

**BULANIK YENİLEME ANALİZİ**

**DOKTORA TEZİ**  
**Murat Levent DEMİRCAN**  
**(507992413)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 13 Eylül 2004**  
**Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Aralık 2004**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Ethem TOLGA**

**Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Ahmet Fahri ÖZOK**

**Prof.Dr. Alpaslan FIĞLALI (KO.Ü.)**

**Prof.Dr. Ertuğrul KARSAK (GS.Ü.)**

**Prof.Dr. Cengiz KAHRAMAN**

**ARALIK 2004**

## ÖNSÖZ

Mühendislik Ekonomisi konularının arasında Yenileme Analizi konusu, diğer konuları büyük ölçüde kapsamaması itibari ile ayrı bir öneme sahiptir. Yenileme Analizi konusu ve beraberinde getirdiği kavramlar Mühendislik Ekonomisi'nin sadece teorik alanda değil pratik alanda da ne denli güçlü olduğunu ispatlar. Mühendislik; matematik, fizik, kimya vs. ana bilim kolları ile desteklendiği için çoğu zaman ilgilendiği konularda belirlilik ve kesinlik hakimdir. Söz konusu konularda dış etkenlerin etkisi çoğaldıkça belirsizlik artmakta ve net, kesin ifade edilemeyen kavram ve sistemlerle karşılaşmaktadır. Bu noktada faydalanabileceğimiz Bulanık Mantık altyapısı, Mühendislik Ekonomisi'nin Yenileme Analizi konusunda karşımıza çıkan net ve kesin olarak belirlemekte zorlandığımız kavramlarla çalışmakta bizlere yardımcı olmaktadır. Bu çalışmada Mühendislik Ekonomisi'nin ana inceleme konularından olan Yenileme Analizi'ne ait kavram ve sistemler Bulanık Mantık yaklaşımı ile incelenmiştir. Neticede gerek teorik alanda gerekse pratik alanda uygulanabilen bir Bulanık Yenileme Analizi altyapısı oluşturulmuştur. Bu çalışmamda bana sürekli destek veren Prof. Dr. Ethem TOLGA'ya, Prof. Dr. Ertuğrul KARSAK'a, Prof. Dr. Cengiz KAHRAMAN'a, doktora öğrenimim ve tez çalışmam boyunca bilgi ve tecrübelerinden sürekli faydalandığım Prof. Dr. Ahmet Fahri ÖZOK'a, Prof. Dr. Alpaslan FIĞLALI'ya, Prof. Dr. Haluk ERKUT'a, Prof. Dr. Füsun ÜLENGİN'e, Prof. Dr. Nahit SERASLAN'a, Doç. Dr. Mehmet TANYAŞ'a, Doç. Dr. Seçkin POLAT'a ve Doç. Dr. Tufan Vehbi KOÇ'a teşekkürlerimi sunarım.

Aralık 2004

Murat Levent DEMİRCAN

## İÇİNDEKİLER

|                                                          |     |
|----------------------------------------------------------|-----|
| ÖNSÖZ.....                                               | ii  |
| İÇİNDEKİLER.....                                         | iii |
| TABLO LİSTESİ .....                                      | vii |
| ŞEKİL LİSTESİ .....                                      | ix  |
| ÖZET .....                                               | xii |
| SUMMARY .....                                            | xiv |
| 1. GİRİŞ.....                                            | 1   |
| 1.1. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı.....                     | 1   |
| 2. BULANIK KÜME TEORİSİ.....                             | 4   |
| 2.1. Bulanık Küme Kavramı.....                           | 4   |
| 2.2. Bulanık Kümelerin Eşitliği .....                    | 7   |
| 2.3. Bulanık Kümelerde Alt Küme Kavramı.....             | 7   |
| 2.4. Bulanık Kümelerin Kesişimi.....                     | 7   |
| 2.5. Bulanık Kümelerin Bileşimi.....                     | 10  |
| 2.6. Bulanık Kümelerde Yükseklik Kavramı.....            | 12  |
| 2.7. Bulanık Kümelerde “Destek” Kavramı.....             | 13  |
| 2.8. Bulanık Kümelerde “Dereceli Büyüklük” Kavramı ..... | 13  |
| 2.9. Bulanık Kümelerin Tümlenyeni .....                  | 14  |
| 2.10. Bulanık Kümelerde İç Büyüklük Kavramı.....         | 15  |
| 2.11. Sözel İfadeler .....                               | 15  |
| 2.12. Hiperküp Noktaları Olarak Bulanık Kümeler .....    | 20  |
| 2.13. Bulanık İlişkiler .....                            | 22  |
| 2.13.1. Kartezyen Çarpımı .....                          | 22  |
| 2.13.2. Bulanık Bir İlişkinin Tanımı .....               | 24  |

|                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.13.3. Bulanık Kümelerin Kartezyen Çarpımı.....                       | 28  |
| 2.14. Maksimum – Minimum Bileşimi.....                                 | 29  |
| 2.15. Uzatım Prensibi.....                                             | 31  |
| 2.16. Alfa Kesimi.....                                                 | 36  |
| 2.17. Bulanık Sayı Kavramı .....                                       | 38  |
| 2.18. Bulanık Sayıları Toplamak.....                                   | 40  |
| 2.19. Bulanık Sayıları Çıkarmak.....                                   | 45  |
| 2.20. Bulanık Sayıları Çarpmak ve Bölmek .....                         | 51  |
| 2.21. Bir Bulanık Sayının, Bir Sabitle Çarpımı.....                    | 56  |
| 2.22. Üçgensel ve İkizkenar Bulanık Sayılar .....                      | 58  |
| 2.23. Kaufmann ve Gupta'nın Bulanık Sayıları Karşılaştırma Yöntemi.... | 61  |
| 2.24. Bulanık Sistemlerin Temel Elemanları.....                        | 64  |
| 2.25. Bulanık Mantık Çıkarımının Grafikselsel Yorumu .....             | 73  |
| 3. FİNANSTA BULANIK MATEMATİK .....                                    | 77  |
| 3.1. Giriş.....                                                        | 77  |
| 3.2. Vadeli Değer .....                                                | 78  |
| 3.3. Şimdiki Değer.....                                                | 82  |
| 3.4. Dönemsel Nakit Akışları .....                                     | 85  |
| 3.4.1. Gelecek Değerler .....                                          | 85  |
| 3.4.2. Şimdiki Değer.....                                              | 87  |
| 3.5. Portföy Analizi .....                                             | 88  |
| 3.5.1. Net Şimdiki Değer (NŞD, NPV) Yöntemi .....                      | 89  |
| 3.5.2. İç Verim Oranı (İVO) Yöntemi.....                               | 93  |
| 3.6. Özet ve Sonuçlar .....                                            | 97  |
| 4. YENİLEME KARARLARI.....                                             | 99  |
| 4.1. Giriş.....                                                        | 99  |
| 4.2. Savunan İle Aday Arasında Kıyaslama .....                         | 100 |
| 4.3. Mevcut Pazar Değeri ve Batmış Maliyetler.....                     | 100 |
| 4.4. Mevcut Pazar Değeri .....                                         | 101 |

|       |                                                            |     |
|-------|------------------------------------------------------------|-----|
| 4.5.  | Batmış Maliyetler.....                                     | 102 |
| 4.6.  | Savunucunun Çöpe Atılmasındaki Kazançlar (Kayıplar).....   | 102 |
| 4.7.  | Temel Yenileme Kararları.....                              | 103 |
| 4.8.  | Nakit Akış Yaklaşımı.....                                  | 104 |
| 4.9.  | Fırsat Maliyeti Yaklaşımı.....                             | 110 |
| 4.10. | Ekonomik Hizmet Ömrü.....                                  | 111 |
| 4.11. | Uzun Hizmet Gerektiğinde Yenileme İncelemesi .....         | 118 |
| 4.12. | Gereken Varsayımlar ve Karar Çerçeveleri .....             | 118 |
| 4.13. | Planlama Ufku (Çalışma Dönemi) .....                       | 119 |
| 4.14. | Teknoloji.....                                             | 119 |
| 4.15. | Malın Ömründeki Kazanç ve Maliyet Yapıları .....           | 119 |
| 4.16. | Karar Çerçeveleri .....                                    | 120 |
| 4.17. | Karar Kriteri – Şimdiki Değer Yöntemi .....                | 120 |
| 4.18. | Sonsuz Planlama Ufku İçerisinde Yenileme Stratejileri..... | 121 |
| 4.19. | Savunucuyu Ne Zaman Yenilemeli? .....                      | 121 |
| 4.20. | Eşdeğer düzgün yöntemini kullanabilir miyiz? .....         | 129 |
| 4.21. | Sonlu Planlama Ufkunda Yenileme Stratejileri.....          | 131 |
| 4.22. | Teknolojik Değişimi Dikkate Almak.....                     | 135 |
| 5.    | YENİLEME ANALİZİ İÇİN İŞLEMLER .....                       | 137 |
| 5.1.  | GİRİŞ .....                                                | 137 |
| 5.2.  | Eskime Ve Bozulmayı Nicellemek.....                        | 137 |
| 5.3.  | Gelecekteki Verileri Tahmin Etmek .....                    | 143 |
| 5.4.  | Yenileme İncelemesinde Temel Kavramlar .....               | 145 |
| 5.5.  | Batmış Maliyetler.....                                     | 145 |
| 5.6.  | Dışarıdan Bakış Açısı .....                                | 147 |
| 5.7.  | Bir Malın Ekonomik Ömrü .....                              | 153 |
| 5.8.  | Sonsuz Planlama Dönemi Yöntemleri .....                    | 158 |

|                                                                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.8.1. Teknoloji veya Maliyet Değişiklikleri Olmadan Düzgün Eşdeğer Yöntemi.....                                       | 158 |
| 5.8.2. Satınalma Maliyetleri ve İşletme ve Bakım Maliyetlerindeki Geometrik Değişiklikler, Şimdiki Zaman Yöntemi ..... | 163 |
| 5.9. Sınırlı Planlama Dönemi Yöntemleri.....                                                                           | 167 |
| 5.10. Şimdiki Zaman Yöntemi'nin Enflasyona İlişkin Duyarlılık İncelemesi                                               | 168 |
| 5.11. Dinamik Programlama Yöntemi.....                                                                                 | 170 |
| 5.12. Veri Tabanı Oluşturmak.....                                                                                      | 175 |
| 6. BULANIK YENİLEME ANALİZİ.....                                                                                       | 180 |
| 6.1. Giriş.....                                                                                                        | 180 |
| 6.2. Bulanık Yıllık Düzgün Eşdeğer Değeri (YDED).....                                                                  | 182 |
| 6.3. Bulanık Analitik Hiyerarşik Süreç.....                                                                            | 184 |
| 6.4. Bulanık Yenileme Analizi ve Bulanık AHS ile İşlem Sistemi Seçiminin Sayısal Uygulaması.....                       | 188 |
| 6.4.1. Bulanık YDED Analizi Uygulaması .....                                                                           | 188 |
| 6.4.2. İşletme Sisteminin Özellikleri .....                                                                            | 191 |
| 6.4.3. İS Seçimi için Bulanık AHS Uygulaması .....                                                                     | 193 |
| 6.5. Sonuç.....                                                                                                        | 196 |
| 7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....                                                                                           | 197 |
| KAYNAKLAR.....                                                                                                         | 199 |
| EKLER.....                                                                                                             | 206 |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                                                                                         | 224 |

## TABLO LİSTESİ

|                                                                                                                                      | <u>Sayfa No</u> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Tablo 3.1 Örnekler için Bulanık Net Nakit Akışları .....                                                                             | 91              |
| Tablo 4.1. Yenileme hesaplama cetveli: Seçenek 1 (Savunucuyu tut) .....                                                              | 107             |
| Tablo 4.2. Yenileme hesaplama cetveli (Aday): Seçenek 2 (Savunucuyu yenile)... 108                                                   |                 |
| Tablo 4.3. Öngörölmüş İşletme Maliyetleri Ve Elde Tutma Döneminin Bir Fonksiyonu Olarak Gerçekleşen Satıştan Gelen Net Satışlar..... | 114             |
| Tablo 4.4. Malı 1 Yıllığına Edinme ve İşletmenin Vergi Sonrası Nakit Akışı İçin Hesaplama .....                                      | 115             |
| Tablo 4.5. Ekonomik Hizmet Ömrünün Cetvelsel Hesaplaması.....                                                                        | 116             |
| Tablo 4.6a. Mevcut Pazar ve Hurda Değerleri.....                                                                                     | 123             |
| Tablo 4.6b. Savunucuyu N Yıl Daha Tutmanın Ekonomisi.....                                                                            | 123             |
| Tablo 4.6c. Savunucuyu N Yıl Daha Tutmanın Ekonomisi.....                                                                            | 124             |
| Tablo 4.7a. Tahmin Edilen İşletme Maliyetleri ve Tutma Döneminin Bir Fonksiyonu Olarak Satıştan Gelen Net Gelirler – Aday .....      | 125             |
| Tablo 4.7b. Adayı N Yıl Daha Edinme Ve İşletmenin Ekonomisi .....                                                                    | 126             |
| Tablo 4.8. Yıllık Eşdeğer Nakit Akışları.....                                                                                        | 128             |
| Tablo 4.9. Savunucu ve Adaya ait Yıllık Eşdeğer Nakit Akışları.....                                                                  | 133             |
| Tablo 5.1. 1981’de Dolar cinsinden kamyon bakım maliyetleri .....                                                                    | 141             |
| Tablo 5.2. Ekonomik-Ömür Hesaplamaları .....                                                                                         | 155             |
| Tablo 5.3. Savunan için Ekonomik Ömür Hesaplamaları.....                                                                             | 159             |
| Tablo 5.4. Adayın Ekonomik Ömrü için Ön Hesaplamalar .....                                                                           | 160             |
| Tablo 5.5. Aday için Ekonomik-Ömür Hesaplamaları.....                                                                                | 161             |
| Tablo 5.6. Geometrik Maliyet Değişiklikleri için Yenileme Döngüsü Hesaplamaları .....                                                | 167             |
| Tablo 5.7. Enflasyonun bir fonksiyonu olarak Şimdiki Zaman değeri .....                                                              | 169             |
| Tablo 5.8. Sabit Dolar İncelemesi .....                                                                                              | 170             |
| Tablo 5.9a. 4 ve 5 zamanları için hesaplamaları gösteren tablolar .....                                                              | 171             |
| Tablo 5.9b. 4 ve 5 zamanları için hesaplamaları gösteren tablolar .....                                                              | 172             |
| Tablo 5.9c. 4 ve 5 zamanları için hesaplamaları gösteren tablolar .....                                                              | 173             |
| Tablo 5.9d. 4 ve 5 zamanları için hesaplamaları gösteren tablolar .....                                                              | 174             |
| Tablo 5.9e. 4 ve 5 zamanları için hesaplamaları gösteren tablolar .....                                                              | 174             |
| Tablo 5.10a. Zamanlar 6’dan 10’a kadarki hesaplamaları gösteren tablolar .....                                                       | 175             |
| Tablo 5.10b. Zamanlar 6’dan 10’a kadarki hesaplamaları gösteren tablolar (devam) .....                                               | 176             |
| Tablo 5.10c. Zamanlar 6’dan 10’a kadarki hesaplamaları gösteren tablolar (devam) .....                                               | 176             |
| Tablo 5.10d. Zamanlar 6’dan 10’a kadarki hesaplamaları gösteren tablolar (devam) .....                                               | 177             |
| Tablo 5.10e. Zamanlar 6’dan 10’a kadarki hesaplamaları gösteren tablolar (devam) .....                                               | 177             |
| Tablo 6.1. Toplam sahip olma maliyetlerine ait Maliyet Kırılım Yapısı .....                                                          | 189             |
| Tablo 6.2. Alternatif AX ve BS’ye ait Bulanık işletme ve bakım maliyetleri ile ilk yatırım maliyetleri .....                         | 190             |

|                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tablo 6.3. Üçgensel bulanık önem derecesi.....                                                   | 194 |
| Tablo 6.4. Hedefe göre bulanık değerlendirme matrisi.....                                        | 194 |
| Tablo 6.5. Alt özelliklerin yedekleme yönetimine göre değerlendirilmesi .....                    | 195 |
| Tablo 6.6. Hedefin ana özellikleri .....                                                         | 196 |
| Tablo A.1. Ana özelliklerin birbirlerine önem üstünlükleri (İşletim Sistemi Seçimi)<br>.....     | 208 |
| Tablo A.2. Bir alt özelliğin diğerlerine göre önem üstünlüğü (Yedekleme Yönetimi)<br>.....       | 210 |
| Tablo A.3. Alt özelliklerin diğerlerine önem üstünlükleri (Süreç Yönetimi) .....                 | 211 |
| Tablo A.4. Alt özelliklerin diğerlerine önem üstünlükleri (Koruma ve Güvenlik)..                 | 211 |
| Tablo A.5. Alt özelliklerin diğerlerine önem üstünlükleri (Dağıtılmış Yapı).....                 | 212 |
| Tablo A.6. Alt özelliklerin diğerlerine önem üstünlükleri (Yazılım Özellikleri) ....             | 213 |
| Tablo A.7. Alt özelliklerin diğerlerine önem üstünlükleri .....                                  | 214 |
| Tablo C.1. Süreç Yönetimine göre alt özelliklerin değerlendirilmesi.....                         | 219 |
| Tablo C.2. Koruma ve Güvenliğe göre alt özelliklerin değerlendirilmesi .....                     | 219 |
| Tablo C.3. Dağıtık Yapıya göre alt özelliklerin değerlendirilmesi .....                          | 219 |
| Tablo C.4. Yazılım özelliklerine göre alt özelliklerin değerlendirilmesi.....                    | 219 |
| Tablo C.5. Hafıza yönetimine göre işletim sistemlerinin değerlendirilmesi.....                   | 220 |
| Tablo C.6. Sanal hafızaya göre işletim sistemlerinin değerlendirilmesi .....                     | 220 |
| Tablo C.7. Dosya sistemi arayüzüne göre işletim sistemlerinin değerlendirilmesi .....            | 220 |
| Tablo C.8. Dosya sistemi uygulamasına göre işletim sistemlerinin değerlendirilmesi<br>.....      | 220 |
| Tablo C.9. İkincil yedekleme yapısına göre işletim sistemlerinin değerlendirilmesi<br>.....      | 220 |
| Tablo C.10. İşlem idaresine göre işletim sistemlerinin değerlendirilmesi .....                   | 220 |
| Tablo C.11. CPU zamanlamasına göre işletim sistemlerinin değerlendirilmesi .....                 | 220 |
| Tablo C.12. İşlem dengelemesine göre işletim sistemlerinin değerlendirilmesi.....                | 220 |
| Tablo C.13. Kilitlenmelere göre işletim sistemlerinin değerlendirilmesi .....                    | 221 |
| Tablo C.14. Korunmaya göre işletim sistemlerinin değerlendirilmesi .....                         | 221 |
| Tablo C.15. Güvenliğe göre işletim sistemlerinin değerlendirilmesi.....                          | 221 |
| Tablo C.16. Ağ yapısına göre işletim sistemlerinin değerlendirilmesi .....                       | 221 |
| Tablo C.17. Dağıtık system yapısına göre işletim sistemlerinin değerlendirilmesi .....           | 221 |
| Tablo C.18. Dağıtık dosya sistemlerine göre işletim sistemlerinin değerlendirilmesi<br>.....     | 221 |
| Tablo C.19. Dağıtık koordinasyona göre işletim sistemlerinin değerlendirilmesi...                | 221 |
| Tablo C.20. Uygulama ve araçlara göre işletim sistemlerinin değerlendirilmesi ....               | 221 |
| Tablo C.21. Hata ve kodlara göre işletim sistemlerinin değerlendirilmesi .....                   | 222 |
| Tablo C.22. Kullanıcı arayüzüne göre işletim sistemlerinin değerlendirilmesi .....               | 222 |
| Tablo C.23. Bulunabilirlik ve desteğe göre işletim sistemlerinin değerlendirilmesi               | 222 |
| Tablo C.24. Yıllık düzgün eşdeğer maliyete göre işletim sistemlerinin<br>değerlendirilmesi ..... | 222 |
| Tablo C.25. Yedekleme yönetiminin alt özellikleri .....                                          | 222 |
| Tablo C.26. Süreç yönetiminin alt özellikleri .....                                              | 222 |
| Tablo C.27. Koruma ve güvenliğin alt özellikleri.....                                            | 223 |
| Tablo C.28. Dağıtık yapının alt özellikleri.....                                                 | 223 |
| Tablo C.29. Yazılım özelliklerinin alt özellikleri.....                                          | 223 |

## ŞEKİL LİSTESİ

|                                                                                                                     | <u>Sayfa No</u> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Şekil 1.1 : Üçgensel Bulanık Sayı $\tilde{P}$ 'nin sağ ve sol bulanık gösterimi.....                                | 3               |
| Şekil 2.1 : A kümesi ve x, y, z elemanları.....                                                                     | 4               |
| Şekil 2.2 : A bulanık kümesinin $\mu_A(t)$ üyelik fonksiyonu .....                                                  | 7               |
| Şekil 2.3 : Seyahat zamanları bulanık kümeleri üyelik fonksiyonları.....                                            | 8               |
| Şekil 2.4 : A, B ve $A \cap B$ bulanık kümeleri üyelik fonksiyonları.....                                           | 8               |
| Şekil 2.5 : Görüş mesafesi ve bulut yükseklikleri'ne ait bulanık kesişim kümesi .....                               | 9               |
| Şekil 2.6 : A, B ve $A \cup B$ bulanık kümeleri üyelik fonksiyonları.....                                           | 11              |
| Şekil 2.7 : Yaklaşık ifadeli bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları.....                                            | 12              |
| Şekil 2.8 : Bulanık A kümesinin üyelik fonksiyonu ve normalleşmiş bulanık B<br>kümesi.....                          | 13              |
| Şekil 2.9 : Bulanık kümelerine ait üyelik fonksiyonları.....                                                        | 15              |
| Şekil 2.10 : İç bükey ve iç bükey olmayan bulanık kümeler .....                                                     | 15              |
| Şekil 2.11 : Bulanık A kümesinin üyelik fonksiyonu ve $CON_1(A)$ yoğunluğu.....                                     | 17              |
| Şekil 2.12 : $\mu_B(x)$ ve $\mu_{DIL(B)}(x)$ üyelik fonksiyonları.....                                              | 18              |
| Şekil 2.13 : $\mu_A(x)$ ve $\mu_{INT(A)}(x)$ üyelik fonksiyonları .....                                             | 19              |
| Şekil 2.14 : $\mu_L(x)$ ve $\mu_S(s)$ üyelik fonksiyonu .....                                                       | 19              |
| Şekil 2.15 : 3 elemanlı bir evrende bulanık kümelerin nokta olarak gösterimi.....                                   | 21              |
| Şekil 2.16 : Bulanık kümelerin (a) bir elemanlı evren ve (b) iki elemanlı evrende<br>nokta olarak gösterimi .....   | 22              |
| Şekil 2.17 : Havayolu Ağ Yapısı.....                                                                                | 23              |
| Şekil 2.18 : Yeni yerleşim alanlarının dağılımı.....                                                                | 24              |
| Şekil 2.19 : Bulanık bir ilişkinin temsili üyelik matrisi ve okçul çizimi.....                                      | 25              |
| Şekil 2.20 : Gelen araç çağrılarında çıkış noktası, varış noktası ve hareket zamanı..                               | 26              |
| Şekil 2.21 : $p_1, p_2$ yolları ve $(A, B)$ ortak bağlantısı.....                                                   | 33              |
| Şekil 2.22 : $\bar{P}_1, \bar{P}_2$ ve $\bar{Q}$ bulanık kümelerinin üyelik fonksiyonları.....                      | 36              |
| Şekil 2.23 : $\bar{A}$ bulanık kümesi ile $A_{0.85}$ ve $A_{0.55}$ alfa kesimleri.....                              | 37              |
| Şekil 2.24 : Dışbükey ve dışbükey olmayan bulanık kümeleri ve kesişen alfa<br>kesimleri .....                       | 38              |
| Şekil 2.25 : “Yaklaşık 10” bulanık sayısının aidiyet fonksiyonu.....                                                | 39              |
| Şekil 2.26 : $\bar{B}$ ve $\bar{C}$ bulanık kümeleri bulanık sayı olamazlar .....                                   | 39              |
| Şekil 2.27 : $\bar{A}$ bulanık sayısı ve onun güven aralığı ile tahmin seviyesi .....                               | 40              |
| Şekil 2.28 : B şehrinde aktarma yaparak A şehirden C şehrine yapılan uçuş .....                                     | 41              |
| Şekil 2.29 : $\bar{Q}_1, \bar{Q}_2$ ve $\bar{Q}_3$ bulanık sayıları .....                                           | 42              |
| Şekil 2.30 : $\bar{Q}_1, \bar{Q}_2, \bar{Q}_3, \bar{X}$ ve $\bar{Y}$ bulanık sayılarının üyelik fonksiyonları ..... | 45              |
| Şekil 2.31 : D deposu ile i ve j noktaları.....                                                                     | 46              |
| Şekil 2.32 : $\bar{A}, \bar{B}$ ve $\bar{C}$ bulanık sayıları .....                                                 | 48              |
| Şekil 2.33 : $\bar{A}, \bar{B}, \bar{C}, \bar{E}$ ve $\bar{S}$ bulanık sayılarının üyelik fonksiyonları .....       | 51              |

|                                                                                                                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 2.34 : $\bar{A}$ ve $\bar{B}$ bulanık sayılarının çarpılması.....                                                                                           | 53  |
| Şekil 2.35 : $\bar{X}$ bulanık sayısı (uçuş başına tahmini maliyet).....                                                                                          | 54  |
| Şekil 2.36 : $\bar{Y}$ bulanık sayısı (uçuş başına tahmini yolcu sayısı) .....                                                                                    | 54  |
| Şekil 2.37 : $\bar{T}$ ve $\bar{C}$ bulanık sayıları.....                                                                                                         | 58  |
| Şekil 2.38 : $\bar{A}$ üçgensel bulanık sayısı .....                                                                                                              | 59  |
| Şekil 2.39 : Bulanık sayı $\bar{A}$ ve karşıtı olan bulanık sayı $\bar{A}^-$ .....                                                                                | 59  |
| Şekil 2.40 : $\bar{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ ikizkenar bulanık sayısı.....                                                                                       | 61  |
| Şekil 2.41 : $\bar{A}$ bulanık sayısının $k$ gerçek sayısıyla karşılaştırarak “ayrılması” .....                                                                   | 63  |
| Şekil 2.42 : $\bar{A}$ ve $\bar{B}$ bulanık sayılarının üyelik fonksiyonu .....                                                                                   | 64  |
| Şekil 2.43 : Bir bulanık mantık sisteminin temel elemanları .....                                                                                                 | 66  |
| Şekil 2.44 : Büyük ve Küçük bulanık kümelerinin üyelik fonksiyonları .....                                                                                        | 68  |
| Şekil 2.45 : Tek kural için yaklaşık akıl yürütme.....                                                                                                            | 70  |
| Şekil 2.46 : İki kuralın max-min birleşimiyle yakın akıl yürütme .....                                                                                            | 71  |
| Şekil 2.47 : İki kural için max-min birleşimi kullanarak yakın akıl yürütme .....                                                                                 | 72  |
| Şekil 2.48 : Ayrılma sistemli kuralların grafiksel yorumu .....                                                                                                   | 74  |
| Şekil 2.49 : Bulanık girdilerin grafiksel yorumu.....                                                                                                             | 76  |
| Şekil 3.1 : $\bar{S}_e = \bar{A} (1 + \bar{r})^{\bar{n}}$ .....                                                                                                   | 81  |
| Şekil 3.2 : Bulanık Bir Dönemsel Nakit Akışının Gelecekteki Değeri .....                                                                                          | 87  |
| Şekil 3.3 : Bulanık Net Değerler .....                                                                                                                            | 93  |
| Şekil 3.4 : Bulanık iç geri dönüş oranları .....                                                                                                                  | 97  |
| Şekil 4.1 : Bir malın çöpe atılmasına bağlı olan batmış maliyet.....                                                                                              | 103 |
| Şekil 4.2 : Eski yazıcının-savunanın satışında doğru net hasılat.....                                                                                             | 104 |
| Şekil 4.3 : Savunucu ve adayın nakit akış yaklaşımıyla kıyaslanması.....                                                                                          | 109 |
| Şekil 4.4 : Fırsat maliyeti yaklaşımına göre savunucu ile adayın karşılaştırılması..                                                                              | 110 |
| Şekil 4.5 : Sonsuz sayıdaki yenileme döngülerinin, sonsuz düzgün eşdeğer maliyet dalgalanma çevrilmesi .....                                                      | 117 |
| Şekil 4.6 : En az eşdeğer düzgün maliyetini bularak elde edilen ekonomik hizmet ömrü.....                                                                         | 118 |
| Şekil 4.7 : Tipik yenileme karar çerçevesi türleri .....                                                                                                          | 121 |
| Şekil 4.8 : Savunucunun $n$ yıl boyunca tutulup, sonrasında her 4 yılda bir sonsuz tekrarlı satın almalar sonucu oluşan yıllık eşdeğer nakit akış dalgaları ..... | 128 |
| Şekil 4.9 : Savunucunun $n$ yıl sonra aday tarafından yenilendiği 5 yıl üzerindeki inceleme sürecindeki eşdeğer yıllık nakit akış dalgaları .....                 | 132 |
| Şekil 4.10 : 8 yıllık sonlu bir planlama ufkundaki bazı olası yenileme yapıları .....                                                                             | 134 |
| Şekil 4.11 : Sonlu planlama ufkı için yenileme stratejilerinin grafiksel temsili .....                                                                            | 135 |
| Şekil 5.1 : Mal özellikleri için tipik işlevsel yapılar.....                                                                                                      | 139 |
| Şekil 5.2 : Yaşa bağlı arıza olasılığı .....                                                                                                                      | 140 |
| Şekil 5.3 : Üç senaryo için kamyon bakım maliyetleri .....                                                                                                        | 141 |
| Şekil 5.4 : Mil başına galon eğilimi .....                                                                                                                        | 142 |
| Şekil 5.5 : Hurda değerleri tahmini .....                                                                                                                         | 146 |
| Şekil 5.6 : Fırsat nakit akış tabloları.....                                                                                                                      | 147 |
| Şekil 5.7 : Mevcut nakit akış tabloları.....                                                                                                                      | 149 |
| Şekil 5.8 : Fırsat nakit akış tabloları.....                                                                                                                      | 150 |
| Şekil 5.9 : Bir mal için edinme, işletme ve toplam maliyetler .....                                                                                               | 157 |
| Şekil 5.10 : Yenileme döngülerinin, sonsuz düzgün eşdeğer maliyet akışlarına dönüştürülmesi .....                                                                 | 157 |
| Şekil 5.11 : Dinamik programlama yöntemi için çizim .....                                                                                                         | 171 |
| Şekil 5.12 : Dinamik programlama yöntemi .....                                                                                                                    | 178 |

|                                                                                                            |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 6.1 : Toplam Bulanık Yıllık Düzgün Eşdeğer Değer, $\tilde{W}_T$ .....                                | 185 |
| Şekil 6.2 : $\tilde{M}_1$ ve $\tilde{M}_2$ 'nin kesişimleri.....                                           | 187 |
| Şekil 6.3 : BS'nin azalan bulanık nakit akışları .....                                                     | 190 |
| Şekil 6.4 : AX'in artan bulanık nakit akışları.....                                                        | 190 |
| Şekil 6.5: AX'in bulanık yıllık düzgün eşdeğer Sermaye geri kapama maliyetleri .                           | 191 |
| Şekil 6.6 : İşletim Sistemi Seçimi Kademeleri.....                                                         | 192 |
| Şekil 6.7: Üçgensel bulanık önem derecesi.....                                                             | 194 |
| Şekil B.1 : BS'nin sermaye geri kapama maliyetine ait bulanık yıllık eşdeğer<br>düzgün nakit akışları..... | 216 |
| Şekil B.2 : AX'in işletme maliyetlerine ait yıllık düzgün eşdeğer nakit akışları...                        | 216 |
| Şekil B.3 : BS'nin bulanık yıllık düzgün eşdeğer işletme maliyetleri .....                                 | 217 |
| Şekil B.4 : AX'in bulanık yıllık düzgün eşdeğer toplam maliyetleri .....                                   | 217 |
| Şekil B.5 : BS'nin bulanık yıllık düzgün eşdeğer toplam maliyeti .....                                     | 218 |



## BULANIK YENİLEME ANALİZİ

### ÖZET

Bu çalışmada, bulanık küme kavramlarından yararlanılarak geliştirilmiş bulanık matematik fonksiyonları kullanılarak Mühendislik Ekonomisi Yenileme Analizi temel kavramları incelenmiştir. Problemler genelde seçeneklerin eşit olmayan ömürlere sahip olduğu çok özel karar verme durumlarıdır. Eskimenin nicellenmesine ve geleceğe dair verilerin öngörülmesine dair yolları irdeledikten sonra, mala dair batmış maliyetler, dışarıdan bakış açısı ve ekonomik ömür gibi temel kavramlar sunulmuştur. Bu iki kavram, sonsuz planlama dönemi üzerinde çalışırken oldukça kullanışlıdır. Dışarıdan bakış açısı ise, incelemeyi yapan kişiye savunucu ile adayın göreceli ömür süreleri için düzgün eşdeğer kullanarak süratli kıyaslama yapma olanağı sunar. Diğer taraftan nakit akış yönteminde daha geniş çaplı hesaplamalar gerçekleştirmek için, incelemeyi yapan kişinin şimdiki zaman yöntemi kullanması gereklidir. Yatırım yenileme kararları bağlamındaki popüler bir varsayım da sonsuz planlama dönemidir. Çalışmada adayın vergi sonrası ömür süresini elde ettik ve sonra da savunucunun ne zaman yenileneceğini belirlemek için marjinal inceleme tekniği kullanılmıştır. Yeni model malların maliyetlerinin geometrik olarak değiştiği örnekler sunulmuştur. Literatürdeki çalışmaların çoğu, sınırlı planlama dönemi içerisinde ekipman yenileme problemini gözardı eder. Bizim yaklaşımımız ise ileriye dönük tekrarlamalı dinamik programlamalı algoritma içermektedir. Bu yöntemde edinme ve işletme maliyetleri ayrıştırılmış olduğu için, yıldan yıla, vergi sonrası bazda inceleme yapılabilmektedir. Bu güçlü teknik, planlama ufku açısından bir şekilde belirsiz, olabilmemize olanak vermektedir. Yenileme Analizleri'nde kullanılan tüm matematiksel artışışimin bulanık kümelerle ait gösterimleri hesaplanmış ve gösterilmiştir. Her matematiksel anlatım ve gösterimle ilgili ayrı örneklere yer verilmiş ve geliştirilen formüllerin netlik kazanması amaçlanmıştır. Yenileme Analizi formüllerinde bulanık matematik kullanılarak, Bulanık Yenileme Analizi altyapısı kurulmuştur. Söz konusu bulanık altyapı denk varlıkların yenilenmesi için geçerlidir. Klasik Yenileme Analizleri'nden farklı olarak Nakit Akışları, İskonto Oranları ve Hurda Değerleri belirsizlik ifade etmeleri için bulanık sayılar olarak nitelendirilmişlerdir. Yenileme Analizleri'nde kullanılan grafiksel anlatımlara bulanık sayıların eklenmesi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada gerçekleştirilen Bulanık Yenileme Analizi altyapısı bilgi teknolojileri altyapılarında işletim sistemi seçimi gibi soyut bir karar verme uygulaması ile desteklenmiş ve sonuçlara ait detaylar çalışma içerisinde verilmiştir. Söz konusu uygulamada Analitik Hiyerarşi Süreçleri karar verme mekanizmasında yardımcı öge olarak kullanılmıştır. Uygulamada sadece sayısal karar verme girdileri değil nicel karar verme etkenlerine de yer verilmiştir. Geliştirilen Bulanık Yenileme Analizi altyapısı ve uygulaması esas alınarak hazırlanan bilimsel makale International Journal of Production Economics uluslararası dergisi tarafından yayına kabul edilmiştir. Çalışmayı ve sonuçlarını literatürdeki çalışmalarla karşılaştırdığımızda, geliştirilen Bulanık Yenileme Analizi altyapısı, gerek sunduğu bilimsel altyapı gerekse beraberinde getirdiği grafiksel

anlatım katkısı bakımından Mühendislik Ekonomisi konularında çalışan kişilere yararlı olacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Mühendislik Ekonomisi, Yenileme Analizi, Bulanık Mantık, Bulanık Kümeler

**Bilim Dalı Sayısal Kodu:** 605.01.00



## **FUZZY REPLACEMENT ANALYSIS**

### **SUMMARY**

In this study, the essential concepts of Replacement Analysis of Engineering Economics have been analyzed in the light of fuzzy mathematics functions derived from fuzzy sets concepts. In general, presented problems are based on special decision making issues since the decision options include non equal lives. After having analyzed the forecast of future information and qualitateness of deterioration, basic concepts have been presented such as economic life and external point of view. These two concepts are useful especially when one is working on infinite planning horizon. The concept of external point of view enables decision maker to execute fast comparison technique by providing equivalent uniform cash flow for defender's and challenger's relative life time. Moreover, to execute more complex calculations in cash flow technique, the analyst should use the present worth method. The other popular technique used in investment replacement analysis is the planning horizon. On the study, after tax life time of challenger has been computed and then marginal analysis technique has been used for calculating when the defender should be renewed. The examples of geometric increasing cost of new assets have been presented. Most studies in literature disregard the equipment replacement analysis with a finite planning horizon. The approach used in this study includes dynamic programming algorithm for further repetitive use. With this technique, after tax based and year based studies can be made since the capital and operating costs have been separated. This powerful technique enables undetermined computation in terms of planning horizon. All mathematical background used on Replacement Analysis has been computed and presented according to fuzzy sets expressions. Unique examples have been presented for each mathematical expression and statement in order to give in-depth explanation for each subject. Fuzzy Replacement Analysis framework has been developed by using fuzzy mathematics in Replacement Analysis formulations. Developed fuzzy framework is valid for equal assumed assets. Cash Flows, Discount Rates and Salvage Values are determined as fuzzy numbers in order to represent vagueness contrary to classical discrete Replacement Analysis. Fuzzy number representations are added to graphical expressions used on Replacement Analysis. Fuzzy Replacement Analysis framework developed with this study has also been supported by a real life case on an operating system selection subject for information technology infrastructures which is considerably an intangible subject. The results have also been presented in detail. Analytic Hierarchy Process has also been used to help the decision making mechanism in the very same real life case. This case includes not only quantitative inputs but also qualitative decision making factors. A scientific article which has been prepared based on this study, has been accepted for publishing by the well reputed scientific journal called International Journal of Production Economics. Comparing the study and its results to related literature, the developed Fuzzy Replacement Analysis framework will be beneficial for Engineering Economics researchers not only from the scientific framework aspect

which it presents but also for the contribution of its graphical representation innovation.

**Keywords:** Engineering Economy, Replacement Analysis, Fuzzy Logic, Fuzzy Sets

**Science Code:** 605.01.00



## 1. GİRİŞ

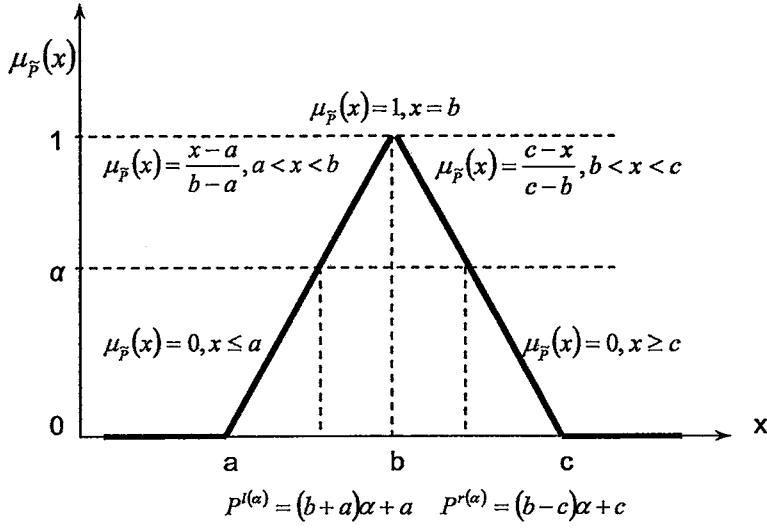
### 1.1. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Fleischer (1994) önemli bir kaynak olarak gösterilen çalışmasında yenileme analizinin sebeplerini şöyle sıralamaktadır: Kullanılmakta olan donanımın güncel veya öngörülebilir ihtiyaçları karşılayamaması, teknoloji yenilenmeleri. Yenilenen ve daha etkin olan donanımların hem maliyetlerinin hem de işletme giderlerinin gittikçe azalması, sistemin tamamen çökmüş olması. Ciddi bir arıza meydana gelmesi. Varolan donanımın kullanılmasının mümkün olmaması.

Yenileme Analizlerinde 1950'lerden bu yana hem teori hem de pratik açıdan önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Bellman (1955) yenileme analizlerini geleneksel dinamik programlamaya dayandırmıştır. Dreyfus (1960) ise çalışmalarına Bellman'ın (1955) bıraktığı yerden devam etmiş ve aynı sistemde kalmaya özen göstererek yenileme analizine tamir kararını eklemiştir. Lake ve Muhlemann (1979) ise yenilenen satış rakamlarına göre maliyet duyarlılığını incelemek amacıyla gıda sektöründe kullanılan bir ambalaj makinası için geçerli olan bir yenileme modeli kurmuşlardır. Çalışmalarında öne sürdükleri teoriye göre, ekonomik ömür modellerinin zayıf yönleri, ekonomik ömrün sona ermesinden önce gerçekleşebilecek olan beklenmeyen durumları gözardı etmeleridir. Oakford ve diğerleri (1984) Dreyfus ve Wagner'in (1972) dinamik yenileme modelini çeşitli sayısal değerler kullanarak savunmuşlardır. Çalışmalarında iki konuya dikkat çekmişlerdir: Sayısal ilerlemeler, mühendislik ekonomisi konularında ayrıntılı duyarlılık analizlerini mümkün kılmaktadır. Fakat yeniliği savunanların nakit akışı ve yeniliğe adaylar arasında süregelen işlevsel ilişkiyi öngörebilmenin zorluğu, yeni ekonomik kararların uygulanmasını engelleyebilmektedir. Lohmann (1986), Oakford ve diğerlerinin (1984) çalışmalarını tesadüfi (stokastik) bir yaklaşımla ele alarak daha da ilerletmiş ve geliştirmiştir. Lohmann'ın (1986) çalışması, yenileme sorununun çözümünde kullanılabilen belirli (deterministik) ve tesadüfi (stokastik) yaklaşımların arasındaki temel farklılıkları irdelemektedir. Lohmann (1986) özetle şunu öne sürmektedir: Belirli (deterministik) modeller, halihazırda kullanılan en uygun savunucu yüklendikten sonra gelecek

vaadeden adaya karşı en uygun düzen kurulmasını sağlarken, tesadüfi modeller buna imkan tanımamaktadır. Gelecek vaadeden her adayın sonlu ve sonsuz ufukta en uygun olma olasılığını inceleyen çalışma, aynı zamanda ekonomik ömrün eşdeğer toplam dağılımlarını, şimdiki değeri ve her seçeneğin eşdeğer sonlu ufuklarını da belirlemektedir. Usher ve Whitfield (1993) bulanık küme teorisi ve dilsel verilerin kullanılması ile, kullanılmış ve çok-parçalı bir sistemde, her parçanın toplam ömür döngüsü maliyetlerinin hesaplanmasını sağlayan bir model geliştirmişlerdir. Bulanık küme teorisini dünyaya tanıtan Zadeh (1965), bu teoriyi, belirsizlikten kaynaklanan muallaklıkla başedebilmek için öne sürmüştür. Bulanık küme teorisinin en büyük katkısı belirsiz veriyi tanımlayabilme kapasitesidir. Teori, aynı zamanda matematiksel işlemcilerin ve programların bulanık alanlarda işlem yapmasına olanak sağlamıştır. Bulanık bir küme, aralıksız dereceli üyeliklerin oluşturduğu nesnelerden meydana gelen bir sınıftır. Sözkonusu küme, her nesneye “0” ile “1” arasında değişebilen bir üyelik derecesi veren bir üyelik fonksiyonu ile tanımlanmaktadır. Şekil 1.1’de bir Üçgensel Bulanık Sayı ( $\tilde{P}$ ) görülmektedir. Bulanık Küme Teorisi birçok mühendislik ekonomisi konusunda da uygulanmaktadır: Buckley (1987) iskonto oranı problemlerini çözebilmek için bulanık matematiği geliştirmiştir. Bulanık iskonto oranlarını kullanarak bulanık nakit akışının bulanık sabit değerini ve bulanık gelecek değerini hesaplamıştır. Chiu ve Park (1994) bulanık finansın kapsamlı sağ ve sol yanlarının ifadesini geliştirmiştir. Esogbue ve Hearn (1998) yenileme kararlarında belirsizliği modellemek için üçgen bulanık sayıları kullanmışlar ve bu yaklaşımı Monte Carlo benzetim metodları ile kıyaslamışlardır. Kahraman ve diğerleri (2002 ve 2003a) şimdiki zaman değerinin bulanık formüllerini, yıllık düzgün eşdeğer değeri, bulanık gelecek değeri, bulanık kar maliyet oranı ve bulanık geri ödeme dönemleri teknikleri geliştirmişlerdir. Kahraman ve diğerleri (2000) ve Kahraman (2001a ve 2001b), üretim teknolojilerini ve kamusal faaliyet projelerini onaylamak için bulanık şimdiki zaman değerini ve bulanık kar/maliyet oranı analizini uygulamışlardır. Karsak (1998) bulanık indirimli nakit akışı analizini desteklemeye yönelik likidite risk ölçümleri geliştirmiştir. Boussabaine ve Elhag (1999) inşaat projelerinde bulanık küme teorisinin nakit akışı analizine uygulanışının olasılığını incelemiştir. Dimitrovski ve Matos (2000) bazı belirsiz değişkenlerin bulanık sayılarla modellenmesi yöntemi ile istatistiksel olmayan belirsizliklerin faydacı ekonomik analize dahil edildiği yeni bir yaklaşım sunmuşlardır. Kuchta (2000) tüm klasik sermaye bütçeleme metodlarının bulanık eşdeğerlerini önermiştir.

Son olarak da, Chang (2004f) stratejik amaçlı bulanık yaklaşımlı yenileme analizi üzerinde çalışmalar yapmıştır.



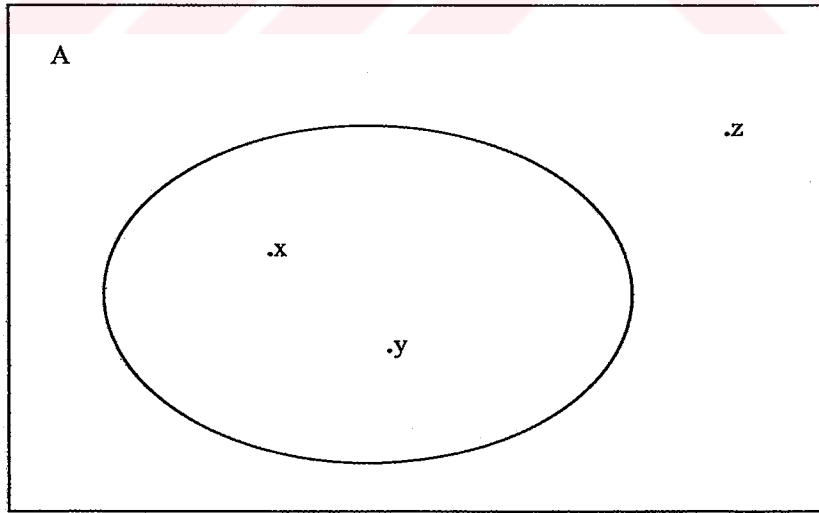
Şekil 1.1 : Üçgensel Bulanık Sayı  $\tilde{P}$  'nin sağ ve sol bulanık gösterimi

## 2. BULANIK KÜME TEORİSİ

### 2.1. Bulanık Küme Kavramı

Klasik kümeler teorisinde, belirli bir kümeye ait olan elemanlar ve söz konusu kümenin dışında kalan elemanlar Şekil 2.1’de de görüldüğü gibi birbirlerinden kesin olarak ayrı tutulmaktadırlar. Diğer bir deyişle, bir elemanın belirli bir kümeye ait olup olmadığı kolaylıkla fark edilebilmektedir. Örneğin, A kümesini bir şehirdeki sinyalizasyonu gerçekleştirilmiş kavşaklar kümesi olarak tanımlarsak, şehirde yapacağımız gözlem çalışması sonucunda hangi kavşakların A kümesine ait olduğu belirlenebilir. Klasik kümeler teorisinde,  $x$  elemanının A kümesindeki üyeliği, (2.1) denkleminde gösterilen  $\mu_A(x)$  üyelik fonksiyonu ile belirlenmektedir:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{sadece ve sadece } x \in A \text{ ise} \\ 0, & \text{sadece ve sadece } x \notin A \text{ ise} \end{cases} \quad (2.1)$$



Şekil 2.1 : A kümesi ve x, y, z elemanları

Örnek olarak;  $y \in A$  ise,  $\mu_A(y)=1$ ;  $z \notin A$  ise  $\mu_A(z)=0$  olacağı açıktır. Gerçek hayatta karşılaşılan pek çok durumda elemanlar arasındaki farklılık yukarıdaki gibi

belirgin olmayabilmektedir. Örneğin; bir aracın bir kavşakta bekleme süresi “uzun” olarak nitelendirilebilmektedir. Eğer A kümesini, kavşakta uzun zaman bekleyen araçlar kümesi olarak tanımlarsak, bu kümenin sınırları ve kapsamı hakkında ek bilgi vermemiz gerekecektir. Diğer bir deyişle, kümenin elemanlarını belirlememiz gerekecektir. 25 saniyelik bir bekleme süresi bu kümenin bir elemanı mıdır? 15 saniyelik ya da 90 saniyelik bekleme süreleri hakkında ne söylenebilir? Örneğin, iki şehir arasındaki hava trafiği “yüksek hava trafiği yoğunluğuna sahip” şeklinde nitelendirilmiş olsun: Günlük beş, sekiz, ya da üç uçuşluk hava trafikleri “yüksek hava trafiği” kümesine ait midir? Seyahat sürelerini göz önüne alalım, bu süreler öznel olarak değişebilmektedir. “Kısa”, “fazla uzun olmayan”, “uzun”, “yaklaşık yirmi dakika”, “hemen hemen yarım saat” gibi sürelerin algılanması kişiden kişiye farklılık göstermektedir. Kırk, yirmi beş ya da sekiz dakikalık seyahat süreleri “hemen hemen yarım saat” seyahat süresi kümesine dahil edilebilir mi? Bu örnekte, en azından yirmi beş dakikalık seyahat süresinin, sekiz dakikalık seyahat süresinden daha “güçlü” bir şekilde “hemen hemen yarım saat” seyahat süresi kümesine dahil olabileceği sezgisel olarak söylenebilir. Diğer bir deyişle, yirmi beş dakikalık seyahat süresinin “hemen hemen yarım saat” seyahat süresi kümesine dahil olması, sekiz dakikalık seyahat süresinin aynı kümeye dahil olmasından daha doğrudur. Bulanık kümeler için tanımlanan üyelik fonksiyonu  $[0, 1]$  kapalı aralığında herhangi bir değer alır. Bulanık A kümesi  $A = \{x, \mu_A(x)\}$  ile tanımlanan çiftlerden oluşur.  $\mu_A(x)$ ,  $x$  elemanının A kümesine üyelik derecesidir.  $\mu_A(x)$  ne kadar büyükse,  $x$  elemanı o kadar A kümesine aittir denir.

$X$  kümesi,  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots, n$  olacak şekilde  $x_i$  elemanlarından oluşan kesikli bir küme olsun.  $X$  kümesini “+” işareti birleşim işlemi gösterdiği halde aşağıda belirtilen şekilde tanımlarsak,

$$X = x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n = \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.2)$$

$X$  kümesini ister kesikli ister sürekli elemanlardan oluşan bir evrensel küme şeklinde tanımlamış oluruz.  $X$  kümesi üzerinde tanımlanan bulanık A kümesi aşağıdaki şekilde gösterilebilir;

$$A = \frac{\mu_A(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_A(x_2)}{x_2} + \dots + \frac{\mu_A(x_n)}{x_n} = \sum_{i=1}^n \frac{\mu_A(x_i)}{x_i} \quad (2.3)$$

Eğer  $X$  evrensel kümesi sürekli ve sonlu değilse, integral işareti birleşim işlemini gösterecek şekilde  $X$  kümesi üzerine tanımlanan bulanık  $A$  kümesi aşağıdaki şekilde gösterilebilir:

$$A = \int_x \frac{\mu_A(x)}{x} \quad (2.4)$$

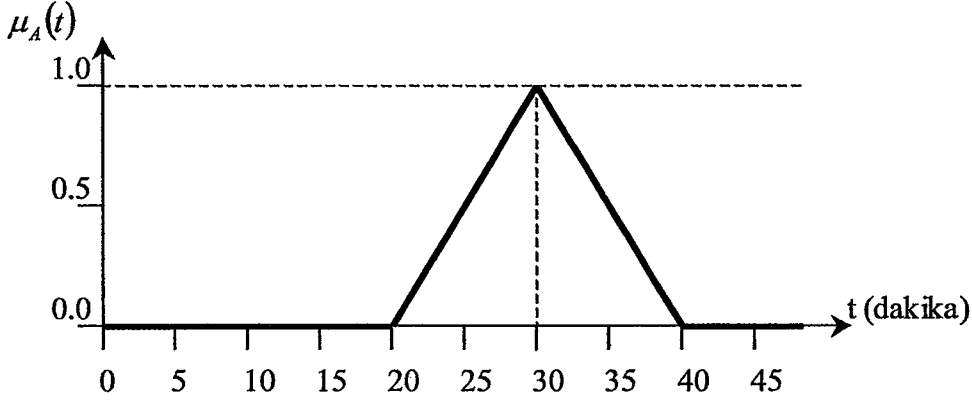
$X$  kümesi,  $X = \{2,5,9,18,21,25\}$ , bir kavşakta bekleyen araç sayısı kümesi olsun.  $B$  kümesi aynı kavşakta bekleyen “az sayıdaki” araç sayısı bulanık kümesi olsun.  $B$  kümesi aşağıdaki şekilde gösterilebilir:

$$B = \frac{0.95}{2} + \frac{0.55}{5} + \frac{0.20}{9} + \frac{0.10}{18} + \frac{0.05}{21} + \frac{0.01}{25} \quad (2.5)$$

0.95, 0.55, 0.20, 0.10, 0.05, 0.01 şeklinde ifade edilen üyelik dereceleri, her elemanın  $B$  bulanık kümesine üyelik “gücü”nü göstermektedir ve öznel olarak seçilebilir. Örneğin 2 elemanı, kavşakta bekleyen “az sayıdaki” araç sayısı  $B$  bulanık kümesine 0.95 üyelik derecesi ile aittir. Bulanık kümeler çoğunlukla elemanlarının üyelik derecelerini belirleyen üyelik fonksiyonları ile tanımlanırlar.  $x$  elemanının  $C$  bulanık kümesine üyelik derecesini belirleyen üyelik fonksiyonu aşağıdaki eşitsizliği sağlamak zorundadır:

$$0 \leq \mu_C(x) \leq 1, \forall x \in X \quad (2.6)$$

$A$  bulanık kümesini “hemen hemen yarım saatlik seyahat süresi” şeklinde tanımlarsak,  $\mu_A(t)$  üyelik fonksiyonu öznel olarak Şekil 2.2’deki gibi gösterilebilir. Bu durumda, seyahat sürelerinin yirmi ve kırk dakikalar arasında olabileceğini öznel olarak belirlenir. Otuz dakikalık seyahat süresi görüldüğü gibi 1 üyelik derecesi ile “hemen hemen yarım saatlik seyahat süresi”  $A$  bulanık kümesine dahildir. Diğer yandan, yirmi ve kırk dakika arasında bulunan tüm seyahat zamanları, üyelik dereceleri sıfırdan büyük olduğundan  $A$  bulanık kümesinin elemanıdır. Yirmi ve kırk dakikalık seyahat sürelerinin dışında kalan seyahat sürelerinin üyelik dereceleri sıfır olduğundan  $A$  bulanık kümesinin elemanı değildirler.



Şekil 2.2 : A bulanık kümesinin  $\mu_A(t)$  üyelik fonksiyonu

## 2.2. Bulanık Kümelerin Eşitliği

$X$  evrensel kümesi üzerine tanımlı A ve B bulanık kümeleri olsun.  $X$  evrensel kümesindeki her  $x$  elemanı için,  $\mu_A(x) = \mu_B(x)$  doğru ise, A ve B kümeleri eşittir denir ve  $A = B$  şeklinde gösterilir.

## 2.3. Bulanık Kümelerde Alt Küme Kavramı

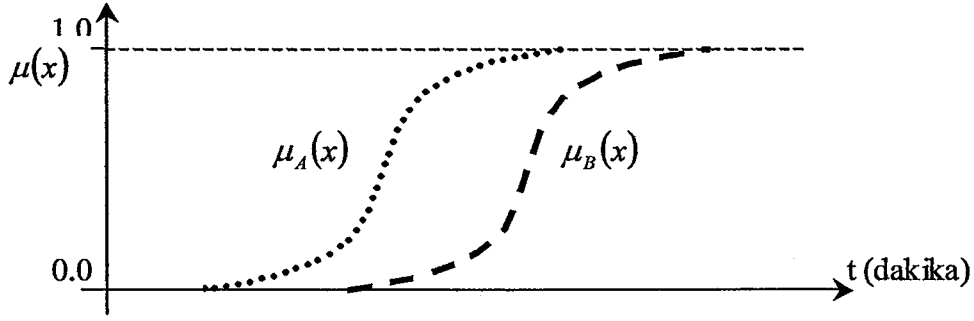
$X$  evrensel kümesindeki her  $x$  elemanı için,

$$\mu_A(x) \leq \mu_B(x) \quad (2.7)$$

ise A bulanık kümesi B bulanık kümesinin alt kümesidir. Diğer bir deyişle, her  $x$  elemanı için,  $x$  elemanının A bulanık kümesine olan üyelik derecesi, B bulanık kümesine olan üyelik derecesinden küçükse, A bulanık kümesi B bulanık kümesinin alt kümesidir denir ve  $A \subset B$  şeklinde gösterilir. “Uzun” ve “Çok Uzun” seyahat zamanları bulanık kümeleri, Şekil 2.3’de görüldüğü gibi sırasıyla A ve B bulanık kümeleri olarak tanımlansın. Her  $x$  elemanı için,  $\mu_B(x) \leq \mu_A(x)$  doğru ise, “Çok Uzun” seyahat zamanları bulanık kümesi, “Uzun” seyahat zamanları bulanık kümesinin alt kümesidir denir.

## 2.4. Bulanık Kümelerin Kesişimi

A ve B bulanık kümelerinin kesişimi,  $A \cap B$  şeklinde gösterilir ve hem A hem de B bulanık kümelerinde bulunabilecek en büyük kümedir. Bulanık kümelerdeki kesişim işlemi, matematikteki “ve” işlemine denk düşer.

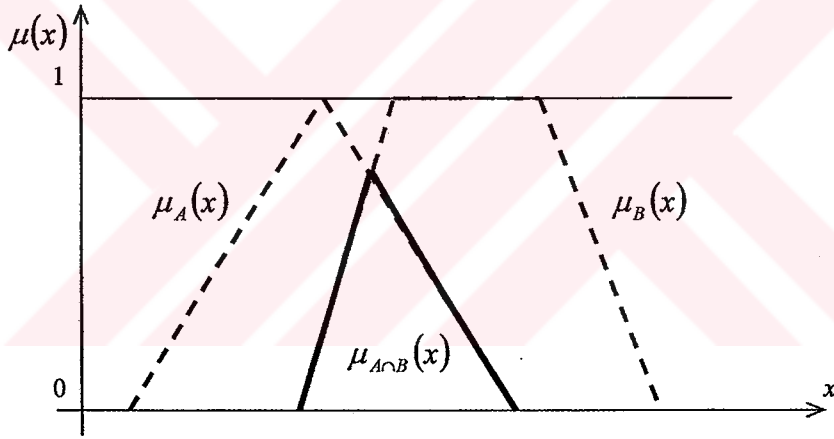


Şekil 2.3 : Seyahat zamanları bulanık kümeleri üyelik fonksiyonları

$A \cap B$  kesişim kümesinin üyelik fonksiyonu  $\mu_{A \cap B}(x)$  aşağıdaki şekilde tanımlanır:

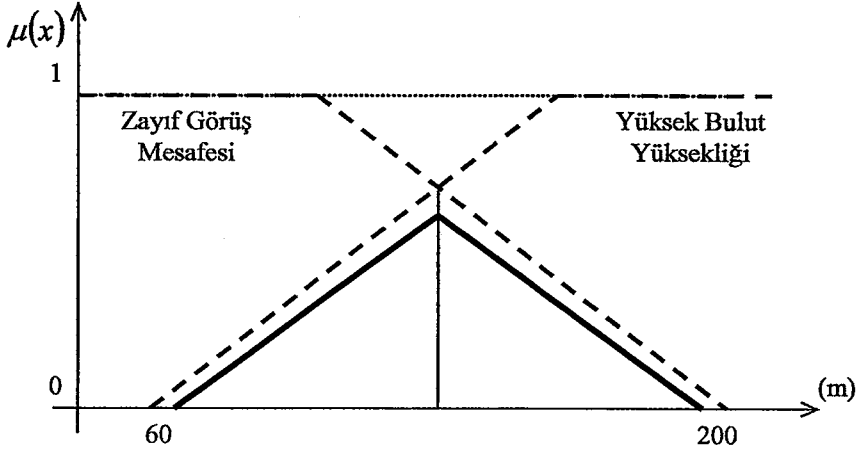
$$\mu_{A \cap B}(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} \quad (2.8)$$

Literatürde “min” sembolü yerine “ $\wedge$ ” sembolü de kullanılmaktadır. Şekil 2.4, A ve B bulanık kümelerinin kesişimi  $A \cap B$  kümesini göstermektedir.



Şekil 2.4 : A, B ve  $A \cap B$  bulanık kümeleri üyelik fonksiyonları

Bulanık kümelerde kesişim kavramını açıklayabilmek için aşağıdaki gibi bir örnek kullanılabilir: Havaalanı pistindeki görüş mesafesi ve bulut yüksekliği gibi iki değişken tanımlansın. Görüş mesafesi, “iyi”, “orta” ve “zayıf” olarak, bulut yüksekliği ise “yüksek” ve “alçak” olarak nitelendirilebilirler. A ve B bulanık kümeleri, sırasıyla, “havaalanı pistindeki zayıf görüş mesafesi” ve “yüksek bulut yüksekliği” kümelerine karşılık gelsinler. “Zayıf görüş mesafesi ve yüksek bulut yüksekliği” bulanık kesişim kümesi  $A \cap B$  Şekil 2.5’deki gibi gösterilsin:



Şekil 2.5 : Görüş mesafesi ve bulut yükseklikleri'ne ait bulanık kesişim kümesi

“min” işleminin yanında, T-norm işlemleri olarak adlandırılan başka işlemler de bulanık küme çalışmalarında kullanılmaktadır. Bu işlemler iki bulanık kümenin kesişim işlemlerinde kullanılan “cebirsel çarpım” ve “sınırlı çarpım” işlemleridir. A ve B bulanık kümelerinin “cebirsel” çarpım işlemi  $A \cdot B$  şeklinde gösterilir. Söz konusu, “cebirsel” çarpımın, üyelik fonksiyonu  $\mu_{A \cdot B}(x)$  ise aşağıdaki şekilde gösterilmektedir:

$$\mu_{A \cdot B}(x) = \mu_A(x) \cdot \mu_B(x) \quad (2.9)$$

A ve B bulanık kümelerinin “sınırlı” çarpım işlemi,  $A(\cdot)B$  şeklinde gösterilir. Söz konusu, “sınırlı” çarpımın üyelik fonksiyonu  $\mu_{A(\cdot)B}(x)$  ise aşağıdaki şekilde gösterilmektedir:

$$\mu_{A(\cdot)B}(x) = \max\{0, \mu_A(x) + \mu_B(x) - 1\} \quad (2.10)$$

Yukarıda tanıtılan işlemlerin yanında iki bulanık kümenin kesişimini belirli bir değişkene bağlayıp “ve” işleminin anlamını güçlendiren işlemler de bulunmaktadır. Bu işlemler arasında, “Hamacher’in min işlemi”, “Yager’in min işlemi” ve “Dubois ve Parade’in min işlemi” sayılabilir. Belirli bir değişkene bağlı bu işlemlere örnek vermek amacıyla “Dubois ve Parade’in min işlemi” aşağıda gösterilmiştir (Dubois, 1984):

$$\mu_{\lambda AB}(x) = \frac{\mu_A(x) \cdot \mu_B(x)}{\max[\mu_A(x), \mu_B(x), \lambda]}, \lambda \in [0,1] \quad (2.11)$$

Sırasıyla,  $\lambda = 0$  ve  $\lambda = 1$  için,

$$\mu_{\lambda AB}(x) = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad (2.12)$$

$$\mu_{\lambda AB}(x) = \mu_A(x) \cdot \mu_B(x) \quad (2.13)$$

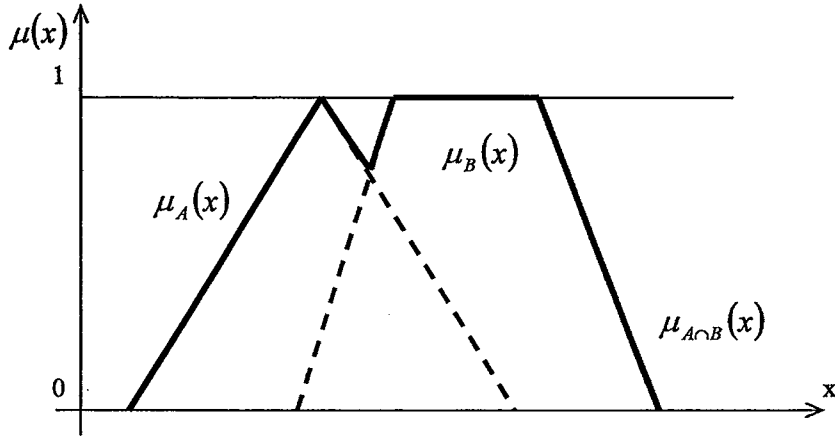
yazılabilir. Değişik  $\lambda$  değerleri, A ve B bulanık kümelerine olan talebin gücünü göstermektedir. Örneğin, bir şehirde sürücülerin hangi güzergahı kullanmayı tercih edeceği kararı özellikle yolculuk süresi ve toplam yol uzunluğu başta olmak üzere çeşitli etkenlere bağlıdır.  $\lambda$ 'nın değişik değerleri sürücülerin “kısa süre” ve “kısa yol” tercihlerinin şiddetini belirler.

## 2.5. Bulanık Kümelerin Bileşimi

A ve B bulanık kümelerinin bileşimi  $A \cup B$  ile gösterilir.  $A \cup B$  bulanık bileşim kümesi hem A hem de B bulanık kümelerini kapsayan en küçük bulanık kümedir.  $A \cup B$  bulanık bileşim kümesinin  $\mu_{A \cup B}(x)$  üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad (2.14)$$

Literatürde “max” sembolü yerine “ $\vee$ ” sembolü de kullanılmaktadır. Bulanık kümelerde “Bileşim” işlemi matematikteki “ya da” işlemine denk düşmektedir. Havayolları taşımacılığında yaşanan gecikmeler, teknik aksamalar, hava koşulları, geç kalan ya da hiç gelmeyen kabin mürettebatı, gibi bir çok sebepten kaynaklanabilir. Havayolu taşımacılığında yaşanan gecikmelerin yaklaşık % 30'unun teknik sebeplerden, yaklaşık % 25'inin ise hava koşullarından kaynaklandığını varsayalım. Buna göre A ve B bulanık kümelerini, sırasıyla, “gecikme nedeninin yaklaşık % 30'u” ve “gecikme nedeninin yaklaşık % 25'i” şeklinde tanımlayabiliriz.



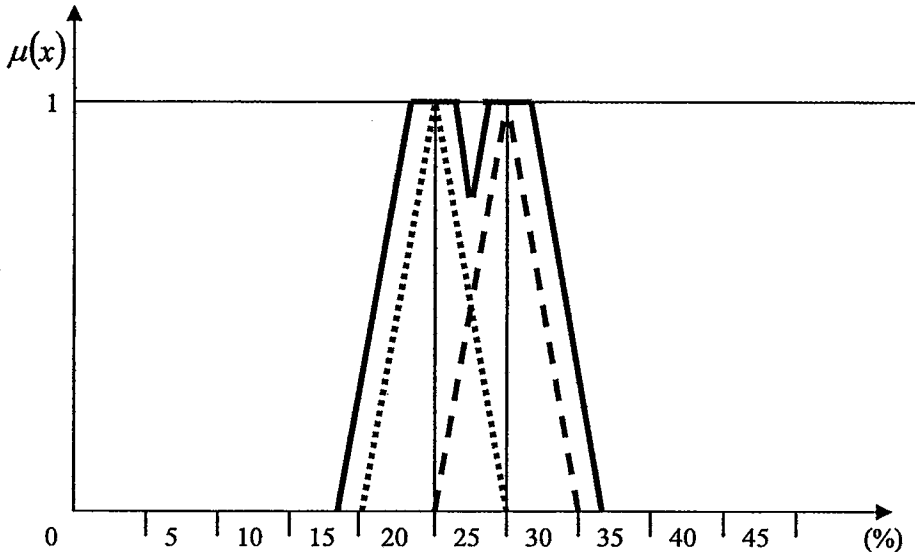
Şekil 2.6 : A, B ve  $A \cup B$  bulanık kümeleri üyelik fonksiyonları

Buna göre,  $A \cup B$  bulanık kümesi “gecikme nedeninin yaklaşık % 30’u” ya da “gecikme nedeninin yaklaşık % 25’i” şeklinde belirtilir ve hem teknik sebeplere hem de hava koşullarına bağlanan gecikmeleri temsil eder. A, B ve  $A \cup B$  bulanık kümelerinin üyelik fonksiyonları Şekil 2.6’da gösterilmektedir. “max” işleminin yanında, T-conorm işlemleri olarak adlandırılan, “cebirsal” toplam ve “sınırlı” toplam da iki bulanık kümenin bileşiminin tanımlanmasında kullanılmaktadır. A ve B bulanık kümelerinin “cebirsal” toplamının üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibi ve Şekil 2.7’de görüldüğü gibi tanımlanabilir.

$$\mu_{A+B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x) \quad (2.15)$$

A ve B bulanık kümelerinin “sınırlı” toplamının üyelik fonksiyonu ise aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

$$\mu_{A(+ )B}(x) = \min\{1, \mu_A(x) + \mu_B(x)\} \quad (2.16)$$



Şekil 2.7 : Yaklaşık ifadeli bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları

İki bulanık kümenin kesişiminde olduğu gibi, iki bulanık kümenin bileşiminde de değişkene bağlı bileşim işlemi söz konusudur. Değişkene bağlı bileşim işlemleri arasında, “Hamacher’in max işlemi”, “Yager’in max işlemi” ve “Dubois ve Prade’in max işlemi” sayılabilir. Aşağıda “Yager’in max işlemi” sunulmuştur. (Yager, 1982)

$$\mu_{A\beta B}(x) = \min \left[ 1, \left( \mu_A^\beta(x) + \mu_B^\beta(x) \right)^{\frac{1}{\beta}} \right], \beta \geq 1 \quad (2.17)$$

$\beta = 1$  olduğu durumda,

$$\mu_{A\beta B}(x) = \min(1, \mu_A(x) + \mu_B(x)) \quad (2.18)$$

$\beta = \infty$  olduğu durumda ise,

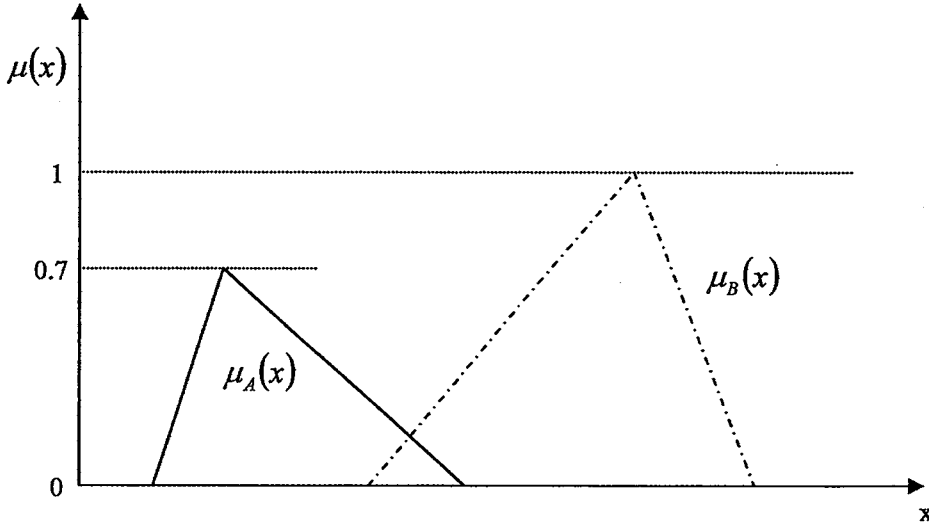
$$\mu_{A\beta B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (2.19)$$

denklemleri elde edilir.  $\beta$ ’nın değişik değerleri “ya da” işleminin “güçlü” ya da “zayıf” olma durumunu belirler.

## 2.6. Bulanık Kümelerde Yükseklik Kavramı

Bir bulanık kümenin yüksekliği, küme elemanlarının alabileceği en yüksek üyelik fonksiyonu değeridir. Bir bulanık kümenin en az bir elemanının üyelik fonksiyonu

değeri 1 ise, o bulanık kümeye “normalleşmiş” bulanık küme denir. Şekil 2.8’de yüksekliği sırasıyla 0,7 ve 1 olan A ve B bulanık kümeleri gösterilmektedir.



Şekil 2.8 : Bulanık A kümesinin üyelik fonksiyonu ve normalleşmiş bulanık B kümesi

### 2.7. Bulanık Kümelerde “Destek” Kavramı

Belirli durumlarda, bulanık küme elemanlarının hangilerinin sıfırdan büyük üyelik fonksiyonu değerlerinin olduğunu ayırtetmek gerekmektedir. A bulanık kümesinin “destek”i,  $X$  kümesinde bulunan  $x$  elemanlarından A bulanık kümesindeki üyelik fonksiyonları sıfırdan büyük olan elemanlar kümesidir ve aşağıdaki gibi gösterilir.

$$SuppA = \{x \in X | \mu_A(x) > 0\} \quad (2.20)$$

### 2.8. Bulanık Kümelerde “Dereceli Büyüklük” Kavramı

A bulanık kümesinin “dereceli büyüklüğü” aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır:

$$|A| = \sum_{x \in X} \mu_A(x) \quad (2.21)$$

diğer taraftan, A bulanık kümesinin göreceli “büyüklüğü” ise aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

$$\|A\| = \frac{|A|}{|x|} \quad (2.22)$$

A bulanık kümesinin “büyüklük” ve göreceli “büyüklük” özellikleri,  $X$  kümesi elemanlarının A bulanık kümesi özellikleri taşıyanları da denmektedir. A bulanık kümesi “eski otobüs” kümesi olarak adlandırılınsın, A bulanık kümesi elemanlarından en eski otobüs 12 yaşında, en yeni otobüs ise 1 yaşında olsun.

$$A = \frac{1}{12} + \frac{1}{10} + \frac{0,8}{7} + \frac{0,7}{6} + \frac{0,4}{4} + \frac{0,2}{2} + \frac{0,1}{1} \quad (2.23)$$

A bulanık kümesinin “büyüklük” değeri;

$$|A| = 1 + 1 + 0,8 + 0,7 + 0,4 + 0,2 + 0,1 = 4,2 \quad (2.24)$$

A bulanık kümesinin göreceli “büyüklük” değeri ise;

$$\|A\| = \frac{|A|}{|x|} = \frac{4,2}{7} = 0,6 \quad (2.25)$$

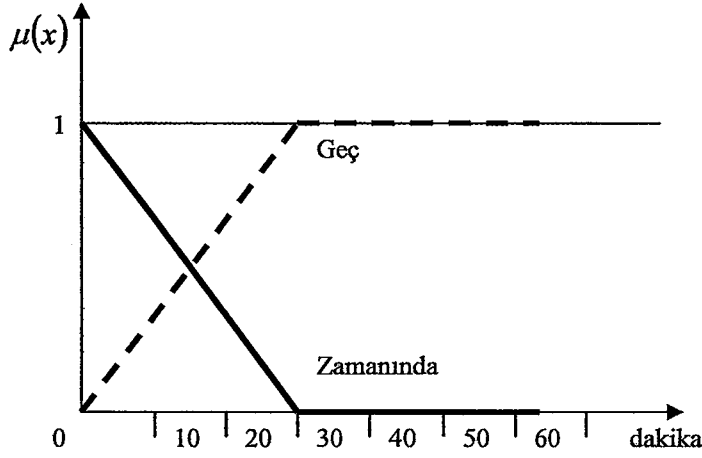
şeklinde hesaplanabilir.

## 2.9. Bulanık Kümelerin Tümleyeni

A bulanık kümesinin tümleyeninin üyelik fonksiyonu değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (2.26)$$

Havayolu taşımacılığında gerçekleştirilen işlemlerin kalitesi genellikle kalkış zamanlarındaki gecikmeler ile ölçülmektedir. Gecikme zamanı, gerçekleşen ve planlanan kalkış zamanları arasındaki fark olarak tanımlanmaktadır. A ve  $\bar{A}$  bulanık kümeleri sırasıyla “geç” ve “zamanında” kalkış süreleri bulanık kümeleri olsun. Bu durumda Şekil 2.9’da da görüldüğü gibi  $\bar{A}$  bulanık kümesinin, A bulanık kümesinin tümleyeni olacağı açıktır. Şekil 2.10, iç bükey bulanık küme ve iç bükey olmayan bulanık kümelere örnek vermektedir.

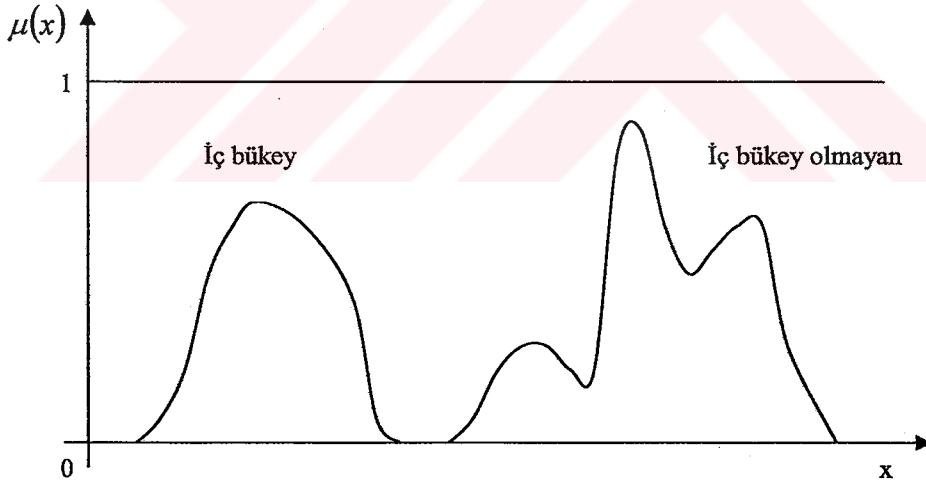


Şekil 2.9 : Bulanık kümelerine ait üyelik fonksiyonları

### 2.10. Bulanık Kümelerde İç Bükeylik Kavramı

A bulanık kümesi aşağıdaki denklemi sağladığı takdirde iç bükeydir denir.

$$\mu_A(\lambda x_1 + (1 - \lambda)x_2) \geq \mu_A(x_1) \wedge \mu_A(x_2), \quad x_1, x_2 \in X, \lambda \in [0,1] \quad (2.27)$$



Şekil 2.10 : İç bükey ve iç bükey olmayan bulanık kümeler

### 2.11. Sözel İfadeler

Kişiler arası ilişkilerde kullanılan doğal lisanda bulanıklık kavramı, belirsizlik, karışıklık ve kesin olmama kavramlarını içeren kelime ve cümlelerle ifade edilir. Söz konusu ifadelerde yer bulan kelime ve cümleler “bulanıklık” kavramı içerseler de

kişiler tarafından herhangi bir anlaşılama söz konusu değildir. Örneğin herhangi bir sürücü “yaklaşık 5 dakika sonra varacağız” dediğinde yolcular “bulanıklık” içeren bu ifadeyi anlarlar. Söz konusu ifade “varacağımız yere tam olarak 4 dakika 38 saniye 26 salise kaldı” gibi kesin bir ifade kullanmasa bile bir önceki örnek olarak verilen ifade tüm yolcular tarafından anlaşılır ve yeterli bir bilgidir. Aksine gerçek yaşamda kimi zaman kesin ifadeler karışıklığa, belirsizliğe, karmaşıklığa yani “bulanıklık” kavramına neden olmaktadır. Bir yarış esnasında görevi sürücüye yardım etmek olan yardımcı sürücü “sağ tarafta birazdan keskin bir viraj alacağız” ifadesi yerine “412 metre sonra sağda 48°’lik bir viraj alacağız” ifadesi kullanması sürücüyü zora sokabilir ve kesin olarak verilmeye çalışılan bilgi belirsizliğe yol açar. Yukarıda örneği verilen durumlarda çoğu zaman sayısal örnek ve ya bilgi vermek yerine sözel bilgi ve örnekler vermek daha faydalı olmaktadır. İlk sözel değişkenler Zadeh tarafından ortaya atılmıştır (Zadeh, 1975a ve 1975b). Sayısal değerlerin karşılığı rakamlar, sözel değerlerin karşılığı ise cümle ve kelimeler olmaktadır. Yukarıda verilen örneklerden de anlaşılacağı gibi iletişimde sayısal değerlerin eksikliğinde çoğunlukla sözel ifadeler kullanılmaktadır. Sözel ifadeleri bu gibi durumlarda kullanabilmek için çoğunlukla sıfat ve edatlardan yararlanılmaktadır. “Bulanık” ifadeleri kullanmada yararlanılan bu sıfat ve edatlara “sözel ifadeler” denilmektedir. “Sözel ifadeler”e örnek vermek gerekirse; “çok”, “pek çok”, “aşağı yukarı”, “hemen hemen”, “yaklaşık”, gibi kelimeler söylenebilir. Sözel ifadeler kullanılarak belirli bir bulanık kümenin üyelik fonksiyonu üretilebilir (Zadeh, 1973). Bazı sözel ifadelerin uygulanacağı bir A bulanık kümesi tanımlansın. Uygulanacak sözel ifadeler “yoğunlaştırma”, “seyrekleştirme” ve “daraltma” içermektedir. Bu üç kavramın her birine aşağıdaki gibi örneklemeler yapılabilir, “yoğunlaştırma” kavramı için:

$$\text{“çok” } A = A^2 \quad (2.28)$$

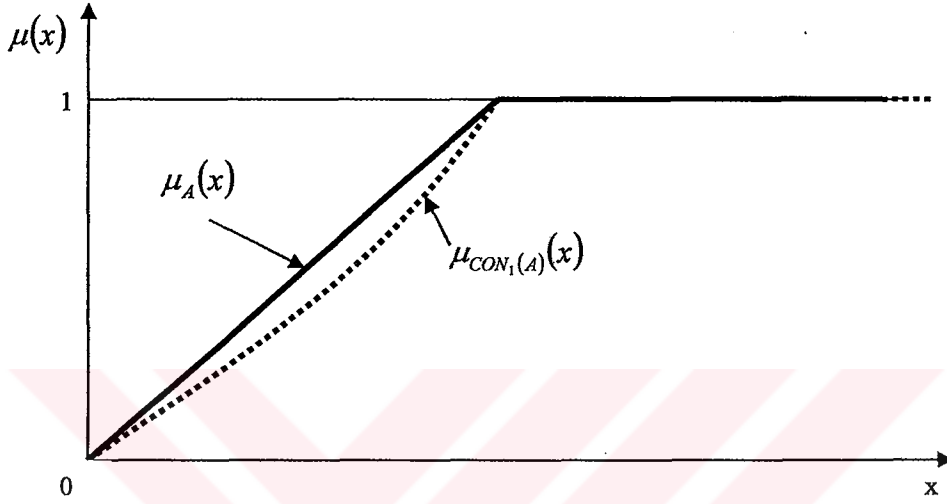
$$\text{“pek çok” } A = A^4 \quad (2.29)$$

Aşağıda (2.1) tanımlanacak “yoğunlaştırma”,  $CON_1(A)$  ile gösterilebilir. Diğer taraftan  $CON_2(A)$  şeklinde gösterilen ise (2.1) ifadesi ile tanımlanabilir. Uygun düşen üyelik fonksiyonları aşağıda verilmiştir:

$$\mu_{CON_1(A)}(x) = (\mu_A(x))^2 \quad (2.30)$$

$$\mu_{CON_2(A)}(x) = (\mu_A(x))^4 \quad (2.31)$$

A bulanık kümesinin üyelik fonksiyonu ve yine A bulanık kümesine ait  $CON_1(A)$  “yoğunlaştırma” kavramı Şekil 2.11’de gösterilmiştir.

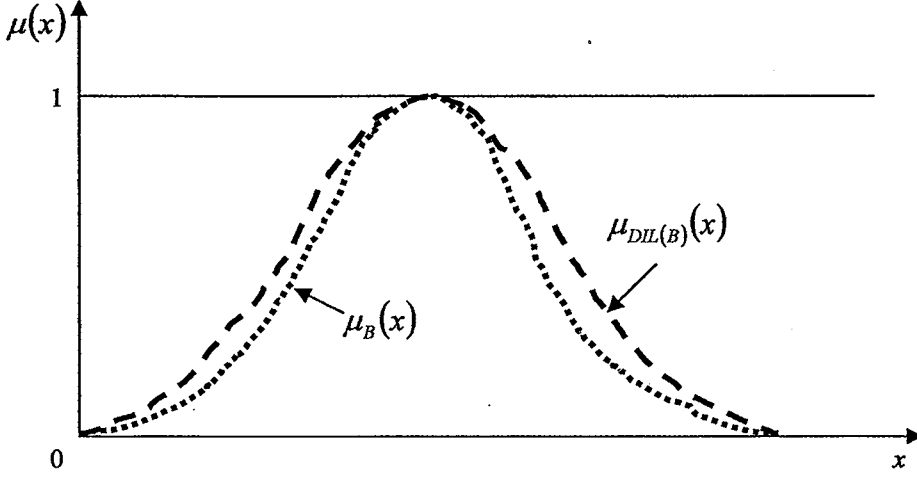


Şekil 2.11 : Bulanık A kümesinin üyelik fonksiyonu ve  $CON_1(A)$  yoğunluğu

Şekil 2.11’de de görüldüğü gibi  $CON_1(A)$ ’ın sonucu daha düşük bir üyelik derecesine denk düşen bir bulanık kümedir. Bu örnekten de gözlemlenebileceği gibi “yoğunlaştırma” ile elde edilen bulanık kümenin üyelik derecesi, ana üyelik fonksiyonu derecesi azaldıkça düşmektedir. “Seyrekleştirme” kavramı ile elde edilen sonuç ise yukarıda bahsedilen “yoğunlaştırma” işleminin elde ettiği sonucun tam tersini vermektedir. Aşağıdaki (2.32 ve 2.33) bağıntı “seyrekleştirme” kavramını tanımlamaktadır ve Şekil 2.12’de gösterilmektedir:

$$\text{“seyrek” } B = \sqrt{B} \quad (2.32)$$

$$\mu_{DIL(B)}(x) = (\mu_B(x))^{1/2} \quad (2.33)$$



Şekil 2.12 :  $\mu_B(x)$  ve  $\mu_{DIL(B)}(x)$  üyelik fonksiyonları

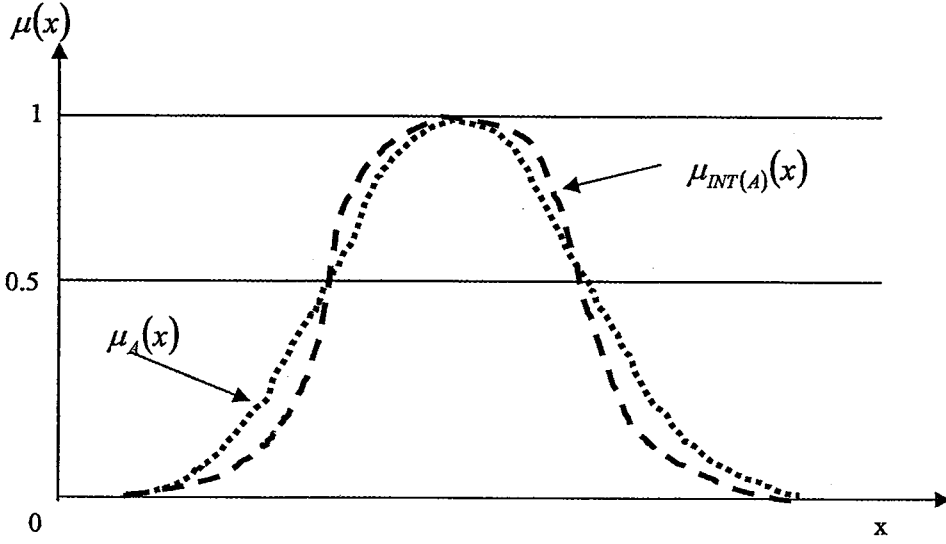
A bulanık kümesinin “daraltma” kavramı ise aşağıdaki gibi (2.34) tanımlanmakta ve Şekil 2.13’deki gibi gösterilmektedir:

$$\mu_{INT(A)}(x) = \begin{cases} 2 \cdot (\mu_A(x))^2, & 0 \leq \mu_A(x) \leq 0.5 \\ 1 - 2 \cdot [1 - \mu_A(x)]^2, & 0.5 \leq \mu_A(x) \leq 1 \end{cases} \quad (2.34)$$

Şekil 2.13’de de gösterildiği gibi “daraltma” işlemi üyelik derecesi 0.5’ten büyük ve 0.5’ten küçük elemanlar için üyelik fonksiyonunuda değişikliğe neden olmuştur. Yukarıda bahsedilen “yoğunlaştırma”, “seyrekleştirme” ve “daraltma” kavramları başka şekillerde de tanımlanabilmektedir. Aşağıda belirtilen bağıntılar (2.35 ve 2.36) bu farklı tanımlamalara örnek teşkil etmektedir:

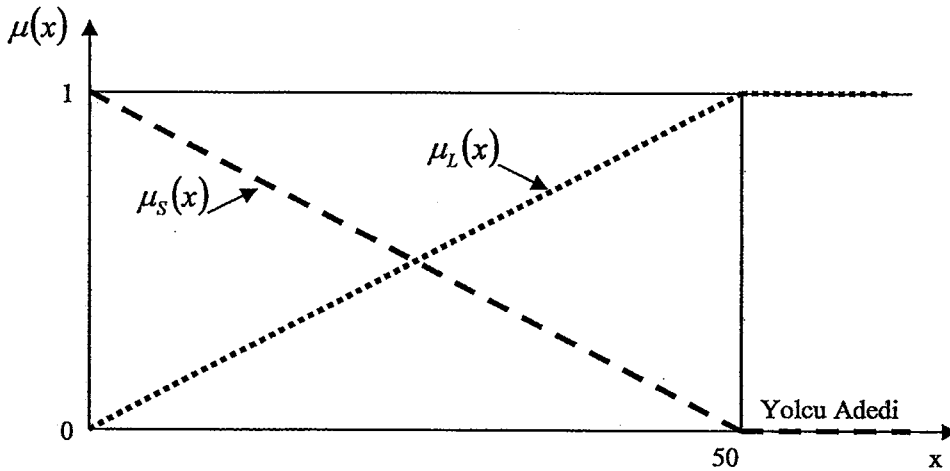
$$\mu_{CON(A)}(x) = (\mu_A(x))^{1.5} \quad (2.35)$$

$$\mu_{DIL(A)}(x) = (\mu_B(x))^{0.75} \quad (2.36)$$



Şekil 2.13 :  $\mu_A(x)$  ve  $\mu_{INT(A)}(x)$  üyelik fonksiyonları

Daha karmaşık sözel ifadelerin üyelik fonksiyonlarının hesaplamalarında kullanılmak üzere Zadeh (1973) “değil”, “ve” ve “ya da” mantıksal ifadelerinin kullanılması gerektiğini önermiştir.  $L$  ve  $S$  bulanık kümeleri, sırasıyla, “durakta bekleyen fazla miktarda yolcu sayısı” ve “durakta bekleyen az miktarda yolcu sayısı” sözel ifadelerini temsil etsinler.  $L$  ve  $S$  bulanık kümelerinin  $\mu_L(x)$  ve  $\mu_S(x)$  üyelik kümeleri Şekil 2.14’de gösterilmektedir. Bu üyelik fonksiyonları aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:



Şekil 2.14 :  $\mu_L(x)$  ve  $\mu_S(s)$  üyelik fonksiyonu

$$\mu_S(x) = \begin{cases} -\frac{x}{50} + 1, & 0 \leq x \leq 50 \\ 0, & x > 50 \end{cases} \quad (2.37)$$

$$\mu_L(x) = \begin{cases} \frac{x}{50}, & 0 \leq x \leq 50 \\ 1, & x > 50 \end{cases} \quad (2.38)$$

Diğer taraftan, sözel ifadeler ile tanımlanan “durakta bekleyen çok fazla miktarda yolcu sayısı” ve “durakta bekleyen pek çok fazla miktarda yolcu sayısı” bulanık kümeleri sırasıyla,  $L_1$  ve  $L_2$  bulanık kümeleri ile belirtilsin. Bu durumda  $L_1$  ve  $L_2$  bulanık kümeleri için uygun düşecek üyelik fonksiyonları aşağıdaki (2.39 ve 2.40) gibi hesaplanacaktır:

$$\mu_{L_1}(x) = (\mu_L(x))^2 = \begin{cases} \frac{x^2}{2500}, & 0 \leq x \leq 50 \\ 1, & x > 50 \end{cases} \quad (2.39)$$

$$\mu_{L_2}(x) = (\mu_L(x))^4 = \begin{cases} \frac{x^4}{6250000}, & 0 \leq x \leq 50 \\ 1, & x > 50 \end{cases} \quad (2.40)$$

Yukarıda belirtilen sözel ifadelerin aksine, “durakta bekleyen çok az miktarda yolcu sayısı” ve “durakta bekleyen pek çok az miktarda yolcu sayısı” bulanık kümeleri  $S_1$  ve  $S_2$  ise aşağıdaki (2.41 ve 2.42) gibi tanımlanabilir:

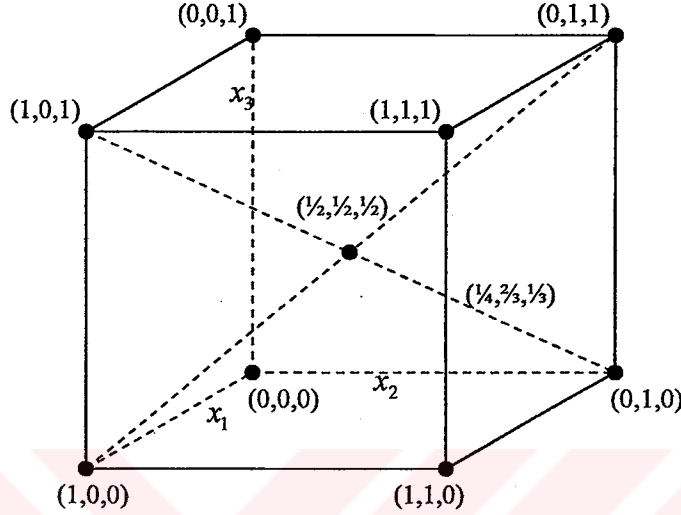
$$\mu_{S_1}(x) = (\mu_S(x))^2 = \left(-\frac{x}{50} + 1\right)^2 \quad (2.41)$$

$$\mu_{S_2}(x) = 1 - \mu_{S_1}(x) = 1 - \left(-\frac{x}{50} + 1\right)^2 \quad (2.42)$$

## 2.12. Hiperküp Noktaları Olarak Bulanık Kümeler

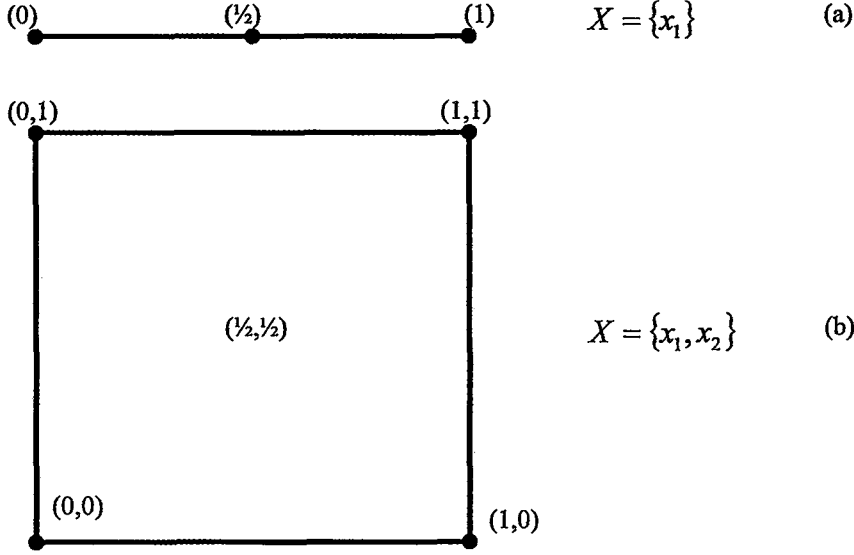
Kosko (1992 ve 1993) çalışmalarında bulanık kümelerin hiperküp noktaları olarak da tanımlanabileceği olasılığından bahsetmiştir. Bulanık küme kavramının hiperküp noktaları şeklinde temsil edilmesi prensibini doğru algılayabilmek amacıyla teorik bilgilerin ve önermelerin yanında grafik yardımıyla da açıklama yapmak

gerekmektedir. Bulanık kümeleri hiperküp noktaları olarak tanımlanması ya da temsil edilmesi bulanık kümeler arasındaki ilişkilerin daha rahat anlaşılmasını sağlamaktadır. Üç elemana sahip olan bir evrensel küme tanımlansın;  $X = \{x_1, x_2, x_3\}$ . Şekil 2.15, üç elemanlı evrensel küme durumunda bulanık kümelerin hiperküp noktaları şeklinde temsil edilmelerini göstermektedir.



Şekil 2.15 : 3 elemanlı bir evrende bulanık kümelerin nokta olarak gösterimi

Kübün her kenarı, kesikli kümeleri temsil etmektedir. Örneğin, (0, 1, 0) noktası,  $x_1$  ve  $x_3$  elemanlarının dahil olmadığı fakat  $x_2$  elemanının tamamıyla dahil olduğu bir alt kesikli kümeyi temsil etmektedir. Diğer bir deyişle, (0, 1, 0) noktası  $\{x_2\}$  alt kümesini temsil etmektedir.  $\{x_1\}$  alt kümesi (1, 0, 0) noktası ile,  $\{x_2, x_3\}$  alt kümesi (1, 0, 1) noktası ile,  $\{x_3\}$  alt kümesi (0, 0, 1) noktası ile temsil edilmektedir. Burada şu ifade edilmektedir ki, (0, 0, 0) noktası  $\emptyset$  boş kümesini, (1, 1, 1) noktası ise tüm  $X$  evrensel kümesini temsil edecektir. Şekil 2.15'de de görüldüğü gibi (1,0,1) ve (0,1,0), (1,0,0) ve (0,1,1), (1,1,0) ve (0,0,1), (0,0,0) ve (1,1,1) noktalarını birbirine bağlayan çapraz doğrular bulunmaktadır. Küpün köşe noktaları kesikli kümeleri temsil ettiğine göre, küpün içinde yer alan çapraz doğrular bulanık kümeleri gösterecektir. Örneğin, Şekil 2.15'de  $x$  ile gösterilen (1/4, 2/3, 1/3) noktası,  $x_1$ 'in üyelik derecesinin 1/4,  $x_2$ 'nin üyelik derecesinin 2/3 ve  $x_3$ 'ün üyelik derecesinin 1/3 olduğunu bulanık kümeyi temsil etmektedir. Şekil 2.15'den de anlaşılacağı üzere çapraz üzerindeki her nokta bir bulanık kümeyi temsil etmektedir. Şekil 2.16'da tek ve iki elemanlı evrensel kümelere ait durumlar gösterilmiştir.



Şekil 2.16 : Bulanık kümelerin (a) bir elemanlı evren ve (b) iki elemanlı evrende nokta olarak gösterimi

### 2.13. Bulanık İlişkiler

Bulanık ilişki kavramı, bulanık kümeye benzer şekilde açıklanabilir. Küme elemanlarının üyelik fonksiyonlarının sadece 0 ve 1 değerlerini alabildiği klasik kümelerden farklı olarak, bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları  $[0,1]$  aralığındaki herhangi bir değeri alabilir. Daha yüksek olan üyelik değeri, o elemanın bir bulanık küme içerisindeki üyeliğinin “daha güçlü” olduğunu gösterir. Eğer elemanları birbirine bağımlı, ilintili veya birbirini koşullandırıyor ise o zaman bu iki klasik küme arasında özel bir ilişki vardır. Klasik ilişkiler kavramından, bulanık ilişkiler kavramına yapılacak geçiş, bireysel elemanlar arasındaki ilişkinin “gücü” kavramı kullanılarak yapılabilir. Bulanık ilişkiler kavramına dair biçimsel bir tanım vermeden önce, kartezyen çarpımının tanımını hatırlamakta yarar vardır.

#### 2.13.1. Kartezyen Çarpımı

$A$  ve  $B$  olmak üzere iki tane klasik küme olduğunu varsayalım. Bu  $A$  ve  $B$  kümelerinin kartezyen çarpımı  $A \times B$  olarak simgelenir ve ilk elemanın  $A$  kümesinden, ikinci elemanın da  $B$  kümesinden gelen sıralanmış ikililer kümesi olarak tanımlanır.  $A \times B$  kartezyen çarpımı şu şekilde yazılabilir:

$$A \times B = \{(a, b) | a \in A, b \in B\} \quad (2.43)$$

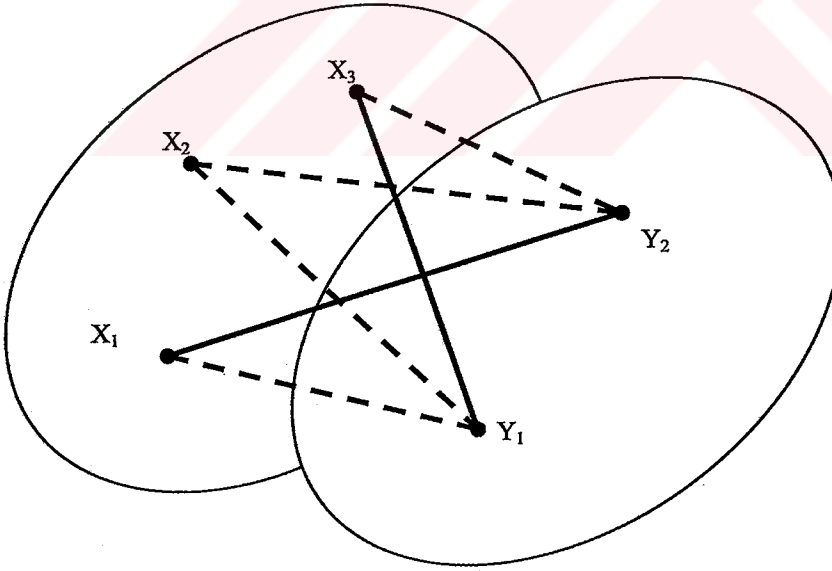
$A$  ve  $B$  kümeleri arasındaki  $R$  ilişkisi, aslında  $A \times B$  kartezyen çarpımının bir alt kümesidir. Örneğin;  $X = \{x_1, x_2, x_3\}$  bir ülkedeki uluslararası havaalanları kümesini simgeliyor olsun.  $Y = \{y_1, y_2\}$  ise komşu ülkelerden birindeki uluslararası havaalanları kümesini simgelesin.  $x_1$  ve  $y_2$  şehirleriyle  $x_3$  ve  $y_1$  şehirleri arasında hava trafiği kurulduğunu varsayalım. Bu şehirler arasındaki hava trafik ilişkisini  $R$  ile simgeleyelim. Bu halde  $X \times Y$  'nin kartezyen çarpımı şu olur:

$$X \times Y = \{(x_1, y_1), (x_1, y_2), (x_2, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_1), (x_3, y_2)\} \quad (2.44)$$

$X$  ve  $Y$  kümeleri arasındaki  $R(X, Y)$  ilişkisi ise şudur:

$$R(X, Y) = \{(x_1, y_2), (x_3, y_1)\} \quad (2.45)$$

Şekil 2.17'de şehirler ve oluşturulan hava trafiği sunulmaktadır:



Şekil 2.17 : Havayolu Ağ Yapısı

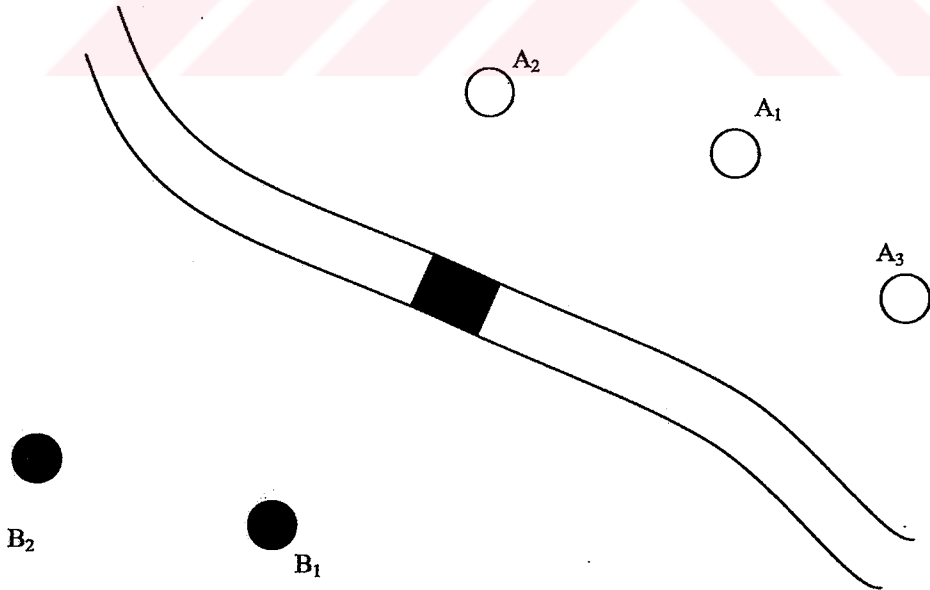
$X \times Y$  kartezyen çarpımında olası tüm hava trafik rotaları (noktalı çizgiler) içerilirken,  $R(X, Y)$  ilişkisinde sadece hava trafiği oluşturulmuş olan rotalar içermektedir. Buna göre  $R(X, Y) \subset X \times Y$  diye yazabiliriz.

### 2.13.2. Bulanık Bir İlişkinin Tanımı

$\mu_R(a,b)$  ilişkisinin üyelik fonksiyonu şu şekilde tanımlanabilir:

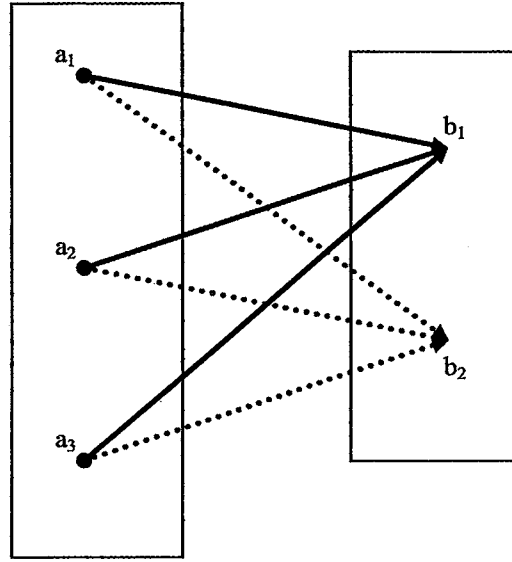
$$\mu_R(a,b) = \begin{cases} 1, & \text{ancak ve ancak } (a,b), R' \text{ 'ye aitse} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (2.46)$$

Klasik bir ilişkide, bu ilişkideki bir ikilinin üyeliğinin ancak 0 yada 1 ile ifade edildiği açıktır. Bir ilişkideki ikilinin üyeliğinin 0 ile 1 arasındaki herhangi bir rakamla ifade edildiğini varsayalım. Ayrıca bu değeri, ilişkideki bir ikilinin üyelik “gücünü” de kapsayacak şekilde belirliyor olacağız. Buna göre  $X_1$  ve  $X_2$  kümelerimiz olsun.  $X_1$  ve  $X_2$  kümeleri arasındaki bulanık ilişki, sıralanmış ikililer olan  $(x_1, x_2)$  ‘nin 0’dan 1’e kadar değişen üyelik seviyelerinde bir ilişkiye ait olduğu ve  $X_1 \times X_2$  kartezyen çarpımı ile tanımlanan bir bulanık kümeden oluşmaktadır.  $A$  ve  $B$ ’nin, bir şehrin ortasından geçen ırmağın her iki yakasında bulunan yeni yerleşim alanlarını simgeleyen kümeler olduğunu varsayalım (Şekil 2.18).  $A$  kümesi,  $a_1, a_2, a_3$  yerleşim alanlarını kapsarken,  $B$  kümesi de  $b_1, b_2$  yerleşim alanlarını kapsasın. Buna göre :  $A = \{a_1, a_2, a_3\}$   $B = \{b_1, b_2\}$  olacaktır.



Şekil 2.18 : Yeni yerleşim alanlarının dağılımı

$$\begin{matrix} & b_1 & b_2 \\ a_1 & 0.9 & 0.3 \\ a_2 & 0.6 & 0.4 \\ a_3 & 0.7 & 0.2 \end{matrix}$$



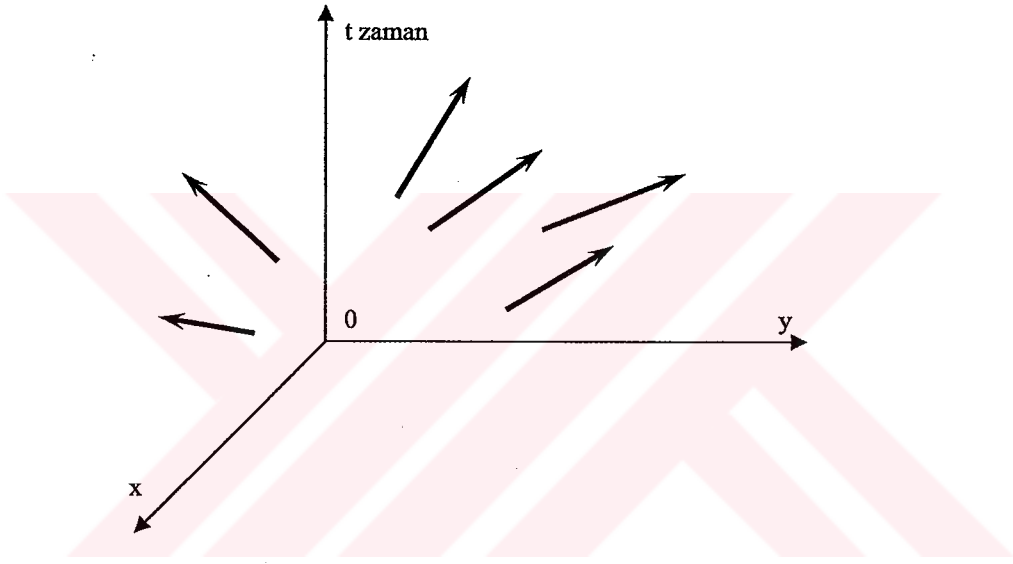
Şekil 2.19 : Bulanık bir ilişkinin temsili üyelik matrisi ve okçul çizimi

$\bar{A}$  ve  $\bar{B}$  kümeleri arasındaki bulanık ikili  $\bar{R}$  ilişkisinin “kısa yolculuk süresini” simgelediğini varsayalım. Bulanık ikili  $\bar{R}$  ilişkisinin “kısa yolculuk süresine” dair uygun temsili Şekil 2.19’da gösterilmiştir.

Batı Avrupa ülkelerinin bazılarında ve Birleşik Devletler’de bulunan düşük nüfus yoğunluklu alanlarda “yolculuk için-ara” yolcu taşıma hizmeti uygulanmaktadır. Bu hizmet, büyük şehirlerdeki yaşlı insanları ve engellileri taşımak için de verilmektedir. “Yolculuk için-ara” sisteminin farklı uyarlamaları bulunsa dahi, genel özellikleri şunlardır: Kullanıcı kişi, ulaştırma organizasyonundaki kayıt servisine telefon açar ve araç ister, araç isteğinde bulunurken çıkış noktası, varış noktası ve aracın müşteriye almasının istendiği zaman (ya da zaman aralığı) ayrıntıları verilir, araç istekleri genellikle bir gün öncesinden bildirilir, firma yetkilisi, istek çağrısının gelmesinden, aracın müşterileri toplamaya başlamasına kadar geçen süre içerisinde, rotaları planlar, firma yetkilisi, araç rotalarını tasarlarlarken, en az sayıda araçla olası en kısa mesafelerden oluşan rotalar kümesi oluşturmaya çalışır.

Bazı modeller, araç rotalarını tasarlarlarken öncelikle alınan bu çağrılarını gruplayıp sonra da her bir grup için rotaları tasarlarlar. Kagaya ve diğerleri (1994) gelen araç çağrılarını gruplandırmak için bir model geliştirmiştir. Modelin temeli, bulanık ilişkiler kavramına dayanmaktadır. Bunun için Şekil 2.20’ye bakabiliriz. Şekil 2.20’de bir grup “benzer” yolculuk temsil edilmektedir. Kagaya ve diğerleri (1994)

bu bireysel yolculukların “benzerliğini”, aşağıdaki özelliklere bağlı olarak belirlemektedir:  $t_i$  yolculuğunun çıkış noktası ile  $t_j$  yolculuğunun çıkış noktası arasındaki mesafe,  $t_i$  yolculuğunun varış noktası ile  $t_j$  yolculuğunun varış noktası arasındaki mesafe,  $t_i$  yolculuğunun toplama zamanı ile  $t_j$  yolculuğunun toplama zamanı arasındaki zaman farkı,  $t_i$  yolculuğunun indirme zamanı ile  $t_j$  yolculuğunun bindirme zamanı arasındaki zaman farkı,  $t_i$  ve  $t_j$  yolculuklarının kapsadığı açı ile,  $x$  (veya  $y$ ) eksenleri arasındaki açı farkı,  $t_i$  yolculuğunun varış noktası ile  $t_j$  yolculuğunun çıkış noktası arasındaki fark.



Şekil 2.20 : Gelen araç çağrılarında çıkış noktası, varış noktası ve hareket zamanı

Yapılacak toplam  $n$  sayıda yolculuk var olduğunu kabul edelim. Bu yolculukları göreceli olarak  $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$  diye simgeleyelim. Bu yolculukların her birisinin, çıkış ve varış noktası koordinatları ile toplama zamanı ayrıntıları verilmiş diye kabul edelim. “İki yolculuğun çıkış noktası arasındaki benzerlik” konusundaki bulanık ilişkiyi de  $R_1$  ile simgeleyelim. Bu durumda,  $\bar{R}_1$  bulanık ilişkisindeki üyelik seviyesi, bir matris yapısıyla şu şekilde sunulabilir:

$$\begin{matrix} t_1 \\ t_2 \\ \vdots \\ t_n \end{matrix} \begin{pmatrix} t_1 & t_2 & t_3 & \dots & t_n \\ \mu_{R_1}(t_1, t_1) & \mu_{R_1}(t_1, t_2) & \mu_{R_1}(t_1, t_3) & \dots & \mu_{R_1}(t_1, t_n) \\ \mu_{R_1}(t_2, t_1) & \mu_{R_1}(t_2, t_2) & \mu_{R_1}(t_2, t_3) & \dots & \mu_{R_1}(t_2, t_n) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \mu_{R_1}(t_n, t_1) & \mu_{R_1}(t_n, t_2) & \mu_{R_1}(t_n, t_3) & \dots & \mu_{R_1}(t_n, t_n) \end{pmatrix} \quad (2.47)$$

Kagaya ve diğerleri (1994) “iki yolculuğun benzerliğini” temsil eden  $\bar{R}_1$  bulanık ilişkisindeki üyelik seviyesinin, aşağıdaki ilişki kullanılarak hesaplanabileceğini öne sürmüştür:

$$\mu_{R_1}(t_i, t_j) = \frac{1}{\left\{ 1 + a \left[ (XO(t_i) - XO(t_j))^2 + (YO(t_i) - YO(t_j))^2 \right]^b \right\}} \quad (2.48)$$

Öyle ki  $t_i$ ; yolculuğunun çıkış koordinatları  $XO(t_i)$ , ve  $YO(t_i)$  iken,  $t_j$  yolculuğunun çıkış koordinatları  $XO(t_j)$  ve  $YO(t_j)$  olup, 0’dan 1’e kadar bir aralıktaki bulanık ilişkiye olan üyelik seviyelerinin daha geniş bir yelpazede oluşmasını sağlayacak fonksiyonel bağımlılığı yaratmak amacıyla yapılan bir çok denemeden sonra değerleri öznel olarak belirlenen ölçütler ise  $a$  ve  $b$  olmaktadır.

$\bar{R}_2, \bar{R}_3, \bar{R}_4, \bar{R}_5$  ve  $\bar{R}_6$  ilişkileriyle de şunları simgelenir:  $\bar{R}_2$ , iki yolculuğun varış koordinatları arasındaki benzerliğin (yakınlığın) bulanık ilişkisidir.  $\bar{R}_3$ , iki yolculuğun toplama zamanları arasındaki benzerliğin bulanık ilişkisidir.  $\bar{R}_4$ , iki yolculuğun indirme zamanları arasındaki benzerliğin bulanık ilişkisidir.  $\bar{R}_5$  ise  $x$  ve  $y$  eksenli yolculukları kapsayan açılar arasındaki benzerliğin bulanık ilişkisidir.  $\bar{R}_6$ , bahsi geçen birinci yolculuğun varış noktası ile, ikinci yolculuğun çıkış noktası arasındaki benzerliğin (yakınlığın) bulanık ilişkisidir.

Kagaya ve diğerleri (1994) bu bulanık ilişkilerdeki üyelik derecelerinin seviyelerini hesaplamak üzere, aşağıdaki fonksiyonel bağımlılıkları öne sürülmektedir:

$$\mu_{R_2}(t_i, t_j) = \frac{1}{\left\{ 1 + 0.00015 \left[ (XD(t_i) - XD(t_j))^2 + (YD(t_i) - YD(t_j))^2 \right]^{2.23} \right\}} \quad (2.49)$$

$$\mu_{R3}(t_i, t_j) = \frac{1}{\{1 + 0.007[TD(t_i) - TD(t_j)]\}^{1.02}} \quad (2.50)$$

$$\mu_{R4}(t_i, t_j) = \frac{1}{\{1 + 0.007[TA(t_i) - TA(t_j)]\}^{1.02}} \quad (2.51)$$

$$\mu_{R5}(t_i, t_j) = \frac{1}{\{1 + 0.5[AG(t_i) - AG(t_j)]^2\}} \quad (2.52)$$

$$\mu_{R6}(t_i, t_j) = \frac{1}{\{1 + 0.00014[(XD(t_i) - XD(t_j))^2 + (YO(t_i) - YO(t_j))^2]^{1.75}\}} \quad (2.53)$$

$XO(t_i)$ ,  $YO(t_i)$ ,  $XD(t_i)$ ,  $YD(t_i)$ ,  $TD(t_i)$ ,  $TA(t_i)$  ise,  $i$ 'inci yolculuğun göreceli olarak çıkış ve varış koordinatları, toplama zamanı ve indirme zamanı olmaktadır.

### 2.13.3. Bulanık Kümelerin Kartezyen Çarpımı

$X_1, X_2, \dots, X_n$  kümeleri yüzünden tanımlanan bulanık kümeleri göreceli olarak  $\bar{A}_1, \bar{A}_2, \dots, \bar{A}_n$  şeklinde simgeleyelim. O zaman  $\bar{A}_1, \bar{A}_2, \dots, \bar{A}_n$  bulanık kümelerinin kartezyen çarpımı  $\bar{A}_1 \times \bar{A}_2 \times \dots \times \bar{A}_n$  şeklinde tanımlanır. Bulanık kümelerin kartezyen çarpımının üyelik fonksiyonu da şöyle hesaplanır:

$$\mu_{\bar{A}_1 \times \bar{A}_2 \times \dots \times \bar{A}_n}(x_1, x_2, \dots, x_n) = \mu_{\bar{A}_1}(x_1) \wedge \mu_{\bar{A}_2}(x_2) \wedge \dots \wedge \mu_{\bar{A}_n}(x_n) \quad (2.54)$$

Aşağıdaki örnek, bulanık kümelerin kartezyen çarpımının üyelik fonksiyonunun nasıl hesaplanacağını göstermektedir. İki şehir arasında yapılan gezileri etkileyen çok farklı etkenler vardır. Toplam gezi sayısını oluşturan en önemli etkenlerden birisi de şehir nüfusedir. Komşu iki ülkenin “kalabalık nüfuslu” birer şehri  $\bar{A}_1$  ve  $\bar{A}_2$  bulanık kümelerini temsil eden simgeler olduğunu kabul edelim.  $\bar{A}_1$  ve  $\bar{A}_2$  bulanık kümeleri de şu şekilde olsun:

$$\bar{A}_1 = \frac{0.3}{200000} + \frac{0.6}{450000} + \frac{1}{1100000} \quad (2.55a)$$

$$\bar{A}_2 = \frac{0.25}{180000} + \frac{0.85}{820000} \quad (2.55b)$$

$\bar{A}_1$  ve  $\bar{A}_2$  kümelerinin kartezyen çarpımını temsil eden  $\bar{A}_1 \times \bar{A}_2$  bulanık kümesi, “kalabalık nüfuslu şehir ikililerini” ifade eder. Öyleyse şunu yazabiliriz:

$$\begin{aligned} \bar{A}_1 \times \bar{A}_2 = & \frac{\min(0.3, 0.25)}{(200000, 180000)} + \frac{\min(0.3, 0.85)}{(200000, 820000)} + \\ & + \frac{\min(0.6, 0.25)}{(450000, 180000)} + \frac{\min(0.6, 0.85)}{(450000, 820000)} + \\ & + \frac{\min(1, 0.25)}{(1100000, 180000)} + \frac{\min(1, 0.85)}{(1100000, 820000)} \end{aligned} \quad (2.56)$$

ki şu anlama gelir:

$$\begin{aligned} \bar{A}_1 \times \bar{A}_2 = & \frac{0.25}{(200000, 180000)} + \frac{0.3}{(200000, 820000)} + \\ & + \frac{0.25}{(450000, 180000)} + \frac{0.6}{(450000, 820000)} + \\ & + \frac{0.25}{(1100000, 180000)} + \frac{0.85}{(1100000, 820000)} \end{aligned} \quad (2.57)$$

#### 2.14. Maksimum – Minimum Bileşimi

$X$ ,  $Y$ , ve  $Z$  kümeleriyle  $R_1(X, Y)$  ve  $R_2(Y, Z)$  ilişkilerini simgeleyelim. Bu ilişkilerin bileşimi olan  $R(X, Z)$  da şu şekilde simgelenecektir:

$$R(X, Z) = R_1(X, Y) \circ R_2(Y, Z) \quad (2.58)$$

$R(X, Z)$  bileşimi aslında  $X \times Z$ ’nin kartezyen çarpımının bir alt kümesidir eğer ki,  $(x, z) \in R$  ise ancak ve ancak en az bir adet  $y \in Y$  varsa ve  $(x, y) \in R_1$  olup  $(y, z) \in R_2$  ise,  $X \times Y$  ve  $Y \times Z$ ’nin kartezyen çarpımları üzerinden göreceli olarak tanımlanmış olan  $\bar{R}_1$  ve  $\bar{R}_2$  bulanık ilişkileri için maksimum-minimum bileşimi sık olarak kullanılır ki, bu durumda üyelik fonksiyonunu şu şekilde hesaplanır:

$$\mu_{R_1 \circ R_2}(x, z) = \max_{y \in Y} \{ \min [ \mu_{R_1}(x, y), \mu_{R_2}(y, z) ] \} \quad (2.59)$$

$X$ ,  $Y$  ve  $Z$  olmak üzere üç küme havaalanı simgeleyelim. Aşağıdaki havaalanları, şu kümelerle aittir:

$$X = \{x_1, x_2, x_3\} \quad Y = \{y_1, y_2\} \quad Z = \{z_1, z_2, z_3, z_4\} \quad (2.60)$$

Var olan uçuş programına bağlı olarak,  $X$  kümesindeki havaalanlarından,  $Z$  kümesindeki havaalanlarına uçabilmenin ancak  $Y$  kümesindeki havaalanları üzerinden yapılabileceğini var sayıyoruz. Bir başka deyişle,  $y_1$  ve  $y_2$  havaalanları,  $x_1, x_2$ , veya  $x_3$ 'ten  $z_1, z_2, z_3$ , veya  $z_4$  havaalanlarına yapılacak uçuşların aktarma noktalarıdır. Ayrıca yolcuların belirli havaalanları arasındaki uçuşların toplam süresini öznel olarak ve planlanan kalkış saati, öngörülen gecikmeler ve aktarma havaalanlarındaki beklemleri de göz önüne alarak hesapladıklarını da var sayıyoruz.  $\bar{R}_1$  bulanık ilişkisi,  $X$  kümesindeki havaalanlarıyla  $Y$  kümesindeki havaalanları arasındaki “kısa yolculuk süresini” ifade ediyor olsun.  $\bar{R}_2$  ise,  $Y$  kümesindeki havaalanlarıyla,  $Z$  kümesindeki havaalanları arasındaki “kısa yolculuk süresi” bulanık ilişkisini simgeler.  $\bar{R}_1$  ve  $\bar{R}_2$ , aşağıdaki matrisler tarafından tanımlanması:

$$\bar{R}_1 = \begin{matrix} & \begin{matrix} y_1 & y_2 \end{matrix} \\ \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0.4 & 0.8 \\ 0.65 & 0.75 \\ 0.9 & 0.2 \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (2.61)$$

$$\bar{R}_2 = \begin{matrix} & \begin{matrix} z_1 & z_2 & z_3 & z_4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} y_1 \\ y_2 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0.15 & 0.45 & 0.35 & 0.2 \\ 0.1 & 0.95 & 1 & 0.55 \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (2.62)$$

$\bar{R}_1 \circ \bar{R}_2$  bulanık ilişkisi,  $X$  kümesindeki havaalanlarından  $Z$  kümesi havaalanlarına  $Y$  kümesi havaalanları üzerinden gidilen “kısa yolculuk süresini” ifade eder.  $\bar{R}_1 \circ \bar{R}_2$  bulanık ilişkisindeki  $x_2$  ve  $z_3$  havaalanlarının üyelik seviyeleri için hesaplamalar aşağıda gösterilmiştir:

$$\min\{\mu_{R_1}(x_2, y_1), \mu_{R_2}(y_1, z_3)\} = \min\{(0.65, 0.35)\} = 0.35 \quad (2.63)$$

$$\min\{\mu_{R_1}(x_2, y_2), \mu_{R_2}(y_2, z_3)\} = \min\{(0.75, 1)\} = 0.75 \quad (2.64)$$

$$\mu_{R_1 \circ R_2}(x_2, z_3) = \max(0.35, 0.75) = 0.75 \quad (2.65)$$

$R_1 \circ R_2$  bulanık ilişkisindeki diğer havaalanı ikililerinin üyelik seviyeleri de, yine aynı şekilde belirlenmektedir. Bu üyelik seviyeleri de aşağıdaki şu matriste gösterilmiştir:

$$R_1 \circ R_2 = \begin{matrix} & \begin{matrix} z_1 & z_2 & z_3 & z_4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0.15 & 0.8 & 0.8 & 0.55 \\ 0.15 & 0.75 & 0.75 & 0.55 \\ 0.15 & 0.2 & 0.2 & 0.2 \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (2.66)$$

### 2.15. Uzatım Prensibi

Uzatım prensibi, bulanık kümeler teorisindeki en önemli prensiplerden birisidir.  $X$  ve  $Y$  kümelerini örnek olarak alalım.  $f$  fonksiyonu,  $X$  kümesini,  $Y$  kümesi üzerine oturtuyor olsun. Ayrıca  $X$  kümesi üzerinden tanımlanan bir de  $\bar{A}$  bulanık kümemiz bulunsun:

$$\bar{A} = \frac{\mu_{\bar{A}}(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_{\bar{A}}(x_2)}{x_2} + \dots + \frac{\mu_{\bar{A}}(x_n)}{x_n} \quad (2.67)$$

Bu durumda, uzatım prensibi şunu belirtecektir:

$$\begin{aligned} f(\bar{A}) &= f\left(\frac{\mu_{\bar{A}}(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_{\bar{A}}(x_2)}{x_2} + \dots + \frac{\mu_{\bar{A}}(x_n)}{x_n}\right) = \\ &= \frac{\mu_{\bar{A}}(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_{\bar{A}}(x_2)}{x_2} + \dots + \frac{\mu_{\bar{A}}(x_n)}{x_n} \end{aligned} \quad (2.68)$$

Uçuş programından kaynaklanan zaman kaybı, yani diğer bir deyişle yolcunun arzu ettiği kalkış zamanıyla, mevcut uçuş programına bağlı olarak seçmek zorunda kaldığı zaman arasındaki fark anlamındadır. Örnek vermek gerekirse, eğer bir yolcu saat

9.00'da yola çıkmak isterken, havayolu firmasının programı ona ancak saat 12.00'da uçuş imkanı sağlıyor ise, ortada 2 saatlik ve programdan kaynaklanan gecikme var demektir. Yine aynı şekilde 3 saatlik bir programa bağlı gecikme de eğer yolcu 14.00'da uçmak isterken, havayolu firmasının sağlayabildiği kalkış saati 11.00 ise ortaya çıkmaktadır. Teodorovic (1983) uçuş frekansı ile ortalama yolcu başına  $s_d$  programa bağlı gecikme arasında, aşağıdaki ilişkiyi kurmuştur:

$$s_d(N) = \frac{T}{4N} \quad (2.69)$$

ki burada  $s_d$  uçuş programına bağlı olarak yolcu başına program gecikmesini,  $T$  yolcuların uçuş talebinde bulunduğu süreyi (yolcuların genel olarak uçuş talep ettiği süre 06.00 ile 22.00 arasındır), ve  $N$  ise,  $T$  süresi boyunca mevcut olan uçuş frekansını simgelemektedir. Gün boyunca yolcuların uçuş talebinde bulunduğu 18 saatlik bir süre olduğunu ve "yaklaşık 6 uçuşluk" planlı bir uçuş frekansı bulunduğu kabul edilsin. Buna göre, bu "yaklaşık 6 uçuşu" simgeleyen bulanık  $\bar{A}$  kümesi, aşağıdaki şu elemanları içerecektir:

$$\bar{A} = \frac{0.25}{4} + \frac{0.5}{5} + \frac{1}{6} + \frac{0.5}{7} + \frac{0.25}{8} \quad (2.70)$$

Öyleyse, denilebilir ki;

$$\begin{aligned} s_d(4) &= \frac{18}{16} = 1.125 & s_d(5) &= \frac{18}{20} = 0.9 & s_d(6) &= \frac{18}{24} = 0.75 \\ s_d(7) &= \frac{18}{28} = 0.642 & s_d(8) &= \frac{18}{32} = 0.562 \end{aligned} \quad (2.71)$$

Bulanık  $\bar{B}$  kümesi, "yaklaşık 6 uçuşluk" bir uçuş frekansı olan yerdeki yolcu başına programa bağlı ortalama gecikmeyi simgeler. Aşağıdaki elemanlar da  $\bar{B}$  kümesine aittir.

$$\bar{B} = \frac{0.25}{1.125} + \frac{0.5}{0.9} + \frac{1}{0.75} + \frac{0.5}{0.642} + \frac{0.25}{0.562} \quad (2.72)$$

Bağımlı değişkenin, çok sayıdaki bağımsız değişkenin bir fonksiyonu olduğu bir durumda, uzatım prensibini göz önüne alalım ve  $X_1, X_2, \dots, X_n$  kümelerini oluşturalım. Bu kümelerin kartezyen çarpımını simgeleyen  $X$  şu şekilde olacaktır:

$$X = X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n \quad (2.73)$$

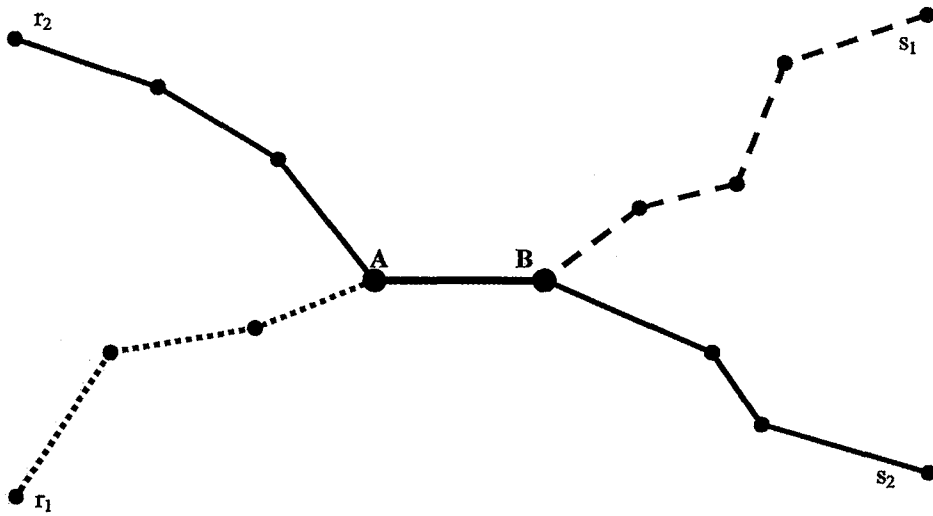
$X_1, X_2, \dots, X_n$  kümeleri üzerinden göreceli olarak belirlenen bulanık kümeleri de  $\bar{P}_1, \bar{P}_2, \dots, \bar{P}_n$  simgelemektedir. Ayrıca fonksiyon  $f$ ,  $X$  kümesini  $Y$  kümesi üzerine oturtuyor dersek, o zaman:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (2.74)$$

ki burada  $x_1 \in X_1, x_2 \in X_2, \dots, x_n \in X_n$  olacaktır. Uzatım prensibi doğrultusunda ise, şunu elde ederiz:

$$\mu_Q(Y) = \max_{\substack{x_1, x_2, \dots, x_n \\ y=f(x_1, x_2, \dots, x_n)}} \{ \min(\mu_{\bar{P}_1}(x_1), \dots, \mu_{\bar{P}_n}(x_n)) \} \quad (2.75)$$

burada da,  $\bar{Q}$  bulanık bir küme olup,  $Y$  kümesi üzerinden tanımlanmıştır. Şekil 2.21'de bir ulaşım ağının belirli bir kısmı gösterilmektedir.



Şekil 2.21 :  $p_1, p_2$  yolları ve  $(A, B)$  ortak bağlantısı.

Düz çizgi olan  $(A, B)$  bağlantısı,  $p_1$  ve  $p_2$  için ortak bir yoldur.  $p_1$  ve  $p_2$  üzerindeki çıkış ve varış noktaları,  $r_1, r_2$  ve  $s_1, s_2$  ile göreceli olarak gösterilmiş durumdadır.  $(A, B)$  ortak bağlantısı boyunca mevcut trafik hacmi olan  $q$ , şuna eşittir:

$$q = q_1 + q_2 \quad (2.76)$$

ki burada  $p_i$  yolundaki trafik hacmi  $q_i$  olup, ayrıca  $i=1,2$  olmaktadır.  $q_i$  hacimlerinin yaklaşık değerlerini bildiğimizi varsayalım. Bu yaklaşık değerleri şu bulanık kümelerle tarif ediyoruz :  $\bar{P}_1$  yaklaşık olarak saatte 500 araç ile  $p_1$  yolundaki trafik hacmi olup  $\bar{P}_2$  de, yaklaşık olarak saatte 700 araç ile  $p_2$  yolundaki trafik hacmidir.  $(A, B)$  bağlantısındaki trafik hacmini  $\bar{Q}$  bulanık kümesi simgeliyor olsun. Buna göre,  $\bar{P}_1$  ve  $\bar{P}_2$  bulanık kümelerine ait olan elemanlar, şunlar olacaktır:

$$\bar{P}_1 = \frac{0.2}{400} + \frac{0.6}{450} + \frac{1}{500} + \frac{0.6}{550} + \frac{0.2}{600} \quad \bar{P}_2 = \frac{0.5}{600} + \frac{1}{700} + \frac{0.5}{800} \quad (2.77)$$

$$\mu_{\bar{Q}}(400 + 600) = \mu_{\bar{Q}}(1000) = \min(0.2, 0.5) = 0.2 \quad (2.78)$$

$$\mu_{\bar{Q}}(400 + 700) = \mu_{\bar{Q}}(1100) = \min(0.2, 1) = 0.2 \quad (2.79)$$

$$\mu_{\bar{Q}}(400 + 800) = \mu_{\bar{Q}}(1200) = \min(0.2, 0.5) = 0.2 \quad (2.80)$$

$$\mu_{\bar{Q}}(450 + 600) = \mu_{\bar{Q}}(1050) = \min(0.6, 0.5) = 0.5 \quad (2.81)$$

$$\mu_{\bar{Q}}(450 + 700) = \mu_{\bar{Q}}(1150) = \min(0.6, 1) = 0.6 \quad (2.82)$$

$$\mu_{\bar{Q}}(450 + 800) = \mu_{\bar{Q}}(1250) = \min(0.6, 0.5) = 0.5 \quad (2.83)$$

$$\mu_{\bar{Q}}(500 + 600) = \mu_{\bar{Q}}(1100) = \min(1, 0.5) = 0.5 \quad (2.84)$$

$$\mu_{\bar{Q}}(500 + 700) = \mu_{\bar{Q}}(1200) = \min(1, 1) = 1 \quad (2.85)$$

$$\mu_{\bar{Q}}(500 + 800) = \mu_{\bar{Q}}(1300) = \min(1, 0.5) = 0.5 \quad (2.86)$$

$$\mu_{\bar{Q}}(550 + 600) = \mu_{\bar{Q}}(1150) = \min(0.6, 0.5) = 0.5 \quad (2.87)$$

$$\mu_{\bar{Q}}(550 + 700) = \mu_{\bar{Q}}(1250) = \min(0.6, 1) = 0.6 \quad (2.88)$$

$$\mu_{\bar{Q}}(550 + 800) = \mu_{\bar{Q}}(1350) = \min(0.6, 0.5) = 0.5 \quad (2.89)$$

$$\mu_{\bar{Q}}(600 + 600) = \mu_{\bar{Q}}(1200) = \min(0.2, 0.5) = 0.2 \quad (2.90)$$

$$\mu_{\bar{Q}}(600 + 700) = \mu_{\bar{Q}}(1300) = \min(0.2, 1) = 0.2 \quad (2.91)$$

$$\mu_{\bar{Q}}(600 + 800) = \mu_{\bar{Q}}(1400) = \min(0.2, 0.5) = 0.2 \quad (2.92)$$

$\bar{Q}$  kümesindeki elemanların son seviye üyelikleri, şunlara eşittir:

$$\mu_{\bar{Q}}(1000) = 0.2, \mu_{\bar{Q}}(1050) = 0.5 \quad (2.93)$$

$$\mu_{\bar{Q}}(1100) = \max(0.2, 0.5) = 0.5 \quad (2.94)$$

$$\mu_{\bar{Q}}(1150) = \max(0.6, 0.5) = 0.6 \quad (2.95)$$

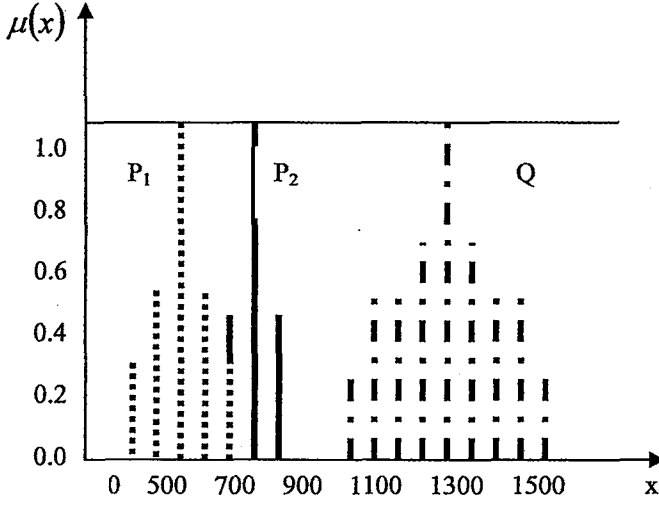
$$\mu_{\bar{Q}}(1200) = \max(0.2, 1, 0.2) = 1 \quad (2.96)$$

$$\mu_{\bar{Q}}(1250) = \max(0.5, 0.6) = 0.6 \quad (2.97)$$

$$\mu_{\bar{Q}}(1300) = \max(0.5, 0.2) = 0.5 \quad (2.98)$$

$$\mu_{\bar{Q}}(1350) = 0.5, \mu_{\bar{Q}}(1400) = 0.2 \quad (2.99)$$

$\bar{P}_1$ ,  $\bar{P}_2$  ve  $\bar{Q}$  bulanık kümelerinin üyelik fonksiyonları, Şekil 2.22’de gösterilmiştir.



Şekil 2.22 :  $\bar{P}_1$ ,  $\bar{P}_2$  ve  $\bar{Q}$  bulanık kümelerinin üyelik fonksiyonları

#### 2.16. Alfa Kesimi

$\bar{A}$  bulanık kümesinin alfa kesimi dendiğinde,  $\bar{A}$  bulanık kümesindeki bütün elemanların üyelik seviyesinin,  $\alpha \in [0,1]$  olduğu durumda  $\alpha$ ’ya eşit ya da daha büyük olanlarını içeren  $A_\alpha$  kümesi anlaşılır. Bir başka deyişle bunu şu şekilde yazabiliriz:

$$A_\alpha = \{x | \mu_{\bar{A}}(x) \geq \alpha\} \quad \forall x \in X \quad (2.100)$$

Bu alfa kesime ek olarak, daha güçlü bir alfa kesimi daha vardır ki, o da şu şekilde tanımlanır:

$$A'_\alpha = \{x | \mu_{\bar{A}}(x) > \alpha\} \quad \forall x \in X \quad (2.101)$$

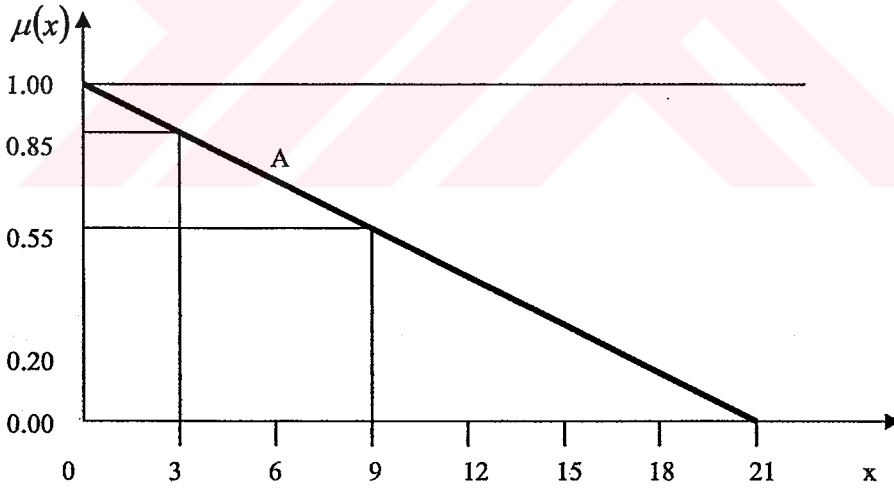
Sabahın ilerleyen saatlerinde havaalanı apronunda “göreceli olarak daha az sayıda uçak” bulunduğu iddiası, buna bağlantılı  $\bar{A}$  bulanık kümesi ile ifade edilebilir. Aşağıdaki elemanların  $\bar{A}$  bulanık kümesine ait olduğunu varsayalım:

$$\begin{aligned}\bar{A} = & \frac{0.95}{1} + \frac{0.9}{2} + \frac{0.85}{3} + \frac{0.8}{4} + \frac{0.75}{5} + \frac{0.7}{6} + \frac{0.65}{7} + \\ & + \frac{0.6}{8} + \frac{0.55}{9} + \frac{0.5}{10} + \frac{0.45}{11} + \frac{0.4}{12} + \frac{0.35}{13} + \frac{0.3}{14} + \\ & + \frac{0.25}{15} + \frac{0.2}{16} + \frac{0.15}{17} + \frac{0.1}{18} + \frac{0.05}{19} + \frac{0}{20}\end{aligned}\quad (2.102)$$

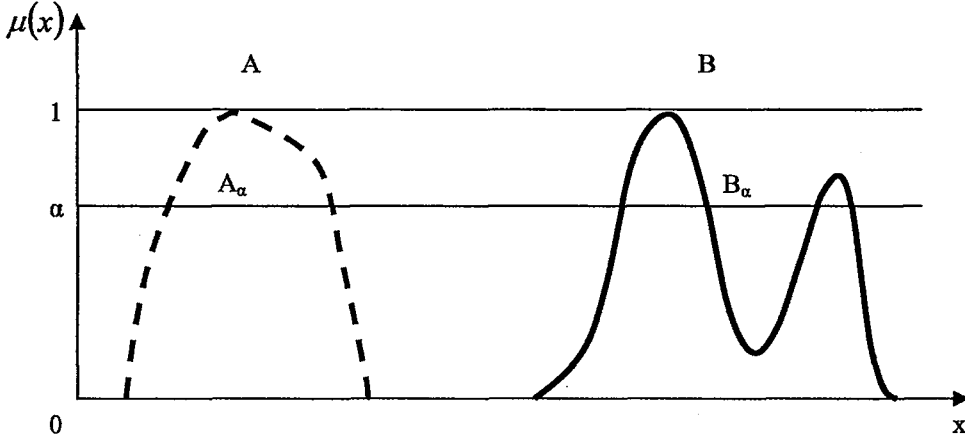
$\bar{A}$  bulanık kümesinin alfa kesimini  $\alpha = 0.85$  ve  $\alpha = 0.55$  için tanımlayalım. Bu alfa kesimlerinin içerdiği elemanlar şunlar olacaktır:

$$A_{0.85} = \{1,2,3\} \quad A_{0.55} = \{1,2,3,4,5,6,7,8,9\} \quad (2.103)$$

Şekil 2.23  $\bar{A}$  bulanık kümesi ile  $A_{0.85}$  ve  $A_{0.55}$  alfa kesimlerini göstermektedir. Bir dışbükey bulanık kümenin alfa kesim kullanılarak tanımı şu yolla yapılabilir: Bir bulanık küme ancak ve ancak alfa kesimlerinin her biri dışbükey ise, dışbükey olur. Şekil 2.24, bağlantılı alfa kesimleriyle beraber bir tane dışbükey, bir tane de dışbükey olmayan bulanık kümeyi göstermektedir.



Şekil 2.23 :  $\bar{A}$  bulanık kümesi ile  $A_{0.85}$  ve  $A_{0.55}$  alfa kesimleri

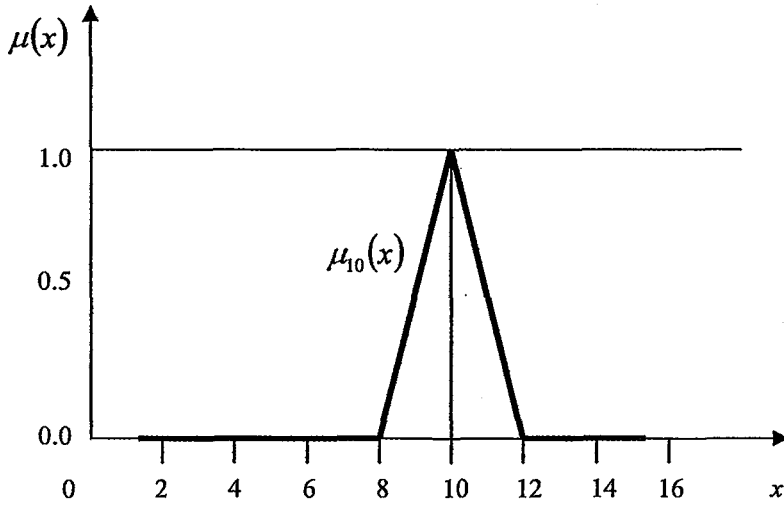


Şekil 2.24 : Dışbükey ve dışbükey olmayan bulanık kümeleri ve kesişen alfa kesimleri

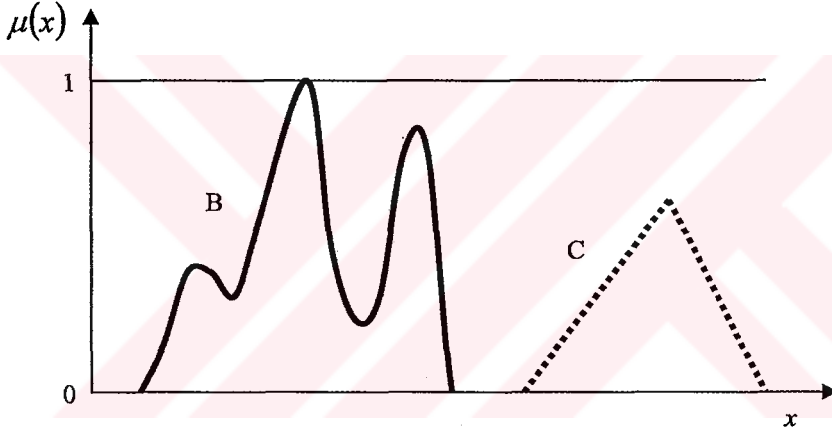
### 2.17. Bulanık Sayı Kavramı

Trafik ışığında zaman kaybeden bir araç veya bir uçuşun maliyeti üzerine yapılan öznel tahminler, kesişen bulanık kümeler yardımıyla ifade edilebilir. Bir uzman, kendi deneyim ya da sezgisine dayanarak trafik ışığında bir aracın zaman kaybının “30 saniye civarında” veya bir uçuşun maliyetinin “yaklaşık \$3.000” olduğunu söylemek imkanına sahiptir. Bu öznel tahminler, belirli sayısal değerler ile karakterize edilmiştir. “Yaklaşık \$ 3.000” maliyetli bir uçuşun, “yaklaşık \$4.000” maliyetli bir uçuşa göre daha düşük maliyete sahip olduğu gerçeği sezgisel olarak barizdir. Diğer bir deyişle, “30 civarında”, “yaklaşık 3.000” veya “yaklaşık 4.000” gibi bulanık kümeleri sayılar gibi kullanabiliriz. İşte bu şekilde ifade edilen sayılar için “bulanık sayı” deyimini de kullanılmaktadır. Bulanık bir sayı, aslında dışbükey olan ve normalleştirilmiş bir bulanık küme demektir. Şekil 2.25, “yaklaşık 10” olan bulanık sayının üyelik fonksiyonunu göstermektedir.

$\bar{B}$  ve  $\bar{C}$  bulanık kümeleri Şekil 2.26’da gösterilmektedir. Fakat  $\bar{B}$  kümesi dışbükey olmayıp,  $\bar{C}$  kümesi de normalleştirilmiş bir bulanık küme olmadığı için bu bulanık kümeler, bulanık sayı olamazlar.



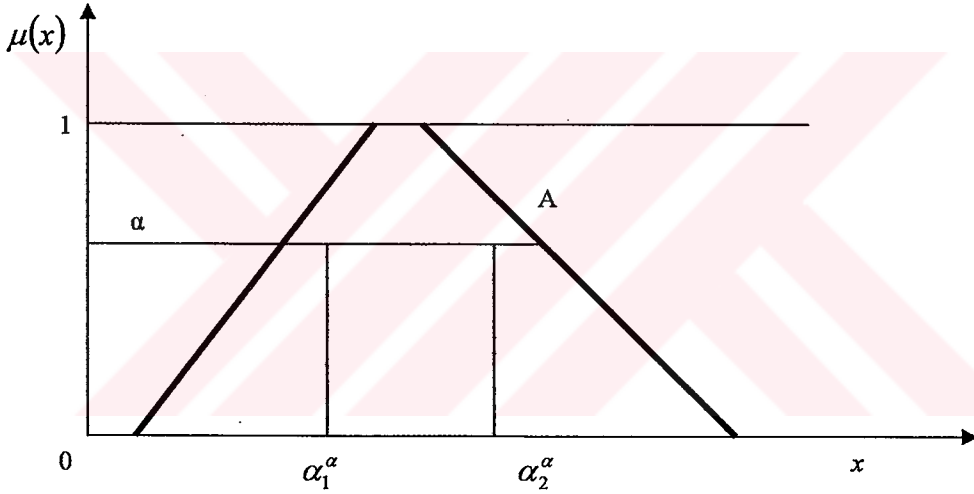
Şekil 2.25 : “Yaklaşık 10” bulanık sayısının aidiyet fonksiyonu



Şekil 2.26 :  $\bar{B}$  ve  $\bar{C}$  bulanık kümeleri bulanık sayı olamazlar

Son yıllarda, yazarların çoğu bulanık sayılar ya da bulanık aritmetik problemlerini ele almıştır. Kaufman ve Gupta (1985) tarafından hazırlanan ve bulanık aritmetiğe dair son derece değerli çalışmada özel bir sonuca ulaşılmaktadır. Onların da belirttiği gibi bulanık sayılar, “güven aralığı kavramının genelleştirilmesi” olarak kullanılabilir. İki nokta arasındaki yolculuk süresinin belirsiz olduğunu varsayalım. Bununla birlikte, bu yolculuk süresinin  $t_1$ ’den az ve  $t_2$ ’den fazla olmadığını tahmin edebildiğimizi de varsayalım. Diğer bir deyişle, yolculuk süresinin  $[t_1, t_2]$  kapalı aralığında olduğundan eminiz. Bu tür bir aralığa, “güven aralığı” denir ve  $T = [t_1, t_2]$  diye simgelenir. Bir bulanık sayı, aşağıdaki örnekte de açıklandığı gibi, belirli bir seviyedeki tahmin ile de karakterize edilir. Bir havaalanında saat 11.00’de, on adet

uçağın park konumunda olacağını varsayalım. Bu durumun, tahmin seviyesi 1 olarak belirlenmiştir. Yine aynı tarzda bakarak, saat 11.00'de havaalanında, uçuş programındaki aksamalara bağlı olarak 8 ila 14 uçağın park konumunda bulunacağını da tahmin edebiliriz. Bu duruma da, tahmin seviyesi olarak 0 verilmiştir. Park konumunda bulunan uçak sayısının 9 ila 12 arasında olması tahmininin seviyesine ise 0.6 diyebiliriz. Gördüğümüz gibi, park konumundaki uçakların sayısı, her aralığı bir tahmin seviyesiyle karakterize ederek, güven aralıkları vasıtasıyla ifade edilebilir. Bu tahmin seviyesini  $\alpha$  ile simgeleyelim. Yukarıdaki örnekte yapılan tahminler, şu güven aralıkları ve tahmin seviyeleri ile ifade edilir:  $[8,14]$ ,  $\alpha = 0$ ,  $[9,12]$ ,  $\alpha = 0.6$ ,  $[10,10]$ ,  $\alpha = 1$ . Şekil 2.27,  $\bar{A}$  bulanık sayısını göstermektedir. Alfa tahmin seviyesiyle kesişen güven aralığı da  $[a_{1\alpha}, a_{2\alpha}]$  olarak simgelenmiştir.



Şekil 2.27 :  $\bar{A}$  bulanık sayısı ve onun güven aralığı ile tahmin seviyesi

## 2.18. Bulanık Sayıları Toplamak

Bulanık sayıların toplamalarına geçmeden önce, kısaca güven aralıklarının nasıl toplanacağını inceleyelim. Şu iki güven aralığını simgeleyelim:  $X = [x_1, x_2]$  ve  $Y = [y_1, y_2]$ . Eğer  $m \in [x_1, x_2]$  ve  $n \in [y_1, y_2]$  ise, o zaman şunu söyleyebiliriz:

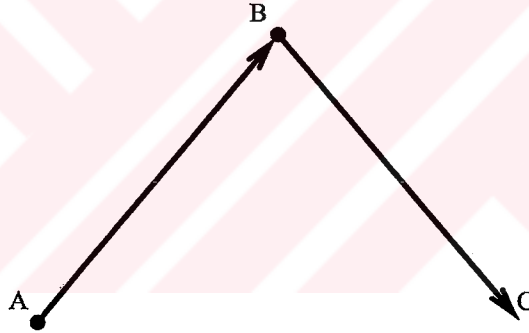
$$m + n \in [x_1 + y_1, x_2 + y_2] \quad (2.104)$$

Güven aralıklarının sol ve sağ sınırlarının toplamı, göreceli olarak eklenen güven aralıklarının sol sınırlarının toplamına ve sağ sınırlarının toplamına eşittir. Güven aralıklarının toplamı, sembolik olarak şöyle ifade edilebilir:

$$X(+)Y = [x_1, x_2](+)[y_1, y_2] = [x_1 + y_1, x_2 + y_2] \quad (2.105)$$

Bulanık sayılar da, güven aralıklarıyla aynı şekilde toplanır. Ancak her bulanık sayının güven aralığının özel bir tahmin seviyesi olduğu içindir ki, bulanık sayıları toplarken, “aynı” tahmin seviyesindeki güven aralıkları toplanır. Toplanacak olan bulanık sayıları  $\bar{X}$  ve  $\bar{Y}$  olarak simgeleyelim. Bu sayıların güven aralıklarının kesiştiği tahmin seviyelerini de  $X_\alpha$  ve  $Y_\alpha$  olarak simgeleyelim. Bunlar doğrultusunda, şöyle yapabiliriz:

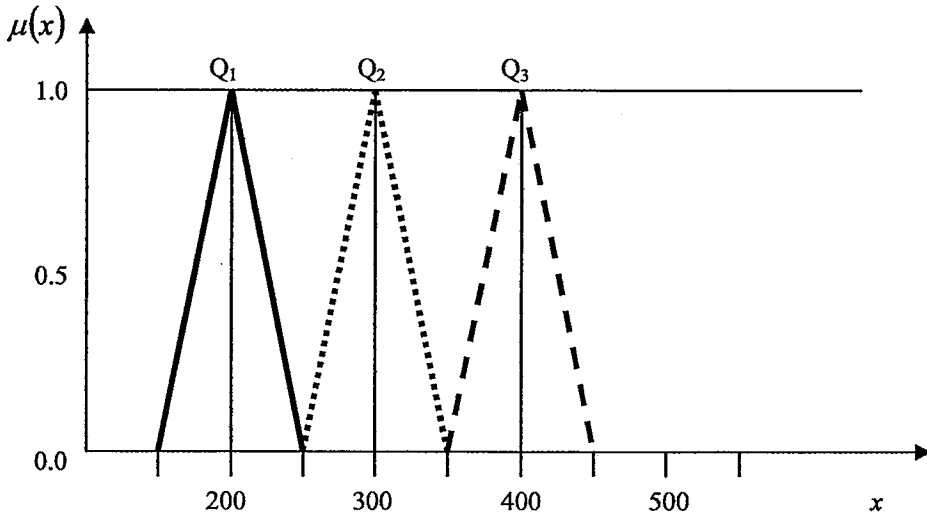
$$X_\alpha (+) Y_\alpha = [x_1^\alpha, x_2^\alpha](+)[y_1^\alpha, y_2^\alpha] = [x_1^\alpha + y_1^\alpha, x_2^\alpha + y_2^\alpha] \quad (2.106)$$



Şekil 2.28 : B şehrinde aktarma yaparak A şehrinde C şehrine yapılan uçuş

A ve C şehirleri arasındaki doğrudan uçuşları ele alalım. Yaklaşmakta olan sezon için uçuş programı hazırlarken, A şehrinde C şehrine uçmak için B şehrinde aktarma yapılması da dikkate alınmalıdır (Şekil 2.28). A ve B şehirleri arasında yolculuk eden yolcuların günlük sayısını öznal olarak şu şekilde tahmin ettiğimizi varsayalım:  $\bar{Q}_1$  yaklaşık 200;  $\bar{Q}_2$  yaklaşık 400;  $\bar{Q}_3$  yaklaşık 300.  $\bar{Q}_1, \bar{Q}_2$  ve  $\bar{Q}_3$  bulanık kümeleri, Şekil 2.29’da gösterilen bulanık sayılarını belirtmektedir. Şekil 2.29’da görülebileceği gibi,  $\alpha = 0$  tahmin seviyesi, şu bulanık sayıların güven aralığıyla kesişmektedir:  $Q_{10} = [150, 250]$ ,  $Q_{20} = [350, 450]$ ,  $Q_{30} = [250, 350]$ .  $\bar{Q}_1, \bar{Q}_2$  ve  $\bar{Q}_3$  bulanık sayıları, üçgensel bulanık sayıları temsil etmektedirler. Örneklerde sık

olarak üçgensel bulanık sayılarla karşılaşılsa dahi, bulanık sayılar genel olarak üçgensel şekilde olmazlar.



Şekil 2.29 :  $\bar{Q}_1$ ,  $\bar{Q}_2$  ve  $\bar{Q}_3$  bulanık sayıları

Şimdi yeniden probleme dönelim ve A şehrinden B şehrine ve B şehrinden de C şehrine yapılacak uçuşlarda görünecek yolcuların sayılarını tahmin edelim. Bu şehirler arasında yolculuk eden yolculara dair sayılar da yine bulanık sayılardır. Bunları göreceli olarak  $\bar{X}$  ve  $\bar{Y}$  olarak simgeleyelim. Buna göre:

$$\bar{X} = \bar{Q}_1 + \bar{Q}_2 \quad \bar{Y} = \bar{Q}_2 + \bar{Q}_3 \quad (2.107)$$

Şekil 2.29'da gösterilen üçgensel bulanık sayıların köşe noktalarının koordinatlarını ele aldığımızda, kesişen çizgilerin denklemlerini belirledikten sonra artık  $\bar{Q}_1$ ,  $\bar{Q}_2$  ve  $\bar{Q}_3$  bulanık sayılarının üyelik fonksiyonlarını oluşturmak çok kolay olacaktır. Bahsettiğimiz bu üyelik fonksiyonları da şöyledir:

$$\mu_{\bar{Q}_1}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 150 \\ \frac{x}{50} - 3, & 150 \leq x \leq 200 \\ -\frac{x}{50} + 5, & 200 \leq x \leq 250 \\ 0, & x \geq 250 \end{cases} \quad (2.108)$$

$$\mu_{\bar{Q}_3}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 250 \\ \frac{x}{50} - 5, & 250 \leq x \leq 300 \\ -\frac{x}{50} + 7, & 300 \leq x \leq 350 \\ 0, & x \geq 350 \end{cases} \quad (2.109)$$

$$\mu_{\bar{Q}_2}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 350 \\ \frac{x}{50} - 7, & 350 \leq x \leq 400 \\ -\frac{x}{50} + 9, & 400 \leq x \leq 450 \\ 0, & x \geq 450 \end{cases} \quad (2.110)$$

$\bar{Q}_1$  bulanık sayısının üyelik fonksiyonu tarifinin, iki çizginin denklemleri kullanılarak yapıldığını görüyoruz. Alfa tahmininin herhangi bir seviyesi için alfa kesimi yaptığımızda, kesişen güven aralığının sol sınırı, bu çizginin birincisine aittir. Güven aralığının sağ sınırı ise, diğer çizgide bulunur. Diğer bir deyişle,  $\bar{Q}_1$  bulanık sayısının üyelik fonksiyonunu tanımlayan çizgilerin denklemlerini şu şekilde yazabiliriz:

$$\alpha = \left( \frac{q_{1_1}^{(\alpha)}}{50} \right) - 3 \quad \alpha = - \left( \frac{q_{1_2}^{(\alpha)}}{50} \right) + 5 \quad (2.111)$$

Alfa tahmin seviyesindeki güven aralığının sağ ve sol sınırları da şunlara eşittir:

$$q_{1_1}^{(\alpha)} = 50\alpha + 150 \quad q_{1_2}^{(\alpha)} = -50\alpha + 250 \quad (2.112)$$

Alfa tahmin seviyesindeki  $\bar{Q}_1$  bulanık sayısının güven aralığı ise şuna eşittir:  $Q_{1\alpha} = [50\alpha + 150, -50\alpha + 250]$ .  $\bar{Q}_2$  ve  $\bar{Q}_3$  bulanık sayılarının güven aralıkları da yine aynı tarzda belirlenir ve şunlardır :  $Q_{2\alpha} = [50\alpha + 350, -50\alpha + 450]$  ve  $Q_{3\alpha} = [50\alpha + 250, -50\alpha + 350]$ .

Aşağıdaki denklem geçerli olduğu sürece:

$$\bar{X} = \bar{Q}_1 + \bar{Q}_2 \quad \bar{Y} = \bar{Q}_2 + \bar{Q}_3 \quad (2.113)$$

O zaman aşağıdaki denklem de yazılabilir:

$$X_\alpha = Q_{1\alpha}(+)Q_{2\alpha} = [100\alpha + 500, -100\alpha + 700] \quad (2.114)$$

Bununla birlikte,  $\bar{X}$  bulanık sayısının sol ve sağ sınırları da şu şekilde olmaktadır:

$$x_1^{(\alpha)} = 100\alpha + 500 \quad x_2^{(\alpha)} = -100\alpha + 700 \quad (2.115)$$

$\bar{X}$  bulanık sayısının sağ ve sol sınırlarını temsil eden çizgilerin denklemleri ise şöyledir:

$$\alpha = \left( \frac{x_1^{(\alpha)}}{100} \right) - 5 \quad \alpha = - \left( \frac{x_2^{(\alpha)}}{100} \right) + 7 \quad (2.116)$$

Nihayet  $\bar{X}$  bulanık sayısının üyelik fonksiyonunu yazabileceğiz:

$$\mu_{\bar{X}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 500 \\ \frac{x}{100} - 5, & 500 \leq x \leq 600 \\ -\frac{x}{100} + 7, & 600 \leq x \leq 700 \\ 0, & x \geq 700 \end{cases} \quad (2.117)$$

Aynı şekilde ve bu sefer  $\bar{Y}$  bulanık sayısı için elimizdekiler de şunlardır:

$$Y_\alpha = Q_{2\alpha}(+)Q_{3\alpha} = [100\alpha + 600, -100\alpha + 800] \quad (2.118)$$

$$y_1^{(\alpha)} = 100\alpha + 600 \quad y_2^{(\alpha)} = -100\alpha + 800 \quad (2.119)$$

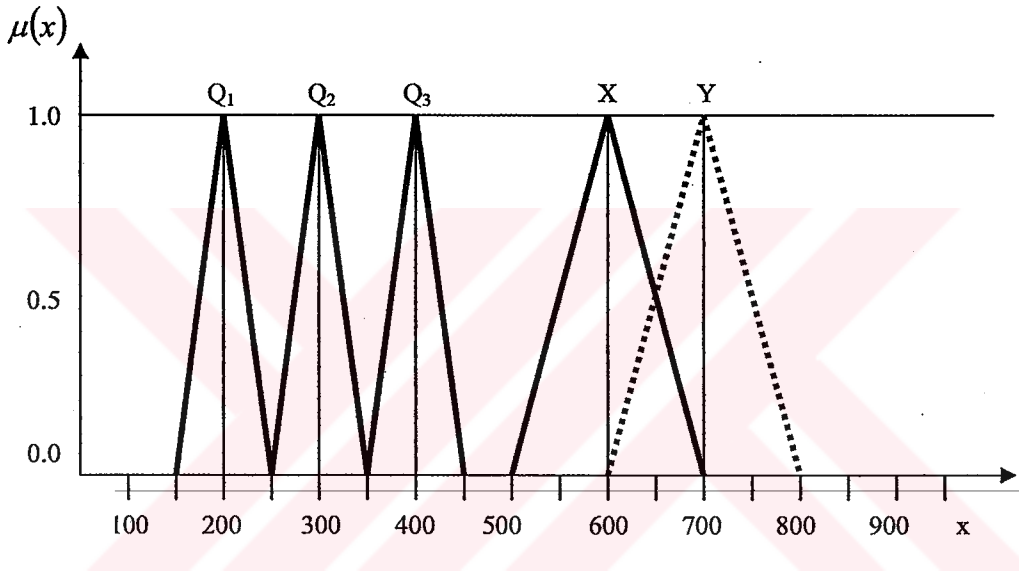
$\bar{Y}$  bulanık sayısının sağ ve sol sınırlarını temsil eden çizgilerin denklemleri şu şekildedir:

$$\alpha = \left( \frac{y_1^{(\alpha)}}{100} \right) - 6 \quad \alpha = - \left( \frac{y_2^{(\alpha)}}{100} \right) + 8 \quad (2.120)$$

$\bar{Y}$  bulanık sayısının üyelik fonksiyonu da şöyle çıkmaktadır:

$$\mu_{\bar{Y}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 600 \\ \frac{x}{100} - 6, & 600 \leq x \leq 700 \\ -\frac{x}{100} + 8, & 700 \leq x \leq 800 \\ 0, & x \geq 800 \end{cases} \quad (2.121)$$

$\bar{X}$  ve  $\bar{Y}$  bulanık sayıları, “yaklaşık 600” ve “yaklaşık 700” yolcu olarak belirtilen ifadeleri temsil etmektedir.  $\bar{Q}_1$ ,  $\bar{Q}_2$ ,  $\bar{Q}_3$ ,  $\bar{X}$  ve  $\bar{Y}$  bulanık sayılarının üyelik fonksiyonları Şekil 2.30’da gösterilmiştir:



Şekil 2.30 :  $\bar{Q}_1$ ,  $\bar{Q}_2$ ,  $\bar{Q}_3$ ,  $\bar{X}$  ve  $\bar{Y}$  bulanık sayılarının üyelik fonksiyonları

## 2.19. Bulanık Sayıları Çıkarmak

Güven aralıklarında çıkarma işlemlerini inceleyelim.  $X = [x_1, x_2]$  ve  $Y = [y_1, y_2]$  güven aralıkları simgeleyelim.  $m \in [x_1, x_2]$  ve  $n \in [y_1, y_2]$  diye kabul edelim. Buna göre:

$$m - n \in [x_1 - y_2, x_2 - y_1] \quad (2.122)$$

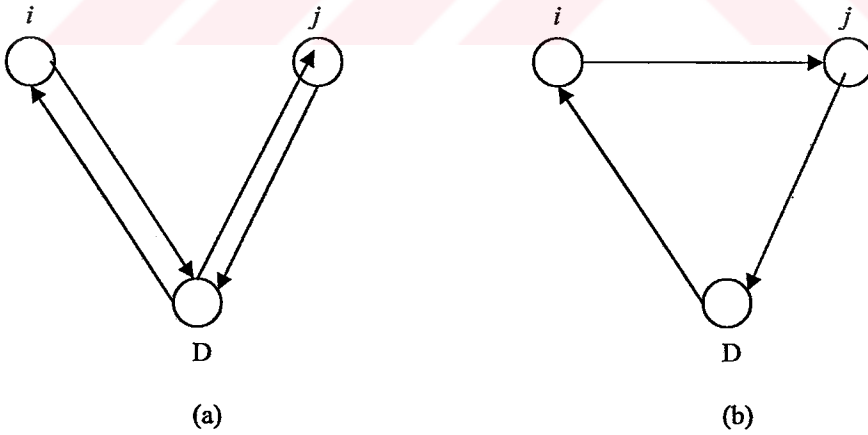
$X$  ve  $Y$  güven aralıkları arasındaki farkın şu olduğunu yazabiliriz:

$$X(-)Y = [x_1, x_2](-)[y_1, y_2] = [x_1 - y_2, x_2 - y_1] \quad (2.123)$$

Güven aralıklarında çıkarma işlemi yaparken, en büyük değere sahip çıkandan en küçük değerli çıkarılan çıkarılır. En küçük değerli çıkan da ayrıca en büyük değerli çıkarılandan da çıkarılır. Bulanık sayılar aynı güven aralıkları gibi çıkarılır. Bulanık sayıları çıkarırken, aynı tahmin seviyesindeki güven aralıkları çıkarılır. Tüm tahmin seviyeleri için aynısı yapılır. Çıkarılacak olan bulanık sayıları  $\bar{X}$  ve  $\bar{Y}$  olarak simgeleyelim. Alfa seviyesindeki tahminlerle kesişen güven aralıkları da  $X_\alpha$  ve  $Y_\alpha$  olarak simgelenmiş olsun. Bunlar doğrultusunda, şunu ifade edebiliriz:

$$X_\alpha - Y_\alpha = [x_1^\alpha, x_2^\alpha] - [y_1^\alpha, y_2^\alpha] = [x_1^\alpha - y_2^\alpha, x_2^\alpha - y_1^\alpha] \quad (2.124)$$

Araç rotalarının tasarlanmasındaki en önemli algoritmalarından birisi, Clarke-Wright'ın "tasarruf" algoritmasıdır. Bu algoritmanın bir çok uyarlaması da yapılmış bulunmaktadır. Clarke ve Wright (1964), kendi algoritmalarını, bir ağ yapısındaki iki nokta arasında doğrudan rotalar düzenlenmesi yerine tek bir rotaya bağlanmış olduğu durumdayken aşılmakta olan mesafenin yada maliyetin hesaplanmasına dayandırmıştır. Konuya ilişkin olarak Şekil 2.31'e bakılabilir.



Şekil 2.31 : D deposu ile  $i$  ve  $j$  noktaları

Şekil 2.31 (a) her bir noktaya, ayrı birer araçla hizmet verildiği durumu gösterir. Şekil 2.31 (b) ise aynı aracın hem  $i$  hem de  $j$  noktasına hizmet verdiği durumu

göstermektedir. Araç bu durumda  $D$  deposundan çıkıp,  $i$  noktasına hizmet verdikten sonra  $j$  noktasına da gidip, ardından depoya dönmektedir. Bu sayede hem aşılın mesafe azalır, hem de maliyetler düşer.  $i$  ve  $j$  noktalarının tek rotada birleştirilmesiyle sağlanan tasarrufu  $s(i, j)$  olarak simgeleyelim. Tüm mesafelerin simetrik olduğunu varsayalım, yani  $i$  ve  $j$  arasındaki mesafe olan  $d(i, j)$ , yine  $i$  ve  $j$  arasındaki mesafe olan  $d(j, i)$ 'e eşittir. İşletme maliyetleri, aşılın mesafelerin bir fonksiyonu olduğuna göre, bu maliyetler  $c(i, j) = c(j, i)$ 'e eşittir.  $i$  ve  $j$  noktaları tek bir rotada birleştirildiğinde,  $s(i, j)$  maliyetinde gerçekleştirilen tasarruf ise, şuna eşittir:

$$s(i, j) = [2c(D, i) + 2c(D, j)] - [c(D, i) + c(i, j) + c(D, j)] \quad (2.125)$$

$$s(i, j) = c(D, i) + c(D, j) - c(i, j) \quad (2.126)$$

Maliyetleri kesin olarak belirleme imkanına sahip olmadığımızı varsayıyoruz ve bundan ötürü, tüm maliyetlere bulanık sayılar veriyoruz. Bu doğrultuda, aşağıdaki denklem yazılabilir:

$$\bar{S}(i, j) = \bar{C}(D, i) + \bar{C}(D, j) - \bar{C}(i, j) \quad (2.127)$$

ki burada  $\bar{S}(i, j)$ ,  $\bar{C}(D, i)$ ,  $\bar{C}(D, j)$  ve  $\bar{C}(i, j)$  bulanık sayılardır. İfadeyi basitleştirmek için, şu çıkarmaları kullanalım:

$$\bar{S}(i, j) = \bar{S} \quad \bar{C}(D, i) = \bar{A} \quad \bar{C}(D, j) = \bar{B} \quad \bar{C}(i, j) = \bar{C} \quad (2.128)$$

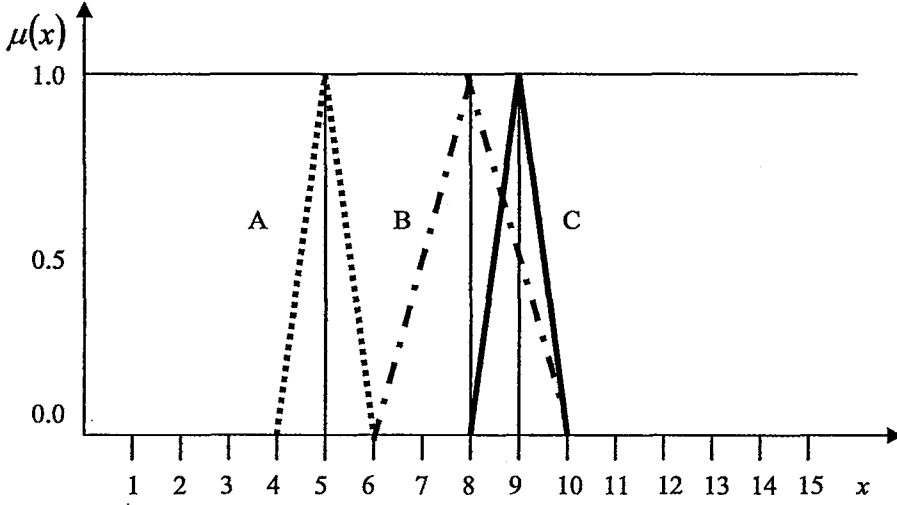
Diyebiliriz ki:

$$\bar{S} = \bar{A} + \bar{B} - \bar{C} \quad (2.129)$$

$\bar{A}$  ve  $\bar{B}$  bulanık sayılarının toplamı  $\bar{E}$  olarak simgelenmiştir. Tasarruflar olan  $\bar{S}$  ise şuna eşittir:

$$\bar{S} = \bar{E} - \bar{C} \quad (2.130)$$

$\bar{A}$ ,  $\bar{B}$  ve  $\bar{C}$  bulanık sayıları, Şekil 2.32’de gösterilmektedir.



Şekil 2.32 :  $\bar{A}$ ,  $\bar{B}$  ve  $\bar{C}$  bulanık sayıları

Şekil 2.32’de görüldüğü gibi,  $\alpha = 0$  tahmin seviyesi  $\bar{A}$ ,  $\bar{B}$  ve  $\bar{C}$  bulanık sayılarının şu güven aralıklarıyla kesişmektedir:  $\bar{C} : A_0 = [6, 10]$ ,  $B_0 = [8, 10]$ ,  $C_0 = [4, 6]$ . Şekil 2.32’de görülen üçgensel bulanık sayıların köşe nokta koordinatlarını dikkate aldığımızda ise, kesişen çizgi denklemlerini belirledikten sonra  $\bar{A}$ ,  $\bar{B}$  ve  $\bar{C}$  bulanık sayılarının üyelik fonksiyonlarını da şu şekilde elde ederiz:

$$\mu_{\bar{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 4 \\ \frac{x-4}{1}, & 4 \leq x \leq 5 \\ \frac{5-x}{1}, & 5 \leq x \leq 6 \\ 0, & x \geq 6 \end{cases} \quad (2.131)$$

$$\mu_{\bar{B}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 6 \\ \frac{x-6}{2}, & 6 \leq x \leq 8 \\ \frac{10-x}{2}, & 8 \leq x \leq 10 \\ 0, & x \geq 10 \end{cases} \quad (2.132)$$

$$\mu_{\bar{C}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 4 \\ x - 4, & 4 \leq x \leq 5 \\ -x + 6, & 5 \leq x \leq 6 \\ 0, & x \geq 6 \end{cases} \quad (2.133)$$

$\bar{A}$  bulanık kümesinin üyelik fonksiyonunu belirleyen çizgilerin denklemleri şu şekilde yazılabilir:

$$\alpha = \left( \frac{a_1^{(\alpha)}}{2} \right) - 3 \quad \alpha = - \left( \frac{a_2^{(\alpha)}}{2} \right) + 5 \quad (2.134)$$

ki burada  $a_1(\alpha)$  ve  $a_2(\alpha)$  göreceli olarak alfa tahmin seviyesinin güven aralığının sol ve sağ sınırlarıdır. Bu sınırlar ise, şunlara eşittir:

$$a_1^{(\alpha)} = 2\alpha + 6 \quad a_2^{(\alpha)} = -2\alpha + 10 \quad (2.135)$$

$\bar{A}$  bulanık sayısının alfa tahmin seviyesindeki  $A_\alpha$  güven aralığı da şuna eşittir:  $A_\alpha = [2\alpha + 6, -2\alpha + 10]$ .  $\bar{B}$  ve  $\bar{C}$  bulanık sayılarının  $B_\alpha$  ve  $C_\alpha$  güvenlik aralıkları da yine aynı yolla elde edilir ve sonuç  $B_\alpha = [\alpha + 8, -\alpha + 10]$  ve  $C_\alpha = [\alpha + 4, -\alpha + 6]$  olur.

Tabi ki,

$$E_\alpha = A_\alpha (+) B_\alpha \quad (2.136)$$

ise ve,

$$E_\alpha = [3\alpha + 14, -3\alpha + 20] \quad (2.137)$$

olduğu sürece.  $\bar{E}$  bulanık sayısının alfa tahmin seviyesindeki sol ve sağ sınırları ise şunlar olmaktadır:

$$e_1^{(\alpha)} = 3\alpha + 14 \quad e_2^{(\alpha)} = -3\alpha + 20 \quad (2.138)$$

$\bar{E}$  bulanık sayısının sol ve sağ sınırlarını temsil eden çizgilerin denklemleri de şunlardır:

$$\alpha = \left( \frac{e_1^{(\alpha)}}{3} \right) - \frac{14}{3} \quad \alpha = - \left( \frac{e_2^{(\alpha)}}{3} \right) + \frac{20}{3} \quad (2.139)$$

$\bar{E}$  bulanık sayısının üyelik fonksiyonu şu olup;

$$\mu_{\bar{E}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 14 \\ \frac{x}{3} - \frac{14}{3}, & 14 \leq x \leq 17 \\ -\frac{x}{3} + \frac{20}{3}, & 17 \leq x \leq 20 \\ 0, & x \geq 20 \end{cases} \quad (2.140)$$

Ayrıca  $\bar{S} = \bar{E} - \bar{C}$  olduğu için:

$$S_{\alpha} = E_{\alpha} (-) C_{\alpha} \quad (2.141)$$

olur ki, bu da bize şunu verir:

$$\begin{aligned} S_{\alpha} &= [3\alpha + 14, -3\alpha + 20] (-) [\alpha + 4, -\alpha + 6] \\ S_{\alpha} &= [(3\alpha + 14) - (\alpha + 6), (-3\alpha + 20) - (-\alpha + 4)] \\ S_{\alpha} &= [4\alpha + 8, -4\alpha + 16] \end{aligned} \quad (2.142)$$

$\bar{S}$  bulanık sayısının alfa tahmin seviyesindeki sol ve sağ sınırları şunlara eşittir:

$$s_1^{(\alpha)} = 4\alpha + 8 \quad s_2^{(\alpha)} = -4\alpha + 16 \quad (2.143)$$

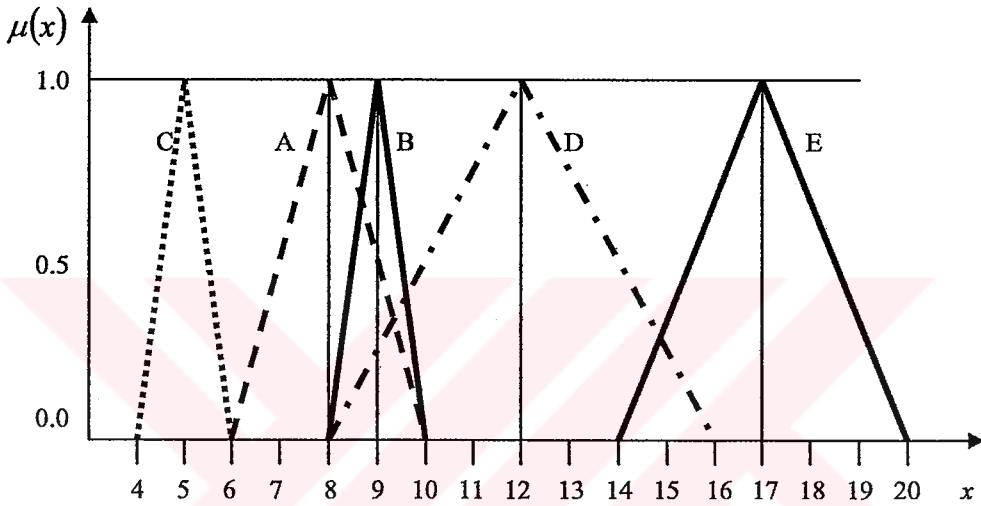
$\bar{S}$  bulanık sayısının sol ve sağ sınırlarını temsil eden çizgilerin denklemleri de şunlardır:

$$\alpha = \left( \frac{s_1^{(\alpha)}}{4} \right) - 2 \quad \alpha = - \left( \frac{s_2^{(\alpha)}}{4} \right) + 4 \quad (2.144)$$

$\bar{S}$  bulanık sayısının üyelik fonksiyonu da şudur:

$$\mu_{\bar{S}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 8 \\ \frac{x}{4} - 2, & 8 \leq x \leq 12 \\ -\frac{x}{4} + 4, & 12 \leq x \leq 16 \\ 0, & x \geq 16 \end{cases} \quad (2.145)$$

$\bar{A}$ ,  $\bar{B}$ ,  $\bar{C}$ ,  $\bar{E}$  ve  $\bar{S}$  bulanık sayılarının üyelik fonksiyonları, Şekil 2.33'te gösterilmiştir.



Şekil 2.33 :  $\bar{A}$ ,  $\bar{B}$ ,  $\bar{C}$ ,  $\bar{E}$  ve  $\bar{S}$  bulanık sayılarının üyelik fonksiyonları

## 2.20. Bulanık Sayıları Çarpmak ve Bölmek

$\bar{X}$  ve  $\bar{Y}$  bulanık sayılarını  $R^+$  kümesinde simgeleyelim. Alfa tahmin seviyesinde,  $X_\alpha$  ve  $Y_\alpha$  güven aralıklarının çarpma ve bölmesi şöyle tanımlanacaktır:

$$X_\alpha (\cdot) Y_\alpha = [x_1^{(\alpha)}, x_2^{(\alpha)}] (\cdot) [y_1^{(\alpha)}, y_2^{(\alpha)}] = [x_1^{(\alpha)} y_1^{(\alpha)}, x_2^{(\alpha)} y_2^{(\alpha)}] \quad (2.146)$$

$$X_\alpha (\div) Y_\alpha = [x_1^{(\alpha)}, x_2^{(\alpha)}] (\div) [y_1^{(\alpha)}, y_2^{(\alpha)}] = \left[ \frac{x_1^{(\alpha)}}{y_2^{(\alpha)}}, \frac{x_2^{(\alpha)}}{y_1^{(\alpha)}} \right] \quad (2.147)$$

$\bar{C}$  bulanık sayısı,  $\bar{A}$  ve  $\bar{B}$  sayılarının bir ürünü olsun. O zaman :  $\bar{B} : \bar{C} = \bar{A}$  olacaktır.  $\bar{A}$ ,  $\bar{B}$  bulanık sayıları, aşağıdaki üyelik fonksiyonlarıyla kesişiyor olsun:

$$\mu_{\bar{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 1 \\ x-1, & 1 \leq x \leq 2 \\ -x+3, & 2 \leq x \leq 3 \\ 0, & x \geq 3 \end{cases} \quad (2.148)$$

$$\mu_{\bar{B}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 4 \\ x-4, & 4 \leq x \leq 5 \\ -x+6, & 5 \leq x \leq 6 \\ 0, & x \geq 6 \end{cases} \quad (2.149)$$

Üyelik fonksiyonuna dayanarak,  $\bar{A}$  bulanık sayısının alfa tahmin seviyesinde aşağıdaki şu ilişkileri yerine getirdiği saptamasını yapabiliriz:

$$\alpha = a_1^{(\alpha)} - 1 \quad \alpha = -a_2^{(\alpha)} + 3 \quad (2.150)$$

$$a_1^{(\alpha)} = \alpha + 1 \quad a_2^{(\alpha)} = -\alpha + 3 \quad (2.151)$$

Yine aynı şekilde,  $B_\alpha$  güven aralığının alfa tahmin seviyesi de  $B_\alpha = [\alpha + 4, -\alpha + 6]$  şeklinde verilmiştir.  $A_\alpha$  ve  $B_\alpha$  güven aralıklarının ürünü de şöyledir:

$$\begin{aligned} A_\alpha(\cdot) B_\alpha &= [\alpha + 1, -\alpha + 3](\cdot)[\alpha + 4, -\alpha + 6] = \\ &= [(\alpha + 1)(\alpha + 4), (-\alpha + 3)(-\alpha + 6)] = \\ &= [\alpha^2 + 5\alpha + 4, \alpha^2 - 9\alpha + 18] \end{aligned} \quad (2.152)$$

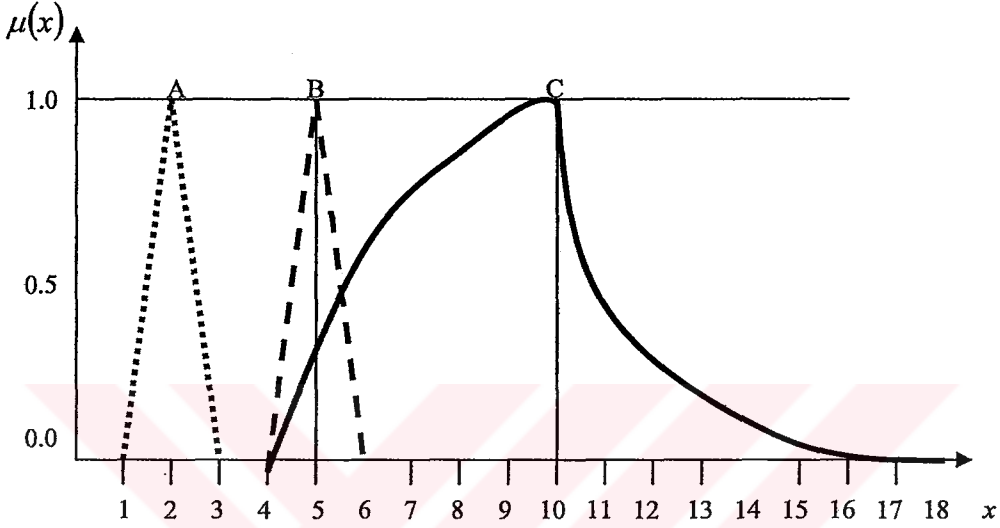
$\bar{AB}$  bulanık sayısının sol sınırını tanımlayan  $x$  değerleri,  $\alpha^2 + 5\alpha + 4$ 'e eşit olup, sağ sınırı tanımlayan  $x$  kesişen değerleri ise  $\alpha^2 - 9\alpha + 18$ 'e eşit olmaktadır. Aşağıdaki denklemleri çözdükten sonra elde ettiğimiz sonuçlar şunlardır:

$$\alpha^2 + 5\alpha + 4 = x \quad \alpha^2 - 9\alpha + 18 = x \quad (2.153)$$

$$\alpha = \frac{(-5 + \sqrt{9 + 4x})}{2} \quad \alpha = \frac{(9 - \sqrt{9 + 4x})}{2} \quad (2.154)$$

$\bar{AB}$  bulanık sayısının üyelik fonksiyonu da şuna eşittir:

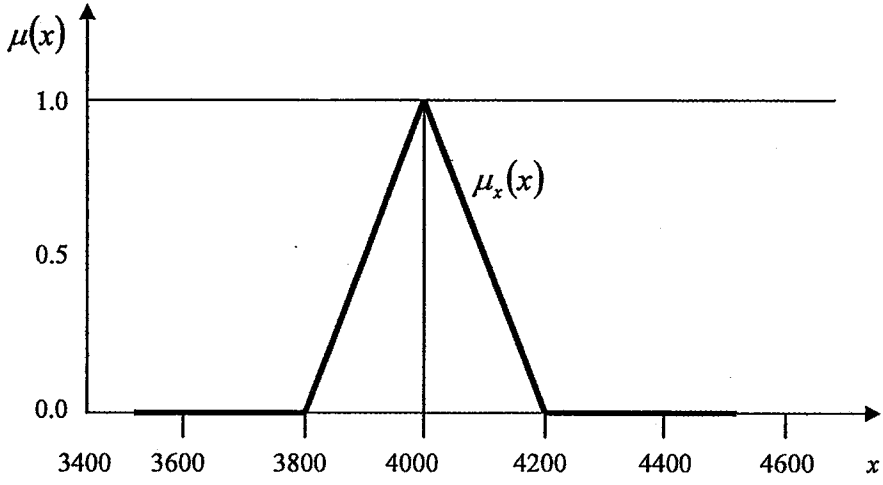
$$\mu_C(x) = \mu_{AB}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 4 \\ \frac{-5 + \sqrt{9+4x}}{2}, & 4 \leq x \leq 10 \\ \frac{9 - \sqrt{9+4x}}{2} + 4, & 10 \leq x \leq 18 \\ 0, & x \geq 18 \end{cases} \quad (2.155)$$



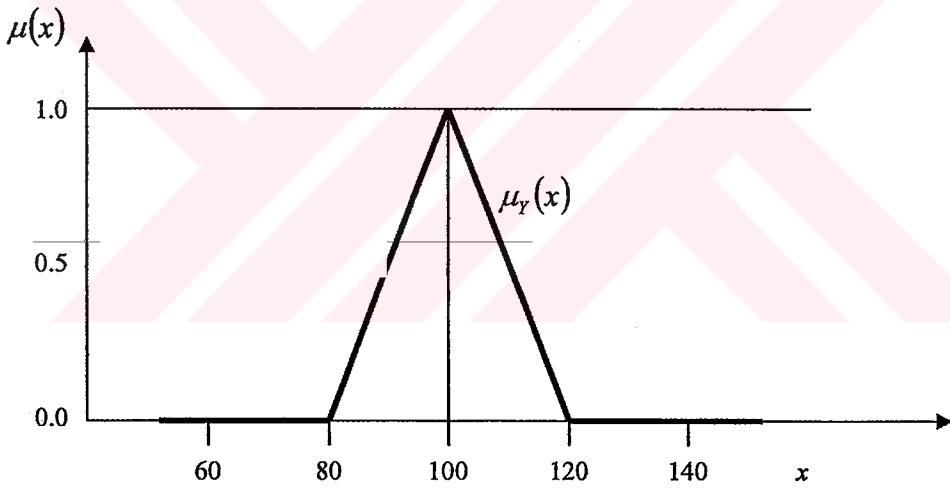
Şekil 2.34 :  $\bar{A}$  ve  $\bar{B}$  bulanık sayılarının çarpılması

$\bar{A}$ ,  $\bar{B}$  ve  $\bar{C}$  bulanık sayıları, Şekil 2.34.'te gösterilmiştir.

Bir havayolu firması, A ve B şehirleri arasında yapılacak uçuş başına “yaklaşık \$ 4.000” maliyet bekleme gerektirdiği tahmininde bulunsun. Ayrıca ortalama olarak her uçuş için “yaklaşık 100 adet yolcu” tahmini de yapmış olsun. Yolcu başına öngörülen maliyeti belirlensin.  $\bar{X}$  ve  $\bar{Y}$  bulanık sayılarıyla, göreceli olarak uçuş başına tahmini maliyet ve uçuş başına tahmini yolcu sayılarına dair bulanık kümeleri simgelensin.  $\bar{X}$  ve  $\bar{Y}$  bulanık sayıları, Şekil 2.35 ve Şekil 2.36’da gösterilmektedir.



Şekil 2.35 :  $\bar{X}$  bulanık sayısı (uçuş başına tahmini maliyet)



Şekil 2.36 :  $\bar{Y}$  bulanık sayısı (uçuş başına tahmini yolcu sayısı)

$\bar{X}$  ve  $\bar{Y}$  bulanık sayılarının üyelik fonksiyonları şöyledir:

$$\mu_{\bar{X}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 3800 \\ \frac{x}{200} - 19, & 3800 \leq x \leq 4000 \\ -\frac{x}{200} + 21, & 4000 \leq x \leq 4200 \\ 0, & x \geq 4200 \end{cases} \quad (2.156)$$

$$\mu_{\bar{Y}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 80 \\ \frac{x}{20} - 4, & 80 \leq x \leq 120 \\ -\frac{x}{20} + 6, & 100 \leq x \leq 120 \\ 0, & x \geq 120 \end{cases} \quad (2.157)$$

Eğer:

$$\alpha = \left( \frac{x_1^{(\alpha)}}{200} \right) - 19 \quad \alpha = -\left( \frac{x_2^{(\alpha)}}{200} \right) + 21 \quad (2.158)$$

ise, o zaman:

$$X_\alpha = [200\alpha + 3800, -200\alpha + 4200] \quad (2.159)$$

Yine aynı yolla şunu da göstermek mümkündür:

$$Y_\alpha = [20\alpha + 80, -20\alpha + 120] \quad (2.160)$$

$X_\alpha$  ve  $Y_\alpha$  güven aralıklarını bölmeyi de şöyle tanımlayabiliriz:

$$X_\alpha (\div) Y_\alpha = \left( \frac{200\alpha + 3800}{-20\alpha + 120}, \frac{-200\alpha + 4200}{-20\alpha + 80} \right) \quad (2.161)$$

$\bar{X}$  ve  $\bar{Y}$  bulanık sayılarını bölerek, elde edilen üyelik fonksiyonunun şuna ait olduğunu kolayca gösterebiliriz:

$$\mu_{\bar{X}(\cdot)\bar{Y}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq \frac{95}{3} \\ \frac{6x-190}{x+10}, & \frac{95}{3} \leq x \leq 40 \\ -\frac{4x+120}{x+10} + 6, & 40 \leq x \leq \frac{105}{2} \\ 0, & x \geq \frac{105}{2} \end{cases} \quad (2.162)$$

## 2.21. Bir Bulanık Sayının, Bir Sabitle Çarpımı

$R$  kümesinde  $\bar{X}$  bulanık sayısı var diyelim ve  $c \in R_0^+$  da sabit olsun. O zaman alfa tahmin seviyesinde  $c$  sabitiyle  $X_\alpha$  güven aralığının ürünü, şuna eşit olacaktır:

$$cX_\alpha = [c, c](\cdot)[x_1^{(\alpha)}, x_2^{(\alpha)}] = [cx_1^{(\alpha)}, cx_2^{(\alpha)}] \quad (2.163)$$

$\bar{X}$  bulanık sayısının bir sabit ile çarpma işleminin gösterilmesi, genellikle üyelik fonksiyonlarını kullanarak yapılır. Şöyle ki:

$$\mu_{c\bar{X}}(x) = \mu_{\bar{X}}\left(\frac{x}{c}\right) \quad \forall x \in R \quad (2.164)$$

Yolculuk masraflarını, yolculuk süresinin doğrusal bir fonksiyonu olarak kabul edelim. Yolculuk süresi öznel olarak tahmin edilip, bir bulanık sayıyla ifade edildiğinde, yolculuk masrafları da bulanık bir sayı ifade edecektir. Yolculuk süresi ve yolculuk masrafı arasında, şu yapıda bir bağımlılık olduğunu kabul edelim:

$$\bar{C} = a\bar{T} \quad (2.165)$$

ki burada  $\bar{C}$  bulanık sayısı yolculuk masraflarını,  $\bar{T}$  bulanık sayısı tahmini yolculuk süresini ve  $a$  ise sabiti ifade etmektedir.  $a=2$  olduğunu ve  $\bar{T}$  bulanık sayısının da, aşağıdaki üyelik fonksiyonlarıyla kesiştiğini varsayıyoruz:

$$\mu_{\bar{T}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 10 \\ \frac{x}{5} - 2, & 10 \leq x \leq 15 \\ -\frac{x}{5} + 4, & 15 \leq x \leq 20 \\ 0, & x \geq 20 \end{cases} \quad (2.166)$$

Eğer:

$$\mu_{a\bar{x}}(x) = \mu_{\bar{T}}\left(\frac{x}{a}\right) \quad (2.167)$$

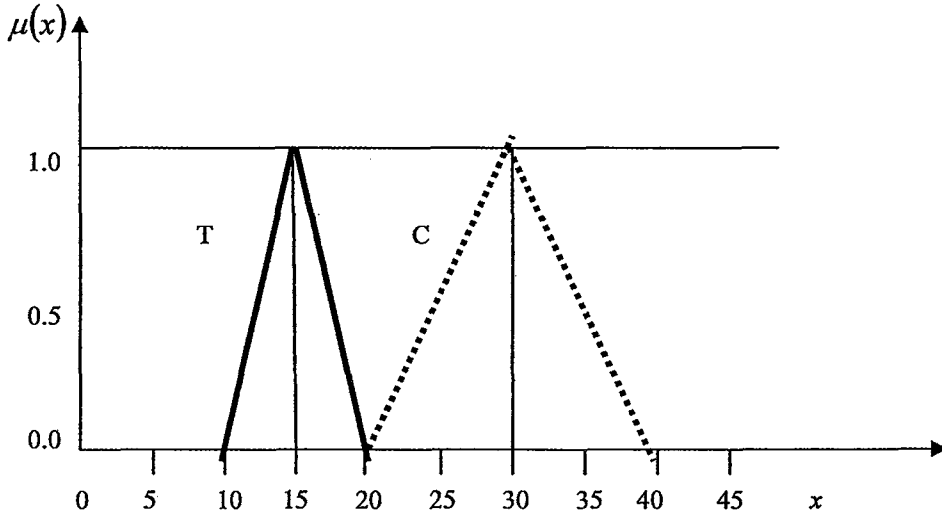
ve

$$\mu_{\bar{C}}(x) = \mu_{2\bar{T}}(x) = \mu_{\bar{T}}\left(\frac{x}{2}\right) \quad (2.168)$$

ise, o zaman:

$$\mu_{\bar{C}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 20 \\ \frac{x}{10} - 2, & 20 \leq x \leq 30 \\ -\frac{x}{10} + 4, & 30 \leq x \leq 40 \\ 0, & x \geq 40 \end{cases} \quad (2.169)$$

$\bar{T}$  ve  $\bar{C}$  bulanık sayıları, Şekil 2.37'de gösterilmiştir.



Şekil 2.37 :  $\bar{T}$  ve  $\bar{C}$  bulanık sayıları

## 2.22. Üçgensel ve İkizkenar Bulanık Sayılar

Üçgensel bulanık sayılar, özel bir bulanık sayılar sınıfı olup, adlarını da üyelik fonksiyonlarının şeklinden alırlar. Şekil 2.38’de tipik bir üçgensel bulanık sayı gösterilmektedir ve bunlar genelde şu yapıda sunulur:

$$\bar{A} = (a_1, a_2, a_3) \quad (2.170)$$

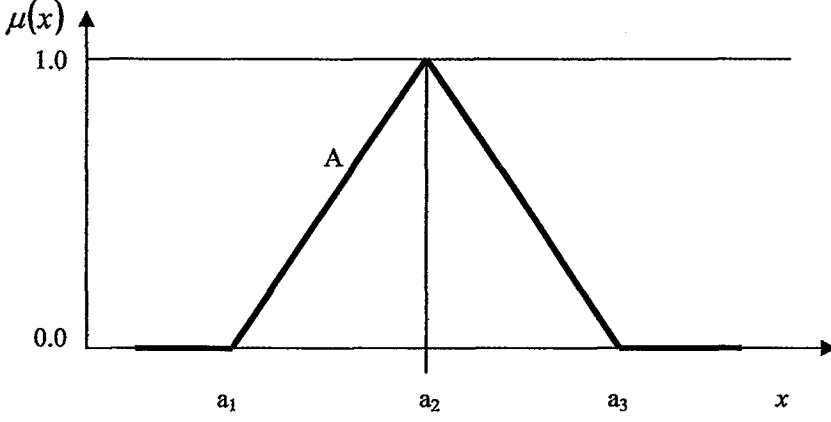
ki burada  $a_1$ , üçgensel bulanık sayının alt (sol) sınırı,  $a_2$  en yüksek tahmin seviyesiyle kesişen sayı ve  $a_3$  ise, bulanık sayının üst (sağ) sınırıdır.  $\bar{A}$  bulanık sayısının üyelik fonksiyonu da şudur:

$$\mu_{\bar{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a_1 \\ \left( \frac{x - a_1}{a_2 - a_1} \right), & a_1 \leq x \leq a_2 \\ \left( \frac{a_3 - x}{a_3 - a_2} \right), & a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0, & x \geq a_3 \end{cases} \quad (2.171)$$

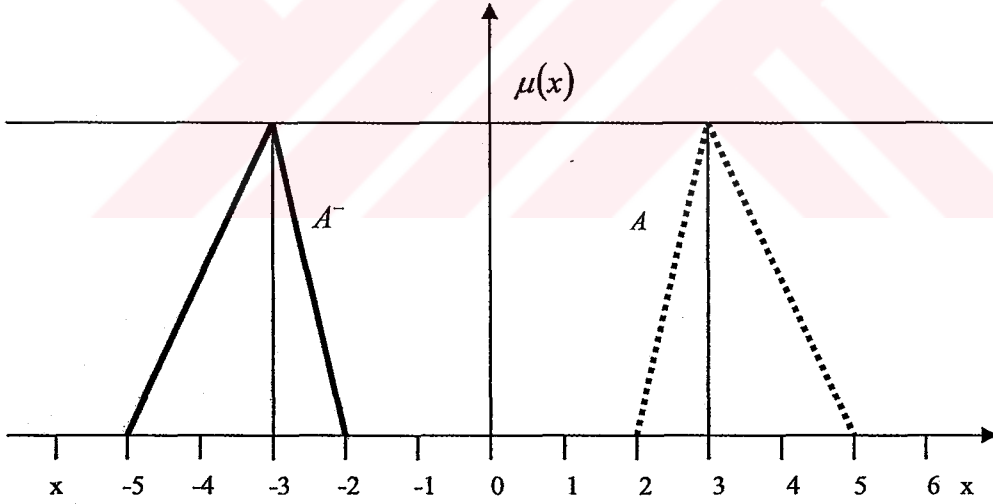
Üçgensel bulanık sayılar da diğer bulanık sayılarla aynı yolla toplanır, çıkarılır, çarpılır ve bölünürler. Bulanık sayılarda toplamayı içeren ve daha önce açıklanmış

olan yöntemsel işlemi kullanarak, bulanık sayı  $\bar{A}=(a_1,a_2,a_3)$  ile bulanık sayı  $\bar{B}=(b_1,b_2,b_3)$  toplamının şu olduğunu kolayca gösterebiliriz:

$$\bar{A}(+)\bar{B}=(a_1,a_2,a_3)(+)(b_1,b_2,b_3)=(a_1+b_1,a_2+b_2,a_3+b_3) \quad (2.172)$$



Şekil 2.38 :  $\bar{A}$  üçgensel bulanık sayısı



Şekil 2.39 : Bulanık sayı  $\bar{A}$  ve karşıtı olan bulanık sayı  $\bar{A}^-$

$\bar{A}^-=(-a_1,-a_2,-a_3)$  bulanık sayısı,  $\bar{A}=(a_1,a_2,a_3)$  bulanık sayısının karşıtıdır. Şekil 2.39'da bulanık sayı  $\bar{A}=(2,3,5)$  ve onun karşıtı olan bulanık sayı  $\bar{A}^-=(-5,-3,-2)$  gösterilmiştir. Üçgensel bulanık sayı  $\bar{B}$ 'nin üçgensel bulanık

sayı  $\bar{A}$  'dan çıkarılması, üçgensel sayı  $\bar{A}$  'nın, üçgensel sayı  $\bar{B}^-$  ile toplanmasıyla gerçekleştirilir. Bir başka deyişle:

$$\begin{aligned}\bar{A}(-)\bar{B} &= \bar{A}(+)\bar{B}^- = (a_1, a_2, a_3)(+)(-b_3, -b_2, -b_1) = \\ &= (a_1 - b_3, a_2 - b_2, a_3 - b_1)\end{aligned}\quad (2.173)$$

İki tane üçgensel sayıyı çarpmak yada bölmek sonucunda ortaya üçgensel bir bulanık sayı çıkmadığı kolaylıkla gösterilebilir. Üçgensel bulanık bir sayıyı bir sabitle çarpmak, diğer bulanık sayıları sabitle çarpmakta kullanılan aynı yol ile gerçekleştirilir. Daha önce gösterilen bulanık sayıyı sabitle çarpma yöntemini kullandığımızda şu sonucu alırız:

$$c\bar{A} = c(a_1, a_2, a_3) = (ca_1, ca_2, ca_3) \quad (2.174)$$

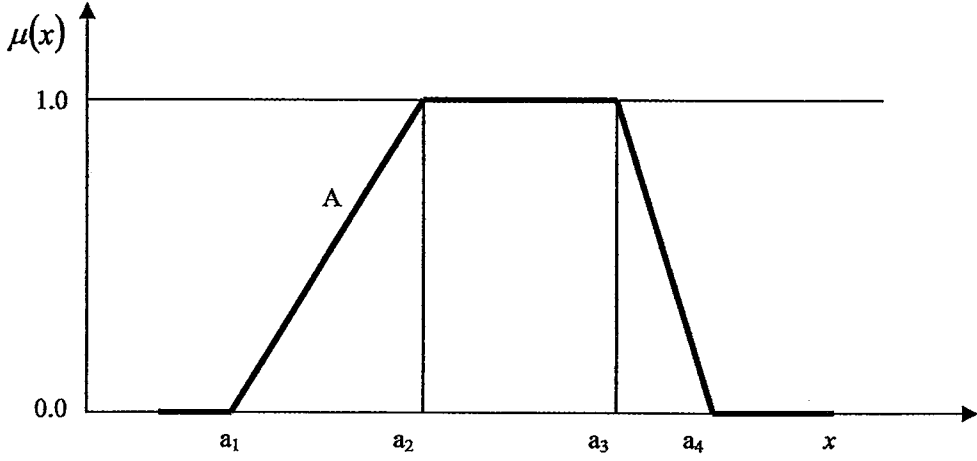
Yukarıdaki denklemde  $c$  pozitif bir sabit ve  $\bar{A}$  ise bir üçgensel bulanık sayıdır. Bir üçgensel bulanık sayıyı, negatif bir sabitle çarpmanın sonucundaysa şunu elde ederiz:

$$c\bar{B} = b(a_1, a_2, a_3) = (ba_3, ba_2, ba_1) \quad (2.175)$$

Yukarıdaki denklemde  $b$  negatif bir sayı olup,  $\bar{A}$  ise bir üçgensel bulanık sayıdır. İkizkenar bulanık sayılar, ikizkenar yapıdaki üyelik fonksiyonlarıyla karakterize edilirler. Şekil 2.40'ta  $\bar{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$  ikizkenar bulanık sayısı gösterilmektedir.  $\bar{A}$  ve  $\bar{B}$  ikizkenar bulanık sayılarının toplamı ve farkının şunlar olduğu kolaylıkla gösterilebilir:

$$\begin{aligned}\bar{A}(+)\bar{B} &= (a_1, a_2, a_3, a_4)(+)(b_1, b_2, b_3, b_4) = \\ &= (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3, a_4 + b_4)\end{aligned}\quad (2.176)$$

$$\begin{aligned}\bar{A}(-)\bar{B} &= (a_1, a_2, a_3, a_4)(-)(b_1, b_2, b_3, b_4) = \\ &= (a_1 - b_4, a_2 - b_3, a_3 - b_2, a_4 - b_1)\end{aligned}\quad (2.177)$$



Şekil 2.40 :  $\bar{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$  ikizkenar bulanık sayısı

### 2.23. Kaufmann ve Gupta'nın Bulanık Sayıları Karşılaştırma Yöntemi

Bulanık sayıları karşılaştırma problemi, yazılan bir çok makalenin konusu olmuştur. Bu problem, Yager (1981), Adamo (1981), Baas ve Kwakernaak (1977), Dubois ve Prade (1983) ve Kaufmann ve Gupta (1988) tarafından ele alınmıştır. Zimmermann (1986) ve Bortolan ve Degani (1985) tarafından ifade edilen görüşlerde, bulanık sayıların karşılaştırılmasına dair bir çok yöntem incelenmiştir. Öncelikle basitliğinden dolayı Kaufmann ve Gupta'nın (1988) yöntemini kısaca ele alacağız. Bu yöntemin temelinde, bulanık bir sayının "ayrılması" kavramı vardır. Kaufmann ve Gupta'nın (1988) bulanık sayıları karşılaştırma yöntemi, aşağıdaki adımlardan oluşur:

- 1.Adım: Sayıların ayrılmasını karşılaştır. Eğer bu karşılaştırmaya dayanarak bir karara varılabilirse, algoritma sona erdirilir. Aksi takdirde 2. adıma geçilir.
- 2.Adım: Üyeliğin en üst seviyesiyle kesişen değerleri karşılaştırır. Eğer bu karşılaştırmanın sonucunda bir sayı sırası belirlenebilirse, algoritma sona erdirilir. Eğer üyeliğin en üst seviyelerinin karşılaştırılmasından sonra bir karara varılamazsa, 3. adıma geçilir.
3. Adım: Bulanık sayıların zeminlerinin uzunluğunu karşılaştırır.

Şeki 2.41'e dikkat edelim.  $\bar{A}$  bulanık sayısının  $R_l(\bar{A}, k)$  "sol ayrılmasının"  $k$  gerçek sayısı ile karşılaştırılması, gerçek sayı  $k$  ile bulanık sayı  $\bar{A}$ 'nın sağ tarafı arasındaki yüzeyden oluşur.  $\bar{A}$  bulanık sayısının  $R_r(\bar{A}, k)$  "sağ ayrılması" da,  $k$  gerçek sayısı ile  $\bar{A}$  bulanık sayısının "ayrılmasının",  $k$  gerçek sayısı ile karşılaştırılması şu şekilde tanımlanabilir:

$$R(\bar{A}, k) = \frac{(R_l(\bar{A}, k) + R_r(\bar{A}, k))}{2} \quad (2.178)$$

Şekil 2.41  $\bar{A}$  bulanık sayısının,  $k$  gerçek sayısı ile karşılaştırılmasındaki "sol ayırım", "sağ ayırım" ve "ayırımını" göstermektedir.  $\bar{A}$  bulanık sayısının şekli üçgensel ise ve  $k = 0$  ise, o zaman  $\bar{A}$  bulanık sayısının "ayrılması" şu şekilde kolayca gösterilebilir:

$$R(\bar{A}, k) = \frac{(a_1 + 2a_2 + a_3)}{4} \quad (2.179)$$

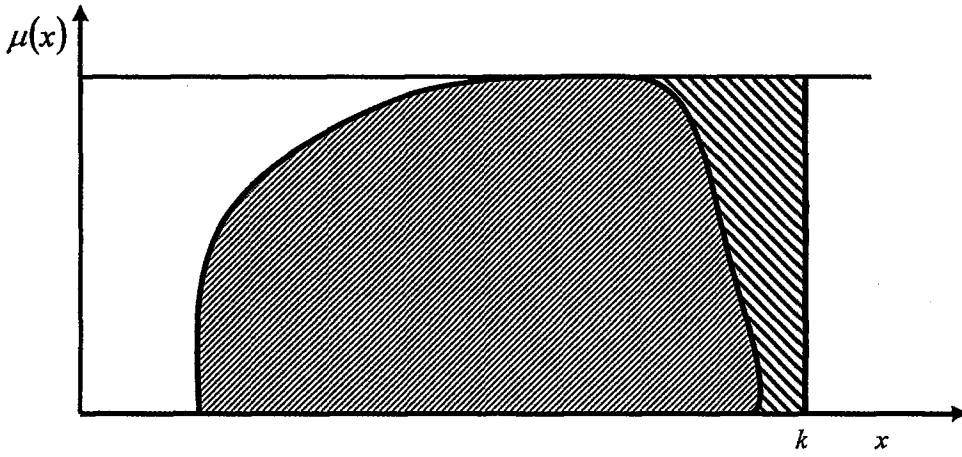
$\bar{A}$  bulanık sayısı,  $\bar{B}$  bulanık sayısından küçüktür, eğer ki;

$$R(\bar{A}, k) < R(\bar{B}, k) \quad (2.180)$$

$R(\bar{A}, k) = R(\bar{B}, k)$  olduğunda, ikinci algoritmik adım uygulanmalı ve üyeliğin en yüksek seviye değerleri karşılaştırılmalıdır.  $\bar{A}$  ve  $\bar{B}$  bulanık kümelerindeki en yüksek seviye üyelikleri  $x_A^*$  ve  $x_B^*$  ile simgeleyelim.  $\bar{A}$  bulanık sayısı,  $\bar{B}$  bulanık sayısından küçüktür eğer ki;

$$x_A^* < x_B^* \quad (2.181)$$

$R(\bar{A}, k) = R(\bar{B}, k)$  ve  $x_A^* = x_B^*$  olduğu durumlarda, bulanık sayıların zeminlerini karşılaştıran üçüncü adım kullanılmalıdır.  $\bar{A}$  bulanık sayısı  $\bar{B}$  bulanık sayısından daha azdır eğer ki  $\bar{A}$  bulanık sayısının zemini  $\bar{B}$  bulanık sayısının zemininden daha az ise;



Şekil 2.41 :  $\bar{A}$  bulanık sayısının  $k$  gerçek sayısıyla karşılaştırarak “ayrılması”

Şekil 2.42’de görülen  $\bar{A} = (6,9,11)$  üçgensel bulanık sayısı ile  $\bar{B} = (7,8,12)$  üçgensel bulanık sayısını karşılaştıralım. Her ikisi de üçgensel bulanık sayılar olduğuna göre, bunların “ayrılmaları” da şunlara eşit olacaktır:

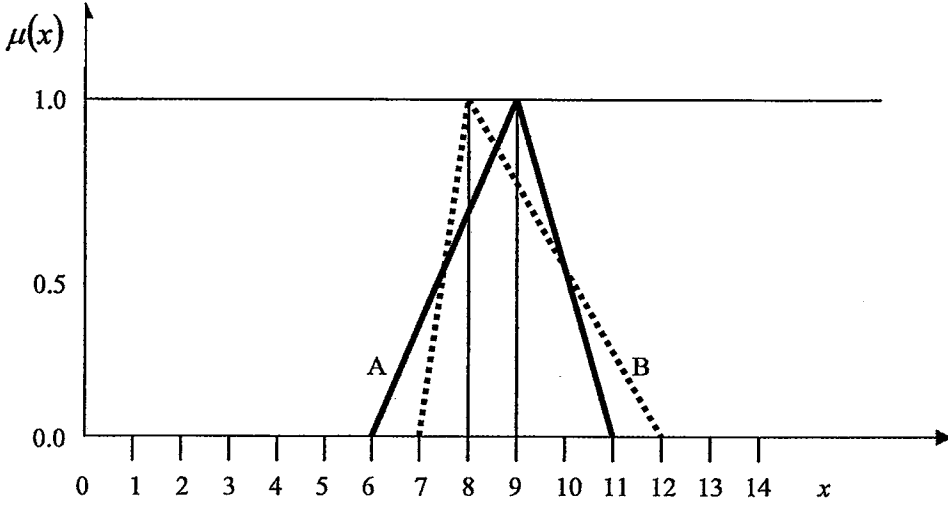
$$R(\bar{A}, k) = \frac{(a_1 + 2a_2 + a_3)}{4} = \frac{(6 + 18 + 11)}{4} = 8.75 \quad (2.182)$$

$$R(\bar{B}, k) = \frac{(a_1 + 2a_2 + a_3)}{4} = \frac{(7 + 16 + 12)}{4} = 8.75 \quad (2.183)$$

$\bar{A}$  ve  $\bar{B}$  bulanık sayılarının kayması eşit olduğuna göre, bunların en yüksek seviye üyeliklerinin karşılaştırılması gerekir. Zaten:

$$x_A^* = 9 > 8 = x_B^* \quad (2.184)$$

olduğuna göre,  $\bar{A}$  bulanık sayısının,  $\bar{B}$  bulanık sayısından daha büyük olduğuna karar verebiliriz.



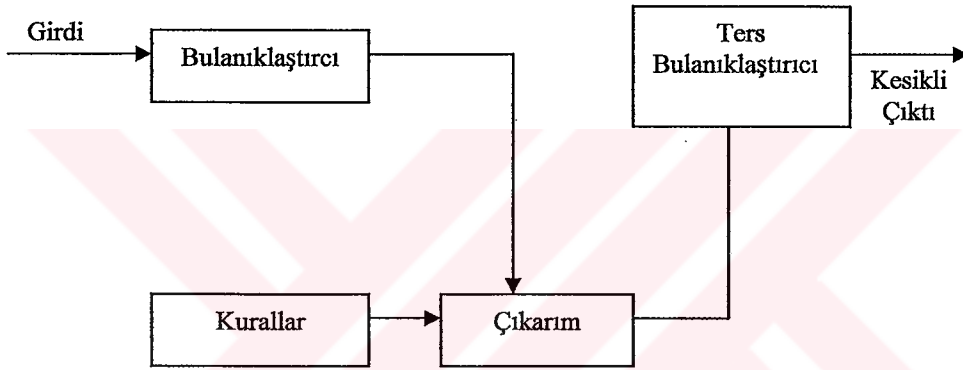
Şekil 2.42 :  $\bar{A}$  ve  $\bar{B}$  bulanık sayılarının üyelik fonksiyonu

#### 2.24. Bulanık Sistemlerin Temel Elemanları

Karmaşık endüstriyel ve trafik sistemlerinin yönetiminde bazen deneyimli bir operatör, klasik otomatik kontrol sistemlerinden daha başarılı sonuçlar elde eder. Operatörün kontrol stratejileri genellikle çok sayıda tanımsal kurallar halinde tanımlanmış olur ki, bunlar el ile işlem uygulama için basit olduğu halde, iş klasik algoritmaların kullanımına geldiğinde karmaşıklaşır. Bu zorlukların çıkış sebebi, konu bir işlemin farklı aşamalarında verilen farklı kararların tarif ederken, insanların nicelden ziyade nitel ifadeler kullanmayı tercih etmesidir. İnsanların karar vermek konusundaki bu nitel ya da bulanık doğasından cesaret alan mühendisler de, işlemleri kontrol edecek bulanık sistemler geliştirmek için teşebbüse geçmişlerdir. Bulanık matematik sistemleri (bulanık sistemler, bulanık kontrol sistemleri, bulanık mantık kontrolleri, bulanık kontrolörler, bulanık uzman sistemleri, bulanık eşleştirici hafızalar), insanların karar almaktaki deneyim, sezgi ve davranışlarının modelini yapmak arzusundan doğmuştur (Zimmermann, 1991). Kesin olmayan, nitel verilere dayalı karar almayı, bulanık mantık vasıtasıyla tanımlayıcı dilsel kurallarla birleştirme düşüncesi ilk kez Zadeh tarafından öne sürülmüştür. Kesin olmayan mantık kurallarının tek bir kontrol stratejisinde birleştirilmesine Zadeh (1973) tarafından “yaklaşık veya bulanık akıl yürütme” adı verilmiştir. Bulanık matematik, belirsiz bir dilsel bilgi işleme yöntemi olarak ilk kez Zadeh (1965 ve 1973)

tarafından ortaya atılmıştır. Zadeh, sistem analizinde kullanılan geleneksel nicel tekniklerin insani sistemler için uygun olmadığına karar vermiş ve bunu bağdaşmazlık prensibi yapısında şöyle ifade etmiştir: “Bir sistemin karmaşıklığı arttıkça, onun davranışlarına dair kesin ve belirgin ifadelerde bulunma imkanımız azalır, ta ki kesinlik ve belirginlik (veya uygunluk) karşılıklı olarak özel karakteristikler haline gelmiş bir eşiği geçene kadar”. Şu ifade de (Zadeh, 1973) bulanık matematiğin yaygın uygulanmasını resmetmektedir : “Kişi, gerçek dünyanın bir problemine ne kadar yakından bakarsa, çözüm de o kadar bulanıklaşır”. Bulanık matematik, veri işlemek için yumuşak algoritmalar sağlayabilmek için geliştirilmiştir. Değişkenlerin kısmen (belirli bir dereceye kadar) özel bir kümeye dahil olmalarını sağladığı gibi, aynı zamanda veri işlemedeki geleneksel bulanık mantık operatörlerinin genellemelerinin kullanılmasına da imkan tanır. Bir sistemin girdi ve çıktılarındaki kesin olmayan, nitel, dilsel tahminler arasındaki ilişkileri tarif eden belirsiz kurallardan çıkarım yapmak amacıyla akıllı kontrol sistemlerinde yaygın olarak bulanık mantık kullanılmaktadır (Brown ve Harris, 1994). Bu kontrol kuralları genellikle bir uzmanın bilgisini temsil eder ve bilginin kolayca anlaşılabilirdiği bir yapı sunar. Geleneksel uzmanlık sistemlerinin çoğu, biz dizi ikili kurallar (Quinland, 1993) ile tarif edilebilir ama bir sistemin çıkışında yaşanan devamsızlıklar, farklı kurallar etkinleştirildiğinde bile genelde sebep ile sonuç arasında pürüzsüz bir ilişki bulunan insan davranışlarını temsil edememektedir. Bulanık kurallar, dilsel girdi ve çıktı değişkenlerini kategorize edebilmek için küçük, orta veya büyük gibi tanımsal ifadeler içerir. Operatörün kontrol stratejisini tanımlayan bulanık kurallar kümesi, yaklaşık akıl yürütme algoritması olan bulanık bir kontrol algoritması oluşturur ki, burada dilsel ifadelerin nitellenmesi ve temsili yine bulanık kümelerce yapılır. Bu yaklaşımın temel avantajı ise deneyim, sezgi, buluş kurallarını tanıtmaya ve kullanma olasılığının bulunması ve sürecin bir modeline de gerek olmamasıdır. Bulanık matematiğin geliştirilmesi ve yönetim süreçlerine uygulanmasının uzun bir tarihi vardır. Yaklaşık akıl yürütme kavramını ortaya atan Zadeh, belirsiz ifadelerin algoritmalar oluşturmaya imkan verdiğini ve belirsiz verilerden belirsiz çıkarımlar yapılabileceğini göstermeyi başarmıştır. Zadeh bu yöntemin özellikle de karmaşık insani sistemlerin incelenmesinde kullanışlı olduğuna dikkat çekmiştir. Temel bulanık küme teorileri 1960’larda geliştirilmiş olup, ilk uygulamaları da Mamdani (1974) tarafından araştırılmıştır. Liderliğini Mamdani’nin yaptığı Londra Queen Mary Koleji’ndeki bir grup araştırmacı, yaklaşık

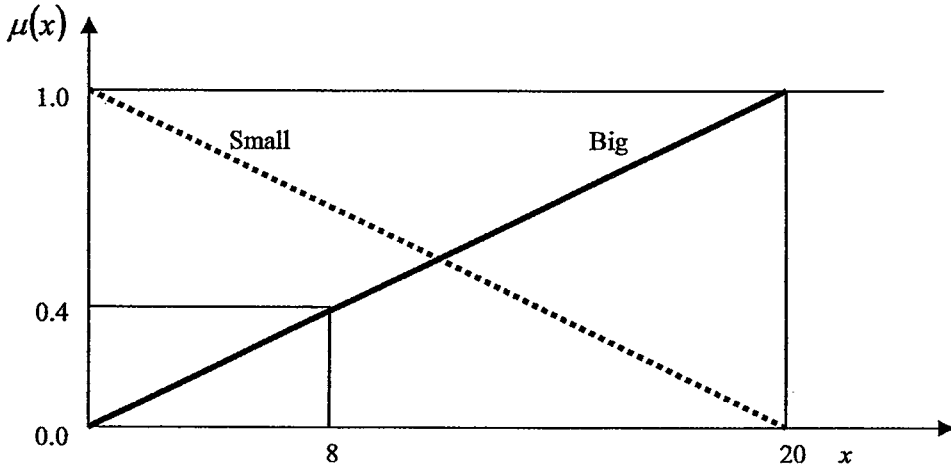
akıl yürütme yönteminin endüstriyel sistemlere uygulanmasına dair makaleler yazmışlardır. Örneğin, Mamdani ve Assilian (1975) bulanık mantıksal kontrolörünü bir buhar makinesinin kumanda edilmesine uygulamış ve fiziksel bir sistemin kontrolörünün tümüyle mantıksal olabileceğini göstermiştir. Bir kontrol stratejisinin nitel olarak ifade eden dilsel kurallar genel olarak bir fabrikanın yetenekli operatöründen elde edilir. Şunu belirtelim ki, bulanık mantık sistemi genellikle sürekli olmayan girdileri, sürekli olmayan çıktılar içerisine oturtur. Her bulanık mantık sisteminin temel elemanları ise kurallar, bulanıklaştırıcı, çıkarım motoru ve durulaştırıcı olmaktadır. (Şekil 2.43).



Şekil 2.43 : Bir bulanık mantık sisteminin temel elemanları

Girdi verileri çoğunlukla sürekli olmayan değerlerdir. Bir bulanıklaştırıcının görevi ise, sürekli olmayan numaraları, bulanık kümelerin içine oturtmaktır. Hatırlatalım ki belirli durumlarda girdiler bulanık yani dilsel değişkenlerden oluşur. Bulanık ya da dilsel değişkenler, sayısal değerleri bulanık olan veya tanımları dilsel değişkenlerden yani sayısal değişkenlerden ziyade ifadelerden oluşan türden değişkenlerdir. Eğer  $x$  bir bulanık değişkeni temsil ederse,  $T(x)$  de  $x$  değişkeninin bir dizi dilsel değerlerini (kategorilerini) simgeleyecektir. Örneğin,  $x = \text{Hizmet zamanı}$  bulanık değişkeninin farklı dilsel değerler, kümesi de  $T(x) = \{\text{çok küçük, küçük, orta, büyük, çok büyük}\}$  olacaktır. Dilsel değerler, bulanık kümeler tarafından nicelleştirilir. Bu değişkenlerin sayısal değerleri de farklı bir açıyla tüm bulanık kümelere ait olmakla birlikte saatler (dakikalar) şeklinde olabilir. Sayısal değerler sürekli veya kesikli olabilir. Bulanık değişkenler ölçüm, gözlem ve daha da önemlisi, sık olarak deneyim

ve sezgiye dayanan öznel tahminler vasıtasıyla bulunur. Hem sürekli olmayan girdi hem de bulanık girdiye bağlı olan durumlar ayrıntılarıyla incelenecektir. Bulanık kurallar kontrol için kullanılan deneyimli operatörlerin bilgisinin uygun şekilde temsil edebilir. Bu kurallar ya operatörün uzmanlığını söze dökmesiyle ya da dikkatlice hazırlanmış bir anket uygulayarak elde edilir. Bu da ancak çok sayıdaki operatörle uzun ve yakın işbirliği yapılarak sağlanabilir ki, gerçekleştirilmesi son derece zor olabilir. Operatörün kuralları bilinçli ya da bilinçsiz şekilde kullandığı olumlu olarak iddia edilebiliyorsa, o zaman bu kuralları operatörün hareketlerini izleyerek kayıt etmek mümkün olabilir. Diğer bir deyişle kurallar, operatörün gözlemlenen kararları (girdi/çıktı sayısal verileri) kullanılarak formüle edilebilir. Buna göre bulanık kural (bulanık uygulama) şu yapıya ulaşır:  $x$  eğer  $\bar{A}$  ise, o zaman  $y$  de  $\bar{B}$  olur, ki burada  $\bar{A}$  ve  $\bar{B}$ ,  $X$  ve  $Y$  söylem evrenleri üzerinden tanımlanan bulanık kümelerce nicellenmiş dilsel değerleri temsil etmektedir. “ $x, \bar{A}$ ’dır” kuralının ilk bölümü, ikinci bölüm olan “ $y, \bar{B}$ ’dir” için bir öncül ya da önceki durum olmakta ve bir sonuç ya da kararın oluşmasını sağlamaktadır. Temel olarak bu ifade,  $x$  ve  $y$  değişkenleri arasındaki bir ilişkiyi tarif eder. Diğer bir deyişle kartezyen boşluğunda  $R$  ikili bulanık ilişkisi olarak tanımlanan bir bulanık kural olup  $X \times Y = \{(x, y)\}$  demektir. Bulanık ilişkinin her bir  $(x, y)$  elemanı,  $\mu_{\bar{R}}(x, y)$  kesişen üyelik seviyesi ile birleşmektedir.  $\bar{R}$  ikili bulanık ilişkisi, iki boyuttan üyelik fonksiyonu  $\mu_{\bar{R}}(x, y)$  ile ifade edilmiş ve  $X \times Y$  boşluğunda tanımlanmış bulanık küme olarak kabul edilebilir. “Eğer” sonrasında gelen olguya öncül veya hipotez veya öndegelen denir. İşte bu olgudan, karar veya sonuç (“öyleyse” sonrasındaki olgu) denen o sonuç çıkartılabilir. Eğer  $x$  değişkeni büyükse, öyleyse  $y$  değişkeni küçüktür. Büyük ve küçük bulanık kümelerinin üyelik fonksiyonları Şekil 2.44’te gösterilmiştir.



Şekil 2.44 : Büyük ve Küçük bulanık kümelerinin üyelik fonksiyonları

Görüldüğü gibi  $y$  değişkeninin çıktısı,  $x$  bulanık değişkeninin girdisi ile şartlandırılmaktadır. Şimdi veri elde ettiğimizi veya girdi değişkeninin değerini  $x = 8$  olarak varsayalım. Şekil 2.44'ten görüyoruz ki,  $x = 8$ , büyük bulanık kümesinin 0.4 üyelik seviyesiyle kesişiyor. İşte bu üyelik seviyesi aslında  $x = 8$  girdi değişkeni değerinin büyük olarak kabul edilebileceği iddiasındaki “gerçeklik değeri” olmaktadır.  $y$  çıktı değişkeni,  $x$  girdi değişkeni tarafından şartlandırıldığına göre,  $y$  değişkeninin küçük olduğu iddiasının ancak ve ancak  $x$  girdi değişkeni büyük olduğu doğru olduğu sürece “doğrudur” diye bir karara varabiliriz. Bulanık akıl yürütme (yaklaşık akıl yürütme), sonuca ulaşabilmek için bir grup bulanık kuralın, bulanık ilişkilere çevrilmesini de içermektedir. Bulanık akıl yürütme bir çıkarım işlemi olup, diğer bir deyişle dilsel ifadelerin bulanık kümelerce nicelleştirildiği durumlarda, öncüllerden kararlar yaratmayı sağlayan bir yoldur. Bulanık mantık sisteminin çıkarım motoru, bulanık kümeleri yine bulanık kümelere oturtur. Çıkarım motoru “kuralların birleştirildiği bir yol izler”. Yazılı kaynaklarda farklı ve çok sayıda çıkarım işlemleri mevcuttur. Klasik mantıktaki temel çıkarım kuralı “modus ponens”tir:

Çıkarım 1 (olgu):  $x, A$ ’dır

Çıkarım 2 (kural): Eğer  $x, A$  ise, öyleyse  $y$  de,  $B$ ’dir.

Sonuç (karar):  $y, B$ ’dir.

$A$  ve  $B$  ifadeleri kesin şekilde tanımlanmıştır. Ancak  $A, B, A'$  ve  $B'$  ifadeleri bulanık kümelerle tarif edildiğinde, çıkarım işlemi bir genel “modus ponens” veya yaklaşık akıl yürütmeye dönüşür:

Çıkarım 1 (olgu):  $x, \bar{A}'$ ’dir,

Çıkarım 2 (kural): Eğer  $x, \bar{A}$  ise, öyleyse  $y$  de,  $\bar{B}$ ’dir,

Sonuç (karar):  $y, \bar{B}'$  olur.

Eğer  $\bar{A} \Rightarrow \bar{B}$  bulanık içermesi,  $\bar{R}$  bulanık ilişkisiyle ve  $X \times Y = \{(x, y)\}$  kartezyen boşluğunda ifade ediliyorsa, öyleyse  $\bar{B}'$  bulanık kümesi de şu formül ile ifade edilebilir:

$$\mu_{\bar{B}'}(y) = \max_x \min\{\mu_{\bar{A}'}(x), \mu_{\bar{R}}(x, y)\} \quad (2.185)$$

$$\mu_{\bar{B}'}(y) = w \wedge \mu_{\bar{B}}(y) \quad (2.186)$$

$\bar{B}'$  bulanık kümesini tanımlayabilmek için, önce  $\bar{A}$  ve  $\bar{A}'$  kümelerinin örtüşme derecesi olan  $w$ , bu kümelerin kesişmelerindeki en yüksek değer olarak belirlenir (Şekil 2.45).  $\bar{B}'$  bulanık kümesi de,  $\bar{B}$  ve  $w$  bulanık kümelerinin kesişmeleriyle tanımlanır ki,  $w$  burada kuralın atış gücünü yada kuralın gerçekleştirilme derecesini temsil eder. Bir kural içerisinde, aşağıdaki iki iddianın genel olarak gerçekleşmesi zorunludur: Eğer  $x \bar{A}$  ise ve  $y \bar{B}$  ise, öyleyse  $z$  de  $\bar{C}$  olacaktır. Buna ek olarak, çıkarım işlemi aşağıdaki şu yapıyı da alır:

Çıkarım 1 (olgu):  $x, \bar{A}'$ ’dir ve  $y \bar{B}'$ ’dir.

Çıkarım 2 (kural): Eğer  $x \bar{A}$  ise ve  $y \bar{B}$  ise, öyleyse  $z \bar{C}$ ’dir.

Sonuç (karar):  $z \bar{C}'$ ’dir.

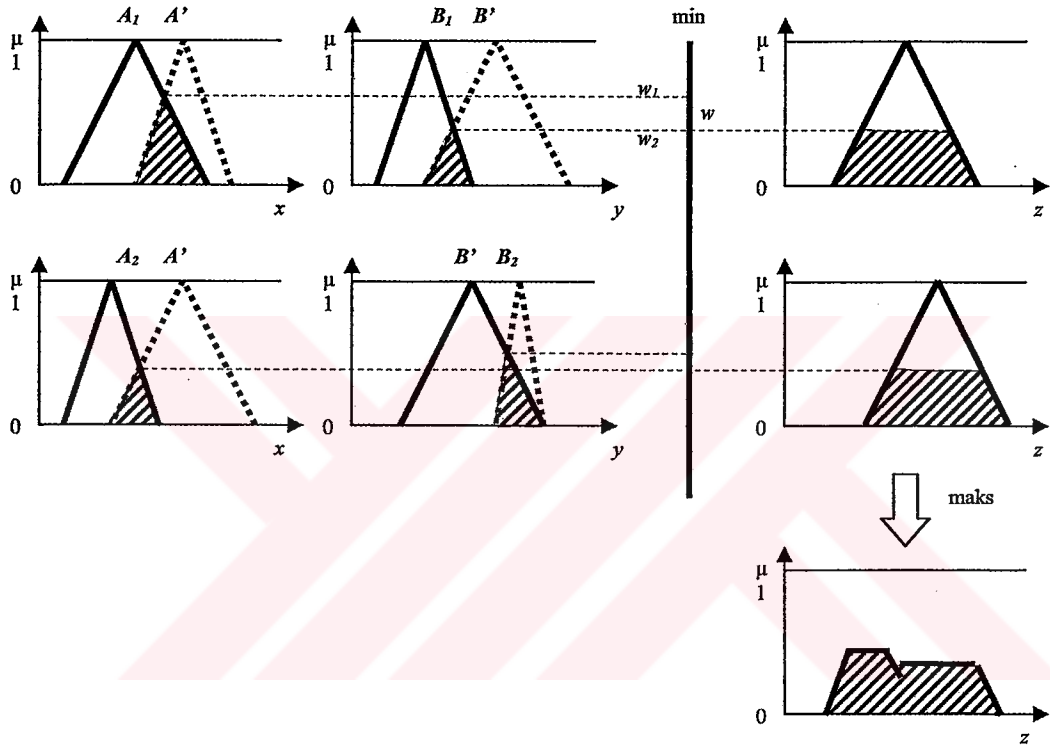


(Zimmermann, 1987a). Aşağıdaki kurallar dizisine bulanık kural zemini denir ve yakın akıl yürütme algoritmasının tipik bir örneğidir:

Eğer  $x$  Büyük ise, öyleyse  $y$  Küçük'tür.

Eğer  $x$  Orta ise, öyleyse  $y$  Orta'dır.

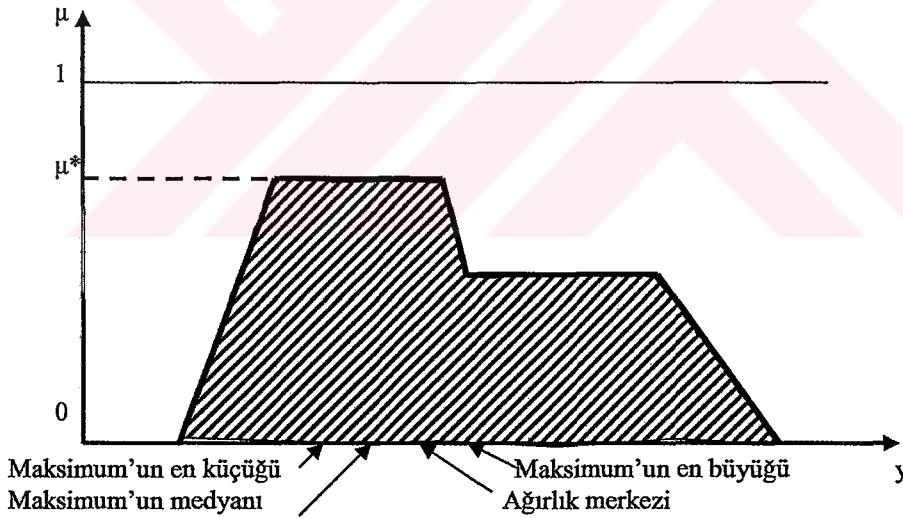
Eğer  $x$  Küçük ise, öyleyse  $y$  Büyük'tür.



Şekil 2.46 : İki kuralın max-min birleşimiyle yakın akıl yürütme

Bilinen girdi değişken değerimiz olan ( $x = 8$ ), yukarıda tanımlanmış olan tüm kurallardan geçmek zorundadır: Yani,  $x = 8$ 'in Büyük olma iddiasında,  $x = 8$ 'in Orta olma iddiasında ve  $x = 8$ 'in Küçük olma iddiasında ne kadar gerçeklik payı olduğunu belirlemek zorundayız. Yakın akıl yürütme algoritmasındaki tüm kurallardan geçtikten sonra,  $y$  çıktı değişkeninin tüm olası değerleri bir üyelik seviyesi ile eşleştirilir. Yakın akıl yürütme algoritmasındaki son adım durulaştırmadır. Diğer bir deyişle, çıktı değişkeni için bir diğer seçmektir. Bulanık akıl yürütme algoritmasını kullanarak bir bulanık kümenin çıktı değişkeninin olası sayısal değerlerinin belirli üyelik seviyeleri de dahil olmak üzere bir çıktı sonucu

olarak elde edilmesi, Mamdani modelinin bir sonucudur. Bulanık bilgi, durulaştırıldığında edildiğinde sıkıştır ve temsili sayısal bilgi ile elde edilir. Mamdani (Mamdani ve Assilian, 1975) tarafından yazılan orijinal makaleye göre, sonuç olarak elde edilen bulanık kümenin ağırlık merkezi, sayısal çıktı değerini temsil etmektedir. Uygulamaların çoğunda analist yada karar verici kimse, bireysel çıktı değişkeni değerlerinin aidiyet seviyelerine bakar ve bunlardan bir tanesini şu kriterlere göre seçer : “en küçük maksimal değer”, “en büyük maksimal değer”, “ağırlık merkezi”, “maksimal değerler alanının ortalaması” vesaire (Şekil 2.47). Sonuç olarak elde edilen bulanık kümeyi sayısal bir değer temsil ettiği için, bulanık bilginin önemli bir kısmı kaybolmuş gibi görünebilir. Bu yöntemleri, bu seviyede inceleyebilmenin tek yolu da, elde edilen sonuçların denenmesi ve tahminde bulunulmasıdır. Klasik uzmanlık sistemlerdeki kurallarının, sadece insan olan uzmanlardan elde edilmiş olduğunu bir kez daha hatırlatalım. Bulanık kural zeminli sistemler söz konusu olduğunda, kural zemininin yapısı, sayısal verilere uygun olarak insan uzmanlar veya sayısal verilerle birleştirilmiş insan uzmanlar vasıtasıyla belirlenebilir.



Şekil 2.47 : İki kural için max-min birleşimi kullanarak yakın akıl yürütme

İnsan uzmanlardan elde edilen dilsel bilgi ile ölçümden elde edilmiş sayısal bilginin birleştirilmesi son derece ilginç ve önemlidir. Bu durum ilerideki tartışmalarda daha geniş şekilde ele alınacaktır. Bulanık mantık modellerinin gelişimi, sık olarak çok sayıda yineleme gerektirmektedir. İlk adımda kurallar dizisi ve girdi/çıktı değişkenlerinin kesişen üyelik fonksiyonları tanımlanır. Sonuçlara baktıktan sonra,

eğer gerekiyse kurallar ve/veya üyelik fonksiyonları üzerinde düzeltmeler yapılır. Model en sonunda, bu uyarlanmış kurallar ve/veya üyelik fonksiyonlarıyla bir kez daha test edilir ve devam edilir.

## 2.25. Bulanık Mantık Çıkarımının Grafikselsel Yorumu

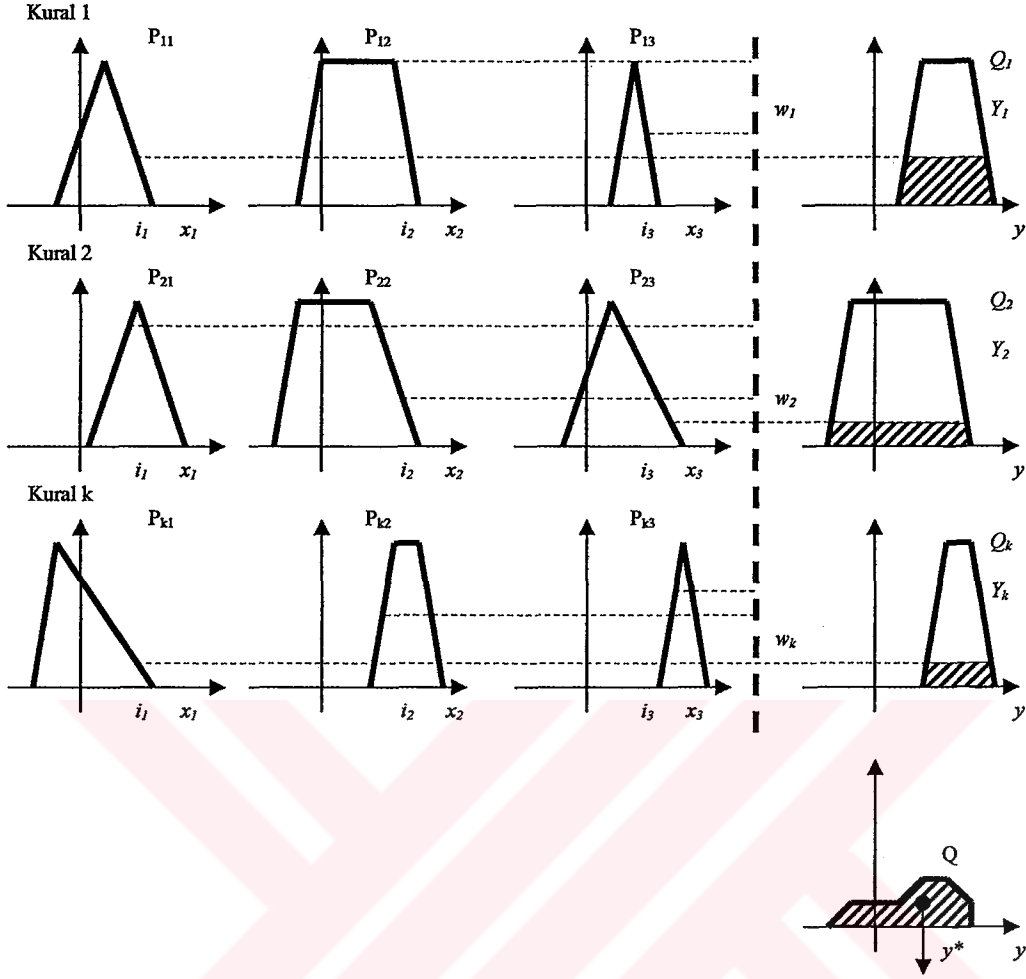
Bulanık mantık çıkarımının grafikselsel bir yorumu, bulanık mantık çıkarımının doğasını daha derinlemesine anlamak konusunda son derece faydalı olabilir. Grafikselsel tekniklerle birleştirilen bulanık mantık çıkarımı, özellikle de az sayıda kural bulunan ve bulanık mantığın “el ile” (yani bilgisayar yardımı olmaksızın) kullanımı durumlarında faydalı olacaktır.  $x_1, x_2$  ve  $x_3$  olarak üç adet girdi değişkeni ve  $y$  olmak üzere tek çıktı değişkeni içeren bir bulanık kurallar dizisi olduğunu varsayalım.

Kural 1: Eğer  $x_1 \bar{P}_{11}$  ise ve  $x_2 \bar{P}_{12}$  ise ve  $x_3 \bar{P}_{13}$  ise, öyleyse  $y \bar{Q}_1$ ’dir,

Kural 2: Eğer  $x_1 \bar{P}_{21}$  ise ve  $x_2 \bar{P}_{22}$  ise ve  $x_3 \bar{P}_{23}$  ise, öyleyse  $y \bar{Q}_2$ ’dir,

Kural 3: Eğer  $x_1 \bar{P}_{k1}$  ise ve  $x_2 \bar{P}_{k2}$  ise ve  $x_3 \bar{P}_{k3}$  ise, öyleyse  $y \bar{Q}_k$ ’dir.

Belirlenen bu kurallar, “veya” kavşağı ile bağlantılıdır. Böylesine kurallar dizisine kuralların ayrılmacı sistemi denir ve en az bir kuralın gerçekleştiğini varsayar.  $\bar{P}_{k1}$  ve  $\bar{P}_{k3}$  ( $k=1,2,...,K$ ) bulanık kümelerinin üyelik fonksiyonlarının üçgensel şekilli olduğu, diğer yandan  $\bar{P}_{k2}$  ve  $\bar{Q}_k$  ( $k=1,2,...,K$ ) bulanık kümelerinin ise ikizkenar olduğu varsayılmıştır. Ayrılma sistemli kuralların gösterildiği Şekil 2.48’e dikkatinizi çekelim.  $i_1, i_2$  ve  $i_3$  değerlerinin bağlantılı olarak  $x_1, x_2$  ve  $x_3$  girdi değişkenlerinden alındığını ve bilindiğini kabul edelim (Ele alınan problemin bağlamıyla ilgili olarak, bu değerleri toplanmış olan veriler, ölçümler veya uzman değerlendirmesi vasıtasıyla elde etmek mümkündür).



Şekil 2.48 : Ayrılma sistemli kuralların grafiksel yorumu

Bahsi geçen durumda,  $i_1$ ,  $i_2$  ve  $i_3$  değerleri sürekli değildir: Şekil 2.48 aynı zamanda  $\bar{Q}$  çıktısının üyelik fonksiyonunu göstermektedir. Bu üyelik fonksiyonunun yapısı da şöyledir:

$$\mu_{\bar{Q}}(y) = \max_k \left\{ \min \left[ \mu_{\bar{P}_{k1}}(i_1), \mu_{\bar{P}_{k2}}(i_2), \mu_{\bar{P}_{k3}}(i_3) \right] \right\}, k = 1, 2, \dots, K \quad (2.187)$$

ki burada çıktıyı ifade eden  $\bar{Q}$  bulanık kümesi aslında  $\bar{Y}_1, \bar{Y}_2, \dots, \bar{Y}_k$ , kural katılımlarının bulanık bir birleşimidir. Diğer bir deyişle, anlamı şudur:

$$\bar{Q} = \bar{Y}_1 \cup \bar{Y}_2 \cup \dots \cup \bar{Y}_k \quad (2.188)$$

Ayrıca şunun da bariz olduğu söylenebilir:

$$\mu_Q(y) = \max\{\mu_{\bar{Y}_1}(y), \mu_{\bar{Y}_2}(y), \dots, \mu_{\bar{Y}_k}(y)\} \quad (2.189)$$

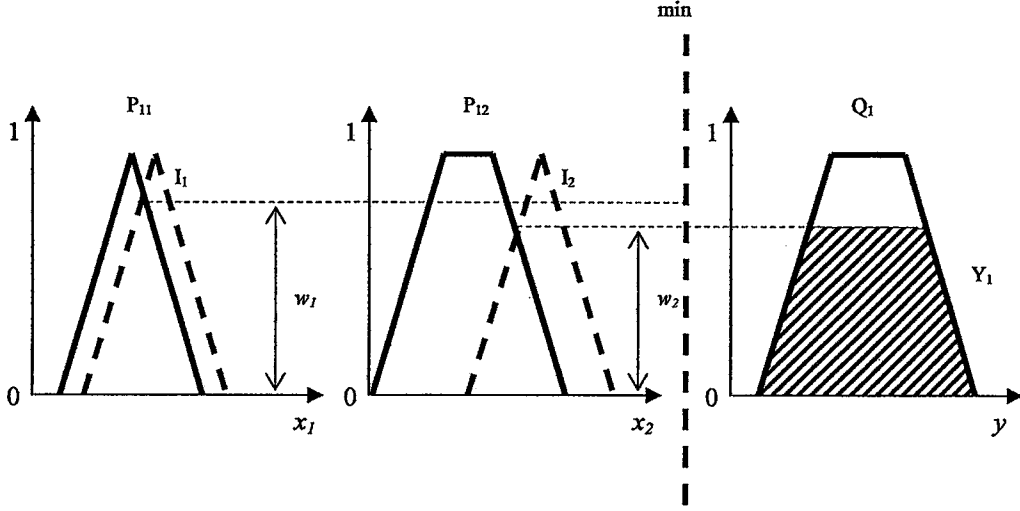
Şimdi  $x_1, x_2$  ve  $x_3$  girdi değişkenlerinin  $i_1, i_2$  ve  $i_3$  bilinen değerleri ile,  $y$  çıktı değişkeninin hesaplanan  $y^*$  kesişen değeri ile ilgili durumu daha geniş olarak açıklamaya çalışalım. Eğer Kural 1'i hatırlarsak, şöyle diyordu:

Kural 1: Eğer  $x_1 \bar{P}_{11}$  ise ve  $x_2 \bar{P}_{12}$  ise ve  $x_3 \bar{P}_{13}$  ise, öyleyse  $y \bar{Q}_1$ 'dir,

$i_1$  eşittir  $\bar{P}_{11}$  iddiasındaki gerçeklik payını,  $\mu_{\bar{P}_{11}}(i_1)$  değeri göstermektedir. Benzer şekilde bağlantılı olarak  $\mu_{\bar{P}_{12}}(i_2)$  ve  $\mu_{\bar{P}_{13}}(i_3)$  değerleri de  $i_2$  eşittir  $\bar{P}_{12}$  ve  $i_3$  eşittir  $\bar{P}_{13}$  iddialarındaki gerçeklik değerini göstermektedir.  $w_1$  değeri ise şuna eşit olup:

$$w_1 = \min\{\mu_{\bar{P}_{11}}(i_1), \mu_{\bar{P}_{12}}(i_2), \mu_{\bar{P}_{13}}(i_3)\} \quad (2.190)$$

$i_1$  eşittir  $\bar{P}_{11}$ ,  $i_2$  eşittir  $\bar{P}_{12}$  ve  $i_3$  eşittir  $\bar{P}_{13}$  iddialarındaki gerçeklik değerini göstermektedir. Karar da en az çıkarım kadar gerçeklik içerdiğine göre,  $w_1$  değerini hesapladıktan sonra,  $\bar{Q}_1$  bulanık kümesinin aidiyet fonksiyonunun da dönüştürülmesi gereklidir. Bu sayede  $\bar{Q}_1$  bulanık kümesi,  $\bar{Y}_1$  bulanık kümesine dönüştürülmüş olur (Şekil 2.49).  $w_2, w_3, \dots, w_k$  değerlerinin hesaplanması da,  $\bar{Q}_2, \bar{Q}_3, \dots, \bar{Q}_k$  bulanık kümelerinin  $\bar{Y}_2, \bar{Y}_3, \dots, \bar{Y}_k$  bulanık kümelerine dönüştürülmesini sağlayan aynı yöntem ile yapılır. Bu bir ayrılma sistemli kurallar durumu olduğu ve en az bir kuralın gerçekleştiği varsayıldığına göre, çıktının  $\mu_{\bar{Q}}(y)$  aidiyet fonksiyonu da  $\bar{Y}_1, \bar{Y}_2, \dots, \bar{Y}_k$  bulanık kümelerinin üyelik fonksiyonlarının dış çerçevesini temsil eder. Çıktı değişkeninin son değeri olan  $y^*$  ise, durulaştırma sonrasında elde edilir. Bazı durumlarda, girdi değişkenlerinin aldığı değerler sürekli değildir. Bir başka deyişle, girdiler bazen düzgün üyelik fonksiyonları tarafından tarif edilen bulanık kümeler şeklinde ortaya çıkar. Bulanık kümelerin görüntüsünün nedeni yetersiz kesinlikte ölçümler, yaklaşık olarak bilinen veriler veya özel parametrelerin öznel değerlendirilmiş olmasından kaynaklanabilir (Şekil 2.49).



Şekil 2.49 : Bulanık girdilerin grafiksel yorumu

Şekil 2.49'da, ayırım sistemli kuralların, Kural 1'i gösterilmektedir. Bu kural şu şekilde ifade edilir:

Kural 1: Eğer  $x_1 \bar{P}_{11}$  ise ve  $x_2 \bar{P}_{12}$  ise ve  $x_3 \bar{P}_{13}$  ise, öyleyse  $y \bar{Q}_1$ 'dir,

Şekil 2.49'da gösterilen girdilerin,  $\bar{I}_1$  ve  $\bar{I}_2$  bulanık kümelerinin düzgün üyelik fonksiyonları sayesinde bulanık olduğunu varsayalım. Bu girdilerin  $\bar{P}_{11}$  ve  $\bar{P}_{12}$  çıkarımlarına dair düzgün üyelik fonksiyonlarının kesişimleri, Şekil 2.49'daki kesikli üçgenler tarafından gösterilmiştir. Bu kesişmelerin  $w_1$  ve  $w_2$  maksimum değerleri, bağlantılı olarak  $x_1$  eşittir  $\bar{P}_{11}$  ve  $x_2$  eşittir  $\bar{P}_{12}$  iddialarının gerçeklik değerini temsil eder.  $\{w_1, w_2\}$  değeri ise,  $x_1$  eşittir  $\bar{P}_{11}$  ile aynı anda ortaya çıkan  $x_2$  eşittir  $\bar{P}_{12}$  iddiasının gerçeklik değerini gösterir. Çıktı değişkeninin değerini hesaplamakta kullanılan işlem, girdi değerinin sürekli olmayan değerini hesaplamak durumundakiyle aynıdır.

### 3. FİNANSTA BULANIK MATEMATİK

#### 3.1. Giriş

Bu bölümde öncelikle finansın matematiği, gelecek değer, şimdiki değer ve düzenli dönemsel nakit akışı konularındaki temel kavramları ele alacağız. Nakit akışları, iskonto oranları ve bileşik faizler sayılarının tümü de bulanık olabilir. Bu nedenle, bulanık yatırım seçeneklerini en iyiden en kötüye doğru sıralamak için bulanık net nakit akışlarını kıyaslarken iki tane yöntem kullanıyoruz. Finans matematiği konusundaki diğer tartışmalar için (Von Altrock, 1997), (Bojadziev ve diğerleri, 1997), (Carlsson ve diğerleri, 1999), (Li Calzi, 1990), (Fedrizzi ve diğerleri, 1993), (Tarrazo, 2001) ibareli referanslara yönlendiriyoruz. Bu bölüm ise (Buckley, 1987a), (Buckley, 1987b), (Buckley, 1992), (Buckley, 1993) referanslarına dayanmakta olup, hem üçgensel hem de ikiz kenar bulanık sayıları kullanıyor olacağız. Önce, finans probleminin, matematiksel söylemini yazıyoruz. Sonra da bu söylemdeki bazı veya tüm parametrelerin yerine bulanık sayılar koyarız. Eğer bulanık denklemdeki bazı değişkenlerin değerlerini çözmek zorunda isek, o zaman (eğer mevcut ise) klasik çözümü sağlayan alfa kesmeleri ve aralık aritmetiği kullanırız. Örneğin  $\bar{A}\bar{X} = \bar{B}$  bulanık denklemde,  $\bar{A}$  ve  $\bar{B}$ 'yi kullanarak  $\bar{X}$  için çözümleme yapıp, klasik çözüm olarak  $\bar{X}_c$ 'yi elde ederiz. Eğer  $\bar{X}_c$  mevcut değil ise, o zaman yeni çözümü bulanıklaştırarak  $\bar{X}_e$  ile  $\bar{X}_i$  çözümlerini elde ederiz.  $\bar{A}\bar{X} = \bar{B}$  denklemde  $\bar{X}_c$  mevcut olmadığında,  $\bar{X} = \bar{B} / \bar{A}$  denklemini elde edebilmek için  $X = B / A$  denklemini bulanıklaştırırız. Eğer  $\bar{B} / \bar{A}$ 'yı uzatım prensibini kullanarak değerlendirirsek  $\bar{X}_e$ 'yi elde ederiz,  $\bar{X}_i$  ise, alfa kesmeleri ve aralık aritmetiği kullanarak  $\bar{B} / \bar{A}$  ile hesaplanır. Diğer olasılık ise, orjinal finans söylemini, onu bulanıklaştırdıktan sonra çözmektir.  $\bar{X} = \bar{A}(1 + \bar{B})^n$  denklemini, bulanık sayılar  $\bar{A}, \bar{B}$  ve pozitif tamsayı  $n$  için düşünün.  $\bar{A}, \bar{B}$  ve  $n$  bilindiğine göre, tek yapmamız gereken şey  $\bar{X}$ 'i hesaplamaktır. Bu da iki yol ile yapılabilir: (1)  $\bar{X}_e$ 'yi

sağlayan uzatım prensibini kullanarak; veya (2)  $\bar{X}_I$  'yı veren alfa kesmeleri ve aralık aritmetiği vasıtasıyla. Birinci yolda  $\bar{X}_c$ ,  $\bar{X}_e$  ve  $\bar{X}_I$  'yı elde eder ve  $\bar{X}_c \leq \bar{X}_e \leq \bar{X}_I$  olmasını bekleriz. İkinci yolda ise  $\bar{X}_e$  ve  $\bar{X}_I$  vardır ve genellikle  $\bar{X}_e \leq \bar{X}_I$  durumundadır.  $\bar{X}_I$  yerine  $\bar{X}_e$  'yi tercih ederiz ve  $\bar{X}_I$  'yı ancak  $\bar{X}_e$  'nin elde edilmesinin çok zor olduğu durumlarda  $\bar{X}_e$  'nin yaklaşık değerini belirlemekte kullanırız. Eğer  $\bar{X}_c$  'yi hesaplamak zorundaysak, mevcut olduğu durumlarda tercih edilen yanıt budur.

### 3.2. Vadeli Değer

Bugün  $A$  meblağının  $r$  faiz oranıyla  $n$  miktarda süreyle yatırıldığını farz edin. Eğer  $n$  süresi sonunda hesaptaki para  $S$  olarak kabul edilirse, öyleyse  $S = A(1+r)^n$  olur. Bu bölüm boyunca, bileşik faizi ele alacağız. Faiz oranları genellikle her yıl için bir yüzde olarak ifade edilen ve daha sonra faiz süresi için doğru olan ondalıklı orana dönüştürülür. Örneğin, yıllık % 9'un bileşik aylık faizi  $(0.009)/12 = 0.0075$  'tir. Faiz oranının, faiz dönemi için ondalık seviyede  $r$  olduğunu varsayacağız. Yani, % 9 aylık bileşik faizde 4 yıl için  $A = \$1000$  ve  $S = 1000(1 + 0.0075)^{48}$  hasılatını verir, çünkü  $n = 48 = 12 \cdot 4$  bileşik faizlerin 4 yıl içerisindeki sayısıdır. Bileşik faiz formülünü  $A$  'dan  $\bar{A}$  ve  $r$  'den  $\bar{r}$  çıkartarak bulanıklaştırırız.  $\bar{A} \geq 0$  olduğunu ve  $\bar{r}$  'nin desteğinin  $[0,1]$  içerisinde olduğunu biliyoruz. Faiz oranı olan  $r$ , her zaman  $n$  süreleri içerisinde tam olarak bilinebilir veya bilinemez ve bu yüzden de onu ikizkenar bulanık sayı olarak tasvir edebiliriz. Örneğin,  $\bar{r} = (0.0059 / 0.0067, 0.0075 / 0.0083)$  'in anlamı, oranın aylık bileşik faiz şeklinde % 8 ila % 9 arasında olduğudur. Yatırılan meblağ genelde  $\bar{A}$  olarak ifade edilir ve bulanık olmayan sayı olabilir. Ancak, biz  $\bar{A}$  için bir ikizkenar (veya üçgensel) bulanık sayı kullanacağız. Dileğimiz aşağıdaki durumda  $\bar{S}$  'yi hesaplayabilmektir:

$$\bar{S} = \bar{A}(1 + \bar{r})^n \quad (3.1)$$

$\bar{A} = (a_1 / a_2, a_3 / a_4)$ ,  $\bar{r} = (r_1 / r_2, r_3 / r_4)$  ve  $\bar{A}[\alpha] = [a_1(\alpha), a_2(\alpha)]$   $\bar{r}[\alpha] = [[r_1(\alpha), r_2(\alpha)]]$  olduğunu kabul edelim. (3.1) denklemindeki  $\bar{S}$  'i hesaplamadan önce, (3.1)'deki

bulanık bileşik faiz söyleminin sağlamasını yapalım. İlk dönemin sonunda  $\bar{A} + \bar{A}\bar{r} = \bar{A}(1 + \bar{r})$  elde ederiz, çünkü pozitif bulanık sayılar için çarpım, toplama üzerinden dağılır. İki dönem sonra,

$$\bar{S} = \bar{A}(1 + \bar{r}) + \bar{A}(1 + \bar{r})\bar{r}, \quad (3.2)$$

veya paranteze alındıktan sonra:

$$\bar{S} = \bar{A}(1 + \bar{r})^2 \quad (3.3)$$

Bununla birlikte denklem (3.1), bulanık sayılar için geçerlidir. Denklem (3.1)'i çözmek için iki yöntem vardır. Uzatım prensibiyle  $\bar{S}_e$ 'yi elde ederiz ki, bunun alfa kesmeleri şunlardır:

$$S_{e1}(\alpha) = \min\{a(1+r)^n \mid a \in \bar{A}[\alpha], r \in \bar{r}[\alpha]\}, \quad (3.4)$$

$$S_{e2}(\alpha) = \max\{a(1+r)^n \mid a \in \bar{A}[\alpha], r \in \bar{r}[\alpha]\}. \quad (3.5)$$

Bariz olarak  $a(1+r)^n$  söylemi hem  $a$  hem de  $r$  olarak artmaktadır ve bu yüzden,

$$S_{e1}(\alpha) = a_1(\alpha)(1+r_1(\alpha))^n, \quad (3.6)$$

$$S_{e2}(\alpha) = a_2(\alpha)(1+r_2(\alpha))^n, \quad (3.7)$$

$0 \leq \alpha \leq 1$ . İkinci yöntem ise,  $\bar{S}_i$ 'yi belirleyen alfa kesmeleri ve aralık aritmetiği kullanmaktır. Böylece:

$$\bar{S}_i[\alpha] = \bar{A}[\alpha](1 + \bar{r}[\alpha])^n \quad (3.8)$$

olur ve  $\bar{S}_i = \bar{S}_e$  çünkü tüm aralıklar negatif olmayan türdendir. Şimdi  $A$ 'dan  $\bar{A}$ ,  $r$ 'den  $\bar{r}$  ve  $n$ 'den  $\bar{n}$ 'yi çıkartarak bulanıklaştırabiliriz.  $\bar{n}$  dönemlerinin bulanık sayıları, negatif olmayan kesikli bulanık sayılar kümesi olacaktır. Demek oluyor ki, bazen pozitif tamsayı  $K$  için  $n_i$ ,  $1 \leq i \leq K$  pozitif tamsayılar olacak ve  $\lambda_i \in (0,1], 1 \leq i \leq K$  itibariyle:

$$\bar{n}(\alpha) = \lambda_i \quad \text{eğer } x = n_i \text{ ise} \quad (3.9)$$

$$\bar{n}(\alpha) = 0 \quad \text{diğer durumlarda}$$

Yatırımın süresi belirsiz olup,  $\bar{n}$  ile ifade edilir.  $\lambda_i$ 'nin bir yorumu da " $n = n_i$ 'nin,  $\lambda_i$  olması",  $1 \leq i \leq K$  'olmasıdır. Bu "olasılığı" kullandığımızda gereken yorum ise bazı  $i$ 'ler için  $\lambda_i = 1$  olmaktadır. Aşağıdaki  $\bar{S}_e$ 'yi hesaplamak için uzatım kullanalım.

$$\bar{S}_e = \bar{A}(1 + \bar{r})^{\bar{n}}. \quad (3.10)$$

$\bar{S}_i$ 'yi hesaplamak için şimdilik teşebbüste bulunmayacağız çünkü  $\bar{n}$ 'nin  $\alpha$ -kesmeleri, aralıklar olmayıp,  $\{\lambda_1, \dots, \lambda_K\}$ 'nin alt kümeleri olacaktır. Bu durumda  $\bar{S}_e \leq \bar{S}_i$  elde edemeyiz ve buna göre  $\bar{S}_i$  de  $\bar{S}_e$  için bir tahmin olmayacaktır.  $\bar{S}_e$ 'nin hesaplanması (bir sonraki önermeye bakınız) zor olmadığı için, bu durumda sadece  $\bar{S}_e$ 'yi bulabileceğiz. (3.4) ve (3.5) gibi denklemleri sadece bir söylemin tüm devamlı değişkenleriyle birlikte değerlendirilmesi gereken durumlarda kullanırız.  $a(1+r)^n$  söylemi artık  $n$  içerisinde ayrık durumdadır.  $\bar{S}_e$ 'nin üyelik fonksiyonu ise:

$$\bar{S}_e(x) = \max \{ \pi(a, r, n) \mid a(1+r)^n = x \}, \quad (3.11)$$

olur, eğer ki:

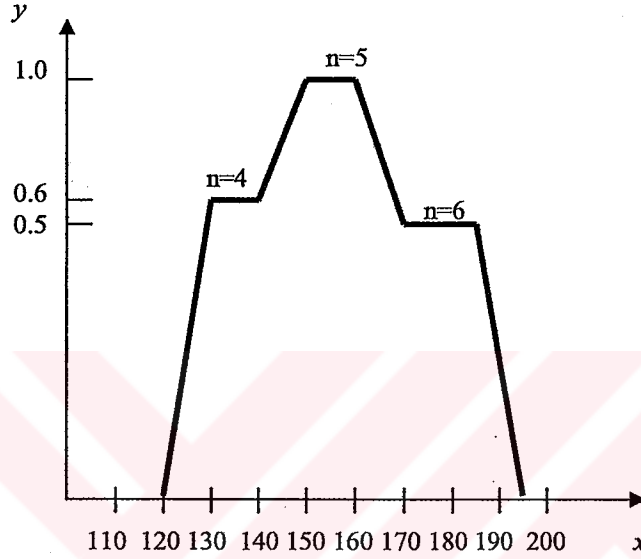
$$\pi(a, r, n) = \min \{ \bar{A}(a), \bar{r}(r), \bar{n}(n) \}. \quad (3.12)$$

$\bar{S}_e$ 'yi elde etmenin daha kolay bir yolu daha vardır.  $\bar{S}_{ni} = \bar{A}(1 + \bar{r})^{ni}, 1 \leq i \leq K$ . olduğunu kabul edelim.

$$\text{Önerme 3.1} \quad \bar{S}_e(x) = \max_{1 \leq i \leq K} \{ \min \{ \bar{S}_{ni}(x), \lambda_i \} \}.$$

Kanıt 3.1 Yukarıdaki denklemin sağ tarafını  $\Gamma(\alpha)$  olarak alalım.

Önce  $\bar{S}_e(x) \leq \Gamma(x)$  gösteririz.  $\bar{S}_e(x) = \gamma$  diye varsayalım. Mevcut olarak  $a, r, n = n_i$  vardır ve böylece  $\pi(a, r, n_i) = \gamma$ ,  $a(1+r)^{n_i} = x$  ve  $\bar{A}(a) \geq \gamma$ ,  $\bar{r}(r) \geq \gamma$  ve  $\lambda_i \geq \gamma$  olmaktadır.  $n = n_i$  vasıtasıyla  $\bar{S}_e$ 'yi  $\bar{S}_{ni}$  olarak adlandıralım. (3.4) ve (3.5) denklemlerinden  $x \in \bar{S}_{ni}[\gamma]$  elde ederiz. Öyleyse  $\bar{S}_{ni}(x)$  ve  $\lambda_i$  minimumları,  $\gamma$ 'den büyük yada eşittir. Bununla birlikte  $\Gamma(x) \geq \gamma = \bar{S}_e(x)$ .



Şekil 3.1 :  $\bar{S}_e = \bar{A}(1+\bar{r})^{\bar{n}}$

Şimdi  $\Gamma(x) \leq \bar{S}_e(x)$  olduğunu gösterin. Bırakın  $\Gamma(x) = \gamma$  olsun.  $I$  ve  $K$  arasında  $i$  vardır ki,  $\min\{\bar{S}_{ni}(x), \lambda_i\} = \gamma$  olmaktadır. Bununla birlikte  $\bar{S}_{ni}(x) \geq \gamma$  ve  $\lambda_i \geq \gamma$  olur. Öyleyse  $x \in \bar{S}_{ni}[\gamma]$  ve bir de  $a \in \bar{A}[\gamma]$ ,  $r \in \bar{r}[\gamma]$  vardır ki  $x = a(1+r)^{n_i}$  olur. Bu da  $\pi(a, r, n_i) \geq \gamma$  ve  $a(1+r)^{n_i} = x$  demektir. Ayrıca  $\bar{S}_e(x) \geq \gamma$ . Önerme 3.1 bize kolayca  $\bar{A}(1+\bar{r})^{\bar{n}}$  hesaplama imkanı verir. Önce (3.6) ve (3.7) veya (3.8) denkleminde olduğu şekliyle  $\bar{S}_{ni}$ ,  $1 \leq i \leq K$  olduğunu buluruz. Her  $\bar{S}_{ni}$ 'yi  $\lambda_i$  yüksekliğinde kesen ve ortaya çıkan bulanık kümelerin maksimumunu alın.  $\bar{A} = (90/100, 100/110)$  ve  $\bar{r} = (0.07/0.08, 0.09/0.10)$ ,  $n$  değerlerinin de: (1)  $n_1 = 4$ ,  $\lambda_1 = 0.6$ , (2)  $n_2 = 5$ ,  $\lambda_2 = 1.0$  ve (3)  $n_3 = 6$ ,  $\lambda_3 = 0.5$  olduğunu düşünelim.  $\bar{S}_e$ ,

Şekil 3.1’de gösterilmektedir. İkizkenar bulanık sayılar olan  $\bar{S}_{ni}$ ,  $i=1,2,3,, \bar{S}_e$ ’ye toplandığında yok olmaktadır.  $\bar{S}_e$  ise bulanık bir sayı olmayabilir.

### 3.3. Şimdiki Değer

Dönem başına  $r$  faiz oranlı,  $n$  dönem vadeli bir meblağ olan  $A$ ’nın, şimdiki değerini bulmak istiyoruz.  $A$ ’nın şimdiki değeri  $S$  olsun.  $S$ ’nin hesaplanması için iki yol vardır. İlk yöntemle göre  $A$ ’nın şimdiki değeri  $S_1$ ’e eşittir, eğer  $S_1$ ’i bugün, dönem başına  $r$  oranıyla yatırırsanız,  $n$  dönem sonunda  $A$  olarak birikir. Buna göre,  $S_1$  çözümü şu olur:

$$S_1 (1+r)^n = A \quad (3.13)$$

İkinci yöntem ise,  $S_1$  için (3.13) denklemini çözerek şunu elde etmektir:

$$S_2 (1+r)^{-n} \quad (3.14)$$

Bulanık olmayan matematikte  $S_1 = S_2$ , ancak bulanık matematikte ise, iki yöntemin sonuçları farklı olabilir. Şimdi  $A$ ’dan  $\bar{A}$ ’yı ve  $r$ ’den  $\bar{r}$ ’yi çıkartalım ve  $S_1$  ile  $S_2$ ’yi çözelim. Finansta çok sık olarak vadeli nakit miktarları olan  $A$  tahminleri yapılır. Genellikle konunun uzmanları tarafından beklenen değerler veya diğer istatistiksel tekniklere dayanarak  $A$ ’nın değeri elde edilir. Bulanık matematik ise  $A$  için kullanılacak kesin bir değer elde edilmesinde seçenek sunar.  $\bar{A}$ , ikizkenar bulanık bir sayı olacaktır  $(a_1/a_2, a_3/a_4)$  ve bunun anlamı da vadeli değerın yaklaşık olarak  $a_2$  ile  $a_3$  arasında olacağıdır. Önce  $\bar{S}_1$  için çözüm yapar ve  $\bar{S}_{1c}$ ,  $\bar{S}_{1e}$  ve  $\bar{S}_{1f}$  olarak üç tane sonuç elde edeceğiz. Klasik çözüme göre:

$$\bar{S}_{1c} (1+\bar{r})^n = \bar{A} \quad (3.15)$$

alfa kesmelerini yapınca şunu elde ederiz:

$$[S_{1c1}(\alpha), S_{1c2}(\alpha)][w_1(\alpha), w_2(\alpha)] = [a_1(\alpha), a_2(\alpha)] \quad (3.16)$$

ki bu durumda:

$$w_i(\alpha) = (1 + r_i(\alpha))^n \quad (3.17)$$

$i = 1, 2$ . Şimdi  $\bar{A} \geq 0$ , yani  $\bar{S}_{1c} \geq 0$ . Böylece şunu elde ederiz:

$$S_{1c1}(\alpha) = \frac{a_1(\alpha)}{(1 + r_1(\alpha))^n}, \quad (3.18)$$

$$S_{1c2}(\alpha) = \frac{a_2(\alpha)}{(1 + r_2(\alpha))^n}. \quad (3.19)$$

$[S_{1c1}(\alpha), S_{1c2}(\alpha)]$  “aralığı”,  $\bar{S}_{1c}$  bulanık sayısını tanımlayabilir veya tanımlamayabilir.  $\bar{S}_1$  ile devam ettiğimizde,  $\bar{S}_{1e}$  çözümü  $a/(1+r)^n$  şeklinde bulanıklaşır.  $\bar{S}_{1e}$ ’nin alfa kesmeleri ise şu şekildedir:

$$\bar{S}_{1e1}(\alpha) = \min \left\{ \frac{a}{(1+r)^n} \mid a \in \bar{A}[\alpha], r \in \bar{r}[\alpha] \right\}, \quad (3.20)$$

$$\bar{S}_{1e2}(\alpha) = \max \left\{ \frac{a}{(1+r)^n} \mid a \in \bar{A}[\alpha], r \in \bar{r}[\alpha] \right\}. \quad (3.21)$$

$$\bar{S}_{1e}[\alpha] = \left[ \frac{a_1(\alpha)}{(1+r_2(\alpha))^n}, \frac{a_2(\alpha)}{(1+r_1(\alpha))^n} \right]. \quad (3.22)$$

Son olarak,  $\bar{S}_{1e}[\alpha]$  ise şundan elde edilir:

$$\frac{\bar{A}[\alpha]}{(1 + \bar{r}[\alpha])^n} \quad (3.23)$$

Tabii ki  $\bar{A}[\alpha]$  ve  $\bar{r}[\alpha]$ 'den aralıkları çıkarttıktan ve aralık aritmetiği kullanılarak basitleştirildikten sonra. Böylece görürüz ki  $\bar{S}_{1e} = \bar{S}_{1l}$ .  $\bar{S}_2$ 'ye dönersek, elimizde sadece  $\bar{S}_{2e}$  ve  $\bar{S}_{2l}$  vardır. Uzatım prensibi kullanıldığında  $\bar{S}_{2e} = \bar{S}_{1e}$  olacaktır. Bununla birlikte,  $\bar{S}_{1e} = \bar{S}_{2e}$ . Ayrıca  $\bar{S}_{2l}$  sadece denklem (3.23)'tür. Buna göre,  $\bar{S}_{1e} = \bar{S}_{1l} = \bar{S}_{2e} = \bar{S}_{2l}$  olur. Eğer  $\bar{S}_{1c}$  mevcut ise,  $\bar{A}$  ve  $\bar{r}$ 'nin  $A$  ve  $r$ 'den çıkartıldığı ve alfa kesmeler ile aralık aritmetiği vasıtasıyla değerlendirilen (3.13)'ü tatmin eden tek çözüm budur.  $\bar{S}_{1c}$ , şimdiki değer denklemini tatmin ettiği için, çözüm stratejimiz şudur: (1) mevcut olduğu hallerde  $\bar{S}_{1c}$ 'yi seçin; ve (2) eğer  $\bar{S}_{1c}$  yoksa,  $\bar{S}_{1e} = \bar{S}_{2e}$ 'yi kullanın.  $\bar{A} = (8000/10000, 12000/14000)$  ve  $\bar{r} = (0.05/0.06, 0.06/0.07)$  diye varsayalım. Eğer  $n=10$  ise, o zaman  $\bar{S}_{1c}$  mevcuttur çünkü:

$$S_{1c1}(\alpha) = \frac{(8000 + 2000\alpha)}{(1.05 + 0.01\alpha)^{10}} \quad (3.24)$$

$$S_{1c2}(\alpha) = \frac{(14000 - 2000\alpha)}{(1.07 - 0.01\alpha)^{10}} \quad (3.25)$$

$0 \leq \alpha \leq 1$ , ikizkenar bir bulanık sayının alfa kesmelerini tanımlar. Şimdi  $n$  bir pozitif tamsayı bulanık kümesi olmasına göz yumuyoruz çünkü geleceğe yönelik faiz dönemleri kesin değildir.  $\bar{A}$ 'nın şimdiki değeri için dikkate alacağımız şu iki denkleme sahibiz:

$$\bar{S}_1(1 + \bar{r})^{\bar{n}} = \bar{A}, \quad (3.26)$$

ve

$$\bar{S}_2 = \frac{\bar{A}}{(1 + \bar{r})^{\bar{n}}}, \quad (3.27)$$

ki bunlar da denklem (3.13) ve (3.14)'ten geliyor. Denklem (3.26)'yı ise iki sebepten dolayı kullanmayacağız: (1)  $\bar{S}_{1c}$  mevcut olmayabilir; ve (2) önemlisi  $(1 + \bar{r})^{\bar{n}}$  bir bulanık sayı olmayabilir ve bu yüzden de alfa kesmeler bir aralıklar bütünü olduğu

için standart aralık aritmetiğini kullanamayız.  $(1 + \bar{r})^{\bar{n}}$  'nin alfa kesmeleri tek bir aralık halinde olmadığında, denklem (3.26)'yı  $\bar{S}_{1c}$  'nin alfa kesmeleri için çözemeyiz. Bu yüzden, dikkate almak için elimizde sadece  $\bar{S}_{2e}$  bulunmaktadır.  $\bar{S}_{1e} = \bar{S}_{2e}$  olduğunu biliyoruz ve  $\bar{S}_{1l}$  ile  $\bar{S}_{2l}$  'yı ( $\bar{n}$  'nin alfa kesmeleri için aralık mevcut değildir) hesaplayamıyoruz. Uzatım vasıtasıyla görürüz ki:

$$\bar{S}_{2e}(\alpha) = \max \left\{ \pi(a, r, n) \mid a(1+r)^{-n} = x \right\} \quad (3.28)$$

ve  $\pi$  de denklem (3.12)'de verilmiştir. Eğer  $\bar{S}_{ni} = \bar{A}(1 + \bar{r})^{-n_i}$  diye yazarsak, o zaman:

$$\text{Önerme 3.2} \quad \bar{S}_{2e}(x) = \max_{1 \leq i \leq K} \left\{ \min \left\{ \bar{S}_{ni}(x), \lambda_i \right\} \right\}$$

Kanıt 3.2 Önerme 3.1 ile aynıdır.

### 3.4. Dönemsel Nakit Akışları

Sadece sıradan (düzenli) dönemsel nakit akışlarını dikkate alıyoruz ki bunlar: (1) ödeme dönemi eşittir faiz dönemi; ve (2) eşit dönemsel ödemeler olan  $A$ , her bir  $n$  döneminin sonunda gerçekleştirilir. Dönemsel nakit akışının önce gelecekteki değerine ve sonra da şimdiki değerine bakalım.

#### 3.4.1. Gelecek Değerler

Dönem başına  $r$  oranıyla  $n$  eşit ödemeler yapılan  $A$  dönemsel nakit akışının  $S$  vadeli değeri şudur:

$$S = A(1+r)^{n-1} + A(1+r)^{n-2} + \dots + A(1+r) + A, \quad (3.29)$$

veya

$$S = Aq(n, r), \quad (3.30)$$

eğer ki

$$q(n, r) = \frac{(1+r)^n - 1}{r} \quad (3.31)$$

Denklem (3.29)'u bulanıklaştırarak, aşağıdaki durum itibariyle  $\bar{S}$  'yi bulmak istiyoruz.

$$\bar{S} = \bar{A}(1+\bar{r})^{n-1} + \bar{A}(1+\bar{r})^{n-2} + \dots + \bar{A}(1+\bar{r}) + \bar{A} \quad (3.32)$$

$\bar{S}_e$  ve  $\bar{S}_l$  olmak üzere iki çözüm mevcuttur.  $\bar{S}_e$  uzatım prensibine dayanır ve onun alfa kesmeleri ise şöyledir:

$$S_{e1}(\alpha) = \min \{aq(n, r) \mid a \in \bar{A}[\alpha], r \in \bar{r}[\alpha]\} \quad (3.33)$$

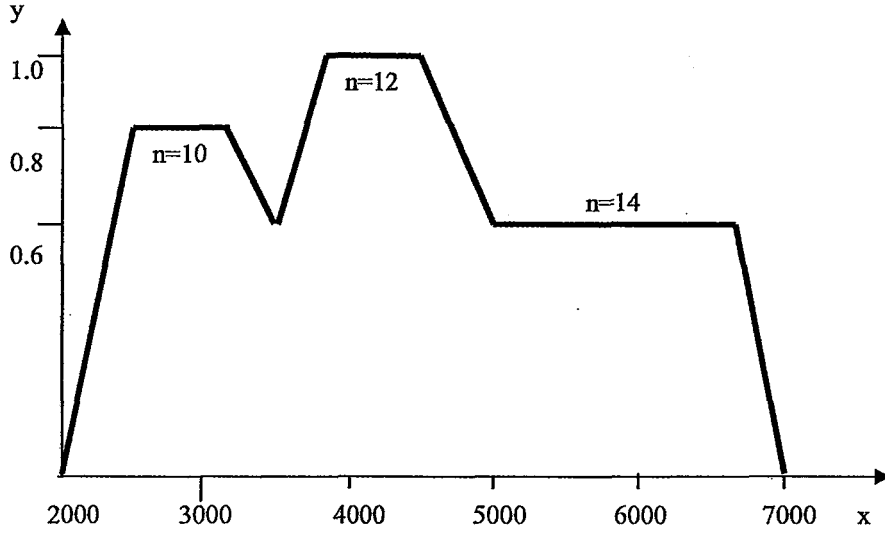
$$S_{e2}(\alpha) = \max \{aq(n, r) \mid a \in \bar{A}[\alpha], r \in \bar{r}[\alpha]\} \quad (3.34)$$

Zaten  $S$ ,  $a$  ve  $r$  'nin artan bir fonksiyonu olduğu için şunu elde ederiz:

$$\bar{S}_e[\alpha] = [a_1(\alpha)q(n, r_1(\alpha)), a_2(\alpha)q(n, r_2(\alpha))] \quad (3.35)$$

$0 \leq \alpha \leq 1$  .  $\bar{A} \geq 0$  ve  $\bar{r}$  ise  $[0,1]$  içerisinde. Şimdi  $\bar{S}_l$  eşittir  $\bar{S}_e$  olmayacaktır.  $\bar{S}_l[\alpha]$  ise  $\bar{A}[\alpha]q(n, \bar{r}[\alpha])$  olup,  $\bar{S}_l$  'nin alfa kesmesi olarak da şunu elde ederiz:

$$\left[ a_1(\alpha) \left( \frac{(1+r_1(\alpha))^n - 1}{r_2(\alpha)} \right), a_2(\alpha) \left( \frac{(1+r_2(\alpha))^n - 1}{r_1(\alpha)} \right) \right] \quad (3.36)$$



Şekil 3.2 : Bulanık Bir Dönemsel Nakit Akışının Gelecekteki Değeri

Bariz olarak,  $\bar{S}_e \leq \bar{S}_I$ . Çözüm olarak  $\bar{S}_e$ 'yi kullanacağız.  $n = \bar{n}$  diye varsayınca, sonlanma tarihi bulanık olmaktadır. Denklem (3.32)'de,  $1 \leq i \leq K$  iken,  $n = n_i$  diye varsayalım. Böylece önerme 3.1 ve 3.2'de olduğu şekilde şu sonucu elde ederiz:

$$\bar{S}_e(\alpha) = \max_{1 \leq i \leq K} \{ \min \{ \bar{S}_{ni}(\alpha), \lambda_i \} \} \quad (3.37)$$

$\bar{A} = (150/190, 200/220)$ ,  $\bar{r} = (0.06/0.09, 0.10/0.11)$  ve  $\lambda_1 = 0.8$  için  $n = n_1 = 10$ ,  $\lambda_2 = 1.0$  için  $n = n_2 = 12$  ve  $\lambda_3 = 0.6$  için ise  $n = n_3 = 14$  olsun. Bu bulanık dönemsel nakit akışının gelecekteki değeri olan  $\bar{S}_e$  Şekil 3.2'de gösterilmektedir. Bu, bulanık bir sayı değildir.

### 3.4.2. Şimdiki Değer

Düzenli bir dönemsel nakit akışının şimdiki değeri olan  $S$  şudur:

$$S = A(1+r)^{-1} + A(1+r)^{-2} + \dots + A(1+r)^{-n}, \quad (3.38)$$

veya

$$S = A\beta(n, r), \quad (3.39)$$

olup, şunun içindir:

$$\beta(n, r) = \frac{1 - (1 + r)^{-n}}{r}. \quad (3.40)$$

Bulanık bir dönemsel nakit akışının şimdiki değeri ise şudur:

$$\bar{S} = \bar{A}(1 + \bar{r})^{-1} + \bar{A}(1 + \bar{r})^{-2} + \dots + \bar{A}(1 + \bar{r})^{-n}. \quad (3.41)$$

Denklem (3.39)'u basitçe bulanıklaştırıyoruz.  $\bar{S}_e$ 'nin alfa kesmeleri ise şöyledir:

$$S_{e1}(\alpha) = \min \{a\beta(n, r) \mid a \in \bar{A}[\alpha], r \in \bar{r}[\alpha]\}, \quad (3.42)$$

$$S_{e2}(\alpha) = \max \{a\beta(n, r) \mid a \in \bar{A}[\alpha], r \in \bar{r}[\alpha]\} \quad (3.43)$$

$S$  şimdi  $A$ 'nın artan ve  $r$ 'nin eksilen bir fonksiyonu olduğuna göre:

$$\bar{S}_e[\alpha] = [a_1(\alpha)\beta(n, r_2(\alpha)), a_2(\alpha)\beta(n, r_1(\alpha))] \quad (3.44)$$

$0 \leq \alpha \leq 1$  olur. Yeniden  $\bar{S}_e \subset \bar{S}_I$  ve  $\bar{S}_e \neq \bar{S}_I$  elde etmiş olduk. Bu ise çözmek için iyi ve kısa bir uygulamadır:

$$\bar{A}[\alpha]\beta(n, \bar{r}(\alpha)), \quad (3.45)$$

$\bar{S}_I[\alpha]$  olup,  $\bar{S}_e \subseteq \bar{S}_I$ 'ya bakınız.  $\bar{S}_e$ 'nin şimdiki değer olduğunu öne sürüyoruz.  $n = \bar{n}$  bulanık ile de, yukarıdakine benzer sonuçlar elde ediyoruz (Önerme 3.1, 3.2 ve denklem (3.37)).

### 3.5. Portföy Analizi

Yatırım seçeneklerini kıyaslamakta (özellikle karşılıklı olarak) kullanılan en yaygın iki yöntem, Net Şimdiki Değer (NŞD) ve İç Verim Oranı (İVO) olmaktadır.

$A = A_0, A_1, \dots, A_n$  durumunun,  $n$  vade dönemleri için önerilen bir yatırım projesinin verilen yada tahmin edilen net nakit akışı olduğunu varsayalım. Eğer  $A_i < 0$  ise, o zaman projenin sonunda, yani  $i$  dönem sonundaki net yatırım (toplam yatırım eksi toplam geri dönüş)  $A_i$  olacaktır. Biz ise  $A_0 < 0$  olarak varsayıyoruz, çünkü bu bir yatırım projesi olup, her zaman için bir başlangıç yatırımıyla işe başlanır. İlk olarak Net Şimdiki Değer yöntemini tartışacağız.

### 3.5.1. Net Şimdiki Değer (NŞD, NPV) Yöntemi

Net Şimdiki Değer yönteminde, (şimdiki değer yöntemi, iskontolanmış şimdiki değer yöntemi) firmanın uygun sermaye maliyeti ( $r_0$ ), eksi tüm başlangıç nakit giderleri olmak üzere, iskontolanmış tüm gelecekteki net geri dönüşlerin şimdiki değeri elde edilebilir. Buna göre,  $A = \bar{A}_0, \bar{A}_1, \dots, \bar{A}_n$  nakit akışı Net Şimdiki Değer'i de şu olmaktadır:

$$NPV(A, n) = \sum_{i=0}^n A_i (1 + r_0)^{-i}. \quad (3.46)$$

Karar aşamasında olan ve  $A, \beta, \dots$  nakit akışlarına sahip çok sayıda yatırım teklifi bulunduğunu düşünün. Bunların Net Şimdiki Değeri açısından sıralanması için, en yüksek ve en düşük Net Şimdiki Değerlerine göre derecelendirildiğini ve firmanın yatırım sermayesi tükeninceye dek yatırım tercihlerinin yapıldığını kabul edelim. Her ne kadar ilk bakışta bu işlem mantıklı gibi görünse de, tüm gelecekteki nakit akışlarının ve  $r_0$  faiz oranının önceden tahmin edilir. Buna göre, artık  $\bar{A} = \bar{A}_0, \dots, \bar{A}_n$  bulanık nakit akışını,  $\bar{r}_0$  bulanık faiz oranını firmanın sermaye maliyeti açısından dikkate almalıyız.  $\bar{A}_0$  negatif bir bulanık sayıdır ve diğer  $\bar{A}_i$  ise ya negatif yada pozitif bulanık sayılardır.  $\bar{A}$ 'nın bulanık net şimdiki değeri şudur:

$$NPV(\bar{A}, n) = \bar{A}_0 + \sum_{i=1}^n \bar{A}_i (1 + \bar{r}_0)^{-i}. \quad (3.47)$$

Bu söylemi öncelikle uzatım ile değerlendiriyoruz ve ortaya  $NPV_e(\bar{A}, n)$  çıkıyor ki bunun alfa kesmeleri şunlardır:

$$npv_{e1}(\alpha) = \min \left\{ a_0 + \sum_{i=1}^n a_i (1+r_0)^{-i} \mid a_i \in \bar{A}_i[\alpha], 0 \leq i \leq n, r_0 \in \bar{r}_0[\alpha] \right\}, \quad (3.48)$$

$$npv_{e2}(\alpha) = \max \left\{ a_0 + \sum_{i=1}^n a_i (1+r_0)^{-i} \mid a_i \in \bar{A}_i[\alpha], 0 \leq i \leq n, r_0 \in \bar{r}_0[\alpha] \right\}. \quad (3.49)$$

$a_0 + \sum_{i=1}^n a_i (1+r_0)^{-i}$  söyleminin  $a_i, 0 \leq i \leq n$  içerisinde arttığını görüyoruz. Eğer  $\bar{A}_i[\alpha] = [a_{i1}(\alpha), a_{i2}(\alpha)]$ ,  $0 \leq i \leq n$  ise, o zaman  $a_{i1}(\alpha)(a_{i2}(\alpha))$  ile  $a_i$ 'yi ikame ettirerek,  $npv_{e1}(\alpha)(npv_{e2}(\alpha))$  elde ederiz. Ancak,  $r_0$  için  $npv_{ei}(\alpha), i=1,2$  'de hangi değer kullanıldığını görebilmek zordur. Bu yüzden de  $NPV_e(\bar{A}, n)$  'nin alfa kesmelerini hesaplayabilmek için bazı sayısal işlemler tasarlamak zorundayız. Daha sonra bize  $NPV_I(\bar{A}, n)$  sonucunu veren denklem (3.47)'yi değerlendirmek için alfa kesmeleri ve aralık aritmetiği kullanmak durumundayız.  $\bar{A}_i(\bar{A}, n)$ 'yi hesaplarken de, aralık aritmetiği açısından iki noktayı aklımızda tutmamız gerekiyor. Bunlar da, pozitif aralıklar için  $[a_1, b_1] \cdot [a_2, b_2] = [a_1 a_2, b_1 b_2]$  ama eğer  $[a_1, b_1]$  negatif ve  $[a_2, b_2]$  pozitif ise, o zaman  $[a_1, b_1][a_2, b_2] = [a_1 b_2, b_1 a_2]$  olduğudur.  $\bar{r}_0[\alpha] = [r_1(\alpha), r_2(\alpha)]$  diye kabul edelim. Öyleyse  $\bar{A}_i[\alpha](1+\bar{r}_0[\alpha])^{-i}$  şöyle olacaktır:

$$[a_{i1}(\alpha), a_{i2}(\alpha)] \left[ (1+r_2(\alpha))^{-i}, (1+r_1(\alpha))^{-i} \right] \quad (3.50)$$

eğer ki  $[a_{i1}(\alpha), a_{i2}(\alpha)]$  pozitif yada negatif ise. Tablo 3.1'de iki adet bulanık net nakit akışı verilmiştir. Tablo 3.1'deki  $\bar{A}$  için  $NPV_e(\bar{A}, 5)$  ve  $NPV_I(\bar{A}, 5)$  'i hesaplayacağız. Dikkat ederseniz eğer, geleceğe uzandıkça  $a_i$  değerlerindeki belirsizlik artmaktadır.  $r_0$  için (0.08/0.10, 0.10/0.12) kullanacağız.

$NPV_I(\bar{A}, 5)$  Şekil 3.3'te gösterilmiştir.  $NPV_I(\bar{A}, 5)$  'i hesaplamak kolaydır çünkü  $\bar{A}_i > 0, 1 \leq i \leq 5$  'tir.  $NPV_I(\bar{A}, 5)$ 'in alfa kesmeleri şöyledir:

$$npv_{I1}(\alpha) = a_{01}(\alpha) + \sum_{i=1}^n a_{i1}(\alpha) (1+r_2(\alpha))^{-i}, \quad (3.51)$$

$$npv_{12}(\alpha) = a_{02}(\alpha) + \sum_{i=1}^n a_{i2}(1 + r_1(\alpha))^{-i}. \quad (3.52)$$

Tablo 3.1 Örnekler için Bulanık Net Nakit Akışları

| Proje A                                 | Proje B                                 |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
| $\bar{A}_0 = (-1100/-1000, -1000/-900)$ | $\bar{B}_0 = (-1100/-1000, -1000/-900)$ |
| $\bar{A}_1 = (450/500, 500/550)$        | $\bar{B}_1 = (50/100, 100/150)$         |
| $\bar{A}_2 = (350/390, 410/450)$        | $\bar{B}_2 = (150/190, 210/250)$        |
| $\bar{A}_3 = (250/280, 320/350)$        | $\bar{B}_3 = (250/280, 320/350)$        |
| $\bar{A}_4 = (150/170, 230/250)$        | $\bar{B}_4 = (350/370, 530/550)$        |
| $\bar{A}_5 = (50/60, 140/150)$          | $\bar{B}_5 = (550/570, 630/650)$        |

Artık Tablo 3.1'deki proje  $\bar{A}$  için her bir  $a_i \in \bar{A}[\alpha]$  pozitifdir ve  $1 \leq i \leq n$ ,  $\alpha \in [0,1]$ .

Yani  $a_0 + \sum_{i=1}^n a_i (1 + r_0)^{-i}$  söylemi  $r_0$ 'ın azalan bir fonksiyonudur. Bununla birlikte denklem (3.48) ve (3.49)'da denklem (3.51) ve (3.52)'e dönüşür ve  $NPV_e(\bar{A}, 5) = NPV_i(\bar{A}, 5)$  'tir. Aynı şey Tablo 3.1'deki proje  $\bar{B}$  için de geçerlidir. Bu sebepten dolayı  $NPV_i(\bar{A}, 5)$ , Şekil 3.3'te  $NPV_e(\bar{A}, 5)$  olarak adlandırılmıştır. Şekil 3.3'te  $NPV_e(\bar{A}, 5)$ , ikizkenarlı bir bulanık sayı olarak görünse dahi, aslında bir ikizkenar bulanık sayıdır ki bu da ikizkenar bir bulanık sayıdan hafifçe farklılık gösterir. Projenin sona erme tarihi belirsiz olabilir ve bu yüzden de  $n = \bar{n}$  de bulanık bir sayıya dönüşür.  $\lambda_1, \dots, \lambda_K$  olasılıkları ile beraber  $\bar{n}$ 'in aldığı değerler  $n_1 < n_2 < \dots < n_K$  şeklinde olmaktadır. Biz,  $N = \bar{n}$  olmak üzere  $\bar{A} = \bar{A}_0, \dots, \bar{A}_N$  şeklinde bulanık bir nakit akışına sahip olduğumuzu varsayıyoruz. Şimdilik elimizde sadece  $NPV_e(\bar{A}, \bar{n})$  bulunmaktadır. Net şimdiki değer, uzatım prensibi kullanılarak sağlanmaktadır. Daha öncesinde de olduğu gibi (Önerme 3.1, 3.2 ve denklem (3.37)),  $\bar{A}_i > 0, 1 \leq i \leq n[5]$  elde edilmektedir.

$$NPV_e(\bar{A}, \bar{n}) = \max_{1 \leq i \leq K} \{ \min \{ NPV_e(\bar{A}, n_i), \lambda_i \} \} \quad (3.53)$$

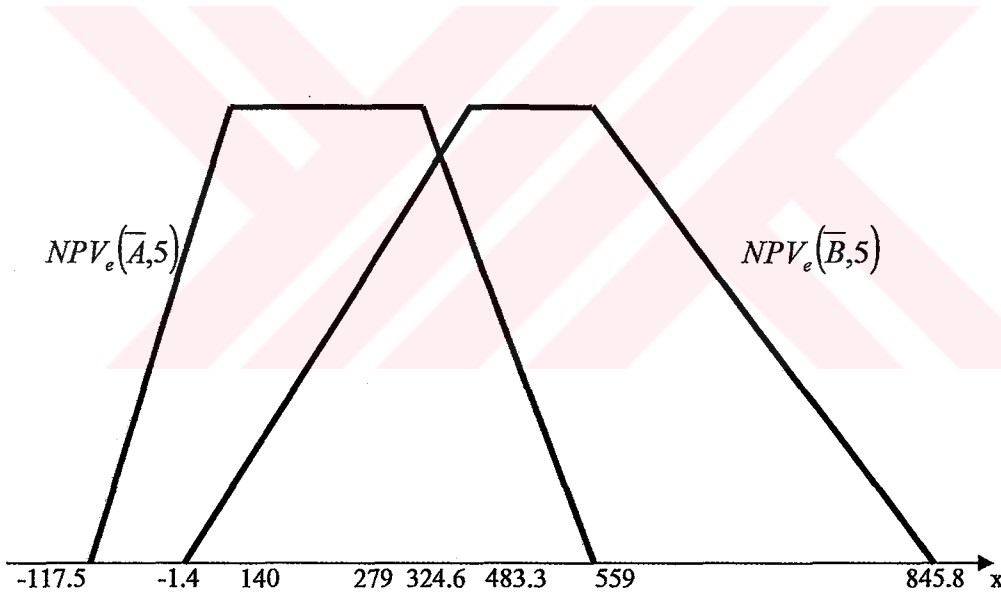
Şimdi, bağlantılı olarak sabitlenmiş  $n_a, n_b, n_c, \dots$ , sona erme günlerine sahip olan  $\bar{A}, \bar{B}, \bar{C}, \dots$ , bulanık nakit akışlı çok sayıda yatırım seçeneklerimiz olduğunu

varsayalım. Bunların net şimdiki değerlerini belirlemek için de uzatım prensibini kullanacağız. Yani  $NPV_e(\bar{A}, n_a), NPV_e(\bar{B}, n_b), NPV_e(\bar{C}, n_c), \dots$  bulanık sayılarını hesaplayacağız. Yapmamız gereken iki şey var : (1) Eğer  $NPV_e(\bar{D}, n_d) > \bar{0}$  değilse  $\bar{0}$  uygun bir bulanık sıfır ise, bir proje  $\bar{D}$ 'yi göz önüne almayın; ve (2) göz önüne alınmamış olan tüm seçenekleri “en iyiden”, “en kötüye” doğru sıralayın. Uygun bir bulanık sıfır ise, nakit akışlarındaki para miktarına bağlıdır. Örneğin, eğer bu miktar, milyonlar ile ifade ediliyorsa o zaman,  $\bar{0} = (-100.000/0.0, 0.0/100.000)$  bulanık sıfır için bir seçim olabilir. Bulanık sayıları derecelendirmek, bulanık dizin teorisinde hep önemli bir konu başlığı olmuştur. Eğer  $\bar{M}$  ve  $\bar{N}$  iki adet bulanık sayı ise,  $\bar{M} < \bar{N}$ ,  $\bar{M} \leq \bar{N}$  tanımı için bir çok öneri olacaktır. Buckley (1985a) ve Buckley (1985b)'de belirtilen yöntemi kullanacağız. Tanım:

$$v(\bar{M} \geq \bar{N}) = \max_{x \geq y} \{\min\{\bar{M}(x), \bar{N}(y)\}\} \quad (3.54)$$

$\bar{M} > \bar{N}$  diye yazıyoruz, eğer ki  $v(\bar{M} > \bar{N}) = 1$  ve  $v(\bar{N} \geq \bar{M}) < \theta$  olup  $\theta$  da  $(0,1]$  içerisinde sabit bir değer ise. Genellikle  $\theta = 0.8$  olarak kullandık. Eğer  $\bar{M} > \bar{N}$  doğru değil,  $\bar{N} > \bar{M}$  de doğru değil ise, o zaman  $\bar{M} \approx \bar{N}$  diye yazarız.  $\bar{M} \geq \bar{N}$  ifade eder ki:  $\bar{M} > \bar{N}$  veya  $\bar{M} \approx \bar{N}$ .  $\bar{M}_i, 1 \leq i \leq m$  bulanık sayılar dizinini derecelendirmek için  $M = \{\bar{M}_i, | 1 \leq i \leq m\}$ 'in boş olmayan ayırık alt kümelerini oluştururuz çünkü  $H_i, 1 \leq i \leq L$ 'nin birleşimi  $M$ 'dir. En yüksek dereceli bulanık sayılar  $H_1$ 'e daha sonraki dereceli olanlar  $H_2$ 'e ait olurlar. Artık  $H_1, M$  içerisinde bulunan baskın olmayan tüm  $\bar{M}_i$ 'leri içerir. Bu da  $\bar{M}_i \in H_1$  olup, eğer  $\bar{M}_j > \bar{M}_i$  doğru değilse, o zaman  $1 \leq j \leq m$  demektir.  $H_2$  ise,  $M - H_1$  içerisindeki baskın olunmamış tüm  $\bar{M}_i$ 'lerdir, vesaire.  $>, \geq, \approx$  ve  $H_i$ 'nin içerikleri Buckley (1985a) ve Buckley (1985b)'de bulunabilir. Sonra da bu yöntemi göz önüne alınmayan net şimdiki değerlerin derecelendirmesinde kullanıyoruz. Tablo 3.1'deki iki adet bulanık nakit akışlarını kıyaslıyoruz. Önceki gibi  $\bar{r}_0$  için aynı değeri kullanıyoruz.  $NPV_e(\bar{A}, 5)$  ve  $NPV_e(\bar{B}, 6)$  grafikleri, Şekil 3.3'tedir. Tablo 3.1 için  $NPV_e(\bar{A}, 5) = NPV_e(\bar{A}, 5)$  ve  $NPV_e(\bar{B}, 6) = NPV_e(\bar{B}, 6)$  olduğunu hatırlayın. Makul bir  $\bar{0}$ ,  $(-200/0.0, 0.0/200)$  olacaktır ve görüyoruz ki,  $\theta = 0.8$  olarak kullanıldığında, her

iki net şimdiki değer de  $\bar{0}$  'ı geçiyor. Ayrıca Şekil 3.3'teki yatay çizgiyi  $\alpha = 0.8$  ile kullanınca,  $NPV_e(\bar{B},6) \approx NPV_e(\bar{A},5)$  olarak sonuç alıyoruz. Aslında hesaplamış olduğumuz şudur : (1)  $\bar{0}$  ile  $NPV_e(\bar{A},5)$ 'in  $[-117,200]$  aralığındaki kesişme yüksekliği  $0.69 < \theta = 0.8$  idi; ve (2)  $NPV_e(\bar{A},5)$  ile  $NPV_e(\bar{B},6)$ 'nın  $[-1.4,559]$  aralığındaki kesişme oranı da  $0.92 > \theta = 0.8$  idi. Eğer sona erme tarihleri belirsiz ise, o zaman elimizde  $NPV_e(\bar{A},\bar{n}_a), NPV_e(\bar{B},\bar{n}_b), \dots$  vardır. Bulanık nakit akış sayıları pozitif,  $i \geq 1$  olduğunda, net şimdiki değeri elde etmek için denklem (3.53)'ü kullanabiliriz. Aksi takdirde, uzatım prensibi kullanılmalıdır. Net şimdiki değer, bir bulanık sayı olmak zorunda değildir ama projeleri en iyi  $H_1$  'den, en kötü  $H_L$  'ye derecelendirmek için yine yukarıda tartışılan derecelendirme yöntemini kullanabiliriz.



Şekil 3.3 : Bulanık Net Değerler

### 3.5.2. İç Verim Oranı (İVO) Yöntemi

Yatırım seçeneklerinin derecelendirilmesinde şimdi de İç Verim Oranı yöntemine dönüyoruz. Gelecekteki nakit akışı  $A = A_0, \dots, A_n$  için dahili geri dönüş oranında  $(A, n)$  çözüm,  $r > -1$  için şudur:

$$\sum_{i=1}^n A_i (1+r)^{-i} = -A_0. \quad (3.55)$$

Başlangıç nakit gideri olarak  $A_0 < 0$  diye varsaydığımız için,  $-A_0$  pozitif demektir. Eğer nakit akışta bir işaret değişikliği varsa, o zaman denklem (3.55)'in  $r \geq -1$  için özel bir çözümü bulunmaktadır. Eğer nakit akışında birden fazla işaret değişikliği var ise, o zaman denklem (3.55)'in bir çözümü olmayabilir veya çoklu çözüm sunabilir. Bir nakit akışında, çoklu iç verim oranları bulunduğu zaman, İç Verim Oranı (İVO) yöntemi, yatırım seçeneklerini derecelendirmek için uygun görülmemektedir. Tüm projelerin tek İç Verim Oranı olduğunu varsayarsak, o zaman İç Verim Oranı  $IRR > r_0$  olan bu projeler en yüksekten en düşüğe doğru kendi İç Verim Oranı değeri doğrultusunda derecelendirilirler. Firma daha sonrasında bu projeleri sırayla ve yatırım sermayesi tükeninceye kadar kabul eder. Eğer Net Şimdiki Değer ile İç Verim Oranı işlemleri arasında mevcut çatışmalar olduğu tesbit edilirse, bu konuda uzmanların tavsiyelerini görmek amacıyla finansal yayınlara baş vurulmalıdır. Şimdi nakit akışları  $\bar{A} = \bar{A}_0, \bar{A}_1, \dots, \bar{A}_n$  bulanık diye varsayalım.  $\bar{A}_0$  bir negatif bulanık sayıdır ve diğer  $\bar{A}_i$  ise pozitif yada negatif bulanık sayılar olabilir. Bulanık iç geri dönüş oranları  $IRR(\bar{A}, n)$  ise bulanık bir faiz oranı  $\bar{r}$  olup, tüm nakit akışlarının şimdiki değerini, başlangıç nakit giderine eşit yapmaktadır. Buna göre de,  $\bar{r}$  bulanık sayısı, şunu tatmin etmektedir:

$$\sum_{i=1}^n A_i (1+\bar{r})^{-i} = -A_0. \quad (3.56)$$

Bu denklemi, (eğer var ise)  $\bar{r}_c = IRR_c(\bar{A}, n)$  için, alfa kesmeler ve aralık aritmetiği kullanarak çözmemiz gerekiyor. Ancak  $\bar{r}_c$  sık olarak mevcut bulunmaz.  $-\bar{A}_0 = (100/110, 110/120)$ ,  $\bar{A}_1 = \bar{A}_2 = (190/200, 300/310)$  olsun. O zaman  $(-\bar{A}_0)[\alpha] = [100 + 10\alpha, 120 - 10\alpha]$ ,  $\bar{A}_1[\alpha] = \bar{A}_2[\alpha] = [190 + 10\alpha, 310 - 10\alpha]$  demektir. Eğer  $\bar{r}_c[\alpha] = [r_{c1}(\alpha), r_{c2}(\alpha)]$  ise, o zaman şunları elde ederiz:

$$(190 + 10\alpha) \left( (1 + r_{c2}(\alpha))^{-1} + (1 + r_{c2}(\alpha))^{-2} \right) = 100 + 10\alpha; \quad (3.57)$$

$$(310 - 10\alpha) \left( (1 + r_{c1}(\alpha))^{-1} + (1 + r_{c1}(\alpha))^{-2} \right) = 120 - 10\alpha. \quad (3.58)$$

$\alpha = 1$  olsun ve  $r_{c1}(1)$  ile  $r_{c2}(1)$  'i çözsün. Denklemler şöyledir:

$$(1 + r_{c2}(1))^{-1} + (1 + r_{c2}(1))^{-2} = \frac{11}{20}, \quad (3.59)$$

$$(1 + r_{c1}(1))^{-1} + (1 + r_{c1}(1))^{-2} = \frac{11}{30}. \quad (3.60)$$

Çözüm şudur:  $r_{c2}(1) = 1.535 < 2.505 = r_{c1}(1)$ . Fakat bulanık bir rakam  $\bar{r}_e$  için, elimizde  $\bar{r}_e(1) \leq r_{c2}(1)$  olmalıdır. Gerçi,  $\bar{r}_e$  mevcut değildir. Sonra da  $\bar{r}_e = IRR_e(\bar{A}, n)$  'yi bulmaya çalışırız. Fakat  $r$  'yi bulanıklaştırmak için bir formüle gereksinim duyacağız. Bize aşağıdaki sonucu veren denklem (3.55)'i  $r$  için çözelim:

$$r = f(A_0, A_1, \dots, A_n) \quad (3.61)$$

Ancak,  $r$  için genel bir çözüm yoktur.  $\bar{r}_e$  'yi elde etmek için farklı bir yaklaşıma ihtiyacımız olacaktır. Bu da şunu tanımlar:

$$\Omega(\alpha) = \left\{ r \left| \sum_{i=1}^n a_i (1+r)^{-i} = -a_0, a_i \in \bar{A}_i[\alpha], 0 \leq i \leq n \right. \right\}. \quad (3.62)$$

$\Omega(\alpha)$  belirli şartlar altında, bir bulanık rakam olan  $\bar{r}_e$  'nın alfa kesmelerini tanımlar (Buckley, 1992). Gerekli olan şey, iç verim oranı denkleminin (3.55) tek bir çözüm üretmesidir. Biliyoruz ki, eğer  $a_i > 0, 1 \leq i \leq n$  ise, o zaman tek bir çözüm vardır. Öyleyse, eğer  $\bar{A}_i > 0, 1 \leq i \leq n$  ve  $\bar{A}_0 < 0$  ise, o zaman da:

$$\sum_{i=1}^n a_i (1+r)^{-i} = -a_0 \quad (3.63)$$

denkleminin tüm  $r$ , tüm  $a_i \in \bar{A}_i[\alpha]$ ,  $0 \leq i \leq n$ ,  $0 \leq \alpha \leq 1$  için tek bir çözümü var demektir. Bu durumda  $\Omega(\alpha)$  ise bulanık bir iç verim oranı sayısı olan  $IRR_e(\bar{A}, n)$  'nın alfa kesmelerini tanımlar. Ayrıca yine biliyoruz ki eğer  $\bar{r}_e$  varsa, o

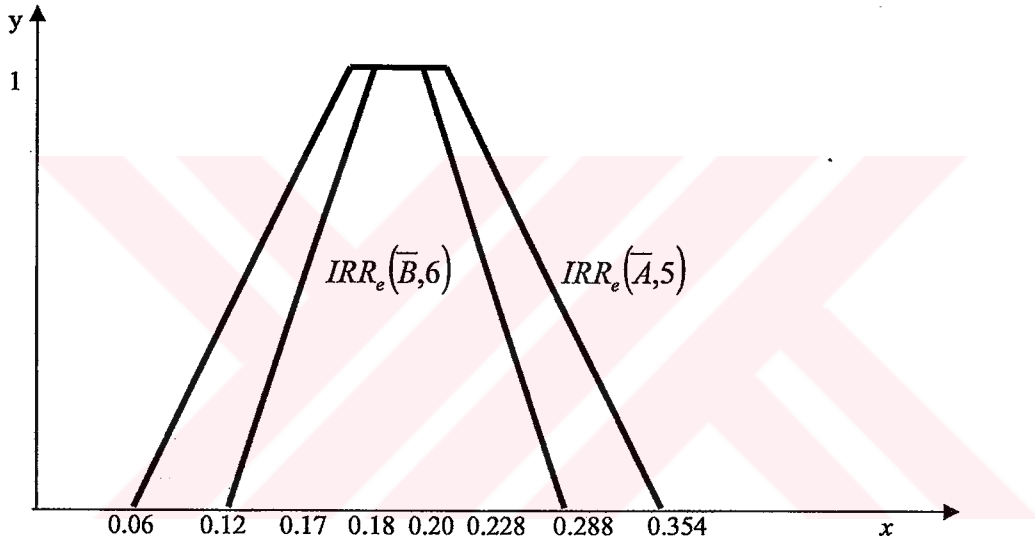
zaman  $IRR_c(\bar{A}, n) \leq IRR_e(\bar{A}, n)$  (Buckley, 1992). Tablo 3.1'deki bulanık nakit akışı  $\bar{A}$ 'yi kullanalım.  $\bar{r}_e = IRR_e(\bar{A}, 5)$  'i bulmaya çalışıyoruz. Fakat önceki sayısal örnekte olduğu gibi,  $r_{e2}(1) < r_{e1}(1)$  olduğunu keşfederiz, yani  $\bar{r}_e$  mevcut değildir.  $\bar{A}$ , bize  $\bar{r}_e = IRR_e(\bar{A}, n)$  alfa kesmelerini veren ve  $\Omega(\alpha)$  için yapılan varsayımları doğrular.  $\bar{r}_e = IRR_e(\bar{A}, 5)$ 'in alfa kesmeleri  $[irr_{e1}(\alpha), irr_{e2}(\alpha)]$  olsun diyelim.  $\bar{A}_i > 0, 1 \leq i \leq n$  olduğuna göre, alfa kesmelerini şöyle hesaplıyoruz : (1) denklem (3.63)'te  $a_i$  için  $a_{i1}(\alpha)$ ,  $1 \leq i \leq n$  ve  $a_0$  için  $a_{02}(\alpha)$  kullanmak üzere,  $r$  için tek çözüm  $irr_{e1}(\alpha)$  olmaktadır ; ve (2) denklem (3.63)'te  $a_i$  için,  $a_{i2}(\alpha)$  ve  $a_0$  için  $a_{01}(\alpha)$  kullanmak üzere,  $r$  için tek çözüm  $irr_{e2}(\alpha)$  olmaktadır. Sırada, Tablo 3.1'deki  $\bar{B}$ 'nin incelenmesi var. Bir kez daha  $IRR_c(\bar{B}, 6)$  mevcut değildir. Görüyoruz ki  $\bar{B}_i > 0, 1 \leq i \leq 6$  ve  $\bar{B}_0 < 0$  yani  $IRR_e(\bar{B}, 6)$  vardır ama  $\Omega(\alpha)$  'nın verdiği alfa kesmeleri ve  $\bar{A}_i$ 'yi ikame eden  $\bar{B}_i$  ile. Ayrıca  $IRR_e(\bar{B}, 6)$  'nın alfa kesmelerini de, yukarıda incelenen proje  $\bar{A}$  için kullanılmış olan aynı yöntemle bulduk ki, her iki bulanık geri dönüş oranları da Şekil 3.4'te mevcuttur. Görüyoruz ki,  $IRR_e(\bar{A}, 5) \approx IRR_e(\bar{B}, 6)$  olmaktadır. Eğer  $\bar{A}, \bar{B}, \bar{C}, \dots$  şeklinde çok sayıda bulanık nakit akışları varsa,  $IRR_e(\bar{A}, n_a), IRR_e(\bar{B}, n_b), IRR_e(\bar{C}, n_c), \dots$ 'yi hesaplıyor ve önerileri bu bulanık sayıları kullanarak derecelendiriyoruz. Olasılıkla  $IRR_c$ 'yi kullanmıyor olacağız çünkü onun bulanık nakit akışlarının bir tanesinde bile mevcut olmasını beklemiyoruz. Ancak,  $\bar{r}_0$ 'ın firmanın sermaye maliyeti olduğu ve  $IRR_e(\bar{D}, n_d) > \bar{r}_0$  'ın doğru olmadığı durumda, bir öneri  $\bar{D}$  ıskartaya çıkartmak zorundayız.  $\bar{r}_0 = (0.08/0.10, 0.10/0.12)$  olsun diyelim. Böylece Şekil 3.4'te  $IRR_e(\bar{B}, 6) > \bar{r}_0$  olur ve  $\bar{r}_0$  ile  $IRR_e(\bar{A}, 5)$  'in  $[0.0, 0.12]$  aralığındaki kesişme yüksekliğinin 0.45 olduğunu ve bu nedenle de  $IRR_e(\bar{A}, 5) > \bar{r}_0$  olduğunu görürüz.  $IRR_l(\bar{A}, n_a)$  'yi hesaplamıyoruz. Ya, sonlanma tarihi belirsiz ise ve bu yüzden de  $n = \bar{n}$  bulanıksa?  $\bar{r}_e = IRR_e(\bar{A}, \bar{n})$  'nin üyelik fonksiyonunu elde etmek için uzatım prensibi kullanıldığında aşağıdakini elde ederiz:

$$\bar{r}_e(x) = \max \left\{ \pi(a_0, \dots, a_n, n) \left| \sum_{i=1}^n a_i (1+x)^{-i} = a_0 \right. \right\}, \quad (3.64)$$

ki bu da şunun içindir;

$$\pi(a_0, \dots, a_n, n) = \min \{ \bar{A}_0(a_0), \dots, \bar{A}_n(a_n), \bar{n}(n) \} \quad (3.65)$$

Eğer  $\bar{A}_i > 0, 1 \leq i \leq N, N = n$ , ve  $\bar{A}_0 < 0$  ise,  $\bar{r}_e(x)$  için olan söylem, Önermeler 3.1.1 ve 3.2.1 ve denklem (3.37)'deki gibi basitleştirilebilir.



Şekil 3.4 : Bulanık iç geri dönüş oranları

### 3.6. Özet ve Sonuçlar

İlk üç kısımda nakit akışları, iskonto oranları ve bileşik faiz oranlarını tümüyle bulanık olduğu bir durumdayken vadeli değer, şimdiki değer, düzenli bir dönemsel nakit akışının gelecekteki değeri ve düzenli bir dönemsel nakit akışının şimdiki değerine göz attık. Sonra son kısımda ise, her ikisi de yatırım seçeneklerini kıyaslamakta kullanılan işlemler olan net şimdiki değer yöntemi (ŞDY) ve iç verim dönüş oranı yöntemini (İVO) bulanıklaştırdık. Bu da bulanık dizinlerin doğal bir uygulaması olarak görünüyor çünkü her iki yöntem de (ŞDY ve İVO) kolayca bulanık sayılar olarak model alınabilecek olan gelecekteki nakit akışlarını, tahmini

olarak içermektedir. Bulanık ŞDY ve İVO, vadeli bulanık nakit akışlarının tümüyle pozitif  $i \geq 1$  olduğu ve böylece hesap yapmanın da nispeten kolaylaştığı Tablo 3.1'i kullandılar. Eğer gelecekteki bulanık nakit meblağlarının bazıları negatif olsaydı, o zaman hesap yapmak çok daha zor olacaktı ve olasıdır ki, yaklaşık çözümler elde edebilmek için evrimsel algoritmamızı kullanacaktık.



## 4. YENİLEME KARARLARI

### 4.1. Giriş

Mart 1996'da, Hilton Mobilya Firması'nda Üretim Mühendisi olan Bn. Karen Horseford, 450 kg. kapasiteli endüstriyel bir forklifti yenilemek konusunda düşünüyordu. Bu forklift, birleştirilmiş mobilyayı boya bölümünden, cila bölümüne ve sonra da ambara taşımakta kullanılıyordu. Son zamanlarda ise, güvenilir olmaktan çıkmıştı ve sık sık arıza yapıyordu. Bakım masrafları devamlı yükselmiş ve yılda yaklaşık \$3.000'a ulaşmıştı. Çalışacak durumda olmadığına, firma mecburen başka bir tane kiralıyordu. Bunlara ek olarak bu forklift dizel motorluydu ve tesis çalışanları hava kirliliğinden şikayetçiydiler. Araç, 6 yıl önce \$15.000 maliyet ile alınmıştı. 8 yıl randımanlı kullanım ömrü ve bu süre sonunda da tahmini \$2.000 hurda değeri olması beklenmektedir. Tümüyle amorti etmiş olup, defter değeri yoktur. Forkliftin \$4.000'a satılabilmesi de mümkündür. Eğer kullanılmaya devam edilecek olursa, çalışır durumda tutabilmek için derhal \$1.500'lık bir bakım yapılması gerekecektir. Fakat bu bakım sonunda ne hizmet ömrü uzamış, ne de aracın değeri artmış olacaktır. Yenileme için iki tip forklift önerilmektedir. Biri elektrikle ve değeri ise benzinle çalışan türdendir. Elektrikli olan, hava kirliliği sorununu tümüyle giderecek ama aküsünün günde iki kez değişmesi gerekecektir ki, işletme maliyetleri bariz şekilde artacaktır. Benzinli olana ise, daha sık bakım yapmak gerekmektedir. Bayan Horseford firmanın elektrikli yada benzinli forklift alması konusunda bu aşamada kararsızdı. Yenileme için üst yönetimden yetki istemeden önce biraz hazırlık yapması gerektiğini düşündü. Aklına ilk gelen ise şu iki soru oldu: Acaba forklift onarılmalı mıydı, yoksa daha gelişmiş ve yakıt-etkin modellerden biriyle yenilenmeli miydi? Eğer yenilenmesine karar verilirse, bu işlem hemen mi, yoksa daha sonra mı yapılmalıydı?

İlk sorunun cevabının yakın bir gelecekte yenileme yapılması olduğu neredeyse kesindir. Forklift şimdilik onarılsa dahi, bir aşamadan sonra fiziksel ve fonksiyonel amortisman nedeniyle firmanın bu yeni forkliftlerin yakıt tüketiminde etkinlik ve

daha güvenli yükleme kapasitesi sağlayan teknolojik gelişmelerinden faydalanmak isteyecek olması olasıdır. İkinci sorunun yanıtı ise biraz belirsizdir. Tahminen mevcut forklifte onarım yaparak bir süre daha kullanılabilecek hale getirmek mümkündür ama bu yenilemeyi gerçekleştirmenin en uygun zamanı acaba nedir? Dahası, bu değişimin teknolojik açıdan en uygun zamanı nedir? Belki de şu anda pazarda mevcut olan herhangi bir forkliftle yenileme yaptıktan sonra, teknolojik açıdan daha gelişmiş bir forkliftin çıkmasını ve ticari olarak kabul görmesini bekleyerek, firmanın daha iyi sonuçlar elde etmesi mümkün olabilir. Uygulamada, kar sürdüren projelerde yeni makinelerin kıyaslanması daha seyrek olarak yapılır, çünkü yönetimin genellikle karşılaştığı problem, daha iyi ve verimli bir ekipman almak ya da mevcut ekipmanı kullanmaya devam etmek kararını verebilmektedir. Bu türden karar problemleri, yenileme problemleri olarak bilinir. Bu bölümde, yenileme probleminin üç temel özelliğini inceleyeceğiz (1) savunan ile aday arasında kıyaslama (2) ekonomik hizmet ömrünün belirlenmesi, ve (3) gereken hizmet süresinin uzun olması durumunda yenileme incelemesi yapılması.

#### **4.2. Savunan İle Aday Arasında Kıyaslama**

Yenileme projeleri, eskimiş ya da yıpranmış malların faaliyetlerin sürmesi açısından yenilenmesi gerektiği ve eğer yapılmazsa bahsedilen faaliyetlerin yavaşlayacağı ya da kesileceği durumlarına dair karar verme problemleridir. Soru ise, mevcut ekipmanın daha verimli bir ekipmanla ne zaman değiştirilecek olduğudur. Bu durum, boks dünyasında da kullanılan savunucu ile aday tanımlarının gündeme gelmesine sebep olmuştur. Her boks sıkletinde, mevcut şampiyon olan savunucu, sürekli olarak bu ünvanı ondan almak isteyen yeni bir aday ile karşılaşır. Yenileme incelemesinde ise, mevcut makine (ya da sistem) savunucu iken, uygun olan en iyi yenileme ekipmanı da aday olmaktadır.

#### **4.3. Mevcut Pazar Değeri ve Batmış Maliyetler**

Mevcut olan bir ekipman, ya yerine getirdiği görev artık gereksiz olduğu için ya da bu görev yeni ve daha iyi bir ekipman tarafından daha randımanlı şekilde gerçekleştirilebildiği için zaman içerisinde kullanımdan kaldırılacaktır. Ancak buradaki soru, mevcut ekipmanın kullanımdan kaldırılıp kaldırılmayacağı olmayıp,

kullanımdan ne zaman kaldırılacağıdır. Bu sorunun bir diğer türevi ise, onarım ya da bakım yaparak yenileme işlemini ertelemek yerine neden mevcut ekipmanı yenilemeye karar verdiğimizdir. Savunucu-Aday kıyaslamasının bir diğer yönü ise, en iyi adayın hangi ekipman olduğuna karar vermekle ilgilidir. Eğer savunucu, aday tarafından yenilecek ise, genel olarak olası seçeneklerin en iyi olanını edinmek isteriz.

#### 4.4. Mevcut Pazar Değeri

Mevcut ekipmanın yenilenmesine dair karşılaşılan en genel problem, incelemeyle ilgili olan mali bilginin belirlenebilmesidir. Çoğunlukla incelemenin içine ilgisiz birinin dahil edilmesine dair bariz bir eğilim oluşur. Karar vermeye dair bu tür bir problemi resmetmek için şu örneği inceleyelim: Yenileme incelemesine uygun olan bilgi: Macintosh Printing Inc., 2 yıl önce \$20.000'lık bir yazıcı almıştır. Firma, bu makinenin 5 yıl ömrü ve \$5.000 hurda değeri olduğunu öngörmektedir. \$20.000'lık sermaye harcamasının (yıllık amortismanlar: \$2.858, \$4.898, \$3.498, \$2.498, \$1.786, \$1.784, \$1.786 ve \$892 olmak üzere) 7 yıl içerisinde amorti edeceği beklenmektedir. Firma, bir önceki yıl onarımlar için \$5.000 harcamış olup, mevcut işletme maliyetleri de yıllık \$8.000 oranında gerçekleşmektedir. Dahası, tahmin edilen hurda değeri, yazıcının kalan kullanım ömrünün sonunda artık \$2.500 seviyesine inmiştir. Firma bunlara ek olarak, mevcut makinenin günümüzde \$10.000 pazar değeri olduğunu belirlemiştir. Eğer anlaşmaya varılırsa, ekipmanın bayisi bu meblağı firmanın ödemesinden düşmeyi de kabul edecektir. Bunlara göre, incelememizde savunucu ile ilintili olan değer(ler) nedir? Bu örnekte, savunucuya dair dört farklı dolar meblağı sunulmuştur: Gerçek maliyet: Yazıcı, \$20.000'a satın alınmıştı. Defter değeri: Gerçek değer – eksi – yarı yıl anlaşması (eğer artık satılmış ise) kullanılarak hesaplanan birikmiş amortisman.  $20.000 - (2.858 + 4.898 / 2) = 14.693$ . Pazar değeri: Firma, eski makinenin pazar değerini \$10.000 olarak tahmin etmektedir. Takas indirimi: Pazar değeriyle aynıdır. (Fakat bu değer, pazar değerinden farklı olabilir)

Bu örnekte ve tüm savunucu incelemelerindeki ilgili masraf, aslında ekipmanın mevcut pazar değeridir. Gerçek maliyet, defter değeri, onarım maliyeti ve takas değeri ise ilgili değildir. Yaygın bir yanlış anlama da, ekipmanın takas değerini

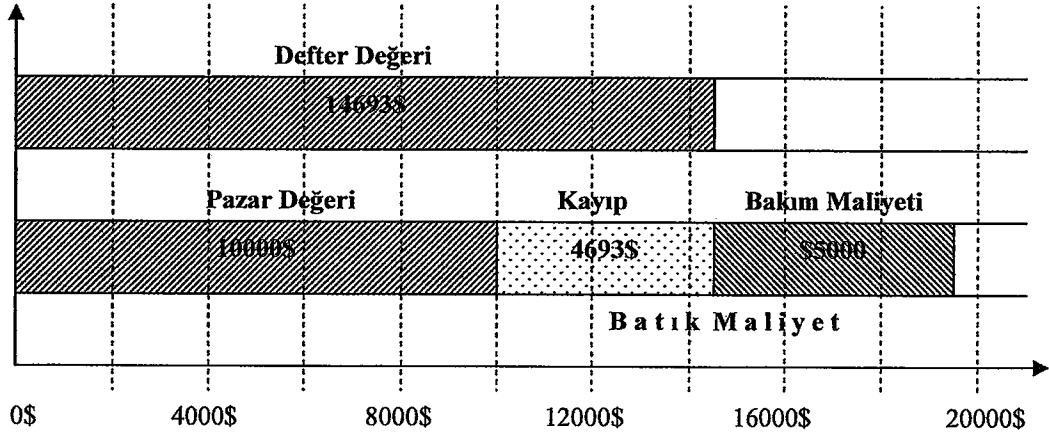
mevcut pazar değeriyle aynı almaktır. Aslında bu değer, ekipmana güncel bir değer biçmekte kullanmaya uygundur. Fakat bu her zaman doğru olmaz. Örneğin bir araba satıcısı, yeni arabanın fiyatını indirmek için genellikle müşterinin eski arabasına takas bedeli önerir. Acaba satıcı yeni arabayı satmıyor olsa, eski arabaya yine de aynı değeri önerir miydi? Genellikle pek öyle olmaz. Çoğu durumda takas değeriyle yapılacak indirim şişirilir ki, anlaşma iyi görünsün. Ama yeni arabanın fiyatı da biraz şişirilir ki, satıcının takas maliyeti dengelensin. Bu tür bir durumda takas değeri, malın gerçek değerini temsil etmez ve bu nedenle onu ekonomik incelememize dahil etmemeliyiz.

#### **4.5. Batmış Maliyetler**

Batmış maliyet, gelecekteki hiç bir yatırım kararından etkilenmeyecek olan eski maliyetlerin herhangi birisidir. Örnekte, yazıcının mevcut defter değeri (eğer şimdi satılırsa) \$14.693'dır ve pazar değeri de \$10.000'dır. Öyleyse makine hizmetten çıkartıldığında ortaya \$4.693'luk bir kayıp çıkacaktır. Eğer \$5.000'lik onarım maliyeti eklenirse takas yapıldığında toplam kazanılmamış yatırım miktarı \$9.693 olacaktır (Şekil 4.1). Ekonomik incelemede, malı çöpe atmaktan kaynaklanan kaybı, adayın maliyetine eklemek biraz cazip gelse de bu yanlıştır. Sadece gelecekteki maliyetler dikkate alınmalıdır; geçmiş yada batmış maliyetler gözardı edilmelidir. Dahası, yenileme incelemesinde savunucunun kullanılması gereken değeri, onun vergi sonrası mevcut pazar değeri olmalıdır, satın alındığı günkü maliyeti veya yapılmış olan onarımların maliyeti değil.

#### **4.6. Savunucunun Çöpe Atılmasındaki Kazançlar (Kayıplar)**

Yenileme çalışmaları, amortisman cetveli ve vergilendirilebilir kazançlar (veya kayıp borçları) konularının her ikisi üzerinde de bilgi sahibi olmayı gerektirir. Unutmayın ki, amortisman cetveli, malı edinme zamanında belirlenirken, kazanç etkisi ise malın çöpe atılması zamanındaki ilgili vergi yasasıyla belirlenir. Eğer bir mal belirli bir yeniden kazanma dönemi sırasında veya öncesinde çöpe atılırsa, çöpe atma yılı o yılın yıllık amortisman miktarının yarısı olarak fiyatlandırılır. Çünkü sıradan kazançlar (kayıplar) mevcut vergi yasaları tarafından sıradan gelir olarak işlem görür ve çöpe atma zamanındaki vergi anlayışı büyük ölçüde basitleştirilmiş olabilir.



Şekil 4.1 : Bir malın çöpe atılmasına bağlı olan batmış maliyet

Eski bir makinenin çöpe atılmasındaki net hasılat: Önceki örneğe bakarak, firmanın marjinal gelir vergi oranı % 40 iken eski yazıcıyı çöpe atmasından (7 yıllık kullanımlı bir mal) doğan vergilendirilebilir kazançları (veya kayıpları) belirleyin. Yarı yıl anlaşması artık tüm mallar için zorunlu olduğu için şunları hesaplıyoruz:

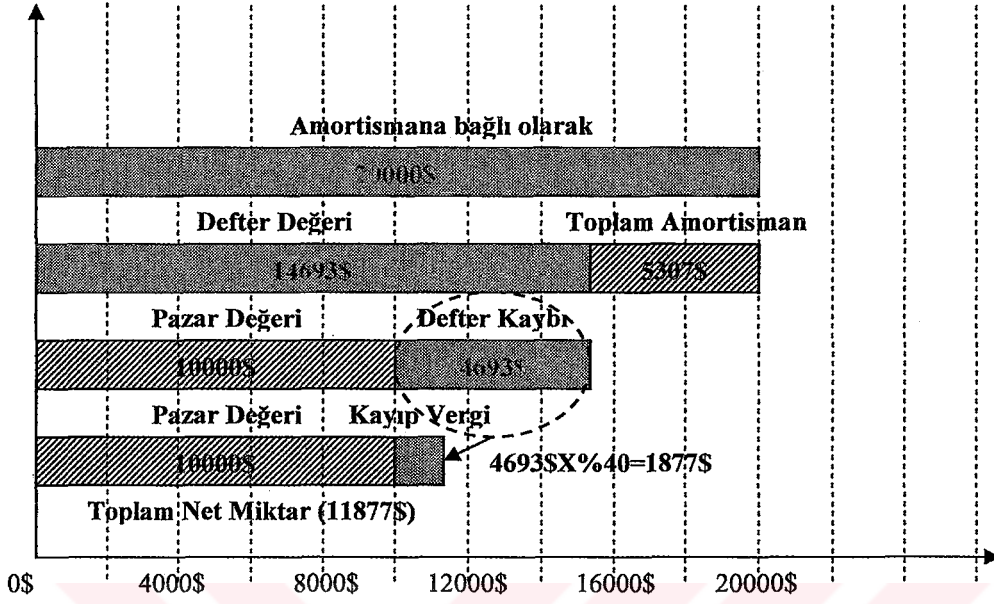
$$\begin{aligned}
 \text{İzin verilen defter değeri} &= \$14.693 \\
 \text{Mevcut pazar değeri} &= \$10.000 \\
 \text{Kayıplar} &= \$4.693 \\
 \text{Vergi tasarrufu} &= \$4.693(0.40) = \$1.877 \\
 \text{Satışın net hasılatı} &= \$10.000 + \$1.877 \\
 &= \$11.877
 \end{aligned}$$

Bu hesaplama, Şekil 4.2’de gösterilmiştir:

#### 4.7. Temel Yenileme Kararları

Yenileme projeleri her ne kadar incelediğimiz karşılıklı özel proje bir alt-kategorisi olsalar dahi, bunların değerlendirilmesinde özellikli kavramlar ve inceleme teknikleri kullanmamıza olanak veren kendilerine has özelliklere sahiptirler. Yenileme problemlerini incelemekte iki temel yaklaşımı ele alacağız: Nakit akış yaklaşımı ve fırsat maliyeti yaklaşımı. Hem savunanın hem de adayın şimdi başlayan ve aynı kullanım ömrüne sahip olduğu bir yenileme karar problemiyle başlayacağız.

Savunucu tahminen bir süre öncesinden beridir kullanılıyor ve savunucunun gerekli hizmet süresi de oldukça kısa.



Şekil 4.2 : Eski yazıcının-savunanın satışında doğru net hasılat

#### 4.8. Nakit Akış Yaklaşımı

İlk yöntem, yenileme seçeneklerinin tümünün inceleme süresi aynı oldukça ele alınmış olan nakit akış yaklaşımını kullanmaktadır. Diğer bir deyişle, her bir yenileme seçeneği için, gerçek nakit akış sonuçlarını açık olarak dikkate alıyor ve bunları ya PW ya da AE değerlerine dayanarak kıyaslıyoruz. Nakit akış yaklaşımını kullanarak yenileme incelemesi: Önceki örneği kullanarak, firmaya \$15.000'a satın alabileceği bir diğer yeni yazıcı teklif edilmiştir. Bu makine 3 yıllık kullanım ömründe işçilik ve hammadde kullanımını yeterince azaltarak, işletme maliyetlerini \$8.000'den \$6.000'a indirecektir. Maliyetlerdeki bu düşüş, vergi öncesi karların yıllık \$2.000 yükseltmesine olanak verecektir. Bu yeni makinenin 3'üncü yıl sonunda \$5.500'a satılabileceği de tahmin edilmektedir. Yeni makinenin, 7 yıllık kullanımı vardır. Bu yeni makine satın alınacak olursa, eski makine takas edilmek yerine bir başka firmaya satılacaktır. Firmanın herhangi bir makineye (eski ya da yeni) sadece 3 yıl yeni ve daha üstün bir makine çıkmasını beklemediğini düşünün. Firmanın faiz ve vergi oranlarını %12 ile %40 olarak varsayıp, yenilemenin doğru olup olmadığına karar verelim. Tablolar 4.1 ve 4.2, firmanın nakit akış temelinde

yaptığı tipik bir yenileme projesini incelemekte kullandığı hesaplama cetveli yapısını göstermektedir. Her satış numaralandırılmış olup, tablonun satır satır tarifi de şu şekildedir:

#### Seçenek 1: Savunucuyu tut

Satırlar 1, 4 arası: Eğer eski makine tutulursa, amortisman cetveli (\$3.498, \$2.498 ve \$1.786) olacaktır. Yarı-yıl anlaşmasını izleyerek, malın 3 yılın sonunda kullanımdan kaldırılacağı ve 3'üncü yıl için amortismanın  $(0,5)(\$1.786) = \$893$  olacağı varsayılmıştır. Bu da toplam amortisman miktarı olarak \$14.645 ve kalan defter değeri olarak da  $\$20.000 - \$14.645 = \$5.355$  vermektedir.

Satırlar 5, 6 arası: \$5.000'lık onarım masrafı, yenileme kararından önce zaten yapılmış durumdadır. Bu, batmış bir maliyet olup, incelemeye dahil edilmemelidir. Eğer savunucuyu hizmet verebilir durumda tutmak için \$5.000 tutarında bir onarım mebleği gerekliyse, bunu ilk yıldaki bir masraf olarak gösterilecektir. Eğer eski makine 3 yıl boyunca tutulacak olursa, vergi öncesi maliyetler Satır 6'da gösterilmiştir.

Satır 7: Bu bir hizmet projesidir ve yenileme kararına bırakılmaksızın geliri değişmeden kalacaktır.

Satırlar 8, 10 arası: Masraf kategorisi altında iki unsur listelenmiştir: Amortisman ve maliyetler. Çünkü hem savunucu daha geri kazanma dönemi bitmeden çöpe atılacak, hem de 3'üncü yıldaki amortisman imkanı da yarıya inmiş durumdadır.

Satırlar 11, 13 arası: Gelirler olmadan, net kazanç rakamları eksi sayılar olarak sonuç vermektedir.

Satır 15 : Nakit akış yaklaşımıyla, eski yazıcıyı tutmak için yeni yatırıma hiç gerek kalmamaktadır.

Satır 17: Eski ekipman, defter değerinden daha düşüğe satılacak olduğu için, bu satış bir kayıp yaratacaktır ki bu da firmanın vergilendirilebilir gelirini ve vergi ödemelerini azaltacaktır. Vergi tasarrufları (defter değeri – pazar değeri) şuna eşit olacaktır:  $(\$5.355 - \$2.500)(0.40) = \$1.142$ . Bu kayıp, bir işletme kaybıdır, çünkü eski makineden yetersiz amortisman elde edildiği olgusunu yansıtır. Buna göre, 3

yılın sonunda, eski yazıcının satışından gelen net hasılat ise  $\$2.500 + \$1.142 = \$3.642$  olacaktır.

Satır 18: Eski makineyi tutmak için yeni bir yatırım gerekmediğine göre, net işletme nakit akışları ve eski yazıcının satışından gelen net hasılat, 3'üncü yıl sonunda satılan eski yazıcının net hasılatından ve işletme nakit akışlarından oluşmaktadır.

Seçenek 2: Savunucuyu yenile

Satır 1: Eski yazıcının  $n = 0$  'daki satışından gelen miktar gösterilmiştir. Örnek 4.2'de gösterildiği gibi, satıştan elde edilen net hasılat, aslında Pazar değeri ile vergi tasarruflarının toplamıdır.

Satır 2: Kurma ve nakliye ücretleri de dahil olmak üzere yeni makinenin satınalma fiyatı gösterilmiştir.

Satır 3, 4 arası: Yeni makinenin defter değerleriyle beraber amortisman cetveli gösterilmiştir. 3'üncü yıldaki  $\$ 1.312$ 'lık amortisman miktarı, yarı-yıl anlaşmasını yansıtır.

Satır 5, 6 arası:  $\$ 5.500$  olarak tahmin edilen hurda değeri ile, 3'üncü yıl sonunda yeni makinenin satılmasıyla ( $\$ 2.370 = \$ 7.878 - \$ 5.500$ )'lık bir kayıp öngörüyoruz.

Satır 7: Yeni makine için işletme ve bakım maliyetleri listelenmiştir.

Satır 8, 14 arası: Net nakit akışlarını belirlemek üzere, burada net gelir rakamları cetvelleştirilmiştir.

Satır 15: Projenin 3 yıllık ömrü üzerindeki net işletme nakit akışları gösterilmiştir. Bu akışlar, nakit olmayan masrafın (amortismanın) net gelire eklenmesiyle sağlanmıştır.

Satır 16, 17 arası: Yenilemenin yapıldığı zamandaki toplam net nakit çıkışı gösterilmiştir. Firma, makine için ödeme yapmak üzere  $\$ 15.000$ 'lık bir çek yazmıştır. Ancak, bu gider aslında eski makinenin satışından elde edilen net hasılat ve vergi tasarruflarının oluşturduğu  $\$ 11.877$ 'lık meblağ ile kısmen karşılanmıştır.

Tablo 4.1. Yenileme hesaplama cetveli: Seçenek 1 (Savunucuyu tut)

| n                                    | -2        | -1       | 0        | 1          | 2          | 3          |
|--------------------------------------|-----------|----------|----------|------------|------------|------------|
| <b>Mali veriler(maliyet bilgisi)</b> |           |          |          |            |            |            |
| (1) Amortisman                       |           | \$ 2.858 | \$ 4.898 | \$ 3.498   | \$ 2.498   | \$ 893     |
| (2) Defter değeri                    | \$ 20.000 | 17.142   | 12.244   | 8.746      | 6.248      | 5.355      |
| (3) Hurda değeri                     |           |          |          |            |            | 2.500      |
| (4) Satıştan gelen kayıp             |           |          |          |            |            | (2.855)    |
| (5) Onarım maliyeti                  |           | 5.000    |          |            |            |            |
| (6) İşletme maliyetleri              |           |          |          | 8.000      | 8.000      | 8.000      |
| <b>Gelir durumu</b>                  |           |          |          |            |            |            |
| (7) Ciro                             |           |          |          |            |            |            |
| (8) Masraf                           |           |          |          |            |            |            |
| (9) Amortisman                       |           |          |          | \$ 3.498   | \$ 2.498   | \$ 893     |
| (10) İşletme maliyetleri             |           |          |          | 8.000      | 8.000      | 8.000      |
| (11) Vergilendirilebilir gelir       |           |          |          | \$(11.498) | \$(10.498) | \$(8.893)  |
| (12) Gelir vergileri                 |           |          |          | (4.599)    | ( 4.199)   | (3.557)    |
| (13) Net gelir                       |           |          |          | \$ (6.899) | \$ (6.299) | \$ (5.336) |
| <b>Nakit akış durumu</b>             |           |          |          |            |            |            |
| (14) İşletme maliyetleri             |           |          |          |            |            |            |
| Net gelir                            |           |          |          | \$ (6.899) | \$ (6.299) | \$ (5.336) |
| Amortisman                           |           |          |          | 3.498      | 2.498      | 893        |
| (15) Yatırım faaliyetleri            |           |          |          |            |            |            |
| Yatırım                              |           |          |          |            |            |            |
| (16) Hurda değeri                    |           |          |          |            |            | 2.500      |
| (17) Kazançlar vergisi               |           |          |          |            |            | 1.142      |
| (18) Net nakit akışı                 |           |          |          | \$ (3.401) | \$ (3.801) | \$ (801)   |

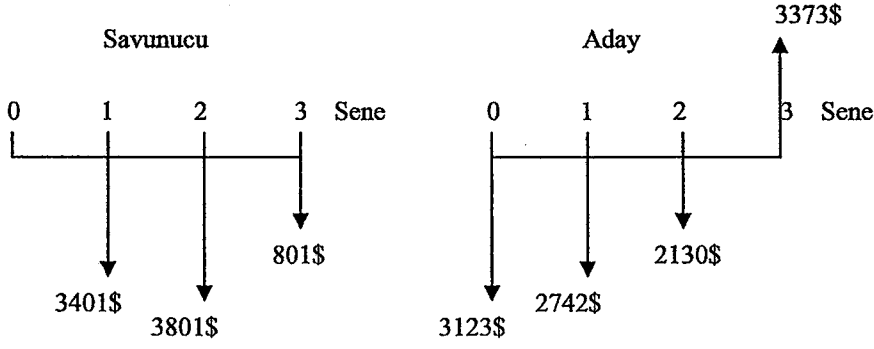
Satır 18 ve 19: Bu satırlar, yeni makinenin süresinin dolmasına bağlı olan nakit akışları göstermektedir. Başlamak için, Satır 18, 3 yıllık ömrü sonunda yeni makinenin 3'üncü yıl sonundaki defter değeri \$ 7.870 olduğundan dolayı, firma bu defter kaybında  $(\$ 2.370) (0.40) = \$ 948$ 'lik bir vergi kredisi (ya da vergi tasarrufu) elde edecektir.

Satır 20: Bu satır, eski makinenin yenilenmesine bağlı olan net nakit akışlarını temsil etmektedir.

Cari nakit akış çizgeleri Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Hem savunucu, hem de adayın ömürleri eşit olduğuna göre, ister PW isterse AE incelemesini kullanabiliriz.

Tablo 4.2. Yenileme hesaplama cetveli (Aday): Seçenek 2 (Savunucuyu yenile)

| n                                                     | 0           | 1          | 2          | 3          |
|-------------------------------------------------------|-------------|------------|------------|------------|
| <b>Mali veriler(maliyet bilgisi)</b>                  |             |            |            |            |
| (1) Eski yazıcının satışından elde edilen net hasılat | \$ 11.877   |            |            |            |
| (2) Yeni yazıcının maliyeti                           | \$ 15.000   |            |            |            |
| (3) Amortisman                                        |             | \$ 2.144   | \$ 3.674   | \$ 1.312   |
| (4) Defter değeri                                     |             | \$ 12.856  | \$ 9.182   | \$ 7.870   |
| (5) Hurda değeri                                      |             |            |            | \$ 5.500   |
| (6)Yeni yazıcının satışından elde edilen kazançlar    |             |            |            | \$ (2.370) |
| (7) İşletme maliyetleri                               |             | \$ 6.000   | \$ 6.000   | \$6.000    |
| <b>Gelir durumu</b>                                   |             |            |            |            |
| (8) Ciro                                              |             |            |            |            |
| (9) Masraf                                            |             |            |            |            |
| (10) Amortisman                                       |             | \$ 2.144   | \$ 3.674   | \$ 1.312   |
| (11) İşletme maliyetleri                              |             | \$ 6.000   | \$ 6.000   | \$ 6.000   |
| (12) Vergilendirilebilir gelir                        |             | \$ (8.144) | \$ (9.674) | \$ (7.312) |
| (13) Gelir vergileri                                  |             | \$ (3.258) | \$ (3.870) | \$ (2.925) |
| (14) Net gelir                                        |             | \$ (4.886) | \$ (5.804) | \$ (4.387) |
| <b>Nakit akış durumu</b>                              |             |            |            |            |
| <b>(15) İşletme faaliyetleri</b>                      |             |            |            |            |
| Net gelir                                             |             | \$ (4.886) | \$ (5.804) | \$ (4.387) |
| Amortisman                                            |             | \$ 2.144   | \$ 3.674   | \$ 1.312   |
| <b>(16) Yatırım faaliyetleri</b>                      |             |            |            |            |
| Yatırım                                               | \$ (15.000) |            |            |            |
| (17)Eski yazıcı satışından elde edilen net hasılat    | \$ 11.877   |            |            |            |
| (18) Hurda değeri                                     |             |            |            | \$ 5.500   |
| (19) Kazançlar vergisi                                |             |            |            | \$ 948     |
| (20) Net nakit akışı                                  | \$ (3.123)  | \$ (2.742) | \$ (2.130) | \$ 3.373   |



Şekil 4.3 : Savunucu ve adayın nakit akış yaklaşımıyla kıyaslanması

$$PW(\%12)_{Eski} = 0 - \$3.401(P/F, \frac{1}{2}12, 1) - \$3.801(P/F, \frac{1}{2}12, 2)$$

$$- \$801(P/F, \frac{1}{2}12, 3)$$

$$= - \$6.637$$

$$AE(\frac{1}{2}12)_{Eski} = - \$6.637 (A/P, \frac{1}{2}12, 3)$$

$$= \$2.763.$$

$$PW(\%12)_{Yeni} = - \$3.123 - \$2.742(P/F, \%12, 1) - \$2.130(P/F, \%12, 2)$$

$$+ \$3.373(P/F, \%12, 3)$$

$$= \$4.868$$

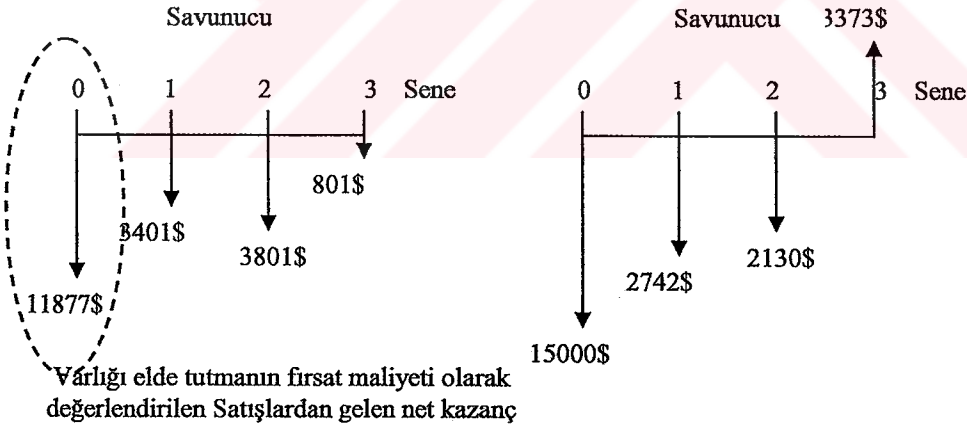
$$AE(\%12)_{Yeni} = \$4.868 (A/P, \%12, 3)$$

$$= - \$2.027.$$

Adayın lehine olan \$ 736'lık yıllık fark nedeniyle yenilemenin şimdi yapılması gerekmektedir. Bu örnekte, savunucunun aday tarafından yenilenmesinden önce 1 veya 2 yıl daha tutulup tutulmaması gerektiği sorusuna yönelmedik. Bu soru, geçerli bir soru olup, zaman içerisinde pazar değerleri hakkında daha fazla veri gerektirir.

#### 4.9. Fırsat Maliyeti Yaklaşımı

Daha önceki örnekte, eski makinenin satışından elde edilen net potansiyel hasılatdaki \$ 11.877'lik meblağ, savunucu henüz satılmadan önce belli olmuştu. Bu tür bir problemi incelemenin diğer bir yolu ise, \$ 11.877'lik meblağı, makineyi tutmaya karar vererek elde edilen bir fırsat maliyeti olarak hesap etmektir. Yani hurda değerini, adayın satın alma maliyetinden düşmek yerine, hurda değerini savunucu için bir nakit çıktısı (veya savunucuyu tutmak için gereken bir yatırım) olarak kabul ediyoruz. Fırsat Maliyeti Yaklaşımı Kullanarak Yenileme İncelemesi: Önceki örnekteki nakit akış yaklaşımı, adayın \$ 15.000'lik satın alma fiyatına göre, savunucunun satışıyla \$ 11.877'lik net hasılat sağlamış ve savunucuyu tutmaya devam etmekten dolayı bir ilk masraf gerekliliği oluşmamıştır. Eğer savunucuyu tutmak yönünde bir karar alınmış olsaydı, o zaman fırsat maliyeti yaklaşımı, savunucunun hurda değeri olan \$ 11.877 meblağı bir maliyet olarak ele alacaktı. Şekil 4.4 bu karar seçeneklerine dair nakit akışlarını resmetmektedir.



Şekil 4.4 : Fırsat maliyeti yaklaşımına göre savunucu ile adayın karşılaştırılması

Ömür süreleri aynı olduğuna göre, PW ya da AE incelemesinden herhangi birisini şu şekilde kullanabiliriz:

$$PW(\%12)_{Eski} = -\$11.877 - \$3401(P / F, \%12, 1) - \$3801(P / F, \%12, 2) \\ - 801(P / F, \%12, 3)$$

$$= -\$18.514$$

$$AE(\%12)_{Eski} = -\$18.514(A/P, \%12, 3)$$

$$-\$7708$$

$$PW(\%12)_{Yeni} = -\$15.000 - \$2742(P/F, \%12, 1)$$

$$-\$2130(P/F, \%12, 2) + \$3373(P/F, \%12, 3)$$

$$= -\$16.745$$

$$AE(\%12)_{Yeni} = -\$16.745(A/P, \%12, 3)$$

$$= -\$6972$$

Çıkan sonuç, öncekiyle aynıdır. 0 zamanında hem aday hem de savunucunun nakit akışları \$11.877'lik aynı meblağ ile ayarlanmış olduğu için bu durum çok da şaşırtıcı değildir. Örneklerde hem savunucu hem de aday için aynı hizmet ömrü varsaymış olduğumuzu hatırlayın. Fakat genelde kıyaslama yapıldığında eski ekipmanın kalan ömrü, yeni ekipmana göre oldukça kısa olduğu içindir ki, bu varsayım çok fazla basittir. Savunucu ile adayın ömür süreleri aynı olmadığında, ortak inceleme süresi elde edebilmek için bir varsayımda bulunmak durumundayız. Tipik bir varsayım olarak, ilk karar ardından adaya benzer mallar doğrultusunda kalıcı yenilemeler yaparız. Gerçi cari nakit akışları kullanarak PW incelemesi yapabileceğimiz kesin olmakla birlikte bunun için sonsuz nakit akış dalgalarının değerlendirilmesine ihtiyaç vardır. İlerideki kısımlarda, savunucu/aday hizmet ömürlerindeki karmaşıklıkların bazılarını ele alacağız.

#### 4.10. Ekonomik Hizmet Ömrü

50 yaşında olup, hala kullanılan bir araba görmüşsünüzdür. Düzgün bakım ve onarım gördüğü sürece, herşeyi çok uzun süre boyunca işler halde tutmak olasıdır. Eğer arabaları neredeyse sonsuza kadar kullanmak mümkünse, neden sokaklarda daha fazla sayıda eski araba göremiyoruz? Bunun bir çok sebebi var. Bazı insanlar aynı arabayı kullanmaktan sıkılabilirler. Bazıları arabayı gittiği yere kadar kullanmak isterken, bakım ve onarım masraflarının artacağını da bilirler. Genelde, bir malı

hizmete soktuğumuzda, onu ne kadar süreyle kullanacağımıza belirgin şekilde karar vermiş olmalıyız. Örneğin, kamyon kiralayan ve sık olarak benzer kamyonlardan filo halinde satın alan bir firma, yenilemeden önce her aracı ne kadar süreyle kullanması gerektiğine dair bir politika belirlemek isteyebilir. Eğer uygun uzunlukta bir ömür süresi hesaplanabilirse, o zaman firmanın genel kamyon alımı için yıllık sermaye harcamalarında düzen yaratacak bir kamyon satın alma şeması oluşturması mümkündür. Mühendislik ekonomi incelemesinde, bir malın işletme ve bakım maliyetleri yaşlanmayla birlikte arttığı için, bizler malın geri kalan ömrü yerine daha çok onu kullanımsal hizmet ömrüyle ilgileniyoruz. İlerideki tartışmalarda ekonomik hizmet ömrünü, malın eşdeğer yıllık edinme ve işletme maliyetlerini en aza indiren kullanışlı ömür süresi olarak tanımlıyoruz. Bu durumda, aynı (ya da benzer) malları sonsuz bir süre boyunca defalarca satın alacağımızı varsayıyoruz. Yeni bir malın ekonomik ömrünü belirlemedeki düşünce ise, malın ekonomik ömrü doğrultusunda kalıcı yenilemeler yaparak, en düşük eşdeğer düzgün maliyet dalgasını elde ediyor olmamızdır. Aşağıdaki örnekte, ekonomik hizmet ömrünü hesaplama işlemi açıklanmaktadır. Bir kaldıraçlı kamyonunun ekonomik hizmet ömrü: Bölüm girişinde anlatılan forklifte aday olarak fiyatı \$ 18.000, ilk yıl için işletme maliyeti \$ 1.000 ve ilk yıl sonundaki hurda değeri \$ 10.000 olan yeni bir elektrik kaldıraçlı kamyon olduğunu varsayın. Kalan yıllar için işletme maliyetleri, önceki yıla göre % 25 azalacaktır. Kaldıraçlı kamyonun işletme ömrü 7 yıldır. 5'inci hizmet yılında \$ 3.000'lık ve 7'inci hizmet yılında da \$ 4.500'lık bir genel bakım masrafı gerekecektir. Yıllık amortisman değerleri doğrultusunda 5 yıllık mal olarak sınıflandırılmıştır: %20, %32, %19.20, %11.52 ve %5.76. Firmanın marjinal gelir vergi oranı % 40 ve en düşük çekici verim oranı ise %15'tir. Bu yeni makinenin ekonomik hizmet ömrünü bulun. Getirileri bilinmeyen yada ilgisiz olan bir malın ekonomik ömrünü hesaplamak için malın işletme maliyetleri ile yıl be yıl hurda değerlerini kullanabiliriz. Bir malın ekonomik hizmet ömrünü belirlemek için öncelikle her işletme yılı sonunda kullanımdan kaldırıldığında ortaya çıkacak kazançları ve kayıpları listeleyeceğiz. Bunu yapmak içinse, malın o yıl içerisinde kullanımdan kaldırılacağını varsayarak her bir işletme yılı için defter değerini hesaplamamız gerekecektir. Eğer hatırlarsanız, yarıyıl anlaşmasında yıl sonu defter değeri, malın o yıl içerisinde kullanımdan kaldırılmasına dayanır. Tablo 4.3'te özetlendiği gibi bu değerler, varsayılan bir işletme dönemi sonunda ilgili vergi sonrası nakit akışlarını tanımlamak için bir zemin oluştururlar. Bir malın ekonomik

ömrünü bulmak için iki yaklaşım kullanılabilir: (a) Genelleştirilmiş nakit akış yaklaşımı ve (b) cetvel yaklaşımı.

(a) Genelleştirilmiş Nakit Akış Yaklaşımı: İlk olarak eğer kaldıraçlı kamyon, Tablo 4.4’de gösterilen gelir durumu/nakit akış durumu yaklaşımı doğrultusunda 1 yıl daha hizmette tutulursa oluşan ilgili vergi sonrası nakit akışlarını belirleyebiliriz. Elimizde sadece az sayıda nakit akış unsuru (İşletme maliyetleri, amortisman ve hurda değeri) bulunduğu için, vergi sonrası nakit akışını elde etmenin daha etkin bir yolu da ileriki bölümlerde ele alınan genelleştirilmiş nakit akış yaklaşımını kullanmaktır. Hatırlarsanız eğer, amortisman değerleri, ortaya amortisman miktarının vergi oranı ile çarpılmasına denk bir vergi indirimi sonucu çıkarlar. İşletme harcamaları, vergi sonrası işletme maliyeti değerlerini elde etmek için (1-vergi oranı) faktörüyle çarpılırlar. Malın 1 yıl daha tutulduğu durumda, genelleştirilmiş nakit akış yaklaşımıyla elde edilen nakit akışları Tablo 4.5’te özetlenmiştir. Eğer Tablo 4.3’teki beklenen işletme maliyetleri ve hurda değerlerini kaldırırsak, malın geri kalan fiziksel ömrü için yıllık vergi sonrası girişleri oluşturmaya devam edebiliriz. İlk 2 işletim yılı için, yıllık eşdeğer edinme ve işletme maliyetlerini şu şekilde hesaplıyoruz. (Şekil 4.5)

n = 1: Bir yıllık yenileme döngüsü

$$\begin{aligned} AE(\%15) &= \{-\$18.000 + [- (0.6)(\$1000) \\ &\quad + (0.40)(\$3600) \\ &\quad + \$11.760 ](P/F, \%15, 1) \} (A/P, \%15, 1) \\ &= (-\$7043)(1.15) \\ &= -\$8100 \end{aligned}$$

n = 2 : İki yıllık yenileme döngüsü

$$\begin{aligned} AE(\%15) &= \{-\$18.000 + [- 0.6 (\$1.000) \\ &\quad + 0.4 (\$3600) ](P/F, \%15, 1) + [- 0.6 (\$1150) \\ &\quad + 0.4 (\$2880) + \$9108 ](P/F, \%15, 2) \} (A/P, \%15, 2) \\ &= (\$10.033)(0.6151) \\ &= -\$6171 \end{aligned}$$

Benzer şekilde, takip eden yılların yıllık eşdeğer maliyetleri de Tablo 4.5 (Sütun 12)'de gösterildiği gibi hesaplanabilir. Eğer kamyon 6 yıl sonra satılacak olsaydı, yıllık en az \$ 4.344'lık yıllık maliyeti olacaktı ki, kıyaslamak açısından en iyi olan yıl da budur. Malı 6 yıllık ekonomik ömür doğrultusunda kalıcı olarak yenileyince, en az sonsuz düzgün eşdeğer maliyet dalgası elde etmiş oluruz.

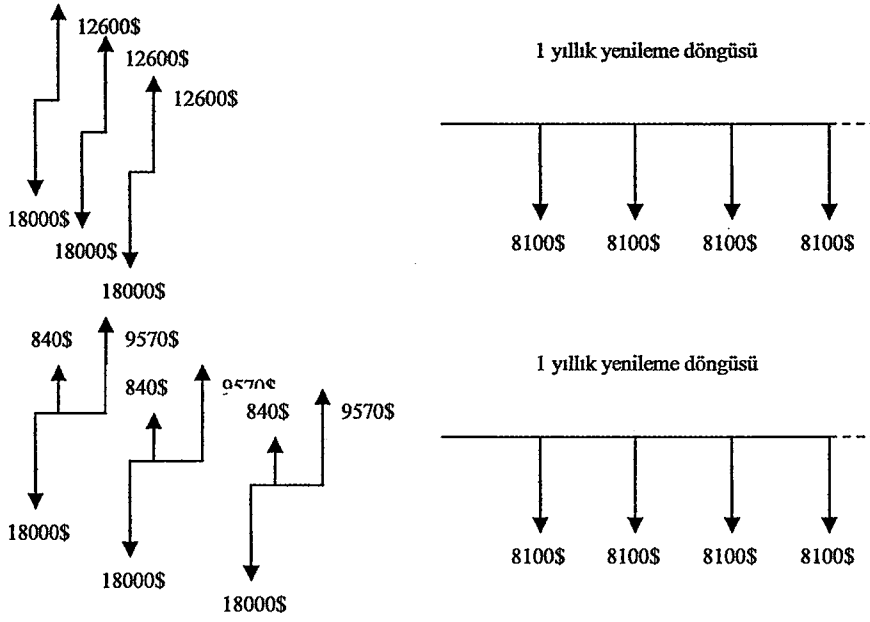
Tablo 4.3. Öngörölmüş İşletme Maliyetleri Ve Elde Tutma Döneminin Bir Fonksiyonu Olarak Gerçekleşen Satıştan Gelen Net Satışlar

| Elde Tutma Dönemi                                    | 1       | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       | 7       |
|------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Elde Tutma Dönemlerine ait Yıllık Amortisman Payları |         |         |         |         |         |         |         |
| 1000 \$                                              | 3600 \$ |         |         |         |         |         |         |
| 1150 \$                                              | 3600 \$ | 2800\$  |         |         |         |         |         |
| 1323 \$                                              | 3600 \$ | 5760\$  | 1728\$  |         |         |         |         |
| 1521 \$                                              | 3600 \$ | 5760\$  | 3456\$  | 1037\$  |         |         |         |
| 4749 \$                                              | 3600 \$ | 5760\$  | 3456\$  | 2074\$  | 1037\$  |         |         |
| 2011 \$                                              | 3600 \$ | 5760\$  | 3456\$  | 2074\$  | 2074\$  | 1036 \$ |         |
| 6813 \$                                              | 3600 \$ | 5760\$  | 3456\$  | 2074\$  | 2074\$  | 1036 \$ |         |
| Net Hurda Değeri                                     | 11760\$ | 9108\$  | 6140\$  | 4190\$  | 2728\$  | 1424\$  | 1068\$  |
| Kazanç Vergisi                                       | -1760\$ | -1608\$ | -515\$  | 29\$    | 436\$   | 949\$   | 712\$   |
| Vergi Kazancı                                        | -4400\$ | -4020\$ | -1287\$ | 72\$    | 1091\$  | 2373\$  | 1780\$  |
| Tahmini Pazar Değeri                                 | 10000\$ | 7500\$  | 5625\$  | 4219\$  | 3164\$  | 2373\$  | 1780\$  |
| Defter Değeri                                        | 14400\$ | 11520\$ | 6912\$  | 4147\$  | 2072\$  | 0\$     | 0\$     |
| Toplam Amortisman                                    | 3600\$  | 6480\$  | 11088\$ | 13853\$ | 15927\$ | 18000\$ | 18000\$ |

Tablo 4.4. Malı 1 Yıllığına Edinme ve İşletmenin Vergi Sonrası Nakit Akışı İçin Hesaplama

| Yıl                                        | 0        | 1       |
|--------------------------------------------|----------|---------|
| (a) Gelir Tablosu Yaklaşımı                |          |         |
| Gelir                                      |          |         |
| İşletme Maliyetleri                        |          |         |
| İşletme ve Bakım                           |          | 1000\$  |
| Amortisman                                 |          | 3600\$  |
| Vergilendirilen Kazanç                     |          | -4600\$ |
| Gelir Vergisi (%40)                        |          | -1840\$ |
| Net Gelir                                  |          | -2760\$ |
| Nakit Akışları                             |          |         |
| İşletme Faaliyetleri                       |          |         |
| Net Gelir                                  |          | -2760\$ |
| Amortisman                                 |          | 3600\$  |
| Yatırım Faaliyetleri                       | -18000\$ |         |
| Hurda Değeri                               |          | 10000\$ |
| Vergi Kazancı                              |          | 1760\$  |
| Net Nakit Akışı                            | -18000\$ | 12600\$ |
| (b) Genelleştirilmiş Nakit Akışı Yaklaşımı |          |         |
| Yatırım                                    | -18000\$ |         |
| Amortisman (+0.4)                          |          | 1440\$  |
| İşletme ve Bakım (-0.6)                    |          | -600\$  |
| Satışlardan gelen Net Kazanç               |          | 11760\$ |
| Net Nakit Akışı                            | -18000\$ | 12600\$ |





Şekil 4.5 : Sonsuz sayıda yenileme döngülerinin, sonsuz düzgün eşdeğer maliyet dalgalanma çevrilmesi

Tabi ki malın gereken hizmet ömrünü uzun şekilde varsaymamız gerekecektir ama bu ömür süresinin Pazar değerleri, işletme ve bakım maliyetleri ve amortisman paylarından yoğun şekilde etkileneceğine de hiç şüphe yoktur.

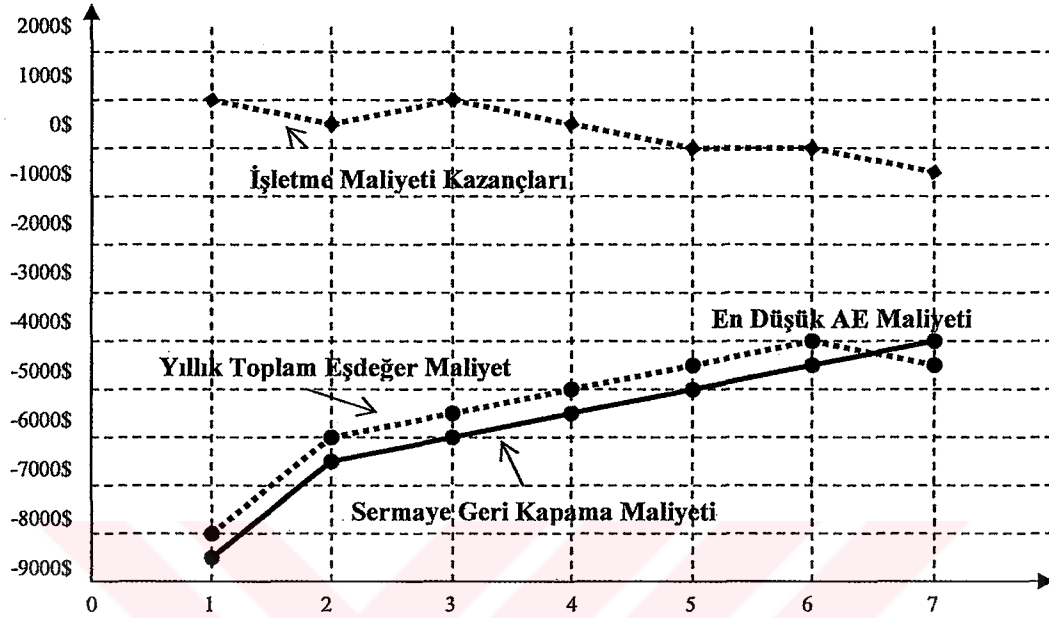
(b) Cetvel Yaklaşımı: Cetvel yaklaşımı, yıllık maliyet unsurlarını iki parçaya ayırır: Biri, malın sermaye kazanımına bağlı olanlar, ve diğeri de malın işletilmesine bağlı olanlar. Sermaye kazanım maliyetini hesaplarken, daha önce Tablo 4.3'te hesaplandığı gibi her tutma süresi sonundaki vergi sonrası hurda değerlerini belirlemek zorundayız. Daha sonra da malın her bir yıllık işletimi için toplam yıllık eşdeğer maliyetlerini hesaplayacağız.

Toplam eşdeğer yıllık maliyetler: Sermaye kazanım maliyeti

+ eşdeğer yıllık işletme maliyetleri.

Eğer Tablo 4.5'te (sütunlar 10 ve 11) gösterilmiş olan eşdeğer yıllık maliyetleri inceleyecek olursak görürüz ki, mal yaşlandıkça, eşdeğer yıllık işletme ve bakım maliyet tasarrufları azalmaktadır. Bununla birlikte, malın kullanımını uzatmakla da sermaye kazanım maliyetleri azalmaktadır. Sermaye kazanım maliyetlerini azaltıp, yıllık işletme ve bakım maliyetlerini arttırmanın bileşimi ise, toplam yıllık eşdeğer

maliyeti Şekil 4.6'da gösterilene benzer şekilde bir yapı izlemektedir. 5. hizmet yılında çok pahalı bir genel bakım gerekse de, ekipmanı 6yıllık ömür boyunca kullanmak daha ekonomik olmaktadır.



Şekil 4.6 : En az eşdeğer düzgün maliyetini bularak elde edilen ekonomik hizmet ömrü

#### 4.11. Uzun Hizmet Gerektiğinde Yenileme İncelemesi

Bir malın ekonomik hizmet ömrünün nasıl hesaplandığını artık anladığımıza göre sıradaki soru, savunucuyu yenilemek için uygun zamanın şimdi olup olmadığına karar vermek için bu bilgi parçalarını nasıl kullanacağımızdır. Eğer doğru zaman şimdi ise, savunucuyu yenilemenin en uygun zamanı ne zaman olmalıdır? Bu soruya yanıt vermek için inceleme bir yaklaşım sunmadan önce bazı önemli varsayımları ele alalım.

#### 4.12. Gereken Varsayımlar ve Karar Çerçevesi

Savunucuyu yenilemek için zamanın şimdi olup olmadığına karar verirken, şu üç etkeni dikkate almamız gerekir: Planlama ufku (çalışma dönemi), teknoloji ve ilgili nakit akış bilgisi.

#### 4.13. Planlama Ufku (Çalışma Dönemi)

Planlama ufku ile, basit anlamıyla savunucuyu gereken hizmet dönemini ve bir dizi müstakbel adayı kastediyoruz. Söz konusu faaliyetin ne zaman sona ereceğini öngöremediğimiz durumlarda basit olarak sonsuz planlama ufkunu kullanırız. Diğer durumlarda ise, projenin belirli ve öngülebilir bir süreye sahip olduğu belirgin olabilir. Böyle durumlarda, yenileme politikası sonsuz planlama ufku temelinde daha gerçekçi şekilde formüle edilmelidir.

#### 4.14. Teknoloji

Planlama ufku üzerindeki teknolojik yapıların öngörülmesi, üzerinde çalışılanları yenileyebilecek türden aday tiplerinin geliştirilmesi nedeniyledir. Bir malın ömrü dahilinde makinenin verimi tarafından belirlenen işletme maliyeti, satın alma maliyeti ve hurda değerini öngörürken, ortada çok sayıda olasılık bulunur. Eğer gelecekteki tüm makinelerin, şu anda hizmette olanlar ile aynı olacaklarını varsayar isek, örtülü olarak bu alanda hiç bir teknolojik ilerleme olmayacağını söylemiş sayılırız. Diğer durumlarda ise, gelecekteki makinelerin, şu anda pazarda olanlarla kıyasla daha verimli, güvenilir veya üretken olma olasılıklarını çok daha açık bir şekilde farkedebiliriz. (Kişisel bilgisayarlar buna iyi bir örnektir). Bu durum, bizi teknolojik değişim veya eskimenin fark edilmesine yönlendirir. Açık olarak eğer mümkün olan makinelerin en iyisi, zaman içerisinde daha ve daha iyi hale gelecekse, yenileme işlemini bir kaç yıl daha geciktirmek olanağını kesinlikle sorgulamalıyız ki, bu da teknolojik değişimin beklenmediği türden durumlarla tezat bir şekilde olacaktır.

#### 4.15. Malın Ömründeki Kazanç ve Maliyet Yapıları

Bir malın ömründeki kazanç, maliyet ve hurda değeri yapılarını tahmin etmek için çok farklı öngörüler kullanılabilir. Bazen bir makinenin ömründe kazanç sabitken maliyetler artar ama hurda değerinde artış olmayabilir. Diğer durumlarda ekipmanın ömrü sırasında kazançta bir düşüş beklenebilir. Yenileme incelemesinin maliyetin en aza indirgenmesine mi (sabit kazançla), yoksa karın en yükseğe çıkarılmasına mı (değişen kazançla) yönlendirileceği sorusu bu durumun niteliği belirleyecektir. Biz

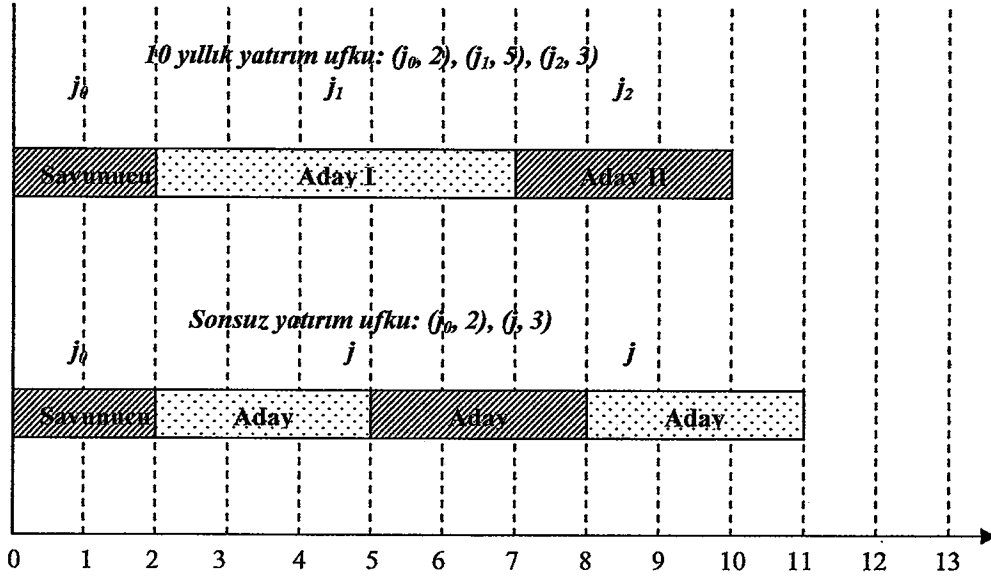
ise yaşlanmayla beraber hurda değerlerinin artmadığı bir mal için yenileme politikası formüle edelim.

#### 4.16. Karar Çerçeveleri

Bir karar çerçevesinin nasıl geliştirildiğini göstermek için  $(j_0, n_0), (j_1, n_1), (j_2, n_2), \dots, (j_N, n_N)$  ifadesiyle malların yenileme dizinini kullanacağız.  $(j, n)$  sayılarının her bir çifti, belirli bir tür mal ile, o malın elde tutulacağı ömrünü göstermektedir. Savunucu olan mal 0, en başta listelenmiştir; eğer savunucu şimdi yenilenirse  $n_0 = 0$  olacaktır. Çiftlerden oluşan bir dizinle sonlu yada sonsuz bir dönem kapsanabilir. Örneğin  $(j_0, 2), (j_1, 5), (j_2, 3)$  dizini savunucuyu 2 yıl boyunca elde tutup,  $j_1$  türü bir mal ile yenileyip, 5 yıl boyunca kullanıp,  $j_1$ 'i de  $j_2$  türü bir mal ile yeniledikten sonra 3 yıl boyunca kullanmayı gösterir. Bu durumda, toplam planlama ufku 10 yılı  $(2+5+3)$  kapsamaktadır. Savunucuyu  $n_0$  dönemler boyunca tutmak, ardından da sonsuz kere tekrarlanan satınalmalar ile  $j$  türü bir mal ile  $n^*$  yıl boyunca kullanmaya dair özel durum ise  $(j_0, n_0), (j, n^*)_\infty$  ile temsil edilmiştir. Bu dizin, sonsuz bir dönemi kapsamakta olup, bahsi geçen ilişki de Şekil 4.7'de resmedilmiştir.

#### 4.17. Karar Kriteri – Şimdiki Değer Yöntemi

Savunucunun ekonomik ömrü, yıllık eşdeğer maliyeti en aza indirgeyen (veya yıllık eşdeğer kazancı en yükseğe çıkaran) hizmet yılı olarak tanımlansa da, savunucuyu yenilemek için en uygun zaman bu olmak zorunda değildir. Doğru yenileme zamanı savunucuya dair bilgi kadar, adaya dair bilgiye de dayanmalıdır. Bir karar kriteri olarak PW yöntemi sonlu yada sonsuz planlama ufku olan yada gelecekteki adaylarda teknolojik bir değişim bekleyen türden bir çok yenileme problemi için daha doğrudan bir çözüm sunmaktadır.



Şekil 4.7 : Tipik yenileme karar çerçevesi türleri

Biz şu her iki durum için de yenileme karar işlemi geliştireceğiz: (1) Sonsuz planlama ufku ve (2) sonlu planlama ufku. Onu teknolojik değişim yaşanmayacak bir sonsuz planlama ufkunu inceleyerek başlayacağız. Gerçi böylesine basitleştirilmiş bir durumun gerçek hayatta ortaya çıkması olası olmasa da, yine de böylesine bir yenileme durumunu incelemek, teknolojik değişimli sonsuz planlama ufku olan yenileme problemlerini incelemekte faydası dokunan yöntemler sunmaktadır.

#### 4.18. Sonsuz Planlama Ufku İçerisinde Yenileme Stratejileri

Elinde bulunan bir makineyi sonsuz dönemli bir işlem için kullanan bir firmayla ilgili bir durum varsayıyoruz. Şu günlerde pazara yeni ve yapılacak uygulama için savunucudan çok daha etkin bir makine çıkmak üzeredir. Problem ise, eğer olacaksa savunucuyu aday ile ne zaman değiştirmek gerektiğidir. Bu durumu  $[(j_0, n_0), (j, n^*)_\infty]$  olarak gösteriyoruz.

#### 4.19. Savunucuyu Ne Zaman Yenilemeli?

Teknolojik bir değişimin ortaya çıkması beklenmiyorsa,  $j$  türü bir mal (aday) herhangi bir  $n$  zamanında satın alınabilir ve satın alma fiyatı, kazançlar ve hurda

değeri gibi yönleri de zamana değil sadece yaşına bağlı halde olur. Şu halde,  $n$  yıl boyunca tutulan savunucuya ilişkin tüm nakit akışlarının mevcut ederini  $PW(i)_{n_0=n}$  olarak belirliyor ve  $n^*$  yıl sonra her biri yenilenecek olan birbirine özdeş adaylar dizini olduğunu kabul ediyoruz. Burada, adayın ekonomik hizmet ömrünü  $n^*$  temsil etmektedir.

$$PW(i)_{n_0=n} = \text{savunucuyu } n \text{ ilave} \quad \text{Adayın tekrarlanan} \quad (4.1)$$

$$\text{yıl daha tutmanın } PW\text{'si} \quad + \quad \text{yenilemelerinin } PW\text{'si}$$

Hedefimiz  $PW(i)_{n_0=n}$  'yi en yükseğe çıkartan  $n$  'yi veya en az maliyetli olanını bulmaktır.

Sonsuz planlama ufkunda yenileme incelemesi: Gelişmiş Elektrikli Isıtıcı Firması, elektrikli ısıtıcıların mekanik sağlamlığını sınavan ama bozulmuş olan tetkik makinesini daha yeni ve randımanlı bir tanesiyle değiştirmeyi düşünmektedir. Eski makine eğer tamir edilirse 5 yıl daha kullanılabilecektir. Eski makine tümüyle amorti edilmiştir ve firmanın onu 5 yıl daha kullandıktan sonra herhangi bir hurda değeri beklentisi de yoktur. Fakat firmanın bu makineyi şimdi sektördeki bir başka firmaya \$ 5.000'a satabilme olanağı vardır. Makine eğer tutulacak olursa, çalışabilir duruma getirmek için derhal \$ 1.200'lık genel bir onarım görmek zorundadır. Fakat bu genel bakım sonrasında ne makinenin öngörülen esas hizmet ömrü artacak ne de bu tetkik makinesinin değerinde bir artış olacaktır. Beklenen işletme ve bakım maliyetleri ilk yıl için \$ 2.000 olarak ve sonraki her yıl \$ 1.500 artacak şekilde tahmin edilmektedir. Gelecekteki Pazar değerlerinin de her yıl \$ 1.000 düşmesi beklenmektedir.

Ekonomik Hizmet Ömrü (Savunucu): Savunucu tümüyle amorti etmiş olduğu için, hurda değerlerinin tümü sıradan kazançlar olarak işlem görüp, % 40'a vergilendirilebilir. Firma eğer tetkik makinesini tutacak olursa, bu durumda makineye genel bakım yaptırmak ve makinenin mevcut pazar değerine yatırım yapmak (vergililerden sonra) kararını da almış olacaktır. Vergi sonrası hurda değerleri Tablo 4.6a'daki gibidir:

Tablo 4.6a. Mevcut Pazar ve Hurda Değerleri

| n   | Mevcut Pazar Değeri | Vergi sonrası Hurda Değeri |
|-----|---------------------|----------------------------|
| 0   | \$ 5000             | $5000(1-0.40) = \$ 3000$   |
| 1   | 4000                | $4000(1-0.40) = 2400$      |
| 2   | 3000                | $3000(1-0.40) = 1800$      |
| 3   | 2000                | $2000(1-0.40) = 1200$      |
| 4   | 1000                | $1000(1-0.40) = 600$       |
| 5   | 0                   | 0                          |
| 6   | 0                   | 0                          |
| ... | ...                 | ...                        |

Gerçi ortaya fiziksel bir yatırım nakit akış işlemi çıkmayacaktır ve firma tetkik makinesinin pazar değerine yatırım yapmaktan (fırsat maliyetinden) geri durmaktadır. Benzer şekilde, vergi sonrası işletme ve bakım maliyetleri de şöyledir:

Tablo 4.6b. Savunucuyu N Yıl Daha Tutmanın Ekonomisi

| n | Genel bakım | Öngörölmüş işletme ve bakım maliyetleri | Vergi sonrası işletme ve bakım maliyetleri |
|---|-------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|
| 0 | \$1200      |                                         | $1200(1-0.40) = \$ 720$                    |
| 1 | 0           | \$2000                                  | $2000(1-0.40) = 1200$                      |
| 2 | 0           | 3500                                    | $3500(1-0.40) = 2100$                      |
| 3 | 0           | 5000                                    | $5000(1-0.40) = 3000$                      |
| 4 | 0           | 6500                                    | $6500(1-0.40) = 3900$                      |
| 5 | 0           | 8000                                    | $8000(1-0.40) = 4800$                      |

Mevcut yılın pazar değerini, savunucuyu tutmaya devam edebilmek için gereken yatırım olarak kullanınca Tablo 4.6(c)'deki veriyi elde ediyoruz ki, gelecekte adaylar olmadığı takdirde savunucunun geriye kalan kullanışlı ömrü 2 yıl olarak görünmektedir. 0 yılındaki \$ 1.200'lık genel bakım (onarım) maliyeti, vergi amaçları doğrultusunda mala katma değer getirmediği sürece düşülebilir bir işletme masrafı olarak işlem görebilir. (Malın değerini artıran her türlü onarım veya geliştirme masrafını, tahmin edilen hizmet ömründen amorti ederek sermayeye çevirmek gerekmektedir).

Aday, kendi vergi ömrü boyunca amorti edileceği için, vergi sonrası hurda değerini hesaplamak için malın her dönem sonundaki defter değerini belirlemek zorundayız. Bu da Tablo 4.7(a)'da gösterilmiştir. Tablo 4.7(a)'da hesaplanmış olan vergi sonrası hurda değerleriyle artık AE değer girişlerini oluşturarak adayın ekonomik hizmet

ömrünü bulmaya hazırız. Bu hesaplamalar Tablo 4.7(b)'de özetlenmiştir. Adayın ekonomik ömrü AE (% 15)'lik \$ 4.065 değeriyle 4 yıldır.

Savunucuyu Yenilemenin En Uygun Zamanı: Savunucunun geriye kalan kullanışlı ömrünün (2 yıl) düzgün eşdeğer değeri \$ 3.070 yani \$ 4.065'dan az olduğu için, savunucuyu şimdilik tutmak yönünde bir karar verilecektir. Savunucunun geriye 2 yıllık kullanışlı ömrünün kalmış olması, adayla değiştirmek için 2 yıl daha beklemek gerektiğini göstermez.

Tablo 4.6c. Savunucuyu N Yıl Daha Tutmanın Ekonomisi

|      |                                                       |                        |         |         |         |         |         |         |     |
|------|-------------------------------------------------------|------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----|
| (12) | Yıllık Eşdeğer Maliyet                                | Toplam Maliyet         |         | -3078\$ |         |         |         | -3070\$ | ... |
| (11) |                                                       | İşletme Maliyeti       |         | -2028\$ |         |         |         | -2061\$ | ... |
| (10) |                                                       | Sermaye Maliyeti       |         | -1050\$ |         |         |         | -1008\$ | ... |
| (9)  | Vergi Sonrası Net Nakit Akışı                         |                        | -3720\$ | 1200\$  | -3720\$ | -1200\$ | -300\$  | ...     | ... |
| (8)  | Varlık N yıl daha bulunduğu Vergi Sonrası Nakit Akışı | Yatırım ve Hurda Değer | -3000\$ | 2400\$  | -3000\$ |         | 1800\$  | ...     | ... |
| (7)  |                                                       | Net İşletme Giderleri  | -720\$  | -1200\$ | -720\$  | -1200\$ | -2100\$ | ...     | ... |
| (6)  |                                                       | Amortisman             |         |         |         |         |         | ...     | ... |
| (5)  | Vergi Sonrası İşletme ve Bakım                        |                        | -720\$  | -1200\$ | -720\$  | -1200\$ | -2100\$ | ...     | ... |
| (4)  | Vergi Öncesi İşletme Giderleri                        | Amortisman             |         |         |         |         |         | ...     | ... |
| (3)  |                                                       | İşletme ve Bakım       | 1200\$  | 2000\$  | 1200\$  | 2000\$  | 3500\$  | ...     | ... |
| (2)  | Ehde Tutma Dönemi                                     | n                      | 0       | 1       | 0       | 1       | 2       | ...     | ... |
| (1)  |                                                       | N                      | 1       |         | 2       |         |         | ...     | ... |

Bunun sebebi, savunucunun geriye kalan 2 yıllık kullanışlı ömrünü hesaplarken, gelecekte ne tip adaylar var olacağının bilinmemesidir. Bir adayın finansal verileri var ise, tüm yenileme zaman olasılıklarını birer birer sıralamamız gerekir. Savunucu 5 yıl daha kullanılabileceğine göre altı tane yenileme stratejisi var demektir:

Tablo 4.7a. Tahmin Edilen İşletme Maliyetleri ve Tutma Döneminin Bir Fonksiyonu Olarak Satıştan Gelen Net Gelirler – Aday

|                                                      |         |         |         |         |         |         |         |
|------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Net Hurda Değeri                                     | 6800\$  | 5620\$  | 4137\$  | 3133\$  | 2340\$  | 1597\$  | 1358\$  |
| Kazanç Vergisi                                       | -800\$  | -520\$  | 198\$   | 552\$   | 792\$   | 1065\$  | 905\$   |
| Vergi Kazancı                                        | -2000\$ | -1300\$ | 495\$   | 1381\$  | 1980\$  | 2662\$  | 2263\$  |
| Tahmini Pazar Değeri                                 | 6000\$  | 5100\$  | 4335\$  | 3685\$  | 3132\$  | 2662\$  | 2263\$  |
| Defter Değeri                                        | 8000\$  | 6400\$  | 3840\$  | 2304\$  | 1152\$  | 0\$     | 0\$     |
| Toplam Amortisman                                    | 2000\$  | 3600\$  | 6160\$  | 7696\$  | 8848\$  | 10000\$ | 10000\$ |
| Elde Tutma Dönemlerine ait Yıllık Amortisman Payları | 7       |         |         |         |         | 0\$     | 0\$     |
|                                                      | 6       |         |         |         |         | 576\$   | 576\$   |
|                                                      | 5       |         |         |         | 576\$   | 1152\$  | 1152\$  |
|                                                      | 4       |         |         | 576\$   | 1152\$  | 1152\$  | 1152\$  |
|                                                      | 3       |         | 960\$   | 1920\$  | 1920\$  | 1920\$  | 1920\$  |
|                                                      | 2       | 1600\$  | 3200\$  | 3200\$  | 3200\$  | 3200\$  | 3200\$  |
|                                                      | 1       | 2000 \$ | 2000 \$ | 2000 \$ | 2000 \$ | 2000 \$ | 2000 \$ |
| Elde Tutma Dönemi                                    | 1       | 2000 \$ | 4000 \$ | 5000 \$ | 6000 \$ | 7000 \$ | 8000 \$ |
|                                                      | 2       | 2000 \$ | 3000 \$ |         |         |         |         |
|                                                      | 3       | 2000 \$ |         |         |         |         |         |
|                                                      | 4       | 2000 \$ |         |         |         |         |         |
|                                                      | 5       | 2000 \$ |         |         |         |         |         |
|                                                      | 6       | 2000 \$ |         |         |         |         |         |
|                                                      | 7       | 2000 \$ |         |         |         |         |         |



Aday ile şimdi yenile, aday ile yıl 1’de yenile, aday ile yıl 2’de yenile, aday ile yıl 3’te yenile, aday ile yıl 4’te yenile, aday ile yıl 5’te yenile stratejileri gibi.

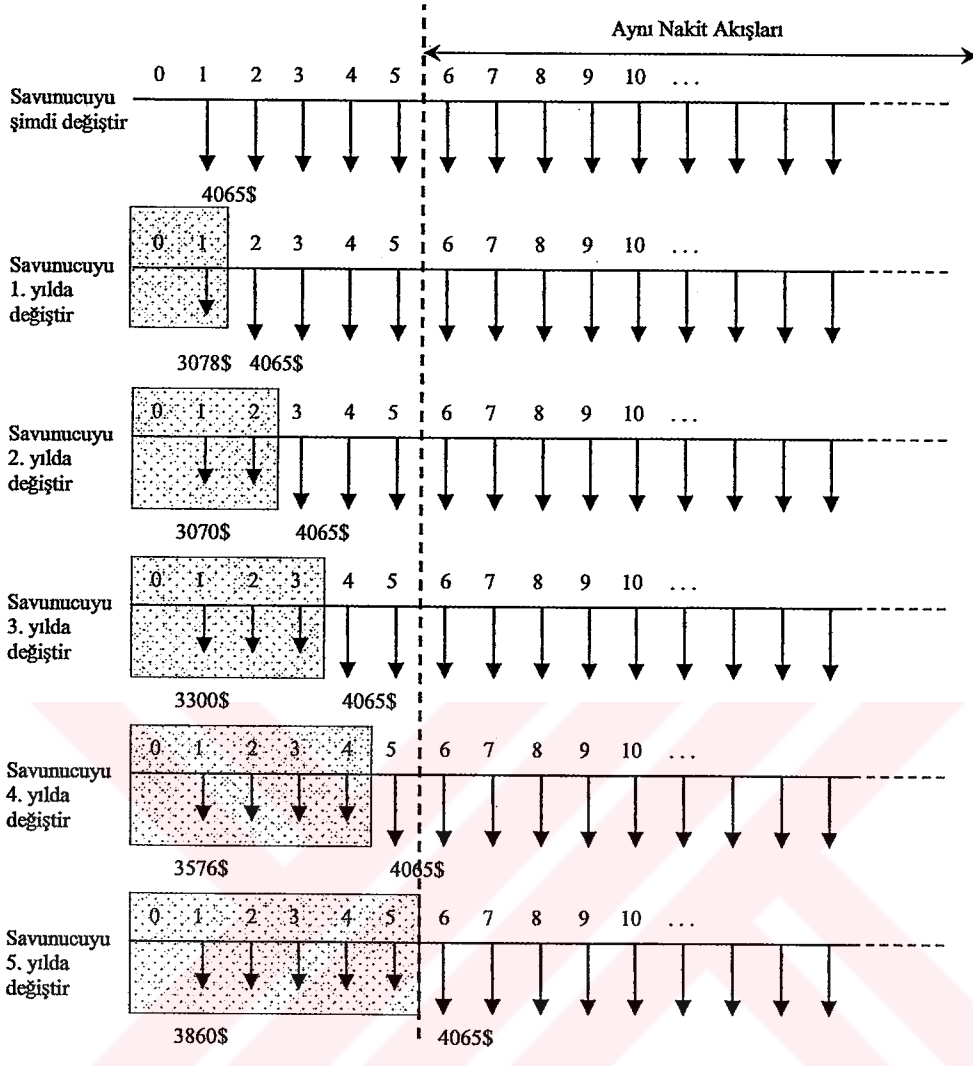
Eğer mevcut adayın maliyetleri ve verimi, gelecek yıllarda da değişmeden kalacaksa, her seçeneğe ilişkin olası yenileme nakit yapıları Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Şekle bakınca yıllık bir temelde, savunucunun geriye kalan fiziksel ömrü sonrasındaki nakit akışların aynı olduğunu görüyoruz.

Farklı yenileme – karar seçeneklerinin ekonomilerini değerlendirmeden önce, savunucu ve adayın varsayılan hizmet ömürleri içerisindeki eşdeğer düzgün değerlerini hatırlayın. (kutu içine alınmış rakam, göreceli olarak  $n_0 = 2$  ve  $n^* = 4$ ’teki en az eşdeğer düzgün değerini ifade eder) Savunucunun aday ile derhal yenilenmesi, - 4065’lik sonsuz bir nakit akış dalgasının şimdiki değerini hesaplamaya eşdeğerdir.

Sermayeleştirilmiş eşdeğer ederi  $\left(CE(i) = \frac{A}{i}\right)$  yaklaşımını kullanacak olursak, şunu elde ederiz:

$n = 0$ :

$$PW(\%15)_{n_0=0} = (1/0.15)(- \$4065) \\ = - \$27.100$$



Şekil 4.8 : Savunucunun  $n$  yıl boyunca tutulup, sonrasında her 4 yılda bir sonsuz tekrarlı satın almalar sonucu oluşan yıllık eşdeğer nakit akış dalgaları

Tablo 4.8. Yıllık Eşdeğer Nakit Akışları

| N | Yıllık Eşdeğer maliyet (\$) |        |
|---|-----------------------------|--------|
|   | Savunucu                    | Aday   |
| 1 | - 3078                      | - 5100 |
| 2 | - 3070                      | - 4290 |
| 3 | - 3300                      | - 4094 |
| 4 | -3576                       | - 4065 |
| 5 | -3860                       | -4110  |
| 6 |                             | -4189  |
| 7 |                             | -4287  |

Eski makineyi  $n$  yıl daha tutup, sonra da yenisiyle değiştirdiğimizi düşünelim. Şimdi Denklem (4.1)'i kullanarak  $PW(i)_{n_0=n}$ 'yi hesaplayacağız.

$n=1$ :

$$\begin{aligned} PW(\%15)_{n_0=1} &= -\$3078(P/F, \%15, 1) - \$27.100(P/F, \%15, 1) \\ &= \$26.242 \end{aligned}$$

$n=2$ :

$$\begin{aligned} PW(\%15)_{n_0=2} &= -\$3070(P/A, \%15, 2) - \$27.100(P/F, \%15, 2) \\ &= -\$25.482 \end{aligned}$$

$n=3$ :

$$\begin{aligned} PW(\%15)_{n_0=3} &= -\$3300(P/A, \%15, 3) - \$27.100(P/F, \%15, 3) \\ &= -\$25.353 \end{aligned}$$

$n=4$ :

$$\begin{aligned} PW(\%15)_{n_0=4} &= -\$3576(P/A, \%15, 4) - \$27.100(P/F, \%15, 4) \\ &= -\$25.704 \end{aligned}$$

$n=5$ :

$$\begin{aligned} PW(\%15)_{n_0=5} &= -\$3860(P/A, \%15, 5) - \$27.100(P/F, \%15, 5) \\ &= -\$26.413 \end{aligned}$$

Bu durum bizi savunucuyu 3 yıl daha tutmamız gerektiği kararına yönlendiriyor. \$ 25.353'lık mevcut ederi ise savunucuyu 3 yıl daha tutmaya ilişkin net maliyet, aday ile yenileme ve adayı da her 4 yılda bir sonsuz dönemde yenilemeyi temsil etmektedir.

#### 4.20. Eşdeğer düzgün yöntemi kullanabilir miyiz?

Yenileme incelemesinde savunucu ile adayın farklı ekonomik hizmet ömürlerine sahip olmaları olasıdır. Yıllık eşdeğer yaklaşımı, yenileme incelemesinde sıkça kullanılır ama yenileme incelemesinde eşdeğer düzgün yöntemi kullanmamızın

sebebinin eşit olmayan hizmet ömrü problemiyle başa çıkmak için değil de, eşdeğer düzgün yaklaşımının özel bir sınıf yenileme problemine dair bazı hesaplama faydaları sunuyor olmasıdır. Özellikle eşdeğer düzgün yönteminin kullanılmasının, projelerin tekrarlanabilirliği ve iki varsayımdan birine bağlı olduğuna dikkatinizi çekmiştik: Sonsuz bir planlama ufku yada ortak bir hizmet dönemi. Savunucu-aday durumlarında ise, savunucunun tekrarlanabilirliğini varsaymak olanaksızdır. Aslında problem tanımımızın erdemiyle, savunucuyu tekrarlıyor değiliz ama onu bir şekilde daha gelişmiş olan aday ile yeniliyoruz. Bununla birlikte eşit olmayan hizmet ömürlü seçeneklerde gerçekleştirdiğimiz yıllık nakit akış incelemesiyle yaptığımız varsayımlar sık olarak alışıldık savunucu-aday durumları için geçerli olmamaktadırlar. Eşit olmayan ömür problemi karmaşası çözülebilir olsa da, hatırlamamız gereken şey, elimizdeki problemin savunucuyu değiştirip değiştirmemek değil de, bunu ne zaman yapmak gerektiğidir. Savunucunun yenilenmesi ise her zaman aday tarafından – yani mevcut en iyi ekipman ile olacaktır. Şekil 4.8’de, yıllık temelde savunucunun fiziksel ömrünün (5 yılın) ardından nakit akışların her yenileme seçeneği için aynı olduğunu gözlemledik. Diğer bir deyişle her yenileme seçeneği için nakit akış dalgaları bir sonsuz planlama ufkunda verilmiş olsalar dahi, savunucuyu yenilemenin en uygun zamanını belirlemek için tüm planlama ufuklarına bakmak gerekli değildir. 5 yıllık inceleme dönemi ile (Şekil 4.9’da gösterilen 5 yıldan sonraki nakit akışlarını gözardı ederek) eşdeğer incelemeyi önemli ölçüde basitleştirebiliyoruz. 5 yılın üzerindeki her yenileme seçeneği için eşdeğer yıllık maliyetler ise şu şekilde hesaplanmaktadır:

$n = 0$ :

$$AE(\%15) = \$4065$$

$n = 1$ :

$$\begin{aligned} AE(\%15) &= -\{ \$3078 + \$4065(P/A, \%15, 4) \} (P/F, \%15, 1) \\ &\quad \times (A/P, \%15, 5) \\ &= -\$3809 \end{aligned}$$

$n = 2$ :

$$\begin{aligned} AE(\%15) &= - \{ \$3070 (P/A, \%15, 2) + \$4065 (P/A, \%15, 3) \\ &\quad \times P/F, \%15, 2 \} (A/P, \%15, 5) \\ &= - \$3582 \end{aligned}$$

$n = 3$ :

$$\begin{aligned} AE(\%15) &= - \{ \$3300 (P/A, \%15, 3) + \$4065 (P/A, \%15, 2) \\ &\quad \times P/F, \%15, 3 \} (A/P, \%15, 5) \\ &= - \$3544 \end{aligned}$$

$n = 4$ :

$$\begin{aligned} AE(\%15) &= - \{ \$3576 (P/A, \%15, 4) + \$4065 (P/F, \%15, 5) \} \\ &\quad \times (A/P, \%15, 5) \\ &= - \$3649 \end{aligned}$$

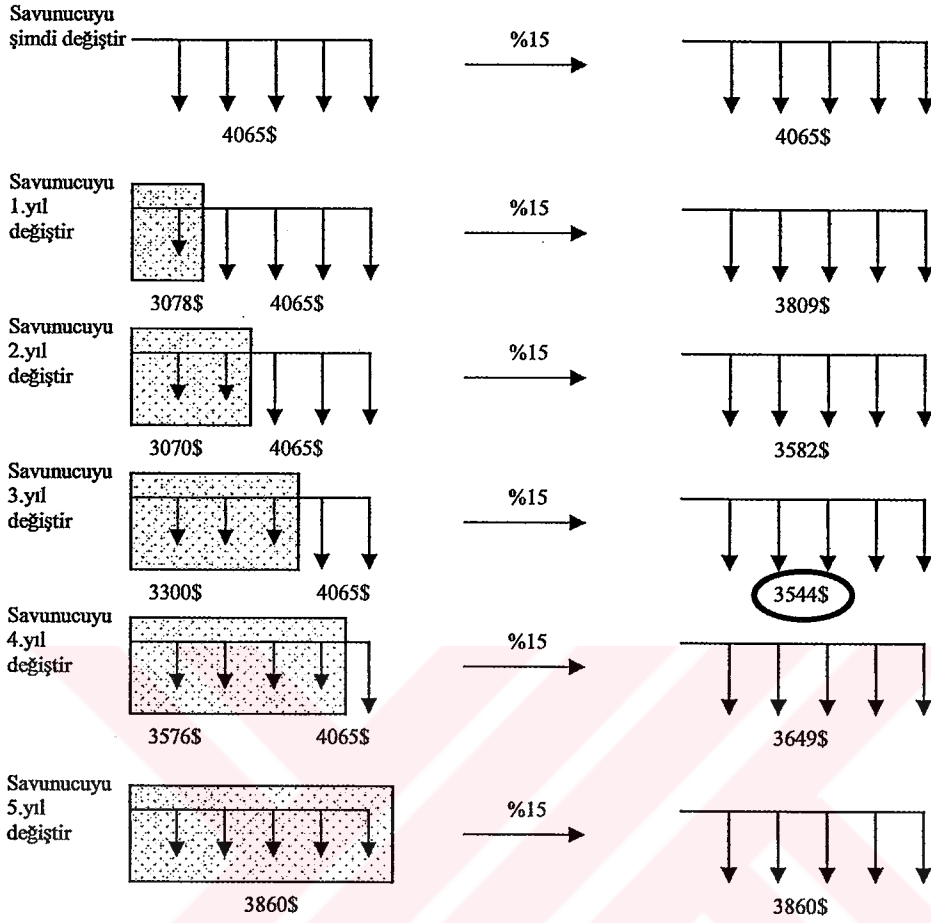
$n = 5$ :

$$AE(\%15) = - \$3860$$

Dahası, bu örnekte eski tetkik makinesinin 3 yıl boyunca tutulması gerekmektedir. Eşdeğer yıllık nakit akış çevrim işlemi de Şekil 4.9'da özetlenmiştir. Savunucunun fiziksel ömrüne eşit olan bir inceleme dönemi seçmenin bir seçeneği olması ve daha sonra da bu inceleme dönemindeki eşdeğer yıllık ederi bulmak için bir marjinal inceleme gerçekleştirebilir, yani savunucunun sadece 1 yıl daha işletilmesine dair artan maliyeti hesaplayabiliriz. Diğer bir deyişle savunucunun kullanımını ilave bir yıl daha uzatmanın maliyeti, adayın satın alınmasını geciktirmenin tasarruflarını geçiyor mu diye görmek istiyoruz.

#### 4.21. Sonlu Planlama Ufkunda Yenileme Stratejileri

Eğer planlama dönemi sonlu ise (örneğin, 8 yıl), savunucunun ekonomik hizmet ömrü için AE yöntemine dayanan bir kıyaslama genel olarak uygulanmaz. Sonlu planlama ufku olan bu tür bir problemin çözüm işlemi, bütün “makul” yenileme yapılarını kurmak ve sonra en ekonomik yapıyı seçmek için planlama döneminde PW değerini kullanmaktır. Sonlu planlama ufkunda yenileme incelemesi (şimdiki değer yaklaşımı):



Şekil 4.9 : Savunucunun  $n$  yıl sonra aday tarafından yenilendiği 5 yıl üzerindeki inceleme sürecindeki eşdeğer yıllık nakit akış dalgaları

Önceki örnekteki savunucu ve adayı yeniden düşünelim. Söz konusu firmanın mevcut savunucu yada adayı kullanarak gelecek 8 yıl için bir hizmet sözleşmesi yaptığını varsayalım. Sözleşme işinden sonra ne savunucu ne de aday elde tutulacaklar. En iyi yenileme stratejisi nedir? Savunucu ve aday için varsayılan tutma dönemlerindeki eşdeğer yıllık değerleri yeniden hatırlayın (kutu içerisindeki rakamlar göreceli olarak  $n_0 = 2$  ve  $n^* = 4$ 'teki en az AE değerini ifade eder).

Edinme seçeneklerinin çoğu 8 yıllık planlama ufkunu Şekil 4.10'da gösterildiği gibi gerçekleştirebilmektedir. Bu seçenekler arasından tetkik sonucu en uygun olan altı tanesi şunlardır:

Tablo 4.9. Savunucu ve Adaya ait Yıllık Eşdeğer Nakit Akışları

| n | Yıllık Eşdeğer Maliyet (\$) |       |
|---|-----------------------------|-------|
|   | Savunucu                    | Aday  |
| 1 | -3078                       | -5100 |
| 2 | -3070                       | -4291 |
| 3 | -3300                       | -4094 |
| 4 | -3576                       | -4065 |
| 5 | -3860                       | -4110 |
| 6 |                             | -4189 |
| 7 |                             | -4288 |

$(I_0, 0), (I, 4), (I, 4)$

Seçenek 1:  $PW(\%15) = 0 - \$4065(P/A, \%15, 8)$   
 $= -\$18.241$

$(I_0, 1), (I, 4), (I, 3)$

Seçenek 2:  $PW(\%15)_2 = -\$3078(P/F, \%15, 1)$   
 $-\$4065(P/A, \%15, 4)(P/F, \%15, 1)$   
 $-\$4094(P/A, \%15, 3)(P/F, \%15, 5)$   
 $= -\$17.415$

$(I_0, 2), (I, 4), (I, 2)$

Seçenek 3:  $PW(\%15)_3 = -\$3070(P/A, \%15, 2)$   
 $-\$4065(P/A, \%15, 4)(P/F, \%15, 2)$   
 $-\$4291(P/A, \%15, 2)(P/F, \%15, 6)$   
 $= -\$16.782$

$(I_0, 3), (I, 5)$

Seçenek 4:  $PW(\%15)_3 = -\$3300(P/A, \%15, 3)$   
 $-\$4110(P/A, \%15, 5)(P/F, \%15, 3)$   
 $-\$16.593 \leftarrow \text{en düşüş maliyet}$

$$(I_0, 3), (I, 4), (I, 1)$$

$$PW (\%15)_4 = -\$ 3300 (P/A, \%15, 3)$$

Seenek 5:

$$-\$ 4065 (P/A, \%15, 4) (P/F, \%15, 3)$$

$$-\$ 5100 (P/F, \%15, 8)$$

$$= -\$ 16832$$

$$(I_0, 4), (I, 4)$$

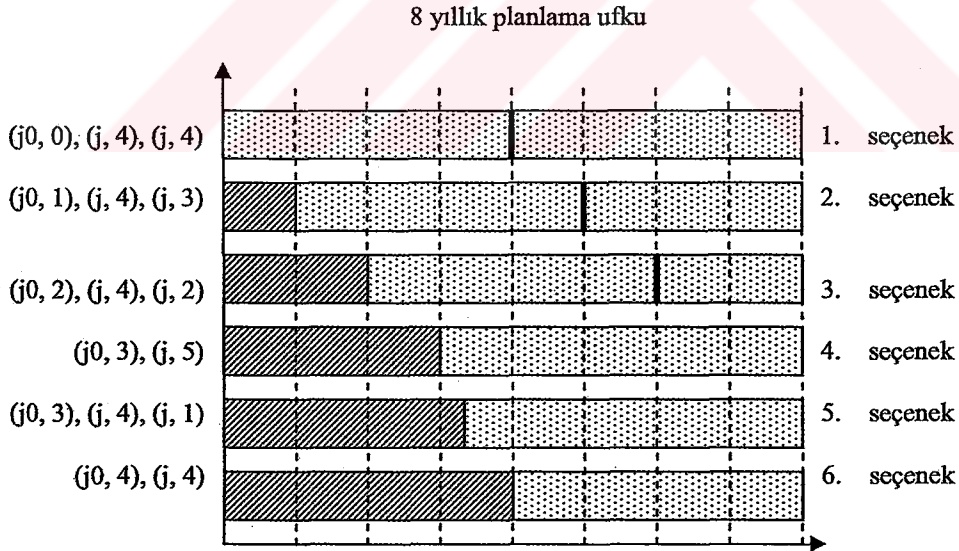
Seçenek 6:

$$PW (\%15)_5 = -\$ 3576 (P/A, \%15, 4)$$

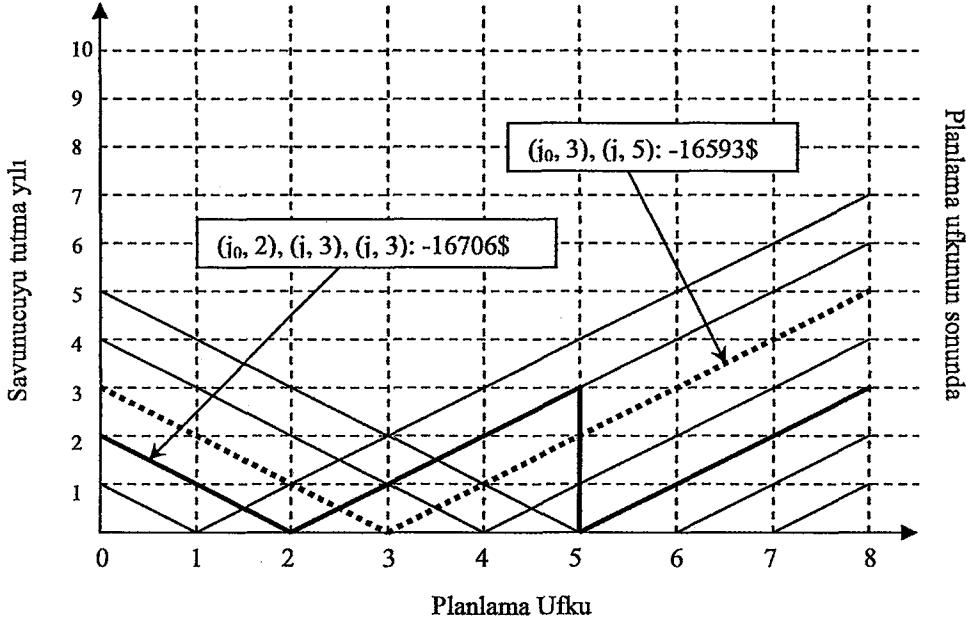
$$-\$ 4065 (P/A, \%15, 4) (P/F, \%15, 4)$$

$$= -\$ 16845$$

8 yıllık bir planlama ufkunun mevcut eşdeğer maliyeti üzerinde yapılan bir inceleme göstermektedir ki, en az maliyetli çözüm Seçenek 4 gibi görünmektedir: Savunucuyu 3 yıl boyunca tutup, adayı satın almak ve onu da 5 yıl tutmak.



Şekil 4.10 : 8 yıllık sonlu bir planlama ufkundaki bazı olası yenileme yapıları



Şekil 4.11 : Sonlu planlama ufku için yenileme stratejilerinin grafiksel temsili

Bu örnekte, en iyi çözüme gitmesi olası görünen karar seçeneklerinden sadece altı tanesini inceledik ama göz atmadığımız daha bir çok olasılıklar olduğunu da hatırlatmak isteriz. Açıklamak için, sonlu planlama ufkuna yönelik farklı yenileme stratejilerinin grafiksel temsillerini gösteren Şekil 4.11'i ele alalım. Şekil 4.11'de kalın çizgi olarak gösterilen yenileme stratejisi  $[(J_0, 2)(J, 3)(J, 3)]$  kesinlikle uygulanabilir olmasına rağmen, onu daha önceki hesaplamaya dahil etmedik. Doğal olarak planlama ufkunu uzattıkça, olası karar seçenekleri de kolayca artıyor. Böyle bir problem için kesinlikle en uygun çözümü bulduğumuzdan emin olmak için, dinamik programlama gibi bir en uygunlaştırma tekniği de kullanılabilir.

#### 4.22. Teknolojik Değişimi Dikkate Almak

Şimdiye kadar adayı hep savunucu için mevcut en iyi yenileme seçeneği olarak tanımladık. Yenileme kararını çoğunlukla halen kullanımda olan bir mal ve onun karşısında bir şekilde daha gelişmiş olan yenileme adayı var olduğu şeklinde belirtmek daha gerçekçi olacaktır. Bu da tabi ki süregelen teknolojik ilerlemeyi yansıtmaktadır. Bir makinenin gelecekteki modellerinin şimdikinden daha etkin olacağı muhtemeldir. Çoğu alanda teknolojik değişim aslında etkinlikteki kademeli gelişme ile teknolojinin anlık çıkışlarının bileşkesi şeklinde görünmekte olup, yine de

makinenin kişiliğinde devrim yaratabilir. Gelecekteki gelişmiş adaylara yönelik beklenti, mevcut adayı daha az arzulanan bir seçenek yapmaktadır. Savunucuyu elde tutarak ileride daha gelişmiş bir aday satınalma fırsatını elde etmiş oluruz. Bu durumda gelecekteki daha gelişmiş adaylara yönelik beklenti savunucu ile aday arasındaki mevcut bir kararı etkileyebilir. Belirli bir modadaki gelecek teknolojik eğilimleri öngörmek zordur. Ancak, uzun dönemli bir yenileme politikası geliştirirken yine de teknolojik değişimi dikkate almak zorundayız.



## 5. YENİLEME ANALİZİ İÇİN İŞLEMLER

### 5.1. GİRİŞ

Prensip olarak bir ekipman yenileme problemini, iki yada daha çok seçenek arasından tercih yapabilmek için çeşitli teknikler uygulayarak inceleyebiliriz. Tipik olarak, mevcut bir mal yani savunan vardır ki, bunun ömrü potansiyel yenileyici olan aday maldan daha kısadır. Uygulamada, ekipman yenileme problemlerinde özellikli kavramlar ve inceleme tekniklerini kullanmamıza imkan veren özellikler vardır. İlk olarak mevcut bir malın yenilenmesini gündeme getiren ana iki sebep olan eskime ve bozulmayı ele alalım. Batık maliyetler, yabancıların bakış açısı ve bir malın ekonomik ömrü gibi temel kavramları; sonsuz planlama dönemleri için yöntemler ve sınırlı planlama dönemleri için yöntemler sunulmaktadır. İnceleme tekniklerinin çoğu sabit en düşük çekici verim oranı ve tam kesinlik varsaymaktadır. Belirsizlik ise hassasiyet incelemesi ile ele alınmaktadır.

### 5.2. Eskime Ve Bozulmayı Nicellemek

Fiziksel bir malın yenilenmesini düşündürecek iki temel sebep vardır: Fiziksel eksiklikler (malın durumundaki değişiklikler) ve eskime (malın dışındaki çevrede olan değişiklikler).

Yaşa bağlı olabilecek fiziksel arıza örnekleri şunlardır: Güç kaybı (beygir gücünde, hızda, kalite kontrolden geçebilen parçaların sayısında), işletme maliyetlerinde artış (daha fazla yakıt gerektirmesi, daha fazla maddesel atık çıkması ve aşınan sarf malzemesi sayısında artış), bakım maliyetlerinde artış (yedek parçalar ve bakım işçiliği için), planlananın dışında yaşanan daha sık ve uzun süreli kesintiler, hizmet değerinde düşüş (örneğin bir tekstil tezgahından daha az sayıda birinci kalite ürün çıkması, veya işlenmiş yüzeylerde artan ebatsal farklılıklar gibi).

Eskimeye dair örnekler ise şunlardır: Savunan tarafından sağlanan hizmete artık gereksinim kalmaması, savunan için nitelikli operatör bulmakta güçlük çekmek, adayın kapasitesinin, mevcut ihtiyaçları daha iyi karşılaması (örnek: 250 koltuklu, 1.600 km menzilli ticari jet), adayın daha yüksek satış sağlaması (örnek yeni kiralık arabalar, yeni uçak filosu), adayın daha uzun bir hizmet ömrü olması, adayın kalıtsal olarak daha düşük işletim ve bakım maliyetlerine sahip olması, adaydan daha yüksek verim alınabilmesi, adayda plan dışı kesintilerin kalıtsal olarak daha az yaşanması, adayın daha etkin olması (örnek: eski bir zırhlının yerine füze-atar kruvazör alınması).

Fiziksel noksanlıklar ve eskime bir malda, birbirinden bağımsız olarak veya birarada ortaya çıkabilir. Bu etkileri nitellemek için “standart” yöntemlerin hiç biri kullanılamaz. Bunun yerine, her bir durumun verileri dikkatle toplanmalı ve incelenmelidir. Belirli türden ürünlerin, örneğin elektronik bileşenlerin arıza olasılıkları gibi sahip oldukları işlevsel yapılar bütün bu ürün grubuna uygulanabilir. İmalat öğrenim eğrileri, tekil ürünlere yada ürün gruplarına uygulanabilir. Diğer taraftan birim imalat maliyetlerini ifade eden eğrinin sınırlayıcı bir değeri de olabilir ki, bunun ardından belirli bir tür ekipmanın “gelecek nesli” için bir ilerleme olabilir veya olmayabilir. Fiziksel eksiklik (bozulma) tipik olarak, malın türüne ait geçmiş verilerin incelenmesi ve malın hizmet ömrünün elde veri olmayan bölümüne dair tahminler yapılmasıyla nitel hale getirilir. Tahminler sık olarak çok sayıdaki genel işlevsel yapıların, geçmiş verilere yerleştirilmesiyle gerçekleştirilir.

Düz çizgi;

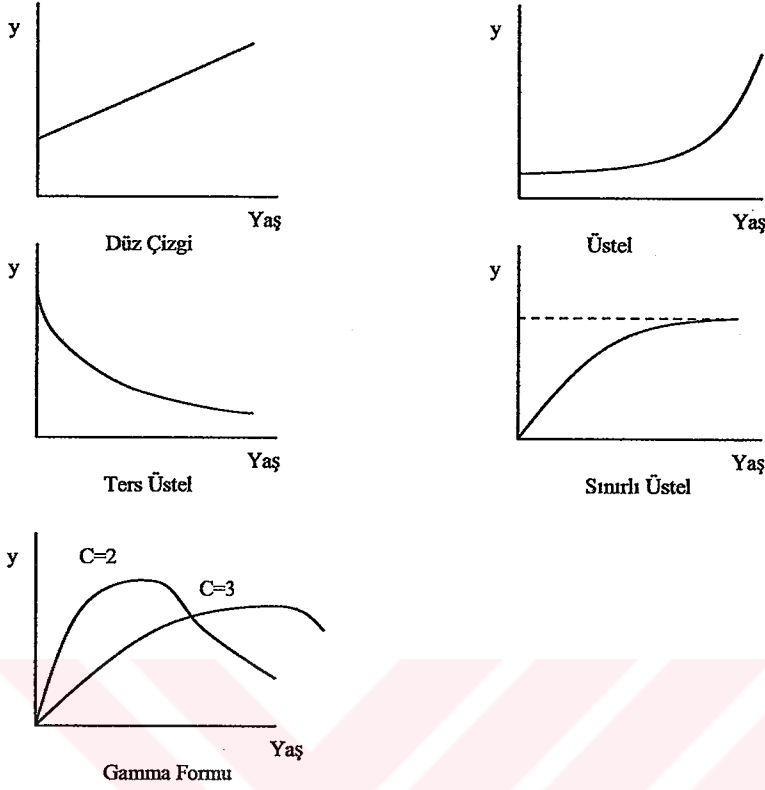
$$y(t) = a + bt$$

Üstel;

$$y(t) = ab^{ct}, \quad a, b, c > 0$$

Eski üstel;

$$y(t) = ab^{-ct}, \quad a, b, c > 0$$



Şekil 5.1 : Mal özellikleri için tipik işlevsel yapılar

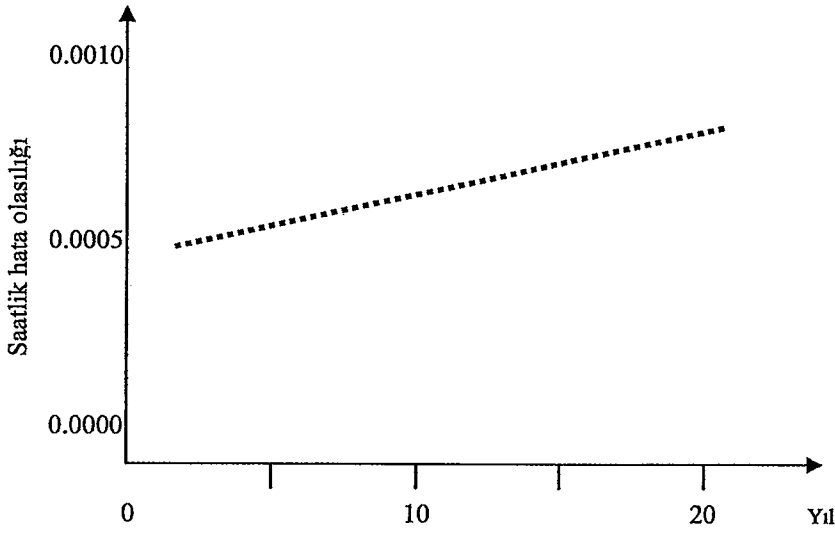
Sınırlı üstel;

$$y(t) = a(1 - e^{-ct}), \quad a, c > 0$$

Gamma yapısı;

$$y(t) = a(bt)^{c-1} e^{-bt}$$

Şekil 5.1, beş yapıya ilişkin tipik (sürekli) eğrileri göstermektedir. Aşağıdaki örnekler, malların noksanlıklarının olduğu ve teknolojik iyileştirmelerin yapıldığı gerçek durumları temsil etmektedir. Yolcu otobüslerini ele alırken önemli bir etken de, hizmet esnasındaki umulmadık arızalardır. Bir ulaşım operatörü tarafından bir büyükşehir bölgesinde toplanmış olan veriler göstermektedir ki, arızalar arası ortalama zaman 2.000 ila 1.200 saat arasında değişmekte ve Şekil 5.2’de gösterilen üstel büyüme eğrisini kabaca izlemektedir.



Şekil 5.2 : Yaşa bağlı arıza olasılığı

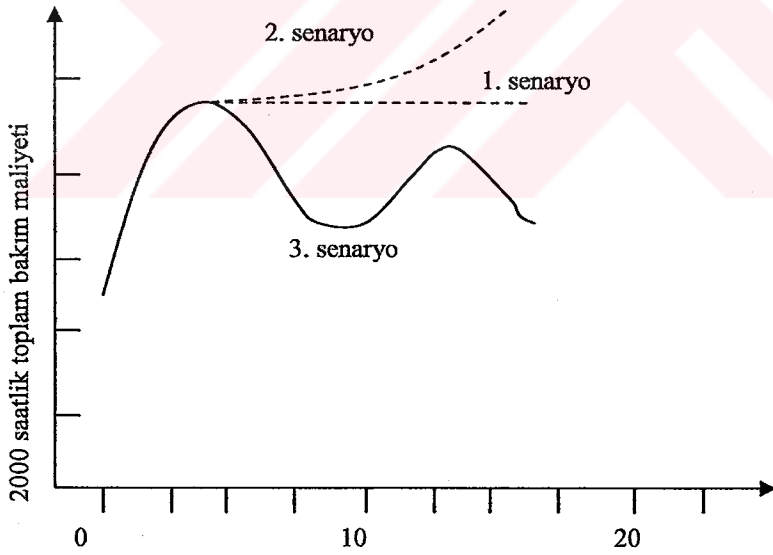
$$\begin{aligned} y(n) &= \text{saatlik hata} \\ &= (0.005)e^{0.025n} \end{aligned}$$

burada aracın yaşı yıl cinsinden  $n$  olarak gösterilmiştir. Bir diğer örnek olarak bir kamu kuruluşunu verelim, bir AB kamyon filosunun bakım maliyetlerini incelemiştir. Elde edilen veriler, bir yüksek enflasyon dönemini kapsadığı için, arabaların ve kamyonların yedek parçaları için aktüel Dolar miktarlarını, sabit Dolar miktarına dönüştürmekte endüstriye has bir fiyat endeksi kullanılmıştır. Bir aracın yaşına bağlı olarak kullanım saatleri toplamalarında farklılıklar da gözlenmiştir : Yeni araçlar, 2 ila 4 yaşındakilere kıyasla daha az kullanılmaktadır ve 7 yaşına yaklaşan bir aracın da kullanımı azalmaktadır. Tipik küçük bir AB kamyonunun yaşı bağlı bakım maliyetleri Tablo 5.1’de gösterilmektedir.

Maliyetler 1981’deki Dolar cinsinden verilmiştir. Sonuç olarak çıkan toplam bakım maliyet eğrisi, bir gamma yapısı izliyor gibi görünmektedir. 4’üncü ile 6’ıncı yıllar arasında yükselen maliyetler, belirli parçaların ömrünün bitmesi ve hidrolik aksamın da garanti kapsamındaki yenileme zorunluluğu ile açıklanmaktadır. Çok yaşlı araçların artık hizmetten çıkışları yakın olduğu için büyük çaplı onarımlarının yapılmadığından şüphelenilmektedir. Bu problemin oldukça ilginç bir yönü ise, yaşı 9 yaş üstündeki bakım maliyetlerine dair tahminler yapıldığında ortaya çıkmaktadır.

Tablo 5.1. 1981’de Dolar cinsinden kamyon bakım maliyetleri

| Ömür | İşçilik Maliyeti | Yedek Parça Maliyeti | Toplam Maliyet | Yıllık Saat | 2000 saatlik maliyet |
|------|------------------|----------------------|----------------|-------------|----------------------|
| 1    | 630              | 932                  | 1562           | 1210        | 2582                 |
| 2    | 1519             | 2750                 | 4269           | 2598        | 3286                 |
| 3    | 1330             | 2716                 | 4046           | 2411        | 3356                 |
| 4    | 1288             | 4106                 | 5394           | 2300        | 4690                 |
| 5    | 1316             | 3117                 | 4433           | 2112        | 4198                 |
| 6    | 1372             | 3298                 | 4670           | 1793        | 5209                 |
| 7    | 1099             | 2008                 | 3107           | 1469        | 4230                 |
| 8    | 784              | 984                  | 1768           | 1133        | 3120                 |
| 9    | 427              | 824                  | 1251           | 817         | 3062                 |

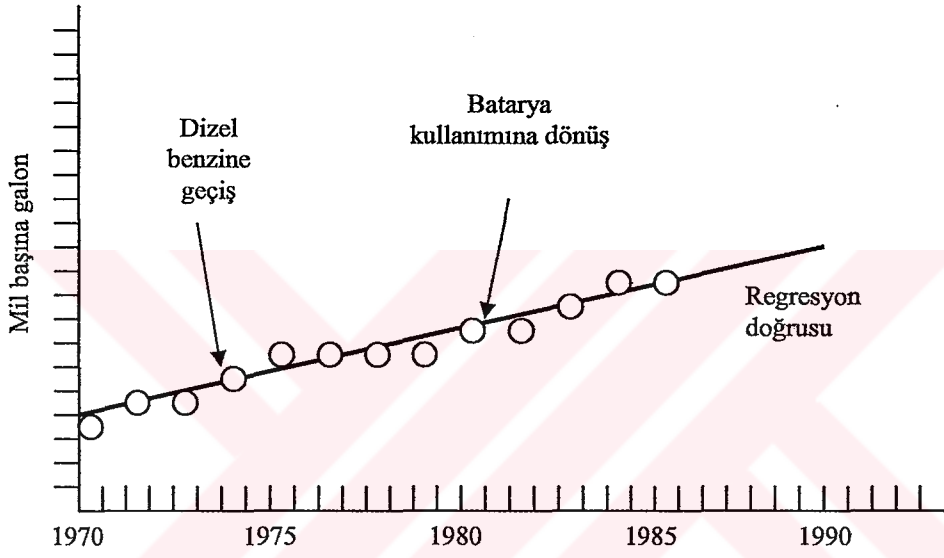


Şekil 5.3 : Üç senaryo için kamyon bakım maliyetleri

Buna göre üç senaryo öngörülmüştür: 6 yaşından itibaren maliyetler sabit kalmaktadır (bu seviye, normal kullanımın son yılı olarak kabul edilir); 6 yaşından itibaren maliyetler sürekli olarak artar; maliyetler, 7 yada 8 yaşında yapılan büyük bir

onarımın ardından, çift kamburlu şekilde görünen bir başka gamma yapısı izleyecektir. Bu üç senaryoya ilişkin eğriler, Şekil 5.3'te gösterilmiştir.

Küçük AB kamyonlarının yakıt tüketimlerinde üretildiklerini yıla bağlı olarak, değişimler gözlenmektedir. Mil başına yaktıkları galon (mpg) artışları, damperli kamyon modelinde, yıllık küçük gelişmeler göstermiştir ki, bu da iki büyük değişikliğe bağlıdır: Benzinli motorlardan dizel motorlara geçiş ve damperi çalıştırmak için akü kullanmak.



Şekil 5.4 : Mil başına galon eğilimi

Eski modeller, iş sahasında park halindeyken kamyonun ana motorunu günde 6 ila 8 saat çalıştırılmaktaydılar. Yapılan yol toplamının, bu model dahilindeki artan yıllık ilerlemelerle artmaya devam edeceği fakat diğer yandan teknolojik gelişmelerin daha seyrek olacağı öngörüldü. Buna bağlı olarak mil başına galon miktarının Şekil 5.4'te gösterildiği gibi doğrusal olarak artacağı tahmin edilmiştir. Fakat unutmamak gerekir ki, mil başına galon artışındaki doğrusal eğilim, yakıt tüketim eğiliminin de eksi üstel bir fonksiyon izleyeceği anlamına gelir.

Yeni model AB kamyonlarına, şantiye bölgesindeki kaldırma işlerinde yeterli olabilen küçük vinçler takılmıştır. Daha önceleri, kaldırma gerektiren işlerde, AB kamyonuna bir tane de vinç kamyonu eşlik etmekteydi. AB kamyonlarının gittiği işlerin %45'inde bir miktar kaldırma gerekliliği olmaktadır). İş kayıtlarında yapılan bir

araştırma, kaldırma gerektiren durumların % 65'inde küçük bir vinçin yeterli olabildiğini göstermektedir. Buna göre eski AB kamyonları, daha yeni olan modelleriyle kıyaslandığında, bir vinçli kamyonun AE'sinin % 29'a eşit olan (% 45 x % 65) bir miktarı, yeni model kamyonun yıllık eşdeğer maliyetinden çıkartılır.

Gözetmenlerle yapılan görüşmeler, kamu kuruluşunun vinçli kamyonların kaldırma kapasitelerini üreticinin verdiği oranların yarısı olarak belirlediğini ortaya çıkarttı. Üreticinin belirlendiği oran, yerden en fazla açığı (dikeye en az farkla) yapabilecek bir vinç koluna dayanarak belirlenmişti, fakat vinç ekibinin diğer durumlar için gerekli hesaplamaları yapabilecek (yada rehber cetvelden takip edebilecek) yeteneğe sahip olmadıkları yargısına varıldı. Kısa süre sonra yeni bir model yapıldı ve bu modelde bulunan mikroişlemci ve gerginlik göstergeleri sayesinde vinç operatörü artık vinç kolunun açısına bağlı olan kaldırma kapasitesini ve asılı olan mevcut yükü okuyabiliyor. İş kayıtlarında (şantiyelere yapılan ziyaretlerle beraber) yapılan bir tarama sonucunda, yıl boyunca yaşanan iş yükünü kaldırabilmek için aşağıdaki filo karışımlarının gerektiği belirlenmiştir. Sırasıyla, ölçülen kapasite, 10 ton, 25 ton, 50 ton; eski model, 23, 11, 6 ve yeni model, 29, 7 ve 4'tür. Aslında yeni model kamyonlar daha pahalı olsalar da, çok yönlü kullanılabilme yetenekleri sayesinde firmanın tüm filoyu daha düşük yıllık maliyetlerle işletmesine imkan vermektedirler.

### 5.3. Gelecekteki Verileri Tahmin Etmek

Önceki bölümde sunulan fonksiyonel yapılar aynı zamanda gelecekteki yenileme imkanlarını ve bunların maliyetlerinin tahmin edilmesinde de kullanılabilir. Örnekte bir kamyon türü için mil başına galon tüketiminin doğrusal olarak artışının nasıl tahmin edildiğini ve kamyonun yaşına bağlı olarak yakıt tüketiminde bir eksi üstel eğilim yarattığını görmüştük. Bu örnekte yapılan veri incelemesinde, yaşlı bir aracın yakıt tüketiminde çok az yada hiç fark olmadığını da gözlemlemiştik. Tahmin edilmesi gereken ana unsurlar şunlardır: Satın alma maliyeti (sabit Dolar cinsinden ölçüldüğünde sık olarak üstel bir büyüme izleyeceği varsayılır), hurda değerleri (o yılki modelin başlangıç maliyetine veya içinde bulunan yılki modelin başlangıç maliyetine bağlı olarak genelde bir eksi üstel eğri izleyeceği varsayılır), ilk yılın işletme ve bakım maliyetleri (içinde bulunan yılki modele bağlı olarak genelde bir eksi üstel eğri izleyeceği varsayılır. İlerideki yılların modellerinin işletme ve bakım

maliyetlerinin de genel olarak içinde bulunulan yılın modeline ait işletme ve bakım maliyetleriyle aynı yapıyı izleyeceği varsayılır).

Daha önce de açıklandığı gibi, eğrilerin kullanımındaki kesin varsayım, teknolojik değişikliklerin aşamalı şekilde olacağıdır. Bu varsayım genel olarak iyi bir varsayımdır ve çok farklı durumlar da doğrulanmıştır. Büyük teknolojik atılımları uzun vadede, örneğin 20 yıl sonrası için öngörebilmek daha zordur. Fakat, 5 yıllık süreler için genellikle tahmin edilmeleri mümkündür. Örnek olarak “manyetik kaldırma” 10 yılı aşkın süredir Almanya’da denenmekte olup, sınırlı bir ölçüde kullanıma da açıktır. Yakıt-etkin ticari jetlerin sahneye çıkarak liderliği alacağı dönem ise 4 yıl sonra iyice yaklaşmış olacaktır. Gelecekteki bu tür adayları 5 yıl kadar öncesinden öğrenebilsek dahi, maliyetlerini ve randımanlarını tahmin edebilmenin zorluğu yine de sürmektedir. Belirli endüstrilere aşına olan inceleme uzmanları çoğunlukla pazarın kaldırabileceği görüntüyü ele alacaklardır. Yeni bir modelin maliyetlerini ve randımanını öngörürken aslında bu yeni modelin olası satın alma maliyetini hesaplamış olacaklar. Bu tür bir inceleme için endüstriyi yakından tanıyarak olmak gerekir ve süreçleri genelleştirmek de zordur. Öğrenim eğrileri, üretim etkinliklerinin bilinen bir oranla belirli bir süre daha devam edeceği durumlara uygulanabilecek olan eksi üstel eğrinin özel bir türüdür genel yapısı ise şudur:

$$P_n = P_0(n)^a \quad (5.1)$$

$$a = \frac{\ln b}{\ln 2} \quad (5.2)$$

ki burada  $P_n = n$ ’inci üretim biriminin yapım maliyeti,  $P_0$  = ilk üretim biriminin yapım maliyeti,  $b$  = eğim parametresi, üretim adetlerinin ikiye biriken toplamındaki birim maliyetinin azalma yüzdesi.

Yeni malların maliyetlerinin, biriken satışlar ile aşağıda görüldüğü şekilde düşüşe geçtiği gözlenmiştir. Sırasıyla, 1-100, 101-200, 201-300, 301-400 adetleri için, 27000, 21500, 19000, ve 17000’lik ortalama birim maliyetleri verilmiştir. İlk 100 adet ile ikinci 100 adet arasındaki azalmayı incelediğimizde, 0.204’lük bir iniş, yada  $1 - 0.204 = 0.796$  etkenin görürüz. İkinci 100 adetle, dördüncü 100 adet arasındaki

azalma ise (ikiye katlanmış biriken üretim adetleri) 0.209 yada 0.791 etkeni olmaktadır. 0.79'u eğim etkeni olarak seçeriz ve şu hesaplamayı yaparız:

$$a = \frac{\ln 0.79}{\ln 2} = -0.34$$

Hatta, gelecekteki birimlerin maliyetini de şöyle tahmin ederiz:

$$P_n = (27,000)(n)^{-0.34}$$

ki  $n$  burada 100'er cinsinden biriken üretimi simgelemektedir. Beşinci 100 adet in ortalama birim maliyetlerinin de şu olduğu tahmin edilmektedir:

$$P_5 = (27,000)(5)^{-0.34} = \text{\$}15,621$$

Şekil 5.5, aracın yaşının bir fonksiyonu olarak bir kamyon sınıfının hurda değerlerini temsil etmektedir. Hurda değerleri, satın alma maliyetinin bir yüzdesi olup, inceleme ise sabit Dolar üzerinden yapılmıştır. Mevcut veri noktaları, hipotetik bir eğrideki dağılımı göstermekte ve bazı aykırı değerleri de içermektedir. Gerçek bir durumun incelenmesi, çoğunlukla fonksiyonel yapıların tahminiyle, gelecekteki verileri tahmin etmek için dış değer hesaplamalarının ve teknolojideki büyük değişimlerin öngörüsü için uzman değerlendirmesi almanın bir bileşimidir. Maliyetler ve teknolojideki belirsizlikler çoğunlukla konuları karmaşıktırır. İncelemeyi gerçekleştirmekteki bir diğer ortak zorluk ise, belirli yılların modelleri için verilerin sabit Dolar cinsinden mevcut olmamasıdır.

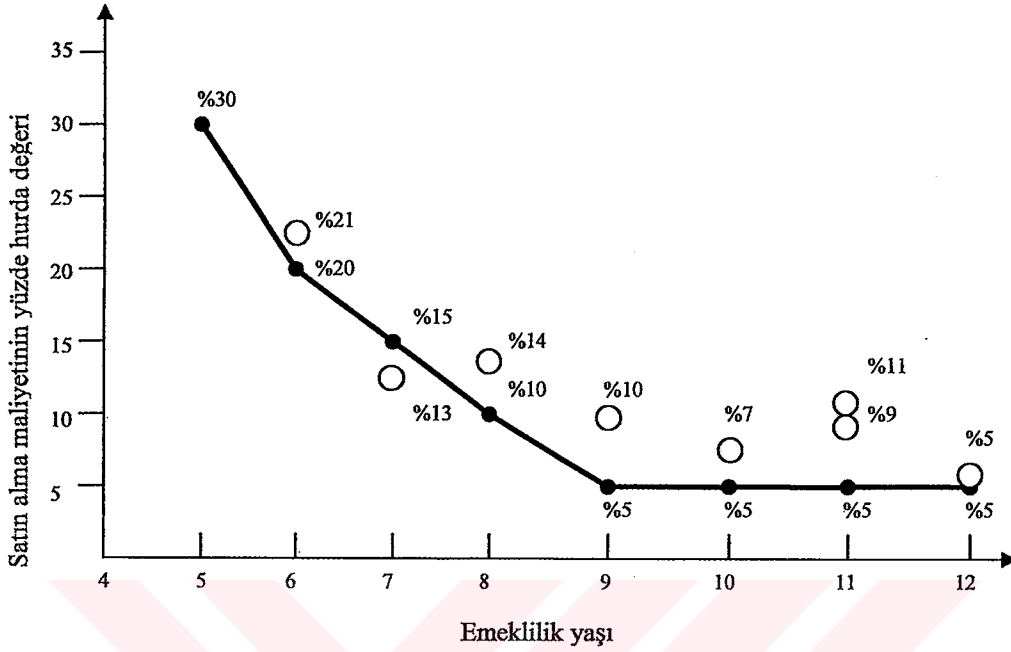
#### 5.4. Yenileme İncelemesinde Temel Kavramlar

Yenileme incelemesinde üç temel kavram vardır: Batmış maliyetler, dışarıdan bakış açısı, bir malın ekonomik ömrü.

#### 5.5. Batmış Maliyetler

Batmış maliyetler, bir malın geçmişteki harcamalarıyla ilintilidir. Ne kadar yüksek oldukları veya geri kazanılıp kazanılmadıklarına bakılmaksızın geçmiş harcamaların

tümü, bu malın yenilenmesi veya kullanılmasına devam edilmesine karar verirken dikkate alınmaz.



Şekil 5.5 : Hurda değerleri tahmini

Göz önünde bulundurulması gerekenler sadece mevcut ve gelecekteki nakit akışlarıdır. Bazen potansiyel yeni bir mal yani adaya, mevcut mal yani savunucunun kazanılmamış maliyetini yüklemek gibi bir eğilim oluşur. Böyle bir tahsisat uygun değildir ve bundan kaçınılmalıdır. Savunucunun geri kazanılmamış maliyetinin, o malın elden çıkarılması esnasında vergi kaybına ve takip eden vergi kredisine yol açtığı durumlar da vardır. Vergi kredisinin inceleme kapsamına alınması uygundur. Aşağıdaki örnekte, vergi kredisinin nasıl hesaplanacağı gösterilmektedir. 4 yıl önce \$800.000'a satın alınmış olan bir malın yenilenmesi düşünülmektedir. Müşteriye özel üretimden dolayı ancak \$60.000'lık hurda değeri beklenmektedir. Elden çıkarma durumundaki aşınma seviyesinin defter değeriye \$500.000 olacaktır. Marjinal vergi oranının (a) % 40 ve (b) % 10 olduğu durumlardaki elden çıkarma (vergi sonrası hurda değeri) nakit akışını belirleyin:

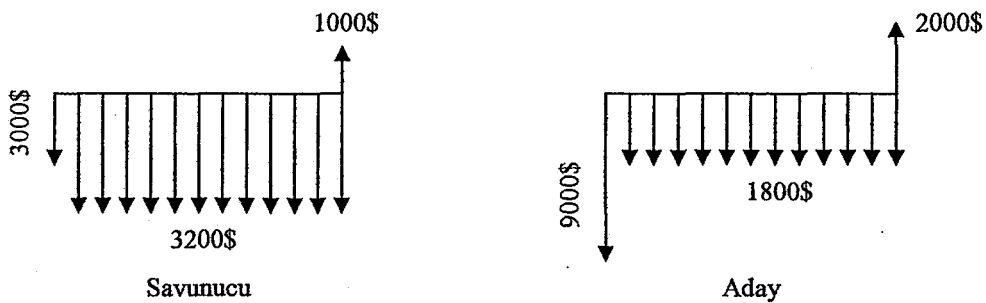
Elden çıkarırken şu miktarda kayıp yaşanacaktır:

$$\text{Hurda geliri } (\$60.000) - \text{Defter değeri } (\$500.000) = \text{Kayıp } (\$440.000)$$

% 40'lık marjinal vergi oranıyla,  $(440.000) (0.4) = \$176.000$ 'lık bir vergi indirimi olacaktır. Elden çıkarmanın nakit akışı da  $\$60.000 + 176.000 = \$236.000$ 'dır. % 0 marjinal vergi oranında ise, elden çıkarmanın nakit akışı sadece  $\$60.000$ 'dan oluşacaktır. Önceki örnekte her iki durumda da mal üzerindeki harcamaların çoğu batmış maliyet kabul edilecektir, çünkü elden çıkarma sırasında başlangıç maliyetinin (ve defter değerinin) ancak küçük bir kısmı geriye kazanılabilecektir.

### 5.6. Dışarıdan Bakış Açısı

Bir önceki örnekteki  $\$236.000$ 'ı ya da vergi sonrası hurda değeri olan  $\$60.000$ 'ı ele almanın bir diğer yolu da bunu malın kullanıma devam edilmesi durumundaki fırsat maliyeti olarak düşünmektir. Malı satmamaya karar vermenin bir sonucu olarak  $\$236.000$  (vergi oranı % 40 ise) veya  $\$60.000$  (vergi oranı % 0 ise) meblağlarından da vazgeçmiş oluyoruz. Bahsedilen malın ne yenisine ne de eskisine sahip olmayan bir kişinin bakış açısı işte budur. Şirket veznedarının bakış açısı da bu şekildedir. Dışarıdan bakış açısı kavramı daha önceki bölümlerde izlenmiş olan nakit akışı yaklaşımından farklılık gösterir. Nakit akışı yaklaşımı tüm seçenekler için inceleme süresinin aynı olduğu durumlardaki yenileme incelemesi problemlerinde kullanılabilir. Aşağıdaki örnekler hem her iki yaklaşımı, hem de farklı ortamlarda düzgün eşdeğer kıyaslamaları yapmanın mantığını göstermektedir. Bununla ilgili aşağıdaki örneği ele alalım: Mevcut A malı (savunan) 2 yıl önce  $\$8.000$ 'a alınmış olup, günümüzde  $\$3.000$  hurda değerine sahiptir.



Şekil 5.6 : Fırsat nakit akış tabloları

Savunucunun kalan ömrü 8 yıldır ve sonunda hurda değeri \$1.000 olacaktır. Yıllık işletme ve bakım maliyeti \$3.200'dır. Yeni olan B malı (aday) aynı işleve sahip olup, \$9.000'a satın alınabilmektedir. Ömrü 8 yıl, hurda değeri \$2.000 ve yıllık maliyeti de \$1.800'dır.  $i = \%10$  ile vergi öncesi kıyaslama ve dışarıdan bakış açısı ile yenileme kararının doğru olup olmayacağına karar verelim. Ömür süreleri aynı olduğuna göre düzgün eşdeğer yöntemini kullanacağız. Şekil 5.6'da fırsat nakit akış tablosu gösterilmiştir. Uygunluk açısından çıkan ödemelere artı ve giren ödemelere eksi olmak üzere karşıt işaretler kullanacağız.

$$\begin{aligned} AE(\%10)_A &= (3.000)(A/P, \%10, 8) - (1.000)(A/F, \%10, 8) + 3.200 \\ &= (3.000)(0.18744) - (1.000)(0.08744) + 3.200 \\ &= 3.674,9 = \$3.675 \text{ savunan için} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} AE(\%10)_B &= (9.000)(A/P, \%10, 8) - (2.000)(A/F, \%10, 8) + 1.800 \\ &= (9.000)(0.18744) - (2.000)(0.08744) + 1.800 \\ &= 1.687,0 - 174,9 + 1.800 \\ &= 3.312,1 = \$3.312 \text{ aday için} \end{aligned}$$

Adayın lehine \$363'lık bir AE farkı çıktığı için yenileme yapılması uygundur. Dışarıdan bakış açısıyla Örnekte savunanın \$3.000'lık mevcut hurda değeri, savunanın kullanımına devam edilmesi durumunda ortaya çıkan bir maliyet olarak görünmektedir. Bir diğer örnek de, önceki örneğin nakit akış yaklaşımını kullanarak yeniden incelenmesiyle oluşturulabilir. Mevcut nakit akış tabloları Şekil 5.7'de gösterilmiştir. Şekil 5.6'dan farkı şudur: Savunucunun \$3.000'lık hurda değeri şimdi adayın \$9.000'lık satın alma fiyatına karşı öne sürülmektedir ve artık savunucuyu kullanmaya devam etme kararına dair bir başlangıç gideri de yoktur.

$$\begin{aligned} AE(\%10)_A &= (-1.000)(A/F, \%10, 8) + 3.200 \\ &= (-1.000)(0.08744) + 3.200 \\ &= -87,4 + 3.200 \end{aligned}$$

$$= 3.012,6 = \$3.113 \text{ savunucu için}$$

$$AE(\%10)_B = (9.000 - 3.000)(A/P, \%10,8) - 2.000(A/F, \%10,8) + 1.800$$

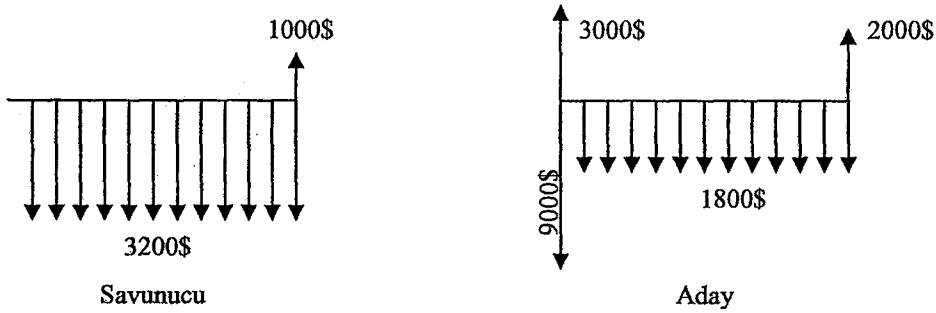
$$= (6.000)(0.18744) - (2.000)(0.08744) + 1.800$$

$$= 1.124,6 - 174,9 + 1.800$$

$$= 2.749,7 = \$2.750 \text{ aday için}$$

Bir kez daha aday lehine \$363'lık düzgün eşdeğer farkı çıkmış oldu. Bu durum şaşırtıcı değildir, çünkü iki örnek arasındaki tek fark, hem savunan hem de aday akışlarına 0 zamanında eklenmiş olan \$3.000'dir. (Şekil 5.6 ve Şekil 5.7'yi kıyaslayın). Zaten şimdiki zaman incelemesinin düzgün eşdeğer incelemesiyle uyumlu sonuçlar vereceğini de belirtmek gerekir.

Bir önceki örneği şu değişiklikler doğrultusunda yeniden inceleyelim: A malının (savunucunun) kalan ömrü 3 yıl, hurda değeri \$1.428 ve yıllık masrafı da \$2.900'dır. Dışarıdan bakış açısını kullanın. Fırsat nakit akış tabloları Şekil 5.8'de gösterilmiştir.



Şekil 5.7 : Mevcut nakit akış tabloları

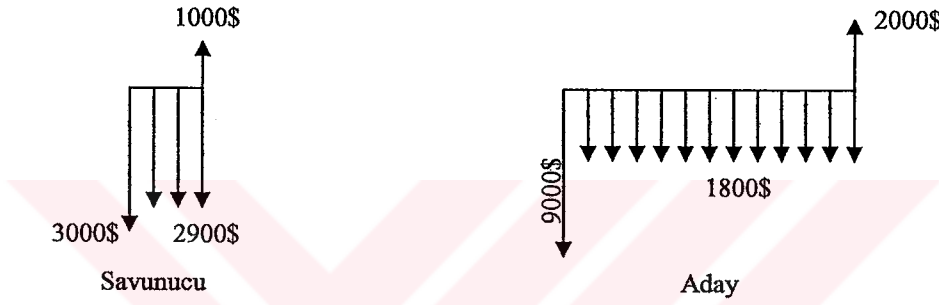
$$AE(\%10)_A = 3.000(A/P, \%10,3) - 1.428(A/F, \%10,3) + 2.900$$

$$= (3.000)(0.40211) - (1.428)(0.30211) + 2.900$$

$$= 1.206,3 - 431.4 + 2.900$$

$$= 3.674,9 = \$3.675 \text{ savunucu için}$$

Örneğe göre aday için  $AE(\%10)_B = \$3.312$  'dır. Aday yine \$363 düzgün eşdeğer ile avantajlı durumdadır. Örnekte iki noktanın altını çizebiliriz. Birincisi, bir önceki örnekteki gibi \$3.675'lık AE olması için 8 yıla kıyasla ömrü daha kısa, yani 3 yıl olan savunucunun masrafları aslında uydurulmuş durumdadır.



Şekil 5.8 : Fırsat nakit akış tabloları

Bundaki amaç, farklı örnekler arasında kıyaslama yapılabilmesini sağlamaktır. İkincisi ve daha önemli olanı ise, ömrü eşit olmayan unsurlar için düzgün eşdeğer incelemesini nasıl gerçekleştireceğimize. Eşit olmayan ömür sürelerinde düzgün eşdeğer incelemesi kullanımı bazı durumlarda yine de geçerli olabilmektedir. Şimdi yine eşit olmayan ömürlere düzgün eşdeğer incelemesinin geçerli sonuç verdiği özel bir durumla karşı karşıyayız ama bu sefer dışarıdan bakış açısı kullanılmış durumdadır. Savunucunun kalan ömrünün, adayın ömründen daha kısa olduğu durumda düzgün eşdeğer kullanımına dair örtülü varsayım şudur: Adaya benzer özellikteki malların kalıcı olarak yenilenmesi, ancak ilk kararı almamızdan sonra gerçekleşmektedir. Örnekte de görüldüğü gibi eğer A'yı tutmaya karar verirsek, onu ancak zaman 3'te B'ye benzer bir malla yenileyeceğiz demektir. Bu mal ise 8 yıl sonra zaman 11'de bir başka B ile yenilenecektir. Örnekte iki tane örtülü sonsuz dizin vardır.

Dizin 1: Savunucuyu (A) tutup, (B) adayını zaman 3'te satın alın, (B) adayını zaman 11'de satın alın, (B) adayını zaman 19'da satın alın.

Dizin 2: (B) adayını zaman 0'da satın alın, (B) adayını zaman 8'de satın alın, (B) adayını zaman 16'da satın alın.

Savunucunun kalan ömrü ardından mal dizinlerinin her biri için AE maliyetinin eşit olduğu barizdir. Örnekte zaman 0'da alınan karar ne olursa olsun yıl 4 ve sonrası için \$3.312'lik düzgün eşdeğer maliyeti çıkmaktadır. Bu doğrultuda karar verirken savunucunun kalan ömrü için \$3.675 ve adayın kalan ömrü için \$3.3312 düzgün eşdeğer rakamlarını kullanmanız örtülü varsayım açısından mantıklıdır. Örtülü sonsuz yenilemeler dizini nakit akışını PV incelemesi kullanarak yeniden inceleyelim. Savunucu için yıllar 1 ve 3 arasında:

$$\begin{aligned}PV(\%10)_{A1} &= \$2.900(P / A, \%10, 3) - 1.428(P / F, \%10, 3) \\&= (2.900)(2.48685) - (1.428)(0.75131) \\&= \$6.138,99\end{aligned}$$

Savunucu için 3 yıldan sonra:

$$\begin{aligned}PV(\%10)_{A2} &= \frac{\$3.312,1}{0.1}(P / F, \%10, 3) \\&= (33.121)(0.75131) \\&= \$24.884,14\end{aligned}$$

\$3.312'lik miktar, adayın hesaplanan düzgün eşdeğer değeridir. Savunucu için toplam şudur:

$$PV(\%10)_A = \$6.138,99 + 24.884,14 = \$31.023$$

Aday için yıllar 1 ve 8 arasında:

$$\begin{aligned}PV(\%10)_{B1} &= \$6.000 + 1.800(P / A, \%10, 8) - 2.000(P / F, \%10, 8) \\&= 6.000 + (1.800)(5.33493) - (2.000)(0.46651) \\&= \$14.669,86\end{aligned}$$

Aday için 8 yıldan sonra:

$$\begin{aligned}PV(\%10)_{B2} &= \frac{\$3.312,1}{0.1}(P / F, \%10, 8) \\&= (33.121)(0.46651) \\&= \$15.451,28\end{aligned}$$

Adayın toplamı şudur:

$$PV(\%10)_B = \$14.669,86 + 15.451,28 = \$30.121$$

Adayın lehine çıkan \$902'lık PV farkı, kesinlikle 3 yıllık düzgün eşdeğer farkına eşittir. Şöyle ki:

$$\$363(P / A, \%10, 3) = (363)(2.48685) = \$903 \approx 902$$

Sıradaki örnek, yenilemelerde sonsuz bir dizin varken her biri kendine has ömür sürelerine uygulanacak AE nakit akış yaklaşımında neden yanlış sonuçlar alınacağını göstermektedir. Her biri kendine has ömür süreleri için düzgün eşdeğer nakit akış yaklaşımını kullanarak yeniden inceleyelim.

Savunucu:

$$\begin{aligned}AE(\%10)_A &= \$1.428(A / F, \%10, 3) + 2.900 \\&= -(1.428)(0.30211) + 2.900 \\&= -431.4 + 2.900 \\&= 2.468,6 = \$2.469\end{aligned}$$

Örnekteki aday:

$$AE(\%10)_B = \$2.750$$

Şimdi de savunucu \$281 düzgün eşdeğer ile daha avantajlı çıktı. Bu yaklaşımda yanlış olan şey ise, savunucunun \$3.000'lık mevcut hurda değerinin, adayın 8 yıllık

kullanım ömrüne yayılmış olmasıdır. Savunucunun geri kalan ömrü sadece 3 yıl olduğu için, AE değerlerinde bozulma yaşanmaktadır. Bozulmayı düzeltmenin yollarından birisi, savunucunun \$3.000'lık hurda değerini, adayın satın alma fiyatına karşı saymak fakat \$3.000'lık miktarı 3 yıla yaymaktır. AE'nin yeniden hesaplanmasıyla şu sonuç elde edilir:

$$\begin{aligned}
 AE(\%10)_B &= \$9.000(A/P, \%10, 8) - 3.000(A/P, \%10, 3) \\
 &\quad - 2.000(A/F, \%10, 8) + (1.800) \\
 &= (9.000)(0.18744) - (3.000)(0.40211) \\
 &\quad - (2.000)(0.08744) + 1.800 \\
 &= 1.687,0 - 1.206,3 - 174,9 + 1.800 \\
 &= \$2.105,8 = \$2.106 \text{ aday için 1 ve 3'üncü yıllar süresince}
 \end{aligned}$$

Bir kez daha aday aynı \$363 düzgün eşdeğer farkı ile avantajlı durumdadır. Savunucu ve aday eğer farklı ömürlere sahiplerse, ortak planlama süresi elde edebilmek için bir varsayımda bulunmak zorundayız. Tipik bir varsayıma göre, ilk kararın ardından adaya benzer özellikteki aralıklarla kalıcı olarak yenileme yapıyoruz. Bu durumdayken dışarıdan bakış açısıyla düzgün eşdeğer kriterinin uygulanması kolaydır. Sadece her iki malın da göreceli ömürlerinin nakit akışlarına değer biçmeye ihtiyacımız vardır. Mevcut nakit akışlarıyla şimdiki zaman kullanımı da kesinlikle mümkündür, ama bunun için sonsuz nakit akışlarına değer biçilmesi gerekmektedir. Mevcut nakit akışlara düzgün eşdeğer uygulamasını doğru şekilde yapmak oldukça zordur ve bundan kaçınmakta fayda vardır.

### 5.7. Bir Malın Ekonomik Ömrü

Bir malın ömrü eğer karar vermenin değişkenlerinden biriyse, o zaman yenilemelerin sonsuz dizini bu durum için genelleştirilebilir. Bu tür problemlerin genel bir örneği, bir arabanın yenilenme aralığına karar verilmesi durumudur. Düzgün bakım yapıldığı takdirde bir araba 10 yıldan fazla süreyle faal olabilir. Fakat ekonomik verimlilik gibi

bir çok neden doğrultusunda bireylerin ve firmaların çoğu, 3 yaşını dolduran arabalarını yenilemektedirler.

Daha önceki örneklerde savunucu ve adayın ömür süreleri belirtilmişti. Bu bölümde ise yeni malın (aday) ömrünün, o mal için en fazla tercih edilen süre olduğunun varsayıldığı yaklaşımı kullanacağız. Malın ekonomik ömrü denilen bu süre, o malın edinilmesi ve işletilmesine ait en düşük düzgün eşdeğer maliyetine sahip olan süredir. Bu kavram, aşağıdaki örnekte gösterilmektedir. Bir belediye, resmi hizmetlerde kullanılan ekonomik yolcu arabalarını ne kadar süreyle elinde tutacağına dair bir politika oluşturmaya çalışıyor. Araç başına filo indirimli satın alma fiyatı \$6.000'dır. Yeni araç başına sigorta, yağ ve onarım masrafları yıl bazında 32.000 kilometrelik kullanım için \$1.500 olup, aracın her yaşı için yılda \$100 artmaktadır. Yakıt tüketimi, aracın yaşına göre değişiklik göstermediği kabul edildiği için incelemenin dışında bırakılmıştır. Ancak araçların yaşı ilerledikçe daha fazla arıza yaptığı ve çalışanların üretkenliğini azalttığı belirlenmiştir. Çalışan başına üretkenlik kaybı, yeni bir arabada yılda 4 gün olmakta ve araba yaşlandıkça yılda 2 gün artmaktadır. Arabayı kullanma ihtimali olan çalışanın ortalama bordro maliyeti günde \$100'dır. 8 yıl sonunda artık yedek parça bulmak zorlaşmakta ve arabanın arıza nedeniyle kullanılamazlık durumları kabul edilemez kadar sık ve uzun süreli olmaktadır. Yaşa bağlı hurda değerleri Tablo 5.2'nin 2'inci sütununda belirtilmiştir.  $i = \%10$ 'u kullanarak böyle bir arabanın ekonomik ömrünü bulun. Gelir vergisi, enflasyon ve teknolojik gelişmeleri gözardı edin. Eğer arabaları bir yıl kullandıktan sonra yenilersek, buna bağlı akışlar şöyle olmaktadır:

|                             |         |
|-----------------------------|---------|
| Zaman 0: Satınalma maliyeti | \$6.000 |
| Zaman 1: İşletme maliyeti   | \$1.500 |
| Üretim kaybı maliyeti       | \$400   |
| Hurda değeri                | \$4.500 |

Sütunların açıklamaları: Sütun (1) Yaşı ve yenileme döngüsü, sütun (2) yaşa bağlı olarak hurda değeri, sütun (3) (A/P, %10, N) faiz etkeni, sütun (4) (A/G, %10, N) faiz etkeni, sütun (5) satınalma maliyeti eksi hurda değeri, sütun (6) (P-S) (A/P,%10,N) edinme maliyetlerinin ilk bileşeni, sütun (7) (S)(0.1), edinme

maliyetlerinin ikinci bileşeni, sütun (8) yenileme döngüsünün bir işlevi olarak AE edinme maliyetleri, sütun (9) yenileme döngüsünün bir işlevi olarak işletme maliyetleri ve üretkenlik kaybının değişen miktarlarının AE'si, sütun (10) sütun 9 + \$1.500 + \$400, yenileme döngüsünün bir işlevi olarak işletme maliyetlerinin ve üretkenlik kaybının düzgün eşdeğeri, sütun (11) yenileme döngüsünün bir işlevi olarak toplam düzgün eşdeğer maliyetleri.

Tablo 5.2. Ekonomik-Ömür Hesaplamaları

| (1) | (2)    | (3)    | (4)    | (5)    | (6)     | (7)   | (8)     | (9)     | (10)     | (11)    |
|-----|--------|--------|--------|--------|---------|-------|---------|---------|----------|---------|
| N   | S      | A/P    | A/G    | P-S    | Sütun 3 | Si    | Sütun 6 | Sütun 4 | Sütun 10 | Sütun 8 |
| 1   | 4500\$ | 1.1000 | 0      | 1500\$ | X       | 450\$ | +       | X       | 1900\$   | +       |
| 2   | 3375\$ | 0.5762 | 0.4762 | 2625\$ | 1650\$  | 338\$ | 2100\$  | 0\$     | 2043\$   | 4000\$  |
| 3   | 2530\$ | 0.4021 | 0.9365 | 3470\$ | 1513\$  | 253\$ | 1851\$  | 143\$   | 2181\$   | 3894\$  |
| 4   | 1900\$ | 0.3155 | 1.3811 | 4100\$ | 1395\$  | 190\$ | 1648\$  | 281\$   | 2314\$   | 3829\$  |
| 5   | 1425\$ | 0.2638 | 1.8101 | 4575\$ | 1293\$  | 143\$ | 1483\$  | 414\$   | 2443\$   | 3797\$  |
| 6   | 1070\$ | 0.2296 | 2.2236 | 4930\$ | 1207\$  | 107\$ | 1350\$  | 543\$   | 2567\$   | 3793\$  |
| 7   | 800\$  | 0.2054 | 2.6217 | 5200\$ | 1132\$  | 80\$  | 1239\$  | 667\$   | 2687\$   | 3806\$  |
| 8   | 600\$  | 0.1874 | 3.0044 | 5400\$ | 1068\$  | 60\$  | 1148\$  | 787\$   | 2801\$   | 3835\$  |
|     |        |        |        |        | 1012\$  |       | 1072\$  | 901\$   |          | 3873\$  |

1 yıllık ömür için düzgün eşdeğere dönüştürüldüğünde elde edilen sonuçlar şunlardır:

$$AE(\%10)_1 = (\$6.000 - 4.500)(A/P, \%10, 1) + (\$4.500)(0.1) + \$1.900$$

$$= 1.650 + 450 + 1.900$$

$$= 2.100 + 1.900 = \$4.000$$

$$= \text{edinme} + \text{işletme} = \text{toplam maliyetler}$$

\$4.000 içerisinde iki adet bileşen vardır: \$2.100'lık edinme maliyeti ve \$1.900'lık işletme ve üretkenlik kaybı maliyetleri. Eğer arabaları 2 yıllık kullanım sonrasında yenilersek, buna bağlantılı akışlar şu şekilde olacaktır:

Zaman 0: Satınalma maliyeti                      \$6.000

Zaman 1: İşletme ve üretkenlik kaybı              \$1.900

Zaman 2: İşletme ve üretkenlik kaybı              \$2.200

Hurda değeri                                              \$3.375

2 yıllık ömür için düzgün eşdeğer hesaplaması sonucu da şöyledir:

$$AE(\%10)_2 = (6.000 - 3.375)(A/P, \%10, 2) + (3.375)(0.1)$$

$$+ 1.900 + 300(A/G, \%10, 2)$$

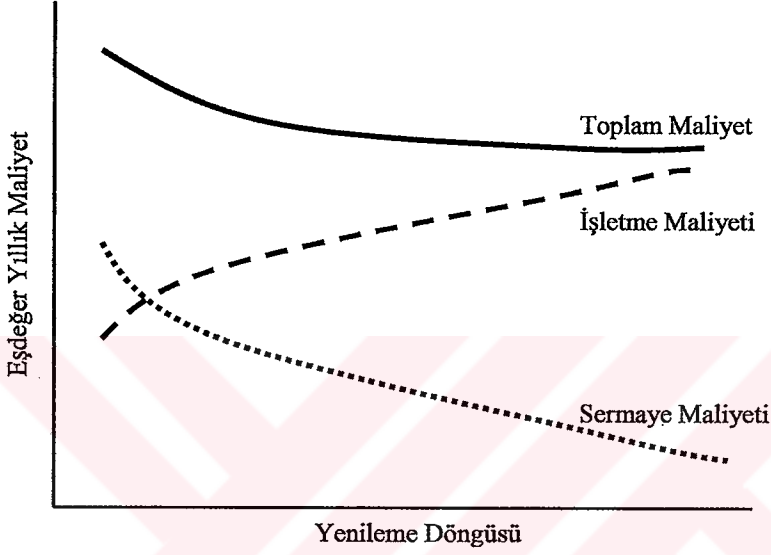
$$= 1.513 + 338 + 1.900 + 143$$

$$= 1.851 + 2.043 = \$3.894$$

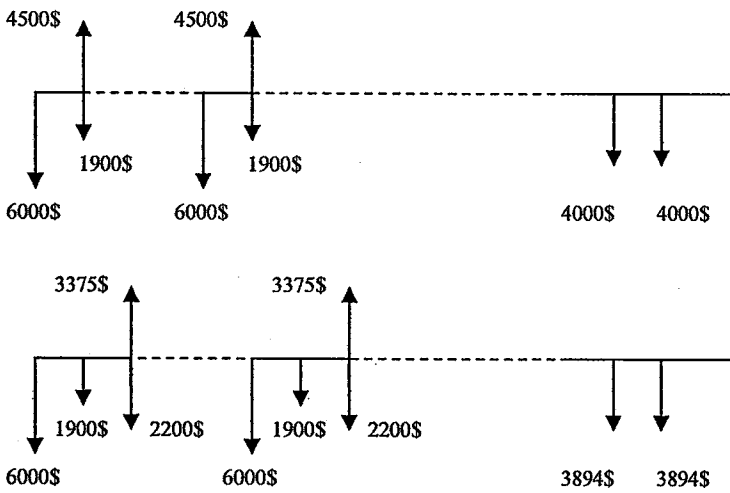
$$= \text{edinme} + \text{işletme} = \text{toplam maliyetler}$$

Yıl bazındaki edinme maliyeti düşerken, yıllık işletme maliyetleri artmış oldu. Bu işlem, daha uzun ömür süreleri için tekrarlandığında ortaya çıkan sonuçlar Tablo 5.2'de gösterilmiştir. En düşük olan \$3.793'lık düzgün eşdeğeri ise 5 yıllık ömür için elde edilmiş olduğunu görüyoruz. Buna ek olarak zaten belediye tarafından kullanılan bir ekonomik yolcu arabasının ekonomik ömrü de 5 yıldır. Şekil 5.9'da edinme maliyetleri, işletme (ve üretkenlik kaybı) maliyetleri ve toplam maliyetler gösterilmektedir. Yeni bir malın ekonomik ömrünü bulmanın mantığı şudur: Ekonomik ömrü doğrultusunda kalıcı olarak yenileme yapıldığında minimum sonsuz düzgün eşdeğer maliyet akışını elde etmiş oluruz. Şekil 5.10 işte bu kavramı

göstermektedir. Tabi ki bununla beraber malın uzun bir süre boyunca hizmet vereceğini de kurguluyor olmak zorundayız. Ekonomik ömür kavramı, henüz kullanımda olan bir mal (savunan) için de uygulanabilir. Ancak bazı özel durumlar vardır ki, savunucu için en uygun alıkoyma süresi, aynı malın ekonomik ömründen farklıdır. Bu nedenle savunucunun ekonomik ömrünün, adayın düzgün eşdeğer maliyetinden düşük olduğu durumlarda marjinal inceleme yapılması önerilir.



Şekil 5.9 : Bir mal için edinme, işletme ve toplam maliyetler



Şekil 5.10 : Yenileme döngülerinin, sonsuz düzgün eşdeğer maliyet akışlarına dönüştürülmesi

## 5.8. Sonsuz Planlama Dönemi Yöntemleri

Artık sonsuz planlama dönemi kavramı ve beraberinde getirdiği yenilemenin sonsuz dizinleri konuları anlaşılmış durumdadır. Eğer karar verme problemine bu kavram uygulanacak olursa, yine burada gösterilen ve göreceli olarak daha kolay olan çözüm teknikleri de kullanılabilir. Aşağıdaki alt başlıkta, ekonomik ömür kavramını bir vergi sonrası incelemesinde kullanıyoruz.

### 5.8.1. Teknoloji veya Maliyet Değişiklikleri Olmadan Düzgün Eşdeğer Yöntemi

Eğer verilmesi gereken karar, yeni bir malın ne kadar süreyle elde tutulacağı ise, sunulmuş olan ekonomik ömür kavramını kullanmalıyız. Savunucu ile aday arasında seçim yapılması gerekiyorsa, uygulanacak olan inceleme işlemi şu şekildedir: (1) Yeni malın (aday) ekonomik ömrü, (2) mevcut hurda değerini, satın alma maliyeti olarak kabul ederek eski malın (savunan) ekonomik ömrünü bulun, (3) farklı ekonomik ömürlerin düzgün eşdeğerlerini, dışarıdan bakış açısı kullanarak kıyaslayın (4a) eğer adayın düzgün eşdeğer maliyeti daha düşükse, savunacı yenileyin, (4b) eğer savunucunun düzgün eşdeğer maliyeti daha düşükse, bir yıl daha tuttuktan sonra yeni bir inceleme daha yapın.

Marjinal inceleme yöntemi sayesinde, savunucunun mevcut hurda değerinin sıfır yada neredeyse sıfır olduğu durumlardaki tuzakların bazılarından kurtulmak mümkün olmaktadır. Bu yöntemdeki örtülü varsayım şudur ki, savunucunun yada adayın yenilenmesi, elde mevcut olan adaya benzer modeller ile yapılacaktır. Bununla birlikte kazancın kullanılan mala bağlı olmadığını da varsaymaktayız. 8 yaşındaki bir savunucunun mevcut hurda değeri \$4.500, işletme ve bakım maliyetleri bu yıl için \$1.500 ve her yıl için de \$1.500 daha artmaktadır (Tablo 5.3, sütun 3). Gelecekteki hurda değerinin ise yılda \$750 azalması beklenmektedir (Tablo 5.3, sütun 2). Savunucunun maliyeti tümüyle amorti edilmiş durumdadır. Adayın ise maliyeti \$9.000 olup, 5 yıllık ürün sınıfında bulunmakta ve işletme ve bakım maliyetleri de ileride artmak üzere yıllık olarak \$1.393'dır (Tablo 5.4, sütun 3). Hurda değerinin birinci yıl sonunda \$5.018 olması ve giderek azalması beklenmektedir (Tablo 5.4, sütun 2). Amortisman yöntemiyle yapılmıştır ama 6 aylık anlaşma geçerli değildir. Firma ise büyük, iyi kar eden, % 40 bileşik gelir vergi oranına ve % 15 en düşük çekici verim oranına sahip bir firmadır. Bu şartlar altında

sizin tavsiyeniz ne olur? Her bir malın incelemek için genelleştirilmiş nakit akış yöntemini kullanacağız.

Savunucu: Bu mal tümüyle amorti etmiş olduğundan dolayı, hurda değerlerinin tümü amortismanın yeniden kazanımı olarak işlem görmekte ve % 40 ile vergilendirilerek geriye % 60 bırakmaktadır. Çizelge yaklaşımı kullandığımızda Tablo 5.3'te görülen sonuçları elde etmekteyiz. Savunucunun kalan ekonomik ömrü bariz olarak 1 yıldır. Sütunların açıklaması: Sütun (6) (Sütun 2)  $(1 - 0.4)$ , Vergi Sonrası hurda işlemleri, sütun (7)  $(\$2.700 - \text{Sütun 6}) (A/P, \%15, N) + (0.15) (\text{Sütun 6})$ , sütun (8) (Sütun 3)  $(1 - 0.4)$ , sütun (9)  $\$900 + 900 (A/G, \%15, N)$ , sütun (10) kullanım süresinin bir işlevi olarak toplam düzgün eşdeğer maliyetleri.

Tablo 5.3. Savunan için Ekonomik Ömür Hesaplamaları

|      |                                |        |        |        |        |
|------|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| (10) | Sütun 7                        | 1755\$ | 2143\$ | 2510\$ | 2860\$ |
| (9)  | Sütun 8'in Yıllık Eşdeğeri     | 900\$  | 1319\$ | 1716\$ | 2094\$ |
| (8)  | Vergi Sonrası İşletme ve Bakım | 900\$  | 1800\$ | 2700\$ | 3600\$ |
| (7)  | (P-S) nin Yıllık Eşdeğeri      | 855\$  | 824\$  | 794\$  | 766\$  |
| (6)  | Vergi Sonrası S                | 2250\$ | 1800\$ | 1350\$ | 900\$  |
| (5)  | A/G                            | 0      | 0.4651 | 0.9071 | 1.3263 |
| (4)  | A/P                            | 1.1500 | 0.6151 | 0.4380 | 0.3503 |
| (3)  | Vergi Öncesi İşletme ve Bakım  | 1500\$ | 3000\$ | 4500\$ | 6000\$ |
| (2)  | S                              | 3750\$ | 3000\$ | 2250\$ | 1500\$ |
| (1)  | N                              | 1      | 2      | 3      | 4      |

Aday: İşletme ve bakım maliyetlerinde eşit olmayan şekildeki artışlar bizi A/G etkenini kullanmaktan alıkoymaktadır. Bu nedenle de işletme ve bakım yaklaşımında daha zahmetli olan şimdiki zaman yöntemini kullanmak zorundayız. Sütunların bazıları açıklama yapmayı gerektirmektedir. İlk yıllardaki defter değeri, hurda değerinden fazla olduğu için, satış durumunda hem kayıp hem de takip eden bir vergi kredilendirilmesi yaşanacaktır. Malın bir yıl sonra satılması durumunda  $\$7.200 - 5.018 = \$2.182$  'lık bir kayıp ve  $(\$2.182)(0.4) = \$873$  'lık bir vergi

kredilendirmesi ortaya çıkmaktadır. 6'ncı sütunda gösterilen vergi sonrası hurda işlemleri ise  $\$5.018 + \$873 = \$5.891$  ' dir. Sütunların açıklanması: Sütun (4) ilk 5 yıl için  $\$9.000/5$ , sütun (5) defter değeri 0'a ulaşana kadar  $\$9.000 - (1.800) (N)$ , sütun (6) Sütun 2 – (Sütun 2 – Sütun 5) (0.4), sütun (7) (Sütun 4) (0.4) bir nakit kazanç akışını simgeler, sütun (8) (Sütun 3) (1 – 0.4), sütun (9) Sütun 8 – Sütun 7.

Tablo 5.4. Adayın Ekonomik Ömrü için Ön Hesaplamalar

|     |                                |        |        |        |        |        |        |        |
|-----|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| (9) | Vergi Sonrası Yıllık           | 116\$  | 200\$  | 703\$  | 1153\$ | 1603\$ | 3150\$ | 3600\$ |
| (8) | Vergi Sonrası İşletme ve Bakım | 836\$  | 920\$  | 1423\$ | 1873\$ | 2323\$ | 3150\$ | 3600\$ |
| (7) | Amortisman Vergi Kalkanı       | 720\$  | 720\$  | 720\$  | 720\$  | 720\$  | 0\$    | 0\$    |
| (6) | Vergi Sonrası S                | 5891\$ | 4717\$ | 3617\$ | 2538\$ | 1476\$ | 1329\$ | 1196\$ |
| (5) | Defter Değeri                  | 7200\$ | 5400\$ | 3600\$ | 1800\$ | 0\$    | 0\$    | 0\$    |
| (4) | Amortisman                     | 1800\$ | 1800\$ | 1800\$ | 1800\$ | 1800\$ | 0\$    | 0\$    |
| (3) | Vergi Öncesi İşletme ve Bakım  | 1393\$ | 1533\$ | 2372\$ | 3122\$ | 3870\$ | 5250\$ | 6000\$ |
| (2) | S                              | 5018\$ | 4262\$ | 3628\$ | 3030\$ | 2460\$ | 2215\$ | 1993\$ |
| (1) | N                              | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      |

İlk 5 yıl amortisman vergi kalkanı  $(\$1.800)(0.4) = \$720$  'tür. Bu miktar aslında bir nakit girdisini temsil eder, çünkü borçlanılan vergiyi azaltmaktadır. Sütun 9 ise vergi sonrası işletme ve bakım maliyetlerinin toplamından, amortisman vergi kalkanının çıkartılması sonucu elde edilen değerlerdir. (artı değerlerin nakit giderleri temsil ettiği karşıt işaret yöntemini kullanmaktayız). Tablo 5.4'te hesaplanmış olan ön hesap verileri sayesinde artık Tablo 5.5'te gösterildiği gibi vergi sonrası bazında ekonomik ömür hesaplamalarını yapabiliriz. Sütun 6 bize düzgün eşdeğer edinme maliyetlerini vermektedir. (işletme ve bakım ile birleştirilmiş olan amortismanı hairç tutmaktadır). Düzgün eşdeğer işletme ve bakım maliyetleri her yenileme döngüsü için sütun 7 ve 8'de gösterilen yıllık işletme ve bakım maliyetlerinin şimdiki zaman toplamı alınarak hesaplanmaktadır.

Tablo 5.5. Aday için Ekonomik-Ömür Hesaplamaları

|      |                                |        |        |        |        |        |        |        |
|------|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| (10) | Toplam                         | 4575\$ | 3497\$ | 3213\$ | 3125\$ | 3113\$ | 3159\$ | 3229\$ |
| (9)  | Yıllık Eşdeğer                 | 116\$  | 155\$  | 313\$  | 481\$  | 647\$  | 933\$  | 1174\$ |
| (8)  | Yıllık Toplam<br>Şimdiki Zaman | 101\$  | 252\$  | 714\$  | 1373\$ | 2170\$ | 3532\$ | 4885\$ |
| (7)  | Yıllık Şimdiki<br>Zaman        | 101\$  | 151\$  | 462\$  | 659\$  | 797\$  | 1362\$ | 1353\$ |
| (6)  | (P-S)'nin Yıllık<br>Eşdeğeri   | 4459\$ | 3342\$ | 2900\$ | 2644\$ | 2466\$ | 2226\$ | 2055\$ |
| (5)  | A/P                            | 1.1500 | 0.6151 | 0.4380 | 0.3503 | 0.2983 | 0.2642 | 0.2404 |
| (4)  | P/F                            | 0.8696 | 0.7562 | 0.6575 | 0.5718 | 0.4972 | 0.4323 | 0.3759 |
| (3)  | Vergi Sonrası<br>Yıllık        | 116\$  | 200\$  | 703\$  | 1153\$ | 1603\$ | 3150\$ | 3600\$ |
| (2)  | Vergi Sonrası S                | 5891\$ | 4717\$ | 3617\$ | 2538\$ | 1476\$ | 1329\$ | 1196\$ |
| (1)  | N                              | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      |

Bu toplam daha sonra sütun 9'daki düzgün eşdeğer işletme ve bakım maliyetlerini elde etmek için A/P etkeniyle çarpılmaktadır. Sütun 10'daki toplam düzgün eşdeğer maliyetleri, adayın ekonomik ömrünü \$3.113'lık düzgün eşdeğer ile ancak 5 yıl olarak göstermektedir. Bu ömrün amortisman için vergi maliyetleri tarafından ağır şekilde etkilendiği de şüphe götürmez. Tablo 5.5'teki veriler dikkatlice yorumlanmalıdır. Sütun 3 ve 7'dekiler gibi olan bazıları ise malın edinilmiş olduğu yıllarda ortaya çıkan maliyetlere aittir. Sütun 2'deki gibi olan diğerleri ise edinme dönemi sonundaki bir seferlik akışlara aittir. Diğer yanda sütun 6, 9 ve 10'daki gibi veriler de edinme döneminin her bir yılına denk gelen yıllık maliyetleri ifade eder. Sütun 1'de bulunan N indeksi ise tek bir yıl ve yenileme döngüsü için kullanılmıştır. Savunucunun geriye kalan ekonomik ömrü (bir yıl) için düzgün eşdeğer maliyeti \$1.755 olduğu ve \$3.113'dan daha az olduğu için, savunucuyu en az bir yıl daha tutmak yönünde karar alınacaktır.

Sütunların açıklaması: Sütun (2) Tablo 5.4, Sütun 6'dan, sütun (3) Tablo 5.4, Sütun 9'dan, sütun (6) (\$9.000 – Sütun 2) (A/P, %15, N) + (Sütun 2) (0.15), yenileme döngüsünün bir işlevi olarak düzgün eşdeğer edinme maliyetleri, sütun (7) (Sütun 3) (P/F, %15, N), sütun (8) Sütun 7'nin kümülatif toplamı, sütun (9) (Sütun 8) (A/P, %15, N), amortisman vergi kalkanı değerini de içeren düzgün eşdeğer işletme ve bakım maliyetleri, sütun (10) Sütun 6 + Sütun 9, yenileme döngüsünün bir işlevi olarak toplam düzgün eşdeğer maliyetleri.

Bir yıl ileriye bakarak, sonraki incelemenin nasıl yapılacağını belirlemeye çalışabiliriz. Savunucu için bir diğer ekonomik ömür hesaplaması daha yapabiliriz ama bizim verdiğimiz örnekte marjinal inceleme yapmak (ekonomik ömrü bir yıl olduğundan dolayı) daha kolaydır. Savunucuyu edinmek ve işletmekten dolayı zaman 1 ile zaman 2 arasında ortaya çıkan ve zaman 1'de belirtilen maliyetler şöyledir:

$$(\$2.250 - 1.800) \left( \frac{A}{P}, \%15, 1 \right) + (1.800)(0.15) + 1.800 = \$2.588$$

Elde edilen bu değer yine de \$3.113'dan düşük olduğu için, savunucuyu en az zaman 2'ye kadar elde tutmaya devam edeceğiz demektir. Zaman 2 ile zaman 4 arasındaki dönemi incelediğimizde ise, zaman 2'deki maliyetler şunlardır:

$$(\$1.800 - 1.350)(1.15) + (1.350)(0.15) + 2.700 = \$3.420$$

Bu seferki değer \$3.113'ten yüksek çıkmıştır ve bunun anlamı da savunucuyu zaman 2'de emekliye ayırarak sonsuz planlama dönemimizde 5 yıllık aralıklarla yenilenecek olan adayı satın alacağımızdır. Önceki örnekte 0 zamanında gerçekleştirdiğimiz incelemede savunucunun ekonomik ömrü bir yıldır ve bu durumu zaman 1'de ve sonrasında da yeniden incelemek gerekiyordu. Eğer kalan ekonomik ömrü 2 yıl olsaydı, yeniden inceleme yapmadan önce savunucuyu 2 yıl daha tutmaya karar verebilirdik. Böylesi bir durumda, zaman 1'de marjinal inceleme yapmış olsaydık savunucuyu bir yıl daha elimizde tutmaya karar vermiş olacaktık. Savunucu için her yıl inceleme gerçekleştirmekteki nedenlerin bazıları şunlardır: İşletme ve bakım maliyetlerindeki değişiklikler, hurda değerlerindeki değişiklikler, adayın satın alma maliyetindeki değişiklikler, vergi yasasındaki değişiklikler.

Önceki örnekte sonsuz planlama dönemi varsaymış olmamıza rağmen yine de kullanılmamış değerin tanımlanması kullanarak aynı incelemeyi yapacaktık. Bu tür bir yaklaşımda doğrulanması gereken varsayım ise, henüz ekonomik ömrü olan her malın, inceleme dönemi ardından vergi uygulamasında bir değişiklik olmaksızın eşdeğer üretkenlikteki kullanıma aktarılabilir olduğu. Bu kısımda sunulan ekonomik ömür kavramı, temel olarak elde tutma döneminin bir işlevi olarak düzgün eşdeğer için özel minimum varsayımına dayanmaktadır. Birden fazla sayıda minimum değer var olduğunda, örneğin bir veya iki yerel minima varsa çok daha dikkatli ilerlememiz gerekir. Yaklaşımlardan birisi, sonunda aday tarafından yenilenecek olan savunanın elde tutulduğu dönemdeki olası her bileşimin değerlendirmeye tabi tutulmasıdır. Bu yaklaşım için sonsuz yenileme izinlerinin şimdiki zaman değeri incelemesi gerekli olacaktır.

#### **5.8.2. Satınalma Maliyetleri ve İşletme ve Bakım Maliyetlerindeki Geometrik Değişiklikler, Şimdiki Zaman Yöntemi**

Bu kısımda, malların maliyetlerinde aşamalı değişikliklere izin vermekteyiz. Sonsuz planlama dönemi için inceleme yöntemi ise şimdiki zaman'dır. Bir makinenin yenisi \$10.000, ilk yıl için işletme maliyeti \$3.000 ve ilk yıl sonundaki hurda değeri \$5.000'dır. İşletme maliyetleri her yıl % 5 artmaktadır. Benzer şekilde hurda değeri de her yıl % 10 azalmaktadır. Makinenin yeni modelleri ise yıllık olarak şu maliyet avantajlarıyla piyasaya sürülmektedir: Bir önceki yıla ait modelin satın alma fiyatından % 3 daha ucuzdur ve ilk yıl için işletme maliyeti de % 4 daha düşüktür. Takip eden yıllardaki işletme maliyetleri ise hep % 5 artmaktadır. 1'inci yıl sonundaki hurda değeri satın alma fiyatının % 50'si olurken, hurda değeri de her yıl %10 düşmektedir. Vergi öncesi incelemesi kullanarak  $i' = \%10$  için en iyi yenileme döngüsünü bulun. Örnekteki gibi bir probleme el atmadan önce fiyat, işletme maliyetleri, hurda değerleri ve benzeri öngörüler üzerinde veri incelemesi yapmak için ciddi miktarda zaman harcamak zorundayız. Bu türlü incelemeler için en iyisi sabit Dolar kullanmaktır. Buna göre sabit Dolar kullanıldığını ve faiz oranının enflasyonsuz halde % 10 olduğunu varsayıyoruz. Bu noktada iki ifade kullanmamız gerekir. Birincisi sonsuz planlama dönemleriyle ve diğeri de yenileme döngüleriyle ilgilidir. Birincisi olan sonsuz planlama dönemi aslında uygun matematiksel hileler gerçekleştirmemizi sağlayan bir kavramdır. % 10 ve daha yüksek faiz oranları için bulacağımız sonsuz planlama dönemi aslında 50 yıllık bir dönem için bulacağımız

çözümünden çok az farklı çıkacaktır ama elde edilmesi daha kolaydır. Bir sonraki kısımda göreceğimiz dinamik programlama tekniği çok sık olarak göstermektedir ki, mevcut adayın ekonomik ömrünün bir buçuk yada iki katına kadar olan planlama dönemleri seçildiğinde, savunucuyu tutmak yada vazgeçmek konusunda sonsuz planlama dönemiyle aynı kararın verilmesi yaşanmaktadır. İkincisinde, Örnek 5.16'nın çözümü için bir sabit yenileme döngüsü varsaymaktayız. Bu durum bizi ikincil en uygun çözüme götürür. Örneğin 5, 5, 5, 6, 6, ... yıllarda yenileme yapmak için ikincil en uygun çözüm her 5 yılda bir yenileme yapmak olacaktır. Öngörülerdeki belirsizlik nedeniyle, ikincil en uygunluk konusunda fazlaca endişelenmemize gerek yoktur. Takip eden kararlar en uygun yapıda olmasalar bile, iskontonun etkisi bizi en uygun mevcut kararı vermek eğilimine sokacaktır. Örneği, yenileme döngüsü olan  $n$ 'nin bir fonksiyonu olarak çıkan tüm maliyetlerin şimdiki zaman değerini elde ederek çözeceğiz.

$P$  malın 0 zamanındaki satın alma fiyatıdır,  $P_n$  malın  $n$  zamanındaki satın alma fiyatıdır,  $a$  satın alma fiyatının hesaplanmasındaki yıllık çarpandır,  $i'$  enflasyonsuz (reel) faiz oranıdır,  $S_n$  malın  $n$  zamanındaki hurda değeridir,  $b$  1'inci yıl sonundaki hurda değerinin hesaplanmasındaki kesirdir, 1'den az olduğu varsayılır,  $c$  takip eden yıllardaki hurda değerlerinin hesaplanmasındaki kesirdir, 1'den az olduğu varsayılır,  $A$ , 0 zamanında satın alınan malın ilk yıl için işletme ve bakım maliyetleridir,  $P$  belirli malın işletme ve bakım maliyetlerinin hesaplanmasındaki yıllık çarpandır, 1'den büyük olduğu varsayılır,  $q$ , 0 zamanından sonra satın alınan bir malın ilk yıl işletme ve bakım maliyetlerinin hesaplanmasındaki yıllık çarpandır.

Terimler arasında belirli ilişkiler olduğunu varsayıyoruz. Öncelikle satın alma maliyetini ele alalım. 1 zamanında satın alınan bir malın maliyeti şudur:

$$P_1 = aP$$

ki burada

$$\frac{a}{1+i'} < 1 \quad (5.1)$$

2 zamanında satın alınan bir malın maliyeti ise şu olup:

$$P_2 = aP_1 = a^2P$$

Genel olarak da şöyle denebilir:

$$P_n = a^n P \quad (5.2)$$

Eğer her  $n$  yılda bir satın alma maliyetlerinin dizinini düşünecek olursak, maliyetlerin şimdiki zaman değerine olan katılımı şöyledir:

$$P_1 = P + \frac{a^n P}{(1+i')^n} + \frac{a^{2n} P}{(1+i')^{2n}} + \dots = P \left[ \frac{1}{1 - \left( \frac{a}{1+i'} \right)^n} \right] \quad (5.3)$$

Hurda değeri nakit akışlarının bir dizinini düşünün. Eğer 0 zamanında satın alınan bir malı, hemen bir yıl sonra satarsak, şunu elde ederiz:

$$S_1 = bP \quad (5.4a)$$

Eğer malı iki yıllık kullanımdan sonra satarsak da şunu elde ederiz:

$$S_2 = bcP \quad (5.4b)$$

Eğer malı her  $n$  yılda bir hizmetten kaldırmayı düşünecek olursak, ilk hurda değeri şu şekilde olacaktır:

$$S_n = bc^{n-1}P \quad (5.4c)$$

İkinci hurda değeri ise şudur:

$$S_{2n} = bc^{n-1}P_n = bc^{n-1}a^n P \quad (5.5)$$

ve bu şekilde gelişir. Her  $n$  yılda bir malı hizmetten kaldırmalar dizininde oluşan maliyetlerin şimdiki zaman değerine olan katılım ise şöyledir:

$$P2 = -P \left[ \frac{bc^{n-1}}{(1+i')^n} + \frac{bc^{n-1}a^n}{(1+i')^{2n}} + \frac{bc^{n-1}a^{2n}}{(1+i')^{3n}} + \dots \right] \quad (5.6)$$

$$= \frac{-Pbc^{n-1}}{(1+i')^n} \left[ \frac{1}{1 - \left( \frac{a}{1+i'} \right)^n} \right]$$

İşletme maliyetlerinin ifade edilebilmesi çok daha usandırıcıdır ama yine de benzer hatlara sahiptir. Her yenileme döngüsü  $n$  süresi kadar katkıda bulunur ve bu dönemlerin her biri, bir öncekinden daha yüksek maliyet gösterir. Her döngünün ilk dönemi, ilk yılki maliyetlerde oluşan gelişmeleri yansıtır. İlk malın işletme maliyetleri 1'inci yılda  $A$ , 2'inci yılda  $pA$ , 3'üncü yılda  $p^2A$  olup, bu şekilde devam eder. İkinci malın maliyetleri de yıl  $n+1$ 'da  $q^n$ , yıl  $n+2$ 'de  $pq^nA$ , yıl  $n+3$ 'te  $p^2q^nA$  şeklinde devam eder. Üçüncü malın maliyetleri ise yıl  $2n+1$ 'de  $q^{2n}A$ , yıl  $2n+2$ 'de  $pq^{2n}A$  ve yıl  $2n+3$ 'de  $p^2q^{2n}A$  olarak devam eder. İşletme maliyetlerinin kapalı yapıdaki ifadesi şudur:

$$P3 = \frac{\frac{A}{P} \sum_{k=1}^n \left( \frac{p}{1+i'} \right)^k}{1 - \left( \frac{q}{1+i'} \right)^n} \quad (5.7)$$

Eğer  $n$  büyük olacak gibi görünüyorsa, toplamını yansıtan ifadeye, sınırlı dizilerin yerini değiştirerek hesaplamaları azaltabiliriz. En iyi yenileme döngüsünü bulmak için, basit olarak  $n$ 'in farklı değerlerini inceliyoruz ( $P1 + P2 + P3$ ). Örnek için elimizde aşağıdaki ölçüt değerleri bulunmaktadır:  $P = \$10.000$ ,  $c = 0.9$ ,  $a = 0.97$ ,  $A = \$3.000$ ,  $i' = \%10$ ,  $p = 1.05$ ,  $b = 0.5$ ,  $q = 0.96$ . Mevcut değerlerin bileşenleri için kapalı yapıdaki ifadeleri de şunlardır:

$$P1 = \frac{\$10.000}{1 - 0.8818''}$$

$$P2 = \frac{-\$5.556(0.81818)''}{1 - 0.8818''}$$

$$P3 = \frac{\$2.857 \sum_{k=1}^n (0.9546)^k}{1 - 0.8727''}$$

Tablo 5.6. Geometrik Maliyet Değişiklikleri için Yenileme Döngüsü Hesaplamaları

| n  | P1     | P2      | P3     | Toplam PV |
|----|--------|---------|--------|-----------|
| 1  | 84.615 | -38.462 | 21.429 | 67.582    |
| 2  | 44.965 | -4.722  | 22.365 | 50.608    |
| 3  | 31.817 | -9.681  | 23.310 | 45.446    |
| 4  | 25.295 | -6.297  | 24.263 | 43.261    |
| 5  | 21.423 | -4.364  | 25.220 | 42.279    |
| 6  | 18.875 | -3.146  | 26.181 | 41.910    |
| 7  | 17.083 | -2.329  | 27.143 | 41.897*   |
| 8  | 15.763 | -1.759  | 28.103 | 42.107    |
| 9  | 14.758 | -1.347  | 29.060 | 42.471    |
| 10 | 13.973 | -1.044  | 30.012 | 42.941    |

\* En iyi yenileme döngüsü

Sonuçlar Tablo 5.6'da gösterilmiştir (orijinal verilerdeki hesaplamalarda dokuz basamaklı kesinlik kullanılmıştır; örneğin:  $0.97/1.1 = 0.881818182$ ). Şimdiki zaman değeri ise 7 yıllık yenileme döngüsüyle en aza indirilmiştir. Bu yöntemdeki hesaplamalar, hesap makinesiyle veya masaüstü bilgisayarla kolayca yapılabilmektedir. Bu yöntem, çok geniş bir yelpazedeki farklı durumlar için geliştirilebilir.

## 5.9. Sınırlı Planlama Dönemi Yöntemleri

Mevcut değer yöntemleri, düzgün eşdeğer yada diğer yöntemlere oranla daha genel türden yenileme kararlarına uygulanabilir yapıdadır. Şimdiki zaman yöntemi şu durumlarda uygulanabilir: Tekrarlanabilirliği olan hizmet projeleri (gelirler bilinmiyor veya değişmiyor ise, ortak ve yaygın bir planlama dönemi kullanın), tekrarlanabilirliği olmayan hizmet projeleri (kullanılmayan değer tanımlanmasını kullanın yada açıkça bir hurda değeri tahmin edin), tekrarlanabilirliği olan (ve tüm faydalar ile maliyetlerin bilindiği gelir projeleri (ortak ve yaygın bir planlama

dönemi kullanın), tekrarlanabilirliği olmayan gelir projeleri (her seçeneğin kendi en iyi ömür süresinin PV'sini hesaplayın.

PV yöntemleri, sonsuz planlama dönemlerine de uygulanabilir; bu yöntemler hem uygun olan belirli bir duyarlılık incelemesine imkan verir, hem de en uygunlaştırma tekniklerinden yararlanırlar.

#### 5.10. Şimdiki Zaman Yöntemi'nin Enflasyona İlişkin Duyarlılık İncelemesi

Yönetimin karşılaştığı tipik bir soru da, enflasyonun yenileme kararı üzerindeki etkisinin ne olacağıdır. Bir malı satın almak ve işletmekten oluşan vergi sonrası etkilerini ayrı ayrı ele alarak, bir yada daha fazla etkenle bağlantılı olarak vergi sonrası şimdiki zaman değerinin duyarlılık incelemesini uygun bir şekilde gerçekleştirebiliriz. Örneğin, kurumların çoğu, çalışma ücretleri, malzeme ve para faiz oranları için hesap amacıyla, gelirlerini arttırmak durumundadırlar. Ancak, amortisman vergi kalkanı ise gerçek geçmiş maliyete dayanır ve yüksek enflasyon dönemlerinde, amaçlanan değerini çoğunu kaybeder. Şimdiki örnekte, amortisman vergi kalkanının değerindeki kaybı göstermek için genelleştirilmiş nakit akışlarını kullanacağız. Maliyeti \$10.000 olan bir ekipmanın sabit dolar olarak gelecek 5 yıl boyunca vergi öncesi değer olarak \$2.900 net yıllık kar üretmesi ve bu süre sonunda hurda değerinin sıfır olması beklenmektedir. Kullanılacak amortisman, yarı-ömür anlaşmasız SL olup, vergi oranı ise % 34'tür. Vergi sonrası enflasyonsuz en düşük çekici verim oranı değeri  $i' = \%8$ 'dir. Buna göre % 0 ile % 10 arası enflasyon yelpazesinde bu yatırımın yapmaya değer olup olmadığına karar verir. Pazar en düşük çekici verim oranı değerini hesaplamak için Denklem 5.8'i kullanacağız:

$$i = (1 + i')(1 + f) - 1 \quad (5.8)$$

burada  $i$  = pazar faiz oranı,  $i'$  = enflasyonsuz faiz oranı,  $f$  = enflasyon oranıdır. Bu örnekteki şimdiki zaman bileşenleri de şunlardır: 0 zamanında sabit dolar olarak \$10.000'lık yatırım, sabit dolar olarak  $\$2.900(1 - 0.34)$ , sabit dolar olarak  $(\$10.000/5)(0.34)$ . İlk iki bileşen, enflasyonsuz faiz oranı  $i'$ , üçüncüsü ise pazar faiz oranı  $i$ 'den düşülecektir.

$$PV = -\$10.000 + (2.900)(1 - 0.34)(P / A, i', N) + (2.000)(0.34)(P / A, i', N)$$

Hesaplama sonuçları Tablo 5.7’de gösterilmiştir. Görülen o ki, % 5 ve daha düşük enflasyon oranları yatırım yapmaya değerken, daha yukarı oranlar buna değer değildir. Bu problemi çözmenin diğer bir seçenek yolu ise, tüm akışları mevcut dolar değerlerine çevirip, vergi hesaplamasını yapmak, vergi sonrası nakit akışını elde etmek ve sonrasında (isteğe bağlı olarak) yeniden sabit dolara çevirmektir. Tablo 5.8 bunu tek bir değer yani  $f = \%5$  için göstermektedir. Sabit dolarları düşüğümüz için şimdiki zaman değeri hesaplaması % 8’de yapılmıştır. Uzun olan (gelir tablosu) yaklaşımında tek değer  $f$  için  $f$ ’nin tüm değerler yelpazesi için kullandığımız kestirme yaklaşımdakinden çok daha fazla hesaplama yaptığımız barizdir. Sebebi ise, uzun yaklaşımda sabit dolarları gerçek dolarlara önce yükseltip sonra da indiriyor olmamızdır. Eğer nakit akış türlerinin çoğu enflasyon ile artarsa, amortisman düzensiz bir yapı izlese bile sabit dolar kullanarak hesaplamaları daha rahat yapabildiğimizi görmekteyiz.

Tablo 5.7. Enflasyonun bir fonksiyonu olarak Şimdiki Zaman değeri

| $i'(\%)$ | $f(\%)$ | $i(\%)$ | $P / A, i, N$ | $PV$  |
|----------|---------|---------|---------------|-------|
| 8        | 0       | 8       | 3.9927        | \$357 |
| 8        | 2       | 10.16   | 3.7753        | 209   |
| 8        | 3       | 11.24   | 3.6737        | 140   |
| 8        | 4       | 12.32   | 3.5764        | 74    |
| 8        | 5       | 13.40   | 3.4832        | 11    |
| 8        | 6       | 14.48   | 3.3938        | -50   |
| 8        | 8       | 4.64    | 3.2260        | -164  |
| 8        | 10      | 18.80   | 3.0713        | -269  |

Sütunların açıklaması: Sütun (3)  $(Süt.2)(1.05)^N$ , sütun (5)  $Süt.3 - Süt.4$ , sütun (6)  $(Süt.5)(0.34)$ , sütun (7)  $Süt.3 - Süt.6$ , sütun (8)  $(Süt.7)(1.05)^{-N}$ .

$$\begin{aligned}
 PV(\%8) &= -\$10.000 + (2.562)(0.9259) + (2.531)(0.8573) \\
 &\quad + (2.502)(0.7938) + (2.473)(0.7350) + (2.447)(0.6806) \\
 &= \$11
 \end{aligned}$$

Tablo 5.8. Sabit Dolar İncelemesi

| (1) N | (2) Sabit Dolar Akışı Vergi Öncesi | (3) Gerçek Dolar Akışı Vergi Öncesi | (4) Amortisman | (5) Vergilendirilebilir Gelir | (6) Vergi | (7) Gerçek Dolar Akışı Vergi Sonrası | (8) Sabit Dolar Akışı Vergi Sonrası |
|-------|------------------------------------|-------------------------------------|----------------|-------------------------------|-----------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| 0     | -10.000                            | -10.000                             | -              | -                             | -         | -10.000                              | -10.000                             |
| 1     | 2.900                              | 3.045                               | 2.000          | 1.045                         | 355       | 2.690                                | 2.562                               |
| 2     | 2.900                              | 3.197                               | 2.000          | 1.197                         | 407       | 2.790                                | 2.531                               |
| 3     | 2.900                              | 3.357                               | 2.000          | 1.357                         | 461       | 2.896                                | 2.502                               |
| 4     | 2.900                              | 3.525                               | 2.000          | 1.525                         | 519       | 3.006                                | 2.473                               |
| 5     | 2.900                              | 3.701                               | 2.000          | 1.701                         | 578       | 3.123                                | 2.447                               |

### 5.11. Dinamik Programlama Yöntemi

Düzgün eşdeğer yöntemlerinde arıza çıkması da olasıdır, özellikle de eğer teknolojik değişiklikler hızla yaşıyorsa veya kullanılmayan değerın tanımlanması geçerli değil ise (malın kalan ömrünün diğer bir üretim kullanımına aktarılamıyor olması). Genel türden bir yenileme problemi, aşağıdaki özellikleriyle tarif edilebilir: Planlama dönemi sınırlıdır, teknolojik değişimler düzensiz bir yapıdadır, maliyet değişiklikleri düzensiz bir yapıdadır, mallar planlama dönemi sonunda diğer üretim kullanımlarına aktarılamamaktadır.

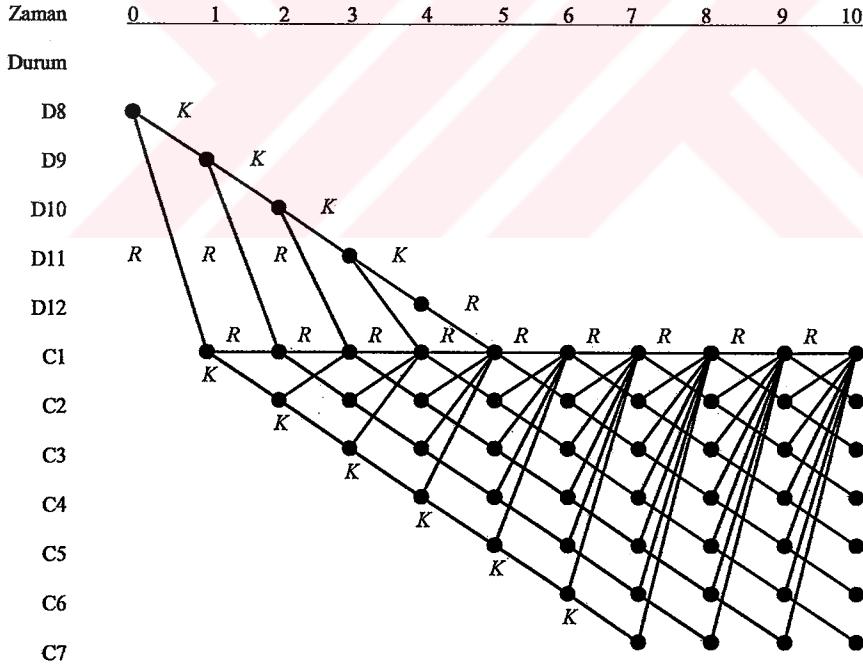
Böyle bir problemi çözmenin yolu, tüm “makul” yenileme yapılarını hazırlamak ve daha sonra da en ekonomik yapıyı seçmek için planlama dönemi için şimdiki zaman yöntemi kullanmaktır. Örneğin, eğer planlama dönemi 20 yıl ve mevcut adayın ekonomik ömrü de 8 yıl ise, bu durum için savunayı 0 zamanında yenilemekte olduğumuz şu yapıları elde ederiz: Yapı (1, 2, 3, 4, 5), mal 1’in ömrü (8, 8, 8, 7, 10), mal 2’nin ömrü (8, 7, 6, 7, 10), mal 3’ün ömrü (4, 5, 6, 6, -).

Dinamik programlama aslında bir en uygunlaştırma tekniği olup, bu tür bir durumda da kullanılabilir. Eğer planlama dönemi sınırlı ise, ileri tekrarlama kullanmak zorundayız (geri tekrarlama da kullanabiliriz fakat çok fazla iş gerektirir). Bu yüzden de ileri tekrarlamaı göstereceğiz. Önceki örnekte verileri kullanacak ve planlama dönemi boyunca teknolojiye, maliyetlerde veya vergi kanununda hiç bir değişiklik

olmadığını varsayacağız. Savunanın ömrünün uzunluğu en fazla 4 yıl ile sınırlı olacaktır. Adayın ömrü de en fazla 7 yıl ile sınırlı olup, sonunda tüm mallar kullanımdan kaldırılacak şekilde 10 yıllık bir planlama dönemi olduğunu varsayacağız. Olası kararlar dizini, Şekil 5.11'deki bir çizim ile gösterilmiştir. 0 zamanında D8 durumundayız, yani savunan 8 yaşındadır. 1 zamanındaki durumun bir fonksiyonu olarak en iyi kararı belirleyeceğiz. 1 zamanında iki olası durum söz konusudur: D9, yani savunan 9 yaşındadır veya C1, yani aday 1 yaşındadır. Fakat bu her iki duruma da ulaşmanın sadece bir yolu vardır (K = tut, R = yenile, Sav = savunucu, Ch = aday olmak üzere).

Tablo 5.9a. 4 ve 5 zamanları için hesaplamaları gösteren tablolar

| Durum | Karar  | Durum | PV maliyetleri                              |
|-------|--------|-------|---------------------------------------------|
| N = 1 | N = 0  | N = 0 |                                             |
| D9    | K sav* | D8    | $\$2.700 + (900 - 2.250)(0.8696) = \$1.526$ |
| C1    | R      | D8    | $\$9.000 + (116 - 5.891)(0.8696) = \$3.978$ |



Şekil 5.11 : Dinamik programlama yöntemi için çizim

Temel olarak artımsal yıllık maliyetleri hesaplıyoruz. R sav kararı:

Satın alma maliyeti

+ (ilk yıl vergi sonrası işletme ve bakım) (P/F, i, 1)

- (ilk yıl hurda vergi sonrası) (P/F, i, 1)

D9 için K sav kararı en uygun olandır, çünkü D9'a ulaşmanın tek yolu budur. C1'e ulaşmanın tek yolu R sav olduğu için o da en uygun durumdadır. Belirli bir duruma nasıl ulaşılacağına dair en uygun kararı işaretlemek için yıldız imgesi (\*) kullanıyoruz. Dikkat ederseniz eğer, 0 zamanına geri uzanıldığında  $N=1$  için şimdiki zaman maliyetleri, düzgün eşdeğer maliyetleriyle denktir. Bu da  $\$1.526 = \$1.755/1.15$ , ve  $\$3.978 = \$4.575/1.15$  demektir. Genel açıdan bakıldığında, 1 zamanındaki herhangi bir duruma ulaşmanın en iyi yolu K sav olmaktadır. Şimdi 1 zamanına geçerek 2 zamanındaki durumlara göz atıyoruz. D10'a ancak D9'dan ulaşmaktayız, yani D10 için en uygunu K sav olacaktır, fakat o yıl için savunucudan gelen edinme ve işletme maliyetlerini de ekleyeceğiz. C1'e ya D9 yada 1 zamanındaki C1'den ulaşır ve bize en düşük maliyeti veren kararı seçeriz. C2 durumuna ise sadece C1'den ulaşılabilir (çünkü örnekte kullanılmış mal satın alamıyoruz).

Tablo 5.9b. 4 ve 5 zamanları için hesaplamaları gösteren tablolar

| Durum | Karar | Durum | PV      | PV         | PV      |
|-------|-------|-------|---------|------------|---------|
| N = 2 | N = 1 | N = 1 | 1'e     | 1'den 2'ye | 2'ye    |
| D10   | K sav | D9    | \$1.526 | \$1.957    | \$3.483 |
| C1    | R sav | D9    | 1.526   | 3.459      | 4.985   |
|       | R ad  | C1    | 1.526   | 3.459      | 7.437   |
| C2    | K ch  | C1    | 1.526   | 1.707      | 5.685   |

Şimdiki zaman 1 ile 2 hesaplamaları ise şöyledir:

$$\$2.250(0.8696) + (1.800 - 1.800)(0.7562) = \$1.957$$

$$\$9.000(0.8696) + (116 - 5.891)(0.7562) = \$3.459$$

$$\$5.891(0.8696) + (200 - 4.717)(0.7562) = \$1.707$$

2'ye olan Şimdiki zaman unsuru, 1'e olan şimdiki zaman ile PV1'den 2'ye olanın toplamıdır. C1'e 2 zamanında, 0 zamanında K sav'ı işaret eden 2 zamanındaki R sav

ile ulaşmak çok daha ucuzdur. Bu kararda 2'ye olan şimdiki zaman değeri \$4.985 olup, 1 zamanındaki \$7.437'lik R sav ile kıyaslandığında 0 zamanındaki R sav'ı işaret etmektedir. (C1'e neden 2 zamanında ulaşmak isteyebileceğimiz sorusunu bir kenara bırakacağız) Fark ettiyseniz eğer, edinme ve işletme maliyetleri öyle şekilde parçaladık ki, artık durumu yıl bazında inceleyebiliriz. Bu yaklaşımın adayı 0 zamanında satın alıp 2 yıl tutmak gibi basit bir durum için geçerliliğini göstermek için, C2'ye C1 yoluyla ulaşmanın şimdiki zaman değerini 2 zamanına dönüştürebiliriz.

$$(\$5.685)(A/P, \%15, 2) = (5.685)(0.6151) = \$3.497$$

Bu değer, Tablo 5.5'te elde edilmiş olan  $N = 2$ 'nin düzgün eşdeğeri ile denktir. Ayrıca, R sav'nun 1 zamanındaki şimdiki zaman maliyetinin, 0 zamanındaki R sav'nun şimdiki zaman maliyetinin 1/1.15 ile çarpımına eşit olduğu olgusundan da faydalanabiliriz. (Tablo 5.9e)

Tablo 5.9c. 4 ve 5 zamanları için hesaplamaları gösteren tablolar

| Durum | Karar  | Durum | PV      | PV        | PV      |
|-------|--------|-------|---------|-----------|---------|
| N = 3 | N = 2  | N = 2 | 2'ye    | 2'den 3'e | 3'e     |
| D11   | K sav* | D10   | \$3.483 | \$2.249   | \$5.732 |
| C1    | R sav* | D10   | 3.483   | 3.009     | 6.492   |
|       | R ad   | C1    | 4.985   | 3.009     | 7.994   |
|       | R ad   | C2    | 5.685   | 3.009     | 8.694   |
| C2    | K ad*  | C1    | 4.985   | 1.485     | 6.470   |
| C3    | K ad*  | C2    | 5.685   | 1.651     | 7.336   |

3 zamanıyla devam ettiğimizde görüyoruz ki 3 zamanındaki C1'e ulaşmak için 2 zamanındaki D10'u kullanmak daha iyidir. 3 zamanındaki C1'e, 2 zamanındaki C1 vasıtasıyla ulaşmanın maliyetini hesaplarken, 2 zamanındaki C1'e ulaşmanın en iyi yolunu bildiğimizi çünkü buna dair problemi daha önceden çözmüş olduğumuz gerçeğini unutmayın. Tablo 5.9d'de 4 ve 5 zamanları için yapılan hesaplamaları dair iki tane tablo bulunmaktadır. Bu hesaplamaların sonuçları göstermektedir ki, 5 yıllık planlama dönemi için en iyi karar, savunucuyu 2 yıl daha tutup sonra da 3 yıllığına bir aday ile yenilemektir.

Tablo 5.9d. 4 ve 5 zamanları için hesaplamaları gösteren tablolar

| Durum | Karar  | Durum | PV      | PV        | PV      |
|-------|--------|-------|---------|-----------|---------|
| N = 4 | N = 3  | N = 3 | 3'e     | 3'ten 4'e | 4'e     |
| D12   | K sav* | D11   | \$5.732 | \$2.431   | \$8.163 |
| C1    | R sav* | D11   | 5.732   | 2.615     | 8.347   |
|       | R ad   | C1    | 6.492   | 2.615     | 9.107   |
|       | R ad   | C2    | 6.470   | 2.615     | 9.085   |
|       | R ad   | C3    | 7.336   | 2.615     | 9.951   |
| C2    | K ad*  | C1    | 6.492   | 1.291     | 7.783   |
| C3    | K ad*  | C2    | 6.470   | 1.435     | 7.905   |
| C4    | K ad*  | C3    | 7.336   | 1.586     | 8.922   |

Tablo 5.9e. 4 ve 5 zamanları için hesaplamaları gösteren tablolar

| Durum | Karar | Durum | PV      | PV        | PV       |
|-------|-------|-------|---------|-----------|----------|
| N = 5 | N = 4 | N = 4 | 4'e     | 4'ten 5'e | 5'e      |
| C1    | R sav | D12   | \$8.163 | \$2.275   | \$10.438 |
|       | R ad  | C1    | 8.347   | 2.275     | 10.622   |
|       | R ad* | C2    | 7.783   | 2.275     | 10.058   |
|       | R ad  | C3    | 7.905   | 2.275     | 10.180   |
|       | R ad  | C4    | 8.922   | 2.275     | 11.179   |
| C2    | K ad* | C1    | 8.347   | 1.123     | 9.470    |
| C3    | K ad* | C2    | 7.783   | 1.248     | 9.031    |
| C4    | K ad* | C3    | 7.905   | 1.380     | 9.285    |
| C5    | K ad* | C4    | 8.922   | 1.514     | 10.436   |

Daha da devam ederek Tablo 5.10a ve Tablo 5.10b'de 6'dan 10 zamanlarına kadar ilgili tablolar gösterilmektedir. Tablo 5.9e, 9 zamanındaki C3 vasıtasıyla 10 zamanındaki her duruma ulaşmanın en iyi yolunu göstermektedir. Bu da çift yıldız ile işaretlenmiştir. Tabloları geriye doğru izlediğimizde aldığımız sonuçlar şunlardır: Savunucuyu 2 yıl süreyle tutun, 2 zamanında bir aday satın alıp, 4 yıl boyunca tutun, 6 zamanında bir aday satın alıp, 4 yıl boyunca tutun.

Bu yapıda, gelecek 2 yıl için savunucunun düşük maliyetleri ve adayın 4 yıllık ömründeki en uyguna yakın olan düzgün eşdeğer maliyet faydaları elde edilmektedir. Her zaman dönemindeki en uygun kararlar dizini Şekil 5.12'de gösterilmiştir. Bu tablonun incelenmesiyle görülmektedir ki, eğer 10 zamanında herhangi bir durumdan geriye doğru 0 zamanındaki D8'e gittiğimizde, izleyeceğimiz yola savunucuyu 0 zamanında elde tutmak kararı da dahil olacaktır. Bu açıdan 10 zamanındaki

durumlara çıkan tüm yollarda savunucuyu 2 yıl daha tutmak kararı mevcuttur. Bunun anlamı ise şudur: Planlama döneminizi arttırsak bile, başlangıç kararımız aynı şekilde kalacaktır. Dinamik programlama algoritması bu tür bir bilgi verdiği içindir ki karar verme ve inceleme için çok güçlü bir yöntem olmaktadır. Yani maliyetler, teknoloji ve vergi kanununda değişikliklerin olduğu sınırlı bir planlama dönemi problemi ile başlayıp, herhangi bir zaman dönemine çıkan tüm yollar aynı başlangıç kararını içerdiği anda da durabiliriz. 10 zamanına çıkan en iyi yolun seçilmesi, tablo üzerinde bir en kısa yol problemi olarak da çözülebilir: D8'den bir en kısa yol ağacı çizerek.

## 5.12. Veri Tabanı Oluşturmak

Yenileme incelemesi bir çok veri girdisi gerektirir ki bunların çoğu bireysel bir karar vermek yada bir grup malı incelemek üzere bir kuruma öylesine gelen araştırmacılar için sürekli hazır halde değildir.

Tablo 5.10a. Zamanlar 6'dan 10'a kadarki hesaplamaları gösteren tablolar

| Durum<br>N = 6 | Karar<br>N = 5 | Durum<br>N = 5 | PV<br>5'e | PV<br>5'ten 6'ya | PV<br>6'ya |
|----------------|----------------|----------------|-----------|------------------|------------|
| C1             | R              | C1             | \$10.058  | \$1.978          | \$12.036   |
|                | R              | C2             | 9.470     | 1.978            | 11.448     |
|                | R*             | C3             | 9.031     | 1.978            | 11.009     |
|                | R              | C4             | 9.285     | 1.978            | 11.263     |
|                | R              | C5             | 10.436    | 1.978            | 12.414     |
| C2             | K*             | C1             | 10.058    | 976              | 11.034     |
| C3             | K*             | C2             | 9.470     | 1.086            | 10.556     |
| C4             | K*             | C3             | 9.031     | 1.200            | 10.231     |
| C5             | K*             | C4             | 9.285     | 1.317            | 10.602     |
| C6             | K*             | C5             | 10.436    | 1.521            | 11.957     |

Bir veri tabanında hangi unsurların bulunacağına karar vermeden önce gelin bir yenileme uzmanının yapması gereken inceleme türlerini ele alalım: (1) Yenileme için en iyi ömür süresini belirleyin, (2) belirlenmiş bir yenileme döngüsü için şimdiki zaman değeri elde edin, (3) belirlenmiş edinmeler ve kullanımdan kaldırmalar için yıl bazında şimdiki zaman değeri elde eder, (4) belli bir malı tutun yada yenileyin, (5) mevcut mal modelinden farklı bir modele geçin, (6) malı toparlama (bakım yapma) seçeneğini düşünün, (7) madde 1'den 6'ya kadar herhangi bir tanesi için yatırım, nakit akış ve enerji tüketimini yıl bazında belirleyin, (8) madde 1'den 6'ya

kadar herhangi bir tanesinin seçilmiş etkenleri üzerinde hassasiyet incelemesi gerçekleştirin.

Tablo 5.10b. Zamanlar 6'dan 10'a kadarki hesaplamaları gösteren tablolar (devam)

| Durum<br>N = 7 | Karar<br>N = 6 | Durum<br>N = 6 | PV<br>6'ya | PV<br>6'dan 7'ye | PV<br>7'ye |
|----------------|----------------|----------------|------------|------------------|------------|
| C1             | R              | C1             | \$11.009   | \$1.720          | \$12.729   |
|                | R              | C2             | 11.034     | 1.720            | 12.754     |
|                | R              | C3             | 10.556     | 1.720            | 12.276     |
|                | R*             | C4             | 10.231     | 1.720            | 11.951     |
|                | R              | C5             | 10.602     | 1.720            | 12.322     |
|                | R              | C6             | 11.957     | 1.720            | 13.677     |
| C2             | K*             | C1             | 11.009     | 845              | 11.858     |
| C3             | K*             | C2             | 11.034     | 944              | 11.978     |
| C4             | K*             | C3             | 10.556     | 1.043            | 11.599     |
| C5             | K*             | C4             | 10.231     | 1.145            | 11.376     |
| C6             | K*             | C5             | 10.602     | 1.323            | 11.925     |
| C7             | K*             | C6             | 11.957     | 1.478            | 13.435     |

Tablo 5.10c. Zamanlar 6'dan 10'a kadarki hesaplamaları gösteren tablolar (devam)

| Durum<br>N = 8 | Karar<br>N = 7 | Durum<br>N = 7 | PV<br>7'ye | PV<br>7'den 8'e | PV<br>8'e |
|----------------|----------------|----------------|------------|-----------------|-----------|
| C1             | R              | C1             | \$11.951   | \$1.495         | \$13.446  |
|                | R              | C2             | 11.858     | 1.495           | 13.353    |
|                | R              | C3             | 11.978     | 1.495           | 13.473    |
|                | R              | C4             | 11.599     | 1.495           | 13.094    |
|                | R*             | C5             | 11.376     | 1.495           | 12.871    |
|                | R              | C6             | 11.925     | 1.495           | 13.420    |
|                | R              | C7             | 13.435     | 1.495           | 14.930    |
| C2             | K*             | C1             | 11.951     | 738             | 12.689    |
| C3             | K*             | C2             | 11.858     | 821             | 12.679    |
| C4             | K*             | C3             | 11.978     | 907             | 12.885    |
| C5             | K*             | C4             | 11.599     | 996             | 12.595    |
| C6             | K*             | C5             | 11.376     | 1.150           | 12.526    |
| C7             | K*             | C6             | 11.925     | 1.285           | 13.210    |

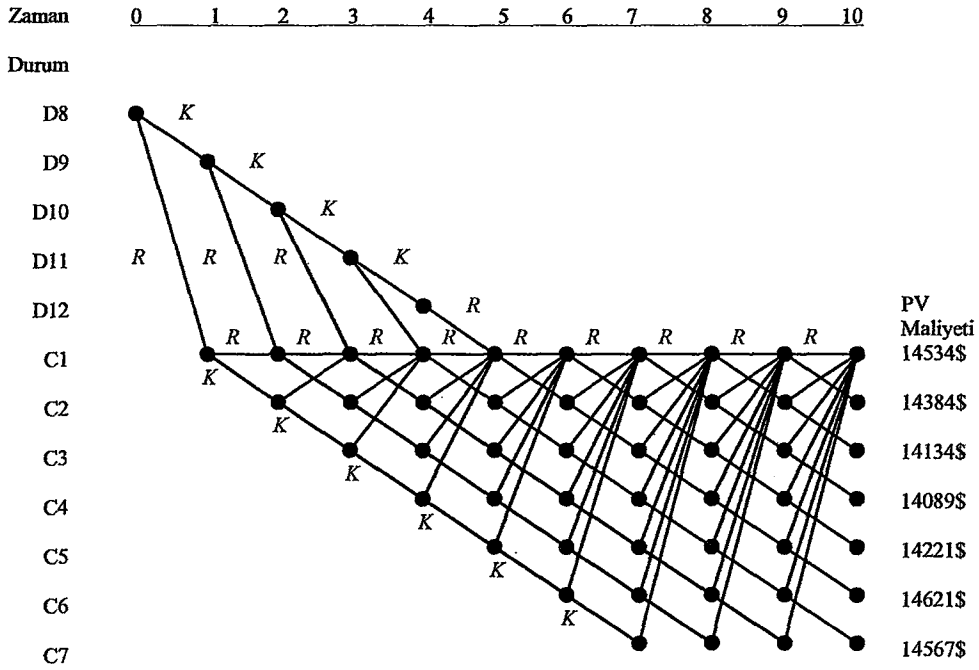
Tablo 5.10d. Zamanlar 6'dan 10'a kadarki hesaplamaları gösteren tablolar (devam)

| Durum<br>N = 9 | Karar<br>N = 8 | Durum<br>N = 8 | PV<br>8'e | PV<br>8'den 9'a | PV<br>9'a |
|----------------|----------------|----------------|-----------|-----------------|-----------|
| C1             | R              | C1             | \$12.871  | \$1.300         | \$14.171  |
|                | R              | C2             | 12.689    | 1.300           | 13.989    |
|                | R              | C3             | 12.679    | 1.300           | 13.979    |
|                | R              | C4             | 12.885    | 1.300           | 14.185    |
|                | R              | C5             | 12.595    | 1.300           | 13.895    |
|                | R*             | C6             | 12.526    | 1.300           | 13.826    |
| C2             | K*             | C1             | 12.871    | 672             | 13.513    |
| C3             | K*             | C2             | 12.689    | 714             | 13.403    |
| C4             | K*             | C3             | 12.679    | 789             | 13.468    |
| C5             | K*             | C4             | 12.885    | 866             | 13.751    |
| C6             | K*             | C5             | 12.595    | 1.000           | 13.595    |
| C7             | K*             | C6             | 12.526    | 1.118           | 13.644    |

Tablo 5.10e. Zamanlar 6'dan 10'a kadarki hesaplamaları gösteren tablolar (devam)

| Durum<br>N = 10 | Karar<br>N = 9 | Durum<br>N = 9 | PV<br>9'a | PV<br>9'dan 10'a | PV<br>10'a |
|-----------------|----------------|----------------|-----------|------------------|------------|
| C1              | R              | C1             | \$13.826  | \$1.131          | \$14.957   |
|                 | R              | C2             | 13.513    | 1.131            | 14.644     |
|                 | R*             | C3             | 13.403    | 1.131            | 14.534     |
|                 | R              | C4             | 13.468    | 1.131            | 14.599     |
|                 | R              | C5             | 13.751    | 1.131            | 14.882     |
|                 | R              | C6             | 13.595    | 1.131            | 14.726     |
|                 | R              | C7             | 13.644    | 1.131            | 14.775     |
| C2              | K*             | C1             | 13.826    | 558              | 14.384     |
| C3              | K*             | C2             | 13.513    | 621              | 14.134     |
| C4              | K**            | C3             | 13.403    | 686              | 14.089**   |
| C5              | K*             | C4             | 13.468    | 753              | 14.221     |
| C6              | K*             | C5             | 13.751    | 870              | 14.621     |
| C7              | K*             | C6             | 13.595    | 972              | 14.567     |

\*\* 10 zamanına en iyi ulaşım yolu



Şekil 5.12 : Dinamik programlama yöntemi

İnceleme için iki genel tip veri gereklidir: Ekonomik veri ve mallara dair veriler. Büyük ve kurumsallaşmış bir firmada ekonomik veriler genelde kullanıma hazır halde olurken, daha küçük yada yeni kurulmuş firmalarda bu verilerin yönetime danışarak belirlenmesine ihtiyaç duyulabilir. Ekonomik veriler şunlardır: Pazar oranı veya enflasyonsuz oran olarak belirlenmiş çekiciliği en az geri dönüş oranı, enflasyon tahmini; eğer en düşük çekici verim oranı bir pazar oranı ise, devamlılığını kontrol eder, amortisman cetvelleri ve vergi muafiyetleri, marjinal vergi oranı (ulusal ve yerel birleşik oran), mallar üzerindeki emlak vergileri, eğer malın içerisinde bakım yapıyorsa yedek parça ve işçilik üzerindeki sabit oranlar. İnceleme çok büyük bir ürün grubunu içermiyorsa, sabit oranlar son derece gerçekçi olmalı ve sadece değişebilir genel maliyetleri yansıtmalıdır, geçmiş bakım maliyetlerinin eğrisini elde etmek için eski fiyat endeksleri.

Mal ile ilgili veriler ise şunlardır: Model yılı bazında santın alma maliyeti, kullanımdan kalkma yaşı ve model yılı bazında hurda değerleri, yaş ve model yılı bazında bakım maliyetleri (parçalar ve işçilik yada sözleşme bedeli), model yılı bazında enerji ve malzeme tüketimi, yaş ve model yılı bazında kullanım, yaş ve model yılı bazında arızalar, onarım maliyetleri.

Bu veri ihtiyaçları genellikle kurum yönetiminin her modeli yıl bazında izleyen bir veri tabanını ifade eder. Bunun aynı muhasebe ve üretim verileri gibi eskiden beri devam eden bir çalışma olması gerekir. Çünkü ayrıntılı verileri yıllar, hatta aylar sonra edinmek bile genellikle çok zordur. Verinin ayrıntılı olması gerekliliği ise, yeni modellerin işletme ve bakım maliyetleri azaltımları ve benzeri eğilimler gösterip göstermediğini belirlemektir. Genel ve yaygın olarak varsayılan eğilimlerin bir çok sebepten dolayı doğru çıkmadığı durumlarla oldukça çok karşılaştık. Hepsinin ötesinde de, geçmişe dair verileri yaş ve model yılı bazında tutmak önemlidir, çünkü gerektiğinde sabit dolara çevirebilme olanağı verir.



## 6. BULANIK YENİLEME ANALİZİ

### 6.1. Giriş

Bu uygulama Karar Alıcılar (KA) için İşlem Sistemi (İS) seçim sistemi kurmayı hedeflemektedir. Karar alıcılar teknoloji seçiminde hem ekonomik hem de ekonomik olmayan unsurları göz önüne almak zorunda olduklarından, geliştirilen sistemde her iki unsura da yer verilmiştir. Karar alma sürecinin ekonomik yanı, Bulanık Yenileme Analizi kullanılarak geliştirilmiştir. Ekonomik olmayan unsurlar ve finansal veriler ise Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yaklaşımı kullanılarak biraraya getirilmiştir. İleriye yönelik nakit akışı konusundaki bilginin belirsiz ve eksik oluşu ve katı AHS'nin insan aklının işleyişini tam olarak taklit edemeyişinden ötürü, bulanık setler teorisi 2 İS'yi sırayla lisanslı ve lisanssız olarak kıyaslamak suretiyle hem AHS'ye hem de yenileme analizine uygulanmıştır. Çalışmada gerçek sayılardan oluşan bir uygulama da yer almaktadır. Bu çalışmanın hem teorik hem de pratik altyapısı göstermektedir ki ilgili yatırıma yönelik kararları alma sürecinde katı kavramların belirsizliği Bulanık AHS ve Bulanık Yenileme Analizinin uygulanması ile bertaraf edilebilmektedir. Bilişim Teknolojilerinin son dönemde karşılaştığı zorluklar, iş dünyasının profesyonellerini daha rekabetçi bir ortama doğru sürüklemektedir. Teknolojideki gelişmeler hızlandıkça, firmalar, ve hatta bireyler, teknoloji yenilemeye yönelik kararları daha sık almak durumunda kalmaktadır. Bir yenileme analizindeki ekonomik ve ekonomik olmayan unsurlar, AHS kullanmak kaydıyla incelenebilmektedir. AHS, çok yönlü karar alma sorunlarına yönelik kapsamlı bir yaklaşımdır. Saaty and Vargas (2001) tarafından tasarlanan AHS, bir çok kritere göre yapılan değerlendiremlerden sonra elde kalan çeşitli alternatifler arasından yapılan hem rasyonel hem de sezgiye dayalı seçimlerin her ikisi ile de başa çıkmayı hedeflemektedir. KA'lar, alternatifler arasında temel öncelikleri belirlemeye yarayan çiftli kıyaslama yargılarını içermektedir. AHS ise ayrıştırma prensiplerini, çiftli kıyaslamaları, öncelik vektör generasyonunu ve sentezi içermektedir. Bulanık veri içeren sorunları çözmek için Bulanık Çok Nitelikli Karar Alma (ÇNKA)

metodları önerilmektedir. Bulanık küme teorisini karar alma sorunları ile ilk ilişkilendiren Bellmann ve Zadeh'tir (1970). 1977 yılında, Baas ve Kwakernaak (1977) geniş çevrelerce bulanık ÇNKA metodunun klasik çalışması olarak sayılan bir bulanık ÇNKA metodu öne sürmüşlerdir. Geçen 15 sene boyunca, çok çeşitli bulanık ÇNKA metodları öne sürülmüştür. Bulanık ÇNKA metodlarına ilişkin tek sistematik çalışma Kickert (1978) ve Zimmermann (1987a ve 1987b) tarafından gerçekleştirilmiştir. İlk olarak Zimmermann (1987a) bulanık ÇNKA metoduna 2 yönlü bir süreç olarak yaklaşmıştır. İlk aşamada alternatiflerin bulanık faydalarının tespit edilmesi, sonraki aşamada da alternatifler arasında bir öncelik belirleyebilmek için bulanık ranking metodlarının uygulanması gerekmektedir. Toplamda 18 adet bulanık ÇNKA metodu bulunmaktadır (örneğin: ELECTRE, TOPSIS, Veri Zarflama Analizi). Bu metodlar, sistematik olarak 8 kategoride toplanabilmektedir. Kategorizasyon aşağıdaki 4 kritere dayanarak yapılmıştır: (1) büyük çaplı sorunları çözebilme kapasiteleri, (2) temin edilen verinin cinsi, (3) Her bulanık ÇNKA'nın örtüştüğü klasik bulanık ÇNKA metodu, ve (4) her metodun uyguladığı teknik. Bu çalışmada, yukarıda belirtilenler arasından yer alan Saaty'nin bulanık AHS yaklaşımı benimsenmiştir. Saaty (1977 ve 1978) iki çeşit bulanıklık olduğundan bahsetmektedir: algıda bulanıklık ve anlamda bulanıklık. İlki, kavranması mümkün olmayan maddelerin veya düşüncelerin yarattığı karmaşadan meydana gelmektedir. İkincisi ise, objelerin farklı işlevleri yerine getirirken farklı anlamlar içerebilmelerinden kaynaklanan anlamların göreceliğine bağlı bulanıklıktır. Nesneler parçalara ayrıştırıldığında bulanık görünmektedir çünkü ayrıştırmanın içeriğine göre farklı anlamlar ifade edebilmektedir. Bu metod, her iki türdeki bulanıklığa anlam verebilmek amacıyla önerilmektedir. Çok nitelikli bir sistemde hiyerarşik olarak yer alan bir sistemin işlevlerini şekillendirerek bulanıklık derecesini ölçmektedir. Bulanık AHS metodu, bulanık bilgiyi ifade etmek için doğrudan bulanık sayıları veya üyelik işlevlerini kullanmamaktadır. Burada tercih edilen yöntem, bir ÇNKA sorunun bulanıklığını ölçebilmek için, tutarlılık ölçütü ile beraber esas alınan bir oran ölçeğinin hesap edilmesidir. Tutarlılık, istikrar ve pareto optimalite kriterlerini açığa çıkaran algoritma, bulanıklığı ifade etmek için çok geçerli bir yöntemdir. Çeşitli yazarlar tarafından birçok bulanık AHS metodu öne sürülmüştür. Bu metodlar, bulanık küme teorileri ve hiyerarşik yapı analizi kavramlarını kullanarak alternatif seçimi ve onayı problemine yönelik sistematik yaklaşımlardır. Bulanık AHS'ye ilişkin ilk çalışmalar, üçgen üyelik işlemleri ile tanımlanan bulanık oranları

karşılaştıran Van Laarhoven ve Pedrycz (1983) tarafından gerçekleştirilmiştir. Buckley (1985) ise üyelik işlevleri trapezoidal/yamuk ikizkenarın kıstas ölçeklerinin bulanık önceliklerini belirlemiştir. Stam ve diğerleri (1996) de yeni geliştirilen yapay zeka tekniklerin AHS'deki tercih ölçeklerini belirlemede veya yakınlaştırmada nasıl kullanılabileceğini incelemiştir. Sonuç olarak, önceden tanımlı değerler kullanılan sinir sistemi benzeri ağ formullerinin, belirsiz veya bulanık ölçek oran tercih yargılarının yer aldığı, farklı alternatif çok-kriterli karar problemlerin analizine yönelik güçlü bir araç olduğu ortaya konmuştur. Chang (1996), bulanık AHS'nin çiftli kıstas ölçeği için üçgen bulanık rakamlar kullanımını öngören ve çiftli kıstasların sentetik genişleme değerleri için genişleme analizi metodu kullanımını içeren, bulanık AHS'yi farklı bir açıdan ele alan yeni bir yaklaşım ortaya atmıştır. Ching-Hsue (1997) üyelik işlevinin not değerine dayanan bulanık analitik hiyerarşi süreci kullanarak, donanmanın taktik misilleri sistemini ölçmeye yarayan yeni bir algoritma önermiştir. Cheng ve diğerleri (1999) dil bilimsel değişken ağırlığına dayanan, analitik hiyerarşi süreci sayesinde cephane sistemlerini ölçebilen yeni bir metod tanımlamıştır. Zhu ve diğerleri (1999) bulanık AHS'nin genişletilmiş analiz metodları ve uygulamaları üzerine bir tartışma başlatmışlardır. Bu çalışmada, öncelikle, teknoloji bölümünün ekonomik yönü, bulanık yenileme metodolojileri kullanılarak analiz edilmektedir. Sonrasında ise, hem ekonomik hem de ekonomik olmayan yönler, bulanık AHS kullanılmak suretiyle analiz edilmektedir. Bu çift yönlü analiz yaklaşımı, KA'ları, hem ekonomik olmayan unsurların önemini hem de alternatif teknolojilerin finansal yönlerini göz ardı edemeyecekleri bir seçim yapmak durumunda kalacakları bir noktaya taşıyacaktır. Aşağıdaki bölümde, konuyu bir sisteme oturtmak amacıyla bir bulanık yenileme analizi geliştirilmektedir. Bir sonraki bölümde Chang'ın bulanık yenileme analizini tanımlanmaktadır. Diğer bölümde ise önceki bölümlerdeki önerilere dayanan sayısal bir uygulamaya yer verilmiştir.

## **6.2. Bulanık Yıllık Düzgün Eşdeğer Değeri (YDED)**

Yıllık Düzgün Eşdeğer Değeri (YDED), bütün gelir ve giderlerin (düzensiz ve düzenli) her dönem için geçerli tek bir yıllık düzgün eşdeğer miktara çevrilmesi anlamına gelmektedir. Bu yönetimin tüm diğer yöntemlere göre en büyük avantajı, alternatiflerin değişik hayatları varken yılların en küçük ortak katları arasında kıyaslama yapmaya gerek olmamasıdır. (Blank ve Tarquin, 1987). Kahraman ve

diğerleri (2002), bulanık YDED'yi aşağıdaki gibi formüle etmektedir:  $R$  indirim oranını,  $T$  dönemi,  $NVP$  de net şimdiki zaman değerini ifade etmektedir.

$$EUAW = A = NPV \gamma^{-1}(T, R) = NPV \times \frac{(1+R)^T R}{(1+R)^T - 1} \quad (6.1)$$

Bulanıklık durumunda,  $\tilde{NPV}$  nin hesaplanması gerekmektedir. Böylece bulanık  $EU\tilde{AW}(\tilde{A}_T)$  bulunabilecektir.  $\tilde{A}_T$  için üyelik fonksiyonu olan  $\mu(x|\tilde{A}_T)$  aşağıdaki gibi bulunmaktadır:

$$f_{T_i}(\alpha|\tilde{A}_T) = f_i(\alpha|NPV) \gamma^{-1}(T, f_i(\alpha|\tilde{R})) \quad (6.2)$$

$\tilde{R}$  bulanık indirim oranını ifade etmektedir. Bulanık YDED için TFN( $\alpha$ ) da aşağıdaki gibidir:

$$\tilde{A}_T(\alpha) = \left( \frac{NPV^{l(\alpha)}}{\gamma(T, R^{l(\alpha)})}, \frac{NPV^{r(\alpha)}}{\gamma(T, R^{r(\alpha)})} \right) \quad (6.3)$$

Kahraman ve diğerleri (2002) ile herhangi bir farklılık göstermemekle beraber, bu işlemde, Üçgensel Bulanık Sayı (TFN) kullanarak bir başka YDED (EUAW) sayısalı ile bir bulanık yenileme sistemi geliştirilmiştir. Öncelikle, yenileme analizi parametreleri belirlenmiştir:  $\tilde{R}$  bulanık indirim oranı,  $T$  de dönem ise, bulanık sermaye yenileme faktörü aşağıdaki gibidir:

$$\left( \tilde{A}/\tilde{P}, \tilde{R}, T \right) = \frac{\tilde{R} \otimes (1 \oplus \tilde{R})^T}{(1 \oplus \tilde{R})^T \ominus 1} = \left[ \frac{R^{l(\alpha)} \times (1 + R^{l(\alpha)})^T}{(1 + R^{r(\alpha)})^T - 1}, \frac{R^{r(\alpha)} \times (1 + R^{r(\alpha)})^T}{(1 + R^{l(\alpha)})^T - 1} \right] \quad (6.4)$$

$\tilde{I}$  başlangıçtaki bulanık yatırım ise,  $\tilde{S}_T$  de  $T$  döneminde geçerli bulanık hurda değeridir.  $\tilde{C}_T$  de bulanık yatırım telafisidir. Burada dikkat edilmesi gereken unsur,  $\tilde{I}$  nin sayısal uygulamada belirli bir değere sahip olduğu, başlangıçta yapılan yatırımı kapsadığı ve bulanıklık içermediğidir. İşletim sistemi hurda değeri olmadığı için de  $\tilde{S}_T$  bütün dönemler için yok sayılacaktır.

$$\tilde{C}_T = (\tilde{I} \ominus \tilde{S}_T) \otimes \left( \tilde{A} / \tilde{P}, \tilde{R}, T \right) \oplus (\tilde{R} \otimes \tilde{S}_T) = [C_T^{l(\alpha)}, C_T^{r(\alpha)}] \quad (6.5)$$

$$\tilde{C}_T = \left[ \frac{(I^{l(\alpha)} - S_T^{l(\alpha)}) \times R^{l(\alpha)} \times (1 + R^{l(\alpha)})^T}{(1 + R^{r(\alpha)})^T - 1} + (R^{l(\alpha)} \times S_T^{l(\alpha)}) \right] \\ \left[ \frac{(I^{r(\alpha)} - S_T^{r(\alpha)}) \times R^{r(\alpha)} \times (1 + R^{r(\alpha)})^T}{(1 + R^{l(\alpha)})^T - 1} + (R^{r(\alpha)} \times S_T^{r(\alpha)}) \right] \quad (6.6)$$

$\tilde{F}_T$  T dönemi içerisinde geçerli bulanık işletme ve muhafaza giderlerini kapsamaktadır. Bu durumda  $\sum \tilde{P}_T$ ,  $\tilde{F}_T$ 'nin  $t=1$ den  $t=T$  ye kadar geçen sürede artan bulanık şimdiki zaman değerini göstermektedir.

$$\sum \tilde{P}_T = [P_T^{l(\alpha)}, P_T^{r(\alpha)}] = \sum_{t=1}^T \frac{\tilde{F}_t}{(1 \oplus \tilde{R})^t} = \left[ \sum_{t=1}^T \frac{F_t^{l(\alpha)}}{(1 + R^{r(\alpha)})^t}, \sum_{t=1}^T \frac{F_t^{r(\alpha)}}{(1 + R^{l(\alpha)})^t} \right] \quad (6.7)$$

$\tilde{A}(\sum \tilde{P}_T)$   $\tilde{F}_T$ 'nin T süresince artan bulanık şimdiki zaman değeri ise;

$$\tilde{A}(\sum \tilde{P}_T) = (\sum \tilde{P}_T) \otimes \left( \tilde{A} / \tilde{P}, \tilde{R}, T \right) = \left[ \frac{P_T^{l(\alpha)} \times R^{l(\alpha)} \times (1 + R^{l(\alpha)})^T}{(1 + R^{r(\alpha)})^T - 1}, \frac{P_T^{r(\alpha)} \times R^{r(\alpha)} \times (1 + R^{r(\alpha)})^T}{(1 + R^{l(\alpha)})^T - 1} \right] \quad (6.8)$$

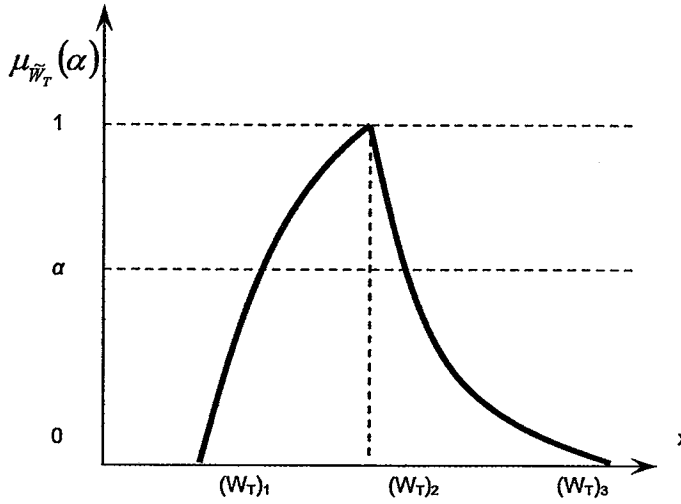
$\tilde{W}_T$  toplam YDED'dir (EUAW). Şekil 6.1 ve 6.9 denklemi açıklamaktadır:

$$\tilde{W}_T = \tilde{C}_T \oplus \tilde{A}(\sum \tilde{P}_T) = [W_T^{l(\alpha)}, W_T^{r(\alpha)}] = ((W_T)_1, (W_T)_2, (W_T)_3) \quad (6.9)$$

### 6.3. Bulanık Analitik Hiyerarşik Süreç

Her ne kadar AHS'nin amacı bir uzmanın bilgisini temin etmek olsa da geleneksel AHS insan beyninin düşünsel yapısını taklit etmekten çok uzaktır. Bu yüzden, hiyerarşik bulanık sorunları çözmek amacıyla bulanık AHS ve AHS'nin bulanık uzantıları geliştirilmiştir. Saaty (1978), hem algıda bulanıklık hem de anlamda bulanıklığa bir anlam verebilmek için yeni bir metod önermiştir. Bu metod, sistemin fonksiyonlarını çok nitelikli bir sistemde, hiyerarşik olarak yapılandırarak, bulanıklığın göreceliğini ölçmekte kullanılmaktadır. Buckley (1985), Saaty'nin

önerdiği, KA'ların belirli değerler yerine bulanık oranları tercih edebildikleri AHS metodunu genişletmektedir.



Şekil 6.1 : Toplam Bulanık Yıllık Düzgün Eşdeğer Değer,  $\tilde{W}_T$

Van Laarhoven ve Pedrycz (1983) alternatifler için olduğu kadar hassasiyetler için de bulanık spuanlar üzerinde çalışmaktadırlar. Chang (1992) AHS için, diğer bulanık AHS yaklaşımlarına kıyasla sayısal açıdan daha kolay, ve Saaty'nin belirgin AHS'sine benzer özellikle gösteren bir bulanık genişleme analizi geliştirmiştir. Kahraman ve diğerleri (2003b ve 2003c) ve Bozdağ ve diğerleri (2003), en iyi yemek hizmet firması, en iyi eğlence mekanı ve en iyi bilgisayarlı üretim sistemi seçimlerinde sırasıyla Chang'ın (1992) genişleme analizini kullanmaktadırlar.  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  obje seti ve  $G = \{g_1, g_2, \dots, g_m\}$  hedef seti olsun. Chang'ın genişleme analizine göre, her obje teker teker ele alınmakta ve genişleme analizi her hedef için ayrı ayrı sırayla yapılmaktadır. Bu durumda, her obje için  $m$  genişleme analizi değerleri aşağıdaki seri ile elde edilebilmektedir:

$$M_{g_i}^1, M_{g_i}^2, \dots, M_{g_i}^m, i = 1, 2, \dots, n$$

$M_{g_i}^j (j = 1, 2, \dots, m)$  ise hepsi Üçgensel Bulanık Sayılardır (TFN). Chang'ın genişleme analizinin adımları aşağıda yer almaktadır.

1. Adım:  $i$ . objeye göre bulanık sentetik genişleme değeri aşağıdaki gibidir:

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \otimes \left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} \quad (6.10)$$

Bilindiği üzere, iki TFN'nin çarpımının sonucu TFN değildir. 10. işlemde iki TFN çarpılmaktadır. Sonuç TFN olmamasına karşın, bu çalışmada, TFN'nin düzgün olmayan kombinasyonun TFN'ye yuvarlandığı varsayılmaktadır. (Şekil 6.2) Chang

(1996).  $\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j$  elde edebilmek için, belirli bir matris için m genişleme analizi

değerleri bulanık toplama işlemi aşağıdaki gibi yapılmalıdır:

$$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = \left( \sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad (6.11)$$

$\left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1}$  elde edebilmek için de  $M_{g_i}^j (j=1,2,...,m)$  nin değerlerinin bulanık toplama işlemi aşağıdaki gibi yapılmalıdır:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = \left( \sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i \right) \quad (6.12)$$

ve daha sonra da yukarıdaki vektörün tersi aşağıdaki gibi hesaplanmalıdır:

$$\left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} = \left( \frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right), \forall u_i, m_i, l_i > 0 \quad (6.13)$$

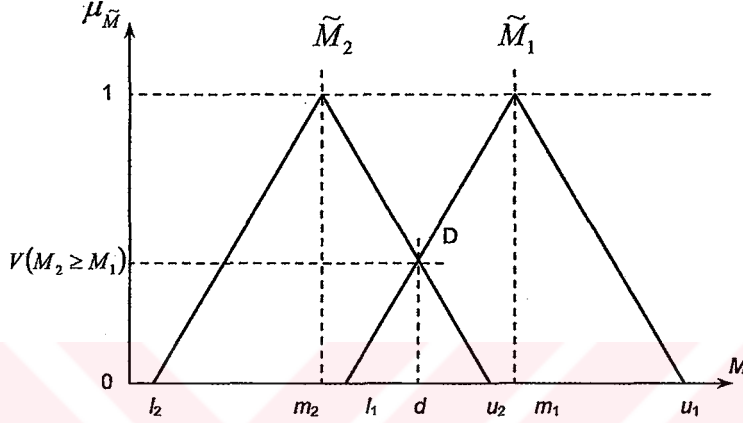
2. Adım:  $M_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq M_1 = (l_1, m_1, u_1)$  olasılık derecesi aşağıdaki gibi betimlenmiştir:

$$V(M_2 \geq M_1) = \sup_{y \geq x} [\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y))] \quad (6.14)$$

ve aynı zamanda aşağıdaki gibi de ifade edilebilmektedir:

$$V(M_2 \geq M_1) = hgt(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d) = \begin{cases} 1, & \text{if } m_2 \geq m_1 \\ 0, & \text{if } l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & \end{cases} \quad (6.15)$$

Şekil 6.2’te 15. denklem yer almaktadır:



Şekil 6.2 :  $\tilde{M}_1$  ve  $\tilde{M}_2$  'nin kesişimleri

$\mu_{M_1}$  ve  $\mu_{M_2}$  noktaları arasındaki  $D$  noktasının en yüksek kesişim noktasının ordinatı  $d$  ise,  $M_1$  ve  $M_2$  yi karşılaştırabilmek için her iki  $V(M_1 \geq M_2)$  ve  $V(M_2 \geq M_1)$  değerlerine ihtiyaç vardır.

3. Adım: Dışbükey bulanık sayının  $M_i (i=1,2,...,k)$   $k$  convex bulanık sayılarından daha büyük olma derece olasılığı aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır:

$$\begin{aligned} V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) \\ = V[(M \geq M_1) \cap (M \geq M_2) \cap \dots \cap (M \geq M_k)] = \min V(M \geq M_i), i=1,2,\dots,k \end{aligned}$$

Varsayalım ki;

$$k=1,2,\dots,n; k \neq i \text{ için}$$

$$d(A_i) = \min V(S_i \geq S_k).$$

O halde ağırlık vektörü aşağıdaki gibi verilmiştir:

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T$$

$A_i (i=1,2,\dots,n)$  ise  $n$  adet element vardır.

4. Adım: Normalleşme sayesinde, normalleşmiş ağırlıklar aşağıdaki gibidir:

Eğer  $W$  bulanık olmayan bir sayı ise  $W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T$

#### **6.4. Bulanık Yenileme Analizi ve Bulanık AHS ile İşlem Sistemi Seçiminin Sayısal Uygulaması**

##### **6.4.1. Bulanık YDED Analizi Uygulaması**

Bilişim içerikli yenileme kararların verilmesinde, teknolojik ve finansal konular büyük rol oynamaktadır. Teknoloji seçimine dair yapılan çoğu çalışmada, maliyet kıyaslama parametresinden, KA'nın seçiminde ne kadar büyük bir önem arz ettiğine bakılmaksızın, diğer kriterlerden biri olarak yer verilmektedir. Bulanık yenileme analizinin bu uygulamasında, bulanık AHS ve bulanık YDED analizi kullanılarak iki işlemci sistem, AX ve BS değerlendirilmektedir. Aşağıda, öncelikle işlemci sistem özellikleri, sonrasında ise İS'nin finansal yönü yer almaktadır. Göç, kurumların teknolojik altyapılarını gittikçe daha da zora sokan bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Firmalar, hem bilgisayar sunucularını başka firmalarla ortaklaşa kullanarak hem de daha az kişi ile çalışarak olabildiğince çok kar edebilmenin yollarını aramaktadırlar. Kurumların teknolojik altyapı göçünün finansal boyutlarını değerlendirebilmek için hem savunucu hem de adayın satın alma toplam maliyetlerinin (STM) belirlenmesi gerekmektedir. STM, her sistem işyükü için gereken donanım ve yazılımın temin edilmesi ve desteklenmesinin maliyetlerinin zaman içerisinde beliren maliyet şemasıdır. Sistem işyükü, işleyen bir sisteme ait görev ve hizmetlerin tamamıdır. Sistem işyüklerine örnek: Ağ yapısı, Dosya sunucusu, Yazıcı sunucusu, Web sunucusu ve Güvenlik yazılımlarıdır. Ağ yapısı işyükü, en temel altyapı hizmetlerini sunmaktadır. Dinamik Hizmet Sağlayıcı Konfigurasyon Protokolünü (DHCP), Alan adı sistemi (DNS), Windows İnternet isimlendirme hizmeti, İnternet bağlantı paylaşımı, Uzaktan Erişim Bağlantı Yöneticisi (RACM), rehber ve arama hizmetleri, ve router'lar, hub'lar ve switch'ler gibi geleneksel hizmetleri kapsamaktadır. Dosya sunucusu işyükü, dosya Transfer Protokolünü (FTP), Ağ Yapısı Dosya Sistemi (NFS), ve Ortak İnternet Dosya Sistemi'ni (CIFS) kapsamaktadır. Yazıcı sunucusu, internet yazıcı protokolünün yanı sıra tüm yazıcı akım protokollerini de kapsamaktadır. Web sunucusu, statik ve dinamik web sayfası hizmeti veren tüm internet, intarnet, vs. hizmetlerini kapsamaktadır. Güvenlik yazılımları ise, sanal özel ağ yapısı (VPN), ihlali tespit etme hizmetleri, antivirüs yönetim sistemleri, belgeleme, erişim, ve onaylama

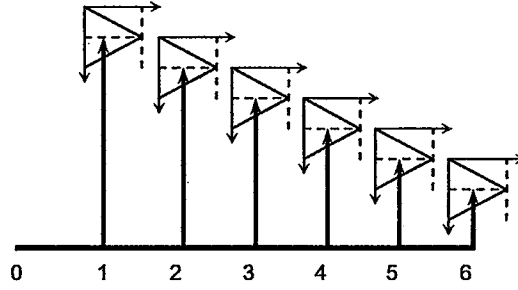
hizmetlerini kapsamaktadır. Her işyükünün, STM'yi de kapsayan, yazılım ve donanım maliyeti bulunmaktadır. Toplam maliyet hesabında, donanım, depolama, ağ yapısı, tesisler, yazılım (İS), Uygulama yazılımı, personel, hata zamanı, personelin eğitim masrafları ve hizmet satın alma maliyetleri yer almaktadır. Donanım, Depolama ve Tesis maliyetleri, tedarik edilen belli başlı fiziksel ekipmanı da kapsamaktadır. Yazılım masrafları, belirli bir yazılımın satın alınması ve konuşlandırılmasını kapsamaktadır. Adaylar, bilgisayar sunucularının biraraya getirilmesiyle CPU'dan tasarruf sağlayabildikleri için, yazılım maliyetlerinin CPU lisanslı ve kullanıcı lisanslı olarak iki ayrı kategoride değerlendirilmesi gerekmektedir. Hata zamanı, arızalanan, hiç ya da olması gibi çalışmayan bilgisayar işlemcilerinin tamir edilmesi için yapılan harcamadır. Seçilen platform ve personelin bilgisi ve tecrübesi, hata zamanı konusunda yapılacak olan harcamaları belirleyen önemli unsurlardır. Personelin eğitimi için yapılan harcama, hem eğitim için yapılan harcamayı, hem de eğitim esnasında kaybedilen mesainin hesaplanmasını içerir. Destek ve bakım, outsource edilen ve ciddi bir mali yük getiren hizmetlerdendir. STM'nin elementleri arasındaki ilişkiyi anlayabilmek ve takip edebilmek amacıyla hazırlanan Maliyet Analiz Şeması Tablo 6.1'de yer almaktadır:

Tablo 6.1. Toplam sahip olma maliyetlerine ait Maliyet Kırılım Yapısı

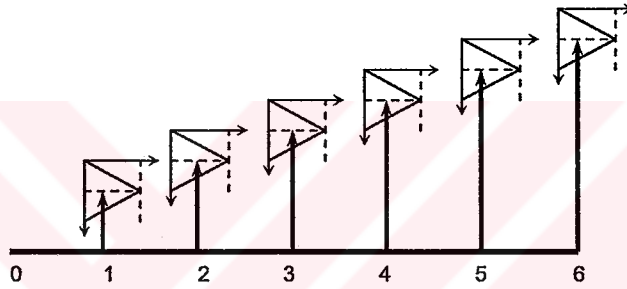
| Toplam Sistem Maliyeti |           |           |               |                              |                       |                |          |        |                   |
|------------------------|-----------|-----------|---------------|------------------------------|-----------------------|----------------|----------|--------|-------------------|
| Donanım                | Yedekleme | Ağ Yapısı | Diğer Donanım | Yazılım<br>(İşletim Sistemi) | Yazılım<br>(Uygulama) | Hata Zamanları | Personel | Eğitim | Hizmet Satın Alma |

Her işyükü ve beraberindeki yazılım ve donanım masrafı, yapılan harcamayı hesaplanabilir hale getirmek amacıyla dönemsel (işletme maliyeti) olarak belirtilmiştir. İS alternatifi AX açık kaynak ve ve lisanssız olarak tanımlanmıştır. BS ise AX'den daha yüksek başlangıç sermayesi gerektiren lisanslı bir İS platformudur. Bulanık başlangıç sermayesi ve işletme getirleri Tablo 6.2'de yer almaktadır. GUI kapasitesinden ve destek mekanizmasından ötürü BS'nin işletme giderleri zaman içerisinde azalacaktır (Şekil 6.3). AX daha düşük maliyetli yatırım sermayesini ifade ederken, işletme giderlerinin daha yüksek olduğu varsayılmaktadır. Böylelikle,

personel, personel eğitimleri ve outsourcing maliyetleri zaman içerisinde artış gösterecektir (Şekil 6.4).



Şekil 6.3 : BS'nin azalan bulanık nakit akışları

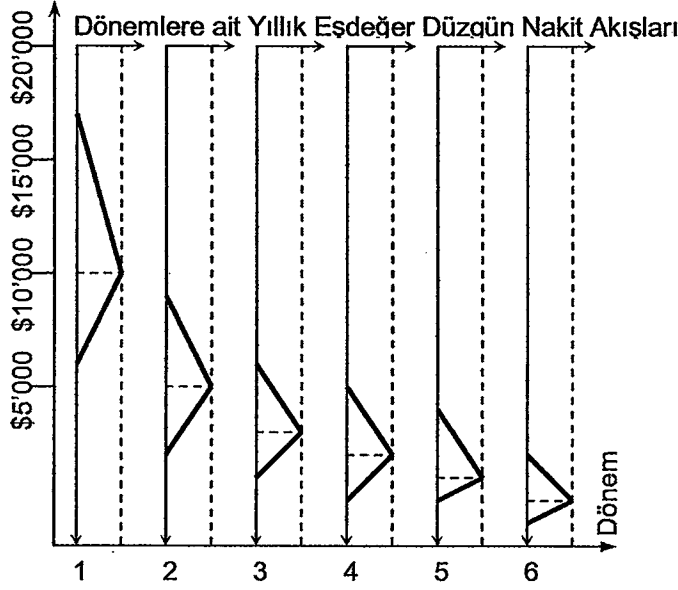


Şekil 6.4 : AX'in artan bulanık nakit akışları

Tablo 6.2. Alternatif AX ve BS'ye ait Bulanık işletme ve bakım maliyetleri ile ilk yatırım maliyetleri

| Dönem | AX'e ait Bulanık Nakit Akışları | BS'e ait Bulanık Nakit Akışları   |
|-------|---------------------------------|-----------------------------------|
| 0     | (\$10,000; \$10,000; \$10,000 ) | (\$ 30,000; \$ 30,000; \$ 30,000) |
| 1     | (\$24,000; \$26,000; \$28,000)  | (\$8,000; \$10,000; \$12,000)     |
| 2     | (\$24,500; \$26,500; \$28,500)  | (\$7,000; \$9,000; \$11,000)      |
| 3     | (\$25,500; \$27,500; \$29,500)  | (\$6,000; \$8,000; \$10,000)      |
| 4     | (\$27,500; \$29,500; \$31,500)  | (\$5,000; \$7,000; \$9,000)       |
| 5     | (\$30,500; \$32,500; \$34,500)  | (\$4,000; \$6,000; \$8,000)       |
| 6     | (\$34,500; \$36,500; \$38,500)  | (\$3,000; \$5,000; \$7,000)       |

Bulanık yenileme analizini yukarıdaki finansal sayılara uygulayabilmek için, bulanık indirim oranı  $\tilde{R}$  nin  $\tilde{R} = (3\%, 4\%, 5\%)$  olarak sabitlenmesi gerekmektedir. Şekil 6.5 – 8, sermayenin geri kazanımı, işletme ve bakım masraflarının bulanık YDED değerlerini göstermektedir. Şekil 6.9 ve 10, toplam bulanık YDED'leri göstermektedir. Diğer şekiller için lütfen Ek B'ye bakınız.



Şekil 6.5: AX'in bulanık yıllık düzgün eşdeğer Sermaye geri kapama maliyetleri

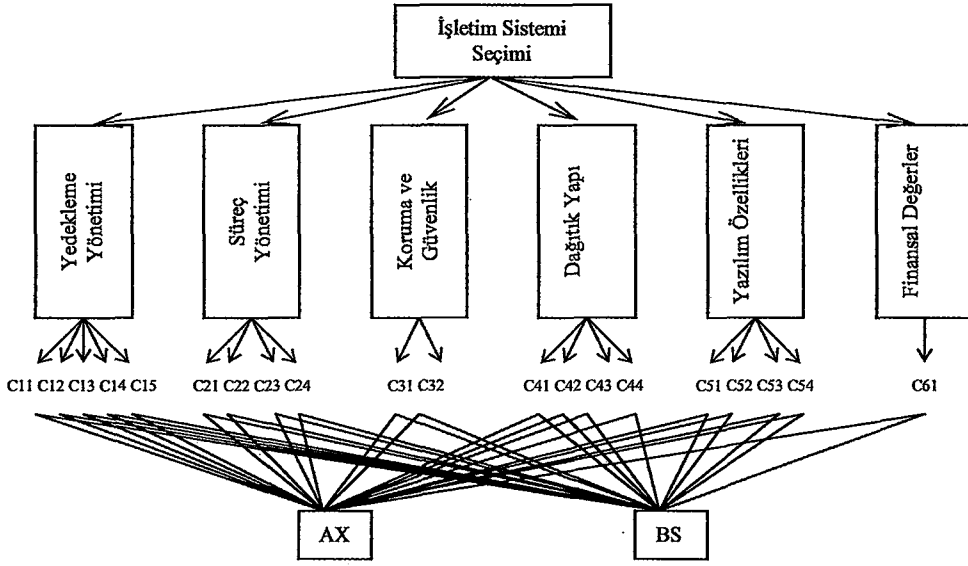
AX'in ve BS'nin toplam maliyetlerinin bulanık YDED'leri kıyslandığında, KA açısından BS'in biraz daha ön plana çıktığı görülmektedir. Lehine bir tercih yapılabilmektedir.

#### 6.4.2. İşletme Sisteminin Özellikleri

Bir işletmenin kurumsal altyapı ihtiyaçlarını karşılayabilmek için, işletme sisteminin görev ve hizmet yönetimi özelliklerine sahip olması gerekmektedir. Tanenbaum (1987) ve Galvin (1994) bu özellikleri şöyle özetlemektedir: İşlem Yönetimi, Yedekleme, Koruma ve Güvenlik, Dağıtılmış Yapı ve Yazılım Özellikleri. Şekil 6.6, işletme sistemi seçim problemindeki hiyerarşiyi göstermektedir. Daha detaylı inceleyebilmek için her başlık kendi için alt kategorilere ayrılabilir.

##### 1) Depolama Yönetimi ( $C_1$ ):

- Hafıza Yönetimi ( $C_{11}$ ): CPU tarafından temin edilen her hafıza adresinin, yasal olup olmadığının ve fiziksel olarak bir adrese bağlı olup olmadığının kontrol edilmesi gerekmektedir.
- Sanal Hafıza ( $C_{12}$ ): Sanal hafıza, hafızada tamamlanmamış olan işlemlerin işletmesine yarayan bir tekniktir. Sanal hafıza, uygulanması çok kolay olmamakla beraber, uygulamada gereken özenin gösterilmemesi durumunda performansın hatırı sayılır derecede düşmesine sebep olabilecek bir unsurdur.



Şekil 6.6 : İşletim Sistemi Seçimi Kademeleri

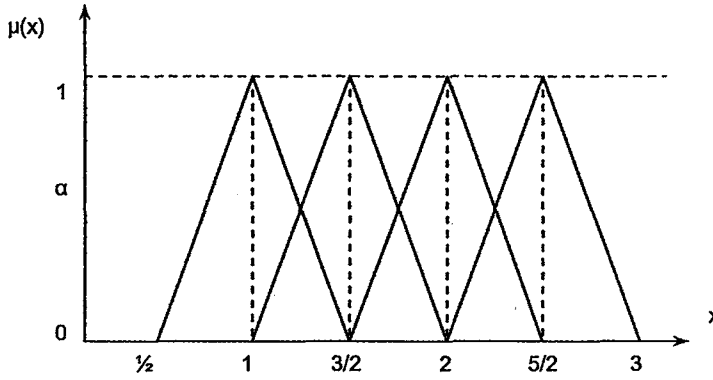
- c) Dosya Sistem Arayüzü (C<sub>13</sub>): Dosya sistemi, kurulan sisteme bağlı olan tüm kullanıcılara ve işletme sistemine ait tüm veri ve programlara nete bağlı olarak erişebilmeyi ve yedeklemeyi sağlayan bir mekanizmadır.
  - d) Dosya Sistem Uygulaması (C<sub>14</sub>): Dosya sistemi ikincil yedeklemede daimi olarak yer almaktadır. Bunun gerçekleşebilmesi için büyük ölçekli veriyi daimi olarak koruyabilme yetisine sahip olması gerekmektedir.
  - e) İkincil Yedekleme yapısı (C<sub>15</sub>): Disk sistemleri birçok bilgisayardaki ikincil yedekleme I/O aracıdır. I/O diski, hem dosya sistemi hem de sanal hafıza sistemleri tarafından talep edilmektedir.
- 2) Süreç Yönetimi (C<sub>2</sub>): Bir süreç, çalışır halde bulunan bir program olarak değerlendirilebilmektedir. Her sürecin görevini yerine getirebilmesi için CPU zamanı, hafıza, dosyalar ve I/O araçları gibi bazı kaynaklara ihtiyacı vardır.
    - a) Süreç İdaresi (C<sub>21</sub>): İşletme sistemleri, çoklu programların hafızaya yüklenmesini ve eş zamanlı faaliyet gösterebilmesini sağlamaktadır. Bu da, bazı programların daha detaylı ve daha yakından takip edilmesini gerektirmektedir.
    - b) CPU Zaman Çizelgesi Hazırlanması (C<sub>22</sub>): CPU zaman çizelgesi hazırlanması, çoklu-programlı işletme sistemlerinin temelini oluşturmaktadır. CPU'nun işlemler arasında yer değiştirmesini sağlamak, işletme sisteminin bilgisayarı daha verimli hale getirmesini sağlamaktadır.

- c) Süreç Senkronizasyonu (C<sub>23</sub>): Veri paylaşan bir grup uyumlu ardışık süreç için, mutlaka karşılıklı ayrıklığın temin edilmesi gerekmektedir.
  - d) Kilitlenme (C<sub>24</sub>): Çok programlı ortamlarda, sonlu bir kaynak için birçok süreç aynı anda çaba gösterebilmektedir. Bir işlem kaynağı ihtiyaç duymaktadır. Eğer kaynaklar talebin yapıldığı anda temin edilemezse, süreç bekleme moduna geçmektedir. Bazı durumlarda, talep edilen kaynağın başka süreçler tarafından kullanılıyor olmasından ötürü beklemede olan süreç bu bekleme modundan hiç çıkamamaktadır. Bu durum kilitlenme olarak anılmaktadır.
- 3) Korunma ve Güvenlik (C<sub>3</sub>): Korunma mekanizmaları, bazı kullanıcıların erişebileceği dosya çeşitlerini sınırlayarak, kontrollü erişim olanağı sunmaktadır.
- a) Koruma (C<sub>31</sub>):
  - b) Güvenlik (C<sub>32</sub>):
- 4) Dağıtılmış Yapı (C<sub>4</sub>): Dağıtılmış bir sistem, hafıza veya saati paylaşmayan işlemcilerin bir araya gelmesinden oluşmaktadır.
- a) Ağ Altyapısı (C<sub>41</sub>):
  - b) Dağıtılmış Sistem Altyapısı (C<sub>42</sub>):
  - c) Dağıtılmış Dosya Sistemi (C<sub>43</sub>):
  - d) Dağıtılmış Koordinasyon/Eşgüdüm (C<sub>44</sub>):
- 5) Yazılım özellikleri (C<sub>5</sub>):
- a) Uygulamalar ve Araçlar (C<sub>51</sub>):
  - b) Hatalar ve Kodlamalar (C<sub>52</sub>):
  - c) Grafik kullanıcı Arayüzü (C<sub>53</sub>):
  - d) Ulaşılabilirlik ve Destek (C<sub>54</sub>):
- 6) Finansal Değerler (C<sub>6</sub>):
- a) Bulanık YDED (C<sub>61</sub>):

#### 6.4.3. İS Seçimi için Bulanık AHS Uygulaması

Bir öncelikler matrisi kurabilmek için gereken parametreler arasında çiftli bir kıstas yapabilmek için bir önem/öncelikler ölçeği geliştirilmiştir. Şekil 6.7 ve Tablo 6.3 sözkonusu ölçeği grafik olarak ve akabindeki açıklamalarla beraber yer vermektedir. İlk seviyenin çiftli kıstas matrisini yapabilmek için 35 yazılım geliştirme uzmanı ve 18 Bilişim Departmanı Yöneticisi ile yüzyüze görüşülmüştür (Ek A). Çiftli Kıstas

Matrisi, görüşmeye katılan kişiler tarafından verilen cevapların ortalamasının hesaplanması ile oluşturulmuştur (Tablo 6.4).



Şekil 6.7: Üçgensel bulanık önem derecesi

Tablo 6.3. Üçgensel bulanık önem derecesi

| Dilsel Ölçek            | Açıklama                                                                         | Bulanık Üçgensel Ölçek | Karşılıklı Bulanık Üçgensel Ölçek |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------|
| Eşit Önem Derecesi      | İki faaliyet yaklaşık olarak aynı önem derecesine aittir.                        | (1, 1, 1)              | (1, 1, 1)                         |
| Orta Önem Derecesi      | İki faaliyetten biri diğerine az bir önem derecesi ile daha üstün                | (1/2, 1, 3/2)          | (2/3, 1, 2)                       |
| Güçlü Önem Derecesi     | İki faaliyetten biri diğerine belirli bir önem derecesi ile üstün                | (1, 3/2, 2)            | (1/2, 2/3, 1)                     |
| Çok Güçlü Önem Derecesi | İki faaliyetten biri diğerine oldukça kuvvetli bir önem derecesi ile üstün       | (3/2, 2, 5/2)          | (2/5, 1/2, 2/3)                   |
| Farkedilir Önem Farkı   | İki faaliyetten birinin diğerine olan üstünlüğü tartışılmayacak şekilde barizdir | (2, 5/2, 3)            | (1/3, 2/5, 1/2)                   |

Tablo 6.4. Hedefe göre bulanık değerlendirme matrisi

|                | $\bar{C}$   | $\bar{C}$ | $\bar{C}$     | $\bar{C}$     | $\bar{C}$   | $\bar{C}$     |
|----------------|-------------|-----------|---------------|---------------|-------------|---------------|
| C <sub>1</sub> | (1,1,1)     | (2/3,1,2) | (2/5,1/2,2/3) | (2/5,1/2,2/3) | (1/2,2/3,1) | (2/5,1/2,2/3) |
| C <sub>2</sub> | (1/2,1,3/2) | (1,1,1)   | (1,1,1)       | (1/2,1,3/2)   | (1/2,1,3/2) | (1,1,1)       |
| C <sub>3</sub> | (3/2,2,5/2) | (1,1,1)   | (1,1,1)       | (1/2,1,3/2)   | (1,3/2,2)   | (1/2,2/3,1)   |
| C <sub>4</sub> | (3/2,2,5/2) | (2/3,1,2) | (2/3,1,2)     | (1,1,1)       | (2/3,1,2)   | (1/2,2/3,1)   |
| C <sub>5</sub> | (1,3/2,5/2) | (2/3,1,2) | (1/2,2/3,1)   | (1/2,1,3/2)   | (1,1,1)     | (2/3,1,2)     |
| C <sub>6</sub> | (3/2,2,5/2) | (1,1,1)   | (1,3/2,2)     | (1,3/2,2)     | (1/2,1,3/2) | (1,1,1)       |

Tablo 6.4'den,

$$S_{C1}=(2.87, 3.67, 5.33) \otimes (0.02, 0.03, 0.04) = (0.06, 0.11, 0.22)$$

$$S_{C2}=(3.50, 5.00, 6.50) \otimes (0.02, 0.03, 0.04) = (0.08, 0.15, 0.26)$$

$$S_{C3}=(5.00, 6.50, 8.00) \otimes (0.02, 0.03, 0.04) = (0.11, 0.20, 0.33)$$

$$S_{C4}=(4.50, 6.00, 9.50) \otimes (0.02, 0.03, 0.04) = (0.10, 0.18, 0.39)$$

$$S_{C5}=(3.67, 5.17, 8.00) \otimes (0.02, 0.03, 0.04) = (0.08, 0.16, 0.33)$$

$$S_{C6}=(5.00, 7.00, 9.00) \otimes (0.02, 0.03, 0.04) = (0.11, 0.21, 0.37)$$

Elde edilmiştir. Bu vektörleri kullanarak,  $V(S_{C1} \geq S_{C2})=1.00$ ,  $V(S_{C1} \geq S_{C3})=1.00$ ,  $V(S_{C1} \geq S_{C4})=1.00$ ,  $V(S_{C1} \geq S_{C5})=1.00$ ,  $V(S_{C1} \geq S_{C6})=1.00$ ,  $V(S_{C2} \geq S_{C1})=0.78$ ,  $V(S_{C2} \geq S_{C3})=1.00$ ,  $V(S_{C2} \geq S_{C4})=1.00$ ,  $V(S_{C2} \geq S_{C5})=1.00$ ,  $V(S_{C2} \geq S_{C6})=1.00$ ,  $V(S_{C3} \geq S_{C1})=0.56$ ,  $V(S_{C3} \geq S_{C2})=0.78$ ,  $V(S_{C3} \geq S_{C4})=0.95$ ,  $V(S_{C3} \geq S_{C5})=0.85$ ,  $V(S_{C3} \geq S_{C6})=1.00$ ,  $V(S_{C4} \geq S_{C1})=0.63$ ,  $V(S_{C4} \geq S_{C2})=0.85$ ,  $V(S_{C4} \geq S_{C3})=1.00$ ,  $V(S_{C4} \geq S_{C5})=0.90$ ,  $V(S_{C4} \geq S_{C6})=1.00$ ,  $V(S_{C5} \geq S_{C1})=0.75$ ,  $V(S_{C5} \geq S_{C2})=0.97$ ,  $V(S_{C5} \geq S_{C3})=1.00$ ,  $V(S_{C5} \geq S_{C4})=1.00$ ,  $V(S_{C5} \geq S_{C6})=1.0$ ,  $V(S_{C6} \geq S_{C1})=0.52$ ,  $V(S_{C6} \geq S_{C2})=0.72$ ,  $V(S_{C6} \geq S_{C3})=0.94$ ,  $V(S_{C6} \geq S_{C4})=0.90$ ,  $V(S_{C6} \geq S_{C5})=0.80$ , elde edilirler. Böylelikle, Tablo 6.4'deki ağırlık vektörü  $W_G=(0.24, 0.18, 0.13, 0.15, 0.18, 0.12)^T$  şeklinde hesaplanmış olur.

Tablo 6.5. Alt özelliklerin yedekleme yönetimine göre değerlendirilmesi

|          | $\bar{C}_1$ | $\bar{C}_2$ | $\bar{C}_3$ | $\bar{C}_4$ | $\bar{C}_5$ |
|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| $C_{11}$ | (1,1,1)     | (2/3,1/2)   | (1/2,1,3/2) | (1/2,1,3/2) | (1/2,1,3/2) |
| $C_{12}$ | (1/2,1,3/2) | (1,1,1)     | (1,3/2,2)   | (1,3/2,2)   | (1/2,1,3/2) |
| $C_{13}$ | (2/3,1/2)   | (1/2,2/3,1) | (1,1,1)     | (1,1,1)     | (2/3,1/2)   |
| $C_{14}$ | (2/3,1/2)   | (1/2,2/3,1) | (1,1,1)     | (1,1,1)     | (1/2,2/3,1) |
| $C_{15}$ | (2/3,1/2)   | (2/3,1/2)   | (1/2,1,3/2) | (1,3/2,2)   | (1,1,1)     |

Tablo 6.5'den ,  $S_{C11}=(0.09,0.20,0.41)$ ,  $S_{C12}=(0.11,0.24,0.43)$ ,  $S_{C13}=(0.10,0.18,0.38)$ ,  $S_{C14}=(0.10,0.17,0.32)$ ,  $S_{C15}=(0.10,0.22,0.46)$ ,  $V(S_{C11} \geq S_{C12})=1.00$ ,  $V(S_{C11} \geq S_{C13})=0.96$ ,  $V(S_{C11} \geq S_{C14})=0.90$ ,  $V(S_{C11} \geq S_{C15})=1.00$ ,  $V(S_{C12} \geq S_{C11})=0.88$ ,  $V(S_{C12} \geq S_{C13})=0.84$ ,  $V(S_{C12} \geq S_{C14})=0.77$ ,  $V(S_{C12} \geq S_{C15})=0.95$ ,  $V(S_{C13} \geq S_{C11})=1.00$ ,  $V(S_{C13} \geq S_{C12})=1.00$ ,  $V(S_{C13} \geq S_{C14})=0.94$ ,  $V(S_{C13} \geq S_{C15})=1.00$ ,  $V(S_{C14} \geq S_{C11})=1.00$ ,  $V(S_{C14} \geq S_{C12})=1.00$ ,  $V(S_{C14} \geq S_{C13})=1.00$ ,  $V(S_{C14} \geq S_{C15})=1.00$ ,  $V(S_{C15} \geq S_{C11})=0.94$ ,  $V(S_{C15} \geq S_{C12})=1.00$ ,  $V(S_{C15} \geq S_{C13})=0.89$ ,  $V(S_{C15} \geq S_{C14})=0.83$  elde edilirler. Ağırlık vektörü  $W_{C1}=(0.20,$

0.17, 0.21, 0.23, 0.19)<sup>T</sup> bulunur Diğer karşılaştırmalara ait ağırlık vektörleri Ek C’de verilmiştir. Ana özelliklere ait hedef tablosu aşağıda verilmiştir:

Tablo 6.6. Hedefin ana özellikleri

|        | Ö <sub>1</sub> | Ö <sub>2</sub> | Ö <sub>3</sub> | Ö <sub>4</sub> | Ö <sub>5</sub> | Ö <sub>6</sub> | Alternatif<br>Öncelik Vektörü |
|--------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------|
| Weight | 0.24           | 0.18           | 0.13           | 0.15           | 0.18           | 0.12           |                               |
| AX     | 0.46           | 0.39           | 0.68           | 0.50           | 0.76           | 0.50           | 0.54                          |
| BS     | 0.54           | 0.61           | 0.32           | 0.50           | 0.24           | 0.50           | 0.40                          |

AX tercih edilen işletim sistemidir.

## 6.5. Sonuç

İşletme sistemleri, bilişim teknolojilerinin en temel unsurlarıdır. Geleneksel mühendislik ekonomisi modelleri, İS’lerinin tabiatında var olan stratejik faydaları gözardı ettiği için, bu kararların çok kapsamlı karar alma metodları ile onderekelendirilmesi gerekmektedir. Optimum karar varabilmek için, yöneticilerin, her İS laternatifi için hem performans hem de maliyet şemalarını dikkate almaları gerekmektedir. Bu çalışmada, en iyi İS alternatifini seçebilmek amacıyla bulanık bir AHS sistemi geliştirilmiştir. Bulanık AHS hantal hesaplamalar gerektirse de, yine de diğerlerine göre daha sistematik bir metod oluşu ve karmaşık, çok nitelikli karar alma sorunu sözkonusu olduğunda, bir insanın yaklaşımına en yakın değerdendirmenin yapılablmeslne olanak tanıdığı göz ardı edilmemelidir. Bu durumu doğrulayan bir başka gerçek de çiftli kıyaslamaların gerçek veriler kullanıldığında esnek ve gerçekçi bir bakış açısı sunmalarıdır. Bu sistemin finansal yönü bulanık yenileme analizine dayanmaktadır. Bulanık yenileme analizinin sonuçları bulanık AHS analizinde yer almaktadır. Bulanık ortamlarda Yenileme Analizi yatırım kararında bulanık AHS kavramı alternatifleri değerdendirmek için çok etkin bir yöntemdir. Bu çalışmada, geliştirilen sistemin aynısı kullanılarak, farklı işletim sistemlerinin kıyaslanması gibi subjektif bir kıyaslama yapılmış ve sonuçlarına yer verilmiştir. Daha kapsamlı araştırma yapmak isteyenlere, İS seçiminde bulanık yenileme analizi ile beraber bulanık TOPSIS ve bulanık dış sıralama metodları gibi diğer çok nitelikli yaklaşımların incelenmesi tavsiye olunmaktadır.

## 7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, yenileme problemlerine uygulanabilecek çok sayıda inceleme tekniğini ele aldık. Bu problemler genelde seçeneklerin eşit olmayan ömürlere sahip olduğu çok özel karar verme durumlarıydılar. Eskimenin nicellenmesine ve geleceğe dair verilerin öngörülmesine dair yolları irdeledikten sonra, mala dair batmış maliyetler, dışarıdan bakış açısı ve ekonomik ömür gibi temel kavramları sunduk. Bu son iki kavram, sonsuz planlama dönemi üzerinde çalışırken oldukça kullanışlıdır. Dışarıdan bakış açısı ise, incelemeyi yapan kişiye savunucu ile adayın göreceli ömür süreleri için düzgün eşdeğer kullanarak süratli kıyaslama yapma olanağı sunar. Diğer taraftan nakit akış yönteminde daha geniş çaplı hesaplamalar gerçekleştirmek için, incelemeyi yapan kişinin şimdiki zaman yöntemi kullanması gereklidir. Yatırım yenileme kararları bağlamındaki popüler bir varsayım da sonsuz planlama dönemidir. Çalışmada adayın vergi sonrası ömür süresini elde ettik ve sonra da savunucunun ne zaman yenileneceğini belirlemek için marjinal inceleme tekniğini kullandık. Yeni model malların maliyetlerinin geometrik olarak değiştiği bir başka örnek daha sunduk. Literatürdeki çalışmaların çoğu, sınırlı planlama dönemi içerisinde ekipman yenileme problemini gözardı eder. Bizim yaklaşımımız ise ileriye dönük tekrarlamalı dinamik programlamalı algoritma içermektedir. Bu yöntemde edinme ve işletme maliyetleri ayrıştırılmış olduğu için, yıldan yıla, vergi sonrası bazda inceleme yapılabilir. Bu güçlü teknik, planlama ufku açısından bir şekilde belirsiz, olabilmemize olanak vermektedir. Bu kısımdaki inceleme tekniklerinin bir çoğu hassasiyet incelemesine destek vermiş olup, biz de örneklerden birini genelleştirmiş nakit akışları kullanarak bu yolla inceledik. Nihayet, eğer yenileme incelemesini yapacak kişi farklı türden incelemeler gerçekleştirmek durumundaysa, firma yönetimi bilgi sisteminde mutlaka bulunması gereken veri türlerine dair kısa bir değerlendirmeyi de dahil ettik. Mal yenileme kararlarının dikkate alınabileceğine dair farklı senaryolar vardır. Kullanılması gereken inceleme tekniği ise mevcut senaryoya en uygun olan ve inceleme hedefini en iyi şekilde gerçekleştiren teknik olmalıdır. Çalışmada, bulanık küme kavramlarından yararlanılarak geliştirilmiş bulanık matematik fonksiyonları kullanılarak Mühendislik Ekonomisi Yenileme Analizi temel kavramları detayları ile incelenmiştir. Yenileme Analizler’inde kullanılan tüm matematiksel fonksiyonlar ve formüller bulanık kümelerle ait gösterimleri hesaplanmış. Yenileme Analizi formüllerinde bulanık matematik kullanılarak, Bulanık Yenileme Analizi altyapısı kurulmuştur. Söz konusu bulanık altyapı denk varlıkların yenilenmesi için geçerlidir. Klasik Yenileme Analizleri’nden farklı olarak Nakit Akışları, İskonto Oranları ve Hurda Değerleri belirsizlik ifade etmeleri için bulanık sayılar olarak nitelendirilmişlerdir. Yenileme

Analizleri'nde kullanılan grafiksel anlatımlara bulanık sayıların eklenmesi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada gerçekleştirilen Bulanık Yenileme Analizi altyapısı bilgi teknolojileri altyapılarında işletim sistemi seçimi gibi soyut bir karar verme uygulaması ile desteklenmiş ve sonuçlar çalışma içerisinde detayları verilmiştir. Söz konusu uygulamada Analitik Hiyerarşi Süreçleri karar verme mekanizmasında yardımcı öge olarak kullanılmıştır. Uygulamada sadece sayısal karar verme girdileri değil kalitatif karar verme etkenlerine de yer verilmiştir. Geliştirilen bulanık yenileme analizi teoraik ve pratik kullanımlara hazır haldedir. Fakat, bu noktada Yenileme Analizlerinde sadece benzer varlıkların yenilemesi değil, benzer olmayan varlıkların birbirlerinin yerine geçmeleri konularının da bulunduğu unutulmamalıdır. Ortaya konan bulanık yenileme analizi altyapısı üzerinde çalışacak olan araştırmacıların yenileme analizi konusunun dışına çıkıp yerine koyma problemleri ile de ilgilenmeleri gerekmektedir. Bulanık matematik kullanılarak yenileme analizi konuları üzerinde çalışılması literatürdeki pek az makaleye bakılacak olursa üzerinde çalışılması gerekli olan bir konu olduğu gözlemlenmektedir. Dikkat edilmesi gereken nokta, çalışma içerisinde verilen uygulamada da görülebileceği gibi bulanık matematik kavramlarının hem kalitatif hem de kantitatif etkenlerle karar vermede karar vericilere önemli ölçüde yardımcı olduğudur. Çalışmayı ve sonuçlarını literatürdeki çalışmalarla karşılaştırdığımızda, geliştirilen Bulanık Yenileme Analizi altyapısı, gerek sunduğu bilimsel altyapı gerekse beraberinde getirdiği grafiksel anlatım katkısı bakımından Mühendislik Ekonomisi konularında çalışan kişilere yararlı olacaktır.

## **KAYNAKLAR**

- Alchian, A.**, 1952. Economic Replacement Policy, Report R-224, RAND Corporation, Santa Monica Calif.
- Baas, S. M., ve Kwakernaak, H.**, 1977. Rating and ranking of multiple aspect alternative using fuzzy sets, *Automatica*, **13**, 47 - 58.
- Bean, J.C., Lohmann, R., ve Smith, R. L.**, 1985. A Dynamic Infinite Horizon Replacement Economy Decision Model, *The Engineering Economist*, **30**, No.2, 99-120.
- Bellman, R.**, 1955. Equipment Replacement Policy, *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics*, **3**, 133 - 136.
- Bellmann, R., ve Zadeh, L. A.**, 1970. Decision Making in a fuzzy environment, *Management Science*, **17B**, 141 - 164.
- Blank, L.T., ve Tarquin, J.A.**, 1987. *Engineering Economy*, McGraw-Hill.
- Bojadziev, M. and Bojadziev, G.**, 1997. *Fuzzy Logic for Business, Finance and Management*, World Scientific Press, Singapore.
- Boussabaine, A. H. ve Elhag, T.**, 1999. Applying Fuzzy Techniques to Cash Flow Analysis, *Construction Management and Economics*, **17**, 745 - 755.
- Bozdağ, C. E., Kahraman, C., ve Ruan, D.**, 2003. Fuzzy group decision making for selection among computer integrated manufacturing systems, *Computers in Industry*, **51**, 13 - 29.
- Brown, M., ve Harris, C.**, 1994. *Neurofuzzy Adaptive Modelling and Control*, Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall.
- Buckley, J. J.**, 1985a. Ranking Alternatives using Fuzzy Numbers, *Fuzzy Sets and Systems*, **15**, 21-31.

- Buckley, J. J., 1985b.** Fuzzy Hierarchical Analysis, *Fuzzy Sets and Systems*, **17**, 233-247.
- Buckley, J. J., 1987a.** Fuzzy Mathematics of Finance, *Fuzzy Sets and Systems*, **21**, 257-273.
- Buckley, J. J., 1987b.** Portfolio Analysis Using Possibility Distributions, in : E. Sanchez and L. Zadeh (Eds.) : *Approximate Reasoning in Intelligent Systems, Decision and Control*, Pergamon Press, Oxford, UK, 69-76.
- Buckley, J. J., 1992.** Solving Fuzzy Equations in Economics and Finance, *Fuzzy Sets and Systems*, **48**, 289-296.
- Buckley, J. J., 1993.** Fuzzy Mathematics of Finance, in : D. Dubois, H. Prade and R. Yager (Eds.), *Fuzzy Sets for Intelligent Systems*, Morgan Kaufman, San Francisco, 840-848.
- Carlsson, C., and Fuller, R., 1999.** Capital Budgeting Problems with Fuzzy Cash Flows, *Mathware and Soft Computing*, **6**, 81-89.
- Chang, D. Y., 1992.** Extent Analysis and Synthetic Decision, *Optimization Techniques and Applications*, **1**, World Scientific, Singapore, 352.
- Chang, D. Y., 1996.** Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP, *European Journal of Operational Research*, **95**, 649 - 655.
- Chang, P., T., 2004f.** Fuzzy Strategic Replacement Analysis, *European Journal of Operational Research*, forthcoming.
- Cheng, C-H., Yang, K-L., ve Hwang, C-L., 1999.** Evaluating Attack Helicopters by AHP Based on Linguistic Variable Weight, *European Journal of Operational Research*, **116**, 423-43.
- Ching-Hsue, C., 1997.** Evaluating naval tactical missile systems by fuzzy AHP based on the grade value of membership function, *European Journal of Operational Research*, **96**, 343-350.
- Chiu, C. Y., ve Park, C. S., 1994.** Fuzzy Cash Flow Analysis Using Present Worth Criterion, *The Engineering Economist*, **39**, 113 - 138.
- Dimitrovski, A. D. ve Matos, M. A., 2000.** Fuzzy Engineering Economic Analysis, *IEEE Transactions on Power Systems*, **15**, 283 - 289.

- Dreyfus, S. E.,** 1960. A Generalized Equipment Replacement Study, *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics*, **9**, 425-435.
- Dreyfus, S. E., ve Wagner, R. A.,** 1972. The Steiner problem in graphs, *Networks* **1**, 195 - 207.
- Dubois, D., and Prade, H.,** 1984. Criteria Agregation and Ranking of Alternatives in the Framework of Fuzzy Set Theory, H. J. Zimmermann (ed.), *TIMS / Studies in the Management Science*, Amsterdam, Elsevier Science Publishers, NorthHolland, **20**, 209 – 240.
- Esogbue, A. O., ve Hearnese, W. E.,** 1998. On Replacement Models Via a Fuzzy Set Theoretic Framework, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C*, **28**, 549 - 560.
- Fedrizzi, M., Fedrizzi, M., and Ostasiewicz, W.,** 1993. Towards Fuzzy Modelling in Economics, *Fuzzy Sets and Systems*, **54**, 259-268.
- Fleischer, G. A.,** 1994. *Introduction to Engineering Economy*, PWS Publishing Company, Boston.
- Galvin, S.,** 1994. *Operating System Concepts*, Addison Wesley, 4<sup>th</sup> Edition.
- Ghare, P. M., ve Torgersen, P. E.,** 1964. The Effect of Inflation and Increased Productivity on Machine Replacement, *Journal of Industrial Engineering*, **15**, 201-207.
- Goldstein, T., Ladany, S. P., ve Mehrez, A.,** 1986. A Dual Replacement Model: A Note on Planning Horizon Procedures for Machine Replacements, *Operations Research*, **34**, 938-964.
- Herroelen, W., Degreave, Z., ve Lambrecht, M.,** 1986. Justifying CIM: Quantitative Analysis Tool, *CIM Review*, **3**, 33 -43.
- Kahraman C., Ruan D., ve Bozdağ, C. E.,** 2003a. Optimization of Multilevel Investments using Dynamic Programming based on Fuzzy Cash Flows, *Fuzzy Optimization and Decision Making Journal*, Kluwer, **2**, 101 - 122.
- Kahraman, C.,** 2001a. Capital Budgeting Techniques Using Discounted Fuzzy Cash Flows, in *Soft Computing for Risk Evaluation and Management: Applications in Technology, Environment and Finance* (Editors:

Ruan, D., Kacprzyk, J., and Fedrizzi, M.), Physica Verlag Heidelberg, 375 - 396.

**Kahraman, C., 2001b.** Fuzzy Versus Probabilistic Benefit/Cost Ratio Analysis for Public Works Projects, *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, **11**, 101 - 114.

**Kahraman, C., Cebeci, U., ve Ruan, D., 2003b.** Multi Attribute Comparison Of Catering Service Companies Using Fuzzy AHP: The Case Of Turkey, *International Journal of Production Economics*, forthcoming.

**Kahraman, C., Ruan, D., ve Doğan, I., 2003c.** Fuzzy Group Decision-Making for Facility Location Selection, *Information Sciences*, forthcoming.

**Kahraman, C., Ruan, D., ve Tolga, E., 2002.** Capital Budgeting Techniques Using Discounted Fuzzy Versus Probabilistic Cash Flows, *Information Sciences*, **42**, 57-76.

**Kahraman, C., Tolga, E., ve Ulukan, Z., 2000,** Justification of Manufacturing Technologies Using Fuzzy Benefit / Cost Ratio Analysis, *International Journal of Production Economics*, **66**, 45 - 52.

**Karsak, E. E., 1998.** Measures of Liquidity Risk Supplementing Fuzzy Discounted Cash Flow Analysis, *Engineering Economist*, **43**, 331 - 344.

**Kickert, W. J. M., 1978.** Fuzzy Theory on Decision Making, A Critical Review, Martinus Nijhoff Social Sciences Division, Leiden.

**Kosko, B., 1992.** Neural Networks and Fuzzy Systems: A Dynamic Systems Approach to Machine Intelligence, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

**Kosko, B., 1993.** Fuzzy Thinking, New York: Hyperion.

**Kuchta, D., 2000.** Fuzzy Capital Budgeting, *Fuzzy Sets and Systems*, **111**, 367 - 385.

**Kulonda, D.J., 1978.** Replacement Analysis with Unequal Lives—the Study Period Method,” *The Engineering Economist*, **23**, 171-179.

**Lake, D. H., ve Muhlemann, A. P., 1979.** An Equipment Replacement Problem, *Journal of Operational Research Society*, **30**, 405 - 411.

- Leung, L.C., ve Tanchoco, J. M. A.,** 1987. Multiple Machine Replacement within an Intergrated Systems Framework," *The Engineering Economist*, **32**, 89-114.
- Li Calzi, M.,** 1990. Towards a General Setting for the Fuzzy Mathematics of Finance, *Fuzzy Sets and Systems*, **35**, 265-280.
- Lohmann, J. R.,** 1986. A Stochastic Replacement Economic Decision Model, *IEE Transactions*, **18**, 182-194.
- Lohmann, J. R., Foster, E.W., ve Layman, D. J.,** 1982. A Comparative Analysis of the Effect of ACRS on Replacement Economy Decisions, *The Engineering Economist*, **27**, 247-260.
- Mamdani, E.,** 1974. Application of Fuzzy Algorithms for Control of Simple Dynamic Plant, *Proceedings IEE*, **212**, 1585 – 1588.
- Mamdani, E. ve Assilian, S.,** 1975. An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller, *International Joural of Man Machine Studies*, **7**, 1-13.
- Marston, A., Winfrey, R., ve Hempstead, J.C.,** 1953. Engineering Valuation and Depreciation, 2. Basım, Iowa Devlet Üniversitesi Yayınları, Ames.
- Matsuo, H.,** 1988. A Modified Approach to the Replacement of an Existing Asset, *The Engineering Economist*, **33**, 109-120.
- Oakford, R. V., Lohmann, J. R., ve Salazar, A.,** 1984. A Dynamic Replacement Economy Decision Model, *IEE Transactions*, **65** - 72.
- Ostwald, P.F.,** 1984. Cost Estimating, 2. Basım, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 207-216.
- Quinlan, J. R.,** 1993. Programs for Machine Learning, San Mateo, CA, Morgan Kaufmann.
- Park, C.S.,** 1980. Case Study: Buy vs. Lease Decision of Automobiles, *The Engineering Economist*, **26**, 53-74.
- Park, C.S., ve Son, Y.,** 1995. An Economic Evaluation Model for Advanced Manufacturing Systems, *The Engineering Economist*, **34**, 1-26.

- Rieder, M.L., Wagner, R. R. ve Remer, D.S., 1982.** An Economic Model for Using an Airplane via Lease-Back, Ownership, or Rental Arrangements, *The Engineering Economist*, **28**, 101-130.
- Saaty, T. L., 1977.** A scaling method for priorities in hierarchical structures, *Journal of Mathematical Psychology*, **15**, 234 - 281.
- Saaty, T. L., 1978.** Exploring the Interface between Hierarchies, Multiple Objectives, and Fuzzy Sets, *Fuzzy Sets and Systems*, **1**, 57 - 68.
- Saaty, T. L., ve Vargas, L. G., 2001.** Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process, Kluwer Academic Publishers.
- Schroeder, R.G., 1989.** Tech Update, *Mass Transit*, **16**, 20.
- Sethi, S., ve Chand, S., 1979.** Planning Horizon Procedures for Machine Replacement Problems, *Management Science*, **25**, 140-151.
- Stam, A., Minghe, S., ve Haines, M., 1996.** Artificial neural network representations for hierarchical preference structures, *Computers & Operations Research*, **23**, 1191-1201.
- Tanenbaum, A. S., 1987.** Operating Systems: Design and Implementation, Prentice Hall.
- Tarrazo, M., 2001.** Practical Applications of Approximate Equations in Finance and Economics, Quorum Books, Westport, Conn.
- Thuesen, G.J., ve Sharp, G.P., 1983.** Replacement Analysis in the 1980's: Obsolescence, New Tax Laws, and Inflation, *Endüstri ve Sistemler Mühendisliği Okulu, Georgia Teknoloji Enstitüsü Atlanta*.
- Usher, J. S., ve Whitfield, G. M., 1993.** Evalation of Used-System Life Cycle Costs Using Fuzzy Set Theory, **25**, *IIE Transactions*.
- Van Laarhoven, P.J.M., ve Pedrycz, W., 1983.** A Fuzzy Extension of Saaty's Priority Theory, *Fuzzy Sets and Systems*, **11**, 229 - 241.
- Von Altrock, C., 1997.** Fuzzy Logic and NeuroFuzzy Applications in Business and Finance, Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J.
- Wagner, H.W., 1969.** Principles of Operations Research, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 340-342.

- Westwood, J.,** 1981. An Empirical Excursion into the Quicksand of Vehicle Replacement, *OMEGA, International Journal of Management Science*, **9**, 195-202,
- Yager, R.,** 1982. Some Procedures for Selecting Fuzzy Set-Theoretic Operators, *International Journal of General System*, **8**, 115-124.
- Zadeh, L.,** 1965. Fuzzy Sets, *Information Control*, **8**, 338 - 353.
- Zadeh, L.,** 1973. Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, SMC* **3**, 28-44.
- Zadeh, L.,** 1975a. The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning: I, *Information Science*, **8**, 199-249.
- Zadeh, L.,** 1975b. The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning: II, *Information Science*, **8**, 301-357.
- Zhu, K-J., Jing, Y., ve Chang, D-Y.,** 1999. A Discussion on Extent Analysis Method and Applications of Fuzzy AHP, *European Journal of Operational Research*, **116**, 450-456.
- Zimmermann, H. J.,** 1987a. Fuzzy Set, Decision Making, and Expert System, Kluwer, Boston.
- Zimmermann, H. J.,** 1987b. Modeling and solving ill-structured problems in operation research, *Analysis of Fuzzy Information*, vol. III, Applications in Engineering and Science, CRC Press, Florida, 217 - 240.
- Zimmermann, H. J.,** 1991. Fuzzy Set Theory and Its Applications, Boston, Kluwer.

## EKLER

### EK A (ANKET VE ANKET SORULARI)

Aşağıdaki soruları okuyunuz ve çiftli karşılaştırma matrislerini işaretleyiniz. Eğer sol tarafta belirtilen niteliklerden biri sağ tarafında ona eş niteliklerden daha önemli ise, sorunun altında yer alan önemlilik derecesi ölçerinde “EŞİT” ibaresinin sol tarafını işaretleyiniz. Eğer sol tarafta belirtilen niteliklerden biri sağ tarafında ona eş niteliklerden daha az önemliyse, sorunun altında yer alan ölçekte “EŞİT” ibaresinin sağ tarafını işaretleyiniz.

**Nihai hedef olan “En iyi İşletim Sistemi Seçimi”ne dair sorular:**

S1. Süreç yönetimi (C<sub>2</sub>) ile karşılaştırıldığında Yedekleme Yönetimi (C<sub>1</sub>) ne kadar önemlidir?

S2. Koruma ve Güvenlik (C<sub>3</sub>) ile karşılaştırıldığında Yedekleme Yönetimi (C<sub>1</sub>) ne kadar önemlidir?

S3. Dağıtılmış Yapı(C<sub>4</sub>) ile kıyaslandığında Yedekleme Yönetimi (C<sub>1</sub>) ne kadar önemlidir?

S4. Yazılım Özellikleri (C<sub>5</sub>) ile kıyaslandığında Yedekleme Yönetimi (C<sub>1</sub>) ne kadar önemlidir?

S5. Finansal Göstergeler (C<sub>6</sub>) ile kıyaslandığında Yedekleme Yönetimi (C<sub>1</sub>) ne kadar önemlidir?

S6. Koruma ve Güvenlik (C<sub>3</sub>) ile karşılaştırıldığında Süreç Yönetimi (C<sub>2</sub>) ne kadar önemlidir?

S7. Dağıtılmış Yapı (C<sub>4</sub>) ile karşılaştırıldığında Süreç Yönetimi (C<sub>2</sub>) ne kadar önemlidir?

S8. Yazılım Özellikleri (C<sub>5</sub>) ile karşılaştırıldığında Süreç Yönetimi (C<sub>2</sub>) ne kadar önemlidir?

S9. Finansal Göstergeler (C<sub>6</sub>) ile karşılaştırıldığında Süreç Yönetimi (C<sub>2</sub>) ne kadar önemlidir?

S10. Dağıtılmış Yapı (C<sub>4</sub>) ile kıyaslandığında Koruma ve Güvenlik (C<sub>3</sub>) ne kadar önemlidir?

S11. Yazılım özellikleri (C<sub>5</sub>) ile kıyaslandığında Koruma ve Güvenlik (C<sub>3</sub>) ne kadar önemlidir?

S12. Finansal Göstergeler ( $C_6$ ) ile kıyaslandığında Koruma ve Güvenlik ( $C_3$ ) ne kadar önemlidir?

S13. Yazılım Özellikleri ( $C_5$ ) ile kıyaslandığında Dağıtılmış Yapı ( $C_4$ ) ne kadar önemlidir?

S14. Finansal Göstergeler ( $C_6$ ) ile kıyaslandığında Dağıtılmış Yapı ( $C_4$ ) ne kadar önemlidir?

S15. Finansal Göstergeler ( $C_6$ ) ile kıyaslandığında Yazılım özellikleri ( $C_5$ ) ne kadar önemlidir?



Tablo A.1. Ana özelliklerin birbirlerine önem üstünlükleri (İşletim Sistemi Seçimi)

| En iyi işletim sistemine göre |                | Ana özelliklerin birbirlerine önem üstünlükleri |                       |                   |                     |                        |
|-------------------------------|----------------|-------------------------------------------------|-----------------------|-------------------|---------------------|------------------------|
| Sorular                       | Attributes     | Güçlü<br>(1, 3/2, 2)                            | Orta<br>(1/2, 1, 3/2) | Eşit<br>(1, 1, 1) | Orta<br>(2/3, 1, 2) | Güçlü<br>(1/2, 2/3, 1) |
| Q1                            | C <sub>1</sub> |                                                 |                       |                   | X                   |                        |
| Q2                            | C <sub>1</sub> |                                                 |                       |                   |                     | X                      |
| Q3                            | C <sub>1</sub> |                                                 |                       |                   |                     | X                      |
| Q4                            | C <sub>1</sub> |                                                 |                       |                   | X                   |                        |
| Q5                            | C <sub>1</sub> |                                                 |                       |                   |                     | X                      |
| Q6                            | C <sub>2</sub> |                                                 |                       | X                 |                     |                        |
| Q7                            | C <sub>2</sub> |                                                 | X                     |                   |                     |                        |
| Q8                            | C <sub>2</sub> |                                                 | X                     |                   |                     |                        |
| Q9                            | C <sub>2</sub> |                                                 |                       | X                 |                     |                        |
| Q10                           | C <sub>3</sub> |                                                 | X                     |                   |                     |                        |
| Q11                           | C <sub>3</sub> |                                                 | X                     |                   |                     |                        |
| Q12                           | C <sub>3</sub> |                                                 |                       |                   | X                   |                        |
| Q13                           | C <sub>4</sub> |                                                 |                       |                   | X                   |                        |
| Q14                           | C <sub>4</sub> |                                                 |                       |                   | X                   |                        |
| Q15                           | C <sub>5</sub> |                                                 |                       |                   | X                   |                        |

**Temel nitelik olan “Yedekleme Yönetimi” (C<sub>1</sub>)” e dair sorular:**

S11. Sanal Hafıza (C<sub>12</sub>) ile karşılaştırıldığında Hafıza Yönetimi (C<sub>41</sub>) ne kadar önemlidir?

S12. Dosya Sistem Arayüzü (C<sub>13</sub>) ile karşılaştırıldığında Hafıza Yönetimi (C<sub>41</sub>) ne kadar önemlidir?

S13. Dosya Sistem Uygulaması (C<sub>14</sub>) ile karşılaştırıldığında Hafıza Yönetimi (C<sub>41</sub>) ne kadar önemlidir?

S14. İkincil Yedekleme Yapısı (C<sub>15</sub>) ile karşılaştırıldığında Hafıza Yönetimi (C<sub>41</sub>) ne kadar önemlidir?

S15. Dosya Sistem Arayüzü (C<sub>13</sub>) ile karşılaştırıldığında Sanal Hafıza (C<sub>12</sub>) ne kadar önemlidir?

S16. Dosya Sistem Uygulaması (C<sub>14</sub>) ile karşılaştırıldığında Sanal Hafıza (C<sub>12</sub>) ne kadar önemlidir?

S17. İkincil Yedekleme Yapıları (C<sub>15</sub>) ile karşılaştırıldığında Sanal Hafıza (C<sub>12</sub>) ne kadar önemlidir?

S18. Dosya Sistem Uygulaması (C<sub>14</sub>) ile karşılaştırıldığında Dosya Sistem Arayüzü (C<sub>13</sub>) ne kadar önemlidir?

S19. İkincil Yedekleme Yapıları (C<sub>15</sub>) ile karşılaştırıldığında Dosya Sistem Arayüzü (C<sub>13</sub>) ne kadar önemlidir?

S20. İkincil Yedekleme Yapıları (C<sub>15</sub>) ile karşılaştırıldığında Dosya Sistem Uygulaması (C<sub>14</sub>) ne kadar önemlidir?



Tablo A.2. Bir alt özelliğin diğerlerine göre önem üstünlüğü (Yedekleme Yönetimi)

| Yedekleme Yönetimine göre |                  | Bir alt özelliğin diğerlerine göre önem üstünlüğü |                       |                   |                     |                        |
|---------------------------|------------------|---------------------------------------------------|-----------------------|-------------------|---------------------|------------------------|
| Sorular                   | Sub - attributes | Güçlü<br>(1, 3/2, 2)                              | Orta<br>(1/2, 1, 3/2) | Eşit<br>(1, 1, 1) | Orta<br>(2/3, 1, 2) | Güçlü<br>(1/2, 2/3, 1) |
| Q11                       | C <sub>11</sub>  |                                                   |                       |                   | X                   |                        |
| Q12                       | C <sub>11</sub>  |                                                   | X                     |                   |                     |                        |
| Q13                       | C <sub>11</sub>  |                                                   | X                     |                   |                     |                        |
| Q14                       | C <sub>11</sub>  |                                                   | X                     |                   |                     |                        |
| Q15                       | C <sub>12</sub>  |                                                   | X                     |                   |                     |                        |
| Q16                       | C <sub>12</sub>  |                                                   | X                     |                   |                     |                        |
| Q17                       | C <sub>12</sub>  |                                                   |                       | X                 |                     |                        |
| Q18                       | C <sub>13</sub>  |                                                   |                       | X                 |                     |                        |
| Q19                       | C <sub>13</sub>  |                                                   |                       |                   | X                   |                        |
| Q20                       | C <sub>14</sub>  |                                                   |                       |                   | X                   |                        |

**Temel nitelik olan “Süreç Yönetimi” (C<sub>2</sub>)” e dair sorular:**

S21. CPU Zaman Çizelgesi Hazırlanması (C<sub>22</sub>) ile karşılaştırıldığında Süreç İdaresi (C<sub>21</sub>) ne kadar önemlidir?

S22. Süreç Senkronizasyonu (C<sub>23</sub>) ile karşılaştırıldığında Süreç İdaresi (C<sub>21</sub>) ne kadar önemlidir?

S23. Kilitlenmeler (C<sub>24</sub>) ile karşılaştırıldığında Süreç İdaresi (C<sub>21</sub>) ne kadar önemlidir?

S24. Süreç Senkronizasyonu (C<sub>23</sub>) ile karşılaştırıldığında CPU Zaman Çizelgesi Hazırlanması (C<sub>22</sub>) ne kadar önemlidir?

S25. Kilitlenmeler (C<sub>24</sub>) ile karşılaştırıldığında CPU Zaman Çizelgesi Hazırlanması (C<sub>22</sub>) ne kadar önemlidir?

S26. Kilitlenmeler (C<sub>24</sub>) ile karşılaştırıldığında Süreç Senkronizasyonu (C<sub>23</sub>) ne kadar önemlidir?

Tablo A.3. Alt özelliklerin diğerlerine önem üstünlükleri (Süreç Yönetimi)

| Süreç Yönetimine göre |                  | Alt özelliklerin diğerlerine önem üstünlükleri |                       |                   |                     |                        |                 |
|-----------------------|------------------|------------------------------------------------|-----------------------|-------------------|---------------------|------------------------|-----------------|
| Sorular               | Sub - attributes | Güçlü<br>(1, 3/2, 2)                           | Orta<br>(1/2, 1, 3/2) | Eşit<br>(1, 1, 1) | Orta<br>(2/3, 1, 2) | Güçlü<br>(1/2, 2/3, 1) | Alt özellikler  |
| Q21                   | C <sub>21</sub>  |                                                |                       | X                 |                     |                        | C <sub>22</sub> |
| Q22                   | C <sub>21</sub>  |                                                |                       |                   | X                   |                        | C <sub>23</sub> |
| Q23                   | C <sub>21</sub>  |                                                |                       |                   |                     | X                      | C <sub>24</sub> |
| Q24                   | C <sub>22</sub>  |                                                | X                     |                   |                     |                        | C <sub>23</sub> |
| Q25                   | C <sub>22</sub>  |                                                |                       | X                 |                     |                        | C <sub>24</sub> |
| Q26                   | C <sub>23</sub>  |                                                |                       |                   | X                   |                        | C <sub>24</sub> |

**Temel nitelik olan “Koruma ve Güvenlik” (C<sub>3</sub>)” e dair sorular:**

S27. Güvenlik (C<sub>32</sub>) ile karşılaştırıldığında Korunma (C<sub>31</sub>) ne kadar önemlidir?

Tablo A.4. Alt özelliklerin diğerlerine önem üstünlükleri (Koruma ve Güvenlik)

| Koruma ve Güvenliğe göre |                  | Alt özelliklerin diğerlerine önem üstünlükleri |                       |                   |                     |                        |                 |
|--------------------------|------------------|------------------------------------------------|-----------------------|-------------------|---------------------|------------------------|-----------------|
| Sorular                  | Sub - attributes | Güçlü<br>(1, 3/2, 2)                           | Orta<br>(1/2, 1, 3/2) | Eşit<br>(1, 1, 1) | Orta<br>(2/3, 1, 2) | Güçlü<br>(1/2, 2/3, 1) | Alt Özellikler  |
| Q27                      | C <sub>31</sub>  |                                                |                       |                   | X                   |                        | C <sub>32</sub> |

**Temel nitelik olan “Dağıtılmış Yapı” (C<sub>4</sub>)” e dair sorular:**

S28. Dağıtılmış Sistem yapıları (C<sub>42</sub>) ile karşılaştırıldığında Ağ yapısı (C<sub>41</sub>) ne kadar önemlidir?

S29. Dağıtılmış Dosya Sistemleri (C<sub>43</sub>) ile karşılaştırıldığında Ağ yapısı (C<sub>41</sub>) ne kadar önemlidir?

S30. Dağıtılmış Eşgüdüm (C<sub>44</sub>) ile karşılaştırıldığında Ağ yapısı (C<sub>41</sub>) ne kadar önemlidir?

S31. Dağıtılmış Dosya Sistemleri (C<sub>43</sub>) ile karşılaştırıldığında Dağıtılmış Sistem Yapıları (C<sub>42</sub>) ne kadar önemlidir?

S32. Dağıtılmış Eşgüdüm (C<sub>44</sub>) ile karşılaştırıldığında Dağıtılmış Sistem Yapıları (C<sub>42</sub>) ne kadar önemlidir?

S33. Dağıtılmış Eşgüdüm (C<sub>44</sub>) ile karşılaştırıldığında Dağıtılmış Dosya Sistemi (C<sub>43</sub>) ne kadar önemlidir?

Tablo A.5. Alt özelliklerin diğerlerine önem üstünlükleri (Dağıtılmış Yapı)

| Dağıtık Yapıya göre |                  | Alt özelliklerin diğerlerine önem üstünlükleri |                       |                   |                     |                        |
|---------------------|------------------|------------------------------------------------|-----------------------|-------------------|---------------------|------------------------|
| Sorular             | Sub - attributes | Güçlü<br>(1, 3/2, 2)                           | Orta<br>(1/2, 1, 3/2) | Eşit<br>(1, 1, 1) | Orta<br>(2/3, 1, 2) | Güçlü<br>(1/2, 2/3, 1) |
| Q28                 | C <sub>41</sub>  |                                                |                       | X                 |                     |                        |
| Q29                 | C <sub>41</sub>  |                                                |                       |                   | X                   |                        |
| Q30                 | C <sub>41</sub>  |                                                |                       |                   | X                   |                        |
| Q31                 | C <sub>42</sub>  |                                                |                       | X                 |                     |                        |
| Q32                 | C <sub>42</sub>  |                                                |                       |                   | X                   |                        |
| Q33                 | C <sub>43</sub>  |                                                |                       | X                 |                     |                        |
|                     |                  |                                                |                       |                   |                     | Alt Özellik            |
|                     |                  |                                                |                       |                   |                     | C <sub>42</sub>        |
|                     |                  |                                                |                       |                   |                     | C <sub>43</sub>        |
|                     |                  |                                                |                       |                   |                     | C <sub>44</sub>        |
|                     |                  |                                                |                       |                   |                     | C <sub>43</sub>        |
|                     |                  |                                                |                       |                   |                     | C <sub>44</sub>        |
|                     |                  |                                                |                       |                   |                     | C <sub>44</sub>        |

**Temel nitelik olan “Yazılım Özellikleri” (C<sub>5</sub>)” e dair sorular:**

S34. Hatalar ve Kodlama (C<sub>52</sub>) ile karşılaştırıldığında Uygulama ve Araçlar (C<sub>51</sub>) ne kadar önemlidir?

S35. Grafik Kullanıcı Arayüzü (C<sub>53</sub>) ile karşılaştırıldığında Uygulama ve Araçlar (C<sub>51</sub>) ne kadar önemlidir?

S36. Erişilebilirlik ve Destek (C<sub>54</sub>) ile karşılaştırıldığında Uygulama ve Araçlar (C<sub>51</sub>) ne kadar önemlidir?

S37. Grafik Kullanıcı Arayüzü (C<sub>53</sub>) ile karşılaştırıldığında Hatalar ve Kodlama (C<sub>52</sub>) ne kadar önemlidir?

S38. Erişilebilirlik ve Destek (C<sub>54</sub>) ile karşılaştırıldığında Hatalar ve Kodlama (C<sub>52</sub>) ne kadar önemlidir?

S39. Erişilebilirlik ve Destek (C<sub>54</sub>) ile karşılaştırıldığında Grafik Kullanıcı Arayüzü (C<sub>53</sub>) ne kadar önemlidir?

**Tablo A.6. Alt özelliklerin diğerlerine önem üstünlükleri (Yazılım Özellikleri)**

Tablo A.7. Alt özelliklerin diğerlerine önem üstünlükleri

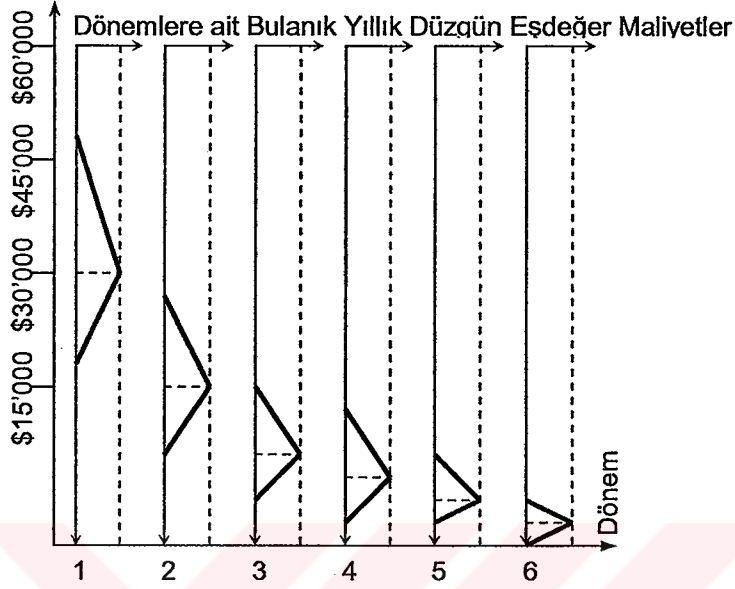
| Alt özelliklere göre |             | Alt özelliklerin diğerlerine önem üstünlükleri |                       |                   |                     |                        |
|----------------------|-------------|------------------------------------------------|-----------------------|-------------------|---------------------|------------------------|
| Questions            | Alternative | Güçlü<br>(1, 3/2, 2)                           | Orta<br>(1/2, 1, 3/2) | Eşit<br>(1, 1, 1) | Orta<br>(2/3, 1, 2) | Güçlü<br>(1/2, 2/3, 1) |
| Q40 C <sub>11</sub>  | A<br>X      |                                                | X                     |                   |                     |                        |
| Q40 C <sub>12</sub>  | A<br>X      |                                                |                       | X                 |                     |                        |
| Q40 C <sub>13</sub>  | A<br>X      |                                                |                       | X                 |                     |                        |
| Q40 C <sub>14</sub>  | A<br>X      |                                                |                       | X                 |                     |                        |
| Q40 C <sub>15</sub>  | A<br>X      |                                                |                       | X                 |                     |                        |
| Q40 C <sub>21</sub>  | A<br>X      |                                                | X                     |                   |                     |                        |
| Q40 C <sub>22</sub>  | A<br>X      |                                                |                       | X                 |                     |                        |
| Q40 C <sub>23</sub>  | A<br>X      |                                                | X                     |                   |                     |                        |
| Q40 C <sub>24</sub>  | A<br>X      |                                                |                       | X                 |                     |                        |
| Q40 C <sub>31</sub>  | A<br>X      |                                                |                       |                   | X                   |                        |
| Q40 C <sub>32</sub>  | A<br>X      |                                                |                       |                   | X                   |                        |
| Q40 C <sub>41</sub>  | A<br>X      |                                                |                       |                   | X                   |                        |
| Q40 C <sub>42</sub>  | A<br>X      |                                                |                       |                   | X                   |                        |
| Q40 C <sub>43</sub>  | A<br>X      |                                                |                       |                   | X                   |                        |
| Q40 C <sub>44</sub>  | A<br>X      |                                                |                       |                   | X                   |                        |
| Q40 C <sub>51</sub>  | A<br>X      |                                                |                       |                   |                     | X                      |
| Q40 C <sub>52</sub>  | A<br>X      |                                                |                       | X                 |                     |                        |

|                     |        |   |    |
|---------------------|--------|---|----|
| Q40 C <sub>53</sub> | A<br>X | X | BS |
| Q40 C <sub>54</sub> | A<br>X | X | BS |
| Q40 C <sub>61</sub> | A<br>X | X | BS |

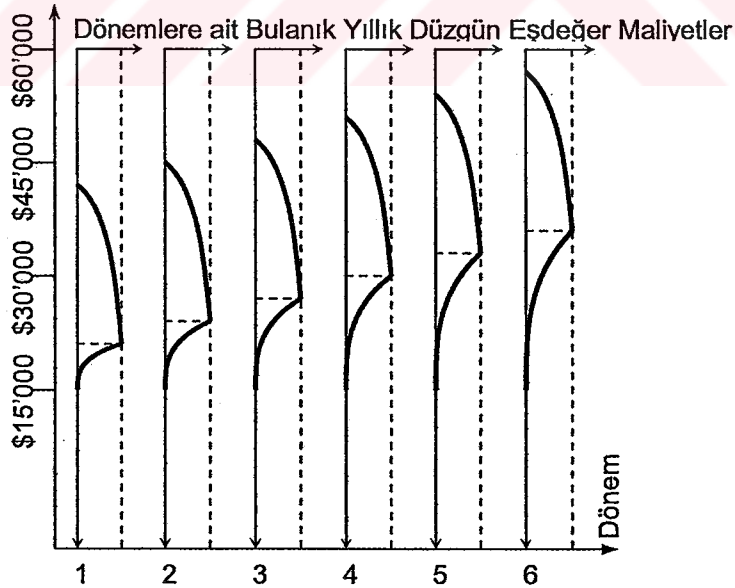


## EK B (BULANIK YENİLEME ANALİZİ GRAFİKLERİ)

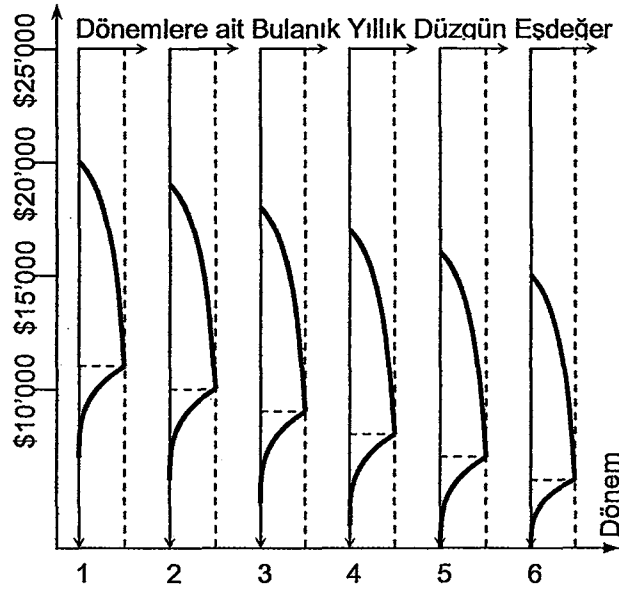
Şekil B.1’den Şekil B.5’e kadar sermaye geri kapama ve işletme maliyetlerine ait bulanık nakit akışları verilmiştir.



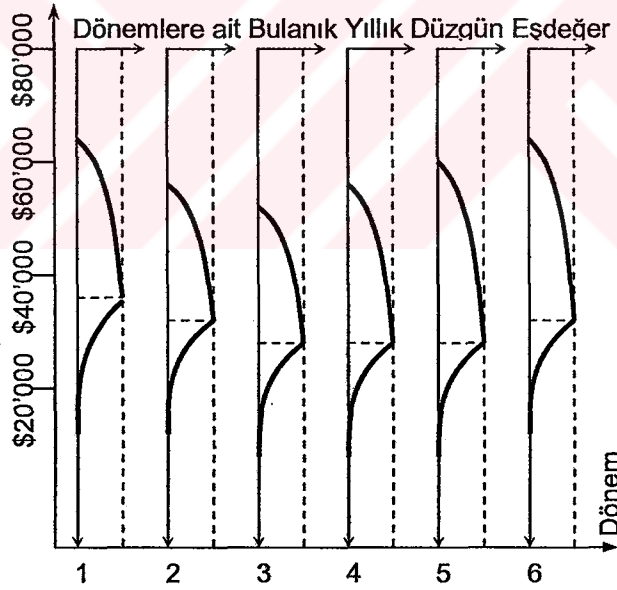
Şekil B.1 : BS'nin sermaye geri kapama maliyetine ait bulanık yıllık eşdeğer düzgün nakit akışları



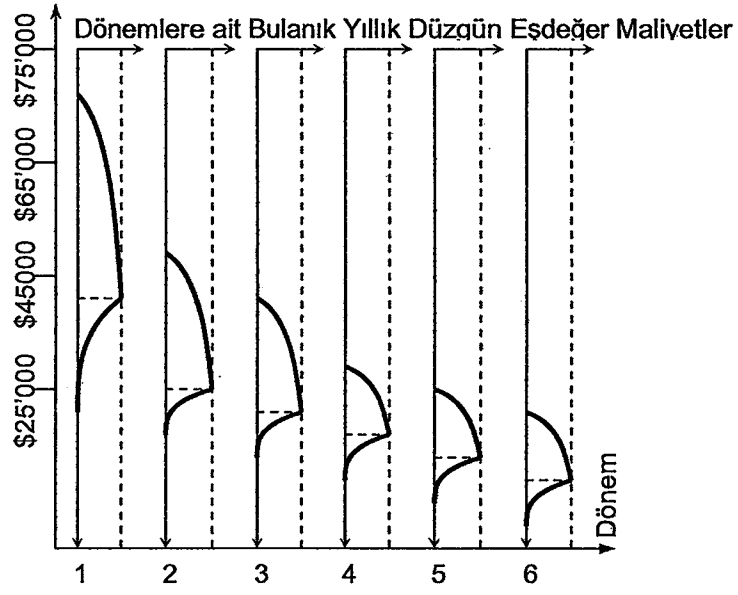
Şekil B.2 : AX'in işletme maliyetlerine ait yıllık düzgün eşdeğer nakit akışları



Şekil B.3 : BS'nin bulanık yıllık düzgün eşdeğer işletme maliyetleri



Şekil B.4 : AX'in bulanık yıllık düzgün eşdeğer toplam maliyetleri



Şekil B.5 : BS'nin bulanık yıllık düzgün eşdeğer toplam maliyeti

## EK C (ANALİTİK HİYERARŞİ SÜREÇ TABLOLARI)

Tablo C.1. Süreç Yönetimine göre alt özelliklerin değerlendirilmesi

|          | $\mathcal{C}_1^1$ | $\mathcal{C}_2^1$ | $\mathcal{C}_3^1$ | $\mathcal{C}_4^1$ |
|----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| $C_{21}$ | (1,1,1)           | (1,1,1)           | (2/3,1,1/2)       | (2/5,1/2,2/3)     |
| $C_{22}$ | (1,1,1)           | (1,1,1)           | (1/2,1,3/2)       | (1,1,1)           |
| $C_{23}$ | (2,1,3/2)         | (2/3,1,2)         | (1,1,1)           | (2/3,1,2)         |
| $C_{24}$ | (3/2,2,5/2)       | (1,1,1)           | (1/2,1,3/2)       | (1,1,1)           |

Tablo C.1'den hesaplanan ağırlık vektörü  $W_{C2}=(0.59, 0.33, 0.00, 0.08)^T$ .

Tablo C.2. Koruma ve Güvenliğe göre alt özelliklerin değerlendirilmesi

|          | $\mathcal{C}_1^2$ | $\mathcal{C}_2^2$ |
|----------|-------------------|-------------------|
| $C_{31}$ | (1,1,1)           | (1/2,2/3,1)       |
| $C_{32}$ | (1,3/2,2)         | (1,1,1)           |

Tablo C.2'den hesaplanan ağırlık vektörü  $W_{C3}=(0.68, 0.32)^T$ .

Tablo C.3. Dağıtık Yapıya göre alt özelliklerin değerlendirilmesi

|          | $\mathcal{C}_1^3$ | $\mathcal{C}_2^3$ | $\mathcal{C}_3^3$ | $\mathcal{C}_4^3$ |
|----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| $C_{41}$ | (1,1,1)           | (1,1,1)           | (2/3,1,2)         | (2/3,1,2)         |
| $C_{42}$ | (1,1,1)           | (1,1,1)           | (1,1,1)           | (2/3,1,2)         |
| $C_{43}$ | (1/2, 1,3/2)      | (1/2,1,3/2)       | (1,1,1)           | (1,1,1)           |
| $C_{44}$ | (1/2,1,3/2)       | (1/2,1,3/2)       | (1,1,1)           | (1,1,1)           |

Tablo C.3'den hesaplanan ağırlık vektörü  $W_{C4}=(0.25, 0.25, 0.25, 0.25)^T$ .

Tablo C.4. Yazılım özelliklerine göre alt özelliklerin değerlendirilmesi

|          | $\mathcal{C}_1^4$ | $\mathcal{C}_2^4$ | $\mathcal{C}_3^4$ | $\mathcal{C}_4^4$ |
|----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| $C_{51}$ | (1,1,1)           | (1/2,2/3,1)       | (1,1,1)           | (1,1,1)           |
| $C_{52}$ | (1,3/2,2)         | (1,1,1)           | (1/2,2/3,1)       | (2/5,1/2,2/3)     |
| $C_{53}$ | (1,1,1)           | (1,3/2,2)         | (1,1,1)           | (1/2,2/3,1)       |
| $C_{54}$ | (1,1,1)           | (3/2,2,5/2)       | (1,3/2,2)         | (1,1,1)           |

Tablo C.4'den hesaplanan ağırlık vektörü  $W_{C5}=(0.32, 0.32, 0.25, 0.11)^T$ .

Tablo C.5. Hafıza yönetimine göre işletim sistemlerinin değerlendirilmesi

|    | AX          | BS        |
|----|-------------|-----------|
| AX | (1,1,1)     | (1,3/2,2) |
| BS | (1/2,2/3,1) | (1,1,1)   |

Tablo C.6. Sanal hafızaya göre işletim sistemlerinin değerlendirilmesi

|    | AX      | BS      |
|----|---------|---------|
| AX | (1,1,1) | (1,1,1) |
| BS | (1,1,1) | (1,1,1) |

Tablo C.5 ve Tablo C.6'dan hesaplanan ağırlık vektörleri sırasıyla,  $W_{C11}=(0.32, 0.68)^T$  and  $W_{C12}=(0.50, 0.50)^T$ .

Tablo C.7. Dosya sistemi arayüzüne göre işletim sistemlerinin değerlendirilmesi

|    | AX        | BS          |
|----|-----------|-------------|
| AX | (1,1,1)   | (1/2,1,3/2) |
| BS | (2/3,1,2) | (1,1,1)     |

Tablo C.8. Dosya sistemi uygulamasına göre işletim sistemlerinin değerlendirilmesi

|    | AX        | BS          |
|----|-----------|-------------|
| AX | (1,1,1)   | (1/2,1,3/2) |
| BS | (2/3,1,2) | (1,1,1)     |

Tablo C.7 ve Tablo C.8'den hesaplanan ağırlık vektörleri sırasıyla,  $W_{C13}=(0.50, 0.50)^T$  and  $W_{C14}=(0.50, 0.50)^T$ .

Tablo C.9. İkincil yedekleme yapısına göre işletim sistemlerinin değerlendirilmesi

|    | AX      | BS      |
|----|---------|---------|
| AX | (1,1,1) | (1,1,1) |
| BS | (1,1,1) | (1,1,1) |

Tablo C.10. İşlem idaresine göre işletim sistemlerinin değerlendirilmesi

|    | AX          | BS        |
|----|-------------|-----------|
| AX | (1,1,1)     | (1,3/2,2) |
| BS | (1/2,2/3,1) | (1,1,1)   |

Tablo C.9 ve Tablo C.10'dan hesaplanan ağırlık vektörleri sırasıyla,  $W_{C21}=(0.32, 0.68)^T$  and  $W_{C22}=(0.50, 0.50)^T$ .

Tablo C.11. CPU zamanlamasına göre işletim sistemlerinin değerlendirilmesi

|    | AX        | BS          |
|----|-----------|-------------|
| AX | (1,1,1)   | (1/2,1,3/2) |
| BS | (2/3,1,2) | (1,1,1)     |

Tablo C.12. İşlem dengelemesine göre işletim sistemlerinin değerlendirilmesi

|    | AX          | BS        |
|----|-------------|-----------|
| AX | (1,1,1)     | (1,3/2,2) |
| BS | (1/2,2/3,1) | (1,1,1)   |

Tablo C.11 ve Tablo C.12'den hesaplanan ağırlık vektörleri sırasıyla,  $W_{C22}=(0.50, 0.50)^T$  and  $W_{C23}=(0.32, 0.68)^T$ .

Tablo C.13. Kilitlenmelere göre işletim sistemlerinin değerlendirilmesi

|    | AX        | BS          |
|----|-----------|-------------|
| AX | (1,1,1)   | (1/2,1,3/2) |
| BS | (2/3,1,2) | (1,1,1)     |

Tablo C.14. Korunmaya göre işletim sistemlerinin değerlendirilmesi

|    | AX        | BS          |
|----|-----------|-------------|
| AX | (1,1,1)   | (1/2,2/3,1) |
| BS | (1,3/2,2) | (1,1,1)     |

Tablo C.13 ve Tablo C.14'den hesaplanan ağırlık vektörleri sırasıyla,  $W_{C24}=(0.50, 0.50)^T$  and  $W_{C31}=(0.68, 0.32)^T$ .

Tablo C.15. Güvenliğe göre işletim sistemlerinin değerlendirilmesi

|    | AX        | BS          |
|----|-----------|-------------|
| AX | (1,1,1)   | (1/2,2/3,1) |
| BS | (1,3/2,2) | (1,1,1)     |

Tablo C.16. Ağ yapısına göre işletim sistemlerinin değerlendirilmesi

|    | AX          | BS        |
|----|-------------|-----------|
| AX | (1,1,1)     | (2/3,1,2) |
| BS | (1/2,1,3/2) | (1,1,1)   |

Tablo C.15 ve Tablo C.16'dan hesaplanan ağırlık vektörleri sırasıyla,  $W_{C32}=(0.68, 0.32)^T$  and  $W_{C41}=(0.50, 0.50)^T$ .

Tablo C.17. Dağıtık system yapısına göre işletim sistemlerinin değerlendirilmesi

|    | AX          | BS        |
|----|-------------|-----------|
| AX | (1,1,1)     | (2/3,1,2) |
| BS | (1/2,1,3/2) | (1,1,1)   |

Tablo C.18. Dağıtık dosya sistemlerine göre işletim sistemlerinin değerlendirilmesi

|    | AX          | BS        |
|----|-------------|-----------|
| AX | (1,1,1)     | (2/3,1,2) |
| BS | (1/2,1,3/2) | (1,1,1)   |

Tablo C.17 ve Tablo C.18'den hesaplanan ağırlık vektörleri sırasıyla,  $=(0.50, 0.50)^T$  and  $W_{C43}=(0.50, 0.50)^T$ .

Tablo C.19. Dağıtık koordinasyona göre işletim sistemlerinin değerlendirilmesi

|    | AX          | BS        |
|----|-------------|-----------|
| AX | (1,1,1)     | (2/3,1,2) |
| BS | (1/2,1,3/2) | (1,1,1)   |

Tablo C.20. Uygulama ve araçlara göre işletim sistemlerinin değerlendirilmesi

|    | AX        | BS            |
|----|-----------|---------------|
| AX | (1,1,1)   | (1/3,2/5,1/2) |
| BS | (2,5/2,3) | (1,1,1)       |

Tablo C.19 ve Tablo C.20'den hesaplanan ağırlık vektörleri sırasıyla,  $W_{C44}=(0.50, 0.50)^T$  and  $W_{C51}=(1.00, 0.00)^T$ .

Tablo C.21. Hata ve kodlara göre işletim sistemlerinin değerlendirilmesi

|    | AX      | BS      |
|----|---------|---------|
| AX | (1,1,1) | (1,1,1) |
| BS | (1,1,1) | (1,1,1) |

Tablo C.22. Kullanıcı arayüzüne göre işletim sistemlerinin değerlendirilmesi

|    | AX        | BS          |
|----|-----------|-------------|
| AX | (1,1,1)   | (1/2,2/3,1) |
| BS | (1,3/2,2) | (1,1,1)     |

Tablo C.21 ve Tablo C.22’den hesaplanan ağırlık vektörleri sırasıyla,  $W_{C52}=(0.50, 0.50)^T$  and  $W_{C53}=(0.68, 0.32)^T$ .

Tablo C.23. Bulunabilirlik ve desteğe göre işletim sistemlerinin değerlendirilmesi

|    | AX          | BS            |
|----|-------------|---------------|
| AX | (1,1,1)     | (2/5,1/2,2/3) |
| BS | (3/2,2,5/2) | (1,1,1)       |

Tablo C.24. Yıllık düzgün eşdeğer maliyete göre işletim sistemlerinin değerlendirilmesi

|    | AX          | BS        |
|----|-------------|-----------|
| AX | (1,1,1)     | (2/3,1,2) |
| BS | (1/2,1,3/2) | (1,1,1)   |

Tablo C.23 ve Tablo C.24’den hesaplanan ağırlık vektörleri sırasıyla,  $W_{C54}=(1.00, 0.00)^T$  and  $W_{C61}=(0.50, 0.50)^T$ .

En iyi işletim sistemini seçmek üzere hesaplanması gereken öncelik ağırlıklarına ait değerler Tablo C.25’den Tablo C.29’a kadar verilmiştir.

Tablo C.25. Yedekleme yönetiminin alt özellikleri

|         | $C_{11}$ | $C_{12}$ | $C_{13}$ | $C_{14}$ | $C_{15}$<br>Alternatif Öncelik Vektörü |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------------------------------------|
| Ağırlık | 0.20     | 0.17     | 0.21     | 0.23     | 0.19                                   |
| AX      | 0.32     | 0.50     | 0.50     | 0.50     | 0.50                                   |
| BS      | 0.68     | 0.50     | 0.50     | 0.50     | 0.50                                   |

Tablo C.26. Süreç yönetiminin alt özellikleri

|         | $C_{21}$ | $C_{22}$ | $C_{23}$ | $C_{24}$ | Alternatif Öncelik Vektörü |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------------------------|
| Ağırlık | 0.59     | 0.33     | 0.00     | 0.08     |                            |
| AX      | 0.32     | 0.50     | 0.32     | 0.50     | 0.39                       |
| BS      | 0.68     | 0.50     | 0.68     | 0.50     | 0.61                       |

Tablo C.27. Koruma ve güvenliğin alt özellikleri

|         | $C_{31}$ | $C_{32}$ | Alternatif Öncelik Vektörü |
|---------|----------|----------|----------------------------|
| Ağırlık | 0.68     | 0.32     |                            |
| AX      | 0.68     | 0.68     | 0.68                       |
| BS      | 0.32     | 0.32     | 0.32                       |

Tablo C.28. Dağıtık yapının alt özellikleri

|         | $C_{41}$ | $C_{42}$ | $C_{43}$ | $C_{44}$ | Alternatif Öncelik Vektörü |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------------------------|
| Ağırlık | 0.25     | 0.25     | 0.25     | 0.25     |                            |
| AX      | 0.50     | 0.50     | 0.50     | 0.50     | 0.50                       |
| BS      | 0.50     | 0.50     | 0.50     | 0.50     | 0.50                       |

Tablo C.29. Yazılım özelliklerinin alt özellikleri

|         | $C_{51}$ | $C_{52}$ | $C_{53}$ | $C_{54}$ | Alternatif Öncelik Vektörü |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------------------------|
| Ağırlık | 0.32     | 0.32     | 0.25     | 0.11     |                            |
| AX      | 1.00     | 0.50     | 0.68     | 1.00     | 0.76                       |
| BS      | 0.00     | 0.50     | 0.32     | 0.00     | 0.24                       |

## ÖZGEÇMİŞ

Murat Levent Demircan, 1974 İstanbul doğumludur. Liseyi İstanbul Galatasaray Lisesi'nde tamamlamıştır (1993). Üniversite öğrenimini İstanbul Teknik Üniversitesi İşletme Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde tamamlamıştır (1997). Yüksek Lisans derecesini University of Pittsburgh Katz Graduate School of Business School'dan almıştır (1999). Doktora çalışmalarına İstanbul Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalında devam eden Murat Levent Demircan. 1999 yılından bu yana Galatasaray Üniversitesi Mühendislik ve Teknoloji Fakültesi'nde Araştırma Görevlisi olarak Mühendislik Ekonomisi konularında akademik çalışmalarını devam ettirmektedir. Fransızca ve İngilizce bilmektedir.

