerle yüz yüze anket yaparak, problemin alternatifleri arasındaki göreceli üstünlükleri bulmaya yarar. Söz konusu ilgili kişi veya kişiler, mutlaka konunun uzmanı olmasalar dahi, en azından konuyu bilen ve konuya aşina olan kişiler olmalıdır. Fakat insanoğlunun sık sık tutarsız cevaplar verebildikleri bir ortamda, ikili karşılaştırmalar yoluyla probleme ilişkin önceliklerin belirlenmesi ve problemin çözülmesi zordur. Buna bir de cevap vericinin konuya aşina olmaması eklendiğinde tutarsızlık daha da artacaktır.

Eğer karar, tek kişi değil de bir grubun katılımı sonucu alınabiliyor ise, söz konusu kişilerin her biri, hem doğrudan kendi ilgi alanına giren konuya ilişkin yargılarını ortaya koyup, birbirlerini tamamlayabilir, hem de diğerlerinin yargılarını oluşturmaları aşamasında olaya dahil olup yargıların netleşmesini sağlayabilirler. Grubun, karar aşamasında bir uzlaşmaya varması halinde, herhangi bir sorun ortaya çıkmayacaktır. Ancak, uzlaşma sağlanamadığı takdirde pazarlık süreci başlayacaktır. Örneğin sistemdeki bazı öğeler gruptaki bazı kişiler için çok önemli iken diğerleri için önemsiz olabilir. Bu durumda, üçüncü şahıslardan yararlanıp, farklı sonuçların bir sentezi yapılabilir ya da çıkar çatışması olan gruptaki her üyeden olaya bir kendi açılarından, bir de diğer çıkar sahipleri açısından bakması istenilir. Çıktılar diğerlerinin elde ettiği sonuçlarla karşılaştırılabilir. Bu şekilde sonuca işbirlikçi bir şekilde ulaşılır.

#### **4.1.3. İkili Karşılaştırmalar Matrisi ve Ağırlıklar Kümesi**

Bir önceki kısımda açıklandığı gibi hiyerarşi, hemen hemen gerçek hayat koşullarının aynısını yansıtır. Hiyerarşi, sistemin temel taşlarının analizini ve onların birbirleriyle olan ilişkilerini açıklar. Şüphesiz ki, karar verme ve planlama sürecinde yegane yardımcı hiyerarşi sağlayamaz. Hiyerarşi ile beraber, hiyerarşi ağacının herhangi bir seviyesinde bulunan değişik öğelerin bir üst seviyedeki öğeleri nasıl etkilediğini ve bu etkinin derecesini ölçmeye yarayan bir metoda ihtiyaç vardır.

Bu kısmın amacı, grubun sayısal yargılarını elde etmede kullanılan metodolojinin ve faaliyetlere ilişkin ağırlık setlerinin nasıl oluşturulduğunun açıklanmasıdır. Analitik Hiyerarşi Prosesi, bir düzeyin tüm öğeleri ile bir üst düzeydeki tek bir

öğenin veri alınarak, alt düzeydeki tüm öğelerin üst düzey ögesi üzerindeki görel etkilerinin ikişerli karşılaştırılıp bir matris oluşturulması ve bu matris sayesinde en büyük öz değere sahip özvektörün bulunması temeline dayanır. Söz konusu özvektör, öncelik sıralarının belirlenmesinde; özdeğer ise, karar vericiye ait yargının tutarlılığının ölçülmesinde kullanılır.

Başlangıç olarak  $n$  adet faaliyeti gerçekleştiren bir grup ele alınsın. Bu grubun amaçları;

- 1) Faaliyetlerin görel önemlerine ilişkin yargılar geliştirme,
- 2) Tüm faaliyetler hakkında verilecek yargıların ölçülmesine imkan veren bir ölçü sistemiyle yargıların ölçülmesini garantileme olsun.

Faaliyetler seti,  $F_1, F_2, \dots, F_n$  olsun.  $F_i, F_j$  faaliyet çiftinin sayısal yargıları,  $n \times n$  boyutlu  $A$  matriste aşağıdaki gibi temsil edilir.

$$A = (a_{ij}), \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (4.1)$$

$$\text{Eğer } a_{ij} = \alpha \text{ ise } a_{ji} = \frac{1}{\alpha} \quad \alpha \neq 0 \text{ dir.}$$

Eğer yargılama sonucunda,  $F_i$  faaliyetiyle  $F_j$  faaliyeti eşit derecede öneme sahipse veya  $\forall i = j$  için,  $a_{ij} = a_{ji} = 1$  dir. Böylece,  $A$  matrisi aşağıdaki gibi oluşturulur.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ . & . & \dots & . \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

$F_i, F_j$  çiftlerine ait yargıları,  $A$  ikili karşılaştırmalar matrisi üzerinde  $a_{ij}$  olarak elde edildikten sonra yapılması gereken iş,  $F_1, F_2, \dots, F_n$  adet faaliyetin  $n$  adet olasılığına ilişkin sayısal ağırlıklar seti  $w_1, w_2, \dots, w_n$  'i oluşturmaktır.

Yapılmaya çalışılan şey, belirsizce formülize edilmiş problemi, kesin matematiksel değerlere dökmektir. İşte bu noktada karar vericinin karşısına bir problem çıkmaktadır. “Acaba  $n$  adet faaliyet için oluşturulan ağırlıklar seti, grubun sayısal yargılarını tam olarak yansıtabiliyor mu?”. Bu soru, problemin matematiksel olarak ifade edilmesinde kesinlik sağlanmasını ve ağırlıkların yargılarla nasıl ilişkilendirileceğinin açıkça ortaya konmasını gerektirir. Bu hususlar dikkate alınarak, problemin matematiksel olarak formülasyonu ve ağırlıklar kümesinin oluşturulması üç adımda ele alınmıştır.

#### 1. Adım:

Görelî ağırlıklarını tespit etmek üzere, bir miktar taş ve taşların ağırlıklarını hatasız ölçen bir ölçek ele alınsın. Taşlar sırasıyla tartılarak, ağırlıkları birbirleriyle karşılaştırılsın. Örneğin,  $F_1$  ve  $F_2$  tartılsın ve ağırlıkları  $w_1$  ve  $w_2$  305gr. ve 244gr. gelsin. İki faaliyetin görelî ağırlıklarını bulmak için ağırlık  $w_1$ ,  $w_2$ ’ye bölünürse, sonucu 1.25 bulunur. Yani  $F_1$ ,  $F_2$ ’den 1.25 kat daha ağırdır ve matriste  $a_{12}=1.25$ ’ dir.

$$\frac{w_i}{w_j} = a_{ij} \quad i,j=1,2,...,n \quad (4.3)$$

$$A = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & ..... & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & ..... & w_2/w_n \\ ... & ... & ..... & ... \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & ..... & w_n/w_n \end{bmatrix}$$

Her nasılsa, gerçek hayatta yaşanan örneklerde, yukarıdaki taş örneğinde olduğu gibi görelî üstünlükler ve bunlara bağlı sonuçlar tam doğrulukla hesaplanamamaktadır. Çünkü gerçek hayatta kullanılan fiziki ölçütlerin bir çoğu, matematiksel anlamda tam doğru sonucu veremeyip, civarında değerler yermektedirler. Bir diğer sebep de, insan yargılarındaki yanılgılardır. Bu nedenle, sonuçlarda olabilecek sapmalara karşın kabul edilebilecek ölçüde bir tolerans payı bırakılmalıdır.

## 2. Adım:

Sonuçlardaki olabilecek sapmaların tolerans payını hesaplamak için; eğer A matrisinin i' nci satırının,

$$a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ij}, \dots, a_{in} \quad (4.4a)$$

ideal bir örnekte sonuçları tam çıkmış olursa, oranlar değerlerle aynı olur. Bu nedenle, ideal durumda bu satırdaki ilk gireni  $w_1$ , ikinci gireni  $w_2$ , vs. çarparsak, bütün sonuçların  $w_i$  çıkması gerekir.

$$\frac{w_i}{w_1} \cdot w_1 = w_i, \frac{w_i}{w_2} \cdot w_2 = w_i, \dots, \frac{w_i}{w_j} \cdot w_j = w_i, \dots, \frac{w_i}{w_n} \cdot w_n = w_i \quad (4.4b)$$

Oysa gerçek hayatta söz konusu değerler tam olarak  $w_i$  ' ye eşit değil, bir önceki adımda bahsedildiği gibi onun civarındadır. Bu nedenle,  $w_i$  ' nin bu değerlerin ortalamasına eşitlenmesini beklemek daha mantıklı olacaktır. Dolayısıyla  $w_i / w_j = a_{ij}$  ideal durumu yerine, daha gerçekçi bir durumu yansıtan  $w_i = \text{Ortalama}$  ( $a_{i1}w_1, a_{i2}w_2, \dots, a_{in}w_n$ ) olacaktır. Ortalama ise,

$$w_i = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{j=1}^n a_{ij} w_j \quad i=1,2,\dots,n \quad (4.5a)$$

ifadesi ile gösterilebilir. Eşitlik (4.5a) gerçeği temsil etme bakımından (4.4b)' den daha uygun bir eşitliktir. Fakat söz konusu ifade yine de, kişisel yargı  $a_{ij}$  veri iken, öğelerin tek tek ağırlıkları  $w_i$  ' yi bulmak için yeterli olacaktır mı?

## 3. Adım:

Yukarıdaki soruya, eşitlik (4.5a)' nin geliştirilerek daha gerçekçi bir hale getirilmesiyle cevap verilebilir.  $a_{ij}$  ' nin iyi tahmin edilmesi halinde, söz konusu değer gerçekten  $w_i/w_j$  ' ye yakın bir değer olacaktır. Fakat,  $a_{ij}$  ' nin ideal durumdan sapma göstermesi halinde  $w_i$  ve  $w_j$  ' nin değişebilmesi için  $n$  ' nin de değişmesi gerekir. İşte bu nedenle  $n$  yerine en büyük özdeğer ( $\lambda_{\max}$ ) kullanılır. Böylece ideal tutarlılık durumundan sapma halinde  $\lambda_{\max}$   $n$  ' ye yakın; ideal durumda ise, yukarıda da

belirtildiği gibi  $n$  ' e eşit olacaktır. A ikili karşılaştırmalar matrisinin tutarsız olması olasılığı göz önünde tutulduğunda kullanılan formül,

$$w_i = \frac{1}{\lambda_{\max}} \sum_{j=1}^n a_{ij} w_j \quad i = 1, \dots, n \quad (4.5b)$$

şekline dönüşür. Sonuç olarak, yukarıda bulunan ifadeyi genelleştirirsek,  $A.w = \lambda_{\max}w$  ifadesi elde edilir. Bu ifadede A ikili karşılaştırmalar matrisidir. Öyle ise yapılması gereken A' dan hareketle görelî önemleri yansıtan w vektörünü,  $A.w = \lambda_{\max}w$  ifadesini gerçekleyecek bir şekilde bulmak olacaktır.

Tutarlılık durumunda  $\lambda_{\max} = n$  olduğuna göre, söz konusu eşitlikten sapma derecesini gösterecek bir tutarlılık göstergesi  $(\lambda_{\max} - n)/(n - 1)$  olarak ifade edilebilir. Söz konusu gösterge, aynı büyüklükte fakat elemanları tamamen tesadüfî olarak seçilmiş çok sayıda matristen hareketle elde edilmiş ortalama gösterge değeri ile karşılaştırılır. Eğer iki göstergenin birbirlerine oranı (çoğunlukla tutarlılık oranı olarak adlandırılır) yeterince küçük ise, w görelî önem vektörünün tahmin değerleri kabul edilir. Aksi halde, tutarlılık düzeyi arttırılmaya çalışılır. Genel olarak tutarlılık oranının %10 veya daha düşük değeri yeterli görülür.

#### 4.1.4. Analitik Hiyerarşi Prosesinde Kullanılan Ölçek

Hiyerarşinin bir düzeyini oluşturan faktörlerin birbirlerine olan görelî önemleri, ikili karşılaştırmalar yoluyla belirli bir ölçeğe göre puanlandırılıp, matristeki yerine yazılır. AHP' deki önceliklendirme işlemi için kullanılan ölçek ve bu ölçeğe ait puanlama şekli Tablo 4.1.' de verilmiştir (Saaty, 1994b).

AHP' nin çözüm öncesi adımlarını oluşturan hiyerarşik yapının oluşturulması ve önceliklendirme işlemi sona erdikten sonra, yapılan değerlendirmeye ilişkin verilerin ikili karşılaştırmalar matrisi şeklinde ifade edilmesi gerekir. Bu işlem sonucunda elde edilen matrisler bir dizi işleme tabi tutularak modellenen problem çözümlenir.

#### 4.1.5. Özvektörün Bulunması

AHP' nin çözüm algoritması özvektör ifadesine dayanmaktadır. Karşılaştırmalar matrisinin tutarlılığı ve yöntemin çözüm algoritması da özdeğer ve özvektöre

dayanır. Özvektörü bulmak için bilgisayar programları geliştirilmiştir. Ancak bu programların uygulanmadığı durumlarda özvektörün saptanması için dört yöntem vardır (Evren ve Ülengin, 1992b).

Tablo 4.1. Analitik Hiyerarşi Prosesinde Kullanılan Ölçek

| <b>ÖNEM DERECEŚİ</b> | <b>TANIM</b>                                           | <b>AÇIKLAMA</b>                                                                              |
|----------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1</b>             | Eşit Önem                                              | İki Faaliyet Amaca Eşit Düzeyde Katkıda Bulunuyor                                            |
| <b>3</b>             | Birinin diğerine göre orta derecede daha önemli olması | Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine orta derecede tercih ettiriyor                       |
| <b>5</b>             | Kuvvetli düzeyde önem                                  | Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine kuvvetli bir şekilde tercih ettiriyor                |
| <b>7</b>             | Çok kuvvetli düzeyde önem                              | Bir faaliyet güçlü bir şekilde tercih ediliyor ve baskınlığı uygulamada rahatlıkla görülüyor |
| <b>9</b>             | Aşırı düzeyde önem                                     | Bir faaliyetin diğerine tercih edilmesine ilişkin kanıtlar çok büyük bir güvenilirliğe sahip |
| <b>2,4,6,8</b>       | Ortalama değerleri                                     | Uzlaşma gerektiğinde kullanmak üzere iki ardışık yargı açısına düşen değerler                |

#### 4.1.5.1. En Basit ve Sapmalı Yöntem

Her satırın toplamı alınıp, her toplam değeri söz konusu toplamların toplamına bölünür. Böylece cevapların toplamı bire eşitlenir (normalize edilir). Elde edilen vektörün birinci elemanı, birinci faaliyetin görelî önemini, ikincisi ikinci faaliyetin görelî önemini vs. verir.

#### 4.1.5.2. Daha İyi Yöntem

Her sütundaki elemanların toplamı alınır ve bu toplamaların eşlenikleri bulunur ( $1 / \text{Sütun toplamı}$ ). Söz konusu değerlerin toplamını bire eşit hale getirmek için, her eşleniği eşleniklerin toplamına bölünür.

#### 4.1.5.3. Bölmeli İyi Yöntem

Her sütunun elemanları, o sütunun toplamına bölünür. Elde edilen değerlerin satır toplamı alınır ve bu toplam satırdaki eleman sayısına bölünür. Hesaplanması kolay olduğu ve doğru sonuçlar verdiği için uygulamada bu yöntem genelde tercih edilir.

#### 4.1.5.4. Çarpmalı İyi Yöntem

Her satırdaki  $n$  elemanı birbirleri ile çarpılıp  $n$ ' inci kökü bulunur. Elde edilen değerler normalize edilir.

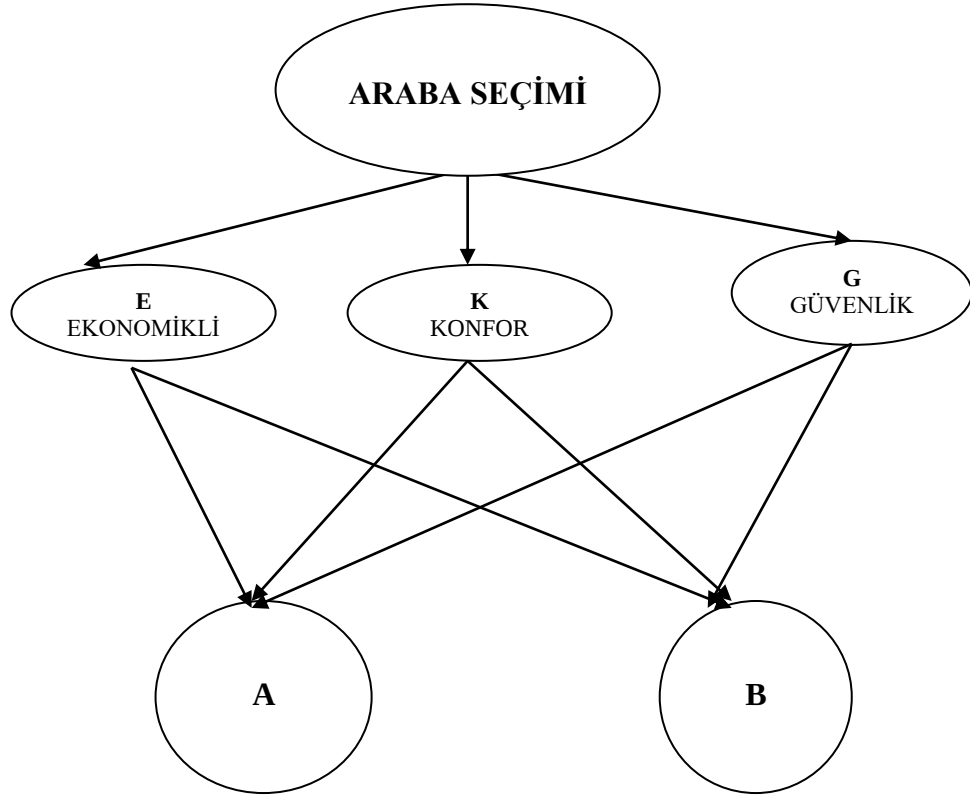
El ile yapılan hesaplamalarda kullanılan bu dört yöntemden, hem özvektör tahmin doğruluğu fazla, hem de kolay olduğundan bölmeli yöntem tercih edilir.

Bilgisayar programları ise, matrisin çok yüksek kuvvetlerini alıp, elde edilen matriste her satır toplamını o matrisin elemanlarının toplamına bölme yöntemini kullanırlar.

AHP yöntemini daha iyi anlamak için, konu bir örnek üzerinde incelenecektir. Bir kimsenin araba seçim problemini ele alalım. Bu kişinin araba seçerken dikkate aldığı ekonomiklik, konfor, emniyet gibi üç kriterinin ve A ve B gibi iki seçeneğinin olduğu varsayalım. Probleme ait hiyerarşik yapı Şekil 4.2.' deki gibi olacaktır.

Araba seçimi probleminde ikili karşılaştırmalar matrisini oluşturmak için alıcı kişiye bir dizi karşılaştırmalar yaptırılır. Oluşturulacak ilk matris hedefe göre kriterlerin karşılaştırılacağı matristir. Bunu yaparken, satırdaki her bir kriterin, sütundaki kriterlerle ayrı ayrı ikili karşılaştırılması ve puanlanması istenecektir. Bu ikili karşılaştırma yapılırken sorulacak soru şudur. "Satırdaki kriter, sütundaki kritere göre ne derece önemlidir?". Satırdaki kriter sütundakinden önemli ise önem derecesine göre Tablo 4.1.' deki "1-9" arasındaki rakamlarla; sütundaki kriterler satırdakilere göre önemli ise "1/9-1"

arasındaki rakamlarla puanlama yapılır. Alıcının karşılaştırmaları Tablo 4.2.’ deki gibi olsun.



Şekil 4.2. Araba Seçim Problemi İçin Hiyerarşik Yapı

Daha sonra ikinci aşamada alıcıya, her bir kriter için hangi alternatifi seçeceği sorulur. Aynı şekilde bu seviyedeki ikili karşılaştırmalar matrisleri elde edilir. Alıcının matrislerinin Tablo 4.3.’ deki gibi olduğu varsayalım.

Tablo 4.2. Birinci Seviye Karşılaştırmalar Matrisi

| Araba Seçimi | Ekonomiklik | Konfor | Güvenlik | Özvektör |
|--------------|-------------|--------|----------|----------|
| Ekonomiklik  | 1           | 5      | 1/7      | 0.18     |
| Konfor       | 1/5         | 1      | 1/9      | 0.06     |
| Güvenlik     | 7           | 9      | 1        | 0.8      |

Tablo 4.3. İkinci Seviye İkili Karşılaştırmalar Matrisleri

| <b>Ekonomiklik</b> | <b>A</b> | <b>B</b> | <b>Özvektör</b> |
|--------------------|----------|----------|-----------------|
| <b>A</b>           | 1        | 5        | 0.83            |
| <b>B</b>           | 1/5      | 1        | 0.17            |
| <b>Konfor</b>      | <b>A</b> | <b>B</b> | <b>Özvektör</b> |
| <b>A</b>           | 1        | 1/7      | 0.125           |
| <b>B</b>           | 7        | 1        | 0.875           |
| <b>Güvenlik</b>    | <b>A</b> | <b>B</b> | <b>Özvektör</b> |
| <b>A</b>           | 1        | 3        | 0.75            |
| <b>B</b>           | 1/3      | 1        | 0.25            |

Araba seçimi probleminin matrislerinin Çarpmalı İyi Yöntemle hesaplanmış özvektörleri Tablo 4.2.' de hesaplandığı gibidir. Bu tablo incelendiğinde, sırasıyla alıcı için en önemli kriterlerin güvenlik, ekonomiklik ve konfor olduğu görülmektedir. Diğer matrislerin yine aynı şekilde Tablo 4.3.' de hesaplanmış özvektörlerden şu sonuçlar çıkmaktadır: Alıcıya göre A seçeneği B seçeneğinden daha ekonomik ve güvenlidir. Ayrıca B seçeneği A seçeneğinden daha konforludur. Buradan seçenekler için bileşik görelî önemler hesaplanırsa aşağıdaki değerler bulunur.

$$A: (0.75*0.8)+(0.125*0.06)+(0.83*0.18) = 0.74$$

$$B: (0.25*0.8)+(0.875*0.06)+(0.17*0.18) = 0.26$$

Alıcının kriterleriyle A seçeneği B seçeneğine tercih edilmiş olur.

#### 4.1.6. Tutarlılık

Tutarlılık; AHP' nin kullanılmasında ve çözümünde önemli bir yer tutan kavramdır. AHP' de tutarlılık, ikili karşılaştırmalar sonrasında elde edilen değerlerin yani önceliklerin birbirleri ile olan mantıksal veya matematiksel ilişkisidir. Daha önce verilen taş örneği göz önüne alındığında  $F_1$  taşının ağırlığı  $F_2'$  ye göre  $k_1$  kat,  $F_2'$  nin ağırlığı da  $F_3'$  e göre  $k_2$  kat ağır ise  $F_1$  taşının  $F_3'$  e göre görelî ağırlığı  $(k_1 \times k_2)$ ' dir. İşte bu mantıksal önermelere tutarlılık; bu tutarlılık kavramının sayısal

ifadesine tutarlılık indeksi denir. Matematiksel olarak tutarlılık indeksi, A ikili karşılaştırmalar matris elemanları cinsinden,

$$a_{jk} = a_{ik} / a_{ij} \quad i, j, k = 1, 2, \dots, n \quad (4.6)$$

numaralı eşitliğin sağlanması olarak tanımlanır.

Bir A matrisinin tutarlı olması için gerekli ve yeterli şart A' nın en büyük özdeğerinin  $n$ ' ye eşit olmasıdır. Yani en büyük özdeğer  $\lambda_{\max}$  ise, A matrisinin tutarlı olması için  $\lambda_{\max}$   $n$ ' ye eşit olmalıdır. Bu ifade matematiksel olarak, aşağıdaki gibi gösterilebilir (Evren ve Ülengin, 1992b).

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = Iz(A) = n \Rightarrow \lambda_{\max} = n \quad (4.7)$$

Denklemden verilen ifadenin doğruluğu şu şekilde irdelenebilir. İkili karşılaştırmalar matrisindeki tüm satırlar birinci satırın bir katına karşılık gelmektedir. Dolayısıyla matris bağımlıdır ve matrisin özdeğerlerinden biri hariç hepsi sıfırdır. Yine özdeğerin tanımı gereği ise, bir matrisin özdeğerlerinin toplamı, o matrisin izine; yani köşegenleri üzerindeki elemanların toplamına eşittir. A matrisinde  $Iz = n$  olduğuna göre, tutarlı bir A matrisinin en büyük özdeğerinin  $n$ ' ye eşit olacağı belirlenebilir. Tutarlılık göstergesi (CI) değeri basit bir orantı ile hesaplanır.

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (4.8)$$

Tutarlılık göstergesinin hesaplanması şu şekilde ifade edilebilir. İkili karşılaştırmalar matrisi, elde edilen göreceli önemler vektörü ile çarpılır ise yeni bir vektör elde edilir. Bu son vektörün ilk elemanı göreceli önemler vektörünün ilk elemanına, ikinci elemanı ikinciye bölünür ise bir üçüncü vektör elde edilir. Bu son vektörün elemanları toplanıp eleman sayısına bölünürse en büyük özdeğer için yaklaşık bir değer bulunur. Bu değer ne kadar  $n$  değerine yakın olursa sonuç o kadar tutarlı olacaktır. En büyük özdeğer hesaplandıktan sonra (4.8) numaralı denklem ile tutarlılık göstergesi hesaplanır. Ancak tutarlılık derecesi (CR), tutarlılık

göstergesinin tesadüfilik göstergesine (RI) bölünmesiyle elde edilecektir. Yapılan çalışmalar sonucu “1-15” boyutundaki matrisler için tesadüfilik göstergeleri Tablo 4.4.’ de verilmiştir.

Tablo 4.4. Tesadüfilik Göstergesi

| Tesadüfilik Matris Boyutu |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1                         | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   |
| Tesadüfilik Göstergesi    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 0.0                       | 0.00 | 0.58 | 0.90 | 1.12 | 1.24 | 1.32 | 1.41 | 1.45 | 1.49 | 1.51 | 1.48 | 1.56 | 1.57 | 1.59 |

Yapılan tüm çalışmalar ve teorik açıklamalar, tutarlılık derecesinin %10 veya daha az olması durumunda en az hata ile çalıştığını göstermektedir. Araba seçimi örneğinin tutarlılığı hesaplanacak olursa;

$$\begin{bmatrix} 1 & 5 & 0.14 \\ 0.2 & 1 & 0.11 \\ 7 & 9 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.18 \\ 0.06 \\ 0.8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.6 \\ 0.15 \\ 2.6 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{matrix} 0.6/0.18 = 3.3 \\ 0.15/0.06 = 2.5 \\ 2.6/0.8 = 3.25 \end{matrix}$$

(3.3+2.5+3.25= 9.05). Matris 3 boyutlu olduğu için  $n = 3$  olur ve  $9.05/3 = 3.01$ ,  $n=3$  değerine yakındır.

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{3.01 - 3}{3 - 1} = \frac{0.1}{2} = 0.05 \quad \text{olur.}$$

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.05}{0.58} = 0.08$$

olarak bulunur. Bu değer 0.10 değerinden küçük olması tutarlılık açısından uygundur. Böylece, ikili karşılaştırmalardaki yargıların tutarlı olduğu ifade edilebilir.

#### 4.1.7. Literatürde AHP İle Çözülen Problemler

Rosenbloom (1997) makalesinde, kompleks karar verme problemlerinin ele alınmasında AHP’ nin popüler ve pratik bir araç olduğunu belirtiyor. Yöntemin, karar verilecek alternatifler arasında derecelendirmeyi sağladığını ve girdi verilerinin ikili karşılaştırmalarının rastsal değişkenlermiş gibi ele alınmasını öneriyor ve bunun

alternatifler arasındaki farkların istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığına karar vermeyi sağlayacağını belirtiyor.

Goh (1997), bir firma için robot seçimi problemini grup karar verme yoluyla çözenin yüksek maliyetli yatırım kararının verilmesinde riski azaltacağını belirtiyor. Modelin çözümünü, hem objektif hem de subjektif ölçütleri aynı anda değerlendirme fırsatı veren AHP ile yapıyor. Karar verecek gruba katılanların değerlendirmelerini bağımsız olarak yaptıkları ve AHP ile bu değerlendirmelerin birleştirilip sonucun bulunduğunu belirtiyor.

Abdülhamit ve diğ. (1999), fabrika yerleşim şeklinin üretim sistemlerinin yapısı ve işlerliğinde önemli bir etken olduğunu belirttikleri çalışmalarında, alternatif yerleşim şekillerini AHP ile değerlendirmişlerdir. Uygulamalarında üç ana kriter-esneklik, artan üretim hacmi, azalan maliyetler- ve üç yerleşim şekli-hücreyel yerleşim, fonksiyonel yerleşim, akış tipi yerleşim- AHP ile değerlendirilmiştir.

Cheng ve diğ. (1999), çalışmalarında taarruz helikopterlerini dilsel değişkenlere dayalı AHP ile değerlendirmişlerdir. Yöntemleri bulanık mantığın değişik bir uygulamasını içermekte ve insan sezgileri ile tekrar düşünme modeline dayanmaktadır. Çalışmalarını yaparken bir çok uzmanla görüşerek üyelik fonksiyonlarını oluşturmuşlardır.

Dey ve Gupta (2000) boru hattı seçimi için Karar Destek Sistemi oluşturmuşlardır. En uygun hat seçimi için ÇÖKV yöntemlerinden AHP' yi kullanmışlardır. Değerlendirmelerinde en kısa mesafe, yapılabirlik, inşa edilebilirlik, devlet kısıtlamaları, çalıştırılabilirlik, genişletilebilirlik ve bakım kolaylıkları kriterlerini AHP ile değerlendirmişlerdir. Sonuçta seçilen hat ile en kısa hat karşılaştırılmıştır.

Yu ve diğ. (2000), ekonomik ömürlerini tamamlamış elektrik ve elektronik cihazların tekrar çalışır hale getirilmesi veya çevre kirliliğine sebep olmadan değerlendirilmesi kararının verilebilmesi için AHP' yi kullanmışlardır. Değerlendirmede üç kriter- çevresel etkiler, maliyet, tekrar kullanılabilir malzemeler-dikkate alınmıştır. Uygulamalarında bu üç kriter bulanık üyelik fonksiyonu ile değerlendirilmiş ve AHP ile çözülmüştür.

Yee ve diğ. (2001), İleri Üretim Teknolojilerinin (İÜT) kullanılmasının sadece büyük yatırım gerektirmediğini bunun yanında organizasyon kültürü ve organizasyon yapısında da değişimi gerektirdiğini belirttikleri çalışmalarında İÜT planlamasında AHP' yi kullanmışlardır. AHP' nin, karmaşık, çok kişili, çok kriterli ve çok dönemli problemleri hiyerarşik olarak yapılandırması sebebiyle İÜT planlaması için uygun olduğu değerlendirilmiştir. Sonuçta AHP ile İÜT planlamasının özellikle küçük ve orta büyüklükteki işletmeler (KOBİ) için uygun olacağı belirtilmiştir.

Byun (2001), yoğun bir rekabetin yaşandığı araba pazarında müşterilerin ilgisini çekecek müşteri hizmetleri ve stratejik yatırımların açıklandığı çalışmada, piyasaya yeni çıkacak üç yeni arabayı seçim kriterlerini belirleyerek AHP ile çözümlemektedir.

Al Khalil (2002), AHP' yi kullandığı modelinde en uygun proje dağıtım metodunun seçimini yapmıştır. Proje dağıtım metotlarının sıralanmasında çeşitli faktörler karar vermede kullanılmaktadır. Proje sahipleri, proje dağıtımını başarı için bir anahtar olduğunu düşündüklerinden en uygun proje dağıtım metodunu seçmek istemektedirler. Makalede kullanılan model proje sahiplerine kararla ilgili tüm faktörleri kullanma fırsatı vermektedir. Modelde AHP kullanılarak seçim yapılmıştır.

Tsaur ve diğ. (2002), çalışmalarında bulanık kümeler kullanarak havayollarının servis kalitelerini değerlendirmişlerdir. Servis kalitesinin ölçülmesi için bulanık kümeleri performansın ölçülmesinde kullanmışlardır. Servis kalitesi AHP ile kriter ağırlıkları belirlenmiş TOPSIS ile de sıralanması yapılmıştır.

Vincent ve diğ. (2002) AHP' yi grup karar verme ile Multi-medya Yönetim Sistemi (MYS) seçiminde kullanmışlardır. Üç çeşit MYS ürünü tanımlanmış ve bunlar AHP ile sıralanmışlardır. Bu uygulamada, 6 kişiden oluşan bilgisayar uzmanı grup ürünleri değerlendirmişlerdir. Bu kişiler AHP ile ürünleri değerlendirmiş ve en iyi MYS ürünü seçimi kararı verilmiştir. Çalışma sonrası uzmanlarla anket ve görüşme yapıp genelde kullandıkları Delphi tekniği ile AHP' yi karşılaştırmaları istenmiş ve sonuçta AHP' nin grup karar vermeye uygun olduğu, Delphi tekniğine göre daha fazla tercih edildiği ve AHP' nin özellikle alternatiflerden ziyade kriterler üzerinde yoğunlaşmayı sağladığı görülmüştür. Son olarak da AHP' nin grup içinde konsensus oluşturmaya elverişli olduğu anlaşılmıştır.

Hafeez ve diğ. (2002), bir firmanın rakipleri karşısında rekabet gücünün artırılması için bazı temel yetkinliklere sahip olması gerektiği ve bu yetkinliklerin firma için stratejik olarak değerli yeteneklerinin sonucunda ortaya çıktığını belirtmektedirler. Makalelerinde bir firma için anahtar yeteneklerin belirlenmesinde AHP yöntemini kullanarak bir çerçeve oluşturmaya çalışmışlardır. Bu çalışmanın farklılığı, bir firmanın yeteneklerinin değerlendirilmesinde finansal (sayısal) ve finansal olmayan (sayısal olmayan) ölçüklerin kullanılmasıdır. Yapılan çalışma sonucunda firma için yetkinlik zafiyetleri ortaya konmuş ve çıkan sonuca göre firma yeteneklerini geliştirme, büyüme, yeni ürünler, hizmetler veya pazarlar geliştirme gibi çeşitli yatırım kararları almak zorunda kalmıştır.

#### **4.2. TOPSIS (Technique For Order Preference By Similarity To Ideal Solution) Yöntemi**

Maliyet, zaman, hız, hacim gibi kavramlar sayısal ya da niceliğe ait terimler olup birbirinden farklı birimlerle ölçülürler. Performans, duygu, mutluluk, güvenilirlik gibi kavramlar ise sayısal olmayan ya da niteliğe ait terimlerdir. Bu durumda değişik kriterlerin birbiriyle nasıl karşılaştırılacağı önemli bir sorundur. Para, saat, m/sn, kg gibi homojen olmayan birimlerle ölçülen farklı kriterlerin birbiriyle karşılaştırılması sorununu Hwang ve Yoon (1981) ele almışlardır. Bu sorunu iki adımda çözmek mümkündür:

1. Nicelikli terimlerin bir ölçük değerine dönüştürülmesi. Örneğin 10' luk ölçük kullanarak maksimum değere 10, minimum değere de 0 puan verilebilir. Bunun gibi değişik ölçük değerleri kullanılabilir.
2. Değer ve ölçüklerin normalizasyonu işlemidir. Daha öncede bahsettiğimiz gibi değişik normalizasyon yöntemleri mevcuttur.

TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), Hwang ve Yoon (1981) tarafından ELECTRE yöntemine alternatif olarak geliştirilmiş olup ve genel kabul görmüş bir yöntemdir. Bu yöntemin temel konsepti, seçilen alternatifin ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözüme de en uzak olmasıdır. Yani, ideal çözüme uzaklık derecesine dayanan bir alternatif sıralaması kullanılır.

TOPSIS yönteminde, her bir kriterin monotonik olarak artış veya azalma eğilimi olduğu kabul edilir. Bundan dolayı, ideal ve negatif ideal çözümleri belirlemek kolaydır. Euclidean uzaklık yaklaşımı ile alternatiflerin ideal çözüme olan göreceli yakınlığı değerlendirilmektedir. Böylece alternatiflerin tercih sıralaması, bu göreceli uzaklıkların birbiriyle karşılaştırması sonucu ortaya çıkmaktadır (Triantaphyllou, 2000).

TOPSIS yönteminde m alternatif, n kriterli karar matrisi kullanılır:

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & \dots & x_{2n} \\ . & . & . & . & . \\ x_{m1} & x_{m2} & x_{m3} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

Burada  $x_{ij}$ , j' nci kritere göre i' nci alternatifin performans değeridir. Bu yöntem aşağıdaki adımları içermektedir.

#### 1. Adım: Normalize Edilmiş Karar Matrisinin Oluşturulması

TOPSIS yönteminde ilk adım, karar matrisindeki farklı kriter boyutlarını boyutsuz hale getirmektir. Bunun için ölçüt normalizasyonu yapılması gerekir. Normalizasyondan amaç, ölçütler arası karşılaştırmaları sağlayan karşılaştırma ölçeğini elde etmektir. Birkaç değişik normalizasyon yöntemi mevcuttur, ancak biz burada vektör normalizasyonunu kullanacağız.

$r_{ij}$ , normalize edilmiş **R** karar matrisinin bir elemanı olarak eşitlik (4.9)' daki gibi hesaplanır:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m x_{kj}^2}} \quad i= 1,2,...,m \quad j = 1,2,...,n \quad (4.9)$$

## 2. Adım: Normalize Edilen Karar Matrisinin Ağırlıklandırılması

$\mathbf{W} = (w_1, w_2, w_3, \dots, w_n)$  ağırlıklar seti,  $\sum w_i = 1$  olacak şekilde karar verici tarafından belirlendikten sonra normalize edilen karar matrisi aşağıdaki gibi ağırlıklandırılır:

$$V = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & w_3 r_{13} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & w_3 r_{23} & \dots & w_n r_{2n} \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & w_3 r_{m3} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix}$$

## 3. Adım: Pozitif ve Negatif İdeal Çözümlerin Belirlenmesi

$A^*$  ideal çözüm,  $A^-$  da negatif ideal çözüm olarak aşağıdaki gibi belirlenir:

$$A^* = \{(\max_i v_{ij} \mid j \in J), (\min_i v_{ij} \mid j \in J'), i = 1, 2, 3, \dots, m\} \quad (4.10)$$

$$= \{V_{1*}, V_{2*}, V_{3*}, \dots, V_{n*}\}.$$

$$A^- = \{(\min_i v_{ij} \mid j \in J), (\max_i v_{ij} \mid j \in J'), i = 1, 2, 3, \dots, m\} \quad (4.11)$$

$$= \{V_{1-}, V_{2-}, V_{3-}, \dots, V_{n-}\}.$$

$J = \{j = 1, 2, 3, \dots, n \text{ ve kar veya fayda kriteri ölçütleri kümesi}\},$

$J' = \{j = 1, 2, 3, \dots, m \text{ ve maliyet veya kayıp kriteri ölçütleri kümesi}\}.$

$A^*$  ve  $A^-$  iki hayali alternatifini oluşturur. Fakat karar verici, alternatifler arasından fayda yada kar kriterlerine göre en fazla değere sahip olanı seçecektir. Aynı şekilde alternatifler arasından maliyet ya da kayıp kriterlerine göre en az değere sahip olanı seçmek isteyecektir.  $A^*$  karar verici için en çok tercih edileni yani ideal çözümü,  $A^-$  da en az tercih edileni yani negatif ideal çözümü gösterir.

#### 4. Adım: Uzaklık Değerlerinin Hesaplanması

$n$ - boyutlu Euclidean uzaklığı metoduna göre her bir alternatifin ideal çözümden ve negatif ideal çözümden olan uzaklıkları hesaplanır. İdeal çözümden uzaklığı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$S_{i^*} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_{j^*})^2}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (4.12)$$

$S_{i^*}$  her bir alternatifin ideal çözümden olan uzaklığını ifade etmektedir. Aynı şekilde her bir alternatifin negatif ideal çözümden uzaklığı da:

$$S_{i-} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_{j-})^2}, \quad i=1, 2, 3, \dots, m \quad (4.13)$$

formülü ile hesaplanır.

#### 5. Adım: İdeal Çözüme Göreceli Uzaklığın Hesaplanması

Her bir alternatifin  $(A_i)$ ' nin ideal çözüme  $(A^*)$ ' ye olan göreceli uzaklığı,

$$C_{i^*} = \frac{S_{i-}}{S_{i^*} + S_{i-}} \quad 1 \geq C_{i^*} \geq 0, \quad \text{ve } i=1, 2, 3, \dots, m \quad (4.14)$$

formülü ile hesaplanır. Bu formülden,  $A_i = A^*$  olduğunda  $C_{i^*} = 1$  olacağı ve  $A_i = A^-$  olduğunda da  $C_{i-} = 0$  olacağı açıkça görülmektedir.

#### 6. Adım: Alternatiflerin Benzerliğe Göre Sıralanması

En iyi (optimal) alternatif,  $C_{i^*}$  değerlerinin büyükten küçüğe doğru sıralanması sonucu ortaya çıkar. Yani en iyi alternatif ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözüme en uzak mesafede olandır.

#### 4.2.1. Literatürde TOPSIS Yöntemi İle Çözülen Problemler

Tzeng ve Lin (1996), yeni bir yerleşim alanı kurulurken acil durumlarda kullanılan hastahane, polis merkezi, itfaiye gibi kuruluşların yer planlamasının iyi yapılmasının insan hayatı için önemli olduğunu belirttikleri çalışmalarında TOPSIS yöntemi ile bulanık ortamda bu kuruluşların yerlerini belirlemişlerdir.

Kim ve diğ. (1997), geleneksel finansal performans ölçüm sistemlerinin günümüzün ileri üretim sistemlerini değerlendirmede yetersiz kaldığını belirttikleri çalışmalarında tüm finansal ve finansal olmayan kriterlerin aynı anda değerlendirildiği yeni bir performans ölçüm sistemi önermişlerdir. Sistemleri; önemli aktivitelerin Pareto analizi ile belirlenmesi, seçilen aktivitelerin çok ölçütlü performanslarının ölçümü, bütünlük ve göreceli performansların TOPSIS yöntemi ile hesaplanması ve duyarlılık analizi ile uygun hareket biçiminin seçimi aşamalarını içermektedir. Teklif ettikleri sistemin etkinliğini bir uygulama ile göstermişlerdir.

Parkan ve Wu (1998), üretim sektöründe proses seçiminin rekabet yaratan önemli bir stratejik düşünce olduğunu belirttikleri çalışmalarında iki basit ve etkin yöntemle proses seçimi yapmışlardır. Objektif ve subjektif tüm ölçütlerin seçim aşamasında kullanılmasını imkan veren ÇÖKV yöntemlerinden TOPSIS ile performans ölçüm yöntemi olan OCRA (Operational Competitiveness Rating) kullanılarak proses seçimi yapılmıştır. Bu iki yöntemin de uzaklık ölçümüne dayandığı ve birbiriyle benzerliklerinin çok olmasından dolayı birbirinin yerine kullanılabileceğini göstermişlerdir.

Deng ve diğ. (2000), makalelerinde çok amaçlı analiz modeli olarak şirketler arasında karşılaştırma prosesini formülize etmişler ve problemin çözümünde modifiye ettikleri TOPSIS yöntemini kullanmışlardır. Modifiye edilmiş TOPSIS yöntemi ile finansal oranlar ile değerlendirme sonuçları arasındaki ilişkiyi tanımladıktan sonra çalışmalarında her bir finansal orana göre şirketler arasındaki performans farklılıklarını ortaya koymuşlardır. Yaklaşımlarını Çin’deki şirketler arasındaki karşılaştırmalar için uygulamışlardır. Sonuçta kullanılan finansal oranlar ile karar için yeterli bilginin sağlanabildiğini göstermişlerdir.

Abo-Sinba (2000), TOPSIS yöntemini Çok Amaçlı Programlama (ÇAP) problemlerinin çözümünde kullanmıştır. TOPSIS yöntemi ile ideal çözüme ve negatif ideal çözüme olan uzaklık hesaplandıktan sonra bulanık kümelerdeki üyelik fonksiyonu kullanılarak Dinamik Programlama problemi çözülmüştür.

Chen (2000) TOPSIS yöntemini bulanık ortamda çok ölçütlü grup karar verme metodolojisi geliştirmek için kullanmıştır. Karar datalarındaki ve grup karar verme yöntemindeki bulanıklıktan dolayı, dilsel değişkenleri ölçümlerde ve ağırlıkların belirlenmesinde kullanarak bulanık karar matrisini oluşturulmuştur. TOPSIS yöntemi ile uzaklıklar hesaplanarak en iyi çözüm bulunmuştur. Yaklaşımını bir şirket için sistem mühendisi seçiminde uygulayarak göstermiştir.

#### **4.3. Seçime Tabi Tutulacak Çok Amaçlı Savaş Uçakları**

İnsanlarda, kendi varlıklarının bilincine vardıkları çağlardan beri uçuş hayali doğmuş ve sürekli gelişmiştir. 1783 yılına gelindiğinde ilk defa Mongolfier kardeşlerin içi sıcak hava ile dolu bir balonla uçtuklarını ve bundan sonra uzun bir dönem balon ve planör türü motorsuz hava araçları ile uçuş deneylerinin devam ettiğini bilmekteyiz. Ancak havacılığın gerçek miladı sayılabilecek olay, 1903 yılında Wright kardeşlerin çift kanat ve çift pervaneli tek motorlu uçakları ile uçmalarıdır.

Dünya havacılığındaki gelişmeler, insanların bilgi seviyelerinin artması ve teknolojik buluşları ile birlikte son yıllarda büyük bir hız kazanmıştır. İnsanlar, yeni teknolojiler sayesinde sesten hızlı uçaklarla uçabilmekte ve uzay gezileri mümkün olabilmektedir. Havacılıktaki gelişmeler ile birlikte askeri amaçlı kullanılan uçaklarda da büyük gelişmeler olmaktadır. Havacılıktaki gelişmeler ile birlikte, askeri amaçlı kullanılan uçakların aerodinamik yapılarında, aviyonik sistemlerinde, elektronik ve silah sistemlerinde de büyük yenilikler ve değişimler olmaktadır.

Askeri amaçlı kullanılan her türlü uçak, askeri uçak kapsamındadır. Askeri uçaklar, gelişen teknoloji çerçevesinde değişik sınıflandırmalara tabi tutulmaktadır. Askeri uçaklar; av uçakları, bombardıman uçakları, taarruz ve karakol uçakları, keşif uçakları, ulaştırma uçakları, eğitim uçakları, helikopterler olarak sınıflandırılabilir. Av uçakları, av önleme uçakları ve av bombardıman uçakları

olarak görev yapabilen uçaklardır. Av önleme uçakları, her türlü hava koşulunda gece ve gündüz düşman uçaklarının taciz ve taarruzlarını önleyen savaş uçaklarıdır. Av bombardıman uçakları ise, hem bombardıman hem de önleme görevi yapabilen savaş uçaklarıdır (Çeltik, 1991).

Hava Kuvvetleri, barış şartları da dahil olmak üzere gece, gündüz ve her türlü hava şartlarında ülke hava sahasının savunmasını en üst düzeyde sağlamak, gerginlik durumlarında baskına uğramamak ve mukabelede bulunabilmek, gerektiğinde gerekli taarruz ve savunmanın gerektirdiği stratejik, taktik ve özel hava hareketini icra etmek durumundadır (Balanlı, 1987).

Bu görevleri yerine getirebilmek için Hava Kuvvetleri, savaş uçaklarını bu görevleri yerine getirebilecek şekilde, eğer yurt içinde üretebiliyorsa yurt içinde üretmek, üretemiyorsa değişik alternatifleri düşünerek bünyesinde bulundurmak zorundadır. Biz bu çalışmada, yukarıda belirtilen görevleri yerine getirebilecek, örneğin Türk Hava Kuvvetleri envanterinde bulunan F-16 savaş uçağı gibi, anlatılan ÇÖKV yöntemlerini kullanarak çok amaçlı (multi-role) savaş uçağı seçimini yapacağız. Öncelikle seçime tabi tutulacak çok amaçlı savaş uçaklarının özellikleri ve teknik bilgileri verilecektir.

#### **4.3.1. JAS-39 (Gripen)**

JAS-39, İsveç firması SAAB, Ericsson Microwave, Volvo Aero C. ve Celsius Aerotech şirketleri tarafından İsveç Hava Kuvvetleri için tasarlanmış dördüncü nesil savaş uçağıdır. JAS kodu İsveççe’ de “Jakt” (Av), “Attack” (Taarruz) ve “Spaning” (foto-keşif) kelimelerinin baş harflerinden meydana gelmektedir. Bunun da manası her Gripen’ in bu üç görevi de yerine getirebileceğidir.

Gripen tek motoru, kuyruklu delta kanatları ve kanardları ile manevrası yüksek bir uçaktır. Uçuş özellikleri ve performansı, av görevlerinde büyük gereksinim duyulan hız, ivme ve dönüş yeteneği için optimize edilmiştir. Delta kanatlara ilaveten kanard kanatçıklar iniş ve kalkışta çok iyi performans, uçuşta da üstün karakteristikler sağlamaktadır. Üç adet MFD (Multi Function Display) ve geniş açılı HUD (Head Up Display)’ un da bulunduğu aviyonikler programlanmış bir uçuşu mümkün kılmaktadır.

JAS-39 bilgi temelli, software kontrollü aviyonik sistemleri, modern donanımı, ileri aerodinamik dizaynı, güçlendirilmiş motoru ve bütünleşik silah sistemleri ile tam bir çok amaçlı savaş uçağıdır. Gripen, yüksek çeviklik, gelişmiş çok amaçlı hedef tespit radarı, modern silahları ile birlikte düşük görünürlük ve elektronik harp yeteneklerine sahiptir.

Avrupa’ da ki küçük hava kuvvetlerinin ve Avrupa dışındaki hava kuvvetlerinin tercih ettikleri ideal bir uçaktır. Tek bir uçakla pek çok görevi düşük maliyetlerle yerine getirebilmek mümkün olmaktadır. Uluslararası kullanıcılarda bu kritere önem vermektedirler. AWACS uçaklarıyla harekata katılabilir. Ericsson radarı su üstü ve kara hedeflerini de tespit edip ayırabilir.

Silah donanımı, 27 mm Cannon burun topu, orta menzilli gelişmiş hava-hava füzeleri (AMRAAM), kısa menzilli gelişmiş hava-hava füzeleri (SRAAM), gemilere karşı füzeler, gelişmiş hava-yer füzeleri (Maverick, Rocket podları) ve İngiliz ve ABD alt sistemleri de mevcuttur. Dış talep sebebiyle havada yakıt ikmal yeteneğı de kazandırılıyor.

Gripen önceki nesil savaş uçaklarına karşı çok daha ileri esneklik sağlamakta, işletme masrafları ise daha düşük olmaktadır. Buna rağmen bütün görevlerde daha iyi bir performans sağlamakta ve satın alınması ve idame ettirilmesi pahalı bir uçak olmamaktadır. Aşağıda JAS-39 savaş uçağının teknik bilgileri verilmiştir.

|                 |                                      |
|-----------------|--------------------------------------|
| Tipi            | : Tek kişilik çok amaçlı savaş uçağı |
| Üretici Şirket  | : SAAB (İsveç)                       |
| Motor Tipi      | : Tek Volvo RM12 motoru              |
| Güç             | : 12150 pound (54 kN)                |
| Uzunluk         | : 46.26 feet (14.10 metre)           |
| Yükseklik       | : 14.75 feet (4.50 metre)            |
| Kanat Genişliğı | : 27.56 feet (8.4 metre)             |
| Maximum Hız     | : 2.0 Mach (2387.678 km/s)           |
| Tavan           | : 50000 feet (15240 metre)           |

|                         |                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Maximum Menzil          | : 1620 deniz mili (3000 km)                                                                                                                                                                                                                               |
| Maximum Kalkış Ağırlığı | : 30865 pound (14000 kg)                                                                                                                                                                                                                                  |
| Satış Fiyatı            | : 55 milyon \$                                                                                                                                                                                                                                            |
| Silahları               | : 14330 pound (6500 kg) harici yük taşıyıcı: 1 x 27mm cannon burun topu, gelişmiş orta menzil füzeler (AMRAAM), Sidewinder veya yeni nesil kısa menzil füzeler (SRAAM) hava-hava; Sea-Skimming gemilere karşı füzeler, Maverick, Rocket podları hava-yer. |

#### 4.3.2. Eurofighter (Typhoon)

Eurofighter, BAE (İngiltere), Aeritalia (İtalya), MBB ve Dornier (Almanya) ve CASA (İspanya) tarafından yürütülen en son çok uluslu Avrupa projesidir. İki motorlu olan bu uçak, F-22' nin yeteneklerinin %90' ına sahip, fakat stealth radar tarafından görülemez yeteneği yoktur. Fly-by-Wire elektrikli kumanda sistemi sayesinde pilotun uçağı aşırı yüklerle kumanda etmesi ve uçağın stall olması önlenmiştir. Önemli düğmelerin gaz kolu ve lövyeye üzerine konmasıyla pilota kolaylık sağlanmıştır. Eurofighter, MFD dijital göstergeler, HUD ve kask üzerinden ASRAAM füze hedeflenmesi gibi modern teknolojilerde sahiptir.

Av-önleme yeteneği ağırlıklı olarak tasarlanan uçak, Storm Shadow (SCALP) ve Taurus stand-off hava-yer silahlarıyla taarruz yeteneği artırılmıştır. Dizayn ömrü 30 yıl veya 6.000 saattir. 53 derecelik açılı, kuyruksuz delta kanatları ve buruna monteli küçük kanatçıklar ve dijital uçuş sistemi uçağı yüksek manevra ve kısa mesafe iniş-kalkış yeteneği kazandırmıştır. Radar izinin düşük olması için dizayn edilen uçakta, karbon-fiber kompozit malzemeler kullanılmıştır. Elektronik harp kabiliyeti klasik chaff ve flare birlikte, ECM ve ESM füze ve lazer ikazlarını da kapsamaktadır.

Uçak, BVR (Beyond Visual Range) gözle görülemeyen mesafede hedefler için füzeler atabilmekte, yakın hava muharebesi ve hava-yer hedeflerine taarruz yapabilmektedir. Uzun ve orta menzilli radar güdümlü füzeler, IR güdümlü kısa menzilli füzeler, hava-yer için gelişmiş füzeler, gemilere karşı füzeler, lazer güdümlü bombalar atabilmektedir.

Ana iniş takımları arası mesafe geniş ve Mirage 2000' lerde olduğu gibi iniş takımları karşılıklı olarak içeri alınır. Ön tekerlek ise geriye doğru içe alınır. Dolayısı ile gövde altında ağır yük taşıma kapasitesi belirsizdir. STEALTH F-22 ve JSF' nin dahili silah istasyonları Eurofigther' da yoktur.Gövde altındaki silah istasyonlarının hava-hava silahları için daha elverişli olduğu belirtiliyor. Aşağıda Eurofighter savaş uçağının teknik bilgileri verilmiştir.

|                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tipi                    | : Tek kişilik çok amaçlı savaş uçağı                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Üretici Şirket          | : Ortak üretim (İngiltere, Almanya, İtalya, İspanya)                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Motor Tipi              | : İki adet Eurojet EJ200 turbofan motoru                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Güç                     | : Her bir motor 13500 pound (60 kN)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Uzunluk                 | : 47.58 feet (14.50 metre)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Yükseklik               | : 21.00 feet (6.40 metre)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Kanat Genişliği         | : 34.46 feet (10.50 metre)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Maximum Hız             | : 2.2 Mach (2626.446 km/s)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Tavan                   | : 55000 feet (16764 metre)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Maximum Menzil          | : 1200 deniz mili (2224 km)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Maximum Kalkış Ağırlığı | : 50706 pound (23,000 kg)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Satış Fiyatı            | : 50 milyon \$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Silahları               | : 17640 pound (8000 kg) harici yük taşır: 1 adet 27-mm Mauser top, S-225 (radar güdümlü), AIM-120 (radar güdümlü), ASRAAM (infra-red), AIM-9M (infra-red) füzeler hava-hava; AGM-65 Maverick, ALARM (anti-radar), Sea Eagle (gemilere karşı), Paveway (laser güdümlü) bombalar, CR-V7 rocket, BL755 cluster bombları, Durandal, ve diğer klasik bombalar hava-yer. |

#### 4.3.3. X-35 (JSF)

Lockheed-Martin (ABD) şirketi tarafından üretilecek olan X-35 JSF (Joint Strike Fighter) müşterek saldırı uçağı, havadan-yere görevleri için optimize edilmiş 21 nci yüzyılın 5 nci nesil çok amaçlı savaş uçağıdır. Uygun maliyetle USAF, ABD Donanması, Deniz Kuvvetleri ve müttefiklerin ihtiyaçlarını karşılamak üzere tasarlanmıştır. JSF, F-22 için geliştirilmiş birçok teknolojiden de yararlanılarak hava muharebesi yetenekleri artırılmış, müşterek hareketlerde kullanılabilecek, bakım idame etme maliyetleri azaltılmış bir uçaktır.

JSF' nin temel dizayn amaçları idame ettirilebilirlik, düşmana karşı tehdit, desteklenebilirlik ve düşük maliyetli olmasıdır. Uçak üzerindeki sensör sistemleri sayesinde geleceğin her tür silahını atabilecek yetenekte olması, stealth yeteneği sayesinde düşman hava sahasını kolayca girip hedeflerini yok edebilmesi, lojistik ihtiyaçlarının ve bakım idame ettirme maliyetleriyle elde etme maliyetlerinin azaltılmış olması, ortak hareketlerde kullanılabilecek esnekliğe sahip olması ve her kuvvetin ihtiyacına yönelik farklı tasarımları olması JSF' nin dikkat çekici özellikleridir.

USAF, F-16 ve A-10'u değiştirmek ve F-22' yi takviye etmek için özellikle havadan-karaya görevlere uygun olduğu için JSF' yi tercih etmektedir. JSF' nin USAF varyasyonu en az mühendislik gelişimlerini içermektedir. Uçağın dik kalkış ve hovering gibi özellikleri olmayacağı gibi uçak gemisinde konumlandırılmış uçaklar için gerekli karakteristik ve bakım hizmetlerine gerek görülmeyecektir.

USN, F/A-18E/F' leri takviye etmek için "stealth" özelliği olan JSF' yi tercih etmektedir. Uçak gemilerinde görev yapabilecek şekilde tasarlanmıştır. Daha düşük hızlarda yaklaşımı sağlayabilmek için uçak, daha geniş kanatlı ve kuyruk kontrol yüzeyli yapılmıştır. İç yapısı da katapult fırlatma ve kanca ile inişlere dayanıklı şekilde güçlendirilmiştir. Uçakta, uçak gemilerine uygun kuyruk kancası bulunmaktadır. İniş takımları daha uzun süspansiyonlu ve daha fazla yük kapasitelidir. Dahili yakıtla F-18C' nin iki misli menzile sahip olacaktır

USMC, AV-8B ve F/A-18A/C/D' leri değiştirmek için kısa kalkış ve dikey inişli (STOVL) JSF' tercih etmektedir. Deniz birliklerin talebi diğerlerinden kısa kalkış ve dikey iniş özelliği ile ayrılmaktadır.

İngiltere, STOVL özellikli süpersonik uçağı Sea Harrier' ları değiştirmek için JSF almayı planlamaktadır. Kraliyet Donanması'nın JSF' leri U.S. Marin' lerinkine çok benzer olacaktır.

Lockheed Martin JSF'de, kısa kalkış ve dikey iniş (STOVL) için motor şaftı ile tahrikli bir dikey kalkış fanı sistemi kullanmaktadır. Uçakta Rolls-Royce/Allison yapımı, şaft tahrikli, modifiye edilmiş Pratt & Whitney F119 motoruna akuple edilecektir. Aşağıda JSF savaş uçağının teknik bilgileri verilmiştir.

|                    |                                                                                                                                                                         |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tipi               | : Tek kişilik müşterek saldırı uçağı                                                                                                                                    |
| Üretici Şirket     | : Lockheed-Martin (ABD)                                                                                                                                                 |
| Motor Tipi         | : Tek Pratt & Whitney F119-611 turbofan motoru                                                                                                                          |
| Güç                | : 18000 pound (80 kN)                                                                                                                                                   |
| Uzunluk            | : 50.80 feet (15.50 metre)                                                                                                                                              |
| Yükseklik          | : 13.33 feet (4.07 metre)                                                                                                                                               |
| Kanat Genişliği    | : 43.00 feet (13.12 metre)                                                                                                                                              |
| Maximum Hız        | : 1.6 Mach (1910.143 km/s)                                                                                                                                              |
| Tavan              | : 50000 feet (15240 metre)                                                                                                                                              |
| Maximum Menzil     | : 1620 deniz mili (3000 km)                                                                                                                                             |
| Maximum Kalkış Ağ. | : 50000 pound (22680 kg)                                                                                                                                                |
| Satış Fiyatı       | : 38 milyon \$                                                                                                                                                          |
| Silahları          | : 15000 pound (6805 kg) harici yük taşıyıcı: 1 adet 20 mm. M61 top, Aim-9X, ASRAAM, AIM-120 füzeleri hava-hava; AGM-88, AGM-154 füzeleri, GBU-31/32 bombaları hava-yer. |

#### **4.3.4. F/A-18E/F (Super Hornet)**

Boeing (Mac Donnell Douglas) (ABD) firması tarafından üretilen F/A-18 (Hornet) tek ve iki kişilik, iki motorlu, çok amaçlı bir av/saldırı uçağı olup kara üslerinden veya uçak gemilerinden hareket edebilir. F/A-18 değişik görevleri yerine

getirebilir; bunların içinde hava üstünlük, refakat, düşman savunmalarını susturma, keşif, ileri hat hava kontrolü, yakın ve derin hava desteği, gündüz ve gece saldırı söylenebilir. Hornetler F-4 Phantom II av, A-7 Corsair hafiftaarruz ve A-6 Intruderların yerini almıştır (bu uçaklar 1990' da emekliye ayrılmıştır).

YF-17' nin konfigürasyonu muhafaza edilmesine rağmen F-18 yepyeni bir uçak olmuştur. Tek kişilik av ve saldırı görev yeteneklerini yerine getirebilmek için dijital bilgisayarlardaki son teknolojik gelişmelerden yararlanılmıştır. Dijital kontrol sistemleri sayesinde uçak manevra kabiliyeti artırılmış ve pilota kullanma kolaylığı sağlanarak silah sistemlerine konsantre olması kolaylaştırılmıştır. Katod tüplü göstergeleri içeren kokpit ekranları, simulatörlerde pilotların tamamen gelişmesini sağlayan uygun kumanda teknikleri ile belirtilen görevleri yerine getirebilecek tek kişilik uygulama gerçekleştirilmiştir.

Tek kişilik F/A-18A ile iki kişilik F/A-18B 1983' de hizmete girmiştir. Bu Hornet' ler AMRAAM orta menzilli havadan havaya gelişmiş füze sistemleri ve havadan karaya Maverick füzelerini taşıyabiliyordu. İki yıl sonra da bu uçakların gece görev yetenekleri geliştirilmiştir. Bu uçaklarda bulunan gelişmiş yer haritalama radarı sayesinde kötü hava şartlarında dahi hedeflerin bulunup yok edilmesi sağlanmıştır.

Çok görevli F/A-18E/F (Super Hornet) savaş yetenekleri ispatlanmış olan F/A-18C/D' nin geliştirilmiş bir modelidir. Emekliye ayrılmış A-6 ile kıyaslandığında, filo komutanına menzil, dayanıklılık ve silah çeşitliliği sunabilmektedir. Yeni modeller öncekilerden 1,28 metre daha uzundur, %25 daha geniş kanat alanına sahiptir ve %33 daha fazla dahili yakıt taşıyabilmektedir. Bu da ona menzilde %41, havada kalmada %50 artış sağlamaktadır. Daha büyük gövde, ek silah istasyonları ve yükler sebebiyle kanatlar daha kalın ve güçlendirilmiştir.Yapımında radar kesitinin düşük olmasına dikkat edilmiştir. Ancak radar emici madde (RAM) kullanımı azdır.

İki adet ilave silah istasyonuna sahiptir. Bu da havadan havaya ve havadan karaya silah yükünde esneklik sağlamaktadır. Ayrıca JDAM ve JSOW gibi akıllı mühimmatta taşıyabilmektedir.

Super Hornet yaklaşık 8047 kg yükü 11 harici istasyonda taşıyabilmektedir. Her türlü hava şartlarında görev yapabilen havadan havaya radara, güdümlü ve klasik silahların hassas sevki için kontrol sistemlerine sahiptir. Uçakta iki kanat ucu istasyonu, yakıt tankları veya havadan karaya füzeler için her kanat altında dört istasyon, Sparrowlar veya algılayıcılar için gövde altında kenarlarda iki istasyon ve bir de gövde altında ortada yakıt tankı veya havadan karaya silahlar için bir istasyon bulunmaktadır. Gövde içinde, burun kısmında da bir adet 20mm M61A1 Vulcan top vardır.

İki adet General Electric F414 turbofan kullanılarak motor itiş gücü 159,59kN' dan 195,30kN' a çıkartılmıştır. F/A-18C/D' lerde düşük görüntülenme teknolojisi uygulanmakla birlikte F/A-18E/F' lerde hayatta kalabilme olanaklarının optimizasyonu ön plana alınarak dizayn edilmiştir.

Hughes firmasının Gelişmiş Hedefleme İleri Bakan Infrared (ATFLIR) radarı F/A-18E/F' ye ait olmakla beraber daha önceki modellere de uygulanacaktır. Aşağıda F/A-18E/F savaş uçağının teknik bilgileri verilmiştir.

|                    |                                              |
|--------------------|----------------------------------------------|
| Tipi               | : Tek ve çift kişilik çok amaçlı savaş uçağı |
| Üretici Şirket     | : Boeing [McDonnell Douglas Aerospace] (ABD) |
| Motor Tipi         | : İki adet GE F414-400 turbofan motoru       |
| Güç                | : Her bir motor 22000 pound (97.8 kN)        |
| Uzunluk            | : 60.1 feet (18.31 metre)                    |
| Yükseklik          | : 16.01 feet (4.88 metre)                    |
| Kanat Genişliği    | : 44.7 feet (13.62 metre)                    |
| Maximum Hız        | : 1.8 Mach (2148.911 km/s)                   |
| Tavan              | : 50000 feet (15240 metre)                   |
| Maximum Menzil     | : 1944 deniz mili ( 3600 km)                 |
| Maximum Kalkış Ağ. | : 66000 pound (29.935 kg)                    |
| Satış Fiyatı       | : 60 milyon \$                               |

Silahları : 17750 pound (8047 kg) harici yük taşır: 1 adet 20 mm. M61A1/A2 çok namlulu top, AGM-45, AGM-62, AGM-65 , AGM-84, AGM-88, AGM-123, AGM-154 füzeleri, lazer güdümlü GBU-10/12/24, EO güdümlü GBU-15, GBU-29/30/31/32/35 JDAM, Klasik ve Cluster bombalar hava-yer; Aim-7,9,120 füzeleri hava-hava.

#### **4.3.5. F-15E (Eagle)**

Boeing (Mac Donnell Douglas) (ABD) firması tarafından üretilen F-15E (Eagle), çift kişilik, çift motorlu, 2.5 Mach sürata ulaşabilen her türlü hava şartlarında gündüz-gece, hava-hava ve hava-yer görevleri yapabilen, yüksek manevra yetenekli ve hava muharebelerinde üstünlük sağlamak ve yer hedeflerini yok etmek üzere tasarlanmış bir savaş uçağıdır.

F-15E (Eagle) hava üstünlüğünü, manevra yeteneği, ivme, menzil, silah donanımı ve aviyoniklerinin karışımı ile sağlamaktadır. F-15E' nin elektronik sistemi ve silah donanımı, dost veya düşman topraklarında görev yaparken birden fazla düşman uçağını tespit, teşhis, bilgi derlemesi, izleme ve taarruza uygundur. Silah donanımı bir kişinin güvenli ve verimli bir şekilde hava muharebesi yapmasına imkan verecek tarzdadır. Düşman hatlarına sızabilir, mevcut veya tasarlanmış düşman uçaklarını yok edebilir.

F-15E' yi diğer savaş uçaklarından ayıran özellik, çok görevli (multi-mission) aviyonik sistemlerine sahip olmasıdır. HUD' u (Head-Up-Display), gelişmiş radarı, INS, uçuş aletleri, UHF muhabere sistemi, taktik seyrüsefer sistemi ve aletli iniş sistemleri gelişmiş aviyonikleridir. Ayrıca gelişmiş taktik elektronik harp sistemlerine de sahiptir. Düşman uçaklarının radarlarını karıştırma, radarıyla hedef tespit teşhis etme, dost/düşman uçaklarını ayırt etme, radar ikazlarını alma, chaff/flare sistemleri gelişmiş ECM kabiliyetini göstermektedir.

F-15E her tür hava-hava, hava-yer mühimmatı atabilecek yeteneğe sahiptir. Elektro-optik, lazer güdümlü, İnfrared (IR) güdümlü bombalar ve gelişmiş orta menzilli hava-hava füzeleri atabilir. Gece uçuş yapabilir ve

LANTIRN sayesinde gece hedeflerini vurabilir. Aşağıda F-15E savaş uçağının teknik bilgileri verilmiştir.

|                         |                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tipi                    | : Çift kişilik çok amaçlı savaş uçağı                                                                                                                                                                                                                       |
| Üretici Şirket          | : Boeing [McDonnell Douglas Aerospace] (ABD)                                                                                                                                                                                                                |
| Motor Tipi              | : İki adet Pratt & Whitney F100-PW-100 turbofan motor                                                                                                                                                                                                       |
| Güç                     | : Her bir motor 25000 pound (11250 kg)                                                                                                                                                                                                                      |
| Uzunluk                 | : 63.9 feet (19.43 metre)                                                                                                                                                                                                                                   |
| Yükseklik               | : 18.8 feet (5.69 metre)                                                                                                                                                                                                                                    |
| Kanat Genişliği         | : 42.1 feet (13.06 metre)                                                                                                                                                                                                                                   |
| Maximum Hız             | : 2.5 Mach (2984.598 km/s)                                                                                                                                                                                                                                  |
| Tavan                   | : 60000 feet (18288 metre)                                                                                                                                                                                                                                  |
| Maximum Menzil          | : 2400 deniz mili (4445 km)                                                                                                                                                                                                                                 |
| Maximum Kalkış Ağırlığı | : 81000 pound (36740 kg)                                                                                                                                                                                                                                    |
| Satış Fiyatı            | : 43 Milyon \$                                                                                                                                                                                                                                              |
| Silahları               | : 24500 pound (11115 kg) harici yük taşır: 1 adet 20 mm M61A1 çok namlulu top, 8 x AA füze (AIM-120, AIM-9, AIM-7) hava-hava; 1 x 20mm MG, 4 x AA füze (AIM-120, AIM-9, AIM-7), lazer güdümlü bombalar, AGM-65, AGM-88, AGM-142, LGB, JSOW, JDAM. hava-yer. |

#### **4.4. Savaş Uçağı Seçiminde Kullanılacak Değerlendirme Ölçütleri**

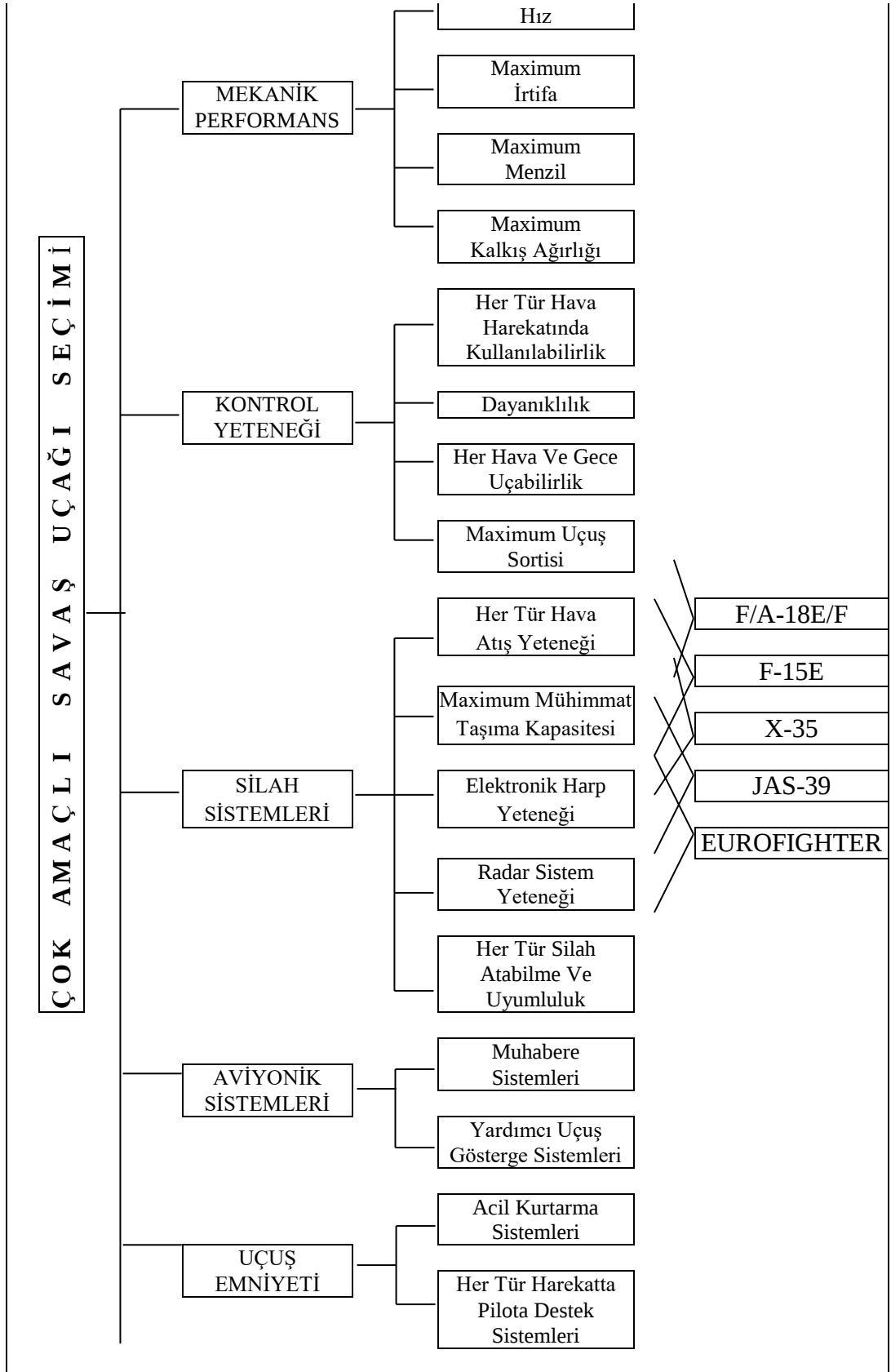
Savaş uçakları gibi üzerinde en ileri teknoloji ürünü karmaşık ve bütünleşik silah sistemleri, software kontrollü aviyonik sistemleri, elektronik harp sistemleri, radar sistemleri, muhabere ve uçuş kontrol sistemleri, modern donanımı, ileri aerodinamik dizaynı, gelişmiş motorları, kalkış/iniş sistemleri ve acil kurtarma sistemleri içeren hava araçlarını değerlendirmek gerçekten zor bir süreç ve çok boyutlu bir çalışma gerektirmektedir.

Değerlendirme aşamasında çok sayıda sayısal ve sayısal olmayan ölçütün olduğu bu süreçte, ölçütlerin sağlıklı belirlenmesi önemli bir sorundur. Bu çalışmamızda kullanacağımız ölçütleri, kapsamlı bir literatür araştırması yaptıktan sonra Türk Hava Kuvvetleri' nin değişik birliklerinde savaş uçaklarında uçan pilotlarla, savaş uçaklarının bakım ve lojistik ihtiyaçlarını karşılayan subaylarla ve teknisyen astsubaylarla, Savunma Sanayi Müsteşarlığı ve TAI yetkilileriyle görüşmeler yaparak ve uçak üretici şirketlerinin internetteki sitelerinden faydalanarak tespit ettik. Savaş uçaklarını değerlendirebilmek için elde ettiğimiz onlarca ölçütü Şekil 4.3.' de gösterilen altı ana ölçüt; “Mekanik Performans”, “Kontrol Yeteneği”, “Silah Sistemleri”, “Aviyonik Sistemleri”, “Uçuş Emniyeti”, “Ekonomiklik” ve 21 adet alt ölçütte topladık.

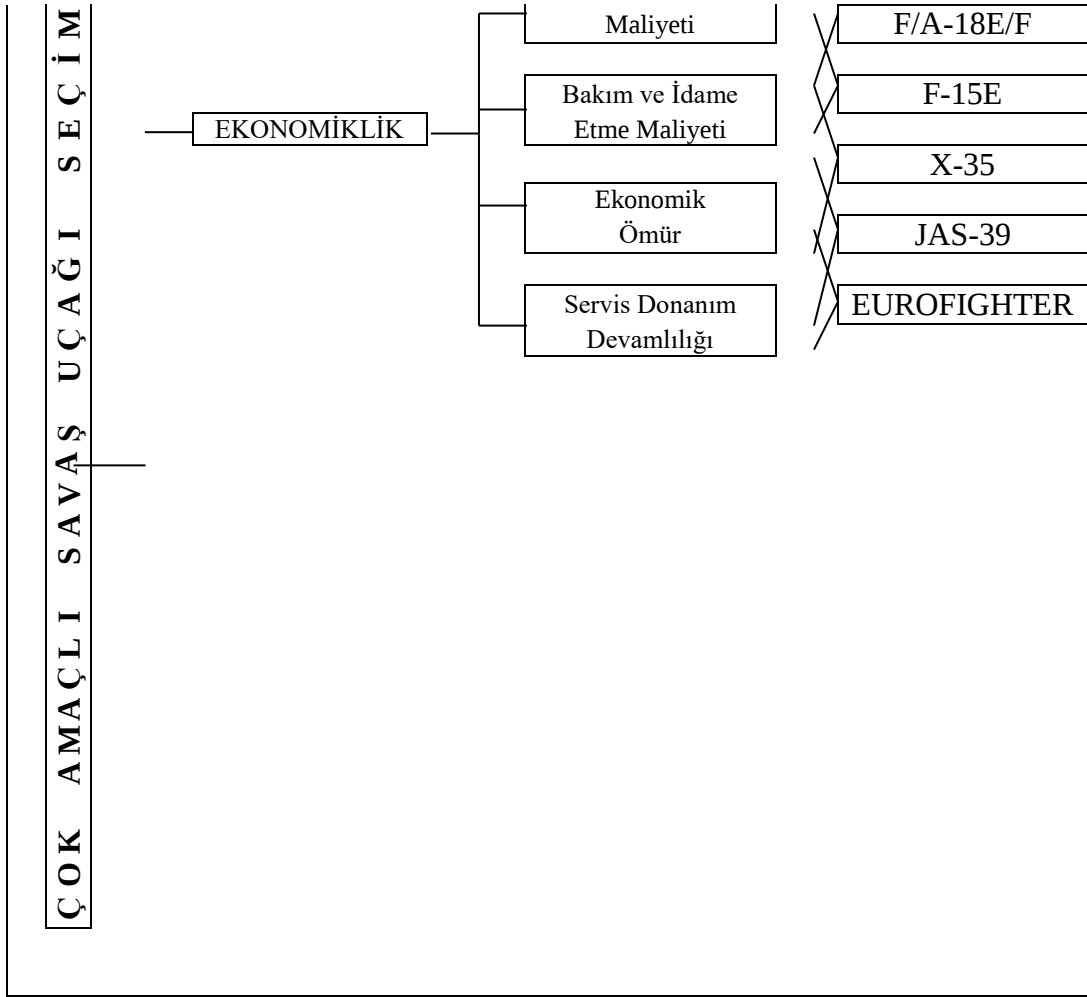
#### 4.5. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) İle Çok Amaçlı Savaş Uçağı Seçimi

AHP, karar analizi yöntemlerinden gerçek hayata en çok uyarlanıp başarılı sonuçlar vermiş olanıdır. Mimari, finans, portföy seçimi, enerji planlaması, harp oyunları, teknoloji transferi bunlardan bazılarıdır (Vargas, 1990). AHP, nitel ve nitel olmayan tüm faktörleri birleştirme ve değerlendirme olanağı sunarken, aynı zamanda tecrübe ve bilgiyi insan doğasının gereği olan karar verme süreci içerisinde değerlendirme fırsatı da sunmaktadır.

AHP' nin çok yaygın şekilde çok farklı alanlarda kullanılmasının bazı sebepleri vardır. Bunlar; insanlar AHP' yi doğal ve ilgi çekici bulmaktadırlar, ileri teorik ve teknik bilgi gerektirmemekte ve “ECPro”, “HIPRE3+”, “AutoMan”, “JavaAHP” ve “Expert Choice” gibi programlar sayesinde sonuçlar hemen elde edilebilmektedir (Ossadnik ve Lange, 1999), insanların duygu ve heyecanlarına



Şekil 4.3. Çok Amaçlı Savaş Uçağı Seçiminde Değerlendirme Ölçütleri Hiyerarşisi



Şekil 4.3. Çok Amaçlı Savaş Uçağı Seçiminde Değerlendirme Ölçütleri Hiyerarşisi. (Devamı)

dayalı bir yargı içermektedir, nitel ölçütlerle nitel olmayan ölçütleri birlikte değerlendirme olanağı sunmaktadır, grup karar vermeye uygundur, duyarlılık analizi yapmaya uygundur (Saaty, 1994b).

AHP her alanda çok yaygın kullanım alanı sunmaktadır. Bizde uygulamamızda bu yöntemi kullanarak en iyi sonuca ulaşmaya çalışacağız. Çok amaçlı savaş uçağı seçiminde yukarıda belirtilen değerlendirme ölçütleri hiyerarşisini oluşturduktan sonra ölçüm aşamasında EK A, B, C' de verilen anket (Canada ve Sullivan, 1989), Hava Kuvvetleri' nin değişik birliklerinde görev yapan pilot, ikmalci, bakımcı, teknisyen, öğretim görevlisi ve Savunma Sanayisi uzmanı toplam 36 kişi tarafından birbirinden bağımsız olarak bizzat yüz yüze görüşerek uygulanmıştır. Anket sonucunda elde edilen ikili karşılaştırmalar matrisleri değerlendirilmiş tutarlılık oranı (CR) %10 üzerinde olanlar tekrarlanmış ve

sonuçların geometrik ortalamaları alınarak ortalama ikili karşılaştırmalar matrisleri elde edilmiştir. Aczel ve Saaty (1983)' ye göre geometrik ortalama metodu yargıları birleştirmede en iyi ve tek yöntemdir.

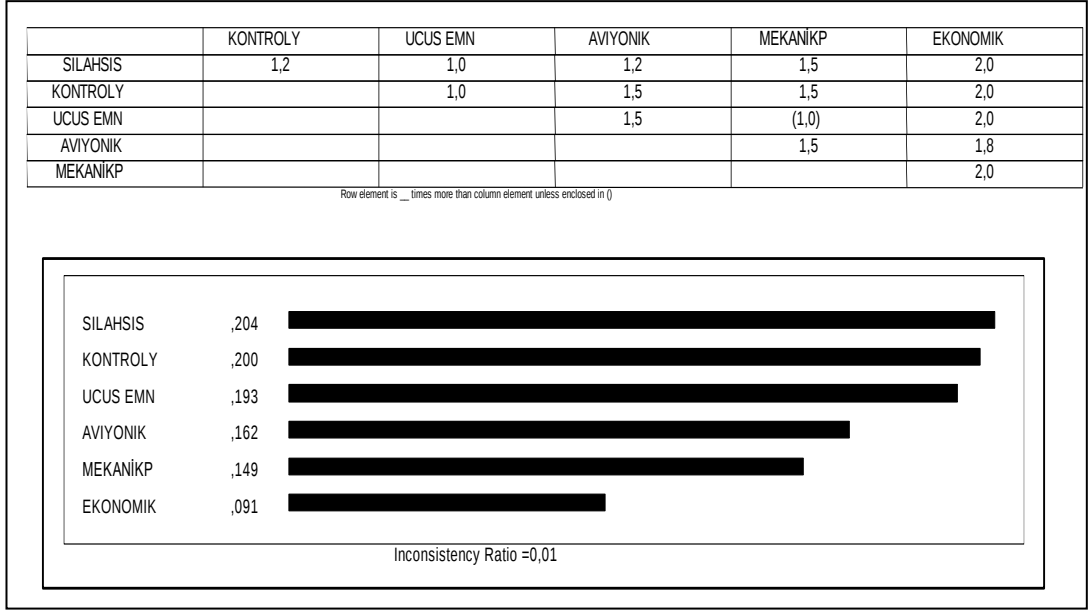
AHP yönteminin nitel ve nitel olmayan bilgilerin ikili karşılaştırmalar matrisleri oluşturulurken sayısal verilerin girilmesine olanak vermesi sayesinde seçim ölçütlerinden sayısal olarak ifade edilebilenler sayısal olarak girilmiştir. Modelde üçüncü düzey ölçütlerinden “Maximum Hız”, “Maximum İrtifa”, “Maximum Menzil”, “Maximum Kalkış Ağırlığı”, “Maximum Mühimmat Taşıma Kapasitesi”, “Satın Alma Maliyeti” için daha önce verilen sayısal değerler kullanılmıştır.

#### **4.5.1. Modelin Çözümü**

Çok amaçlı savaş uçağı seçiminin AHP ile çözümünde “Expert Choice” paket programı kullanılarak karar ve değerlendirmelerin analiz, sentez ve duyarlılık analizi yapılmıştır. Programının grup karar vermeye uygun olması onu ilgi çekici yapmıştır.

Şekil 4.4.' de birinci düzey ikili karşılaştırmalar matrisi ve görelî önemler vektörü tutarlılık oranı ile birlikte verilmiştir. Grup tarafından yapılan değerlendirmelerin geometrik ortalamaları hesaplanarak ortalama ikili karşılaştırmalar matrisi elde edilmiştir. Görelî önemler vektörünü bulmak için “Bölmeli En İyi Yöntem” kullanıldığında, öncelikle her sütun elemanları toplanır ve her bir eleman satır toplamına bölünür. Yani her sütun normalize edilir. Normalize edilen matrisin satır toplamı bulunur. Bulunan toplam sütun vektörü satır sayısına bölündüğünde “Görelî Önemler Vektörü” bulunur. Bulunan ağırlıklar sırasıyla; “Silah Sistemleri” 0.204, “Kontrol Yeteneğı” 0.200, “Uçuş Emniyeti” 0.193, “Aviyonik Sistemleri” 0.162, “Mekanik Performans” 0.149, “Ekonomiklik” 0.091' dir.

Şekillerdeki ikili karşılaştırmalar matrislerinde parantez içindeki değerler, satır elemanı sütun elemanından daha az öneme sahipse ( ) içinde gösterilmiştir. Bunun AHP' deki matematiksel anlamı daha önce anlatılmıştır.



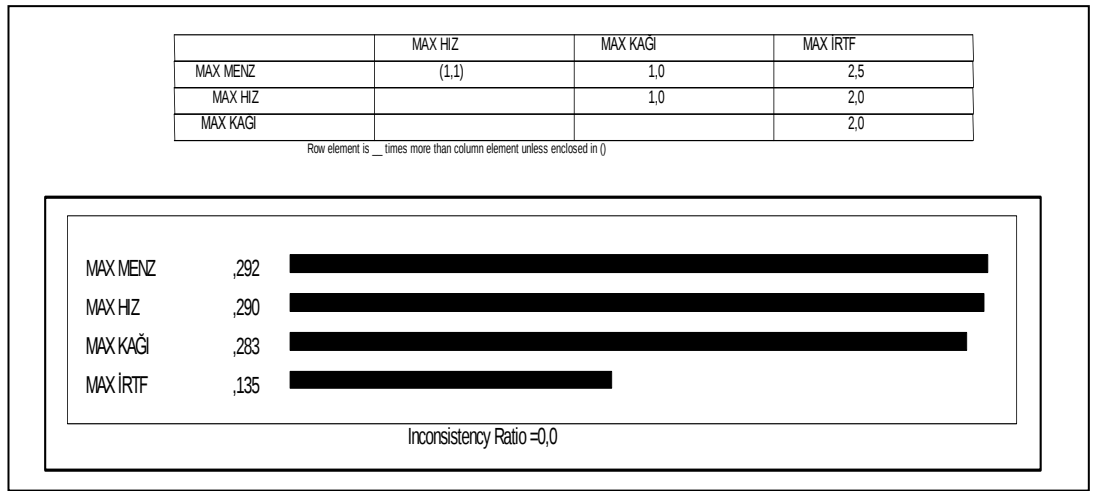
Şekil 4.4. Birinci Düzey İkili Karşılaştırmalar Matrisi Ve Göreli Önemler Vektörü

Elde edilen sonuçların tutarlılığını göstermek için tutarlılık göstergesinin hesaplanması gerekmektedir. İkili karşılaştırmalar matrisi A, elde edilen göreli önemler vektörü ile çarpılır ise yeni bir vektör elde edilir. Bu son vektörün birinci elemanı göreli önemler vektörünün birinci elemanına, ikinci elemanı ikincisine vs. bölünürse üçüncü bir vektör elde edilir. Elde edilen son vektörün elemanları toplanıp eleman sayısına bölünürse, en büyük özdeğer  $\lambda_{\max}$  için yaklaşık bir tahmin değeri elde edilir. Daha öncede belirtildiği gibi bu değer ne kadar  $n$  değerine yakın ise sonuç o kadar tutarlı olacaktır. Söz konusu tutarlılık oranı,  $(\lambda_{\max} - n)/(n - 1)$  olarak hesaplanan tutarlılık göstergesinin tesadüfîlik göstergesine (RI) bölünmesiyle bulunur. Birinci düzey ikili karşılaştırmalar matrisinin tutarlılık oranı  $CR=0.01$ ' dir. Bu matrisin  $\lambda_{\max}$  değeri 6.062' dir, bu da  $n = 6$  değerine çok yakındır. Sonuç olarak yapılan değerlendirmenin tutarlı olduğu görülmektedir.

Birinci düzey ikili karşılaştırmalar matrisi sonucuna göre, Çok Amaçlı Savaş Uçağı Seçiminde birinci düzey ölçütlerinin ağırlıklarının sırasıyla; “Silah Sistemleri”: %20.4, “Kontrol Yeteneği”: %20, “Uçuş Emniyeti”: %19.3, “Aviyonik Sistemleri”: %16.2, “Mekanik Performans”: %14.9, “Ekonomiklik”: %9.1 olduğu görülmektedir. Bu sonuçlardan iyi bir çok amaçlı savaş uçağı için silah sistemleri,

kontrol yeteneği ve uçuş emniyetinin öncelikli öneme sahip olduğu fakat diğer ölçütlerinde çok az öneme sahip olmadıkları anlaşılmaktadır.

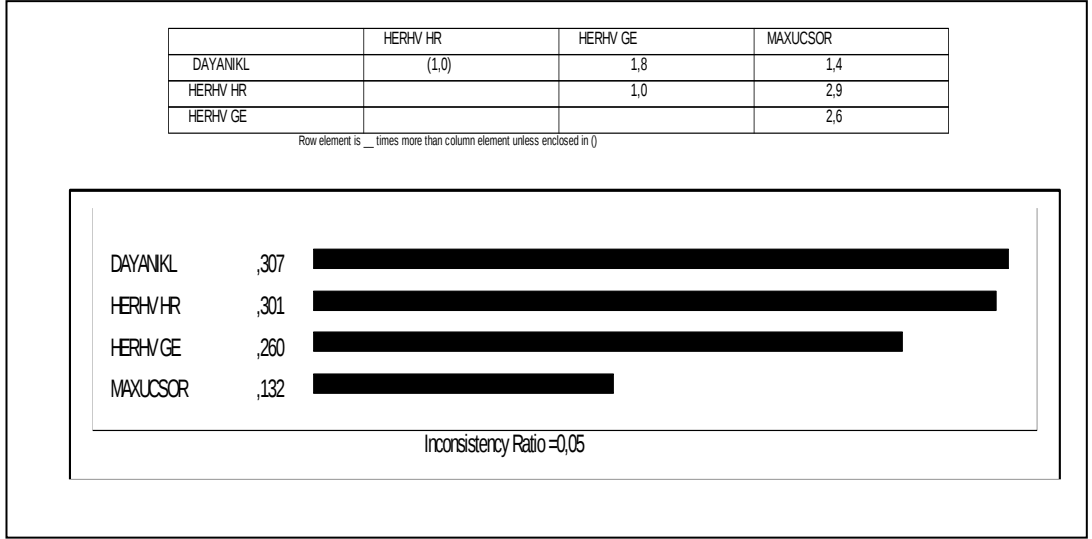
Şimdi de hiyerarşinin bir alt düzeyi olan ikinci düzey alt ölçütlerin ikili karşılaştırmalar matrislerinden faydalanarak bu düzey ölçütlerinin göreceli önemler vektörlerini bulacağız. Burada yapılan değerlendirmeler EK. B’ de verilen anket sonuçlarının geometrik ortalamalarına göre yapılmıştır. Şekillerde her bir ana ölçüte bağlı olarak ikinci düzey ölçütlerinin ortalama ikili karşılaştırmalar matrisleri ve göreceli önemler vektörleri tutarlılık oranları ile birlikte verilmiştir.



Şekil 4.5. “Mekanik Performans” Ölçütü Alt Düzeyinin İkili Karşılaştırmalar Matrisi

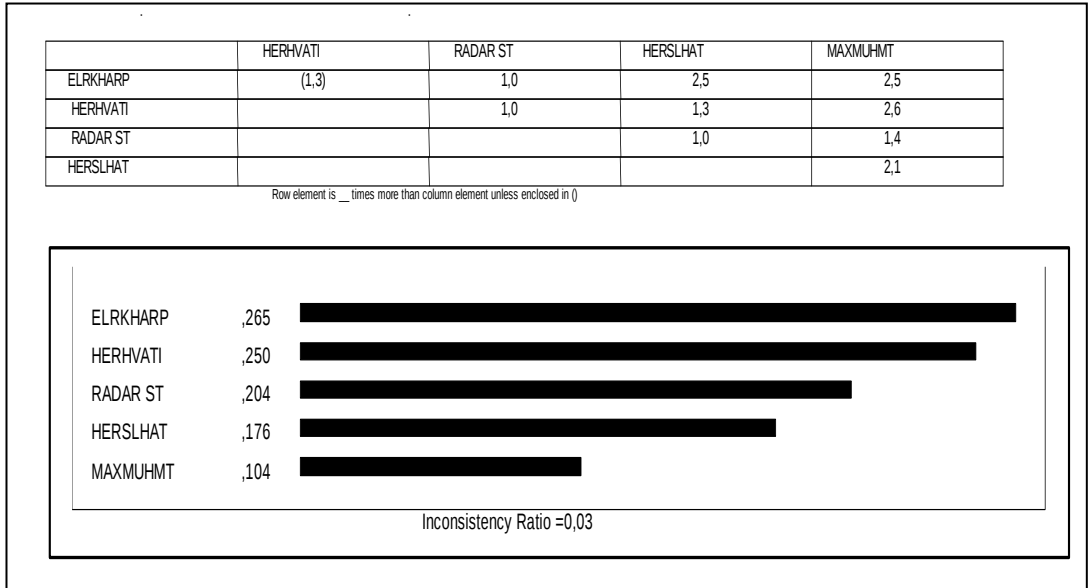
Şekil 4.5.’ e göre “Mekanik Performans” ölçütünü alt düzey ölçütlerinin gerçekleştirme açısından göreceli önem vektörü sırasıyla “Maximum Menzil”: %29.2, “Maximum Hız”: %29, “Maximum Kalkış Ağırlığı”: %28.3 ve “Maximum İrtifa”: %13.5 olduğu görülmektedir.

Şekil 4.6.’ da “Kontrol Yeteneği” ölçütünü gerçekleştirme açısından alt ölçütlerinin göreceli önemleri vektörü verilmiştir. Bu matrisin tutarlılık derecesi %5’ tir ve kabul edilebilir. “Dayanıklılık” ölçütünün ağırlığı: %30.7, “Her Tür Hava Harekatında Kullanılabilirlik”: %30.1, “Her Hava Ve Gece Uçabilirlik”: %26, “Maximum Uçuş Sortisi”: %13.2 olduğu görülmektedir.



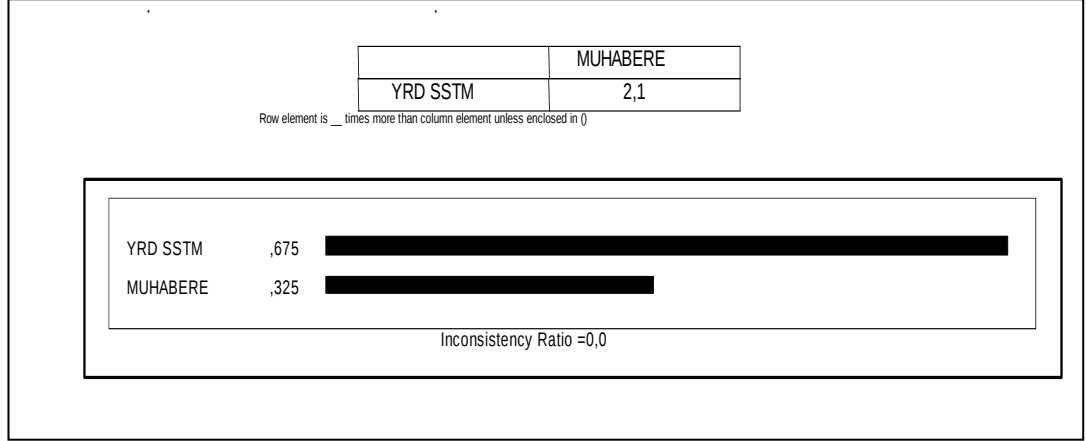
Şekil 4.6. “Kontrol Yeteneği” Ölçütü Alt Düzeyinin İkili Karşılaştırmalar Matrisi

Şekil 4.7’ de “Silah Sistemleri” alt ölçütlerinin göreceli önemler vektörü görülmektedir. Görüldüğü gibi “Elektronik Harp” ölçütünün ve “Her Tür Hava Atış Yeteneği” nin göreceli önemlerinin diğer ölçütlerden daha fazla öneme sahip olduğu açıkça görülmektedir.

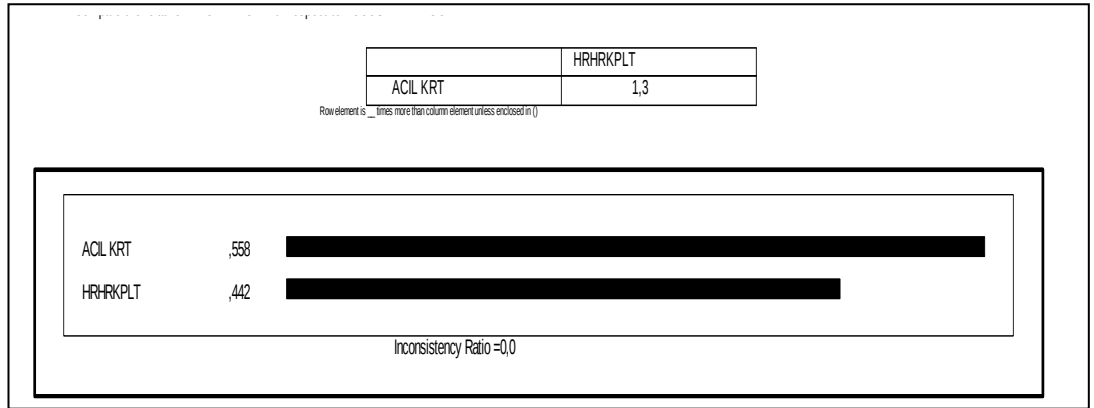


Şekil 4.7. “Silah Sistemleri” Ölçütü Alt Düzeyinin İkili Karşılaştırmalar Matrisi

Şekil 4.8.’ de “Aviyonik Sistemleri” nin alt ölçütlerinin ikili karşılaştırması ve görelî önemler vektörü görülmektedir. Ağırlıklar %67.5 ve %32.5 olduğu görülmektedir. Şekil 4.9.’ da “Uçuş Emniyeti” ölçütünün alt düzey ölçütlerinin ikili karşılaştırmalar matrisine göre % 55.8 “Acil Kurtarma Sistemleri”, %44.2 de “Her Tür Harekatta Pilota Destek Sistemleri” görelî önemlere sahiptirler.

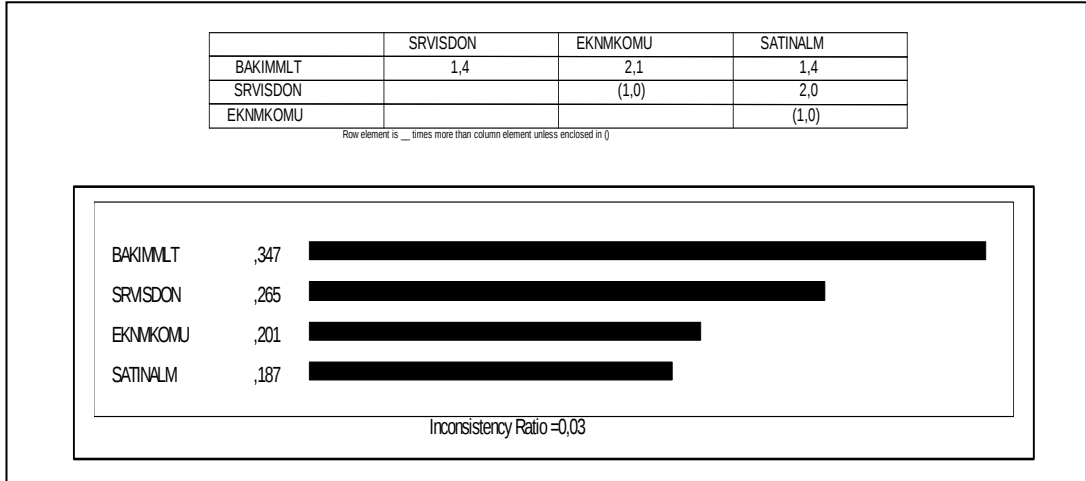


Şekil 4.8. “Aviyonik Sistemleri” Ölçütü Alt Düzeyinin İkili Karşılaştırmalar Matrisi



Şekil 4.9. “Uçuş Emniyeti” Ölçütü Alt Düzeyinin İkili Karşılaştırmalar Matrisi

Son olarak bu düzeydeki “Ekonomiklik” ölçütünün alt düzey ölçütlerinin ikili karşılaştırmalar matrisi sonucunda sahip oldukları görelî önemleri Şekil 4.10’ da görülmektedir. Buna göre “Bakım ve İdame Etme Maliyeti” en fazla öneme sahiptir. Diğer ölçütlerin de ne oranda “Ekonomiklik” ölçütünü gerçekleştirdikleri Şekil 4.10 da görülmektedir.



Şekil 4.10. “Ekonomiklik” Ölçütü Alt Düzeyinin İkili Karşılaştırmalar Matrisi

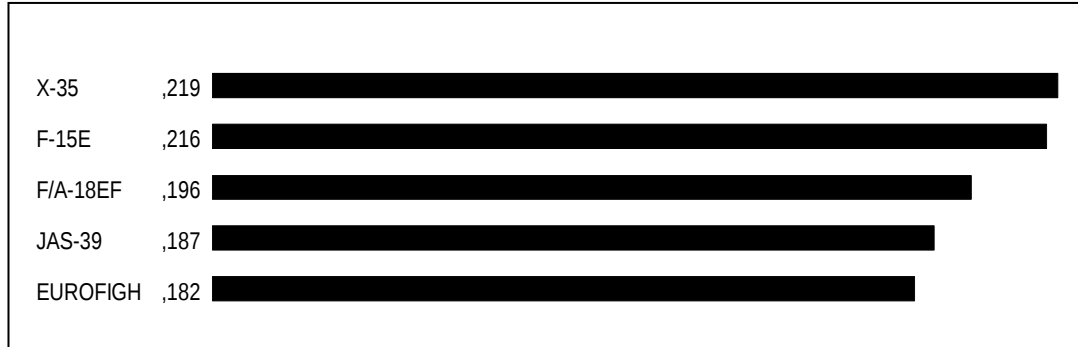
Üçüncü düzeyde yapılacak olan ikili karşılaştırmalar anket örneği Ek.C ’ de verilmiştir. Burada her bir alt ölçüte göre alternatif savaş uçakları değerlendirilmiştir. AHP’ nin sayısal verileri girme olanağı tanınması sebebiyle “Maximum Hız”, “Maximum İrtifa”, “Maximum Menzil”, “Maximum Kalkış Ağırlığı”, “Maximum Mühimmat Taşıma Kapasitesi”, “Satın Alma Maliyeti” için daha önce verilen teknik bilgiler kullanılmıştır. Expert Choice programı sayesinde bu veriler ikili karşılaştırmalar şekline dönüştürülmüştür.

Üçüncü düzeyde 21 adet ölçüt olduğu için 21 adet 5x5 matrisi elde edilmiş ve bunlara göre seçime tabi tutulan 5 adet savaş uçağı her bir ölçüte göre değerlendirilmiştir. Burada çok fazla yer alacağından dolayı üçüncü düzey ikili karşılaştırmalar matrisleri ve görelî önem vektörleri Ek. D’ de verilmiştir.

AHP ile Çok Amaçlı Savaş Uçağı Seçiminde son aşama birleşik görelî önemler vektörünün hesaplanmasıdır. Bu son vektörün bulunması, daha önceki düzeydeki görelî önemlerin birleştirilmesidir. Şekil 4.11. savaş uçaklarının görelî önemleri % 1 tutarlılık derecesiyle (CR) verilmiştir.

Savaş uçaklarının görelî önemlerinin sırasıyla X-35 (JSF), F-15E (Eagle), F/A-18E/F (Super Hornet), JAS-39 (Gripen) ve Eurofighter (Typhoon) olduğu görülmektedir. Birleşik görelî önemler bize tercih sıralaması sunmaktadır. Buna göre X-35 ve F-15E uçaklarının yaklaşık aynı önem dereciyle en iyi savaş uçağı

olabilecekleri ancak diğer savaş uçaklarının da göreceli önemlerinin bu iki savaş uçağına yakın oldukları görülmektedir.



Şekil 4.11. Çok Amaçlı Savaş Uçağı Seçimi Birleşik Göreceli Önemler Vektörü

Bu sonuçlarla karar vericinin savaş uçağı gibi ulusal güvenlik için riskli ve yüksek maliyetli bir kararı vermesi güç olduğu görülmektedir. Bu durumda karar vericinin seçim yaparken önem verdiği ölçüte göre yeni tercih sıralamalarının sunulması gerekmektedir. Diğer bir ifade ile karar vericiye, değerlendirmede kendi değer yargılarına göre ölçüt ağırlıklarını değiştirmek suretiyle yeni sıralamaları sunmaktır. AHP yönteminin karar vericiye duyarlılık analizleri yapma fırsatı vermesi ile bu gibi riskli ve maliyeti yüksek kararlar verilirken ayrıntılı olarak her bir ölçütün sonucu ne ölçüde etkilediği ayrıntılı olarak ortaya konmaktadır.

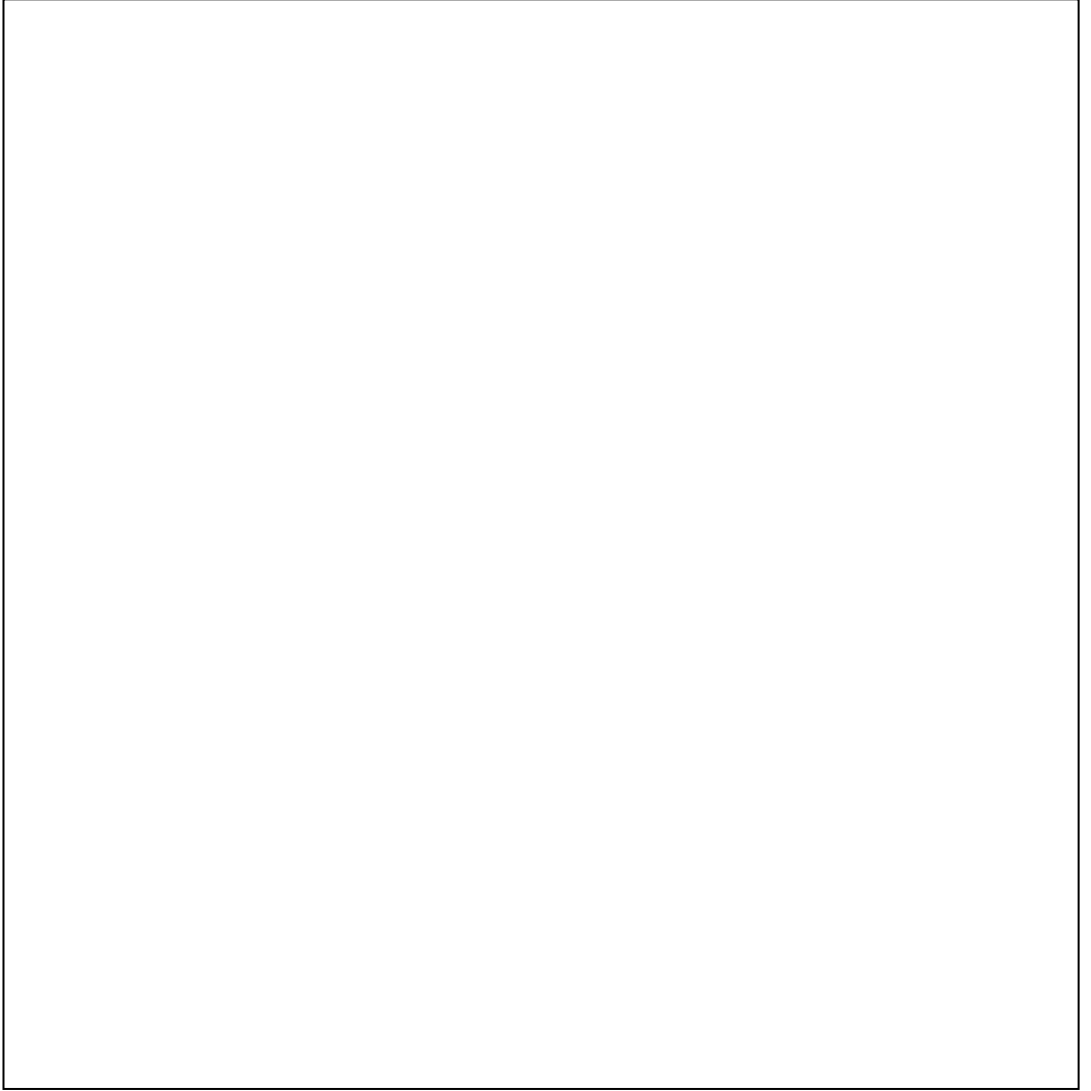
#### 4.5.2. Duyarlılık Analizleri

Duyarlılık analizlerinin amacı, karar vericiye her bir ölçüt ağırlığının değiştirilmesi sonucunda sonucun bu durumda nasıl olacağını göstererek karar vermesinde yardımcı olmaktır.

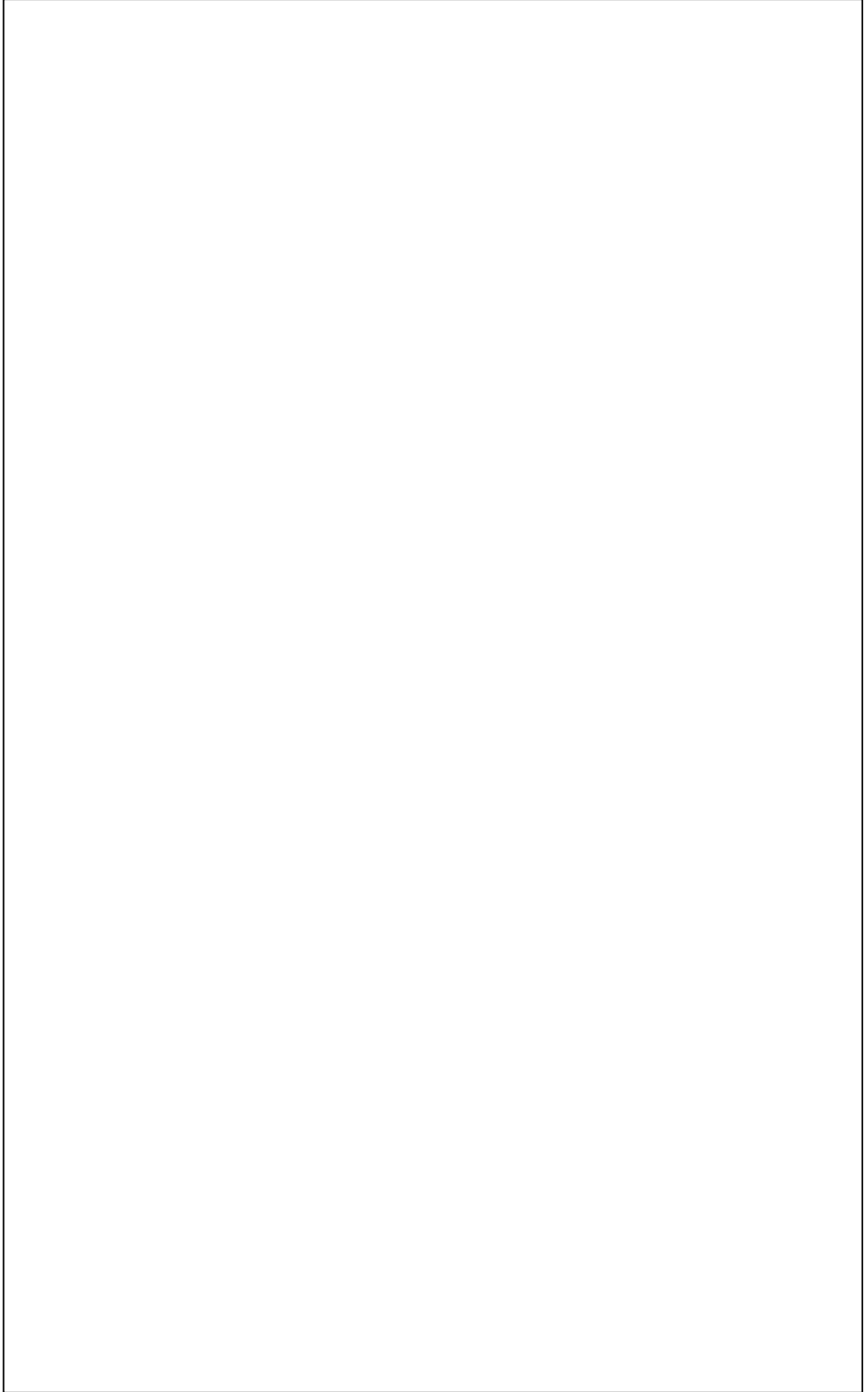
Çok amaçlı savaş uçağı seçiminde dikkate aldığımız altı temel ölçüt ağırlıkları ve seçime tabi tutulan savaş uçaklarının bu ölçütlere göre sıralaması Şekil 4.12.' de birinci düzey duyarlılık analizi grafiğinde verilmiştir. Buradan "Silah sistemleri", "Kontrol yeteneğı", "Uçuş emniyet" ölçütlerinin savaş uçağı seçiminde daha önemli olduğu, "Aviyonik sistemler" ile "Mekanik performans" ın da ikinci derece öneme sahip olduğu ve en son da "Ekonomiklik" ölçütünün % 9.1 öneme sahip olduğu görülmektedir. Temel ölçüt ağırlıklarının

birbirine yakın olduğunu bunun sebebinin savaş uçaklarının ileri teknoloji içeren sistemlerden oluşması ve bir bütün olarak değerlendirilmesi gereğidir.

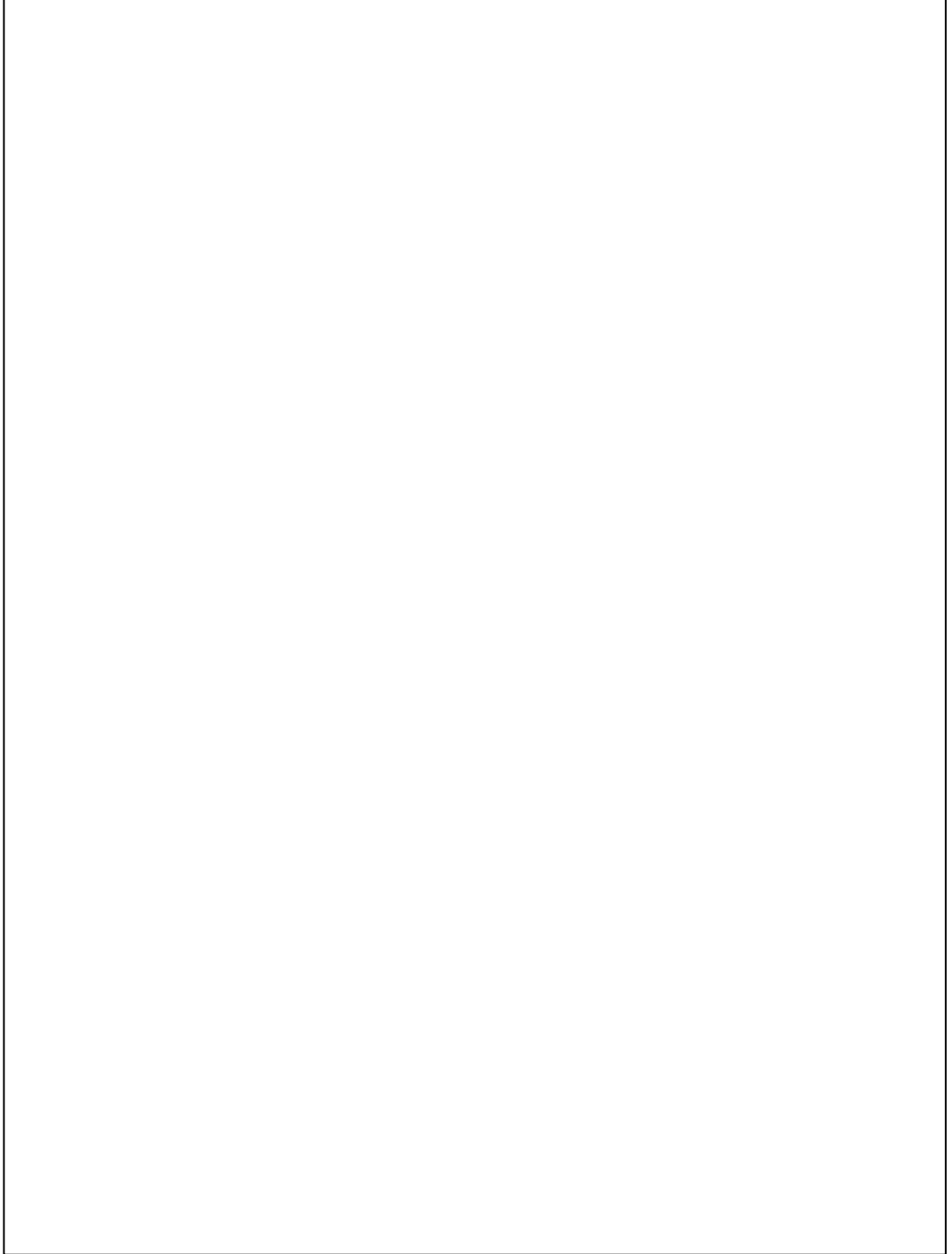
Karar vericinin bu durumda kolay karar veremeyeceği ortadadır. Bu durumda karar vericiye yardımcı olmak maksadıyla ölçüt ağırlıklarının değiştirilmesi durumunda ortaya çıkan yeni sıralamaların araştırılması gerekmektedir. Şekil 4.13. de her bir temel ölçütün değişimleri sonucunda elde edilen yeni sıralamalar verilmiştir.



Şekil 4.12. Birinci Düzey Ölçütleri Duyarlılık Analizi Grafiği



Şekil 4.13. Birinci Düzey Ölçütlerin Duyarlılık Analizleri



Şekil 4.13. Birinci Düzey Ölçütlerin Duyarlılık Analizleri (Devamı)

Şekil 4.13. incelendiğinde her bir temel ölçüt sırayla ağırlıkları değiştirildiğinde uçakların yeni ağırlıkları ortaya çıkmıştır. İlk durumda AHP sonuçları görülmektedir. Bunun sonucuna göre X-35 ve F-15E uçaklarının yaklaşık aynı önem derecesine sahip olduğu görülmektedir. İkinci durumda “Mekanik Performans” ölçütünün ağırlığını artırdığımızda F-15E savaş uçağının daha iyi olduğu görülmektedir.

Üçüncü durumda “Kontrol Yeteneği” ölçütünün değişmesi durumunda sıralamanın değişmediği F-15E uçağının X-35’ e yaklaştığı görülüyor.

Dördüncü, beşinci ve altıncı durumda yine sıralamanın değişmediği F-15E uçağının X-35’ e yaklaştığı görülüyor. Son durumda ise “Ekonomiklik” ölçüt ağırlığı artırıldığında X-35’ in diğer uçaklardan daha ekonomik olduğu görülebilmektedir.

Duyarlılık analizlerinin sonuçlarını incelediğimizde sıralamaların genelde değişmediği X-35 (JSF) savaş uçağının “Mekanik Performans” ölçütü hariç diğerlerine göre de en iyi savaş uçağı olduğu fakat F-15E ( Eagle) savaş uçağının da genelde X-35 kadar iyi olduğu hatta “Mekanik Performans” ölçütüne göre X-35’ den daha iyi olduğu görülmektedir. F-18E/F savaş uçağının tüm ölçütlerdeki değişimler dikkate alındığında sıralamada ki yerinin değişmediği, X-35 ve F-15E savaş uçaklarına yakın olduğu görülmektedir. Son sıradaki JAS-39 ve Eurofighter savaş uçaklarının da duyarlılık analizleri sonucunda sıralamalarında çok fazla değişiklik olmamıştır.

Duyarlılık analizlerinin bir miktar belirsizliği azalttığını ancak karar verici için yeterli olmayacağını ve böylesine riskli ve maliyeti yüksek bir kararı vermek için diğer ÇÖKV yöntemlerinin uygulanmasını isteyeceğini düşünerek uygulamamızı bir de TOPSIS yöntemini kullanarak yapacağız. Böylece sonuçları karşılaştırma imkanı bulunacak ve karar vericiye daha fazla bilgi sunma imkanı doğacaktır.

#### **4.6. TOPSIS Yöntemi İle Çok Amaçlı Savaş Uçağı Seçimi**

TOPSIS yönteminin Çok Amaçlı Savaş Uçağı Seçimi uygulaması yapmaya uygun olmasının sebebi, yöntemin maliyet, zaman, hız, hacim, ağırlık gibi sayısal ya da niceliğe ait terimler gibi birbirinden farklı birimlerle ölçülen kavramlarla, performans, duygu, mutluluk, güvenilirlik gibi sayısal olmayan ya da niteliğe ait kavramları birlikte değerlendirme fırsatı vermesidir.

Uygulamamızda sayısal olarak ifade edilebilen “Maximum Hız”, “Maximum İrtifa”, “Maximum Menzil”, “Maximum Kalkış Ağırlığı”, “Maximum Mühimmat Taşıma Kapasitesi”, “Satın Alma Maliyeti” gibi ölçütler yanında; “ Acil Kurtarma Sistemleri” gibi sayısal olarak ifade edilemeyen ölçütlerin bulunması TOPSIS yönteminin uygulamamız için uygun bir yöntem olduğunu göstermektedir.

TOPSIS yönteminde ilk adım karar matrisinin oluşturulmasıdır. Uygulamamızda beş adet çok amaçlı savaş uçağı alternatifi bulunmaktadır. Değerlendirme ölçütleri olarak burada karar hiyerarşisinde verdiğimiz 21 adet alt ölçütü kullanacağız. Bu durumda karşımıza 5x21' lik bir karar matrisi çıkmaktadır. Karar matrisinde sayısal olarak ifade edilebilen ölçütler için daha önce savaş uçakları için verdiğimiz teknik bilgilerden faydalanacağız. Sayısal olarak ifade edilemeyen ölçütler için ise Ek A,B,C' de verilen anketlerle elde ettiğimiz ikili karşılaştırmalar matrisleri sonucunda bulunan ortalama ikili karşılaştırmalar matrislerinin göreceli önemler vektörlerini kullanacağız. Bu şekilde AHP ile tutarlık oranları hesaplanan ve uygun olan bilgileri TOPSIS yönteminde de kullanarak tutarlılığı korumuş olacağız. Tablo 4.5.' de 5x21' lik karar matrisi görülmektedir.

Tablo 4.5. TOPSIS Karar Matrisi

|             | MAX     | MAX        | MAX        | MAX        | MAX        | MAX           | MAX        |
|-------------|---------|------------|------------|------------|------------|---------------|------------|
| EN İYİ UÇAK | MAX HIZ | MAX İRTİFA | MAX MENZİL | MAX KLIKİŞ | HER HV HRK | DAYANIK LILIK | HER HV GEC |
| JAS-39      | 20      | 50000      | 1620       | 30865      | 142        | 125           | 183        |
| EUROFIGH    | 22      | 55000      | 1200       | 50706      | 125        | 125           | 183        |
| X-35        | 16      | 50000      | 1620       | 50000      | 283        | 245           | 231        |
| F/A-18E/F   | 18      | 50000      | 1944       | 66000      | 166        | 250           | 174        |
| F-15E       | 25      | 60000      | 2400       | 81000      | 283        | 255           | 229        |

|             | MAX       | MAX        | MAX     | MAX      | MAX      | MAX        | MAX     |
|-------------|-----------|------------|---------|----------|----------|------------|---------|
| EN İYİ UÇAK | MAX SORTİ | HERHV ATİŞ | MAX MÜH | ELEKTRNK | RADAR ST | HER TR SLH | MUHABER |
| JAS-39      | 235       | 200        | 14330   | 186      | 224      | 174        | 193     |
| EUROFIGH    | 235       | 189        | 17640   | 149      | 109      | 162        | 193     |
| X-35        | 206       | 211        | 15000   | 233      | 224      | 236        | 207     |
| F/A-18E/F   | 176       | 200        | 17750   | 211      | 222      | 209        | 200     |
| F-15E       | 147       | 200        | 24500   | 222      | 222      | 219        | 207     |

|             | MAX        | MAX      | MAX      | MAX       | MAX   | MAX       | MAX    |
|-------------|------------|----------|----------|-----------|-------|-----------|--------|
| EN İYİ UÇAK | YRD SİSTEM | KURTARMA | DESTEK S | SATIN ALM | BAKIM | EKONO MİK | SERVİS |
| JAS-39      | 217        | 193      | 166      | 174       | 278   | 239       | 200    |
| EUROFIGH    | 199        | 196      | 227      | 192       | 162   | 216       | 200    |
| X-35        | 199        | 211      | 218      | 252       | 382   | 256       | 222    |
| F/A-18E/F   | 181        | 200      | 209      | 160       | 89    | 145       | 189    |
| F-15E       | 203        | 200      | 180      | 223       | 89    | 143       | 189    |

Karar matrisi oluşturduktan sonra yapılması gereken işlem matristeki farklı ölçüt boyutlarını boyutsuz hale getirmektir. Bunun için ölçüt normalizasyonu yapılması gerekir. Normalizasyondan amaç, ölçütler arası karşılaştırmaları sağlayan karşılaştırma ölçeğini elde etmektir. Daha önce bahsedildiği gibi birkaç değişik normalizasyon yöntemi mevcuttur, ancak biz burada vektör normalizasyonu kullanacağız. Tablo 4.6.’da normalizasyon işlemi yapılmış karar matrisi verilmiştir.

Tablo 4.6. TOPSIS Normalize Edilmiş Karar Matrisi

|             | MAX     | MAX        | MAX        | MAX        | MAX        | MAX           | MAX        |
|-------------|---------|------------|------------|------------|------------|---------------|------------|
| EN İYİ UÇAK | MAX HIZ | MAX İRTİFA | MAX MENZİL | MAX KLIKİş | HER HV HRK | DAYANIK LILIK | HER HV GEC |
| JAS-39      | 0,43758 | 0,42070    | 0,40215    | 0,23714    | 0,30035    | 0,26723       | 0,40611    |
| EUROFI      | 0,48134 | 0,46277    | 0,29789    | 0,38958    | 0,26439    | 0,26723       | 0,40611    |
| X-35        | 0,35007 | 0,42070    | 0,40215    | 0,38415    | 0,59858    | 0,52377       | 0,51263    |
| F/A-18      | 0,39383 | 0,42070    | 0,48257    | 0,50708    | 0,35111    | 0,53446       | 0,38614    |
| F-15E       | 0,54698 | 0,50484    | 0,59577    | 0,62233    | 0,59858    | 0,54515       | 0,50819    |

|             | MAX       | MAX        | MAX     | MAX     | MAX      | MAX        | MAX      |
|-------------|-----------|------------|---------|---------|----------|------------|----------|
| EN İYİ UÇAK | MAX SORTİ | HERHV ATIş | MAX MÜH | ELEKTRN | RADAR ST | HER TR SLH | MUHABERE |
| JAS-39      | 0,51843   | 0,44694    | 0,35205 | 0,41091 | 0,48788  | 0,38538    | 0,43135  |
| EUROFI      | 0,51843   | 0,42236    | 0,43337 | 0,32917 | 0,23741  | 0,35880    | 0,43135  |
| X-35        | 0,45446   | 0,47153    | 0,36851 | 0,51475 | 0,48788  | 0,52269    | 0,46264  |
| F/A-18      | 0,38827   | 0,44694    | 0,43607 | 0,46614 | 0,48352  | 0,46289    | 0,44699  |
| F-15E       | 0,32430   | 0,44694    | 0,60190 | 0,49045 | 0,48352  | 0,48504    | 0,46264  |

|             | MAX        | MAX     | MAX      | MAX       | MAX     | MAX     | MAX     |
|-------------|------------|---------|----------|-----------|---------|---------|---------|
| EN İYİ UÇAK | YRD SİSTEM | KURTARM | DESTEK S | SATIN ALM | BAKIM   | EKONOMİ | SERVİS  |
| JAS-39      | 0,48491    | 0,43136 | 0,36872  | 0,38339   | 0,53974 | 0,52057 | 0,44640 |
| EUROFI      | 0,44469    | 0,43807 | 0,50421  | 0,42305   | 0,31452 | 0,47047 | 0,44640 |
| X-35        | 0,44469    | 0,47159 | 0,48422  | 0,55526   | 0,74165 | 0,55759 | 0,49551 |
| F/A-18      | 0,40446    | 0,44701 | 0,46423  | 0,35255   | 0,17279 | 0,31582 | 0,42185 |
| F-15E       | 0,45363    | 0,44701 | 0,39981  | 0,49136   | 0,17279 | 0,31147 | 0,42185 |

Karar matrisini normalize ettikten sonra ağırlıklandırılmış karar matrisinin elde edilmesi gerekmektedir. Değerlendirme için kullandığımız 21 adet ölçüt için bu ağırlıkların belirlenmesinde AHP yöntemi kullanılmıştır. Örneğin “Maximum Hız”

için burada kullanılan ağırlık 0.04309' dır. Birinci düzey ikili karşılaştırmalar matrisinin “Mekanik Performans” ölçütü için bulunan göreceli önemi 0.149' dır. İkinci düzey ikili karşılaştırmalar sonucunda “Maximum Hız” için bulunan göreceli önem 0.290 dır. “Maximum Hız” için bu düzeydeki tüm ölçütler içindeki ağırlığı  $0.149 \times 0.290 = 0.04309$  dur. Bu uygulamamızda hiyerarşinin ikinci düzeyindeki ölçütleri dikkate aldığımız için tüm ölçütler için bu ağırlıklar  $(w_1, w_2, w_3, \dots, w_n)$   $\sum w_i = 1$  olacak şekilde belirlenmiştir. Tablo 4.7.' de her bir ölçüt için bulunan ağırlıklar verilmiştir.

Tablo 4.7. TOPSIS Ölçüt Ağırlıkları Tablosu

| EN İYİ UÇAK    | Ağırlıklar |                | Ağırlıklar |
|----------------|------------|----------------|------------|
| MAX HIZ        | 0,04309    | RADAR ST       | 0,04208    |
| MAX İRTİFA     | 0,02004    | HER TR SLH     | 0,03607    |
| MAX MENZİL     | 0,04309    | MUHABERE       | 0,05311    |
| MAX KLKIŞ      | 0,04208    | YRD SİSTEM     | 0,10922    |
| HER HV HRK     | 0,06012    | KURTARMA       | 0,10822    |
| DAYANIKLIK     | 0,06112    | DESTEK S       | 0,08617    |
| HER HV GEC     | 0,05210    | SATIN ALM      | 0,01703    |
| MAX SORTİ      | 0,02605    | BAKIM          | 0,03206    |
| HERHV ATIŞ     | 0,05110    | EKONOMİK       | 0,01804    |
| MAX MÜH        | 0,02104    | SERVİS         | 0,02405    |
| ELEKTRNK       | 0,05411    | Toplam Ağırlık | 0,52605    |
| Toplam Ağırlık | 0,47395    | TOPLAM AĞIRLIK | 1,00000    |

Ağırlıklar belirlendikten sonra normalize edilen karar matrisi ağırlıklandırılmıştır. Bundan sonra  $A^*$  ve  $A^-$  iki hayali alternatifi oluşturulur.  $A^*$  ideal çözüm,  $A^-$  da negatif ideal çözümü oluşturur.  $A^*$  karar verici için en çok tercih edilen yani ideal çözümü,  $A^-$  da en az tercih edilen yani negatif ideal çözümü gösterir. Tablo 4.8.' de ağırlıklandırılmış karar matrisi için bu değerler gösterilmiştir.

İdeal ve negatif ideal çözümleri tespit ettikten sonra  $n$  boyutlu Euclidean uzaklığı metoduna göre her bir alternatifin ideal çözümden ve negatif ideal çözümden olan uzaklıkları hesaplanır.  $S_{j^*}$  her bir alternatifin ideal çözümden olan uzaklığını  $S_{j^-}$  de aynı şekilde her bir alternatifin negatif ideal çözümden olan

uzaklığını ifade etmektedir. Tablo 4.9.' da her bir savaş uçağı için ideal ve negatif ideal çözümden olan uzaklıklar gösterilmiştir.

Tablo 4.8.TOPSIS Ağırlıklandırılmış Karar Matrisi ve İdeal, Negatif İdeal Çözümler

|                   | MAX            | MAX            | MAX            | MAX            | MAX            | MAX            | MAX            |
|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| EN İYİ UÇAK       | MAX HIZ        | MAX İRTİFA     | MAX MENZİL     | MAX KLKİŞ      | HER HV HRK     | DAYANIK LILIK  | HER HV GEC     |
| JAS-39            | 0,01885        | 0,00843        | 0,01733        | 0,00998        | 0,01806        | 0,01633        | 0,02116        |
| EUROF             | 0,02074        | 0,00927        | 0,01283        | 0,01640        | 0,01590        | 0,01633        | 0,02116        |
| X-35              | 0,01508        | 0,00843        | 0,01733        | 0,01617        | 0,03599        | 0,03201        | 0,02671        |
| F/A-18            | 0,01697        | 0,00843        | 0,02079        | 0,02134        | 0,02111        | 0,03267        | 0,02012        |
| F-15E             | 0,02357        | 0,01012        | 0,02567        | 0,02619        | 0,03599        | 0,03332        | 0,02648        |
| <b>Ağırlıklar</b> | <b>0,04309</b> | <b>0,02004</b> | <b>0,04309</b> | <b>0,04208</b> | <b>0,06012</b> | <b>0,06112</b> | <b>0,05210</b> |
| <b>İdeal</b>      | <b>0,02357</b> | <b>0,01012</b> | <b>0,02567</b> | <b>0,02619</b> | <b>0,03599</b> | <b>0,03332</b> | <b>0,02671</b> |
| <b>Negatif</b>    | <b>0,01508</b> | <b>0,00843</b> | <b>0,01283</b> | <b>0,00998</b> | <b>0,01590</b> | <b>0,01633</b> | <b>0,02012</b> |

|                   | MAX            | MAX            | MAX            | MAX            | MAX            | MAX            | MAX            |
|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| EN İYİ UÇAK       | MAX SORTİ      | HERHV ATIŞ     | MAX MÜH        | ELEKTRNK       | RADAR ST       | HER TR SLH     | MU HABER       |
| JAS-39            | 0,01351        | 0,02284        | 0,00741        | 0,02223        | 0,02053        | 0,01390        | 0,02291        |
| EUROF             | 0,01351        | 0,02158        | 0,00912        | 0,01781        | 0,00999        | 0,01294        | 0,02291        |
| X-35              | 0,01184        | 0,02410        | 0,00775        | 0,02785        | 0,02053        | 0,01885        | 0,02457        |
| F/A-18            | 0,01012        | 0,02284        | 0,00918        | 0,02522        | 0,02035        | 0,01670        | 0,02374        |
| F-15E             | 0,00845        | 0,02284        | 0,01267        | 0,02654        | 0,02035        | 0,01750        | 0,02457        |
| <b>Ağırlıklar</b> | <b>0,02605</b> | <b>0,05110</b> | <b>0,02104</b> | <b>0,05411</b> | <b>0,04208</b> | <b>0,03607</b> | <b>0,05311</b> |
| <b>İdeal</b>      | <b>0,01351</b> | <b>0,02410</b> | <b>0,01267</b> | <b>0,02785</b> | <b>0,02053</b> | <b>0,01885</b> | <b>0,02457</b> |
| <b>Negatif</b>    | <b>0,00845</b> | <b>0,02158</b> | <b>0,00741</b> | <b>0,01781</b> | <b>0,00999</b> | <b>0,01294</b> | <b>0,02291</b> |

|                   | MAX            | MAX            | MAX            | MAX            | MAX            | MAX            | MAX            |
|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| EN İYİ UÇAK       | YRD SİSTEM     | KURTARMA       | DESTEK S       | SATIN ALM      | BAKIM          | EKONOMİ        | SERVİS         |
| JAS-39            | 0,05296        | 0,04668        | 0,03177        | 0,00653        | 0,01731        | 0,00939        | 0,01074        |
| EUROF             | 0,04857        | 0,04741        | 0,04345        | 0,00721        | 0,01008        | 0,00849        | 0,01074        |
| X-35              | 0,04857        | 0,05103        | 0,04173        | 0,00946        | 0,02378        | 0,01006        | 0,01192        |
| F/A-18            | 0,04417        | 0,04837        | 0,04000        | 0,00601        | 0,00554        | 0,00570        | 0,01014        |
| F-15E             | 0,04954        | 0,04837        | 0,03445        | 0,00837        | 0,00554        | 0,00562        | 0,01014        |
| <b>Ağırlıklar</b> | <b>0,10922</b> | <b>0,10822</b> | <b>0,08617</b> | <b>0,01703</b> | <b>0,03206</b> | <b>0,01804</b> | <b>0,02405</b> |
| <b>İdeal</b>      | <b>0,05296</b> | <b>0,05103</b> | <b>0,04345</b> | <b>0,00946</b> | <b>0,02378</b> | <b>0,01006</b> | <b>0,01192</b> |
| <b>Negatif</b>    | <b>0,04417</b> | <b>0,04668</b> | <b>0,03177</b> | <b>0,00601</b> | <b>0,00554</b> | <b>0,00562</b> | <b>0,01014</b> |

Her bir savaş uçağı (  $A_i$  )' nin ideal çözüme (  $A^*$  )' ye olan göreceli uzaklığı,

$$C_{i*} = \frac{S_{i-}}{S_{i*} + S_{i-}} \quad \text{formülü ile hesaplanır. Tablo 4.9.' da her bir uçağın}$$

göreceli uzaklıkları görülüyor. TOPSIS yöntemine göre en iyi (optimal) alternatif,  $C_{i*}$  değeri en büyük olandır. Yani en iyi alternatif, ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözüme en uzak mesafede olandır. TOPSIS Yöntemi ile Çok Amaçlı Savaş Uçağı Seçiminde ortaya çıkan sıralama X-35, F-15E, F/A-18E/F, JAS-39 ve EUROFIGHTER şeklinde olmuştur.

Tablo 4.9. TOPSIS Göreceli Uzaklıklar Matrisi

| EN İYİ SAVAŞ<br>UÇAĞI | $S_{i*}$ | $S_{i-}$ | $C_{i*}$ |
|-----------------------|----------|----------|----------|
| X-35                  | 0,01720  | 0,03904  | 0,69417  |
| F-15E                 | 0,02207  | 0,03893  | 0,63817  |
| F/A-18E/F             | 0,02932  | 0,02729  | 0,48215  |
| JAS-39                | 0,03597  | 0,02072  | 0,36550  |
| EUROFIGHTER           | 0,03860  | 0,01704  | 0,30622  |

Tek bir yöntem ile karar verme riskini göze almamak ve karar vericiye daha kesin bilgiler verebilmek için AHP ve TOPSIS ÇÖKV yöntemleri ile değerlendirme yapılmıştır. Çok Amaçlı Savaş Uçağı Seçimi uygulamasında kullanılan her iki ÇÖKV yöntemine göre bulunan sonuçlar aynı çıkmıştır. Sonuçlara göre en iyi çok amaçlı savaş uçağı X-35 (JSF) olmuştur.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Milli varlığımızın ve güvenliğimizin teminatı olan Silahlı Kuvvetlerin yurt savunmasında ve uluslararası alanda görevlerini yerine getirebilmesi için eğitim ve disiplin bakımından olduğu kadar silah, araç ve gereç bakımından da kuvvetli bir halde bulunması gerekmektedir. Milli güvenliğin sağlanması amacıyla, günümüzün hızla gelişen ve yenilenen modern donanım ve silahlarını Silahlı Kuvvetlerin ihtiyaçları doğrultusunda elinde bulundurması zorunluluktur.

Silahlı Kuvvetlerin ihtiyaç duyduğu harp silah, araç ve gereçlerin temininin güvenli ve istikrarlı şekilde yapılabilmesi için mümkün olduğunca yerli sanayi imkanlarının kullanılması, bunun yanında dost ve müttefik ülkelerle teknolojik ve araştırma/geliştirme faaliyetlerine katılma ve ortak üretim imkanlarının yaratılması Türk Savunma Sanayisinin temel stratejisidir. Ancak Silahlı Kuvvetlerin ihtiyaç duyduğu savunma sanayii ürünlerinin tamamının yurt içinden karşılanması mümkün olmadığı ve de gerekmediği durumlarda yurt dışından satın alınması yoluna da gidilmektedir. Bu durumlarda alınacak silah sistemlerinin ve araçların ekonomik boyutlarının çok büyük olacağından dolayı, seçim kararının verilmesi aşamasında bilimsel çalışma ve analizlerin çok boyutlu ve titizlikle yapılması hem ülke savunması hem de milli ekonomi açısından çok önemlidir.

Bu çalışmada, ülke savunmasında önemli görevleri olan Türk Hava Kuvvetlerinin temel silah sistemi olan çok amaçlı (multi-role) savaş uçağı seçimi Çok Ölçütlü Karar Verme yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Prosesi ve TOPSIS yöntemleriyle ile yapılmıştır. Ele aldığımız uygulamada, değerlendirmeye beş adet savaş uçağı alınmıştır. Her biri, belirlenen ölçütlere göre değerlendirilmiş ve bir sonuca ulaşılmıştır.

Savaş uçakları gibi üzerlerinde çok karmaşık ve teknolojik sistemlerin bulunduğu silah sistemlerinin bir çok ölçüte göre değerlendirilmesi gereği bizi Çok Ölçütlü Karar Verme yöntemlerini kullanmaya yönlendirmiştir. ÇÖKV yöntemleri sayesinde, sayısal verilerle birlikte sayısal olmayan verileri de değerlendirme imkanı bulmuş ve doğru seçimin yapılabilmesi amaçlanmıştır. Aynı zamanda ÇÖKV yöntemleri

sayesinde amaçlara ne derece ulaşılabildiğimizi görme ve uygulamada ölçütler üzerinde bir takım değişiklikleri yapma ve buna göre sonuçları analiz etme imkanı bulunmuştur.

Çok amaçlı savaş uçağı seçiminde değerlendirme ölçütlerine baktığımızda karşımıza hiyerarşik bir yapıda bir çok ana ve alt ölçüt çıkmaktadır. Bu durumda değerlendirme yapmak için, hiyerarşik yapıdaki tüm ölçütlerin ağırlıklandırılarak birbirleri ile karşılaştırılmaları ve oluşan bu ikili karşılaştırmaların çözülmesi esasına dayanan Analitik Hiyerarşi Prosesi kullanılmıştır. Uygulamada öncelikle çok amaçlı savaş uçağı değerlendirme ölçütleri belirlenmiş ve değerlendirmeye tabi tutulacak savaş uçakları değişik birimlerde görevli, konularında uzman personel tarafından değerlendirilmiştir. İkili karşılaştırmalar şeklinde yapılan değerlendirmelerde tutarlılık dikkate alınmış ve sonuçlar bilgisayar ortamında değerlendirilmiştir.

AHP sonuçlarına göre en iyi savaş uçağı seçiminde birinci düzey ölçüt ağırlıkları; “Silah Sistemleri”: %20.4, “Kontrol Yeteneği”: %20, “Uçuş Emniyeti”: %19.3, “Aviyonik Sistemleri”: %16.2, “Mekanik Performans”: %14.9, “Ekonomiklik”: %9.1’ dir. Ağırlık değerlerinin “Ekonomiklik” ölçütü hariç birbirine yakın çıkmış olduğu görülmektedir. Bu sonuçlardan, savaş uçaklarının bir çok sistemin uyumu ile bir bütün olarak değerlendirilmesi gerektiği, hiçbir sistemin diğerinin yerini dolduramayacağı gibi herhangi bir sistemin eksikliğinde veya yetersiz olması durumunda istenen amaçlara tam manasıyla ulaşamayacağı anlaşılmaktadır.

AHP ile çok amaçlı savaş uçağı seçimi sonucunda sıralama X-35 (JSF), F-15E (Eagle), F/A-18E/F (Super Hornet), JAS-39 (Gripen) ve Eurofighter (Typhoon) olduğu görülmektedir. 21 nci yüzyılın 5 nci nesil çok amaçlı savaş uçağı olan X-35 (JSF)’ nin üzerindeki sensör sistemleri sayesinde geleceğin her tür silahını atabilecek yetenekte olması, “stealth” yeteneği sayesinde düşman hava sahasını kolayca girip hedeflerini yok edebilmesi, lojistik ihtiyaçlarının ve bakım idame ettirme maliyetleriyle, elde etme maliyetlerinin azaltılmış olması, ortak hareketlerde kullanılabilecek esnekliğe sahip olması ve her kuvvetin ihtiyacına yönelik farklı tasarımları olması, X-35 (JSF)’ in ideal bir çok amaçlı savaş uçağı olarak seçilmesine sebep olmuştur.

Ancak yapılan uygulama sonucuna göre diğer savaş uçaklarının da iyi birer çok amaçlı savaş uçağı olarak değerlendirildiğı gör÷lmektedir. Bu durumda karar vericinin savaş uçağı gibi yüksek maliyetli ve riskli bir kararı vermesi güç olduğı gör÷lmektedir. AHP yönteminin karar vericiye duyarlılık analizleri yapma fırsatı vermesi ile bu gibi riskli ve maliyeti yüksek kararlar verilirken belirsizlik bir nebze de olsa giderilebilmektedir.

Yapılan duyarlılık analizleri sonuçlarına göre de genelde sıralamanın çok fazla değişmediğı gör÷lmüştür. Bu durumda karar vericiye yardımcı olmak amacıyla bir diğer ÇÖKV yöntemi olan TOPSIS yöntemi ile de en iyi savaş uçağı seçimi yapılmıştır.

TOPSIS yöntemi, çok amaçlı savaş uçağı seçiminde değerlendirilen savaş uçaklarının, her değerlendirme ölçütüne göre en iyi olanın değişmesinden ve homojen olmayan birimlerle ölçülen farklı ölçütlerin bulunmasından dolayı uygulamamızda diğer bir ÇÖKV yöntemi olarak kullanılmıştır. TOPSIS yöntemi ile Çok Amaçlı Savaş Uçağı Seçiminde ortaya çıkan sıralama AHP ile bulunan sıralamanın aynısıdır. Kullanılan her iki yöntemin de aynı sonuçları vermesi karar vericiye yardımcı olacaktır.

Uygulama esnasında karşılaşılan bir takım zorluklar ve değerlendirmede karşılaşılan belirsizlikler göz önüne alındığında bu konu üzerinde daha fazla durmanın gerektiğı ve bu zorlukların ve belirsizliklerin aşılması için uygulamanın “Bulanık Ortamda Karar Verme” yöntemleri ile de yapılmasının uygun olacağı anlaşılmıştır. Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS yöntemlerinin karşılaşılan belirsizlikleri ortadan kaldırmaya uygun yöntemler oldukları, literatürde yapılan uygulamalardan anlaşılmaktadır. Silah sistemlerini geliştirme ve yenileme projeleri için Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesinin ve Bulanık TOPSIS yönteminin kullanılmasının uygun olacağını söyleyebiliriz.

Uygulamamızda belirlilik altında ÇÖKV yöntemlerinden olan AHP ve TOPSIS ile Çok Amaçlı Savaş Uçağı Seçimi yapılmıştır. Sonuçlardan, uygulanacak

yöntemlerin belirlenmesi kadar, yöntemleri uygulayacak olan insanların da konu ile ilgili yeterli bilgi sahibi olmaları ve kararların alınmasında objektif ve subjektif tüm ölçütlerin sistem yaklaşımı içerisinde değerlendirilmesi gereği ortaya çıkmıştır.

Sonuç olarak, milli güvenliğin sağlanmasında savaş uçakları gibi önemli görevleri olan, çok yüksek maliyetli silah sistemlerinin seçimi kesinlikle bilimsel yöntemler kullanılarak ve uzman kişiler tarafından tüm ayrıntılar değerlendirilerek yapılmalıdır.

## KAYNAKLAR

### A) Kitap ve Kitap Bölümleri için gösterim

- Balanlı, B.**, 1987. Havacılığa Giriş-I, Hava Harp Okulu Yayınları, İstanbul.
- Canada, J.R. and Sullivan, W.G.**, 1989. Economic and Multiattribute Evaluation of Advanced Manufacturing Systems, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Canada, J.R., Sullivan, W.G. and White, J.A.**, 1996. Capital Investment Analysis for Engineering and Management, Pretice Hall, London.
- Charnes, A. and Chooper, W.W.**, 1961. Management Models and Industrial Applications of Linear Programming, Vol. 1, John Wiley, New York.
- Chen, S.J. and Hwang, C.L.**, 1991. Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications, Springer-Verlag, Berlin.
- Çeltik, E.T.**, 1992. Klasik Harp Silahları, Hava Harp Okulu Yayınları, İstanbul.
- Demir, M.H., Bircan, B. ve Tütek, H.**, 1985. Yönetmel Karar Verme, Bilgehan Basımevi, İzmir.
- Donelly, J.H., Gibson, J.L. and Ivancevich, J.M.**, 1990. Fundamentals of Management, Richard D. Irvin Inc.
- Evren, R. ve Ülengin, F.**, 1992a. Yönetimde Çok Amaçlı Karar Verme, İTÜ Matbaası, No.1490, İstanbul.
- Evren, R. ve Ülengin, F.**, 1992b. Yönetimde Karar Verme, İTÜ Matbaası, No.1478, İstanbul.
- Halaç, O.**, 1983. Kantitatif Karar Verme Teknikleri (Yöneylem Araştırmasına Giriş) Geliştirilmiş 5 nci Baskı, Alfa Basım Yayım Dağıtım, İstanbul.
- Hicks, J.O.**, 1986. Information Systems in Business: An Introduction, West Publishing Company.
- Hwang, C.L. and Lin, M.**, 1987. Group Decision Making Under Multiple Criteria, Springer-Verlag, New York.

- Hwang, C.L. and Yoon, K.,** 1981. Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications, Springer-Verlag, New York.
- Hwang, C.L. and Yoon, K.,** 1995. Multiple Attribute Decision Making, Sage Publications, California/UK/India.
- Ijiri, Y.,** 1976. Multiple Criteria Decion Making, 74-75.
- Karayalçın, İ.,** 1979. Harekat Araştırması, İTÜ Matbaası, No.1132, İstanbul.
- Kaufmann, A. and Gupta, M.M.,** 1985. Introduction to Fuzzy Arithmetic: Theory and Applications, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Keeney, R.L. and Raiffa, H.,** 1976. Decisions with Multiple Objectives: Preference and Value Tradeoffs, John Wiley, New York.
- Onaran, O.,** 1971. Örgütlerde Karar Verme, SBF Yayınları, No. 321, Ankara.
- Osgood, C.E., Suci, G.J., and Tannenbaum, P.H.,** 1975. The Measurement of Meaning, The University of Illinois Press, Urbana.
- Özden, K.,** 1989. Yöneylem Araştırması, Hava Harp Okulu Yayınları, İstanbul.
- Saaty, T.L.,** 1980. The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill International Book Company, New York.
- Saaty, T.L.,** 1988. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation, University of Pittsburg.
- Saaty, T.L.,** 1989. Multi Criteria Decision Making: The Analytic Hierarchy Process, RWS Publications, Pittsburgh.
- Saaty, T.L.,** 1994a. Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with The Analytic Hierarchy Process, RWS Publications, Pittsburgh.
- Saaty, T.L.,** 1994b. Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with The Analytic Network Process, RWS Publications, Pittsburgh.
- Sowa, J.F.,** 1984. Conceptual Structures, Reading, MA: Addison-Wesley.
- Tecle, A. and Duckstein, L.,** 1992. Multiple Criteria Decion Making, Springer-Verlag, New York
- Triantaphyllou, E.,** 2000. Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London.
- Zimmermann, H.J.,** 1991. Fuzzy Set Theory and its Applications, 2nd Edition, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London

#### **B) Tezler için gösterim**

- Cebeci, U.,** 1998. Yönetim Bilişim Sistemleri Tasarımı, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kahraman, C.,** 1995. İleri İmalat Teknolojilerinin Ekonomik Analizi ve Esneklik Faktörünün Sayısallaştırılmasına Bulanık Kümeler Yaklaşımı, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Negi, D.S.,** 1989. Fuzzy Analysis and Optimization, *Ph.D. Thesis*, Department of Industrial Engineering, Kansas State University.
- Tekeş, M.,** 2002. Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri ve Türk Silahlı Kuvvetlerinde Kullanılan Tabancaların Bulanık Uygunluk İndeksli Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Karşılaştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Topçu, Y.İ.,** 2000. Çok Ölçütlü Sorun Çözümüne Yönelik Bir Bütünleşik Karar Destek Modeli, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yapıcıoğlu, N.,** 1991. *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yayan, İ.,** 2001. Türk Kara Kuvvetlerinde Taarruz Taktik Keşif Helikopteri Etkinlik Değerlendirmesi ve Seçiminde Analitik Hiyerarşi Yaklaşımı, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

#### **C) Süreli Dergilerdeki Makaleler için gösterim**

- Abo-Sinha, M.A.,** 2000. Extensions of the TOPSIS for Multi-Objective Dynamic Programming Problems Under Fuzziness, *Advances in Modeling and Analysis B*, Vol. 43, No. 3-4, 1-23.
- Al-Khalil, M.,** 2002. Selecting the Appropriate Project Delivery Method Using AHP, *International Journal Of Project Management*, Vol. 20, 469-474.
- Aczel, J. And Saaty, T.L.,** 1983. Procedures for Synthesizing Ratio Judgements, *Journal of Mathematical Psychology*, Vol. 27, 93-102.

- Badiru, A.B. and Foote, B.L.,** 1992. Utility Based Justification of Advanced Manufacturing Technology, *Economic And Financial Justification Of Advanced Manufacturing Technologies*.
- Briggs, W.G.,** 1982. An Evaluation of DSS Packages, *Computer World*, Vol. 16, No. 9, 31.
- Buckley, J.J.,** 1985. Fuzzy Hierarchical Analysis, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 17, 233-247.
- Byun, D.H.,** 2001. The AHP Approach for Selecting an Automobile Purchase Model, , *Information and Management*, Vol. 38, 289-297.
- Chen, C.T.,** 2000. Extensions of the TOPSIS for the Group Decision-Making Under Fuzzy Environment, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 114, 1-9.
- Cheng, H.C., Yang, K.L. and Hwang, C.L.,** 1999. Evaluating Attack Helicopters by AHP based on Linguistic Variable Weight, *European Journal of Operational Research*, Vol. 116, 423-435.
- Dauer, J.P. and Krueger, R.J.,** 1977. An Iterative Approach to Goal Programming, *Operational Research Quarterly*, Vol. 28, No. 3, 671-681.
- Deng, H., Yeh, C.H. and Willis, R.J.,** 2000. Inter-Company Comparison Using Modified TOPSIS with Objective Weights, *Computers and Operations Research*, Vol. 27, No. 10, 963-97.
- Dey, P.K. and Gupta, S.S.,** 2000. Decision-Support System Yields Better Pipeline Route, *Oil and Gas Journal*, Vol. 98, No. 22, 68-73.
- Goh, C.H.,** 1997. Analytic Hierarchy Process for Robot Selection, *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 16, No. 5, 381-386.
- Hafeez, K., Zhang, Y.B. and Malak, N.,** 2002. Determining Key Capabilities of a Firm Using Analytic Hierarchy Process, *International Journal of Production Economics*, Vol. 76, No. 1, 39-51.
- Ignizio, J.P.,** 1976. An Approach to the Capital Budgeting Problem with Multiple Objectives, *The Engineering Economist*, Vol. 21, No 4, 259-272.
- Kastner, J.K. and Hong, S.J.,** 1984. A Review of Expert Systems, *European Journal of Operational Research*, Vol. 18.
- Kim, G., Park, C.S. and Yoon, K.P.,** 1997. Identifying Investment Opportunities for Advanced Manufacturing Systems with

Comparative-Integrated Performance Measurement, *International Journal of Production Economics*, Vol. 50, No. 1, 23-33.

**Kolli, S., Wilhelm, M.R., Parsei, H.R., Liles, D.H.,** 1992. A Classification Scheme For Advanced Automated Manufacturing Systems, *Economic And Financial Justification Of Advanced Manufacturing Technologies*, 165-187.

**Lai, V.S., Wong, B.K. and Cheung, W.,** 2002. Group Decision Making in a Multiple Criteria Environment: A Case Study Using the AHP in Software Selection, *European Journal of Operational Research*, Vol. 137, 134-144.

**Lavelle, J.R. and Lingett, H.R.,** 1992. Economic Methods For Evaluating Investment in Advanced Manufacturing Technologies, *Economic And Financial Justification Of Advanced Manufacturing Technologies*.

**Lee, S.M.,** 1973. Goal Programming for Decision Analysis of Multiple Objectives, *Sloan Management Review*, Vol. 14, 11-24.

**Meridith, J.R and Suresh, N.C.,** 1986. Justification Techniques For Advanced Manufacturing Technologies, *International Journal Of Production Research*, Vol. 24, 1043-1057.

**Miller, C.A.,** 1956. The Magic Number Seven Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information, *Psychological Review*, Vol.13, 81-97.

**Ossadnik, W. And Lange, O.,** 1999. AHP- based Evaluation of AHP-Software, *European Journal of Operational Research*, Vol. 118, 578-588.

**Parkan, C. and Wu, M.L.,** 1998, Process Selection with Multiple Objective and Subjective Attributes, *Production Planning and Control*, Vol. 9, No. 2, 189-200.

**Parsei, H.R., Wilhelm, M.R. and Kolli, S.,** 1993. Application of Outranking Methods to Economic and Financial Justification of CIM Systems, *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 25, No. 1-4, 357-360

**Parsei, H.R., Wilhelm, M.R.,** 1989. A Justification Methodology for Automated Manufacturing Technologies, *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 16, No 3, 363-373.

**Poh, K.L.,** 1998. A Knowledge-based Guidance System for Multi-attribute Decision Making, *Artificial Intelligence in Engineering.*, Vol. 12, 315-326.

- Rosenbloom, E.S.**, 1997. A Probabilistic Interpretation of the Final Ranking in AHP, *European Journal of Operational Research*, Vol. 96, 371-378.
- Saaty, T.L.**, 1990. An Exposition of the AHP in Reply to the Paper "Remarks on the Analytic Hierarchy Process", *Management Sciences*, Vol. 36, 259-268.
- Soni, R.G., Parsei, H.R., Liles, D.H.**, 1992. Economic and Financial Justification Methods For Advanced Automated Manufacturing Systems, *Economic And Financial Justification Of Advanced Manufacturing Technologies*, 135-154.
- Tsaur, S.H., Chang, T.Y. and Yen, C.H.**, 2002. The Evaluation of Airline Service Quality by Fuzzy MCDM, *Tourism Management*, Vol. 23, 107-115.
- Vargas, L.G.**, 1990. An Overview of the AHP and Its Applications, *European Journal of Operational Research*, Vol. 48, 2-8.
- Wells, V.L., Rutherford, J.W. and Corgiat, A.M.**, 1999. Mission and Concept Evaluation for A Multirole, Mission-Adaptable Air Vehicle, *Aircraft Design*, Vol. 2, 65-80.
- Wilhelm, M.R. and Parsei, H.R.**, 1991. A Fuzzy Linguistic Approach to Implementing A Strategy for Computer Integrated Manufacturing, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 42, 191-204.
- Yu, Y., Jin, K. and Zhang, H.C.**, 2000. A Decision-Making Model for Materials Management of End-of-Life Electronic Products, *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 19, No. 2, 94-107.
- Yusuff, R.M., Yee, K.P. and Hashmi, M.S.J.**, 2001. A Preliminary Study on the Potential Use of the Analytical Hierarchical Process (AHP) to Predict Advanced Manufacturing Technology (AMT) Implementation, *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 17, No. 5, 421-437.
- Zadeh, L.A.**, 1965. Fuzzy Sets, *Information and Control*, Vol. 8, 338-353.
- Zadeh, L.A.**, 1975. The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning, , *Information and Sciences*, Vol. 8, 199-249(I), 301-357(II).
- Zhu, X. and Dale, A.P.**, 2001. JavaAHP: A Web-based Decision Analysis Tool for Natural Resource and Environmental Management, *Environmental Modelling & Software*, Vol. 16, 251-262.

**D) Özel Sayılardaki Yayınlar için gösterim**

**Flight Test**, 2000. *Flight International*, 11-17 July.

**MacCrimon, K.R.**, 1968. An Overview of Multiple Objective Decision Making, In J.L. Cochrane and M. Zeleny (Eds.), *Multiple Criteria Decision Making* (18-43), Colombia, SC: University of South Carolina Press.

**Military Aircraft Directory**, 2001. *Flight International*, 29 May-4 June.

**Türk Savunma Sanayii El Kitabı**, 2001. Genelkurmay Basım Evi.

**X-35 JSF**, 2001. *Flight International*, 30 October-5 November.

**E) Akademik Konferanslarda Yayınlanmış Bildiriler için gösterim**

**Abdülhamit, Y.T., Kochhar, A.K. and Khan, M.K.**, 1999. An Analytic Hierarchy Process Approach to the Choice of Manufacturing Plant Layout, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B, Journal of Engineering Manufacture*, Vol. 213, No. B4, 397-406.

**Sumanth, D.J. and Pino, D.L.**, 1986. Equipment Selection and Justification Through Total Productivity Model, *Proceedings of the 8th Annual Conference on Computers and Industrial Engineering*, 91-94.

**Tolga, E. ve Kahraman, C.**, 1991. Multi-Criteria Investment Analysis Under Uncertainty, In *Proceedings of Portland International Conference on Management of Engineering & Technology*, 567-576.

**Tzeng, G.H. and Lin, J.J.**, 1996. Using Backup Coverage and TOPSIS Fuzzy Approach to Emergency Facilities, *Proceedings of the Asian Fuzzy Systems Symposium, Soft Computing in Intelligent Systems and Information Processing, Proceedings of the 1996 Asian Fuzzy Systems Symposium*, Kenting, Taiwan, 109-114

**F) Akademik Konferanslarda Sunulan Bildiriler için gösterim**

- Kolli, S. and Parsei, H.R.**, 1992. Multi- Criteria Analysis in the Evaluation of Advanced Manufacturing Technology Using PROMETHEE, *14th Conference of Computers and Industrial Engineering*, Florida.
- Mavris, D.N., Baker, A.P. and Schrage, D.P.**, 1999. Implementation of a Technology Impact Forecast Technique on a Civil Tiltrotor, *55th Annual Forum of the American Helicopter Society*, Montreal, Quebec, Canada.
- Pardee, E.S.**, 1969. Measurement and Evaluation of Transportation System Effectiveness, *RAND Memorandum RM-5868-DOT*.
- Tolga, E., Kahraman, C. ve Ulukan, Z.**, 1998. A Fuzzy Weighted Evaluation Method Using Objective and Subjective Measures, *International ICSC Symposium on Engineering of Intelligent Systems (EIS-98)*, Tenerife, Spain.

**G) Programlar ve İnternet Siteleri**

**Team EC 9.5, 2002. *Expert Choice Inc.***

**[www.eurofighter-typhoon.com](http://www.eurofighter-typhoon.com).**

**[www.fighter-planes.com](http://www.fighter-planes.com).**

**[www.janes.com/defence/air\\_forces/](http://www.janes.com/defence/air_forces/)**

**[www.MilAir.net](http://www.MilAir.net).**

**[www.lockheedmartin.com](http://www.lockheedmartin.com)**

**[www.boeing.com](http://www.boeing.com)**

**[www.gripen.com](http://www.gripen.com)**

## **EKLER**

**EK A :** Birinci Düzey Ölçütlerin İkili Karşılaştırmalar Anket Formu

**EK B :** İkinci Düzey Ölçütlerin İkili Karşılaştırmalar Anket Formu

**EK C :** Üçüncü Düzey Ölçütlerin İkili Karşılaştırmalar Anket Formu

**EK D :** Üçüncü Düzey Ölçütlerin İkili Karşılaştırmalar Matrisleri Ve Görelî  
Önemler Vektörleri

**EK E :** JAS-39 (Gripen) Savaş Uçağı

**EK-F :** Eurofighter (Typhoon) Savaş Uçağı

**EK-G :** X-35 (JSF) Savaş Uçağı

**EK-H :** F/A-18E/F (Super Hornet) Savaş Uçağı

**EK-I :** F-15E (Eagle) Savaş Uçağı

**EK-A: Birinci Düzey Ölçütlerin İkili Karşılaştırmalar Anket Formu**

|                          |                       | Tamamıyla<br>9 | Çok<br>Kuvvetli<br>7<br>Önemli | Kuvvetli<br>5<br><<<<<< | 1       | Biraz Daha<br>Kuvvetli<br>3<br>>>>>>> | Eşit<br>1<br>Önemli                                                                 |  |
|--------------------------|-----------------------|----------------|--------------------------------|-------------------------|---------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--|
| EN İYİ<br>SAVAŞ<br>UÇAĞI |                       | 9 8 7 6        | 5 4 3 2                        | 1                       | 2 3 4 5 | 6 7 8 9                               |                                                                                     |  |
| Mekanik Performans       | A<br>A<br>A<br>A<br>A |                |                                |                         |         |                                       | B Kontrol Yet.<br>C Silah Sistemi<br>D Aviyonik St.<br>E Uçuş Emn.<br>F Ekonomiklik |  |
| Kontrol Yeteneği         | B<br>B<br>B<br>B      |                |                                |                         |         |                                       | C Silah Sistemi<br>D Aviyonik St.<br>E Uçuş Emn.<br>F Ekonomiklik                   |  |
| Silah Sistemleri         | C<br>C<br>C           |                |                                |                         |         |                                       | D Aviyonik St.<br>E Uçuş Emn.<br>F Ekonomiklik                                      |  |
| Aviyonik Sistemleri      | D<br>D                |                |                                |                         |         |                                       | E Uçuş Emn.<br>F Ekonomiklik                                                        |  |
| Uçuş Emniyeti            | E                     |                |                                |                         |         |                                       | F Ekonomiklik                                                                       |  |

## EK-B: İkinci Düzey Ölçütlerin İkili Karşılaştırmalar Anket Formu

Önemli <<<<<<< >>>>>>> Önemli

| <b>Mekanik Performans</b> |             | <b>9 8 7 6</b> | <b>5 4 3 2</b> | <b>1</b> | <b>2 3 4 5</b> | <b>6 7 8 9</b> |                                                 |
|---------------------------|-------------|----------------|----------------|----------|----------------|----------------|-------------------------------------------------|
| Maximum Hız               | A<br>A<br>A |                |                |          |                |                | B Max. İrtifa<br>C Max. Menzil<br>D Max. Kalkış |
| Maximum İrtifa            | B<br>B      |                |                |          |                |                | C Max. Menzil<br>D Max. Kalkış                  |
| Maximum Menzil            | C           |                |                |          |                |                | D Max. Kalkış<br>Ağırlığı                       |

Önemli <<<<<<< >>>>>>> Önemli

| <b>Kontrol Yeteneği</b>                          |  | <b>9 8 7 6</b> | <b>5 4 3 2</b> | <b>1</b> | <b>2 3 4 5</b> | <b>6 7 8 9</b> |                                                   |
|--------------------------------------------------|--|----------------|----------------|----------|----------------|----------------|---------------------------------------------------|
| Her TürHavaA<br>Harekatında A<br>KullanılabilirA |  |                |                |          |                |                | B Dayanıklılık<br>C Her Hv. Uçş.<br>D Max Uçuş S. |
| Dayanıklılık B<br>B                              |  |                |                |          |                |                | C Her Hv. Uçş.<br>D Max Uçuş S.                   |
| Her Hava Ve C<br>Gece Uçabilir                   |  |                |                |          |                |                | D Max Uçuş<br>Sortisi                             |

Önemli <<<<<<< >>>>>>> Önemli

| <b>Uçuş Emniyeti</b>     |   | <b>9 8 7 6</b> | <b>5 4 3 2</b> | <b>1</b> | <b>2 3 4 5</b> | <b>6 7 8 9</b> |                            |
|--------------------------|---|----------------|----------------|----------|----------------|----------------|----------------------------|
| Acil Kurtarma Sistemleri | A |                |                |          |                |                | B Pilota Destek Sistemleri |

**Önemli <<<<<<< >>>>>>> Önemli**

| <b>Silah Sistemleri</b>                   | <b>9 8 7 6</b> | <b>5 4 3 2</b> | <b>1</b> | <b>2 3 4 5</b> | <b>6 7 8 9</b> |                                                                    |
|-------------------------------------------|----------------|----------------|----------|----------------|----------------|--------------------------------------------------------------------|
| Her TürHavaA<br>Atış A<br>Yeteneği A<br>A |                |                |          |                |                | B Max. Müh.<br>C Elektronik H.<br>D Radar Sistem<br>E Her Slh. Uy. |
| Maximum B<br>Mühimmat B<br>Taşıma Kap. B  |                |                |          |                |                | C Elektronik H.<br>D Radar Sistem<br>E Her Slh. Uy.                |
| Elektronik C<br>Harp Ytn. C               |                |                |          |                |                | D Radar Sistem<br>E Her Slh. Uy.                                   |
| Radar D<br>Sistem Ytn.                    |                |                |          |                |                | E HerTür Slh.<br>Uyumluluk                                         |

**Önemli <<<<<<< >>>>>>> Önemli**

| <b>Aviyonik Sistemleri</b> | <b>9 8 7 6</b> | <b>5 4 3 2</b> | <b>1</b> | <b>2 3 4 5</b> | <b>6 7 8 9</b> |                                         |
|----------------------------|----------------|----------------|----------|----------------|----------------|-----------------------------------------|
| Muhabere A<br>Sistemleri   |                |                |          |                |                | B Yardımcı Uç<br>Gösterge<br>Sistemleri |

**Önemli <<<<<<< >>>>>>> Önemli**

| <b>Ekonomiklik</b>              | <b>9 8 7 6</b> | <b>5 4 3 2</b> | <b>1</b> | <b>2 3 4 5</b> | <b>6 7 8 9</b> |                                                  |
|---------------------------------|----------------|----------------|----------|----------------|----------------|--------------------------------------------------|
| Satın A<br>Alma A<br>Maliyeti A |                |                |          |                |                | B Bakım Mlyt.<br>C Ekonomik Ö.<br>D Servis Donan |
| Bakım B<br>İdame Mlyt. B        |                |                |          |                |                | C Ekonomik Ö.<br>D Servis Donan                  |
| Ekonomik C<br>Ömür              |                |                |          |                |                | D Servis Donan<br>Devamlılığı                    |

**EK-C: Üçüncü Düzey Ölçütlerin İkili Karşılaştırmalar Anket Formu**

**Önemli <<<<<<< >>>>>>> Önemli**

| <b>Her Hv. Hrkt.<br/>Kullanılabilir</b> |  | <b>9 8 7 6</b> | <b>5 4 3 2</b> | <b>1</b> | <b>2 3 4 5</b> | <b>6 7 8 9</b> |                                            |
|-----------------------------------------|--|----------------|----------------|----------|----------------|----------------|--------------------------------------------|
| F/A-18E    A<br>A<br>A<br>A             |  |                |                |          |                |                | B F-15E<br>C JSF<br>D JAS-39<br>E EUROFIGH |
| F-15E       B<br>B<br>B                 |  |                |                |          |                |                | C JSF<br>D JAS-39<br>E EUROFIGH            |
| JSF           C<br>C                    |  |                |                |          |                |                | D JAS-39<br>E EUROFIGH                     |
| JAS-39      D                           |  |                |                |          |                |                | E EUROFIGH                                 |

**Önemli <<<<<<< >>>>>>> Önemli**

| <b>Dayanıklılık</b>         |  | <b>9 8 7 6</b> | <b>5 4 3 2</b> | <b>1</b> | <b>2 3 4 5</b> | <b>6 7 8 9</b> |                                            |
|-----------------------------|--|----------------|----------------|----------|----------------|----------------|--------------------------------------------|
| F/A-18E    A<br>A<br>A<br>A |  |                |                |          |                |                | B F-15E<br>C JSF<br>D JAS-39<br>E EUROFIGH |
| F-15E       B<br>B<br>B     |  |                |                |          |                |                | C JSF<br>D JAS-39<br>E EUROFIGH            |
| JSF           C<br>C        |  |                |                |          |                |                | D JAS-39<br>E EUROFIGH                     |
| JAS-39      D               |  |                |                |          |                |                | E EUROFIGH                                 |

Önemli <<<<<<< >>>>>>> Önemli

| Her Hv. Gece<br>Uçuşabilirlik |  | 9 8 7 6 | 5 4 3 2 | 1 | 2 3 4 5 | 6 7 8 9 |                                            |
|-------------------------------|--|---------|---------|---|---------|---------|--------------------------------------------|
| F/A-18E A<br>A<br>A<br>A      |  |         |         |   |         |         | B F-15E<br>C JSF<br>D JAS-39<br>E EUROFIGH |
| F-15E B<br>B<br>B             |  |         |         |   |         |         | C JSF<br>D JAS-39<br>E EUROFIGH            |
| JSF C<br>C                    |  |         |         |   |         |         | D JAS-39<br>E EUROFIGH                     |
| JAS-39 D                      |  |         |         |   |         |         | E EUROFIGH                                 |

Önemli <<<<<<< >>>>>>> Önemli

| Maximum<br>Uçuş Sortisi  |  | 9 8 7 6 | 5 4 3 2 | 1 | 2 3 4 5 | 6 7 8 9 |                                            |
|--------------------------|--|---------|---------|---|---------|---------|--------------------------------------------|
| F/A-18E A<br>A<br>A<br>A |  |         |         |   |         |         | B F-15E<br>C JSF<br>D JAS-39<br>E EUROFIGH |
| F-15E B<br>B<br>B        |  |         |         |   |         |         | C JSF<br>D JAS-39<br>E EUROFIGH            |
| JSF C<br>C               |  |         |         |   |         |         | D JAS-39<br>E EUROFIGH                     |
| JAS-39 D                 |  |         |         |   |         |         | E EUROFIGH                                 |

Önemli <<<<<<< >>>>>>> Önemli

| Her Hava<br>Atış Yeteneği |  | 9 8 7 6 | 5 4 3 2 | 1 | 2 3 4 5 | 6 7 8 9 |                                            |
|---------------------------|--|---------|---------|---|---------|---------|--------------------------------------------|
| F/A-18E A<br>A<br>A<br>A  |  |         |         |   |         |         | B F-15E<br>C JSF<br>D JAS-39<br>E EUROFIGH |
| F-15E B<br>B<br>B         |  |         |         |   |         |         | C JSF<br>D JAS-39<br>E EUROFIGH            |
| JSF C<br>C                |  |         |         |   |         |         | D JAS-39<br>E EUROFIGH                     |
| JAS-39 D                  |  |         |         |   |         |         | E EUROFIGH                                 |

Önemli <<<<<<< >>>>>>> Önemli

| Elektronik<br>Harp Ytnğı. |  | 9 8 7 6 | 5 4 3 2 | 1 | 2 3 4 5 | 6 7 8 9 |                                            |
|---------------------------|--|---------|---------|---|---------|---------|--------------------------------------------|
| F/A-18E A<br>A<br>A<br>A  |  |         |         |   |         |         | B F-15E<br>C JSF<br>D JAS-39<br>E EUROFIGH |
| F-15E B<br>B<br>B         |  |         |         |   |         |         | C JSF<br>D JAS-39<br>E EUROFIGH            |
| JSF C<br>C                |  |         |         |   |         |         | D JAS-39<br>E EUROFIGH                     |
| JAS-39 D                  |  |         |         |   |         |         | E EUROFIGH                                 |

Önemli <<<<<<< >>>>>>> Önemli

| <b>Radar Sistem<br/>Yeteneği</b> |  | <b>9 8 7 6</b> | <b>5 4 3 2</b> | <b>1</b> | <b>2 3 4 5</b> | <b>6 7 8 9</b> |                                            |
|----------------------------------|--|----------------|----------------|----------|----------------|----------------|--------------------------------------------|
| F/A-18E A<br>A<br>A<br>A         |  |                |                |          |                |                | B F-15E<br>C JSF<br>D JAS-39<br>E EUROFIGH |
| F-15E B<br>B<br>B                |  |                |                |          |                |                | C JSF<br>D JAS-39<br>E EUROFIGH            |
| JSF C<br>C                       |  |                |                |          |                |                | D JAS-39<br>E EUROFIGH                     |
| JAS-39 D                         |  |                |                |          |                |                | E EUROFIGH                                 |

Önemli <<<<<<< >>>>>>> Önemli

| <b>Her Tür Silah<br/>Atabilme</b> |  | <b>9 8 7 6</b> | <b>5 4 3 2</b> | <b>1</b> | <b>2 3 4 5</b> | <b>6 7 8 9</b> |                                            |
|-----------------------------------|--|----------------|----------------|----------|----------------|----------------|--------------------------------------------|
| F/A-18E A<br>A<br>A<br>A          |  |                |                |          |                |                | B F-15E<br>C JSF<br>D JAS-39<br>E EUROFIGH |
| F-15E B<br>B<br>B                 |  |                |                |          |                |                | C JSF<br>D JAS-39<br>E EUROFIGH            |
| JSF C<br>C                        |  |                |                |          |                |                | D JAS-39<br>E EUROFIGH                     |
| JAS-39 D                          |  |                |                |          |                |                | E EUROFIGH                                 |

Önemli <<<<<<< >>>>>>> Önemli

| Muhabere Sistemleri |                  | 9 8 7 6 | 5 4 3 2 | 1 | 2 3 4 5 | 6 7 8 9 |                                            |
|---------------------|------------------|---------|---------|---|---------|---------|--------------------------------------------|
| F/A-18E             | A<br>A<br>A<br>A |         |         |   |         |         | B F-15E<br>C JSF<br>D JAS-39<br>E EUROFIGH |
| F-15E               | B<br>B<br>B      |         |         |   |         |         | C JSF<br>D JAS-39<br>E EUROFIGH            |
| JSF                 | C<br>C           |         |         |   |         |         | D JAS-39<br>E EUROFIGH                     |
| JAS-39              | D                |         |         |   |         |         | E EUROFIGH                                 |

Önemli <<<<<<< >>>>>>> Önemli

| Uçuş Gösterge Sistemleri |                  | 9 8 7 6 | 5 4 3 2 | 1 | 2 3 4 5 | 6 7 8 9 |                                            |
|--------------------------|------------------|---------|---------|---|---------|---------|--------------------------------------------|
| F/A-18E                  | A<br>A<br>A<br>A |         |         |   |         |         | B F-15E<br>C JSF<br>D JAS-39<br>E EUROFIGH |
| F-15E                    | B<br>B<br>B      |         |         |   |         |         | C JSF<br>D JAS-39<br>E EUROFIGH            |
| JSF                      | C<br>C           |         |         |   |         |         | D JAS-39<br>E EUROFIGH                     |
| JAS-39                   | D                |         |         |   |         |         | E EUROFIGH                                 |

Önemli <<<<<<< >>>>>>> Önemli

| Acil Kurtarma Sistemleri |  | 9 8 7 6 | 5 4 3 2 | 1 | 2 3 4 5 | 6 7 8 9 |                                            |
|--------------------------|--|---------|---------|---|---------|---------|--------------------------------------------|
| F/A-18E A<br>A<br>A<br>A |  |         |         |   |         |         | B F-15E<br>C JSF<br>D JAS-39<br>E EUROFIGH |
| F-15E B<br>B<br>B        |  |         |         |   |         |         | C JSF<br>D JAS-39<br>E EUROFIGH            |
| JSF C<br>C               |  |         |         |   |         |         | D JAS-39<br>E EUROFIGH                     |
| JAS-39 D                 |  |         |         |   |         |         | E EUROFIGH                                 |

Önemli <<<<<<< >>>>>>> Önemli

| Her Tür Hrk. Destek Sist. |  | 9 8 7 6 | 5 4 3 2 | 1 | 2 3 4 5 | 6 7 8 9 |                                            |
|---------------------------|--|---------|---------|---|---------|---------|--------------------------------------------|
| F/A-18E A<br>A<br>A<br>A  |  |         |         |   |         |         | B F-15E<br>C JSF<br>D JAS-39<br>E EUROFIGH |
| F-15E B<br>B<br>B         |  |         |         |   |         |         | C JSF<br>D JAS-39<br>E EUROFIGH            |
| JSF C<br>C                |  |         |         |   |         |         | D JAS-39<br>E EUROFIGH                     |
| JAS-39 D                  |  |         |         |   |         |         | E EUROFIGH                                 |

Önemli <<<<<<< >>>>>>> Önemli

| Bakım İdame<br>Maliyeti |                  | 9 8 7 6 | 5 4 3 2 | 1 | 2 3 4 5 | 6 7 8 9 |                                            |
|-------------------------|------------------|---------|---------|---|---------|---------|--------------------------------------------|
| F/A-18E                 | A<br>A<br>A<br>A |         |         |   |         |         | B F-15E<br>C JSF<br>D JAS-39<br>E EUROFIGH |
| F-15E                   | B<br>B<br>B      |         |         |   |         |         | C JSF<br>D JAS-39<br>E EUROFIGH            |
| JSF                     | C<br>C           |         |         |   |         |         | D JAS-39<br>E EUROFIGH                     |
| JAS-39                  | D                |         |         |   |         |         | E EUROFIGH                                 |

Önemli <<<<<<< >>>>>>> Önemli

| Ekonomik<br>Ömür |                  | 9 8 7 6 | 5 4 3 2 | 1 | 2 3 4 5 | 6 7 8 9 |                                            |
|------------------|------------------|---------|---------|---|---------|---------|--------------------------------------------|
| F/A-18E          | A<br>A<br>A<br>A |         |         |   |         |         | B F-15E<br>C JSF<br>D JAS-39<br>E EUROFIGH |
| F-15E            | B<br>B<br>B      |         |         |   |         |         | C JSF<br>D JAS-39<br>E EUROFIGH            |
| JSF              | C<br>C           |         |         |   |         |         | D JAS-39<br>E EUROFIGH                     |
| JAS-39           | D                |         |         |   |         |         | E EUROFIGH                                 |

Önemli <<<<<< >>>>>> Önemli

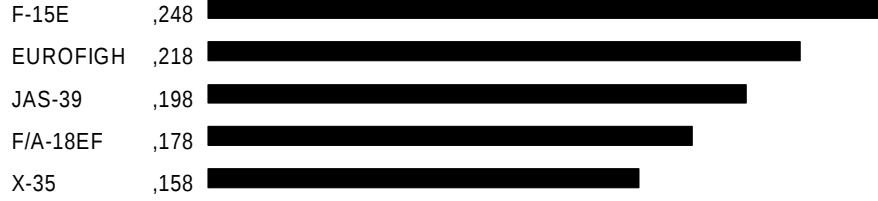
| ServisDonanım | Devamlılığı      | 9 8 7 6 | 5 4 3 2 | 1 | 2 3 4 5 | 6 7 8 9 |                                            |
|---------------|------------------|---------|---------|---|---------|---------|--------------------------------------------|
| F/A-18E       | A<br>A<br>A<br>A |         |         |   |         |         | B F-15E<br>C JSF<br>D JAS-39<br>E EUROFIGH |
| F-15E         | B<br>B<br>B      |         |         |   |         |         | C JSF<br>D JAS-39<br>E EUROFIGH            |
| JSF           | C<br>C           |         |         |   |         |         | D JAS-39<br>E EUROFIGH                     |
| JAS-39        | D                |         |         |   |         |         | E EUROFIGH                                 |

## EK-D: Üçüncü Düzey Ölçütlerin İkili Karşılaştırmalar Matrisleri Ve Görelî Önemler Vektörleri

### “Max. Hız” Ölçütü İkili Karşılaştırmalar Matrisi Ve Görelî Önemler Vektörü

|          | EUROFIGH | JAS-39 | F/A-18EF | X-35 |
|----------|----------|--------|----------|------|
| F-15E    | 1,1      | 1,3    | 1,4      | 1,6  |
| EUROFIGH |          | 1,1    | 1,2      | 1,4  |
| JAS-39   |          |        | 1,1      | 1,3  |
| F/A-18EF |          |        |          | 1,1  |

Row element is \_\_ times more than column element unless enclosed in ()

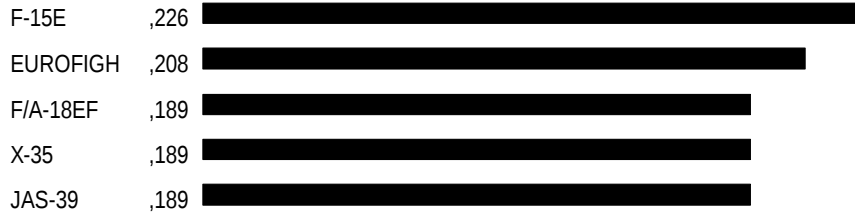


Inconsistency Ratio =0,0

### “Max. İrtifa” Ölçütü İkili Karşılaştırmalar Matrisi Ve Görelî Önemler Vektörü

|          | EUROFIGH | F/A-18EF | X-35 | JAS-39 |
|----------|----------|----------|------|--------|
| F-15E    | 1,1      | 1,2      | 1,2  | 1,2    |
| EUROFIGH |          | 1,1      | 1,1  | 1,1    |
| F/A-18EF |          |          | 1,0  | 1,0    |
| X-35     |          |          |      | 1,0    |

Row element is \_\_ times more than column element unless enclosed in ()



Inconsistency Ratio =0,0

**“Max. Kalkış Ağırlığı” Ölçütü İkili Karşılaştırmalar Matrisi Ve Görelî Önemleri**

|          | F/A-18EF | EUROFIGH | X-35 | JAS-39 |
|----------|----------|----------|------|--------|
| F-15E    | 1,2      | 1,6      | 1,6  | 2,6    |
| F/A-18EF |          | 1,3      | 1,3  | 2,1    |
| EUROFIGH |          |          | 1,0  | 1,6    |
| X-35     |          |          |      | 1,6    |

Row element is \_\_ times more than column element unless enclosed in ()

|          |      |  |
|----------|------|--|
| F-15E    | ,291 |  |
| F/A-18EF | ,237 |  |
| EUROFIGH | ,182 |  |
| X-35     | ,179 |  |
| JAS-39   | ,111 |  |

Inconsistency Ratio =0,0

|          |         |
|----------|---------|
| X-35     | JSF     |
| JAS-39   | GRIPEN  |
| EUROFIGH | TYPHOON |

**“Max. Menzil” Ölçütü İkili Karşılaştırmalar Matrisi Ve Görelî Önemleri**

|          | F/A-18EF | X-35 | JAS-39 | EUROFIGH |
|----------|----------|------|--------|----------|
| F-15E    | 1,2      | 1,5  | 1,5    | 2,0      |
| F/A-18EF |          | 1,2  | 1,2    | 1,6      |
| X-35     |          |      | 1,0    | 1,4      |
| JAS-39   |          |      |        | 1,4      |

Row element is \_\_ times more than column element unless enclosed in ()

|          |      |  |
|----------|------|--|
| F-15E    | ,273 |  |
| F/A-18EF | ,221 |  |
| X-35     | ,184 |  |
| JAS-39   | ,184 |  |
| EUROFIGH | ,137 |  |

Inconsistency Ratio =0,0

## “HerHv.Hrk.Kullanılabilirlik” Ölçütü İkiliKarşılaştırmalar MatrisiGörelİ Önemleri

|          | X-35 | F/A-18EF | JAS-39 | EUROFIGH |
|----------|------|----------|--------|----------|
| F-15E    | 1,0  | 2,0      | 2,0    | 2,0      |
| X-35     |      | 2,0      | 2,0    | 2,0      |
| F/A-18EF |      |          | 1,0    | 2,0      |
| JAS-39   |      |          |        | 1,0      |

Row element is \_\_ times more than column element unless enclosed in ()

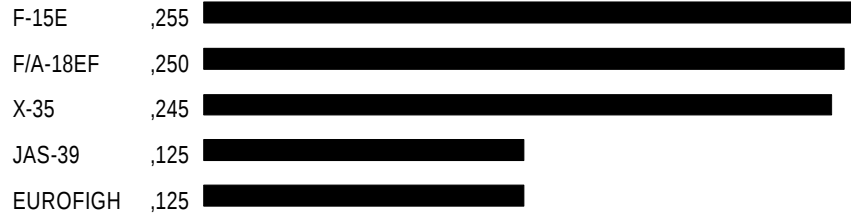


Inconsistency Ratio =0,01

## “Dayanıklılık” Ölçütü İkili Karşılaştırmalar Matrisi Ve Görelİ Önemleri

|          | F/A-18EF | X-35 | JAS-39 | EUROFIGH |
|----------|----------|------|--------|----------|
| F-15E    | (1,0)    | 1,1  | 2,0    | 2,0      |
| F/A-18EF |          | 1,0  | 2,0    | 2,0      |
| X-35     |          |      | 2,0    | 2,0      |
| JAS-39   |          |      |        | 1,0      |

Row element is \_\_ times more than column element unless enclosed in ()

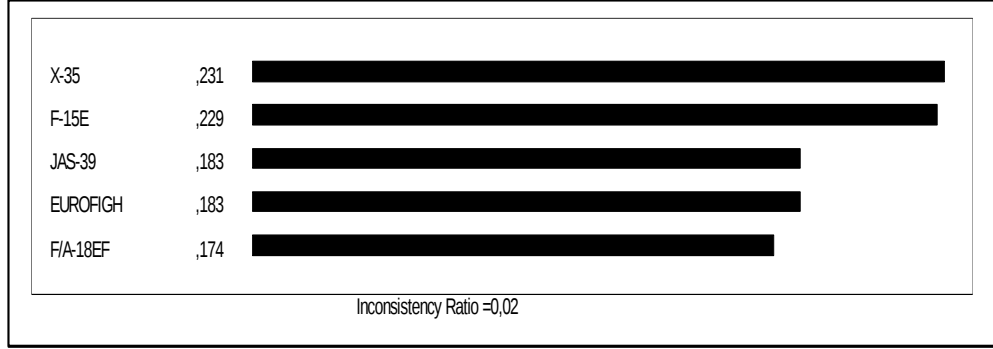


Inconsistency Ratio =0,0

### “Her Hv. Gece Uçabilirlik” Ölçütü İkili Karşılaştırmalar Matrisi Görelî Önemleri

|          | F-15E | JAS-39 | EUROFIGH | F/A-18EF |
|----------|-------|--------|----------|----------|
| X-35     | (1,0) | 1,0    | 1,0      | 2,0      |
| F-15E    |       | 1,4    | 1,4      | (1,0)    |
| JAS-39   |       |        | 1,0      | (1,0)    |
| EUROFIGH |       |        |          | (1,0)    |

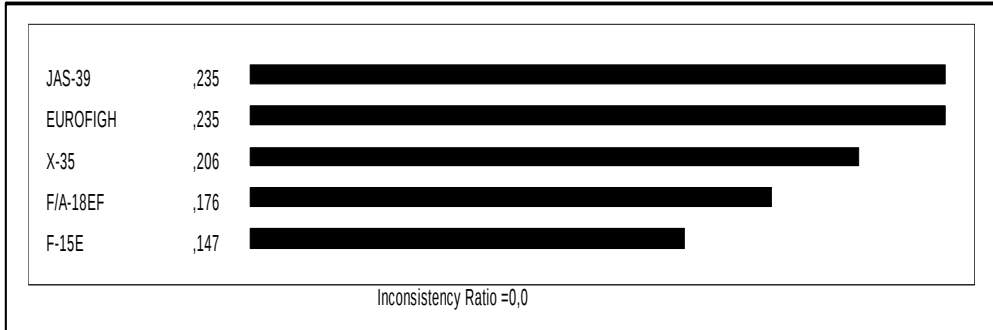
Row element is \_ times more than column element unless enclosed in ()



### “Max. Uçuş Sortisi” Ölçütü İkili Karşılaştırmalar Matrisi Görelî Önemleri

|          | EUROFIGH | X-35 | F/A-18EF | F-15E |
|----------|----------|------|----------|-------|
| JAS-39   | 1,0      | 1,1  | 1,3      | 1,6   |
| EUROFIGH |          | 1,1  | 1,3      | 1,6   |
| X-35     |          |      | 1,2      | 1,4   |
| F/A-18EF |          |      |          | 1,2   |

Row element is \_ times more than column element unless enclosed in ()



### “Her Hava Atış Yeteneği” Ölçütü İkili Karşılaştırmalar Matrisi Göreli Önemleri

|          | F-15E | JAS-39 | F/A-18EF | EUROFIGH |
|----------|-------|--------|----------|----------|
| X-35     | (1,0) | 1,0    | 1,1      | 1,2      |
| F-15E    |       | 1,0    | (1,0)    | 1,0      |
| JAS-39   |       |        | (1,0)    | 1,0      |
| F/A-18EF |       |        |          | 1,1      |

Row element is \_\_ times more than column element unless enclosed in ()

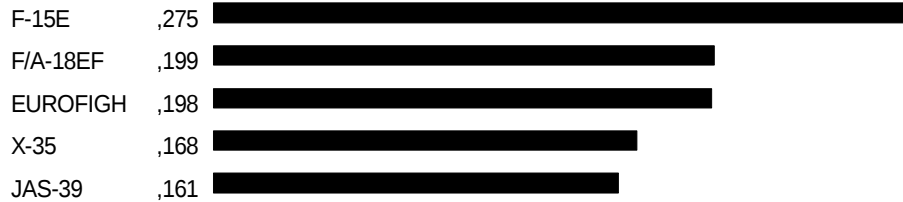


Inconsistency Ratio =0,0

### “Max.Mühimmat Taşıma ” Ölçütü İkili Karşılaştırmalar Matrisi Göreli Önemleri

|          | F/A-18EF | EUROFIGH | X-35 | JAS-39 |
|----------|----------|----------|------|--------|
| F-15E    | 1,4      | 1,4      | 1,6  | 1,7    |
| F/A-18EF |          | 1,0      | 1,2  | 1,2    |
| EUROFIGH |          |          | 1,2  | 1,2    |
| X-35     |          |          |      | 1,0    |

Row element is \_\_ times more than column element unless enclosed in ()



Inconsistency Ratio =0,0

### “Elektronik Harp Yeteneği” Ölçütü İkili Karşılaştırmalar Matrisi Görelî Önemleri

|          | F-15E | F/A-18EF | JAS-39 | EUROFIGH |
|----------|-------|----------|--------|----------|
| X-35     | (1,0) | (1,0)    | 1,5    | 1,5      |
| F-15E    |       | (1,0)    | 1,2    | 1,5      |
| F/A-18EF |       |          | 1,0    | 1,4      |
| JAS-39   |       |          |        | 1,3      |

Row element is \_\_ times more than column element unless enclosed in ()

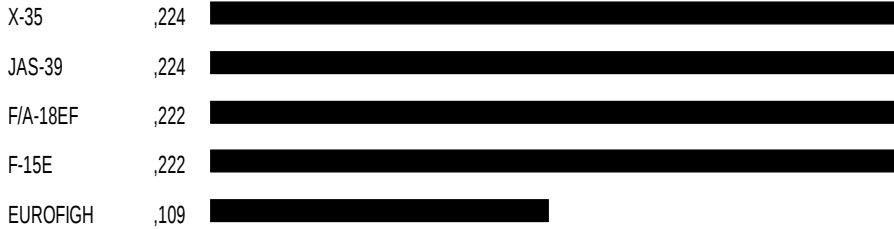


Inconsistency Ratio =0,0

### “Radar Sistem Yeteneği” Ölçütü İkili Karşılaştırmalar Matrisi Görelî Önemleri

|          | JAS-39 | F/A-18EF | F-15E | EUROFIGH |
|----------|--------|----------|-------|----------|
| X-35     | 1,0    | (1,0)    | (1,0) | 2,1      |
| JAS-39   |        | (1,0)    | (1,0) | 2,1      |
| F/A-18EF |        |          | 1,0   | 2,0      |
| F-15E    |        |          |       | 2,0      |

Row element is \_\_ times more than column element unless enclosed in ()



Inconsistency Ratio =0,0

### “Her Tür Silah Atabilme” Ölçütü İkili Karşılaştırmalar Matrisi Görelî Önemleri

|          | F-15E | F/A-18EF | JAS-39 | EUROFIGH |
|----------|-------|----------|--------|----------|
| X-35     | (1,0) | (1,0)    | 1,5    | 1,6      |
| F-15E    |       | (1,0)    | 1,3    | 1,3      |
| F/A-18EF |       |          | 1,0    | 1,3      |
| JAS-39   |       |          |        | 1,0      |

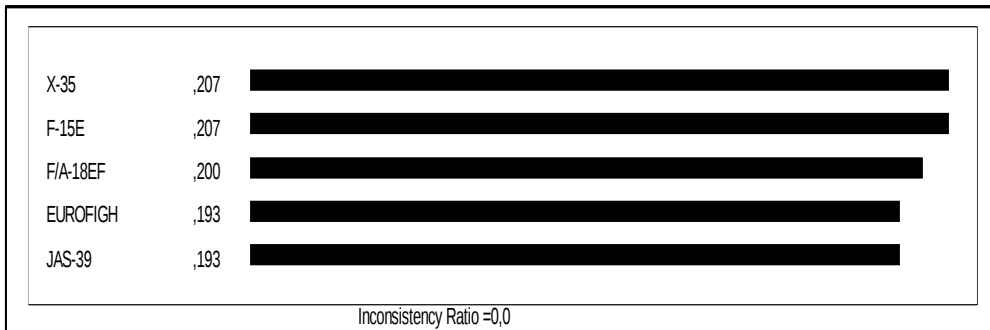
Row element is \_\_ times more than column element unless enclosed in ()



### “Muhabere Sistemleri” Ölçütü İkili Karşılaştırmalar Matrisi Görelî Önemleri

|          | F-15E | F/A-18EF | EUROFIGH | JAS-39 |
|----------|-------|----------|----------|--------|
| X-35     | (1,0) | (1,0)    | 1,2      | 1,0    |
| F-15E    |       | (1,0)    | 1,0      | 1,2    |
| F/A-18EF |       |          | 1,0      | 1,0    |
| EUROFIGH |       |          |          | (1,0)  |

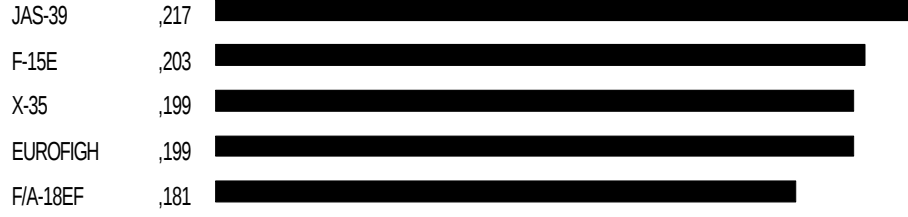
Row element is \_\_ times more than column element unless enclosed in ()



### “Uçuş Gösterge Sistemleri” Ölçütü İkili Karşılaştırmalar Matrisi Göreli Önemleri

|          | F-15E | X-35  | EUROFIGH | F/A-18EF |
|----------|-------|-------|----------|----------|
| JAS-39   | (1,0) | (1,0) | 1,0      | 1,5      |
| F-15E    |       | 1,0   | 1,0      | 1,1      |
| X-35     |       |       | 1,0      | (1,0)    |
| EUROFIGH |       |       |          | (1,0)    |

Row element is \_\_ times more than column element unless enclosed in ()

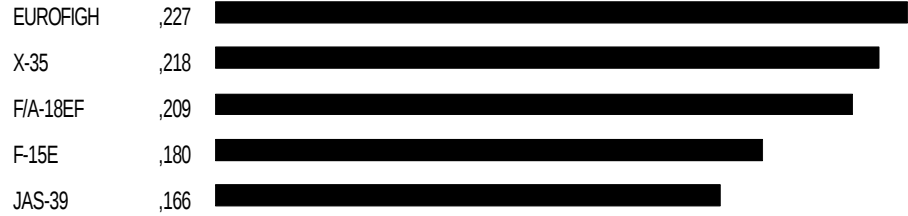


Inconsistency Ratio =0,0

### “Pilota Destek Sistemleri” Ölçütü İkili Karşılaştırmalar Matrisi Göreli Önemleri

|          | X-35  | F/A-18EF | F-15E | JAS-39 |
|----------|-------|----------|-------|--------|
| EUROFIGH | (1,0) | (1,0)    | 1,3   | 1,6    |
| X-35     |       | (1,0)    | (1,0) | 1,6    |
| F/A-18EF |       |          | 1,3   | 1,0    |
| F-15E    |       |          |       | 1,0    |

Row element is \_\_ times more than column element unless enclosed in ()



Inconsistency Ratio =0,01

### “Acil Kurtama Sistemleri” Ölçütü İkili Karşılaştırmalar Matrisi Görelî Önemleri

|          | F/A-18EF | F-15E | EUROFIGH | JAS-39 |
|----------|----------|-------|----------|--------|
| X-35     | (1,0)    | (1,0) | 1,1      | 1,2    |
| F/A-18EF |          | 1,0   | 1,0      | 1,0    |
| F-15E    |          |       | 1,0      | 1,0    |
| EUROFIGH |          |       |          | (1,0)  |

Row element is \_\_ times more than column element unless enclosed in ()

|          |      |             |
|----------|------|-------------|
| X-35     | ,211 | <div></div> |
| F/A-18EF | ,200 | <div></div> |
| F-15E    | ,200 | <div></div> |
| EUROFIGH | ,196 | <div></div> |
| JAS-39   | ,193 | <div></div> |

Inconsistency Ratio =0,0

### “Satın Alma Maliyeti” Ölçütü İkili Karşılaştırmalar Matrisi Görelî Önemleri

|          | F-15E | EUROFIGH | JAS-39 | F/A-18EF |
|----------|-------|----------|--------|----------|
| X-35     | 1,1   | 1,3      | 1,4    | 1,6      |
| F-15E    |       | 1,2      | 1,3    | 1,4      |
| EUROFIGH |       |          | 1,1    | 1,2      |
| JAS-39   |       |          |        | 1,1      |

Row element is \_\_ times more than column element unless enclosed in ()

|          |      |             |
|----------|------|-------------|
| X-35     | ,252 | <div></div> |
| F-15E    | ,223 | <div></div> |
| EUROFIGH | ,192 | <div></div> |
| JAS-39   | ,174 | <div></div> |
| F/A-18EF | ,160 | <div></div> |

Inconsistency Ratio =0,0

### “Bakım İdame Maliyeti” Ölçütü İkili Karşılaştırmalar Matrisi Göreli Önemleri

|          | JAS-39 | EUROFIGH | F/A-18EF | F-15E |
|----------|--------|----------|----------|-------|
| X-35     | 1,5    | 2,5      | 4,0      | 4,0   |
| JAS-39   |        | 2,0      | 3,0      | 3,0   |
| EUROFIGH |        |          | 2,0      | 2,0   |
| F/A-18EF |        |          |          | 1,0   |

Row element is \_\_ times more than column element unless enclosed in ()

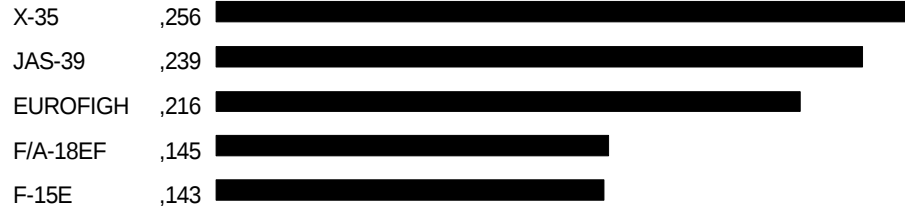


Inconsistency Ratio =0,0

### “Ekonomik Ömür” Ölçütü İkili Karşılaştırmalar Matrisi Göreli Önemleri

|          | JAS-39 | EUROFIGH | F/A-18EF | F-15E |
|----------|--------|----------|----------|-------|
| X-35     | 1,0    | 1,0      | 2,0      | 2,0   |
| JAS-39   |        | 1,0      | 1,8      | 1,6   |
| EUROFIGH |        |          | 1,2      | 1,4   |
| F/A-18EF |        |          |          | 1,0   |

Row element is \_\_ times more than column element unless enclosed in ()



Inconsistency Ratio =0,01

**“Servis DonanımDevamlılık” Ölçütü İkili Karşılaştırmalar Matrisi Görelî Önemleri**

|          | JAS-39 | EUROFIGH | F/A-18EF | F-15E |
|----------|--------|----------|----------|-------|
| X-35     | 1,0    | 1,0      | 1,3      | 1,3   |
| JAS-39   |        | 1,0      | (1,0)    | (1,0) |
| EUROFIGH |        |          | (1,0)    | (1,0) |
| F/A-18EF |        |          |          | 1,0   |

Row element is \_\_ times more than column element unless enclosed in ()



**EK-E : JAS-39 (Gripen) Savaş Uçağı**



**EK-F : Eurofighter (Typhoon) Savaş Uçağı**



**EK-G : X-35 (JSF) Savaş Uçağı**



**EK-H : F/A-18E/F (Super Hornet) Savaş Uçağı**



**EK-1 : F-15E (Eagle) Savaş Uçağı**



## ÖZGEÇMİŞ

Serdal ÇELİKAY, 1972 yılında Manisa iline bağlı Salihli ilçesinde doğmuştur. İlk ve orta öğrenimini müteakiben 1986 yılında Kuleli Askeri Lisesi' ne girmiştir. 1990-1994 yılları arasında Hava Harp Okulu' nda Endüstri Mühendisliği bölümünde lisans eğitimini tamamlayıp Hava Teğmeni olarak mezun olmuştur. Çiğli Uçuş Eğitim Merkez Komutanlığı' nda pilotaj eğitimini müteakiben Konya 3 ncü Ana Jet Üs Komutanlığı' nda F-4E Harbe Hazırlık eğitimini almıştır. 1996-2000 yılları arasında 1 nci Ana Jet Üs 113 ncü Filo Komutanlığı emrinde kol uçucusu olarak görev yaptıktan sonra 2000 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı Endüstri Mühendisliği Programında Yüksek Lisans eğitimine başlamıştır. ÇELİKAY evli ve bir çocuk sahibi olup İngilizce bilmektedir.