



**PARADOKS**  
Ekonomi, Sosyoloji ve Politika Dergisi

**PARADOKS Ekonomi, Sosyoloji ve Politika Dergisi**  
*PARADOKS Journal of Economics, Sociology and Policy*

**Proje Değerlemesinde Karar Ağacı Analizi ve Reel  
Opsiyon Yaklaşımının Karşılaştırılması**

*Comparison of Decision Tree Method and Real Option  
Approach in Project Evaluation*

**Yrd.Doç.Dr. Değer ALPER**

Uludağ Üniversitesi İİBF, dalper@uludag.edu.tr

**Yrd.Doç.Dr. Adem ANBAR**

Uludağ Üniversitesi İİBF, ademanbar@hotmail.com

Ocak/January 2011, Cilt/Vol: 7, Sayı/Num: 1, Page: 47-66  
ISSN: 1305-7979

© 2005- 2010

**PARADOKS Ekonomi, Sosyoloji ve Politika Dergisi**

*PARADOKS Journal of Economics, Sociology and Policy*

Ocak/January 2011, Cilt/Vol: 7, Sayı/Num: 1

ISSN: 1305-7979

**Editör/Editor-in-Chief**

Öğr.Gör.Dr.Elif KARAKURT TOSUN

**Editör Yardımcıları/Co-Editors**

Öğr.Gör.Dr.Sema AY  
(Uludağ Üniversitesi)

Öğr.Gör.Hilal YILDIRIR  
(Uludağ Üniversitesi)

**Uygulama/Design**

Yusuf Budak  
(Kocaeli Üniversitesi)

**Yayın ve Danışma Kurulu / Publishing and Advisory Committee**

Prof.Dr.Veyssel BOZKURT (Uludağ Üniversitesi)

Prof.Dr.Recai ÇINAR (Gazi Üniversitesi)

Prof.Dr.R.Cengiz DERDİMAN (Uludağ Üniversitesi)

Prof.Dr.Zeynel DİNLER (Uludağ Üniversitesi)

Doç.Dr.Aşkın KESER (Kocaeli Üniversitesi)

Yrd.Doç.Dr.Emine KOBAN (Beykoz Lojistik Meslek Yüksek Okulu)

Yrd.Doç.Dr.Ferhat ÖZBEK (Gümüşhane Üniversitesi)

Yrd.Doç.Dr.Senay YÜRÜR (Yalova Üniversitesi)

Dr.Sema AY (Uludağ Üniversitesi)

Dr.Zerrin FIRAT (Uludağ Üniversitesi)

Dr.Elif KARAKURT TOSUN (Uludağ Üniversitesi)

Öğr.Gör.Hilal YILDIRIR KESER (Uludağ Üniversitesi)

*Dergide yayınlanan yazılardaki görüşler ve bu konudaki sorumluluk yazarlarına aittir.  
Yayınlanan eserlerde yer alan tüm içerik kaynak gösterilmeden kullanılamaz.*

*All the opinions written in articles are under responsibilities of the authors.  
None of the contents published can't be used without being cited.*

## Proje Değerlemesinde Karar Ağacı Analizi ve Reel Opsiyon Yaklaşımının Karşılaştırılması

### *Comparison of Decision Tree Method and Real Option Approach in Project Evaluation*

**Yrd.Doç.Dr. Değer ALPER**

Uludağ Üniversitesi İİBF, dalper@uludag.edu.tr

**Yrd.Doç.Dr. Adem ANBAR**

Uludağ Üniversitesi İİBF, ademanbar@hotmail.com

#### **Özet:**

Yatırım projelerinin çoğu yönetimsel esnekliğe sahiptir ve bu esneklik, projelerin değerini önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Çünkü karar vericilerin, gelecekteki değişimler ve gelişmeler doğrultusunda, yatırım kararlarını değiştirme hakları vardır. İskonto edilmiş nakit akışı gibi klasik değerlendirme yöntemleri, bu esnekliği dikkate almaz. Projelerin barındırdığı esneklik; erteleme, vazgeçme, genişletme ve daraltma gibi çok çeşitli şekillerde olabilir. Proje değerlendirilmesinde esnekliği en doğru şekilde dikkate alan iki yaklaşım bulunmaktadır. Bunlar; karar ağacı analizi ve reel opsiyon değerlendirme modelidir. Reel opsiyon değerlendirilmesi esnekliği opsiyon terimleri ile ifade eder ve kuramsal olarak karar ağacı yönteminden daha üstündür. Karar ağacı ve reel opsiyon yaklaşımları bazı noktalarda farklı olsalar da, her biri belirli uygulamalarda bazı üstünlüklere sahiptir.

**Anahtar Kelimeler:** Yönetimsel Esneklik, Karar Ağacı Analizi, Reel Opsiyonlar, Proje Değerleme

#### **Abstract:**

Most of investment projects have managerial flexibility and this flexibility can significantly affect the value of projects. Because decision makers have right to alter investment decisions. But traditional valuation methods like discounted cash flow do not capture this flexibility. Flexibility can be in many forms, such as defer, expand, abandon and contract. There are two approaches that correctly capture flexibility: Decision tree analysis and real option valuation model. Real option valuation model includes managerial flexibility in terms of option and it is theoretically superior to decision tree analysis. Although decision tree analysis and real option model differ on some points, each approach has some advantages in certain applications.

**Keywords:** Managerial Flexibility, Decision Tree Analysis, Real Options, Project Evaluation

## GİRİŞ

Son yıllarda, piyasalardaki yoğun rekabet ve entegrasyonun bir sonucu olarak, yatırım kararlarının olabildiğince hızlı ve etkin şekilde alınması büyük önem kazanmıştır. Piyasalardaki hızlı ve yoğun gelişim ve değişimler doğrultusunda, işletmeler daha yüksek karlılık rakamlarına ulaşabilmek, pazar paylarını artırabilmek, yeni pazarlar ele geçirebilmek, kısaca rekabetçi olabilmek için çok çeşitli yatırım kararları vermektedirler. Ancak, piyasalardaki bu hızlı değişim ve gelişmeler, belirsizlik ve riski arttırmakta, proje değerlendirme kararları yüksek belirsizlik ve risk ortamında alınmaktadır.

Sermaye bütçeleme, işletmelerin stratejileri doğrultusunda, piyasalarda rekabet üstünlüğü kazanarak pay sahiplerinin refahını artıracak projelerin ortaya konulmasını, projelerin değerlemesini ve en uygun olan proje ya da projelerin seçilmesini kapsayan bir süreçtir. Proje değerlendirme ise, pay sahibinin refahını maksimum yapacak projenin ortaya konabilmesi için, yatırımın finansal ve stratejik değerinin belirlenmesine yönelik analitik bir süreçtir (Broyles, 2003: 79). Bu doğrultuda, günümüzün yüksek belirsizlik ve risk ortamında, projelerin en uygun yöntemlerle değerlendirilmesi ve en yüksek karlılık sağlayacak projenin seçimi son derece önem taşımaktadır.

Proje değerlemede en yaygın olarak kullanılan yöntemler, iskonto edilmiş nakit akışı (İNA) yöntemleridir. İskonto edilmiş nakit akışı yöntemlerine göre, projenin değeri, gelecekte beklenen nakit akışlarının, nakit akışlarının riskini yansıtan iskonto oranı ile iskonto edilmiş değeridir. İskonto edilmiş nakit akışı yöntemleri arasında en çok kullanılan net bugünkü değer (NBD) yöntemidir. Bu yöntemde, yatırım projesinden beklenen net nakit akışlarının belirli bir iskonto oranı üzerinden bugüne indirgenmiş değerleri toplamından, yatırım harcamalarının bugünkü değeri çıkarıldıktan sonra, yatırıma ilişkin bulunan net bugünkü değer sıfırdan büyük ise proje kabul, sıfırdan küçük ise proje red edilmektedir. İNA yön-

temleri, hemen hemen bütün değerlendirme yöntemlerinin temelini oluşturmakla birlikte, en zayıf yönü, değerlendirme sürecini pasif, dönülemez bir süreç olarak kabul etmesi, yönetim esnekliğini ve esnekliğin değerini dikkate almamasıdır. Oysa yöneticiler ve karar vericiler, ekonomik çevredeki değişimlere göre, planlarını ve stratejilerini yeniden düzenleyerek reaksiyon verebilirler. Örneğin, Ar-Ge çalışmaları sonucunda yeni bir ürün geliştiren bir işletme, bu ürünü üretmek üzere yatırım yapmayı planlayabilir. Ancak, girdi fiyatlarındaki beklenmedik bir artışın ardından işletmenin yatırımı iptal etme, erteleme ya da ölçeği daraltma gibi opsiyonları vardır. Dolayısıyla işletmenin yatırım projesine ilişkin sahip olduğu bu esnekliğin dikkate alınması gereklidir. Gerçek ve doğru bir proje analizi için, esnekliğin modellenmesi ve gelecekteki gelişmeler doğrultusunda alınacak kararların ve bu kararların projenin nakit akışlarına yapacağı etkilerin tespit edilmesi gerekmektedir. Esnekliğin, bir bütün olarak işletmenin değerlendirilmesinde modellenmesi oldukça zor iken, üretim, pazarlama, Ar-Ge alanında, proje bazında ortaya konması çok daha kolaydır. Özellikle, esnekliğin dikkate alındığı değerlendirme modelleri, internet ve biyoteknoloji şirketleri gibi gelecekteki kazanç potansiyeli yüksek ürünler/hizmetler geliştiren işletmeler için daha uygundur.

Yatırım projelerinin sahip olduğu esnekliğin çok çeşitli şekillerde olması mümkündür. Esneklik her ne şekilde olursa olsun, esnekliğin önemli bir değeri olabilir. Bu değer belirlenmesinde başlıca iki yöntemden söz edilebilir. Bunlar; karar ağacı analizi ve reel opsiyon modelidir. Diğer bir ifadeyle, projelerin barındırdığı esnekliklerin karar ağacı ve reel opsiyon olarak yapılandırılması mümkündür. Bazı teknik noktalarda farklılıklar olmakla birlikte, her iki yöntem de projelerin gelecek nakit akışlarının daha isabetli olarak tahmin edilerek bugünkü değere indirgenmesini mümkün kılmaktadır.

Çalışmamızda öncelikle belirsizlik ve esneklik üzerinde durulacak, daha sonra, karar ağacı ve reel opsiyon yöntemleri kısaca

açıklanacaktır. Reel opsiyon değerlemesinde binominal yöntem üzerinde durulacaktır. Daha sonraki bölümde karar ağacı ve reel opsiyon modelleri karşılaştırılacak ve ardından karar ağacı ve reel opsiyon yöntemleri kullanılarak geliştirilen sayısal bir uygulamaya yer verilecektir.

## 1. ESNEKLİK VE ESNEKLİĞİN DEĞERİ

Projelerin barındırdığı esneklik; vazgeçme, erteleme, aşamalandırma, genişleme veya daralma, değiştirme ve büyüme gibi çok çeşitli şekillerde olabilir ve bu esneklikler projelerde değişik opsiyonlar oluşturarak projenin değerini etkileyebilir (Broyles, 2003: 147).

Esnekliğin değeri, belirsizliğin derecesi ve yönetimin reaksiyon fırsatları ile ilişkilidir. Belirsizlik yüksek ve yönetim yeni bilgiler doğrultusunda reaksiyon gösterebiliyorsa, esnekliğin değeri de yüksek olacaktır. Aksi durumda, belirsizlik düşük ve yöneticilerin gelecekteki kararlarını değiştirecek yeni bilgiler elde etmeleri zayıf veya yöneticiler elde edebilecekleri yeni bilgiler doğrultusunda hareket serbestisine sahip değillerse, esnekliğin değeri

düşük olacaktır. Şekil 1’de, bilgi sağlama olasılığı ve yönetimin reaksiyon gösterme durumlarına esnekliğin değeri görülmektedir.

Bazı durumlarda, esneklik bir değere sahip olsa bile, yatırım kararını etkilemeyebilir. Örneğin, yüksek NBD’ye sahip projeler, yeni bilgilerin sağlayacağı esneklik dikkate alınmaksızın kabul edilecektir (Koller vd., 2005: 547).

Esnekliğin tespit edilmesi ve değerlendirilmesi için esnekliğin değerini etkileyen unsurların da iyi anlaşılması gereklidir. Bu unsurlar, esnekliğin hangi durumlarda proje değerini daha çok etkilediğini ortaya koymaktadır. Yatırımın maliyeti, rekabet nedeni ile kaybedilen nakit akışı, opsiyon vadesi, risksiz faiz oranı, şimdiki değere ilişkin belirsizlik (volatilite) ve nakit akışlarının bugünkü değeri esnekliğin değerini etkileyen unsurlar arasında sayılabilir. Yüksek yatırım maliyetleri esnekliğin değerini azaltıcı yönde etki etmektedir. Yatırımı erteleme opsiyonunun kullanılması durumunda, projenin ertelenmesi nedeniyle, erteleme dönemi boyunca nakit akışı sağlanamayacak ve bu dönemdeki nakit akışları rakipler tarafından elde edilecektir. Dolayısıyla nakit akışlarındaki bu kayıplar, esnekliğin değerini düşürecektir. Belirsizlik ve riskin artması, esnekliğin değerini artırmaktadır. Risksiz faiz oranının artması nakit akışlarının bugünkü değerini azaltabilirken, yatırımın ertelenmesinin değerini artırmaktadır. Karar vermeden önce sahip olunan sürenin uzunluğu, diğer bir ifadeyle, opsiyonun vadesi de opsiyonun değerini artıran unsurlardan biridir (Koller vd., 2005: 549).

### Şekil 1

#### Esneklik Değeri

		Yeni Bilgi Sağlama Olasılığı	
		Yüksek	Düşük
Yönetimsel Esneklik Fırsatı Reaksiyon Gösterme Kabiliyeti	Düşük	Orta Esneklik Değeri	Yüksek Esneklik Değeri
	Yüksek	Düşük Esneklik Değeri	Orta Esneklik Değeri

## 2. KARAR AĞACI ANALİZİ

Karar ağacı analizi, karar probleminin, gelecekteki belirsiz olaylara bağlı olan tüm olası alternatif hareketlerinin yapılandırılmasını mümkün kılan bir yöntemdir. Diğer bir ifadeyle, karar ağacı yöntemi, projenin ömrü boyunca, sıralı şekilde karar vermeyi gerektiren durum-

larda, olası sonuçları ve alternatifleri şematik olarak karar alıcıya gösteren bir yöntemdir (Chance, 2002: 7). Karar ağacı analizinde, belirli bir başlangıç noktası gövde olarak alınmakta ve olası alternatifler gövdeden çıkan dallar şeklinde yapılandırılarak, tüm alternatif çözüm yolları açıkça ifade edilmektedir. Ayrıca her bir alternatifin gerçekleşme olasılığı dalların üzerinde gösterilmektedir.

Böylelikle proje değerlemesinde karar ağacı yöntemini kullanarak, gelecekte alınacak tüm kararların sonuçlarını ve etkileşimlerini, gelecekteki koşullara bağlı olarak beklenen durumları bir arada görmek mümkün olmaktadır. Karar ağacında dallandırma, olay noktası ve karar noktasında şeklinde olabilir. Olay noktaları, "yuvarlak" düğüm noktaları olarak gösterilir ve karar vericinin kontrol edemediği tesadüfi değişkenleri ifade eder. Karar noktaları ise, "kare" düğüm noktaları olarak gösterilir ve karar vericinin alternatif yollardan birini seçmek zorunda oldukları noktaları ifade eder (Okka, 2000: 364). Karar ağacı çözümü, son- dan başa doğru (sağdan sola doğru) yapılı ve projenin net bugünkü değeri ağacın kökünde yer alan değerdir.

Karar ağacı analizinin İNA yöntemlerine göre en önemli üstünlüğü, belirsizlik ve esnekliği dikkate almasıdır (Benaroch ve Kauffman, 2000: 200). Her karar düğümündeki esneklik bir opsiyondur. Bu esneklik nedeniyle, tahmin edilen getirilerin olasılık dağılımları da değişmektedir.

Karar ağacı analizinin en önemli yetersizliği ise, maruz kalınan riskle orantılı uygun iskonto oranının belirlenmesinde ortaya çıkmaktadır. Projelerin barındırdığı risk, sınırlı bir aşağı yönlü harekete ve sınırsız yukarı yönlü harekete sahip olduğu, diğer bir deyişle, getiriler normal dağılıma sahip olmadığı için, karar ağacı analizinde tek bir iskonto oranının kullanılması uygun değildir (Chatterjee ve Ramesh, 1999: 2). Opsiyon fiyatlandırma tekniği kullanılarak, olasılık dağılımına göre iskonto oranının ayarlanması mümkündür. Dolayısıyla, karar ağacı ve reel opsiyon yaklaşımlarında uygun is-

konto oranları kullanıldığında, her iki yöntem de birbiriyle tutarlı sonuçlar verebilmektedir.

### 3. REEL OPSİYON ANALİZİ

Reel opsiyon kavramı, ilk kez 1977 yılında Stewart Myers tarafından kullanılmıştır. Myers, yaptığı çalışmasında, firma değerinin, firmanın sahip olduğu varlıklarının bugünkü değeri ile gelecekteki büyüme imkânlarının bugünkü değerinin toplamından oluştuğunu ifade etmiş ve ilk kez büyüme opsiyonu kavramından söz etmiştir. Ardından, Kester (1984) tarafından yapılan bir çalışmada, yatırım kararlarının barındırdığı büyüme opsiyonları ortaya konmuştur.

Reel opsiyonlar, gerçek varlıklar üzerine yazılmış opsiyonlardır. Finansal opsiyonların değerlendirilmesi için geliştirilmiş opsiyon fiyatlandırma teorisinin, gerçek projelerdeki opsiyonlara uyarlanmış hali, reel opsiyon olarak tanımlanabilir (Chance, 2002: 2). Reel opsiyonlar, finansal opsiyonların stratejik karar alma sürecine adapte edilmiş şeklidir.

Reel opsiyonlar, finansal opsiyonlar örnek alınarak geliştirilmiş opsiyonlar olduğu için, finansal opsiyonların açıklanması, reel opsiyonların nasıl işlediğinin anlaşılmasına yardımcı olacaktır. Finansal opsiyonlar, sahibine, belirli miktarda finansal varlığı, önceden belirlenen bir fiyattan, belirli bir vade içerisinde (Amerikan tipi) ya da sonunda (Avrupa tipi), satın alma veya satma hakkı veren bir sözleşmelerdir (Ceylan, 2003: 304). Finansal opsiyonlar, sağladığı hak bakımından satın alma opsiyonu ve satma opsiyonu olarak ikiye ayrılmaktadır. Opsiyonu diğer türev ürünlerden ayıran en önemli özelliği, sahibini yükümlülük altına sokmaması, sadece hak sağlamasıdır. Opsiyon sahibi, satın alma veya satma esnekliğini belirli bir fiyattan (opsiyon primi) satın almaktadır. Opsiyon sahibi, opsiyonu kullanıp kullanmama konusunda kararını piyasa koşulları doğrultusunda vermektedir. Satın alma opsiyonunda, piyasa fiyatı kullanım fiyatının üzerinde olduğunda, satma opsiyonunda ise, piyasa fiyatı kullanım fiyatının altında olduğunda, opsiyon sahibi karda ol-

maktadır (Chambers, 1998: 67). Opsiyon karda olduğu sürece kullanılacak, aksi takdirde, opsiyon kullanılmayacak ve ödenen prim tutarı kadar zarara katlanılacaktır. Opsiyonlar alıcısına teorik olarak sınırsız kazanç potansiyeli sağlayan, ancak zararını sınırlandıran, doğrusal olmayan getiri yapısına sahip finansal varlıklardır.

Reel opsiyonlar da sahiplerine, gelecekteki fırsatlardan yararlanma hakkı sağlamaktadır (Tevfik, 2005: 244). Örneğin, Ar-Ge faaliyeti, işletmeye bu faaliyetlerin maliyeti üzerinden kazanç sağlama hakkı veren bir opsiyondur. Koşullar uygun olmadığında, işletmenin Ar-Ge faaliyetlerini sonlandırma veya üretime geçmeme hakkı bulunmaktadır. Başarısız bir Ar-Ge faaliyeti, o zamana kadar yapılan harcamalara katlanılarak iptal edilebilir (Shapiro, 2000: 296).

### 3.1. Reel Opsiyon Değerlemesi

Her opsiyon bir varlık üzerine yazılır ve opsiyonun gelecekte sağlayacağı getiri varlığın gelecekteki fiyatına bağlıdır. Bu nedenle, opsiyona konu olan varlığın cari fiyatı ve bu fiyatın gelecek değişimleri hakkındaki tahminler, opsiyonun fiyatlanmasında ihtiyaç duyulan önemli girdileridir. Opsiyon fiyatlama modelleri, varlık fiyatlarının zaman içinde nasıl hareket edeceğinin tahmin edilmesiyle başlamaktadır. Varlık fiyatlarının zaman içindeki hareketlerine göre, uygun opsiyon yöntemi seçilerek, opsiyon fiyatı tespit edilmektedir (Sundaram, 1997: 85).

Opsiyonların fiyatlandırılmasında kesikli ve sürekli zaman olmak üzere iki temel modelleme söz konusudur. Bu yaklaşımlar doğrultusunda, kesikli zaman söz konusu olduğunda binomial opsiyon fiyatlama modeli, sürekli zaman söz konusu olduğunda, Black-Scholes opsiyon fiyatlama modeli en yaygın kullanılan modellerdir.

Finansal opsiyonların fiyatlanmasında geliştirilen ve geniş bir kullanım alanı bulan ilk yöntem, Fisher Black ve Myron Scholes tarafından 1973 yılında, hisse senedinin sürekli getiri oranlarının normal dağılıma sahip olduğu varsayımından hareketle ge-

liştirilen modeldir. Black-Scholes opsiyon fiyatlama modeli olarak literatürde yer alan ve son derece yoğun olarak kullanılan bu model, Avrupa tipi kâr payı ödemeyen hisse senedi opsiyonlarının fiyatlandırılmasına yönelik geliştirilmiş bir fiyatlama modelidir. Model, Robert Merton tarafından, kâr payı ödemeli hisse senedi opsiyonlarının fiyatlandırılmasına adapte edilmiştir (Merton, 1973: 141-183). Bu model, daha sonraki yıllarda, Amerikan tipi, döviz ve futures opsiyonlarının değerlendirilmesine de imkan verecek şekilde geliştirilmiştir (Ceylan ve Korkmaz, 2003: 339). Black-Scholes modeli, opsiyon fiyatlamasında temel bir analiz niteliğindedir. Model, varlığın değerinin log-normal bir dağılım izlediği veya Geometrik Brownian Hareket olduğu, işlem maliyeti ve verginin olmadığı, risksiz arbitraj fırsatının bulunmadığı gibi bazı varsayımlara dayanmaktadır (Chambers, 1998: 76).

Opsiyon değerlendirilmesinde kullanılan diğer bir yöntem olan binominal model, 1979 yılında, Cox, Ross ve Rubinstein tarafından geliştirilmiştir (Cox, 1979: 229-263). Avrupa ve Amerikan tipi finansal opsiyonların değerlendirilmesini mümkün kılan bu model, Black-Scholes modelinin kesikli zaman yaklaşımını olarak nitelendirilebilir. Çünkü binominal modelde, dönemlerin sayısı artırdıkça, örneğin yıllık dönem yerine haftalık dönemler kullanıldığında, binominal değerlendirme ile bulunan değer ile Black-Scholes modeline göre bulunan değer birbirine yaklaşacaktır (Triantis, 2003: 13).

Çalışmamızın uygulama bölümünde yer alan proje, karar ağacı ve reel opsiyon yaklaşımlarına göre değerlendirilecektir. Reel opsiyon değerlendirilmesinde, karar ağacına benzer özellikler gösteren, karşılaştırmayı daha kolaylaştıran, binominal opsiyon değerlendirme yöntemi kullanılacaktır. Karar ağacına benzer şekilde, binominal modelde de kesikli zaman söz konusu olup, projenin barındırdığı esneklik kararlar serisi şeklinde ifade edilmektedir.

### 3.2. Binominal Opsiyon Değerleme Modeli

Binominal model, herhangi bir finansal değişkenin değerini, olasılıklarla ilişkilendirilmiş iki olası fiyattan birine doğru hareket edebileceği fiyat hareketlerine göre tanımlanmaktadır. Binominal ya da iki durumlu model, opsiyona konu olan varlığın fiyat sürecinin binominal dağılıma uyduğunu kabul eder. Diğer ifadeyle, herhangi dönemde varlığın fiyatının farklı oranlarda aşağı ve yukarı hareket edeceğini varsayar. Model, fiyat için iki olası hareketin varlığı üzerine kurulmasına rağmen, gerçek hayatta, iki ya da daha fazla sayıda hareket söz konusudur. Çok dönemli uygulamada, binominal model, Black-Scholes modeline yakınsar. Ancak, bu model opsiyon fiyatlaması için oldukça önemli bir alternatif oluşturmakta, çünkü arbitraj imkânının olmadığı prensine dayanmaktadır (Önalın, 2004: 117).

Binominal modeli, halka açık bir firmanın hisse senedi üzerinden açıklamaya çalışalım. Hisse senedinin piyasa fiyatı piyasadaki arz ve talebe göre oluştuğu için, hisse senedinin cari piyasa fiyatı (S) verisine rahatlıkla ulaşılabilir. Binominal modele göre, bir dönem sonra, hisse senedinin piyasada iki fiyatı oluşabilir. Dönem sonunda, cari hisse senedi fiyatının (S) belirli bir fiyata ( $S^+$ ) yükselme olasılığı artma olasılığı, "yukarı hareket faktörü" olarak ifade edilmekte ve "u" ile gösterilmektedir. Dönem sonunda, cari hisse senedi fiyatının (S) belirli bir fiyata ( $S^-$ ) düşme olasılığı ise, "aşağı hareket faktörü" olarak ifade edilmekte ve "d" ile gösterilmektedir. Dönemin başından sonuna, hisse senedi fiyatındaki değişim şu şekilde gösterilebilir:

$$S \begin{cases} S^+ = u \cdot S \\ S^- = d \cdot S \end{cases}$$

Dönem sonunda, opsiyonun kullanımına bağlı olarak elde edilecek net kazanç;

Net Kazanç = Hisse Senedi Fiyatı – Kullanım Fiyatı (X) olacaktır.

Eğer getiri negatif ise, opsiyon kullanılmayacak ve gelecek değeri sıfır olacaktır. Bu durumda lineer olmayan bir getiri fonksiyonu oluşur. Bugünkü değeri C olan bir opsiyonun gelecek değeri  $C^+$  ve  $C^-$  olarak ifade edilebilir.

$$C \begin{cases} C^+ = \text{Max.}(S^+ - X, 0) \\ C^- = \text{Max.}(S^- - X, 0) \end{cases}$$

Hisse senedinde iki olası gelişme olduğunda;  $S^+$ ,  $S^-$  ve Kullanım Fiyatı (X) bilindiğinde,  $C^+$  ve  $C^-$  kolaylıkla hesaplanabilmektedir.

Gerçekte, bir dönem sonrası için hisse senedine ilişkin sonsuz sayıda olası fiyat oluşması mümkündür. Birçok binominal fiyatı bağlama yolu ile hisse senedi fiyatına ilişkin daha gerçekçi bir dağılım elde edilebilir. Volatilité ( $\sigma$ ) hisse senedinin toplam riskinin ölçüsüdür ve fiyat hareketlerindeki belirsizliği ifade etmek için kullanılabilir. Volatilité genellikle hisse senetlerinin geçmiş performans verileri kullanılarak tahmin edilir. Binominal modeldeki "u" ve "d" faktörlerinin hesaplanması şu şekilde yapılabilir (Cox, Rubinstein ve Ross, 1979: 229-261).

$$u = e^{\sigma} \quad d = 1 / u$$

Opsiyonun bugünkü değerinin (C) hesaplanması için iki ekonomik araca ihtiyaç vardır. Bunlar; taklit ve arbitrajın olmadığı tek fiyat kanunudur. Binominal model, opsiyon getirilerini tamamen tahmin eden basit menkul kıymetlerden oluşan bir portföy bulmanın mümkün olduğunu varsayar. Bu portföy, hisse senedi ve tahvil gibi risksiz bir varlıktan oluşur. Bu iki menkul kıymet portföy oluşturmak için yeterlidir. İki olası durum ve iki lineer bağımsız menkul kıymet vardır. Tüm riskli nakit akışı, bu iki menkul kıymetin getirilerinin lineer kombinasyonu olarak ifade edilebilir (Smith ve Nau, 1995: 799). Tahvilin cari değeri 1'dir ve bir dönem sonraki değeri, risksiz faiz oranı doğrultusunda değişerek "r" değerini alacaktır. Binominal modelde menkul kıymetin fiyat gelişiminin bilindiği varsayılır. Eğer portföyün gelecek değeri biliniyorsa, şimdiki de-



ğeri de bilinir. Tek fiyat kanununa göre opsiyonun cari değeri, taklit portföyün şimdiki değeri ile aynı olmalıdır. Aksi takdirde arbitraj söz konusu olacaktır (Black, Fischer ve Scholes, 1973).

Taklit portföydeki, hisse senedi sayısı ve risksiz tahvillerden borçlanılan miktar belirlenmelidir. Portföydeki hisse senedi sayısı "N" ve risksiz faiz oranından borçlanılan tahvil miktarı "B" ile gösterildiğinde, aşağıdaki eşitliklere ulaşmak mümkündür:

$$N.S+B=C \begin{cases} C^+=\text{Max.}(S^+-X,0)=N.S^++B.r \\ C^-=\text{Max.}(S^--X,0)=N.S^-+B.r \end{cases}$$

Bu durumda, taklit portföyün değeri opsiyon değerine bağlı olmakta ve tek fiyat kanunu gelecek değerden şimdiki değere bir köprü görevi üstlenmektedir. Yukarıdaki eşitliklerde, C, N, ve B değişkenlerinin değeri bilinmemektedir. Bu bilinmeyenlerin çözümünü için üç formüle ihtiyaç duyulmaktadır:

$$C = N \cdot S + B$$

$$C^+ = N \cdot S^+ + B \cdot r$$

$$C^- = N \cdot S^- + B \cdot r$$

C bilinmeyi için denklem çözüldüğünde, aşağıdaki eşitlik elde edilir:

Bu eşitlik aynı zamanda şu şekilde de yazılabilir:

$$C = \frac{\frac{r-d}{u-d} \cdot C^+ + \frac{-r+u}{u-d} \cdot C^-}{r}$$

Sonuç itibariyle aşağıdaki eşitlikler ortaya çıkar:

$$C = \frac{p \cdot C^+ + (1-p) \cdot C^-}{r}$$

$$p = \frac{r-d}{u-d} \quad \text{ve} \quad (1-p) = \frac{-r+u}{u-d}$$

Eğer, yukarı ve aşağı hareket faktörleri  $d < r < u$  koşulunu sağlıyorsa, arbitrajı önlemek için, p ve (1-p) sıfırdan büyük ve birden küçük olur, bu nedenle, olasılık özelliğine sahiptirler. p ve 1-p, "risk yansız olasılık" ya da "martingale ölçüleri" olarak tanımlanır. Çünkü yatırımcılar risk yansız ise, gerçekleşen sonuçlar ile olasılıklar birbirine eşit olacaktır.

Kısaca özetlemek gerekirse, binominal opsiyon fiyatlama modelinde ihtiyaç duyulan girdi parametreleri; hisse senedinin bugünkü değeri (S), hisse senedinin gelecek değerinin tahmin edilmesi için gerekli parametreler ( $S^+$ ,  $S^-$ , u, d,  $\sigma$ , X) ve risksiz faiz oranıdır. Binominal analizin amacı, ağaç yapısının başlangıç düğümündeki opsiyon fiyatını hesaplamaktır.

Binomial modelde satın alma opsiyonunun değeri, aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanabilir (Ceylan, 2003: 345):

$$C = \frac{S_0(1+r)(C^+ - C^-) - (S^-C^+) + (S^+C^-)}{(S^+ - S^-)(1+r)}$$

Burada;

$S_0$  = Cari piyasa fiyatını,

R = Risksiz faiz oranını,

$S^+$  = Piyasa fiyatında beklenen olası artışı,

$S^-$  = Piyasa fiyatında beklenen olası azalışı,

$C^+$  = Piyasa fiyatının artması durumunda, opsiyonun değerini ve

$C^-$  = Piyasa fiyatının düşmesi durumunda, opsiyonun değerini göstermektedir.

Finansal opsiyon değerlendirme kullanılan bu fiyatlama yöntemi, reel opsiyon değerlemesine de kolaylıkla adapte edilmektedir.

#### 4. KARAR AĞACI ANALİZİ VE REEL OPSİYON DEĞERLEME MODELİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Karar ağacı ve reel opsiyon yaklaşımlarının her ikisi de esnekliği proje değerlendirme sürecine dahil edebilen değerlendirme yöntemleridir. Karar ağacı yöntemi, çok uzun yıllardır karar problemlerinin modellemesinde kullanılmaktadır. Reel opsiyon değerlendirme modelleri ise son 20 yılda büyük gelişme göstermiştir. Reel opsiyon değerlendirmede kullanılan yöntemler öncelikle finansal opsiyonların değerlendirilmesi için geliştirilmiş ve daha sonra reel opsiyonlara adapte edilmiştir.

Karar ağacı analizinin en önemli problemi, nakit akımlarının iskonto edilmesinde kullanılacak iskonto oranının doğru belirlenmesidir. Genellikle, karar ağacı analizlerinde değerlemenin başlangıcında bir iskonto oranı belirlenmekte ve tüm değerlendirme boyunca bu oran kullanılmaktadır. Ancak, projelerin farklı aşamalarında farklı seviyelerde riskler söz konusu olabilir (Hodder ve Riggs, 1985: 130). Örneğin Ar-Ge projelerinin başlangıç aşamalarında, taşıdıkları yüksek belirsizlik ve risk nedeniyle, iskonto oranı yüksek iken, projenin ilerleyen dönemlerinde yatırımlar yapıldıkça ve projenin karlı ve başarılı şekilde tamamlanma olasılığı arttıkça risk azalacağından iskonto oranı daha düşük olmalıdır. Diğer taraftan, vazgeçme opsiyonunun olmadığı proje analizinde kullanılan iskonto oranı ile vazgeçme opsiyonunun olduğu proje analizinde kullanılan iskonto oranı aynı olmamalıdır. Çünkü projeden vazgeçme opsiyonu projenin riskini azaltacaktır. Vazgeçme olasılığı, projenin zarar riskini sınırlayan bir satma opsiyonu olarak değerlendirilebilir. Karar ağacı yöntemi, her iki durumda da aynı iskonto oranını kullandığı için, hatalı sonuçlara neden olabilecek, bu durumda reel opsiyon modeli daha doğru sonuçlar verebilecektir.

Projelerin barındırdığı esneklik nedeniyle, tahmin edilen getirilerin olasılık dağılımı değişmektedir. Bu nedenle tek bir

iskonto oranı kullanılması doğru sonuçlar vermemektedir. Çünkü opsiyonda sınırlı bir kayıp ve sınırsız kazanç potansiyeli söz konusudur. Olasılık dağılımına göre iskonto oranının ayarlanması risk yansız olasılıklarla, ancak reel opsiyon yöntemi ile mümkün olmaktadır. İskonto oranı ile ilgili olarak karar ağacı yönteminin taşıdığı bu sakıncalar, kullanılan iskonto oranının, binominal reel opsiyon modelinde olduğu gibi risk-yansız oranlar olarak düzenlenmesi durumunda ortadan kalkabilecektir.

Reel opsiyon yaklaşımı, finans ve strateji arasındaki boşluğun aşılmasında önemli bir adım olarak kabul edilebilir (Myers, 1987: 7). Gelecekle ilgili gelen bilgiler doğrultusunda, zaman içinde karar sıralaması haritasının çizilmesini mümkün kılar. Bununda ötesinde, proje riski ile işletmenin ağırlıklı ortalama sermaye maliyeti (AOSM) arasında önemli farklılıklar olduğunda, yatırımları, pay sahiplerinin bakış açısından değerlendirilerek finans ilkelerini somutlaştırır. Diğer taraftan, reel opsiyon analizinin uygulanabilmesi, projenin yapısının doğru şekilde ortaya konmasını gerektirmektedir. Bu durum, yatırım kararı probleminin son derece dikkatli şekilde yapılandırılmasını ve daha sağlıklı bir değerlendirme yapılması sağlayacak ve pay sahiplerinin refahını artıracaktır (Triantis, 2003: 4).

Finansal opsiyon değerlendirme yönteminde hareketle geliştirilmekle birlikte, reel opsiyonların finansal opsiyonlardan farklı bazı özellikleri vardır. Reel opsiyonlara konu olan varlıklar çoğu zaman piyasalarda alım satma konu olmadığı için, volatilitelerinin tahmin edilmesi oldukça güçtür. Çünkü varlıkların belirsizliklerinin tahmin edilmesi için gerekli tarihi zaman serileri yoktur (Lindt ve Pennings, 1997: 84). Örneğin, piyasaya Ar-Ge çalışmaları sonucu piyasaya yeni bir ürün sürülmesi opsiyonu, pazar hacmi doğrultusunda elde edilecek hasılatla bağlıdır. Eğer, talep ve pazar hacmi yüksek ise, yeni ürünün piyasaya sürülmesi karlıdır. Fakat düşük ise, ürün piyasaya sürülmeyecektir. Bu opsiyonu modellemek için, pazar hacminin bugünkü değeri ve volatilitelerinin

tahmin edilmesi gereklidir. Ancak, bu durumda volatilitenin tahmin edilmesi oldukça güçtür, çünkü varlıklar daha önce piyasada alınıp satılan varlıklar değildir. Bu nedenle, reel opsiyonların ilk uygulamaları, petrol ve rafineri projelerinin değerlendirilmesine ilişkin olarak kullanılmıştır. Çünkü bir rafineri yatırımında, projeye ilişkin gelecek nakit akışları ile petrol fiyatları arasında yüksek korelasyon bulunur. Öte yandan, petrolün piyasalarda sürekli alım satımına konu olan bir ürün olması nedeniyle, spot fiyatlara ve volatilitelere ilgili bilgilere de ulaşmak son derece kolaydır. Bu nedenle reel opsiyon modelinin emtia-temelli sektörlerde kullanılması daha kolaydır.

Reel opsiyon modeli zaman içinde değişen riski dikkate almakta ve bu doğrultuda iskonto oranını da ayarlamaktadır. Riske göre iskonto oranını düzeltmesi nedeniyle, “ekonomik olarak düzeltilmiş karar ağacı analizi” olarak da tanımlanmaktadır (Kortner, 2002: 30). Hatta son dönemde reel opsiyon değerlemesinde kullanılan risk-yansız karar ağacı modeli, her iki yöntemin üstünlüklerini bir araya getirebilen bir yöntemdir (Triantis, 2003: 15-16).

## 5. KARAR AĞACI ANALİZİ İLE REEL OPSİYON DEĞERLEME MODELİNİN KARŞILAŞTIRILMASINA İLİŞKİN TEORİK BİR UYGULAMA

Uygulama örneğinde, karar ağacı analizi ve reel opsiyon yaklaşımı araştırma geliştirme projelerinin değerlemesinde kullanılarak karşılaştırılacaktır. Ar-Ge projeleri belirsizlik ortamında gerçekleştirilen ve çok sayıda risk ile karşı karşıya kalınan projelerdir. Örneğimizde sadece teknoloji riski ve ticari risk dikkate alınacaktır.

Örneğimizdeki firma, yeni bir ilaç geliştirme konusunda karar vermek istemektedir. İlaç sektöründe, Ar-Ge çalışmaları son derece karmaşık ve çok aşamalı olmasına rağmen uygulamamızda karar verme süreci basitleştirilmiş ve üç aşama olarak belirlenmiştir. Birinci aşama araştırma aşaması, ikinci aşama test aşaması ve son aşamada üretim ve pazarlama aşamasıdır. Laboratu-

arda birçok ilaç terkininin oluşturulacağı ve 3 yıl sürecek araştırma aşamasında başarılı olma olasılığı % 20’dir. Bu aşamayı 3 yıllık test aşaması izlemektedir. Bu aşamada, elde edilen terkiplerin laboratuvar ve klinik testleri yapılacaktır. İkinci aşamanın başarılı şekilde tamamlanma olasılığı %40’dır. Eğer önceki aşamalar başarılı şekilde tamamlanırsa, ilaçlar seri üretime alınacak ve piyasaya sürülecektir. Ancak, her aşama için, başarısız olma durumunda, firma projeyi sonlandıracak ve ürün değersiz hale gelecektir.

Değerleme sürecinin ilk aşamasını esnekliği dikkate almadan bugünkü değer hesaplanması oluşturacaktır. İlaç sektöründe, patent koruması olduğu için, karlılık oranları son derece yüksektir. Bu nedenle, ilacın geliştirilmesi ve başarılı şekilde pazarlanması, başka ifade ile projenin başarılı olması durumunda oldukça yüksek kazanç sağlama olasılığı bulunmaktadır. Firma, patent korumasının olduğu 17 yıllık dönem içerisinde yüksek kazançlar elde edecek, patent sonlandıktan sonra ilaç jenerik ilaç haline dönüşecek ve kazanç potansiyeli son derece azalacaktır. Bu nedenle örneği basitleştirebilmek için patent korumasının sona ermesinin ardından elde edilecek kazançlar dikkate alınmayacaktır. Patent süresi boyunca elde edilecek kazançların, ilaçların piyasaya sürüldüğü tarih itibarı ile değeri (BD<sub>6</sub>) 760 milyon TL’dir. Örneğimizde ağırlıklı ortalama sermaye maliyeti (AOSM) %5 ve risksiz faiz oranı (r<sub>f</sub>) %3 olarak belirlenmiştir. Bu durumda, projeden elde edilecek getirinin bugünkü değeri  $BD_0 = 760 / (1+0,05)^6 = 567$  milyon TL olacaktır.

Projenin araştırma ve test aşamasında kümülatif başarı olasılığı sadece %8 (0,20 x 0,40) seviyesindedir. Halen geliştirme ve test edilme süreçleri devam eden ilaçlardan elde edilecek kazançların bugünkü değeri (kümülatif olasılıklar dikkate alındığında) 45 milyon TL’dir (567 milyon TL x 0,08).

Projede ihtiyaç duyulan yatırım miktarı, araştırma aşamasında 20 milyon TL, test aşamasında 30 milyon TL ve üretim ve pazar-

lama aşamasında 25 milyon TL'dir. Tüm veriler doğrultusunda projenin net bugünkü değeri şu şekilde hesaplanır:

$$NBD = 45 - 20 - \frac{30}{(1+0,03)^3} - \frac{25}{(1+0,03)^6}$$

NBD = - 23 milyon TL

Net bugünkü değer analizi ile projenin değeri negatif olarak bulunmuştur. Bu nedenle bu yönetime göre projenin red edilmesi gerekmektedir. Ancak, yönetimin proje ile ilgili bazı esneklikleri söz konusu olabilir. Proje yöneticilerinin, gelecek bilgiler ve gelişmeler doğrultusunda projeyi terk etme, vazgeçme opsiyonları varsa, projenin daha doğru ve gerçekçi değerlendirilmesi için, şarta bağlı değerlendirme yöntemlerinden karar ağacı ve reel opsiyon modelleri kullanılabilir. Bu doğrultuda öncelikle karar ağacı, ardından reel opsiyon yöntemi ile değerlendirme

yapılacak ve her iki yöntem ile bulunan sonuçlar karşılaştırılacaktır.

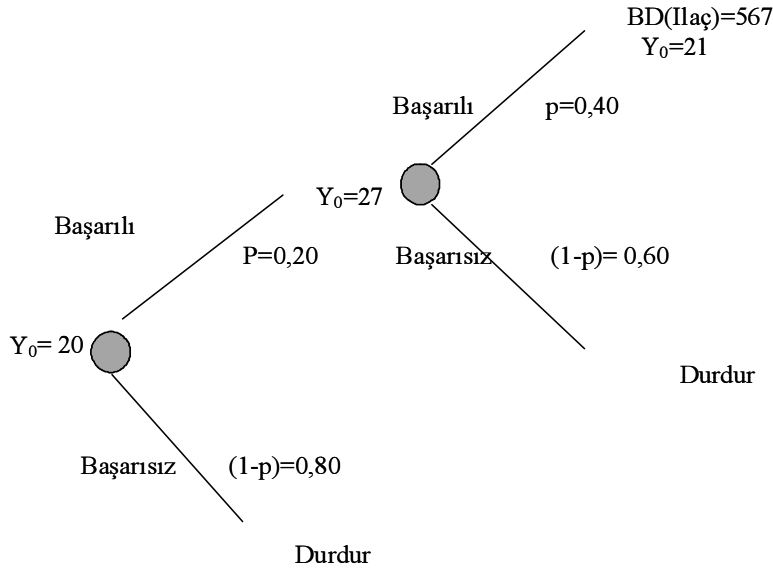
### 5.1. Karar Ağacı Analizi ile Çözüm

İlaç sektöründe yapılan bir Ar-Ge projesinde riskin en önemli kaynağı, şartlara bağlı olarak oluşacak nakit akışlarını yönlendiren araştırma ve test aşamalarındaki teknolojik risktir. Bu belirsizliği doğrusal bir olay ağacı oluşturarak modellemek mümkündür (Koller vd., 2005: 5657). Şekil 2'de, karar ağacı, projeye ait nakit giriş ve çıkışlarını bugünkü değeri (BD) cinsinden ifade edilmiştir. Pazarlanabilir hale gelmiş ilaçların bugünden altı yıl sonraki beklenen değeri, ağırlıklı ortalama sermaye maliyeti üzerinden (0,05) iskonto edilerek, bugünkü değeriyle (t0) ifade edilmiştir. Ancak, yatırımlar için yapılan harcamalar belirli olduğundan risksiz faiz oranı üzerinden iskonto edilmiştir.

Bir sonraki aşamada, esneklik, karar ağacı

## Şekil 2

Ar-Ge Opsiyonunun Olay Ağacı (Teknolojik Risk Dahil).



Araştırma Aşaması

Test Aşaması

Pazarlama Aşaması

BD(İlaç)= t=0'da AOSM üzerinden iskonto edilen pazarlanabilir ilaçların bugünkü değeri

Y0 = t=0'da risksiz faiz oranı üzerinden iskonto edilmiş yatırım tutarı

p = Teknolojik başarı olasılığı

● = Teknolojik risk olayı

(sağdan sola hareket edilerek) ile modellemeye dahil edilmiştir. Test aşamasının sonunda, pazarlama aşamasına geçebilmek için 25 milyon TL (bugünkü değer cinsinden 21 milyon TL) yatırım opsiyonu mevcuttur. Ancak bu yatırım, test aşamasının sonunda pazarlanabilir bir ilaç elde edilirse yapılacaktır. Bu aşamada projenin değeri 546 milyon TL'dir (567 milyon TL – 21 milyon TL). Araştırma aşamasının sonunda da test aşamasına geçme opsiyonu vardır. Eğer araştırma aşamasında başarısız olunursa, bir sonraki aşamaya geçilmeyecek, başarılı olunursa elde edilecek kazançlar, 30 milyon TL'lik (risksiz faiz oranı üzerinden bugüne indirgenmiş tutarı 27 milyon TL) yatırımı haklı çıkaracak seviyede olduğu takdirde test aşamasına geçilecektir.

Teknolojik risk tamamen çeşitlendirildiği için, bu esnekliğin değerlemesinde karar ağacı yönteminin kullanılması uygun ola-

caktır. Araştırma aşamasının sonuna kadar ilerleme opsiyonunun değeri şu şekilde hesaplanır:

$$BD(Opsiyon) = \text{Max}[BD(\text{Test}) - Y(\text{Test}), 0]$$

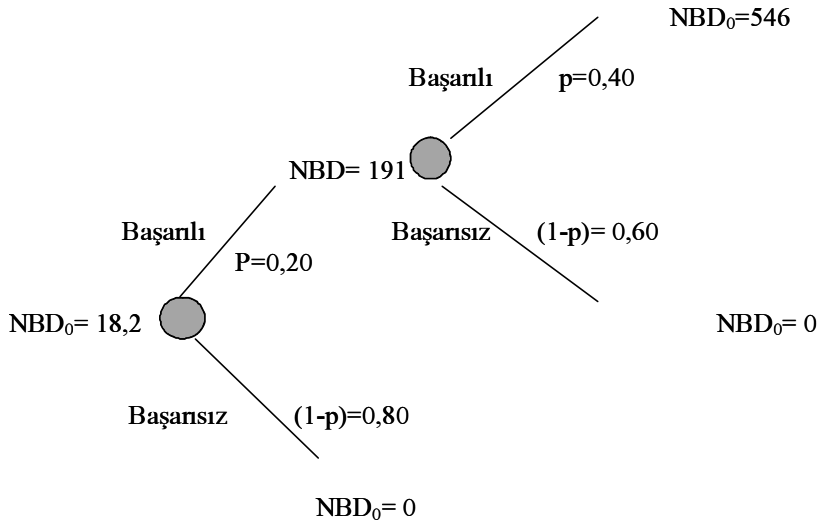
Bu denklemde,  $BD(\text{Test})$ , test aşamasında sağlanan kazançların bugünkü değeridir. Bu rakam, olasılıklar ile ağırlıklandırılmış gelecek kazançlara eşittir.

$$BD(\text{Test}) = 0,40(546) + 0,60(0) = 218$$

$Y(\text{Test})$ , test aşaması için gerekli yatırım 30 milyon TL veya to zamanında iskonto edilmiş 27 milyon TL'ye eşittir. Buradan hareketle, test aşamasından önceki proje geliştirmenin şimdiki değeri aşağıdaki gibi hesaplanacaktır:

$$BD(Opsiyon) = \text{Max}[(218 - 27), 0] = 191$$

**Şekil 3**  
Ar-Ge Opsiyonunun Karar Ağacı (Teknolojik Risk Dahil)



Araştırma Aşaması

Test Aşaması

Pazarlama Aşaması

$BD(\text{İlaç}) = t=0$ 'da AOSM üzerinden iskonto edilen pazarlanabilir ilaçların bugünkü değeri

$Y_0 = t=0$ 'da risksiz faiz oranı üzerinden iskonto edilmiş yatırım tutarı

$p$  = Teknolojik başarı olasılığı

$NBD_0$  = Ar-Ge projesinin  $t=0$ 'a iskonto edilmiş net bugünkü değeri

● = Teknolojik risk olayı

Karar ağacı yöntemine göre; ağaçta sağdan sola ilerleyerek, bütün projenin bugünkü değeri, 18,2 milyon TL'dir.

$$\begin{aligned} BD(\text{Opsiyon}) &= \text{Max}[BD(\text{Araştırma} - Y(\text{Araştırma}), 0)] \\ &= \text{Max}[0,20(191) + 0,80(0) - 20, 0] \\ &= 18,2 \text{ milyon TL} \end{aligned}$$

Karar ağacı yöntemi ile esneklik dahil edilerek bulunan proje değeri, net bugünkü değer ile bulunan tutarın (-23 milyon TL) oldukça üzerindedir.

Şu ana kadar proje değerlemesine ilişkin analizlerde sadece teknolojik risk dikkate alınmış, diğer belirsizlik kaynakları dikkate alınmamıştır. Oysa başarılı bir şekilde geliştirilmiş ve piyasaya sürülmüş olan ilaçlardan sağlanacak gelecek nakit akışlarının barındıracağı ticari risk de söz konusudur. Ancak, teknolojik risk ve ticari riskin birlikte değerlemeye dahil edilmesi durumunda en uygun yöntem reel opsiyon modeli olacaktır.

## 5.2. Reel Opsiyon Yaklaşımı ile Çözüm

Reel opsiyon değerlemesi yapmak için tek adım binominal opsiyon fiyatlama modeli kullanılacaktır. Bu şekilde, her üç yıllık dönem için projenin değerinin nasıl geliştiği rahatlıkla gözlenebilecektir.

Yıllık volatilité %20 olarak belirlendiğinde, yukarı yönlü hareket (u) ve aşağı yönlü hareket faktörleri (d) şu şekilde hesaplanacaktır:

$$u = e^{\sigma\sqrt{T}} = e^{0,20\sqrt{3}} = 1,68$$

$$d = \frac{1}{u} = \frac{1}{1,68} = 0,60$$

Daha sonra, aşağı ve yukarı hareket olasılıkları hesaplanacaktır:

$$q = \frac{[(1+R_f)^T - d]}{u - d} = \frac{[(1+1,05)^3 - 0,60]}{1,68 - 0,60} = 0,52$$

$$(1 - q) = 0,48$$

Araştırma aşamasının başında, pazarlanabilir ilaçların değeri 567 milyon TL'dir. Bu aşamanın sonunda üç olası sonuç vardır:

- Başarısız olursa ilacın değeri sıfır olur,
- Başarılı olursa pazarlanabilir ilaçların değeri 953 milyon TL'ye yükselebilir ya da
- Başarılı olursa pazarlanabilir ilaçların değeri 340 milyon TL'ye çıkabilir.

Test aşamasından sonra ise altı olası sonuç vardır. Örneğimizde, reel opsiyon değerlemesi çerçevesinde, ticari risk dahil edilerek oluşturulan karar ağacının mantığı karar ağacı analizindeki mantık ile aynıdır. Reel opsiyon yaklaşımında oluşturulan karar ağacındaki en temel farklılık, pazarlanabilir ilaçların değerinin çok düşmesi halinde geliştirmeyi durdurma (iptal etme) opsiyonunu içermesidir. İlaçların gelecek nakit akışlarındaki ticari risk, çeşitlendirilemeyen bir risk olduğu için, değerlemenin reel opsiyon modeliyle yapılması gerekmektedir. Uygulama örneğimizde risk-yansız değerlendirme kullanılacaktır. Reel opsiyon değerlendirme modelinde risksiz faiz oranı kullanılmaktadır. Bu nedenle, ilacın değeri için, öncelikle riske ayarlı yukarı ve aşağı hareketlerin olasılıkları hesaplanır:

$$q = \frac{[(1+rf)^T - d]}{u - d} = \frac{[(1+1,03)^3 - 0,60]}{1,68 - 0,60} = 0,46$$

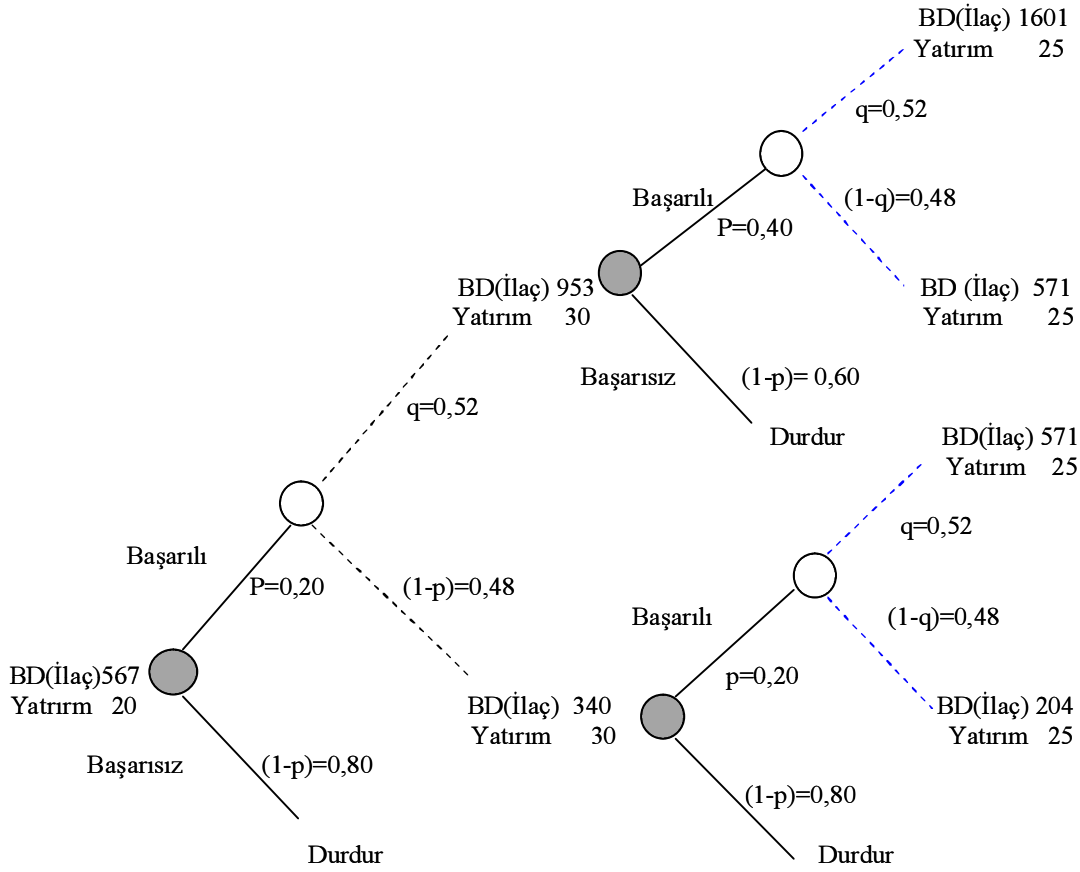
$$(1 - q) = 0,54$$

Risk yansız olasılıklar uygulandığında, ağaçta sağdan sola doğru ilerleyerek, tüm şarta bağlı getirileri iskonto etmek mümkündür. Teknolojik risk tamamen çeşitlendirildiği için, araştırma ve test aşamalarındaki başarı ve başarısızlık olasılıklarını düzeltmeye gerek yoktur.

İlaç değerinin yukarı hareketinden sonra, araştırma aşamasının sonunda, opsiyonun değeri şu şekilde hesaplanacaktır:

$$BD(\text{Opsiyon}) = \text{Max}[BD(\text{Test}) - Y(\text{Test}), 0]$$

**Şekil 4**  
Ar-Ge Opsiyonunun Olay Ağacı (Teknolojik ve Ticari Risk Dahil)



Araştırma Aşaması

Test Aşaması

Pazarlama Aşaması

BD(İlaç)=Pazarlanabilir ilaçların bugünkü değeri

Yatırım= Yapılan yatırım tutarı

P=Teknolojik başarı olasılığı

q=İlacın değerinin artma olasılığı

● Teknolojik risk olayı

○ Ticari risk olayı

Bu denklemde,  $BD(\text{Test})$ , bu düğümdeki kazançların değerini ifade eder. Bu değer, risk yansız olasılıklar ile ağırlıklandırılan gelecek kazançlar ve bunların risksiz faiz oranı ile iskonto edilmiş değerine eşittir

$$BD(\text{Test}) = \frac{[0,40(0,46 \times 1576 + 0,54 \times 546) + 0,60(0)]}{(1,03)^2} = 373$$

$Y(\text{Test})$  30 milyon TL tutarındadır. Bu düğümde Ar-Ge projesinin değeri şu şekilde hesaplanacaktır:

$$BD(\text{Opsiyon}) = \text{Max}[(373 - 30), 0] = 343$$





latilite %30 gibi büyük bir oran alınmasına rağmen, ticari risk önemli bir fark yaratmamıştır.

İlaç sektöründeki Ar-Ge çalışmalarındaki en önemli belirsizlik, ilacın ciddi bir yan etki yaratmadan, etkili bir tedavi aracı olduğunu kanıtlayıp kanıtlamadığıdır. Oysa bu sektörde ticari risk, çoğu zaman ürünler patentler ile korunduğundan, çok yüksek kar marjları sağlamakta ve bu nedenle düşük seviyede olabilmektedir. Bu nedenle örneğimizde karar ağacı ve reel opsiyon değerlemesi kullanılarak yapılan proje değerlemesinde, projenin değeri her iki yöntemde de birbirine çok yakın bulunmuştur. Örneğimizdeki Ar-Ge projesinin değerlemesinde, teknolojik riskin ticari riskten çok daha önemli olduğu görülmüştür. Bu nedenle, öncelikle risk analizi yapılarak projenin maruz kaldığı riskler tespit edilmeli, en önemli risk kaynakları belirlenmeli ve en uygun model seçilerek değerlendirilmelidir.

## SONUÇ

Proje değerlemesine esnekliğin dahil edilmesi durumunda, değerlendirme, hem karar ağacı hem de reel opsiyon modeli kullanılarak yapılabilir. Her iki yöntemde, belirli uygulamalarda önemli üstünlükleri söz konusudur. Reel opsiyon modeli, kuramsal olarak, yönetsel esnekliği opsiyon terimleri ile modellediğinden, karar ağacı analizinden daha üstündür. Ancak, karar ağacı yöntemini tamamlayıcı bir nitelik taşır.

Esnekliğin değerlendirilmesinde karar ağacı ya da reel opsiyon yaklaşımlarından hangisinin kullanılması gerektiği kararı verilirken, genel olarak iki temel kriter ön plana çıkmaktadır. Bunlardan birincisi; riskin çeşitlendirilip çeşitlendirilemeyeceği, ikincisi ise projenin gelecek nakit akışlarına ve bunların değişkenliğine, yani varyansına (volatilité) ilişkin verilerin gerçekçi tahmin edilip edilemediğidir.

Yatırım projeleri çok sayıda risk içerir. Bu risklerden bazıları çeşitlendirilebilir, bazıları ise çeşitlendirilemez. Projenin barındırdığı temel risk, çeşitlendirilebiliyorsa, olasılıkla-

rın riske göre ayarlamalarına gerek yoktur ve bu tür projelerin değerlendirilmesinde (esnekliği değerlendirilmede) karar ağacı analizi daha etkili bir yaklaşımdır. Eğer risk çeşitlendirilemez ise, karar ağacı uygulanması oldukça zordur. Çünkü iskontolamada kullanılacak ağırlıklı ortalama sermaye maliyetinin doğru olarak tahmin edilebilmesi oldukça zordur. Bu durumda, reel opsiyon modeli teorik olarak daha doğru bir yaklaşımdır. Dolayısıyla, proje değerlemesi yaparken, öncelikle projenin barındırdığı riskler ve bunların etkileşimleri ortaya konulmalı, bu riskler göz önünde bulundurulacak hangi değerlendirme yönteminin uygulanacağına karar verilmeli ve ardından modele ilave edilerek değerlendirilmelidir.

Esnekliğin değerlendirilmesinde karar ağacı ya da reel opsiyon yaklaşımlarından hangisinin kullanılması gerektiği kararı verilirken dikkate alınması gereken ikinci kriter, projenin beklenen gelecek nakit akışları ve bunların volatilitésidir. Reel opsiyon değerlendirme modelinde en önemli kısıt, volatilitenin gerçekçi olarak hesaplanmasıdır. Projenin gelecek nakit akışları, ticari bir mal, menkul kıymet veya döviz ile yakın ilişkili ise volatilitenin tahmin edilmesi oldukça kolaydır ve bu durumda reel opsiyon modeli çok daha doğru sonuçlar verir. Çünkü reel opsiyon değerlendirme yöntemi kullanılarak yapılan değerlendirme, referans varlığın değerini bilmeyi gerektirir. Varlığın gözlenebilir bir piyasa fiyatı yoksa, değeri iskonto edilmiş nakit akışı yöntemini kullanarak tahmin etmek gerekecektir. Bu nedenle, reel opsiyon yaklaşımı madencilik, petrol ve rafineri yatırımları gibi emtia temelli proje değerlendirilmesinde daha sıklıkla kullanılmaktadır. Öte yandan, risklerin büyük ölçüde çeşitlendirildiği veya varlık değeri (nakit akışlarının bugünkü değeri) ya da varyansı gibi girdileri ile ilgili tahminlerin çok net olarak yapılmadığı durumlarda, karar ağacı yönteminin kullanılması daha uygun olacaktır.

Çalışmanın uygulama bölümünde yer alan Ar-Ge projesindeki esneklikleri değerlendirmek üzere, karar ağacı ve reel opsiyon fi-

yatlama modeli kullanılmıştır. Projenin esnekliği kapsamında teknolojik risk ve ticari risk ele alınmıştır. Her iki yöntem kullanılarak yapılan proje değerlemesi sonucunda, projenin değeri birbirine çok yakın bulunmuştur. Bu sonuç, ele aldığımız projede teknolojik riskin çok daha önemli olduğu, çeşitlendirilebilen bir risk olan ticari riskin patent koruması nedeni ile çok fazla etkisinin olmadığı sonucunu vermiştir. Bu nedenle, esnekliğe sahip projelerin değerlemesinde, hangi yöntemin kullanılacağı kararının verilmesi aşamasında, öncelikle projelerin barındırdığı riskler ve opsiyonlar ortaya konulmalı, ardından beklenen nakit akışları ve volatiliteleri hesaplanmalı ve bu doğrultuda karar verilmelidir.

## KAYNAKÇA

- Benaroch, M. ve Kauffman, R.J. (2000), "Justifying Electronic Banking Network Expansion Using Real Options Analysis", *MIS Quarterly*, Vol.24, No:2, 197-225.
- Black, F. ve Scholes, M. (1973), "The Pricing of Options and Corporate Liabilities", *Journal of Political Economy*, 81, 637-654.
- Broyles J. (2003), *Financial Management and Real Options*, John Wiley & Sons, England.
- Ceylan, A. ve Korkmaz, T. (2003), *İşletmelerde Finansal Yönetim*, Ekin Kitabevi Yayınları, Bursa.
- Chambers, N. (1998), *Türev Piyasalar*, Avciol Basım-Yayın, İstanbul.
- Chance, D. M. ve Peterson, P. P. (2002), *Real Options and Investment Valuation*, Research Foundation Aimr, USA.
- Chatterjee, D. ve Ramesh, V.C. (1999), "Real Options for Risk Management in Information Technology Projects", *Hawaii International Conference on System Sciences*.
- Cox, M., Rubinstein, M. ve Ross, S.A. (1979), "Option Pricing: Simplified Approach", *Journal of Financial Economics*, 7, 43, 229-263.
- Hodder, J. R. H. (1985), "Pitfalls in Evaluating Risky Projects", *Harvard Business Review*, May-June, 128-135.
- Kester, W. C. (1984), "Today's Options for Tomorrow's Growth", *Harvard Business Review*, Vol.84, No.2, 153-160.
- Koller, T., Goedhart, M. ve Wessels, D. (2005), *Valuation Measuring and Managing the Value of Companies*, John Wiley & Sons, USA.

- Kortner, S. (2002), "Real Options in Small Technology-Based Companies", Department of General and Industrial Management, Technical University of Munich, Master Thesis, Germany.
- Lindt, O. ve Pennings, E. (1997), "Option Value of Advanced R&D", European Journal of Operational Research, Vol. 103, 84-94.
- Myers, S. C. (1977), "Determinants of Corporate Borrowing", Journal of Financial Economics, Vol.5, No.2, 147-176.
- Myers, S.C. (1987), "Finance Theory and Financial Strategy", Midland Corporate Finance Journal, 6-13.
- Okka, O. (2000), Mühendislik Ekonomisi, Nobel Yayınları, Ankara.
- Önalın, Ö. (2004), Matematiksel Modelleme, Avcıol Basım Yayın, İstanbul
- Shapiro, A. C. ve Balbirer, S. D. (2000), Modern Corporate Finance, Prentice Hall, USA.
- Smith, J. ve Nau, R. (1995), "Valuing Risky Projects: Option Pricing for Creating Value in Acquisition", Merger and Acquisition, Vol. 41, No.5, 795-816.
- Sundaram, R. (1997), "Equivalent Martingale Measures and Risk –Neutral Pricing: An Expository Note", Journal of Derivatives, Fall, 85-98.
- Tevfik, A.T. (2005), Hisse Senedi Değerlemesi, Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- Triantis, A. J. (2003), "Real Options" in Handbook of Modern Finance, Ed. D. Logue ve J. Seward, Research Institute of America, New York.

