

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ARAŞTIRMA GELİŞTİRME PROJELERİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİNE BULANIK
GERÇEK OPSİYON YAKLAŞIMI**

DOKTORA TEZİ

A. Çağrı TOLGA

Anabilim Dalı: Endüstri Mühendisliği

Programı: Endüstri Mühendisliği

ŞUBAT 2009

**ARAŞTIRMA GELİŞTİRME PROJELERİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİNE BULANIK GERÇEK
OPSİYON YAKLAŞIMI**

**DOKTORA TEZİ
Y. Müh. A. Çağrı TOLGA
(507042101)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 12 Kasım 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 4 Şubat 2009**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Cengiz KAHRAMAN (İ.T.Ü.)
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Ethem TOLGA (G.S.Ü.)
Doç.Dr. Tufan Vehbi KOÇ (İ.T.Ü.)
Doç.Dr. Oktay TAŞ (İ.T.Ü.)
Yrd.Doç.Dr. Nihan ÇETİN DEMİREL (Y.T.Ü.)**

ŞUBAT 2009

ÖNSÖZ

Gelişmekte olan ülkelerdeki kaynak kısıtı, ellerinde bulundurdıkları olanaklar dolayısıyla gelişmiş ülkelerdekilere göre çok daha zorlayıcı bir etken olmaktadır. İçerisinde bizim ülkemizin de bulunduğu bu sınıftaki ülkelerin makûs talihlerini tersine çevirmeleri ancak ileri teknolojiye yönelik Araştırma Geliştirme projelerinin doğru ve etkin seçimi sayesinde başarılabilir. Doğru seçilen her Ar-Ge projesi, içinde bulunulan amansız rekabet ortamında tartışmasız bir avantaj sağlayacak ve geliştirmekte olan ülkelerin sermaye birikimlerine katkısı önemli olacaktır. Gerçek opsiyon teorisi ve bunun bulanıklık altında incelenmesi işte bu doğru seçim sürecinde faydalanılması düşünülen bir konudur.

Bu çalışmamda katkılarını esirgemeyip, beni bir sonraki çalışmalara yönlendiren, bilimsel yazına nasıl katkıda bulunacağım konusunda sürekli bilgilendiren çok değerli danışmanım Prof. Dr. Cengiz Kahraman başta olmak üzere, tezimin çileli yazım sürecinde desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, en umutsuz anlarımda sürekli yanımda olan eşim Uğur Tolga'ya, çocukluğumdan beri zor konuları çözmem ve işin kolayına kaçmamam konusunda bana devamlı surette telkinde bulunan aileme teşekkürlerimi borç bilirim. İyi ki hayatımda varsınız.

Kasım 2008

A. Çağrı TOLGA

Y. Endüstri Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KISALTMALAR	viii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
ŞEKİL LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiv
SUMMARY	xviii
1. GİRİŞ	1
2. OPSİYON TEORİSİ VE GERÇEK OPSİYONLAR	5
2.1 Opsiyonların Ortaya Çıkışı	5
2.2 Finansal Opsiyonlar	7
2.2.1 Alım opsiyonları (<i>Call options</i>).....	8
2.2.2 Satım opsiyonları (<i>Put options</i>).....	9
2.3 Gerçek Opsiyonlar	11
2.3.1 Gerçek opsiyon kavramları.....	12
2.3.2 Finansal opsiyonlarla Gerçek opsiyonların karşılaştırılması.....	13
2.3.3 Gerçek opsiyonların sınıflandırılması.....	15
2.3.3.1 Erteleme opsiyonu	15
2.3.3.2 Vazgeçme opsiyonu	16
2.3.3.3 Ölçek değiştirme opsiyonu: Genişletme ya da Daraltma.....	16
2.3.3.4 Değiştirme opsiyonu	16
2.3.3.5 Büyüme opsiyonu	17
2.3.3.6 Sıralı evre opsiyonu	17
3. GERÇEK OPSİYON DEĞERLEME MODELLERİ	19
3.1 Black-Scholes Fiyatlama Modeli.....	20
3.1.1 Temettüsüz Black-Scholes fiyatlama modeli	20
3.1.2 Temettülü Black-Scholes fiyatlama modeli	21
3.1.3 Bileşik gerçek opsiyonların Black-Scholes fiyatlama modeli ile değerlendirilmesi.....	21
3.2 Kafes (Lattice) Fiyatlama Modelleri.....	23
3.2.1 Binomial kafes modeli.....	23
3.2.2 Trinomial kafes modeli.....	26
3.3 Benzetime Dayalı Fiyatlama Modeli.....	29
4. BULANIKLIK ALTINDA GERÇEK OPSİYON DEĞERLEME MODELLERİ	31
4.1 Bulanık Kümeler	31
4.2 Bulanık Sayılar	32
4.2.1 Sol-Sağ bulanık sayılar	33
4.2.2 Yamuk bulanık sayılar	34
4.2.3 Üçgen bulanık sayılar	35
4.3 Bulanık Sayılarla İşlemler	35
4.4 Bulanık Sayıların Kıyaslanması.....	36
4.4.1 Dubois ve Prade'nin PD yöntemi	40

4.4.2 Yager'in Ağırlıklı Ortalama yöntemi	40
4.4.3 Yager'in Alan Ölçüm yaklaşımı	41
4.4.4 Chen'in Bulanık Maksimum ve Minimum yöntemi.....	42
4.4.5 Baas ve Kwakernaak'ın Koşullu Bulanık Küme yaklaşımı.....	43
4.4.6 Lee ve Li'nin Bulanık Ortalama ve Sapma yöntemi	46
4.5 Bulanık Gerçek Opsiyon Değerleme Modeli: Black-Scholes Yöntemi.....	48
4.5.1 Temettüsüz Black-Scholes fiyatlama modeli	49
4.5.2 Temettülü Black-Scholes fiyatlama modeli.....	49
4.5.3 Black-Scholes fiyatlama modeli ile temettülü bulanık bileşik opsiyonların değerlendirilmesi	50
4.6 Bulanık Gerçek Opsiyon Değerleme Modelleri: Kafes Yöntemler.....	51
4.6.1 Bulanık gerçek opsiyon değerlendirme modeli: Binomial ağaç yöntemi	51
4.6.2 Bulanık gerçek opsiyon değerlendirme modeli: Trinomial ağaç yöntemi	54
5 AR-GE PROJELERİ VE DEĞERLENDİRMESİ.....	59
5.1 Ar-Ge nedir? Ar-Ge Projesi nedir?	59
5.1.1 Temel araştırma	61
5.1.2 Uygulamalı araştırma.....	62
5.1.3 Temel ve uygulamalı araştırma.....	62
5.2 Ar-Ge Projesi Aşamaları	62
5.2.1 Aşama sıfır: Ham fikirlerin bulunması ve elenmesi	64
5.2.2 Aşama bir: Kavramsal araştırma.....	64
5.2.3 Aşama iki: Yapılabilirlik (Feasibility).....	65
5.2.4 Aşama üç: Geliştirme.....	66
5.2.5 Aşama dört: Erken ticarileştirme	66
5.3 Ar-Ge Projesi Temel Değerleme Yöntemleri	67
5.3.1 Klasik yöntemler.....	67
5.3.2 Portföy yöntemleri	68
5.3.3 Örgütsel karar yöntemleri	68
5.3.3.1 Davranışsal karar yardımcıları (DKY).....	69
5.3.3.2 Dağıtılmış hiyerarşik modelleme (DHM)	69
5.3.4 Çok ölçütlü değerlendirme.....	71
5.3.4.1 AHP.....	72
5.3.4.2 ANP.....	74
5.3.4.3 TOPSIS	76
5.4 Değerlendirme Ölçütleri	77
6. AR-GE PROJELERİNİN SEÇİMİNDE BULANIK ÇOK ÖLÇÜTLÜ MODELLER.....	81
6.1 Bulanık AHP Modeli	82
6.1.1 Buckley'in bulanık AHP yöntemi.....	82
6.1.2 Xiaoqiong ve diğ.'nin bulanık AHP yöntemi	83
6.1.2.1 Bulanık karar matrisinin oluşturulması	83
6.1.2.2 Tutarlılık oranlarının ölçümü	84
6.1.2.3 Değerlendirme ölçütlerinin bulanık ağırlıklarının hesaplanması....	84
6.2 Bulanık Hiyerarşik TOPSIS Modeli.....	88
6.2.1 Bulanık TOPSIS algoritması	89
6.2.2 Bulanık hiyerarşik TOPSIS algoritması	92
7. GERÇEK OPSİYON BÜTÜNLEŞİK AR-GE PROJESİ SEÇİM MODELİ UYGULAMALARI	97
7.1 Bulanık AHP Yöntemi ile Bütünleştirilmiş Gerçek Opsiyon Değerleme Modeli	97

7.1.1 BAHP-BUGOD model adımları (Buckley yöntemi).....	98
7.1.2 BAHP-BUGOD modelin Ar-Ge projesi seçimine uygulaması (Buckley yöntemi)	98
7.1.3 BAHP-BUGOD model adımları (Xiaoqiong ve diğ. yöntemi [87]).....	102
7.1.4 BAHP-BUGOD modelin Ar-Ge projesi seçimine uygulaması (Xiaoqiong ve diğ. yöntemi [87])	103
7.2 Bulanık Hiyerarşik TOPSIS Yöntemi ile Bütünleştirilmiş Gerçek Opsiyon Değerleme Modeli	109
7.2.1 BUHTOPSIS-BUGOD model adımları.....	109
7.2.2 BUHTOPSIS-BUGOD modelinin Ar-Ge projesi seçimine uygulanması	110
8. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	115
KAYNAKLAR	119
EKLER.....	125
ÖZGEÇMİŞ.....	143

KISALTMALAR

Ar-Ge	: Araştırma Geliştirme
Maks.	: Maksimum
Min.	: Minimum
NşD	: Net şimdiki değer
VOB	: Vadeli işlemler ve opsiyon borsası
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
GM	: General Motors Company
CAPM	: Capital Asset Pricing Model
GOD	: Gerçek Opsiyon Değerleme
BUGOD	: Bulanık Gerçek Opsiyon Değerleme
Yüks.	: Yükseklik
NBS	: Normal Bulanık Sayı
BS	: Bulanık Sayı
KV	: Karar Verici
GSYİH	: Gayri Safı Yurt İçi Hâsıla
DKY	: Davranışsal Karar Yardımları
DHM	: Dağıtılmış Hiyerarşık Modelleme
AHP	: Analitik Hiyerarşı Prosesi
ANP	: Analitik Aę Prosesi
TOPSIS	: Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
TO	: Tutarlılık Oranı
TG	: Tutarlılık Göstergesi
RG	: Rastgelelik Göstergesi
BAHP	: Bulanık Analitik Hiyerarşı Prosesi
BUHTOPSIS	: Bulanık Hiyerarşık TOPSIS
şD	: şimdiki Değer

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Finansal Opsiyonlar ile Gerçek Opsiyonların benzerlikleri.....	14
Çizelge 2.2 : Temel gerçek opsiyonlar.....	15
Çizelge 4.1 : Sıralama yaklaşımlarının kullanım sıklıkları.....	38
Çizelge 4.2 : Bulanık sayı karşılaştırma ölçütleri (Lee ve Li Yöntemi).....	48
Çizelge 5.1 : Rastgelelik Göstergesi (RG).....	74
Çizelge 5.2 : Ar-Ge Projelerinin Değerleme Ölçütleri.....	79
Çizelge 6.1 : Karşılıklı kıyas ölçeği.....	84
Çizelge 7.1 : Ar-Ge projeleri.....	99
Çizelge 7.2 : Bulanık AHP ağırlıkları (Buckley yöntemi).....	100
Çizelge 7.3 : Seçeneklerin ekonomik ve zaman değerleri.....	100
Çizelge 7.4 : Gerçek opsiyon hesaplama sonucu.....	101
Çizelge 7.5 : Bulanık AHP'nin ağırlıkları (Xiaoqiong ve diğ. yöntemi).....	104
Çizelge 7.6 : Bulanık karar matrisi $\tilde{D}$	105
Çizelge 7.7 : Durulaştırılmış karar matrisi D	105
Çizelge 7.8 : $\chi_i, \varphi_i, \gamma_i, \xi_i$ değerleri ve toplamaları.....	106
Çizelge 7.9: $F(\omega_{ih}^k \geq \omega_{jh}^k)$ değerlerinin hesaplanması.....	107
Çizelge 7.10 : $E(BUGOD)$ değerleri ve ağırlıklar.....	108
Çizelge 7.11 : Önem dereceleri.....	111
Çizelge 7.12 : Değerleme birimleri.....	111
Çizelge 7.13 : $\tilde{I}_{MA}$ En iyi Ar-Ge proje hedefine göre ana ölçütlerin önem derecelerinin gösterimi.....	111
Çizelge 7.14 : $\tilde{I}_{SA}$ Ana ölçütlere göre alt ölçütlerin önem dereceleri.....	112
Çizelge 7.15 : $\tilde{I}_A$ seçeneklerin, ana ve alt ölçütlere göre olan değerlendirme sonuçları.....	113
Çizelge 7.16 : İdeal çözümden mesafeler.....	113
Çizelge B.1 : Buckley AHP yöntemi ile hesaplanan $\tilde{r}_{ij}$ değerleri.....	133
Çizelge D.1 : Bulanık hiyerarşik TOPSIS için $\tilde{r}_{ij}$ değerleri.....	137
Çizelge D.2 : Bulanık hiyerarşik TOPSIS için $\tilde{v}_{ij}$ değerleri.....	138
Çizelge D.3 : Bulanık hiyerarşik TOPSIS için $M(\tilde{v}_{ij})$ değerleri.....	139
Çizelge D.4 : Bulanık hiyerarşik TOPSIS için D_{ij}^* değerleri.....	140
Çizelge D.5 : Bulanık hiyerarşik TOPSIS için D_{ij}^- değerleri.....	141

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Garanti Bankasına yazılmış Avrupa tipi alım opsiyonu kazancı. Opsiyon fiyatı = 0,35 YTL; akit fiyatı = 3,5 YTL.....	9
Şekil 2.2 : İş Bankası C'ye yazılmış Avrupa tipi satım opsiyonu kazancı. Opsiyon fiyatı = 0,50 YTL; akit fiyatı = 5,0 YTL.....	10
Şekil 3.1 : Ar-Ge Projeleri için bileşke opsiyon yaklaşımı.	22
Şekil 3.2 : S_0 için oluşturulan binomial ağaç diyagramı.	24
Şekil 3.3 : Gerçek opsiyon binomial ağaç diyagramı.	26
Şekil 3.4 : S_0 için oluşturulan trinomial ağaç diyagramı.	27
Şekil 4.1 : L-R türü bulanık sayılara iki farklı örnek.....	34
Şekil 4.2 : Yamuk bulanık sayı.....	34
Şekil 4.3 : Üçgen bulanık sayı.	35
Şekil 4.4 : Bulanık sayıların Dubois ve Prade yöntemiyle kıyaslanması.	40
Şekil 4.5 : Yager'in sıralama indeks yöntemi [53].	41
Şekil 4.6 : Yager'in F indeks gösterimi.	42
Şekil 4.7 : Chen tarafından önerilen sol ve sağ puan yöntemi.....	43
Şekil 4.8 : $\mu_O(i), i = 1, 2.$ 'ın bir örneği.	45
Şekil 4.9 : α_O için $\hat{x}_1, \hat{x}_2$ değerleri.....	46
Şekil 4.10 : $\int_{S(\tilde{A})} \mu_{\tilde{A}}(x)dx$ ifadesinin çıkarılması.	47
Şekil 4.11 : $\tilde{S}_0$ için oluşturulan binomial ağaç diyagramı.	52
Şekil 4.12 : Bulanık gerçek opsiyon binomial ağaç diyagramı.	54
Şekil 4.13 : $\tilde{S}_0$ için oluşturulan trinomial ağaç diyagramı.	56
Şekil 5.1 : Ülkelerin Ar-Ge harcamalarının GSYİH içindeki payı (Kaynak: DİE-TÜİK).	60
Şekil 5.2 : Türkiye'de Ar-Ge'ye yapılan harcamaların GSYİH' YA oranı (Kaynak: DİE-TÜİK).	61
Şekil 5.3 : Ar-Ge projesi Aşamaları [62].	63
Şekil 5.4 : Standart AHP için örnek hiyerarşi.....	72
Şekil 5.5 : Hiyerarşik Yapı ile Şebeke arasındaki fark.	75
Şekil 5.6: Seçeneklerin ve Ölçütlerin Hiyerarşisi.....	80
Şekil 6.1 : Yamuk bulanık sayıların kıyaslanması: Vaka 1.	86
Şekil 6.2 : Yamuk bulanık sayıların kıyaslanması: Vaka 2.	86
Şekil 6.3 : Yamuk bulanık sayıların kıyaslanması: Vaka 3.	86
Şekil 6.4 : Yamuk bulanık sayıların kıyaslanması: Vaka 4.	87
Şekil 6.5 : Yamuk bulanık sayıların kıyaslanması: Vaka 5.	87
Şekil 6.6 : Yamuk bulanık sayılar [89].	88
Şekil A.1 : Ana ve alt ölçütleri kıyaslamak için kullanılan anket formu.....	126
Şekil A.2 : Üretimin alt ölçütlerini kıyaslamak için kullanılan anket formu.....	127
Şekil A.3 : Teknik ana ölçütünün alt ölçütlerini kıyaslamak için kullanılan anket formu.	128

Şekil A.4 : Pazarlama / dağıtım ölçütünün alt ölçütlerini kıyaslamak için kullanılan anket formu.	129
Şekil A.5 : Üretim kapasitesi ölçütüne göre seçeneklerin kıyaslanması.	130
Şekil A.6 : Pazarlama eğilimleri ölçütüne göre seçeneklerin kıyaslanması.	132
Şekil C.1 : Ana ölçütlerin hedefe göre önem derecelerini gösteren anket formu....	134
Şekil C.2 : Alt ölçütlerin ana ölçütlere göre önem derecelerini gösteren anket formu (Üretim örneği).....	135
Şekil C.3 : Seçeneklerin alt ölçütlere göre önem derecelerini gösteren anket formu (Pazarlama örneği).	136

ARAŞTIRMA GELİŞTİRME PROJELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNE BULANIK GERÇEK OPSİYON YAKLAŞIMI

ÖZET

Araştırma ve geliştirme; bir kuruluşun bilim insanları ve mühendisler istihdam etmek yoluyla, kuruluşun çalışma alanı doğrultusunda bilim ve teknolojiyi yeni ürünler, süreçler ya da hizmetler geliştirmede kullanmak üzere yaptığı faaliyet ve çalışmaları tanımlayan terimdir. Diğer bir tanımla, Ar-Ge; yeni bilgiler elde etmek ya da mevcut bilgileri ortaya çıkarmak amacıyla yapılan ve bilginin sistematik olarak toplanmasını, analizini ve yorumunu gerektiren bir çalışmadır. Ar-Ge'nin başlıca görevi teknolojik gelişmeleri kullanarak kurumun kâr edebilirliğini devamlı şekilde yenilemek ve artırmaktır. Yenilikçi fikir, değişim ve gelişim, yepyeni teknolojiye sahip olmak; rekabette üretim verimi, fiyat, reklam ve pazarlama kadar önemlidir.

Ar-Ge projeleri nitelik ve kapsam bakımından üçe ayrılmaktadır: 1. *Temel araştırma*: Teorik yeni bilgi ve anlayışın elde edilmesi amacıyla yürütülen Ar-Ge çalışmalarıdır. Sanayinin gelecekteki faaliyet alanları için yararlı bilgiler ortaya çıkarabilme olasılıkları olmasına rağmen belirli bir ticari amaç gütmeyiz. Temel araştırmada incelenen konunun anlaşılması ve tam bilginin elde edilmesine çalışılır. Bilginin uygulanabilirliği veya uygulamadaki değeri araştırmacıyı ilgilendirmez. 2. *Uygulamalı araştırma*: Özellikle belirli uygulamalara ve ticari amaçlara yönelik olarak mamuller ve üretim süreçleri üzerinde yapılan ve yeni bilgilerin elde edilmesine yol açan çalışmalardır. 3. *Temel ve uygulamalı araştırma*: Geliştirme, yeni iyileştirilmiş malzeme, araç, ürün, üretim süreçleri, sistemler veya hizmetler ortaya koyabilmek amacıyla bilimsel bilginin kullanımınıdır.

Ar-Ge projelerinin aşamaları ise şu şekilde olmaktadır: *Aşama Sıfır: Ham Fikirlerin Bulunması ve Elenmesi*, bu başlangıç aşamasında ticari olarak ümit vaat eden fikirler üretilir. Bu fikirler ayıklanır ve uygun, tutarlı bir geliştirme projesine dönüştürülür. *Aşama Bir: Kavramsal Araştırma*, üretilen ve seçilen ham fikrin sınırlamalarını ve tam kapsamını anlama aşamasıdır. Laboratuvar koşullarından elde edilen fikirlerin nasıl üretileceği, neler ortaya koyacağı bu aşamada yapılır. *Aşama İki: Yapılabilirlik*, bu aşamanın ana konusu bilinen sorunları çözmek, mühendis ve pazarlamacıların gelişmeyi üstlenebilmeleri için maliyet ve performans verilerini üretmektir. *Aşama Üç: Geliştirme*, geliştirme aşamasında ise ürünü üretebilmek için gerekli teknik özellikler, şartnameler ve üretim süreçleri belirlenir. *Aşama Dört: Erken Ticarileştirme*, erken ticarileştirme genelde finansal destekçiler için projede çok tehlikeli ve riskli bir geçiş aşamasıdır. Bu aşama ile ilgili hoşnutsuzluk belirleyici ve yüksek derecede öngörülebilirdir. Sıkıntılar ve sorunlar tam anlamıyla tanımlanamıyorsa, piyasa aksini söylese bile tanıtım bir süre ertelenmelidir.

Ar-Ge projelerinin değerlendirme yöntemleri basitten zora doğru evrilirken uzun bir süreç geçirmiştir. Gerekli olan bu süreçteki değerlendirme yöntemleri: *Klasik yöntemler*, profil, puanaj, kontrol listeleri ve ekonomik göstergeleri (fayda maliyet analizi ve indirgenmiş nakit akışı) kapsar. Ar-Ge projelerinin seçimi ve değerlemesi sürecinde en eski fakat hayretle hala en çok kullanılan yöntem klasik yöntemlerdir. *Portföy*

yöntemleri, gerçek hayattaki proje seçim sürecinin dinamik süreciyle başa çıkabilen en iyi yöntem olabilir. Portföy modellerinin çözmesi beklenen bazı karar mekanizmalar şu şekildedir: projenin farklı seviyelerinde mali destek, farklı çalışan gücü ve donanım kısıtları, süren ve yeni projeler arasında denge kurmak, mali destek seviyesinde projede ortaya çıkan değişikliklerin muhasebeleşmesi. Bu karmaşıklıktan ötürü portföy yöntemlerinde matematiksel programlama kullanılır. *Örgütsel karar verme yöntemleri*, Tümlşik modeller de olarak adlandırılan bu yöntemler Ar-Ge seçim ve değerlendirme yöntemleri arasında geniş yer kaplar. Seçim sürecinde karşılaşılan analitik, bilgisayar ve davranışsal sorunlara çözüm konusunda etkilidirler. Dolayısıyla bu tür yöntemler klasik ve portföy yöntemlerinin eksikliklerini gidermek konusunda ilerlemişlerdir. *Çok ölçütlü değerlendirme yöntemleri*, Ar-Ge doğası kimsenin bilmediğini yapmayı amaçlamasıdır. Bu yüzden risklidir ve ihtimaller üzerine yürütülür. Ar-Ge yöneticileri hatırı sayılır oranda başarısız sonuca hazırlıklı olmalıdırlar. Günümüzde yeni teknoloji geliştirmek, yani zihinsel sermaye yaratmak parasal sermaye yaratmaktan daha fazla ciddi ve zordur. Bu kadar ciddi ve zor durumda da çok ölçütlü değerlendirmeye ihtiyaç duyulmaktadır. Karar vericilerin seçenekler ve ölçütler arasındaki tercihleri ortaya konmalıdır. Bunlar üzerinden sonuca giden modellerle seçim sürecine gidilmesi doğru sonuçlar verecektir.

Ar-Ge projelerinin değerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler net şimdiki akış değer yöntemleri olmuştur. Fakat bu yatırımların riskli tarafları bu yöntemlerde düşünülmemiştir. Karar ağacı yöntemleri değerlendirme için kullanılabilir olsa bile riske karşı etkin finansal sonuç elde etmek zordur. Karar vericiye esnek seçim hakları sunan gerçek opsiyonlar, tüm bu yöntemlerin açıklarını gideren bir değerlendirme yöntemidir. Gerçek opsiyonlar aslında günlük hayatta aldığımız tüm kararlarda yabancı olmamız bir konudur. Örneğin bir dizüstü bilgisayar satın almak istediğimiz kişisel yatırım olarak görülebilir. Bu takdirde döviz kurlarına bağlı olan bu alım işlemi sırasında örneğin döviz kurları bir anda sıçrama yapabilir. İlerde de değineceğimiz gibi erteleme opsiyonu bu noktada kullanılabilir. Yatırım, fiyatların daha az oynak hale geldiği zamana ertelenebilir. Gerçek opsiyonlar finansal opsiyonlar temeline oturmaktadır.

Finansal opsiyonlar hem tezgâh üstü piyasada hem de organize borsalarda işlem görürler. Opsiyon bir haktır, zorunluluk içermez. İki çeşit temel opsiyon vardır. Alım opsiyonu, elinde bulundurana üzeri yazılı olan varlığı belirli bir tarihte belirli bir fiyattan satın alma hakkı verir. Satım opsiyonu, elinde bulundurana üzeri yazılı olan varlığı belirli bir tarihte belirli bir fiyattan satma hakkı verir. Sözleşme üzerinde yazan fiyat, opsiyon kullanma fiyatı ya da akit fiyatı (*exercise price, strike price*); yine sözleşmede yazan tarih, son kullanma tarihi ya da vade bitim tarihi olarak adlandırılır. Opsiyonlar, vade bitim tarihinden önce bozdurulup bozdurulmamasına göre de ikiye ayrılır. Vade bitiminden önce bozdurulamayan türündeki opsiyonlar Avrupa tipi olarak adlandırılır fakat bu türler sadece Avrupa’da alınıp satılır diye bir kural yoktur, coğrafi konumdan bağımsızdır. Vade bitiminden önce kullanılabilen opsiyonlar ise Amerikan opsiyon tipi olarak adlandırılır. Döviz opsiyonlarının büyük çoğunluğu Amerikan tipindedir. Avrupa tipi opsiyonların çözümlemesi diğerine göre daha basittir. Amerikan tipi opsiyonların birçok özelliğinin çıkarsaması Avrupa tipi opsiyonlar sayesinde yapılır. Bir gerçek opsiyon, akit fiyatı olarak adlandırılan önceden belirlenmiş maliyette, opsiyonun süresi olarak adlandırılan önceden belirlenmiş bir zaman diliminde, bir eylem (erteleme, genişletme, küçültme ya da bırakma) için harekete geçme hakkıdır, zorunluluk içermez. Gerçek opsiyonları değerlendirme yöntemleri üç çeşittir: *Black-Scholes fiyatlama modeli*, *Kafes fiyatlama*

modelleri, Benzetime dayalı fiyatlama modelleri. Bu çalışmada kullanılacak olan Black-Scholes fiyatlama modelinin bulanıklık altında incelenmiş modelidir.

Literatürde, yeterli bilginin olmadığı durumlara yönelik bulanık gerçek opsiyon değerlendirme modelleri geliştirilmiştir. İlk olarak bulanık durumda sezgisel gerçek opsiyon değerlemesi süreci geliştirilmiştir. Bu süreçte beklenen maliyetlerin ve beklenen nakit akışlarının şimdiki değerleri yamuk bulanık sayılarla ifade edilmiştir. Opsiyonun en uygun gerçekleştirme zamanı, olası ortalama değeri ve varyans yardımı ile belirlenmiştir. Bir başka çalışmada ise bulanık sıfır-bir tamsayı programlama ve bulanık gerçek opsiyon değerlendirme en uygun Ar-Ge portföy seçiminde kullanılmıştır. Ar-Ge proje seçimi probleminde bulanık gerçek opsiyon değerlendirme ile bulanık karışık tamsayı programlama modeli kullanımı hemen arkasından geliştirilmiştir. Bir şirkette en uygun Ar-Ge projesi seçimi için karar destek niteliğinde olabilecek yönergeler bu çalışmalarda dikkate alınmıştır.

Bu çalışmada Ar-Ge projelerinin çok ölçütlü değerlendirilmesi ele alınan konulardan bir diğeridir. Bu yöntemler çok çeşitli olmasıyla birlikte çalışmada, bilinirliği ve kullanılabilirliği açısından uygulamada AHP ve TOPSIS yöntemleri tercih edilmiştir. AHP yöntemi niteliksel ve niceliksel verileri aynı anda değerlendirilebilmesi ve karşılaştırabilmesi dolayısıyla çok kullanılan bir yöntemdir. Veri ihtiyacı çok az düzeydedir. Ar-Ge projeleri için çoklu amaçların üstesinden gelir ve problemi çoklu seviye yapısına ya da hiyerarşik yapıya kavuşturur ve ayrıştırarak çözer. TOPSIS yönteminde benzerlik olarak adlandırılan, pozitif ideal çözüme yakınlıkla negatif idealde uzaklığı birleştiren bir gösterge tanımlar. Daha sonra yöntem, pozitif ideal noktaya en benzer çözümü seçer. TOPSIS yöntemi her bir özneliliğin ya monoton artan ya da monoton azalan olduğunu kabul eder. Bu şunu ifade eder: çıktıda en yüksek değer, eğer fayda ise en iyi tercih, eğer maliyetse en az maliyet olarak kabul görür. Kesin yöntemleri de incelenmesine rağmen yeterli veri olmadığı durumlarda kullanılan bulanıklık altındaki çok ölçütlü değerlendirme yöntemleri uygulamalarda tercih edilmiştir.

Bu doktora çalışmasında çok ölçütlü değerlendirme yöntemlerinin sağladığı; hem niteliksel hem de niteliksel verileri bir arada kullanabilme üstünlüğünden faydalanılmıştır. Niceliksel kısımda bulanık gerçek opsiyon değerlendirme, niteliksel kısımda ise belirlenen ölçütler için uzmanlara danışarak çok ölçütlü değerlendirme kullanılmıştır. Öncelikle bulanık AHP yöntemiyle bulanık gerçek opsiyon değerlendirme modeli bütünleştirilmiştir. Bunun için de iki farklı AHP çözüm modeli kullanılmıştır. İlk kullanılan en çok bilinen yöntem olmakla birlikte ikinci kullanılan yöntem geliştirilmeye açık olduğundan belirli iyileştirmeler yapılmıştır. Birinci adımda tutarlılık testi yaparken kullanılan formül değiştirilmiştir. Daha sonra ise yamuk bulanık sayıların kıyaslanmasında yeni bir yaklaşım ortaya koyularak model daha iyi hale getirilmiştir. Kesin AHP'ye daha yakın bir hale gelmiştir.

Çok ölçütlü model olarak kullanılan bir diğer yöntem ise bulanık hiyerarşi TOPSIS yöntemidir. Bu yöntemin başlangıç aşaması AHP yöntemine benzetmekle birlikte buradan elde edilen sonuçlar TOPSIS yöntemine bir girdi teşkil etmektedir. Son olarak niceliksel bölümde aynı bir önceki bütünleşik modelde olduğu gibi bulanık gerçek opsiyon değerlendirme yapılmıştır. Bu iki yöntem bütünleştirilmiştir.

Yukarıda bahsedilen bütünleşik modeller elektronik sektöründe hatırı sayılır yeri olan bir kuruluştaki uygulanmıştır. Bu kuruluşun altı adet Ar-Ge projesi ilgili modeller kullanılarak değerlendirilmiştir ve sıralamaya göre birinci gelen seçilmiştir. Kullanılan hiyerarşideki ana ölçütler: üretim, teknik, pazarlama/dağıtım ve BUGOD olarak

belirlenmiştir. Alt ölçütler ise üretim ana ölçütü altında; üretim kapasitesi, üretim olanaklar ve gereçleri, üretim sırasında işyeri güvenliği, üretimin çevreye duyarlılığı olarak belirlenmiştir. Buradaki üretimden kasıt Ar-Ge projesinin üretilmesidir. Teknik ana ölçütü için olan alt ölçütler ise teknik başarı olasılığı, teknik katkı, teknik zaman, teknik kaynaklardır. Pazarlama/dağıtım ana ölçütünün alt ölçütleri: pazarlama iç dinamiği, pazarlama kapasitesi ve pazarlama eğilimleridir. BUGOD adından da anlaşılacağı üzere Ar-Ge projelerin bölüm dördte gösterilen bulanık gerçek opsiyon değeridir.

FUZZY REAL OPTION APPROACH TO THE EVALUATION OF RESEARCH AND DEVELOPMENT PROJECTS SUMMARY

SUMMARY

Research and development; is a term of activity that a foundation develops new products, processes or services by the way of employing scientists and engineers in accordance with the foundation's workplace. In other words, R&D is a work that is made to reach new information or discover the existing know-how by gathering the data systematically, analyze and make comment on these data. The essential duty of R&D is to use the technological developing for carrying on and if possible augmenting the ability of the company's profitability. In the competition process, innovation, evolution, development, and having brand new technology are as important as production efficiency, price, and advertisement and marketing.

R&D projects are divided into three classes in terms of comprehension and qualification; 1. *Theoretical application*: Researches made for getting theoretical new information and perception. Though these studies may produce beneficial information for future activity areas of industry, they do not cherish a defined commercial purpose. In essential research, the subject has to be understood and complete information has to be reached. Applicability of information or value in practice is not the business of the researcher. 2. *Applied research*: Researches made for getting new commercial purposed products or production processes with especially definite applications and new information. 3. *Theoretical and applied research*: Use of scientific information for developing new improved material, equipment, product, production processes, systems or services.

Phases of R&D projects could be defined: *Phase Zero: Finding and eliminating raw ideas*, at this beginning phase new commercially hopeful ideas are produced. These ideas are selected and transformed to suitable, consistent development projects. *Phase One: Conceptual Research*, in that phase, constraints and contents of raw ideas are understood. How to produce the ideas in hand from laboratory conditions to practice are made in that phase. *Phase Two: Feasibility*, the subject of this phase is to solve known problems and produce the cost and performance data for engineers and salesperson to undertake the research. *Phase Three: Development*, at the development phase, required technical properties, specifications, and production processes are determined to be able to produce the product. *Phase Four: Early Commercialize*, in general early commercialize is very dangerous and risky transition phase for financial supporters. The dissatisfaction related with this phase is determinant and highly anticipated. If the problems and troubles could not be defined well, though the market says contrary, presentation of the product should be postponed.

While the valuation methods of R&D projects are evolved from basic to hard, they conducted a long process. At that required process the valuation methods are: *Classical Methods*, they contain profile, tally sheet, control list, and economical indicators (cost benefit analysis and reduced cash flow). In the selection and

evaluation process of R&D projects, the classical methods are mostly used though they are very old methods. *Portfolio methods*, it might be the one of the best methods that can handle the dynamic process of the project selection process in real life. Some decision mechanisms of portfolio methods to overcome are as follows: financial support at the different levels of the project, several employment power and hardware constraints, balancing between ongoing and new projects, accounting the modifications in financial support levels. Because of this complicity mathematical programming is used in portfolio methods. *Organizational decision making methods*, also called integrated methods, they cover wide area in R&D selection and evaluation methods. They are efficient in solution to analytical, intelligence and behavioral problems in the selection process. Consequently, these methods are good at eliminating deficiency of the classical and portfolio methods. *Multi-criteria evaluation methods*, the nature of R&D is aiming to make that nobody knows. Because of this it is risky and it is executed upon probabilities. R&D managers have to be ready weighty unsuccessful results. At the present day, developing new technology, means creating intellectual capital, is harder and more serious than creating monetary capital. Multi-criteria evaluation is stand in these harder and more serious situations. Preferences of decision makers between alternatives and criteria have to set forth. Models coming through upon these preferences would produce right results.

Net present cash flow techniques are the methods up to now in determining the valuation of R&D projects. However the risky sides of these investments are not considered. Though the decision tree methods could be used in valuation, it is hard to produce financial result against risk. Because the real options are presenting flexible selection rights to the decision maker, they are the valuation methods that can handle shortage of these methods mentioned above. Actually, real options are subjects that we are not stranger from real life. For example request of buying a laptop could be seen as personal investment. In this related with currency buying operation, for instance there may be jump in exchange rates. Option to delay can be used in this point as we will mention later on. Investment can be delayed to a time that the prices are less volatile. Real options are based on financial options.

Financial options are traded both in the over-the-counter and on exchange markets. Option is a right, does not contain obligation. There are two basic types of options. A call option gives the holder the right to buy the underlying asset by a certain date for a certain price. A put option gives the holder the right to sell the underlying asset by a certain date for a certain price. The price written on the contract is known *exercise price* or *strike price*; and also the date written on the contract is known as *expiration date* or *maturity*. Options can be divided into two groups according to early exercise or not. *European options* can be exercised only on the expiration date itself; however the term European does not refer to the location of the option; it is independent from geographical location. Options those could be exercised at any time up to expiration date are called *American options*. Most of the exchange options are American types. Analyzing the European types of options is easier than the American ones. Some of the properties of an American option are frequently deduced from those of its European counterparts. A real option is a right to act an action (defer, expand, contract or abandon) in the predetermined cost called strike price and in the predetermined period called expiration time, beside does not contain an obligation. There are three classes on the methods of valuation of real options: *Black-Scholes pricing model*, *Lattice pricing models*, and *Simulation based pricing models*. In this

dissertation, Black-Scholes pricing method investigated under fuzziness will be utilized.

In literature, fuzzy real option valuation models are developed to the lack of exact data situations. At first, a heuristic real option valuation process is developed for fuzzy state. At that process, present values of expected costs and expected cash flows are denoted with trapezoidal fuzzy numbers. The most suitable time for the exercise date of the option is determined by the help of possibilistic mean value and variance. In another study, fuzzy zero-one integer programming and fuzzy real option valuation are used in the selection of R&D portfolio. And after that work, in the R&D project selection problem, fuzzy real option valuation and fuzzy mixed integer programming models are improved in any other work. In these studies, policies that can be support for decision are considered in the selection of best R&D project process in a corporate.

Multi-criteria evaluation of R&D projects is the other subject of this dissertation. Although there are many methods in this type of evaluation, the well-known and effective methods, AHP and TOPSIS, are selected. The mostly used AHP method is capable of handling multiple objectives for R&D projects and decomposing the problem into multilevel structure or hierarchy. Its data requirement is minimal and both qualitative and quantitative data can be considered and compared simultaneously in the model. In TOPSIS method, an index -called similarity- joining the closeness to positive ideal solution and displacement to negative ideal solution is characterized. Then, the method chooses the most similar solution to the positive ideal point. TOPSIS method accepts every attribute is monotone ascending or monotone digressive. This means: if the output is benefit, the better preference, but if it is cost, the less cost is accepted. In this work's applications the multi-criteria evaluation methods under fuzziness is preferred though there are many investigation on crisp solution techniques.

In this dissertation it is derived benefit from excellence of using the qualitative and quantitative data together in multi-criteria valuation methods. At the qualitative part, fuzzy real option valuation, and at the quantitative part, multi-criteria valuation methods for the specified criteria -consulted with the experts- are used. At first, fuzzy real option valuation model and fuzzy AHP methods are integrated. Two different AHP solution methods are employed for this integration. The first solution method is well-known one; however the second used one is open for improvement. Some ameliorations are made on that solution method. At the first step, while applying the consistency test, the formula is changed. Next, the model is improved by introducing new approach to order the trapezoidal fuzzy numbers. It is approximated to crisp AHP by these improvements.

Another multi-criteria model used in the dissertation is fuzzy hierarchical TOPSIS method. Beside the initial phase of this method resembles to AHP method, the output obtained from this method is an input to fuzzy TOPSIS method. At the last, at the qualitative part, just like in the previous integrated method, fuzzy real option valuation is utilized.

The integrated methods mentioned above are applied in a corporation owning respectable place in electronic industry. Six R&D projects of this company are evaluated by using the concerned methods and the first one in the order is selected. In the employed hierarchy the main criteria are determined as: manufacturing, technical, marketing/distribution and fuzzy real option valuation. Sub criteria under

manufacturing main criteria are determined as: manufacturing capability, manufacturing facilities/equipment, manufacturing workplace safety, and manufacturing environmental considerations. Here, manufacturing means establishing the R&D Project. Sub criteria under technical main criteria are determined as: technical success probability, technical contribution, technical time, and technical resources. And at the last, sub criteria under marketing/distribution main criteria are determined as: marketing/distribution potential, marketing/distribution capability, and marketing/distribution trends. FROV as can be understood from its name is the fuzzy real option values of the R&D projects shown in section four.

1. GİRİŞ

İçinde bulunduğumuz yirmibirinci yüzyılda ve bir önceki yüzyılda, hatta ondokuzuncu yüzyılda bile sıklıkla kullanılan terimler; gelişmiş ülkeler, gelişmekte olan ülkeler ve üçüncü dünya ülkeleri terimleridir. Medeniyetler doğar, gelişir, büyür ve ölür, aynı insanlar gibi... Dolayısıyla yaşadığımız toplum onbeşinci yüzyılda bulunduğu çok gelişmiş ülke statüsünü, zamanla kaybederek yirminci yüzyıl başlarına geldiğinde neredeyse üçüncü dünya devleti statüsüne düşmek üzereydi. Churchill'e dayandırılan sözde denildiği gibi dünyaya her yüzyılda bir gelen dahi, ulu önder, gazi Mustafa Kemal Atatürk, içinde yaşadığımız toplumu üçüncü dünya seviyesine düşmekten kurtarmış ve tekrar gelişmekte olan ülkeler statüsüne yerleştirmiştir. Tabi ki bununla da kalmamış, hedef olarak gelişmiş ülkelerin de üstündeki seviyeyi belirlemiştir. Bu hedefe ulaşmanın tek bir kuşakla olamayacağı diğer ülkelerin de deneyimleriyle ortaya çıkmıştır (Japonya, G. Kore vb.). Önde başladığımız uygarlık yarışında adı geçen ülkelere geri kalmamızın sebepleri üniversitelerin sosyal bölümlerinde tez konusu olarak sanıyorum ki incelenmiştir. Bu tezde tartışılacak olan konu ise bahsedilen seviyeye erişmek için yapılması gereken önemli hamlelerden birisi, hatta belki de en önemlisi olan, yüksek teknolojiye yönelik, katma değeri yüksek araştırma geliştirme (Ar-Ge) projelerini hayata geçirmektir. Sağlanacak fazla katma değer, gelişmiş ülke seviyesi üzerine çıkma hedefinde önemli bir dayanak olacak ve bu sayede rakiplere oranla sermaye birikimini daha fazla artırmış olacaktır. Fakat rakiplerin elindeki kaynak gelişmekte olan ülkelere olmadığından, adı geçen yüksek teknoloji ürünlerini fazla sayıda ortaya çıkarmak hiç kolay değildir. Bu yüzden Ar-Ge projeleri arasından; ülkenin, şirketin ve toplumun stratejik hedefleriyle ve kâr beklentileriyle fazlasıyla örtüşecek projeyi seçmek hayati önem arz etmektedir. Ayrıca içinde yaşadığımız yüzyılda kâr etmek üzere kurulmuş olan şirketler ayakta kalmak istiyorlarsa, doğru ve kendi stratejileri açısından en uygun Ar-Ge projesine/projelerine rakiplerinden daha fazla yatırım yapmalıdırlar. İşte bu tez, seçim sürecine yardımcı olacak yöntemleri ortaya koymak için yazılmış olmakla birlikte, Türk bilimine küçük de olsa bir katkıda bulunabilme amacını da taşımaktadır.

Temel olarak, bilim ya da teknoloji alanında toplam bilgi birikimini ya da kapasitesini artırmaya, geliştirmeye yönelik projeler, Ar-Ge projesi olarak adlandırılır. Aynı zamanda, var olan herhangi bir süreci, maddeyi, aygıtı, ürünü ya da hizmeti meydana getirmek ya da iyileştirmek de Ar-Ge projesi kapsamında değerlendirilir. Fakat bilimsel ya da teknolojik alanda yeni bir şeyler mutlaka meydana getirilmelidir ya da hatırı sayılır iyileştirmeler yapılmalıdır.

Bu tezin konusu olan gerçek opsiyonlar, finansal opsiyonlardan hareketle geliştirilmiş bir değerlendirme yöntemidir. Opsiyon sözcük anlamı itibariyle bir şeyi seçim hakkı olarak tanımlanabilir. Dolayısıyla opsiyon sözcüğü için önerilen Türkçe karşılık seçimbakkı olmakla birlikte, yazında karışıklık ortaya çıkarmamak için opsiyon sözcüğü kullanılacaktır. Finansal opsiyon denince ise, akla, ilk olarak iki tip opsiyon gelir: alım opsiyonu; üzerine yazıldığı varlığı, belirli bir tarihte, bu opsiyonu elinde bulunduran kişiye, belirli bir fiyattan adı geçen varlığı satın alım hakkını verir, satım opsiyonu ise; üzerine yazıldığı varlığı, belirli bir tarihte, bu opsiyonu elinde bulunduran kişiye, belirli bir fiyattan adı geçen varlığı satım hakkını verir. Burada bunun bir hak olduğunu, zorunluluk olmadığını vurgulamak gerekir. Benzer finansal araçlar olan vadeli sözleşmeler ile opsiyonların farkı; vadeli işlemlerde sözleşme satın alırken herhangi bir maliyet söz konusu olmaması, buna karşılık opsiyonlarda ödenmesi gereken bir primin varlığı söz konusudur.

Finansal opsiyonlardan geliştirilen gerçek opsiyonlarda, üzerine yazıldığı bahsedilen varlık gerçek varlıktır, yani arsa, bina, fabrika, Ar-Ge bölümü gibi gerçek yatırım varlıkları söz konusudur. Gerçek varlıkla ilgili geçmiş veriler elde bulunamadığından gerçek opsiyonları değerlendirme zordur. Gerçek opsiyon teorisi yatırımların değerlendirme süreçlerine girmeden önce geleneksel yaklaşım olan “net şimdiki değer (NŞD)” yaklaşımı kullanılmakta idi. Şimdiki değeri hesaplamak için kullanılan iskonto oranı ise yatırımın riskini yansıtabilmek için riske ayarlı iskonto oranıdır. Bu değerlendirme yaklaşımında, uygun riske ayarlı iskonto oranını tahmin edebilmek sorunlardan birisidir. Bir diğeri ise birçok yatırımın aslında içerisinde sürekli bir opsiyon barındırmasıdır. Örneğin yeni bir ürün üretmek için bir fabrika açmayı düşünen bir şirket ele alırsak: eğer satışlar iyi gitmezse şirketin elinde fabrikayı kapatma opsiyonu söz konusu iken, diğeri yandan beklentilerin de üstünde gelen satışlarla fabrikaya eklemeler yapılması opsiyonu da her zaman söz konusu olabilir.

Riskin bulunduğu ve geçmiş verilere ulaşılamadığı ortamlarda değerleme süreci olumsuz etkilenmektedir. Bu sakıncaların üstesinden gelmek amacıyla bulanık mantık devreye girmektedir. Zadeh tarafından temelleri atılan sistem, 1960'lı yılların ortalarında bulunmasına rağmen, bilim dünyasında hak ettiği yeri ancak son 20 yılda bulabilmiştir. Batılı düşünce felsefesindeki 1 ya da 0 mantığına karşılık; ikisinin arasındaki değerlerin de olabilirliğini hesaba katan doğu felsefesini yansıtan bu sistem, batı tarafından uzun süre anlaşılamamıştır. Anlaşıldığında ise bu alandaki bilimsel yayın sayısı hızla artmıştır. Ar-Ge projeleri doğası gereği risklidir ve yeni bir şeyler bulunmaya çalışıldığından geçmiş verilere ulaşmak çok zordur. Ancak bir başka ürünün sürecine benzetilerek veri elde edilebilir ki; bu da akla yatkın çözümler arasında n sırada değildir. Dolayısıyla değerleme sürecinde bulanık mantık kullanmanın akılcı bir çözüm sağlayacağından şüphe duyulmamaktadır.

Bulanık mantık altında gerçek opsiyon değerlemesi için iki yöntem kullanılmaktadır: Black-Scholes modeli ve Kafes modelleri (ift terimli (binomial), üç terimli (trinomial) modeller). Black-Scholes değerleme modeli kapalı bir kutu izlenimi vermektedir. Yatırım süresince ara yıllardaki opsiyonları dikkate almamaktadır. Buna karşın kafes değerleme modelleri kesikli bir sürece sahip olduğundan aradaki bütün opsiyonların tekrar gözden geçirilmesine olanak sağlamaktadır. Fakat işlem fazlalığı vardır, dolayısıyla kısa vadeli bulanık gerçek opsiyon değerlemelerinde kullanılması daha az işlem yapılmasını sağlar. Burada karşımıza çıkan ikilem ise kafes tipi değerlemelerinin daha uzun vadede Black-Scholes doğru çözümüne yakınsamasıdır. Günümüz teknolojisindeki bilgisayarlar sayesinde bu tür sorunların üstesinden gelmek hiç zor değildir.

Ar-Ge projelerinin maddi değerlemesinden daha önce bahsedilmişti. Bunun yanında belki de eşit önemde olan maddi olmayan değerleme ltleri Ar-Ge projelerini değerlendirmede kullanılmalıdır. Bu ölçütlerin değerlenebilmesi için, maddi olmayan yöntemlerle birlikte maddi yöntemleri birbiriyle btnleştirdiğimiz takdirde daha gerçekçi ve uygun sonuçlar üreteceğimiz düşünülmektedir. Bu maddi olmayan ölçütlere örnek olarak: Üretim, teknik ve pazarlama/dağıtım ltleri verilebilir ki her biri için alt ölçütler ilgili bölümlerde ele alınacaktır. Çok ltl değerlemelerde muhakkak şirket içinden bir uzmana danışmak gerekmektedir, hatta bir kaç uzmanın görüşünü almanın daha iyi sonuç getireceği düşünülmektedir. şirketlerdeki Ar-Ge bölümü uzmanlarının kararlara daha nesnel biçimde katılması, projelerin hem

başarısı, hem de şirkete ve dolayısıyla ülkeye katkısı açısından çok önemlidir. Projeleri çok ölçütlü değerlendirme süreci bu olanağı bize sağlamaktadır.

Çok ölçütlü Ar-Ge proje değerlemeleri seksenli yılların ortalarından beri incelenmektedir. Daha önce de değindiğimiz gibi, eksik veri yani geçmiş verilerin bulunamadığı durumda ya da karar vericinin düşünce işleyiş sistemine daha yakın bir sistem kullanılması gerektiğinde bulanık mantıkla değerlendirme ya da kıyas ölçütlerini belirleme işleyişe katılabilir. Bu alanda da çok sayıda çalışma yapılmıştır. Fakat bulanık gerçek opsiyon değerlemesi ile bulanık çok ölçütlü karar verme yöntemlerini bütünleştiren bir model daha ortaya konmamıştır. Ar-Ge projelerinin değerlemesinde ve dolayısıyla seçiminde etkili olabilecek bu yöntemler bu süreçte karar vericiye sağlam destekler sunacaktır.

Bir sonraki bölümde opsiyon teorisi ve gerçek opsiyonlar hakkında kuramsal bilgiler sunulacaktır. Üçüncü bölümde ise gerçek opsiyon değerlendirme modelleri ayrıntılarıyla ele alınacaktır. Black-Scholes modeli, Kafes modelleri ve benzetime dayalı değerlendirme modelleri incelenecektir. Dördüncü bölümde bulanık mantıkla gerçek opsiyon değerlendirme modelleri verilecektir. Arkasından gelen beşinci bölümde ise Ar-Ge projelerinden bahsedildikten sonra bunların değerlendirilmesiyle ilgili bilgiler aktarılacak ve çok ölçütlü modeller anlatılacaktır. Bu çok ölçütlü modellerin bulanıklık altında incelenmesi ise altıncı bölümde yer alacaktır. Bulanık gerçek opsiyonlarla çok ölçütlü modellerin bütünleştirilerek yeni modeller elde edilmesi ise yedinci bölümde verilecektir. Ayrıntılarıyla anlatılacak bu yeni modeller daha sonra aynı bölümde bir uygulama ile gösterilecek ve sonuçları sekizinci bölümde tartışılacaktır.

2. OPSİYON TEORİSİ VE GERÇEK OPSİYONLAR

Bu bölümde öncelikle opsiyonların ilk ortaya çıkış tarihleri ve gelişimi anlatılacaktır. Opsiyon fiyatlama temel olarak verilecek ve finansal opsiyonların hangi modellerle fiyatlandığı açıklanacaktır. Hemen ardından gerçek opsiyonların ne olduğu, nerelerde kullanıldığı ve fiyatlama yöntemleri gösterilecektir.

2.1 Opsiyonların Ortaya Çıkışı

Opsiyon sözcüğü Latince “*optio, optare*” kökünden gelmekle birlikte seçim, istek ve dilek anlamında kullanılmaktadır. Bununla birlikte, yurtdışında kullanılan gerçek opsiyon sözcüğüne karşılık kullanılan “*real*” sözü yine Latince “*realis*” sözcüğünün evrilmesiyle ortaya çıkmıştır. Gerçek sözcüğü ise hayali olana karşılık, çağrışım olarak; sabitlenmiş, kalıcı ve taşınamayan şeyleri betimler.

Opsiyon içinde barındırdığı bu anlamlarla birlikte elinde bulundurana bir seçim hakkı tanır. Bir opsiyon iş için verilecek bir kararda elde bulundurulana bir haktır, hiçbir zaman içerisinde bir zorunluluk barındırmaz. Örnekle açıklamak gerekirse; yeni bir ev yaptıracağımızı ve bu evi nasıl ısıtacağımızla ilgili birkaç opsiyonu değerlendireceğimizi düşünelim. Karar ısınma için fuel-oil ya da doğal gaz kullanımı, mutfak için elektrik ya da doğal gaz ocağı kullanımı olabilir. Bu ısı kaynaklarından hangisinin gelecekte nasıl bir fiyatlamaya sahip olacağını bilemeyiz. Muhtemelen geçmiş yıllardaki doğal gaz, fuel-oil ve elektrik fiyatlarını araştırabiliriz. Bu bize hangi enerji kaynağının fiyatının daha oynak olduğunu ve zamanla hangisinin daha ucuzlayacağına dair bilgiler verir. Geçmiş fiyat hareketlerinden gelecek hareketler için çıkarımlarda bulunabiliriz. Tabi ki geçmişteki bu hareketlerin aynısı gelecekte de yaşanacak diye bir zorunluluk yoktur. Dolayısıyla, enerji kaynakları arasında sorunsuz geçiş yapmamıza izin veren esnek bir ısıtma kaynağı alıp yerleştirmek değer açısından verimli olacaktır. Tabi ki bu esneklik bize ek maliyet getirir ki; buna ödediğimiz pirim gözüyle bakabiliriz. Tüm bunlara rağmen, yıllık enerji talebimize bağlı olarak, bakım ya da değiştirme

masrafları dolayısıyla ısıtma kaynağının beklenen ömründen ötürü bu elimizde bulundurduğumuz opsiyon bize maddi zarara yol açabilir [1].

Opsiyonların gerçek anlamda resmi bir şekilde alınıp satılması 1870'lerde Şikago Ticaret Borsasında vadeli işlem opsiyon sözleşmeleriyle başlamıştır. 26 Nisan 1973 yılında ise listelenmiş hisse opsiyonları aynı borsada işlem görmeye başlamıştır [2]. Gerçek opsiyonların tarihi ise daha da geçmiş dönemlere hatta paranın bulunmadığı dönemlere dayanmaktadır. Bilindiği gibi paranın kullanımına takriben M.Ö. 700-650'lü yıllarda başlanmıştır. Oysa Fırat nehri kenarında yer alan Mari Şehrinde bulunan 20.000 eski tablette, M.Ö 1800–1500 yılları arasında o bölgede yapılan bir çok opsiyon ve vadeli işlem sözleşmelerine rastlanmıştır [1]. Bu sözleşmelerin tahıl ya da metal gibi asıl gerçek varlığın üzerine yazılmış alım opsiyonları olduğu iddia edilmektedir. Aristo kitabında, Thales' in (M. Ö. 620 ortaları-M. Ö. 546) yaptığı opsiyon sözleşmelerinden bahseder. Thales, hasattan 9 ay önce, zeytin baskı makinelerini, şimdiden küçük bir ücret karşılığında başkalarına kiraya verme hakkını sağlayan sözleşmeler yapar. Burada Thales' in aldığı risk gelecek hasadın verimi konusundadır. Eğer hasat kötü olsaydı, bu zeytin baskı makinelerini kiralamasına gerek kalmayacaktı. Opsiyon sözleşmesine ödenen pirimler yanacağından opsiyon zarar edecekti. Buna rağmen, hasat zamanı geldiğinde hasat çok bereketli olmuştur. Thales, alım opsiyonunu gerçekleştirme hakkı için ödediği küçük pirimle birlikte baskı makinelerini yüksek fiyatlara kiraya vermiştir [1].

Japonya'da 1600'lü yıllar civarında başlayan Tokavava çağında Japon tüccarlar pirinç üzerine yazılmış alım opsiyonlarını satın alırlardı. Toprak sahibi Japon soylular, kendilerine üzerinde yazılı fiyatlardan pirinç mahsulü alım hakkı veren kuponlardan satın alırlardı. Eğer pirince umulan gereksinim olmazsa, bu tüccarlar kuponların ticaretini yapmakta serbesttiler ve bu yüzden bir çeşit merkezi pazar yeri olan Şogun yerinde pirinci edinim hakkına sahiptiler [1].

Aynı zaman dilimlerinde, 1630'lu yıllarda, Hollandalı orta sınıf bireyler gerçek lale opsiyonları üzerinden ticaret gerçekleştirmekteydiler. Tabi ki Türkiye'den götürülen bu laleler ıslah ediliyor ve iyileştirilerek on yedinci yüzyıl başlarında çeşitlendiriliyordu. İklim değişiklikleri, tohumlardaki sorunlar, gen transferleri vb. gibi sorunlardan ötürü lale hasadı arz tarafında yetmemeye başlamıştı. Bu durum gelecek lale pazarının oluşmasına yol açtı. Çiçek soğanları daha topraktayken ve kimse çiçeğin olgunlaşmasını görmemişken, insanlar aralarında gelecek sezonda

belirli bir fiyattan lale alım hakkını kendilerine veren sözleşmeler yapmaktaydılar [1]. Hasadın kötü olması durumunda, lale fiyatları artacağından, opsiyonu elinde bulunduran kişi yüklü miktarda kazanç elde etmekteydi.

1688 yılında açılan Amsterdam borsasında opsiyonlar ve vadeli sözleşmelerin ticaretine başlanmıştır. Amerika’da ancak, 1800’lü yılların ortalarında ve sonrasında bu tür işlemler gerçekleştirilmeye başlanmıştır. Tam bir yüzyıl sonra ise bu tür işlemlerin değerlemeleri üzerine çözümler ortaya konmaya başlamıştır. Gelecek kısımda opsiyonların işleyişine ve çözüm yöntemlerinin mantığına dair bilgiler verilecektir.

2.2 Finansal Opsiyonlar

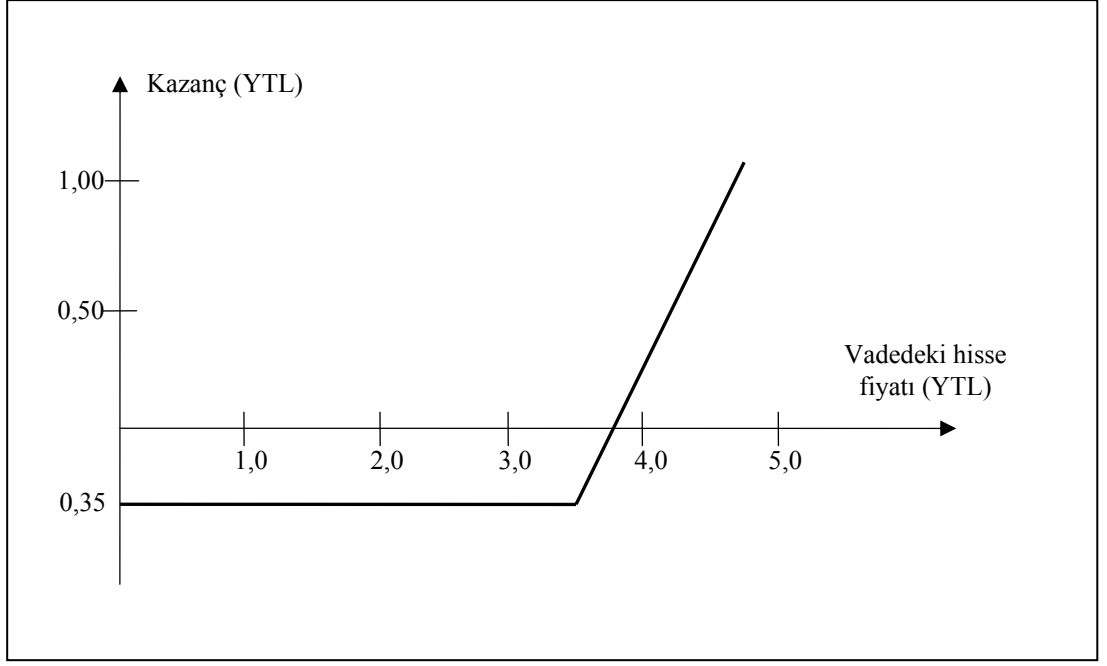
Finansal opsiyonlar hem tezgâh üstü piyasada hem de organize borsalarda işlem görürler. Opsiyon bir haktır, zorunluluk içermez. İki çeşit temel opsiyon vardır. Alım opsiyonu, elinde bulundurana üzeri yazılı olan varlığı belirli bir tarihte, belirli bir fiyattan satın alma hakkı verir. Satım opsiyonu, elinde bulundurana üzeri yazılı olan varlığı belirli bir tarihte, belirli bir fiyattan satma hakkı verir. Sözleşme üzerinde yazan fiyat, opsiyon kullanma fiyatı ya da akit fiyatı (*exercise price, strike price*); yine sözleşmede yazan tarih, son kullanma tarihi ya da vade bitim tarihi olarak adlandırılır. Opsiyonlar, vade bitim tarihinden önce bozdurulup bozdurulmamasına göre de ikiye ayrılır. Vade bitiminden önce bozdurulamayan türündeki opsiyonlar Avrupa tipi olarak adlandırılır fakat bu türler sadece Avrupa’da alınıp satılır diye bir kural yoktur, coğrafi konumdan bağımsızdır. Vade bitiminden önce kullanılabilen opsiyonlar ise Amerikan tipi opsiyonu olarak adlandırılır. Döviz opsiyonlarının büyük çoğunluğu Amerikan tipindedir. Avrupa tipi opsiyonların çözümlemesi diğerine göre daha basittir. Amerika tipi opsiyonların birçok özelliğinin çıkarsaması Avrupa tipi opsiyonlar sayesinde yapılır.

Opsiyonların vadeli işlemler sözleşmelerinden en büyük farkı bir zorunluluk içermemesidir. Opsiyonu elinde bulunduran mali açıdan uygun bulmuyorsa opsiyonu kullanmaz. Bir diğer fark ise; vadeli işlem sözleşmelerini satın almak için herhangi bir maddi yükümlülük alınmaz. Buna karşılık opsiyon sözleşmesini satın almak için belirli bir prim ödemesi yapılır.

2.2.1 Alım opsiyonları (*Call options*)

Alım opsiyonlarını ayrıntılı olarak anlayabilmek için grafik ve basit bir örnek kullanalım. Burada dikkat çekmemiz gereken bir nokta, Türkiye’de şu anda opsiyon piyasasının olmamasıdır, fakat önümüzdeki 6 ay ila 1 yıl içerisinde bu piyasanın da oluşturulacağı konunun tarafı Vadeli işlemler ve Opsiyon Borsası (VOB) tarafından söylenmektedir. Bu yüzden opsiyon piyasasına temel olabilecek hisselerden olan Garanti Bankası hissesi incelenecektir. Diyelim ki bir yatırımcı 1 adet Garanti Bankası hissesine karşılık gelen Avrupa tipi alım opsiyonunu 3,5 YTL akit fiyatı ile satın alsın. Şu anki geçerli hisse fiyatı 3,4 YTL, opsiyonun vade bitim tarihi 4 ay sonrası ve bir adet hisse alım opsiyonu satın almanın bedeli 0,35 YTL olsun. Başlangıç yatırımı 350 YTL dir. Opsiyon Avrupa tipi olduğundan yatırımcı ancak vade bitim tarihinde opsiyonu kullanabilir. Bu tarihte eğer hisse senedinin fiyatı 3,5 YTL’den düşükse, açıktır ki yatırımcı opsiyonu kullanmayacaktır. Bu durumda yatırımcı başlangıç yatırımı olan 350 YTL’nin tamamını kaybedecektir. Vade bitim tarihinde eğer hisse senedinin değeri 3,5 YTL’nin üzerinde ise opsiyon kullanılacaktır. Varsayalım ki hissenin 4 ay sonraki değeri %20 artışla 4,2 YTL’ye ulaşmış olsun. Bu durumda hisse başına 0,7 YTL kazanç sağlanacaktır ya da başka bir deyimle geçiş maliyetlerini dışarıda tutarsak 700 YTL kazanılmış olacaktır. Opsiyonu almak için ödediğimiz primi de geçiş maliyeti olarak dikkate alırsak toplamda 350 YTL kazanç sağlanacaktır.

Şekil 2.1, yatırımcının bir adet hisse üzerine yazılı bir adet alım opsiyonu aldığı ve bunu kullandığı durumda oluşacak net kazanç ya da kayıp miktarını göstermektedir. Kazanç ya da kayıp hesaplarırken paranın zaman değeri göz ardı edilmiştir. Fakat, burada bir şeyi unutmamak gerekir: opsiyonun başa baş fiyatının altında örneğin hisse senedi 3,75 YTL olduğunda 250 YTL kazanç sağlanır. Bu durumda başlangıç maliyetinden düşük bir kazanç elde edilmiş olur. Her ne kadar kazanç yok gibi gözükse de alım opsiyonu akit fiyatının üstündeyse her halükarda kullanılmalıdır. Çünkü az önceki örnekte olduğu gibi kullanıldığı durumda zarar 100 YTL olacakken kullanılmadığı durumda zarar 350 YTL’dir.



Şekil 2.1: Garanti Bankasına yazılmış Avrupa tipi alım opsiyonu kazancı.
Opsiyon fiyatı = 0,35 YTL; akit fiyatı = 3,5 YTL.

Alım opsiyonları matematik formülle gösterildiğinde ise aşağıdaki denklemlerle ifade edilebilmektedir (geçiş ücretleri hariç):

$$C = \max[0, S - X] \quad (2.1)$$

Burada C, alım opsiyonunun değerini; S, varlığın o anki fiyatını; X, ise kullanım ya da akit fiyatını göstermektedir.

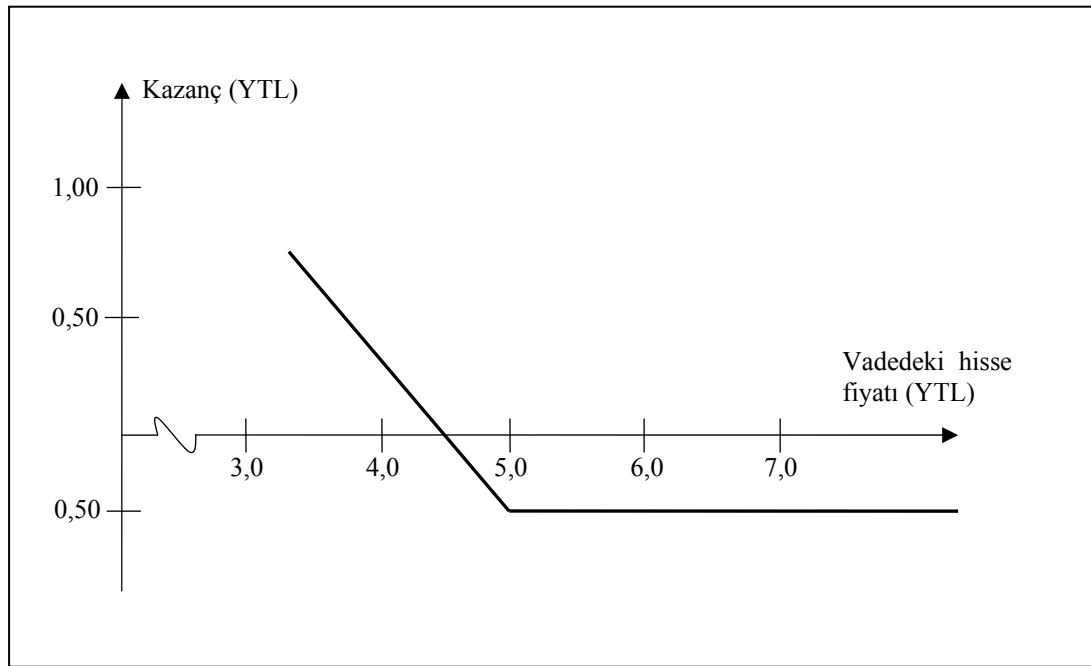
2.2.2 Satım opsiyonları (*Put options*)

Alım opsiyonunu elinde bulunduran yatırımcı fiyatların yükseleceğini düşünürken, bunun karşısında yer alan satım opsiyonunu elinde bulunduran yatırımcı fiyatların düşeceğine inanmaktadır. Alım opsiyonunkine benzer ve aynı sektörde yer alan bir örnek verelim: Diyelim ki bir yatırımcı 1 adet İş Bankası C hissesine karşılık gelen Avrupa tipi satım opsiyonunu 5,0 YTL akit fiyatı ile satın alsın. Şu anki geçerli hisse fiyatı 5,2 YTL, opsiyonun vade bitim tarihi 4 ay sonrası ve bir adet hisse satım opsiyonu satın almanın bedeli 0,50 YTL olsun. Başlangıç yatırımı 500 YTL dir. Opsiyon Avrupa tipi olduğundan yatırımcı ancak vade bitim tarihinde opsiyonu kullanabilir. Bu tarihte eğer hisse senedinin fiyatı 5,0 YTL'den yüksekse, açıktır ki yatırımcı opsiyonu kullanmayacaktır. Bu durumda yatırımcı başlangıç yatırımı olan 500 YTL'nin tamamını kaybedecektir. Vade bitim tarihinde eğer hisse senedinin değeri 5,0 YTL'nin altında ise opsiyon kullanılacaktır. Varsayalım ki hissenin 4 ay

sonraki değeri %20 düşüşle 4,15 YTL'ye inmiş olsun. Bu durumda hisse başına 0,85 YTL kazanç sağlanacaktır ya da başka bir deyimle geçiş maliyetlerini dışarıda tutarsak 850 YTL kazanılmış olacaktır. Opsiyonu almak için ödediğimiz primi de geçiş maliyeti olarak dikkate alırsak toplamda 350 YTL kazanç sağlanacaktır.

Opsiyonun başa baş fiyatının altında örneğin hisse senedi 4,25 YTL olduğunda 250 YTL kazanç sağlanır. Bu durumda başlangıç maliyetinden düşük bir kazanç elde edilmiş olur. Her ne kadar kazanç yok gibi gözükse de satım opsiyonu akit fiyatının altındaysa her halükarda kullanılmalıdır. Çünkü az önceki örnekte olduğu gibi kullanıldığı durumda zarar 250 YTL olacakken kullanılmadığı durumda zarar 500 YTL'dir. Kazanç ya da kayıp hesaplarken paranın zaman değeri göz ardı edilmiştir.

Şekil 2.2 yatırımcının bir adet hisse üzerine yazılı bir adet satım opsiyonu aldığı ve bunu kullandığı durumda oluşacak net kazanç ya da kayıp miktarını göstermektedir.



Şekil 2.2 : İŞ Bankası C'ye yazılmış Avrupa tipi satım opsiyonu kazancı.
Opsiyon fiyatı = 0,50 YTL; akit fiyatı = 5,0 YTL.

Satım opsiyonları matematik formülle gösterildiğinde ise aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilmektedir (geçiş ücretleri hariç):

$$P = \max[0, X - S] \quad (2.2)$$

Burada P, satım opsiyonunun değerini; S, varlığın o anki fiyatını; X, ise kullanım ya da akit fiyatını göstermektedir.

2.3 Gerçek Opsiyonlar

Gerçek opsiyonlar aslında günlük hayatta aldığımız tüm kararlarda yabancı olmadığımız bir konudur. Örneğın bir dizüstü bilgisayar satın almak isteğimiz, kişisel yatırım olarak görülebilir. Bu takdirde döviz kurlarına bağlı olan bu alım işlemi sırasında, örneğın döviz kurları bir anda sıçrama yapabilir. İlerde de değineceğimiz gibi erteleme opsiyonu bu noktada kullanılabilir. Yatırım, fiyatların daha az oynak hale geldiğı zamana ertelenebilir.

Bir gerçek opsiyon, akit fiyatı olarak adlandırılan önceden belirlenmiş maliyette, opsiyonun süresi olarak adlandırılan önceden belirlenmiş bir zaman diliminde, bir eylem (erteleme, genişletme, küçültme ya da bırakma) için harekete geçme hakkıdır, zorunluluk içermez [3].

Gerçek opsiyonların daha iyi kavranabilmesi için geleneksel proje değerleme yöntemlerinden farkının ortaya konulması gerekmektedir. Bilindiğı üzere geleneksel NŞD yöntemi, gelecekteki getirilerin şimdiki değeri, gelecekteki maliyetlerin şimdiki değeri ile başlangıç yatırım maliyetinin toplamını geçtiğı takdirde derhal yatırım karar alınmasını önerir. Fakat nakit akışlarında ya da faiz oranlarındaki yüksek belirsizlik ve yöneticilerin karar alımındaki esneklik isteğı yatırımın maliyetini önemli ölçüde etkiler. Aradaki anlayış farkını maddeler halinde inceleyelim:

- NŞD yöntemi ya hep ya hiç mantığı üzerindedir. Projenin yaşam döngüsü boyunca yönetimsel esneklik tanımaz. Gerçek opsiyonlarda ise tam aksine projenin gidişatını belirli noktalarda etkileme esnekliğı vardır.
- NŞD’ de projenin gelecekteki gelirlerinin belirsizliğı hesaba katılmazken gerçek opsiyonlarda bu kavram opsiyonun değerini artırmaktadır.
- NŞD yönteminde hiç ya da düşük miktarda nakit akışı sağlayan projeler değerlendirilmezken; gerçek opsiyonlarda projenin uzun vadeli stratejik değeri, karar vermedeki esneklik yüzünden göz önüne alınır.
- Beklenen geri demeler NŞD’ de risk için ayarlanmış ıskonto oranlarıyla hesaplanır. Risk indirim primi olarak adlandırılır. Oysaki gerçek opsiyonlarda

geri ödemelerin kendisi risk için ayarlanmış ve risksiz oranla ıskontolanmıştır. Risk geri ödemenin olasılık dağılımı olarak tanımlanır.

- NŞD yönteminde yatırım maliyeti geri ödemelerin tipik ıskonto oranıyla aynı oranda hesaplanır, yani risk için ayarlanmış oranla. Gerçek opsiyonlarda ise risksiz oran kullanılır.

Belirsizlikler karşısında gerçek opsiyonlardan daha önce değişik yöntemler geliştirilmiştir. Bunlara en temel örnek karar ağacı çözümlemesi verilebilir. Karar ağacı yöntemi ile gerçek opsiyonlar arasındaki farklar da aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Karar ağacı çözümlemesi proje özeli ve piyasa risklerini hesaba katarken gerçek opsiyonlar sadece piyasa riskini inceler. Gerçek opsiyonların çözümü arkasındaki teorik bilgidен ötürü özel riskler için geçerli olmayacaktır.
- Karar ağacı çözümlemesi basit olarak iki, üç ya da birkaç karşılıklı bağdaşmaz olası çıktıyı değerlendirebilirken gerçek opsiyon çözümlemesinde geniş yelpazede çıktı değerlendirilebilir. Bu nakit akışlarını şimdiki değere indirgerken kullanılan ıskonto oranında fark yaratır. Finansal çevrede karar ağaçlarında hangi ıskonto oranının kullanılacağına dair kesin bir görüş birliği yoktur. Buna karşılık gerçek opsiyonlarda uygun oran olarak risksiz oran kullanılmaktadır. Karar ağacı çözümlemesinde, gelirlerin olasılığını tahmin etmenin öznel bir bakış açısı gerektirmesi, karar ağacı çözümlemesinin kusurlarındandır [4].

2.3.1 Gerçek opsiyon kavramları

Finansal opsiyonlarda olduğu gibi gerçek opsiyonların değeri beş temel değişkene bağlıdır. Fakat burada ek olarak bir altıncı değişken söz konusudur. Şimdi bu beş tanesini inceleyelim:

- *Taban olarak alınan riskli varlığın değeri:* Gerçek opsiyon konusunda bu bir proje, yatırım ya da şirket satın alımı olabilir. Eğer taban varlığın değeri artarsa, opsiyonun değeri de artar. Finansal opsiyonlarda yatırımcı taban varlığın değerini hiçbir şekilde etkileyemezken, gerçek opsiyonlarda projenin sahibi olan yönetim, projenin yani taban varlığın değerini artırabilir. Dolayısıyla gerçek opsiyonun değeri de artar.

- *Akit fiyatı*: Eğer varlığı satın alıyorsak (alım opsiyonu için), opsiyonu kullanmak için yatırılan fiyattır. Opsiyonun akit fiyatı artarsa, alım opsiyonunun değeri düşer.
- *Opsiyonun vade bitim tarihi*: Vade bitimine olan süre artarsa, opsiyonun değeri de artar.
- *Taban oluşturan riskli varlığın değerinin standart sapması*: Opsiyonun değeri taban varlığın riskliliği ile artar çünkü opsiyonun geri ödemeleri, akit fiyatını geçen taban varlığın değerine ve taban varlığın oynaklığına bağlıdır.
- *Opsiyonun yaşamı süresince risksiz faiz oranı*: Risksiz faiz oranı yükseldikçe, opsiyonun değeri de yükselir [3].
- *Temettüler (kâr oranı dağıtımı)*: Finansal opsiyonlarda taban varlığın yani hisse senedinin temettü ödemesi yapması halinde hisselerin fiyatı düşeceğinden opsiyonun değerini düşürür. Gerçek opsiyonlarda bu kayıp, rakiplerin piyasaya girmesiyle nakit akışlarında ortaya çıkacak düşüşle özdeşleştirilmiştir.

Şimdi opsiyonların ortaya çıkışı bölümündeki Thales'in örneğine dönersek yukarıdaki kavramları daha rahat somutlaştırabiliriz. *Taban varlık* olarak zeytin baskı makinelerinin kiralama değeri alınabilir. Belirsizliği oluşturan sebep ise zeytin hasadının değişkenliğidir. Fakat taban varlığın asıl değişkeni zeytin baskı makinelerinin üzerindeki kira ücretinin standart sapmasıdır. *Akit fiyatı* ise sözleşme üzerine yazılmış olan normal kira değeridir. *Risksiz oran*, tahminen gözlenebilen piyasa faiz oranıdır. *Vade bitim tarihi* tabi ki bir sonraki zeytin hasadına kadar olan süre sonudur. Opsiyonun değeri ise Thales'in kiradan kazandığı paradan zeytin baskı makinesi sahiplerine ödediği para miktarının çıkarılmasıyla bulunur.

2.3.2 Finansal opsiyonlarla Gerçek opsiyonların karşılaştırılması

Gerçek opsiyonlara temel oluşturan finansal opsiyonlar birbirlerinin değişkenlerini kullanmakla birlikte farklı kavramlar ifade etmektedirler. Bu durumu en iyi şekilde aşağıdaki Çizelge 2.1'de ifade edebiliriz:

Finansal opsiyonlar geniş ve farklı taban varlık yelpazesine hitap etmektedir: bireysel hisseler, hisse endeksleri, devlet bonoları, kurlar, değerli metaller ve vadeli işlemler

sözleşmeleri. Buna karşılık gerçek opsiyonlar, taban varlık olarak sermaye bütçeleri, yatırım kararları ve ticari işlemlerle ilgilenmektedir. Gerçek opsiyonlarda belirsizlik koşulları açığa çıkmamış olsa bile, kararlar yönetim tarafından alınmalıdır. Buna karşılık finansal opsiyonlarda, vade bitim tarihi yaklaştıkça bilinmesi gereken tüm değişkenler ortaya çıkmaya başlar.

Çizelge 2.1 : Finansal Opsiyonlar ile Gerçek Opsiyonların benzerlikleri.

Finansal Opsiyon	Değişken	Gerçek Opsiyon/Yatırım projesi
Akit Fiyatı	X	Yatırım maliyeti
Hisse Fiyatı	S	Beklenen nakit akışlarının şimdiki değeri
Vade Bitimine Süre	t	Yatırımı gerçeklemeye kadar olan süre
Hisse Getirilerinin Sapması	σ^2	Varlığın riskliliği, en iyi ve en kötü olay senaryoları arasındaki sapma
Risksiz getiri oranı	r	Risksiz getiri oranı

Finansal opsiyonun süresi boyunca, opsiyonun değeri kâr ya da zarar yazar, ya da başa baş noktasına gelebilir. Yatırımcı, opsiyon Avrupa tipi ise edilgen bir şekilde bekler. Gerçek opsiyon sahibi ise tam tersine, taban varlığın değerini yükseltmek için opsiyon süresi boyunca elinden geleni yapar, aşağı yönlü riskleri bertaraf eder, yukarı ivmeyi hareketlendirmek için çabalar. Finansal opsiyonlarda belirli bir vade bitim tarihi varken gerçek opsiyonlarda projeler için belirli bir son teslim tarihi yoktur. Örneğin bir ön ürün geliştirmenin ne kadar zaman alacağını, ya da piyasaya rakip giriş zamanını bilemeyiz.

Finansal opsiyonlar, bütün oyuncuların tam bilgi sahibi olduğu, fiyat hareketlerinin sürekli ve gözlenebilir olduğu organize piyasalarda işlem görürler. Gerçek varlığın değerini gözlemlemek ise zordur; varlığın geçmiş fiyatlamaları gelecek dağılımlar için uygun değildir. Gerçek varlıklar akışkan değildir ve ticareti nadiren yapılır.

Gerçek hayatta, opsiyonun değeri, esnek yatırım programından elde edilen en yüksek getiriyle esnek olmayan program arasındaki fark olarak tanımlanabilir. Finansal opsiyonlarda kullanım fiyatı belirliken gerçek opsiyonlarda opsiyonu edinmenin maliyeti belirsizdir.

Finansal opsiyonlarda, opsiyon kullanımı belirli kurallarla ortaya konmuştur. Gerçek opsiyonlarda da aynı durum söz konusudur fakat bazı değerlemelerde çok daha fazla dallanmalar gerekebilmektedir. Gerçek opsiyonlar için dünya finansal opsiyonlara göre biraz daha bulanıktır. Çünkü finansal opsiyonlarda kullanım zamanı kolaylıkla gözlenebilir ve vade bitimine olan zamanla kullanım fiyatı belirgin şekilde tanımlanmıştır [1]. Gerçek opsiyonlarda ise zaman ufku daha uzun, kullanım fiyatı ve varlık değeri belirsizdir. Bu belirsizlikler dolayısıyla kullanılacak bulanık mantık ilerde açıklanacaktır.

2.3.3 Gerçek opsiyonların sınıflandırılması

Gerçek opsiyonlar karar vericiye sundukları esneklik adlarına göre sınıflandırılırlar. Örneğin bir projeye şimdi değil de daha sonraki bir tarihte yatırım yapmaya erteleme opsiyonu adı verilir. Çizelge 2.2’de bu opsiyonların kısa açıklamaları incelenebilir.

Şimdi bu gerçek opsiyon türlerini biraz daha ayrıntılı görelim.

2.3.3.1 Erteleme opsiyonu

Erteleme opsiyonunun ya da bir başka deyişle yatırım için bekleme opsiyonunun değeri, belirsizliğin azaltılması amacıyla yeni bilgilerin karar verici tarafına gelmesi durumuna kadar, yatırım kararını erteleme durumuyla belirlenir. Örneğin bir petrol şirketi sahibi olduğu arama sahasındaki rezerv miktarı ve bu rezervin başa baş fiyat noktasını maliyet analizi ile incelemiştir.

Çizelge 2.2 : Temel gerçek opsiyonlar.

Gerçek Opsiyon	Açıklama
Erteleme Opsiyonu	Piyasa belirsizliğini azaltacak ileri bilgi beklenir.
Vazgeçme Opsiyonu	Kar etmeyen proje bitirilir.
Değiştirme Opsiyonu	Çalışma biçimi ya da girdi/çıktı parametreleri değiştirilir.
Genişletme/Daraltma Opsiyonu	Piyasa koşullarına göre kapasite ayarlanır.
Büyüme Opsiyonu	Gelecekteki fırsatlara göre düşünülür.
Sıralı Evre Opsiyonu	Yatırım aşamalı olarak koşullu adımlara ayrılır.

Fakat petrol fiyatlarındaki belirsizlik geçene kadar, yani başa baş fiyatı geçilinceye kadar yatırımı ertelediği takdirde erteleme opsiyonunu kullanmış demektir. Petrol şirketi saha için lisans parası ve vergilerini ödemiştir ve opsiyonu canlı tutmaktadır. Finansal opsiyon olarak düşünürsek petrol şirketi Amerikan tipi alım opsiyonu satın almıştır (ödediği lisans parası ve vergiler opsiyon primidir) ve şartlar uygun hale geldiği anda opsiyonu kullanacaktır.

2.3.3.2 Vazgeçme opsiyonu

Vazgeçme opsiyonu, piyasa beklentileri yerine gelmediği ya da koşullar değiştiği için bir hisseyi ya da varlığı satma ve hurda değerini kurtarma hakkı olan bir satım opsiyonudur. Aslında, ekonomik olarak fiyatlar aşağı olduğunda satım opsiyonu bir korunma yöntemidir.

Örneğin bir otomobil üreticisi şirketi göz önüne alalım. Satışlar yavaşladığında ve nakit akışları fabrika içinde bulunan malzemelerin değerini karşılamadığında yönetim hurda değeri olan 20 milyon YTL'ye razı olup vazgeçme opsiyonunu kullanacaktır. Daha yüksek nakit akışlarında ise ölçek değiştirme opsiyonu kullanılması gerekir.

2.3.3.3 Ölçek değiştirme opsiyonu: Genişletme ya da Daraltma

Ölçek değiştirme opsiyonu, değişen piyasa koşullarına göre yönetime esnek kapasite ayarlaması konusunda yardımcı olur. Bu bize duruma göre projenin genişletilmesini, küçültülmesini ya da daraltılmasını açıklar. Genişletme ya da daraltma opsiyonu yönetimin piyasa koşullarına göre, kaynakların harcanma oranını esnek olarak ayarlamasını sağlar.

Örneğin son zamanlarda ABD'de yaşanan ekonomik kriz sonrasında piyasa koşullarının daha da kötüleşeceğini öngören araç üreticisi GM küçülme opsiyonunu kullanmış ve işten çıkarmalara ağırlık vermiştir.

2.3.3.4 Değiştirme opsiyonu

Finansal opsiyonlarda kullanılan değiştirme opsiyonu, bir taban varlık hisse üzerine olan ve yola bağlı opsiyon olarak tanımlanır: Değiştirme opsiyonun ödemeleri önceden tanımlı engellere bağlıdır; üst ve alt engeller olmak üzere. Hisse herhangi

bir engele ulaştığında değiştirme opsiyonu canlanır, başka bir engele değdiğinde ise tekrar uyumaya geçer.

Gerçek opsiyonlardaki değiştirme opsiyonu ise verilen herhangi bir işin çalışma biçimini değiştirebilen ve böylece yönetim esnekliği sağlayan opsiyona verilen addır. Girdi ya da ıktıları, değişkenleri, süreçleri, hacimleri ve küresel konumları değiştirme kararlarını kapsar. Örneğin madenler, maden fiyatları düştüğünde kapanır, daha sonra piyasa durumuna göre fiyatlar yükseldiğinde kapama maliyetleri de göz önüne alınarak tekrar açılabilir. GM rneğinde olduğu gibi piyasa koşulları berbat olduğu durumlarda daha sonra tekrar üretime başlamak suretiyle fabrika kapatılır. Vazgeçme opsiyonundan farkı bu örnekten olduğu üzere, varlığın tamamen satılmamasıdır.

2.3.3.5 Büyüme opsiyonu

Bir şirket yeni bir pazara girerken, yeni üretim hattı ya da yeni teknoloji geliştirdiğinde, büyüme opsiyonunu kullanmayı tercih eder. Bu tür yatırımlar sıklıkla beklenen getirilerden fazla başlangıç yatırımları gerektirir. Yani NşD negatif değer verir. Buna karşılık büyüme opsiyonun değeri, gelecek fırsatları yaratmasından ileri gelir. Örneğin yeni bir üretim hattı pilot pazarda başarılı ise, hayli yüklü başlangıç maliyetlerini çıkarmak için diğer pazarlara girerek, bu maliyetleri yayarak büyüme opsiyonu almak en iyi czmdr.

Büyüme opsiyonları, her endüstride mevcut olmasının yanı sıra ileri teknoloji ve yüksek riskli sektörlerde daha önemlidir. Biyoteknoloji şirketlerinde, yazılım geliştirme şirketlerinde, rakip stratejilerini kapsayan oyun teorisi ile birlikte büyüme opsiyonu kullanılırsa çok yararlı olur.

2.3.3.6 Sıralı evre opsiyonu

Bileşik opsiyonlar olarak da adlandırılabilen sıralı evre opsiyonları, yönetimin projeyi evrelere ayırdığı ve bir evre başarıyla geçildiği zaman diğer evre opsiyonunun değerlemeye alındığı opsiyonlar olarak bilinir. Büyüme opsiyonundan farkı bu opsiyonlarda yapılan değerlemenin ancak ve ancak tüm evreler bittikten sonra gerçekleştirilebilmesidir. Bu opsiyon türü, opsiyon üzerine olan opsiyon türüdür. Yönetim her bir evreye yatırım yaptığında ve o evreyi tamamladığında opsiyonu alır, fakat bu hiçbir zaman bir sonraki evreye geçiş için zorunluluk içermez.

Yeni teknoloji yatırımlarında ön ürün ya da yeni teknoloji geliştirilmesi bir evre, daha sonra bunların denenmesi ayrı bir evre olarak görülür. Bir sonraki aşama ise kuşkusuz ki piyasaya sunuş, pazarlama aşaması olacaktır. Daha çok şirketlerin Ar-Ge bölümlerindeki yeni ürün geliştirme projelerinde, yazılım şirketlerinde ya da ileri teknoloji üretilip pazarlamasını yapan şirketlerde kullanılan bir gerçek opsiyon türüdür.

3. GERÇEK OPSİYON DEĞERLEME MODELLERİ

Gerçek opsiyon fiyatlamalarına geçmeden önce finansal opsiyon fiyatlama tarihini kısaca bir gözden geçirmemiz gerekmektedir. İlk olarak Louis Bachelier, opsiyonları matematik formülle hesaplama yöntemini tezinde önermiştir [5]. Kendisi, finansal varlıklar için uygun stokastik süreç olarak log-normal dağılımı önermiştir. Fakat formülünde iki kritik varsayım sakatlanmıştı: sıfır faiz durumu ve eksi değerli varlık durumu. Paul Samuelson konuyu daha da ileri götürdü ve varlık hareketlerine Brownian hareketini uyguladı [6]. Hisse fiyatlarının log-normal olarak dağıldığını kabul etti ve rastgelelik fikrini ortaya attı. Brownian hareketi ise İskoçyalı bir botanikçi olan Robert Brown'ın polen tohumlarının suda hızla yalpaladıklarını (rastgele hareket ettiklerini) keşfetmesiyle ortaya çıkmıştır. Ludwig Boltzmann ise bu hızlı hareketleri ve kinetik enerjiyi sıcaklığa bağlayan kişidir [1]. Brown'ın hareketi, kısaca atomların dakikada yaptığı hareketlerdir.

James Boness ise tezinde opsiyon analizinde paranın zaman değerini katmayı önermiştir [7]. Black-Scholes formülünün de atası olduğu kabul edilen Boness'in opsiyon değerlemesi, çağdaş opsiyon değerlemesinde kabul görmüş şu üç varsayımı yapmıştır: a. Hisse fiyatları normal dağılmıştır (hisse fiyatlarının pozitif olmasını garantiler), b. Faiz oranı sıfır değildir (pozitif ya da negatiftir), c. Yatırımcılar riskten kaçarlar.

Fischer Black ve Myron Scholes yazdıkları makalede, Avrupa tipi alım opsiyonlarının değerlemesinde kullanılacak kısmi diferansiyel denklemi ortaya koymuşlardır [8]. Yazarlar denklemi ortaya koyduklarında, önerdikleri denklemin Bachelier'nin ısı transferi denklemiyle aynı olduğunun farkına varmamışlardı [1]. Asıl günümüzde kullanılan genelleştirilmiş ve temettü getirisini de içeren formülasyona ise Merton'un yaptığı katkılarla ulaşılmıştır. Merton çalışmasına capital asset pricing (CAPM) modelini dâhil etmiştir. Modelinde riskli varlıktan beklenen getiriye, riskin işlevi olarak yazan denklem geliştirmiştir [9]. 1997 yılında ekonomi alanında Nobel ödülünü Merton ve Scholes almışlardır. Maalesef ki Black bu tarihten iki yıl önce vefat etmiştir.

Opsiyonları, Monte Carlo benzetim yöntemi ile değerlendirme konusunu ilk ortaya atan ise Phelim Boyle olmuştur. Boyle, makalesinde opsiyonun kullanımı sırasında hisse değerinin dağılımı ne olursa olsun, bu dağılım şimdi ile vade bitim tarihi arasındaki varlık değerinin hareketleri tarafından oluşturulan süreçlerle belirlenir demektedir [10]. Dolayısıyla böyle bir süreç de bilgisayar yardımıyla benzetim yöntemiyle çözülebilir.

Kafes yöntemleriyle opsiyon değerlemelerden olan binomial yöntemi, ilk olarak Cox, Ross ve Rubinstein tarafından önerilmiştir. Bu yöntemle kendileri, şimdi ile opsiyon kullanım tarihi arasındaki zamanı kesikli aralıklara bölmüşlerdir [11]. Her bir aralıkta varlık değeri yukarı ya da aşağı p olasılıkla gidebilir. Her bir adım bir önceki adıma bağlıdır ki bu da Markov süreç özelliklerini yansıtmaktadır.

Şimdi, opsiyon değerlendirme yöntemlerini daha ayrıntılı ve formülleriyle birlikte inceleyelim. Bölüm 2.3.2'den de görüleceği üzere gerçek opsiyonlarla finansal opsiyonlar arasındaki farklar değişkenlerde gizlidir. Değerleme yöntemlerinde ise bir fark yoktur. Dolayısıyla bir sonraki bölümde görülecek olan finansal opsiyon değerlendirme yöntemleri gerçek opsiyonları değerlendirmekte de kullanılmaktadır.

3.1 Black-Scholes Fiyatlama Modeli

Temettü, şirketlerin ettikleri karları hissedarlarına dağıtmasıdır. Finansal opsiyonlarda düşünüldüğünde bu kâr dağıtımını hissenin değerini düşürür. Hisse değeri düştüğü için opsiyonun değeri de düşer. Bu temettü, kesik bir zaman diliminde olabildiği gibi yıllık bir oran olarak da bulunabilir. Finansal opsiyonlardan gerçek opsiyonlara bir benzeştirme yaptığımızda da görülür ki; rakiplerin piyasaya girmesi ya da çekilmesi projenin karlılığını etkiler. Dolayısıyla fiyatlamalarda temettü oranı çok etkili bir değişkendir.

3.1.1 Temettüsüz Black-Scholes fiyatlama modeli

Öncelikle temettüsüz gerçek opsiyonun sıfır anındaki değerini Black-Scholes formülleriyle verelim:

$$GOD = S_0 N(d_1) - Xe^{-rT} N(d_2) \quad (3.1)$$

eşitlikte;

$$d_1 = \frac{\ln(S_0/X) + (r + \sigma^2/2)T}{\sigma\sqrt{T}}, \quad (3.2)$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T} \quad (3.3)$$

burada GOD, gerçek opsiyonun değerini; S_0 , beklenen nakit akışlarının şimdiki değerini; X , (nominal) sabit yatırım maliyetlerini; σ , beklenen nakit akışlarının belirsizliğini; $N(.)$, kümülatif standart normal dağılımı; T , opsiyonun vade bitim süresi; r ise risksiz bir varlığın yıllık sürekli bileşik faiz oranını göstermektedir.

3.1.2 Temettülü Black-Scholes fiyatlama modeli

Belirli bir temettü oranına sahip; yani rakiplerin piyasaya girişlerini ve projenin nakit akışlarını hangi oranda azaltacağını bildiğimiz durumdaki gerçek opsiyonun, sıfır anındaki değerini Black-Scholes formülleriyle verelim:

$$GOD = S_0 e^{-\delta T} N(d_1) - X e^{-rT} N(d_2) \quad (3.4)$$

eşitlikte;

$$d_1 = \frac{\ln(S_0/X) + (r - \delta + \sigma^2/2)T}{\sigma\sqrt{T}}, \quad (3.5)$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T} \quad (3.6)$$

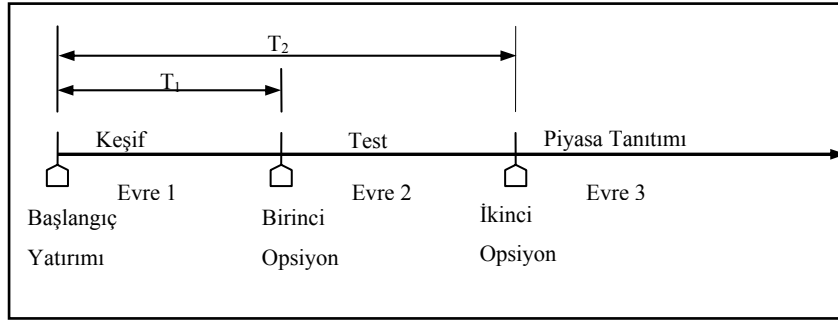
Yukarıda verilen terimlere ek olarak açıklanması gereken δ değişkeni vardır: opsiyonun süresi boyunca oluşan değer kaybını gösterir. Bu da piyasaya girebilecek ya da ayrılacak rakiplere göre değer kaybına yol açar ya da değer kazancı sağlar.

3.1.3 Bileşik gerçek opsiyonların Black-Scholes fiyatlama modeli ile değerlendirilmesi

Bu tezin konusu olan Ar-Ge projelerinde, yazılım geliştirme projelerinde v.b. projelerde uygulanan yöntem çok aşamalıdır. Opsiyon üzerine opsiyon yazılan bu çok aşamalı opsiyonlar, Geske-Johnson opsiyonları olarak da bilinen bileşke opsiyonlardır [12], [13]. Gerçek opsiyonlarda temettü oranlı kullanımı ise aşağıdaki gibidir:

Burada C_i , $i=1, 2, 3$ evreleri için yatırım maliyetinin şimdiki değeri ve S_0 ise piyasa tanıtımı yapıldıktan sonra projenin sağlayacağı gelirin şimdiki değeri olsun. Şekil

3.1’de görüldüğü üzere proje için birinci ve ikinci opsiyonların vade bitim süreleri sırasıyla T_1 ve T_2 olsun.



Şekil 3.1 : Ar-Ge Projeleri için bileşke opsiyon yaklaşımı.

$$GOD = S_0 e^{-\delta T_2} M(u_1; v_1; \sqrt{T_1/T_2}) - C_3 e^{-r T_2} M(u_2; v_2; \sqrt{T_1/T_2}) - C_2 e^{-r T_1} N(u_2) \quad (3.7)$$

burada

$$u_1 = \frac{\ln[S_0 / S^c] + (r - \delta + \sigma^2 / 2)T_1}{\sigma \sqrt{T_1}}, \quad (3.8)$$

$$u_2 = u_1 - \sigma \sqrt{T_1}, \quad (3.9)$$

$$v_1 = \frac{\ln[S_0 / C_3] + (r - \delta + \sigma^2 / 2)T_2}{\sigma \sqrt{T_2}}, \quad (3.10)$$

$$v_2 = v_1 - \sigma \sqrt{T_2}, \quad (3.11)$$

Bu eşitliklerde temettü kârı, δ ile; faiz oranı, r ile; proje getirisinin oynaklığı, σ ile; birikimli normal dağılım, N ile; u ve v alt ve üst integral limit değerlerine sahip iki değişkenli birikimli normal dağılım, $M(u, v, \rho)$ ile; ve son olarak bağıntı katsayısı, ρ ile gösterilmiştir.

Proje getirisinin risk yansız beklentisi Eşitlik 3.7’nin ilk teriminde verilmiştir. İkinci terim, T_2 anındaki beklenen yatırımı gösterirken, sonuncu terim, T_1 anındaki beklenen yatırımı göstermektedir. Proje nakit akışlarındaki değişimin oranı olan oynaklık σ ile ifade edilmektedir. Temettü kârı δ ise, C_1 / S_0 ifadesiyle hesaplanır.

S^c kritik değerini aşağıdaki eşitlikten enterpolasyonla buluruz.

$$S^c e^{-\delta(T_2 - T_1)} N(c_1) - C_3 e^{-r(T_2 - T_1)} N(c_2) - C_2 = 0 \quad (3.12)$$

burada

$$c_1 = \frac{\ln[S^c / C_3] + (r - \delta + \sigma^2 / 2)(T_2 - T_1)}{\sigma \sqrt{T_2 - T_1}}, \quad (3.13)$$

$$c_2 = c_1 - \sigma \sqrt{T_2 - T_1}. \quad (3.14)$$

Black-Scholes yöntemi ile fiyatlama, getirilen birçok eleştiriye karşın hızlı, etkin ve kesin sonuçlar ürettiği için ağırlıkla tercih edilir.

3.2 Kafes (Lattice) Fiyatlama Modelleri

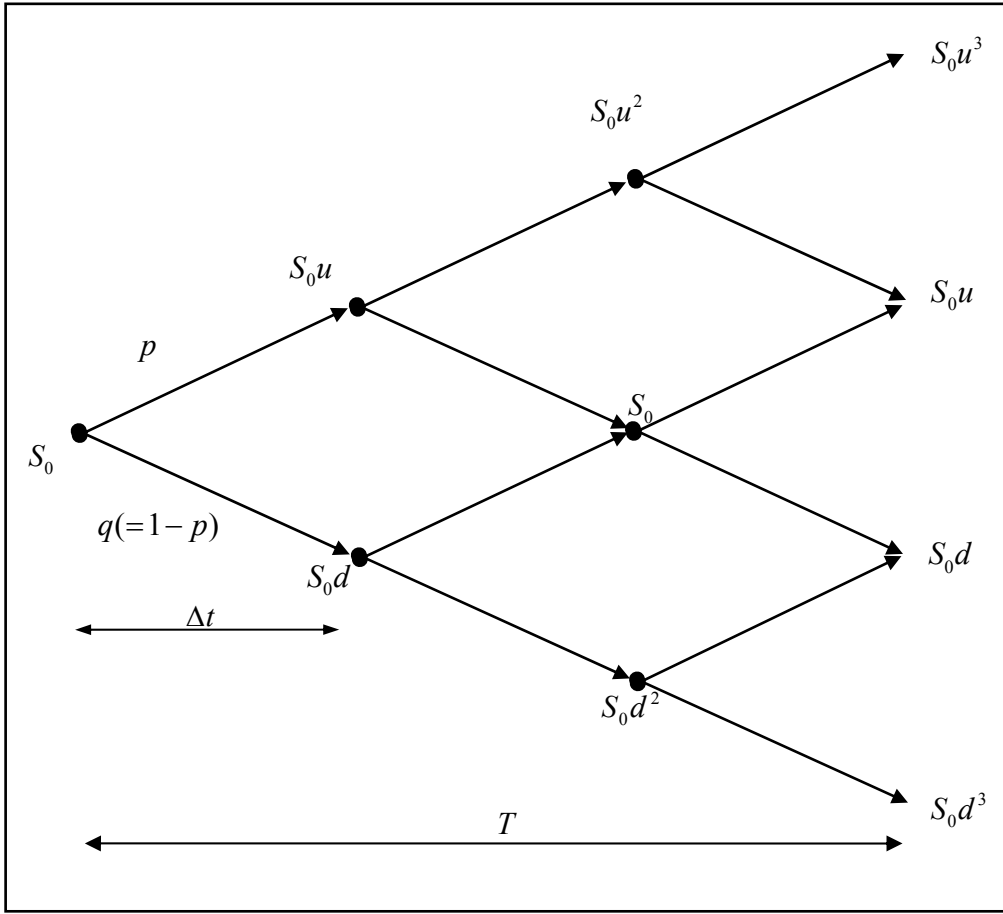
Gerçek opsiyon değerlemenin ikinci ve daha sonra geliştirilen yöntemi de kafes modellerdir. Kafes modeller karar vericiye kararın alındığı zaman konusunda esneklik sağlar. Yani Amerikan tipi alım ya da satım opsiyonlarının değerlemesinde kullanılır. Black-Scholes yöntemine getirilen eleştirilerden en önemlisi de bu noktadadır. Black-Scholes, Avrupa tipi alım ya da satım opsiyonlarının değerlemesinde kullanılır. Fakat gerçek opsiyonlarda karar, doğaları gereği sadece vade bitiminde olmayacağından değerlemede en iyi yöntem kafes yöntemleridir. Ayrıca Black-Scholes yöntemi kapalı kutu yöntemi olarak bilinmektedir. Karar alımının herhangi bir aşamasındaki değerlemeyi göstermemektedir. Şimdi sırasıyla en basitinden başlamak üzere, kafes modellerini tek tek bir sonraki bölümde inceleyelim.

3.2.1 Binomial kafes modeli

Finansal opsiyonların değerlemesinde kullanılan yararlı ve popüler bir teknik olan binomial kafes modeli, binomial ağaç oluşturularak elde edilir. Hissenin opsiyon süresi boyunca izleyebileceği değişik yolları gösteren diyagrama binomial ağaç diyagramı adı verilir. Cox, Ross ve Rubinstein [11] tarafından 1979 yılında geliştirilen değerlendirme tekniği bu yöntemin asıl kaynağıdır. Temettü ödemesi olan Amerikan tipi gerçek opsiyonlara uygulanan genelleştirilmiş formülleri ve ağaç diyagramı aşağıdaki gösterilmiştir.

Binomial kafes yöntemiyle bulunan gerçek opsiyon değeri için oluşturulan diyagramlardan ilki olan S_0 için binomial ağaç diyagramı Şekil 3.2’de gösterilmiştir.

Burada p , her bir düğümde hissenin yani gerçek opsiyonlar için taban varlığın



Şekil 3.2 : S_0 için oluşturulan binomial ağaç diyagramı.

(projenin ya da yatırımın) değerinin yukarı gitme olasılığı, q , aşağı gitme olasılığı ve Δt ise zaman adımının uzunluğu (6 ay ya da 1 yıllık) olsun. Δt toplam zaman uzunluğunun (T), aralık sayısına (N) bölümüyle bulunur. Temettü ödemesi olan taban bir varlığı ele aldığımızda, ortalama ve değer değişimindeki standart sapmaya karşılık gelen değişken değerleri aşağıdaki gibidir [2] (açıklanmayan değişkenler Bölüm 3.1'dekilerle aynıdır):

$$a = e^{(r-\delta)\Delta t} \quad (3.15)$$

$$\Delta x = \sigma \sqrt{\Delta t} \quad (3.16)$$

$$u = e^{\Delta x} \quad (3.17)$$

$$d = 1 \div u \quad (3.18)$$

$$p = \frac{a-d}{u-d} \quad (3.19)$$

Sıfır anında, beklenen nakit akışlarının şimdiki değeri olan S_0 değeri bilinmektedir. Δt anında iki olası S_0 değeri vardır: S_0u ve S_0d ; $2\Delta t$ anında üç olası S_0 değeri vardır: S_0u , S_0 ve S_0d , ve bu şekilde devam etmektedir. Genel olarak $i\Delta t$ anında ise $i+1$ adet S_0 değeri bulunacaktır. Bunlar:

$$S_{i,j} = S_0(1-\delta)u^j d^{i-j}, j = 0, 1, \dots, i \quad (3.20)$$

Şekil 3.2'deki ağaç diyagramında yapılan S_0 hesaplamalarında $u = 1 \div d$ eşitliğinin uygulandığına dikkat etmek gerekir. Örneğin, $S_0u^{-2} = S_0d^2$. Kafes yöntemleriyle gerçek opsiyon değerlemeleri ağaç diyagramının sonundaki düğümlerden (T anındaki) başlar ve geriye doğru hesaplamalar yapılarak sonuç bulunur. T anındaki gerçek opsiyon değerleri bilinmektedir. Yaklaşımı cebirsel olarak açıklarsak: gerçek opsiyonun vade bitim tarihindeki değerinin maks.(0, $S_{i,j} - X$), olduğunu bildiğimizden, T anındaki gerçek opsiyon değeri aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$C_{T,j} = \text{maks.}(0, S_{T,j} - X), j = 0, 1, \dots, T \quad (3.21)$$

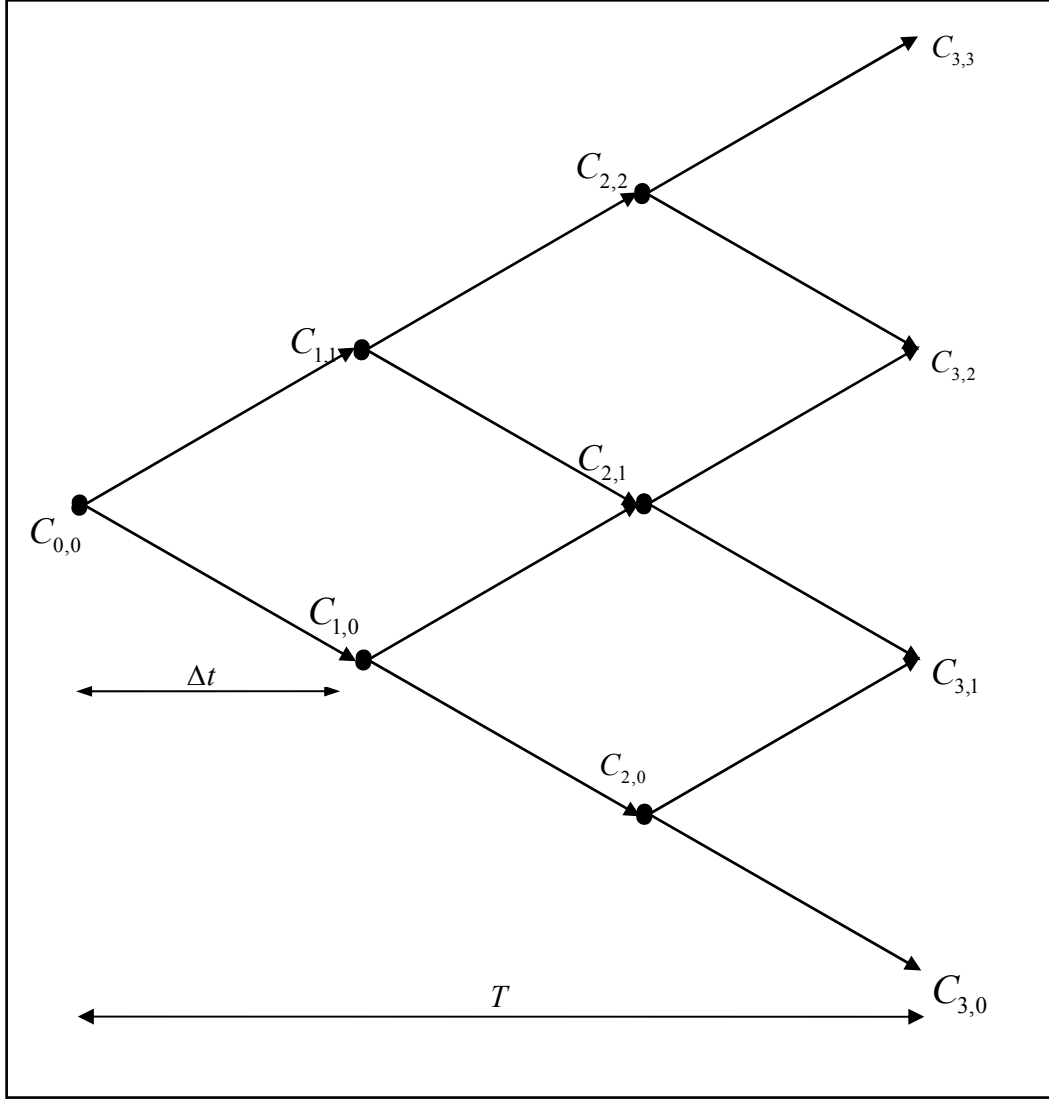
$C_{T,j}$ değerlerini 3.21 eşitliğiyle hesapladıktan sonra (erken opsiyon kullanımı olmadığı durumda), her bir düğüm için gerekli olan $C_{i,j}$ değerleri aşağıdaki formülle geriye doğru indüksiyon yöntemiyle bulunabilir:

$$C_{i,j} = e^{-r\Delta t} [pC_{i+1,j+1} + qC_{i+1,j}] \quad (3.22)$$

$0 \leq i \leq T-1$ ve $0 \leq j \leq i$ değerleri için. Erken opsiyon kullanımı olduğu düşünüldüğünde bulunan bu $C_{i,j}$ değeri opsiyonun esas değeri ile kıyaslanmalıdır:

$$C_{i,j} = \text{maks.} \{ e^{-r\Delta t} [pC_{i+1,j+1} + qC_{i+1,j}], S_{i,j} - X \} \quad (3.23)$$

Şekil 3.3'de ise geriye doğru hesaplama yöntemiyle elde edilen her bir düğümdeki opsiyon değerleri görülmektedir.



Şekil 3.3 : Gerçek opsiyon binomial ağaç diyagramı.

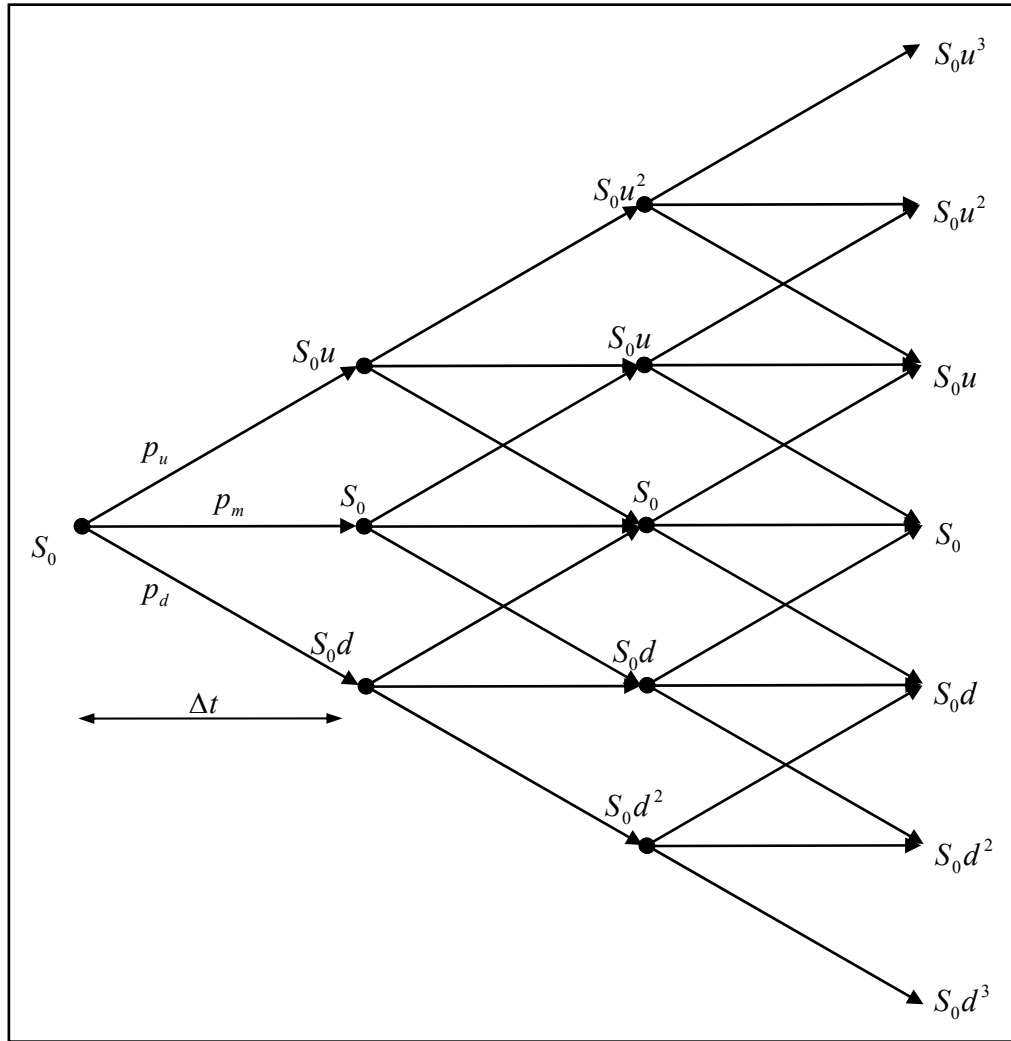
3.2.2 Trinomial kafes modeli

Binomial ağaç yöntemi geliştirildikten sonra daha karmaşık durumların ifade edilebildiği trinomial ağaç yöntemi geliştirilmiştir.

Aynı sayıda adımlar için trinomial ağaç yöntemi, sürekli zaman süreçleri için binomial ağaç yönteminden daha iyi yaklaşımlar elde etmektedir. Trinomial ağaç yöntemi daha tekrarlı ve düzgün bir ızgara yapısına sahip olduğundan kolay bir yöntemdir. Zaman değişkenli oynamalara ve oynaklık parametrelerinin değişimine izin verdiği için daha esnektir [14].

Bu bölümde Clewlow ve Strickland'ın aktardıkları yaklaşımla trinomial ağaç yönteminin genel halini göreceğiz [14]. Trinomial ağaç yaklaşımı, aşıkâr sonlu

farklar yöntemine ([15] tarafından tanıtılmıştır) denktir ve Şekil 3.4’de gösterilmiştir. Anlaşılabilirlik amacıyla, Bölüm 3.2.1’deki gösterim sistemi aynen kullanılmıştır. Varsayalım ki; p_u , p_m , ve p_d sırasıyla her bir düğüm için yukarı gitme, aynı kalma, aşağı gitme hareketlerinin olasılıkları olsun ve Δt ise zaman adımının uzunluğu (6 ay ya da 1 yıllık) olsun. Δt toplam zaman uzunluğunun (T), aralık sayısına (N) bölümüyle bulunur. Temettü ödemesi olan taban bir varlığı ele aldığımızda, ortalama ve değer değişimindeki standart sapmaya karşılık gelen değişken değerleri aşağıdaki gibidir [14] (açıklanmayan değişkenler Bölüm 3.1’dekilerle aynıdır):



Şekil 3.4 : S_0 için oluşturulan trinomial ağaç diyagramı.

$$v = r - \delta - \frac{1}{2}\sigma^2 \quad (3.24)$$

$$\Delta x = \sigma\sqrt{3\Delta t} \quad (3.25)$$

$$u = e^{\Delta x} \quad (3.26)$$

$$d = 1 \div u \quad (3.27)$$

$$p_u = \frac{1}{2} \left(\frac{\sigma^2 \Delta t + v^2 \Delta t^2}{\Delta x^2} + \frac{v \Delta t}{\Delta x} \right) \quad (3.28)$$

$$p_m = 1 - \frac{\sigma^2 \Delta t + v^2 \Delta t^2}{\Delta x^2} \quad (3.29)$$

$$p_d = \frac{1}{2} \left(\frac{\sigma^2 \Delta t + v^2 \Delta t^2}{\Delta x^2} - \frac{v \Delta t}{\Delta x} \right) \quad (3.30)$$

Trinomial ağaç kafesleri için hesaplamalar binomial ağaç kafeslerine benzerdir. Sıfır anında, beklenen nakit akışlarının şimdiki değeri olan S_0 değeri bilinmektedir. Δt anında üç olası S_0 değeri vardır: $S_0 u$, S_0 , ve $S_0 d$; $2 \Delta t$ anında beş olası S_0 değeri vardır: $S_0 u^2$, $S_0 u$, S_0 , $S_0 d$, ve $S_0 d^2$, ve bu şekilde devam etmektedir. Genel olarak $i \Delta t$ anında ise $2i+1$ adet S_0 değeri bulunacaktır. Bunlar:

$$S_{i,j} = S_0 (1 - \delta) u^j, \quad j = -i, \dots, 0, \dots, i \quad (3.31)$$

Şekil 3.4'deki ağaç diyagramında yapılan S_0 hesaplamalarında $u = 1 \div d$ eşitliğinin uygulandığına dikkat etmek gerekir. Örneğin, $S_0 u^{-2} = S_0 d^2$. Yaklaşımı cebirsel olarak açıklarsak: gerçek opsiyonun vade bitim tarihindeki değerinin maks.(0, $S_{i,j} - X$), olduğunu bildiğimizden, T anındaki gerçek opsiyon değeri aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$C_{T,j} = \text{maks.}(0, S_{T,j} - X), \quad j = -T, \dots, 0, \dots, T \quad (3.32)$$

$C_{T,j}$ değerlerini 3.32 eşitliğiyle hesapladıktan sonra (erken opsiyon kullanımı olmadığı durumda), her bir düğüm için gerekli olan $C_{i,j}$ değerleri aşağıdaki formülle geriye doğru indüksiyon yöntemiyle bulunabilir:

$$C_{i,j} = e^{-r \Delta t} [p_u C_{i+1,j+1} + p_m C_{i+1,j} + p_d C_{i+1,j-1}] \quad (3.33)$$

$0 \leq i \leq T-1$ and $-i \leq j \leq i$ değerleri için. Erken opsiyon kullanımı olduğu düşünüldüğünde bulunan bu $C_{i,j}$ değeri opsiyonun esas değeri ile kıyaslanmalıdır:

$$C_{i,j} = \text{maks.} \{ e^{-r \Delta t} [p_u C_{i+1,j+1} + p_m C_{i+1,j} + p_d C_{i+1,j-1}], S_{i,j} - X \} \quad (3.34)$$

3.3 Benzetime Dayalı Fiyatlandırma Modeli

Gerçek opsiyon değerlemesinde yola bağlı opsiyonlarda ve birden fazla stokastik değişken olduğu durumlarda kullanılan bir yöntem Monte Carlo benzetim yöntemidir. Bir önceki bölümlerden de gördüğümüz üzere Amerikan tipi opsiyonları değerlendirme de kullanılan yöntemlerden kafesler ve sonlu farklar yöntemi en uygun yöntemlerdir. Fakat opsiyonun yola bağlı ve Amerikan tipi olması durumunda ya da Amerikan tipi opsiyonun birden fazla değişkene bağlı olması durumunda; bu yöntemler işlememektedir. Taban varlığın fiyatının izlediği yola bağlı geri ödeme olduğu duruma yola bağlı türev enstrüman denir. Asıl türev enstrümanlarda ise bu taban varlığın fiyatına bağlıdır. Anlatılan iki duruma karşılık geliştirilen ağaç yöntemleri olmasına rağmen Monte Carlo benzetim yöntemi daha iyi çözüm sunmaktadır. Tilley, Amerikan tipi finansal opsiyonları benzetim yöntemiyle çözen ilk araştırmacıdır [16]. Daha sonra Schwartz ve Moon kendi yaklaşımlarını Amazon.com değerlemesinde kullanmışlardır [17]. Longstaff ve Schwartz ise en küçük kareler yöntemini kullanarak opsiyonları değerlemişlerdir [18]. Erken opsiyon kullanımı söz konusu olduğu durumdaki her bir değişkenle ilintili değerlemelerle, opsiyonu sürdürme değerlemesi arasındaki en iyi uyum ilişkisini göze alan bir yöntemdir. Geçmiş veriler elde edilerek erken kullanımda oluşabilecek fiyatlamalar değerlendirilerek karar verilir. Öncelikle opsiyonu T zamanında erken kullandığımız durum için aşağıdaki eşitlikteki değişkenler bulunur:

$$V = a + bS_0 + cS_0^2 \quad (3.35)$$

Daha sonra sıfır anına kadar geri giderek bu eşitliğin her bir zamandaki değişkenleri bulunur ve en son olarak 0 anındaki değeri bulunarak Amerikan opsiyonun o anki piyasa değerine bakılır. Eğer bulunan değer, opsiyonun değerinden büyükse opsiyonu erken kullanmak optimum çözüm değildir denir (tabi ki bu durum satım opsiyonu için geçerlidir, alım opsiyonu durumunda tam tersi ilişki söz konusudur).

4. BULANIKLIK ALTINDA GERÇEK OPSİYON DEĞERLEME MODELLERİ

Literatürde, yeterli bilginin bulunmadığı durumlara yönelik bulanık gerçek opsiyon değerlendirme modelleri (BUGOD) geliştirilmiştir. İlk olarak, Carlsson ve Fullér [19] bulanık durumda sezgisel gerçek opsiyon değerlemesi süreci geliştirmiştir. Çalışmalarında, beklenen maliyetlerin ve beklenen nakit akışlarının şimdiki değerleri yamuk bulanık sayılarla ifade edilmiştir. Opsiyonu en uygun gerçekleştirme zamanını olası ortalama değeri ve varyans yardımı ile belirlemişlerdir. Wang ve Hwang [20] bulanık sıfır-bir tamsayılı programlamayı en uygun Ar-Ge portföy seçiminde kullanmışlardır. Ar-Ge proje seçimi probleminde BUGOD ile bulanık karışık tamsayılı programlama modeli kullanımı, Carlsson ve diğ. [20] tarafından geliştirilmiştir. Bir şirkette, en uygun Ar-Ge projesi seçimi için karar destek niteliğinde olabilecek yönergelerini çalışmalarında tartışmışlardır.

Öncelikle bulanık sayıları inceleyelim, ardından bulanık gerçek opsiyon değerlendirme yöntemlerini tek tek ele alalım.

4.1 Bulanık Kümeler

Bulanık küme teorisi, faaliyetlerin tanımının belirsiz, muğlak ve şüpheli olduğu durumlardaki problemleri çözmek için ortaya konmuş bir teoridir. Bulanık terimi, iyi tanımlanmış sınırları olmayan faaliyet kümelerini ya da gözlemleri betimler. Örnek olarak bir kişi 90 kilo ağırlığa sahip bir insanı şişman kabul ederken, bir diğeri 80 kiloluk bir insanı şişman sınıfına yerleştirebilir. Şişman teriminin kesin sınırları olan bir terim olmamasından kaynaklanan bir bulanıklıktır. Bulanıklığın bu tanımı günlük hayatımızda her an, her sınıflamada karşımıza çıkmaktadır: pahalı motosikletler sınıfı, uzun kişiler sınıfı, sıcak hava sınıfı, sayı olarak 5'e yakınlık sınıfı vb. Bu tür sınıflar klasik küme teorisinde yapılamamaktadır. Klasik kümede bir cisim kümenin içinde ya da dışındadır. Bir kısmının kümeye ait olma olasılığı diye bir şey söz konusu değildir.

Bu tür zorlukların üstesinden gelmek için Zadeh, 1965 yılında bulanık küme teorisini geliştirmiştir. Bir bulanık küme bölünmemiş üyelik derecelerinden oluşan cisimler kümesidir [23]. Her bir cisme atanan bir üyelik derecesi ile bir üyelik fonksiyonu, her bir bulanık küme ile ilişkilendirilmiştir. Üyelik dereceleri genellikle $[0, 1]$ arasındadır. Bir cismin üyelik derecesi 1 ise o cisim kesinlikle o kümenin üyesidir denir. Eğer sıfırsa kesinlikle o kümeden değildir denir. Diğer durumlarda da o oranda o kümeye üye olma olabilirliğini göstermektedir ve 0 ile 1 arasında bir sayı alır. Aşağıda bir bulanık kümenin tanımı yer almaktadır [22]:

Diyelim ki X , cisimlerin bir klasik kümesi, cinsle ilgili bileşenleri x olsun ve evrensel küme olarak adlandırılınsın. Yani $X = \{x\}$. X 'de yer alan bir $\tilde{A}$ bulanık kümesi, $\mu_{\tilde{A}}(x)$ üyelik fonksiyonu ile nitelensin. Bu küme X 'de yer alan her bir bileşeni $[0, 1]$ aralığında yer alan gerçek sayıyla eşleştirmektedir. Bulanık küme, $\tilde{A}$, genellikle aşağıdaki gibi çift terimli gösterilir:

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)), x \in X\} \quad (4.1)$$

Klasik kümenin gösterimi ise,

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{ancak ve ancak } x \in A, \\ 0, & \text{ancak ve ancak } x \notin A. \end{cases} \quad (4.2)$$

$X, \{x_1, \dots, x_n\}$ şeklinde bir sonlu küme ise, X üzerindeki bulanık küme aşağıdaki gibi gösterilebilir [24], [25]:

$$\tilde{A} = \sum_{i=1}^n x_i / \mu_{\tilde{A}}(x_i). \quad (4.3)$$

X sonsuz bir küme ise, X üzerindeki bulanık küme aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$\tilde{A} = \int_x x / \mu_{\tilde{A}}(x) \quad (4.4)$$

Bir sonraki bölümde ise bulanık sayılar incelenecektir.

4.2 Bulanık Sayılar

Bulanık sayılar bulanık kümelerin özel bir bölümüdür. Bir bulanık sayı, sürekli, yoğun desteklenmiş ve dışbükey üyelik fonksiyonuna sahip gerçek sayılar kümesinin bir R bulanık kümesidir.

Diyelim ki X , bir evrensel küme olsun; X 'in bulanık bir alt kümesi $\tilde{A}$, $\mu_{\tilde{A}}(.) : X \rightarrow [0,1]$ fonksiyonuyla tanımlansın ve bu fonksiyon üyelik fonksiyonu olarak adlandırılınsın. Bu noktadan sonra X , gerçek sayıların R kümesi olarak kabul edilecektir ve F bulanık kümelerin uzayı olarak varsayılacaktır.

$\tilde{A} \in F$ bulanık kümesi, ancak ve ancak aşağıdaki şartları sağlarsa bir bulanık sayıdır:

- i. $\forall \alpha \in [0,1]$, $\tilde{A}$ 'nın α -kesimi olarak adlandırılan $A^\alpha = \{x \in R : \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha\}$ kümesi, bir dışbükey kümedir.
- ii. $\mu_{\tilde{A}}(.)$ bir üst yarı sürekli fonksiyondur.
- iii. $\text{destek}(\tilde{A}) = \{x \in R : \mu_{\tilde{A}}(x) \geq 0\}$ R 'de sınırlandırılmış bir kümedir.
- iv. $\text{yüks.}(\tilde{A}) = \max_{x \in X} \mu_{\tilde{A}}(x) = h \geq 0$.

i ve ii koşulları gereğince, her bir α -kesimi, R 'nin yoğun ve dışbükey alt kümesidir, bu yüzden R 'de kapalı bir aralıktır, $A^\alpha = [A_L(\alpha), A_R(\alpha)]$. Eğer $h = 1$ ise bulanık sayının normal bulanık sayı olduğunu söyleriz; normal bulanık sayıları NBS kısaltması ile gösteririz. Bu noktadan sonra kullanılan bütün bulanık sayılar da NBS olacaktır.

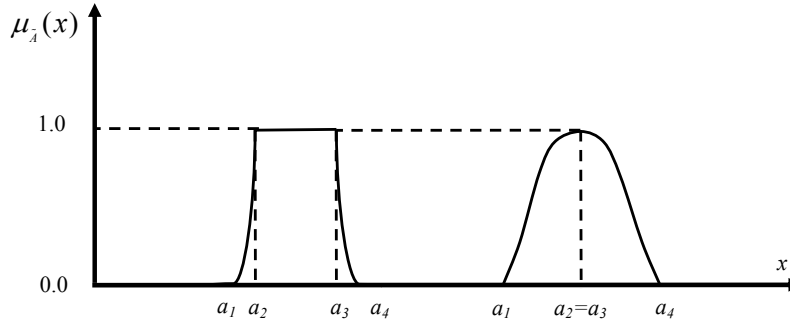
Bundan sonraki tanımlarda da aynı şekilde kullanılacak bir bulanık sayıyı şu şekilde gösterelim: $\tilde{A} = (a_1; a_2; a_3; a_4)$, $a_1 \leq a_2 \leq a_3 \leq a_4$.

Bulanık literatürde sonraki bölümlerde ifade edildiği gibi 3 tür bulanık sayı vardır; sol-sağ bulanık sayılar, yamuk bulanık sayılar ve üçgen bulanık sayılar.

4.2.1 Sol-Sağ bulanık sayılar

$\tilde{A}$ bulanık sayısı, $\tilde{A} = (a_1; a_2 = a_3; a_4)_{LR}$, $a_1 \leq a_2 = a_3 \leq a_4$, Sol-Sağ bulanık sayı olarak adlandırılır; eğer üyelik fonksiyonu $\mu_{\tilde{A}}(x) : R \rightarrow [0, 1]$, aşağıdaki denkleme eşitse:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} L\left(\frac{a_2 - x}{a_2 - a_1}\right) & x \in (a_1, a_2] \\ R\left(\frac{x - a_3}{a_4 - a_3}\right) & x \in (a_3, a_4] \\ 0 & \text{diğer} \end{cases} \quad (4.5)$$



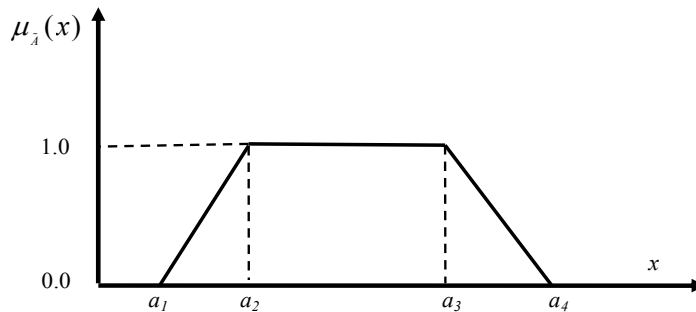
Şekil 4.1 : L-R türü bulanık sayılara iki farklı örnek.

burada L sol biçim fonksiyonunu, R ise sağ biçim fonksiyonunu göstermektedir ve bu fonksiyonlar sürekli ve $R \rightarrow [0, 1]$ 'e azalan fonksiyonlardır, öyle ki $L(0) = R(0) = h > 0$ ve $L(1) = R(1) = 0$. $a_2 = a_3$ değeri, $\tilde{A}$ 'nın tepe değerine karşılık gelmektedir. Şekil 4.1'de bu tür bulanık sayılara iki farklı örnek verilmiştir.

4.2.2 Yamuk bulanık sayılar

$\tilde{A}$ bulanık sayısı, $\tilde{A} = (a_1; a_2; a_3; a_4)$, $a_1 \leq a_2 \leq a_3 \leq a_4$, yamuk bulanık sayı olarak adlandırılır; eğer üyelik fonksiyonu $\mu_{\tilde{A}}(x) : R \rightarrow [0, 1]$, aşağıdaki denkleme eşitse:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} \frac{x-a_1}{a_2-a_1} & x \in (a_1, a_2) \\ 1 & x \in [a_2, a_3] \\ \frac{a_4-x}{a_4-a_3} & x \in (a_3, a_4) \\ 0 & \text{diğer} \end{cases} \quad (4.6)$$



Şekil 4.2 : Yamuk bulanık sayı.

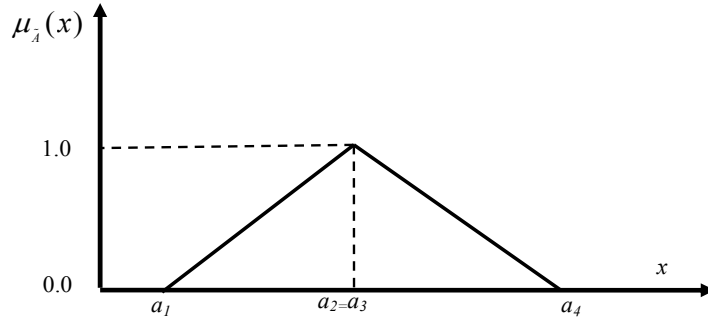
Bir örneği Şekil 4.2'de gösterilmiştir.

4.2.3 Üçgen bulanık sayılar

$\tilde{A}$ bulanık sayısı, $\tilde{A} = (a_1; a_2 = a_3; a_4)$, $a_1 \leq a_2 = a_3 \leq a_4$, üçgen bulanık sayı olarak adlandırılır; eğer üyelik fonksiyonu $\mu_{\tilde{A}}(x) : R \rightarrow [0,1]$, aşağıdaki denkleme eşitse:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} \left(\frac{x-a_1}{a_2-a_1} \right) & x \in (a_1, a_2] \\ \left(\frac{a_4-x}{a_4-a_3} \right) & x \in [a_3, a_4) \\ 0 & \text{diğer} \end{cases} \quad (4.7)$$

Bir örneği Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3 : Üçgen bulanık sayı.

4.3 Bulanık Sayılarla İşlemler

Bulanık sayılarla işlemler bulanık sayının ifade edilme biçimine göre değişmekte fakat genel olarak bir farklılık olmamaktadır. Burada genel haliyle işlemler ele alınacaktır ve yamuk bulanık sayıların özel bir hali olan üçgen bulanık sayıları da içeren yamuk bulanık sayılarda işlemler incelenecektir:

Diyelim ki $\tilde{A}$, $\tilde{A} = (a_1; a_2; a_3; a_4)$ şeklinde, $\tilde{B}$ ise $\tilde{B} = (b_1; b_2; b_3; b_4)$ şeklinde yamuk iki bulanık sayı olsun. Basit işlemler aşağıdaki eşitliklerde verildiği gibidir:

$$\tilde{B}'\text{'nin görüntüsü: } -\tilde{B} = (-b_4; -b_3; -b_2; -b_1) \quad (4.8)$$

$$\tilde{B}'\text{'nin tersi: } \tilde{B}^{-1} = \left(\frac{1}{b_4}; \frac{1}{b_3}; \frac{1}{b_2}; \frac{1}{b_1} \right) \quad (4.9)$$

$$\text{Toplama: } \tilde{A} \oplus \tilde{B} = (a_1 + b_1; a_2 + b_2; a_3 + b_3; a_4 + b_4) \quad (4.10)$$

$$\text{Çıkarma: } \tilde{A} \ominus \tilde{B} = (a_1 - b_4; a_2 - b_3; a_3 - b_2; a_4 - b_1) \quad (4.11)$$

$$\text{Skaler Çarpım: } \forall k > 0, k \in R : k \otimes \tilde{A} \cong (ka_1; ka_2; ka_3; ka_4) \quad (4.12)$$

$$\forall k < 0, k \in R : k \otimes \tilde{A} \cong (ka_4; ka_3; ka_2; ka_1) \quad (4.13)$$

$$\text{Çarpım: } \tilde{A} > 0, \tilde{B} > 0 : \tilde{A} \otimes \tilde{B} \cong (a_1 \times b_1; a_2 \times b_2; a_3 \times b_3; a_4 \times b_4) \quad (4.14)$$

$$\tilde{A} < 0, \tilde{B} > 0 : \tilde{A} \otimes \tilde{B} \cong (b_1 \times a_4; b_2 \times a_3; b_3 \times a_2; b_4 \times a_1) \quad (4.15)$$

$$\tilde{A} < 0, \tilde{B} < 0 : \tilde{A} \otimes \tilde{B} \cong (a_4 \times b_4; a_3 \times b_3; a_2 \times b_2; a_1 \times b_1) \quad (4.16)$$

$$\text{Bölüm: } \tilde{A} > 0, \tilde{B} > 0 : \frac{\tilde{A}}{\tilde{B}} = \left(\frac{a_1}{b_4}; \frac{a_2}{b_3}; \frac{a_3}{b_2}; \frac{a_4}{b_1} \right) \quad (4.17)$$

$$\tilde{A} < 0, \tilde{B} > 0 : \frac{\tilde{A}}{\tilde{B}} = \left(\frac{a_4}{b_4}; \frac{a_3}{b_3}; \frac{a_2}{b_2}; \frac{a_1}{b_1} \right) \quad (4.18)$$

$$\tilde{A} < 0, \tilde{B} < 0 : \frac{\tilde{A}}{\tilde{B}} = \left(\frac{a_4}{b_1}; \frac{a_3}{b_2}; \frac{a_2}{b_3}; \frac{a_1}{b_4} \right) \quad (4.19)$$

Ek olarak bulanık bir $\tilde{A}$ sayısının olabilirlik ortalama değeri ve varyansı aşağıdaki eşitliklerle hesaplanabilir [19]:

$$E(\tilde{A}) = \frac{a_2 + a_3}{2} + \frac{a_1 + a_4 - a_2 - a_3}{6}, \quad (4.20)$$

$$\sigma^2(\tilde{A}) = \frac{(a_3 - a_2)^2}{4} + \frac{(a_3 - a_2)(a_2 + a_4 - a_1 - a_3)}{6} + \frac{(a_2 + a_4 - a_1 - a_3)^2}{24}. \quad (4.21)$$

4.4 Bulanık Sayıların Kıyaslanması

Karar verme alanında çok geniş bir kullanıma sahip olan bulanık sayıların kıyaslanması, bulanık küme teorisinde fazlasıyla incelenmiştir. Bir karar verme probleminde elde edilen bulanık sayıları sıralamak zorunluluktur. Sıralama yöntemleri 3 sınıfa ayrılabilir. İlk sınıftaki yöntem, her bir bulanık sayıyı kesin gerçek sayıya dönüştürüp sıralarken, ikinci sınıftakiler bir bulanık sayıyı kalan $n-1$ adet bulanık sayıyla; pozitif gerçek sayıyla olan bağımlı elde etmek üzere kıyaslar. Üçüncü sınıftaki ise diğer ikisinden oldukça farklıdır. Öncelikle, bütün bulanık sayı çiftleri için karşılıklı kıyaslar ya da tercihler belirlenir ve sonra bu karşılıklı kıyaslar temel alınarak n adet bulanık sayının en son sıralamasına ulaşılır [26].

Bulanık sayıları sıralama üzerine incelemeler 70'li yılların erken döneminde başlamıştır. 1980 yılından beri de birçok araştırmacı bulanık sıralama yöntemlerini sınıflamışlardır. Öncelikle Freeling, sıralama yöntemleri için beş sınıf önermiştir: (a) uzatılmış maksimumu kullanan yöntemler; (b) çıkarım mantığını kullanan yöntemler; (c) tercih ilişkilerini kullanan yöntemler; (d) doğrudan kıyaslama yöntemleri ve (e) dilsel yaklaşımlar [27]. Bortolan ve Degani n bulanık kümeyi birim aralıkla sıralama problemiyle ilgilenmişlerdir [28]. Literatürde bulunan belirli sayıda yöntemi incelemişler ve seçilen örnekleri test etmişlerdir. Lee ve Li, matematiksel yaklaşımlara karşı dilsel yaklaşımları inceleyen geniş bir sıralama yöntemleri sınıflandırması yapmışlardır [29]. Anlatılan bu iki ve diğer sınıflamalardan, Chen ve diğ. 4 ana ve onların alt sınıfından oluşan bulanık sıralama yöntemleri sınıflaması yapmışlardır [22]: (i). Tercih ilişkili yöntemler (en uygunluk derecesi, hata mesafesi, α -kesimi, kıyas fonksiyonu), (ii). Bulanık ortalama ve dağılım yöntemi (olasılık dağılımı), (iii). Bulanık puantaj (ya da doğrudan kıyas) yöntemleri (en uygun oran, sol/sağ puanlar, merkezi endeks, alan ölçümü) ve (iv). Dilsel yöntemler (çıkartım, dilsel tahmin).

Bu ana ve alt sınıflandırmaya giren belli başlı bulanık sayılar sıralaması çalışmalarından devam eden paragraflarda kısaca bahsedilmiştir; En uygunluk derecesi yöntemini kullanan yaklaşımlar: Baas ve Kwakernaak [30], Watson ve diğ. [31], Baldwin ve Guild [32].

Hata mesafesi kullanan yaklaşımlar: Yager [33], Kerre [34], Nakamura [35], Kolodziejczyk [36], Tran ve Duckstein [37].

α -kesimi yöntemini kullanan yaklaşımlar: Adamo [38], Buckley ve Chanas [39], Mabuchi [40], Chen ve Lu [41].

Dubois ve Prade ise 4 adet kıyas indisinin çıkarımı için çeşitli kıyas fonksiyonlarını sırasıyla çalışmalarında incelemişlerdir: a) Baskınlık olabilirliği (PD), b) Tam baskınlık olabilirliği (PSD), c) Baskınlık zorunluluğu (ND) ve d) Tam baskınlık zorunluluğu (NSD) [42]. Bu indislerden bir ya da birkaçını birlikte kullanmak suretiyle araştırmacı sıralamayı elde edebilir. Benzer kıyas fonksiyonları üzerinde çalışan diğer araştırmacılar ise: Tsukamoto ve diğ. [43], Delgado ve diğ. [44].

Genelleştirilmiş ortalama ve standart sapma kullanan sıralama yöntemleri: Lee ve Li [29], Cheng [45], Murakami ve diğ. [46], Chu ve Tsao [47].

Belirlenmiş bulanık idealler kullanan yöntem: McCahone [48].

Sol ve sağ puanlar kullanan yöntemler: Jain [49], [50], Chen[51], Chen ve Hwang [52].

Merkezi indeks kullanan yöntemler: Yager [53], Murakami ve diğ. [46], Yong ve Qi [54], Yager [55].

Dilsel yaklaşımlar uygulayan yöntemler: Efstathiou ve Tong [56], Tong ve Bonissone [57], Modarres ve Sadi-Nezhad [58].

Yukarıda bahsi geçen yöntemler, Çizelge 4.1’de bu çalışmalara olan atıf sayısı ile birlikte kullandıkları yöntemler de gösterilmiştir. Atıf sayısı aralığı 1980 ila 2007 yılları arasında olan atıfları belirtmektedir. Daha çok yeni olan bazı çalışmalar atıf almadığı ya da diğer araştırmacılar tarafından keşfedilmediği için listeye alınmamıştır. Dolayısıyla, 2002 yılından önceki çalışmalar ele alınmıştır. Örneğin Yong ve Qi’nin [54] çalışması yer almamıştır.

Yapılan atıf sayısına göre sıralama, çalışmanın yapıldığı yılın eski olması itibariyle pek geçerli olmayabilir. Çalışmanın etkin olduğunu öne sürebilmek için çalışmanın başlangıcından itibaren bu yana yıl başına olan atıf indeksini hesaplamak gerekir. Yukarıdaki tabloda yapılan bu hesaba göre ilk beş sıra şu şekilde olup, bir sonraki bölümlerde tek tek ele alınacaktır: Dubois ve Prade’nin PD yöntemi, Yager’in ağırlıklı ortalama yöntemi, Yager’in alan ölçümü yöntemi, Chen’in bulanık maksimum ve minimum yöntemi, Baas ve Kwakernaak’ın koşullu bulanık küme yaklaşımı. Daha sonra da bizim çalışmalarımızda daha etkin ve basit olduğuna inandığımız Lee ve Li’nin bulanık ortalama ve sapma yöntemi incelenecektir.

Çizelge 4.1 : Sıralama yaklaşımlarının kullanım sıklıkları.

Araştırmacılar	BS türü	Sıralama yaklaşımı	Yapılan atıf sayısı	Yıl başına atıf sayısı	Sıra
Baas ve Kwakernaak (1977)	L-R Türü	en uygunluk derecesi	186	186/30=6,2	5
Watson ve diğ. (1979)	L-R Türü	en uygunluk derecesi	105	105/28=3,75	8
Baldwin ve Guild (1978)	L-R Türü	en uygunluk derecesi	3	3/29=0,1	28
Yager (1980a)	Yamuk, Üçgen	hata mesafesi	37	37/27=1,37	18
Kerre (1982)	L-R Türü	hata mesafesi	26	26/25=1,04	23
Nakamura (1986)	L-R Türü	hata mesafesi	58	58/21=2,76	13

Çizelge 4.1 (devam) : Sıralama yaklaşımlarının kullanım sıklıkları.

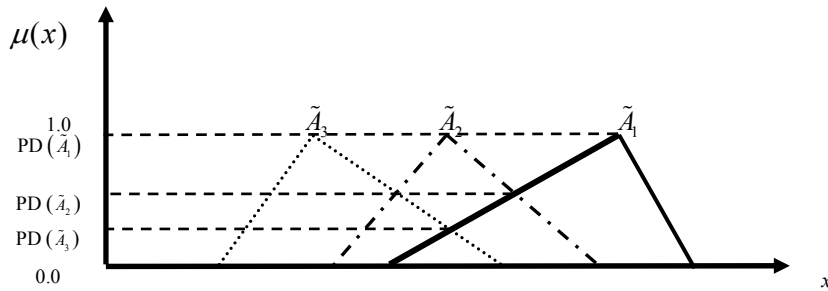
Araştırmacılar	BS türü	Sıralama yaklaşımı	Yapılan atıf sayısı	Yıl başına atıf sayısı	Sıra
Kolodziejczyk (1986)	L-R Türü	hata mesafesi	42	42/21=2	16
Tran ve Duckstein (2002)	L-R Türü	hata mesafesi	18	18/5=3,6	9
Adamo (1980)	Yamuk, Üçgen	α -kesimi	68	68/27=2,52	15
Buckley ve Chanas (1989)	Yamuk, Üçgen	α -kesimi	22	22/18=1,22	21
Mabuchi (1988)	Üçgen	α -kesimi	20	20/19=1,05	22
Chen ve Lu (2001)	L-R Türü	α -kesimi	8	8/6=1,33	19
Dubois ve Prade (1983)	Yamuk, Üçgen	kıyas fonksiyonu	189	189/24=7,87	1
Tsukamoto ve diğ. (1983)	Yamuk, Üçgen	kıyas fonksiyonu	7	7/24=0,29	25
Delgado ve diğ. (1988)	L-R Türü	kıyas fonksiyonu	37	37/19=1,95	17
Lee ve Li (1988)	L-R Türü	bulanık ortalama ve sapma	75	75/19=3,95	7
Cheng (1998)	L-R Türü	bulanık ortalama ve sapma	48	48/9=5,33	6
Chu ve Tsao (2002)	L-R Türü	bulanık ortalama ve sapma	15	15/5=3	11
McCahone (1987)	L-R Türü	ideale oran	5	5/20=0,25	26
Jain (1976)	Üçgen	sol ve sağ puanlar	89	89/31=2,87	12
Jain (1977)	Yamuk, Üçgen	sol ve sağ puanlar	80	80/30=2,67	14
Chen (1985)	Üçgen	sol ve sağ puanlar	142	142/22=6,45	4
Chen ve Hwang (1989)	Üçgen	sol ve sağ puanlar	2	2/18=0,11	27
Yager (1980b)	L-R Türü	merkezi indeks	194	194/27=7,19	2
Murakami ve diğ. (1983)	L-R Türü	merkezi indeks	30	30/24=1,25	20
Yager (1981)	L-R Türü	alan ölçümü	173	173/26=6,65	3
Efstathiou ve Tong (1980)	Yamuk, Üçgen	dilsel	10	10/27=0,37	24
Tong ve Bonissone (1982)	Yamuk, Üçgen	dilsel	0	0	29
Modarres ve Sadi-Nezhad (2001)	Üçgen	dilsel	19	19/6=3,17	10

4.4.1 Dubois ve Prade'nin PD yöntemi

Dubois ve Prade baskınlık olabilirliği (PD) yöntemini $\tilde{A}$ bulanık sayısının diğer bulanık sayılarla karşılaştırmasını aşağıdaki eşitlikle sağlamıştır:

$$PD(\tilde{A}_i) = \prod_{\tilde{A}_j} \left(\left[\max_{j \neq i} \tilde{A}_j, +\infty \right) \right) = \sup_{u \geq v} \min(\mu_{\tilde{A}_i}(u), \mu_{\max}(v)) \quad (4.22)$$

Bulanık sayının tercih edilebilirliği her bir sayının sağ gösterimi ile maksimum sol tarafının kesişimi (üyeliğin derecesinin yüksekliği) ile belirlenir. Her bir üyelik derecesine karşılık gelen sol gösterimin en yüksek x değerinin anlamı maksimum sol gösterimdir. Şekil 4.4'de, Dubois ve Prade'nin PD yöntemini kullanarak elde edilen baskınlık sıralaması gösterilmiştir. Bu yöntemde kullanılan diğer ölçütler (PSD, ND, NSD) buraya alınmamıştır çünkü sadece PD, kıyaslamada yeterli olmuştur. $\tilde{A}_1$ 'nin sol gösterimi maksimum sol gösterimdir. Dolayısıyla tercih edileni belirlemek için kesişimlerin yükseklikleri olan $PD(\tilde{A}_1) > PD(\tilde{A}_2) > PD(\tilde{A}_3)$ sıralaması kullanılır [59].



Şekil 4.4 : Bulanık sayıların Dubois ve Prade yöntemiyle kıyaslanması.

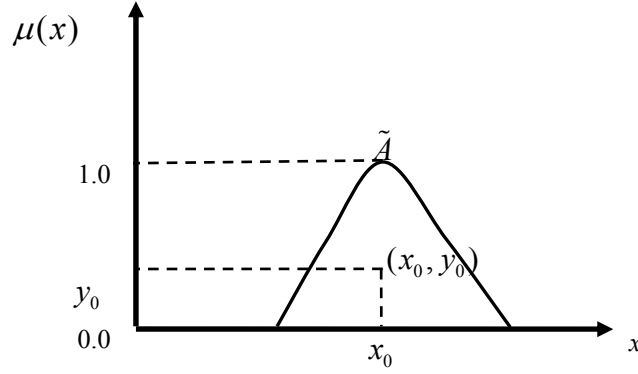
4.4.2 Yager'in Ağırlıklı Ortalama yöntemi

Yager bu yönteminde aşağıdaki sıralama endeksini önermiştir [53]:

$$x_0 = \frac{\int_0^1 g(x) \mu_{\tilde{A}_i}(x) dx}{\int_0^1 \mu_{\tilde{A}_i}(x) dx}, \quad (4.23)$$

burada $g(x)$, x değerinin önemini ölçen ağırlık fonksiyonudur; tabi ki eşitlikte yer alan payda kısmı normalleştirme çarpanı olarak rol oynamaktadır. Bunun değeri de üyelik fonksiyonu $\tilde{A}_i$ 'nin altındaki alana eşittir. $g(x) = x$ (doğrusal ağırlık)

olduğunda, Eşitlik 4.23, Şekil 4.5’de görüldüğü gibi geometrik merkezin x_0 değerini verir. x_0 değeri, $\tilde{A}_i$ bulanık sayısının ağırlıklı ortalamasının değeri olarak görülebilir. Daha yüksek x_0 değerine sahip bulanık sayıların daha iyi olduğu düşünülür [22].



Şekil 4.5 : Yager’in sıralama indeks yöntemi [53].

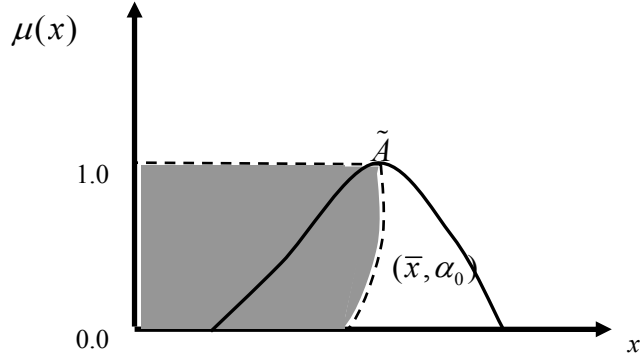
4.4.3 Yager’in Alan Ölçüm yaklaşımı

Alan ölçümü yaklaşımında, Yager, (1981) üyelik fonksiyonunun ortalaması ile kesin sayı 0 arasında kalan alanı ölçen bir F sıralama indeksini önermiştir. Şekil 4.6’da, $\mu_{\tilde{A}}$ üyelik fonksiyonuna sahip bir $\tilde{A}$ bulanık sayısı verilmiştir. Kesikli çizgi ile düşey aks arasında kalan taranmış alan sıralama indeksi olarak anılır. En azından α_0 üyelik derecesine sahip x aksındaki elemanların ortalama değeri kesikli çizgide $(\bar{x}, \alpha_0)$ noktası olarak sunulmuştur. Kesikli çizgi x elemanlarının değişik α seviyeleri için bütün ortalama değerlerini gösterir. Tercih edilen bulanık sayı daha yüksek indeks değerine sahip olması durumuna göre belirlenir.

Verilmiş bir $\tilde{A}$ bulanık sayısıyla Yager’in indeksi aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$F(\tilde{A}) = \int_0^{\alpha_{\max}} \bar{x}(\tilde{A}_\alpha) d\alpha \quad (4.24)$$

burada $\alpha_{\max} = \sup_x \mu_{\tilde{A}}(x)$ dır ve $\bar{x}(\tilde{A}_\alpha)$, en azından α üyelik derecesine sahip elemanların ortalama değerini gösterir.



Şekil 4.6 : Yager'in F indeks gösterimi.

4.4.4 Chen'in Bulanık Maksimum ve Minimum yöntemi

Chen, bir bulanık maksimumu $(\tilde{A}_1, \dots, \tilde{A}_n)$ bulanık sayıları için) aşağıdaki gibi tanımlamıştır [51]:

$$\mu_{\text{maks.}}(x) = \left[\frac{x - x_{\min.}}{x_{\text{maks.}} - x_{\min.}} \right]^k, k > 0, x_{\min.} \leq x \leq x_{\text{maks.}} \quad (4.25)$$

burada k , karar vericinin riske karşı beklentisini belirten bir tamsayıdır; $x_{\text{maks.}}$ ve $x_{\min.}$ ise $\tilde{A}_i$, $S(\tilde{A}_i)$ 'nin destek kümesinde maksimum ve minimum sayılardır. Aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$x_{\text{maks.}} = \sup \left[\bigvee_{i=1}^n S(\tilde{A}_i) \right], \quad (4.26)$$

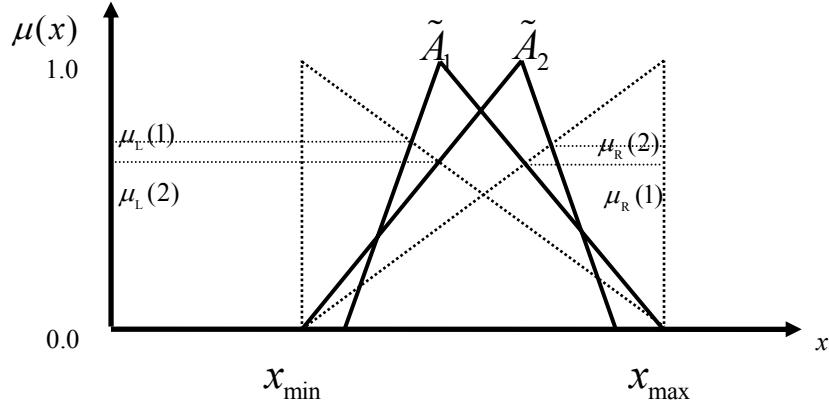
$$x_{\min.} = \inf \left[\bigvee_{i=1}^n S(\tilde{A}_i) \right] \quad (4.27)$$

$$S(\tilde{A}_i) = \{x \mid \mu_{\tilde{A}_i}(x) > 0\}. \quad (4.28)$$

İkinci aşamada, bir bulanık minimum, bulanık sayının sol tarafını da içeren bilgileri sergileyerek sıralama sürecine katar:

$$\mu_{\min.}(x) = \left[\frac{x - x_{\text{maks.}}}{x_{\min.} - x_{\text{maks.}}} \right]^k, k > 0, x_{\min.} \leq x \leq x_{\text{maks.}} \quad (4.29)$$

burada $x_{\text{maks.}}$, $x_{\min.}$ ve k (4.26-28) numaralı eşitliklerde verilmiştir. Chen tarafından geliştirilen bulanık maks. ve min. Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7 : Chen tarafından önerilen sol ve sağ puan yöntemi.

Şekil 4.7’de gösterilen sağ puan $\mu_R(i)$ ve sol puan $\mu_L(i)$, her bir $\tilde{A}_i$ bulanık sayısı ile ilişkilidir. Şu şekilde tanımlanabilir:

$$\mu_R(i) = \sup_x [\mu_{\max}(x) \wedge \mu_{\tilde{A}_i}(x)] \quad (4.30)$$

$$\mu_L(i) = \sup_x [\mu_{\min}(x) \wedge \mu_{\tilde{A}_i}(x)] \quad (4.31)$$

$\tilde{A}_i$ ’de içerilen bilginin tam kullanımı $\mu_R(i)$ ve $\mu_L(i)$ ’nin ortaklaşa kullanımı ile garantilenir. Daha büyük $\mu_R(i)$ değerleri daha büyük bulanık sayıları tanımlarken büyük $\mu_L(i)$ değerleri daha küçük bulanık sayıları betimler. $\tilde{A}_i$ ’nin toplam puanına aşağıdaki eşitlikle ulaşılır:

$$\mu_T(i) = \frac{[\mu_R(i) + 1 - \mu_L(i)]}{2} \quad (4.32)$$

burada $(1 - \mu_L(i))$, $\mu_L(i)$ değerinin etkisini tersine çevirmek için kullanılır. 2’ye bölmek ise $\tilde{A}_i$ ’nin toplam puanını $[0,1]$ arasına düşürür. Daha yüksek $\mu_T(i)$ değeri tercih edilen bulanık sayı $\tilde{A}_i$ ’yi belirtir.

4.4.5 Baas ve Kwakernaak’ın Koşullu Bulanık Küme yaklaşımı

Baas ve Kwakernaak bulanık sayıları sıralamak için aşağıdaki adımları kullanmışlardır [30]:

Adım 1. Öncelikle bir koşullu bulanık küme $I | Z = \{(i | \mu_{I|Z}(i, x_1, \dots, x_m))\}$ şeklinde tanımlanır, burada $I = \{1, \dots, m\}$ ve $Z = \{\text{gerçek sayı}\}$ dır. Üyelik fonksiyonu şu şekilde tanımlanmıştır:

$$\mu_{I|Z}(i | x_1, \dots, x_m) = \begin{cases} 1, & \text{eğer } x_i \geq x_j, \forall j \in I, \\ 0, & \text{diğer.} \end{cases} \quad (4.33)$$

Bu koşullu üyelik fonksiyonu gösterir ki; $\tilde{A}_i$ bulanık kümesi ancak ve ancak $x_i \geq x_j, \forall j \in I$ durumunda en büyüktür denebilir. $\mu_{I|Z}$, 0 ya da 1 olduğundan bu koşullu bulanık kümenin bulanık olmayan olduğuna dikkat etmek gerekir.

Adım 2. Tercih edilen bulanık kümelerin kümesi olan O , aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\mu_O(i) = \sup_{\substack{x_1, \dots, x_m \\ x_i \geq x_j, \forall j \in I}} \{\min.[\mu_{A_j}(x_j)]\} \quad (4.34)$$

Bu üyelik fonksiyonu i .nci bulanık kümenin sıralamada önce yer alacağının derecesini belirtir. Eğer ortada $\mu_O(i) = 1$ için tek bir $\tilde{A}_i$ varsa, $\tilde{A}_i$ diğer bütün bulanık kümeleri kesin olarak baskılar ve algoritma durur. Bu özellik Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Fakat aşağıdaki koşullardan bir ya da hepsi oluşursa, tercih puanlarını elde etmek için Adım 3 uygulanmalıdır. KV aşağıdakileri bilmek ister:

- (1) $\tilde{A}_i$, diğer $\tilde{A}_j, (\forall j \neq i)$ lerden ne kadar daha iyidir,
- (2) $\mu_O(\tilde{A}_i) = 1$ için birden fazla bulanık küme olduğunda hangi bulanık küme daha iyidir?

Adım 3. $\tilde{A}_i$ ’nin tercih puanı $P_i = \{(v_i, \mu_{P_i}(v_i))\}$, aşağıdaki gibi tanımlanır:

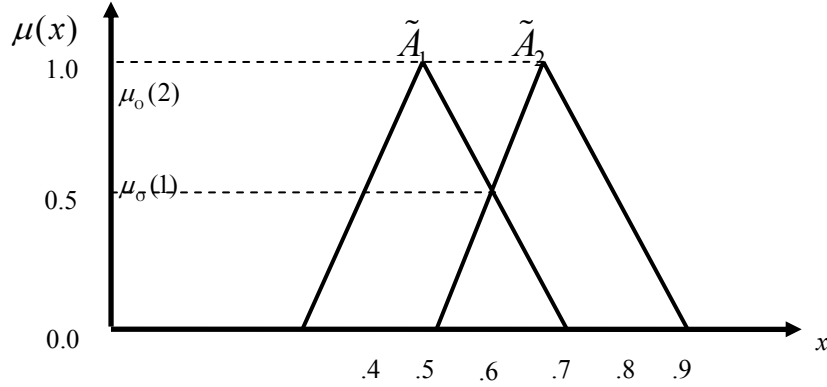
$$\mu_{P_i}(v_i) = \sup_{\substack{x_1, \dots, x_m \\ v_i = h(x_1, \dots, x_m)}} \min_j [\mu_{A_j}(x_j)], \forall j \in I \quad (4.35)$$

burada

$$h(x_1, \dots, x_m) = x_i - \frac{1}{m-1} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m x_j \quad (4.36)$$

Üyelik fonksiyonu $\mu_{P_i}(v_i)$, $\tilde{A}_i$ ’nin diğer bütün bulanık kümeler üzerinde tercih edilebilirliğini betimler.

$\mu_{P_i}(v_i)$ üyelik fonksiyonu, $\mu_{A_i}(x_i)$ ($\forall i$), sürekli türevlenebilir fonksiyon ve $h(x_1, \dots, x_m)$ de sürekli türevlenebilir olduğunda doğrudan elde edilemez. Bu zorluk α -kesimi kullanarak aşılabılır.



Şekil 4.8 : $\mu_o(i), i = 1, 2$. 'ın bir örneği.

Diyelim ki α_o , $\mu_{P_i}(v_i)$ 'nın önceden belirli üyelik değeri olsun, öyle ki, $\mu_{P_i}(v_i) = \alpha_o$. Karşılık gelen $v_i, [v_{i_{\min.}}, v_{i_{\max.}}]$ 'nın en büyük alt sınırı ve en küçük üst sınırı aşağıdaki gibi hesaplanır. Uygun $\hat{x}_1, \hat{x}_2, \dots, \hat{x}_m$ değerlerini aşağıdaki denklemle bulmalıyız:

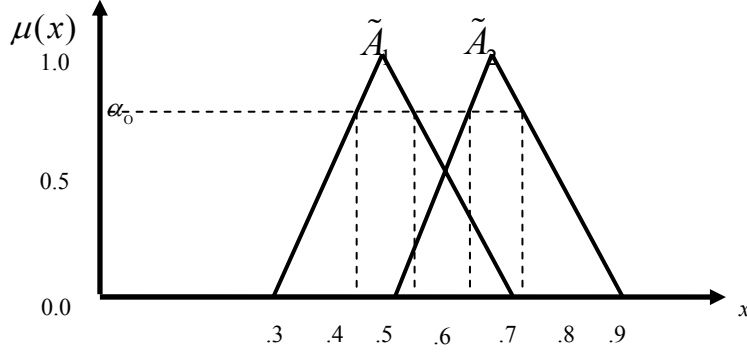
$$\mu_{\tilde{A}_1}(\hat{x}_1) = \mu_{\tilde{A}_2}(\hat{x}_2) = \dots = \mu_{\tilde{A}_m}(\hat{x}_m) = \alpha_o \quad (4.37)$$

Bulanık $\tilde{A}_i$ kümesi için, Eşitlik 4.37'yi sağlayan birden çok $\hat{x}_i$ değeri olabilir. Bu özelliğin bir örneği

Şekil 4.9'da gösterilmiştir.

$v_i, [v_{i_{\min.}}, v_{i_{\max.}}]$ 'nın en büyük alt sınırı ile en küçük üst sınırını elde etmek için, bütün olası $(\hat{x}_1, \hat{x}_2, \dots, \hat{x}_m)$ kombinasyonlarına Eşitlik 4.36'yı uygularız. Bu bize en düşük değeri $v_{i_{\min.}}$ ve en yüksek değeri $v_{i_{\max.}}$ olarak tanımlayabilme olanağı sağlar.

Değişik α_o değerlerini ayarlayarak, yakınsatılmış bir üyelik fonksiyonu $\mu_{P_i}(v_i)$ 'nı inşa edebiliriz. Her $\mu_{P_i}(v_i)$, bulanık küme $\tilde{A}_i$ 'nın tercih puanını tanımlar.



Şekil 4.9 : α_0 için $\hat{x}_1, \hat{x}_2$ değerleri.

4.4.6 Lee ve Li'nin Bulanık Ortalama ve Sapma yöntemi

Lee ve Li bulanık sayıları sıralama için, bulanık olayların olasılık ölçümleri temelinde genelleştirilmiş ortalama ve standart sapmanın kullanımını önermişlerdir [29]. Bulanık olaylar için iki tür olasılık dağılımı kabul etmişlerdir: düzgün dağılım ve orantılı dağılım.

(1) Düzgün dağılım: $f(\tilde{A}) = \frac{1}{|\tilde{A}|}$ ve $\tilde{A} \in X$.

Verilen bir $\tilde{A}$ bulanık sayısının genelleştirilmiş ortalama değeri şu şekilde hesaplanır:

$$\bar{x}_d(\tilde{A}) = \frac{\int_{S(\tilde{A})} x \mu_{\tilde{A}}(x) dx}{\int_{S(\tilde{A})} \mu_{\tilde{A}}(x) dx} \quad (4.38)$$

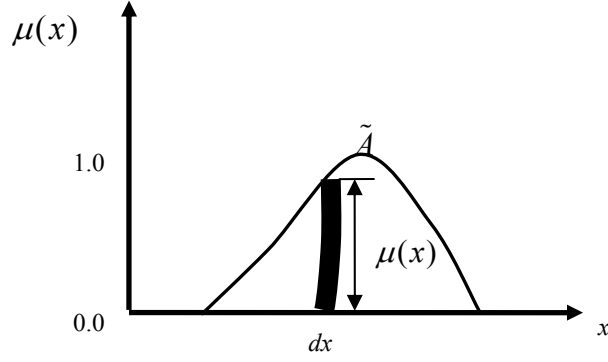
Payda bulanık sayı $\tilde{A}$ 'nın altında kalan alanı ölçmektedir (Şekil 4.10'a bakınız).

Standart sapma ise aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\sigma_d(\tilde{A}) = \left[\frac{\int_{S(\tilde{A})} x^2 \mu_{\tilde{A}}(x) dx}{\int_{S(\tilde{A})} \mu_{\tilde{A}}(x) dx} - [\bar{x}_d(\tilde{A})]^2 \right] \quad (4.39)$$

Bulanık sayı üçgen türü olduğunda (Şekil 4.3'e bakınız), Eşitlik 4.38 ve 4.39 aşağıdaki gibi yeniden yazılabilir:

$$\bar{x}_d(\tilde{A}) = \frac{1}{3}(a_1 + a_2 + a_4) \quad (4.40)$$



Şekil 4.10 : $\int_{S(\tilde{A})} \mu_{\tilde{A}}(x) dx$ ifadesinin çıkarılması.

$$\sigma_d(\tilde{A}) = \frac{1}{18} (a_1^2 + a_2^2 + a_4^2 - a_1 a_2 - a_1 a_4 - a_2 a_4) \quad (4.41)$$

burada $a_1 = \inf S(\tilde{A})$, $\mu_{\tilde{A}}(a_2) = 1$ ve $a_4 = \sup S(\tilde{A})$ dir.

(2) Orantılı dağılım: $f(\tilde{A}) = k \cdot \mu_{\tilde{A}}(x)$ ve $\tilde{A} \in X$, burada k orantı sabitidir. Buna göre ortalama ve standart sapma aşağıdaki gibidir:

$$\bar{x}_o(\tilde{A}) = \frac{\int_{S(\tilde{A})} x^2 \mu_{\tilde{A}}(x) dx}{\int_{S(\tilde{A})} [\mu_{\tilde{A}}(x)]^2 dx} \quad (4.42)$$

$$\sigma_o(\tilde{A}) = \left[\frac{\int_{S(\tilde{A})} x^2 [\mu_{\tilde{A}}(x)]^2 dx}{\int_{S(\tilde{A})} [\mu_{\tilde{A}}(x)]^2 dx} - [\bar{x}_o(\tilde{A})]^2 \right]^{1/2} \quad (4.43)$$

$\tilde{A}$ bulanık üçgen sayıysa, Eşitlik 4.42 ve 4.43 aşağıdaki gibi yeniden yazılabilir:

$$\bar{x}_o(\tilde{A}) = \frac{1}{4} (a_1 + 2a_2 + a_4) \quad (4.44)$$

$$\sigma_o(\tilde{A}) = \frac{1}{80} (3a_1^2 + 4a_2^2 + 3a_4^2 - 2a_1 a_2 - 4a_1 a_4 - 4a_2 a_4) \quad (4.45)$$

Düzgün ya da orantılı dağılımın seçimi rastgele yapılmaktadır. Diyelim ki $\tilde{A}_i$ ve $\tilde{A}_j$ bulanık sayıları için ortalamalar ve standart sapmalar hesaplanmış olsun. Sıralama için geçerli olacak kurallar aşağıdaki gibidir:

Çizelge 4.2 : Bulanık sayı karşılaştırma ölçütleri (Lee ve Li Yöntemi).

$\bar{x}(\tilde{A}_i)$ ve $\bar{x}(\tilde{A}_j)$ arasındaki ilişki	$\sigma(\tilde{A}_i)$ ve $\sigma(\tilde{A}_j)$ arasındaki ilişki	Sıralama
$\bar{x}(\tilde{A}_i) > \bar{x}(\tilde{A}_j)$	-----	$\tilde{A}_i > \tilde{A}_j$
$\bar{x}(\tilde{A}_i) = \bar{x}(\tilde{A}_j)$	$\sigma(\tilde{A}_i) < \sigma(\tilde{A}_j)$	$\tilde{A}_i > \tilde{A}_j$

Burada dikkat edilmesi gereken σ 'nın sadece ortalamalar eşit olduğunda kullanıldığıdır. Küçük sapma daha iyi bulanık sayıyı ifade eder.

Yukarıda anlatılan iki olasılık dağılımından eğer düzgün dağılım kullanılırsa, Eşitlik 4.38 ve 4.39, Bölüm 4.2.2'de gösterilen (Şekil 4.2) yamuk bulanık sayılarla aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\bar{x}(\tilde{A}) = \frac{-a_1^2 - a_2^2 + a_3^2 + a_4^2 - a_1a_2 + a_3a_4}{3(-a_1 - a_2 + a_3 + a_4)} \quad (4.46)$$

$$\sigma(\tilde{A}) = \left[\frac{\frac{1}{a_2 - a_1} \left(\frac{a_2^4}{4} - \frac{a_1a_2^4}{3} + \frac{a_1^4}{12} \right) + \frac{1}{3} (a_3^3 - a_2^3) + \frac{1}{a_4 - a_3} \left(\frac{a_4^4}{12} - \frac{a_3^3a_4}{3} + \frac{a_3^4}{4} \right)}{\frac{1}{2} (-a_1 - a_2 + a_3 + a_4)} \right] - \left[\frac{-a_1^2 - a_2^2 + a_3^2 + a_4^2 - a_1a_2 + a_3a_4}{3(-a_1 - a_2 + a_3 + a_4)} \right]^2 \quad (4.47)$$

Bu eşitlikler ve Çizelge 4.2 kullanılarak bulanık sayılardan hangilerinin daha büyük olduğuna karar verilir.

4.5 Bulanık Gerçek Opsiyon Değerleme Modeli: Black-Scholes Yöntemi

Yeterli geçmiş veri bulunmaması durumlarında, ayrıca beklenen nakit akışlarının şüpheli veri içerdiği durumlarda yukarıda anlatılan bulanık mantık teorisi karar vericilerin işini kolaylaştırmaktadır. Verilerin bulanık bir aralıkta ifade edilmesi de alınabilecek riskleri ortaya koyduğundan karar verici en doğru karara yönlendirilmektedir.

Üçüncü bölümde kesin sayılarla olan yöntemler anlatılmıştı. Bulanık sayılarla olan Black-Scholes yöntemi gerçek opsiyon değerlemesi ise benzer şekilde fakat bulanık terimlerle çözülmektedir:

4.5.1 Temettüsüz Black-Scholes fiyatlama modeli

Öncelikle temettüsüz bulanık gerçek opsiyonun sıfır anındaki değerini Black-Scholes formülleriyle verelim:

$$\text{BUGOD} = \tilde{S}_0 N(d_1) - \tilde{X} e^{-rT} N(d_2) \quad (4.48)$$

eşitlikte;

$$d_1 = \frac{\ln \left[E(\tilde{S}_0) / E(\tilde{X}) \right] + (r + \sigma^2 / 2) T}{\sigma \sqrt{T}}, \quad (4.49)$$

$$d_2 = d_1 - \sigma \sqrt{T} \quad (4.50)$$

burada BUGOD, bulanık gerçek opsiyonun değerini; $\tilde{S}_0$, beklenen nakit akışlarının bulanık şimdiki değerini; $\tilde{X}$, (nominal) sabit yatırım bulanık maliyetlerini; σ , beklenen nakit akışlarının belirsizliğini; $N(\cdot)$, kümülatif standart normal dağılımı; T , opsiyonun vade bitim süresi; r ise risksiz bir varlığın yıllık sürekli bileşik oranını göstermektedir. Bölüm 3’te, Eşitlik 3.2’de yer alan S_0/X ifadesi iki bulanık sayının bölümü olacağından işlem zorluğu ve zaman kaybına yol açacaktır. Bu yüzden bu iki bulanık terimin beklenen değerleri Eşitlik 4.20 ile bulunarak Eşitlik 4.49’un sonucu bulunur. Buradaki σ değeri ise Eşitlik 4.21 ile bulunması gereken $\sigma(\tilde{S}_0)$ değeridir. Bulunduktan sonra yukarıdaki eşitliklerde yerine konulur.

4.5.2 Temettülü Black-Scholes fiyatlama modeli

Belirli bir temettü oranına sahip, yani rakiplerin piyasaya girişlerini ve projenin nakit akışlarını hangi oranda azaltacağını bildiğimiz takdirdeki; gerçek opsiyonun sıfır anındaki bulanık değerini Black-Scholes formülleriyle verelim:

$$\text{BUGOD} = \tilde{S}_0 e^{-\delta T} N(d_1) - \tilde{X} e^{-rT} N(d_2) \quad (4.51)$$

eşitlikte;

$$d_1 = \frac{\ln \left[E(\tilde{S}_0) / E(\tilde{X}) \right] + (r - \delta + \sigma^2 / 2) T}{\sigma \sqrt{T}}, \quad (4.52)$$

$$d_2 = d_1 - \sigma \sqrt{T} \quad (4.53)$$

Yukarıda verilen terimlerde bilindiği gibi δ değişkeni opsiyonun süresi boyunca oluşan değer kaybını gösterir. Bu da piyasaya girebilecek ya da ayrılabilir rakiplere göre değer kaybına yol açar ya da değer kazancı sağlar. Temettüsüz durumda olduğu üzere d_1 değişkeninin hesabını yaparken beklenen değerleri kullanmamız gerekmektedir.

4.5.3 Black-Scholes fiyatlama modeli ile temettülü bulanık bileşik opsiyonların değerlendirilmesi

Bileşik gerçek opsiyonlar; belirli evreleri olan yatırımın her evrenin tamamlanması ardından yeni evreye geçiş süreçlerinin tümünü değerlendirmektedir. Belirsiz ve muğlâk veri bulunduğu ise aşağıdaki gibi bulanık teori ile çözülmektedir:

Diyelim ki; $\tilde{C}_i$, $i=1, 2, 3$ evreleri için yatırım maliyetinin bulanık şimdiki değeri ve $\tilde{S}_0$ ise piyasa tanıtımı yapıldıktan sonra projenin sağlayacağı gelirin bulanık şimdiki değeri olsun. Şekil 3.1’de görüldüğü üzere proje için birinci ve ikinci opsiyonların vade bitim süreleri sırasıyla T_1 ve T_2 olsun.

$$BUGOD = \tilde{S}_0 e^{-\delta T_2} M(u_1; v_1; \sqrt{T_1/T_2}) - \tilde{C}_3 e^{-r T_2} M(u_2; v_2; \sqrt{T_1/T_2}) - \tilde{C}_2 e^{-r T_1} N(u_2) \quad (4.54)$$

burada

$$u_1 = \frac{\ln[E(\tilde{S}_0)/S^c] + (r - \delta + \sigma^2/2)T_1}{\sigma\sqrt{T_1}}, \quad (4.55)$$

$$u_2 = u_1 - \sigma\sqrt{T_1}, \quad (4.56)$$

$$v_1 = \frac{\ln[E(\tilde{S}_0)/E(\tilde{C}_3)] + (r - \delta + \sigma^2/2)T_2}{\sigma\sqrt{T_2}}, \quad (4.57)$$

$$v_2 = v_1 - \sigma\sqrt{T_2}, \quad (4.58)$$

Bu eşitliklerde temettü kârı δ ile; faiz oranı r ile; proje getirisinin oynaklığı σ ile; birikimli normal dağılım N ile; u ve v alt ve üst integral limit değerlerine sahip iki değişkenli birikimli normal dağılım $M(u, v, \rho)$ ile; ve son olarak bağıntı katsayısı ρ ile gösterilmiştir.

Proje getirisinin risk yansız beklentisi Eşitlik 4.54’ün ilk teriminde verilmiştir. İkinci terim T_2 anındaki beklenen yatırımı gösterirken, sonuncu terim T_1 anındaki beklenen

yatırımı göstermektedir. Proje nakit akışlarındaki değişimin oranı olan oynaklık σ ile ifade edilmektedir. Temettü kârı δ ise, $E(\tilde{C}_1)/E(\tilde{S}_0)$ ifadesiyle hesaplanır.

S^c kritik değerini aşağıdaki eşitlikten enterpolasyonla buluruz.

$$S^c e^{-\delta(T_2-T_1)} N(c_1) - E(\tilde{C}_3) e^{-r(T_2-T_1)} N(c_2) - E(\tilde{C}_2) = 0 \quad (4.59)$$

burada

$$c_1 = \frac{\ln[S^c / E(\tilde{C}_3)] + (r - \delta + \sigma^2 / 2)(T_2 - T_1)}{\sigma \sqrt{T_2 - T_1}}, \quad (4.60)$$

$$c_2 = c_1 - \sigma \sqrt{T_2 - T_1}. \quad (4.61)$$

Black-Scholes yöntemi ile fiyatlama, getirilen birçok eleştiriye karşın hızlı, etkin ve kesin sonuçlar ürettiği için ağırlıkla tercih edilir.

4.6 Bulanık Gerçek Opsiyon Değerleme Modelleri: Kafes Yöntemler

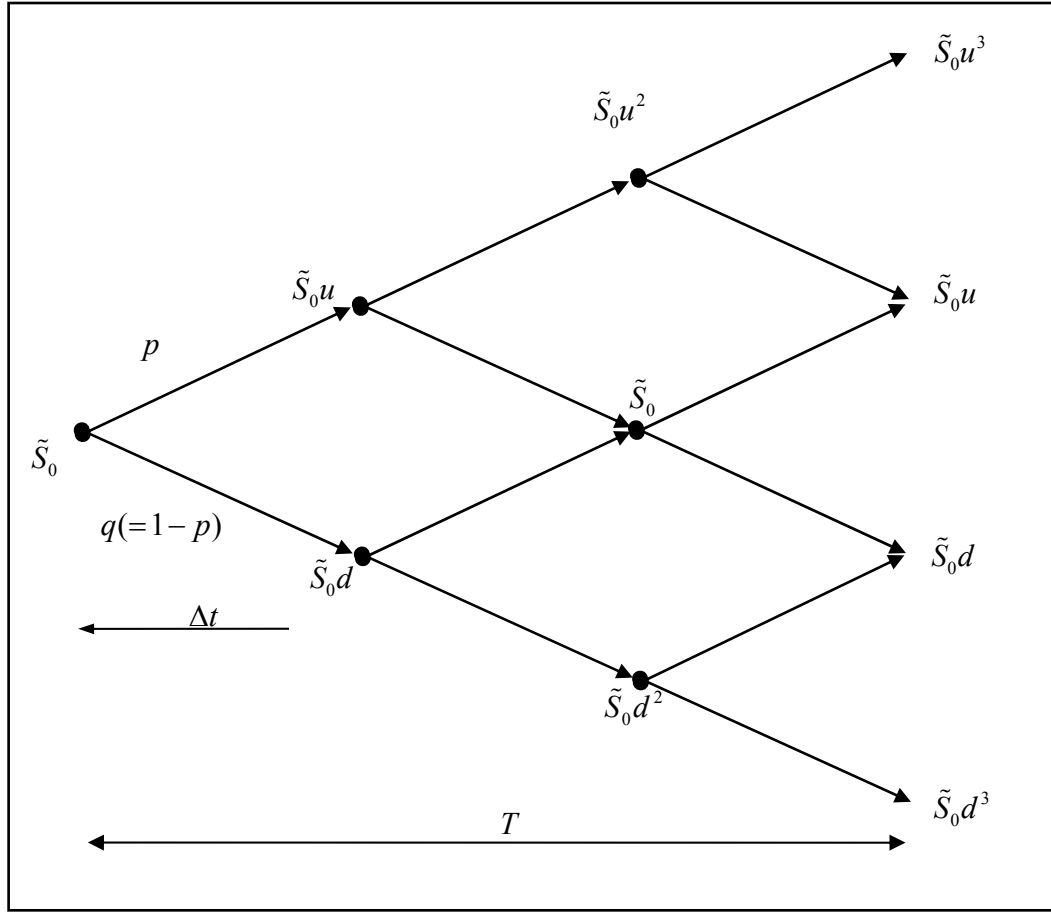
Bulanık gerçek opsiyon değerlemenin daha sonra geliştirilen yöntemi de kafes modellerdir. Kafes modeller karar vericiye kararın alındığı zaman konusunda esneklik sağlar. Yani Amerikan tipi alım ya da satım opsiyonlarının değerlemesinde kullanılır. Bundan önceki bölümlerden hatırlanacağı üzere; Black-Scholes Avrupa tipi alım ya da satım opsiyonlarının değerlemesinde kullanılır. Fakat gerçek opsiyonlarda karar, doğaları gereği sadece vade bitiminde olmayacağından değerlemede en iyi yöntem kafes yöntemleridir. Bulanık teori altında kafes yöntemleri ise şimdiye kadar sınırlı sayıda; o da trinomial kafes yöntemi olmak üzere incelenmiştir. Şimdi sırasıyla en basitinden başlamak üzere, kafes modelleri ile bulanık gerçek opsiyon değerlemeyi tek tek bir sonraki bölümde inceleyelim.

4.6.1 Bulanık gerçek opsiyon değerleme modeli: Binomial ağaç yöntemi

Binomial kafes yöntemiyle bulunan, gerçek opsiyon değeri için oluşturulan diyagramlardan ilki olan, bulanık $\tilde{S}_0$ için binomial ağaç diyagramı Şekil 4.11'de gösterilmiştir.

Burada p , her bir düğümde hissenin yani gerçek opsiyonlar için taban varlığın (projenin ya da yatırımın) değerinin yukarı gitme olasılığı, q aşağı gitme olasılığı ve

Δt ise zaman adımının uzunluğu (6 ay ya da 1 yıllık) olsun. Δt toplam zaman uzunluğunun (T), aralık sayısına (N) bölümüyle bulunur. Temettü ödemesi olan taban



Şekil 4.11 : $\tilde{S}_0$ için oluşturulan binomial ağaç diyagramı.

bir varlığı ele aldığımızda, ortalama ve değer değişimindeki standart sapmaya karşılık gelen değişken (σ değeri ise Eşitlik 4.21 ile bulunması gereken $\sigma(\tilde{S}_0)$ değeridir) değerleri aşağıdaki gibidir (açıklanmayan değişkenler Bölüm 4.5'dekilerle aynıdır):

$$a = e^{(r)\Delta t} \quad (4.62)$$

$$\Delta x = \sigma \sqrt{\Delta t} \quad (4.63)$$

$$u = e^{\Delta x} \quad (4.64)$$

$$d = 1 \div u \quad (4.65)$$

$$p = \frac{a - d}{u - d} \quad (4.66)$$

Sıfır anında, beklenen nakit akışlarının bulanık şimdiki değeri olan $\tilde{S}_0$ değeri bilinmektedir. Δt anında iki olası $\tilde{S}_0$ değeri vardır: $\tilde{S}_0 u$ ve $\tilde{S}_0 d$; $2\Delta t$ anında üç olası $\tilde{S}_0$ değeri vardır: $\tilde{S}_0 u$, $\tilde{S}_0$ ve $\tilde{S}_0 d$, ve bu şekilde devam etmektedir. Genel olarak $i\Delta t$ anında ise $i+1$ adet $\tilde{S}_0$ değeri bulunacaktır. Bunlar:

$$\tilde{S}_{i,j} = \tilde{S}_0 u^j d^{i-j}, j = 0, 1, \dots, i \quad (4.67)$$

Şekil 4.11'deki ağaç diyagramında yapılan $\tilde{S}_0$ hesaplamalarında $u = 1 \div d$ eşitliğinin uygulandığına dikkat etmek gerekir. Örneğin, $\tilde{S}_0 u^{-2} = \tilde{S}_0 d^2$. Kafes yöntemleriyle gerçek opsiyon değerlemeleri ağaç diyagramının sonundaki düğümlerden (T anındaki) başlar ve geriye doğru hesaplamalar yapılarak sonuç bulunur. T anındaki gerçek opsiyon değerleri bilinmektedir. Yaklaşımı cebirsel olarak açıklarsak: gerçek opsiyonun vade bitim tarihindeki değerinin maks.(0, $\tilde{S}_{i,j} - \tilde{X}$), olduğunu bildiğimizden, T anındaki gerçek opsiyon değeri aşağıdaki gibi ifade edilir (fakat burada $\tilde{S}_{i,j} - \tilde{X}$ terimi bulanık sayı olduğundan durulaştırma yapmak gerekir, bu tezde ise merkezi indeks yöntemiyle kesin sayıya çevirme işlemi uygulanmıştır):

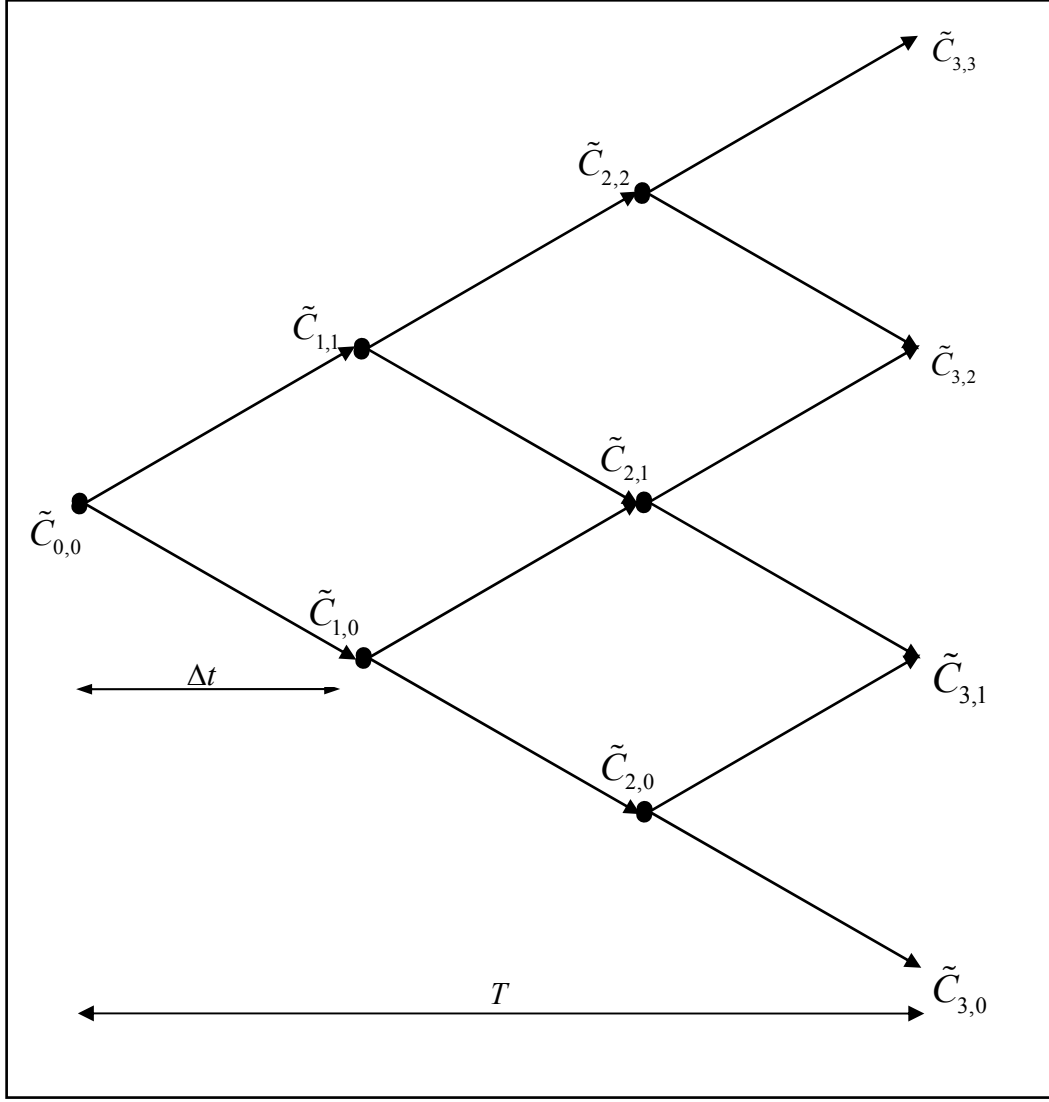
$$\tilde{C}_{T,j} = \text{maks.}(0, \tilde{S}_{T,j} - \tilde{X}), j = 0, 1, \dots, T \quad (4.68)$$

$\tilde{C}_{T,j}$ değerlerini 4.68 eşitliğiyle hesapladıktan sonra (erken opsiyon kullanımı olmadığı durumda), her bir düğüm için gerekli olan $\tilde{C}_{i,j}$ değerleri aşağıdaki formülle geriye doğru induksiyon yöntemiyle bulunabilir:

$$\tilde{C}_{i,j} = e^{-r\Delta t} [p\tilde{C}_{i+1,j+1} + q\tilde{C}_{i+1,j}] \quad (4.69)$$

$0 \leq i \leq T-1$ ve $0 \leq j \leq i$ değerleri için. Erken opsiyon kullanımı olduğu düşünüldüğünde bulunan bu $\tilde{C}_{i,j}$ değeri opsiyonun esas değeri ile kıyaslanmalıdır:

$$\tilde{C}_{i,j} = \text{maks.}\{e^{-r\Delta t} [p\tilde{C}_{i+1,j+1} + q\tilde{C}_{i+1,j}], \tilde{S}_{i,j} - \tilde{X}\} \quad (4.70)$$



Şekil 4.12 : Bulanık gerçek opsiyon binomial ağaç diyagramı.

Şekil 4.12’de ise geriye doğru hesaplama yöntemiyle elde edilen her bir düğümdeki opsiyon değerleri görülmektedir.

4.6.2 Bulanık gerçek opsiyon değerlendirme modeli: Trinomial ağaç yöntemi

Bulanık mantık ile çözülen trinomial ağaç yöntemi geliştirildiği daha önceki bölümlerde verilmişti.

Bu bölümde Clewlow ve Strickland’ın aktardıkları yaklaşımla trinomial ağaç yönteminin genel halini göreceğiz [14] ve bunu bulanık mantık ile birlikte inceleyeceğiz. Trinomial ağaç yaklaşımı, aşikâr sonlu farklar yöntemine ([15] tarafından tanıtılmıştır) denktir ve Şekil 4.13’de gösterilmiştir. Anlaşılabilir olmak amacıyla, Bölüm 4.6.1’deki gösterim sistemi aynen kullanılmıştır. Varsayalım ki;

p_u , p_m , ve p_d her bir düğüm için sırasıyla; yukarı gitme, aynı kalma, aşağı gitme hareketlerinin olasılıkları olsun ve Δt ise zaman adımının uzunluğu (6 ay ya da 1 yıllık) olsun. Δt toplam zaman uzunluğunun (T), aralık sayısına (N) bölümüyle bulunur. Temettü ödemesi olan taban bir varlığı ele aldığımızda, ortalama ve değer değişimindeki standart sapmaya karşılık gelen değişken (σ değeri ise Eşitlik 4.21 ile bulunması gereken $\sigma(\tilde{S}_0)$ değeridir) değerleri aşağıdaki gibidir (açıklanmayan değişkenler Bölüm 4.5'dekilerle aynıdır):

$$v = r - \delta - \frac{1}{2}\sigma^2 \quad (4.71)$$

$$\Delta x = \sigma\sqrt{3\Delta t} \quad (4.72)$$

$$u = e^{\Delta x} \quad (4.73)$$

$$d = 1 \div u \quad (4.74)$$

$$p_u = \frac{1}{2} \left(\frac{\sigma^2 \Delta t + v^2 \Delta t^2}{\Delta x^2} + \frac{v \Delta t}{\Delta x} \right) \quad (4.75)$$

$$p_m = 1 - \frac{\sigma^2 \Delta t + v^2 \Delta t^2}{\Delta x^2} \quad (4.76)$$

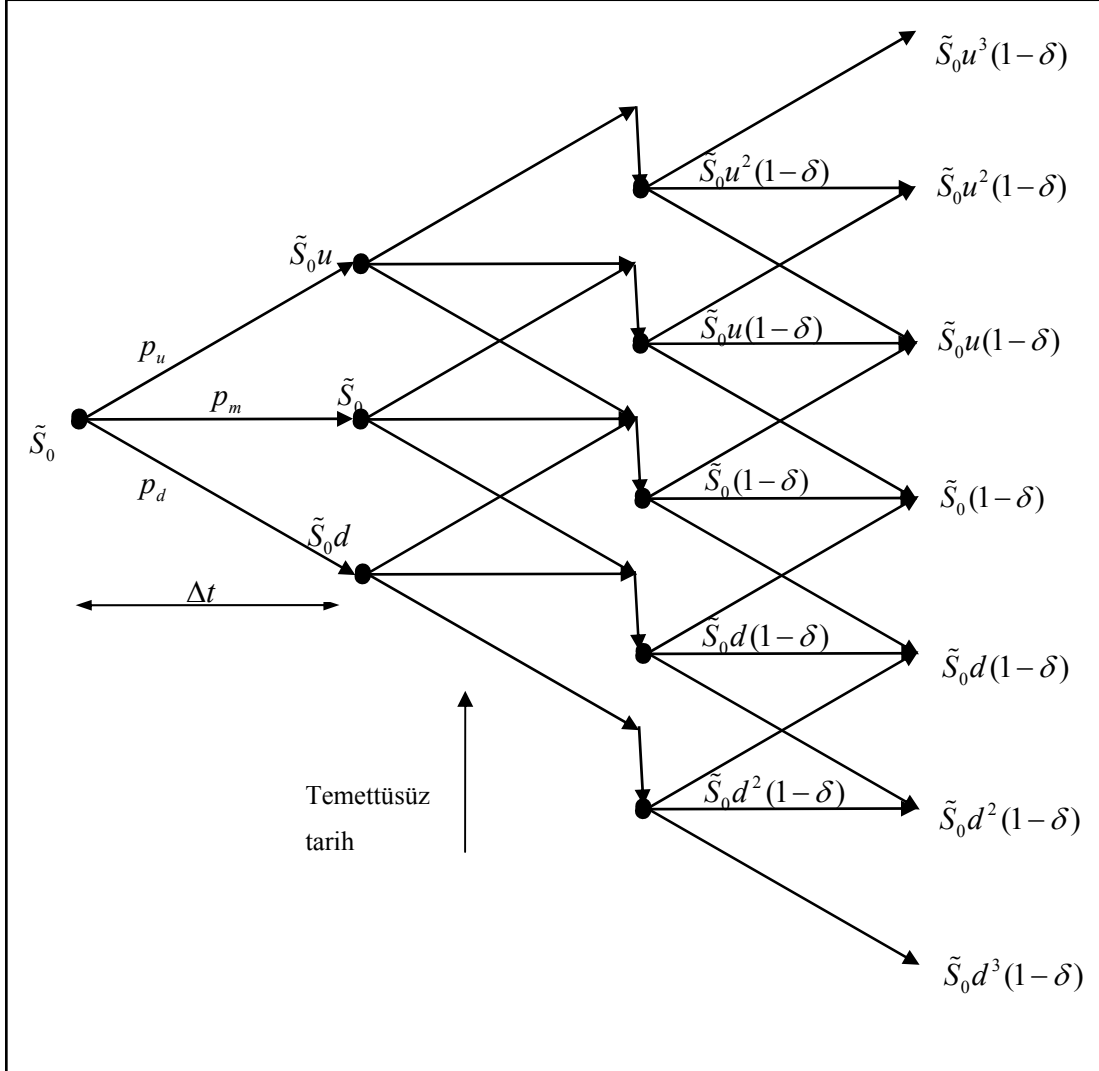
$$p_d = \frac{1}{2} \left(\frac{\sigma^2 \Delta t + v^2 \Delta t^2}{\Delta x^2} - \frac{v \Delta t}{\Delta x} \right) \quad (4.77)$$

Trinomial ağaç kafesleri için hesaplamalar binomial ağaç kafeslerine benzerdir. Sıfır anında, beklenen nakit akışlarının bulanık şimdiki değeri olan $\tilde{S}_0$ değeri bilinmektedir. Δt anında üç olası $\tilde{S}_0$ değeri vardır: $\tilde{S}_0 u$, $\tilde{S}_0$, ve $\tilde{S}_0 d$; $2\Delta t$ anında beş olası $\tilde{S}_0$ değeri vardır: $\tilde{S}_0 u^2$, $\tilde{S}_0 u$, $\tilde{S}_0$, $\tilde{S}_0 d$, ve $\tilde{S}_0 d^2$, ve bu şekilde devam etmektedir. Genel olarak $i\Delta t$ anında ise $2i+1$ adet $\tilde{S}_0$ değeri bulunacaktır. Bunlar:

$$\tilde{S}_{i,j} = \tilde{S}_0 (1-\delta)u^j, j = -i, \dots, 0, \dots, i \quad (4.78)$$

Şekil 4.13'deki ağaç diyagramında yapılan $\tilde{S}_0$ hesaplamalarında $u = 1 \div d$ eşitliğinin uygulandığına dikkat etmek gerekir. Örneğin, $\tilde{S}_0 u^{-2} = \tilde{S}_0 d^2$. Yaklaşımı cebirsel olarak açıklarsak: gerçek opsiyonun vade bitim tarihindeki değerinin maks.(0, $\tilde{S}_{i,j} - \tilde{X}$), olduğunu bildiğimizden, T anındaki gerçek opsiyon değeri

aşağıdaki gibi ifade edilir (fakat burada $\tilde{S}_{i,j} - \tilde{X}$ terimi bulanık sayı olduğundan durulaştırma yapmak gerekir, bu tezde ise merkezi indeks yöntemiyle kesin sayıya çevirme işlemi uygulanmıştır):



Şekil 4.13 : $\tilde{S}_0$ için oluşturulan trinomial ağaç diyagramı.

$$\tilde{C}_{T,j} = \text{maks.}(0, \tilde{S}_{T,j} - \tilde{X}), j = -T, \dots, 0, \dots, T \quad (4.79)$$

$\tilde{C}_{T,j}$ değerlerini 4.79 eşitliğiyle hesapladıktan sonra (erken opsiyon kullanımı olmadığı durumda), her bir düğüm için gerekli olan $\tilde{C}_{i,j}$ değerleri aşağıdaki formülle geriye doğru indüksiyon yöntemiyle bulunabilir:

$$\tilde{C}_{i,j} = e^{-r\Delta t} [p_u \tilde{C}_{i+1,j+1} + p_m \tilde{C}_{i+1,j} + p_d \tilde{C}_{i+1,j-1}] \quad (4.80)$$

$0 \leq i \leq T-1$ and $-i \leq j \leq i$ değerleri için. Erken opsiyon kullanımı olduğu düşünüldüğünde bulunan bu $\tilde{C}_{i,j}$ değeri opsiyonun esas değeri ile kıyaslanmalıdır:

$$\tilde{C}_{i,j} = \text{maks.} \{ e^{-r\Delta t} [p_u \tilde{C}_{i+1,j+1} + p_m \tilde{C}_{i+1,j} + p_d \tilde{C}_{i+1,j-1}], \tilde{S}_{i,j} - \tilde{X} \} \quad (4.81)$$

Burada incelenen formüller karışık gibi görünse de belirli bir sistematik sırayla incelendiğinden uygulamada çok zorlanılmayacaktır. Hangi yöntem uygulanmak istenirse o yöntemin konusu altındaki formüller sırasıyla uygulamada yerine konduğunda çok rahatlıkla sonuçlara ulaşılabilecektir. Bu yöntemlerle ilgili yapılan gerçek vaka çalışmaları daha sonraki bölümlerde anlatılacaktır.

Bu tezin asıl yazılma amacı olan Ar-Ge konusunu bundan sonraki bölümlerde ayrıntılı olarak işlenecektir.

5. AR-GE PROJELERİ VE DEĞERLENDİRMESİ

Giriş bölümünde de belirtildiği üzere, içinde bulunduğumuz yüzyılda gelişmekte olan ülkelerin sürdürülebilir kalkınma modelini hayata geçirebilmeleri için Ar-Ge'ye yüklü miktarda yatırım yapmaları kaçınılmazdır. Aksi durumda mevcut dünya düzeninde etkin bir rol almaları mümkün değildir.

Bu bölümde öncelikle Ar-Ge'nin genel tanımı yapılacak, daha sonra Ar-Ge projesi ve aşamalarından bahsedilecektir. Ar-Ge'ye yatırım yapan kuruluşun, işlerlik kazandırmayı amaçladığı Ar-Ge projelerinden hangisini öncelikle devreye alacağını belirleyen seçim yöntemleri anlatılacaktır. Bu seçim yöntemlerinin hemen ardından çok ölçütlü değerlendirme yöntemleri işlenecek ve genel kabul gören bir değerlendirme ölçütü tablosu verilecektir. Bu tablo bundan sonra uygulaması yapılacak konunun da sürekli atıfta bulunacağı tablo olacaktır.

5.1 Ar-Ge nedir? Ar-Ge Projesi nedir?

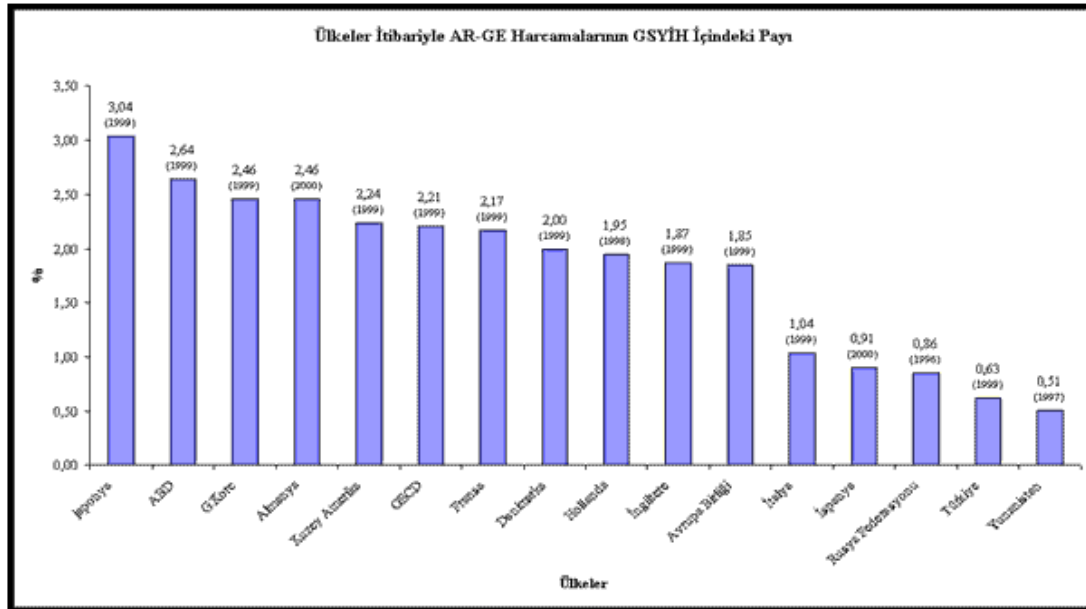
Araştırma ve geliştirme; herhangi bir kurumun bilim adamları ve mühendisler istihdam etmek suretiyle, kurumun çalışma alanı doğrultusunda bilim ve teknolojiyi yeni mahsuller, süreçler ya da hizmetler geliştirmede kullanmak üzere yaptığı faaliyet ve çalışmaları tanımlayan terimdir. Diğer bir tanımla, Ar-Ge; yeni bilgiler elde etmek ya da mevcut bilgileri ortaya çıkarmak amacıyla yapılan ve bilginin sistematik olarak toplanmasını, analizini ve yorumunu gerektiren bir çalışmadır. Ar-Ge'nin başlıca görevi teknolojik gelişmeleri kullanarak, kurumun kâr edebilirliğini devamlı şekilde yenilemek ve artırmaktır. Yenilikçi fikir, değişim ve gelişim, yepyeni teknolojiye sahip olmak rekabette üretim verimi, fiyat, reklam ve pazarlama kadar önemlidir.

Temel olarak, bilim ya da teknoloji alanında teknik bilgi birikimini ya da kabiliyeti geliştirmeyi arayan ve sorgulayan projeye Ar-Ge projesi denir. Var olan süreci, malzemeyi, cihazı, ürünü ya da hizmeti değer katan şekilde iyileştirmeye ya da oluşturmaya yarayan projelere de Ar-Ge projesi gözüyle bakılır. Bununla beraber

yeni bir şeyler mutlaka oluşturulmalıdır ya da değer katan iyileştirmeler yapılmalıdır ki bilimsel ya da teknolojik değişiklikler ve ilerlemeler meydana gelsin.

Ar-Ge işletmenin destekleyici birimlerindendir ve diğer tüm birimlerle ilişki içindedir. Kurumlarda Ar-Ge, kurumun canlılığını sürdürmesi bakımından önemli bir işlevdir. Bu işlev, kurumun öteki bütün birimlerinde rol oynamakta, sonuçta kurumu değişen şartlara göre ayarlayan, sorunlarına çözüm bulan, canlılığını sürdürüp büyüme ve gelişmesini destekleyen bir özellik göstermektedir.

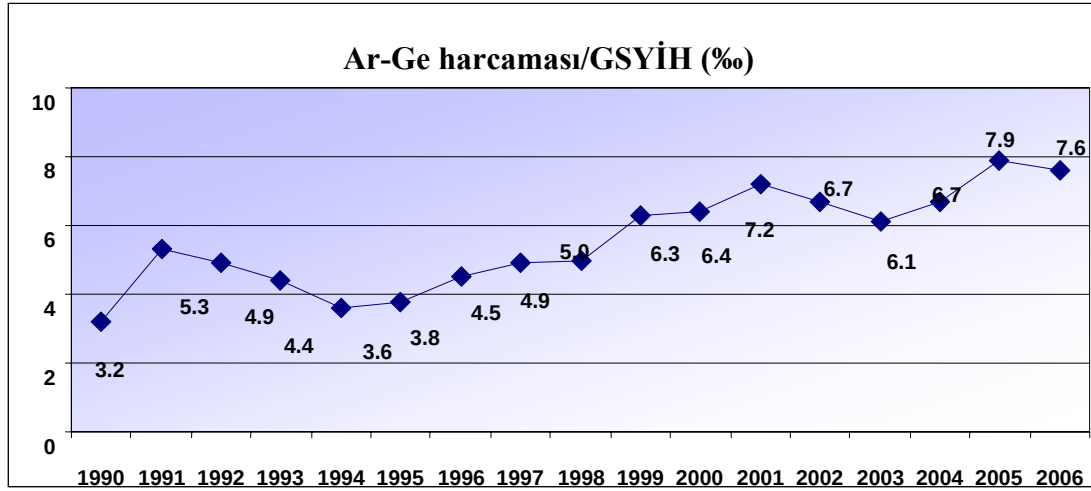
Gelişmekte olan ülkelerin daha ne kadar kat etmesi gereken yol olduğu; Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'den gayet açık olarak görülmektedir. Şekil 5.1'den de görüldüğü gibi gelişmiş ülkelerde araştırma ve geliştirme çalışmaları ulusal gelirin %2-3'ü civarındadır. Bu rakam gelişmekte olan ülkelerde %0,1 civarındadır.



Şekil 5.1 : Ülkelerin Ar-Ge harcamalarının GSYİH içindeki payı (Kaynak: DİE-TÜİK).

Görüleceği üzere cumhuriyet tarihinin en ağır kriz döneminde bile %7,2 olan oran, 2001'den sonra meydana geldiği iddia edilen refah artışından sonra ancak %7,6'ya çıkmıştır. Bunun arkasında yatan sorun zihniyet değişimi olması gerektiğidir. Hem özel sektör hem de kamunun bu eksikliğe önemle eğilmesi gerekmektedir. Gelişmiş ülkeler seviyesini geçebilmek için 2006 yılında yapılan Ar-Ge harcamasını 5 katıyla geçmemiz gerekmektedir. Bu da ne kadar zorlu bir olay olduğunu gözler önüne sermektedir. O yüzden tam anlamıyla bir seferberlik hali ilan edilip bu konuya

eğilmek gerekmektedir. Vergi teşvikleri yanında üniversitelerde öğretim üyelerine uzun dönemli kredi teşviki sağlanmalı, teknokentler özendirilmelidir.



Şekil 5.2 : Türkiye’de Ar-Ge’ye yapılan harcamaların GSYİH’ YA oranı (Kaynak: DİE-TÜİK).

Bu destekleri sağlarken ülkenin bir dönemler kaynaklarını boşa harcayan ihracat hamlesi gibi olmaması için verilen teşviklerin çıktısı çok sıkı denetime tabi tutulmalıdır. Bu tezin konusunda ise gerek bir Ar-Ge şirketinde, gerekse herhangi bir kurumun Ar-Ge biriminde yapılması düşünülen Ar-Ge projeleri arasından, seçim yapmaktır. Bunu yaparken gerçek opsiyonlardan yararlanılacağı gibi projelerde çalışacak kişilerin de görüşlerine başvurma yoluna gidilmiştir.

Ar-Ge projeleri nitelik ve kapsam bakımından üçe ayrılmaktadır [60]:

5.1.1 Temel araştırma

Teorik yeni bilgi ve anlayışın elde edilmesi amacıyla yürütülen Ar-Ge çalışmalarıdır. Sanayinin gelecekteki faaliyet alanları için yararlı bilgiler ortaya çıkarabilme olasılıkları olmasına rağmen belirli bir ticari amaç gütmeyiz. Temel araştırmada incelenen konunun anlaşılması ve tam bilginin elde edilmesine çalışılır. Bilginin uygulanabilirliği veya uygulamadaki değeri araştırmacıyı ilgilendirmez.

Temel araştırma, yeni varsayımlar ve kuramlar ortaya koyar. Varlıkların kıymetini, yapılarını ve iç düzenlerini çözümler. Elde ettiği bulguları genel yasalar biçiminde düzenlemeye çalışır. Temel araştırma sonuçları, genellikle, tartışma kabul etmeyen gerçeklerdir.

5.1.2 Uygulamalı araştırma

Özellikle belirli uygulamalara ve ticari amaçlara yönelik olarak mamuller ve üretim süreçleri üzerinde yapılan ve yeni bilgilerin elde edilmesini sağlayan çalışmalardır [61]. Uygulamalı araştırma, kurumca belirlenen amaçlara ulaşabilmenin yeni yol ve yöntemlerini saptamak ya da temel araştırma sonuçlarından yararlanma olanaklarını belirlemek amacıyla yürütülür. Bu çabalar, var olan bilginin dikkate alınmasını ve bunların elde olan sorunların çözümü amacıyla genişletilmesini ve derinleştirilmesini içerir.

5.1.3 Temel ve uygulamalı araştırma

Geliştirme, iyileştirilmiş yeni malzeme, araç, ürün, üretim süreçleri, sistemler veya hizmetler ortaya koyabilmek amacıyla bilimsel bilginin kullanımınıdır. Yeni terimi burada temeldir. Önemli oranda yeni olsa da geliştirme eylemi gerçekleştirilebilmektedir.

Kurumlarda, uygulamalı araştırma ile geliştirme çalışmaları birlikte yürütülür. Geliştirme, araştırmalardan veya uygulamadaki deneyimlerden sağlanan bilgilere dayalı olarak yürütülen sistematik çalışmalardır.

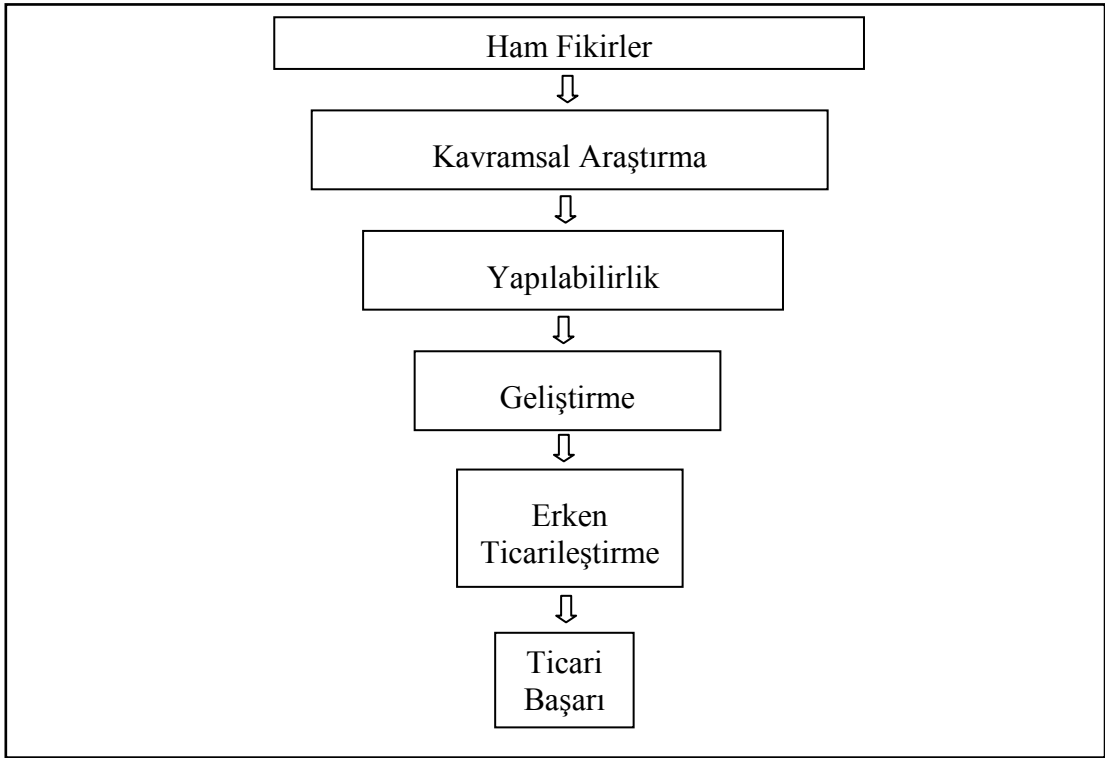
Araştırma ve geliştirme, günümüzün rekabet ortamı içinde kurumların pazarda devam edebilme mücadelesidir. Günümüzde gelişmiş ülkelerde, kurumlar Ar-Ge çalışmalarına hali hazırda bulunan ürünlerin üretiminden çok daha fazla önem vermektedirler. Çünkü bir işletmenin yeni bir ürün geliştirmesi ya da yeni bir süreç geliştirerek üretim maliyetlerini düşürmesi rakipleri karşısında üstün duruma gelmesi dolayısıyla kendisine önemli pazar payı artışı sağlamaktadır. Bu yüzden kurumların faaliyetlerini verimli ve kârlı olarak sürdürmeleri ve elde bulunan kaynaklarını etkin bir şekilde kullanabilmeleri açısından Ar-Ge çalışmalarına gereksinimleri büyüktür. Yeni bir ürünün patentinin alınarak pazara sunulması kurumun nakit akışlarını garanti altına alabileceği gibi piyasayı istediği gibi kontrol edebileceğinden Ar-Ge çalışmalarına azami ölçüde kaynak ayırmaları gerekmektedir.

5.2 Ar-Ge Projesi Aşamaları

Ar-Ge projeleri temel olarak belirli aşamalardan geçerler. Aşamalara ayırarak projeleri yönetmek, genel kabul gören ve aynı zamanda pratik olan bir yaklaşımdır.

Değişik kuruluşlar bu aşamalara değişik adlar vermektedir ve sektörden sektöre, ya da projeden projeye bu adlar değişmektedir. Aşamalar aynı zamanda risk seviyesi, harcama seviyesi, Ar-Ge çalışmasını yürüten çalışanların seviyesi açısından da fark etmektedir [62]. Her zamanki gibi proje bir aşamadan diğerine geçerken çalışanlar değişecektir. Teknik çalışanlar aşamaların yalnızca bir ya da ikisinde çalışırlar, çok azı başlangıçtan sona tüm aşamalarda çalışır.

Aşamalar önemli projelerin önemli amaçlarına hizmet ederler ve kurumun diğer tüm birimlerine finansal etkisi vardır. Kurumlar her bir aşamanın bitimini aşama geçişi olarak görür. Bu geçiş sürecinde ekipçe bir önceki süreç değerlendirilir, eğer olumluysa devam kararı verilir. Aksi durumda projenin daha fazla maliyete yol açmaması için bitirilmesi gerekir. Bu değerlendirme aşaması bir tabirle ateşten



Şekil 5.3 : Ar-Ge projesi Aşamaları [62].

gömlektir. Geriye dönüp bakıldığında bu aşamalardan birisindeki yanlış bir karar gereksiz zaman ve emek kaybı olacağı gibi hepsi bir maliyet içerecektir. Kaybedilecek piyasa payı da işin cabası olacaktır. Bazılarının Ar-Ge hunisine benzettiği bu aşamalarda her bir aşama geçişinde proje sayısı azalacaktır. Şekil 5.3’de bir Ar-Ge hunisinin bir örneği görülmektedir.

Yukarıdaki şekilde Ar-Ge aşamaları her ne kadar sıralı olarak gösterilmişse de araştırma, gelişmiş bir aşamadan da başlayabilir. Bu durum tabi ki yeni piyasa şartları için geçerli olabilir. Teknolojinin bir kısmının da daha önceden geliştirilmiş bulunması büyük avantaj sağlayacaktır. Daha erken aşamalara dönme durumları da söz konusu olabilir: elde edilen teknolojiye daha iyi bir çözümün akla gelmesi ya da ihtiyaç duyulması durumları örnek olabilir.

5.2.1 Aşama sıfır: Ham fikirlerin bulunması ve elenmesi

Bu başlangıç aşamasında ticari olarak ümit vaat eden fikirler üretilir. Bu fikirler ayıklanır ve uygun, tutarlı bir geliştirme projesine dönüştürülür. Bu fikirler her yerden gelebilir; üst yöneticilerden, vasıfsız çalışanlardan, üniversitelerden, danışmanlardan ya da piyasadaki tüketiciden fikir akışı olabilir. Bu yüzden Ar-Ge birimi yöneticilerinin bu tür önerilere açık olması gerektiği gibi radar benzeri bir mantıkla etraflarına yeni fikirlere açık olduklarını belirtmelidirler. Akıl dışı fikirler gelse bile değerlendirilmeli, gerekiyorsa uygun bir dille geri çevrilmelidir. Fakat bazen akıl dışı görünebilen fikirler ticari bir dehaya örnek da olabilir. Dolayısıyla iyi bir süzgeç oluşturulmalıdır. Çoğu Ar-Ge fırsatı dış olaylar tarafından tetiklenir: yeni bir bilimsel gelişme, ani bir ihtiyaç gibi [62].

Ham fikirlerin kaynağı ne olursa olsun mutlaka değerlendirilmelidirler ve kurumun stratejileriyle ve yetenekleriyle uygunluğu hesaba katılmalıdır. Ayrıca potansiyel ekonomik getirisi ve orijinallliği de ele alınmalıdır çünkü patent alınması ve bunun için de ayrı bir harcama yapılması ve strateji belirlenmesi söz konusudur.

5.2.2 Aşama bir: Kavramsal araştırma

Üretilen ve seçilen ham fikrin sınırlamalarını ve tam kapsamını anlama aşamasıdır. Laboratuvar koşullarından elde edilen fikirlerin nasıl üretileceği, nelerin ortaya koyulacağı bu aşamada yapılır. Daha sonra zarar etmemek için fikirde ölümcül noksan var mı yok mu bu aşamada incelenir.

Kavramsal araştırma aşaması araştırmacının proje için zaman ve kaynak harcaması yapmak için izin başvurusu yapmasıyla başlar. Çoğu kurumun bu aşama için bir takım süreçleri ve kuralları vardır. Geliştiren kişinin aşağıdaki temel sorulara yanıt vermesi istenir:

- Başlangıç hedef piyasası nedir?

- Bu fikri kim ticarileştirecektir?
- Önerilen proje rakiplerinden nasıl ayrışacaktır?
- Teknik üstünlükleri nelerdir?
- Alınacak patent sözleşmesi yeterince kapsayıcı ve geniş midir?
- Geliştirilecek teknoloji bundan sonra geliştirilmesi düşünülen diğer girişimler için bir taban oluşturacak mıdır?

Kavramsal aşama kurum için çekici proje fırsatlarıyla, riskli projeler yani maliyet israfına yol açabilecek projeler arasında denge kurmalıdır. Ar-Ge birimi olduklarından, bu denge proje fırsatları tarafına ağırlık vereceği görünür gerçektir. Araştırmacılar, daha önceden denenmiş ama bir takım nedenlerden ötürü başarısız olmuş benzer fikirleri bilmek amacıyla literatürü gözden geçirirler ve teknik ve endüstri uzmanlarla istişarelerde bulunurlar. Tabi ki zaman gerektiren faaliyetlerdir, ayrıca malzemelerin, teçhizatın ve olanakların temini de bu zamana eklenmelidir. Önceden yapılacak iyi bir deneysel tasarım laboratuvar masraflarını azaltacağı gibi sonuçlara da hızlı ulaşmayı sağlayacaktır. Patent öncesi, deneylerle pratiğe yaklaştırılmış yani gerçek hayata uygulanabilir hale getirilmiş projeler patent sürecinde bir hayli öne çıkacaklardır.

Proje tam planlandığı süreçte giderse, projeye olan güven ve projenin değeri artar. Bir projenin planlandığından da iyi gitmesi durumunda, daha fazla kaynak projeye tahsis edilir. Her aşamada, o aşamanın başarısına bağlı olarak projenin değeri değişir. Araştırmacılar üstesinden gelmeleri gereken yeni sorunlarla karşılaşabilirler. Bu sorunları aşmak için zaman ve çaba gerekir. Buna rağmen bu çabalar projenin değerini ve rakipleri karşısındaki üstünlüklerini artırır.

Projenin bir sonraki aşaması için çalışma planları ve kilometre taşları da bu aşamada belirlenir. Bir sonraki aşama için gerekli düzenlemeler, teçhizatlar, v.b. de bu aşamada belirtilir.

5.2.3 Aşama iki: Yapılabilirlik (Feasibility)

Bu aşamanın ana konusu bilinen sorunları çözmek, mühendis ve pazarlamacıların gelişmeyi üstlenebilmeleri için maliyet ve performans verilerini üretmektir [62]. Tabi ki bunu yapabilmek için bir deneme hedef piyasa oluşturmak gerekir. Yeni

geliştirilen projenin birçok çıktısı olabilir, önemli olan önder konumdaki projeyi ilk önce piyasaya sürmek, geri kalanları daha ağırdan alarak pazarla tanıştırmaktır.

Ortaya konan çalışma planının; tüm kilometre taşları, yapılması gereken işlerin bitiş süresi, sorumlulukları tüm çalışanların göreceği şekilde olması gerekir. Bu plan, en kritik sorunların önceden belirlenmesini ve bu sorunlara karşı uygunluk, yapılabilirlik tespiti yapılmasını sağlar. Bu sayede riskten oldukça kaçınılmış olur. Pazarlama da bu sürece dâhil olabilir.

Bu aşamadan geçen proje, geliştirme safhasına alınır ki bu durumda yönetim artık tüm desteğini sunar. Geliştirme aşamasına geçmeden önce patent ile ilgili sorunlar halledilir ve projenin önündeki tüm mevzuat engelleri kaldırılmaya çalışılır.

Bu aşamada teknik bir takım sorunlar ortaya konur. Önder ürün için piyasanın ihtiyaçları, fiyatın ve performansın ne olacağı bu aşamada belirlenir. Eğer henüz yapılmamışsa belirli özellikler için kritik test yöntemleri geliştirilmelidir. Üretim için kavramsal süreçler öngörülmalıdır. Örneğin, eğer devamlı süreç kullanılması düşünülüyorsa, sürekli üretimin yapılabilirliği bu aşamada gösterilmelidir [62].

5.2.4 Aşama üç: Geliştirme

Geliştirme aşamasında ise ürünü üretebilmek için gerekli teknik özellikler, şartnameler ve üretim süreçleri belirlenir. Ürün şartnameleri teknik, performans ve bilimsel şartnamelerden çok daha geniştir. Lojistik, paketleme, çevre duyarlılığı, hukuki süreç ve pazarlama gibi birçok alan bu aşamada yer alır.

En yakın zamanda müşterilere teşhire çıkacak teknoloji başta olmak üzere sıra dışı ortaya çıkan giderler gibi iki tane belirleyici göstergesi vardır. İlk gösterge ürün teknolojisi tam olarak bitirilip, güvenilir bir şekilde kurum içinde teşhire çıkar. Bu süreçte kurum içinde gelecek eleştiriler ve öneriler değerlendirilir. İkinci gösterge sürecinde ise örnek bir hat, örnek bir üretim tesisi kurulur ki aksaklıklar tam anlamıyla ortaya çıksın. Daha sonra pahalı test programları uygulanır. Tüm bu aşama çok pahalı bir süreçtir.

5.2.5 Aşama dört: Erken ticarileştirme

Bu aşamanın iki ana görevi vardır [62]:

- Piyasada köprübaşını tutmak,

- Uzun süren tasarım, kalite ve üretim sorunlarını çözmek.

Piyasaya ürünün sunulması çok kritikse ve ivedilik varsa bu iki aşama es geçilebilir.

Endüstriyel ürünler için bu aşamada müşteriler ürünü satın alabilirler fakat teslim günü, kalite ve son özellikler konusunda nihai bir bilgi söz konusu değildir. Tüketim ürünleri içinse, yerel ya da bölgesel piyasaya test pazarlaması ile girildiyse, bu aşamada olunduğu anlaşılır. Çok kısa süren bu sürecin hemen ertesinde ürün pazara sunulur. Bazı özel durumlarda, örneğin fabrikadaki üretim kapasitesinin yeterli olmadığı durumlarda yeni ürün tanıtımı birkaç ay ertelenebilir.

Erken ticarileştirme, genelde finansal destekçiler için projede çok tehlikeli ve riskli bir geçiş aşamasıdır. Bu aşama ile ilgili hoşnutsuzluk belirleyici ve yüksek derecede öngörülebilirdir. Sıkıntılar ve sorunlar tam anlamıyla tanımlanamıyorsa, piyasa aksini söylese bile tanıtım bir süre ertelenmelidir. Daha önceki bölümlerde anlatılan opsiyon teorisi işte tam burada uygulanabilir. Piyasaya erken girmek ya da erken ticarileştirme sürecinden çıkmak Ar-Ge takımının başarısı konusunda tam bir turnusol kâğıdı görevi görür.

Çoğu kişinin bu son aşamayı Ar-Ge aşaması olarak görmemesine karşın, bu aşama Ar-Ge kaynaklarını dikkat çekici oranda kullandığı için Ar-Ge aşamaları arasında yer alması gerekmektedir.

5.3 Ar-Ge Projesi Temel Değerleme Yöntemleri

Bu bölümde Ar-Ge projelerinin seçim ve değerlendirme yöntemleri ele alınacaktır. Öncelikle klasik yöntemlerden başlanıp genel kabul görmüş yöntemlere geçilecektir. Daha sonra ise bu çalışmanın ana konusu olan çok ölçütlü modeller anlatılacaktır. Son olarak belirli kaynaklardan ortak payda ile çıkarım yapılmış değerlendirme ölçütleri tablosu ve bunun hiyerarşik yapısı verilecektir.

5.3.1 Klasik yöntemler

Ar-Ge projelerinin seçimi ve değerlendirme sürecinde en eski fakat hala en sık kullanılan yöntem klasik yöntemlerdir. Souder ve Mandakovic'e göre klasik yöntemler; profil, puantaj, kontrol listeleri ve ekonomik göstergeleri (fayda maliyet analizi ve indirgenmiş nakit akışı) kapsar [63]. İkinci dünya savaşından sonra Ar-Ge projelerindeki müthiş artışa dayanarak bu klasik yöntemlerin geliştirildiğini söylerler.

Klasik yöntemler projelerin önceliklendirilmesinde ve izlenmesinde çok yararlı yöntemlerdir [64].

Klasik yöntemlerin bazı eksik yönleri aşağıdaki gibidir [63], [70]:

- Profil teknikleri öznel ve tamamen kişinin yani değerlendirenin kendi görüşünü yansıtır. Dolayısıyla projelerin önceliklendirilmesi ve sıralanmasında itimat edilmesi güçtür.
- Puantaj yöntemleri ağırlıklandırma çarpanları kullanır, fakat ağırlıkları geliştirmede kullanılan hassaslık derecesi bu yöntemleri yanlış sonuçlara iter. Aynı şekilde ölçekleri ve ağırlıkları bulmak için deneysel geçerlik kullanmak çok zordur.

5.3.2 Portföy yöntemleri

Muhtemelen portföy yöntemleri hisse ve bonolar için yatırım kararı almada Ar-Ge projeleri seçimine göre daha çok kullanılmaktadır [64]. Gerçek hayattaki proje seçim sürecinin dinamik süreciyle başa çıkabilen en iyi yöntem olabilir. Portföy modellerinin çözmesi beklenen bazı karar mekanizmalar şu şekildedir: projenin farklı seviyelerinde mali destek, farklı çalışan gücü ve donanım kısıtları, süren ve yeni projeler arasında denge kurmak, mali destek seviyesinde projede ortaya çıkan değişikliklerin muhasebeleşmesi. Bu karmaşıklıktan ötürü portföy yöntemlerinde matematiksel programlama kullanılır. Portföy modellerine yönelik matematiksel programlar şunlardır: doğrusal programlama, dinamik programlama, 0-1 doğrusal olmayan programlama, çok vasıflı fayda teorisi (MAUT) [64].

Bazı portföy yöntemleri Ar-Ge projesi seçim sürecinde ortaya çıkabilecek karmaşık analitik sorunların üstesinden gelebilir. Buna rağmen, hesap algoritmaları doğrusaldır. Doğrusal programlama kullanımı aslında bir zayıflıktır çünkü gerçek hayat problemlerinin doğası doğrusal olmayan ilişkilerle doludur [64]. Her ne kadar da olsa, Ar-Ge yöneticileri tarafından hem doğrusal hem doğrusal olmayan modellerin anlaşılması güçtür. Bunun yanında geniş ve niteliksel ayrıntılı veri ihtiyacı gerçek hayatta pek bulunabilir değildir.

5.3.3 Örgütsel karar yöntemleri

Tümleşik modeller de olarak adlandırılan bu yöntemler Ar-Ge seçim ve değerlendirme yöntemleri arasında geniş yer kaplar. Seçim sürecinde karşılaşılan

analitik, bilgisel ve davranışsal sorunlara çözüm konusunda etkilidirler [64]. Dolayısıyla bu tür yöntemler klasik ve portföy yöntemlerinin eksikliklerini gidermek konusunda ilerlemişlerdir.

Bundan önceki yöntemlerin hevesle kullanılmayan yanlarından ötürü model yapıcılar aşağıdaki sonuçlara varmışlardır:

- İnsan duyguları, kestirimleri ve bağlılıklarının kararları etkilemesinden ötürü Ar-Ge bölümlerinde kararlar bir grup tarafından alınmalıdır.
- Örgütsel yapı içindeki kişinin ihtiyaçlarıyla örgütün geniş hedeflerini aynı doğrultuda buluşturmak çok önemlidir.
- Birbirleriyle etkileşen taraflar arasındaki iletişim hoş görülmemeli, mutlaka cesaretlendirilmelidir. Farklı bölümlerin farklı gözlerle aynı verileri incelemesi hata oranını azaltacağı için bu konu da önemlidir.
- Model yapıcılar yukarıda anlatılan gerçekleri modellerinin başarıya ulaşması için mutlaka göz önünde bulundurmalarıdır.

5.3.3.1 Davranışsal karar yardımları (DKY)

Mandakovic ve Souder'e göre [63], davranışsal karar yardımları yöntemlerinin amacı; proje seçim süreçlerini düşünülen projeleri en uygunlamanın doğal dar odaklanmasından kurtarıp, daha yüce hedef olan “etkin teknoloji planı için örgütsel taahhüde” doğru çevirmektir [64]. DKY modelleri, klasik ve/veya portföy yöntemleriyle birleştirilerek “yapısal süreç yardımlarını” kullanırlar. Örgütsel ayarları daha temsil edilebilir düzeye getiren modelleri amaç edinmişlerdir. Bazı kullanılabilir modeller ise Q-sıralama ve İtibari etkileşim teknikleridir (Delphi yönteminin değiştirilmiş hali).

5.3.3.2 Dağıtılmış hiyerarşik modelleme (DHM)

Bu yöntem örgütteki değişik hiyerarşiler arasında etkileşimi özendiren yöntemdir. Süreç, hiyerarşik seviyenin en üst tarafından aşağıya doğru hedeflerin, amaçların ve elde bulunan kaynakların belirlenmesiyle başlar. Bir alt hiyerarşik seviye üst yönetimin belirlemiş olduğu çerçeve itibarıyla önerilerini hazırlar ve onlara geri sunar. Bu süreç örgütte hiyerarşik seviyeler arasında hatırı sayılır hizmet görür. Bu seviyeler arasında görüş birliğine varılana kadar süreç devam eder. Tüm

hesaplamaları yapmak için bilgisayar kullanılır. Sonuçlar bir veri bankasında toplanır ve raporlanır. Süreçteki herkese açık olmak üzere raporlar yayınlanır.

Bu modelin tekniğinin aslı geniş ölçekli doğrusal programlar için olan Dantzig-Wolfe ayrıştırma algoritmasından gelmektedir. Ar-Ge projeleri için önerilen bir matematiksel modelleme aşağıda gösterilmiştir [64]:

$$\text{Maks. } \sum_i \sum_j v_{ij} x_{ij} \quad (5.1)$$

$$\text{Şu kısıtlar altında } \sum_i \sum_j A_{ijkp} X_{ij} \leq B_{kp} \quad (5.2)$$

$$S[X_{ij}, M] \leq Q(M) \quad (5.3)$$

$p = 1, 2, 3, \dots, P$ zaman dönemlerinde $k = 1, 2, 3, \dots, K$ kaynak türleri içindir, ve $j = 1, 2, 3, \dots, J$ versiyonlarıyla $i = 1, 2, 3, \dots, I$ projeleri içindir. $M = 1, 2, 3, \dots, O$ örgütsel kısıtları içindir ve X_{ij} sıfır ya da birdir.

Yukarıdaki formülasyonda;

$v_{ij} = i$.nci projenin j sürümünün başarılı bitiminin değeri,

$X_{ij} = i$.nci projenin j sürümünün kabul ya da reddi; $X_{ij} = 0$ ya da 1,

$A_{ijkp} =$ proje i 'nin j .inci sürümü için p döneminde ihtiyaç olan k miktar kaynak türü,

$B_{kp} = p$.inci dönem boyunca bulunabilir k kaynağı,

$S =$ proje sürümünü örgütsel kısıt M ile ilişkiler,

$M = 1, 2, 3, \dots, O$ örgütsel kısıtları.

Ar-Ge projeleri için DHM yaklaşımının bazı faydaları aşağıdadır:

- Süreç yüz yüze toplantıları en aza indirir, böylece birbirinin görüşlerini beğenme etkisini yok eder,
- Örgütsel yapının aynısını kullanır,
- Mümkün olan en büyük ölçekte matematiksel programlama algoritmalarını kullanır,
- Karşılıklı iletişimi teşvik eder ve örgütün tamamıyla ilgili sorular sorar.

5.3.4 Çok ölçütlü değerlendirme

Ar-Ge doğası kimsenin bilmediğini yapmayı amaçlamasıdır. Bu yüzden risklidir ve ihtimaller üzerine yürütülür. Ar-Ge yöneticileri hatırı sayılır oranda başarısız sonuca hazırlıklı olmalıdırlar. Günümüzde yeni teknoloji geliştirmek, yani zihinsel sermaye yaratmak parasal sermaye yaratmaktan daha fazla ciddi ve zordur. Bu kadar ciddi ve zor durumda da çok ölçütlü değerlendirmeye ihtiyaç duyulmaktadır. Karar vericilerin seçenekler ve ölçütler arasındaki tercihleri ortaya konmalıdır ve bunlar üzerinden sonuca giden modellerle seçim sürecine gidilmesi doğru sonuçlar verecektir. Bu yüzden tümü değil ama çok kullanılan yöntemlerden Analitik Hiyerarşi Prosesini (AHP), Analitik Network Prosesini (ANP) ve TOPSIS'i inceleyeceğiz.

Literatür araştırmalarında Ar-Ge çalışmalarının çoğu stratejik yönetim araçlarına, fayda ölçüm yöntemlerine ve matematik programlama yaklaşımlarına dayanmaktadır. Çok ölçütlü Ar-Ge proje seçimi de fayda ölçüm yöntemi alanlarından birisidir. Ar-Ge yatırım fırsatları arasındaki kişisel tercih sıralamasını ilk olarak Schwartz ve Vertinsky gündeme getirmişti [65]. Adı geçen çalışmada yönetim özellikleri arasındaki ilişkiye, konumlarına ve işlevlerine, organizasyonun vasıflarına, karar vericinin yargılarına varırken kullandığı kıyaslarına dikkat çekilmiştir. Ar-Ge projeleri arası seçiminde analitik hiyerarşi sürecini (AHP) kullanan Liberatore fayda maliyet çözümlemesi yapmış ve kaynak dağıtımına yardım amaçlı tam sayılı programlama kullanmıştır [66]. Bir başka çok ölçütlü yaklaşım ise Oral ve diğ. (1991) tarafından geliştirilmiştir [67]. Bu yaklaşım öncelikle değerlemelerde önemli derecede uyumsuzluklara izin verir, sadece tasarım aşamasındaki Ar-Ge projelerinin veri uyumluluğuna dikkat çeker ve seçim aşamasında uzlaşının en iyi derecesine sahip olur. Her ne kadar sonuncusu tatminkâr gözükme de, değerlemeler uzlaşya artarda önermelerle yaklaştırılabilir. Henig ve Kantz (1996) karar vericinin (KV) ana ölçütünü, alt ölçütünü ve seçenekleri de kapsayan amaç hiyerarşisini üreten bir yaklaşım önermişlerdir [68]. Daha sonra en iyi seçenek, literatürde çok bilinen yöntemlerden birini kullanarak bulunabilir. Bir başka AHP temelli çözümleme de Poh ve diğ. (2001) tarafından önerilmiştir. Ağırlıklandırma ve sıralama yöntemlerini (puanlama yöntemi, AHP ve kıyaslama yöntemleri) fayda yöntemleriyle (fayda-maliyet çözümlemesi, ekonomik çözümleme, karar ağacı çözümlemesi) kıyaslamışlardır [69]. Bu çalışma sonucunda AHP yöntemi; Ar-Ge projeleri için çok amaçlı yöntemlere uyması ve problemi çoklu

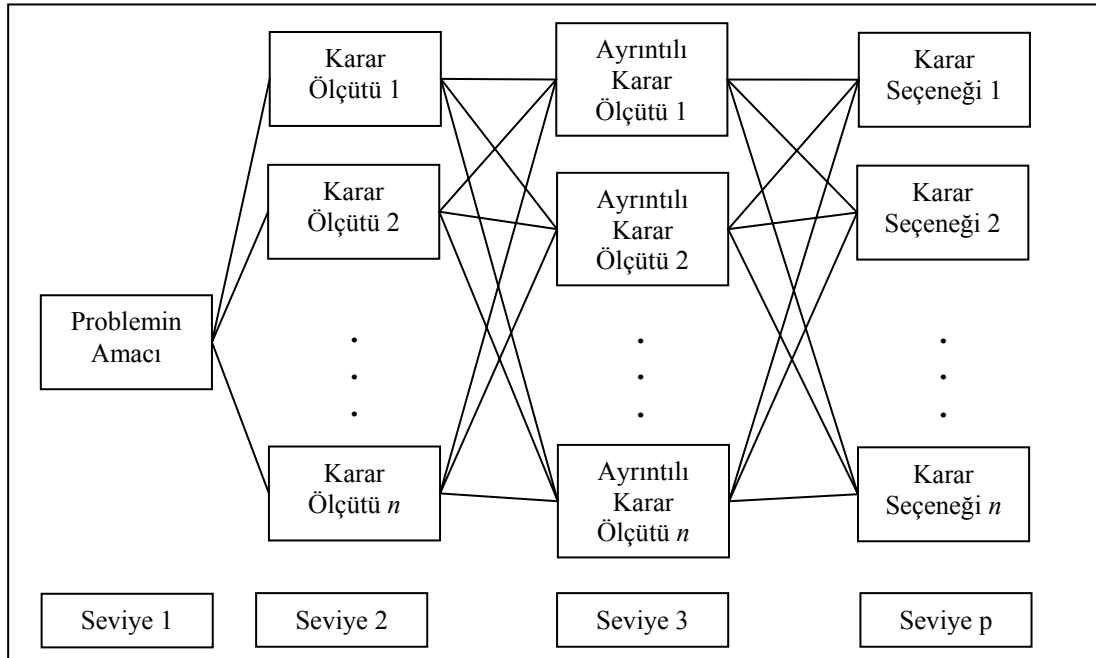
seviye ya da hiyerarşiye ayrıştırabilme açısından yetkindir. Veri ihtiyacı en azdır ve nitel ve nicel verileri aynı model içinde aynı anda kullanma açısından ihtiyaca en uygun çözümlerdendir.

5.3.4.1 AHP

Saaty [71] tarafından geliştirilen AHP yöntemi niteliksel ve niceliksel verileri aynı anda değerlendirebilmesi ve karşılaştırabilmesi dolayısıyla çok kullanılan bir yöntemdir. Veri ihtiyacı çok az düzeydedir. Ar-Ge projeleri için çoklu amaçların üstesinden gelir ve problemi çoklu seviye yapısına ya da hiyerarşik yapıya kavuşturarak ve ayrıştırarak çözer. AHP aşağıdaki altı adımı içerir [72]:

Adım 1. Yapılandırılmamış Problemi Tanımla. Problem açıkça ortaya konulmalıdır. Amaçlar ve sonuçlar probleme dâhil edilmelidir.

Adım 2. Problemi Hiyerarşik Yapıya Ayrıştır. Karar ağacına benzer bir yapıda olan AHP hiyerarşik yapısı problemi alt seviyelere ayrıştırır. AHP karar modeli için standart bir yapı Şekil 5.4’de gösterilmiştir. Uzmanların ya da karar vericilerin düşünceleri, beyin fırtınası gibi genelleştirilmiş bir yöntemle problemin hiyerarşisini oluşturmada kullanılır.



Şekil 5.4 : Standart AHP için örnek hiyerarşi.

Adım 3. Karşılıklı Kıyasları Oluştur. Her bir hiyerarşik seviyedeki karar öğeleri birbiriyle kıyaslanır ve göreceli derecelendirmeler atanır. Saaty, opsiyonlar arası tercihleri belirtmek için 9 noktalı ölçek kullanımını önermiştir ki bunlar: eşit, orta karar ölçüde, güçlü, çok güçlü, ya da son derece tercih edilebilir anlamında 1, 3, 5, 7 ve 9 değerindedir. Bu değerlerin ortasına düşen değerler ise ara değerler olarak adlandırılır ve 2, 4, 6, 8'den oluşur. Karşılıklı kıyasları temsil etmek için bir matris oluşturulur.

$$A = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (5.4)$$

Adım 4. Öz Değerlerini ve Vektörlerini Hesapla. Bir matristeki karar öğelerinin göreceli ağırlıklarını hesaplamak için, öğenin önceliğini, öz değerleri ve öz vektörlerinin hesabıyla aşağıdaki formülle kıyaslamak gerekir:

$$A \cdot w = \lambda_{\text{maks.}} \cdot w \quad (5.5)$$

Burada w öz vektör, A 'nın ağırlık vektörüdür. $\lambda_{\text{maks.}}$ ise A 'nın en büyük öz değeridir.

Adım 5. Matrisin Tutarlılık Özelliğini İncele. Tutarlılık oranı (TO) karşılıklı kıyaslardaki kişisel değerlendirmelerin tutarlılığını ölçmek için uygulanır. Tutarlılık göstergesi (TG) ve TO aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$TG = \frac{\lambda_{\text{maks.}} - n}{n - 1} \quad (5.6)$$

$$TO = \frac{TG}{RG} \quad (5.7)$$

Burada n matriste kıyaslanan öğe sayısını, RG rastgelelik göstergesini ortaya koyar. RG, Çizelge 5.1'den matristeki öğe sayısı ile aynı sayıya karşılık gelen göstergeden elde edilir.

Çizelge 5.1 : Rastgelelik Göstergesi (RG).

Matrisin derecesi (n)	2	3	4	5	6	7	8
RG	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41

Adım 6. Karar Öğelerinin Göreceli Önceliklerini Toplayarak Karar Seçeneklerinin Toptan Oranlarını Elde Et. Karar seçeneklerinin toptan öncelik sıralaması, ölçüt öncelikleri ve her bir ölçüte göreceli olarak karar seçeneklerinin önceliklerinin bütünleştirilmesiyle elde edilebilir. Sonuçlar normalleştirilir ve toplamı 1'e eşitlenir. En yüksek dereceye sahip seçenek tercih edilen seçenek olacaktır.

5.3.4.2 ANP

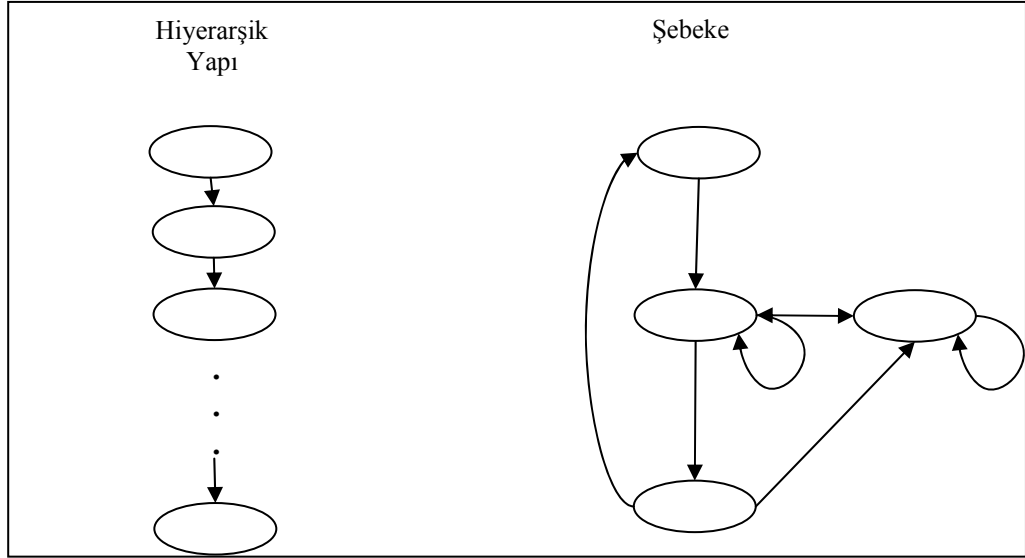
Analitik network proses, AHP yönteminin daha genel halini ifade etmektedir. AHP yöntemindeki gibi ilişkiler hiyerarşik olmasını icap ettirir fakat kesin bir yapı gerekmez. ANP yönteminde AHP yönteminden farklı olarak bir şebeke söz konusudur. Hiyerarşi kesin şart değildir ama bileşenler arasında ilişki vardır. AHP'nin temel varsayımı hiyerarşideki her bir birimin bağımsız olduğudur, fakat çoğu durumda ölçütler ve seçenekler arasında bir karşılıklı bağıllık vardır [73]. Dolayısıyla AHP yönteminin bu aradaki bağıllığın olmadığını varsayması gerçek problemlerden uzaklaştırmakla birlikte ANP yönteminin karmaşık doğası AHP yönteminin daha çok kullanılmasını sağlamıştır. Şekil 5.5, hiyerarşi ve şebeke arasındaki yapısal farkı ortaya koymaktadır. Düğümler arasındaki yaylar okların durumuna göre bağıllığı ifade etmektedir. Karşılıklı bağıllık varsa çift yönlü, bir yönde bağıllık varsa tek yönlü ok çizilir. Döngü ise bileşenin içsel bağımlılığını ifade etmektedir [72].

ANP yönteminin dört ana adımı vardır [74]:

Adım 1. Model Yapımı. Problem öncelikle açıkça ifade edilmeli ve şebekeye ayrıştırılmalıdır.

Adım 2. Karşılıklı Kıyaslamalar. AHP yönteminde olduğu gibi, bileşenlerin karar öğeleri kontrol ölçütlerinin önem ağırlığına göre karşılıklı kıyaslanır. Öğeler aynı zamanda problemin asıl amacına göre karşılıklı kıyaslanır. İlave olarak, eğer karar öğeleri arasında karşılıklı bağıllık varsa, bunlar arasında karşılıklı kıyaslamalar da oluşturulmalıdır. Öz vektörler her bir karşılıklı kıyaslamadan elde edilir.

Adım 3. Süper matris Oluşturulması. Yerel öncelik vektörleri süper matrisin uygun sütunlarına yerleştirilir. Süper matris; iki düğüm arasındaki ilişkiyi temsil eden her bir alt parçanın oluşturduğu bölümlenmiş matristir ve aşağıdaki formülde verilmiştir:



Şekil 5.5 : Hiyerarşik Yapı ile Şebeke arasındaki fark.

$$W = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & C_2 & \dots & C_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} e_{11} & e_{12} & \dots & e_{1m_1} & e_{21} & e_{22} & \dots & e_{2m_2} & \dots & e_{n1} & e_{n2} & \dots & e_{nm_1} \\ e_{11} & & & & & & & & & & & & \\ e_{12} & W_{11} & & & W_{12} & & & & \dots & & & & W_{1n} \\ \vdots & & & & & & & & & & & & \\ e_{1m_1} & & & & & & & & & & & & \\ e_{21} & & & & & & & & & & & & \\ e_{22} & W_{21} & & & W_{22} & & & & \dots & & & & W_{2n} \\ \vdots & & & & & & & & & & & & \\ e_{2m_2} & & & & & & & & & & & & \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots & & \vdots & & \vdots & & \vdots & \\ e_{n1} & & & & & & & & & & & & \\ e_{n2} & & & & & & & & & & & & \\ \vdots & W_{1n} & & & W_{2n} & & & & \dots & & & & W_{nn} \\ e_{nm_1} & & & & & & & & & & & & \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (5.8)$$

Saaty tarafından önerilen bu süper matris Markov zincirlerine benzemektedir [73]. Karar sisteminin bileşenleri C_h ile gösterilsin, $h=1, \dots, n$ olsun ve her bir bileşen h , m_h adet öğeye sahip olsun (bunlar da; $e_{h1}, e_{h2}, \dots, e_{hm_h}$ şeklinde ifade edilir).

Daha sonra, süper matris kendini stokastik hale getirerek, ağırlıklı süper matrise dönüştürülür. Önceliklerde yakınsamaya ulaşabilmek için, ağırlıklı süper matris $2k+1$ ile yükseltilir ve oluşturulan yeni matrise limit süper matris denir.

Adım 4. En İyi Seçeneklerin Seçilmesi. Seçeneklerin son öncelikleri, süper matrisin tüm şebekeyi kapsadığı durumdaki limit süper matristeki seçeneklerin sütununda bulunur. Eğer süper matris sadece karşılıklı bağlı olan bileşenleri içeriyorsa, daha fazla hesaplama yapmak gerekir.

5.3.4.3 TOPSIS

TOPSIS yönteminde benzerlik olarak adlandırılan, pozitif ideal çözüme yakınlıkla negatif idealden uzaklığı birleştiren bir gösterge tanımlar. Daha sonra yöntem, pozitif ideal noktaya en benzer çözümü seçer. TOPSIS yöntemi her bir özneliliğin ya monoton artan ya da monoton azalan olduğunu kabul eder. Bu şunu ifade eder: çıktıda en yüksek değer, eğer fayda ise en iyi tercih, eğer maliyetse en az maliyet olarak kabul görür [75].

Yöntemin adımlarına gelince:

Adım 1. Normalleştirilmiş Dereceleri Hesapla. Vektör normalleştirilmesi r_{ij} için kullanılır ki, o da aşağıda verilmiştir:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}, i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n. \quad (5.9)$$

Adım 2. Ağırlıklı Normalleştirilmiş Dereceleri Hesapla. Ağırlıklı normalleştirme şu şekilde hesaplanır:

$$v_{ij} = w_j r_{ij}, i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n. \quad (5.10)$$

burada w_j , j .inci özneliliğin ağırlığını ifade eder.

Adım 3. Pozitif İdeal ve Negatif İdeal Çözümleri Belirle. Ağırlıklı normalleştirilmiş değerler terimi cinsinden ifade edilen A^* ve A^- şu şekilde tanımlanır:

$$A^* = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_j^*, \dots, v_n^*\} = \left\{ \left(\max_i v_{ij} \mid j \in J_1 \right), \left(\min_i v_{ij} \mid j \in J_2 \right) \mid i = 1, \dots, m \right\} \quad (5.11)$$

$$A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_j^-, \dots, v_n^-\} = \left\{ \left(\min_i v_{ij} \mid j \in J_1 \right), \left(\max_i v_{ij} \mid j \in J_2 \right) \mid i = 1, \dots, m \right\} \quad (5.12)$$

Burada J_1 ; fayda özniteliklerinin kümesi, J_2 maliyet özniteliklerinin kümesidir.

Adım 4. Ayrım Ölçümelerini Hesapla. Öznitelikler arası ayırım (mesafe) n -boyutlu Öklid mesafesi ile ölçülebilir. Her bir özniteliğin pozitif ideal çözüm A^* 'den uzaklığı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2}, i = 1, \dots, m. \quad (5.13)$$

Aynı şekilde, negatif ideal çözüm A^- 'den uzaklık aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}, i = 1, \dots, m. \quad (5.14)$$

Adım 5. Pozitif İdeal Çözüme Yakınlıkları Hesapla.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{(S_i^* + S_i^-)}, i = 1, \dots, m. \quad (5.15)$$

Burada dikkat edilmelidir ki; $0 \leq C_i^* \leq 1$, $A_i = A^-$ olduğunda $C_i^* = 0$ ve $A_i = A^*$ olduğunda $C_i^* = 1$ dir.

Adım 6. Tercih Sıralamasını Düzenle. Maksimum C_i^* değerine sahip olan özniteliği seç ya da C_i^* değerine göre azalan sırada öznitelikleri düzenle.

Bundan sonraki bölümde de bu tezin asıl konusu olan Ar-Ge projelerinin çok ölçütlü değerlemesini yapabilmek için belirlememiz gereken ölçütleri inceleyelim. Bu ölçütlerin elde edilmesini gösterdikten sonra çözüm yöntemlerinde kullanılacak hiyerarşik yapıyı göstereceğiz.

5.4 Değerlendirme Ölçütleri

Endüstriyel Ar-Ge projeleri için değerlendirme ölçütleri literatürde değişik sınıflara ayrıştırılmıştır. Bu sınıflamaları inceledikten sonra olabilecek en iyi sınıflamayı ve hiyerarşiyi kurarak bundan sonraki problemlerimizdeki hiyerarşilerde kullanacağız.

Liberatore ölçütleri, Ar-Ge projeleri arası seçiminde AHP kullandığından dört ana ölçüte (üretim, teknik, pazarlama, finansal) ve dokuz alt ölçüte göre sınıflamıştır [66]. Kuei ve diğ. yedi ölçüt kullanmıştır, bunlar: kalite yarışı, karmaşıklık iyileştirmesi, çeşitlilik iyileştirmesi, belirsizlik yönetimi, dağıtım destek ilave

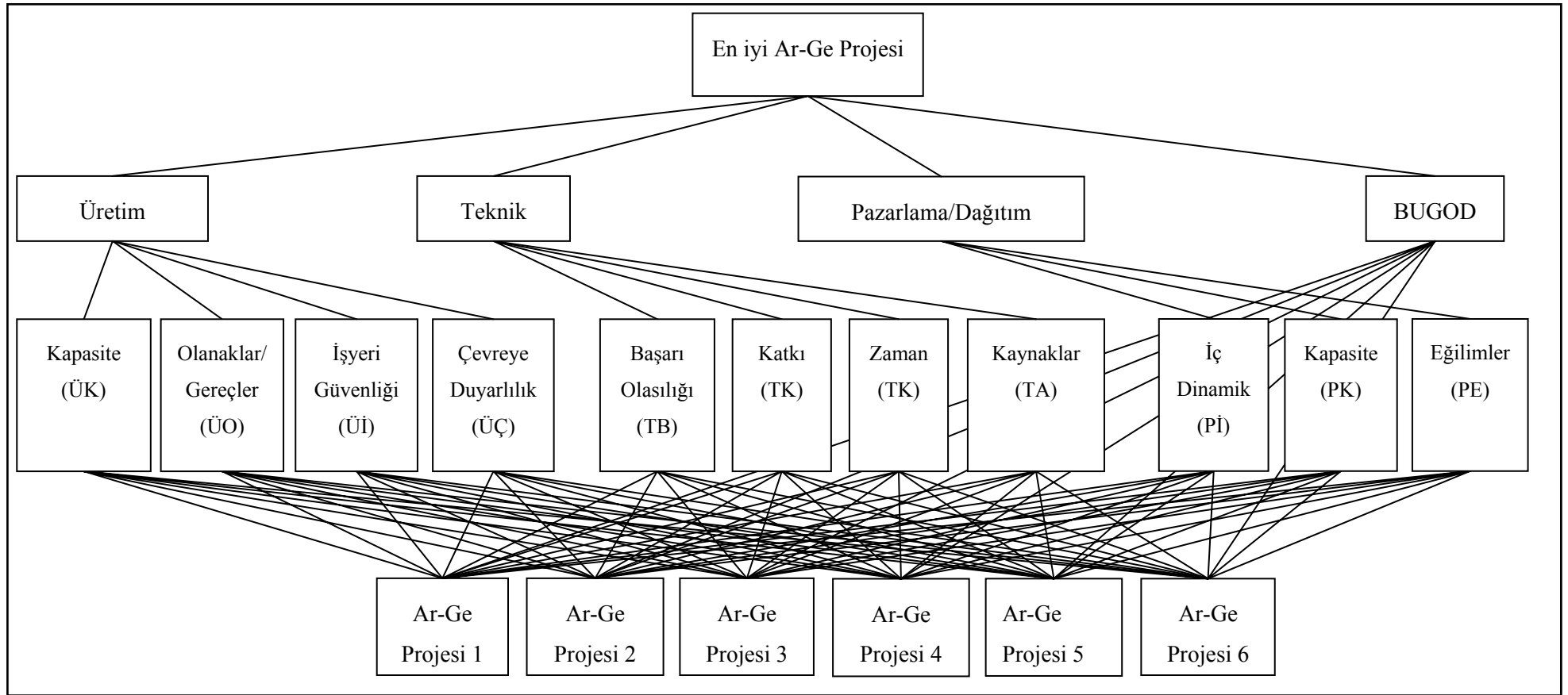
becerisi, zaman yönetimi ve bilgi yönetimidir [76]. Daha sonra Brenner, Ar-Ge proje sıralaması için beş farklı ana ölçüt (stratejik, müşteri/pazarlama, ürün, şirket ve rakipler) ve ondört alt ölçüt (rejimler, satışlar, avantaj vb.) belirlemiştir [77]. Yeni ürün geliştirme probleminde Chen ve diğ. ise ana ölçüt olarak; organizasyon/pazar, üretim kapasitesi, teknoloji ve mühendislik, on tane de alt ölçüt olarak; takım çalışması ve insan değerleri, hayatta kalan projelerin kapasitesi, teknolojik karakteristik vb. kullanmıştır [78].

Yukarıdaki literatür taramasından elde edilen ana ölçütler üretim, teknik, pazarlama/dağıtım ve BUGOD olarak belirlenmiştir. Alt ölçütler ise üretim ana ölçütü altında; üretim kapasitesi, üretim olanaklar ve gereçleri, üretim sırasında işyeri güvenliği, üretimin çevreye duyarlılığı olarak belirlenmiştir. Buradaki üretimden kasıt Ar-Ge projesinin üretilmesidir. Teknik ana ölçütü için olan alt ölçütler ise teknik başarı olasılığı, teknik katkı, teknik zaman, teknik kaynaklardır. Pazarlama/dağıtım ana ölçütünün alt ölçütleri: pazarlama iç dinamiği, pazarlama kapasitesi ve pazarlama eğilimleridir. BUGOD adından da anlaşılacağı üzere Bölüm Dörtte gösterilen projelerin bulanık gerçek opsiyon değeridir. Bu değer hesaplamalarla elde edildikten sonra normalleştirilip yönteme dâhil edilmektedir.

Bütün bu sıralanan sınıflandırmaları da dikkate alarak modelimizde Çizelge 5.2'deki ölçütler kullanılacaktır. Bu ölçütlerin hiyerarşisi ise Şekil 5.6'de verilecektir.

Çizelge 5.2 : Ar-Ge Projelerinin Değerleme Ölçütleri.

Ar-Ge Ölçütleri	Ar-Ge Alt Ölçütleri	Açıklama
Üretim (ÜR)	Kapasite (ÜK)	Üretimdeki çalışan sayısı ve becerileri ve var olan kapasite ile uyumları
	Olanaklar / Gereçler (ÜO)	Ek aletlere ve olanaklara ihtiyaç ve sistem esnekliği
	İşyeri Güvenliği (Üİ)	İşyerinin güvenliği
	Çevreye Duyarlılık (ÜÇ)	Projenin çevre koşullarına gösterdiği saygı
Teknik (TE)	Başarı Olasılığı (TB)	Teknik açıdan başarı olasılığı
	Katkı (TK)	Şirketin Ar-Ge alanındaki bilgi birikimine katkısı
	Zaman (TZ)	Yeni ürünün Ar-Ge aşamasındaki süre
	Kaynaklar (TA)	Araştırma geliştirme için uygun teknik kaynaklar
Pazarlama / Dağıtım (PA)	İç Dinamik (Pİ)	Rakiplere karşı ticari başarı olasılığı, müşteri kabulü
	Kapasite (PK)	Olası satış hacmi ve pazar payı
	Eğilimler (PE)	Müşterinin gelecek tercihlerine elverişlilik
BUGOD	-	Ar-Ge projelerinin bulanık gerçek opsiyon değeri



Şekil 5.6: Seçeneklerin ve Ölçütlerin Hiyerarşisi.

6. AR-GE PROJELERİNİN SEÇİMİNDE BULANIK ÇOK ÖLÇÜTLÜ MODELLER

Ar-Ge projelerinin bulanık küme teorisi ile değerlemesi yirmi ya da otuz yıldır yapıla gelmektedir. Dias, sıfır-bir karar değişkenleriyle çok ölçütlü proje seçim problemini çözmüştür [79]. Her bir ölçüt için proje önerisinde daha fazla olarak dilsel değerler kullanmıştır. Hepsi de baskın olmayan seçeneklerin bulanık kümesinden oluşur. Verilen seçeneğin üyelik derecesi, hızlıca sonuç çözümüne yakınsayan bir algoritma ile hesaplanmaktadır. Hwang ve Yu öncelikle çoğunluk kuralı yöntemiyle Ar-Ge projelerinin sıralı öncelik listesini belirlemişler ve kümelenmiş bulanık kümelerden oluşan sıralamaları diğerleriyle kıyaslamışlardır [80]. Sonunda ise; bütün algoritmaları kolayca ve basitçe hesaplamaya uygun sistematik ve pratik program geliştirmişlerdir. Uzmanların kişisel yargılarını puanlamada bulanık bir yaklaşım ise Hsu ve diğ. tarafından kullanılmıştır. AHP' yi değişik ilgi gruplarının beklentileri ile değerlendirme amaçlarını/ölçütlerini bütünleyen bir yaklaşımla kullanmışlardır [81]. Adı geçen çalışmada önceden belirlenmiş amaçlar/ölçütler teknik uzmanların grup karar yöntemine dâhil edilmiştir. Bir başka makro ölçekte Ar-Ge proje seçim çalışması ise Wang ve diğ. tarafından yapılmıştır [82]. Çin'in değişik alanlardan Ar-Ge projelerini bulanık AHP yöntemini uygulayarak puanlamışlardır. Adı geçen çalışmada geliştirilen yeni Ar-Ge değerlendirme sistemi, uzmanların ağır yükünü hafifletmiş ve devlet ajansının etkinliğini ve ödüllendirme sürecinin kalitesini önemli ölçüde iyileştirmiştir. Ar-Ge projelerinin seçimi yordamında bulanık maliyetlerle bulanık ANP, Mohanty ve diğ. tarafından kullanılmıştır [83]. Adı geçen çalışma Güney Doğu Asya'daki demir ve çelik endüstrisi sektörüne uygulanmıştır. Çalışmalarında; Ar-Ge opsiyonları dört hiyerarşik seviyede değerlendirilmiştir; (i) farklı kurum işlevleri, (ii) Ar-Ge projesinin geçtiği farklı aşamalar, (iii) karar verme ölçütleri ve (iv) bu ölçütlerin vasıflarıyla alt vasıfları. Bir başka devlet destekli Ar-Ge proje seçimi problemi de Huang ve diğ. tarafından bulanık AHP (BAHP) ile incelenmiştir [84]. Çalışmalarında, Tayvan'daki Endüstriyel Teknoloji Geliştirme Programı için teknik komitenin öznel uzmanca yargılarını kesin yargı matrisine çeviren bir yöntem

uygulamışlardır. Değerleme ölçütlerinin göreceli önemliliğinin değişik riskler altında, nasıl değiştiğini benzetim yöntemiyle ispat etmişlerdir.

6.1 Bulanık AHP Modeli

Saaty tarafından geliştirilen AHP yönteminde veri ihtiyacı en az düzeydedir. Ar-Ge projeleri için çok amaçlı yöntemleri idare edebilmesi açısından ve problemi çok seviyeli bir yapıya ya da hiyerarşiye ayrıştırabilmesi açısından çok uygun bir yöntemdir. Bulanık AHP’de, bulanık sayılar, uzmanların tercih değerlemesi görüş açılarına karşı ölçümlemlerini karşılıklı kıyas matrisini oluştururken kullanılır. Bu bölümde, iki adet AHP çözüm yöntemi incelenecektir. İlk önce en çok bilinen çözüm yöntemlerinden olan Buckley’in AHP yöntemi anlatılacaktır. Daha sonra bu çalışmada Xiaoqiong ve diğ.’nin çalışmasından geliştirilen diğer bir AHP yöntemi anlatılacaktır. Bu yöntemlerin ürettiği sonuçlar ayrıca karşılaştırılacaktır.

6.1.1 Buckley’in bulanık AHP yöntemi

Buckley bulanık kıyas oranları kullanarak klasik AHP yöntemini bulanık olarak çözme yöntemini önermiştir [85]. Bu çalışmada yamuk bulanık sayılar kullanıldığından Buckley’in bu çalışması tercih edilmiştir. Adımları kısaca aşağıda gösterilmiştir:

Adım 1: Karar verici ile görüşüp elemanları $\tilde{t}_{ij} = (k_{ij}; l_{ij}; m_{ij}; n_{ij})$ (tüm i ve j ’ler yamuk bulanık sayılardır) olan C kıyas matrisini elde edin.

Adım 2: Bulanık ağırlıklar (w_i) aşağıdaki gibi hesaplanabilir: Her bir satır için geometrik ortalama şu şekilde alınır:

$$\tilde{z}_i = \left[\prod_{j=1}^n \tilde{t}_{ij} \right]^{1/n}, \text{ her } i \text{ değeri için} \quad (6.1)$$

Bulanık ağırlık (w_i) aşağıdaki gibi verilmiştir:

$$w_i = \tilde{z}_i \otimes \left[\sum_{j=1}^n \tilde{z}_j \right]^{-1} \quad (6.2)$$

Adım 2 bütün seviye performans dereceleri için tekrar edilir.

Adım 3: Bulanık ağırlıklar ve bulanık performans dereceleri bir araya getirilir. Bulanık yarar, $\tilde{U}_i, \forall i$, aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$\tilde{U}_i = \sum_{j=1}^n \tilde{w}_j \tilde{r}_{ij}, \forall i \quad (6.3)$$

Adım 4: Bulanık yarar hesaplandıktan sonra tüm alternatifler arasından en yüksek yararlı olan Lee ve Li'nin bulanık sayıları sıralama yöntemiyle [29] seçilir.

6.1.2 Xiaoqiong ve diğ.'nin bulanık AHP yöntemi

Bu çalışmada kullanılan ve geliştirilen bir diğer yöntem ise Xiaoqiong ve diğ.[87]'lerinin Li ve Jiaqi'nin [86] çalışmalarından geliştirdiği yöntemdir. Yamuk bulanık sayıları kullanarak, bulanık AHP yöntemi geliştirilecektir. Bu yöntem geliştirilirken kullanılan yamuk bulanık sayılar Bölüm 4'te Şekil 4.2 ile gösterilmiştir. Sezgisel ve hesap olarak etkinliğinin yerinde olması açısından yamuk bulanık sayılar kullanılacaktır. Bu yöntemin seçilmesinin nedeni tutarlılık oranı testi yapılması ve yamuk bulanık sayıların kıyaslanmasının kullanılmasıdır. Bu iki konuda da geliştirmeler yapılmıştır.

Yöntemimizde, Xiaoqiong ve diğ. [87] yöntemindeki yamuk bulanık AHP'yi uygulamakla beraber yöntemin bazı adımlarını değiştireceğiz: 1. Bulanık yamuk sayıların kıyaslamasında değişiklik, 2. Tutarlılık oranını hesaplamada değişiklik. Bulanık karar matrisi, tutarlılık oranının ölçümü ve değerlendirme ölçütlerinin bulanık ağırlıklarının hesaplanması izleyen alt bölümlerde incelenecektir.

6.1.2.1 Bulanık karar matrisinin oluşturulması

AHP modeline göre, modelde k tabaka ve her bir k 'inci tabakada n_k çarpan vardır ve k ve n_k pozitif tamsayılar olmakla birlikte $k \geq 2$ 'dir. $k-1, (h=1, 2, \dots, n^{k-1})$ tabakasındaki D_h^{k-1} ölçütü ve buna karşılık gelen k tabakasındaki n_k indeksi arasındaki karşılıklı kıyas oluşturulur. Daha sonra bulanık yargı matrisi $\tilde{D} = (d_{ij})_{n \times n}$ elde edilecektir. i ve j 'nin her değeri için, i indeksinin j indeksine olan göreceli önemini gösteren tüm $d_{ij} = (l_{ij}; m_{ij}; n_{ij}; s_{ij})$ 'ler bulanık sayıdır. Ve eğer $l_{ij} \leq m_{ij} \leq n_{ij} \leq s_{ij}$ ise, $d_{ji} = (d_{ij})^{-1} = (s_{ij}^{-1}; n_{ij}^{-1}; m_{ij}^{-1}; l_{ij}^{-1})$ 'dir.

Ana ve alt ölçütlerin ve seçeneklerin ağırlıklarını belirlemek için Çizelge 6.1’de ki kıyas ölçeği kullanılacaktır.

Çizelge 6.1 : Karşılıklı kıyas ölçeği.

Dilsel Değerleme	Sayısal İfade
En az önemli	(0,167; 0,200; 0,250; 0,333)
Daha az önemli	(0,250; 0,333; 0,500; 1,000)
Daha az eşit	(0,500; 0,667; 0,667; 1,000)
Tam eşit	(1,000; 1,000; 1,000; 1,000)
Daha fazla eşit	(1,000; 1,500; 1,500; 2,000)
Daha önemli	(1,000; 2,000; 3,000; 4,000)
Çok daha önemli	(3,000; 4,000; 5,000; 6,000)

6.1.2.2 Tutarlılık oranlarının ölçümü

AHP yöntemi kullanıldığında, sıralamanın doğruluğunu sağlamak için yamuk bulanık karar matrisinde tutarlılık testi uygulamak kaçınılmazdır.

Öncelikle, durulaştırılmış yargı matrisi oluşturulmalıdır. Yamuk bulanık karar matrisi $\tilde{D} = (\tilde{d}_{ij})_{n \times n}$, $\tilde{d}_{ij} = (l_{ij}; m_{ij}; n_{ij}; s_{ij})$ tüm $i, j \in \{1, 2, \dots, n\}$ için, kesin matris

$D = (d_{ij})_{n \times n}$ ’e aşağıdaki formül yardımıyla çevrilir:

$$d_{ij} = \left[\frac{l_{ij} + 2m_{ij} + 2n_{ij} + s_{ij}}{6} \right], (i, j = 1, 2, \dots, n). \quad (6.4)$$

Daha sonra tutarlılık oranı doğrulama süreci, kesin AHP yöntemindeki gibi $D = (d_{ij})_{n \times n}$ matrisine uygulanmalıdır.

6.1.2.3 Değerlendirme ölçütlerinin bulanık ağırlıklarının hesaplanması

Yamuk bulanık ağırlıkları hesaplamadan önce, bazı varsayımları yapmak gerekmektedir: D , $m \times m$ sıralı bir bulanık yargı matrisidir. D ’nin elemanları d_{ij} ’ler, bir tek belirli tabakadaki bir tek belirli ölçütle $D_1, D_2, \dots, D_m$ çarpanları arasındaki karşılıklı kıyasların sonuçlarıdır. d_{ij} ’lerin hepsi yamuk bulanık sayı ile ifade edilir ve

hepsi: $d_{ji} = (d_{ij})^{-1}$, tüm $i, j \in \{1, 2, \dots, m\}$ için ve $d_{ii} = (1; 1; 1; 1)$, tüm $i \in \{1, 2, \dots, m\}$

için şartlarını sağlar. Ayrıca $\chi_i = \left[\prod_{j=1}^m l_{ij} \right]^{\frac{1}{m}}$, $\chi = \sum_{i=1}^m \chi_i$, benzer olarak:

$$\varphi_i = \left[\prod_{j=1}^m m_{ij} \right]^{\frac{1}{m}}, \quad \varphi = \sum_{i=1}^m \varphi_i; \quad \gamma_i = \left[\prod_{j=1}^m n_{ij} \right]^{\frac{1}{m}}, \quad \gamma = \sum_{i=1}^m \gamma_i; \quad \xi_i = \left[\prod_{j=1}^m s_{ij} \right]^{\frac{1}{m}}, \quad \xi = \sum_{i=1}^m \xi_i$$

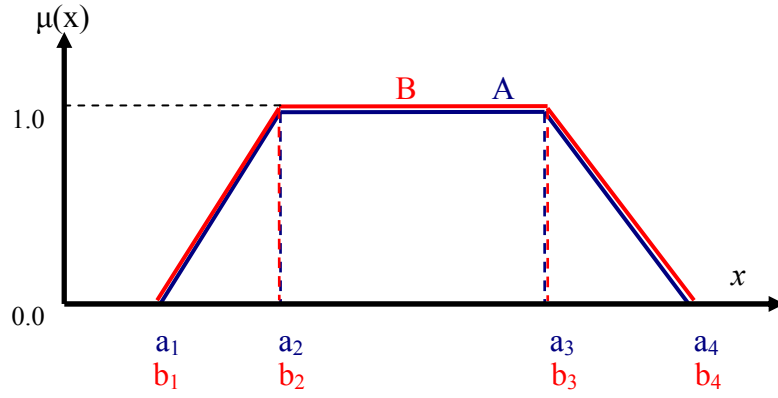
ifadeleri tanımlanır. Yukarıdaki varsayımlarla birlikte, D_i çarpanların ağırlıklı olan $\omega_i, (\chi_i \xi^{-1}; \varphi_i \gamma^{-1}; \gamma_i \varphi^{-1}; \xi_i \chi^{-1})$, $i \in \{1, 2, \dots, m\}$ şeklinde tanımlanır.

İlk olarak, yamuk bulanık yargı matrisinin tutarlılığı test edilir. Tutarlılığı elde edene kadar olan geri-besleme kontrolünü buraya uygulamak için, ω_{ih}^k , k tabakası üzerindeki D_h^{k-1} ve $k-1$ tabakası üzerindeki D_h^{k-1} 'lerin bulanık ağırlıkları çalıştırılır. $\omega_{ih}^k = (\chi_i \xi^{-1}; \varphi_i \gamma^{-1}; \gamma_i \varphi^{-1}; \xi_i \chi^{-1})$, $i = (1, 2, \dots, n_k)$ eşitliği geçerli olur ve $\omega_h^k = (\omega_{1h}^k, \omega_{2h}^k, \dots, \omega_{n_k h}^k)^T$, k 'nci tabakadaki tüm çarpanlar ile $k-1$ tabakasındaki D_h^{k-1} çarpanlarının bulanık ağırlıklarıdır.

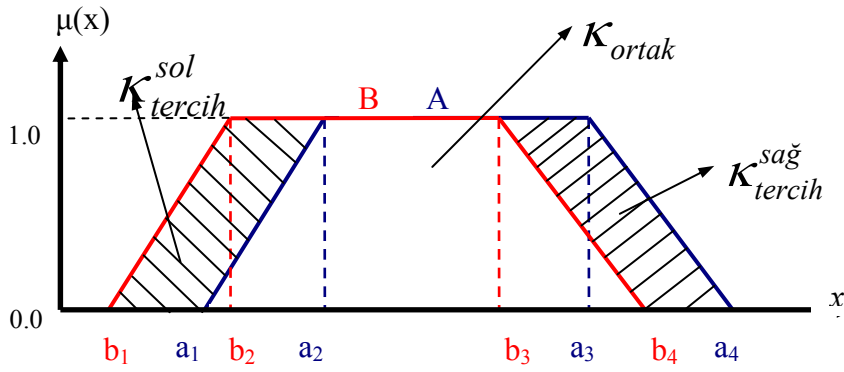
Varsayım: Diyelim ki $\tilde{A} = (a_1; a_2; a_3; a_4)$ ve $\tilde{B} = (b_1; b_2; b_3; b_4)$ iki adet tanımlı yamuk bulanık sayı olsun, bu durumda, $\tilde{A} \geq \tilde{B}$ olması olabilirliği aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir:

$$F(\tilde{A} \geq \tilde{B}) = \frac{\kappa_{tercih}^{sağ} + \kappa_{tercih}^{sol} + \kappa_{ortak}}{\kappa_B + \kappa_A} \quad (6.5)$$

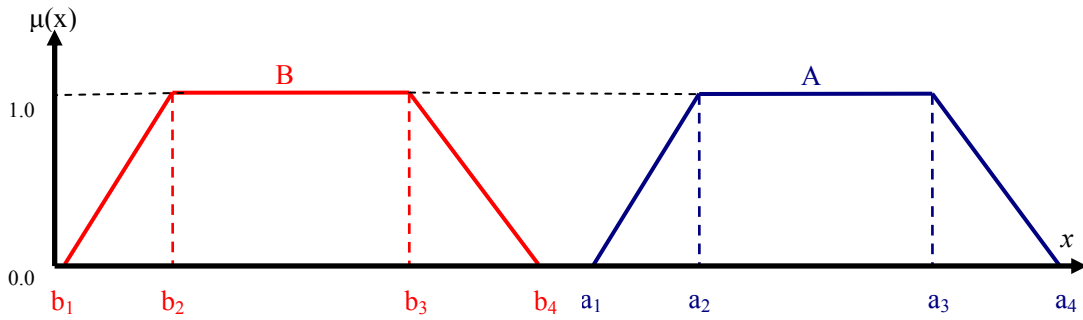
burada $\kappa_{tercih}^{sağ}$, bulanık sayı $\tilde{A}$ tercih edildiğinde sağında kalan alan, κ_{tercih}^{sol} , bulanık sayı $\tilde{A}$ tercih edildiğinde solunda kalan alanı, κ_{ortak} ise $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık sayılarının ortak alanını Şekil 6.3'de gösterildiği gibi belirtir. κ_A ve κ_B ise sırasıyla bulanık sayılar $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ 'nin altında kalan tüm alanı ifade eder. $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ 'yi kıyaslamak için oldukça fazla vaka bulunmaktadır. Şekil 6.1'den başlayarak Şekil 6.4'e uzanan vakalar Eşitlik 6.5 kullanılarak elde edilebilecek vakalardan sadece 4 tanesini göstermektedir. Diğer vakalar için aynı eşitliğin değişik uygulamaları olabilir ve Şekil 6.5 değişik bir örnek olarak verilebilir.



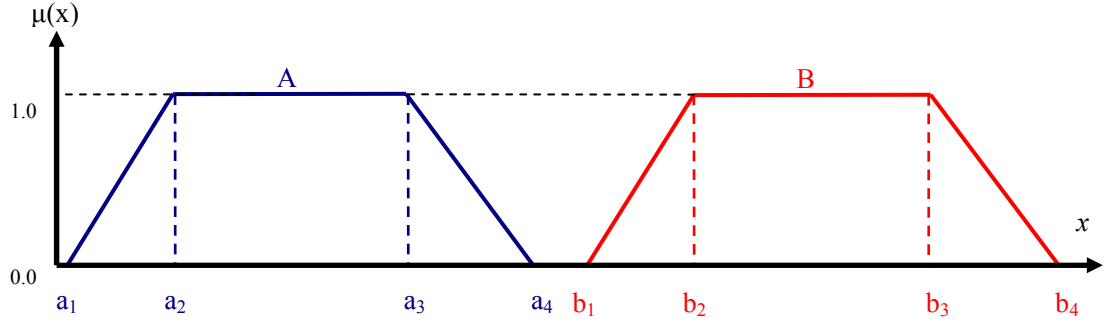
Şekil 6.1 : Yamuk bulanık sayıların kıyaslanması: Vaka 1.



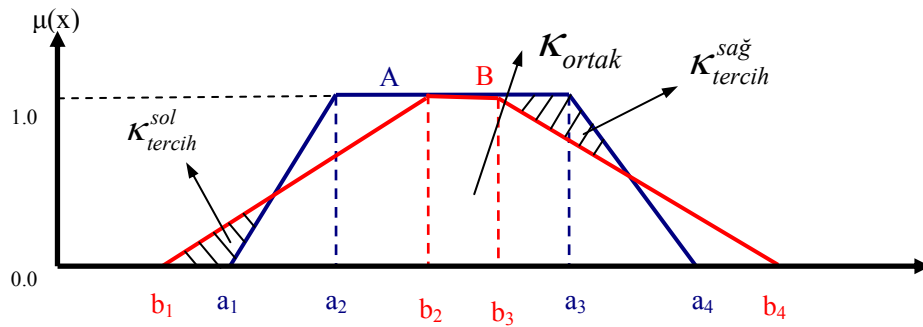
Şekil 6.2 : Yamuk bulanık sayıların kıyaslanması: Vaka 2.



Şekil 6.3 : Yamuk bulanık sayıların kıyaslanması: Vaka 3.



Şekil 6.4 : Yamuk bulanık sayıların kıyaslanması: Vaka 4.



Şekil 6.5 : Yamuk bulanık sayıların kıyaslanması: Vaka 5.

Yukarıdaki varsayım sayesinde,

$$F(\omega_{ih}^k \geq \omega_{jh}^k), (j=1, 2, \dots, n_k); i \neq j, (i=1, 2, \dots, n_k) \quad (6.6)$$

ve

$$P_h^k(D_i^k) = \min_j F(\omega_{ih}^k \geq \omega_{jh}^k) \quad (6.7)$$

eşitlikleri hesaplanmalıdır.

Birleştirme sürecinden sonra Eşitlik 6.5, P_h^k 'lerin normalleştirilmesinde kullanılır.

$$P_h^k = \frac{(P_h^k(D_1^k), P_h^k(D_2^k), \dots, P_h^k(D_{n_k}^k))^T}{\sum_{i=1}^{n_k} P_h^k(D_i^k)} \quad (6.8)$$

Genel hedefe yönelik olarak $k-1$ tabakasındaki toplam n_{k-1} çarpanları

$\omega^{k-1} = (\omega_1^{k-1}, \omega_2^{k-1}, \dots, \omega_{n_{k-1}}^{k-1})^T$ şeklinde ise ve aynı zamanda k tabakası üzerindeki her bir

çarpandan $k-1$ tabakasındaki her bir çarpana olan tekil sıralama matrisi aşağıdaki gibi ise;

$$P^k = \begin{bmatrix} P_{11}^k & P_{12}^k & \dots & P_{1n_{k-1}}^k \\ P_{21}^k & P_{22}^k & \dots & P_{2n_{k-1}}^k \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{n_k 1}^k & P_{n_k 2}^k & \dots & P_{n_k n_{k-1}}^k \end{bmatrix} \quad (6.9)$$

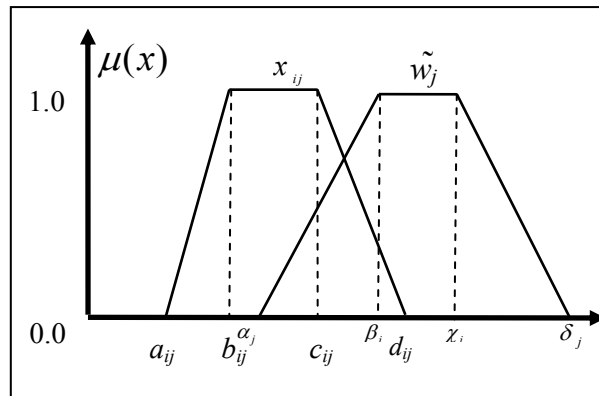
bu durumda, k tabakasındaki tüm faktörlerden genel hedefe olan ω^k toplam sıralaması aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\omega^k = P^k \omega^{k-1}. \quad (6.10)$$

6.2 Bulanık Hiyerarşik TOPSIS Modeli

TOPSIS yöntemi Hwang ve Yoon [88] tarafından geliştirildikten sonra, diğer araştırmacılar tarafından bu konuyu temel alan birçok derinlemesine inceleme yapılmıştır. Daha sonra Chen ve Hwang [22] bu yöntemi bulanık şekle dönüştürüp incelemişlerdir. Burada ele alınacak problemde bulanık TOPSIS yöntemine ihtiyaç doğmuş olmakla birlikte bunun hiyerarşik olanı incelenecektir. Hiyerarşik bulanık TOPSIS yöntemi Kahraman ve diğ. [89] tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntem öncelikle Chen ve Hwang'ın yöntemini anlayarak başlanmalıdır çünkü yöntem Chen ve Hwang'ın adı geçen yönteminin temeline dayanmakla birlikte ufak değişiklikler içermektedir:

İlk olarak; $m \times n$ boyutlu D karar matrisi Eşitlik 6.11'de görüldüğü gibi tanımlanır:



Şekil 6.6 : Yamuk bulanık sayılar [89].

$$D = \begin{matrix} & X_1 & \cdots & X_j & \cdots & X_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ \vdots \\ A_i \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1j} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ x_{i1} & \cdots & x_{ij} & \cdots & x_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mj} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (6.11)$$

Burada $x_{ij}, \forall i, j$ kesin ya da bulanık olabilir. Eğer x_{ij} bulanık ise, Şekil 6.6'de gösterildiği gibi yamuk bulanık sayıyla $x_{ij} = (a_{ij}; b_{ij}; c_{ij}; d_{ij})$ gösterilir. Bulanık ağırlıklar da Eşitlik 6.12'de olduğu gibi tanımlanabilir.

$$\tilde{w}_j = (\alpha_j; \beta_j; \chi_j; \delta_j) \quad (6.12)$$

6.2.1 Bulanık TOPSIS algoritması

Bulanık TOPSIS algoritmasının adımları aşağıdaki gibidir:

Adım 1. Karar matrisini normalleştirin. Elemanlarının birimden bağımsız olması için karar matrisi öncelikle normalleştirilmelidir. Klasik TOPSIS yöntemindeki karmaşık normalleştirme formüllerinden kaçınmak için aşağıdaki doğrusal ölçek dönüşümü uygulanır:

$$r_{ij} = \begin{cases} x_{ij} / x_j^*, \forall j, x_j \text{ fayda öz niteliği olduğunda} \\ x_j^- / x_{ij}, \forall j, x_j \text{ maliyet öz niteliği olduğunda} \end{cases} \quad (6.13)$$

Yukarıdaki formülde x_j^* ve x_j^- , en yüksek ve en düşük dereceyi sırasıyla gösterir. Eşitlik 6.13'ü uygulayarak, Eşitlik 6.11'deki karar matrisini Eşitlik 6.14'de görüldüğü gibi yeniden yazabiliriz.

$$D' = \begin{matrix} & X_1 & \cdots & X_j & \cdots & X_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ \vdots \\ A_i \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1j} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ r_{i1} & \cdots & r_{ij} & \cdots & r_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{mj} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (6.14)$$

Burada x_{ij} kesin olduğunda, buna karşılık gelen r_{ij} de kesin olmalı, aynı zamanda x_{ij} bulanık olduğunda, buna karşılık gelen r_{ij} de bulanık olmalıdır. Eşitlik 6.13 takip eden bulanık işlemlerle yeniden düzenlenir: Diyelim ki $x_{ij} = (a_{ij}; b_{ij}; c_{ij}; d_{ij})$,

$\tilde{x}_j^- = (a_j^-; b_j^-; c_j^-; d_j^-)$ ve $\tilde{x}_j^* = (a_j^*; b_j^*; c_j^*; d_j^*)$ olduğunda, aşağıdaki formül geçerli olur:

$$\tilde{r}_{ij} = \begin{cases} \tilde{x}_{ij}(\div)\tilde{x}_j^* = \left(\frac{a_{ij}}{d_j^*}; \frac{b_{ij}}{c_j^*}; \frac{c_{ij}}{b_j^*}; \frac{d_{ij}}{a_j^*} \right) \\ \tilde{x}_j^-(\div)\tilde{x}_{ij} = \left(\frac{a_i^-}{d_{ij}}; \frac{b_i^-}{c_{ij}}; \frac{c_i^-}{b_{ij}}; \frac{d_i^-}{a_{ij}} \right) \end{cases} \quad (6.15)$$

Adım 2. Ağırlıklandırılmış karar matrisini elde et. Bu matris aşağıdaki eşitlik kullanılarak elde edilir.

$$v_{ij} = r_{ij}w_j \quad \forall j, j \quad (6.16)$$

Her iki değişken r_{ij} ve w_{ij} kesinse, v_{ij} değişkeni de kesindir; bu arada her iki değişkenden r_{ij} veya w_{ij} bulanıksa (ya da her ikisi de) Eşitlik 6.16 aşağıdaki bulanık işlemlere yeniden düzenlenmelidir:

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij}(\cdot)\tilde{w}_j = \left(\frac{a_{ij}}{d_j^*}\alpha_j; \frac{b_{ij}}{c_j^*}\beta_j; \frac{c_{ij}}{b_j^*}\chi_j; \frac{d_{ij}}{a_j^*}\delta_j \right) \quad (6.17)$$

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij}(\cdot)\tilde{w}_j = \left(\frac{a_i^-}{d_{ij}}\alpha_j; \frac{b_i^-}{c_{ij}}\beta_j; \frac{c_i^-}{b_{ij}}\chi_j; \frac{d_i^-}{a_{ij}}\delta_j \right) \quad (6.18)$$

Eşitlik 6.17, j .inci öznitelik fayda özniteliği olduğunda kullanılır. Eşitlik 6.18, j .inci öznitelik maliyet özniteliği olduğunda kullanılır. Eşitlik 6.17 ve 6.18'in sonuçları Eşitlik 6.19'da görüldüğü üzere özetlenebilir.

$$v = \begin{matrix} & X_1 & \cdots & X_j & \cdots & X_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ \vdots \\ A_i \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} v_{11} & \cdots & v_{1j} & \cdots & v_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ v_{i1} & \cdots & v_{ij} & \cdots & v_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ v_{m1} & \cdots & v_{mj} & \cdots & v_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (6.19)$$

Adım 3. Pozitif ideal çözümü (PIS), A^* , ve negatif ideal çözümü (NIS), A^- , elde et. PIS ve NIS aşağıdaki gibi tanımlanırlar:

$$A^* = [v_1^*, \dots, v_n^*], \quad (6.20)$$

$$A^- = [v_1^-, \dots, v_n^-], \quad (6.21)$$

Burada $v_j^* = \max_i v_{ij}$ ve $v_j^- = \min_i v_{ij}$ dir. Kesin veri için, v_j^* ve v_j^- doğrudan elde edilir. Bulanık veri durumunda ise $\tilde{v}_j^*$ ve $\tilde{v}_j^-$, bir takım sıralama süreçlerinden geçirildikten sonra elde edilebilir. İncelediğimiz yöntemde Chen ve Hwang, Lee ve Li'nin [29] sıralama yöntemini bulanık sayıların kıyaslaması için kullanmışlardır. Burada $\tilde{v}_j^*$ ve $\tilde{v}_j^-$ sırasıyla en geniş genelleştirilmiş ortalama ve en küçük genelleştirilmiş ortalamaya sahip bulanık sayılardır. Bulanık sayı $\tilde{v}_{ij}, \forall j$ için genelleştirilmiş ortalama aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$M(\tilde{v}_{ij}) = \frac{-a_{ij}^2 - b_{ij}^2 + c_{ij}^2 + d_{ij}^2 - a_{ij}b_{ij} + c_{ij}d_{ij}}{[3(-a_{ij} - b_{ij} + c_{ij} + d_{ij})]} \quad (6.22)$$

Her bir j sütunu için, en yüksek ortalaması $\tilde{v}_j^*$ ve en düşük ortalaması $\tilde{v}_j^-$ olan bir $\tilde{v}_{ij}$ değeri buluruz.

Adım 4. Ayrım ölçüleri olan S_i^* ve S_i^- değerlerini elde et. Klasik durumda, bu ayrım ölçüleri aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$S_i^* = \sum_{j=1}^n D_{ij}^*, \quad i = 1, \dots, m \quad (6.23)$$

$$S_i^- = \sum_{j=1}^n D_{ij}^-, \quad i = 1, \dots, m \quad (6.24)$$

Kesin veriler için, fark ölçüleri olan D_{ij}^* ve D_{ij}^- , aşağıda verildiği gibidir:

$$D_{ij}^* = |v_{ij} - v_j^*| \quad (6.25)$$

$$D_{ij}^- = |v_{ij} - v_j^-| \quad (6.26)$$

Hesaplama doğrudan yapılır. Bulanık veriler için, iki bulanık sayı $\mu_{v_{ij}}(x)$ ve $\mu_{v_j^*}(x)$ arasındaki fark (Li'nin çalışmasında olduğu gibi [90]) ise Eşitlik 6.27'de verildiği gibi ifade edilir:

$$D_{ij}^* = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^*), \forall i, j \quad (6.27)$$

Benzer olarak $\mu_{v_{ij}}(x)$ ve $\mu_{v_j^-}(x)$ arasındaki fark aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$D_{ij}^- = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-), \forall i, j \quad (6.28)$$

İki yamuk bulanık sayı arasındaki mesafeyi Li'nin [90] yöntemi ile bulabilmek için aşağıdaki eşitliği kullanmak gerekir, buradaki terimler daha önce Şekil 4.2'de gösterilen terimlerle aynıdır:

$$d(\tilde{A}, \tilde{B}) = \sqrt{\frac{[(a_1 - b_1)^2 + 2(a_2 - b_2)^2 + 2(a_3 - b_3)^2 + (a_4 - b_4)^2]}{6}} \quad (6.29)$$

Burada unutulmaması gereken D_{ij}^* ve D_{ij}^- değerlerinin kesin sayı olduğudur.

Adım 5. İdeal noktalara olan göreceli yakınlığı hesapla. Bu indeks, Adım 4'te hesaplanan S_i^* ve S_i^- indislerini birleştirmeye yarar. S_i^* ve S_i^- kesin sayılar olduklarından, aşağıdaki formüldeki gibi birleştirilebilirler:

$$C_i = S_i^- / (S_i^* + S_i^-) \quad (6.30)$$

Seçenekler C_i indeksinin büyüklüğüne göre azalan değerlerle sıralanır.

6.2.2 Bulanık hiyerarşik TOPSIS algoritması

Bulanık TOPSIS uygulaması verildikten sonra Kahraman ve diğ. [89] tarafından geliştirilen bulanık hiyerarşik TOPSIS yöntemi takip eden paragraflarda incelenmiştir.

Varsayalım ki elimizde n adet ana öznelilik, m adet alt-öznelilik, k adet seçenek ve s adet ankete karşılık veren olsun. Her bir ana özneliliğin, m alt-özneliliğin toplam sayısının $\sum_{i=1}^n r_i$ 'a eşit olduğu yerde r_i alt-özneliliği olsun.

İlk matris olan ($\tilde{I}_{MA}$), Eşitlik 6.30'da verilmiştir. Bu matris hedef hakkında olan ana özneliliklerin ağırlıklarından elde edilmiştir.

$$\tilde{I}_{MA} = \begin{matrix} & \text{Hedef} \\ \begin{matrix} MA_1 \\ MA_2 \\ \vdots \\ MA_p \\ \vdots \\ MA_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} \tilde{w}_1 \\ \tilde{w}_2 \\ \vdots \\ \tilde{w}_p \\ \vdots \\ \tilde{w}_n \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (6.31)$$

Burada $\tilde{w}_p$, ankete cevap verenlerin atadığı ağırlıkların aritmetik ortalamasıdır ve Eşitlik 6.32'deki gibi hesaplanır:

$$\tilde{w}_p = \frac{\sum_{i=1}^s \tilde{q}_{pi}}{s}, \quad p = 1, 2, \dots, n \quad (6.32)$$

Burada $\tilde{q}_{pi}$, i .nci ankete cevap veren tarafından p .inci ana öznelilik için hedef hakkında verdiği bulanık değerlendirme derecesini gösterir. İkinci matris ($\tilde{I}_{SA}$), ana öznelilikler dikkate alınarak alt-öznelilikler için verilen ağırlıklar olarak ifade edilir. Birinci matris $\tilde{I}_{MA}$ 'den elde edilen ağırlık vektörü $\tilde{I}_{SA}$ matrisinin üstüne Eşitlik 6.33'te görüldüğü gibi yazılır.

$$\tilde{I}_{SA} = \begin{matrix} & \begin{matrix} \tilde{w}_1 & \tilde{w}_2 & \cdots & \tilde{w}_p & \cdots & \tilde{w}_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} MA_1 \\ MA_2 \\ \vdots \\ MA_{p_1} \\ SA_{11} \\ SA_{12} \\ \vdots \\ SA_{1n_1} \\ SA_{21} \\ SA_{22} \\ \vdots \\ SA_{2r_2} \\ \vdots \\ SA_{pl} \\ \vdots \\ SA_{n1} \\ SA_{n2} \\ \vdots \\ SA_{nr_n} \end{matrix} & \begin{bmatrix} MA_1 & MA_2 & \cdots & MA_p & \cdots & MA_n \\ \tilde{w}_{11} & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 \\ \tilde{w}_{12} & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \tilde{w}_{1n_1} & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \tilde{w}_{21} & \cdots & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \tilde{w}_{22} & \cdots & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ 0 & \tilde{w}_{2r_2} & \cdots & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & 0 & & & & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \tilde{w}_{pl} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & & & & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & \tilde{w}_{n1} \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & \tilde{w}_{n2} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & \tilde{w}_{nr_n} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (6.33)$$

Burada $\tilde{w}_{pl}$, ankete cevap verenlerin atadığı ağırlıkların aritmetik ortalamasıdır ve Eşitlik 6.34'teki gibi hesaplanır:

$$\tilde{w}_{pl} = \frac{\sum_{i=1}^s \tilde{q}_{pli}}{s} \quad (6.34)$$

Burada $\tilde{q}_{pli}$, i .nci ankete cevap veren tarafından l .inci alt-öznitelik için p .inci ana öznitelik hakkında verdiği bulanık değerlendirme derecesini gösterir.

Üçüncü matris ($\tilde{I}_A$), alt-öznitelikler dikkate alınarak seçenekler için verilen ağırlıklar olarak ifade edilir. İkinci matris $\tilde{I}_{SA}$ 'den elde edilen ağırlık vektörü $\tilde{I}_A$ matrisinin üstüne Eşitlik 6.35'de görüldüğü gibi yazılır.

$$\tilde{I}_A = \begin{matrix} & \tilde{W}_{11} & \tilde{W}_{12} & \dots & \tilde{W}_{1n_l} & \dots & \tilde{W}_{pl} & \dots & \tilde{W}_{nr_n} \\ & SA_{11} & SA_{12} & \dots & SA_{1n_l} & \dots & SA_{pl} & \dots & SA_{nr_n} \\ A_1 & \left[\begin{array}{ccccccc} \tilde{c}_{111} & \tilde{c}_{112} & \dots & \tilde{c}_{11n_l} & \dots & \tilde{c}_{1pl} & \dots & \tilde{c}_{1nr_n} \\ \tilde{c}_{211} & \tilde{c}_{212} & \dots & \tilde{c}_{21n_l} & \dots & \tilde{c}_{2pl} & \dots & \tilde{c}_{2nr_n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ A_q & \tilde{c}_{q11} & \tilde{c}_{q12} & \dots & \tilde{c}_{q1n_l} & \dots & \tilde{c}_{qpl} & \dots & \tilde{c}_{qnr_n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ A_k & \tilde{c}_{k11} & \tilde{c}_{k12} & \dots & \tilde{c}_{k1n_l} & \dots & \tilde{c}_{kpl} & \dots & \tilde{c}_{knr_n} \end{array} \right. & \end{matrix} \quad (6.35)$$

burada,

$$\tilde{W}_{pl} = \sum_{j=1}^n \tilde{w}_p \tilde{w}_{pj} \quad (6.36)$$

$j \neq l$ için $w_{pj} = 0$ olduğundan, Eşitlik 6.37'yi Eşitlik 6.36 yerine kullanabiliriz.

$$\tilde{W}_{pl} = \tilde{w}_p \tilde{w}_{pl} \quad (6.37)$$

$\tilde{I}_A$ matrisinde, $\tilde{c}_{qpl}$ ankete cevap verenlerin atadığı ağırlıkların aritmetik ortalamasıdır ve Eşitlik 6.38'deki gibi hesaplanır:

$$\tilde{c}_{qpl} = \frac{\sum_{i=1}^s \tilde{q}_{qpli}}{s} \quad (6.38)$$

Burada $\tilde{q}_{qpli}$ i .nci ankete cevap veren tarafından p .inci ana öznitelik altındaki l .inci alt-öznitelik için q .inci seçenek hakkında verdiği bulanık değerlendirme derecesini gösterir.

$\tilde{c}_{qpl}$ değerlerini elde ettikten sonra, bu hiyerarşik yapı, Bölüm 6.2.1'de bahsedilen bulanık TOPSIS yöntemine bütünleştirmek üzere hazır hale gelmiştir. Elde edilen $\tilde{I}_A$ matrisi bulanık TOPSIS yönteminde başlangıç matrisi olarak kullanılan D matrisine karşılık gelmektedir. Dolayısıyla bu hiyerarşik yapı $\tilde{I}_A$ matrisi haline getirildikten

sonra Bölüm 6.2.1’de verilen bulanık TOPSIS yöntemiyle çözülür ve seçenekler sıralanır.

7. GERÇEK OPSİYON BÜTÜNLEŞİK AR-GE PROJESİ SEÇİM MODELİ UYGULAMALARI

Bu bölüme kadar literatürde var olan yöntemler ve bu yöntemlerin adımları verilmiştir. Bu bölümde ise Bölüm 4.5'te verilen gerçek opsiyon değerlendirme yöntemleri ile Bölüm 6'da incelenen karar destek yöntemlerinden olan bulanık AHP ve bulanık hiyerarşik TOPSIS modelleri bütünleştirilecektir. Geçmişte yapılan çalışmalar kısaca incelendikten sonra önerilen yeni yöntemler sırasıyla sunulacaktır. Daha sonra bu yöntemler gerçek bir çalışmaya uygulanacaktır.

7.1 Bulanık AHP Yöntemi ile Bütünleştirilmiş Gerçek Opsiyon Değerleme Modeli

Gerçek opsiyon değerlendirme yöntemi ile bulanık gerçek opsiyon değerlendirme yöntemi önceki bölümlerde ayrıntılarıyla incelenmişti. Bu alt bölüm, Ar-Ge projelerinin bulanık çok ölçütlü değerlemesi ile bulanık gerçek opsiyon değerlemesini birleştirmektedir. Bulanık analitik hiyerarşi prosesi modeli, çok ölçütlü değerlendirme modelleri arasından uygun yöntemlerden biri olarak, bu bölüm için seçilmiştir. Bulanık AHP, literatürde, çeşitli amaçlar için kullanılmıştır: Konum seçimi [91]; bilgisayar destekli imalat sistemleri arasında seçimde grup karar verme [92]; yemek hizmetlerinin çok ölçütlü değerlemesinde [93]; taşıma şirketleri arasından seçim sürecinde [94]; proje riski değerlemesinde [95]; en uygun bakım stratejileri seçiminde [96] olmak üzere. Bu örnekleri daha da artırmak mümkündür.

Takip eden bölümde geliştirilmiş olan bu yeni bütünleşik modelin adımları verilmiştir. Modelde ekonomik özneteliğin hesaplanması için bulanık gerçek opsiyonlar kullanılması Ar-Ge projelerinin doğası gereği uygun görülmüştür. Çünkü Ar-Ge projeleri çok evreli projeler olmakla birlikte içerisinde sürekli bir seçim hakkı bulunduran süreçlerdir.

7.1.1 BAHP-BUGOD model adımları (Buckley yöntemi)

Bulanık AHP ile bütünleştirilmiş bulanık gerçek değerlendirme için kullanılacak bulanık AHP çözüm yöntemlerinden, ilk öncelikle Buckley'in geliştirdiği yöntem ile bütünleştirilmiş model işlenecektir:

Adım 1. Ankete cevap verenlerden elde edilen bulanık sayılardan oluşan sonuçları karşılıklı kıyas matrisini oluşturmak için kullan.

Adım 2. Her bir satırın geometrik ortalamasını Eşitlik 6.1 ile bul.

Adım 3. Bulanık ağırlık w_i Eşitlik 6.2 ile hesapla. Adım 3'ü bütün seviye performans dereceleri için tekrar ettir.

Adım 4. Bulanık ağırlıklar ve bulanık performans derecelerini bir araya getir. Bulanık yararları (BUGOD hariç), $\tilde{U}_i, \forall i$, Eşitlik 6.3 yardımıyla hesapla.

Adım 5. Bulanık gerçek opsiyon değeri için, öncelikle her bir seçenek için ayrı ayrı $E(\tilde{S})$, $E(\tilde{C}_1)$, $E(\tilde{C}_2)$, $E(\tilde{C}_3)$, ve $\text{Var}(\tilde{S})$ değerlerini Eşitlik 4.20 ve 4.21 ile hesapla. Daha sonra S^c değerini enterpolasyonla bul.

Adım 6. Eşitlik 3.8, 3.9, 3.10 ve 3.11 ile u_1 , u_2 , v_1 ve v_2 değerlerini her bir alternatif için sırasıyla hesapla.

Adım 7. Her bir seçenek için *BUGOD* değerini Eşitlik 3.7 ile bul. Daha sonra tüm alternatiflerin toplamı olan $\sum \text{BUGOD}_i$ değerine bölerek her bir seçeneğin ağırlığını, (w_{BUGOD}) 'u hesapla.

Adım 8. Son olarak bu ağırlıkları bulanık AHP'de son adım ağırlıkları satırına yazarak en son $\tilde{U}_i$ değerlerini bul ve bunları Lee ve Li [29] yöntemiyle sıralayarak en iyi alternatifi elde et.

7.1.2 BAHP-BUGOD modelin Ar-Ge projesi seçimine uygulaması (Buckley yöntemi)

Türkiye'de elektronik endüstrisindeki büyük firmalardan birisi olan kuruluş Çizelge 7.1'de verilen altı adet Ar-Ge projesini değerlendirmek ve aralarından seçim yapmak istemektedir. Bu değerlendirme sürecinde dikkate alınacak ölçütler Bölüm 5.4'te verilmişti. Ana ölçütler; üretim, teknik, pazarlama/dağıtım ve BUGOD olarak belirlenmişti. Alt ölçütler ise üretim ana ölçütü altında; kapasite, olanaklar ve

gereçler, işyeri güvenliği, çevreye duyarlılık, teknik ana ölçütü altında; başarı olasılığı, katkı, zaman, kaynaklar, pazarlama/dağıtım ana ölçütü altında; iç dinamik, kapasite, eğilimler olarak belirlenmişti. Buradaki üretimden kasıt Ar-Ge projesinin ortaya çıkarılmasıdır. Yukarıda sayılan bu ölçütler dikkate alınarak Şekil 5.6’da ki hiyerarşi bu uygulamada kullanılacaktır. Oluşturulan bu ölçütler ve hiyerarşi kuruluştaki çalışmakta olan Ar-Ge mühendisleri ile görüşülerek son halini almıştır.

Çizelge 7.1 : Ar-Ge projeleri.

Ar-Ge projesi 1	Buzdolaplarında biyoteknoloji,
Ar-Ge projesi 2:	DVD Mavi-ışın yazıcılı oyun konsolu,
Ar-Ge projesi 3:	3N cep telefonu geliştirilmesi,
Ar-Ge projesi 4:	Çamaşır makinelerinde ağırlık duyargası geliştirilmesi,
Ar-Ge projesi 5:	LCD televizyonlarda HD2 teknolojisi,
Ar-Ge projesi 6:	El ve dizüstü elektronik cihazlar için yeni tür pil teknolojisi.

Mühendislerle görüşülerek ve önerilen yöntem kullanılarak Ek-A’da verilen anket formları hazırlanmış ve ilgili Ar-Ge mühendislerine fikirlerini almak için gönderilmiştir. Bu yöntemde tutarlılık testi olmamasına rağmen doğru karşılaştırma yapabilmek amacıyla anketlerden elde edilerek kullanılan veriler tutarlılık oranına göre düzeltilmiş verilerdir. Daha sonra Bölüm 7.1.1’deki adımların ilk dördü işletilmiş ve bu sayede Çizelge 7.2’deki değerler (BUGOD hariç) bulunmuştur.

Çizelge 7.3’de kuruluştan elde edilen Ar-Ge projelerine yönelik bulanık finansal değerler sunulmuştur. Bu tabloda karşılaştırılan proje seçeneklerinin; piyasa tanıtımından sonra proje gelirlerinin şimdiki değerleri, evre 1 için yatırım maliyetlerinin şimdiki değerleri, evre 2 için yatırım maliyetlerinin şimdiki değerleri, evre 3 için yatırım maliyetlerinin şimdiki değerleri ve birinci opsiyonun vade bitim tarihi kesin değerleri ile ikinci opsiyonun vade bitim tarihi kesin değerleri sunulmuştur. Şubat 2007 için Türkiye’de Merkez Bankası tarafından uygulanan yıllık faiz oranı % 15,25 olduğundan bu çalışma için bu faiz oranı hesaplarda kullanılacaktır.

Çizelge 7.2 : Bulanık AHP ağırlıkları (Buckley yöntemi).

	$\tilde{W}_1(\ddot{U}R)$	$\tilde{W}_2(TE)$	$\tilde{W}_3(PA)$	$\tilde{W}_4(BUGOD)$
	(0,165; 0,214; 0,225; 0,305)	(0,117; 0,162; 0,189; 0,305)	(0,165; 0,262; 0,276; 0,432)	(0,196; 0,311; 0,363; 0,513)
$\tilde{w}_{11}(\ddot{U}K)$	(0,155; 0,244; 0,296; 0,445)			
$\tilde{w}_{12}(\ddot{U}O)$	(0,185; 0,330; 0,402; 0,629)			
$\tilde{w}_{13}(\ddot{U}İ)$	(0,092; 0,131; 0,176; 0,314)			
$\tilde{w}_{14}(\ddot{U}Ç)$	(0,155; 0,205; 0,225; 0,314)			
$\tilde{w}_{21}(TB)$		(0,091; 0,147; 0,169; 0,328)		
$\tilde{w}_{22}(TK)$		(0,181; 0,321; 0,334; 0,552)		
$\tilde{w}_{23}(TZ)$		(0,128; 0,229; 0,265; 0,464)		
$\tilde{w}_{24}(TA)$		(0,153; 0,262; 0,273; 0,464)		
$\tilde{w}_{31}(Pİ)$			(0,206; 0,325; 0,325; 0,520)	
$\tilde{w}_{32}(PK)$			(0,164; 0,248; 0,248; 0,413)	
$\tilde{w}_{33}(PE)$			(0,260; 0,426; 0,426; 0,655)	

Anketlerden elde edilen $\tilde{r}_{ij}$ değerleri Ek-B’de verilmiştir.

Çizelge 7.3 : Seçeneklerin ekonomik ve zaman değerleri.

	Piyasa tanıtımından sonra proje gelirlerinin ŞD	Evre 1 için yatırım maliyetlerinin ŞD	Evre 2 için yatırım maliyetlerinin ŞD	Evre 3 için yatırım maliyetlerinin ŞD	Birinci opsiyo- nun vade bitim tarihi	İkinci opsiyo- nun vade bitim tarihi
Projeler	$\tilde{S} (\times 10^4 \text{ YTL})$	$\tilde{C}_1 (\times 10^4 \text{ YTL})$	$\tilde{C}_2 (\times 10^4 \text{ YTL})$	$\tilde{C}_3 (\times 10^4 \text{ YTL})$	T_1	T_2
Ar-Ge1	(180; 200; 250; 270)	(37; 40; 50; 53)	(8; 10; 15; 17)	(48; 50; 55; 57)	2	3
Ar-Ge2	(320; 350; 400; 430)	(67; 70; 90; 93)	(45; 50; 60; 65)	(83; 90; 110; 117)	2	5
Ar-Ge3	(655; 680; 700; 725)	(55; 60; 70; 75)	(18; 20; 24; 26)	(57; 60; 70; 72)	2	5
Ar-Ge4	(170; 180; 280; 290)	(18; 20; 24; 26)	(8; 10; 12; 14)	(48; 50; 55; 57)	1	2
Ar-Ge5	(550; 600; 700; 750)	(37; 40; 45; 48)	(18; 20; 24; 26)	(75; 80; 100; 105)	2	6
Ar-Ge6	(185; 200; 240; 255)	(29; 30; 40; 41)	(12; 15; 20; 23)	(66; 70; 85; 89)	3	4

Bölüm 7.1.1’de sunulan modelin dokuzuncu adımından onbirinci adımına kadar olan adımları, Çizelge 7.3’de tüm alternatifler için ayrı ayrı uygulanır. Sonuçta her bir seçenek için bulunan *BUGOD* değerleri Çizelge 7.4’te sunulmuştur.

Hesaplamalara örnek vermek gerekirse; bu tabloda $BUGOD_{Ar-Ge1}$ şu şekilde hesaplanmıştır:

$$E(\tilde{S}_{Ar-Ge1}) = \frac{200 + 250}{2} + \frac{180 + 270 - 200 - 250}{6} = 225,$$

$$\sigma^2(\tilde{S}_{Ar-Ge1}) = \frac{(250-200)^2}{4} + \frac{(250-200)(200+270-180-250)}{6} + \frac{(200+270-180-250)^2}{24} = 1025.$$

Çizelge 7.4 : Gerçek opsiyon hesaplama sonucu.

Projeler	$BUGOD (\times 10^4 \text{ YTL})$	w_{BUGOD}
Ar-Ge1	(50,2; 63,9; 98,2; 111,9)	(0,037; 0,051; 0,103; 0,132)
Ar-Ge2	(7,7; 25,0; 58,9; 76,1)	(0,006; 0,020; 0,062; 0,090)
Ar-Ge3	(356,2; 374,2; 394,3; 412,8)	(0,263; 0,301; 0,413; 0,489)
Ar-Ge4	(85,6; 97,8; 185,8; 197,3)	(0,063; 0,079; 0,194; 0,233)
Ar-Ge5	(310,3; 347,6; 426,1; 463,3)	(0,229; 0,280; 0,446; 0,548)
Ar-Ge6	(35,0; 47,0; 79,5; 91,5)	(0,026; 0,038; 0,083; 0,108)

Aynı formülle Ar-Ge1 için $E(\tilde{C}_1) = 45$, $E(\tilde{C}_2) = 12,5$ ve $E(\tilde{C}_3) = 52,5$ değerleri de bulunur.

Daha sonra, $\sigma = \sqrt{\text{Var}(\tilde{S}_{Ar-Ge1})} / E(\tilde{S}_{Ar-Ge1}) = 32,015 / 225 = 0,142$,

$\delta = E(\tilde{C}_1) / E(\tilde{S}_{Ar-Ge1}) = 45 / 225 = 0,2$ değerleri elde edilir.

Eşitlik 4.59, 4.60 ve 4.61 kullanılarak kritik değeri enterpolasyonla $S^c = 70,162$ olarak bulunabilir. Daha sonra sırasıyla aşağıdaki işlemlere devam edilir.

$$u_1 = \frac{\ln[225 / 70,162] + (0,1525 - 0,2 + 0,142^2 / 2)2}{0,142\sqrt{2}} = 5,419; \quad u_2 = 5,218.$$

$$v_1 = \frac{\ln[225 / 52,5] + (0,1525 - 0,2 + 0,142^2 / 2)3}{0,142\sqrt{3}} = 5,450; \quad v_2 = 5,203.$$

$$\begin{aligned} BUGOD &= (180; 200; 250; 270)e^{-0,2 \times 3} M(5,419; 5,450; \sqrt{2/3}) \\ &\quad - (48; 50; 55; 57)e^{-0,1525 \times 3} \times 0,9999 - (8; 10; 15; 17)e^{-0,1525 \times 2} N(5,218) \\ &= (50,2; 63,9; 98,2; 111,9) \times 10^4 \text{ YTL} \end{aligned}$$

Elde edilen tüm BUGOD değerleri toplanır ve her bir Ar-Ge projesi için bulanık ağırlıklar bu toplama Eşitlik 4.17 ile bölünerek bulunur (Çizelge 7.4 son sütunda verilen değerler).

Daha sonra yapılan Adım 8 işletildiğinde bulunan $\tilde{U}_i$ sonuçları aşağıda verilmiştir:

$$\begin{aligned} \tilde{U}_{Ar-Ge1} &= (0,032; 0,118; 0,190; 0,718), \tilde{U}_{Ar-Ge2} = (0,022; 0,089; 0,144; 0,566), \tilde{U}_{Ar-Ge3} \\ &= (0,072; 0,172; 0,266; 0,768), \tilde{U}_{Ar-Ge4} = (0,034; 0,108; 0,199; 0,675), \tilde{U}_{Ar-Ge5} = \\ &= (0,071; 0,189; 0,309; 0,896), \tilde{U}_{Ar-Ge6} = (0,028; 0,105; 0,166; 0,633). \end{aligned}$$

Bu değerleri Lee ve Li yöntemine göre sıraladığımızda ise $Ar-Ge5 > Ar-Ge3 > Ar-Ge1 > Ar-Ge4 > Ar-Ge6 > Ar-Ge2$ sonucu elde edilir.

7.1.3 BAHP-BUGOD model adımları (Xiaoqiong ve diğ. yöntemi [87])

Bu kısımda ise Xiaoqiong ve diğ.'nin [87] yönteminden geliştirilen bulanık AHP ile bütünleştirilmiş bulanık gerçek değerlendirme modeli aşağıdaki gibi işlenecektir:

Adım 1. Ankete cevap verenlerden elde edilen bulanık sayılardan oluşan sonuçları karşılıklı kıyas matrisini oluşturmak için kullan.

Adım 2. Bölüm 6.1.2.2'de verilmiş olan tutarlılık testine göre oluşturulan matrisin tutarlılık oranını kontrol et.

Adım 3. Bölüm 6.1.2.3'te verilen formüllerle χ_i , φ_i , γ_i ve ξ_i değerlerini elde et. Bu terimleri toplayarak da χ , φ , γ ve ξ değerlerini bul.

Adım 4. Daha sonra $\omega_{ih}^k = (\chi_i \xi_i^{-1}; \varphi_i \gamma_i^{-1}; \gamma_i \varphi_i^{-1}; \xi_i \chi_i^{-1})$, $i=(1,2,\dots,n_k)$ değerlerini hesapla.

Adım 5. Bölüm 6.1.2.3'te verilen 6.6 ve 6.7 Eşitlikleriyle $F(\omega_{ih}^k \geq \omega_{jh}^k), (j=1,2,\dots,n_k); i \neq j, (i=1,2,\dots,n_k)$ değerlerini hesapla.

Adım 6. Eşitlik 6.8'i kullanarak Adım 4'teki kıyaslamaların minimumunu tabakalarına göre bul.

Adım 7. Ölçütlerin ağırlıklarını P_h^k , Eşitlik 6.9 ile bul.

Adım 8. Bulanık gerçek opsiyon değeri ölçütü dışındaki diğer tüm ana ve alt ölçütler için 1'den 7'ye adımları uygula.

Adım 9. Bulanık gerçek opsiyon değeri için, öncelikle her bir seçenek için ayrı ayrı $E(\tilde{S})$, $E(\tilde{C}_1)$, $E(\tilde{C}_2)$, $E(\tilde{C}_3)$, ve $Var(\tilde{S})$ değerlerini Eşitlik 4.20 ve 4.21 ile hesapla.

Daha sonra S^c değerini enterpolasyonla bul.

Adım 10. Eşitlik 3.8, 3.9, 3.10 ve 3.11 ile u_1 , u_2 , v_1 ve v_2 değerlerini her bir alternatif için sırasıyla hesapla.

Adım 11. Her bir seçenek için *BUGOD* değerini Eşitlik 3.7 ile bul. Daha sonra $E(BUGOD)$ değerlerini tüm seçenekler için hesapladıktan sonra her bir değeri toplamaları olan $\sum_{i=1}^n E(\tilde{V}_i)$ değerine bölerek her bir seçeneğin ağırlığını (w) hesapla.

Adım 12. Her bir seçenek için ω^k ağırlık değerlerini 8'den 11'e olan adımları da katarak hesapla. Bu hesaplamada Eşitlik 6.10 kullanılır.

Tüm adımlardaki hesaplamaları bitirdikten sonra son adımda bulunan ağırlık değerlerine göre seçenekler büyüktten küçüğe sıralanır ve en iyi seçenek belirlenir.

7.1.4 BAHP-BUGOD modelin Ar-Ge projesi seçimine uygulaması (Xiaoqiong ve diğ. yöntemi [87])

Buckley modelinde kullanılan tüm veriler kullanılmakla birlikte bazı adımlar için bir takım düzeltmeler yapılacaktır. Anketlerden elde edilen veriler yöntemde ilgili yerlere uygulanmış ve tutarlılıkları kontrol edilmiştir. Bazı uygunsuz bulunan değerlendirmeler ilgili kişiye anketi tekrar gözden geçirmesi için geri gönderilmiştir. Bütün verilerin tutarlılıklarının sağlanmasından sonra yöntem işletilmiş ve bulanık gerçek opsiyon değeri ölçütü hariç tüm ölçütler için ağırlıklar hesaplanmıştır.

Hiyerarşinin birinci ve ikinci seviyelerinin ana ve alt ölçütler için hesaplanan ağırlıkları ve her bir alt ölçüt için seçeneklerin ağırlıkları Çizelge 7.5'te verilmiştir. Bu çizelgedeki veriler bir önceki bölümde geliştirilen modelin bir ve sekiz dâhil adımların tümü uygulanarak bulunmuştur. Fakat *BUGOD* sütunundaki tüm projeler için olan ağırlıklar 9-11 adımlarıyla bulunmuştur. Bir önceki yöntemle benzer süreç bu adımlarda da işletilmekle beraber son adımdaki ağırlık hesabındaki değişiklikler daha sonra anlatılacaktır.

Çizelge 7.5 : Bulanık AHP'nin ağırlıkları (Xiaoqiong ve diğ. yöntemi).

Seviye 1	ÜR				TE				PA			BUGOD	Ağırlıklar	Sıralama
	0,0971				0,0730				0,2614			0,5685		
Seviye 2	ÜK	ÜO	Üİ	ÜÇ	TB	TK	TZ	TA	Pİ	PK	PE			
	0,2275	0,6209	0,0642	0,0874	0,0786	0,4618	0,2194	0,2401	0,2381	0,0987	0,6632		Ağırlıklar	Sıralama
Ar-Ge1	0,0878	0,2289	0,1796	0,0408	0,2231	0,1157	0,1429	0,3268	0,1361	0,2496	0,5171	0,0737	0,1769	3
Ar-Ge2	0,2712	0,0935	0,0508	0,4402	0,0015	0,0026	0,2583	0,1132	0,0634	0,2368	0,1283	0,0382	0,0759	6
Ar-Ge3	0,3079	0,1005	0,1205	0,1161	0,0909	0,0026	0,0899	0,0904	0,1254	0,3996	0,0173	0,3497	0,2381	2
Ar-Ge4	0,1035	0,2122	0,3939	0,2215	0,4693	0,0334	0,2883	0,1502	0,0132	0,0256	0,0450	0,1289	0,1131	4
Ar-Ge5	0,2102	0,0284	0,0380	0,1508	0,0041	0,6173	0,0648	0,2888	0,4490	0,0021	0,1838	0,3519	0,2948	1
Ar-Ge6	0,0192	0,3365	0,2172	0,0306	0,2112	0,2284	0,1558	0,0307	0,2130	0,0864	0,1085	0,0575	0,1013	5

Örnek olarak Çizelge 7.5’te, $\ddot{U}R$ ’nin ağırlığı, 0,0971, şu şekilde hesaplanır:

Şekil A.1’deki anketten Çizelge 7.6 kolaylıkla oluşturulabilir.

Çizelge 7.6 : Bulanık karar matrisi $\tilde{D}$.

	$\ddot{U}R$	TE	PA	<i>BUGOD</i>
$\ddot{U}R$	(1,00; 1,00; 1,00; 1,00)	(1,00; 1,00; 1,00; 1,00)	(0,50; 0,67; 0,67; 1,00)	(1,00; 1,00; 1,00; 1,00)
TE	(1,00; 1,00; 1,00; 1,00)	(1,00; 1,00; 1,00; 1,00)	(0,50; 0,67; 0,67; 1,00)	(0,25; 0,33; 0,50; 1,00)
PA	(1,00; 1,50; 1,50; 2,00)	(1,00; 1,50; 1,50; 2,00)	(1,00; 1,00; 1,00; 1,00)	(0,50; 0,67; 0,67; 1,00)
<i>BUGOD</i>	(1,00; 1,00; 1,00; 1,00)	(1,00; 2,00; 3,00; 4,00)	(1,00; 1,50; 1,50; 2,00)	(1,00; 1,00; 1,00; 1,00)

Daha sonra, Eşitlik 6.4 kullanılarak durulaştırılmış Çizelge 7.7’de görülen karar matrisi tutarlılık testi için oluşturulur:

Çizelge 7.7 : Durulaştırılmış karar matrisi D .

	$\ddot{U}R$	TE	PA	<i>BUGOD</i>
$\ddot{U}R$	1,00	1,00	0,69	1,00
TE	1,00	1,00	0,69	0,49
PA	1,50	1,50	1,00	0,69
<i>BUGOD</i>	1,00	2,50	1,50	1,00

Örneğin;

$$d_{24} = \left[\frac{l_{24} + 2m_{24} + 2n_{24} + s_{24}}{6} \right] = \left[\frac{0,25 + 2 \times 0,33 + 2 \times 0,50 + 1,00}{6} \right] = 0,49$$

Eğer tutarlılık oranı kontrol süreci Çizelge 7.7’deki matrise uygulanırsa tutarlılık oranının 0,0607 değerini alacağı aşikârdır.

Şimdi geçelim Adım 3’e. Çizelge 7.8’de hesaplanan χ_i , φ_i , γ_i , ve ξ_i değerleri ve toplamaları verilmiştir.

Çizelge 7.8 : χ_i , φ_i , γ_i , ξ_i değerleri ve toplamları.

i	χ_i	φ_i	γ_i	ξ_i
1	0,841	0,904	0,904	1,000
2	0,595	0,687	0,760	1,000
3	0,841	1,107	1,107	1,414
4	1,000	1,316	1,456	1,682
Toplam	3,276	4,013	4,227	5,096

Adım 4, ω_{ih}^1 ($i=1, 2, 3, 4$) değerlerinin hesaplanmasını gerektirmektedir (aşağıda verilmiştir):

$$\omega_{1h}^1 = (0,165; 0,214; 0,225; 0,305)$$

$$\omega_{2h}^1 = (0,117; 0,162; 0,189; 0,305)$$

$$\omega_{3h}^1 = (0,165; 0,262; 0,276; 0,432)$$

$$\omega_{4h}^1 = (0,196; 0,311; 0,363; 0,513)$$

Yukarıda görülen ilk satır $\omega_{ih}^k = (\chi_i \xi^{-1}; \varphi_i \gamma^{-1}; \gamma_i \varphi^{-1}; \xi_i \chi^{-1})$ formülünden aşağıda gösterildiği gibi hesaplanır:

$$\omega_{1h}^1 = \left(\frac{0,841}{5,096}; \frac{0,904}{4,227}; \frac{0,904}{4,013}; \frac{1,000}{3,276} \right) = (0,165; 0,214; 0,225; 0,305)$$

Adım 5'te, $F(\omega_{ih}^k \geq \omega_{jh}^k), (j=1, 2, \dots, 4); i \neq j, (i=1, 2, \dots, 4)$ değerleri Çizelge 7.9'de görüldüğü gibi hesaplanır:

Çizelge 7.9: $F(\omega_{ih}^k \geq \omega_{jh}^k)$ değerlerinin hesaplanması.

$\omega_{ih}^1 \geq \omega_{jh}^1$	κ_A	κ_B	κ_{ortak}	κ_{tercih}^{sol}	$\kappa_{tercih}^{sağ}$	$F(\omega_{ih}^k \geq \omega_{jh}^k)$
$\omega_{1h}^1 \geq \omega_{2h}^1$	0,076	0,108	0,060	0,016	0,048	0,675
$\omega_{1h}^1 \geq \omega_{3h}^1$	0,076	0,140	0,056	0,000	0,000	0,257
$\omega_{1h}^1 \geq \omega_{4h}^1$	0,076	0,184	0,030	0,000	0,000	0,117
$\omega_{2h}^1 \geq \omega_{1h}^1$	0,108	0,076	0,060	0,000	0,000	0,325
$\omega_{2h}^1 \geq \omega_{3h}^1$	0,108	0,140	0,046	0,000	0,000	0,186
$\omega_{2h}^1 \geq \omega_{4h}^1$	0,108	0,184	0,026	0,000	0,000	0,088
$\omega_{3h}^1 \geq \omega_{1h}^1$	0,140	0,076	0,056	0,085	0,020	0,743
$\omega_{3h}^1 \geq \omega_{2h}^1$	0,140	0,108	0,046	0,094	0,062	0,814
$\omega_{3h}^1 \geq \omega_{4h}^1$	0,140	0,184	0,102	0,000	0,000	0,315
$\omega_{4h}^1 \geq \omega_{1h}^1$	0,184	0,076	0,030	0,154	0,045	0,883
$\omega_{4h}^1 \geq \omega_{2h}^1$	0,184	0,108	0,026	0,159	0,082	0,912
$\omega_{4h}^1 \geq \omega_{3h}^1$	0,184	0,140	0,102	0,082	0,038	0,685

Çizelge 7.9'deki değerler arasında aşağıdaki şekilde bir ilişki olduğuna dikkat edilmelidir:

$$F(\omega_{2h}^1 \geq \omega_{1h}^1) = 1 - F(\omega_{1h}^1 \geq \omega_{2h}^1) = 1 - 0,675 = 0,325$$

Şimdi, Adım 6'da $\min_j F(\omega_{ih}^k \geq \omega_{jh}^k)$ değerleri hesaplanacaktır:

$$\min_1 F(\omega_{ih}^k \geq \omega_{jh}^k) = 0,117, \min_2 F(\omega_{ih}^k \geq \omega_{jh}^k) = 0,088, \min_3 F(\omega_{ih}^k \geq \omega_{jh}^k) = 0,315,$$

$$\min_4 F(\omega_{ih}^k \geq \omega_{jh}^k) = 0,685$$

Şimdiye kadar bulunan verilerle w_{UR} değerini aşağıda görüldüğü gibi hesaplayabiliriz:

$$w_{UR} = \frac{0,117}{(0,117 + 0,088 + 0,315 + 0,685)} = 0,0971$$

Şimdi bulanık gerçek opsiyon değeri ölçütünün modeldeki ağırlıklarının nasıl hesaplandığına bakalım:

Çizelge 7.3'teki değerler ele alınarak Bölüm 7.1.3'teki 9-11 arası adımlar işletilir ve Çizelge 7.10'daki değerler bulunur. Bu değerlerden Ar-Ge1 projesi için olan beklenen *BUGOD* değeri ile onun ağırlığının nasıl hesaplandığı aşağıda gösterilmiştir:

$$E(BUGOD_1) = \left(\frac{63,9 + 98,2}{2} \right) + \left(\frac{50,2 + 111,9 - 63,9 - 98,2}{6} \right) = 81,04 \times 10^4 \text{ YTL}$$

$$w_{Ar-Ge1} = 81,04 / (81,04 + 41,94 + 384,35 + 141,69 + 386,81 + 63,24) = 0,074$$

Çizelge 7.10 : $E(BUGOD)$ değerleri ve ağırlıklar.

Projeler	<i>BUGOD</i> ($\times 10^4$ YTL)	$E(BUGOD)$ ($\times 10^4$ YTL)	w
Ar-Ge1	(50,2; 63,9; 98,2; 111,9)	81,04	0,074
Ar-Ge2	(7,7; 25,0; 58,9; 76,1)	41,94	0,038
Ar-Ge3	(356,2; 374,2; 394,3; 412,8)	384,35	0,350
Ar-Ge4	(85,6; 97,8; 185,8; 197,3)	141,69	0,129
Ar-Ge5	(310,3; 347,6; 426,1; 463,3)	386,81	0,352
Ar-Ge6	(35,0; 47,0; 79,5; 91,5)	63,24	0,058

Diğer ağırlıklar da yukarıda anlatılan süreçle benzer şekilde hesaplanır. Çizelge 7.5'deki değerler aşağıda görüldüğü gibi birleştirilerek Ar-Ge 5 projesinin ağırlığı elde edilir:

$$\begin{aligned} \omega_{Ar-Ge5} = & 0,0971 \times 0,2275 \times 0,2102 + 0,0971 \times 0,6209 \times 0,0284 + 0,0971 \times 0,0642 \times 0,0380 \\ & + 0,0971 \times 0,0874 \times 0,1508 + 0,0730 \times 0,0786 \times 0,0041 + 0,0730 \times 0,4618 \times 0,6173 \\ & + 0,0730 \times 0,2194 \times 0,0648 + 0,0730 \times 0,2401 \times 0,2888 + 0,2614 \times 0,2381 \times 0,44903 \\ & + 0,2614 \times 0,0987 \times 0,00208 + 0,2614 \times 0,6632 \times 0,184 + 0,5685 \times 0,35194 = 0,2948 \end{aligned}$$

En yüksek ağırlık oranı olan 0,2948 değerine sahip olduğundan Ar-Ge 5 projesi, yani LCD televizyonlarda HD2 teknolojisi geliştirilmesi seçilmiştir. Seçeneklerin

sıralanması da şu şekilde elde edilmiştir: Ar-Ge5 > Ar-Ge3 > Ar-Ge1 > Ar-Ge4 > Ar-Ge6 > Ar-Ge2. Bu sonuç Buckley'in bulanık AHP çözümüyle aynı verilerin üretildiğini göstermiştir. Buckley'in bulanık AHP çözüm yönteminde tutarlılık testi bulunmamaktadır. Buna rağmen bu çalışmada tutarlılık testinden geçmiş anket sonuçları Buckley AHP yöntemine uygulanmıştır. Tutarlılık testi yanı sıra bulanık sayıların verilen formülle karşılaştırılması da bu çalışmada incelenmiştir. Bu iki üstün özellik bu çalışmada incelenen ve iyileştirilen bulanık AHP çözüm yöntemini daha güvenilir kılmaktadır. Buckley AHP ile aynı sonuçlar üretmiş olması da buna dayanak teşkil etmektedir.

7.2 Bulanık Hiyerarşik TOPSIS Yöntemi ile Bütünleştirilmiş Gerçek Opsiyon Değerleme Modeli

Bu bölümde Ar-Ge projelerinin bulanık çok ölçütlü değerlemesi ile bulanık gerçek opsiyon değerlendirme modeli bütünleştirilerek yeni bir model ortaya konulacaktır. Bir önceki bölümde kullanılan bulanık AHP yerine bu sefer bulanık hiyerarşik TOPSIS (BUHTOPSIS) yöntemi bulanık gerçek opsiyon değerlendirme yöntemiyle bütünleştirilecektir. Ar-Ge projelerinin seçiminde karar süreçlerinin çok ölçütlü ve hiyerarşik bir yapı oluşturmamasından ötürü bu yöntem seçilmiştir. Ar-Ge projeleri doğası gereği riskli ve çok evrelidir. Bu riskli ve çok evreli tarafını bulanık gerçek opsiyon değerlendirme yöntemiyle göz önüne alacağız. Bulanık hiyerarşik TOPSIS ilk önce Kahraman ve diğ. [89] tarafından ortaya konmuştur ve bu çalışmada adı geçen yöntemle Ar-Ge projesi seçim süreci işlenmiştir.

7.2.1 BUHTOPSIS-BUGOD model adımları

Adım 1: Ankete cevap verenlerden elde edilen bulanık sayılardan oluşan sonuçları $\tilde{I}_{MA}$ matrisini Eşitlik 6.31 ve 6.32 ile oluştur.

Adım 2: Ankete cevap verenlerden elde edilen verilerle alt ölçütlerin matrisi olan $\tilde{I}_{SA}$ matrisini Eşitlik 6.33 ve 6.34 ile oluştur ve eğer alt-alt matrisler varsa $\tilde{I}_{SSA}$ matrisini de oluştur.

Adım 3: Bulanık gerçek opsiyon değeri için, öncelikle her bir seçenek için ayrı ayrı $E(\tilde{S})$, $E(\tilde{C}_1)$, $E(\tilde{C}_2)$, $E(\tilde{C}_3)$, ve $\text{Var}(\tilde{S})$ değerlerini Eşitlik 4.20 ve 4.21 ile hesapla. Daha sonra S^c değerini enterpolasyonla bul.

Adım 4: Eşitlik 3.8, 3.9, 3.10 ve 3.11 ile u_1 , u_2 , v_1 ve v_2 değerlerini sırasıyla hesapla.

Adım 5: Her bir seçenek için *BUGOD* değerini Eşitlik 3.7 ile bul.

Adım 6: Uzmanlara uygulanan anketlerden elde edilen ve beşinci adımda hesaplanan verilerle $\tilde{I}_A$ matrisini oluştur.

Adım 7: Bölüm 6.2.1’de adımları verilen bulanık TOPSIS algoritmasına altıncı adımda elde edilen matrisi başlangıç matrisi olarak dâhil et. Daha sonra bulanık TOPSIS algoritmasını uygula.

Adım 8: Bulanık TOPSIS yöntemi uygulaması sonucu bulunan C_i indeks değerlerine göre seçenekleri azalan ölçüde sırala. En iyi seçeneği elde et.

Bundan sonraki bölümde bu yeni modelin uygulaması gösterilmiştir. Bir önceki bölümdeki veriler ilk uygulama için olan verilerdi.

7.2.2 BUHTOPSIS-BUGOD modelinin Ar-Ge projesi seçimine uygulanması

Daha önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi Ar-Ge proje seçimi kararları işletmeler için çok önemlidir, çünkü bu tür projeler şirketin net gelirleri için hayati öneme sahiptirler. Bu bölümdeki çalışmada bir önceki bölümde Çizelge 7.1’deki Ar-Ge projeleri kullanılacaktır. BUHTOPSIS yönteminin ilk başlangıcında ihtiyaç duyulan hiyerarşi ise Şekil 5.6’da verilen hiyerarşi olacaktır. İlgili mühendis ve yöneticilerin ana ve alt ölçütler için öngördükleri ağırlıkları belirlemek için bir anket hazırlanmıştır ve bu anket Ek C’de verilmiştir. Bölüm 7.1.2’deki kuruluştaki bu anketler uygulanmıştır. Uygulananların profili ise: 2 üst düzey yönetici, 4 bölüm yöneticisi ve geri kalan 14 kişi ise Ar-Ge bölümünde çalışan mühendisler şeklindedir. Üst yönetimin desteği sayesinde anketlere geri dönüş oranı %85 olmuştur. Asıl hedefe göre ana ölçütlerin ve ana ölçütlere göre alt ölçütlerin önem derecelerini belirleyebilmek için Çizelge 7.11’deki değerler kullanılmıştır. Seçenekleri alt ölçütlere göre değerlendirmek için Çizelge 7.12’deki dilsel ifadeler kullanılacaktır.

Çizelge 7.11 : Önem dereceleri.

En düşük	(0,000; 0,000; 0,000; 0,100)
Çok düşük	(0,000; 0,100; 0,200; 0,300)
Düşük	(0,200; 0,300; 0,400; 0,500)
Orta	(0,300; 0,500; 0,500; 0,700)
Yüksek	(0,500; 0,600; 0,700; 0,800)
Çok yüksek	(0,700; 0,800; 0,900; 1,000)
En yüksek	(0,900; 1,000; 1,000; 1,000)

Çizelge 7.12 : Değerleme birimleri.

En düşük	(0; 0; 0; 10)
Çok düşük	(0; 10; 20; 30)
Düşük	(20; 30; 40; 50)
Orta	(30; 50; 50; 70)
Yüksek	(50; 60; 70; 80)
Çok yüksek	(70; 80; 90; 100)
En yüksek	(90; 100; 100; 100)

Karşılaştırılan proje seçeneklerinin; piyasa tanıtımından sonra proje gelirlerinin şimdiki değerleri, evre 1 için yatırım maliyetlerinin şimdiki değerleri, evre 2 için yatırım maliyetlerinin şimdiki değerleri, evre 3 için yatırım maliyetlerinin şimdiki değerleri ve birinci opsiyonun vade bitim tarihi kesin değerleri ile ikinci opsiyonun vade bitim tarihi kesin değerleri Çizelge 7.3'te sunulmuştu. Adım adım gitmek gerektiğinden bu tablonun hesap değerleri bir sonraki adımlar işlendikten sonra verilecektir. Ankete cevap verenlere uygulanan anketlerden elde edilen verilerle $\tilde{I}_{MA}$ ve $\tilde{I}_{SA}$ matrisleri Çizelge 7.13 ve Çizelge 7.14'de görüldüğü gibi elde edilmiştir. Bunu elde etmek için bir önceki bölümdeki algoritmanın ilk iki adımı uygulanmıştır.

Çizelge 7.13 : $\tilde{I}_{MA}$ En iyi Ar-Ge proje hedefine göre ana ölçütlerin önem derecelerinin gösterimi.

	En İyi Ar-Ge Projesi
ÜR	(0,460; 0,570; 0,630; 0,740)
TE	(0,450; 0,590; 0,640; 0,770)
PA	(0,210; 0,310; 0,390; 0,500)
BUGOD	(0,600; 0,720; 0,780; 0,880)

Çizelge 7.14 : $\tilde{I}_{SA}$ Ana ölçütlere göre alt ölçütlerin önem dereceleri.

	ÜR	TE	PA	BUGOD
ÜK	(0,28; 0,38; 0,46; 0,57)	0	0	0
ÜO	(0,47; 0,58; 0,65; 0,74)	0	0	0
Üİ	(0,19; 0,30; 0,37; 0,49)	0	0	0
ÜÇ	(0,34; 0,47; 0,53; 0,65)	0	0	0
TB	0	(0,30; 0,39; 0,45; 0,55)	0	0
TK	0	(0,28; 0,40; 0,46; 0,59)	0	0
TZ	0	(0,37; 0,47; 0,54; 0,64)	0	0
TA	0	(0,43; 0,53; 0,60; 0,70)	0	0
Pİ	0	0	(0,29; 0,38; 0,43; 0,52)	0
PK	0	0	(0,39; 0,50; 0,56; 0,67)	0
PE	0	0	(0,31; 0,41; 0,47; 0,59)	0

Sıradaki adımlar olan üç ve dördüncü adım Çizelge 7.3'deki verilere uygulandığında her bir seçenek için Çizelge 7.10'daki sonuçlar bulunur.

Hesaplanan ve Çizelge 7.10'da gösterilen verilerle, ankete cevap verenlerin Çizelge 7.13 ve Çizelge 7.14'deki değerlendirme sonuçları birleştirilerek Çizelge 7.15'de gösterilen $\tilde{I}_A$ matrisi oluşturulur. Böylece altıncı adım uygulanmış olur.

Çizelge 7.15 : $\tilde{I}_A$ seçeneklerin, ana ve alt ölçütlere göre olan değerlendirme sonuçları.

	ÜK	ÜO	Üİ	ÜÇ	TB	TK
Ar-Ge1	(16; 27; 34; 46)	(30; 40; 47; 57)	(33; 43; 51; 62)	(24; 35; 43; 53)	(23; 33; 39; 51)	(27; 39; 45; 58)
Ar-Ge2	(42; 56; 61; 74)	(30; 43; 50; 63)	(41; 56; 60; 74)	(46; 58; 65; 76)	(33; 47; 53; 67)	(41; 52; 58; 69)
Ar-Ge3	(35; 47; 55; 67)	(47; 59; 65; 75)	(32; 44; 50; 63)	(33; 46; 51; 65)	(41; 53; 61; 73)	(36; 46; 54; 65)
Ar-Ge4	(49; 60; 67; 76)	(26; 37; 45; 55)	(29; 41; 48; 59)	(28; 40; 46; 59)	(50; 61; 68; 77)	(46; 61; 65; 79)
Ar-Ge5	(50; 60; 65; 72)	(35; 49; 54; 67)	(38; 49; 57; 67)	(41; 51; 59; 70)	(42; 56; 60; 72)	(38; 47; 53; 63)
Ar-Ge6	(30; 38; 43; 53)	(23; 33; 38; 49)	(23; 32; 39; 50)	(30; 41; 49; 59)	(46; 58; 63; 72)	(26; 38; 46; 58)
	TZ	TA	Pİ	PK	PE	BUGOD
Ar-Ge1	(25; 36; 42; 53)	(35; 46; 52; 63)	(25; 37; 45; 57)	(29; 42; 49; 62)	(31; 39; 45; 53)	(50,2; 63,9; 98,2; 111,9)
Ar-Ge2	(37; 49; 57; 69)	(28; 39; 45; 56)	(39; 53; 59; 73)	(33; 47; 53; 67)	(41; 52; 57; 67)	(7,7; 25,0; 58,9; 76,1)
Ar-Ge3	(20; 29; 38; 48)	(41; 53; 60; 71)	(30; 39; 46; 57)	(36; 48; 56; 68)	(19; 30; 33; 47)	(356,2; 374,2; 394,3; 412,8)
Ar-Ge4	(37; 50; 57; 70)	(40; 51; 59; 69)	(32; 46; 52; 66)	(58; 69; 77; 87)	(36; 49; 55; 67)	(85,6; 97,8; 185,8; 197,3)
Ar-Ge5	(34; 46; 54; 66)	(30; 42; 50; 62)	(43; 54; 62; 72)	(28; 41; 45; 58)	(30; 42; 48; 61)	(310,3; 347,6; 426,1; 463,3)
Ar-Ge6	(41; 52; 58; 69)	(40; 51; 57; 68)	(39; 51; 56; 68)	(44; 54; 64; 74)	(35; 47; 54; 65)	(35,0; 47,0; 79,5; 91,5)

$\tilde{r}_{ij}$, $\tilde{v}_{ij}$, $M(\tilde{v}_{ij})$, D_{ij}^* , ve D_{ij}^- değerlerini elde etmek için hesaplanan tablolar Ek D’de verilmiştir.

Çizelge 7.16 : İdeal çözümden mesafeler.

	S_i^*	S_i^-	C_i	Normalleştirilmiş C_i
Ar-Ge1	1,670	0,325	0,163	0,0555
Ar-Ge2	1,101	0,901	0,450	0,1533
Ar-Ge3	0,618	1,375	0,690	0,2349
Ar-Ge4	0,838	1,172	0,583	0,1986
Ar-Ge5	0,556	1,544	0,735	0,2504
Ar-Ge6	1,364	0,627	0,315	0,1073

Yukarıda verilen Çizelge 7.16’ya göre seçilmesi gereken aşıkârdır ki; Ar-Ge projesi 5 olacaktır. Kuruluş yeni geliştirilen televizyonlarda geçmişteki bilgi birikimine de

dayanarak HD teknolojisinde yeni bir çağ açmak için can atmaktadır. Bu bölümde uygulanan seçim süreci projenin uzun bir test süresi olmasına rağmen kuruluşun gelecekte beklentileriyle örtüşmüştür.

Bir önceki yöntemlerle sıralama açısından farklı olmasına rağmen seçilen proje aynıdır.

Eğer şirket projelerin uygulama sırasını sadece bulanık gerçek opsiyon değerlendirme sürecine bakarak yapmış olsaydı, Çizelge 7.10'dan da görüleceği üzere aşağıdaki sıralamayı elde edecekti:

$Ar-Ge5 > Ar-Ge3 > Ar-Ge4 > Ar-Ge1 > Ar-Ge6 > Ar-Ge2$.

Buna rağmen 20 profesyonel düşüncenin etkisi yani bulanık hiyerarşik TOPSIS bütünleşik bulanık gerçek opsiyon değerlendirme yöntemi bu sırayı aşağıdaki gibi değiştirmiştir:

$Ar-Ge5 > Ar-Ge3 > Ar-Ge4 > Ar-Ge2 > Ar-Ge6 > Ar-Ge1$

8. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Ar-Ge projelerinin işletmeler için ne kadar hayati önem arz ettikleri daha önceki bölümlerde açıklanmıştı. Daha ilk yıllarını yaşadığımız bu yüzyılda, yaşanan gelişmeler neticesinde piyasada önder kuruluş olmak vazgeçilmez bir zorunluluk halini almıştır. Burada dikkat edilmesi gereken *önder kuruluş* kavramıdır. Önder kuruluş, piyasaya çıkardığı bütün ürünleri ilk sunmak zorunda değildir. Rakipleri benzer ürünleri daha önceden pazara sürmüş olabilir, fakat bu onların pazar paylaşımından daha fazla oranda faydalanacakları anlamına gelmez. Önder kuruluşun yeni ürünü, pazara geç çıksa bile merakla beklendiği için ve rakiplerinin eksikliğini görerek muhtemelen daha iyi ürün sunacağı için daha başarılı olacaktır. Burada önem verilmesi gereken yeni ürünün tasarım ve teknoloji anlamında daha iyi olması gerekliliğidir. Dolayısıyla rekabetteki bu başarıyı yakalayabilmenin yolunun Ar-Ge projelerine gerekenden daha fazla önem verilmesinden geçtiği ortadadır. Ar-Ge önder kuruluşlarda ihtiyaç olduğu gibi, piyasaya yeni girmek isteyen, fakat aynı zamanda önder kuruluşlarla da rekabet etmek isteyen, küçük işletmeler için daha da büyük ihtiyaçtır. Hatta yeni kavramlar yaratabilen teknolojiler geliştirme, şirketlerin karlılığı açısından çok hassas bir konudur.

Şirketlerin yerli beşeri ve maddi sermaye bulduktan sonra Ar-Ge yatırımı yapması ve bunu yaptığında kaynaklarını en uygun şekilde kullanarak doğru hamleyi yapması, milletimizin sermaye birikimine katkıda bulunacaktır. Bu süreç tasarruf açısından katkıda bulunacaktır, çünkü doğru projeye doğru kaynak kullanımı her açıdan tasarruf sağlayacaktır. Ek olarak Ar-Ge sayesinde geliştirilen yeni ürünlerin satımıyla kazanç sağlayacaktır, çünkü geliştirilen ürün ya da hizmetin daha piyasada rakibi bulunmamaktadır. Ya da bulunsa bile önder kuruluş hemen rakibin hamlesine cevap verebileceğinden yine pazar paylaşımından yüksek oran almasını bilecektir.

Hangi Ar-Ge projesinin nasıl seçileceğinin önemi konusunda yukarıda ayrıntılı bilgi verilmişti. Ar-Ge proje seçim sürecinde ekonomik yön önemli olduğu gibi Ar-Ge'yi yapanların düşünceleri de çok önemlidir. Bu yüzden karar verme sürecine yardımcı

olacak teknikler kullanılmalıdır. Literatürde bu tür teknikler bulunmaktadır. Bu tekniklerin insan düşünce ve yargılarını daha iyi ifade edebilecek ve bunları sayısallaştırabilecek şekilde geliştirilmesi gerekmiştir. Bulanık küme teorisi bunun yapılmasına izin veren bir teoridir. İşte bu çalışmada bu teknikler işlenmiştir. Seçilen iki yöntem Ar-Ge proje seçim sürecine uygulanmıştır. Ar-Ge de çalışan mühendislerin de düşüncelerini alan bu sistemler, hem doğruluk hem de seçimin bilimselliğine olan inanç açısından son derece olumlu olmuştur. Karar verme sürecine yardımcı destek tekniklerinden ilki AHP olmuştur. Daha sonra ise son yıllarda geliştirilmiş olan bulanık hiyerarşik TOPSIS yöntemi uygulanmıştır.

Karar vermede etkili olan dinamiklerden bir diğeri ise projelerin ekonomik yönlerinin incelenmesi olmuştur. Ekonomik yön dikkate alınırken de klasik yöntemler tercih edilmemiştir çünkü yeni gelişmekte olan gerçek opsiyon teorisi ekonomik akla daha yatkın olan bir süreç sunmaktadır. Ar-Ge projelerinin içerisinde her zaman için bir opsiyon barındırdığı bir gerçektir. Projeler evrelerden oluşmaktadır ve her evreyi geçmek bir opsiyondur. Örneğin birinci evre olan keşif aşamasını bitirdiğinizde gelen yeni bilgiler ışığında projenin biraz daha ertelenebilir olduğu ortaya çıkabilir. Bu durumda sizin opsiyonunuz yani seçim hakkınız vardır, ister devam edersiniz; isterse ikinci aşamaya bir yıl sonra geçebilirsiniz. Gerçek opsiyon alanı işte bu durumların hesaplandığı bir teori alanıdır. Bu yüzden adı geçen yöntem kullanılmıştır.

Bu çalışmada yapılan ise; Ar-Ge projesi seçim sürecinde ekonomik tarafı gerçek opsiyon yaklaşımıyla ele alarak diğer iki yönteme ayrı ayrı bütünleştirilmesi olmuştur. İlk önce bulanık gerçek opsiyon değerlemesi yaklaşımı, iki ayrı bulanık AHP yöntemiyle bütünleştirilmiştir. Daha sonra ise bulanık gerçek opsiyon yöntemi, bulanık hiyerarşik TOPSIS yöntemiyle bütünleştirilmiştir. Tüm yöntemlerin ayrı ayrı zamanlarda elektronik sektöründe önder bir kuruluştaki uygulaması yapılmıştır.

Kesin sayılarla ifade edilen sistemde her şey kesin sayılarla ifade edilmek zorundadır. Ya sıfır ya da bir vardır, yani daha görsel bir ifadeyle anlatmak gerekirse ya siyah vardır ya da beyaz. Bu iki rengin karışımı olan gri tonlar hiç hesaba katılmaz. Oysaki doğada siyah ve beyaz olduğu kadar griler de vardır. İşte bulanık mantık siyahla beyaz arasındaki grinin tonlarının da olabilirliğini ortaya koyan bir sistemdir. Yeterli bilginin olmadığı durumlarda ya da bu bilginin kurumların gizliliğinden ötürü dışarı çıkmaması gerektiği durumlarda bulanık ifadeler kullanmak

her açıdan gerekli hale gelmektedir. Alınan veriler yeterli kesinlik içermiyorsa ve belirli sayılarda olma olabilirliği varsa bulanık mantık içeren karar verme destek sistemleri kullanmak zorunlu hale gelmektedir. İşte hem insan ve doğaya daha uygun olması açısından, hem de yeterli bilgi dışarı verilemediğinden ötürü bu çalışmada bulanıklık altında gerçek opsiyon bütünleşik bulanık karar destek yöntemleri kullanılmıştır.

Bulanık AHP yöntemiyle karar vericiler belirsiz ve esnek proje bilgilerini daha güçlü bir şekilde ifade edebilmişlerdir. Bulanık gerçek opsiyon değerlendirme yöntemiyle de projelerin riskli tarafı dikkate alınmıştır. Bulanık gerçek opsiyon değerlendirme bütünleşik bulanık AHP yöntemi, karar vericilere belirsiz Ar-Ge çevre koşullarında proje yatırımları ve toplam bütçe açısından bilimsel bir destek sağlamıştır. Bu sayede seçilen projeye olan inanç ve destek artmıştır. Ayrıca bir fikir bütünlüğü sağlandığından proje ile ilgili verim yükselmiştir.

Bulanık hiyerarşik TOPSIS yöntemiyle ise hem karar vericilerin fikri alınmış, hem de bir yandan tamamen matematiksel ifadeleri olan bir yöntemin bilimsel katkısı sağlanmıştır. Tabi ki burada insan aklına daha yatkın olan bulanık mantık kullanılmıştır. Bulanık mantığın asıl kullanım nedeni ise belirsiz verilerden kaynaklanmıştır. Yine bir önceki uygulamada olduğu gibi projelerin riskli tarafı bulanık gerçek opsiyon değerlendirme yöntemiyle ölçülmüştür.

Eğer yönetim stratejik planlarında bulunan Ar-Ge projelerinin hepsini uygulamak istiyorsa fakat hangi sırada bunları uygulayacağını bilemiyorsa, bu çalışmada ortaya konan yöntemleri yine tercih edebilir. Fakat bu durum için her iki yöntem farklı sıralamalar elde etmiştir. Bu durumda bulanık hiyerarşik TOPSIS yöntemi daha gelişmiş bir yöntem olduğundan bu yöntemin sonuçları daha geçerlidir denebilir. Bunun yanında sadece en iyi projeyi seçip onun üzerine yoğunlaşmak isterlerse her iki yöntemde de seçilen proje 5 numaralı Ar-Ge projesi olmuştur. Yani LCD televizyonlarda yeni bir HD teknolojisi geliştirmek kurumun üzerinde yoğunlaşacağı proje olmalıdır.

Gelecekte bu çalışmadan esinlenerek başka çalışmalar yapmak isteyen araştırmacılar belirlenen ölçütleri ve bunlar arasındaki hiyerarşiyi geliştirebilirler. Diğer çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden biri ile bulanık gerçek opsiyon değerlendirme yöntemini aynı şekilde bütünleştirip burada yapılan sonuçlarla karşılaştırabilirler. Rakip

stratejilerini inceleyen oyunları hesaba katarak gerçek opsiyon değ erleme y ontemleri de geliştirmek m mk nd r.

KAYNAKLAR

- [1] **Brach, M. A.**, 2003. Real Options in practice. John Wiley and Sons, Inc. Hoboken, New Jersey.
- [2] **Hull, J. C.**, 2003. Options, Futures, And Other Derivatives (5e.). Pearson Education, Inc., New Jersey.
- [3] **Copeland, T., Antikarov, V.**, 2001. Real Options A Practitioner's Guide. Texere Publishing Limited, New York.
- [4] **Kodukula, P., Papudesu, C.**, 2006. Project Valuation Using Real Options A Practitioner's Guide. J. Ross Publishing, Inc., Fort Lauderdale, Florida.
- [5] **Bachelier, L.**, 1900. Theorie de la speculation, *PhD Thesis*, Ecole Normale Supérieure III, Paris. (Reprinted by *Editions Jacques Gabay*, Paris, 1995). English translation in Cootner, P., ed., *The Random Character of Stock Market Prices*, pp. 17-78 (MIT Press, Cambridge, 1964).
- [6] **Samuelson, P.**, 1967. Rational theory of warrant pricing, *Industrial Management review*, **6**, 13.
- [7] **O'Brien, T., Selby, M. J. P.**, 1986. Option pricing theory and asset expectations: A review and discussion in Tribute to James Boness, *Financial Review*, 399-418.
- [8] **Black, F., Scholes, M.**, 1973. The pricing of options and corporate liabilities, *Journal of Political Economy*, **81**, 637-654.
- [9] **Merton, R. C.**, 1973. Theory of rational option pricing, *Bell Journal of Economics and Management Science*, **4**, 141-183.
- [10] **Boyle, P. P.**, 1977. Options: A Monte Carlo approach, *Journal of Financial Economics*, **4**, 323-338.
- [11] **Cox, J. C., Ross, S. A., Rubinstein, M.**, 1979. Option pricing: A simplified approach, *Journal of Financial Economics*, **7**, 229-263.
- [12] **Geske, R.**, 1977. The valuation of corporate liabilities as compound options, *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, **12**, 541-552.
- [13] **Geske, R., Johnson, H. E.**, 1984. The valuation of corporate liabilities as compound options: A correction, *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, **19**, 231-232.
- [14] **Clewlow, L., Strickland, C.**, 1998. Implementing derivatives models. John Wiley & sons, Inc. Chichester.
- [15] **Schwartz, E. S.**, 1977. The valuation of warrants: implementing a new approach, *Journal of Financial Economics*, **4**, 79-94.
- [16] **Tilley, J. A.**, 1993. Valuing American options in a path simulation model, *Transactions of the Society of Actuaries*, **45**, 83-104.

- [17] Schwartz, E. S., Moon, M., 2000. Rational pricing of internet companies, *Financial Analysts Journal*, **May/June**, 62-75.
- [18] Longstaff, F. A., Schwartz, E. S., 2001. Valuing American options by simulation: A simple Least-Squares approach, *Review of Financial Studies*, **14**, 1, 113-147.
- [19] Carlsson, C., Fullér, R., 2003. A fuzzy approach to real option valuation. *Fuzzy Sets and Systems*, **139**, 297-312.
- [20] Wang, J., Hwang, W. L., 2007. A fuzzy set approach for R&D portfolio selection using a real options valuation model, *Omega*, **35**, 247-257.
- [21] Carlsson, C., Fullér, R., Heikkilä, M., Majlender, P., 2007. A fuzzy approach to R&D project portfolio selection, *International Journal of Approximate Reasoning*, **44**, 93-105.
- [22] Chen, S. J., Hwang, C. L., Hwang, F. P., 1992. Fuzzy Multiple Attribute Decision Making; Methods and Applications, Springer, Berlin.
- [23] Zadeh, L., 1965. Fuzzy sets, *Inform Control*, **8**, 338-353.
- [24] Zadeh, L., 1972. A fuzzy set theoretic interpretation of linguistic hedges, *Journal of Cybernetics*, **2**, 4-34.
- [25] Dubois, D., Prade, H., 1980. Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications, Academic Press, New York.
- [26] Cross, V., Setnes, M., 1998. A generalized model for ranking fuzzy sets, *IEEE World Congress on Computational Intelligence Proceedings*, **1**, 773-778.
- [27] Freeling, A. N. S., 1980. Fuzzy sets and decision analysis, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, **10**, 341-354.
- [28] Bortolan, G., Degani, R., 1985. A review of some methods for ranking fuzzy subsets, *Fuzzy sets and systems*, **15**, 1-19.
- [29] Lee, E. S., Li, R. L., 1988. Comparison of fuzzy numbers based on the probability measure of events, *Computer and Mathematics with applications*, **15**, 887-896.
- [30] Baas, S. M., Kwakernaak, H., 1977. Rating, and ranking of multiple aspect alternative using fuzzy sets, *Automatica*, **13**, 47-58.
- [31] Watson, S. R., Weiss, J. J., Donnell, M. L., 1979. Fuzzy decision analysis, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, **9**, 1-9.
- [32] Baldwin, J. F., Guild, N. C., 1978. A model for multi-criterial decision-making using fuzzy logic, *Workshop of Fuzzy Reasoning*, London, Queen Mary College.
- [33] Yager, R. R., 1980. On choosing between fuzzy subsets, *Kybernetes*, **9**, 151-154.
- [34] Kerre, E. E., 1982. The use of fuzzy set theory in electrocardiological diagnostics, *Approximate reasoning in Decision analysis*, eds.: M. M. Gupta and E. Sanchez, North-Holland Publishing Company, Amsterdam, 277-282.

- [35] Nakamura, K., 1986. Preference relation on a set of fuzzy utilities as a basis for decision making, *Fuzzy sets and systems*, **20**, 147-162.
- [36] Kolodziejczyk, W., 1986. Orlovsky's concept of decision making with fuzzy preference relation further results, *Fuzzy sets and systems*, **19**, 11-20.
- [37] Tran, L., Duckstein, L., 2002. Comparison of fuzzy numbers using distance measure, *Fuzzy sets and systems*, **130**, 331-341.
- [38] Adamo, J. M., 1980. Fuzzy decision trees, *Fuzzy sets and systems*, **4**, 207-220.
- [39] Buckley J. J., Chanas, S., 1989. A fast method of ranking alternatives using fuzzy numbers (Short communications), *Fuzzy sets and systems*, **30**, 337-339.
- [40] Mabuchi, S., 1988. An approach to the comparison of fuzzy subsets with an α -cut dependent index, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, **18**, 264-272.
- [41] Chen L. H., Lu, H. W., 2001. An approximate approach for ranking fuzzy numbers based on left and right dominance, *An international journal of computers and mathematics with applications*, **41**, 1589-1602.
- [42] Dubois D., Prade, H., 1983. Ranking of fuzzy numbers in the setting of possibility theory, *Information Sciences*, **30**, 183-224.
- [43] Tsukamoto, Y., Nikiforuk, P. N., Gupta, M. M., 1983. On the comparison of fuzzy sets using fuzzy chopping, *Control Science and Technology for Progress of Society*, ed. H. Akashi, Pergamon Press, New York, 46-51.
- [44] Delgado, M., Verdegay, J., Villa, M. A., 1988. A procedure for ranking fuzzy numbers using fuzzy relations, *Fuzzy sets and systems*, **26**, 49-62.
- [45] Cheng, C. H., 1998. A new approach for ranking fuzzy numbers by distance method, *Fuzzy sets and systems*, **95**, 307-317.
- [46] Murakami, S., Maeda, S. Inamura, S., 1983. Fuzzy decision analysis on the development of centralized regional energy control system, *IFAC Symposium on Fuzzy Information, Knowledge Representation and Decision Analysis*, 363-368.
- [47] Chu T. C., Tsao, C. T., 2002. Ranking fuzzy numbers with an Area between the Centroid Point and Original Point, *An international journal of computers and mathematics with applications*, **43**, 111-117.
- [48] McCahone, C., 1987. Fuzzy Set Theory Applied to Production and Inventory Control, *PhD Thesis*, Kansas State University.
- [49] Jain, R., 1976. Decision making in the presence of fuzzy variables, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, **6**, 698-703.
- [50] Jain, R., 1977. A procedure for multi-aspect decision making using fuzzy sets, *International Journal of System*, **8**, 1-7.
- [51] Chen, S. H., 1985. Ranking fuzzy numbers with maximizing set and minimizing set, *Fuzzy sets and systems*, **17**, 113-129.
- [52] Chen S. J., Hwang, C. L., 1989. Fuzzy scoring of fuzzy number-A direct comparison index, *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making*;

Methods and Applications, eds. Chen, S. J., Hwang C. L., Hwang F. P., Springer, Berlin, 256-258.

- [53] **Yager, R. R.**, 1980. On a general class of fuzzy connectives, *Fuzzy Sets and Systems*, **4**, 235-242.
- [54] **Yong, D., Qi, L.**, 2005. A TOPSIS-based centroid-index ranking method of fuzzy numbers and its application to decision making, *Cybernetics and Systems: An International Journal*, **36**, 581-595.
- [55] **Yager, R. R.**, 1981. A procedure for ordering fuzzy subsets of the unit interval, *Information Sciences*, **24**, 143-161.
- [56] **Efstathiou, J., Tong, R.**, 1980. Ranking fuzzy sets using linguistic preference relations, *Proceedings of the 10th International Symposium on Multiple-Valued Logic*, Northwestern University, Evanston, 137-142.
- [57] **Tong, R. M. Bonissone, P.P.**, 1984. Linguistic solutions to fuzzy decision problems, *TIMS/Studies in the Management Science*, ed.: H. J. Zimmermann, Elsevier Science Publishers, North Holland, 323-334.
- [58] **Modarres, M., Sadi-Nezhad, S.**, 2001. Ranking fuzzy numbers by preference ratio, *Fuzzy sets and systems*, **118**, 429-436.
- [59] **Chiu, C. Y., Park, C. S.**, 1994. Fuzzy cash flow analysis using present worth criterion, *The Engineering Economist*, **39**, 2, 113-138.
- [60] **Wasti, N.**, 1999. Japon Firmalarında AR-GE: Yöntemler ve Yapılardan Örnekler, *ODTÜ Geliştirme Dergisi*, **26**, 204.
- [61] **Barutçugil, İ. S.**, 1981. *Teknolojik Yenilik ve Araştırma-Geliştirme Yönetimi*, Bursa Üniversitesi Yayınları, 20-21.
- [62] **Boer, F. P.**, 1999. *The Valuation of the Technology: Business and Financial Issues in R&D*. John Wiley and Sons, Inc., New Jersey.
- [63] **Souder, W. E., Mandakovic, T.**, 1986. R&D Project selection models, *Research Management*, **19**, 47-62.
- [64] **Egekwu, O. G.**, 1992. A total systems approach to R&D Project evaluation, selection, and resource allocation using the analytic hierarchy process with interval judgements, *PhD Thesis*, The University of Nebraska, Lincoln.
- [65] **Schwartz, S. L., Vertinsky, I.**, 1977. Multi-Attribute investment decisions: a study of R&D project selection, *Management Science*, **24**, 285-301.
- [66] **Liberatore, M. J.**, 1987. An extension of the analytic hierarchy process for industrial R&D project selection and resource allocation, *IEEE Transactions on Engineering Management*, **34**, 12-18.
- [67] **Oral, M., Kettani, O., Lang, P.**, 1991. A methodology for collective evaluation and selection of industrial R&D projects, *Management Science*, **37**, 871-885.
- [68] **Henig, M. I., Kantz, H.**, 1996. R&D project selection: A decision approach, *Journal of Multi-criteria Decision Analysis*, **5**, 169-177.
- [69] **Poh, K. L., Ang, B. W., Bai, F.**, 2001. A comparative analysis of R&D project evaluation methods, *R&D Management*, **31**, 1, 63-75.

- [70] Danila, N., 1989. Strategic evaluation and selection of R&D Projects, *Research Management*, **29**, 36-42.
- [71] Saaty, T. L., 1980. The Analytic Hierarchy Process, New York: Wiley.
- [72] Chung, S. H., Lee, A. H. I., Pearn, W. L., 2005. Product mix optimization for semiconductor manufacturing based on AHP and ANP analysis, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **25**, 1144-1156.
- [73] Saaty, T. L., 1996. Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process, RWS Publications, Pittsburgh.
- [74] Lee, H., Lee, C., Seol, H., Park, Y., 2006. On the R&D Priority Setting in Technology Foresight: a DEA and ANP Approach, *International Journal of Innovation & Technology Management*, **5**, 201-219.
- [75] Yoon, K. P. Hwang, C. L., 1995. Multiple attribute decision making: An Introduction. Sage Publications, Inc., Thousand Oaks, California.
- [76] Kuei, C. H., Lin, C., Aheto, J., Madus, C. N., 1994. A strategic decision model for the selection of advanced technology, *International Journal of Production Research*, **32**, 2117-2130.
- [77] Brenner, M. S., 1994. Practical R&D project prioritization, *Research Technology Management*, **37**, 38-42.
- [78] Chen, H. H., Lee, A. H. I., Tong, Y., 2006. New product mix selection for a high technology company in a technology innovation network, *Journal of Technology Management in China*, **1**, 174-189.
- [79] Dias O. P. Jr., 1988. The R&D project selection problem with fuzzy coefficients, *Fuzzy Sets and Systems*, **26**, 299-316.
- [80] Hwang, H. S., Yu, J. C., 1998. R&D project evaluation model based on fuzzy set priority, *Computers Industrial Engineering*, **35**, 567-570.
- [81] Hsu, Y. G., Tzeng, G. H., Shyu, J. Z., 2003. Fuzzy multiple criteria selection of government-sponsored frontier technology R&D projects, *R&D Management*, **33**, 539-551.
- [82] Wang, K., Wang, C., Hu, C., 2005. Analytic hierarchy process with fuzzy scoring in evaluating multidisciplinary R&D projects in China, *IEEE Transactions on Engineering Management*, **52**, 119-129.
- [83] Mohanty, R. P., Agarwal, R., Choudhury, A. K., Tiwari, M. K., 2005. A fuzzy ANP-based approach to R&D project selection: A case study, *International Journal of Production Research*, **43**, 5199-5216.
- [84] Huang, C. C., Chu, P. Y., Chiang Y. H., 2008. A fuzzy AHP application in government-sponsored R&D project selection, *Omega*, **36**, 1038-1052.
- [85] Buckley, J.J., 1985. Fuzzy hierarchical analysis, *Fuzzy Sets and Systems*, **17**, 233-247.
- [86] Li, W., Jiaqi, L., 2002. Trapezoidal fuzzy AHP and its application to optimal selection of satellite system schemes, *Journal of Harbin Institute of Technology*, **34**, 315-319.

- [87] **Xiaoqiong, W., Fang, P., Shihuang, S., Jianan, F.,** 2004. Trapezoidal fuzzy AHP for the comprehensive evaluation of highway network programming schemes in Yangtze River delta, *Proceedings of the 5th world congress on intelligent control and automation*, Hangzhou, P. R. China, June 15-19, 5232-5236.
- [88] **Hwang, C. L., Yoon, K.,** 1981. Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications, Springer-Verlag, New York.
- [89] **Kahraman, C., Buyukozkan, G., Ates, N. Y.,** 2007. A two phase multi-attribute decision-making approach for new product introduction, *Information sciences*, **177**.
- [90] **Li, D. F.,** 2007. Compromise ratio method for fuzzy multi-attribute group decision making, *Applied Soft Computing*, **7**, 807-817.
- [91] **Kahraman, C., Ruan, D., Doğan, I.,** 2003. Fuzzy group-decision making for facility location selection, *Information Sciences*, **157**, 135-153.
- [92] **Bozdağ, C. E., Kahraman, C., Ruan, D.,** 2003. Fuzzy group decision making for selection among computer integrated manufacturing systems, *Computers in Industry*, **51**, 13-29.
- [93] **Kahraman, C., Cebeci, U., Ruan D.,** 2004. Multi-attribute comparison of catering service companies using fuzzy AHP: The case of Turkey, *International Journal of Production Economics*, **87**, 171-184.
- [94] **Kulak, O., Kahraman C.,** 2005. Fuzzy multi-attribute selection among transportation companies using axiomatic design and analytic hierarchy process, *Information Sciences*, **170**, 191-210.
- [95] **Tüysüz, F., Kahraman, C.,** 2006. Project risk evaluation using a fuzzy analytic hierarchy process: An application to information technology projects, *International Journal of Intelligent Systems*, **21**, 559-584.
- [96] **Wang, L., Chu, J., Wu, J.,** 2007. Selection of optimum maintenance strategies based on a fuzzy analytic hierarchy process, *International Journal of Production Economics*, **107**, 151-163.

EKLER

EK A

Takip eden soruları okuyunuz ve karşılıklı kıyas matrisinde gerekli kutuları lütfen işaretleyiniz (Şekil A.1-A.6). Eğer sol taraftaki ölçüt, sağ taraftaki ölçütten daha önemli ise “x” işaretini “tam eşit” ifadesinin sağ tarafına tercih ettiğiniz dereceye yerleştiriniz. Eğer sol taraftaki ölçüt, sağ taraftaki ölçütten daha az önemli ise “x” işaretini “tam eşit” ifadesinin sol tarafına tercih ettiğiniz dereceye yerleştiriniz.

Genel “en iyi Ar-Ge projesinin seçimi” hedefine göre,

- S1. *Üretim (ÜR)* ölçütü, *teknik (TE)* ölçütüyle kıyaslandığında ne kadar önemlidir?
- S2. *Üretim (ÜR)* ölçütü, *pazarlama / dağıtım (PA)* ölçütüyle kıyaslandığında ne kadar önemlidir?
- S3. *Üretim (ÜR)* ölçütü, *bulanık gerçek opsiyon değerlendirme (BUGOD)* ölçütüyle kıyaslandığında ne kadar önemlidir?
- S4. *Teknik (TE)* ölçütü, *pazarlama / dağıtım (PA)* ölçütüyle kıyaslandığında ne kadar önemlidir?
- S5. *Teknik (TE)* ölçütü, *bulanık gerçek opsiyon değerlendirme (BUGOD)* ölçütüyle kıyaslandığında ne kadar önemlidir?
- S6. *Pazarlama / dağıtım (PA)* ölçütü, *bulanık gerçek opsiyon değerlendirme (BUGOD)* ölçütüyle kıyaslandığında ne kadar önemlidir?

En iyi Ar-Ge projesi hedefine göre,		Ana ölçütün bir diğeri üzerindeki önem (ya da tercih) derecesi							
Sorular	Ölçütler	Çok önemsiz (0,167; 0,200; 0,250; 0,333)	Önemsiz (0,250; 0,333; 0,500; 1,000)	Daha az eşit (0,500; 0,667; 0,667; 1,000)	Tam eşit (1,000; 1,000; 1,000; 1,000)	Daha fazla eşit (1,000; 1,500; 1,500; 2,000)	Önemli (1,000; 2,000; 3,000; 4,000)	Çok önemli (3,000; 4,000; 5,000; 6,000)	Ölçütler
S1	ÜR				x				TE
S2	ÜR			x					PA
S3	ÜR				x				BUGOD
S4	TE			x					PA
S5	TE		x						BUGOD
S6	PA			x					BUGOD

Şekil A.1 : Ana ve alt ölçütleri kıyaslamak için kullanılan anket formu.

Ana “üretim” ölçütüne göre,

S7. *Kapasite (ÜK)* ölçütü, *olanaklar / gereçler (ÜO)* ölçütüyle kıyaslandığında ne kadar önemlidir?

S8. *Kapasite (ÜK)* ölçütü, *işyeri güvenliği (Üİ)* ölçütüyle kıyaslandığında ne kadar önemlidir?

S9. *Kapasite (ÜK)* ölçütü, *çevreye duyarlılık (ÜÇ)* ölçütüyle kıyaslandığında ne kadar önemlidir?

S10. *Olanaklar / gereçler (ÜO)* ölçütü, *işyeri güvenliği (Üİ)* ölçütüyle kıyaslandığında ne kadar önemlidir?

S11. *Olanaklar / gereçler (ÜO)* ölçütü, *çevreye duyarlılık (ÜÇ)* ölçütüyle kıyaslandığında ne kadar önemlidir?

S12. *İşyeri güvenliği (Üİ)* ölçütü, *çevreye duyarlılık (ÜÇ)* ölçütüyle kıyaslandığında ne kadar önemlidir?

Üretim Ölçütüne göre:		Alt ölçütün bir diğeri üzerindeki önem (ya da tercih) derecesi							
Sorular	Alt- Ölçütler	Çok önemsiz (0,167; 0,200; 0,250; 0,333)	Önemsiz (0,250; 0,333; 0,500; 1,000)	Daha az eşit (0,500; 0,667; 0,667; 1,000)	Tam eşit (1,000; 1,000; 1,000; 1,000)	Daha fazla eşit (1,000; 1,500; 1,500; 2,000)	Önemli (1,000; 2,000; 3,000; 4,000)	Çok önemli (3,000; 4,000; 5,000; 6,000)	Alt-Ölçütler
S7	ÜK			x					ÜO
S8	ÜK						x		Üİ
S9	ÜK				x				ÜÇ
S10	ÜO						x		Üİ
S11	ÜO					x			ÜÇ
S12	Üİ				x				ÜÇ

Şekil A.2 : Üretimin alt ölçütlerini kıyaslamak için kullanılan anket formu.

Ana “teknik” ölçütüne göre,

S13. *Başarı Olasılığı (TB)* ölçütü, *katkı (TK)* ölçütüyle kıyaslandığında ne kadar önemlidir?

S14. *Başarı Olasılığı (TB)* ölçütü, *zaman (TZ)* ölçütüyle kıyaslandığında ne kadar önemlidir?

S15. *Başarı Olasılığı (TB)* ölçütü, *kaynaklar (TA)* ölçütüyle kıyaslandığında ne kadar önemlidir?

S16. *Katkı (TK)* ölçütü, *zaman (TZ)* ölçütüyle kıyaslandığında ne kadar önemlidir?

S17. *Katkı (TK)* ölçütü, *kaynaklar (TA)* ölçütüyle kıyaslandığında ne kadar önemlidir?

S18. *Zaman (TZ)* ölçütü, *kaynaklar (TA)* ölçütüyle kıyaslandığında ne kadar önemlidir?

Teknik Ölçütüne göre:		Alt ölçütün bir diğeri üzerindeki önem (ya da tercih) derecesi							
Sorular	Alt-Ölçütler	Çok önemsiz (0,167; 0,200; 0,250; 0,333)	Önemsiz (0,250; 0,333; 0,500; 1,000)	Daha az eşit (0,500; 0,667; 0,667; 1,000)	Tam eşit (1,000; 1,000; 1,000; 1,000)	Daha fazla eşit (1,000; 1,500; 1,500; 2,000)	Önemli (1,000; 2,000; 3,000; 4,000)	Çok önemli (3,000; 4,000; 5,000; 6,000)	Alt-Ölçütler
S13	TS			x					TC
S14	TS		x						TT
S15	TS			x					TR
S16	TC					x			TT
S17	TC					x			TR
S18	TT			x					TR

Şekil A.3 : Teknik ana ölçütünün alt ölçütlerini kıyaslamak için kullanılan anket formu.

Ana “pazarlama / dağıtım” ölçütüne göre,

S19. *İç Dinamik (PI)* ölçütü, *kapasite (PK)* ölçütüyle kıyaslandığında ne kadar önemlidir?

S20. *İç Dinamik (PI)* ölçütü, *eğilimler (PE)* ölçütüyle kıyaslandığında ne kadar önemlidir?

S21. *Kapasite (PK)* ölçütü, *eğilimler (PE)* ölçütüyle kıyaslandığında ne kadar önemlidir?

Pazarlama / dağıtım Ölçütüne göre:		Alt ölçütün bir diğeri üzerindeki önem (ya da tercih) derecesi							
Sorular	Alt- Ölçütler	Çok önemsiz (0,167; 0,200; 0,250; 0,333)	Önemsiz (0,250; 0,333; 0,500; 1,000)	Daha az eşit (0,500; 0,667; 0,667; 1,000)	Tam eşit (1,000; 1,000; 1,000; 1,000)	Daha fazla eşit (1,000; 1,500; 1,500; 2,000)	Önemli (1,000; 2,000; 3,000; 4,000)	Çok önemli (3,000; 4,000; 5,000; 6,000)	Alt-Ölçütler
S19	Pİ					x			PK
S20	Pİ			x					PE
S21	PK			x					PE

Şekil A.4 : Pazarlama / dağıtım ölçütünün alt ölçütlerini kıyaslamak için kullanılan anket formu.

Alt “üretim kapasitesi” ölçütüne göre (Şekil A.5’e bakınız),

S22. *Ar-Ge projesi 1, Ar-Ge projesi 2* kıyaslandığında ne kadar önemlidir?

S23. *Ar-Ge projesi 1, Ar-Ge projesi 3* kıyaslandığında ne kadar önemlidir?

S24. *Ar-Ge projesi 1, Ar-Ge projesi 4* kıyaslandığında ne kadar önemlidir?

S25. *Ar-Ge projesi 1, Ar-Ge projesi 5* kıyaslandığında ne kadar önemlidir?

S26. *Ar-Ge projesi 1, Ar-Ge projesi 6* kıyaslandığında ne kadar önemlidir?

S27. *Ar-Ge projesi 2, Ar-Ge projesi 3* kıyaslandığında ne kadar önemlidir?

S28. *Ar-Ge projesi 2, Ar-Ge projesi 4* kıyaslandığında ne kadar önemlidir?

S29. *Ar-Ge projesi 2, Ar-Ge projesi 5* kıyaslandığında ne kadar önemlidir?

S30. *Ar-Ge projesi 2, Ar-Ge projesi 6* kıyaslandığında ne kadar önemlidir?

S31. *Ar-Ge projesi 3, Ar-Ge projesi 4* kıyaslandığında ne kadar önemlidir?

S32. *Ar-Ge projesi 3, Ar-Ge projesi 5* kıyaslandığında ne kadar önemlidir?

S33. *Ar-Ge projesi 3, Ar-Ge projesi 6* kıyaslandığında ne kadar önemlidir?

S34. *Ar-Ge projesi 4, Ar-Ge projesi 5* kıyaslandığında ne kadar önemlidir?

S35. *Ar-Ge projesi 4, Ar-Ge projesi 6* kıyaslandığında ne kadar önemlidir?

S36. *Ar-Ge projesi 5, Ar-Ge projesi 6* kıyaslandığında ne kadar önemlidir?

Üretim kapasitesine göre:		Seçeneklerin bir diğeri üzerindeki önem (ya da tercih) derecesi							
Sorular	Seçenekler	Çok önemsiz (0,167; 0,200; 0,250; 0,333)	Önemsiz (0,250; 0,333; 0,500; 1,000)	Daha az eşit (0,500; 0,667; 0,667; 1,000)	Tam eşit (1,000; 1,000; 1,000; 1,000)	Daha fazla eşit (1,000; 1,500; 1,500; 2,000)	Önemli (1,000; 2,000; 3,000; 4,000)	Çok önemli (3,000; 4,000; 5,000; 6,000)	Seçenekler
S22	Ar-Ge1		x						Ar-Ge2
S23	Ar-Ge1			x					Ar-Ge3
S24	Ar-Ge1				x				Ar-Ge4
S25	Ar-Ge1		x						Ar-Ge5
S26	Ar-Ge1					x			Ar-Ge6
S27	Ar-Ge2			x					Ar-Ge3
S28	Ar-Ge2					x			Ar-Ge4
S29	Ar-Ge2			x					Ar-Ge5
S30	Ar-Ge2						x		Ar-Ge6
S31	Ar-Ge3					x			Ar-Ge4
S32	Ar-Ge3		x						Ar-Ge5
S33	Ar-Ge3						x		Ar-Ge6
S34	Ar-Ge4				x				Ar-Ge5
S35	Ar-Ge4					x			Ar-Ge6
S36	Ar-Ge5							x	Ar-Ge6

Şekil A.5 : Üretim kapasitesi ölçütüne göre seçeneklerin kıyaslanması.

Alt “pazarlama eğilimleri” ölçütüne göre (Şekil A.6’ya bakınız),

S37. *Ar-Ge projesi 1, Ar-Ge projesi 2* kıyaslandığında ne kadar önemlidir?

S38. *Ar-Ge projesi 1, Ar-Ge projesi 3* kıyaslandığında ne kadar önemlidir?

S39. *Ar-Ge projesi 1, Ar-Ge projesi 4* kıyaslandığında ne kadar önemlidir?

S40. *Ar-Ge projesi 1, Ar-Ge projesi 5* kıyaslandığında ne kadar önemlidir?

S41. *Ar-Ge projesi 1, Ar-Ge projesi 6* kıyaslandığında ne kadar önemlidir?

- S42. *Ar-Ge projesi 2, Ar-Ge projesi 3* kıyaslandığında ne kadar önemlidir?
- S43. *Ar-Ge projesi 2, Ar-Ge projesi 4* kıyaslandığında ne kadar önemlidir?
- S44. *Ar-Ge projesi 2, Ar-Ge projesi 5* kıyaslandığında ne kadar önemlidir?
- S45. *Ar-Ge projesi 2, Ar-Ge projesi 6* kıyaslandığında ne kadar önemlidir?
- S46. *Ar-Ge projesi 3, Ar-Ge projesi 4* kıyaslandığında ne kadar önemlidir?
- S47. *Ar-Ge projesi 3, Ar-Ge projesi 5* kıyaslandığında ne kadar önemlidir?
- S48. *Ar-Ge projesi 3, Ar-Ge projesi 6* kıyaslandığında ne kadar önemlidir?
- S49. *Ar-Ge projesi 4, Ar-Ge projesi 5* kıyaslandığında ne kadar önemlidir?
- S50. *Ar-Ge projesi 4, Ar-Ge projesi 6* kıyaslandığında ne kadar önemlidir?
- S51. *Ar-Ge projesi 5, Ar-Ge projesi 6* kıyaslandığında ne kadar önemlidir?

Pazarlama eğilimlerine göre		Seçeneklerin bir diğeri üzerindeki önem (ya da tercih) derecesi							
Sorular	Seçenekler	Çok önemsiz (0,167; 0,200; 0,250; 0,333)	Önemsiz (0,250; 0,333; 0,500; 1,000)	Daha az eşit (0,500; 0,667; 0,667; 1,000)	Tam eşit (1,000; 1,000; 1,000; 1,000)	Daha fazla eşit (1,000; 1,500; 1,500; 2,000)	Önemli (1,000; 2,000; 3,000; 4,000)	Çok önemli (3,000; 4,000; 5,000; 6,000)	Seçenekler
S37	Ar-Ge1						x		Ar-Ge2
S38	Ar-Ge1							x	Ar-Ge3
S39	Ar-Ge1						x		Ar-Ge4
S40	Ar-Ge1			x					Ar-Ge5
S41	Ar-Ge1					x			Ar-Ge6
S42	Ar-Ge2					x			Ar-Ge3
S43	Ar-Ge2				x				Ar-Ge4
S44	Ar-Ge2					x			Ar-Ge5
S45	Ar-Ge2				x				Ar-Ge6
S46	Ar-Ge3				x				Ar-Ge4
S47	Ar-Ge3		x						Ar-Ge5
S48	Ar-Ge3			x					Ar-Ge6
S49	Ar-Ge4			x					Ar-Ge5
S50	Ar-Ge4			x					Ar-Ge6
S51	Ar-Ge5				x				Ar-Ge6

Şekil A.6 : Pazarlama eğilimleri ölçütüne göre seçeneklerin kıyaslanması.

EK B

Çizelge B.1 : Buckley AHP yöntemi ile hesaplanan $\tilde{r}_{ij}$ değerleri.

$r_{\tilde{U}K1}$	(0,062; 0,100; 0,130; 0,249)	$r_{\tilde{U}I4}$	(0,126; 0,250; 0,353; 0,613)	r_{TK1}	(0,076; 0,136; 0,181; 0,337)	r_{TA4}	(0,086; 0,146; 0,154; 0,270)	r_{PE1}	(0,128; 0,238; 0,309; 0,506)
$r_{\tilde{U}K2}$	(0,088; 0,169; 0,221; 0,395)	$r_{\tilde{U}I5}$	(0,033; 0,055; 0,092; 0,228)	r_{TK2}	(0,050; 0,076; 0,098; 0,177)	r_{TA5}	(0,146; 0,241; 0,264; 0,409)	r_{PE2}	(0,095; 0,143; 0,167; 0,266)
$r_{\tilde{U}K3}$	(0,088; 0,165; 0,214; 0,395)	$r_{\tilde{U}I6}$	(0,093; 0,173; 0,236; 0,405)	r_{TK3}	(0,050; 0,072; 0,100; 0,177)	r_{TA6}	(0,064; 0,099; 0,116; 0,201)	r_{PE3}	(0,056; 0,084; 0,101; 0,176)
$r_{\tilde{U}K4}$	(0,088; 0,134; 0,153; 0,249)	$r_{\tilde{U}C1}$	(0,057; 0,090; 0,115; 0,221)	r_{TK4}	(0,068; 0,106; 0,132; 0,238)	r_{PI1}	(0,091; 0,149; 0,189; 0,311)	r_{PE4}	(0,076; 0,109; 0,128; 0,211)
$r_{\tilde{U}K5}$	(0,133; 0,244; 0,330; 0,532)	$r_{\tilde{U}C2}$	(0,091; 0,176; 0,223; 0,394)	r_{TK5}	(0,156; 0,272; 0,391; 0,612)	r_{PI2}	(0,072; 0,116; 0,138; 0,247)	r_{PE5}	(0,107; 0,180; 0,211; 0,335)
$r_{\tilde{U}K6}$	(0,041; 0,067; 0,090; 0,184)	$r_{\tilde{U}C3}$	(0,081; 0,133; 0,157; 0,279)	r_{TK6}	(0,108; 0,196; 0,262; 0,424)	r_{PI3}	(0,081; 0,142; 0,169; 0,311)	r_{PE6}	(0,107; 0,161; 0,176; 0,266)
$r_{\tilde{U}O1}$	(0,103; 0,181; 0,248; 0,439)	$r_{\tilde{U}C4}$	(0,091; 0,168; 0,198; 0,351)	r_{TZ1}	(0,069; 0,128; 0,169; 0,336)	r_{PI4}	(0,048; 0,077; 0,095; 0,183)	r_{BUGOD1}	(0,037; 0,051; 0,103; 0,132)
$r_{\tilde{U}O2}$	(0,054; 0,097; 0,138; 0,290)	$r_{\tilde{U}C5}$	(0,132; 0,242; 0,297; 0,473)	r_{TZ2}	(0,097; 0,198; 0,261; 0,475)	r_{PI5}	(0,138; 0,241; 0,297; 0,471)	r_{BUGOD2}	(0,006; 0,020; 0,062; 0,090)
$r_{\tilde{U}O3}$	(0,068; 0,119; 0,148; 0,290)	$r_{\tilde{U}C6}$	(0,060; 0,095; 0,117; 0,207)	r_{TZ3}	(0,061; 0,102; 0,134; 0,266)	r_{PI6}	(0,091; 0,175; 0,223; 0,392)	r_{BUGOD3}	(0,263; 0,301; 0,413; 0,489)
$r_{\tilde{U}O4}$	(0,096; 0,181; 0,239; 0,410)	r_{TB1}	(0,099; 0,166; 0,236; 0,404)	r_{TZ4}	(0,097; 0,208; 0,293; 0,533)	r_{PK1}	(0,116; 0,193; 0,246; 0,395)	r_{BUGOD4}	(0,063; 0,079; 0,194; 0,233)
$r_{\tilde{U}O5}$	(0,040; 0,066; 0,091; 0,132)	r_{TB2}	(0,046; 0,072; 0,093; 0,165)	r_{TZ5}	(0,048; 0,083; 0,110; 0,237)	r_{PK2}	(0,116; 0,180; 0,230; 0,352)	r_{BUGOD5}	(0,229; 0,280; 0,446; 0,548)
$r_{\tilde{U}O6}$	(0,108; 0,221; 0,293; 0,517)	r_{TB3}	(0,058; 0,103; 0,150; 0,299)	r_{TZ6}	(0,086; 0,150; 0,184; 0,336)	r_{PK3}	(0,131; 0,248; 0,339; 0,559)	r_{BUGOD6}	(0,026; 0,038; 0,083; 0,108)
$r_{\tilde{U}I1}$	(0,093; 0,162; 0,221; 0,361)	r_{TB4}	(0,150; 0,264; 0,389; 0,611)	r_{TA1}	(0,108; 0,187; 0,212; 0,341)	r_{PK4}	(0,051; 0,077; 0,106; 0,194)		
$r_{\tilde{U}I2}$	(0,049; 0,086; 0,221; 0,361)	r_{TB5}	(0,034; 0,054; 0,083; 0,176)	r_{TA2}	(0,086; 0,153; 0,173; 0,303)	r_{PK5}	(0,034; 0,052; 0,073; 0,144)		
$r_{\tilde{U}I3}$	(0,066; 0,115; 0,167; 0,322)	r_{TB6}	(0,104; 0,178; 0,243; 0,377)	r_{TA3}	(0,077; 0,121; 0,137; 0,241)	r_{PK6}	(0,077; 0,119; 0,157; 0,261)		

EK C

Hiyerarşik bulanık TOPSIS için anket formları:

Genel “en iyi Ar-Ge projesinin seçimi” hedefine göre (bakınız Şekil C.1),

S1. *Üretim (ÜR)* ana ölçütüne hangi önem derecesini belirlersiniz?

S2. *Teknik (TE)* ana ölçütüne hangi önem derecesini belirlersiniz?

S3. *Pazarlama / dağıtım (PA)* ana ölçütüne hangi önem derecesini belirlersiniz?

S4. *Bulanık gerçek opsiyon değeri (BUGOD)* ana ölçütüne hangi önem derecesini belirlersiniz?

En iyi Ar-Ge projesi seçimi hedefine göre		En iyi Ar-Ge projesi hedefine göre bir ana ölçütün önem (ya da tercih) derecesi						
Sorular	Ölçütler	En düşük (0,000; 0,000; 0,100)	Çok düşük (0,100; 0,200; 0,300; 0,400)	Düşük (0,200; 0,300; 0,400; 0,500)	Orta (0,300; 0,500; 0,500; 0,700)	Yüksek (0,500; 0,600; 0,700; 0,800)	Çok yüksek (0,700; 0,800; 0,900; 1,000)	En yüksek (0,900; 1,000; 1,000; 1,000)
S1	Üretim (ÜR)				x			
S2	Teknik (TE)			x				
S3	Pazarlama (PA)		x					
S4	BUGOD					x		

Şekil C.1 : Ana ölçütlerin hedefe göre önem derecelerini gösteren anket formu.

“Üretim (ÜR)” ana ölçütüne göre (bakınız Şekil C.2),

S5. *Kapasite (ÜK)* alt ölçütüne hangi önem derecesini belirlersiniz?

S6. *Olanaklar / gereçler (ÜO)* alt ölçütüne hangi önem derecesini belirlersiniz?

S7. *İş yeri güvenliği (Üİ)* alt ölçütüne hangi önem derecesini belirlersiniz?

S8. *Çevreye duyarlılık (ÜÇ)* alt ölçütüne hangi önem derecesini belirlersiniz?

Alt ölçütlere göre seçeneklerin puanlanması (bakınız Şekil C.3)

S9. *İç dinamik (Pİ)* alt ölçütüne göre her bir Ar-Ge projesine hangi puanı belirlersiniz?

S10. *Kapasite (PK)* alt ölçütüne göre her bir Ar-Ge projesine hangi puanı belirlersiniz?

S11. *Eğilimler (PE)* alt ölçütüne göre her bir Ar-Ge projesine hangi puanı belirlersiniz?

Üretime göre		Ana ölçüt Üretime göre bir alt ölçütün önem (ya da tercih) derecesi						
Sorular	Ölçütler	En düşük (0,000; 0,000; 0,000; 0,100)	Çok düşük (0,100; 0,200; 0,300; 0,400)	Düşük (0,200; 0,300; 0,400; 0,500)	Orta (0,300; 0,500; 0,500; 0,700)	Yüksek (0,500; 0,600; 0,700; 0,800)	Çok yüksek (0,700; 0,800; 0,900; 1,000)	En yüksek (0,900; 1,000; 1,000; 1,000)
S5	Kapasite (ÜK)			x				
S6	Olanaklar/gereçler (ÜO)		x					
S7	İşyeri güvenliği (Üİ)					x		
S8	Çevreye duyarlılık (ÜÇ)				x			

Şekil C.2 : Alt ölçütlerin ana ölçütlere göre önem derecelerini gösteren anket formu (Üretim örneği).

Sorular	Alt-ölçütler	Seçenekler	En düşük (0; 0; 0; 10)	Çok düşük (10; 20; 30; 40)	Düşük (20; 30; 40; 50)	Orta (30; 50; 50; 70)	Yüksek (50; 60; 70; 80)	Çok yüksek (70; 80; 90; 100)	En yüksek (90; 100; 100; 100)
S9	İç dinamik (PI)	Ar-Ge1		x					
		Ar-Ge2				x			
		Ar-Ge3						x	
		Ar-Ge4			x				
		Ar-Ge5		x					
		Ar-Ge6					x		
S10	Kapasite (PK)	Ar-Ge1				x			
		Ar-Ge2		x					
		Ar-Ge3			x				
		Ar-Ge4						x	
		Ar-Ge5				x			
		Ar-Ge6					x		
S11	Eğilimler (PE)	Ar-Ge1						x	
		Ar-Ge2					x		
		Ar-Ge3	x						
		Ar-Ge4			x				
		Ar-Ge5				x			
		Ar-Ge6		x					

Şekil C.3 : Seçeneklerin alt ölçütlere göre önem derecelerini gösteren anket formu (Pazarlama örneği).

EK D

Bulanık hiyerarşik TOPSIS ile ilgili adımların sonuçlarını D.1-D.5 çizelgelerinde bulabilirsiniz.

Çizelge D.1 : Bulanık hiyerarşik TOPSIS için $\tilde{r}_{ij}$ değerleri.

	ÜK	ÜO	Üİ	ÜÇ
Ar-Ge1	(0,222; 0,415; 0,567; 0,920)	(0,400; 0,615; 0,797; 1,213)	(0,446; 0,717; 0,911; 1,512)	(0,316; 0,538; 0,741; 1,152)
Ar-Ge2	(0,583; 0,862; 1,017; 1,480)	(0,400; 0,662; 0,847; 1,340)	(0,554; 0,933; 1,071; 1,805)	(0,605; 0,892; 1,121; 1,652)
Ar-Ge3	(0,486; 0,723; 0,917; 1,340)	(0,627; 0,908; 1,102; 1,596)	(0,432; 0,733; 0,893; 1,537)	(0,434; 0,708; 0,879; 1,413)
Ar-Ge4	(0,681; 0,923; 1,117; 1,520)	(0,347; 0,569; 0,763; 1,170)	(0,392; 0,683; 0,857; 1,439)	(0,368; 0,615; 0,793; 1,283)
Ar-Ge5	(0,694; 0,923; 1,083; 1,440)	(0,467; 0,754; 0,915; 1,426)	(0,514; 0,817; 1,018; 1,634)	(0,539; 0,785; 1,017; 1,522)
Ar-Ge6	(0,417; 0,585; 0,717; 1,060)	(0,307; 0,508; 0,644; 1,043)	(0,311; 0,533; 0,696; 1,220)	(0,395; 0,631; 0,845; 1,283)
	TB	TK	TZ	TA
Ar-Ge1	(0,299; 0,485; 0,639; 1,020)	(0,342; 0,600; 0,738; 1,261)	(0,362; 0,621; 0,808; 1,293)	(0,493; 0,767; 0,981; 1,537)
Ar-Ge2	(0,429; 0,691; 0,869; 1,340)	(0,519; 0,800; 0,951; 1,500)	(0,536; 0,845; 1,096; 1,683)	(0,394; 0,650; 0,849; 1,366)
Ar-Ge3	(0,532; 0,779; 1,000; 1,460)	(0,456; 0,708; 0,885; 1,413)	(0,290; 0,500; 0,731; 1,171)	(0,577; 0,883; 1,132; 1,732)
Ar-Ge4	(0,649; 0,897; 1,115; 1,540)	(0,582; 0,938; 1,066; 1,717)	(0,536; 0,862; 1,096; 1,707)	(0,563; 0,850; 1,113; 1,683)
Ar-Ge5	(0,545; 0,824; 0,984; 1,440)	(0,481; 0,723; 0,869; 1,370)	(0,493; 0,793; 1,038; 1,610)	(0,423; 0,700; 0,943; 1,512)
Ar-Ge6	(0,597; 0,853; 1,033; 1,440)	(0,329; 0,585; 0,754; 1,261)	(0,594; 0,897; 1,115; 1,683)	(0,563; 0,850; 1,075; 1,659)
	Pİ	PK	PE	BUGOD
Ar-Ge1	(0,347; 0,597; 0,833; 1,326)	(0,333; 0,545; 0,710; 1,069)	(0,463; 0,684; 0,865; 1,293)	(0,122; 0,162; 0,262; 0,314)
Ar-Ge2	(0,542; 0,855; 1,093; 1,698)	(0,379; 0,610; 0,768; 1,155)	(0,612; 0,912; 1,096; 1,634)	(0,019; 0,063; 0,157; 0,213)
Ar-Ge3	(0,417; 0,629; 0,852; 1,326)	(0,414; 0,623; 0,812; 1,172)	(0,284; 0,526; 0,635; 1,146)	(0,863; 0,949; 1,054; 1,159)
Ar-Ge4	(0,444; 0,742; 0,963; 1,535)	(0,667; 0,896; 1,116; 1,500)	(0,537; 0,860; 1,058; 1,634)	(0,209; 0,248; 0,497; 0,554)
Ar-Ge5	(0,597; 0,871; 1,148; 1,674)	(0,322; 0,532; 0,652; 1,000)	(0,448; 0,737; 0,923; 1,488)	(0,752; 0,881; 1,139; 1,301)
Ar-Ge6	(0,542; 0,823; 1,037; 1,581)	(0,506; 0,701; 0,928; 1,276)	(0,522; 0,825; 1,038; 1,585)	(0,085; 0,119; 0,212; 0,257)

Çizelge D.2 : Bulanık hiyerarşik TOPSIS için $\tilde{v}_{ij}$ değerleri.

	ÜK	ÜO	Üİ	ÜÇ
Ar-Ge1	(0,029; 0,090; 0,164; 0,388)	(0,086; 0,203; 0,326; 0,664)	(0,039; 0,123; 0,212; 0,548)	(0,049; 0,144; 0,248; 0,554)
Ar-Ge2	(0,075; 0,187; 0,295; 0,624)	(0,086; 0,219; 0,347; 0,734)	(0,048; 0,160; 0,250; 0,654)	(0,095; 0,239; 0,374; 0,795)
Ar-Ge3	(0,063; 0,157; 0,266; 0,565)	(0,135; 0,300; 0,451; 0,874)	(0,038; 0,125; 0,208; 0,557)	(0,068; 0,190; 0,294; 0,680)
Ar-Ge4	(0,088; 0,200; 0,324; 0,641)	(0,075; 0,188; 0,312; 0,641)	(0,034; 0,117; 0,200; 0,522)	(0,058; 0,165; 0,265; 0,617)
Ar-Ge5	(0,089; 0,200; 0,314; 0,607)	(0,101; 0,249; 0,375; 0,781)	(0,045; 0,140; 0,237; 0,593)	(0,084; 0,210; 0,340; 0,732)
Ar-Ge6	(0,054; 0,127; 0,208; 0,447)	(0,066; 0,168; 0,264; 0,571)	(0,027; 0,091; 0,162; 0,442)	(0,062; 0,169; 0,282; 0,617)
	TB	TK	TZ	TA
Ar-Ge1	(0,040; 0,112; 0,184; 0,432)	(0,043; 0,142; 0,217; 0,573)	(0,060; 0,172; 0,279; 0,637)	(0,095; 0,240; 0,377; 0,828)
Ar-Ge2	(0,058; 0,159; 0,250; 0,567)	(0,065; 0,189; 0,280; 0,681)	(0,089; 0,234; 0,379; 0,829)	(0,076; 0,203; 0,326; 0,736)
Ar-Ge3	(0,072; 0,179; 0,288; 0,618)	(0,057; 0,167; 0,261; 0,642)	(0,048; 0,139; 0,253; 0,577)	(0,112; 0,276; 0,435; 0,933)
Ar-Ge4	(0,088; 0,206; 0,321; 0,652)	(0,073; 0,221; 0,314; 0,780)	(0,089; 0,239; 0,379; 0,841)	(0,109; 0,266; 0,427; 0,907)
Ar-Ge5	(0,074; 0,189; 0,283; 0,610)	(0,061; 0,171; 0,256; 0,622)	(0,082; 0,220; 0,359; 0,793)	(0,082; 0,219; 0,362; 0,815)
Ar-Ge6	(0,081; 0,196; 0,297; 0,610)	(0,041; 0,138; 0,222; 0,573)	(0,099; 0,249; 0,385; 0,829)	(0,109; 0,266; 0,413; 0,894)
	Pİ	PK	PE	BUGOD
Ar-Ge1	(0,021; 0,070; 0,140; 0,345)	(0,027; 0,085; 0,155; 0,358)	(0,030; 0,087; 0,159; 0,381)	(0,073; 0,117; 0,205; 0,276)
Ar-Ge2	(0,033; 0,101; 0,183; 0,441)	(0,031; 0,095; 0,168; 0,387)	(0,040; 0,116; 0,201; 0,482)	(0,011; 0,046; 0,123; 0,188)
Ar-Ge3	(0,025; 0,074; 0,143; 0,345)	(0,034; 0,097; 0,177; 0,393)	(0,018; 0,067; 0,116; 0,338)	(0,518; 0,683; 0,822; 1,020)
Ar-Ge4	(0,027; 0,087; 0,161; 0,399)	(0,055; 0,139; 0,244; 0,503)	(0,035; 0,109; 0,194; 0,482)	(0,126; 0,179; 0,387; 0,487)
Ar-Ge5	(0,036; 0,103; 0,193; 0,435)	(0,026; 0,083; 0,142; 0,335)	(0,029; 0,094; 0,169; 0,439)	(0,451; 0,635; 0,888; 1,145)
Ar-Ge6	(0,033; 0,097; 0,174; 0,411)	(0,041; 0,109; 0,203; 0,427)	(0,034; 0,105; 0,190; 0,468)	(0,051; 0,086; 0,166; 0,226)

Çizelge D.3 : Bulanık hiyerarşik TOPSIS için $M(\tilde{v}_{ij})$ değerleri.

	ÜK	ÜO	Üİ	ÜÇ
Ar-Ge1	0,1778811162	0,3391376519	0,2469598805	0,2631736810
Ar-Ge2	0,3130890317	0,3671920468	0,2984266751	0,3983671608
Ar-Ge3	0,2778181935	0,4680962868	0,2495026168	0,3276190848
Ar-Ge4	0,3315056943	0,3209788769	0,2336918134	0,2936346401
Ar-Ge5	0,3208656509	0,3995761283	0,2708059949	0,3624610319
Ar-Ge6	0,2219515198	0,2837399223	0,1944581820	0,2987845549
	TB	TK	TZ	TA
Ar-Ge1	0,2044739056	0,2617811024	0,3047908321	0,4095281658
Ar-Ge2	0,2749090105	0,3251261480	0,4060793349	0,3566056506
Ar-Ge3	0,3070527381	0,3013830473	0,2691032481	0,4663511386
Ar-Ge4	0,3360962537	0,3720889560	0,4109853554	0,4534390629
Ar-Ge5	0,3071311205	0,2968343909	0,3854477469	0,3922825559
Ar-Ge6	0,3140616791	0,2608313171	0,4148952359	0,4474189624
	Pİ	PK	PE	BUGOD
Ar-Ge1	0,1531115432	0,1653755951	0,1748309192	0,1807735016
Ar-Ge2	0,2015905883	0,1801533462	0,2232818023	0,0931342777
Ar-Ge3	0,1560871201	0,1849329744	0,1461592713	1,0411343596
Ar-Ge4	0,1797154677	0,2475501942	0,2187339870	0,3141427056
Ar-Ge5	0,2028204433	0,1555094179	0,1956692890	0,9255852139
Ar-Ge6	0,1898912681	0,2054038820	0,2122353939	0,1396472401

Çizelge D.4 : Bulanık hiyerarşik TOPSIS için D_{ij}^* değerleri.

	ÜK	ÜO	Üİ	ÜÇ
Ar-Ge1	0,1541265038	0,1266735600	0,0530792861	0,1353659268
Ar-Ge2	0,0203162005	0,0973583544	0,0000000000	0,0000000000
Ar-Ge3	0,0530151645	0,0000000000	0,0506318744	0,0728349629
Ar-Ge4	0,0000000000	0,1423277235	0,0663881145	0,1063853789
Ar-Ge5	0,0148800138	0,0667284218	0,0287313731	0,0367265102
Ar-Ge6	0,1128612274	0,1833769694	0,1081223000	0,0995575479
	TB	TK	TZ	TA
Ar-Ge1	0,1330318310	0,1120467292	0,1101467154	0,0587499596
Ar-Ge2	0,0613484503	0,0487092251	0,0099411302	0,1113633870
Ar-Ge3	0,0290027825	0,0718105771	0,1447985329	0,0000000000
Ar-Ge4	0,0000000000	0,0000000000	0,0092090733	0,0130448759
Ar-Ge5	0,0300443662	0,0785366924	0,0278232957	0,0729949353
Ar-Ge6	0,0229613744	0,1116509707	0,0000000000	0,0213113828
	Pİ	PK	PE	BUGOD
Ar-Ge1	0,0518313861	0,0848653904	0,0508272259	0,5992427177
Ar-Ge2	0,0061755945	0,0699547263	0,0000000000	0,6758141088
Ar-Ge3	0,0498488513	0,0643978026	0,0819473207	0,0000000000
Ar-Ge4	0,0251452894	0,0000000000	0,0059512647	0,4698642184
Ar-Ge5	0,0000000000	0,0963722294	0,0288251090	0,0747386331
Ar-Ge6	0,0150321545	0,0428590177	0,0109036187	0,6355209633

Çizelge D.5 : Bulanık hiyerarşik TOPSIS için D_{ij}^- değerleri.

	ÜK	ÜO	Üİ	ÜÇ
Ar-Ge1	0,0000000000	0,0569124927	0,0553143278	0,0000000000
Ar-Ge2	0,1357991340	0,0876177934	0,1081223000	0,1353659268
Ar-Ge3	0,1016521867	0,1833769694	0,0575377132	0,0638237865
Ar-Ge4	0,1541265038	0,0418538172	0,0418495809	0,0301381950
Ar-Ge5	0,1419101120	0,1176776794	0,0804572381	0,0987326673
Ar-Ge6	0,0419938074	0,0000000000	0,0000000000	0,0358188486
	TB	TK	TZ	TA
Ar-Ge1	0,0000000000	0,0035471532	0,0351446590	0,0526603684
Ar-Ge2	0,0729149584	0,0635742613	0,1387875014	0,0000000000
Ar-Ge3	0,1052427489	0,0402129682	0,0000000000	0,1113633870
Ar-Ge4	0,1330318310	0,1116509707	0,1435608791	0,0988917005
Ar-Ge5	0,1037000901	0,0346962164	0,1181643937	0,0395075299
Ar-Ge6	0,1104955688	0,0000000000	0,1447985329	0,0902749173
	Pİ	PK	PE	BUGOD
Ar-Ge1	0,0000000000	0,0119955199	0,0326183071	0,0766573344
Ar-Ge2	0,0502139040	0,0267659467	0,0819473207	0,0000000000
Ar-Ge3	0,0033180014	0,0321827688	0,0000000000	0,6758141088
Ar-Ge4	0,0274664018	0,0963722294	0,0781010320	0,2153683117
Ar-Ge5	0,0518313861	0,0000000000	0,0536727935	0,7041209810
Ar-Ge6	0,0372225396	0,0538055458	0,0717035336	0,0408051553

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Abdullah Çağrı Tolga

Doğum Yeri ve Tarihi: Aksaray 10/09/1975

Adres: Çifteimamlar Sok. No:1/6 Beşiktaş İstanbul

Lisans Üniversitesi: T.C. Selçuk Üniversitesi 1999

Y. Lisans Üniversitesi: T.C. Galatasaray Üniversitesi 2003

Tez Konusu İle İlgili Yayın Listesi:

- Tolga, A. Ç., and Kahraman, C., 2008: Fuzzy multiattribute evaluation of R&D projects using a real options valuation model, *International journal of intelligent systems*, **23**, 1153-1176. (SCI-Expanded indexed)
- Tolga, A. Ç., 2008: Fuzzy multicriteria R&D project selection with a real options valuation model, *Journal of intelligent and fuzzy systems*, **4-5**, 359-371. (SCI-Expanded indexed)
- Tolga, A. Ç., and Kahraman, C., 2008: Yazılım Geliştirme Projelerinin Gerçek Opsiyon Değerleme Modeliyle Çok Ölçütlü Bulanık Değerlemesi. *Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği 28. Ulusal Kongresi (YA/EM 08)*, 30 Haziran-2 Temmuz 2008 İstanbul, Türkiye.
- Tolga, A. Ç., and Kahraman, C., 2008: A New Fuzzy Real Options Valuation Model: Its Application To Multicriteria R&D Project Selection. *The 8th International FLINS Conference on Computational Intelligence in Decision and Control (FLINS 2008)*, Sep. 21-24, 2008 Madrid, Spain.
- Tolga, A. Ç., and Kahraman, C., 2008: Fuzzy Multi-Criteria Evaluation of R&D Projects and A Fuzzy Trinomial Lattice Approach for Real Options. *International Conference on Intelligent System and Knowledge Engineering (ISKE2008)*, Nov. 17-18, 2008 Xiamen, China.