

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ENERJİ VERİMLİLİĞİ SÖZLEŞMELERİNİN BÜTÜNLEŞİK BİR DIŞ
KAYNAK KULLANIM MODELİ İLE ANALİZİ**

DOKTORA TEZİ

Ahmet Can KUTLU

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Seçkin POLAT

NİSAN 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ENERJİ VERİMLİLİĞİ SÖZLEŞMELERİNİN BÜTÜNLEŞİK BİR DIŞ
KAYNAK KULLANIM MODELİ İLE ANALİZİ**

DOKTORA TEZİ

**Ahmet Can KUTLU
(507072101)**

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Seçkin POLAT

NİSAN 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 507072101 numaralı Doktora Öğrencisi **Ahmet Can KUTLU**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **“ENERJİ VERİMLİLİĞİ SÖZLEŞMELERİNİN BÜTÜNLEŞİK BİR DIŞ KAYNAK KULLANIM MODELİ İLE ANALİZİ”** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Seçkin POLAT**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Yrd. Doç. Dr. Umut ASAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Yasemin Claire ERENSAL
Doğuş Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Sezi ÇEVİK ONAR
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Şule ÖNSEL EKİCİ
Doğuş Üniversitesi

Teslim Tarihi : **5 Mart 2013**
Savunma Tarihi : **24 Nisan 2013**

Aileme,

ÖNSÖZ

“Hayal gücü bilgiden daha önemlidir”.
Albert Einstein

Doktora tez çalışmama başlarken birçok doktora öğrencisinin yaşadığı konu belirleme sıkıntısı esnasında öncelikle ne yapmak istediğimi belirlemem gerekiyordu. Yükseköğretim hayatımda ilgilenmekten en çok zevk aldığım “enerji” konusunu, içinde bulunduğum akademik çalışma grubunun alanı olan “yönetim” konusuyla birleştirmeye çalıştım. Bu hayalimi Endüstri Mühendisliği Doktora Programının bakış açısıyla bütünleştirdiğimde uygulama alanı “enerji verimliliği projeleri” şeklinde ortaya çıktı.

Tezin ilerleyen aşamaları, danışman hocalarımla yönlendirmeleri ile hayal etme, merak etme ve araştırma akışını izleyerek devam etti. Tezin sonunda, enerji verimliliği projelerinde karşılaşılan enerji paradoksu sorunu için stratejik yönetim bakış açısı altında dış kaynak kullanımı teorilerinden vekâlet teorisi ve gerçek opsiyon teorilerini bütünleştiren yeni bir model geliştirdim ve bir örnek üzerinden modelin analizi yapıldı.

Doktora tez çalışmam boyunca yaşadığım sıkıntılar ile ilgili bana sağladığı büyük destek ve önerilerinden dolayı tez danışmanım Prof. Dr. Seçkin Polat’a, tez çalışması sürecinde verdikleri destek ve katkılarından dolayı Yrd. Doç. Dr. Erhan Bozdağ’a, Yrd. Doç. Dr. Umut Asan’a, Yrd. Doç. Dr. Sezi Çevik Onar’a, tez sürecinde yardım istediğim her konuda desteğini esirgemeyen ve beni her zaman yüreklendiren ofis arkadaşım Araş. Gör. Çiğdem Kadaifçi’ye, aynı çalışma grubu içinde bulunduğumuz ve bıkmadan sunumlarımı dinleyen Yrd. Doç. Dr. Ayberk Soyer’e ve Araş. Gör. Güneş Küçükyazıcı’ya, Fransa’da uzun süreli görevlendirmem esnasında tez araştırmalarında yardımlarından dolayı Prof. Dr. Dominique Henriët’ye ve bana destek olan tüm arkadaşlarıma ve aileme teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Nisan 2013

Ahmet Can Kutlu
(Y. Müh.)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR.....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY.....	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı.....	4
1.2 Varsayımlar ve Kabuller	6
2. DIŞ KAYNAK KULLANIMI.....	9
2.1 Dış Kaynak Kullanımı Teorilerinin Sınıflandırılması.....	10
2.2 Ekonomik Teoriler	11
2.2.1 Üretim maliyetleri ekonomisi	11
2.2.2 İşlem maliyetleri ekonomisi.....	13
2.2.3 Asil-vekil (Vekâlet) teorisi	15
2.2.4 Eksik kontrat teorisi.....	17
2.3 Stratejik Teoriler	17
2.3.1 Porter'ın konumlandırma çerçevesi.....	17
2.3.2 Kaynak temelli yaklaşım	18
2.3.3 Çekirdek yetkinlikler yaklaşımı	20
2.3.4 Oyun teorisi.....	20
2.4 Organizasyonel / Sosyal Teoriler	21
2.4.1 Kaynak bağımlılığı teorisi.....	21
2.4.2 İlişki teorileri.....	22
2.4.3 Güç ve politika teorileri.....	23
2.4.4 Sosyal değiş-tokuş teorisi	23
2.5 Gerçek Opsiyon Teorisi.....	24
3. ENERJİ PARADOKSU / ENERJİ VERİMLİLİĞİ BOŞLUĞU	27
3.1 Enerji paradoksu literatürü.....	28
3.1.1 Enerji paradoksunun nedenleri.....	28
3.1.1.1 Asil-vekil sorunu	31
3.1.1.2 Yetersiz ve yanlış bilgi / Sınırlı rasyonellik	32
3.1.1.3 Kayıptan kaçınma ve yüksek risk algısı.....	33
3.1.1.4 Yetersiz sermaye erişimi.....	33
3.1.1.5 Sermaye pazarındaki eksiklikler.....	34
3.1.1.6 Enerji fiyatlarındaki belirsizlik.....	34
3.1.1.7 Saklı maliyetler.....	35
3.1.1.8 Yüksek işlem maliyetleri	36
3.1.1.9 Enerji verimliliği yatırımlarının dönüşümsüzlük özelliği.....	37
3.1.1.10 Tüketicinin heterojen yapısı	38
3.1.1.11 Organizasyonel ve bürokratik etkenler	38

3.1.2 Enerji paradoksu sorunu üzerine yöntem ya da model geliştiren çalışmalar	39
3.1.2.1 Enerji paradoksu üzerine istatistiksel çalışmalar	39
3.1.2.2 Enerji paradoksu üzerine benzetim çalışmaları	42
3.1.2.3 Enerji paradoksu üzerine risk modelleri	44
3.1.2.4 Enerji paradoksu üzerine sayısallaştırılmış asil-vekil çalışmaları	46
3.2 Enerji Verimliliği Hizmetleri Sektörü	48
3.3 Enerji Verimliliği Danışmanlık (EVD) Şirketleri	50
3.3.1 EVD şirketlerinin Dünyadaki durumu	51
3.3.2 EVD şirketlerinin Türkiye'deki durumu	56
3.3.3 EVD şirketleri için performans/kalite ölçütleri	57
3.4 Enerji Verimliliği Sözleşmeleri	58
3.4.1 Anahtar teslim sabit ücretli enerji sözleşmeleri	60
3.4.2 Enerji performans sözleşmeleri	61
3.4.2.1 Paylaşımlı tasarruf sözleşmesi (PTS)	62
3.4.2.2 Garantili tasarruf sözleşmesi (PTS)	63
3.4.2.3 PTS ile GTS'nin karşılaştırılması	64
4. ENERJİ PARADOKSU İÇİN ÖNERİLEN ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI	67
4.1 Opsiyon Teorisi	68
4.1.1 Finansal opsiyonlar	68
4.1.2 Gerçek opsiyonlar	69
4.1.3 Finansal opsiyonlar ile gerçek opsiyonlar karşılaştırılması	72
4.1.4 Gerçek opsiyonların değerlemesi	73
4.1.5 Geometrik Brownian hareketi	75
4.1.6 Enerji yatırımlarında gerçek opsiyonların kullanılması	77
4.2 Vekâlet (Asil-Vekil) Teorisi	77
4.2.1 Ters seçim sorunu	79
4.2.2 Ahlâki tehlike sorunu	79
4.2.3 Ahlâki tehlikenin modellenmesi	80
4.2.3.1 Tam bilgi durumunda optimal sözleşme	82
4.2.3.2 Risk nötr durum ve en-iyinin uygulanması	83
4.2.3.3 İkinci en iyi durumda optimal sözleşme	84
4.2.3.4 Doğrusal paylaşım kuralı	89
5. MODELLEME	91
5.1 Stokastik Parasal Enerji Tasarruf Miktarı	93
5.2 Modeldeki Değişken ve Parametreler	96
5.2.1 Parasal enerji tasarruf miktarı (S)	96
5.2.2 Enerji fiyatlarının değişimi ve volatilitesi (μ ve σ)	97
5.2.3 Teknoloji hızı (γ)	98
5.2.4 Enerji tasarruf payı (α)	99
5.2.5 Donanımın eskimeden kaynaklı performans düşüş katsayısı (I)	99
5.2.6 İlk yatırım maliyeti (I_{ILK})	100
5.2.7 Performans artırma maliyeti ($I_{PERFORMANS}$)	102
5.2.8 Sabit ücretli sözleşmede kâr miktarı (k)	102
5.2.9 Risksiz ve riske göre düzenlenmiş faiz oranları (r , ρ)	102
5.2.10 Enerji verimli donanımın ekonomik ömrü (t)	102
5.3 Asil ve Vekilin Sözleşme Tiplerine göre Fayda Fonksiyonları ve Opsiyonları	102
5.4 Opsiyon Temelli Ahlâki Tehlike Modeli	106
6. MODELİN ÇÖZÜMÜ VE ANALİZİ	111

6.1 Verilerin Toplanması.....	111
6.1.1 Enerji fiyat verileri	112
6.1.2 Mevzuat ve temel kavramlar	112
6.1.3 Enerji verimli motorlar	115
6.2 Modelin Akışı.....	117
6.2.1 Enerji fiyatlarının tahmini.....	117
6.2.2 Enerji fiyatlarının tahmini.....	117
6.2.3 Parasal enerji tasarruf miktarlarının ve kârların bulunması.....	118
6.2.4 En küçük ve en büyük tasarruf pay oranlarının bulunması	119
6.3 Modelin Kurulması.....	120
6.3.1 Motor tasarruf miktarlarının belirlenmesi.....	120
6.3.2 Enerji fiyatları tahmin modeli	121
6.3.3 İskontolama	123
6.4 Analiz.....	123
6.4.1 En uygun yatırım yapma zamanları.....	124
6.4.2 Opsiyon değerlerinin bulunması	126
6.4.3 En fazla ve en az tasarruf pay oranları (α).....	129
7. SONUÇLAR.....	131
7.1 Sınırlamalar	132
7.2 Analiz Sonuçlarının Özeti.....	133
7.3 Gelecek Çalışmalar.....	134
KAYNAKLAR.....	137
EKLER.....	153
ÖZGEÇMİŞ	167

KISALTMALAR

BEP	: Bina Enerji Performansı
BOTAŞ	: Boru Hatları ile Petrol Taşıma A. Ş.
CAPM	: Capital Asset Pricing Model (Finansal Varlıkları Fiyatlama Modeli)
CEMEP	: Comité Européen de Constructeurs de Machines Electriques et d'Electronique de Puissance (Avrupa Elektrik Makinaları ve Güç Elektroniği İmalatçıları Komitesi)
DGP	: Dengeleme Güç Piyasası
EİE	: Elektrik İşleri Etüd İdaresi
ENVER	: Enerji Verimliliği
EPS	: Enerji Performans Sözleşmesi
EÜAŞ	: Elektrik Üretim A. Ş.
EVD	: Enerji Verimliliği Danışmanlık
GEF	: Global Environment Fund (Küresel Çevre Fonu)
GÖP	: Gün Öncesi Planlama
GTS	: Garantili Tasarruf Sözleşmesi
HVAC	: Heating, Ventilation, Air Condition (Isıtma, iklimlendirme, havalandırma)
IEA	: International Energy Agency (Uluslar arası Enerji Ajansı)
KHK	: Kanun Hükmünde Kararname
kW	: Kiowatt
kWh	: Kiowatt-saat
MÇVO	: Minimum Çekici Verim Oranı
NPTF	: Net Piyasa Takas Fiyatı
NŞD	: Net Şimdiki Değer
PMUM	: Piyasa Mali Uzlastırma Merkezi
PTS	: Paylaşımlı Tasarruf Sözleşmesi
TEDAŞ	: Türkiye Elektrik Dağıtım A. Ş.
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim A. Ş.
TETAŞ	: Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt A. Ş.
UNDP	: United Nations Development Program (Birleşmiş Milletler Geliştirme Programı)
UNEP	: United Nations Environment Program (Birleşmiş Milletler Çevre Programı)
ÜFE	: Üretici Fiyat Endeksi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Kaynak kullanım düzenleme türleri	9
Çizelge 2.2 : Dışkaynak kullanımı teorilerinin sınıflandırılması	11
Çizelge 3.1 : Literatürdeki çeşitli enerji tasarrufu yatırımları için ortalama örtük iskontolama oranlarının kestirimi.....	28
Çizelge 3.2 : Enerji paradoksu çalışmalarının inceledikleri nedenlere göre sınıflandırılması.....	29
Çizelge 3.3 : Asil vekil modelleri.....	32
Çizelge 3.4 : Farklı saklı maliyetler	36
Çizelge 3.5 : Enerji paradoksu üzerine istatistiksel çalışmalar.....	41
Çizelge 3.6 : Enerji paradoksu üzerine benzetim çalışmalar	43
Çizelge 3.7 : Enerji paradoksu üzerine risk çalışmaları	46
Çizelge 3.8 : Enerji paradoksu üzerine benzetim çalışmalar	47
Çizelge 3.9 : EVD şirketlerinin yapısı ve kapasitelerine göre sınıflandırılması.....	52
Çizelge 3.10 : Çeşitli ülkelerdeki EVD şirketlerinin sayısı	52
Çizelge 3.11 : Literatürde EVD Şirketleri (ESCO) üzerine yapılmış çalışmalar.....	55
Çizelge 3.12 : PTS ve GTS'nin karşılaştırılması	64
Çizelge 3.13 : Çin'deki EPS tipleri ve karşılaştırılması	64
Çizelge 4.1 : Gerçek opsiyon türleri.....	70
Çizelge 4.2 : NŞD Yöntemi ile gerçek opsiyonların karşılaştırılması	71
Çizelge 4.3 : Finansal Opsiyonlar ile Gerçek Opsiyonların Karşılaştırılması.....	73
Çizelge 4.4 : Gerçek opsiyon değerlendirme yöntemlerinin karşılaştırılması	74
Çizelge 4.5 : Enerji alanında gerçek opsiyon değerlendirme yöntemlerini kullanan çalışmalar	77
Çizelge 4.6 : Vekilin çaba gösterme ve gösterme durumlarına göre üretimin yüksek ve düşük olma olasılıkları	81
Çizelge 5.1 : Asil ve vekilin opsiyon tipleri	93
Çizelge 5.2 : Elektrik motorlarının zaman içinde verimliliklerinde iyileşmeler	99
Çizelge 5.3 : Elektrikli motorlar, jeneratörler ve transformatörler üretici fiyat endeksi (ÜFE) değerleri	101
Çizelge 5.4 : Asil ve vekilin sözleşmelere göre opsiyon tipleri ve değerleri.....	105
Çizelge 6.1 : Yıllara göre serbest tüketici limitleri	114
Çizelge 6.2 : CEMEP'e Göre Motor Verim Sınıfları.....	116
Çizelge 6.3 : Sabit ücretli sözleşmelerde farklı belirsizlik düzeylerinde kârın en yüksek olduğu ayların frekansları	124
Çizelge 6.4 : Enerji performans sözleşmelerde farklı belirsizlik düzeylerinde kârın en yüksek olduğu ayların frekansları	125
Çizelge 6.5 : Sabit ücretli sözleşmelerde farklı riske göre düzenlenmiş faiz oranları için kârın en yüksek olduğu ayların frekansları	125
Çizelge 6.6 : Enerji performans sözleşmelerde farklı riske göre düzenlenmiş faiz oranları için kârın en yüksek olduğu ayların frekansları	126
Çizelge 6.7 : Farklı belirsizlik düzeylerinde asil ve vekilin opsiyon değerleri ($\alpha = 0,25$, $r = 0,005$ ve $\rho = 0.011$)	128

Çizelge 6.8 : Farklı riske göre düzenlenmiş faiz oranları için asil ve vekilin opsiyon değerleri $\alpha = \%25$, $r = 0,005$ ve $\sigma = \%1$).....	129
Çizelge A.1 : Benzetimler ($\alpha=0,25$, $r=0,005$, $\rho= 0.011$ ve $\sigma=0,1$)	154
Çizelge A.2 : Benzetimler ($\alpha=0,25$, $r=0,005$, $\rho= 0.011$ ve $\sigma=0,08$).....	156
Çizelge A.3 : Benzetimler ($\alpha=0,25$, $r=0,005$, $\rho= 0.011$ ve $\sigma=0,05$).....	158
Çizelge A.4 : Benzetimler ($\alpha=0,25$, $r=0,005$, $\rho= 0.011$ ve $\sigma=0,03$).....	161
Çizelge A.5 : Benzetimler ($\alpha=0,25$, $r=0,005$, $\rho= 0.011$ ve $\sigma=0,01$).....	163

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 : Müşteri sahasındaki kullanışlı ve son enerji hizmetleri.....	48
Şekil 3.2 : Müşteri sahasındaki kullanışlı ve son enerji hizmetlerinin derinliği.....	49
Şekil 3.3 : Enerji Verimliliği Kanunu yürütme sistemi.....	57
Şekil 3.4 : EVD projesinin yapısı.....	62
Şekil 3.5 : PTS modeli.....	63
Şekil 3.6 : PTS riskleri.....	63
Şekil 3.7 : GTS modeli.....	63
Şekil 3.8 : GTS riskleri.....	64
Şekil 4.1 : Ahlâki tehlike altında sözleşme zamanlaması.....	82
Şekil 4.2 : Ahlâki tehlike ve sınırlı sorumluluk durumunda en iyi ve ikinci en iyi eforlar.....	86
Şekil 4.3 : Ahlâki tehlike ve riskten kaçınma durumunda en iyi ve ikinci en iyi çabalar.....	89
Şekil 5.1 : Kavramsal model.....	92
Şekil 5.2 : Tasarruf miktarının zamana göre değişimi.....	96
Şekil 5.3 : Bakımın pompa verimliliğine etkisi.....	100
Şekil 5.4 : 2003 Ocak-2012 Aralık ayları arasındaki üretici fiyat endeksleri.....	101
Şekil 6.1 : Toplam çevrim süresi maliyetlerinin net şimdiki değer yüzdeleri.....	117
Şekil 6.2 : Enerji fiyatlarının tahmin edilmesi süreci.....	117
Şekil 6.3 : Enerji tasarruf miktarının hesaplanması süreci.....	118
Şekil 6.4 : Parasal enerji tasarruf miktarının ve en yüksek kâr miktarının hesaplanma süreci.....	119
Şekil 6.5 : Tasarruftan alınan pay oranının en büyük ve en küçük değerlerinin belirlenmesi.....	119
Şekil 6.6 : Farklı volatiliteler (σ) değerlerine göre enerji fiyat tahminleri.....	122
Şekil 6.7 : Farklı volatiliteler düzeyleri için asil ve vekilin opsiyon değerleri.....	127
Şekil 6.8 : Farklı volatiliteler düzeyleri için asil ve vekilin opsiyon değerleri.....	128
Şekil 6.9 : Farklı riske göre düzenlenmiş faiz oranları için asil ve vekilin opsiyon değerleri.....	129
Şekil 6.10 : Asilin sözleşme tiplerine göre farklı pay oranları için ortalama kâr miktarları.....	130

ENERJİ VERİMLİLİĞİ SÖZLEŞMELERİNİN BÜTÜNLEŞİK BİR DIŞ KAYNAK KULLANIM MODELİ İLE ANALİZİ

ÖZET

Enerji, hayatımızın her yönünü etkilemektedir. Enerji verimliliği, tüketilen enerji miktarının, üretimdeki miktar ve kaliteyi düşürmeden, ekonomik kalkınmayı ve sosyal refahı engellemeden en aza indirilmesidir. Günümüzde enerji verimliliği hem ulusal düzeyde hem de firmalar düzeyinde stratejik açıdan önemli bir husus olmuş, ayrıca büyümekte olan bir sektör haline gelmiştir. Ancak enerji verimliliği projeleri, enerji paradoksu ya da enerji verimlilik boşluğu adı verilen sorundan ötürü maliyet etkin olduğu halde firmalar tarafından uygulanmamaktadır.

Enerji verimliliği danışmanlık şirketleri, bir dış kaynak kullanım şekli olan enerji verimliliği sözleşmeleri ile bu paradoksu çözebilir. Tezde, sabit ücretli ve performansa dayalı pay şeklinde genel olarak iki ayrılmış olan enerji verimliliği sözleşme tipleri, enerji paradoksu açısından karşılaştırılmıştır. Literatürde enerji paradoksunu açıklamakta sıklıkla incelenen asil-vekil (vekâlet) teorisi ile gerçek opsiyonlar, tezde bütünleşik olarak ele alınarak modellenmiş ve bir enerji verimliliği projesi örneğinden yola çıkılarak modelin analizi yapılmıştır.

Modelin uygulaması için, bir firmanın, kullandığı enerjinin bir kısmını tüketen mevcut elektrik motorunun daha verimli ve dolayısıyla daha az enerji tüketen bir motor ile değiştirilerek tasarruf sağlaması kapsamlı bir enerji verimliliği projesi örnek olarak belirlenmiştir. Firmanın motor teknolojisini bilmediği ve motor seçimini yapma kararını EVD şirketine delege ettiği kabul edilmiştir. Böylece, firma, EVD şirketinin performansını gözlemleyemediği için, asimetrik bilgiden dolayı, firma ile EVD şirketi arasında bir asil-vekil sorunu oluşmaktadır. Amacı tasarruf etmek olan firma ile amacı maliyet üzerinden kâr etmek olan EVD şirketi ayrık amaçlara sahiptir. Ayrık amaçlarından dolayı, sabit ücrete dayalı anahtar teslim projede, EVD şirketi, tasarruf performansı yüksek olan yerine maliyeti düşük ve kârı fazla olan bir enerji verimli motor tercih edebilecektir. Ancak tasarrufun paylaşımına dayalı enerji performans sözleşmesi yapıldığında, EVD şirketinin, elde edilen tasarruftan pay alacağı için, düşük maliyetli fakat düşük performanslı bir motor yerine tasarruf performansı daha yüksek bir motor seçmesi beklenmektedir. Ayrıca performansı arttırmak için daha yüksek düzeyde bir çaba göstermesi de beklenmektedir. Böylece müşteri firmanın da motorun performansı artacağı için tasarruftan elde edeceği kazanç da daha yüksek olacaktır.

Bu sorun, literatür ve gerçek hayata dayalı çeşitli veriler kullanılarak gerçek opsiyonlar ile analiz edildiğinde, enerji performans sözleşmesinde elde edilen kâr değerlerinin, klasik sabit ücretli anahtar teslim projelerde elde edilen değerlerden daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu sonuç enerji performans sözleşmelerinin göre anahtar teslim sözleşmelere göre üstünlüğü ortaya koymuştur. Başka bir sonuç olarak, belirsizlik arttıkça her iki sözleşme tipinde de kâr değerinin arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca farklı düzeylerde riske göre düzenlenmiş faiz oranları için

göre kâr değerlerinin duyarlılıklarına bakılmıştır. Faiz oranı arttıķça opsiyon değerlerinin düştüğü gözlemlenmiştir. Optimizasyon modelinde pay oranı değişken olarak kullanılarak benzetimler sonucu vekilin enerji performansına iştirakini ve çaba gösterme kısıtlarını sağlayan optimum yatırım zamanları ve pay oranları hesaplanmıştır. Son olarak iki sözleşme tipinden elde edilebilecek kârlar, farklı pay oranları ile incelenmiş ve eşitlendiği noktada enerji performans sözleşmesi yapmak için asilin verebileceği olası en yüksek pay oranı belirlenmiştir.

ANALYSIS OF ENERGY EFFICIENCY CONTRACTS BY AN INTEGRATED OUTSOURCING MODEL

SUMMARY

Energy affects all around us. Energy efficiency is a key issue for the nations to reduce the dependence to fossil fuels or energy imports and helps in increasing the security of energy supply. The definition of energy efficiency is given as reaching the same quality and level of some end use of energy (e.g. heating, cooling, lighting and distributed electricity) with a lower level of energy input. It provides two main advantages; reducing greenhouse gas emissions and increasing industrial competitiveness by saving energy costs.

Initially in the early 1970s oil price shock stimulated a great interest in energy efficiency improvement and recently global warming effect due to the high energy use has enhanced the interest further. In Turkey, planned energy saving activities have been implemented since 1981 by the General Directorate of Electrical Power Resources Survey Administration (EIE) and recently the Energy Efficiency Law expected to realize 25–30% savings in total energy consumption was introduced on May 2, 2007. Service Company (ESCO) market for energy efficiency (EE) services The purpose of the law is to provide the efficient use of energy, to avoid waste, to decrease cost of energy on economics, to decrease consumed energy in energy resources to protect the environment. The law includes administrative structuring, energy auditing, financial instruments and incentives, awareness raising and the establishment of an Energy Service Company (ESCO) market for energy efficiency services.

Energy service companies (ESCOs) usually described as important change agents that can restrain energy demand and weaken climate change by increasing efficiency can transform the “efficiency gap” into a viable business. They are the companies that operate in developing, installing and financing comprehensive, performance-based projects designed to improve energy efficiency or reduce maintenance costs for energy-consuming facilities over a certain time period. ESCOs function under an energy performance contracting arrangement which is a complex contractual arrangement between the beneficiary and the provider of an energy efficiency improvement measure, where investments in that measure are paid for in relation to a contractually agreed level of energy efficiency improvement. Therefore, by the concept of performance-based contracting, ESCOs are primarily different from the consulting engineering firms which are specialized in identifying and offering efficiency improvements, typically paid for their advice and undertake no risk that their recommendations will yield results.

The standard approach in energy efficiency evaluation views the measure as an investment and examines the trade-off within admitting higher initial capital/installation costs in return for lower future electricity bills during the lifetime of the energy efficiency measure. Thus the consumer wishes to decrease to minimize the cost of the energy, on the other hand to implement energy efficiency practices

need a big amount of capital of investment so that even though energy efficiency projects provide more in energy savings than they cost, consumer firms refuse to invest energy efficiency projects. This issue, in the energy efficiency literature is known as “energy paradox” or “energy efficiency gap”.

In this study, energy paradox or energy efficiency gap is investigated. The term can be explained for the energy efficiency projects which are not implemented or implemented with very high hurdle rates by the companies even if they are cost-effective and profitable. In the literature scanned, the main reasons of energy paradox are reported as principal-agent issues, insufficient and inaccurate information, information gaps, bounded rationality, loss aversion, inadequate access to capital, capital market imperfections, energy price uncertainty, high perceived risk capital rationing, hidden costs, high transaction costs, irreversible nature of energy efficiency investments and consumer heterogeneity. The model proposed in the study considers three main factors that cause energy paradox: Principal-agent relations, energy price uncertainty and irreversible nature of energy efficiency investments.

In the study, two contract types in the form of a fixed fee and performance-based share are analyzed using an integrated model of principal-agent theory and real options which are common approaches in the energy paradox literature. An option is the right, but not the obligation, to take an action in the future. Real options theory has been based on the financial options theory which is developed for the value assessment of the options on uncertain financial assets. A financial option is defined as the derivative security whose value is derived from the worth and characteristics of another financial security or so-called underlying asset. The financial option valuation models can also be employed as valuing real assets. As a formal definition, real options are the investments in real physical assets, as opposed to financial assets, which give the firm the right, but not the obligation, to take on the certain future actions. The options to delay the investment, to expand or contract a project, to abandon it or to switch the modes of production are considered when real option values are assessed. The irreversibility nature of investments is also worthwhile in the real options analysis.

Principal-agent relationship is a contractual relationship where principal delegates the authority to agents to make a decision for the comfort of the principal. Principal agent problems can cause low energy efficiency levels. Main characteristic of the principal – agent relationship is the split incentives. Split incentives occur when participants in an economic exchange have different goals or incentives. For example landlord-tenant problem is a classic example in energy efficiency literature. The landlord provides the tenant with appliances, but the tenant is responsible for paying the energy bills. Landlords and tenants face different goals for this case since the landlord wishes to minimise the capital cost of the appliance (with little regard to energy efficiency), on the other hand the goal of the tenant is to maximise the energy efficiency of the appliance to save on energy costs.

The analysis of the proposed model is carried out on the basis of an energy efficiency project example. The application case is selected for a firm who wishes to replace its existing electrical motor with an energy efficient one. However, the principal-agent problem occurs when a fixed payment contract is signed since it is assumed that the firm does not know the electrical motor technology and delegates the motor selection decision to the ESCO. Due to the information asymmetry, the firm is not able to observe the performance and effort of ESCO and this problem is known as moral

hazard. The split incentives concept leads ESCO to buy a cheaper motor with a less saving performance. On the other hand performance sharing contract brings ESCO to achieve more effort on the project since its gain is dependent to the performance of the equipment. As a result it is expected that the ESCO would select a motor with higher performance on savings even if it is more expensive and it would attempt to increase the performance of the equipment by incurring a performance cost to increase the gains. Therefore the moral hazard problem could be resolved as the incentives of the both parties are parallel now.

The monetary savings of the firm are the product of two variables: the amount of technical savings provided by the energy efficient equipment and the unit price of the energy. The developments in the energy efficiency and the equipment technology could increase the equipment saving potential. Moreover, the energy market structure has an influence on energy prices to rise. The real options approach assume that both variables will increase in the future so that it is better to invest in the technology in future time. Therefore waiting to invest has an option value in the time context.

The data used in the study is based on literature and real-life cases. The savings of the electrical motors are calculated by using the technical data and the prices of the electrical energy are forecasted by using Monte Carlo simulation technique. The monthly average price data was taken from the center of electricity market financial reconciliation data sets. The parameters of drift and volatility of the energy price data is obtained from the 30 month historical data. However, due to the sample size, the volatility degree is found so high that the model has not converged.

The option values and optimal investment times are calculated by selecting different volatility values. The firm has waiting options in both contract types; on the other hand, ESCO is assumed not to have right to choose investment timing but it has two types of options. First option is to expand by signing the contract and getting paid by its performance. Second option is based on his effort to increase the performance of the equipment by e.g. maintenance. It invests some money for the maintenance of the equipment and the gain is the monetary difference between maintained and unmaintained equipment performance.

The results of the real options analysis show that the option values obtained from the energy performance contract are higher than the values obtained in the conventional turn-key projects. Furthermore, the profit values are observed by changing the volatility measures and keeping other parameters constant. The findings are interpreted as; when uncertainty increases, option values of the both contract types increase. In the next step the option values at different levels of risk-adjusted interest rates are examined to check the sensitivity by keeping the volatility level with %1. It is observed that when interest rate increases, the profit values decrease.

The optimal timings are also checked with different volatility and risk levels. The analysis in 100 simulations shows that when volatility is low, the frequencies of the optimal timing found are more stable. However, when uncertainty is high, optimal timings become more unstable and different results are obtained. The same results are reached when risk adjusted interest rates are high.

Finally, in the optimization model, the achieved profits in energy performance contracts with different pay share values are calculated via 100 simulations per each share value and later, optimal timing and pay share values that maximize the profit are determined under the participation and effort constraints of the agent. Furthermore the achieved profits of two types of contracts are compared with

different pay share values and the optimal share rates that equalize the profits are determined.

The analysis of the proposed model tells us that if the uncertainty in the energy price market is high, it is better to wait for the firms to invest the energy efficiency projects. The technological effects and uncertainty in changes of price increases the option value of delay. Moreover to select the proper energy efficiency contract type, firms should apply the integrated model considering principal-agent issues and option values. The optimal share rates obtained from the model can provide a decision criterion for the firms that search to achieve maximum profit.

1. GİRİŞ

Günümüzde, dünyadaki teknolojik yenilikler ve etkilediği üretim süreçlerindeki gelişmeler, uluslararası sınırların geçirgenleşmesi ve sermaye hareketlerindeki sınırların kalkması ve iletişim alanındaki büyük gelişmeler sonucu insanlığın artan talepleri, enerjiye ve enerji kullanımına olan ihtiyacı artırmıştır. Enerji ihtiyacının her geçen gün artması ve enerji kaynaklarının giderek azalması da enerjiyi verimli şekilde kullanmayı gerektirmektedir. Enerji verimliliği, enerji girdisinin üretim içindeki payının azaltılması, aynı üretimin daha az enerji tüketilerek gerçekleştirilmesidir (Gökmen, 2010). Başka bir tanıma göre, enerji verimliliği, tüketilen enerji miktarının, üretimdeki miktar ve kaliteyi düşürmeden, ekonomik kalkınmayı ve sosyal refahı engellemeden en aza indirilmesidir (EİE, 2004). 2 Mayıs 2007 yılında yürürlüğe giren 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu, enerji verimliliğini binalarda yaşam standardı ve hizmet kalitesinin, endüstriyel işletmelerde ise üretim kalitesi ve miktarının düşüşüne yol açmadan enerji tüketiminin azaltılması olarak tanımlamıştır.

Enerji verimliliği, son yılların önemli konularından biri haline gelmiştir. Ülkeler, enerji konusunda ulusal düzeyde çalışmalar yapmakta ve enerji tasarrufu sağlayacak kurum ve kuruluşlara çeşitli teşvikler verme yoluna gitmektedir. Ayrıca sanayi, ulaşım ve yaşam alanlarında enerjiye olan ihtiyacın ve talebin artması sonucu, enerji fiyatlarının artması ve dolayısıyla firmaların girdilerindeki enerji kaleminde maliyetlerin artışını da beraberinde getirmiştir. Bu bağlamda, firmalar, enerji verimliliği çalışmaları yürüterek yükselen enerji maliyetleri karşısında yapacakları enerji tasarrufları ile hem maliyetleri düşürebilme hem de rekabet üstünlüğü kazanabilme şansına sahip olabileceklerdir.

Enerji verimliliği stratejileri ilk defa batılı endüstrileşmiş ülkeler ve Japonya tarafından petrol krizlerine ve onu izleyen enerji fiyatlarındaki artışlara cevap olarak 1970’li yıllarda geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Daha sonra 1980’li yıllardan itibaren enerji verimliliği kavramı, enerji ve kalkınma politikalarının vazgeçilmez bir bileşeni olmuş ve kendisine gittikçe yaygınlaşan bir uygulama alanı bulmuştur (Gökmen, 2010; Okay ve diğ., 2008).

Türkiye’de ise bu çerçevedeki enerji tasarrufu çalışmaları, 1980 yılından beri Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) Genel Müdürlüğü tarafından çeşitli proje ve programlar doğrultusunda yürütülmektedir (Hepbaslı ve Ozalp, 2003). Fakat asıl enerji verimliliği konusu, 2 Mayıs 2007 yılında yürürlüğe giren 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu ile resmi bir biçimde ülke gündemine girmiştir. Kanunun amacı; enerjinin etkin kullanılması, israfın önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi ve çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılmasıdır (Enerji Verimliliği Kanunu, madde 1). Enerji verimliliği faaliyetlerinin yürütülmesinde yetkilendirilen enerji verimliliği danışmanlık (EVD) şirketi adı verilen şirketlerin yapısı da bu kanun ile düzenlenmiştir.

Uluslararası düzeyde ESCO (*Energy Service Companies*) şeklinde adlandırılan EVD şirketleri, belirli süreler boyunca (genellikle 5-10 yıl), enerji tüketen tesisler için enerji verimliliğini iyileştirme ve bakım maliyetlerini düşürme odaklı tasarlanan, kapsamlı ve performans temelli projeleri geliştiren, uygulayan ve finanse eden işletmelerdir (Cudahy ve Dreessen, 1996; Dayton ve diğ., 1998; Goldman ve Dayton, 1996; Lee ve diğ., 2003; Singer ve Lockhart, 2002; Vine, 2005). Enerji verimliliği projeleri uygulamak isteyen firmaların, projeyi yaptıracığı EVD şirketi ile bir sözleşme yapması gerekmektedir. Enerji verimliliği sözleşmeleri genel olarak iki tiptir. Birinci tipi; geleneksel anahtar teslim (*turnkey*) projeler (Sorrell, 2007) ya da tesis taahhüt projeleri (*facility contracting projects*) (Helle, 1997) adı verilen sabit ücretlendirmeye dayalı klasik müteahhitlik sözleşmeleri iken ikinci tip; enerji hizmet sözleşmeleridir. Enerji hizmet sözleşmeleri, enerji ile ilgili bir ya da daha fazla hizmetin, üçüncü parti tarafından, uzun dönemli bir sözleşme ile belirlenen maddeler ve koşullar altında, dış kaynak kullanımı şeklinde temin edilmesi olarak tanımlanmıştır (Sorrell, 2007). EVD şirketlerinin genelde kullandığı enerji hizmet sözleşmeleri, enerji performans sözleşmeleri olarak da adlandırılmaktadır ve finansmanın kullanım şekline göre kendi içinde “paylaşımlı tasarruf sözleşmesi” ve “garantili tasarruf sözleşmesi” olarak ikiye ayrılır. Bu sözleşmelerde EVD şirketlerinin ücretleri müşteri firmaya sağladıkları tasarruf miktarının belirli bir oranı üzerinden pay şeklinde verilmektedir.

EVD şirketi ile sözleşme imzalayan firmanlar, enerji verimliliği projesinden elde edeceği enerji tasarruf miktarı, ilk yatırımından yüksek olsa da maliyet-etkin olan

enerji verimliliği projelerini uygulamayı tercih etmemektedirler. Literatürde enerji paradoksu ya da enerji verimliliği boşluğu olarak adlandırılan enerji verimliliği projeleri yatırımındaki bu sorun, tezde ele alınan ve incelenen ana sorundur. Tez kapsamında enerji paradoksunu inceleyen çalışmalarda bu sorunun en büyük nedenleri arasında görülen enerji fiyatlarının belirsizliği, enerji verimliliği yatırımlarının dönüşümsüzlüğü ve asil-vekil (vekâlet) ilişkilerini dikkate alan yeni bir model önerilmektedir. Modelin analizinde, enerji paradoksunun çözümü çerçevesinde kontrat teorisinde de kullanılan doğrusal paylaşım kuralını esas alan enerji performans sözleşmeleri yapılması halinde, firmanın daha çok kazanacağı görülmektedir. Vekâlet ilişkisinde teknoloji seçimi kararının devredildiği EVD şirketinin, geometrik Brownian hareketini takip ettiği kabul edilen enerji fiyatlarının gelecekteki davranışından kazanacağı opsiyon değeri nedeniyle daha çok çaba göstermesi beklenmektedir. Böylece asil-vekil ilişkisinde farklı amaçlar olması durumunda oluşan ahlâki tehlike sorunu da engellenmiş olacaktır.

Tezin ilk bölümünde konuya giriş yapıldıktan sonra, ikinci bölümde, enerji verimliliği sözleşmelerinin neden yapıldığını açıklayan dış kaynak kullanımı kavramı ve literatürde bu alanda yer alan teorilerden bahsedilecektir. Üçüncü bölümde enerji hizmet sözleşmelerinin firmalar tarafından tercih edilmeme nedeni olarak gösterilen ve enerji literatüründe çokça incelenen enerji paradoksu ya da enerji verimliliği boşluğu adı verilen sorun, nedenleri ile açıklanacak ve ardından bu sorunu bir iş koluna çeviren enerji verimliliği danışmanlık şirketleri (Soroye ve Nilsson, 2010) ve sektörü ele alınacaktır. Dördüncü bölümde enerji paradoksunun çözümünde kullanılan dış kaynak kullanımı yaklaşımlarından gerçek opsiyon ve vekâlet teorisi modelleri ortaya konulacaktır. Beşinci bölümde enerji paradoksu sorununun nedenlerinden olan enerji fiyatlarının belirsizliği, enerji verimliliği yatırımlarının dönüşümsüzlüğü ve asil-vekil sorunları etkenlerini ortadan kaldırabilecek, asil-vekil ve gerçek opsiyon modellerinin bütünleşik olarak ele alındığı enerji paradoksu çözümünde uygulanabilecek yeni bütünleşik bir model önerilecektir. Altıncı bölümde bu modelin bir örnek üzerinden uygulamasına yer verilecektir. Türkiye’de değişen mevzuatla beraber, artık serbest tüketiciler, elektrik enerjisini, enerji üreten farklı firmalardan satın alabildiği için, PMUM’a (Piyasa Mali Uzlastırma Merkezi) göre elektrik enerjisi birim fiyatları kullanarak gelecekte enerji fiyatlarının değişimine yönelik Monte Carlo benzetim yöntemi kullanılarak bir tahmin yapılmıştır. Bu

verilerin ışığında farklı volatilité ve risk parametre değerleri uygulandığında her parametre değer için yapılan 100 benzetim sonucunda, “doğrusal paylaşımlı enerji performans sözleşmesi” ve “sabit ücretli anahtar teslim proje” modelleri için yatırım kararı zamanlamaları ve kâr değerleri bulunmuştur ve karşılaştırılmıştır. Farklı kârdan pay verme durumları için 100’er adet benzetim ile iki sözleşme tipinde de elde edilen kârlar karşılaştırılmış ve kısıtları sağlayan ve kârı enbüyükleyen optimum tasarruf payı hesaplanmıştır. Son olarak kârların değerleri, her biri için yapılan 100 benzetim sonucu hesaplanan farklı tasarruf oranları ile belirlenmiş, benzetimlerin ortalaması alınmış ve kârların eşitlendiği optimum tasarruf pay oranı bulunarak sözleşme seçimleri için asil açılarından verilebilecek en yüksek kâr oranı belirlenmiştir. Son bölümde model ve analizin sonuçları tartışılmıştır.

1.1 Tezin Amacı

Tez çalışmasının amacı, enerji paradoksu sorunun çözümü için yeni bir model sunmaktır. Literatürde incelenen çalışmalar, gerçek opsiyonlar yaklaşımının sorunun iki ayrı nedeni olan enerji fiyatlarının belirsizliği ve enerji verimliliği yatırımlarının geri dönüşümsüzlük özelliği ile başa çıkılabileceğini ortaya koymaktadır. Enerji paradoksu literatüründe çok sayıda çalışmada incelenen asil-vekil ilişkisinde ahlâki tehlike sorunu için ise EVD şirketlerinin uyguladığı enerji tasarrufundaki kazançtan pay alınması temeline bağlı enerji performans sözleşmeleri yapılmasının bu sorunu azaltacağı öngörülmektedir. Asil-vekil yaklaşımı ve gerçek opsiyon yaklaşımlarının bütünleşik olarak ele alınarak model ile enerji performans sözleşmelerinin önerilmesi, enerji paradoksunun çözümü için bu alandaki literatüre katkıda bulunmaktadır. Ayrıca performansı karşılaştırılan sözleşme tiplerinin bütünleşik asil vekil eklentili gerçek opsiyon modellerindeki parametrelere bağlı karşılaştırmaları yapılarak farklı durumlar için EVD şirketi ile sözleşme yapmak isteyen bir firma için karar destek modeli oluşturulacaktır.

Modelin uygulanabilirliğini göstermek için enerji verimliliği projesi uygulamak isteyen bir firmada elektrik motorunun enerji verimli motor ile değiştirilmesi projesi incelenmiştir. Burada firmanın motor teknolojisini bilmediği var sayılmış ve bu kararın yüklenici EVD şirketine devrettiği durum için model kurgulanmıştır. Asimetrik bilginin neden olduğu ahlâki tehlike sorunu nedeniyle sabit ücretli modelde yüklenici şirketin daha ucuz ancak tasarruf ettirici özelliği daha az bir motor

satın alması beklenmektedir. Ancak paylaşım kuralı uygulandığında tasarruf miktarı arttıkça EVD şirketi de kazanacağı için ayrık amaçlar durumu ortadan kalktığından, daha pahalı olsa bile tasarruf performansı daha yüksek bir elektrik motoru satın alınması beklenmektedir. Ayrıca EVD şirketinin motor performansını arttırmak için de bakım vb. faaliyetler ile daha çaba göstereceği düşünülmektedir. Modelin analizinde iki sözleşme tipi farklı parametreler için karşılaştırmalı incelenecek ve optimum paylaşım oranı belirlenecektir.

Tez kapsamında dört temel konuda literatür araştırması yapılmıştır.

1. Dış kaynak kullanımında kullanılan teoriler
2. Enerji paradoksu ya da verimlilik boşluğu alanında yapılan çalışmalar
3. Enerji verimliliği danışmanlık şirketleri üzerine yapılmış çalışmalar
4. Tezde geliştirilen modelde kullanılması benimsenen gerçek opsiyon ve asil-vekil yaklaşımlarının modellenmesi ile ilgili yapılmış çalışmalar

Enerji verimliliği uygulamaları yapmak isteyen firmaların EVD şirketleri ile yaptığı sözleşmeler bir “dış kaynak kullanım” biçimidir. Dış kaynak kullanımı üzerine geliştirilmiş birçok teori literatürde mevcuttur. Tezin ikinci kısmında dış kaynak kullanımını inceleyen temel teoriler literatürdeki çeşitli sınıflandırma biçimlerine göre gruplanarak açıklanmıştır. Böylece tezde kullanılan teorik çerçevenin kaynağı da ortaya konmuştur.

Tezde incelenen temel sorun olan enerji paradoksu ya da diğer adıyla (enerji) verimlilik boşluğu üzerine 1990 yılından itibaren çeşitli kavramsal, ampirik ya da analitik çalışmalar bulunmaktadır. Tezde sorun kavramsal şekilde açıklanmış ve bir optimizasyon modelinin benzetim yöntemi kullanılarak çözdürülmesi ile açıklanmıştır. Literatürdeki çalışmalar sorunun farklı nedenlerini incelemektedir. Bu alanda yapılan literatür araştırmasında yoğunluklu incelenen nedenler ve yaklaşımlar belirlenmiş, tezde önerilen model, bu yaklaşımlara göre deneysel olarak kurulmuştur.

Literatür araştırmasının odaklandığı üçüncü konu, enerji verimliliği projeleri uygulamak isteyen firmaların dış kaynak kullanımı şeklinde hizmet aldığı enerji verimliliği danışmanlık şirketleri – uluslararası adıyla ESCO (*Energy Service Companies*) olmuştur. Bu alanda yapılmış uluslararası hakemli dergilerde az sayıda çalışma yapılmış olsa da sektörün gelişimi açısından elde edilen bilgiler oldukça

doğrudur. Temelde EVD şirketlerinin faaliyetlerini gösterdiği sözleşme tipi olan enerji performans sözleşmeleri, enerji verimliliği sözleşmeleri uygulamak isteyen firmaların karşılaştığı enerji paradoksu sorununun çözümünde katkı sağlamaktadır. Tez kapsamında bu sözleşmeler kontrat teorisindeki ahlâki tehlike yaklaşımları ile modellenerek geleneksel sözleşme tiplerine karşı üstünlüğü ortaya konulmuş ve firmalar için belirli koşullar altında enerji performans sözleşmeleri ile çalışan EVD şirketleri ile anlaşmalarının daha uygun olacağı bulunmuştur.

Tezin modelleme kısmında yararlanılan kontrat teorisi olarak da bilinen asil-vekil ilişkilerindeki ahlâki tehlike modelleri ve gerçek opsiyon değerlendirme modelleri üzerine ciddi bir literatür araştırması yapılmıştır. Geliştirilen modelde literatürde ilgilenilen problem ile ilgili en uygun olacak yaklaşımlar kullanılmış ve hem enerji paradoksu hem bütünleşik gerçek opsiyon ve asil-vekil ilişki modelleme literatürüne katkısı olacak bir çalışma üretilmiştir.

1.2 Varsayımlar ve Kabuller

Tezde, modelin bazı aşamaları için veri bulunabilirliğinin az olması ve modelde kullanılan kazanç fonksiyonunun dinamik olarak değişen yatırım zamanına bağlı parçalı yapısından dolayı olan analitik hesaplamadaki zorluklar gibi çeşitli kısıtlar bazı varsayımların yapılmasını gerektirmiştir. Modelin karmaşıklığını azaltmak için enerji performans sözleşmesini doğrudan etkilemesi nedeniyle asil vekil sorununda sadece ahlâki tehlike durumu incelenmiştir. Sözleşme yapıldıktan sonraki davranışları ve oluşacak çabayı gözlemleyen ahlâki tehlike sorununda ayırık amaçlardan dolayı, vekilin çabasının tasarruftan pay almaya dayalı enerji performans sözleşmesinde sabit ücretlendirmeye göre daha yüksek olması beklenmektedir. Modelin uygulanabilirliğini göstermek için seçilen bir enerji verimli elektrik motor satın alımı projesinde elektrik motorunun seçimi, vekilin çabası olarak kabul edilmiştir. Sabit ücretlendirmeye göre çalışan vekil, asimetrik bilgi durumunda, asilin tasarruffundan çok, kendi maliyetine göre hareket etmesi beklenirken, paylaşımlı sözleşmede vekilin amacı asil ile ortak olduğundan performansı daha yüksek verimli bir motorun alındığı varsayılacaktır. Böylece asilin yapacağı tasarruf miktarı dolayısıyla da kazancı daha yüksek olacaktır. Ayrıca vekilin zaman içinde enerji verimli motorun performansını artırma için bakım yaptırma gibi çeşitli maliyetlere

katlanması beklenmektedir. Böylece tasarruftan aldığı paya karşılık gelen miktarı arttıracığı gibi asilin de kazancı artmış olacaktır.

Literatürde benzer çalışmalarda kabul edildiği gibi aylık ortalama enerji fiyatlarının geometrik Brownian hareketini izlediği kabul edilmiştir. Piyasa Mali Uzlaştırma Merkezi (PMUM) belirlediği fiyatlar, kullanılan veri kümesini oluşturmaktadır. Bu verilerden bulunan fiyat artış hızı ve fiyat volatilitesi, gelecek 20 yıl boyunca değişecek enerji fiyatlarının tahmininde kullanılacaktır. Ancak Türkiye'deki fiyatların artışındaki değişkenliğin çok yüksek olması, kullanılan analizlerde daha düşük standart sapma değerlerinin kullanılmasını gerektirmiştir.

Örnek olarak incelenen enerji verimli motor satın alınmasında kullanılan proje ve performans maliyetleri, internet araştırmasında gözlemlenen çeşitli maliyet değerlerine göre tahmini değerler ile belirlenmiştir. Motor maliyetlerinin bu iş koluna giren üretici fiyat endeksine (ÜFE) göre aylık arttığı varsayılmıştır. Bu tahminlerin dışında riske göre düzenlenmiş faiz oranı literatüre dayalı olarak yıllık %13,12 (Ertürk, 2012), risksiz faiz oranı ise devlet tahvili fiyatları dikkate alınarak %5 kabul edilmiştir. Ayrıca enerji verimli teknolojinin zamanla geliştiği dikkate alınmış ve literatürde bu teknolojinin evrimi incelenerek motor verimlerinin iki yılda bir %0,13 kadar arttığı varsayılmıştır. Elektrik motorunun zaman içinde bakım yapıldığı ve yapılmadığı durumlar için doğrudan veri bulunamadığından elektrik motoru ile çalışan pompalar üzerine çalışmalar incelenerek zaman içinde verimin düşeceği kabulü ile tahmini hipotetik değerler kullanılmış ve yıllık bakım yapıldığında verimin belli bir orana çıkarılacağı varsayılmıştır.

Çeşitli kaynaklar incelenerek, bir elektrik motorun ömrünün bakım yapıldığı durumda 20 yıl, bakım yapılmadığı durumda ise 15 yıl olduğu kabul edilmiştir.

2. DIŞ KAYNAK KULLANIMI

Sanayileşmiş dünyada dış kaynak kullanımı, firmaların rekabet üstünlüğü kazanabilmek için üretimlerini organize etmesinde çok popüler bir yöntem haline gelmiştir (Shy ve Stenbacka, 2003). “Yap ya da satın al” kararlarının özel bir biçimi olan dış kaynak kullanımı (Beimborn, 2008), normalde organizasyon içinde yapılabilen ama her zaman da yapılamayan bir hizmetin ya da faaliyetin, bu hizmeti ya da faaliyeti temin edebilen bir dış tedarikçiye sözleşme ile bağlanmış delegasyonu olarak tanımlanır (Nicholson ve diğ., 2006). Dışarıdan satın alma günümüz iş dünyasında birçok sektörde yaygın şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Dışarıdan satın almanın (dış kaynak kullanımı) üstünlüğü, kuvvetli pazar teşvikleri ve ölçek ekonomisi sayesinde, çok fazla kullanıcıya tedarik eden uzmanlaşmış üreticilerin girdi ürünlerini daha ucuza üretmesinde yatar (Nooteboom, 1993). Dış kaynak kullanımı kısmi olarak yapılabildiği gibi firmalar, kendi kaynaklarını da dışarıdan başka firmalara kullandırabilmektedir. Çizelge 2.1’de dış kaynak kullanım derecesi ve firmanın sahiplik türünün kombinasyonuna göre düzenlenebilecek bir kaynak kullanım yapısı gösterilmektedir.

Çizelge 2.1 : Kaynak kullanım düzenleme türleri (Dibbern ve diğ., 2004)

Dış Kaynak Kullanım Derecesi	Sahiplik (<i>Ownership</i>)		
	İçsel	Kısmi	Dışsal
Tam	Tamamen sahip olunan iştirak (<i>spin-off</i>)	Ortak girişim (<i>Joint-Venture</i>)	Geleneksel dış kaynak kullanımı
Seçici	Tamamen sahip olunan iştirak (<i>spin-off</i>)	Ortak girişim (<i>Joint-Venture</i>)	Seçici iç kaynak kullanımı
Hiç	İç kaynak kullanımı (<i>insourcing / back sourcing</i>)	Çoklu müşteri arasında tesislerin paylaşımı	

Ekonomi, yönetim, organizasyon ve benzeri alanlardaki literatürde dış kaynak kullanımı problemi ile ilgilenen çok sayıda teori yer almaktadır. “Firma teorisi”, “yap ya da satın al” kararları ve dış kaynak kullanımı konularını inceleyen teoriler, çeşitli araştırmacılar tarafından farklı şekilde sınıflandırılmıştır. Tez kapsamında Foss (1993, 1998) ile Beimborn (2008) ve Dibbern ve diğ. (2004) yaptığı sınıflandırmalara yer verilecektir ve tezin dördüncü bölümünde bazı teoriler dış

kaynak kullanımı özelinde, tezde incelenen enerji paradoksunun çözümü temel alınarak açıklanacaktır.

2.1 Dış Kaynak Kullanımı Teorilerinin Sınıflandırılması

Foss'un (1993, 1998) yaptığı sınıflandırmanın teorik çerçevesini içeren iki ana teori kümesi bulunmaktadır. Birinci yaklaşım işlem maliyetleri ekonomisi (*transaction cost economics*) (Williamson, 1985), eksik kontrat yaklaşımı (*incomplete contract approach*) (Hart, 1995), asil-vekil (vekâlet) teorisi (*principal/agent theory*) (Holmström, 1982) ve kontratlar bağı yaklaşımı (*nexus of contracts approach*) (Alchian ve Demsetz, 1972) gibi teorileri içeren “kontrat teorisi” ve ikinci yaklaşım firmanın evrimi teorisi (Nelson ve Winter, 1982), yetkinlik perspektifi (Foss, 1993), dinamik yetenekler perspektifi (Teece ve Pisano, 1994) ve kaynak temelli yaklaşım (Wernerfelt, 1984) gibi teorileri içeren “firma yetenekleri yaklaşımı”dır.

Dibbern ve diğ.nin (2004) ve Beimbörn'un (2008) yaptıkları sınıflandırmada ise, bu teoriler daha geliştirilmiş bir şekilde kümelenmiştir. Foss'un (1993, 1998) kontrat teorisi altında incelenen yaklaşımları “ekonomik teoriler” ve firma yetenekleri yaklaşımını da “stratejik teoriler” olarak sınıflandırmışlardır. Ancak Foss (1998), yaptığı çalışmada, gerçek opsiyon teorisini yeni bir yaklaşım olarak ele almış, firma teorisi sorununda kontrat teorisi ve firma yetenekleri yaklaşımlarının eksik kaldığı noktalarda gerçek opsiyon teorisinin üstünlüklerini vurgulamıştır.

Beimbörn (2008), teorileri, dış kaynak kullanımı ve kurumsal kaynaklama başlığı altında incelemiştir. Beimbörn (2008) ve Dibbern ve diğ. (2004), dış kaynak kullanımı üzerine olan teorileri ekonomik, stratejik ve organizasyonel/sosyal teoriler şeklinde üç ana başlık altında gruplamışlardır. Çizelge 2.2'de dış kaynak kullanımı ve genel olarak ekonomik organizasyon üzerine olan teorilerin sınıflandırması verilmektedir.

Ekonomik teoriler, ekonomik vekilleri (*agent*) koordine etmek için maliyet etkisi ya da diğer verimlilik ölçütlerini tarif eden teorileri içermektedir (Cheon ve diğ., 1995). Stratejik teoriler ise firmaların, seçilmiş bir performans hedefini gerçekleştirebilmek için nasıl stratejiler geliştirmeleri ve uygulamaları gerektiği fikrini destekler (Dibbern ve diğ., 2004). Organizasyonel/sosyal teoriler ise meta-organizasyonel odaklıdır ve vekiller arasındaki bağımlılık ve ilişkilere yoğunlaşmıştır (Dibbern ve diğ., 2004).

Çizelge 2.2 : Dışkaynak kullanımı teorilerinin sınıflandırılması (uyarlama: Beimbörn, 2008; Dibbern ve diğ., 2004).

Teorilerin Tipi	Teorinin Adı	Karar Değişkenleri ve Odağı
Ekonomik Teoriler	Üretim Maliyetleri Ekonomisi	Üretim maliyet fonksiyonu (ölçek, kapsam ve beceri ekonomisi)
	İşlem Maliyetleri Ekonomisi	İşlem maliyetleri, üretim maliyetleri
	Asil-vekil (Vekâlet) Teorisi	Acenta maliyetleri, optimal sözleşme ilişkileri
	Eksik Kontrat Teorisi	Yeterli sözleşme tamlığı ya da ilişkisel sözleşmelerin başarılı yürütülmesi ile ilişkileri verimli ve etkin yönetme becerisi
Stratejik Teoriler	Porter’ın Konumlandırma Çerçevesi	Seçilen iş stratejisine bağlı olarak dış kaynak kullanımının seçilen rekabetçi konuma etkisi
	Kaynak Temelli Yaklaşım	İç ve görev çevresindeki kaynakların özellikleri
	Çekirdek Yetkinlikler Yaklaşımı	İç ve görev çevresindeki kaynakların özellikleri
	Oyun Teorisi	Belirli durumlar altında karar verme
Organizasyonel / Sosyal Teoriler	Kaynak Bağımlılığı Teorisi	Kaynak boşlukları
	İlişki Teorileri	İşbirliği, etkileşim sosyal ve ekonomik değiş-tokuşlar
	Güç ve Politika Teorileri	Gücün farklı dereceleri ve organizasyonel politika
	Sosyal Değiş-tokuş Teorisi	Faaliyetlerin değiş-tokuşu, yararlar/maliyetler, karşılıklar, denge, uyum ve değiş-tokuşlarda güç

2.2 Ekonomik Teoriler

2.2.1 Üretim maliyetleri ekonomisi

Firma, neoklasik üretim ekonomisinde, kâr enbüyükleme ile yürütülen bir “üretim fonksiyonu” olarak görülür (Williamson, 1981b). Bu fonksiyonun değişkenleri, basitçe iş gücü ile sermayedir ve fonksiyonun sonucu, ürün ve hizmetlerin çıktı hacmi olarak tanımlanır (Beimbörn, 2008). Üretim maliyetleri ekonomisinin dayandığı üç temel kavram bulunmaktadır. Bunlar;

1. Ölçek ekonomisi
2. Beceri ekonomisi
3. Kapsam ekonomisi

Ölçek ekonomisi, daha geniş hacimler üretildikçe faaliyetlerin daha verimli olarak gerçekleştirilmesi becerisinden ortaya çıkmaktadır (Porter, 1985). Baumol ve diğ. (1982), ölçek ekonomisini, denklem (2.1)'de görüldüğü gibi, çıktı temelli bir üretim maliyet fonksiyonu için ortalama üretim fonksiyonunu azalan bir şekilde göstermiştir.

$$\frac{dOrtUM}{dx} < 0 \quad OrtUM = \frac{UM(x)}{x} \quad (2.1)$$

Bu denklemde *OrtUM*, ortalama üretim maliyetlerini, *x* ise çıktıyı göstermektedir.

Beceri ekonomisi, *ex-ante* ve *ex-post* diye ayrılabilir (Beimborn, 2008). *Ex-ante* beceri ekonomisinde, eğer firmanın maliyet fonksiyonu, diğer firmalar ile kıyaslandığında, belirli bir çıktı düzeyinden sonra daha düşük maliyetlere yöneliyorsa, firmanın bir çekirdek yetkinliği olarak, kıyaslamalı daha yüksek beceri ekonomisine sahip olduğu söylenebilir (Langlois, 1995; Prahalad ve Hamel, 1990). Dinamik ya da *ex-post* beceri ekonomisi, maliyet fonksiyonunun zamana göre azalması şeklinde ifade edilebilir (Lammers, 2005; Beimborn, 2008). Bu durum hem öğrenme etkisi ile sürekli (Porter, 1985) hem de teknolojiye değişimler ile adım adım oluşur (Beimborn, 2008). Denklem (2.2)'de sabit çıktı hacmi *x*'in zamana (*t*) göre ilişkisi gösterilmektedir.

$$\frac{\partial OrtUM}{\partial x} < 0 \quad ve \quad \frac{\partial^2 OrtUM}{\partial t \partial x} < 0 \quad OrtUM = \frac{UM(x)}{x} \quad ve \quad UM = UM(x, t) \quad (2.2)$$

Kapsam ekonomisi ise, iki ya da daha çok ürün hattının ayrı ayrı ele alınmak yerine bir firmada birleşik olarak ele alınmasının daha az maliyetli olması durumunda ortak kaynakların beraber kullanılmasından sonuçlanan üstünlüğü işaret etmektedir (Panzar ve Willig, 1977, 1981).

Üretim maliyetleri ekonomisi perspektifinden “yap ya da satın al” kararları incelendiğinde, firmaların bu kararı, içsel operasyonların üretim maliyetleri ile pazarın önerdiği fiyatı kıyaslayarak verdikleri kabul edilir (Ford ve Farmer, 1986). Böylece firmalar, tedarikçilerin üretim maliyet üstünlüklerini kazanmak için faaliyetlerini dış kaynak kullanımı şeklinde yürütürler (Loh ve Venkatraman, 1992; Slaughter ve Ang, 1996; Ang ve Straub, 1998).

Üretim maliyetleri ekonomisi perspektifinden dış kaynak kullanımının temel fonksiyonel ilişkisi denklem (2.3)'de verildiği gibi gösterilebilir (Beimborn, 2008):

$$Dış\ kaynak\ kullanımı = f((fazladan)\ ölçek\ ekonomisi(+), (görelî)\ beceri\ ekonomisi(+), kapsam\ ekonomisi(-)) \quad (2.3)$$

2.2.2 İşlem maliyetleri ekonomisi

İşlem maliyetleri ekonomisi, neoklasik paradigmanın yerini alan yeni kurumsal ekonominin dış kaynak kullanımı alanındaki iki ana dalından birisini oluşturmaktadır. İşlem maliyetleri kavramı birçok değişik şekilde anlaşılmıştır; çünkü yeni kurumsalcı yaklaşım ile neoklasik model, birbirinden oldukça farklı paradigmatik yapılara sahiplerdir (Ural, t.y.). Klasik sözleşme sisteminde, bir sözleşme sadece zamanın belirli bir noktası ile ilgiliydi ve ödül aynı noktada oluşuyordu (Beimborn, 2008). Neoklasik yaklaşımda bu kabul geliştirildiyse de hala nadir işlemlere odaklanılmıştı. Ancak işlem maliyetleri üzerine yapılmış son dönemdeki çalışmalarda uzun dönemli iş ilişkilerine dayalı ilişkisel sözleşmeler ve zamanla tekrar biçimlendirilebilecek olan sözleşmeler dikkate alınmaktadır (Williamson, 1985). Yeni kurumsal ekonomi, neoklasik ekonomi modelinin tersine, ekonomik faaliyetleri oluşturan yasal ve sosyal mekanizmalara ve kurallara odaklanmakta, işlem maliyetleri ekonomisi, asil-vekil (vekâlet) teorisi ve mülki haklar teorisini içermektedir (Beimborn, 2008).

İşlem maliyetleri yaklaşımını kısaca açıklamak gerekirse, işlem maliyetleri kavramı ilk defa Coase (1937) tarafından ortaya atılmış ve daha sonra Williamson (1975, 1981a, 1981b, 1985, 1991) tarafından geliştirilmiştir. Bir işlem, ürünün ya da hizmetin teknolojik olarak ayrı birimler arasında el değiştirmesini sağlayan ekonomik alışveriş (değiş-tokuş) sürecinde yer alan bir olaydır (Williamson, 1975, 1981a, 1981b, 1985, 1991). Arrow (1969), işlem maliyetlerini, üretim maliyetlerinden ayırarak bir ekonomik sistemin işletilmesindeki harcamalar olarak tanımlamıştır. İşlem maliyetleri ekonomisinin amacı, toplam işlem maliyetlerini enküçükleyerek sözleşmeleri en uygun şekilde biçimlendirmektir (Beimborn, 2008) çünkü bu yaklaşımına göre, karmaşık bir dünyada tipik olarak sözleşmelerin eksik yanları (*incompleteness*) bulunmaktadır (Shelanski ve Klein, 1995).

İşlem maliyetleri teorisinde iki davranışsal kavramın kabulü ve vurgusu yapılmaktadır; sınırlı rasyonellik ve fırsatçılık. Bu iki kavramın kombinasyonu bilgi asimetrisine neden olmaktadır. (Aubert ve diğ., 2004). Sınırlı rasyonellik, bir işlem ile ilgili bilgi bulmada ya da işlemede insan aklının yetersizliği ve kısıtlılığıdır ve belli bir belirsizlik düzeyine göre oluşur. İşlem maliyetleri yaklaşımına göre bu kısıtlılık belirsiz çevrelerde sorun yaratır ve sözleşme yapılmadan önceki işlem maliyetlerinde (*ex-ante*) değişim özelleştirilemez (örnek: çevresel belirsizlik) ve sözleşme esnasındaki işlem maliyetlerinde (*ex-post*) performans doğrulanamaz (davranışsal belirsizlik) (Rindfleisch ve Heide, 1997). Fırsatçılık ise, kişinin basitçe çıkarları için savunma yapmasından ya da değer enbüyüklemesinden çok, Williamson'ın (1979) tanımıyla “kişisel çıkarlar için kurnazlıkla çabalamadır” (Aubert ve diğ., 2004). Williamson (1979), yalnızca fırsatçılığın söz konusu olduğu durumlarda pazar işlemlerinin maliyetlerinin arttığını ileri sürmüştür.

Williamson (1975, 1985) işlem maliyetleri için üç adet temel işlem unsuru tanımlamıştır;

- varlık özgüllüğü
- belirsizlik
- işlem sıklığı

Varlık özgüllüğü, “en iyi alternatif kullanımlar için fırsat maliyetlerinin düşük olduğu belirli işlemlerin desteklenmesi için üstlenilen uzun ömürlü yatırımlar” (Williamson, 1985) olarak tanımlanmaktadır. Özgüllük derecesi, bir değiş-tokuş işleminde, varlıkların mevcut kullanımları ile bir sonraki en iyi kullanımları arasındaki maliyet farkına bakılarak tanımlanabilir (Williamson, 1981b, 1985). Yüksek miktarda özgüllüğü olan varlıklar, belirli bir değişim ilişkisinin dışında küçük değer gösteren batık maliyetleri (Rindfleisch ve Heide, 1997) yani üretim ya da tüketim sürecinde katlanılan ancak sürecin durdurulması halinde geri iadesi mümkün olmayan harcamaları ifade eder. Özgül varlıklara yapılan yatırımlar, taraflardan birinin diğer tarafın fırsatçı davranma potansiyeline karşı savunmasız olduğu için bir garanti sorunu yaratır (Küçükyazıcı, 2009).

Williamson (1975), belirsizliği, karar vericilerin bir karar ağacını tamamen belirlemesinin mümkün olmadığı durumlar olarak tanımlamaktadır. Çevresel belirsizliğin temel sonucu, değişen koşullara göre belirli kabullerin değişimindeki

zorluğun neden olduğu adaptasyon sorunudur (Rindfleisch ve Heide, 1997). Büyük çevresel belirsizlikle karşı karşıya kalan firmalar, daha sonra hatalara yol açabilecek uzun dönemli karışıklıkları önlemek isterler ve diğer firmalarla, bağlayıcılığı daha az olan ilişkiler kurmak isterler. Dış belirsizlik, bir firmanın, ileride meydana gelebilecek olayları önceden tahmin edebilmesinin mümkün olmadığı durumları ifade eder ve bu durum genellikle hızla değişen çevresel koşullardan kaynaklanır (Zhao ve diğ., 2004). İşlem maliyetleri analizi, davranışsal belirsizliği, işlem ortaklarının sözleşmeden doğan performansının denetlenmesindeki zorluklardan kaynaklanan bir kavram olarak değerlendirilir (Williamson, 1985) ve etkisi bir performans değerlendirme sorunudur (Rindfleisch ve Heide, 1997). İşlem sıklığı; bir işlemin, harcanan kaynakların verimli bir şekilde kullanılmasını sağlayacak kadar sürekli veya sık gerçekleşmesi durumu şeklinde tanımlanabilir (Küçükyazıcı, 2009). Eğer varlık özgüllüğü yüksekse, işlemler sık demektir ve düzenli olarak denetlenmeli ve kontrol edilmelidir (David ve Han, 2004). Ashton'a (1998) göre eğer bir işlem çok sık tekrarlanıyorsa, belirli bir yönetim yapısının gelişimine yatırım yapmak önemlidir; çünkü daha maliyetli olsa da bu maliyetler sıklaşan işlemler üzerinden kendini geri ödeyebilir.

İşlem maliyetleri unsurlarının sonuçları doğrudan dış kaynak kullanımı alanında uygulanabilmektedir. İşlem maliyetleri ile bir iş fonksiyonununun dış kaynak kullanımı arasındaki işlevsel ilişki işlem maliyetleri perspektifinden denklem (2.4)'de olduğu gibi ifade edilebilir (Beimborn, 2008)

$$\begin{aligned} \text{Dış kaynak kullanımı} &= f(\text{işlem maliyetleri}(-)) \\ \text{İşlem maliyetleri} &= f(\text{varlık özgüllüğü}(+), \text{belirsizlik}(+), \text{sıklık}(+)) \end{aligned} \quad (2.4)$$

2.2.3 Asil-vekil (Vekâlet) teorisi

Asil vekil teorisi, dış kaynak kullanımı kararları ile uygulamaları açısından yeni kurumsal ekonominin ikinci dalını oluşturmaktadır (Beimborn, 2008). Bu teori, firmanın asiller (*principal*) ya da paydaşlar (*stakeholders*) ile vekiller (*agent*) arasındaki sözleşme bağlarından oluştuğu kabulüne dayanarak kavramlaştırılmıştır (Dibbern ve diğ., 2004). Jensen (2000), vekâlet ilişkisini, bir partinin yani asilin kendisi adına karar verme otoritesinin bir kısmını vekile delege ettiği bir sözleşme olarak tanımlamıştır. Alchian (1950), Ross (1973) ile Jensen ve Meckling'in (1976)

alışmaları temelinde geliştirilen vekâlet teorisi, genel bir firma teorisi değildir ve organizasyonel tasarım sorunu için genel çözümler de üretmez (Levinthal, 1988); ancak, vekil performansının, asil tarafından kesin olarak gözlemlenemediği durumlarda işlem ortakları arasındaki sözleşmelere odaklanmaktadır (Beimborn, 2008).

Vekâlet teorisinin ana kabulü asimetrik bilginin var oluşu ve belirsizlik ile riskin asil ve vekiller arasında farklı algılanışdır (Dibbern ve diğ., 2004). Örneğin, karar-verme otoritesi vekillere delege edildiği zaman, kararların asil çıkarları doğrultusunda düzenleneceği garanti edilemez (Gurbaxani ve Whang, 1991). Asil ve vekillerin çıkarlarının iraksaması, vekilin davranışı ile ilgili bilgi asimetrisi ile birlikte vekâlet sorununu ortaya koyar (Jensen ve Meckling, 1976).

Vekâlet teorisinin iki dalından daha kuralcı (*normative*) olan asil-vekil teorisinde (Spence ve Zackhauser, 1971; Ross, 1973), vekili asilin çıkarları yolunda davranış göstermesi için cesaretlendirmek gibi vekâlet sorununu çözmeye çalışan verimli sözleşmeler düzenlenmeye çalışılır. Sözleşmelerin girdi ya da çıktı temelli seçilmesi, asil ve vekil arasındaki ayrılıkların sonuçlarını gösteren acenta maliyetlerinin düzeyine bağlıdır (Gurbaxani ve Whang, 1991). Acenta maliyetleri, belirsizlik, görev karmaşıklığı ve vekilin performansının ölçülebilirliğine bağlı olarak, asilin denetleme ve tutma maliyetleri ile bunların dışında kalan kayıplardan oluşur (Jensen ve Meckling, 1976; Levinthal, 1988).

Teorinin ikinci kolunu positivist asil-vekil teorisi (Alchian, 1950; Alchian ve Demsetz, 1972) ya da sözleşme bağı (*nexus-of-contract*) oluşturur. Bu teori, sözleşme çevresinin ek özelliklerinin etkilerini ve yaşamlarını sürdürmeleri için organizasyonların ve sözleşmelerin biçimlerinin denetleme ve tutma teknolojilerini modellemeye odaklanmıştır (Beimborn, 2008). Sermaye yoğunluğu, varlıkların özelleşme derecesi, bilgi maliyetleri, sermaye pazarları ve iç ve dış iş gücü pazarı, sözleşme biçimlerini belirlemek için çeşitli denetleme ve tutma uygulamaları ile etkileşime giren sözleşme çevresindeki etkenlere örnektir (Jensen, 1983).

Acenta teorisi yaklaşımının dış kaynak kullanımına bakışı, denklem (2.5)'deki fonksiyonel ilişkilerde gösterilmektedir (Beimborn, 2008; Cheon ve diğ., 1995).

$$\text{Dış Kaynak Kullanımı} = f(\text{acenta maliyetleri}(-)) \quad (2.5)$$

$$Acenta \text{ maliyetleri} = f(\text{bilgi asimetrikliği}(+), \text{ilişki uzunluğu}(-))$$

$$\text{Bilgi asimetrikliği} = f(\text{belirsizlik}(+), \text{çıktı ölçülebilirliği}(-))$$

2.2.4 Eksik kontrat teorisi

Modern firma teorilerinin kabul ettiği fikir, sözleşmelerin mükemmel olmadığı (*imperfect*) ya da eksik olduğu (*incomplete*) yönündedir (Beimborn, 2008). Yani sözleşme tarafları kendi ilişkilerinin çıktılarını etkileyebilecek durumsallıkları belirleyemez ya da gözlemleyemez (Milgrom ve Roberts, 1992) ve bu nedenle en iyi çaba düzeyleri gerekli olacak şekilde elde edilemez (Feenstra ve Hanson, 2003). Williamson’a (1975) göre eksiksiz yapılmış sözleşmeler ya yapılamaz (*infeasible*) ya da en azından yüksek işlem maliyetlerine sahip olduğu göz önünde tutulur.

Eksik kontrat teorisinin (Grossman ve Hart, 1986; Hart, 1988; Hart ve Moore, 1990) temelleri, işlem maliyetleri ekonomisinin de davranışsal kabulleri olan sınırlı rasyonellik ve fırsatçı davranışa dayalıdır (Gietzmann, 1996). Bu teori, eksiksiz sözleşmelerin formüle edilmesiyle, sınırlı rasyonellik ile birleşen gerçek dünya karmaşıklığı sonuçlarını önleyecek durumları tanımlamak için biçimsel (*formal*) modeller kullanarak, mülki haklar kavramlarını organizasyonel bağlamlarda uygulamaktadır (Gebauer, 1996).

Beimborn (2008), yaptığı literatür araştırması sonucunda dış kaynak kullanımının sözleşme eksiksizliği ile ilgili fonksiyonel bağıntısını denklem (2.6)’daki gibi tanımlamaktadır:

$$\text{Dış Kaynak Kullanımı} = f(\text{kontrat eksiksizliği}(+), \text{ilişkisel} \\ \text{yönetişim}(+))$$

$$\text{Kontrat eksiksizliği} = f(\text{belirsizlik}(-), \text{ölçülebilirlik}(+), \text{karmaşıklık}(-), \\ \text{standartlaşma derecesi}(+), \text{ilişkisel yönetim}(-)) \quad (2.6)$$

2.3 Stratejik Teoriler

2.3.1 Porter’ın konumlandırma çerçevesi

1980’li yıllarda pazar başarısını firmanın dışındaki etkenler (pazar odaklılık) ile açıklamaya çalışan kavramlar ön plana çıkmıştır ve Porter’ın “beş kuvvet” kavramı bu alandaki temel çalışmalaradan birisi olmuştur (Beimborn, 2008). Kapsamlı firma

teorisinde, endüstrilerin çekiciliğinin, potansiyel endüstriye yeni girenlerin tehdidi, ikame ürünlerinin tehdidi, tedarikçilerin ve müşterilerin pazarlık güçleri ve rekabetçi çevre (rakiplerin sayısı ve gücü) tarafından belirlendiğini tartışmaktadır (Porter, 1985).

Porter (1985), bir firmanın başarısının, bulunduğu endüstri yapısı içinde doğru rekabet stratejisi seçmesine bağlı olduğunu belirtir ve firmanın değer zincirlerini analiz ederek firmanın güçlü ve zayıf yönleri ile rakipler ile kıyaslayarak belirli faaliyetleri tanımlar. Bu kapsamda geliştirdiği konumlandırma çerçevesi, hedefin geniş olduğu kapsamda iki adet farklı temel konumlandırma stratejisi önerir; maliyet liderliği (*cost leadership*) ve farklılaşma (*differentiation*).

Maliyet liderliği, rakipler ile kıyaslandığında bir ürünü ya da bir hizmeti aynı kalitede ancak daha düşük maliyet ile üretmek olarak tanımlanabilir. Maliyet liderliği, üretim maliyetlerine dayalı olup ölçek, beceri ve kapsam ekonomisini ve firmanın kendisi ile ortaklarının faaliyetleri arasındaki dikey bağlantıları (*vertical linkages*) dikkate alır. Farklılaşma rekabet stratejisinde ise endüstri içindeki diğer rakiplerin sağlayamadığı ancak müşterinin pazar fiyatının üzerinde bir fiyatı ödemeye razı olduğu özel ihtiyaçlarını, firmanın karşılayabilmesi söz konusudur (Lammers, 2005).

Dış kaynak kullanımı açısından bakıldığında, literatürde, çeşitli yazarlar, seçilen stratejinin dış kaynak kullanımı kararını etkileyen etkenler üzerinde hafifletici bir etkisi olduğunu ifade etmişlerdir (Grover ve diğ., 1994). Maliyet liderliği stratejisi seçildiğinde, verimlilik kritik bir husus olacağı için, üretim maliyetleri ekonomisi ve işlem maliyetleri ekonomisi yaklaşımlarının ele aldığı maliyet ile ilgili sorgulamalar, dış kaynak kullanımı kararı ile ilgili farklılaşan firmalara daha ön plana çıkacaktır (Beimborn, 2008). Strateji seçiminin dış kaynak kullanımı etkenleri üzerine etkisinin hafif olmasından dolayı, Porter'ın konumlandırma çerçevesi, dış kaynak kullanımı alanında yapılan ampirik çalışmalarda fazla dikkat çekmemiş, pazar ve organizasyonel hususların açıklanmasından çok daha stratejik yönetimi destekleyen bir odakta kalmıştır.

2.3.2 Kaynak temelli yaklaşım

Kaynak temelli yaklaşım, Porter'ın perspektifindeki rekabet eden firmalar arasındaki temel benzerliklerin kabulünü eleştirir ve bakış açısının endüstriler açısından çok

statik olduğunu, analiz edildiğinde bankacılık gibi bazı endüstrilerde sorun yaratabileceğini söyler (Beimborn, 2008). Bu nedenle endüstrilere daha dinamik ve modüler bir bakış açısıyla yaklaşılması gerektiğini belirterek şu mesajı verir: Firmaların sınırlarının bulanıklaştığı bir alanda rekabet üstünlüğü yaratabilmek için, firmanın kendi yetenekleri ve kaynaklarından yararlanması gereklidir (Wernerfelt, 1984; Barney ve diğ., 2001; Hoopes ve diğ., 2003).

Kaynak temelli yaklaşım, bireysel ve yenilikçi firma kaynaklarının birleştirilmesini önermekte ve firma kaynaklarının ve yeteneklerinin rekabet başarısına nasıl katkı sağlayacağını tarif etmektedir (Barney, 1999; Foss ve Eriksen, 1995; Peteraf, 1993). Kaynaklar, genellikle firmanın kullanabileceği maddi ve manevi tüm varlıklar kümesi (Wade ve Hulland, 2004); yetenekler ise bir ürün ya da hizmet üretmek için kullanılan her türlü beceri ve süreçler (Sanchez ve diğ., 1996; Wade ve Hulland, 2004) şeklinde tanımlanır. Barney (1991), kaynakları; fiziksel kaynaklar, insan kaynakları ve organizasyonel kaynaklar şeklinde üç kategoride gruplamaktadır. Firma yeteneklerini ise bir grup kaynağın üretken hizmetlerini koordine etme ve organize etme faaliyetini gerçekleştirme kapasitesi olarak tanımlamıştır.

Kaynakları birleştirmenin hedefi, firmanın konumunu güçlendiren ve rakiplerinin firmayı yakalamasını engelleyen bir durum yaratmaktır (Beimborn, 2008). Kaynak temelli bakışa göre kaynaklar, aşağıdaki özelliklere sahipse uygundur (Barney, 1991; Beimborn ve diğ., 2005)

- Değerli (*valuable*)
- Nadir (*rare*)
- Mükemmel olarak taklit edilemez (*imperfectly imitable*)
- İkame edilemez (*non-substitutable*)
- Birbirine bağlı (*interconnected*)

Rekabetçi üstünlük, kaynağın değerli ve nadir olması ile sağlanabilirken, sürdürülebilir rekabet üstünlüğü ancak kaynağın mükemmel olarak taklit edilemez ve ikame edilemez olması ile sağlanabilir (Barney, 1991; Teng ve diğ., 1995).

2.3.3 Çekirdek yetkinlikler yaklaşımı

Kaynak temelli yaklaşım, çekirdek yetkinlikler yaklaşımı ile yakın bağlantılıdır. Çekirdek yetkinlikler, bir firmayı rakiplerinden farklılaştırır ve sürdürülebilir bir rekabet avantajı temeli oluşturur (Prahalad ve Hamel, 1990). Araştırmacılar, firma davranış ve rakabetçiliğini yetenekler (*capabilities*) (Collis, 1996; Hoopes ve diğ., 2003; Tsang, 2000), yetkinlikler (*competencies*) (Duhan ve diğ., 2001; Sanchez ve diğ., 1996) ve bilgi (*knowledge*) gibi kavramlarla açıklamışlar ve bazıları da bunlara ek olarak beceriler (*skills*) (Grant, 1991), stratejik varlıklar (*strategic assets*) (Amit ve Shoemaker, 1993), varlıklar (*assets*) (Ross ve diğ., 1996) ve hisseler (*stocks*) (Capron ve Hulland, 1999) gibi terimleri kullanmışlardır. Tüm bu perspektifler ya kaynak temelli yaklaşıma dayalıdır ya da kaynak temelli yaklaşımın mantığı ile çok yakın ilişkilidir.

Dış kaynak kullanımı açısından bakıldığında, firmanın çekirdek yetkinliklerine ait olmayan iş fonksiyonları ya da kaynak temelli yaklaşım bakış açısına göre uygun olmayan kaynaklarda dış kaynak kullanımı uygulanabilir (Beimborn, 2008). Diğer türlü firmanın rekabetçi konumu zayıflayacaktır (Ang, 1994; Steward ve diğ., 2002). Bu nedenle firmalar, verimliliği yakalayabilmek için çekirdek yetkinliklerine odaklanmalıdırlar (Barney, 1991; McFarlan ve Nolan, 1995).

Dış kaynak kullanımı, hem kaynakların özelliklerine (değer, nadirlik, mükemmel olarak taklit edilememe, ikame edilemezlik, birbirine bağlantılılık) hem de dış kaynak kullanımı yapılacak faaliyet ile kaynakların ilişkisine bağlıdır (Beimborn, 2008). Dış kaynak kullanımı kararı Denklem (2.7)'deki ilişki gibi formüle edilebilir (Cheon ve diğ., 1995).

$$\text{Bir Faaliyetin Dış Kaynak Kullanımı} = f(\text{ilgili kaynakların özellikleri}) \quad (2.7)$$

2.3.4 Oyun teorisi

Oyun teorisi (Kreps ve diğ., 1982; Nash, 1953; Spence, 1976), belirli oyun durumlarında, oyuncuların ya da aktörlerin stratejik davranışını açıklamaya çalışır (Dibbern ve diğ., 2004). Bu durumlar, bir firmanın üretim fonksiyonu, çevre ve bilgi yapılarını ilgilendirecek şekilde belirli kabuller ile karakterize edilir ve tüm oyuncuların aynı şartlar altında çalıştığı ve kârlarını enbüyüklemek için rasyonel ve akıllı kararlar verdikleri kabul edilir (Dibbern ve diğ., 2004). Bu kararların tek

belirleyicisi, rakiplerin beklenen hareketlerinin algılanmasıdır (Fudenberg ve Tirole, 1990).

2.4 Organizasyonel / Sosyal Teoriler

2.4.1 Kaynak bağımlılığı teorisi

Kaynak temelli yaklaşım, nitelikli kaynakların sonucu olarak şirketin kuvvetli yanlarına odaklanmışken, kaynak bağımlılığı teorisi, hayatta kalabilmek için dış çevreden (değişik derecelerde) edinilmesi gereken kaynakları incelemektedir (Aldrich, 1976; Pfeffer ve Salancik, 1978; Thompson, 1967). Bu bağımlılık genellikle başkalarının kontrolünde olan gerekli kaynaklara dayanmaktadır (Kotler, 1979).

Kaynak bağımlılığı teorisi, organizasyonel görev çevresinin üç boyutunu ortaya koyar (Cheon ve diğ., 1995):

- Yoğunluk (*concentration*): Firma ve çevre arasındaki güç ve otoritenin dağılma derecesi
- Cömertlik (*munificence*): Kritik kaynakların bulunurluğu ya da kıtlığı
- Birbirine bağlılık (*interconnectedness*): Firma ve çevre arasındaki bağlantı örüntüsünün sayısı

Her boyut, uygun yapı ve faaliyetlerde farklılıkları içeren çevredeki kaynakların doğası ve dağıtımına bağlı olarak birbirinden farklılaşır (Aldrich, 1976).

Pfeffer ve Salancik (1978), bir firmanın başka bir firmaya olan dışsal bağımlılığını belirlemek için üç kritik kaynak boyutu tanımlamıştır:

- Önem (*importance*): Sürekli faal olabilmesi ve yaşamını sürdürebilmesi için organizasyonun ihtiyaç duyduğu kaynağın büyüklüğü
- Takdir (*discretion*): İlgi grubunun kaynak planlama ve kullanımı üzerindeki kontrolünün büyüklüğü
- Seçenekler (*alternatives*): Seçeneklerin derecesi

Kaynak bağımlılığı teorisi, organizasyonların dışsal kaynaklara bağımlılığını vurguladığı için, bir firmanın dış kaynak kullanımı kararının incelenmesinde yararlı bir perspektif oluşturur (Cheon ve diğ., 1995). Bir firma, uzun dönemli yaşam

süresini arttırmak için, dış kaynak kullanımı ile kısıt insan kaynakları, uzmanlık ve teknolojik kaynakları dış çevreden elde edebilir (Teng ve diğ., 1995). Kaynak bağımlılığı teorisinin bu tanımlamasına göre, Denklem (2.8)'deki fonksiyonel ilişki türetilir (Beimborn, 2008).

$$\begin{aligned} \text{Dış Kaynak Kullanımı} &= f(\text{kaynak boşlukları}(+)) \leftrightarrow \text{Dış Kaynak} \\ \text{Kullanımı} &= f(\text{önem}(+), \text{takdir}(+), \text{seçenekler}(+), \text{strateji}) \text{ ve önem,} \\ \text{takdir, seçenekler} &= f(\text{yoğunluk}(+), \text{cömertlik}(+), \text{birbirine bağlılık}(+)) \end{aligned} \quad (2.8)$$

2.4.2 İlişki teorileri

İlişki teorileri, partilerin tekil amaçlarına birlikte ulaşmak için oluşturulan partiler arasındaki etkileşimlere odaklanmaktadır (Dibbern, 2004). İlişki teorileri, ittifak, ortaklık ve alıcı-tedarikçi ilişkileri gibi organizasyonlar arası birkaç biçime hitap eder (Beimborn, 2008). İlişki teorileri üzerine yapılan araştırmalar, organizasyonların birbirleri arasında neden ve hangi koşullar altında bağ kurmaya karar verdiklerini sorgular (Oliver, 1990).

Organizasyonlar arası ilişkileri kavramlaştırmak ve ampirik olarak araştırmak için bazı yazarlar tek tek ya da kolektif olarak organizasyonlar arası ilişkilerin oluşturulmasından sorumlu bir belirleyiciler kümesi önermiştir (örneğin; Goles ve Chin, 2005; Oliver, 1990). Çeşitli teorilere göre kabul edilen kavramlar aşağıdaki gibidir:

- Gereklilik (*necessity*): Organizasyonlar arası ilişkileri oluşturmak isteyen firmaların, yasal ya da düzenleyici gereklilikleri sağlaması gerekmektedir (Porter ve Fuller, 1986).
- Asimetri (*assymetry*): Sadece kısıt kaynaklara ulaşım için değil ayrıca pazar gücü ve yeni pazara girme engellerini ortadan kaldırmak (Kogut, 1988) için diğer organizasyon ya da kaynakları üzerinde güç ya da kontrol kullanma potansiyeli (Benson, 1975; Pfeffer ve Salancik, 1978).
- Karşılık (*reciprocity*): ilişki literatürü ilişkilerin oluşturulmasının karşılık temeline dayandığını kabul eder (Beimborn, 2008). Bu durum, organizasyonlar arası ilişkilerin genel amacı için temel neden olarak görülmektedir (Berg ve Friedman, 1981; Porter ve Fuller, 1986). Organizasyonlar arası ilişkiler, kaynaklar, teknoloji ya da bilgi paylaşımından

sinerji elde etme gibi ortak hedefler ya da ilgiler takip edildiğinde oluşmaktadır (Oliver, 1990).

- Verimlilik (*efficiency*): Bu kavram, verimliliği geliştirme girişimi tarafından teşvik edilen organizasyonlar arası ilişkileri dikkate alan ekonomik teorilerden edinilmiştir (McConnell ve Nantell, 1985).
- Kararlılık (*stability*): Organizasyonlar arası ilişkiler, çevresel belirsizliğin önüne geçen ya da çevresel belirsizliği yutan bir strateji olarak yarar göstermektedir (Kogut, 1988; Pfeffer ve Salancik, 1978).

İlişki teorileri, genellikle, etkin bir kaynak edinimi tasarımına ilişkin sorulara uygulansa da belirli bir iş fonksiyonunun dış kaynak kullanımı kararı ile ilgili çıkarsamalar yapılmasına da izin vermektedir (Beimborn, 2008). İlişki perspektifinden dış kaynak kullanımı basitçe Denklem (2.9)'da olduğu gibi tanımlanabilir (Henderson, 1990; Marcolin ve Ross, 2005):

Dış Kaynak Kullanımı = $f((\text{beklenen}) \text{ dış kaynak kullanım başarısı}(+))$,

Dış Kaynak Kullanım başarısı = $f(\text{sakinma (forbearance)}(+))$, (2.9)

Sakinma (forbearance) = $f(\text{karşılık}(+), \text{güven}(+), \text{sözleşme süresi}(+))$

2.4.3 Güç ve politika teorileri

Bu teoriler güç, kişinin kendisine özel ilgileri ve polikanın organizasyonel karar vermede önemli roller oynadığını kabul eder (Pfeffer, 1981, 1982). Bu bakış açısına göre organizasyonlar politik varlıklardır ve organizasyon içinde yer alan insanlar da değişik derecelerde güçlere sahiptir (Dibbern ve diğ., 2004). Güç, genellikle, niyetleri gerçeğe çevirmeyi başlatmak ve bu amaç için eylemleri sürdürmek için temel enerji olarak tanımlanır. Güç sahibi insanların kendilerine özel amaç ve kararlarını uygulamak için girişimde bulunmaları ile organizasyonel politikalar ortaya çıkar (Dibbern ve diğ., 2004). Güç ve politika, dış kaynak kullanımı kararlarında önemli bir rol üstlenebilir (Lacity ve Hirschheim, 1993).

2.4.4 Sosyal değiş-tokuş teorisi

Sosyologlar ilk zamanlarda sosyal ilişkileri iki ya da daha çok kişi arasındaki eylemlerin değiş-tokuşu olarak kavramlaştırmışlardır (Homans, 1961). Bu eylemler, fiziksel ya da fiziksel olmayan durumda ve ödüllendirici ya da maliyetli olabilir.

Temelde başka bir bireye ödüllendirici yardımı sağlayan birey, bu kişiyi bir şey yapmaya mecbur edebilir ve bu mecburiyeti ödemek için diğer kişi de birinciye bunun karşılığında çeşitli yararlar sağlamalıdır (Dibbern ve diğ., 2004). Blau (1964), sosyal değiş-tokuşu, “başkalarından gelecek geri dönüşler ile isteklendirilen bireylerin gönüllü hareketleri”, şeklinde tanımlamıştır. Bir değiş-tokuşta birkaç özellik önemlidir; karşılık, denge, uyum ve güç (Emerson, 1972). Karşılıklı değişim hareketlerine ihtiyaç, değiş-tokuş özelliklerini de desteklemektedir. Denge, değiş-tokuştaki bir oyuncunun diğerine bağımlılığının dengesini ifade eder. Uyum ise değiş-tokuşta bir ya da iki oyuncunun değiş-tokuşa dahil olduklarında çatışma yaşamamasıyla oluşur. Güç, bir oyuncunun diğeri üzerinde neden olduğu maliyet düzeyi olarak tanımlamıştır (Emerson, 1972).

2.5 Gerçek Opsiyon Teorisi

Gerçek opsiyon teorisi, belirsiz finansal varlıkların opsiyon değerlerinin belirlendiği finansal opsiyon teorisinden geliştirilmiştir (Foss ve Roemer, 2010). Opsiyon, tanım olarak, gelecekte bir eylemde bulunma kararı için bir seçim hakkı tanır ve hiç bir zaman içinde zorunluluk barındırmaz (Amram ve Kulatilaka, 1999). Gerçek opsiyonlar temel olarak finansal opsiyonlarla tamamen benzer özelliklere sahiptir, ancak aralarındaki en büyük fark, gerçek opsiyonların finansal piyasalarda işlem görmemesidir (Taş ve diğ., 2007).

Gerçek opsiyonlar genelde satma hakkının satın alınması (*call option*) ya da satın alma hakkının satın alınması (*put opsiyon*) olarak iki tiptir. Gerçek opsiyon değerlendirme yöntemleri de temel olarak kesikli yaklaşım olan kafes yöntemleri, zamanı sürekli kabul ederek değerlendirme yapan Black-Scholes modeli ve parametrelerin bilinmediği durumlarda kestirim yapmak için kullanılan benzetim yöntemleri olarak üçe ayrılmaktadır. Gerçek opsiyonların temel kavramlar ile daha detaylı açıklaması ve diğer benzer yatırım değerlendirme yaklaşımları ile karşılaştırılması 4. Bölümde yapılacaktır.

Literatürde dış kaynak kullanımı kararının verilmesinde gerçek opsiyonları dikkate alan çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Van Mieghem (1999), gerçek opsiyonlar yaklaşımını, dış kaynak kullanımında opsiyon değerinin hesaplanmasında uygulamıştır. Alvarez ve Stenbacka (2007), firmanın sözleşme imzaladıkları tedarikçilerin performansını denetleme ve araştırma amacıyla tasarlanan bir sisteme

yatırım yapması halinde, marjinal maliyet avantajı elde edebileceğini kabul etmektedir. Böylece bu marjinal maliyet avantajı firmanın dış kaynak kullanımı opsiyonunu kullanma kararını etkileyecektir. Cao ve diğ. (2007) araştırma geliştirme dış kaynak kullanım kararı için binom kafes opsiyon değerlendirme yöntemini kullanmıştır. Nembhard ve diğ. (2003) ürün dış kaynak kullanımı için opsiyon değerinin belirlenmesinde finansal bir model geliştirmişlerdir. Bu çalışmalarında, üç durum değişkenini dikkate almışlar ve opsiyon değerinin kestiriminde Monte Carlo benzetimi kullanmışlardır. Jiang ve diğ. (2008), soruna tedarikçi açısından bakarak gerçek opsiyon yaklaşımını dış kaynak kullanım sözleşmelerinin değerlemesinde dikkate almışlardır. Opsiyon değerlendirme yöntemleri gerçek opsiyon teorisindeki standart genel Brownian hareketine (GBH) ve rassallığın sürekli zaman formülasyonuna dayanmaktadır. Benaroch ve diğ. (2010) talep belirsizliği altında dış kaynak kullanımı için iç ve dış sabit ve değişken maliyetleri dikkate alan basitleştirilmiş bir gerçek opsiyon modeli geliştirmişlerdir. Johnstone (2002) dış kaynak kullanımını kamu sektörü için satın alma hakkı opsiyonu olarak kabul etmiştir ve satın alma maliyetini kullanımı maliyeti olarak kullanmıştır. Eğer içeride üretim maliyeti, açık pazardan satın alma maliyetinden daha yüksek olursa, kamu sektörü içsel faaliyetlerini dış kaynaklardan sağlamasını önermiştir. Benzer bir yaklaşım izleyen Datta (2005), Merton'un (1973) genişlettiği Black-Scholes formülünü dış kaynak kullanma kararı için opsiyon değerini belirlemede uygulamıştır. Buna göre dış kaynak kullanmaya karar veren bir firma, dış kaynak kullanacağı faaliyetleri gelecekte içeride üretim üzerine bir satın alma hakkı (*call*) opsiyonu tutacaktır. Opsiyon artı parada olduğu zaman, yani artı değer aldığı zaman, ürün ya da hizmetleri içeride üretim tercihini kullanmak doğru olacaktır.

3. ENERJİ PARADOKSU / ENERJİ VERİMLİLİĞİ BOŞLUĞU

Enerji paradoksu, maliyet-etkin görünen enerji teknolojilerinin beklenmedik yavaş yayılımını açıklamakta kullanılan genel bir kavramdır (Jaffe ve Stavins, 1994). Enerji verimliliği projeleri sonucu oluşan enerji tasarruf miktarı maliyetinden daha yüksek olsa da firmalar çeşitli etkenler nedeniyle bu projeleri uygulamak istememektedirler. Bu duruma enerji paradoksu” (*energy paradox*) ya da “verimlilik boşluğu” (*efficiency gap*) adı verilmektedir. Enerji verimliliği projelerinin değerlendirilmesi için standart yaklaşım, projeyi bir yatırım olarak görmektedir (Thompson, 1997). Ancak, enerji paradoksu sorunu nedeniyle bu projelere yatırımlar, firmalar tarafından tercih edilmemekte, tercih edilse bile minimum çekici verim oranı (MÇVO) çok yüksek olmaktadır. Örtük (*implicit*) iskonto oranları bireysel kararların ya da gözlemlenen pazar çıktılarının etkinliğini değerlendiren bir test ölçütüdür (Howarth ve Sanstad, 1995). Gözlemlenen örtük iskonto oranları ve finansal maliyetler arasındaki fark, enerji ve çevre analizinde çözümlenemeyen bir husus olan enerji paradoksunun artmasına neden olmaktadır (Shama, 1983; Jaffe ve Stavins, 1994; DeCanio, 1998).

Enerji paradoksu kavramını ilk defa Hirst ve Brown (1990) “Closing the Efficiency Gap: Barriers to the Efficient Use of Energy” adlı çalışmalarında kullanmışlardır ve enerji paradoksunun yapısal ve davranışsal nedenlerini ortaya koymuşlardır. İzleyen yıllarda, DeCanio (1993), Sanstad ve Howarth (1994) ile Jaffe ve Stavins (1994) sorunun nedenlerini açıklayan kavramsal çalışmalar geliştirmişlerdir. Ancak enerji paradoksu ya da verimlilik boşluğu sorunundan bahseden çoğu çalışmanın en çok atıf yaptığı enerji verimliliği projelerindeki yüksek iskonto oranlarından ilk defa bahseden Hausman’ın (1979) “Individual discount rates and the purchase and utilization of energy using durables” çalışmasıdır. Bu çalışmada bireysel tüketicilerin enerji ile çalışan aletleri satın alma ve kullanma davranışları incelenmiş ve bu davranışlara yönelik bir model geliştirilmiştir. Örnek olay olarak da iklimlendirme aygıtları (*air-conditions*) incelenmiştir. Çizelge 3.1’de literatürdeki çeşitli

çalışmalarda enerji tasarrufu yatırımları için hesaplanan ortalama örtük iskontolama oranları gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 : Çeşitli enerji tasarrufu yatırımları için ortalama örtük iskontolama oranlarının kestirimi (Ansar ve Sparks, 2009).

Ortalama örtük iskontolama oranı	Çalışma	Yatırım tipi
0,61 – 1,08	Cole ve Fuller (1980)	Buzdolabı
0,45 – 3,00	Gately (1980)	Buzdolabı
0,34 – 0,58	Meier ve Whittier (1983)	Buzdolabı
0,69	Hwang ve diğ. (1994)	Buzdolabı
0,39 – 0,46	Revelt ve Train (1998)	Buzdolabı
0,84	Hwang,etal(1994)	Yakıt tipi su ısıtıcısı
0,67	Goett ve McFadden (1982)	Yakıt tipi su ısıtıcısı
0,32	Little (1984)	Isı koruyucu
0,26	Cole ve Fuller (1980)	Isı koruyucu
0,77	Train ve Atherton (1995)	İklimlendirme aygıtı
0,29	Hausman (1979)	Oda iklimlendirme aygıtı

Sonraki alt başlıklarda enerji paradoksunun neden oluştuğu, enerji verimliliği sektöru ve aktörleri ile sektörde uygulanan enerji verimliliği sözleşmeleri, bu alanlardaki literatür taraması desteği ile açıklanacaktır.

3.1 Enerji paradoksu literatürü

Enerji paradoksu ya da enerji verimlilik boşluğu adı altında bu sorunu inceleyen enerji literatüründe çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların bir kısmı, – çoğunluğu 1990’lı yılların başında yayınlanan – sorunun nedenlerini açıklamaya odaklanmış kavramsal çalışmalarken, diğer kısmı bu sorunun belirli bir nedenine ya da nedenlerine odaklanarak çözüm önerisi geliştiren modelleme ağırlıklı çalışmalardan oluşmaktadır. Bu bölümde literatürde yer alan çalışmaların odaklandığı temel noktalara değinilecektir.

3.1.1 Enerji paradoksunun nedenleri

Literatürdeki enerji paradoksunu inceleyen çalışmalar inceledikleri nedenlere göre çizelge 3.2’de gruplandırılmıştır. Çizelge incelendiğinde çalışmaların büyük çoğunluğunun enerji fiyatlarının belirsizliği hususunu dikkate aldıkları gözlemlenmiştir. Enerji fiyatlarının belirsizliği tüketici üzerinde risk algısı yaratması

nedeniyle enerji verimliliği proje yatırımlarının çok yüksek MÇVO değerlerine sahip olması sonucunu meydana getirmektedir.

Enerji paradoksu sorununun doğası gereği oluşan vekâlet ilişkisi ve meydana getirdiği asil-vekil sorunları literatürde çok incelenen diğer paradoks kaynaklarındandır. Bir diğer kaynak da sahip olunan bilginin tam olmaması, başka bir deyişle sahip olunan bilginin yetersizliği ya da yanlışlığıdır. Bu iki neden, sonraki bölümde açıklanacak pazar hataları kategorisinde yer almaktadır.

Çizelge 3.2 : Enerji paradoksu çalışmalarının inceledikleri nedenlere göre sınıflandırılması.

	Asil-vekil (vekâlet) sorunu / farklı amaçlar	Tam olmayan (yetersiz ve yanlış) bilgi / Bilgi boşlukları	Sınırlı rasyonellik/irrasyonellik	Kayıptan kaçınma	Yetersiz sermaye erişimi	Sermaye pazarındaki eksiklikler	Algılanan enerji verimliliği yatırım riski	Enerji fiyatlarının belirsizliği	Sermaye kısıtlaması	Gizli maliyetler	Yüksek işlem maliyetleri	Enerji verimliliği yatırımlarının dönüşümsüzlük özelliği	Bürokratik/organizasyonel sorunlar	Tüketicinin heterojen yapısı	Sosyolojik etkenler
Hirst ve Brown, 1990		X			X		X	X							
DeCanio, 1993	X		X												
Hassett ve Metcalf, 1994								X				X			
Sanstad ve Howarth, 1994		X	X												
Jaffe ve Stavins, 1994	X	X						X		X				X	
Johnson, 1994		X						X				X			
Thompson, 1997							X	X							
Weber, 1997													X		
DeCanio, 1998													X		
Shove, 1998															X
Metcalf ve Hassett, 1999							X								
Harris ve diğ., 2000							X								
Koopmans ve te Velde, 2001								X							
Mueller, 2006			X												
Sardianou, 2008		X				X	X						X		
Murtishaw ve Sathaye, 2006	X														
Graus ve Worrell, 2008	X														
Kounetas ve Tsekouras, 2008					X				X						
Schleich, 2009													X		
Ansar ve Sparks, 2009								X				X			
Jackson, 2010							X	X							

Çizelge 3.2 (devam): Enerji paradoksu çalışmalarının nedenlere göre sınıflandırılması.

	Asil-vekil (vekâlet) sorunu / farklı amaçlar	Tam olmayan (yetersiz ve yanlış) bilgi / Bilgi boşlukları	Sınırlı rasyonellik/irasyonellik	Kayıptan kaçınma	Yetersiz sermaye erişimi	Sermaye pazarındaki eksiklikler	Algılanan enerji verimliliği yatırım riski	Enerji fiyatlarının belirsizliği	Sermaye kısıtlaması	Gizli maliyetler	Yüksek işlem maliyetleri	Enerji verimliliği yatırımlarının dönüşümsüzlük özelliği	Bürokratik/organizasyonel sorunlar	Tüketicinin heterojen yapısı	Sosyolojik etkenler
Lin ve Huang, 2010								X				X			
Croucher, 2011 (görüş)	X	X		X	X										
Greene, 2011				X											
Lin ve Huang, 2011								X				X			
Maruejols ve Young, 2011	X														
Sorrell ve diğ., 2011	X	X	X		X		X			X					
Giraudet ve diğ., 2012	X	X						X		X				X	
Vernon ve Meier, 2012	X														
Bento ve diğ., 2012														X	
Bjørnstad, 2012	X														
Kumbaroğlu ve Madlener, 2012	X							X			X	X			
Phillips, 2012	X														

Yakın zamandaki araştırmalar incelendiğinde, en kapsamlı çalışmayı yapan Sorrell ve diğ. (2011), enerji verimliliği yatırımlarının önündeki engelleri altı başlığa indirmiş; risk, tam olmayan bilgi, saklı maliyetler, sermayeye erişim, ayrık amaçlar ve sınırlı rasyonellik. Genel literatürde ise, çok sayıda çalışma enerji paradoksuna neden olan etkenleri genel olarak iki ana başlık altında gruplamaktadır: Pazar hataları (*market failures*) ve pazar engelleri (*market barriers*). Pazar hataları aşağıdaki durumları içermektedir:

- Asil-vekil (vekâlet) sorunu (*principal-agent issues*)
- Yetersiz ve yanlış bilgi (*insufficient and inaccurate information*)

Bu nedenle oluşan davranışsal hatalar:

- Bilgi boşlukları (*information gaps*)
- Sınırlı rasyonellik (*bounded rationality*)

- Kayıptan kaçınma (*loss aversion*)

Pazar engelleri ise aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

- Yetersiz sermaye erişimi (*inadequate access to capital*)
- Sermaye pazarındaki eksiklikler (*capital market imperfections*)
- Enerji fiyatlarının belirsizliği (*energy price uncertainty*)
- Sermaye kısıtlaması (*capital rationing*)
- Gizli maliyetler (*hidden costs*)
- Yüksek işlem maliyetleri (*high transaction costs*)
- Enerji verimliliği yatırımlarının dönüşümsüzlük özelliği (*irreversible nature of energy efficiency investments*)
- Tüketicinin heterojen yapısı (*consumer heterogeneity*)

Bu nedenler aşağıda açıklanmaktadır.

3.1.1.1 Asil-vekil sorunu

Asil-vekil ya da diğer adıyla vekâlet sorunu, karar vericiyi enerji politikaları tarafından verilen fiyat işaretlerinden kısmen izole ettiği için ekonomik araçlara dayalı enerji politikaları için potansiyel bir engeldir (Graus ve Worrell, 2008). Asil-vekil sorunu enerji verimliliği literatüründe çokça incelenen bir konudur. Bu alandaki çalışmalarda varılan ortak kanıya göre, enerji verimliliği yatırımları ile ilgili sorunlar, asil-vekil sorunu mantığı ile anlaşılabilir (Howarth ve diğ., 2000).

Önceki bölümlerde anlatıldığı gibi, asil vekil sorununun temelinde bilgi asimetrisi ve ayrık amaçlar (*split incentives*) vardır. Enerji verimliliği bağlamında ele alındığında vekâlet sorunu asil ile vekil arasındaki anlaşma ilişkisine ve sistemdeki enerji verimliliğine etkisine odaklanır (IEA, 2007b). Buna örnek olarak ev sahibi/kiracı ilişkisi verilebilir. Ev sahibi elektrikli aletleri sağlarken, kiracı enerji faturalarını ödemekten sorumludur. Ev sahibi sermaye maliyetini düşürmek isterken (ucuz buzdolabı satın alma), kiracı enerji maliyetlerinden tasarruf etmek için enerji verimliliğini en büyükmek ister (enerji verimli ancak pahalı buzdolabı talebi). Böylece ayrık amaçların çatışması meydana gelir (IEA, 2007a). Asimetrik bilgi sorununa başka bir örnek olarak enerji verimliliği teknoloji bilgisini elinde

bulunduran satıcıların alıcılar üzerinden satış sonrası sağladığı faydalar verilebilir (Howarth ve Sanstad, 1995). Çizelge 3.3’de asil ya da vekilden kimin teknolojiyi seçtiğine ve kimin enerji faturasını ödediğine göre oluşturulmuş asil-vekil sorunlarına yer verilmiştir.

Çizelge 3.3 : Asil vekil modelleri (IEA, 2007a).

	(Asil) Teknolojiyi seçer	(Asil) Teknolojiyi seçemez
(Asil) Enerji faturasını öder	<i>Grup 1.</i> Asil vekil sorunu yok	<i>Grup 2.</i> Verimlilik sorunu
(Asil) Enerji faturasını ödemez	<i>Grup 3.</i> Kullanım ve verimlilik sorunu	<i>Grup 4.</i> Kullanım sorunu

3.1.1.2 Yetersiz ve yanlış bilgi / Sınırlı rasyonellik

Enerji verimliliği ile ilgili bilgi eksikliği, neden tüketicilerin maliyet etkin enerji verimliliği seçeneklerine yatırım yapmayı tercih etmediğini açıklayan genel bir kanıt olarak kabul edilmektedir (Croucher, 2011). Temel iddia, çeşitli nedenlerle, bireylerin bireysel enerji verimliliği fırsatları ya da farklı teknolojilerin enerji performansları ile ilgili bilgilerindeki yetersizliktir (Sorrell ve diğ., 2011).

Çeşitli türlerde bilgi eksikliği olabilmektedir. Birinci tip; enerji faturalarının içeriği, bilgi sistemleri, sayaç okuma düzeyleri, enerji tüketim bilgileri için analiz zamanı gibi enerji tüketimine dair bilgi yetersizliği olabilirken, ikinci tipi; değerlendirme ya da maliyet bilgisi olmaması nedeniyle belirli enerji fırsatları ile ilgili bilgi yetersizliği (Schleich, 2009) gibi eksiklikler oluşturmaktadır. Sorrell ve diğ. (2011) üçüncü tipi, yeni ve yenilenmiş binaların, tesislerin ve satın alınan donanımın enerji tüketim bilgisinin eksikliği olarak tanımlamıştır.

DeCanio (1998), bilgiyi değerlendirme ve kullanma zaman ya da becerisinde eksiklik olan firmaların “sınırlı rasyonellik” olarak adlandırılan bir durumda olacağını bulmuştur. Sınırlı rasyonellik, bir işlem ile ilgili bilgi bulmada ya da işlemede insan aklının yetersizliği ve kısıtlılığıdır ve belli bir belirsizlik düzeyine göre oluşur (Aubert ve diğ., 2004). Sınırlı rasyonellik, oyuncular yeterli motivasyon, teşvik ve bilgiye sahip olsa bile oluşabilmektedir (Sorrell ve diğ., 2011). Bu nedenle, enerji verimliliği iyileştirme fırsatları, tam bilgi ve teşvik yapıları uygun olsa bile ihmal edilebilmektedir (Schleich, 2009). Örneğin küçük motor son kullanıcıları, yeni bir motor alırken ya da eskisini değiştirirken sadece temin süresi ya da fiyatı dikkate alıp ürün çevrim süresini dikkate almamaktadırlar (de Almeida, 1998). Başka bir örnek

de enerji verimli ürünlerin daha verimsiz olan karşıtlarından daha pahalı olduğu inaniştir (IEA, 2007a). Halbuki uluslararası enerji ajansı raporunda bunun her zaman doğru olmadığını göstermiştir (IEA, 2007b).

3.1.1.3 Kayıptan kaçınma ve yüksek risk algısı

Enerji verimliliği uygulamalarının benimsenmesini etkileyen klasik davranışsal bir husus da kayıp farkındalığıdır (Croucher, 2011). Kayıp farkındalığında içinde risk içeren seçimlerde, potansiyel kayıplar, potansiyel kazançlardan daha yüksek ağırlıkta değerlendirilir, böylece kayıp olasılığı abartılır (Kahneman ve diğ., 1991; Greene, 2011). Tüketiciler, enerji verimli teknolojiyi benimseme evresinde oluşan duruma gelecekte elde edilecek tasarruflardan fazla odaklandığı için, bir enerji verimliliği projesi pozitif net şimdiki değere sahip olsa bile, tüketiciler bu yatırım yapmayacaktır (Croucher, 2011). Ayrıca, örtük iskonto oranı sorunu için finansal varlıkları fiyatlama modelini (CAPM - *Capital Asset Pricing Model*) uygulayan Sutherland'ın (1991) bulgularına göre yatırımcılar, belirsiz ve toplam yatırım portföy gelirleri ile pozitif korelasyona sahip olan varlıklardan yüksek getiriler beklemektedir (Howarth ve Sanstad, 1995).

Enerji verimliliği yatırımları ekonomik, finansal ve teknik riskler içermektedir. Gelecekteki enerji fiyatlarının belirsizliği, özellikle kısa dönemde ve yatırımların yavaş geri dönüşü, algılanan riskte artışa ve dolayısıyla daha sıkı yatırım ölçütlerine ve daha yüksek minimum çekici verim oranlarına sebep olmaktadır (Zilahy, 2004; Sardianou, 2008). Bu perspektiften bakan riskten kaçınan (*risk averse*) şirket yöneticilerinin enerji verimliliği teknolojilerine daha az yatırım yapması beklenmektedir (Schleich, 2009).

3.1.1.4 Yetersiz sermaye erişimi

Yetersiz sermaye erişimi de enerji verimliliği teknolojilerine yatırım yapmamak için bir engel olabilmektedir. Sermaye erişimi sorununun iki bileşeni bulunmaktadır; birincisi iç fonlarda yetersiz sermaye bulunması ve borç alma ve paylaşım hususlarında ilave fonların artırımında potansiyel zorluk; ikincisi ise, iç sermaye bütçeleme prosedürleri ile diğer organizasyonel kurallarda enerji verimliliğinin ihmal edilmesi (Sorrell ve diğ., 2011).

Eğer organizasyonların sermayeye erişimi sınırlı ise, yüksek faiz oranları ile borçlanmaları gerekir ve bu durum, enerji verimliliği projeleri uygulamalarını önler (Schleich, 2009). Örneğin, konut ve küçük ticari işletmeler büyük işletmelere göre daha yüksek finansal maliyetler ile yüzyüze gelmektedirler ve bu nedenle enerji verimliliği iyileştirmeleri yapmak için gerekli sermayeye erişememektedirler (IEA, 2007a). Vine (2005), paranın yüksek maliyetini de enerji verimliliği yatırımlarının önündeki finansal engellerden biri olarak sunmuştur. Bu görüşe paralel olarak, DeCanio'nun (1993) çalışması, firmaların tipik olarak enerji verimliliği yatırımlarının, sermayenin firmaya maliyetinden daha fazla MÇVO'ya sahip olduğunu göstermiştir.

3.1.1.5 Sermaye pazarındaki eksiklikler

Endüstriler, gelecekteki teknolojiler için karar verirken, sermaye sınırlandırması gibi pazar eksiklikleri ile yüzyüze gelebilmektedirler. Sermaye sınırlaması, yeni bir yatırıma yüksek sermaye maliyeti kullanarak ya da azami sermaye bütçesi belirleyerek sınır koyma olarak tanımlanabilir. Sermaye sınırlaması nedeniyle endüstriyel firmalar tipik olarak enerji yatırımları için yüksek MÇVO kullanmaktadır (Sardianou, 2008).

Enerji verimliliği pazarının genellikle ürün pazarlarının ardından ikincil gelmesi de bir pazar eksikliğidir (IEA, 2007a). Örneğin elektrikli aletlerde bekleme (*standby*) gücünün televizyon izleme ya da müzik dinleme hizmet sağlama paketinin küçük bir parçası olması verilebilir. Araçlardaki yakıt ekonomisi de üretilen modellerdeki çok geniş özellikler paketinin bir parçası olmaktadır. Bu durumlarda görüldüğü gibi enerji verimliliği tam bağımsız bir pazar halinde değildir.

3.1.1.6 Enerji fiyatlarındaki belirsizlik

Enerji fiyatları teknolojik gelişmelerden dolayı artan talepler, kaynakların kıtlığı ve ekonomik dalgalanmalar nedeniyle zaman içinde değişkenlik göstermektedir. Aggarwal ve diğ. (2009) elektrik fiyat eğrisinin özelliklerini; yüksek frekans, sabit olmayan ortalama, çoklu mevsimsellik, yüksek volatilité düzeyi ve yüksek yüzdeli normal olmayan fiyat hareketleri şeklinde sıralamıştır. Elektriğin bu özelliklerinin diğer piyasa araçlarından da ayıran aşağıdaki nedenler oluşturmaktadır (Aggarwal ve diğ., 2009)

1. Elektrik enerjisinin depolanamaması
2. Arz ve talep arasında sabit bir denge tutturulması gerekliliği
3. Kısa dönem için talebin esneyememesi
4. Üretim tarafında az sayıda üreticinin bulunduğu yapı

Enerji verimliliği yatırımları da enerji fiyatlarındaki dalgalanmalardan dolayı yüksek risk içermektedir. Metcalf (1994) çalışmasında, eğer enerji fiyatlarında belirsizlik varsa, konut tüketicileri ya da işletmelerin enerji verimliliği opsiyonlarına yatırım yapması gerektiğini işaret eder; çünkü enerji verimliliği opsiyonları, ekonominin diğer alanlarındaki risklere karşı daha güvenli (*hedge*) durumdadır (Croucher, 2011).

Daha verimli bir enerji verimli teknolojiye yatırım yapma, eğer yeni teknoloji kullanılmaya başladıktan sonra enerji fiyatları düşerse, kâr getirmeyen bir duruma gelebilir (DeCanio, 1993; Sardianou, 2008; Schleich, 2009). Eğer enerji fiyatları stokastik ise, belirli bir enerji tasarrufu projesini benimsemeyi ertelemek optimal olacaktır (Sardianou, 2008). Ansar ve Sparks (2009), enerji fiyatlarının belirsizliğini, gelecekte teknolojiye ilerlemeler ile maliyetlerde azalma olacağı argümanı ile birleştirerek ve opsiyon kavramını da dikkate alarak enerji verimliliği yatırımlarının ileri bir tarihte yapılmasının yararının ve kazancının daha yüksek olacağını kanıtlayan bir model geliştirmiştir.

3.1.1.7 Saklı maliyetler

Enerji paradoksunun bir nedeni de firmaların enerji verimli teknolojileri kullanmaya başladığı zamanki öngörülemeyen saklı maliyetlerdir. Bu maliyetler, enerji verimliliğinin fayda ve maliyet hesaplarında ihmal edilmiştir (Howarth ve Sanstad, 1995).

Saklı maliyetlerin farklı türleri vardır. Enerji verimli teknolojilerin ikincil performansından dolayı oluşan maliyetler (*utility cost*) saklı maliyetlerin bir türüdür. Bunlara örnek olarak; enerji verimli kompakt floresan lambaların farklı kalitede aydınlık sağlaması (Howarth ve Sanstad, 1995), değişken hızlı sürücülerin daha fazla bakım ve eğitim gerektirmesi, gürültüde artış vb. verilebilir (Schleich, 2009). İkinci tür saklı maliyetler, üretim maliyetlerinin parçası da sayılabilecek fırsatların tanımlanması, ayrıntılı araştırma ve tasarım, kredi kabulü için resmi süreç ve prosedürler ve donanımın tesisi esnasında üretimin durması gibi örneklerdir. Üçüncü

tür işlem maliyetlerinin de bir kısmını oluşturan yetersiz bilgiden kaynaklı araştırma maliyetleridir (Sorrell ve diğ., 2011). Çizelge 3.4’de saklı maliyetlerin türleri örnekler ile daha ayrıntılı açıklanmaktadır.

Çizelge 3.4 : Farklı saklı maliyetler (Sorrell ve diğ., 2011).

Saklı maliyet türleri	Örnekler
Genel enerji yönetim maliyetleri	• Uzman (enerji yöneticisi) işe alma • Enerji bilgi sistem maliyetleri (enerji tüketim verisi toplama, sayaç bakımı, hata belirleme, veri analizi) • Enerji denetim maliyetleri
Bireysel teknoloji kararlarının neden olduğu maliyetler	• Fırsatların belirlenmes, ayrıntılı araştırma ve tasarım, yatırım performans maliyetleri • Sermaye harcamaları için onayını almak için resmi prosedürlerin maliyetleri • Üreticiler ile müteahhitler için spesifikasyon ve teklif maliyetleri • Bakım için harici personel maliyetleri • Personelin eğitim, yer değişim ve erken emeklilik maliyetleri
Enerji verimliliği seçimleri ile ilgili fayda kayıpları	• Güvenlik, gürültü, çalışma koşulları, hizmet kalitesi v.b. sorunlar • İlave bakım, düşük güvenilirlik

3.1.1.8 Yüksek işlem maliyetleri

İşlem maliyetleri genel olarak firma ya da bireylerin herhangi bir mal ve/veya hizmete ulaşmak için geçirdiği zaman, istenilen mal ya da hizmete ulaşmak için yapılan tüm araştırma, ulaşma ve pazarlık-takip çabalarına ilişkin giderlerin toplamıdır. Williamson (1985), doğrudan ya da dolaylı şekilde, bir sözleşme sorunu olarak formüle edilebilen her sorunun işlem maliyetleri kavramlarının üstünlüğü ile incelenebileceğini ifade etmiştir (Reindfleisch ve Heide, 1997).

İki tip işlem maliyeti oluşma nedeni vardır:

1. *Ex-ante* (sözleşme müzakereleri esnasında) işlem maliyetleri
2. *Ex-post* (sözleşme icrası esnasında) işlem maliyetleri

Sözleşme yapılmadan önce alıcı araştırma ve satıcı pazarlama maliyetlerine maruz kalmaktadır. Diğer maliyetleri, bilgi toplama, taslak oluşturma, müzakere gibi maliyetler oluşturmaktadır. Daha sonra bunlara hukuki danışmanlık, koruma ve garanti düzenlemeleri vb. gibi maliyetler eklenmektedir. İşlemin taahhütleri tamamlandıktan sonra ise denetim, pazarlık, tekrardan müzakere, anlaşmazlık sonucu oluşan yatırım kaybı gibi maliyetler de sözleşmenin uygulandığı esnada oluşan

maliyetleri göstermektedir. Vine (2005), uluslararası ölçekte EVD şirketleri üzerine yaptığı çalışmada bu sektördeki işlem maliyetlerini şu şekilde tanımlamıştır: Enerji verimli teknolojik donanımın belirlenmesi, satın alma, kurma, devreye alma ve bakım maliyetleri ile EVD şirketlerinin bilgi arama vb. süreçleri, projelerdeki gecikme zamanı, anlaşma için tüketilen zaman, performans sözleşmesini yönetme maliyetleri, iş gücü eksikliği ve genel idari maliyetler.

Sorrell'in (2007) yaklaşımına göre, firmalar için enerji hizmet sözleşmeleri, sadece enerji tasarruf maliyetlerindeki azalmanın enerji hizmet tedarikçisi ile pazarlık ve ilişki yönetiminden kaynaklanan işlem maliyetlerinden yüksek olduğu durumlarda yapılmalıdır. Bu yaklaşıma benzer olarak Howarth ve Anderson (1993), rekabete dayalı bir pazarda enerji kullanan donanımı için kullandıkları arz-talep modelinde, işlem maliyetlerinin alıcı-satıcı arasındaki bilginin verimli transferini engellemesi halinde rasyonel üretici ve tüketicilerin maliyet-etkin enerji verimli teknolojileri uygulayamayacağını bulmuştur.

İşlem maliyetlerinin yüksekliği, enerji verimliliği yatırımlarının önündeki engellerden biri olarak görünse de aslında öyle olmayabilir. Örneğin bir enerji verimli motor satın alma ile ilgili işlem maliyetlerinin, motorun büyüklüğü arttıkça toplam yaşam döngüsü içindeki oranı düşmektedir. Ayrıca bir motorun değiştirilmesi gerekirse verimli motorun işlem maliyeti olduğu gibi verimsiz olanın da işlem maliyetleri söz konusu olacaktır. Ayrıca işlem maliyetleri öğrenme etkisiyle zamanla düşecektir. Bu nedenle sabit ve değişmez olarak görülmemelidir (Sorrell ve diğ., 2011).

3.1.1.9 Enerji verimliliği yatırımlarının dönüşümsüzlük özelliği

Enerji verimliliği yatırımları yapıldıktan sonra geri dönüş olanaklı olmamaktadır. Bu nedenle bu yatırım maliyetleri batık maliyetler (*sunk costs*) olarak da adlandırılmaktadır. Hassett ve Metcalf (1994), enerji verimliliği yatırımlarında oluşan yüksek iskonto oranlarını yatırımların geri dönüşümsüzlüğü teorisiyle açıklamışlardır (Thompson, 1997). Enerji verimliliği yatırımları batık maliyet getirdiği ve gelecekteki enerji fiyatları belirsiz olduğu için normal belirsizliğin olmadığı durumda oluşabilecek iskonto oranlarının dört-beş katını bulması beklenmektedir.

3.1.1.10 Tüketicinin heterojen yapısı

Ekonomik ya da ekonometrik çalışmalarda heterojenlik kavramı, çalışılan birimlerdeki farklılığı ifade eder. Enerji paradoksu sorunu açısından düşünüldüğünde, eğer bir enerji verimli teknoloji ortalama olarak maliyet etkin ise ortalamadan uzak olan birey ya da firmalar için büyük olasılıkla maliyet etkin olmayacaktır. Bu bakış açısıyla, enerji tüketimi ile ilgili belirli bir teknoloji heterojen yapıda ise ana kitlenin belirli bir oranı için çekici gelmeyebilir (Jaffe ve Stavins, 1994). Örneğin kışın yaşanan bir konutta elektrikle ısınma ekonomik olmayabilirken, yazlık olarak kullanılan bir ev için düşük maliyetli bir alternatif olabilmektedir (Howarth ve Sanstad, 1995). Bento ve diğ. (2012) bulgularında enerji paradoksu üzerine çalışmalarda gelecekteki yakıt tasarrufları konusunda tüketicilerin marjinal satın alma isteğinin heterojenliğinin göz ardı edildiğini görmüştür. Kurdukları modelin analizinde, heterojenlik arttıkça, marjinal satın alma isteğinin normalin altında değerlendirildiğini bulmuşlardır.

3.1.1.11 Organizasyonel ve bürokratik etkenler

Organizasyonel kısıtlar, mevcut üretim süreçlerine yeni teknolojiyi dahil etmedeki zorluklar olarak düşünülebilir (DeCanio, 1993; Sardianou, 2008). Genel kaniya göre çekirdek iş faaliyeti olmadığı için enerji verimliliği genellikle yönetim tarafından dikkate alınmaz (Howarth ve Anderson, 1991). Bazı yöneticiler de enerji dönüşüm projelerini nasıl yürüteceklerini ya da enerji tasarruf faydalarını nasıl hesaplayacaklarını bilemedikleri için teknolojik değişimlere direnç göstermektedirler (Harris ve diğ., 2000; Tonn ve Martin, 2000; Sardianou, 2008).

Devletten finansal destek almadaki bürokratik prosedürler ve enerji tasarruf kayıtlarını doğru tutmak da önemli enerji verimliliği yatırım sorunlarından (Hepbaşlı ve Özalp, 2003; Zilahy, 2004). Vine (2005), bu alandaki kilit engelleri aşağıdaki gibi sıralamıştır:

- Enerji verimliliği ve EVD şirketleri endüstrisi için devletin politika ve liderlik eksikliği
- Kamu satın alma kural, sözleşme ve prosedürlerinde EVD şirketlerinin verdiği hizmetler ile ilgili bütçeleme ve standardizasyonun eksikliği
- Yüksek ekonomik ve politik belirsizlik

- Diğer devlet politikaları ile uyumsuzluklar
- Enerji performans sözleşmelerinin çıkarlarını korumak için yasal bir çerçevenin olmaması

3.1.2 Enerji paradoksu sorunu üzerine yöntem ya da model geliştiren çalışmalar

Enerji paradoksu çalışmalarında paradoksu açıklamak ya da çözmek için çeşitli yöntemlerden yararlanılmıştır. Bu çalışmalar incelendiğinde literatürdeki enerji paradoksu çözümlenmesi, istatistiksel modeller, benzetim modelleri, ekonomik risk modelleri ve sayısallaştırılmış asil-vekil modellerinin yer aldığı gözlemlenmiştir. Bu yaklaşımlardan kategorik olarak aşağıda bahsedilmektedir.

3.1.2.1 Enerji paradoksu üzerine istatistiksel çalışmalar

Enerji paradoksu literatüründe yöntem temelli çalışmaların en çok uyguladığı yaklaşım istatistiksel yöntemler olmuştur. DeCanio (1998), enerji verimliliği yatırımlarında hem ekonomik hem de organizasyonel etkenlerin, gözlemlenen getirilerdeki değişkenlikleri etkilediğini iddia etmiş, ekonomik ve organizasyonel etkenlerin bağımsız değişken ve geri ödemenin bağımlı değişken olduğu bir regresyon modeli oluşturmuş. Üç binden fazla Green Lights projesinin geri ödeme süreleri ve verim oranı istatistiksel verileri toplanmış ve sonuç olarak, geri ödemeyi etkilemede sadece ekonomik etkenlerin değil organizasyonel etkenlerin de etkilediği belirlenmiş.

Enerji verimliliği yatırımları için endüstriyel karar verme sürecinin ana belirleyicilerini araştıran Sardianou (2008), Yunan endüstrisinde uygulanan bir ankete dayanan ampirik probit modelleri uygulamıştır. Enerji verimliliği yatırımlarındaki enerji verimlilik boşluğuna neden olan finansal kısıtlar, bürokratik sorunlar, enerji fiyatlarındaki belirsizlik, enerji dönüşüm fırsatları hakkında yetersiz bilgi gibi geniş yelpazede bir çok engel belirlemiştir.

Kounetas ve Tsekouras (2008) da 161 enerji tasarrufu teknolojisi benimseyen Yunan firmasına uygulanan bir anket verileri için rastgele budama (*incidental truncation*) modeli kurmuş ve çalışmanın bulgularına göre, enerji tasarrufu teknolojilerinin benimsenmesi ile bu yatırımlardan elde edilen varlık getirilerinin birbirleri ile korelasyonu oldukça yüksek çıkmıştır. İkinci bir sonuca da göre, imalat alanında enerji tasarruf projelerinin benimsenme hızı firma büyüklüklerinden belirgin şekilde etkilenmektedir.

Harris ve diğ. (2000) Avustralya’da altı yıl boyunca Commonwealth Government's İşletme enerji denetim programına (Enterprise Energy Audit Program - EEAP) katılan 100 firmaya anket uygulayarak enerji verimliliği projelerine yatırım yapma kararlarına etki eden etkenleri araştırmıştır. En önemli neden yeni teknoloji bilgi edinmenin yüksek maliyet ve risk içermesi olarak görülmüştür. Yatırımların yapılmasını desteklemek için programın çeşitli teşvikler vermesi önerilmiştir.

Metcalf ve Hassett (1999), belirli bir veri kümesi kullanarak çatı izolasyon proje getirilerini istatistiksel olarak analiz etmiş ve sonuçları finansal varlıkları fiyatlama modeli (CAPM - *Capital Asset Pricing Model*) modeli sonuçları ile karşılaştırmıştır. İki sonucun da birbirine yakın olması nedeniyle enerji paradoksu sorununun bu projelerde beklenenden zayıf olduğu kanaatine varılmıştır.

Mueller (2006), kojenerasyon (*combined heat and power*) teknolojilerini benimseyen ve benimsemeyen firmaları *binary logit* model kullanarak karşılaştırmış ve bu teknolojilerin tanıtımının yapılmasını ve düzenleyici yapıların kurulmasını önermiştir.

Schleich’in (2009) Alman ticaret ve hizmet sektöründen geniş bir örnekleme dayanan çalışmasında, sektörel ve 15 alt sektör düzeyinde enerji verimliliği engel tiplerinin ekonometrik değerlendirmesini yapmıştır. Sonuçlara göre çalışan zaman eksikliği, örgüt içindeki önceliğin belirlenmesi ve özellikle yatırımcı/kullanıcı ikilemi en önemli engeller olarak bulunmuştur. Sektör özelindeki farklara bakıldığında, bu tekil engeller heterojen bir resim çizmektedir ve istatistiksel olarak en belirgin engel de alt sektörlerin kamu yönetimi olarak çıkmıştır.

Bjørnstad (2012), Norveç’te bir hane halkı destek programına katılan 896 örneklem hacimli anket ile, yapılan yatırım ile ilgili toplam memnuniyet derecesine bakarak programın başarısını ölçmeyi amaçlamıştır. Memnuniyet derecesini etkileyen ekonomik değişkenler; yatırımın büyüklüğü, programdan alınan destek ve gelecekteki elektrik tasarrufu şeklinde belirlenmiş ve memnuniyet derecesi beşli ölçek ile ölçülmüştür. Teknik, demografik, davranışsal, konfor değişkenleri için de veriler toplanarak ANOVA ve çoklu regresyon yöntemleri uygulanmıştır. Çalışma bulgularında, iki tip ısıtma teknolojisi (*heat pump* ve *pellet stove*) karşılaştırılmış, yapılan yatırımlardan ısı pompalarının ekonomik getirisi yüksek olmuş fakat bu farkın yatırım memnuniyetini etkilemediği görülmüştür.

Çizelge 3.5’de bu çalışmalar, inceledikleri etkenler, kullandıkları yöntemler ve ulaştıkları sonuçlar açısından özetlenmiştir.

Çizelge 3.5 : Enerji paradoksu üzerine istatistiksel çalışmalar.

	Ana odak	Yöntem/model	Sonuçlar
DeCanio, 1998	Ekonomik ve organizasyonel etkenlerin paradoksa etkileri	Çoklu regresyon	Sadece ekonomik etkenler değil, organizasyonel etkenler de geri ödemeyi etkiler.
Metcalf ve Hassett, 1999	Tahmini ve gerçekleşen getirilerin karşılaştırılması	Regresyon ve finansal varlıkları fiyatlama modeli (CAPM)	İki analizin sonucu birbirine yakın olduğu için, enerji paradoksu sorunu bu projelerde beklenenden zayıf.
Harris ve diğ., 2000	Enerji verimliliği projelerine yatırım yapma kararlarına etki eden etkenlerin belirlenmesi		En önemli neden yeni teknoloji bilgi edinmenin yüksek maliyet ve risk içermesi
Mueller, 2006	Enerji verimliliğini arttıran kombine gaz çevrim santralleri (<i>Combined Heat and Power</i>) teknolojilerinin edinimini etkileyen düzenleyici gerekliliklerin etkisini test etme	Binary logit model	Bu teknolojiler hakkında bilgi veren programlara odaklanması ve bu teknolojilerinin yönetimi için alternatif düzenleyici yapıların yayılması
Sardianou, 2008	Enerji verimliliği yatırımları için endüstriyel karar verme sürecinin ana belirleyicilerinin belirlenmesi	Probit modeli	Enerji verimliliği boşluğuna neden olan etkenler inansal kısıtlar, bürokratik sorunlar, enerji fiyatlarındaki belirsizlik, enerji dönüşüm fırsatları hakkında yetersiz bilgi şeklinde bulunmuştur.

Çizelge 3.5 (devam): Enerji paradoksu üzerine istatistiksel çalışmalar.

	Ana odak	Yöntem/model	Sonuçlar
Kounetas ve Tsekouras, 2008	Enerji paradoksununun kısmi gözlem yaklaşımı ile incelenmesi	Rastgele budama (incidental truncation) modeli	Enerji tasarrufu teknolojilerinin edinimi ile bu yatırımlardan elde edilen varlık getirileri yüksek derecede korelasyona sahip ve enerji tasarruf projelerinin edinim hızı imalat sektöründe firma büyüklüklerinden belirgin şekilde etkileniyor.
Schleich, 2009	Sektörel ve 15 alt sektör düzeyinde enerji verimliliği engel tiplerinin ekonometrik değerlendirmesi		Çalışan zaman eksikliği, örgüt içindeki önceliğin belirlenmesi ve özellikle yatırımcı/kullanıcı ikilemi en önemli engellerdir. Alt sektörlerdeki en belirgin engel, kamu yönetimi
Bjørnstad, 2012	Hane halkı destek programına yapılan yatırım ile ilgili toplam memnuniyet derecesine bakılarak programın başarının ölçülmesi	ANOVA ve çoklu regresyon	Isı pompalarının ekonomik getirisi diğer ısıtma teknolojilerinden daha yüksek. En yüksek faydalar, teknik kalite, iç atmosfer ve ısı konforu. Hizmet bulunabilirliği ve elektrik fiyatları memnuniyeti etkiliyor.

3.1.2.2 Enerji paradoksu üzerine benzetim çalışmaları

Enerji paradoksu konusunda ilk yapılan çalışma Hassett ve Metcalf'ın (1994) enerji dönüştürme (*conversion*) yatırımlarındaki MÇVO değerlerini incelediği çalışma sayılabilir. Bu yatırımlarda bulunan yüksek iskonto oranlarının ana nedeninin irrasyonel kararlar ya da pazardaki eksikliklerden öte batık maliyetler ve enerji fiyatlarındaki stokastik değişimler olduğunu ileri sürmüştür. Buna kanıt olarak da bulgularında MÇVO değeri, geleneksel risk dengelenmiş iskonto oranı ile fiyat trend artış oranı arasındaki farkın 4 katı çıkmıştır.

Greene (2011), enerji paradoksunun ana nedenini belirsizlik ve tüketicinin kayıptan kaçınma davranışının oluşturduğunu öne sürerek bu sapmanın sayısallaştırılabileceğini düşünmektedir. Kurduğu modelde, kayıptan kaçınan (*loss averse*) bir tüketicinin algısında kayıp ağırlık katsayısının kazanç ağırlık katsayısından yüksek olacağını öngörüyor. Yapılan Monte Carlo benzetiminde, tüketicinin yakıt ekonomisi için şimdiki değerlerin olasılık dağılımını bularak bir karar modeli geliştirilmiştir. Bento ve diğ. (2012) de yakıt ekonomisinde bir Monte Carlo benzetim yaklaşımı geliştirmiştir. Tüketicilerin iskontolanmış enerji maliyetlerini normalin altında değerlemelerinden hareketle, heterojenliğin değişken olarak kullanıldığı bir logit model kurmuş, modelin rassal katsayılarının marjinal

ödeme isteğini tanımladığı durumda, model çalıştırıldığında heterojenliğin marjinal ödeme isteğini normalin altında değerlendirilmesine neden olduğunu tespit etmiştir.

Giraudet ve diğ. (2012) aşağıdan yukarı mühendislik modelleri ve yukarıdan aşağı ekonomik modelleri birleştiren hibrit bir model geliştirmiştir. Gelecekteki enerji fiyatı girdisindeki artışı dikkate alan hesaplamalı genel denge modeli, gelecekteki enerji talebi için senaryolar üretmektedir. Modelin enerji paradoksu açısından yeniliği, enerji verimliliği (*efficiency*) ve enerji yeterliliği (*sufficiency*) kavramlarını ayırması, pazar hatalarını ve engellerini modelde çeşitli parametreler olarak tanımlaması ve geri tepme etkisini (*rebound effect*) de modele katması olarak kabul edilebilir. (Geri tepme etkisi, yeni teknolojinin verimliliği arttırmasına karşı gelişen davranışsal ya da sistemsel cevap olarak tanımlanabilir. Örneğin geliştirilen yeni araç %50 kadar yakıt tasarrufu sağlar. Ancak eski aracıyla haftada 50 km yapan kişi, bu yeni araçla; "nasıl olsa az yakıyor" diye haftada 200 km yapar. Böylece enerji tüketimi artmış olur). Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre, enerji verimliliği ve yeterliliği karşısındaki engeller kaldırılabilirse, 2050 yılında mevcut konutlarda enerji talebinin %37'si, fazladan yapılacak olanlarda da %21'i oranlarında azalma sağlanabilir.

Koopmans ve de Velde (2001) aşağıdan yukarı ekonometrik modellerdeki bilgilerde gerçekçi olmayan yüksek iskonto oranları ile enerji verimliliği boşluğunun tanımlanamadığını iddia etmektedir. Geliştirdikleri yukarıdan aşağı enerji talep modelinde enerji tasarrufu teknolojileri ile ilgili aşağıdan yukarı bilgileri kullanmışlardır. Geçmiş verilere dayalı yapılan benzetimler ile enerji talepleri hesaplanmıştır.

Çizelge 3.6'da enerji paradoksu ile ilgili benzetim modelleri içeren çalışmalar gösterilmiştir.

Çizelge 3.6 : Enerji paradoksu üzerine benzetim çalışmaları.

Yazarlar	Ana odak	Yöntem/model	Sonuçlar
Hassett ve Metcalf, 1994	Enerji dönüştürme (<i>conversion</i>) yatırımlarındaki MÇVO değerlerini incelenmesi		Bu yatırımlarda bulunan yüksek iskonto oranlarının ana nedeni batık maliyetler ve enerji fiyatlarındaki stokastik değişimler

Çizelge 3.6 (devam): Enerji paradoksu üzerine benzetim çalışmaları.

Yazarlar	Ana odak	Yöntem/model	Sonuçlar
Koopmans ve de Velde, 2001	Yukarıdan aşağı (<i>top-down</i>) enerji talep modelinde enerji tasarrufu teknolojileri ile ilgili aşağıdan yukarı (<i>bottom-up</i>) bilgileri kullanma	Geçmiş verilere dayalı benzetim	Enerji taleplerinin hesaplanması
Greene, 2011	Enerji paradoksunun ana nedenini belirsizlik ve tüketicinin kayıptan kaçınma davranışı kabulü ile bu sapmayı sayısallaştırma	Monte Carlo benzetimi	Tüketicinin yakıt ekonomisi için şimdiki değerlerin olasılık dağılımını belirleyerek bir karar modeli geliştirme
Bento ve diğ., 2012	Tüketicilerin iskontolanmış enerji maliyetlerini normalin altında değerlemeleri	Logit model ve Monte Carlo benzetimi	Marjinal ödeme isteğinin normalin altında değerlendirilmesinin nedeni heterojenlik
Giraudet ve diğ., 2012	Aşağıdan yukarı mühendislik modelleri ve yukarıdan aşağı ekonomik modelleri birleştiren hibrit bir model geliştirme	Senaryo modeli	Enerji verimliliği ve yeterliliği karşısındaki engeller kaldırılabilirse, 2050 yılında mevcut konutlarda enerji talebinin %37'si, fazladan yapılacak olanlarda da %21'i oranlarında azalma öngörüsü

3.1.2.3 Enerji paradoksu üzerine risk modelleri

Enerji verimliliği yatırımlarının yüksek iskonto oranlarının oluşma nedeni olarak enerji yatırımlarının içerdiği risk kavramını, enerji paradoksu literatüründe yer alan çok sayıda çalışma enerji verimliliği boşluğunu açıklamak için kullanmıştır. Riski modellemede çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir.

Thompson (1997), Enerji verimliliği yatırımlarının klasik yatırım yaklaşımı yerine iskontolama sürecine risk etkeninin de eklenmesini önermiştir. Maliyetleri negatif fayda olarak kabul etmekte ve riskli yatırımları iskontolarken risk etkeninin dikkate alındığı risksiz yatırıma göre farklı bir oran kullanılması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Jackson (2010), enerji verimliliği projelerinin değerlendirilmesinde kullanılan geleneksel iskontolanmış nakit akışı yöntemlerini (şimdiki değer analizi (NPV-*Net Present Value*, iç verim oranı (IRR-*Internal Rate of Return*), geri ödeme süresi (PB-*Payback*)) incelemiş ve eksiklikleri göstererek bir risk yönetim modeline olan ihtiyacı belirtmiştir. Finansal değerlemede kullanılan *Value-at-Risk* (VaR) modelini enerji verimliliği analizinde kullanmak için değiştirmiş ve *Energy-Budgets-at-Risk* (EBaR) şeklinde genişletmiştir. Geçmiş hisse senedi fiyatları ya da diğer finansal

değerler, VaR analizinde, bir hisse senedi portföyünün pazar değeri üzerindeki ters etkilerin olasılığını hesaplamakta kullanılmaktadır. Bu yöntemin enerji verimliliği yatırımlarına uygulanması için geliştirilen EBaR uygulaması, geçmiş enerji kullanımı verilerini, hava verilerini, enerji tasarruf analizi ve diğer etkenleri kullanarak herhangi bir verimlilik yatırımı ile ilgili riski belirlemede kullanılmasını önermektedir. Hesaplamalarda yatırımın belirsizlik özellikleri, Monte Carlo benzetimi kullanılarak güven aralıkları dikkate alınarak çıktıların olasılık dağılımları şekline dönüştürülmüştür.

Hasset ve Metcalf (1993) ile Johnson (1994), Sutherland'in (1991) enerji verimliliği yatırımlarının örtük iskonto oranlarının yüksek çıkması yaklaşımına benzer bir sav geliştirmişlerdir. Buna göre, gelecekteki elektrik fiyatlarının, sermaye maliyetlerinin ve teknik ilerlemelerin belirsizlikleri ile enerji verimliliği yatırımlarının dönüşümsüzlüğünün kombinasyonunda geleneksel yatırım modellerinin tahmin ettiği optimal getiri oranının üzerinde bir değer beklenmelidir. Bu yaklaşımın temelinde gerçek opsiyon teorisi yatmaktadır.

Enerji verimliliği yatırımlarına gerçek opsiyon yaklaşımını ilk uygulayan Ansar ve Sparks'tır (2009). İddiaları enerji tasarruf teknolojisine yapılan yatırımın ertelenmesinin zaman içinde opsiyon değeri sağlayacağı ve kazancın daha yüksek olacağıdır. Getirdikleri ikinci yenilik de enerji paradoks çalışmalarında işlenen enerji fiyatlarının artışından dolayı oluşan erteleme opsiyon değerine, enerji teknolojilerinin tasarrufu arttırma ve teknolojinin edinimi hızının (deneyim eğrisi) da eklenmesidir. Kurdukları model, enerji tasarrufundan elde edilecek faydanın geometrik Brownian hareketi ve Poisson jump sürecini takip ettiğini kabul eder. Çalışma sonucunda ise U-şekilli MCVO (*hurdle rate*) bulunmuştur

Lin ve Huang (2010), Ansar ve Sparks'ın (2009) geliştirdiği modeli, henüz enerji tasarrufu donanımlarına yatırım yapmamış firmalar için giriş-çıkış stratejileri altında karar modeli oluşturmak için geliştirmiştir. Kurdukları modelde aynı stokastik denklemi kullanmışlar ve yatırımı iptal etme ve projeye başlama optimal zamanları hesaplanmıştır. Başka bir yenilik olarak da enerji tasarruflu donanımın belirli bir zaman sonra bozulacağı ve hurdaya ayrılacağı, bu nedenle her n senede yenileneceği de göz önüne alınarak modele eklenmiştir. Aynı yazarlar 2011 yılında yaptıkları çalışmada gerçek opsiyonlar ile geleneksel Tobin q modelini birleştirmişler ve enerji verimliliği projelerine yatırım yapmak ve kârlı olmadığı anlaşıldığında projeden

çekilmek için yeni bir Tobin q modeli önermişlerdir. Tobin q yaklaşımında iskontolanmış gelecekteki fayda ile maliyet arasındaki q oranının geometrik Brownian hareketi ve poisson (*jump*) süreci izlediği kabul edilmektedir.

Çizelge 3.7’de enerji paradoksu çözümlemesinde risk ve opsiyon modelleri kullanan çalışmalar yer almaktadır.

Çizelge 3.7 : Enerji paradoksu üzerine risk çalışmaları.

Yazarlar	Ana odak	Yöntem/model	Sonuçlar
Hasset ve Metcalf, 1993; Johnson, 1994	Enerji verimliliği yatırımlarının örtük iskonto oranlarının yüksek çıkması	Belirsizliğin değeri / opsiyon yaklaşımı	Gelecekteki elektrik fiyatlarının, sermaye maliyetlerinin ve teknik ilerlemelerin belirsizlikleri ile enerji verimliliği yatırımlarının dönüşümsüzlüğü kombinasyonunda geleneksel yatırım modellerinin tahmin ettiği optimal getiri oranının üzerinde değer beklenmesi
Thompson, 1997	Enerji verimliliği yatırımlarının klasik yatırım yaklaşımı yerine iskontolama sürecine risk etkeninin de eklenmesini	İskontolanmış nakit akışı	Kazancı ve maliyeti farklı değerler ile iskontolayarak değerlendirme
Jackson, 2010	Geleneksel nakit akış yöntemlerindeki eksiklerden dolayı bir risk yönetim modelinin gerekliliği	<i>Value-at-Risk</i> (VaR) modeli - Monte Carlo benzetimi	VaR yöntemini, geçmiş enerji kullanımı verilerini, hava verilerini, enerji tasarruf analizi ve diğer etkenleri kullanarak enerji verimliliği yatırımlarına uygulama (EBaR)
Ansar ve Sparks, 2009	Enerji tasarruf teknolojilerine yapılan yatırımın ertelenmesinin kazancı arttırması	Dixit ve Pyndick'in (1994) gerçek opsiyon modeli	Stokastik modelin sonucu U-şekilli MÇVO (<i>hurdle rate</i>)
Lin ve Huang, 2010	Henüz enerji tasarrufu donanımlarına yatırım yapmamış firmalar için giriş-çıkış stratejileri altında karar modeli oluşturma	Dixit ve Pyndick'in (1994) gerçek opsiyon modeli	Yatırımı iptal etme ve projeye başlama optimal zamanlarını belirleme
Lin ve Huang, 2011	Enerji verimliliği projelerine yatırım yapmak ve kârlı olmadığı anlaşıldığında projeden çekilme zamanını belirleme	Dixit ve Pyndick'in (1994) gerçek opsiyon modeli ve Tobin q	Yeni bir Tobin q yöntemi belirleyerek projeden çekilme zamanını belirleme

3.1.2.4 Enerji paradoksu üzerine sayısallaştırılmış asil-vekil çalışmaları

Enerji paradoksu literatüründe asil-vekil sorunlarını inceleyen yüksek sayıda çalışma bulunmaktadır. Murtishaw ve Sathaye (2006), konutlarda, buzdolapları, su ısıtıcıları, alan ısıtması ve aydınlatma gibi birincil enerji kullanımını etkileyen asil-vekil sorununu anketler kullanarak sayısallaştırmış ve konut sektörünün tükettiği enerjinin

%35'inin asil-vekil sorunundan etkilenen bu dört son kullanıcıdan oluştuğu bulunmuştur. Kamyon ve traktör endüstrisindeki enerji verimliliği yatırımlarını etkileyen asil-vekil sorunlarının tanımlanması ve sayısallaştırılmasına odaklanan Vernon ve Meier (2012), çalışmalarında kamyonların yakıt kullanımında %91 oranında kullanım vekâlet sorununun ve römorkların da yaklaşık %23'ünde verimlilik sorununun bulunduğunu bulmuştur. Phillips (2012), Yeni Zelanda'daki konutlarda ev sahibi-kiracı arasındaki bilgi asimetrisi sorununu incelemiş ve izolasyon ve ısıtma sistemlerinin geliştirme ile ilgili tercihlerini araştırmıştır. Çalışmanın bulgularında ev sahiplerinin izolasyon geliştirme için ödeme isteği derecesini medyan değeri ev sakinlerinininkinin %50-70'i kadar çıkmış. Maruejols ve Young (2011), Kanada'daki çok aileli konutlarda elektrik ya da ısınma enerjisini doğrudan ödemeyen, bu maliyetlerin kira ya da aidat içinde olduğu konutlarda ev sahipleri ve ev sakinleri arasındaki enerji ile ilgili davranışını incelemiştir. Çarpıcı bir sonuç olarak hane halkının doğrudan ısınma masrafları ödemediğinde, gün içinde ısı düzeyinin yüksek olduğu (fark yaklaşık 1 °C) ve ev boş olsa da termostatın genellikle açık bırakıldığı (fark yaklaşık 3-4°C) bulunmuştur. Çizelge 3.8'de bu literatürdeki sayısallaştırılmış asil-vekil modelleri kullanan çalışmalara yer verilmiştir.

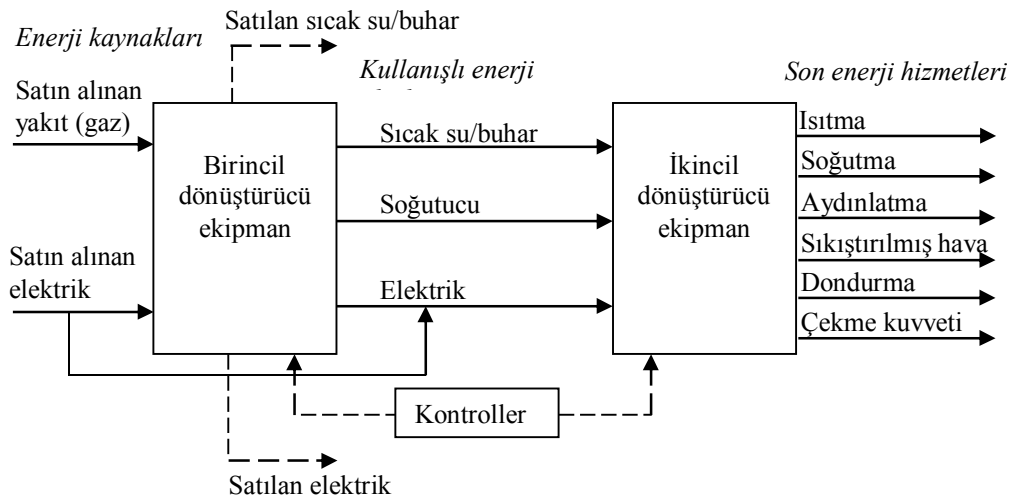
Çizelge 3.8 : Enerji paradoksu üzerine sayısallaştırılmış asil-vekil çalışmaları.

Yazarlar	Ana odak	Yöntem/model	Sonuçlar
Murtishaw ve Sathaye, 2006	Konutlarda, buzdolapları, su ısıtıcıları, alan ısıtması ve aydınlatma gibi birincil enerji kullanımını etkileyen asil-vekil sorunu	Sayısallaştırılmış asil-vekil modeli	Konut sektörünün tükettiği enerjinin %35'i, asil-vekil sorunundan etkilenen bu dört son kullanıcıdan oluşuyor.
Vernon ve Meier, 2012	Kamyon ve traktör endüstrisindeki enerji verimliliği yatırımlarını etkileyen asil-vekil sorunları	Sayısallaştırılmış asil-vekil modeli	kamyonların yakıt kullanımında %91 oranında kullanım vekâlet sorununun ve römorkların da yaklaşık %23'ünde verimlilik sorunu var.
Phillips, 2012	Konutlarda ev sahibi-kiracı arasındaki bilgi asimetrisi sorunu ile izolasyon ve ısıtma sistemlerinin geliştirme ile ilgili tercihleri	Sayısallaştırılmış asil-vekil modeli	Ev sahiplerinin izolasyon geliştirme için ödeme isteği derecesini medyan değeri ev sakinlerinininkinin %50-70'i kadar
Maruejols ve Young, 2012	Çok aileli konutlarda elektrik ya da ısınma enerjisi maliyetinin kira ya da aidat içinde olduğu konutlarda ev sahipleri ve ev sakinleri arasındaki enerji ile ilgili davranışlar	Sayısallaştırılmış asil-vekil modeli	Hane halkının doğrudan ısınma masrafları ödemediğinde, gün içinde ısı düzeyinin yüksek olması (fark yaklaşık 1 °C) ve ev boş olsa da termostatın genellikle açık bırakılması (fark yaklaşık 3-4°C)

3.2 Enerji Verimliliği Hizmetleri Sektörü

Enerji hizmetleri üzerine olan Avrupa direktifi, enerji hizmetlerini; “bir sözleşme temelinde, doğrulanabilen ve ölçülebilen ya da kestirilebilen enerji verimliliğini arttıracığı ve/veya birincil enerji tasarrufunu sağlayacağı kanıtlanmış koşullar içinde, hizmetin sağlanması için gerekli olan operasyon, bakım ve denetimi içerebilen enerji faaliyetlerinin ya da enerji verimliliği teknolojilerinin kominasyonundan türeyen fiziksel yarar, menfaat ya da mal” olarak tanımlamıştır. Sorrell (2007), enerji hizmetlerini, enerji kaynakları, kullanışlı enerji ve son enerji hizmetleri olarak kategorize etmiştir. Geleneksel enerji pazarlarından satın alınan kömür, doğal gaz ve elektrik kuruluşun enerji kaynaklarını oluşturur. Türkiye’de doğal gaz satışı BOTAŞ tarafından sağlanmaktadır ve devlet tekelindedir. Elektrik piyasası son yıllarda liberalleşmiştir. Elektrik enerjisi, TEDAŞ adlı kamu kuruluşlarından belirli tarifeler üzerinden satın alınabildiği gibi, aylık elektrik faturası 800 TL civarı gelen tüketiciler isterlerse serbest tüketici olarak elektriği farklı tedarikçilerden yapacakları ikili anlaşmalar doğrultusunda alabilmektedirler.

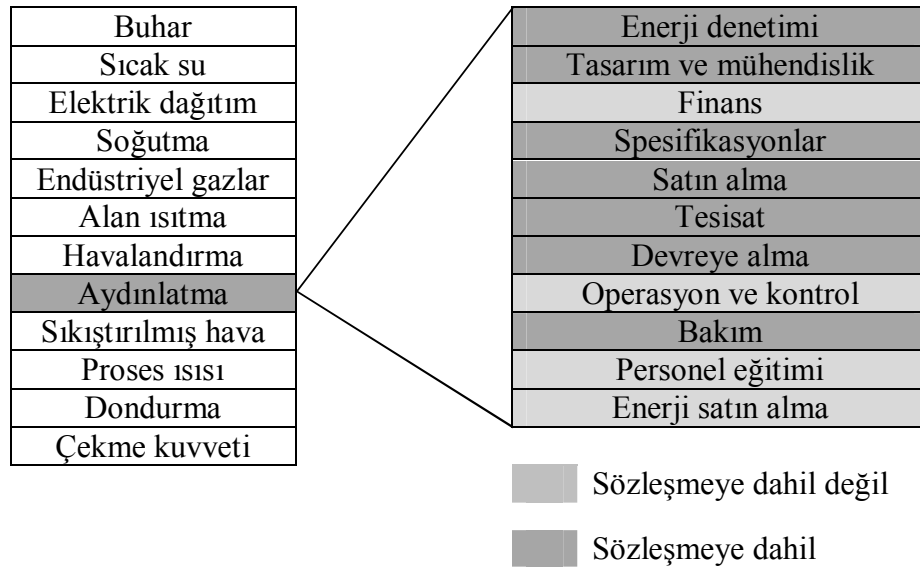
Kullanışlı enerji akışlarını, ısıtıcı ya da kombine çevrim santrali gibi birincil enerji çevirici donanımın gaz ya da elektrik enerjisini çevirdiği sıcak su/buhar, soğutma ya da elektrik oluştururken, son enerji hizmetlerini radyatör, makine ya da floresan lambalar gibi ikincil enerji çevirici ekipmanların yararlı enerji akışlarını dönüştürdüğü ısıtma, soğutma, aydınlatma, endüstriyel süreçler gibi enerji hizmetleri oluşturur (Sorrell, 2007). Bu enerji dönüşüm sistemi şekil 3.1’de gösterilmektedir.



Şekil 3.1 : Müşteri sahasındaki kullanışlı ve son enerji hizmetleri (Sorrell, 2007).

Bir kullanışlı enerji akışı ya da son enerji hizmeti için sözleşme derinliği, yüklenicinin kontrolü altındaki akış ya da hizmeti sağlamak için gerekli olan organizasyonel operasyonların sayısı olarak tanımlanabilir (Sorrell, 2007). Sözleşmenin derinliği bir akış ya da hizmetten diğerine göre değişebilir; fakat pratikte sözleşme kapsamında göreceli olarak akış ve operasyonlara göre düzgün dağılmıştır. Şekil 3.2’de son enerji hizmeti olarak aydınlatma örneğinde bir sözleşme derinliği gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi aydınlatma enerji hizmeti ile ilgili olarak enerji denetimi, tasarım ve mühendislik, spesifikasyonlar, satın alma, tesisat, devreye alma ve bakım gibi sözleşmeye dahil olan operasyonlar sözleşmenin derinliğini oluştururken, finans, operasyon ve kontrol, personel eğitimi ve enerji satın alma gibi operasyonlar sözleşmeye dahil edilmemiştir.

Enerji verimliliği projeleri, enerjinin verimli kullanımını ve enerji tasarrufunu sağlamak için kapsamlı çözümlerin yayılımına odaklanmaktadır. Enerji verimliliği kanununda enerji verimliliği hizmetleri, enerji verimliliği konusunda danışmanlık, eğitim, etüt ve uygulama hizmetlerini ifade eder.



Şekil 3.2 : Müşteri sahasındaki kullanışlı ve son enerji hizmetlerinin derinliği (Sorrell, 2007).

Aydınlatma, HVAC (Isıtma, iklimlendirme ve havalandırma) ya da binaların kapsamlı yenilenmesi gibi enerji hizmetleri, enerji verimliliği ölçümlerinin yürütülmesi için katkısı kanıtlanmış araçlardır (IEA DSM Task XVI, 2012). Aşağıda çeşitli enerji verimliliği çalışmalarına örnekler verilmiştir:

- Verimli aydınlatma sistemleri

- İleri elektronik kontrollü ısıtma ve soğutma sistemleri
- Arttırılmış doğal ışık kullanımı
- Yenilenebilir enerji sistemleri
- Ölçümleme çözümleri
- Enerji ve su verimli uygulamalar
- Elektrik motor sürücüleri
- Bina otomasyon sistemleri
- Doğal çatılar
- Enerji verimli pencere kullanımı
- Sıkı bina tasarımı
- Yansıtıcı çatı yüzeyleri

3.3 Enerji Verimliliği Danışmanlık (EVD) Şirketleri

EVD şirketleri (*Energy Service Companies – ESCOs*), belirli süreler boyunca (genellikle 5-10 yıl), enerji tüketen tesisler için enerji verimliliğini iyileştirme ve bakım maliyetlerini düşürme odaklı tasarlanan, kapsamlı ve performans temelli projeleri geliştiren, uygulayan ve finanse eden işletmelerdir (Cudahy ve Dreesse, 1996; Dayton ve diğ., 1998; Goldman ve Dayton, 1996; Lee ve diğ., 2003; Singer ve Lockhart, 2002; Vine, 2005). EVD şirketleri, verimliliği arttırarak enerji talebini sınırlayabilen ve iklim değişimini hafifletebilen önemli değişim araçları olarak tasvir edilmektedir (Soroye ve Nilsson, 2010). Kaya'ya göre (2006) bir EVD şirketinin faaliyet alanı aşağıdaki hizmetleri kapsar;

- Konusunda danışmanlık yapma
- Konusunda eğitim verme
- Enerji etüt hizmeti verme
- Tasarruf projeleri uygulama hizmetlerini yürütme
- Enerji Verimlilik projelerini geliştirme, tasarlama ve finanse etme
- Enerji Tasarrufu projelerini ölçme, izleme ve doğrulama

- Garanti edilen enerji tasarruf miktarının sağlanması riskini üzerine alma

EVD şirketleri enerji hizmetlerini gerçekleştirirken enerji tasarruf miktarını bir sözleşme ile garanti ederler. Böylece EVD şirketi enerji verimliliğini arttırmak için garanti edilen tasarruf miktarına ulaşamama riskini kabul eder ve kazancını sağlanan enerji tasarrufu miktarı üzerinden elde eder (Bertoldi ve diğ., 2006) EVD şirketlerinin, potansiyel enerji verimliliği iyileştirmelerini belirleyen mühendislik danışmanlık şirketlerinden temel farkı; enerji tasarruflarının geri ödemesi üzerinden kendi finansmanlarını yapmaları ve kredi kısıtları ile karşılaşan müşteriye çözüm sunmalarıdır (Okay ve diğ., 2008).

3.3.1 EVD şirketlerinin Dünyadaki durumu

Onaygil ve diğ., (2010) göre EVD şirketlerinin yapısını oluşturmak amacıyla çeşitli ulusal ve uluslararası modeller geliştirilmeye çalışılmıştır; ancak tüm dünyada en iyi yapı modeli olarak kabul edilmiş belli bir model mevcut değildir. O ortak nokta olarak EVD şirketinin hizmet alanına giren tüm konularda kendisi ve müşteri arasında anlaşma sağlayabilmesi tüm modellerde yer alan önemli başarı ölçütlerinin başında gelmektedir. Bu açıdan bakılınca, EVD şirketlerinin şirket yapıları bazında sınıflandırılmaları için kullanılabilecek başlıca ölçüt, hangi hizmetlerin şirketin kendisi tarafından hangilerinin ise taşeron olarak kullanılabileceği başka şirketlerle alt sözleşmeler yapılarak gerçekleştirileceğinin belirlenmesidir (Onaygil ve diğ., 2010).

Dünya genelinde, EVD ve diğer sözleşme yapılan alt şirketlerin, sorumlulukları nasıl paylaştığını açıklayan yedi farklı yapı mevcuttur ve bunlar Çizelge 3.9’da verilmektedir. Şirket, tüm mühendislik ve tesisat alımı/kurulumu hizmetlerini başka şirketler ile yapılan alt sözleşmeler ile sağlıyorsa Broker-EVD Şirketi olarak adlandırılmaktadır. Danışmanlık hizmeti veren EVD Şirketleri ise tüm tasarım ve mühendislik hizmetlerini yerine getirmekte, fakat tesisat ile ilgili hizmetlerini dışarıdan sağlamaktadır. Öngörülen ölçütler bazında hepsini gerçekleştirmek için kapasitesi ve yapısı olan şirketler de Süper-EVD Şirketleri olarak nitelendirilmektedir ve ABD’de gidişat süper EVD şirketlerine doğru kaymaktadır. Bunlara ek olarak dünya genelinde, cihaz üreticileri ve sağlayıcıları, bazı finansal kurumlar ve enerji hizmet şirketleri tarafından kurulmuş EVD şirketleri de mevcuttur. Ayrıca, EVD şirketleri hizmet sağladıkları müşterilere göre de sınıflandırılabilirler. Bu açıdan bakıldığında, bazı EVD şirketleri sadece kamu

sektörü ile çalışmakta iken, bazıları sanayi veya yapı sektörlerine hizmet vermektedir. EVD şirketlerinin hizmet alanları yeni teknolojik ve finansal gelişmelere göre genişletilebilir. Örneğin, EVD şirketleri sadece var olan enerji verimliliği önlemlerini uygulamaya yönelik projeleri yürütmek yerine, kendileri de yeni teknolojiler ve uygulanabilecek önlemler geliştirebilirler. EVD şirketleri hangi kapsamda veya hangi sektöre hizmet sağlamakta olursa olsun temelde önemli olan, projedeki tüm sözleşmelerin dikkatli ve özenli olarak hazırlanmasıdır. Ancak bu şekilde, EVD piyasasının güvenilirliği sağlanabilir ve ekonomik riskler kontrol altına alınabilir (Onaygil ve diğ., 2010; Url 1).

Çizelge 3.9 : EVD şirketlerinin yapısı ve kapasitelerine göre sınıflandırılması
(Onaygil ve diğ., 2010; Url-1).

EVD Şirket Yapısı	ÖLÇÜT					
	Enerji sistem ve teknolojileri ile ilgili deneyim	Enerji verimliliği projesinde deneyim	Maliyet bazlı çalışmada deneyim	Finansman sağlamada deneyim	Proje yürütmeye deneyim	Tesisat konusunda deneyim ve kaynaklara ulaşabilme
Broker-EVD şirketleri	-	+	+	+	+	-
Küçük ölçekli mühendislik şirketleri	-	-	-	-	-	+
Büyük ölçekli mühendislik şirketleri	-	+	+	-	+	+
Enerji şirketleri	+	+	+	+	+	-
Danışman EVD şirketleri	+	+	+	+	+	-
Teknoloji sağlayıcılar	+	-	+	-	-	+
Süper EVD şirketleri	+	+	+	+	+	+

Bu yapının dışında EVD şirketlerinin niceliksel durumu küresel ölçekte incelendiğinde, her ülkede EVD şirketlerinin sayısının farklı olduğu görülmektedir. Daha rahat karşılaştırma yapılabilmesi için çeşitli ülkelerdeki EVD şirketi sayıları Çizelge 3.10’da gösterilmektedir.

Çizelge 3.10 : Çeşitli ülkelerdeki EVD şirketlerinin sayısı (Vine, 2005).

Ülke	İlk EVD şirketinin kuruluş tarihi	Toplam EVD şirketi sayısı	2001 yılı için EVD projelerinin toplam değeri (ABD \$)
Arjantin	1990lar	5	1 milyondan az
Almanya	1990-1995	500-1000	150 milyon

Çizelge 3.10 (devam): Çeşitli ülkelerdeki EVD şirketlerinin sayısı (Vine, 2005).

Ülke	İlk EVD şirketinin kuruluş tarihi	Toplam EVD şirketi sayısı	2001 yılı için EVD projelerinin toplam değeri (ABD \$)
Avustralya	1990	8	25 milyon
Avusturya	1995	25	7 milyon
Belçika	1990	4	-
Brezilya	1992	60	100 milyon
Bulgaristan	1995	12	-
Çek Cumhuriyeti	1993	3	1-2 milyon
Çin	1995	23	49,7 milyon
Estonya	1986	20	1-3 milyon
Fas	1990	1	500 000
Fildişi Sahilleri	2000	4	250 000
Filipinler	1990lar	5	200 000den az
Finlandiya	2000	4	0,5-1 milyon
Gana	1996	1-3	100 000den az
Güney Afrika	1998	3-5	10 milyon
Hindistan	1994	4-8	0,5-1 milyon
İngiltere	1980	20	-
İsveç	1978	6-12	30 milyon
İsviçre	1995	50	13,5 milyon
İtalya	1980lerin başı	20	-
Japonya	1997	21	61,7 milyon
Kanada	1982	5	50-100 milyon
Kenya	1997	2	10 000dan az
Kolombiya	1997	1-3	200 000den az
Kore	1992	158	20 milyon
Litvanya	1998	3	-
Macaristan	1990ların başı	10-20	-
Meksika	1998	7	-
Mısır	1996	14	-
Polonya	1995	8	30 milyon
Slovakya	1995	10	1,7 milyon
Şili	1996	3	200 000
Tayland	2000	6	5-6 milyon
Tunus	2000	1	500 000
Ukrayna	1996	5	2,5 milyon
Ürdün	1994	1	2 milyon

Akademik araştırmalar taranıp enerji literatürü incelendiğinde, EVD şirketleri ya da genel adıyla ESCOLar üzerine yapılan sınırlı sayıda araştırma bulunmaktadır. Literatürde bu alanda yapılan çalışmalar; çalışmanın adı, yayınlandığı bilimsel dergi, yayınlandığı yıl, yazarları, EVD şirketlerini hangi düzeyde ele aldığı (ulusal/bölgesel/uluslararası), hangi ülkeye odaklandığı, kavramsal ya da ampirik

olarak çalışmanın türü ve odaklandığı alan şeklinde başlıklar altında sınıflandırılmış bir şekilde Çizelge 3.11’de toplu olarak verilmiştir. Görüldüğü gibi az sayıda olan çalışmaların büyük çoğunluğu kavramsal, ulusal ölçekte ve pazar odaklıdır.

Çizelge 3.11 : Literatürde EVD Şirketleri (ESCO) üzerine yapılmış çalışmalar.

Başlık	Dergi	Sene	Yazarlar	Düzey	Ülke	Tür	Odak
Views on Turkey's impending ESCO market: Is it promising	Energy Policy	2008	Okay, E., Okay, N., Konukman A. E. Ş. ve Akman, U.	Ulusal	Türkiye	Kavramsal	Pazar
Review of US ESCO industry market trends: An empirical analysis of project data	Energy Policy	2005	Goldman, C. A., Hopper, N. C. ve Osborn, J. G.	Ulusal	ABD	Ampirik	Pazar
The evolution of the US energy service company (ESCO) industry: from ESCO to Super ESCO	Energy	1998	Vine, E., Nakagami, H. ve Murakoshi, C.	Ulusal	ABD	Kavramsal	Pazar
The Evolution of the U.S. ESCO Industry: Is There a Super ESCO in Your Life?	The Electricity Journal	1999	Vine, E., Nakagami H. and Murakoshi C.	Ulusal	ABD	Kavramsal	Pazar
Energy service companies to improve energy efficiency in China: barriers and removal measures	Procedia Earth and Planetary Science 1	2009	Da-li, G.	Ulusal	Çin	Kavramsal	Pazar
Energy service companies in European countries: Current status and a strategy to foster their development	Energy Policy	2006	Bertoldi, P., Rezessy, S. ve Vine, E.	Bölgesel	Avrupa	Kavramsal	Pazar
An international survey of the energy service company (ESCO) industry	Energy Policy	2005	Vine, E.	Uluslar arası		Ampirik / Kavramsal	Pazar
International ESCO business opportunities and challenges: a Japanese case study	Energy Journal of	1998	Vine, E., Murakoshi, C. ve Nakagami, H.	Uluslar arası	Japonya	Kavramsal	Pazar
Promoting energy efficiency financing and ESCOs in developing countries: mechanisms and barriers	Cleaner Production	2003	Painuly, J.P., Park, H. , Lee, M.-K. and Noh J.	Ulusal	Kore	Kavramsal	Finans / Pazar
Promoting energy efficiency financing and ESCOs in developing countries: experiences from Korean ESCO business	Journal of Cleaner Production	2002	Lee, M. K., Park, H., Noh, J. ve Painuly, J. P.	Ulusal	Kore	Kavramsal	Finans
Analysis of ESCO activities using country indicators	Renewable and Sustainable Energy Reviews	2010	Okay, N. ve Akman, U.	Uluslar arası			ESCO - Ülke özellikleri ilişkisi
Building a business to close the efficiency gap: the Swedish ESCO Experience	Energy Efficiency	2010	Soroye, K. L. ve Nilsson, L. J.	Ulusal	İsveç	Kavramsal	Pazar

3.3.2 EVD şirketlerinin Türkiye’deki durumu

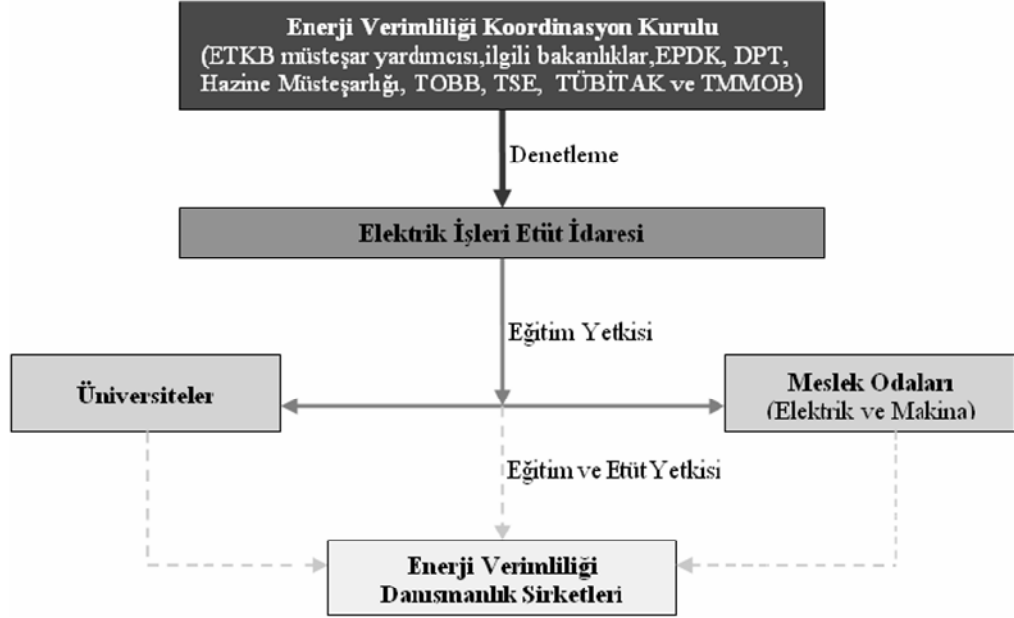
Türkiye’de enerji tasarrufu çalışmaları, 1980 yılından beri Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) Genel Müdürlüğü tarafından çeşitli proje ve programlar doğrultusunda yürütülmektedir (Hepbasli ve Ozalp, 2003). 1981 yılında sanayide enerji tasarruf potansiyelini tespit çalışmaları yapılmıştır. Daha sonra 1988-1991 yılları arasında politika ve program çalışmalarına ağırlık verilmiştir. Bu doğrultuda 1992 yılında, ulusal enerji tasarrufu merkezi (UETM) kurulmuştur. 1992 ve 1995 yıllarında, 500 tep (ton eşdeğer petrol) ve üzeri 1200 tesis için tüketim istatistikleri oluşturulmuş ve bu çalışmaları takiben 11 Kasım 1995 yılında sanayi kuruluşlarının enerji tüketiminde verimliliğin artırılması için alacakları önlemler hakkında yönetmelik hazırlanmıştır (Hepbaşlı, 2007). 1996 ve 1998 yıllarında enerji yönetimi dersi ve kursu düzenleme esasları ve enerji denetimlerini uygulama duyuruları yapılmıştır (Hepbasli ve Ozalp, 2003). 2004 yılının Nisan ayında ilk kez Türkiye Enerji Verimliliği Stratejisi yayımlanmıştır.

Okay ve diğ.’nin (2008) Türkiye’deki EVD şirketleri üzerine yaptıkları tespitlere göre 2008 yılı itibari ile Türkiye’de sertifikalandırılmış bir EVD şirketi yoktur; fakat 1995 yılından beri sanayi için enerji verimliliği düzenlemeleri pratik olarak uygulanmaktadır. Ayrıca enerji verimliliği uygulamaları ve projeleri yapan bazı firmalar, yurt dışındaki büyük EVD şirketleri ile ortak girişim (*joint-venture*) biçiminde çalışmakta ve bu kanal ile Avrupa Birliği ya da Dünya Bankası fonlarından finansman elde etme yoluna gitmektedir.

EVD şirketlerinin Türkiye’deki durumuna bakıldığında 2 Mayıs 2007 yılında yürürlüğe giren 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu, EVD şirketlerinin yetkilendirilmesi konusundaki yapıyı tarif etmektedir. Bu şirketler, 15 Temmuz 2009’dan itibaren yetki almaya başlamıştır. Şekil 3.3’de bu yapı şematik olarak gösterilmektedir.

2008 yılı Enerji Verimliliği (ENVER) Yılı olarak ilan edilmiştir. “Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Arttırılmasına İlişkin Yönetmelik” 25 Ekim 2008 tarihinde yayımlanmıştır ve 27 Ekim 2011 tarihinde yapılan köklü değişiklikler ile yeniden yürürlüğe girmiştir. 5 Aralık 2009 tarihinde ise Bina Enerji Performans (BEP) Yönetmeliği yürürlüğe girmiştir. Yeni Enerji Verimliliği Strateji Belgesi onay için beklemektedir. Ancak 2 Kasım 2011 tarih ve

28103 sayılı (mükerrer) Resmi Gazete’de yayımlanan 662 sayılı Kanun Hükmünde Kararname’nin (KHK) 89. Maddesi’nde belirtildiği şekli ile 14 Haziran 1935 tarihinde kurulan Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) kapatılmıştır. Onun yerine KHK ile Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü kurulmuştur (Künar, 2013).



Şekil 3.3 : Enerji Verimliliği Kanunu yürütme sistemi (Onaygil ve diğ., 2010).

3.3.3 EVD şirketleri için performans/kalite ölçütleri

Tüm EVD şirketleri projelerde aynı performansı göstermemektedir. EVD şirketinin kalitesini gösteren farklı ölçütler bulunmaktadır. Doğru EVD şirketini seçmek için müşteri firmalar aşağıdaki ölçütleri dikkate almalıdır (Kutlu ve Ekmekçioğlu, 2012):

Deneyim: EVD şirketinin daha önce fazla sayıda benzer enerji verimliliği projeleri yürütmesi, proje sırasında ortaya çıkabilecek sorunların çözümünü ve projedeki bilgi akışını kolaylaştıracaktır. Genellikle deneyimli bir EVD şirketinin personelinin ve taşeronlarının da deneyimli ve niteliklerinin yüksek olması beklenmektedir.

Proje yürütme istikrarlılığı: EVD şirketinin projeyi belirlenen süre içinde, öngörülen bütçeyi aşmadan yeterli insan kaynağı seçimi ve kullanımı ile tamamlaması olarak tarif edilebilir.

Teknik deneyim: Enerji yönetimi alanındaki farklı teknolojileri anlama ve kullanma bilgisi, farklı yapılar için farklı donanım ve sistem kurma bilgisi ile üretim ve güvenlik kısıtlarının algılanmasını içermektedir.

Finansal sürdürülebilirlik: EVD şirketinin finansal kurumlar ile teması, kredi alabilme kolaylığı, proje maliyetinin ve maliyet tasarruflarının hesaplanabilirliği bu ölçütün içerdiği nitelikleri oluşturmaktadır.

Güvenirlilik: Bir EVD şirketinin sabit proje çizelgesi, müşteri ile açık iletişim, artı hizmetlerin sunumu gibi projeye profesyonel bir yaklaşım ile yaklaşımı önemli bir ölçüttür.

Ekipman satın alma süreci: Takip edilen süreç, EVD şirketinin tipi, taşeron kullanma durumu, teknolojiye sahip olması ya da dışarıdan alması nitelikleri bu ölçütün belirleyicisidir.

Satış sonrası hizmetler: EVD şirketinin verdiği hizmetlere dayalı olarak proje amaçlarının belirlenmesi müşteri firma için büyük önem arz etmektedir. Örneğin konfor standartları, sistem bakımı, personelin eğitimi gibi konularda EVD şirketinden hizmet alınabilir. Ayrıca müşteri isterse enerji etüdü ve proje denetimi ve doğrulama, EVD şirketinden sağlanabilir.

3.4 Enerji Verimliliği Sözleşmeleri

Enerji verimliliği sözleşmeleri, enerji maliyetlerinden tasarruf sağlamak için enerji verimliliği projeleri uygulamak isteyen firmaların, konunun uzmanı EVD şirketleri ile dış kaynak kullanımı şeklinde projelerin yürütülmesi esaslarını açıklayan anlaşmalardır. Bir endüstriyel enerji tüketicisinin dış kaynak kullanımı ve sözleşme yapmayı benimsemesinin çeşitli nedenleri vardır. Helle, (1997) bazı nedenleri aşağıdaki gibi sıralamıştır:

- Firma, karmaşık enerji yatırımlarının yönetiminde deneyimli olmayabilir ya da projelerin gerçekleştirilebilmesi için gerekli nasılı bilmeye (*know-how*) sahip olmayabilir.
- Finansal kısıtlamalar bulunabilir; finansal sınırlamalar ya da uygun finansal kaynakları firmanın asıl operasyonu olan birincil alanlarında kullanılıyor olabilir.
- Sözleşme, bilanço hazırlanırken finansal şemanın dışında görüneceğinden kurumsal finans politikasına göre sözleşme yapmak yönünde nedenler oluşabilir.

- Pazarlama stratejilerine göre, firma dış kaynak kullanımına yüksek öncelik verebilir, bu durumda firmanın önceliği olmayan alanlarda içeride yaptığı faaliyetlerin, dış firmalara ihale edilmesinde artış olacaktır.
- Firmanın önceliği olan alanlar dışındaki projelerinden kaynaklı riskler ve iç işlem maliyetleri çok yüksektir. Örneğin bu projelerin istenilen karlılık düzeyi yüksek olabilir ancak benzer sınırlı koşullarla örneğin dört yılı aşmayan beklenen geri ödeme süreleri, endüstriyel enerji yönetiminde çok yaygın görülen bir husustur.

Enerji hizmet sözleşmelerinin değişik sınıflandırma boyutları vardır. Çeşitli boyutlara göre yapılan sınıflandırmanın yanı sıra temel olarak enerji hizmet sözleşmeleri, geleneksel anahtar teslim (*turnkey*) projeler (Sorrell, 2007) ya da tesis taahhüt projeleri (*facility contracting projects*) (Helle, 1997) adı verilen klasik müteahhitlik sözleşmeleri ve EVD şirketlerinin kullandığı enerji performans sözleşmeleri olarak ikiye ayrılmaktadır. Üçüncü parti finansmanına dayanan enerji performans sözleşmeleri de kendi içlerinde finansman için gerekli parayı kimin (EVD şirketi ya da müşteri) borç aldığına bağlı olarak paylaşımlı tasarruf sözleşmesi ve garantili tasarruf sözleşmesi olarak ikiye ayrılmaktadır.

Enerji hizmet sözleşmelerinin finansmanı yeni enerji dönüştürücü ve kontrol ekipmanlarına yatırım yapmak için gerekli olan sermaye kaynaklarını işaret eder (Sorrell, 2007). Genel olarak tercih edilebilecek finansman yöntemleri aşağıda yer almaktadır: (Onaygil ve diğ., 2010; Sorrell, 2007)

- İç finansman
 - Yüklenici tarafından sağlanan işletme sermayesi
 - Müşteri tarafından sağlanan işletme sermayesi
- Kiralama (*leasing*) finansmanı
 - İşletme kiralaması
 - Sermaye kiralama
- Üçüncü parti finansmanı
 - Müşteri tarafından borç alınması
 - Yüklenici tarafından borç alınması

- Proje finansmanı

Ayrıca kullanılan finansman yöntemine bağlı olmadan, EVD projelerinin finansmanının sağlanabileceği başlıca uluslararası kurumlar ve programlar aşağıdaki sıralanmaktadır (Painuly ve diğ., 2003):

- Dünya Bankası (Asya Alternatif Enerji Programı, Prototip Karbon Fonu, Enerji Sektörü Yönetim Programı, Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliği Fonu, KOBİ Programı)
- Birleşmiş Milletler Geliştirme Programı (UNDP)
- Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP)
- Küresel Çevre Fonu (GEF).

3.4.1 Anahtar teslim sabit ücretli enerji sözleşmeleri

Anahtar teslimi bir inşaat terimi olarak bir yapının tüm gereç ve işçiliğinin yüklenici tarafından karşılanıp, bütünüyle bitirilmiş olarak mal sahibine teslim edilmesini öngören sözleşme biçimine verilen addır. Enerji verimliliği hizmetlerinde ise klasik bir anahtar teslim (*turnkey*) projede, yüklenici, tasarım, spesifikasyon, yapım ve devreye alma vb. işlerden sorumludur ve işin tamamlanması sonucunda ödemesi yapılır. Yüklenici, ekipman çalışmazsa ya da spesifikasyonlara uygun çalışmazsa yükümlülük altında olabilir, ancak devreye alındıktan sonraki ekipmanın çalışmasında ya da performansının optimize edilmesi sürecinde yer almaz (Sorrell, 2007).

Genel olarak bir anahtar teslimi projede, proje kapsamına ve karmaşıklığına göre aşağıdaki bileşenlerin hepsi ya da bir kısmı yüklenici tarafından yerine getirilmektedir.

- Proje yönetimi
- Süreçlerin ruhsat alımı
- Tasarım ve mühendislik hizmetleri
- Alt sözleşmeler (taşeronluk)
- Yönetim kontrolü
- Ekipmanların satın alma ve sevki

- Malzeme kontrolü
- Teslim alınan ekipmanların muayenesi
- Nakliye
- Çizelge ve kalite kontrolü
- Devreye alma
- Performans garanti testi
- Yedek parça envanteri
- Firma operasyon ve bakım personelinin eğitimi

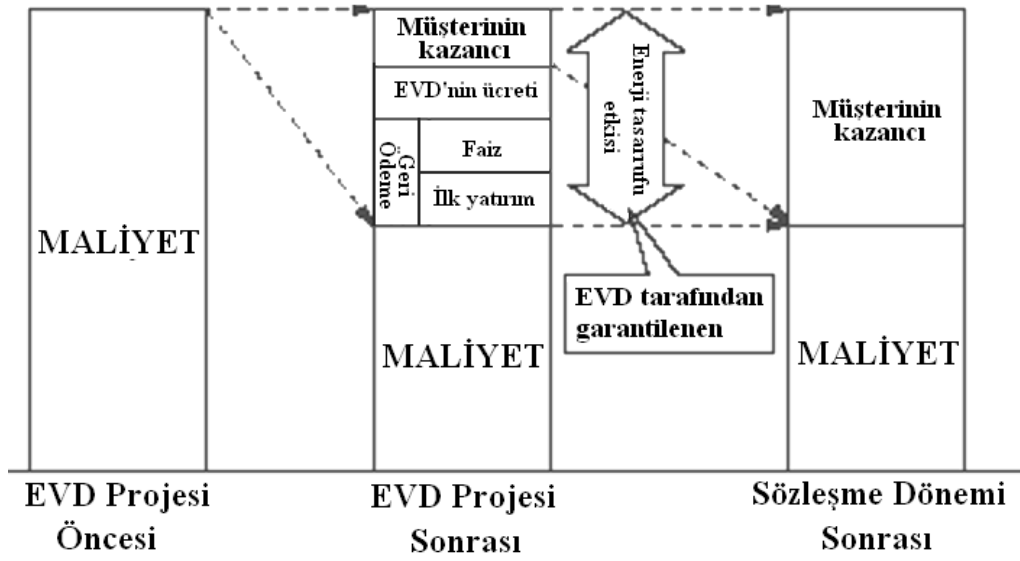
3.4.2 Enerji performans sözleşmeleri

Enerji hizmet sözleşmeleri, enerji ile ilgili bir ya da daha fazla hizmetin, bir üçüncü parti tarafından, dış kaynak kullanımı şeklinde temin edilmesini içerir (Sorrell, 2007). Bir enerji hizmet sözleşmesinin gerekli özelliklerinden biri; uzun dönemli bir sözleşme ile belirlenen maddeler ve koşullar altında, zaman boyunca bakım ve ekipman performansını iyileştirme teşviklerini de içeren, anahtar enerji ekipmanları üzerine verilecek kararların transferidir (Sorrell, 2007).

Enerji literatüründe çok az incelenen bir alan olan enerji hizmet sözleşmeleri, bir dış kaynak kullanımı biçimidir. Bir firmanın dış kaynak kullanımı ile alabileceği enerji hizmetleri; ekipman tesisatı, devreye alım, ekipman bakımı, gaz ya da elektrik satın alımı, enerji tasarruf fırsatlarının tanımlanması (enerji denetimi), enerji bilgi ve kontrol sistemlerinin kurulması ve finansman şekli olarak sıralanabilir (Sorrell, 2007).

Enerji Performans Sözleşmeleri (EPS); enerji verimliliği çalışmaları sonucu oluşacak menfaatin paylaşılmasına ve işlemlerin ilerletilmesi şeklinin belirlenmesine dönük işveren ile uygulamacı EVD şirketi arasında yapılan sözleşme olarak tanımlanır (Kaya, 2006). Enerji verimliliği hizmetleri bu sözleşme kapsamında yer almaktadırlar. Enerji verimliliği hizmetleri, enerji verimliliği konusunda danışmanlık, eğitim, etüt ve uygulama hizmetlerini ifade eder (Enerji Verimliliği Kanunu, 2007). EPS, performans tabanlı bir satın alma yöntemi ve aynı zamanda finansal bir mekanizmadır (<http://energyperformancecontracting.org>). Şekil 3.4’de bir EPS kullanılan bir EVD projesinin yapısı şematik olarak gösterilmektedir. Proje

öncesi işveren firmanın enerji maliyetleri belli bir miktardadır. EVD şirketinin uyguladığı enerji verimliliği hizmetlerinin kapsam ve derinliğine göre enerji maliyetlerinde bir miktar azalma olur. Enerji tasarrufu etkisi olarak da adlandırılan bu miktarın bir kısmı proje için alınan finansmanın ilk yatırım ve faiz şeklindeki geri ödemesinde kullanılır. Başka bir kısmı ile EVD şirketinin yaptığı uygulamaların ödemesinde kullanılır. Kalan kısmı ise müşteri kazancı olur. Ancak proje finansmanının geri ödemesi ve EVD şirketine yapılan ödemeler bittikten sonra kullanılan tüm enerji tasarruf miktarı, bundan sonraki dönemde müşteriye kazancı olarak yansımaktadır.

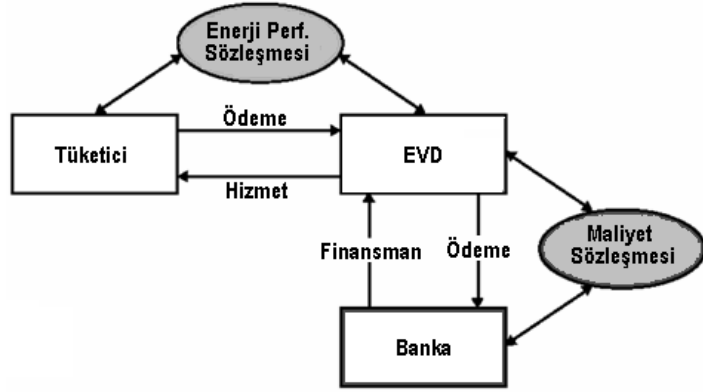


Şekil 3.4 : EVD projesinin yapısı (Onaygil ve diğ., 2010).

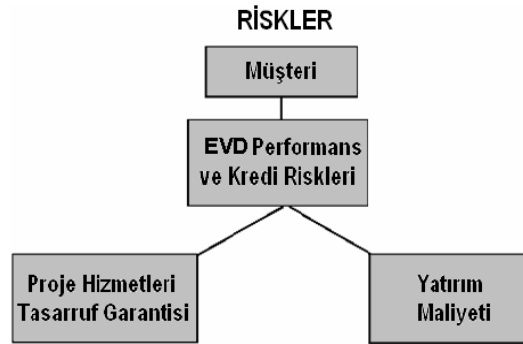
EPS'nin kullanılmasının getirdiği başlıca yararlar; yatırımın kolaylıkla sağlanması, sağlanabilecek enerji tasarrufunun EVD tarafından garanti edilmesi, projenin tüm aşamalarının finansmanının yapılması ve risk yönetiminin gerçekleştirilebilmesi olarak sıralanabilir (Onaygil ve diğ., 2010). EPS, üçüncü parti finansmanı mekanizması ile çalışmaktadır ve kimin borç aldığına ve riski üstlendiğine göre ikiye ayrılır. Birinci tip, Paylaşımlı Tasarruf Sözleşmesi (PTS) ve ikinci tip, Garantili Tasarruf Sözleşmesi (PTS) olarak adlandırılmaktadır.

3.4.2.1 Paylaşımlı tasarruf sözleşmesi (PTS)

Paylaşımlı Tasarruf Sözleşmesi (PTS) tipi sözleşmelerde EVD şirketi borcu alır. Böylece EVD şirketi hem performans hem de finansman riskini üstlenmiş olur. Şekil 3.5'de PTS'nin finansman ve ödeme modeli ve Şekil 3.6'da ise PTS'nin oluşturduğu riskler gösterilmektedir.



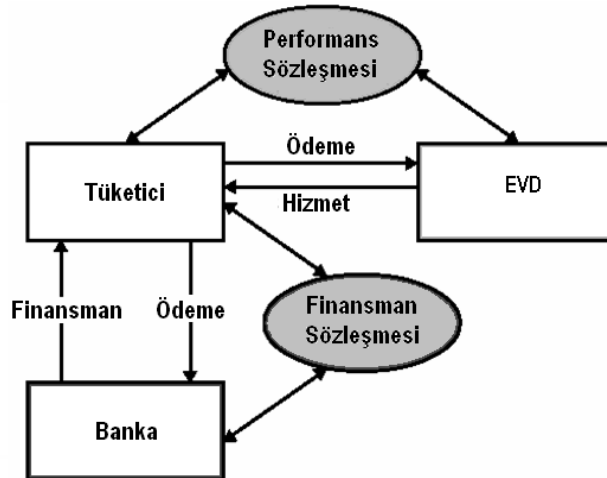
Şekil 3.5 : PTS modeli (Onaygil ve diğ., 2010).



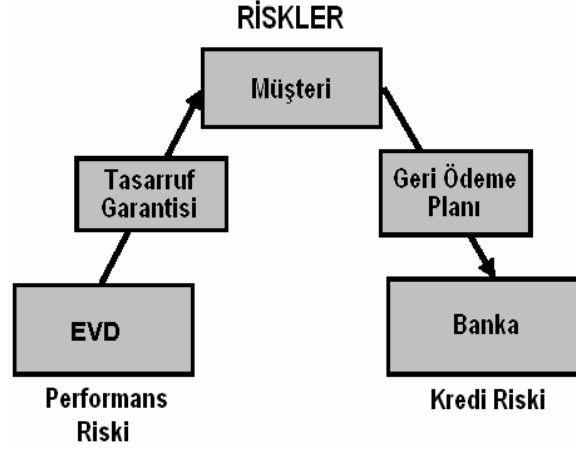
Şekil 3.6 : PTS riskleri (Onaygil ve diğ., 2010).

3.4.2.2 Garantili tasarruf sözleşmesi (PTS)

Garantili Tasarruf Sözleşmesi (GTS) tipi sözleşmelerde, borç, müşteri tarafından alınır. Bu durumda borcun geri ödemesi finansal kurum ile müşteri arasında çözülmektedir. EVD sadece garanti edilen tasarruf riskini taşımaktadır (Onaygil ve diğ., 2010). GTS finansman modeli, Şekil 3.7’de, bu modelin müşteri ve EVD şirketi için yarattığı riskler de Şekil 3.8’de gösterilmektedir.



Şekil 3.7 : GTS modeli (Onaygil ve diğ., 2010).



Şekil 3.8 : GTS riskleri (Onaygil ve diğ., 2010).

3.4.2.3 PTS ile GTS'nin karşılaştırılması

Paylaşımlı Tasarruf Sözleşmesi (PTS) ve Garanti Tasarruf Sözleşmesi (GTS) tipteki sözleşmeler özelliklerine göre Çizelge 3.12'de karşılaştırılmaktadır.

Çizelge 3.12 : PTS ve GTS'nin karşılaştırılması (Onaygil ve diğ., 2010).

Özellik	Paylaşımlı Tasarruf Sözleşmesi (PTS)	Garanti Tasarruf Sözleşmesi (GTS)
Kredinin geri ödeme riski	EVD	Müşteri
Performans riski	EVD	EVD
Finansman maliyeti	Yüksek	Düşük
Proje sonucu tasarruf	Düşük	Yüksek
Projenin büyüklüğü	Küçük	Büyük
Projenin kapsamı	Kapsamı dar (kısa dönemde geri ödemelerin yapılması)	Kapsamı geniş (garanti edilen enerji tasarrufunun kazanılması)

Çizelge 3.12'de görüldüğü üzere GTS, daha düşük finansman maliyeti ve daha yüksek proje sonucu tasarruf sağlamaktadır. Ayrıca büyük projelere uygulandığı ve kapsamı PTS'ye kıyasla daha geniş olduğu için garanti edilen enerji tasarrufunun kazanılması ile dünya genelinde daha çok tercih edilmektedir. Çin'de uygulanan projelerdeki EPS tiplerinin incelenmesi örnek olarak Çizelge 3.13'de yer almaktadır. Çizelge incelendiğinde genelde sanayi tipi tesislerde uygulanan GTS modelinin en çok uygulanan EPS tipi olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.13 : Çin'deki EPS tipleri ve karşılaştırılması (Da-li, 2009).

EPS Tipi	Gelişim eğilimi	Pazar dağılımı	Proje sayısı (2005)	Sözleşme süresi
PTS	Ana akım olarak kalmakta	Binalar	%19	Ortalama 4,5 yıl, En fazla 10 yıl

Çizelge 3.13 (devam): Çin'deki EPS tipleri ve karşılaştırılması (Da-li, 2009).

EPS Tipi	Gelişim eğilimi	Pazar dağılımı	Proje sayısı (2005)	Sözleşme süresi
GTS	Artmakta	Sanayi tesisleri	%76	
Enerji yönetim sözleşmesinin dış kaynak kullanımı	Daha fazla gelecek	Hastane, otel, süpermarket v.s. gibi ticari binalar	%5	Ortalama 10 yıl, En fazla 15 yıl

4. ENERJİ PARADOKSU İÇİN ÖNERİLEN ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI

Enerji verimliliği projelerinin değerlendirilmesi için standart yaklaşım, projeyi bir yatırım olarak görmektedir (Thompson, 1997). Bu yaklaşım, yüksek sermaye ve tesis etme maliyetleri ile karşılanacak yeni kurulan bir enerji verimli sistem ya da ekipmanın çalıştırılma ömrü boyunca, gelecekte sağlayacağı daha düşük fiyatlı enerji faturası ödeme kazancını incelemektedir (Croucher, 2011). Ancak enerji fiyatları salınımlar gösterdiği için gelecekte sağlanacak faydalar belirsizdir (Ansar ve Sparks, 2009) ve bu durum risk yaratmaktadır. Thompson'a (1997) göre risk, temel olarak enerji fiyatlarındaki belirsizlik ile ilgilidir ve iskonto oranlarının hesaplanmasında dikkate alınmalıdır. Bu nedenle enerji verimliliği yatırım kararlarını şimdiki değer analizi yöntemi gibi klasik statik yatırım analizi yöntemleri ile değerlendirmek uygun olmamaktadır.

Ansar ve Sparks (2009), çeşitli çalışmaları inceledikten sonra, şimdiki değer analizinin standart hesaplamalarına dayalı enerji tasarruf yatırım kararlarının analizinde enerji maliyetlerindeki gelecekteki enerji tasarruflarının değerlemesinde normalin çok üzerinde iskonto oranlarının kullanıldığını tespit etmişlerdir. Enerji yatırımlarında, geleneksel proje yatırım değerlendirme yöntemlerinin kolaylıkla çözümleyemediği üç önemli özellik ön plana çıkmaktadır; dönüşümsüzlük (*irreversibility*), belirsizlik ve esneklik (Uçal ve Kahraman, 2009). Gerçek opsiyonlar, geleneksel şimdiki değer analizi vb. yöntemlerin dikkate almadığı bu özelliklerdeki yatırım kararlarının analizinde etkili bir yaklaşımdır. Gerçek opsiyon yaklaşımı, bu üstünlüğü ile enerji yatırımları çalışmaları içinde geniş bir uygulama alanı bulmuştur (Kutlu, 2012).

Enerji verimliliği projelerinin yürütülmesini bir enerji ya da EVD şirketine bir enerji hizmet sözleşmesi üzerinden devreden bir firma, vekâlet sorunuyla karşılaşmaktadır. Vekâlet yaklaşımı, amaçları ve çıkarları farklı iki tarafın birbirleri ile yardımlaşmaları durumunda ortaya çıkan sorunları inceleyen bir yaklaşımdır ve literatürde kontrat teorisi olarak da adlandırılmaktadır. Vekâlet maliyetleri, asilin

anlaşmadan elde edebileceği faydadan sapmaları göstermektedir. Vekillerin işlerini gerektiği gibi yapmalarını sağlamak için gerekenler sözleşmede belirtilmelidir.

Müşteri firmanın amacı ve projeden elde edeceği fayda enerji maliyetlerinin azalması yani tasarruf etme iken yüklenici firmanın elde edeceği fayda yapacağı hizmetin karşılığında ödenecek paradır. Firmanın kazancı EVD şirketinin yapacağı teknoloji, ekipman ya da sistem yatırımları ile elde edeceği tasarruf düzeyidir ancak ilgili teknoloji konusunda uzmanlığı bulunmadığı için EVD şirketinin sözleşme imzalandıktan sonraki çabasını gözlemleyememektedir. Bu asimetrik bilgi paylaşımı nedeni ile müşteri firma literatürde ahlaki tehlike olarak adlandırılan sorunlarla karşılaşmaktadır.

Tezin bu bölümünde enerji hizmet sözleşmelerinin modellenmesinde kullanılacak gerçek opsiyon teorisi ve vekâlet (asil-vekil) teorisi yaklaşımları, literatürdeki kavram ve modelleri içerecek şekilde ayrıntılı bir şekilde açıklanacaktır.

4.1 Opsiyon Teorisi

Opsiyon, seçim demektir. Opsiyon, tanım olarak, gelecekte bir eylemde bulunma kararı için bir seçim hakkı tanır ve hiç bir zaman içinde zorunluluk barındırmaz (Amram ve Kulatilaka, 1999). Opsiyonların gerçek hayattaki gerçek varlık yatırımlarının değerlemesinde kullanımı ise gerçek opsiyonlar teorisini ortaya çıkarmıştır. Gerçek opsiyonlar teorisi, belirsiz finansal varlıkların opsiyon değerlerinin belirlendiği finansal opsiyon teorisinden geliştirilmiştir (Foss ve Roemer, 2010). Gerçek opsiyonlar temel olarak finansal opsiyonlarla tamamen benzer özelliklere sahiptir, ancak aralarındaki en büyük fark, gerçek opsiyonların finansal piyasalarda işlem görmemesidir (Taş ve diğ., 2007).

4.1.1 Finansal opsiyonlar

Finansal opsiyonlar, belirli bir zaman dilimi içinde ait olduğu kişiye, herhangi bir yükümlülük altına girmeden anlaşma konusu olabilecek herhangi bir varlığı önceden belirlenmiş bir fiyattan alma (*Call option*) veya satma (*Put option*) hakkını veren finansal araçlardır (Sharpe ve diğ., 1998; Black ve Scholes, 1973; Taş ve diğ., 2007).

Temelde iki çeşit opsiyon tanımlanmaktadır:

1. Satın alma hakkı opsiyonu (*Call option*)

2. Satma hakkı opsiyonu (*Put option*)

Opsiyonlar, uygulanabilme vadelerine göre Amerikan ya da Avrupa tipi opsiyon olmak üzere ikiye ayrılırlar. Amerikan tipi opsiyonlar anlaşma süresi içinde herhangi bir zamanda kullanılabilirken, Avrupa tipi opsiyonlar sadece anlaşmanın bitiş tarihinde uygulanabilirler. Piyasada işlem gören opsiyonların çoğu Amerikan tipi opsiyondur. Buna karşılık Avrupa tipi opsiyonlar, Amerikan tipi opsiyonlara göre daha kolay analiz edilebilirler ve Amerikan tipi opsiyonların özelliklerinden bazıları Avrupa tipi opsiyonların özellikleri baz alınarak oluşturulmuştur (Hull, 2003).

4.1.2 Gerçek opsiyonlar

Gerçek opsiyonların tanımı ile ilgili kabul edilmiş bir fikir birliği olmamakla beraber, bazı temel tanımlamalar yapılabilir (Taş ve diğ., 2007). Bazı araştırmacılar, gerçek opsiyonları, finansal opsiyon teorisini genişletecek şekilde, sabit duran varlıklar (finansal olmayan) üzerindeki opsiyonlar olarak tanımlarken (Amram ve Kulatilaka, 1999), başka bir grup araştırmacı, bir işlemi (erteleme, genişletme, sözleşme imzalama, feshetme), önceden belirlenmiş bir maliyette (opsiyon kullanma fiyatı), önceden belirlenmiş bir zamanda (işlem vadesi) yapma hakkı (yükümlülüğü değil) olarak ifade etmektedir (Copeland ve Antikarov, 2001). Literatürde gerçek opsiyonların altı farklı kategoride incelendiği görülmüştür (Çevik Onar, 2009; Taş ve diğ., 2007; Trigeorgis, 1996; Tolga, 2009). Çizelge 4.1’de gerçek opsiyon türleri gösterilmektedir.

Gerçek opsiyonlar, finansal teori, ekonomik analiz, yönetim bilimi, karar bilimleri, istatistik ve ekonomik modelleme uygulamalarında sistematik bir yaklaşım ve bütünleşik çözümler sağlar (Nembhard ve Aktan, 2010). Gerçek opsiyonlar, stratejik sermaye yatırımlarına karar verme, yatırım fırsatlarını değerlendirme ve proje sermaye yatırımları bağlamında iş kararlarının esnek olduğu dinamik ve belirsiz iş çevrelerinde gerçek fiziksel varlıkların değerlemesinde kullanılmaktadır (Nembhard ve Aktan, 2010). Gerçek opsiyon teorisinin üç önemli kabulü vardır; birincisi bireysel rasyonel karar vericilerin, beklenen değerlerini enbüyüklemesini ve bilinen seçenekler kümeleri arasından seçmesini sağlayan güçlü rasyonellik, ikincisi, sermaye piyasalarını mükemmel ve eksiksiz olması ve üçüncüsü, piyasa aktörlerinin riskten kaçınmaları (Roemer, 2004).

Çizelge 4.1 : Gerçek opsiyon türleri (Taş ve diğ, 2007).

Opsiyon Türü	Tanımı
Erteleme	İyi koşullar oluşacak mı sorusuna cevap buluncaya kadar beklemek. Yatırım kararlarının ileri bir tarihe ertelenebildiği durumlarda mevcuttur.
Büyüme	İlişkili fırsatlardan gelecekte faydalanma imkanını kazanmak. Bu opsiyonu canlı tutabilmek için firmanın ön yatırım yapma zorunluluğu vardır
Kademeli	Yatırım Projenin parça parça hayata geçirilmesi ve olumsuz bir durum oluştuğunda kalan parçalar gerçekleştirilmeksizin projenin terk edilmesi.
Kapasiteyi değiştirme	Piyasa şartlarına göre mevcut işletme kapasitesini azaltmak veya artırmak suretiyle bu yeni ve geçici duruma adaptasyon sağlanması
Kullanımı değiştirme	Değişken iş yapma maliyetlerine bağlı olarak alternatif teknolojileri kullanmak.
Vazgeçme	Piyasa şartları kötüye gittiğinde projenin terk edilerek ikinci el değerinin ya da fırsat maliyetinin elde edilmesi.

Gerçek opsiyonlar, stratejik açıdan aşağıdaki durumlarda kullanılır (Nembhard ve Aktan, 2010):

- Çok yüksek belirsizlik içeren çevre koşullarında tepe yönetimin yönlendirebileceği farklı kurumsal yatırım karar yolları ya da projelerinin tanımlamasında
- Her stratejik karar yolu ya da projesinin finansal uygunluk ve fizibilite açısından değerlemesinde
- Çeşitli nicel ve nitel göstergelere dayalı olarak bu yolların ya da projelerin önceliklendirilmesinde
- Belirli koşullar altında farklı karar yollarını değerlendirerek stratejik yatırım kararlarının değerini optimize etmede
- Yatırımların etkin uygulanması için doğru zamanın belirlenmesi ve optimal tetikleme değeri, maliyet ya da gelir etkenleri bulmada
- Mevcut ya da gelişen opsiyon durumlarını ve gelecek fırsatlar için stratejik karar yollarını yönetmede

Bir gerçek opsiyonun temel üstünlüğü, yönetsel esneklik ile değerlendirme sürecini bir araya getirip en iyi kararların verilmesini sağlayan iyi bir araç olmasıdır (Çevik Onar, 2009). Esneklik firmaya potansiyel olarak rekabet üstünlüğü sağlar

(Nembhard ve diğ., 2005). Gerçek opsiyonlar, pratikte, geçmişte risk durumunda bulunan ve önemli ölçüde belirsizlik altında, araştırma ve geliştirme için yönetimsel esneklik sağlayan firmaların analizinde faydalı olmuştur (Mun, 2002).

Gerçek opsiyonların daha iyi kavranabilmesi için geleneksel proje değerlendirme yöntemlerinden farkının ortaya konulması gerekmektedir (Tolga, 2009). Geleneksel Net Şimdiki Değer (NŞD) yönteminde, gelecekteki getirilerin şimdiki değeri, gelecekteki maliyetlerin şimdiki değeri ve başlangıç yatırım maliyetinin toplamını geçtiği durumda yatırımın yapılması kararı önerilir, ancak nakit akışlarında ya da faiz oranlarındaki yüksek belirsizlik ve yöneticilerin karar almadaki esneklik talebi yatırımın maliyetini önemli ölçüde etkilemektedir (Tolga, 2009). Aradaki anlayış farkı Çizelge 4.2’de karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 : NŞD Yöntemi ile gerçek opsiyonların karşılaştırılması (uyarlama; Tolga, 2007).

Net Şimdiki Değer (NŞD) Yöntemi	Gerçek Opsiyonlar
Projenin yaşam döngüsü boyunca yönetimsel esneklik tanınmaz. (Ya hep ya hiç mantığı)	Projenin gidişatını belirli noktalarda etkileme esnekliği sağlanır.
Projenin gelecekteki gelirlerinin belirsizliği hesaba katılmaz.	Projenin gelecekteki gelirlerinin belirsizliği, opsiyonun değerini arttırır.
Hiç nakit akışı sağlamayan ya da düşük miktarda nakit akışı sağlayan projeler değerlendirilmez.	Projenin uzun vadeli stratejik değeri, karar vermedeki esneklik yüzünden göz önünde tutulur.
Beklenen geri ödemeler, risk için ayarlanmış iskonto oranlarıyla hesaplanır ve risk indirim primi olarak adlandırılır.	Geri ödemelerin kendisi risk için ayarlanmış ve risksiz oranla iskontolandırılmıştır ve risk, geri ödemenin olasılık dağılımı olarak tanımlanır.
Yatırım maliyeti geri ödemeleri risk için ayarlanmış oranla (tipik iskonto oranı) hesaplanır.	Yatırım maliyeti geri ödemelerinin hesaplanmasında risksiz oran kullanılır.

Gerçek opsiyonun değeri hesaplanırken geleneksel net şimdiki değeri ve opsiyon değeri kullanılır ve aşağıdaki gibi formüle edilebilir (Smit ve Trigeorgis, 2004).

$$\text{Gerçek NŞD} = \text{Geleneksel NŞD} + \text{Opsiyonun Değeri} \quad (4.1)$$

Gerçek opsiyonlar, karar ağacı çözümlemesi ile de benzeşmektedir. Ancak karar ağacı çözümlemesinde proje özeli ve piyasa riskleri hesaba katılırken, gerçek opsiyonlar sadece piyasa riskini incelemektedir (Tolga, 2009). 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 değerlendirilebilmektedir. Bu nakit akışlarını şimdiki değere indirgerken kullanılan iskonto oranında fark yaratır. Karar ağacı çözümlemesinde, gelirlerin olasılığını tahmin etmenin öznel bir bakış açısı gerektirmesi, karar ağacı çözümlemesinin kusurlarındandır (Kodukula ve Papudesu, 2006).

4.1.3 Finansal opsiyonlar ile gerçek opsiyonlar karşılaştırılması

Her ne kadar finansal opsiyonlar ve gerçek opsiyonlar arasında birçok benzerlik bulunsa da iki tip opsiyon arasında anahtar farklılıklar da mevcuttur (Taş ve diğ., 2007). Gerçek opsiyonları, finansal opsiyonlardan ayıran özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir (Mun, 2002):

1. Finansal opsiyonlarda karar verme anında tüm belirsizlikler çözülmüştür fakat gerçek opsiyonlarda belirsizliklerin bir bölümü devam edebilir.
2. Finansal opsiyonlarda opsiyon sahibi belirsizliği etkileyemezken gerçek opsiyonlarda yöneticiler varlığın durumunu etkiler ve beklenen durum da budur.
3. Finansal opsiyonlarda işlem vadesi belirlidir, ancak gerçek opsiyonlarda işlem vadesi belirsizdir.
4. Finansal opsiyonlar, opsiyonu satın alan firmanın özelliklerinden etkilenmez. Gerçek opsiyonlarda ise opsiyon değerinin bir kısmı temel yetkinlikler, içinde faaliyet gösterdiği alan, sahip olduğu bilgi düzeyi vb. özelliklerden etkilenir.
5. Zaman, her durumda gerçek opsiyonun değerini arttırmaz. Örneğin rekabetçi bir ortamda, rakiplerin davranışları da opsiyon değerini etkiler. (finansal opsiyonlarda bölünen hisse senedi davranışı gösterir.)
6. Finansal opsiyonlar ticari olarak alınıp satılabilirler.
7. Finansal opsiyonların kullanım kuralları iyi tanımlanmıştır. Gerçek opsiyonlarda ise varlık değeri, işlem vadesi ve kullanım fiyatı belirsizlikler içerdiği için opsiyonların değerlendirilmesinde bulanıklık vardır.

8. Black-Scholes opsiyon fiyatlandırma yöntemi gerçek opsiyonların değerlendirilmesinde doğru bir analiz yöntemi değildir çünkü temel varsayımları gereklilikler ile uyum sağlamaz.
9. Ancak bu gerçek opsiyonların kullanılamaz olduğunu göstermez ve bu opsiyonların değerlemesinde başka teknikler kullanılır (Örneğin; binom modeller).

Gerçek opsiyonlar ve bunlara temel oluşturan finansal opsiyonlar birbirlerinin değişkenlerini kullansa da bu değişkenler farklı kavramları ifade etmektedir. Çizelge 4.3’de finansal opsiyonlar ile gerçek opsiyonların karşılaştırılması gösterilmiştir.

Çizelge 4.3 : Finansal Opsiyonlar ile Gerçek Opsiyonların Karşılaştırılması (Çevik Onar, 2009; Tolga, 2009).

Finansal Opsiyon	Değişken	Gerçek Opsiyon
Kullanım fiyatı	K	Varlığa sahip olma maliyeti
Hisse senedi fiyatı	S	Beklenen nakit akışlarının şimdiki değeri
İşlem vadesi	T	Zaman opsiyonunun sürdürülebileceği zaman uzunluğu
Hisse getirilerinin varyansı	σ^2	Varlığın riskliliği, en iyi ve en kötü senaryolar arasındaki varyans

Finansal opsiyon özelliklerinin gerçek yatırım konularına uygulanabilmesi sayesinde belirsizlik altındaki gerçek yatırım projelerinin değerlendirilmesinde farklı opsiyon değerlendirme yöntemleri (Black ve Scholes, 1973; Myers, 1977) kullanılmaya başlanmıştır (Foss ve Roemer, 2010).

4.1.4 Gerçek opsiyonların değerlendirilmesi

Gerçek opsiyonların değerlemelerinden önce finansal opsiyonların değerlendirilme tarihine kısaca bakıldığında; ilk olarak Louis Bachelier (1900), opsiyonları matematik formülle hesaplama yöntemini tezinde önermiştir. Daha sonraları bu yönteme getirilen sıfır faiz durumu ve eksi değerli varlık durumu eleştirilerini dikkate alan Paul Samuelson (1967), konuyu daha ileri götürmüş ve varlık hareketlerine genel Brownian hareketini uygulamıştır. Black-Scholes formülünün de temeli olduğu kabul edilen James Boness ise tezinde opsiyon analizinde paranın zaman değerini katmayı önermiştir (O’Brien ve Selby, 1986). Black ve Scholes (1973), Avrupa tipi alım opsiyonlarının değerlendirilmesinde kullanılacak kısmi diferansiyel denklemi geliştirmişlerdir. Günümüzde kullanılan, varlık değerindeki kaybı da içeren genelleştirilmiş formülasyona ise Merton’un (1973) yaptığı katkılar

ile ulaşılmıştır (Tolga, 2009). Phelim Boyle (1977), opsiyonları, Monte Carlo benzetim yöntemi ile değerlendirme konusunu ortaya atmıştır ve bu sürecin bilgisayar yardımıyla benzetim yöntemi ile çözülebileceği ortaya çıkmıştır (Tolga, 2009).

Gerçek opsiyon değerlemede geliştirilen ilk yöntem Black-Scholes yöntemidir; ancak Avrupa tipi alma ya da satma opsiyonlarının değerlemesinde kullanılır. Binom fiyatlama modeli olarak bilinen yöntem, kafes yöntemleriyle opsiyon değerlemelerden biridir ve Cox, Ross ve Rubinstein (1979) tarafından önerilmiştir. Çizelge 4.4’de gerçek opsiyon değerlendirme yöntemlerinin birbirleriyle karşılaştırılmasına yer verilmiştir.

Çizelge 4.4 : Gerçek opsiyon değerlendirme yöntemlerinin karşılaştırılması.

Yöntem	Parametreler	Süreç	Opsiyon Türü
Black-Scholes	Biliniyor	Sürekli	Avrupa
Binom (kafes)	Biliniyor	Kesikli	Avrupa Amerikan
Monte Carlo benzetimi	Bilinmiyor	Parametre kestirimi	Avrupa Amerikan

Çizelge 4.4’de görüldüğü gibi Black-Scholes ve binom (kafes) yöntemi parametrelerin belli olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Black-Scholes modeli değişimi lognormal dağılım olarak kabul eder bu nedenle süreci sürekli olarak ele alır. Diğer taraftan binom modelde dağılım binom olarak kabul edilir ve süreç kesiklidir. Bu nedenle opsiyon vade tarihinden önce kullanılabilen Amerikan tipi opsiyonların değerlemesinde de kullanılabilmektedir. Monte Carlo benzetim tekniğini ise parametrelerin belli olmadığı durumlarda kullanmak uygundur. Böylece parametrelerin kestirimi yapılabilmektedir.

Finansal opsiyonlardaki Avrupa tipi satın alma (*call*) opsiyonunun değerlendirme yaklaşımını, Dixit ve Pindyck (1994), belirsizlik altında yatırım yapan firmaların yatırım kararları için farklılaştırarak yeni bir teori önermişlerdir. Dixit ve Pindyck’in önerdiği gerçek opsiyon yaklaşımında geri dönüşümsüz özelliği olan yatırımların stokastik getirilerinin, yatırım kararı daha ileri bir tarihte verildiği takdirde daha yüksek olacağı kanıtlanmaktadır. Erteleme ya da bekleme opsiyonunun yarattığı fırsatın değerlemesi yaklaşımına dayalı Dixit ve Pindyck modeli, bir yatırım kararı olan enerji verimliliği projelerinin analizinde tezde önerilen modelde benimsenmiştir.

Dixit ve Pindyck (1994) modelinin temeli ilk defa McDonald ve Siegel (1986) tarafından geliştirilen ve değeri V olan proje getirilerinin I değerindeki batık maliyeti

ödeyebileceği optimal noktayı belirlemeye yöneliktir. V 'nin gelecek değerleri bilinmediği için NŞD kuralı çalışmaz ve yatırım kuralı V 'nin I 'den oldukça büyük olan V^* kritik değerine ulaşmasıdır (McDonald ve Siegel, 1986). Yatırım fırsatının değeri ya da yatırım yapma opsiyonunun değeri $F(V)$ ile gösterilmektedir. Amaç, $F(V)$ değerini enbüyükleyecek kuralı oluşturmaktır. $t=T$ anında yatırım yapıldığındaki kazanç $V_T - I_T$ olacağından $F(V)$, T anındaki beklenen değerlerin enbüyüğü şeklinde bulunacaktır. Denklem 4.2'de bu enbüyüklenecek fonksiyonunun formülü verilmiştir.

$$F(V) = \text{maks } \mathbf{E}[V_T e^{-\rho T} - I e^{-rT}] \quad (4.2)$$

burada

$\mathbf{E}$: Beklenen değer

V : Proje değeri

I : Yatırım maliyeti

T : Yatırımın yapıldığı zaman

ρ : Riske göre düzenlenmiş iskonto oranı

r : Risksiz faiz oranı

gösterir.

Makul parametre değerleri uygulandığında kritik V^* değeri, I 'nin iki ya da üç katı kadar olabilmektedir (Dixit ve Pindyck, 1994).

4.1.5 Geometrik Brownian hareketi

Gerçek opsiyon teorisinin temeli incelenen varlık değerindeki değişimin geometrik Brownian hareketi izlemesine dayanmaktadır. Brownian hareketinin temeli rassal yürüyüş (*random walk*) denilebilir. Rassal yürüyüş sezgisel bir metafor ile aşağıdaki gibi açıklanabilir:

Çapı 10 metre olan büyük bir balon düşünelim. Bu top futbol stadyumu gibi kalabalık bir yerde olsun. Balon o kadar büyüktür ki aynı anda kalabalıktaki birkaç kişinin üzerinde olacaktır. Taraftarlar heyecanlı oldukları için balona rastlantısal zamanlarda rastlantısal yönlerde vuracaklar. Sonuçta balon rastlantısal yönlere itileceği için ortalama olarak çok fazla hareket etmeyecektir. 20 taraftarın topu sağa,

21 taraftarın da sola ittiğini ve her taraftarın kuvvetinin eşit olduğunu varsayalım. Bu durumda iki yönden uygulanan kuvvetler dengede değildir ve top yavaşça sola gidecektir. Bu dengesiz kuvvet her an vardır ve topun rastlantısal hareketine yol açan budur. Eğer bu sahneye taraftarları göremeyecek şekilde yukarıdan bakarsak büyük balonu rastlantısal hareketler yapan küçük bir nesne olarak görürüz.

1827 yılında Robert Brown tarafından su da yüzen partiküllerin hareketini açıklamak için geliştirilmiş olan bu sürekli zamandaki stokastik süreç, Norbert Wiener onuruna Wiener süreci olarak da adlandırılmaktadır. Wiener sürecinin üç özelliği bulunmaktadır.

1. Kısa bir zaman süresinde z 'deki değişikliği gösterir: $\Delta z = \varepsilon\sqrt{\Delta t}$
 ε standart normal dağılımdan $N(0,1)$ elde edilen bir rassal sayıdır ve Δz 'nin herhangi iki kısa zaman aralığı için aldığı değerleri birbirinden bağımsızdır.
2. z , Markov süreci izler. (Değişkenin geçmişteki değerleri ile bugünkü değeri birbiri ile ilgisizdir.)
3. Göreceli olarak uzun bir zaman dilimi olan T 'de, z 'nin değerinde bir artış olduğunda, bu, N sayıda ve uzunluğundaki küçük zaman dilimlerinde z 'deki artışların toplamı olarak görülebilir. ($N=T/\Delta t$)

Brownian hareketi, 1900 yılında L. Bachelier tarafından hisse senedi fiyatları için bir model olarak önerildiyse de bu süreç negatif değerleri de alabildiğinden mantıklı olmamıştır (Önalın, 2007). Menkul kıymet fiyatlarındaki rassal dalgalanmaları geometrik Brownian hareketi kullanarak modellemek daha makul olmaktadır.

$$dS_t = \mu S_t dt + \sigma S_t dZ_t \quad (4.3)$$

Geometrik Brownian hareketi olarak da bilinen bu denklem (4.3)'de μ proje getirilerinin zaman içindeki değişim hızını, σ ise proje getirilerinin oynaklığını (volatilité) göstermektedir. Z_t Wiener sürecindeki rassal değişkendir ve şu özellikleri içermektedir: $dZ_t = \varepsilon dt$ ve $\varepsilon \sim N(0,1)$ ve dZ_{ti} ve dZ_{tj} , $i \neq j$ birbirinden bağımsızdır. Bu durum Wiener sürecindeki değişimi $Z_t(dZ_t)$ ile aynıdır ve ortalaması 0 ve varyansı dt olan düzgün dağılıma sahiptir (Lee ve Lee, 2011). $dZ_t \sim N(0, dt)$ varyanslarının dt 'ye eşit olması belirsizliğin zaman uzunluğu ile orantılı olması anlamına gelmektedir.

4.1.6 Enerji yatırımlarında gerçek opsiyonların kullanılması

Gerçek opsiyonların klâsik yatırım analizi yöntemlerine göre, özellikle belirsizlik altında karar verme durumlarında, üstünlükleri bulunmaktadır. Enerji yatırımlarının üç özelliği; dönüşümsüzlük (*irreversibility*), belirsizlik ve esneklik, geleneksel yatırım projelerini değerlendirme yöntemleri ile iyi bir şekilde çözümlenememektedir (Uçal ve Kahraman, 2009). Çizelge 4.5’de enerji literatüründe bulunan çeşitli gerçek opsiyon analiz ve değerlendirme çalışmalarına yer verilmiştir.

Çizelge 4.5 : Enerji alanında gerçek opsiyon değerlendirme yöntemlerini kullanan çalışmalar.

Çalışma	Opsiyon modeli	Enerji türü	Çalışmanın amacı
Paddock ve diğ., 1988	McDonald-Siegel yaklaşımını geliştirme	Petrol	Deniz aşırı petrol yatırımları için politika belirleme
Venetsanos ve diğ., 2002	Black-Scholes	Rüzgar	Rüzgar enerjisi projelerinin değerlendirilmesi
Chorn ve Shokor, 2006	Bjerkund-Stenslund yaklaşımı (Black-Scholes modifikasyonu)	Petrol	Petrol yatırım politikasının belirlenmesi
Rodriguez, 2008	Monte Carlo benzetimi	Doğal gaz (LNG)	Uzun dönemli LNG arzındaki esnekliğin değerlendirme
Kumbaroglu ve diğ., 2008	Dinamik programlama	Yenilenebilir enerji	Yenilenebilir enerji politikası plan modeli geliştirme
Kjearland, 2007	Dixit-Pindyck	Hidrolik	Tetikleme fiyatının belirlenmesi
Ansar ve Sparks, 2009	Dixit-Pindyck	Güneş	Tetikleme fiyatı ve yatırımın MÇVO’nun belirlenmesi
Fan ve Zhu, 2010	Dixit-Pindyck	Petrol	Farklı ülkeler için opsiyon değerlerinin karşılaştırılması
Lin ve Huang 2010	Dixit-Pindyck	Enerji Verimliliği	Proje girişi ve çıkışı optimal zamanlarının belirlenmesi
Lee ve Shih, 2010	Binom model	Yenilenebilir enerji	Yenilenebilir enerji politikasını değerlendirme
Siddiqui ve Fleten, 2010	Dixit-Pindyck	Yenilenebilir enerji	İki enerji teknolojisinin opsiyon değerlerinin karşılaştırması
Lin ve Huang 2011	Dixit-Pindyck ve Tobin q	Enerji Verimliliği	Yatırım kararının değerlendirilmesi
Kumbaroglu ve Madlener, 2012	Binom model ve Monte Carlo benzetimi	Bina enerji verimliliği	Bina enerji verimliliği teknolojilerinin tekno-ekonomik değerlendirmesi

4.2 Vekâlet (Asil-Vekil) Teorisi

İki ya da daha fazla taraf arasındaki vekalet ilişkisi, asil (*principal*) olarak tanımlanan tarafın karar verme sorununda kendi adına temsilci olarak vekil (*agent*) olarak tanımlanan tarafı seçmesi ile oluşur. Vekalet yaklaşımı, amaçları ve çıkarları ayrı (*split incentives*) iki kişinin (tarafın) birbirleri ile yardımlaşması durumunda ortaya çıkan sorunları inceleyen bir yaklaşımdır. Vekâlet ilişkileri, ortaklardan birinin

yapılan iş içinde otoritesini bir başkasına (vekil) devretmesi ile ortaya çıkar ve yöneticinin (vekalet veren) refahı, vekilin seçiminde büyük bir etkiye sahiptir. Arrow'un (1968) gözlemine göre, vekil konu hakkındaki uzmanlık bilgisi nedeniyle seçilir ve asil hiçbir zaman vekilin performansını tam olarak takip edebilmeyi bekleyemez. Bunun nedeni asilin vekil hakkında kusursuz bir bilgiye sahip olamamasıdır (Laffont ve Martimort, 2001). Asil-vekil ilişkilerine aşağıdaki örnekler verilebilir:

- Şirket sahibi – genel müdür
- Sigorta şirketi – Sigorta yaptıran birey
- Kredi veren kuruluş – Borçlu
- Firma – Satış elemanı
- Yatırımcı – Portföy yöneticisi

Asil, meydana gelebilecek çıkarlarından sapmayı, vekil için uygun teşviklerle ve denetleme maliyetlerine katlanarak sınırlayabilir (Jensen ve Meckling, 1976). Özel bilgi olarak da adlandırılabilen vekil hakkındaki bilginin iki tipi bulunmaktadır. Vekil, asil tarafından gözlemlenemeyen bir eylemde bulunabilir ya da vekil, asil tarafından fark edilemeyen bir maliyet ya da değer hakkında özel bir bilgiye sahip olabilir. Birinci durum, ahlâki tehlike ve saklı eylem, ikinci durum ise ters seçim ve saklı bilgi olarak adlandırılır (Laffont ve Martimort, 2001).

Vekalet problemlerini oluşturan iki temel kaynak vardır; Ahlâki Tehlike ve Ters (zıt) Seçimler. Ahlâki tehlike, vekilin davranış ve faaliyetlerinin yönetimden gizli olduğu veya gözlenemeyecek maliyetlere ulaşılan durumları kapsar. Bunun sonucunda; vekalet veren (yönetici) için vekilin hareketlerini izlemek imkansız ya da aşırı maliyetli hale gelmektedir. Örneğin; hisse sahipleri, tepe yöneticilerin davranışlarını tümüyle izlemenin, fazla bir maliyet yaratacağını düşünebilir. Zıt seçimlerde, vekil, yönetici için gözlenmesi zor veya elde edilmesi maliyetli bilgilere sahip olabilir. Bu nedenle yönetici, vekilin kararlarının kendi çıkarları doğrultusunda verilip verilmediğine emin olamaz. Mesela; düşük kademe bir müdür yönetim kurulunun tekliflerine boyun eğebilir, (burada müdür vekil, yönetim kurulu vekaleti verendir) buna rağmen bazı temel bilgiler yönetim kurulu tarafından değil müdür tarafından bilinir ve bundan dolayı yapılan teklifler ekonomik değer oluşturmak için iyi

olmayabilir. Bu örnekte açıkça görüldüğü gibi yönetim kurulu bilgisel bir dezavantaja sahiptir. Ters seçim sorunu sözleşme imzalanmadan önce (*ex-ante*), ahlâki tehlike sorunu ise sözleşme imzalandıktan sonra ortaya çıkar.

4.2.1 Ters seçim sorunu

Ters seçim, asimetrik bilginin olduğu bir anlaşma düzleminde asilin sahip olduğu eksik bilgi ile yanlış seçim yapmasıdır. Ters seçim probleminin finansal piyasanın işleyişine nasıl etki ettiği George Akerlof'un (1970) ünlü makalesinde (The Market for "Lemons": Quality, Uncertainty, and the Market Mechanism) "limon problemi" olarak anlatılmıştır. Akerlof'un örneğinde ikinci el otomobil piyasasında, satıcıların satılan ürün hakkında yeterli bilgiye sahip olduğu halde, alıcı bilgisinin yetersiz olduğunu ve alıcı ile satıcı arasında bir asimetrik bilgi sorunu olduğunu ifade etmektedir. Bu durumda eğer araba limonsa yani kötüyse, arabanın sahibi ortalama fiyattan arabayı satmaya razı olacaktır. Arabaya ödenen fiyat, limonun değerinden daha yüksek olacaktır. Eğer araba limon değilse, satıcı, arabanın değerinin alıcının ödemeye razı olduğu fiyattan daha yüksek olduğunu bildiği için arabasını satmak istemeyecektir. Ters seçim sonucunda çok az sayıda kullanılmış iyi araba, piyasaya gelecektir. Bu piyasada aldatılabileceğini düşünen alıcılar ise ürüne değerinin altında fiyat verecek ya da piyasadan çekilmesi sonucu ikinci el piyasa çökebilecektir (Vardareri ve Dursun, 2010). Akerlof otomobil piyasasında asimetrik bilgi nedeniyle ortaya çıkan limon probleminin finansal piyasalarda da çıkabileceğini ileri sürmektedir (Akerlof, 1970).

4.2.2 Ahlâki tehlike sorunu

Ahlâki tehlike ya da teşvik sorunu, bireylerin eylemlerinin gözlemlenemediği ve sözleşme içine koyulamadığı için bireyler arasında oluşan bilgi asimetrisinden kaynaklanmaktadır (Holmström, 1979). Ahlaki tehlike, belli bir ilişki içinde olan iki tarafın farklı bilgilere sahip olmasını veya aynı bilgiye sahip olmamasını ifade eder ve vekilin davranış ve faaliyetlerinin yönetimden gizli olduğu veya gözlenemeyecek maliyetlere ulaşılan durumları kapsar. Bunun sonucunda; vekalet veren (yönetici) için vekilin hareketlerini izlemek imkansız ya da aşırı maliyetli hale gelmektedir. Ahlaki tehlike; özellikle hizmet sektöründe gözlemlenen, taraflardan birinin anlaşma yapıldıktan sonra, hizmetin sağlanması sırasında, diğer tarafa zarar verecek şekilde

davranış ya da eylemde bulunması sonucu ortaya çıkar. Bir sözleşme içinde ahlâki tehlike koşullarının ortaya çıkma aşamaları aşağıdaki gibidir (Colomeischi, 2012):

1. Asil, vekile bir sözleşme önerir,
2. Vekil sözleşmeyi (isterse) kabul eder,
3. Vekil belirli bir düzeyde (asilin gözlemleyemediği) çabayı gösterir,
4. Çaba düzeyi durumu/çıktıyı belirler,
5. Vekilin eylemi ödüllendirilebilecek bir şekilde sona erer.

Literatürde ahlâki tehlike yaklaşımını ilk Pauly (1968) kullanmıştır. Çalışmanın bulgusuna göre, eğer sigorta tipi talebi etkiliyorsa, toplam sigorta sözleşmesi artık pareto optimum olmayacaktır (pareto optimum: toplumdaki üretici, tüketici ve faktör sahiplerinden birinin durumunu kötüleştirmeden bunlardan bir başkasının durumunu iyileştirmenin mümkün olmadığı kaynak tahsisi durumu. Yani toplumdaki bireylerden en az birinin refahını azaltmadan başka birinin refahını artırma imkânı yoksa o toplumun refahı optimumdur (Barr, 2012)). Ancak ilk biçimsel (formel) ahlâki tehlike modeli, Zeckhauser (1970) tarafından sigorta poliçelerinin seçimi için geliştirilmiştir (Mirrlees, 1999). Bu modelde ödemelerin medikal harcamalar ile orantılı olduğu kabul edilmiştir ve bireyler kendilerine uygun sağlık harcamaları seçmektedirler.

4.2.3 Ahlâki tehlikenin modellenmesi

Enerji verimliliği projelerinde, projeyi yapmak isteyen bir firma, yürütme yetkisini EVD şirketine bir enerji hizmet sözleşmesi üzerinden verdiğinde ilgili teknolojiye uzman olmadığı için vekilin gösterdiği çabayı gözlemleyemeyecektir. Ancak asilin otoritesini devrettiği vekilin çaba göstermesi için belirli bir teşvik alması gerekmektedir. Laffont ve Mortimort'un (2001) geliştirdiği asil-vekil modeli bu bölümde anlatılacaktır.

Modelde çabanın, $e \in \{0,1\}$ arasında değer aldığı kabul edilmektedir. Çabanın maliyeti $\psi(e)$ vekile olan maliyeti çaba gösterilmediğinde $\psi(0)=\psi_0=0$ ve çaba gösterildiğinde $\psi(1)=\psi_1=\psi$ şeklinde olduğunda, vekilin fayda fonksiyonu $U = u(t) - \psi(e)$ olacaktır. Burada $u(.)$ artan ve iç bükey (konkav) bir fonksiyondur. ($u'(>0, u''(<0))$). $h = u^{-1}(t)$ bu fonksiyonun tersi artan ve konveks bir fonksiyon olacaktır. ($h'(>0, h''(>0))$)

Modelde, üretimin (q) stokastik değiştiği kabul edilmiş ve yüksek ve düşük olabilen iki değer aldığı varsayılmıştır; $\tilde{q} = \{\bar{q}, \underline{q}\}$. Yüksek ve düşük üretimin arasındaki fark $\bar{q} - \underline{q} = \Delta q$ ile gösterilecektir. Asilin çaba gösterdiği durumda stokastik üretimin yüksek gelme olasılığı π_1 ile çaba göstermediği durumda üretimin yüksek gelme olasılığı π_0 ile gösterilmektedir. Çaba gösterildiği takdirde, üretim miktarı çabadan olumlu yönde etkileneceği için $\pi_1 > \pi_0$ olacaktır. Olasılıklar arasındaki fark da modelde $\Delta\pi = \pi_1 - \pi_0$ olarak verilmiştir. Çizelge 4.6'da vekilin çaba gösterme ve göstermeme durumlarına göre üretimin yüksek ve düşük olma koşullu olasılıkları verilmektedir.

Çizelge 4.6 : Vekilin çaba gösterme ve gösterme durumlarına göre üretimin yüksek ve düşük olma olasılıkları.

	Çaba gösteriyor e=1	Çaba göstermiyor e=0
$\tilde{q} = \bar{q}$	π_1	π_0
$\tilde{q} \leq \underline{q}$	$1 - \pi_1$	$1 - \pi_0$

Asilin üretim düzeyine göre vekile verdiği transfer $t(\tilde{q})$ olarak gösterildiğinde, iki üretim düzeyi içi $t \in \{\bar{t}, \underline{t}\}$ değerlerini alacaktır. Üretimde vekilin yarattığı kazanç da $S(\tilde{q})$ olduğunda risk nötr asilin beklenen faydası, denklem (4.4) ve (4.5)'de gösterildiği gibi olur.

$$V_1 = \pi_1(S(\bar{q}) - \bar{t}) + (1 - \pi_1)(S(\underline{q}) - \underline{t}) \quad (\text{Vekil çaba göstermişse}) \quad (4.4)$$

$$V_0 = \pi_0(S(\bar{q}) - \bar{t}) + (1 - \pi_0)(S(\underline{q}) - \underline{t}) \quad (\text{Vekil çaba göstermemişse}) \quad (4.5)$$

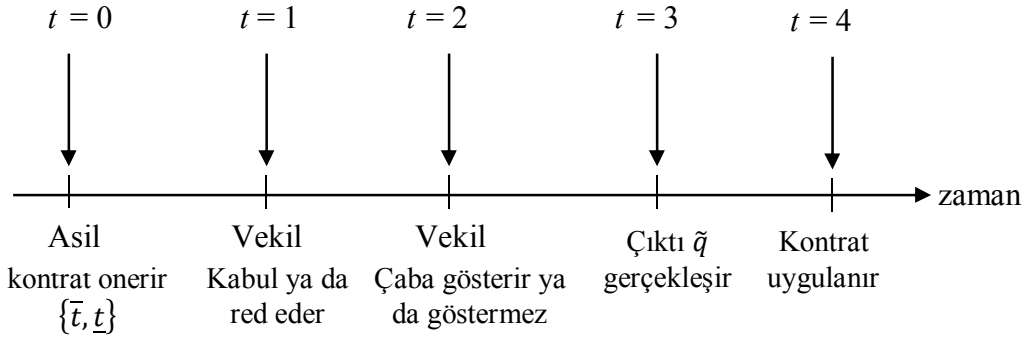
Vekilin kazançları aşağıdaki basit gösterimde $S(\bar{q}) = \bar{S}$; $S(\underline{q}) = \underline{S}$ şeklinde yazılabilir. Vekilin bu kontratı kabul etmesi için aşağıdaki iki kısıtın sağlanması gerekmektedir:

$$\text{Teşvik kısıtı: } \pi_1 u(\bar{t}) + (1 - \pi_1)u(\underline{t}) - \varphi \geq \pi_0 u(\bar{t}) + (1 - \pi_0)u(\underline{t}) \quad (4.6)$$

$$\text{İştirak kısıtı: } \pi_1 u(\bar{t}) + (1 - \pi_1)u(\underline{t}) - \varphi \geq 0 \quad (4.7)$$

Eğer vekil çaba göstermezse daha düşük bir transfere razı olacak φ kadar bir tasarruf sağlayacaktır.

Şekil 4.2’de ahlâki tehlike durumunda sözleşme yaparken izlenen sürecin zamana göre işleyişi verilmiştir.



Şekil 4.1 : Ahlâki tehlike altında sözleşme zamanlaması (Laffont ve Mortimort, 2001).

4.2.3.1 Tam bilgi durumunda optimal sözleşme

Eforun gözlemlenebilir ve doğrulanabilir olduğu durumda asilin problemi aşağıdaki şekilde modellenebilir (Laffont ve Mortimort, 2001).

$$\max_{\{\bar{t}, \underline{t}\}} \pi_1(\bar{S} - \bar{t}) + (1 - \pi_1)(\underline{S} - \underline{t})$$

öyle ki

$$\text{İştirak kısıtı: } \pi_1 u(\bar{t}) + (1 - \pi_1)u(\underline{t}) - \varphi \geq 0$$

λ 'nın iştirak kısıtının çarpanı ve $\bar{t}$ ve $\underline{t}$ 'ye göre türev alındığında birinci derece sonuçlar aşağıdaki gibi olacaktır:

$$-\pi_1 + \lambda \pi_1 u'(\bar{t}^*) = 0 \tag{4.8}$$

$$-(1 - \pi_1) + \lambda(1 - \pi_1)u'(\underline{t}^*) = 0 \tag{4.9}$$

$\bar{t}^*$ ve $\underline{t}^*$ en iyi durum (*first-best*) transferlerdir. Denklem (4.8) ve (4.9) çözüldüğünde, $\lambda = 1/u'(\underline{t}^*) = 1/u'(\bar{t}^*) > 0 \rightarrow \bar{t}^* = \underline{t}^* = t^*$ ve $t^* = h(\varphi)$ olur.

Asilin efor gösterildiğindeki kazancı efor gösterilmediği durumdaki kazancından daha büyük olması durumunda denklem (4.10)'daki eşitsizlik yazılır:

$$\pi_1 \bar{S} + (1 - \pi_1) \underline{S} - h(\varphi) \geq \pi_0 \bar{S} + (1 - \pi_0) \underline{S} \quad (4.10)$$

Efor gösterildiğinde asilin kazancının efor gösterilmediği duruma göre daha yüksek olacağından $\pi_1 \bar{S} + (1 - \pi_1) \underline{S} - h(\varphi) \geq \pi_0 \bar{S} + (1 - \pi_0) \underline{S}$ eşitsizliği yazılabilir. Burada $\Delta S = \bar{S} - \underline{S}$ olarak gösterdiğimizde efor gösterildiği durumda asilin kazancı denklem (4.11)'deki şekliyle belirtilebilir.

$$\Delta \pi \Delta S \geq h(\varphi) \quad (4.11)$$

$\Delta \pi \Delta S$: Beklenen efor kazancı

$h(\varphi)$: Efor gösterilmesi için katlanılan maliyetin en iyi (*first-best*) değeri (C^{ei})

4.2.3.2 Risk nötr durum ve en-iyinin uygulanması

Eğer vekil risk nötr ise; $u(t)=t$, $h(u)=u$ dönüşümü yapıldığında efor gösterilmesini isteyen asil için aşağıdaki problem çözülür (Laffont ve Mortimort, 2001):

$$\max_{\{\bar{t}, \underline{t}\}} \pi_1 (\bar{S} - \bar{t}) + (1 - \pi_1) (\underline{S} - \underline{t})$$

öyle ki

$$\text{Teşvik kısıtı: } \pi_1 \bar{t} + (1 - \pi_1) \underline{t} - \varphi \geq \pi_0 \bar{t} + (1 - \pi_0) \underline{t} \quad (4.12)$$

$$\text{İştirak kısıtı: } \pi_1 \bar{t} + (1 - \pi_1) \underline{t} - \varphi \geq 0 \quad (4.13)$$

(4.12) ve (4.13)'de verilen eşitsizlikler çözüldüğünde optimal transferler;

$$\underline{t}^* = -\frac{\pi_0}{\Delta \pi} \varphi \quad (4.14)$$

$$\bar{t}^* = \frac{(1 - \pi_0)}{\Delta \pi} \varphi \quad (4.15)$$

şeklinde bulunur. Bu sonuçlar, üretim yüksek olursa, vekil, ödüllendirildiği fakat üretim düşük olursa cezalandırıldığı şeklinde yorumlanabilir. Vekilin efor gösterme ve göstermeme durumlarındaki net faydaları $\bar{U}^* = \bar{t}^* - \varphi = \frac{(1 - \pi_1)}{\Delta \pi} \varphi > 0$ ve $\underline{U}^* = \underline{t}^* - \varphi = -\frac{\pi_1}{\Delta \pi} \varphi < 0$ şeklinde olacaktır.

Eğer asil vekilin görevini kontrol edebilseydi, risk nötr asilin beklenen ödemeleri; $\pi_1 \bar{t}^* + (1 - \pi_1) \underline{t}^* = \varphi$ olacaktı. Bu da vekilin efor göstermek için katlanacağı maliyete eşittir. Vekil efor düzeyini $e=0$ 'dan $e=1$ 'e çıkardığında, alacağı transfer de $\underline{t}^*$ 'den $\bar{t}^*$ 'ye yükselecektir. Denklem (4.14) ve (4.15) kullanılarak vekilin efordan kaynaklı beklenen kazancı; $\Delta\pi(\bar{t}^* - \underline{t}^*) = \varphi$ şeklinde hesaplanabilir.

Özet olarak eforun gözlemlenemediği durumda eğer vekil risk-nötr ise ahlaki tehlike bir sorun değildir ve eforun en iyi düzeyi hala uygulanabilir ($C^e = \varphi$).

4.2.3.3 İkinci en iyi durumda optimal sözleşme

İkinci en iyi durum yani en iyi durumdan olan sapma hali ahlaki tehlike olarak adlandırılmaktadır. Birinci ve ikinci en iyi durum arasındaki fark acente maliyeti (*agency cost*) olarak adlandırılır. Ahlaki tehlike ya da ikinci en iyi durumun oluşması vekil ile ilgili aşağıdaki iki durum varsa oluşur.

- Sınırlı sorumluluk (*limited liability*)
- Riskten kaçınma (*risk aversion*)

Sınırlı sorumluluk, risk nötr vekilin düşük üretim düzeyinde cezalandırılmaması ya da cezayı karşılayacak bir varlığı olmaması durumudur. Bu nedenle programa sınırlı sorumluluk kısıtı eklenir. Ayrıca vekilin efor göstermesi için asilin sadece ödüllendirmeyi kullanması gerekebilir. Vekile ödenen sınırlı sorumluluk rantı, asil için bir maliyet oluşturur.

Riskten kaçınan vekil ise efor gösterme risk içerdiği için göstermeyip φ kadar bir maliyete de katlanmayacaktır. Vekilin efor göstermesi için asilin bir risk primi ödemesi gerekmektedir. Böylece asilin bu maliyetle toplam maliyeti birinci en iyi durumdan ikinci en iyi duruma sapar.

Sınırlı Sorumluluk

Bu modelde yeni eklenen sınırlı sorumluluk kısıtları aşağıda verilmiştir ($l \geq 0$):

$$\bar{t} \geq -l \quad (4.16)$$

$$\underline{t} \geq -l \quad (4.17)$$

$l > \frac{\pi_0}{\Delta\pi} \varphi$ durumunda sadece ilk iki kısıt sıkı (*binding*) olur, vekilin beklenen sınırlı sorumluluk rantı (*expected limited liability rent*) 0'dır ($EU^{2.ei}=0$) ve transferler denklem (4.14) ve (4.15)'daki gibi $\underline{t}^* = -\frac{\pi_0}{\Delta\pi} \varphi$ ve $\bar{t}^* = \frac{(1-\pi_0)}{\Delta\pi} \varphi$ olur. $0 \leq l \leq \frac{\pi_0}{\Delta\pi} \varphi$ durumunda ise tüm kısıtlar sıkı olur. Optimal transferler;

$$\underline{t}^{2.ei} = -l \quad (4.18)$$

$$\bar{t}^{2.ei} = -l + \frac{\varphi}{\Delta\pi} \quad (4.19)$$

şeklinde bulunur. Vekilin beklenen sınırlı sorumluluk rantı denklem (4.20)'de hesaplanmıştır.

$$EU^{2.ei} = \pi_1 \bar{t}^{2.ei} + (1 - \pi_1) \underline{t}^{2.ei} - \varphi = -l + \frac{\pi_0}{\Delta\pi} \varphi > 0 \quad (4.20)$$

Sınırlı rasyonellik ile çaba gösterilmesini sağlayacak optimal sözleşmede çözümün ispatı aşağıdaki gibidir:

Öncelikle $0 \leq l \leq \frac{\pi_0}{\Delta\pi} \varphi$ durumu incelendiğinde (4.12) ve (4.13) eşitsizlikleri dikkate alınır. Asıl, vekile yaptığı ödemeleri enküçüklemek istediği için iki kısıt da sıkı olmak zorundadır. Böylelikle denklem (4.18) ve (4.19)'daki optimal transferler bulunur. $-l + \frac{\varphi}{\Delta\pi} > -l$ olduğu sürece (4.16)'daki eşitsizlik sağlanır. $\pi_1 \bar{t}^{2.ei} + (1 - \pi_1) \underline{t}^{2.ei} - \varphi = -l + \frac{\pi_0}{\Delta\pi} \varphi > 0$ için eşitsizlik 4.13 tam anlamıyla sağlanır. $l > \frac{\pi_0}{\Delta\pi} \varphi$ için ise transferler, $\underline{t}^* = -\frac{\pi_0}{\Delta\pi} \varphi$ ve $\bar{t}^* = -\varphi + \frac{(1-\pi_1)}{\Delta\pi} \varphi > \underline{t}^*$, 4.16 ve 4.17 eşitsizliklerini tam anlamıyla sağlar ve denklem (4.12) ile gösterilen kısıt, sıkıdır.

Sınırlı sorumluluk kısıtı, düşük üretim düzeyi durumlarda sıkı olmayabilir. Asıl sadece iyi durumlarda ($\bar{q}$) ödüllendirmeleri kullanabilir. Kötü üretim düzeyinde cezalandırma için risk nötr asilin yeterli varlıkları bulunmayacaktır. Bu nedenle sınırlı sorumluluktan rantı, ahlaki tehlike ve sınırlı sorumluluğun birleşmesiyle efor gösterilmesi için asilin katlanması gereken ekstra bir maliyet olmaktadır (Laffont ve Mortimort, 2001).

$l=0$ ve sadece pozitif transferlerin olduğu varsayımında, vekilin beklenen yararı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$V_1^{2.ei} = \pi_1 \bar{S} + (1 - \pi_1) \underline{S} - \frac{\pi_1 \varphi}{\Delta \pi} \quad (4.21)$$

Eğer asil, vekilin efor göstermesinden vaz geçerse $\bar{t} = \underline{t} = 0$ transferini seçer ve denklem (4.22)'de verilen beklenen fayda düzeyini kabul eder.

$$V_0 = \pi_1 \bar{S} + (1 - \pi_1) \underline{S} \quad (4.22)$$

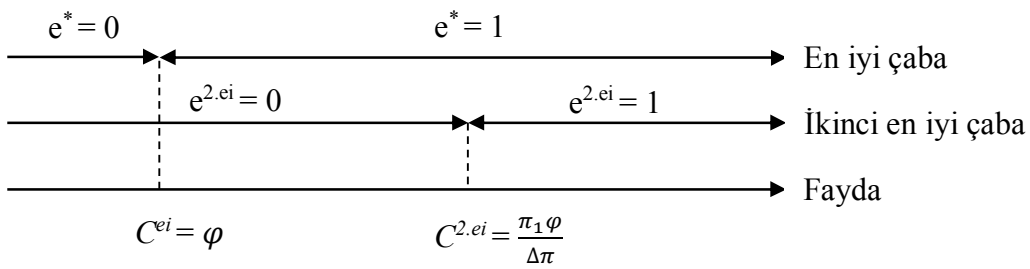
$V_1^{2.ei}$, sadece aşağıda verilen eşitsizlik sağlandığında V_0 'dan büyüktür (4.23).

$$\Delta \pi \Delta S \geq \frac{\pi_1 \varphi}{\Delta \pi} \quad (4.23)$$

Üstteki eşitsizliğin sol tarafı efor gösterildiğindeki yüksek üretim düzeyi olasılığındaki artıştan gelen kazanç, sağ taraf ise, efor gösterildiğinde ikinci en iyi maliyettir ($C^{2.ei}$). Denklem (4.24)'de gözlemleneceği gibi ikinci en iyi maliyet, efordan dolayı katlanılan maliyet ile sınırlı sorumluluk rantının toplamına eşittir (Laffont ve Mortimort 2001).

$$C^{2.ei} = \varphi + \frac{\pi_0 \varphi}{\Delta \pi} \quad (4.24)$$

Şekil 4.3'de görüldüğü gibi ikinci en iyi maliyet, birinci en iyi maliyetten bariz şekilde yüksektir ($C^{2.ei} = \varphi$).



Şekil 4.2 : Ahlâki tehlike ve sınırlı sorumluluk durumunda en iyi ve ikinci en iyi eforlar (Laffont ve Mortimort, 2001).

Riskten kaçınan (*risk averse*) vekil:

Vekil riskten kaçınma durumunda asilin programı (4.6) ve (4.7)'de verilen kısıtlar ile aşağıdaki gibi yazılır.

$$\max_{\{\bar{t}, \underline{t}\}} \pi_1 (\bar{S} - \bar{t}) + (1 - \pi_1) (\underline{S} - \underline{t})$$

öyle ki

$$\text{Teşvik kısıtı: } \pi_1 u(\bar{t}) + (1 - \pi_1)u(\underline{t}) - \varphi \geq \pi_0 u(\bar{t}) + (1 - \pi_0)u(\underline{t})$$

$$\text{İştirak kısıtı: } \pi_1 u(\bar{t}) + (1 - \pi_1)u(\underline{t}) - \varphi \geq 0$$

Programın Kuhn-Tucker koşullarını sağlaması için $\bar{u} = u(\bar{t})$; $\underline{u} = u(\underline{t})$; $\bar{t} = h(\bar{u})$; $\underline{t} = h(\underline{u})$ dönüşümleri yapıldığında, yeni program aşağıdaki gibi olur:

$$\max_{\{\bar{t}, \underline{t}\}} \pi_1 (\bar{S} - h(\bar{u})) + (1 - \pi_1) (\underline{S} - h(\underline{u}))$$

$$\pi_1 \bar{u} + (1 - \pi_1) \underline{u} - \varphi \geq \pi_0 \bar{u} + (1 - \pi_0) \underline{u} \quad (4.25)$$

$$\pi_1 \bar{u} + (1 - \pi_1) \underline{u} - \varphi \geq 0 \quad (4.26)$$

Bu durumda Kuhn-Tucker şartları sağlanabilmektedir.

Optimal transferler aşağıdaki gibi bulunur:

λ ve μ , denklem (4.25) ve (4.26)'daki kısıtlar ile ilişkilendirilmiş negatif olmayan çarpanlardır. Bu programın birinci derece durumları aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\pi_1 h'(\bar{u}^{2.ei}) + \lambda \Delta\pi + \mu \pi_1 = -\frac{\pi_1}{u'(\bar{t}^{2.ei})} + \lambda \Delta\pi + \mu \pi_1 = 0 \quad (4.27)$$

$$-(1 - \pi_1) h'(\underline{u}^{2.ei}) - \lambda \Delta\pi + \mu \pi_1 = -\frac{(1 - \pi_1)}{u'(\underline{t}^{2.ei})} - \lambda \Delta\pi + \mu (1 - \pi_1) = 0 \quad (4.28)$$

Optimal transferler $\bar{t}^{2.ei}$ ve $\underline{t}^{2.ei}$ dir. Denklemler düzenlendiğinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılır:

$$\frac{1}{u'(\bar{t}^{2.ei})} = \mu + \lambda \frac{\Delta\pi}{\pi_1} \quad (4.29)$$

$$\frac{1}{u'(\underline{t}^{2.ei})} = \mu - \lambda \frac{\Delta\pi}{(1 - \pi_1)} \quad (4.30)$$

Dört denklemin (4.25, 4.26, 4.29 ve 4.30) sonucu dört değişken $(\bar{t}^{2.ei}, \underline{t}^{2.ei}, \lambda \text{ ve } \mu)$ aynı bulunabilir. Denklem (4.29), π_1 ve denklem (4.30), $(1 - \pi_1)$ ile çarpıldığında ve

modifiye edilen bu denklemler toplandığında denklem (4.31)'de gösterilen sonuç bulunur:

$$\mu = \frac{\pi_1}{u'(\bar{t}^{2.ei})} + \frac{1 - \pi_1}{u'(\underline{t}^{2.ei})} > 0 \quad (4.31)$$

Bu durumda denklem (4.26) ile gösterilen iştirak kısıtının sıkı olması gereklidir. Denklem (4.31) ve (4.29) kullanılarak denklem (4.32) elde edilir.

$$\lambda = \frac{\pi_1(1 - \pi_1)}{\Delta\pi} \left(\frac{1}{u'(\bar{t}^{2.ei})} + \frac{1}{u'(\underline{t}^{2.ei})} \right) \quad (4.32)$$

λ , tam anlamıyla pozitif olmalıdır. Ayrıca denklem 4.25'den elde edilen, $\bar{u}^{2.ei} - \underline{u}^{2.ei} \geq \frac{\varphi}{\Delta\pi} > 0$ ve $\bar{t}^{2.ei} > \underline{t}^{2.ei}$, $u'' < 0$ olduğu için denklem (4.32)'nin sağ tarafı, tam anlamıyla pozitiftir. Bu sonucun anlamı, vekilin çaba göstermesi için risk alması gerekliliğidir.

Eğer vekil, tam anlamıyla riskten kaçınıyorsa (*strictly risk averse*), optimal kontrat, vekilin hem teşvik hem de iştirak kısıtlarını doyuracak bir efor göstermesini sağlamalıdır. İkinci en-iyi transferler aşağıdaki gibi bulunur:

$$\bar{t}^{2.ei} = h(\varphi + (1 - \pi_1) \frac{\varphi}{\Delta\pi}) \quad (4.33)$$

$$\underline{t}^{2.ei} = h(\varphi - \pi_1 \frac{\varphi}{\Delta\pi}) \quad (4.34)$$

Buna göre vekil artık $\bar{t}^{SB} > h(\varphi)$ şeklinde yüksek çıktı durumunda tam bilgi durumundan daha yüksek değerde bir transfer alacaktır. Düşük çıktı halinde ise $\underline{t}^{SB} < h(\varphi)$ olduğu için tam bilgi durumundan daha düşük bir transfer alacaktır. $\underline{t}^{SB} < \bar{t}^{SB}$ olduğu için riskten kaçınan bir vekile iştirakini sağlamak için bir risk primi ödenmelidir. İştirak kısıtının sıkı olması durumunda, bu değer denklem (4.35)'da gösterildiği gibi bulunur.

$$\varphi = \pi_1 u(\bar{t}^{2.ei}) + (1 - \pi_1) u(\underline{t}^{2.ei}) < u(\pi_1 \bar{t}^{2.ei} + (1 - \pi_1) \underline{t}^{2.ei}) \quad (4.35)$$

(Jensen eşitsizliği)

Beklenen ödeme; $\pi_1 \bar{t}^{2.ei} + (1 - \pi_1) \underline{t}^{2.ei}$ En iyi maliyet; $C_1^{2.ei} = h(\varphi)$ 'den büyük olacaktır (Laffont ve Mortimort, 2001).

Optimal ikinci en-iyi efor

Denklem (4.33) ve (4.34) kullanılarak ikinci en iyi maliyet $C^{SB} = \pi_1 \bar{t}^{SB} + (1 - \pi_1) \underline{t}^{SB}$ denklem (4.36)'daki hale gelmektedir.

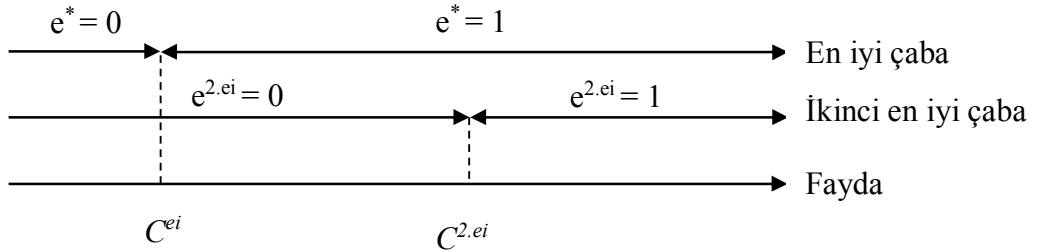
$$C^{2.ei} = \pi_1 h\left(\varphi + (1 - \pi_1) \frac{\varphi}{\Delta\pi}\right) + (1 - \pi_1) h\left(\varphi - \pi_1 \frac{\varphi}{\Delta\pi}\right) \quad (4.36)$$

Efor gösterildiğinde asilin kazancı ($\Delta\pi\Delta S$) aşağıdaki eşitsizliği sağladığı takdirde eforun $e=1$ düzeyinde olması asil tarafından seçilmelidir (4.37).

$$\Delta\pi\Delta S \geq C^{2.ei} = \pi_1 h\left(\varphi + (1 - \pi_1) \frac{\varphi}{\Delta\pi}\right) + (1 - \pi_1) h\left(\varphi - \pi_1 \frac{\varphi}{\Delta\pi}\right) \quad (4.37)$$

Ahlaki tehlike durumlarında acenta (vekâlet) maliyetleri (AC) denklem (4.38)'ye bakılarak hesaplanabilir. Şekil 4.4'de bu fark grafiksel olarak belirtilmiştir.

$$AC = C^{2.ei} - C^{ei} \quad (4.38)$$



Şekil 4.3 : Ahlâki tehlike ve riskten kaçınma durumunda en iyi ve ikinci en iyi çabalar (Laffont ve Mortimort, 2001).

4.2.3.4 Doğrusal paylaşım kuralı

Basit doğrusal paylaşım kuralında, asil üretim üzerinden sabit bir payı vekile vermektedir. Böyle bir paylaşım kuralı, otomatik olarak vekilin sınırlı sorumluluk kısıtını sağlar. Çaba gösterimesi için optimal doğrusal kuralın aşağıdaki programı çözmesi gereklidir.

$$\max_{\alpha} (1 - \alpha)(\pi_1 \bar{q} + (1 - \pi_1) \underline{q})$$

öyle ki

$$\alpha(\pi_1\bar{q} + (1 - \pi_1)\underline{q}) - \varphi \geq \alpha(\pi_0\bar{q} + (1 - \pi_0)\underline{q}) \quad (4.39)$$

$$\alpha(\pi_1\bar{q} + (1 - \pi_1)\underline{q}) - \varphi \geq 0 \quad (4.40)$$

Modelde sadece ilk kısıtın sıkı olduğu görülmektedir (4.39). İkinci en iyi durumda paylaşım katsayısı α aşağıdaki gibi bulunur.

$$\alpha^{2.ei} = \frac{\varphi}{\Delta\pi\Delta q} < 1; \Delta\pi\Delta q < \varphi \quad (4.41)$$

Asilin beklenen faydası denklem (4.42)'de, vekilin beklenen faydası da denklem (4.43)'de görülmektedir.

$$EV_a = \pi_1\bar{q} + (1 - \pi_1)\underline{q} - \left(\frac{\pi_1\bar{q} + (1 - \pi_1)\underline{q}}{\Delta q} \right) \frac{\varphi}{\Delta\pi} \quad (4.42)$$

$$EU_a = \left(\frac{\pi_0\bar{q} + (1 - \pi_0)\underline{q}}{\Delta q} \right) \frac{\varphi}{\Delta\pi} \quad (4.43)$$

Önceki model ile karşılaştırıldığında sabit paylaşım kuralı, asil değil vekil için daha faydalıdır. Doğrusal paylaşım kuralı ile üretim kötü bile olsa kazanç sağlamaktadır (Laffont ve Mortimort, 2001).

5. MODELLEME

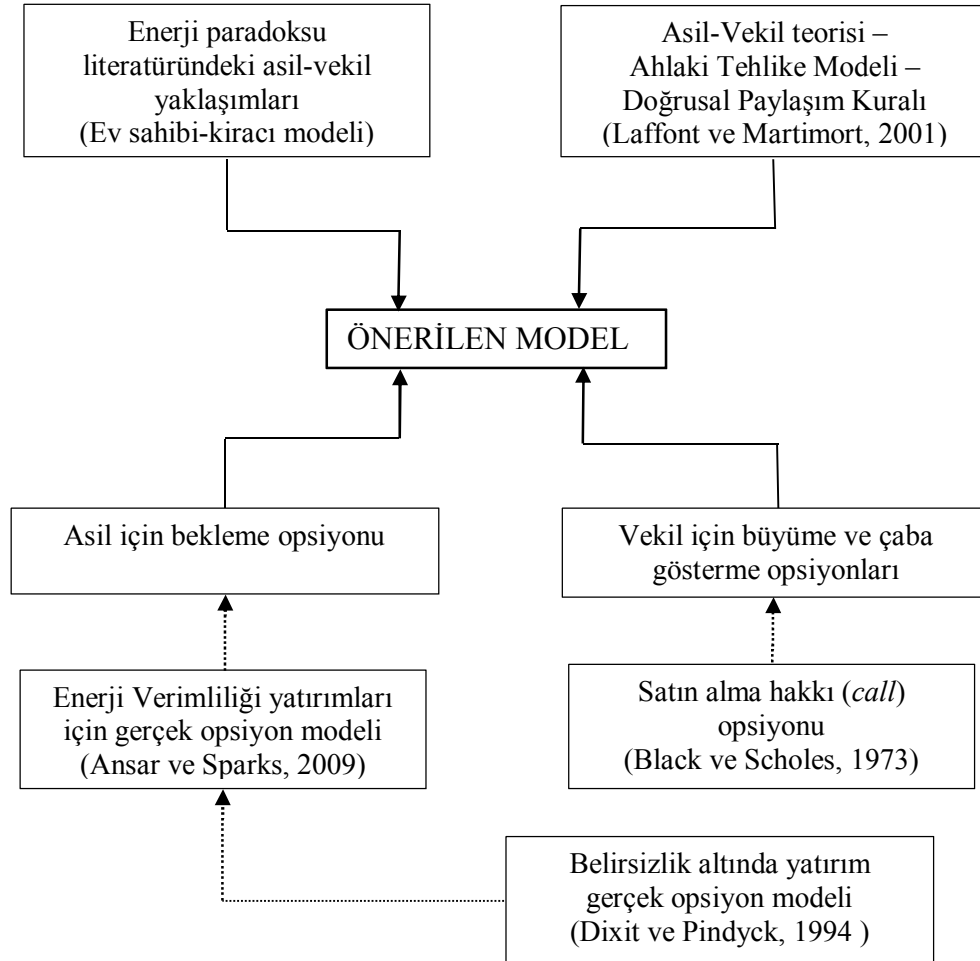
Enerji paradoksunun çözümü için önerilen model, gerçek opsiyon ve asil-vekil modellerini bütünleştirmektedir. Enerji verimliliği projeleri, yatırım olarak değerlendirildiği için bu yatırım projelerinin değerlendirilmesinde gerçek opsiyon değerlendirme yöntemleri kullanmak uygun olmaktadır. Proje kâr değerlerinin etkilendiği enerji fiyatları ve enerji teknolojilerinin zamana göre değişimi dikkate alındığında bir opsiyon değeri oluşmaktadır. Dixit ve Pindyck'in (1994) belirsizlik altında yatırımları gerçek opsiyonlar ile değerlendiren modelini enerji tasarrufu projelerine uygulayan Ansar ve Sparks'ın (2009) yaklaşımının bir benzeri modelin bir ayağı olan gerçek opsiyon değerlendirme kısmını oluşturacaktır.

Enerji paradoksunun önemli nedenlerinden biri olan asil-vekil sorunu, modelin ikinci ayağını oluşturmaktadır. Enerji maliyetlerini düşürmek amacıyla enerji verimliliği projesi uygulamak isteyen müşteri firma, EVD şirketinin konu ile ilgili uzmanlığı nedeniyle bir enerji hizmet sözleşmesi üzerinden genelde ihale yöntemi ile bu işi delege eder. Böylece iki taraf arasında menfaat ve risk paylaşımı üzerine yapılan anlaşma bir asil-vekil sorunu yaratacaktır. Bunun nedeni önceki bölümlerde anlatıldığı gibi enerji verimli teknoloji seçiminin tedarikçi EVD şirketinin denetiminde olması ve firmanın tasarrufu doğrudan etkileyen bu bileşeni gözlemleyememesidir.

Enerji performans sözleşmesi yapılması halinde, EVD şirketi de gelirini sabit bir ödeme yerine, sağladığı performans sonucu ortaya çıkan tasarruf miktarı üzerinden alacağı için geleneksel anahtar teslim projeye göre daha fazla çaba sarf etmesi beklenmektedir. Eğer EPS, paylaşımlı tasarruf sözleşmesi ise, EVD şirketi proje için gerekli finansmanın riskini de üstleneceği için sarf edeceği çabanın daha yüksek olması beklenebilir. Asil-vekil modeli için getirilen bir yenilik de, vekilin EPS yapması durumunda kazancın, enerji fiyatlarının zaman içindeki stokastik davranışına ve çabanın da kazanca etkisi ile vekilin kazancında oluşan opsiyon değerinin dikkate alınmasıdır. Bu durumda çaba göstermek için daha fazla maliyete katlanan vekil, zaman içinde kazancın beklenen değerindeki artış sayesinde,

ödemesini sabit ücretle aldığı sözleşme tipine göre daha yüksek bir faydaya sahip olabilmektedir.

Enerji paradoksu literatüründe genellikle karşılaşılan asil-vekil sorunları ev sahibi-kiracı metaforu ile modellenmiştir. Bunlara ek olarak EPS’de asilin vekile verdiği pay, asil-vekil literatüründe kullanılan doğrusal paylaşım kuralı ile modellenecektir (Laffont ve Martimort, 2001). Sözleşme sonucunda ortaya çıkan opsiyonlar, asil için bekleme ve vekil için ise büyüme ve çaba gösterme opsiyonları olarak belirlenmiştir. Çizelge 5.1’de bu opsiyonlar açıklanmıştır. Bu opsiyonlar, önceki bölümlerde anlatılan satın alma hakkı opsiyonu analogisine uymaktadır. Kurulan kavramsal model, Şekil 5.1’de verilmektedir. İlerleyen kısımlarda iki sözleşme tipi için de ayrı modeller kurulacak ve çabalar ile yaratılan opsiyon değerlerinin karşılaştırmalı analizi yapılacaktır.



Şekil 5.1 : Kavramsal model.

Çizelge 5.1 : Asil ve vekilin opsiyon tipleri.

	Kazanç
Asilin bekleme opsiyon değeri	Yatırım yapmayı ertelleyerek gelecekteki enerji fiyatlarındaki artıştan ve teknolojik gelişmeler ile maliyetlerdeki düşüşten kaynaklanan kârda artış
Vekilin büyüme opsiyon değeri	Enerji fiyatlarındaki gelecekte artış beklentisinden kaynaklanan kârda artış
Vekilin çaba opsiyon değeri	Çaba gösterilerek donanımın performansının artışı ile kârda artış

5.1 Stokastik Parasal Enerji Tasarruf Miktarı

Enerji tasarruf miktarının parasal karşılığı kilowattsaat (kWh) cinsinden tasarruf edilen enerjinin, enerji birim fiyatı (TL/kWh) ile çarpılması ile elde edilmektedir. Bu iki değişkenin de zaman içinde değişim göstermesi, gelecekteki nakit akışlarının hesaplanmasında stokastik süreçlerin dikkate alınmasını gerektirmektedir.

Müşteri firmanın bir enerji verimliliği projesinden kazanacağı parasal enerji tasarruf miktarı denklem (5.1)'de gösterildiği şekilde hesaplanabilir (Thompson, 1997). Denklem (5.2)'de parasal enerji tasarruf miktarının iki bileşene indirgenerek düzenlenmiş hali gösterilmiştir.

$$S_t = P_t(E^0 - E_t^S) \quad (5.1)$$

$$S_t = P_t(\Delta E)_t \quad (5.2)$$

E^0 : Proje öncesi kullanılan enerji miktarı (zaman içinde düşen ekipmanın performansı belirli bir zamandan sonra sabit bir değerde kaldığı kabul edildiği için hesaplamalarda sabit kabul edilecek)

E_t^S : Proje sonrası kullanılan enerji miktarı (yatırım yapıldığı kadar teknoloji artışından dolayı ve yatırım yapıldıktan sonra enerji verimli ekipmanın performansı zaman içinde değiştiği için hesaplamalarda zamana bağlı değiştiği kabul edilecek)

P_t : t anındaki enerji birim fiyatı (enerji fiyatlarının zaman içinde değiştiği kabul ediliyor)

$(\Delta E)_t$: t anındaki tasarruf miktarı (E_t^S zaman içinde değiştiği için tasarruf miktarı zaman içinde değişecektir)

S_t : t anındaki enerji faturasına yansıyan parasal tasarruf miktarı (P_t ve $(\Delta E)_t$ zaman içinde değiştiği için çarpımları olan parasal tasarruf miktarı zaman içinde değişecektir).

Enerji fiyatlarının değişiminin birçok çalışmada (Kjærland, 2007; Ansar ve Sparks, 2009) geometrik Brownian hareketini izlediği kabul edilmiştir. Bu durumda enerji fiyatının ani değişimini gösteren denklem aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$dP_t = \mu P_t dt + \sigma P_t dZ_t \quad (5.3)$$

Burada μ , yüzde trend artış oranını, σ ise fiyat değişiminin volatilitelerini göstermektedir. dZ_t ise önceki bölümde tanımlanan Wiener sürecini gösterir. Burada $dZ = \varepsilon \sqrt{dt}$; ε , ortalaması 0 ve standart sapması 1 olan normal dağılıma uyan rassal değişkendir ($\varepsilon \sim N(0,1)$).

Teknolojideki ilerlemeler nedeniyle enerji verimliliği yatırımının daha ileri bir tarihte yapılması bekleme opsiyonu perspektifinden de bakıldığında yatırım maliyetlerini düşürecek ya da başka bir deyişle aynı maliyete daha yüksek enerji tasarrufu sağlanabilecektir. E^S olarak gösterilen proje sonrası kullanılan yeni teknolojinin enerji kullanım miktarı artan bir fonksiyon olarak yazılabilir.

Ansar ve Sparks (2009), enerji tasarruf miktarının kümülatif değişimini, teknolojideki artış ve öğrenme etkisini göz önüne alarak üstel bir fonksiyon olarak tanımlamıştır. Bu yaklaşım kullanılırsa γ 'nın artış hızı katsayısı olarak kabul edildiği durumda E 'deki ani değişim fomülü denklem (5.4)'deki gibi olur.

$$dE_t^S = \gamma E_t^S dt \quad (5.4)$$

Yatırım T anında yapıldığında, hesaplanan parasal tasarruf miktarı S' 'in $t > T$ anındaki değeri S_t denklem (5.5)'de verilmiştir.

$$S_t = P_t(E^0 - E_t^S) \quad (5.5)$$

E^0 sabit kabul sabit kabul edildiği için denklem (5.4) dikkate alınarak $d(\Delta E)_t$ de aşağıdaki gibi bulunur:

$$d(\Delta E)_t = \gamma(\Delta E)_t dt \quad (5.6)$$

Denklem (5.2, 5.3 ve 5.6) beraber çözüldüğünde parasal enerji tasarruf miktarındaki değişim aşağıdaki gibi bulunabilir:

$$dS_t = P_t d(\Delta E)_t + (\Delta E)_t dP + dP d(\Delta E)_t \quad (5.7)$$

Denklem (5.7)'da verilen ifade, aşağıdaki adımlar izlenerek bulunmuştur:

Örneğin $F=(x_1, x_2, \dots x_m, t)$ fonksiyonu m Ito süreci ve zamana bağlı bir fonksiyon ise ve dx aşağıdaki gibi yazılıyorsa,

$$dx = a_i(x_1, x_2, \dots x_m, t) dt + b_i(x_1, x_2, \dots x_m, t) dZ_i, \quad i=1, \dots m \quad (5.8)$$

$E[dZ_i dZ_j] = \rho_{ij} dt$ için Ito lemması Taylor serisi açılımını kullanarak, diferansiyel dF 'i denklem (5.9)'daki gibi verir:

$$dF = \frac{\partial F}{\partial t} dt + \sum_i \frac{\partial F}{\partial x_i} dx_i + \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \frac{\partial^2 F}{\partial x_i \partial x_j} dx_i dx_j \quad (5.9)$$

İki değişkene bağlı dS_t parasal enerji tasarruf miktarının çözümlemesi değişkenlerine göre ikinci dereceden kısmi türevleri $\frac{\partial^2 S}{\partial P^2} = \frac{\partial^2 S}{\partial (\Delta E)^2} = 0$ ve $\frac{\partial^2 F}{\partial P \partial (\Delta E)} = 1$ olduğu için denklem (5.7) elde edilir.

Denklem 5.10'da tanımlanan G fonksiyonunun geometrik Brownian hareketini takip eden x 'e göre kısmi diferansiyelleri $\frac{\partial G}{\partial x} = \frac{1}{x}$ ve $\frac{\partial G}{\partial x} = -\frac{1}{x^2}$ olduğu için Ito lemması kullanıldığında dG diferansiyeli denklem 5.11'de gösterildiği şekle dönüşür.

$$G = \log x, \quad dx = \alpha x dt + \sigma x dz \quad (5.10)$$

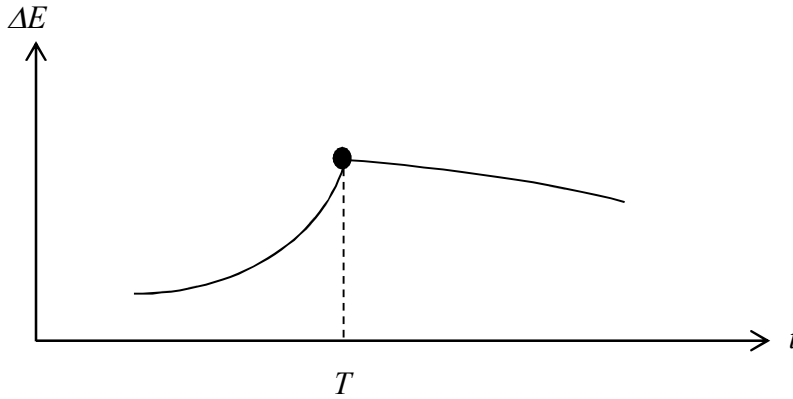
$$\begin{aligned} dG &= \frac{1}{x} dx - \frac{1}{2x^2} (dx)^2 = \alpha dt + \sigma dz - \frac{1}{2} \sigma^2 dt \\ &= \left(\alpha - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) dt + \sigma dz \end{aligned} \quad (5.11)$$

Aynı yaklaşım denklem (5.7)'de verilen parasal enerji tasarruf miktarı için dikkate alındığında ve denklem (5.3) ve denklem (5.4), yerine yazıldığında dS_t aşağıdaki gibi bulunur.

$$dS_t = (\mu + \gamma - 0,5\sigma^2) S_t dt + \sigma S_t dZ_t \quad (5.12)$$

Denklem (5.12)'den görüldüğü üzere parasal enerji tasarruf miktarı S geometrik Brownian hareketini takip etmektedir.

Modellemenin anlaşılmasını kolaylaştırmak açısından tezde elektrik motorunun bir enerji verimli motor ile değiştirilmesi ile tasarruf elde edilmesi örneği üzerinden açıklamalara yer verilecektir. Bu vakada enerji verimli teknolojinin üstel değil kesikli ve doğrusal arttığı kabul edilmektedir. Ayrıca motor satın alındıktan sonra zaman içinde performansının düştüğü, yıllık bakımlar yapılarak tekrar yükseltildiği kabul edilecektir. Böylece $(\Delta E)_t$ olarak gösterilen enerji tasarrufu değişkeni yatırım anına kadar artış, yatırım yaptıktan sonra da azalma eğilimi gösterecektir. Bu durum Şekil 5.2'de gösterilmektedir.



Şekil 5.2 : Tasarruf miktarının zamana göre değişimi.

Bu parçalı yapıdan dolayı $(\Delta E)_t$ değişkeni yatırım öncesi ve yatırım sonrası olarak $\Delta E_{t < T}$ ve $\Delta E_{t \geq T}$ şeklinde gösterilecektir. Bu nedenle enerji tasarruf miktarı kolay gösterilememekte ve hesaplama benzetim yöntemiyle aylık enerji tasarruflarının hesaplanarak yatırım yapılması düşünülen aylar için 20 yıllık birikimli toplamalar şeklinde bulunmaktadır.

5.2 Modeldeki Değişken ve Parametreler

Modelde kullanılacak değişken ve parametreler kısaca aşağıda açıklanmaktadır.

5.2.1 Parasal enerji tasarruf miktarı (S)

Parasal enerji tasarruf miktarı (S), enerji verimliliği projesi uygulamak isteyen bir firmanın kazancını göstermektedir. Firmanın amacı, bu kazançtan elde edeceği kârı, seçeceği sözleşme tipine göre enbüyükleme. Denklem (5.1)'de hesaplama formülü verilen enerji tasarruf miktarı temel olarak enerji fiyatlarının ve kilowattsaat

(kWh) cinsinden enerji tasarrufunun çarpımı ile bulunmaktadır. Bu değerlerin zamana bağlı değişimi, enerji tasarruf miktarının gelecekteki belirsizlikten, teknolojiye artıstan ve donanımın performansından etkilenmesine yol açmaktadır. Belirsizlikten kaynaklanan opsiyon değeri ve performansı etkileyen asıl vekil ilişkisi, enerji tasarruf miktarının belirlenmesinde dikkate alınacak ana yaklaşımlardır.

Enerji fiyatları ve teknolojiye artış gözetildiğinde, asilin enerji verimliliği sözleşmesini daha ileri bir tarihte yapması, opsiyon değerini arttırabilmektedir. Sözleşme tiplerine göre vekilin çaba düzeyi değişeceği için enerji tasarruf miktarının yatırım yapılma anını işaret eden tetikleme değeri ve anı (T) da her sözleşme tipi için farklı olacaktır.

Enerji fiyatlarının değişimi denklem (5.2)'de verilmiştir. Bu denklemden elde edilen μ ve σ parametrelerine göre gelecekteki bir t anı için enerji fiyatlarının tahmini denklem (5.13)'e dayanarak hesaplanacaktır. μ ve σ parametrelerinin nasıl bulunduğu sonraki bölümde anlatılacaktır.

$$P_t = P_{t-1} + \mu P_{t-1} \Delta t + P_{t-1} \sigma \varepsilon \sqrt{\Delta t} \quad (5.13)$$

Aylık verilerden aylık değerlerin tahmini söz konusu olduğu için $\Delta t = 1$ olarak kullanılacaktır.

Bir elektrik motorunun enerji tasarrufu miktarı, T yatırımı yapma zamanı olarak kabul edildiğinde, denklem (5.14)'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır (Url-2).

$$\Delta E_{t < T} = \text{Motor Gücü(kW)} * \text{Yük Faktörü} * \text{İşletme Saati} * [(1/\eta_{\text{eski}}) - (1/\eta_{\text{yeni}})] \quad (5.14)$$

η : Elektrik motorunun verimi

5.2.2 Enerji fiyatlarının değişimi ve volatilitesi (μ ve σ)

Tezin önceki bölümlerinde bahsedildiği gibi, ilgili literatürden hareketle enerji fiyatlarının değişiminin stokastik bir süreç olan geometrik Brownian hareketini izlediği kabul edilmektedir. Geçmişe dayalı enerji fiyat veri kümesi incelenerek hesaplanan değişim hızı (μ) ve volatilitesi (σ) parametreleri gelecekteki enerji fiyatlarının kestiriminde kullanılacaktır. Tahminlerde kullanılacak ve değerleri geçmiş enerji fiyat verilerinden aşağıdaki denklemlerde gösterildiği gibi bulunmaktadır (Önalın, 2007).

$$r_t = \ln(q_t) - \ln(q_{t-1}) \quad (5.15)$$

$$\bar{r} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n r_t \quad (5.16)$$

$$s_r = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{t=1}^n (r_t - \bar{r})^2} \quad (5.17)$$

$$\hat{\sigma} = \frac{s_r}{\Delta} \quad (5.18)$$

$$\hat{\mu} = \frac{\bar{r}}{\Delta} + \frac{\hat{\sigma}^2}{2} = \frac{\bar{r}}{\Delta} + \frac{s_r^2}{2\Delta} \quad (5.19)$$

Bu denklemlerdeki değişken ve parametrelerin açıklamaları aşağıdaki gibidir:

q_t : t dönemindeki enerji fiyatı

r_t : t anındaki logaritmik fiyatın artış miktarı

n : dönem sayısı

$\bar{r}$: artış miktarlarının ortalaması

s_r : artış miktarlarının standart sapması

Δ : tahmin edilen zaman birimi için adım aralığı

$\hat{\sigma}$: tahmin edilen serinin volatilitesi

$\hat{\mu}$: tahmin edilen serinin değişim hızı (*drift* kat sayısı)

5.2.3 Teknoloji hızı (γ)

Teknoloji hızı, enerji verimli teknolojinin zaman içinde gelişimi ile donanımın sağladığı enerji tasarrufunun zaman içindeki artış hızını göstermektedir. Elektrik motor teknolojisi olgunlaşmış olsa da belirli düzeyde enerji verimliliği iyileştirmeleri hala beklenmektedir (Fleiter ve diğ., 2011). Çizelge 5.2’de çeşitli markalardaki elektrik motorlarının eski tarihlerdeki verimlilik yüzde verileri motorun beygir gücüne göre derlenmiştir. γ parametresi de bu değerlerin trendine göre belirlenmiştir. 1981 ve 1991 yılları arasındaki verimlilikteki artış ortalama %0,63 ile

gerçekleşmiştir. Elektrik motor veriminde 20 yılda %1,26 arttığı ve buna göre 2 yıllık dönemlerde %0,13 arttığı varsayılarak doğrusal artış gösterdiği kabul edilecektir.

5.2.4 Enerji tasarruf payı (α)

Asil ile vekil arasında enerji performans sözleşmesi yapıldığında, vekil sözleşme sonrası oluşan tasarruftan 0 ile 1 değerleri arasında belli bir oranda pay (α) almaktadır. Böylece asilin performansı enerji tasarrufunu etkilediğinden doğrudan kazancını da etkilemiş olacaktır ve sabit ücretli sözleşmeye kıyasla daha çok çaba göstermesi beklenmektedir.

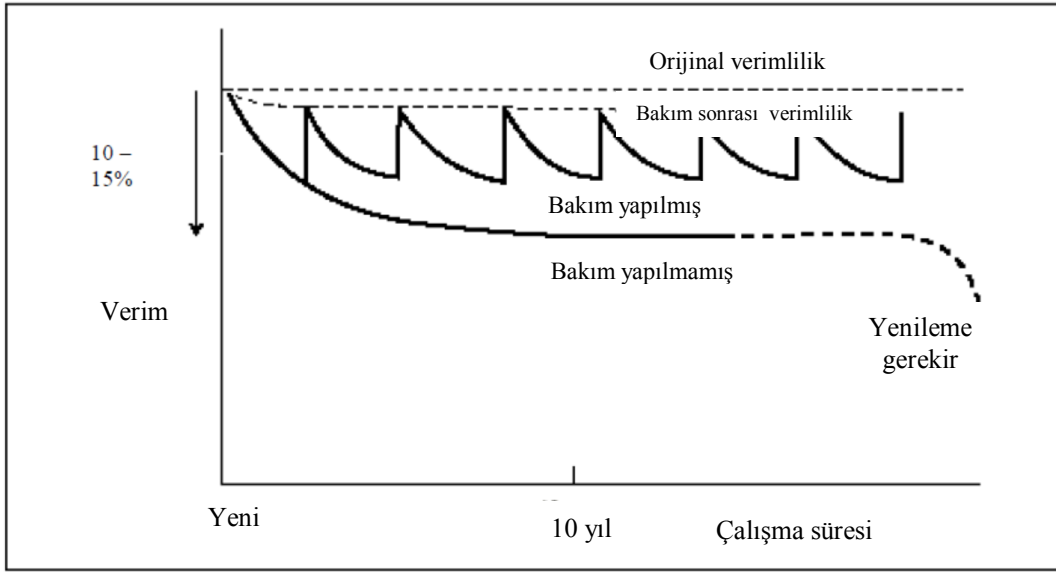
Çizelge 5.2 : Elektrik motorlarının zaman içinde verimliliklerinde iyileşmeler
(*Energy efficient electric motor selection handbook*, 1993).

	<i>Markalar</i>				
	<i>Design</i>	<i>U Frame</i>	<i>Nominal Efficiency</i>	<i>Premium Efficiency</i>	<i>GE Premium Efficiency</i>
Beygir gücü	1944	1955	1965	1981	1991
7,5	84,5	87	84	91	91,7
15	87	89,5	88	92,4	93
25	89,5	90,5	89	93,6	94,1
50	90,5	91	91,5	94,1	94,5
75	91	90,5	91,5	95	95,4
100	91,5	92	92	95	96,2

5.2.5 Donanımın eskimeden kaynaklı performans düşüş katsayısı (I)

Enerji verimli motorların çalışma süreleri boyunca performansının aynı olması beklenmemektedir. Örneğin elektrik motorlarının çalıştırdığı pompalarda ilk iki yıl içinde verimin %10 düştüğü bildirilmiştir. Bakım yapılmayan bir pompada verimlilikteki toplam düşüş, %10-15 civarı olabilmektedir (ETSU ve diğ., 2001).

Şekil 5.3’de referans alınan pompa ile ilgili verimliliğin performans grafiği gösterilmektedir. Bu bilgilerin ışığında, modelde bir elektrik motorunun performansının 2 yıl sonunda %10 düşeceği varsayılmıştır. Bu düşüşün üstel şekilde olacağı bir kabul yapılmış ve aylık üstel performans düşüş katsayısı $I=0,00439$ olarak kabul edilmiştir.



Şekil 5.3 : Bakımın pompa verimliliğine etkisi (ETSU ve diğ., 2001).

Bakım yapıldığı takdirde ise donanımın performansının başlangıç değerinin belirli bir m parametresi oranında bir düzeye geleceği kabul edilmiştir. Hesaplamalarda bu değer $m=0,97$ olarak kabul edilmiştir.

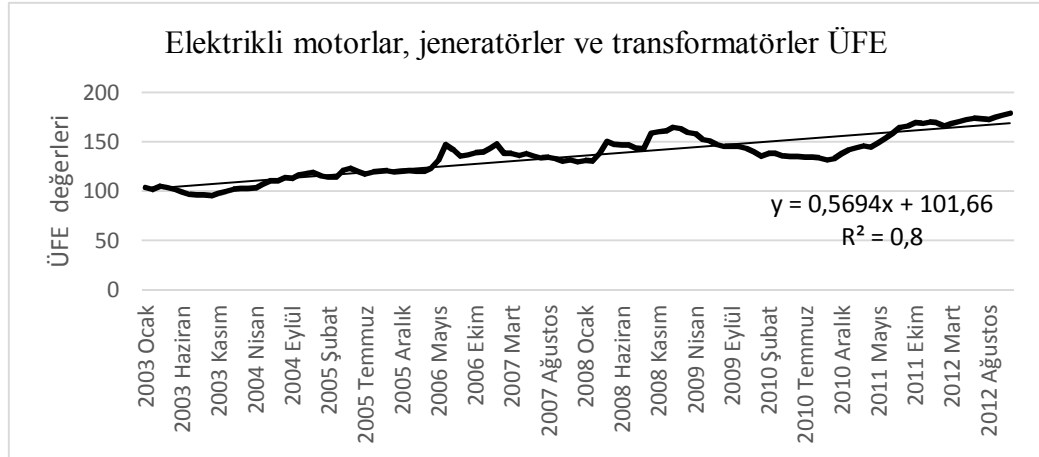
5.2.6 İlk yatırım maliyeti (I_{ilk})

İlk yatırım maliyeti, enerji verimliliği projesinde katlanılan sabit ilk yatırım maliyeti olacaktır. Bu maliyet projenin finansman maliyeti olarak da adlandırılabilir. Tezde incelenen örnekte enerji verimli bir motorun satın alma maliyeti olarak kabul edilecektir. Modelde, bu maliyetin zaman içinde değişimi için Üretici Fiyat Endeksi (ÜFE) temel alınmıştır. ÜFE, belirli bir referans döneminde ülke ekonomisinde üretimi yapılan ve yurt içine satışa konu olan ürünlerin, üretici fiyatlarını zaman içinde karşılaştırarak fiyat değişikliklerini ölçen fiyat endeksidir. Çizelge 6.2’de elektrikli motorların girdiği iş koluna ait geçmiş aylara göre ÜFE değerleri verilmektedir. Şekil 5.4’de çizdirilen eğriye göre, maliyet artış hızının doğrusal arttığı kabul edilmiştir ve aşağıdaki denklem dikkate alınarak gelecek zamandaki (x) tahmini maliyetler (y) hesaplanmıştır.

$$y = 0,5694x + 101,66 \quad (5.20)$$

Çizelge 5.3 : Elektrikli motorlar, jeneratörler ve transformatörler üretici fiyat endeksi (ÜFE) değerleri.

YIL	AY	ENDEKS	YIL	AY	ENDEKS	YIL	AY	ENDEKS	YIL	AY	ENDEKS
2003	Ocak	104,22	2006	Ocak	121,14	2009	Ocak	164,80	2012	Ocak	169,29
2003	Şubat	101,84	2006	Şubat	120,03	2009	Şubat	163,49	2012	Şubat	166,04
2003	Mart	105,11	2006	Mart	120,00	2009	Mart	159,74	2012	Mart	168,99
2003	Nisan	104,21	2006	Nisan	123,22	2009	Nisan	158,41	2012	Nisan	170,51
2003	Mayıs	102,05	2006	Mayıs	131,78	2009	Mayıs	152,74	2012	Mayıs	172,91
2003	Haziran	99,39	2006	Haziran	147,34	2009	Haziran	151,41	2012	Haziran	174,21
2003	Temmuz	97,01	2006	Temmuz	141,94	2009	Temmuz	147,75	2012	Temmuz	173,42
2003	Ağustos	96,42	2006	Ağustos	135,81	2009	Ağustos	145,67	2012	Ağustos	172,90
2003	Eylül	95,89	2006	Eylül	137,21	2009	Eylül	145,53	2012	Eylül	175,41
2003	Ekim	95,47	2006	Ekim	138,84	2009	Ekim	145,59	2012	Ekim	177,53
2003	Kasım	98,16	2006	Kasım	139,78	2009	Kasım	143,48	2012	Kasım	179,07
2003	Aralık	100,24	2006	Aralık	143,62	2009	Aralık	140,60			
2004	Ocak	102,27	2007	Ocak	148,16	2010	Ocak	135,92			
2004	Şubat	102,49	2007	Şubat	138,16	2010	Şubat	138,17			
2004	Mart	102,74	2007	Mart	138,61	2010	Mart	138,56			
2004	Nisan	103,33	2007	Nisan	136,63	2010	Nisan	135,66			
2004	Mayıs	107,25	2007	Mayıs	138,34	2010	Mayıs	134,86			
2004	Haziran	110,65	2007	Haziran	135,96	2010	Haziran	134,96			
2004	Temmuz	110,53	2007	Temmuz	133,68	2010	Temmuz	134,53			
2004	Ağustos	113,80	2007	Ağustos	134,56	2010	Ağustos	134,78			
2004	Eylül	113,26	2007	Eylül	133,06	2010	Eylül	133,89			
2004	Ekim	116,77	2007	Ekim	130,73	2010	Ekim	131,66			
2004	Kasım	118,13	2007	Kasım	131,94	2010	Kasım	133,44			
2004	Aralık	119,07	2007	Aralık	130,04	2010	Aralık	138,19			
2005	Ocak	115,34	2008	Ocak	131,39	2011	Ocak	142,17			
2005	Şubat	114,17	2008	Şubat	130,49	2011	Şubat	144,47			
2005	Mart	114,63	2008	Mart	138,91	2011	Mart	145,96			
2005	Nisan	121,39	2008	Nisan	150,49	2011	Nisan	145,09			
2005	Mayıs	123,17	2008	Mayıs	147,68	2011	Mayıs	149,56			
2005	Haziran	119,91	2008	Haziran	146,67	2011	Haziran	153,62			
2005	Temmuz	117,65	2008	Temmuz	147,11	2011	Temmuz	158,84			



Şekil 5.4 : 2003 Ocak-2012 Aralık ayları arasındaki ÜFE.

5.2.7 Performans arttırma maliyeti ($I_{\text{PERFORMANS}}$)

Bu maliyeti, motorun ömrü boyunca gerekli işlevini daha iyi yerine getirmesi için gereken her türlü eylem (bakım, personel eğitimi, izolasyon v.b.) için yapılan harcamalar oluşturmaktadır. Örneğin daha az ya da fazla yapılacak bakım, motorun performansını ve de arızalanma sıklığını etkileyecektir. Bu bağlamda, motorun zaman içinde düşecek verimliliğini arttırmak için bakım yapmak ve bu bakım için belirli bir maliyete katlanmak, motorun çalışmasından elde edilecek enerji tasarrufunu arttıracaktır. İncelenen örnek için motor bakımının yılda bir defa yapıldığı varsayılmıştır. $I_{\text{PERFORMANS}} = 25$ TL olarak kabul edilmiştir.

5.2.8 Sabit ücretli sözleşmede kâr miktarı (k)

Kâr miktarı, yüklenici EVD şirketinin enerji verimliliği projesini yürütürken verdiği hizmetin karşılığı olarak müşteri firmadan talep ettiği belirli sabit bir miktar olarak kabul edilmiştir. Tezde kullanılan örnekte sabit ücretli sözleşmeye göre verimliliği arttırılmış motoru satın alan, kuran v.b. maliyetlere katlanan EVD şirketinin, bu maliyetlerine sabit bir kâr miktarı (k) ekleyerek kazancını, müşteri firmadan alacağı ödmeden elde edeceği kabul edilmiştir. Tezde kullanılan örnekte EFF2 tipi elektrik motoru satın alma projesinde bu değer 500 TL olarak kabul edilmiştir.

5.2.9 Risksiz ve riske göre düzenlenmiş faiz oranları (r, ρ)

Risksiz faiz oranı olarak genellikle devlet tahvillerinin getirisi kullanılmaktadır. Riske göre düzenlenmiş faiz oranında ise, iskonto oranının çeşitli risk etkenlerinin göz önüne alınarak yükseltilmesi söz konusudur. Tezde kullanılan örnekte aylık risksiz faiz oranının 0,005 ve aylık riske göre düzenlenmiş faiz oranının 0,011 olduğu kabul edilmiştir.

5.2.10 Enerji verimli donanımın ekonomik ömrü (t)

Enerji verimli motorların ekonomik ömrü çeşitli kaynaklar incelenerek bakım yapılmadığında $t_1=15$ yıl, bakım yapıldığında ise $t_2=20$ yıl olarak belirlenmiştir.

5.3 Asil ve Vekilin Sözleşme Tiplerine göre Fayda Fonksiyonları ve Opsiyonları

Asil ve vekil arasında üç tip sözleşme yapılabilmektedir. Sabit ücretli sözleşmeye göre EVD şirketi enerji verimli donanımı kurmak için sabit bir ücretle anlaşır ki bu

genelde katlandığı maliyete belirli bir kâr oranı koyarak gerçekleşir. Bu anlaşmada EVD şirketinin donanımın performansından dolayı bir yükümlülüğü yoktur. Bu durumda müşteri firmanın stokastik enerji tasarrufu miktarı $\tilde{S}$ ile tedarikçi EVD şirketinin fayda fonksiyonları aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\text{Asilin fayda fonksiyonu: } U^A = E[\tilde{S}_1] - (k + I_{ILK1}) \quad (5.21)$$

$$\text{Vekilin fayda fonksiyonu: } U^V = k \quad (5.22)$$

Buradaki $E[\tilde{S}_1]$ ifadesi, stokastik değişen parasal enerji tasarruf miktarının beklenen değeri, k parametresi asilin aldığı hizmet karşılığı vekilin talep edeceği kâr miktarını, I_{ILK1} , donanımın satın alma, nakil, tesis vb. için ödenen ilk ücreti oluşturur. Vekilin geliri sabit olacağı için bir değişkenlik, dolayısıyla bir risk içermeyecektir. Ancak asilin kazancı stokastik değişeceği için geometrik Brownian hareketine uyduğu kabul edilen $\tilde{S}_1$ ifadesinin zamana ve değişkenliğe bağlı bir opsiyon değeri oluşacaktır. Asilin yatırımı ertelemesi ve ileri bir zamanda yatırım kararı alması daha kârlı olabilecektir. Bu durumda asilin kârının en yüksek olduğu an yatırımı erteleme opsiyonunun da değerini vermektedir. Denklem (5.23) bu değeri göstermektedir.

$$F_{1A} = \text{maks} [\sum_t^{t+180} S_{1t} e^{-\rho t} - (k + I_{ILK1}) e^{-rt}], t=1,2,\dots,N \quad (5.23)$$

Yatırım anı T_1 hesaplanırken yatırım maliyeti risksiz faiz oranı (r) ile şimdiki değere çekilirken, riskli olan $\tilde{S}_1$ 'in şimdiki değer hesaplamasında riske göre düzenlenmiş faiz oranı (ρ) kullanılmaktadır. Bunun nedeni, yatırımcının motor satın almak yerine bu parayı daha risksiz bir şekilde değerlendirebilecekken, kazancın iskontolamasında yatırım zaten yapılacak olup zamanlaması hesaplanacağından içerdiği risk nedeniyle iskonto oranına risk primi gibi bir değer eklenmesi gerekliliğidir. Yatırım anı T_1 'e eklenen t ise motor ömrünü göstermektedir.

Enerji performans sözleşmelerinde, vekil EVD şirketi donanımı kurup devreye aldıktan sonra donanımın performansı üzerinden belirli bir süre boyunca pay almaktadır. Doğrusal paylaşım kuralı ile modellenen bu sözleşme tipinde a parametresi, vekilin toplam enerji tasarrufundan aldığı pay yüzdesini göstermektedir.

Enerji paylaşım sözleşmeleri finansmanı kimin aldığına göre paylaşımlı ve garantili tasarruf sözleşmesi olarak ikiye ayrılmaktadır. Garantili tasarruf sözleşmesinde,

müşteri maliyet riskini almakta ve EVD şirketi performans riskini almaktadır. Paylaşımlı tasarruf sözleşmesinde ise EVD şirketi hem maliyet hem de performans riskini almaktadır. Bu nedenle tasarruftan yüksek bir paylaşım oranına sahip olmalıdır.

Asil ve vekilin garantili tasarruf sözleşmesine göre fayda fonksiyonları denklem (5.24) ve denklem (5.25)'de gösterilmiştir.

$$\text{Asilin fayda fonksiyonu: } U^A = (1-\alpha)E[\tilde{S}_2] - I_{\text{ILK2}} \quad (5.24)$$

$$\text{Vekilin fayda fonksiyonu: } U^V = \alpha E[\tilde{S}_2] - I_{\text{PERFORMANS}} \quad (5.25)$$

Denklem (5.25)'de proje maliyetini üstlenen asil, performansına karşı vekile tasarruf miktarı kazancı üzerinden belirli bir pay aktarmaktadır. Vekilin de kazancı, bakım, eğitim, vb. gibi kalemleri olan, katlandığı performans maliyetlerinin bu paylaşılmış kazancından farkı şeklinde olacaktır. Bu durumda hem asil hem de vekilin gelecekteki tasarruftan alacakları paylar değişken olduğundan iki taraf da opsiyon tutacaktır. Ayrıca vekil zaman içinde göstereceği çabadan da kazancı arttırabileceği için bir çeşit bakım yapma opsiyonuna da sahip olacaktır. Yani vekilin performansı arttırmak için katlanacağı maliyet ($I_{\text{PERFORMANS}}$) ile elde edeceği fazladan kazancın performans göstermeme durumundaki kazancından yüksek olması gerekmektedir. Denklem (5.26)'da asilin bekleme, denklem (5.27)'de vekilin genişleme ve denklem (5.28)'de vekilin bakım yapma opsiyonları gösterilmiştir. Vekil, kullanım maliyeti olarak kabul edilen performans maliyetine katlandığında, yatırım yapıldığı andan (T_2) itibaren tasarruftan alacağı pay ile elde edeceği bir kazanç olacaktır. Eğer kazanç maliyetten yüksek ise vekil opsiyon tutmuş olacaktır. Benzer şekilde performansı arttırmak için bakım yapma ile katlanacağı maliyet, performanslı ve performanssız kazanç arasındaki farktan az ise gene bakım yapma ya da performans gösterme bir bakım opsiyonu sağlar. Tez kapsamında bu sözleşme tipi ile sabit ücrete dayalı anahtar teslim sözleşmelerin karşılaştırması yapılacağı için Çizelge 5.4'de bu opsiyonlar toplu halde özet olarak verilmiştir. Üçüncü tip sözleşme olan paylaşımlı enerji performans sözleşmesi, modelin karmaşıklığını arttırmamak için analize konmamıştır. Ancak bu sözleşmede hesaplanacak opsiyonların da dikkate alındığı bir modelleme başka bir çalışmada uygulanabilir.

$$F_{2A} = \max [\sum_t^{t+t_1} (1 - \alpha) S_{2t} e^{-\rho t} - I_{ILK2} e^{-rt}], t=1,2,\dots,N \quad (5.26)$$

$$F_{2V} = [\sum_{t=T_2}^{T_2+t_2} \alpha S_{2t} e^{-\rho t} - I_{PERFORMANS} e^{-rT_2}, 0] \quad (5.27)$$

$$F_{2V'} = [\sum_{t=T_2}^{T_2+t_2} \alpha S_{2t} e^{-\rho t} - \sum_{t=T_2'}^{T_2'+t_1} \alpha S'_{2t} e^{-\rho t} - I_{PERFORMANS} e^{-rT_2}, 0] \quad (5.28)$$

Enerji performans sözleşmesinde asilin bekleme opsiyonu, anahtar teslim sözleşme durumuna benzer şekilde hesaplanmaktadır. Asil, kazançtan bir miktar payı vekile verse de vekilin çabasının bu sözleşme tipinde daha yüksek olması nedeniyle vekile bağlı kazanç daha yüksek olacaktır ve (5.29)'da verilen eşitsizlik söz konusu olur.

$$E[\tilde{S}_2] > E[\tilde{S}_1] \quad (5.29)$$

Bu sözleşme tipinde vekilin yüksek çaba göstermesinin ana nedeni girdiği risk olacaktır. Kazancın değişken olması vekili daha yüksek performans göstermeye yöneltecektir. Vekilin performans maliyeti doğrusal paylaşım kuralına göre kazançtan aldığı pay miktarını da doğrudan arttırmaktadır. Ancak maliyet kazançtan büyük olursa vekil bakım yapmayacak ya da sabit ücrete dayalı sözleşme yapmayı tercih edebilecektir.

Çizelge 5.4 : Asil ve vekilin sözleşmelere göre opsiyon tipleri ve değerleri.

	Sabit ücretli sözleşme	Garantili tasarruf performans sözleşmesi
Asilin bekleme opsiyon değeri	$\max [\sum_t^{t+t_1} S_{1t} e^{-\rho t} - (k + I_{ILK1}) e^{-rt}]$	$\max [\sum_t^{t+t_2} (1 - \alpha) S_{2t} e^{-\rho t} - I_{ILK2} e^{-rt}]$
Vekilin büyüme opsiyon değeri	YOK	$[\sum_{t=T_2}^{T_2+t_2} \alpha S_{2t} e^{-\rho t} - I_{PERFORMANS} e^{-rT_2}, 0]$
Vekilin bakım opsiyon değeri	YOK	$[\sum_{t=T_2}^{T_2+t_2} \alpha S_{2t} e^{-\rho t} - \sum_{t=T_2'}^{T_2'+t_1} \alpha S'_{2t} e^{-\rho t} - I_{PERFORMANS} e^{-rT_2}, 0]$

Tezdeki örnekte incelenmeyecek olan paylaşımlı tasarruf sözleşmesi yapıldığında ise, asilin ve vekilin fayda fonksiyonları aşağıda verilmiştir. Bu durumda asil ve vekilin tutacağı opsiyonlar garantili tasarruf performans sözleşmesi ile benzer olacaktır. Farklı olarak elektrik motor satın alma maliyeti de vekilde olacağı için vekilin aldığı risk daha fazla olacaktır. Dolayısıyla α ile gösterilen toplam tasarruf içinden alacağı pay oranı daha yüksek olacaktır.

$$\text{Asilin fayda fonksiyonu: } U^A = (1-\alpha)E[\tilde{S}_3] - \dot{I}M \quad (5.30)$$

$$\text{Vekilin fayda fonksiyonu: } U^V = \alpha E[\tilde{S}_3] - (I_{\text{ILK3}} + I_{\text{PERFORMANS}}) \quad (5.31)$$

Bu üçüncü sözleşme tipinde tüm maliyetleri EVD şirketi üstlendiği için müşteri firmanın her türlü işlem maliyetleri ($\dot{I}M$) olarak tanımlanan araştırma, bilgi toplama, müzakere, hukuki danışmanlık, koruma ve garanti düzenlemeleri, vb. maliyetler dikkate alındığında müşterinin EVD şirketine verdikten sonra kalan kazancının bu maliyetlerden yüksek olması gereklidir.

5.4 Opsiyon Temelli Ahlâki Tehlike Modeli

Ahlâki tehlike sorunu, ayrıık amaçlar durumundan kaynaklı sabit sözleşme yapılması halinde vekilin, asilin beklediği çabayı göstermemesi durumunda oluşmaktadır. Ancak paylaşımlı sözleşmede, vekilin belirli bir tasarruf miktarını garanti etmesi gerektiğinden risk alması için daha çok çaba göstermesi beklenmektedir. Eğer asil, vekil daha çok çaba gösterdiği durumda daha fazla kazanç sağlayacaksa vekil ile enerji performans sözleşmesi yapılmalıdır. Ancak riskten kaçınan (*risk averse*) bir vekil varsa, vekil sabit ücretli sözleşmeyi tercih edecektir. Doğrusal paylaşım kuralına dayalı enerji performans sözleşmesi yapıldığında vekilin kazancının aynı zamanda enerji fiyatlarının zamanla artış trendi izlemesinden dolayı, bir opsiyon değeri de söz konusudur. Opsiyon modellenmesi de genel optimizasyon modeline katıldığında eğer belirsizlik yüksek ise risk nötr bir vekil enerji performans sözleşmesini tercih edebilecektir.

Vekilin enerji performans sözleşmesi ile opsiyon değerinin de dikkate alındığı kazancı, sabit ücretli sözleşme ile elde edeceği kazançtan daha yüksek olacağı kabulü ile vekilin enerji performans sözleşmesini kabul edecektir. Ancak enerji performans sözleşmesinde vekile verilecek pay oranı (α) aşağıdaki eşitsizliği sağlamalıdır. Eşitsizliğin sol tarafı T_2 anında yatırım yapıldığında asilin enerji performans sözleşmesinden kazanacağı kârın şimdiki değerini, sağ tarafı ise T_1 anında yatırım yapıldığında sabit ücretli sözleşmeden elde edeceği kârın şimdiki değerini göstermektedir.

$$\sum_{t=T_2}^{T_2+t_2} (1-\alpha)S_{2t}e^{-\rho t} - I_{ILK2}e^{-rT_2} > \sum_{t=T_1}^{T_1+t_1} S_{1t}e^{-\rho t} - (k + I_{ILK1})e^{-rT_1} \quad (5.32)$$

Vekilin, asilin opsiyon değerinin daha yüksek olduğu enerji performans sözleşmesini imzalaması için bu sözleşmeden elde edeceği kâr değerinin anahtar teslim projede kazanacağı kâr değerinden daha yüksek olması gerekmektedir. Asil-vekil modellerinde iştirak (*participation*) kısıtı olarak adlandırılan bu eşitsizlik (5.33)'de verilmektedir. Eşitsizliğin sol tarafı vekilin yatırım yapıldığı T_2 anında kazanacağı, içinde opsiyon değerini de barındıran kâr miktarının şimdiki değerini, denklemin sağ tarafı ise sabit ücretlendirmede kazanacağı kâr miktarının şimdiki değerini göstermektedir.

$$\sum_{t=T_2}^{T_2+t_2} \alpha S_{2t}e^{-\rho t} - I_{PERFORMANS}e^{-rT_2} \geq ke^{-rT_1} \quad (5.33)$$

Ahlâki tehlike modellerinde teşvik (*incentive*) kısıtı olarak kullanılan vekilin çaba gösterme kısıtı vekilin çaba gösterme ve göstermeme durumlarında tasarruftan alacağı paya göre kazancını göstermektedir. Denklem (5.34)'de vekilin kazancının katlanacağı maliyetten büyük olması gerektiğini gösteren eşitsizlik yer almaktadır.

$$\sum_{t=T_2}^{T_2+t_2} \alpha S_{2t}e^{-\rho t} - \sum_{t=T'_2}^{T'_2+t_1} \alpha S'_{2t}e^{-\rho t} - I_{PERFORMANS}e^{-rT_2} \geq 0 \quad (5.34)$$

Belirlenen sabit bir tasarruf pay oranına (α) göre, asilin enerji performans sözleşmesi yapması ile kârını enbüyükleyecek model aşağıdaki gibi kurulabilir.

$$\max_{T_2} \left[\sum_{t=T_2}^{T_2+t_2} (1-\alpha)S_{2t}e^{-\rho t} - I_{ILK2}e^{-rT_2} \right]$$

öyle ki

$$\sum_{t=T_2}^{T_2+t_2} \alpha S_{2t}e^{-\rho t} - I_{PERFORMANS}e^{-rT_2} \geq ke^{-rT_1} \quad (5.35)$$

$$\sum_{t=T_2}^{T_2+t_2} \alpha S_{2t}e^{-\rho t} - \sum_{t=T'_2}^{T'_2+t_1} \alpha S'_{2t}e^{-\rho t} - I_{PERFORMANS}e^{-rT_2} \geq 0 \quad (5.36)$$

$$T_2 > 0 \quad (5.37)$$

Modeldeki parasal enerji tasarruf miktarı S 'nin hesaplanması, parçalı yapısından dolayı zor olduğu için modelin çözümünde benzetim yöntemi uygulanmıştır. Her iki sözleşme tipi için Monte Carlo benzetim yöntemi ile tahmin ettirilen aylık enerji fiyatları, o ay için hesaplanan teknik enerji tasarruf miktarları ile çarpılarak her yatırım anı için bulunan S değerleri şimdiki zamana iskontolanmış ve maliyetler ile karşılaştırılarak kârın en büyüklendiği T anları belirlenmiştir. İki sözleşme tipi kısıtların sağlandığı durumlarda karşılaştırılmış ve sonuçlar yorumlanmıştır.

İkinci kurulan modelde ise, pay oranı α 'nın da değişken olarak kabul edildiği ve enerji performans sözleşmesi yapıldığında asil ve vekilin kısıtlarını doyuran; asilin kârını enbüyükleyen vekile verebileceği optimum pay oranları hesaplanmıştır. Denklem (5.32) eşitsizliğinden α çekildiğinde, asil için kritik α değeri aşağıdaki eşitsizliğe göre bulunabilir.

$$\alpha \leq \frac{\sum_{t=T_2}^{T_2+t_2} S_{2t} e^{-\rho t} + (k + I_{ILK1}) e^{-rT_1} - (\sum_{t=T_1}^{T_1+t_1} S_{1t} e^{-\rho t} - I_{ILK2} e^{-rT_2})}{\sum_{t=T_2}^{T_2+t_2} S_{2t} e^{-\rho t}} \quad (5.38)$$

Ahlâki tehlikeyi dikkate alan optimum α 'nın belirlendiği asilin optimizasyon modeli de aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\max_{\alpha, T_2} \left[\sum_{t=T_2}^{T_2+t_2} (1 - \alpha) S_{2t} e^{-\rho t} - I_{ILK2} e^{-rT_2} \right]$$

öyle ki

$$\alpha \leq \frac{\sum_{t=T_2}^{T_2+t_2} S_{2t} e^{-\rho t} + (k + I_{ILK1}) e^{-rT_1} - (\sum_{t=T_1}^{T_1+t_1} S_{1t} e^{-\rho t} - I_{ILK2} e^{-rT_2})}{\sum_{t=T_2}^{T_2+240} S_{2t} e^{-\rho t}} \quad (5.39)$$

$$\alpha \geq \frac{k e^{-rT_1} + I_{PERFORMANS} e^{-rT_2}}{\sum_{t=T_2}^{T_2+240} \alpha S_{2t} e^{-\rho t}} \quad (5.40)$$

$$\alpha \geq \frac{I_{PERFORMANS} e^{-rT_2}}{\sum_{t=T_2}^{T_2+t_2} S_{2t} e^{-\rho t} - \sum_{t=T_2}^{T_2'+t_1} S'_{2t} e^{-\rho t}} \quad (5.41)$$

$$0 \leq \alpha \leq 1 \quad (5.42)$$

$$T_2 > 0$$

(5.43)

Modelde, kârı enbüyükleyen yatırım anı T_2 , tasarruftan pay alma oranı α 'ya bağlı olduğu için aynı anda iki değişken benzetim yolu ile çözülememektedir. Bu nedenle farklı α değerleri için kârı enbüyükleyen farklı T_2 anları benzetimler yoluyla hesaplanmış ve kısıtları sağlayan en yüksek kâra karşılık gelen α değeri deneme yöntemi ile bulunmuştur.

Amaç fonksiyonu, asilin garantili tasarruf enerji performans sözleşmesi yaptığı durumdaki enbüyüklemeye çalıştığı opsiyon değerini göstermektedir. Fonksiyondaki optimizasyon değişkenleri α ve T_2 'dir. İlk kısıtta asilin sabit ücretli sözleşme yerine enerji performans sözleşmesini tercih etmesi için gereken en düşük pay oranı kısıtı verilmektedir. İkinci kısıt ise vekilin iştirak kısıtıdır. Belli bir oranın üzerinde pay alması halinde enerji performans sözleşmesi yapmak sabit ücretli sözleşmeye göre vekile daha çok kazandıracaktır. Sonraki kısıt ise vekilin performans maliyetine katlanıp katlanmaması arasındaki kazanç farkının, katlanacağı maliyetten büyük olması gerekliliği kısıtıdır.

Asilin vekile verebileceği en büyük pay oranının hesaplanması ise enerji performans sözleşmesi ve sabit ücrete dayalı sözleşme yapma anlarındaki kârlar eşitlenerek bulunabilmektedir. Bunun için farklı pay oranı α değerleri için yapılan benzetimlerin sonucunda, her iki sözleşme tipinde kârların değişimi gözlemlenmiş ve eşitlendiği nokta belirlenerek asilin enerji performans sözleşmesini seçebilmesi için vekile verebileceği en büyük pay oranı bulunmuştur.

Opsiyonların hesaplanmasındaki kritik nokta, yatırım yapılana kadar (T anı) geçen sürede parasal tasarruf artışı ile donanım kurulduktan sonraki (T' den ekipman ömrü t kadar geçen zaman) donanım bakımına bağlı tasarruf miktarındaki artışın farklı olmasıdır. Bu nedenle opsiyon değerleri analitik olarak hesaplanamamakta, belirli parametrelerin kestirimi sonucu benzetim yöntemi ile bulunabilmektedir.

6. MODELİN ÇÖZÜMÜ VE ANALİZİ

Model, Türkiye’de uygulanan değişken elektrik fiyatlarına göre tüketim yapan enerji verimliliği projesi uygulamak isteyen bir firma için düzenlenmiştir. Uygulama alanı olarak enerji verimli elektrik motoru satın alma projesi seçilmiştir. Enerji paradoksu sorununu açıklamada kullanılan asil-vekil yaklaşımı, kiracı-ev sahibi ilişkisine benzetilerek uygulama kurgulanmıştır. Asil olarak tanımlanan enerji verimliliği projesi uygulamak isteyen firma, teknolojisini bilmediği enerji verimli motor seçimi kararını vekil olarak adlandırılan EVD şirketine delege etmektedir. Sabit ücretli bir sözleşmeye göre anlaşma yapıldığında, asimetric bilgi durumuna ek olarak, ayrık amaçlar durumu nedeniyle motor seçiminde asilin tasarruf amaçları değil seçilecek motorun kendi kazancına olan etkisini dikkate alır. Böylece asil için önemli olan motorun tasarruf potansiyeli ve verimliliği motor seçiminde ana seçim ölçütü olmayacaktır.

Enerji performans sözleşmesinde ise, EVD şirketi belirli bir süre boyunca tasarruf üzerinden pay alacağı için paralel amaçlar ilkesine göre asil ile aynı çıkarları doğrultusunda hareket edecek ve donanımın performansını arttırmak için daha çok çaba içinde bulunacak, gerekirse daha pahalı olabilecek yüksek verimli motor satın almayı seçecektir. Ayrıca, bu sözleşmeye göre, vekilin, asil için belirli bir tasarruf miktarını garanti etmesi gerektiği için, enerji fiyatlarındaki dalgalanma ile beraber belirli bir risk altında olduğu görülmektedir. Bu nedenle de vekilin daha fazla çaba göstermesi gerekir. Enerji fiyatları ve dolayısıyla parasal tasarruf miktarının geometrik Brownian hareketini takip etmesi nedeniyle, EVD şirketinin kazancının zamana bağlı oluşturacağı opsiyon değeri de dikkate alındığında, sabit ücretli sözleşmeye göre daha fazla çaba göstermesi beklenmektedir.

6.1 Verilerin Toplanması

Modelde kullanılan değişken ve parametrelerin bir kısmı toplanan verilere, bir kısmı literatüre bir kısmı ise çeşitli kestirimlere göre belirlenmiştir. Bu bölümde verilerin nasıl toplandığına dair açıklamalara yer verilecektir.

6.1.1 Enerji fiyat verileri

1 Aralık 2009 tarihinde yürürlüğe giren yeni Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği (DUY) ile birlikte elektrik ticareti saatlik periyotlarla yapılmakta ve her saat için sistem marjinal fiyatları belirlenmektedir. Piyasa katılımcılarının Gün Öncesi Planlama (GÖP) olarak adlandırılan piyasada, bir sonraki gün için saatlik üretim programı verme ve bu programa uyma yükümlülükleri bulunmaktadır. Bu sebeple piyasa katılımcılarının bir sonraki günde üretecekleri elektrik miktarını saatlik olarak önceden tahmin etmeleri gerekmektedir. GÖP'e verilen tahminlere göre gün öncesinden tüm sistemin dengelemesi yapılmaktadır.

6.1.2 Mevzuat ve temel kavramlar

Elektrik Piyasası Kanunu: 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanununun amacı; elektriğin yeterli, kaliteli, sürekli, düşük maliyetli ve çevreyle uyumlu bir şekilde tüketicilerin kullanımına sunulması için, rekabet ortamında özel hukuk hükümlerine göre faaliyet gösterebilecek, mali açıdan güçlü, istikrarlı ve şeffaf bir elektrik enerjisi piyasasının oluşturulması ve bu piyasada bağımsız bir düzenleme ve denetimin sağlanmasıdır. Bu Kanun; elektrik üretimi, iletimi, dağıtımı, toptan satışı, perakende satışı, perakende satış hizmeti, ithalat ve ihracatı ile bu faaliyetlerle ilişkili tüm gerçek ve tüzel kişilerin hak ve yükümlülüklerini, Elektrik Piyasası Düzenleme Kurumu'nun kurulması ile çalışma usul ve esaslarını ve elektrik üretim ve dağıtım varlıklarının özelleştirilmesinde izlenecek usulü kapsar (Madde 1).

Piyasa Mali Uzlaştırma Merkezi (PMUM): PMUM, Türkiye Elektrik İletim A. Ş. (TEİAŞ) bünyesinde yer alan ve ilgili mevzuat çerçevesinde, Ulusal Yük Dağıtım Merkezi tarafından elektrik enerjisi arz ve talebinin gerçek zamanlı olarak fiziki dengelenmesi sonucu tüzel kişilerin birbirlerine borçlu ya da alacaklı oldukları tutarları hesaplamak suretiyle mali uzlaştırma sistemini çalıştıran birimdir. Görev ve sorumlulukları Kanunda ve Dengeleme Uzlaştırma Yönetmeliği'nde belirlenen ve gün öncesi planlama/gün öncesi piyasası ve uzlaştırmayı çalıştırmaktadır.

PMUM, Gün Öncesi Planlama ("GÖP") ve Dengeleme Güç Piyasası ("DGP") faaliyetlerinden oluşmaktadır. 1 Aralık 2011'den itibaren Gün Öncesi Planlama, Gün Öncesi Piyasa olarak işlemeye başlamıştır. PMUM'un temel amacı Türkiye elektrik enerjisi arz ve talebini dengede tutmaktır. Dengeleme mekanizması, ikili anlaşmaları tamamlayıcı nitelikte olup, yukarıda belirtildiği üzere gün öncesi dengeleme ile

gerçek zamanlı dengelemeden oluşan faaliyetleri kapsamaktadır. GÖP, gün öncesi piyasasının devreye gireceği zamana kadar, bir gün sonrasına yönelik olarak öngörülen saatlik talebin gün öncesinden dengelemesi amacıyla Piyasa İşletmecisi koordinasyonunda yürütülen faaliyetleri kapsamaktadır. Gün öncesi dengeleme de, sistemdeki arz ve talebin ve/veya piyasa katılımcılarının sözleşme taahhütleri ile üretim ve/veya tüketim planlarının gün öncesinden dengelenmesidir. DGP, arz ve talebin gerçek zamanlı olarak dengelenmesi amacına hizmet etmek üzere, onbeş dakika içinde gerçekleştirilebilen çıkış gücü değişimi ile elde edilen yedek kapasitenin alış-satışının gerçekleştiği ve sistem işletmecisi tarafından işletilen organize toptan elektrik piyasası anlamına gelmektedir. 15 dakika içinde yük al veya yük at emrini yerine getiremeyecek olan işletmeler DGP'ye katılamamaktadır.

PMUM'a katılabilen kurumlara piyasa katılımcısı denilmektedir ve bunlar,

- Üretim lisansı sahibi,
- Otoprodüktör lisansı sahibi,
- Otoprodüktör grubu lisansı sahibi,
- Toptan satış lisansı sahibi,
- Perakende satış lisansı sahibi

tüzel kişiliklerinden oluşur ve katılımcıların Piyasa İşletmecisi'ne yani PMUM'a kayıt yaptırmaları zorunluluktur.

Perakende Satış Fiyatı (PST): Perakende satışa ilişkin tavan fiyat, hedef kayıp-kaçak oranı ve brüt kar marjı dikkate alınarak hesaplanan fiyatı," olarak tanımlanmıştır. Dağıtım şirketince EÜAŞ, TETAŞ ve PMUM'dan alınan elektrik enerjisinin maliyeti toplam satılacak elektrik enerjisine bölünerek bulunan fiyata o dağıtım şirketinin bir sonraki yıl için belirlenen hedef kayıp-kaçak oranı dikkate alınarak hesaplanan kayıp kaçak bedeli ve o dağıtım şirketi için öngörülen brüt kar marjı (dağıtım ihalelerinde belirtilen oran % 2,33'tür) ilave edilerek belirlenmiş ve EPDK tarafından onaylanmış birim bedeldir. 31 Aralık 2010 tarihli ve 27802 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Yönetmelikle değişiklik yapılarak hedef kayıp-kaçak ibaresi çıkartılmıştır. Ancak, aynı Resmi Gazete'de yayımlanan söz konusu Tarifeler Yönetmeliğinin 10. Maddesine "Kayıp kaçak enerji miktarı perakende satış lisansı sahibi dağıtım şirketleri tarafından temin edilir." cümlesi ilave edilmiştir.

Serbest tüketici: Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu tarafından belirlenen elektrik enerjisi miktarından (serbest tüketici limitinden) daha fazla tüketimde bulunması veya iletim sistemine doğrudan bağlı olması nedeniyle tedarikçisini seçme serbestisine sahip gerçek veya tüzel kişidir.

Serbest tüketici limiti: Her yılın 31 Ocak tarihine kadar Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu tarafından belirlenerek yayımlanan elektrik enerjisi miktarı serbest tüketici limitidir. 2012 yılı için serbest tüketici limiti 25.000 kWh (kilovatsaat) olarak belirlenmiştir. Bu limitin yıllara göre değişimi Çizelge 6.1’de verilmektedir.

Çizelge 6.1 : Yıllara göre serbest tüketici limitleri (Url-3).

Yıl	Limit
2012	25 000 kWh/yıl
2011	30 000 kWh/yıl
2010	100 000 kWh/yıl
2009	480 000 kWh/yıl
2008	1 200 000 kWh/yıl
2007	3 000 000 kWh/yıl
2006	6 000 000 kWh/yıl
2005	7 700 000 kWh/yıl
2004	9 000 000 kWh/yıl
2003	9 000 000 kWh/yıl
2002	9 000 000 kWh/yıl

Tarifeye Bağlı İndirim Paketi: Tüketicinin bağlı bulunduğu abonelik grubu tarifesi üzerinden tek zamanlı ve 3 zamanlı olmak üzere indirim yüzde uygulanarak sunulan sözleşmelerdir.

Sabit Fiyat Paketi : Tüketicinin bağlı bulunduğu abonelik grubu tarifesinden bağımsız olarak mevcut piyasa koşullarına göre belirlenebilen ve sabit bir fiyat üzerinden sunulan sözleşmelerdir. Sunulan bu sözleşme tipi ile müşteriler mevcut tarifelerine gelecek artıştan etkilenmez, sürekli fiyat garantisi sunar.

Spot Piyasası Paketi (NPTF): Elektrik satış fiyatının toptan piyasada oluşan endekse uygun olarak belirlendiği, değişken fiyat sistemi barındıran alternatif bir çözümdür. Oluşan Net Piyasa Takas Fiyatı (NPTF), (Elektrik tüketimi ile elektrik üretiminin gün öncesinde dengelenmesinde oluşan birim fiyatı ifade eder) değeri piyasa katılımcıları için elektriğin alış ve satış fiyatı için referans birim fiyat olarak kullanılır. Gündüz (06.00-17.00), Puant (17.00-22.00) ve Gece (22.00-06.00) saat dilimlerinin ay içinde oluşan NPTF ortalama fiyatları baz alınarak bu saat

dilimlerindeki tüketim eğilimlerine göre belirlenen 3 zamanlı fiyat ile tüketicinin maksimum tasarrufu sağlanır. Tüketici bu sözleşmede saat dilimlerini kendi tüketim eğilimi yönünde esnetme şansına sahiptir. Sunulan bu sözleşme tipi ile müşteriler piyasadaki dalgalanmalara uygun olarak pozisyonlarını belirleme imtiyazı elde ederler (Url-3).

6.1.3 Enerji verimli motorlar

Sanayide en çok kullanılan 3 Fazlı Asenkron Motorlardır. Toplam elektrik enerjisinin %36'sı ve sanayide tüketilen elektrik enerjisinin %70'i, alternatif akım (AC) asenkron elektrik motorlarında tüketilir. Asenkron motorların yaygın kullanım sebepleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Kolay imal edilmesi, sargısız alüminyum enjeksiyonlu rotorunun olması,
- Otomatik bobinaj ve statora otomatik aktarım,
- Düşük maliyet
- Bakım gereksiniminin az olması
- Doğrudan şebeke gerilimine bağlantılandırılabilmesi
- Yaygın ve kolay tedarik olanağı

Günümüzde elektrik motorları 90 kW'a kadar genel olarak 3 temel verimlilik sınıfında üretilmekte ve değerlendirilmektedir. 90 kW üstü motorlar için de bir verimlilik standardının oluşturulmasına yönelik çalışmalar devam etmektedir. Bu üç sınıf, 2000 yılında, Avrupa Elektrik Makinaları ve Güç Elektroniği İmalatçıları Komitesi (Comité Européen de Constructeurs de Machines Electriques et d'Electronique de Puissance - CEMEP) tarafından aşağıdaki gibi EFF1 (Yüksek verimli motorlar), EFF2 (Verimi arttırılmış motorlar) ve EFF3 (Standart motorlar) şeklinde belirlenmiştir. CEMEP'e göre motor verim sınıfları ayrıntılı olarak Çizelge 6.2'de gösterilmiştir.

EFF1 sınıfı yüksek verimli motorların tasarımlarının üstünlükleri aşağıdaki gibi sıralanabilir (Url-4)

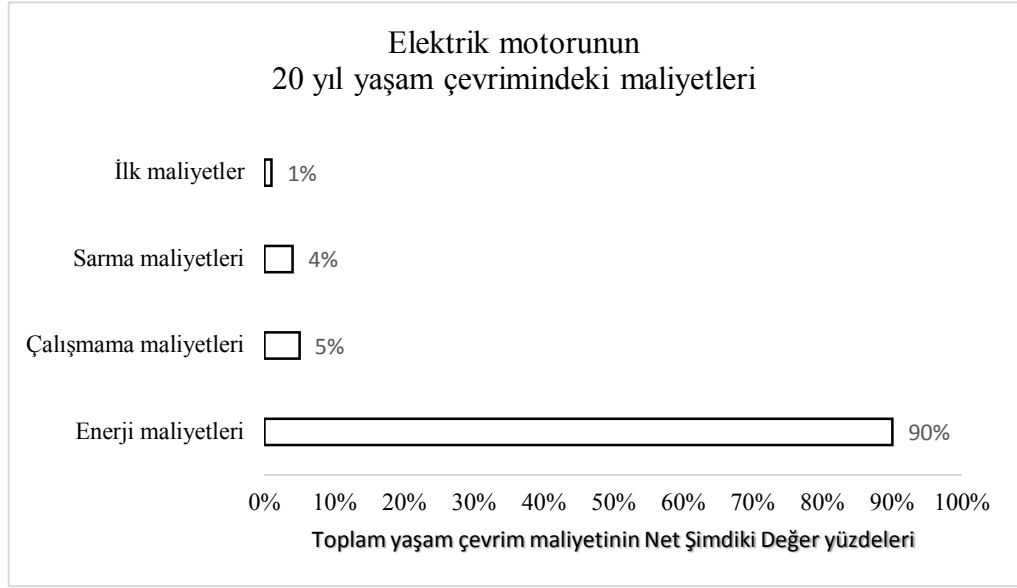
- Sargıda %20 – 60 daha fazla bakır
- Gövdede %35 daha fazla çelik

- Daha ince çelik laminentler
- Yüksek kalitede elektriksel çelik
- Daha verimli rotor tasarımı
- Düşürülmüş sargı ve sürtünme kayıpları ve ek kayıplar
- Daha uzun gövdeden dolayı düşürülmüş direnç (I^2R) kayıpları
- Rotor ve stator arasında optimum hava boşluğu
- Daha az mekanik tolerans

Çizelge 6.2 : CEMEP’e Göre Motor Verim Sınıfları.

Çıkış Gücü	2 Kutuplu Motorlar (%)			4 Kutuplu Motorlar (%)		
(kW)	EFF1	EFF2	EFF3	EFF1	EFF2	EFF3
1,1	$\geq 82,8$	$\geq 76,2$	$< 76,2$	$\geq 83,8$	$\geq 76,2$	$< 76,2$
1,5	$\geq 84,1$	$\geq 78,5$	$< 78,5$	$\geq 85,0$	$\geq 78,5$	$< 78,5$
2,2	$\geq 85,6$	$\geq 81,0$	$< 81,0$	$\geq 86,4$	$\geq 81,0$	$< 81,0$
3	$\geq 86,7$	$\geq 82,6$	$< 82,6$	$\geq 87,4$	$\geq 82,6$	$< 82,6$
4	$\geq 87,6$	$\geq 84,2$	$< 84,2$	$\geq 88,3$	$\geq 84,2$	$< 84,2$
5,5	$\geq 88,6$	$\geq 85,7$	$< 85,7$	$\geq 89,2$	$\geq 85,7$	$< 85,7$
7,5	$\geq 89,5$	$\geq 87,0$	$< 87,0$	$\geq 90,1$	$\geq 87,0$	$< 87,0$
11	$\geq 90,5$	$\geq 88,4$	$< 88,4$	$\geq 91,0$	$\geq 88,4$	$< 88,4$
15	$\geq 91,3$	$\geq 89,4$	$< 89,4$	$\geq 91,8$	$\geq 89,4$	$< 89,4$
18,5	$\geq 91,8$	$\geq 90,0$	$< 90,0$	$\geq 92,2$	$\geq 90,0$	$< 90,0$
22	$\geq 92,2$	$\geq 90,5$	$< 90,5$	$\geq 92,6$	$\geq 90,5$	$< 90,5$
30	$\geq 92,9$	$\geq 91,4$	$< 91,4$	$\geq 93,2$	$\geq 91,4$	$< 91,4$
37	$\geq 93,3$	$\geq 92,0$	$< 92,0$	$\geq 93,6$	$\geq 92,0$	$< 92,0$
45	$\geq 93,7$	$\geq 92,5$	$< 92,5$	$\geq 93,9$	$\geq 92,5$	$< 92,5$
55	$\geq 94,0$	$\geq 93,0$	$< 93,0$	$\geq 94,2$	$\geq 93,0$	$< 93,0$
75	$\geq 94,6$	$\geq 93,6$	$< 93,6$	$\geq 94,7$	$\geq 93,6$	$< 93,6$
90	$\geq 95,0$	$\geq 93,9$	$< 93,9$	$\geq 95,0$	$\geq 93,9$	$< 93,9$

Şekil 6.1’de bir enerji verimli motorun 20 yıl ömrü olduğunda oluşan maliyetlerin toplam çevrim süresi maliyetlerinin net bugünkü değerlerinin yüzdeleri verilmiştir. Buradaki sarma maliyetleri motor yandığı zaman sargıların yeniden sarılmasını göstermektedir.



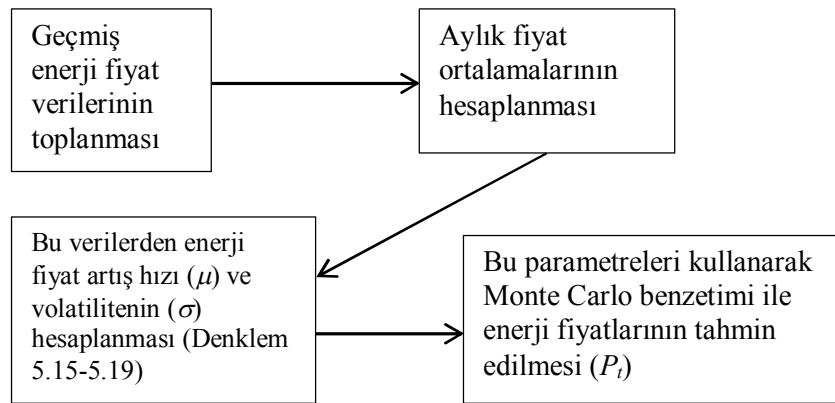
Şekil 6.1 : Toplam çevrim süresi maliyetlerinin net şimdiki değer yüzdeleri (Tharp ve Patterson, t.y.).

6.2 Modelin Akışı

Modelin akışı adım adım aşağıda verilen şekli ile anlatılmaktadır.

6.2.1 Enerji fiyatlarının tahmini

Enerji fiyatlarının tahmininde, PMUM'un internet sitesindeki saatlik verilerin her ay için ortalamaları alınarak kullanılmıştır. Bunun için Şekil 6.2'de gösterilen süreç izlenmiştir.

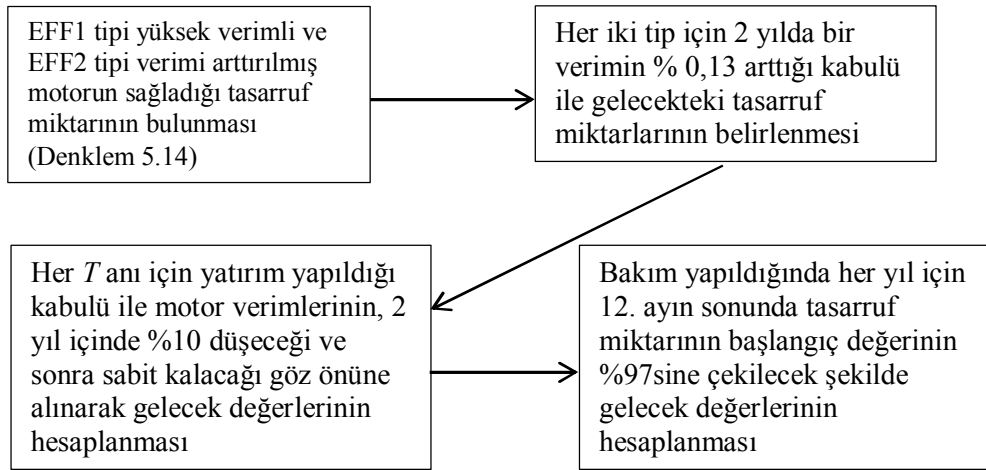


Şekil 6.2 : Enerji fiyatlarının tahmin edilmesi süreci.

6.2.2 Enerji fiyatlarının tahmini

İkinci aşamada EFF3 tipi elektrik motorunun iki ayrı sözleşme tipi için EFF1 ve EFF2 tipi enerji verimli elektrik motorları ile değiştirilmesi ile kazanılacak enerji tasarruf

miktarı denklem (5.14) izlenerek hesaplanmıştır. Zaman içinde teknolojinin artışıyla motor performanslarında, dolayısıyla sağlanacak tasarrufta artma olacağı kabul edilmiştir. Böylece, Çizelge 5.2'nin yorumlanmasıyla her iki motor tipi için 2 yılda bir verimin 0,13 arttığı kabul edilerek gelecekteki aylık tasarruf miktarları hesaplanmıştır. Ardından her ayın yatırım anı kabulü ile, yatırım yapıldıktan sonra motor verimlerinin, 2 yıl içinde %10 düşeceği ve sonra sabit kalacağı göz önüne alınarak gelecekteki değerleri her iki sözleşme tipi için birer sütunda üstel düşüş şeklinde hesaplanmıştır. Başka bir sütunda ise her yıl bakım yapıldığı durum için 12. ayın sonunda tasarruf miktarının başlangıç değerinin %97'sine çekilecek şekilde gelecek değerler bulunmuştur. Şekil 6.3, bu süreci şematik olarak ortaya koymaktadır.

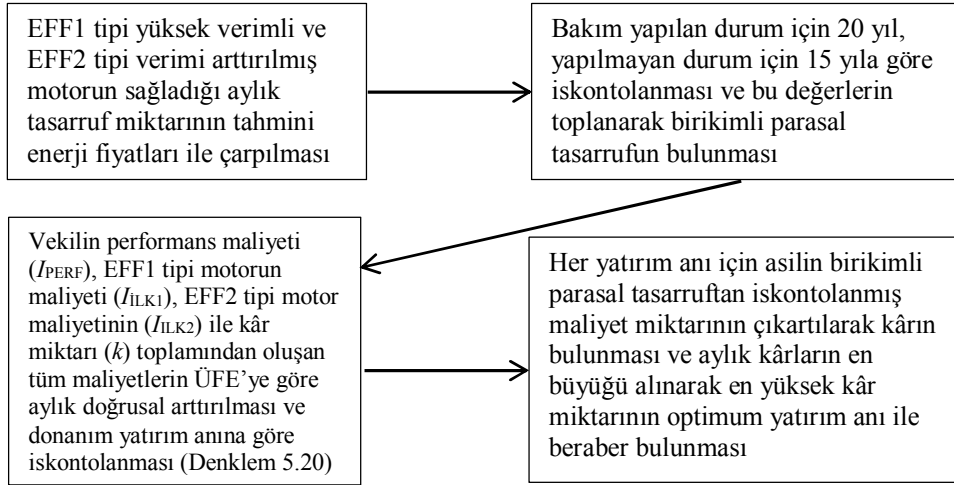


Şekil 6.3 : Enerji tasarruf miktarının hesaplanması süreci.

6.2.3 Parasal enerji tasarruf miktarlarının ve kârların bulunması

Her ay için hesaplanan enerji tasarruf miktarı (ΔE) ile enerji fiyatları (P) çarpılarak iki sözleşme tipi için ve enerji performans sözleşmesi yapıldığında ayrıca bakım yapıldığı durum için olmak üzere üç tip parasal enerji miktarı her ay için yatırım yapılabileceği göz önüne alınarak hesaplanmıştır. Sonrasında her yatırım anından sonra motorun ömrü süresince (bakım yapıldığında 20 yıl, yapılmadığında 15 yıl) aylık kazançlar riske göre düzenlenmiş faiz oranı ile iskontolanarak birikimli toplamalar elde edilmiştir. Aynı şekilde motor maliyetleri de her yatırım anı için ÜFE dikkate alınarak doğrusal arttırılmış ve risksiz faiz oranı ile iskontolanmıştır. Performans maliyeti ise vekilin aldığı riski de içerdiğinden riske göre düzenlenmiş faiz oranı ile iskontolandırılmıştır. Her ay için kazanç ve maliyet farkları alınarak kârlar elde edilmiştir. Kârın en büyük değeri aldığı ay, yatırımın yapılmasının en

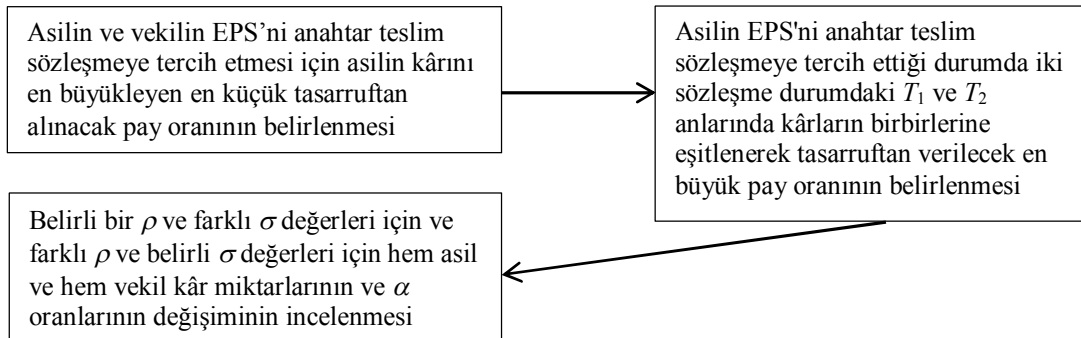
uygun zaman olduğu tetikleme anı olarak belirlenmiştir. Şekil 6.4'te bu süreç özetlenmiştir.



Şekil 6.4 : Parasal enerji tasarruf miktarının ve en yüksek kâr miktarının hesaplanma süreci.

6.2.4 En küçük ve en büyük tasarruf pay oranlarının bulunması

Sabit bir tasarruf pay oranına göre belirlenen kârların en büyük değerleri, farklı pay oranları kullanılarak 100 adet benzetim yapılarak ortalamaları alınmış ve karşılaştırılmıştır. İki sözleşme tipinde asilin elde edeceği kârların eşit olduğu durumdaki oran, enerji performans sözleşmesi yapıldığı takdirde, vekilin kârını enbüyükleyebileceği en yüksek tasarruf pay oranı olarak belirlenmiştir. Diğer bir benzetim çalışması ile farklı tasarruf pay oranları denenerek kısıtları sağlayan en küçük tasarruftan pay oranı bulunmuştur. Bu değer, asilin enerji performans sözleşmesini vekil ile yapabilmesi için verebileceği en düşük oranı vermektedir. Analizlerde, ayrıca, riske göre düzenlenmiş faiz oranı ve volatilité parametreleri değiştirilerek duyarlılıklar da incelenmiştir. Bu analizler ile ilgili yorum ve çıkarsamalar yapılmıştır.



Şekil 6.5 : Tasarruftan alınan pay oranının en büyük ve en küçük değerlerinin belirlenmesi

6.3 Modelin Kurulması

Model, kullandığı elektrik motoru ile enerji tüketen bir işletme için kurgulanmıştır. Enerji verimliliği projesi olarak tüketilen enerjide tasarruf sağlamak için, işletmeye elektrik motorunu, daha az enerji tüketen ve daha verimli olan bir elektrik motoru ile değiştirmesi önerilmiştir. İşletmenin elektrik motoru teknolojisini bilmediği kabul edilecektir. Bu nedenle satın alınacak elektrik motoru seçimi kararını EVD şirketine devretmiştir. Asimetrik bilgi durumundan dolayı bir asil-vekil sorunu bulunmaktadır. Yapılan kabule göre, sabit ücrete dayalı anahtar teslim sözleşmede, EVD şirketinin ayırık amaçlar ilkesine göre kendi maliyetini en azlamak için daha ucuza mal ettiği fakat tasarruf performansı daha düşük olan EFF2 verimi arttırılmış motoru satın alacak ve motorun maliyeti üzerine k ile tanımlanan bir miktarda kâr alacaktır. EPS yapıldığında ise EVD şirketi tasarruftan pay alacağı için EFF1 yüksek verimli motorun satın alınmasını talep edecek ve zaman içinde hem kendi pay aldığı daha yüksek tasarruftan daha çok kazanacak hem de müşteri firma daha fazla tasarruf kazancına sahip olacaktır.

6.3.1 Motor tasarruf miktarlarının belirlenmesi

Örnekte incelenen EFF1 ve EFF2 tipli elektrik motorların 2 kutuplu 3000 devir/dakika ile çalışan 75 kW gücünde olduğu düşünülmüştür. Ayrıca $\frac{3}{4}$ yükte ayda 500 saat çalıştıkları varsayılmıştır. Bu iki motor tipinde elde edilecek tasarruf miktarları denklem (5.14)'de verilen formüle göre aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir:

$$\Delta E_{EFF2} = 75 * 0,75 * 500 * (1/93,6 - 1/94,4) = 254,64 \text{ kWh}$$

$$\Delta E_{EFF1} = 75 * 0,75 * 500 * (1/93,6 - 1/94,7) = 349,03 \text{ kWh}$$

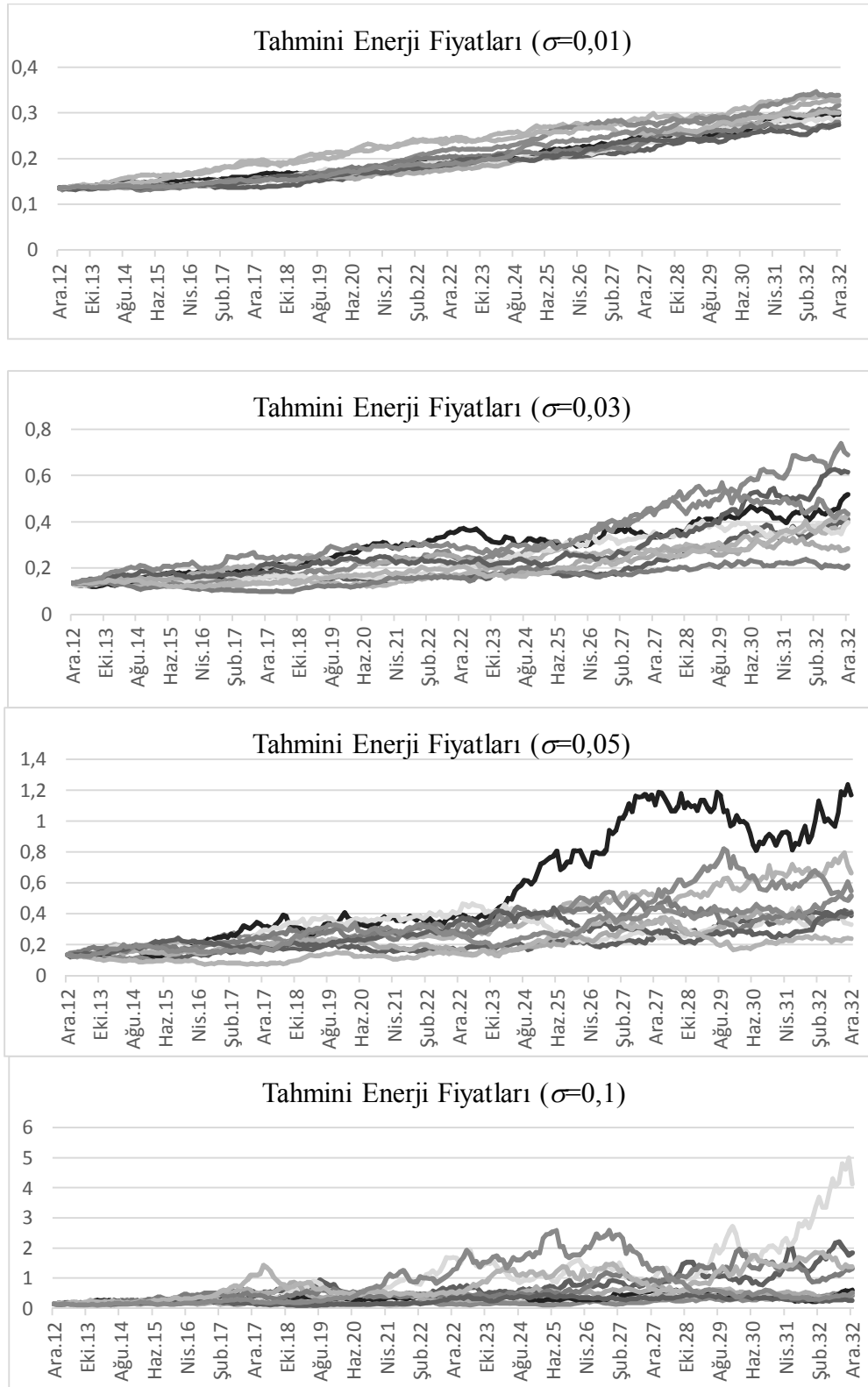
Hesaplanan bu değerler, 2 yılda bir motor verim teknolojisinde artış olacağı varsayımı ile artacaktır. Motorlar satın alındıktan sonra ise bakım yapılmadığı takdirde 2 yıl içinde üstel hızla %10 azaldığı ve sonra sabitlendiği kabul edilmiştir. Yıllık periyodik bakımların yapıldığı kabulü ile de her yıl ilk tasarruf miktarının %97'si düzeyine yükseltildiği kabul edilerek hesaplamalar yapılmıştır.

6.3.2 Enerji fiyatları tahmin modeli

Enerji fiyatlarının tahmininde Monte Carlo benzetim yöntemi kullanılacaktır. Monte Carlo yöntemi, rastgele sayıları kullanan genel bir olasılıksal benzetimdir. Bu yöntem, adını Monaco'nun kumarhaneleriyle ünlü Monte Carlo şehrinden almaktadır. Monte Carlo benzetim yönteminde bir sisteme ait parametrelerin örneksel olarak çözümlemek ve örnek sayısını arttırarak gerçek çözüme ulaşmak esastır. Yöntem üç temel aşamada gerçekleşir. Birincisi düzgün rastgele değerler kümesinin oluşturulması, sonra bu değerlerin istenen olasılık dağılımına göre dağıtılması, daha sonra bu işlemler yeterli sayıda tekrarlanarak sonucun elde edilmesi sağlanır.

Enerji fiyatlarının tahmininde ilk aşamada 0 ve 1 arasında rassal sayılar düzgün dağılıma göre üretilmiştir. Motorun satın alımı için yatırım yapılabilecek 10 yıl ve üzerine motor ömrü süresi kabul edilen 20 yıl eklenerek toplam 30 yıl eşdeğeri 360 ay için üretilen 360 rassal sayı, olasılık değerleri olarak kabul edilerek ters normal dağılım işlevi ile denklem (5.15)'de kullanılacak olan rassal değişken ε ifadesine dönüştürülmüştür. Daha sonra hesaplanan parametreler ile 2012 aralık ayı enerji fiyat ortalaması referans kabul edilerek denklem (5.19)'de verilen formül ile 360 ay için enerji fiyatları tahmin edilmiştir.

PMUM verilerine göre hesaplanan aylık volatilité $\hat{\sigma}=0,24$ ve bu değere bağlı $\hat{\mu}=0.032$ bulunmuştur. Ancak enerji fiyat artış hızı kabul edilen riske dayalı faiz oranından ($\rho=0,011$) yüksek olduğu için model belirli bir yatırım zamanı için yakınsamamaktadır. Bu nedenle analizlerde $\mu < \rho$ koşulunu sağlayacak farklı σ değerleri kullanılarak opsiyon değerleri hesaplanmıştır. Enerji fiyatlarının σ değerleri için çeşitli Monte Carlo benzetimleri ile tahmin edilmesi Şekil 6.4'de verilmektedir.



Şekil 6.6 : Farklı volatilité (σ) değerlerine göre enerji fiyat tahminleri

6.3.3 İskontolama

Modelde iskontolamadaki kritik husus kazançların riske göre düzenlenmiş, maliyetlerin ise risksiz faiz oranları ile iskontolanmasıdır. Bunun nedeni motor satın almak için harcanacak paranın daha risksiz bir yatırımda değerlendirilebilme şansı varken, tasarrufun gelecekte artması için yatırımı erteleme kararı, zaten yatırım yapılacağı ama doğru zaman beklendiği için daha risk içeren bir durum olmasıdır.

6.4 Analiz

Modelin analizinde dikkat edilecek üç önemli nokta bulunmaktadır. Birincisi enerji performans sözleşmesi yapıldığında, tasarruftan belirli bir sabit pay oranı vekile verildiği zaman asilin kâr değerleri sabit ücrete dayalı anahtar teslim proje ile karşılaştırılacaktır. Ancak bu karşılaştırma için her iki sözleşme tipindeki bekleme opsiyonları dikkate alınacaktır. Öncelikle her iki sözleşme tipi için kâr değerlerinin en yüksek olduğu optimum zamanlar bulunacak, ardından bu zamanlarda en yüksek kâr miktarları karşılaştırılacaktır. Sonraki kısımda her iki sözleşme tipinde farklı belirsizlik düzeyleri için bulunan optimum yatırım zamanlarının karşılaştırmalarına yer verilmiştir.

İkinci aşamada gene sabit pay oranı için vekilin her iki sözleşmede kazançlarının karşılaştırması yapılacak ve bakım yapıp yapmama opsiyonunun değeri kontrol edilecektir. Yatırım kararını asil verdiği için vekilin bir bekleme opsiyonu yoktur, ancak yatırım yapılan T anında vekilin sahip olacağı genişleme opsiyonu gereği EPS’de kazancının sabit ücretliden yüksek olması ve performans artışı sonucu oluşacak tasarruf artışının katlandığı performans maliyetinden yüksek olması gerekmektedir. Bu kâr değerlerinin farklı belirsizlik durumlarında karşılaştırması yapılarak elde edilen analiz sonuçlarına bölüm 6.4.2’de yer verilecektir.

Son olarak hem vekil hem de asil için EPS ve anahtar teslim projede elde edecekleri kâr miktarlarının farklı pay oranları (α) için benzetimlerden elde edilen değerleri karşılaştırılacak, modelin kısıtlarını (Denklem 5.24-5.28) sağlayan ve kârı en büyükleyen en küçük pay oranı (α) ve kârların eşitlendiği olası en büyük pay oranı (α) hesaplanacaktır. Bu analizlere bölüm 6.4.3’de yer verilmektedir.

6.4.1 En uygun yatırım yapma zamanları

Enerji fiyatları sabit pay oranı ($\alpha=0,25$) ve sabit riske göre düzenlenmiş faiz oranı ($\rho=0,011$) durumlarında farklı volatilitelere göre tahmin edilip incelenen her σ değeri için 100 tane benzetim yapılmıştır. Çizelge 6.3’de sabit ücrete dayalı anahtar teslim sözleşmeler için farklı σ değerleri için bulunan yatırım yapmanı en uygun olduğu ayların frekans grafikleri verilmiştir. Çizelge incelendiğinde volatilitenin en düşük olduğu anlarda benzetim sonuçları üç değerde odaklanmışken belirsizliğin göstergesi olan σ değerini arttırdıkça çıkan optimum zamanların farklı değerlere dağıldığı gözlemlenmektedir. Başlangıçta 74 gözlemde en-iyi sonuç veren 97. ay, volatilité 0,1 değerine geldiğinde 100 benzetimden sadece 33 tanesinde en yüksek kâr miktarını göstermiştir. Ayrıca %8 ve %10 düzeyindeki σ değeri için birçok farklı ayda yatırım kararı için doğru olduğu belirlenen zamanlamalar bulunmuştur.

Çizelge 6.3 : Sabit ücretli sözleşmelerde farklı belirsizlik düzeylerinde kârın en yüksek olduğu ayların frekansları

T_1	σ				
	0,01	0,03	0,05	0,08	0,1
25	0	0	0	3	6
50	5	18	19	24	23
73	21	9	17	16	20
97	74	73	54	40	33
98	0	0	0	1	2
99	0	0	0	1	1
100	0	0	0	1	4
101	0	0	0	0	1
102	0	0	0	1	0
103	0	0	0	2	0
104	0	0	0	1	1
105	0	0	0	2	2
106	0	0	0	2	0
107	0	0	0	1	2
110	0	0	0	0	2
111	0	0	0	1	1
112	0	0	0	1	0
113	0	0	0	1	0
114	0	0	0	1	0
115	0	0	0	1	0
116	0	0	0	0	1
117	0	0	0	0	1

Çizelge 6.4’de ise aynı analizin enerji performans sözleşmeleri yapıldığı durum için sonuçları gösterilmektedir. EPS’de diğer durumdan daha farklı olarak %1 ve %3 volatilité düzeyinde, benzetimlerde bulunan optimum yatırım kararı zamanları 4 değerde toplanmıştır. Belirsizlik düzeyi arttıkça bu sözleşme tipinde de farklı

optimum karar zamanları da gözlenmeye başlamış ve gözlemlerin frekanslarının dağılımı daha yayılmaya başlamıştır.

Çizelge 6.4 : Enerji performans sözleşmelerde farklı belirsizlik düzeylerinde kârın en yüksek olduğu ayların frekansları

T_2	σ				
	0,01	0,03	0,05	0,08	0,1
25	29	16	15	16	17
49	45	27	30	25	27
73	13	25	19	22	16
97	13	32	34	30	33
98	0	0	0	0	1
99	0	0	1	0	1
100	0	0	0	1	1
101	0	0	0	1	1
102	0	0	0	0	1
103	0	0	0	1	0
105	0	0	0	1	0
111	0	0	1	0	1
116	0	0	0	1	0
117	0	0	0	1	0
118	0	0	0	0	1
119	0	0	0	1	0

Optimum zamalamanın değişimi gözlemek için bir diğer analiz de pay oranı (α) ve volatilité (σ) değerleri sabit tutulup, riske göre düzenlenmiş faiz oranı (ρ) değiştirilerek yapılmıştır. Farklı ρ değerleri için $\alpha = \%25$ ve $\sigma = \%1$ belirsizlik düzeyinde bulunan optimum yatırım zamanlamalarına sabit ücretli sözleşme için Çizelge 6.5’de ve EPS için Çizelge 6.6’da yer verilmiştir.

Çizelge 6.5 : Sabit ücretli sözleşmelerde farklı riske göre düzenlenmiş faiz oranları için kârın en yüksek olduğu ayların frekansları

T_1	ρ			
	0,005	0,007	0,009	0,011
50	0	0	0	5
73	0	0	3	21
97	86	100	97	74
99	1	0	0	0
103	1	0	0	0
105	3	0	0	0
106	1	0	0	0
107	1	0	0	0
108	1	0	0	0
116	1	0	0	0
117	2	0	0	0

Çizelge 6.5’de riskin en düşük olduğu anda kârın en yüksek olduğu 100 ayın 86 tanesinin 97. ayda olduğu görülmüştür. Kalan 14 benzetimde 8 ayrı ay en yüksek kâr değeri göstermiştir. Riske göre düzenlenmiş faiz oranı %0,7 olduğunda kârların en yüksek olduğu tüm değerler 97. ayda çıkarken, bu değer arttırıldıkça başka aylara doğru yayılma gözlemlenmiştir.

Çizelge 6.6 : Enerji performans sözleşmelerde farklı riske göre düzenlenmiş faiz oranları için kârın en yüksek olduğu ayların frekansları

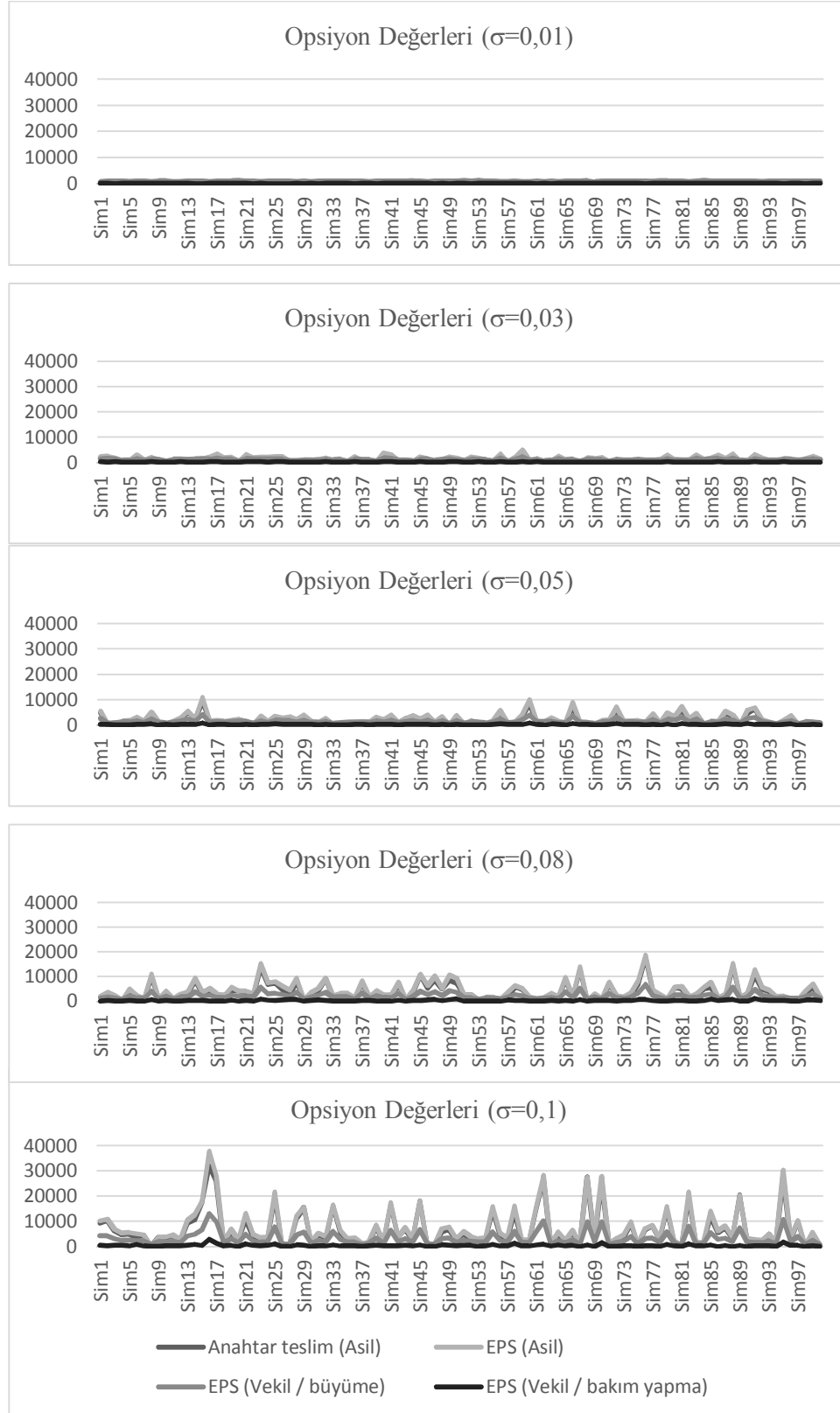
T_2	ρ			
	0,005	0,007	0,009	0,011
25	0	0	0	29
49	0	0	11	45
73	0	1	28	13
97	100	99	61	13

Çizelge 6.6 incelendiğinde riske göre düzenlenmiş faiz oranı %0,5 düzeyinde iken kârların en yüksek olduğu tüm değerler 97. ayda yer alırken, bu değer arttıkça başka aylarda da kârın en yüksek çıkması söz konusudur. %1,1 düzeyinde kârın en yüksek olduğu 4 ayrı ay kaydedilmiştir.

Sonuçlar genel olarak incelendiğinde optimum zamanlamaların frekanslarının dağılımı farklı risk ve belirsizlik değerlerinde değiştiği genellemesine varılabilir. Belirsizlik ve risk düzeyleri düşük iken, benzetimlerde kârın en yüksek olduğu anlar genelde belirli aylarda toplanırken, belirsizlik ve risk arttıkça yatırım yapılması gereken kârın en yüksek olduğu anlar farklı aylara da yayılmaktadır.

6.4.2 Opsiyon değerlerinin bulunması

Asıl, hem anahtar teslim projede hem de EPS yaptığında kazancı değişken olduğu için bir bekleme opsiyonuna sahiptir. Vekil ise EPS durumunda kazancının değişkenliğinden bir genişleme opsiyonu tutmaktadır. Ayrıca performansı vekil tarafından gözlemlenmediği çaba gösterme ya da göstermeme seçimi vardır. Ancak çabası donanımın performansını, dolayısıyla tasarruf miktarını arttırdığı için bu örnekte bakım yapma opsiyonuna sahiptir. Eğer bakım için katlanacağı performans maliyetinin üzerinde bir performansla dayalı kazancı olacaksa vekil bakım yapmayı tercih edecektir.



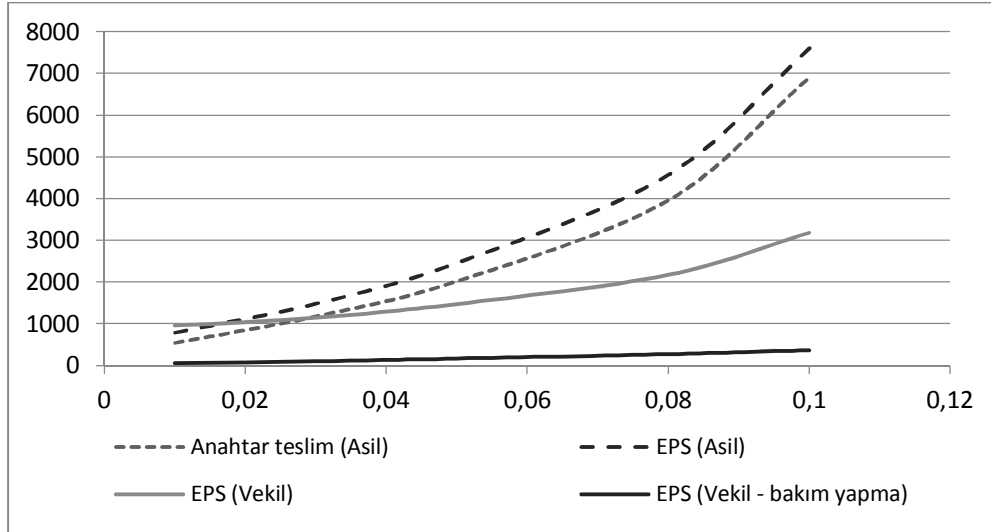
Şekil 6.7 : Farklı volatilité düzeyleri için asil ve vekilin opsiyon değerleri.

Şekil 6.7’de, volatilité arttıkça opsiyon değérlerinin ve dalgalanmaların arttığı şekilde açıkça görölmektedir. Her iki sözleşme tipi için bu opsiyonlar, $\alpha=0,25$, $r=0,005$ ve $\rho=0.011$ parametreleri seçilerek farklı belirsizlik düzeyleri için 100 adet benzetim ile hesaplanmıştır.

Benzetim sonuçlarında bulunan opsiyon değérlerini ortalamaları farklı σ değérleri için Çizelge 6.7’de gösterilmiştir. Verilen $\alpha = 0,25$, $r = 0,005$ ve $\rho = 0.011$ parametre değérleri altında tüm belirsizlik düzeylerinde EPS yapıldığındaki kâr miktarı, anahtar teslim sözleşmeye göre daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca bu analizden çıkarılan başka bir sonuç ise, bu çizelgedeki değérlerle göre çizdirilen grafiğin Şekil 6.8’de gösterildiği gibi, belirsizlik arttıkça opsiyon değeri arttığı yönündedir.

Çizelge 6.7 : Farklı belirsizlik düzeylerinde asil ve vekilin opsiyon değérleri ($\alpha = 0,25$, $r = 0,005$ ve $\rho = 0.011$).

σ	Asil		Vekil	
	Anahtar teslim	EPS	EPS büyüme	EPS performans
0,01	542,77	789,22	953,24	48,88
0,03	1179,22	1484,03	1144,85	94,12
0,05	2021,13	2463,73	1469,25	164,33
0,08	3962,59	4573,31	2168,43	268,32
0,10	6907,69	7600,66	3179,09	364,81



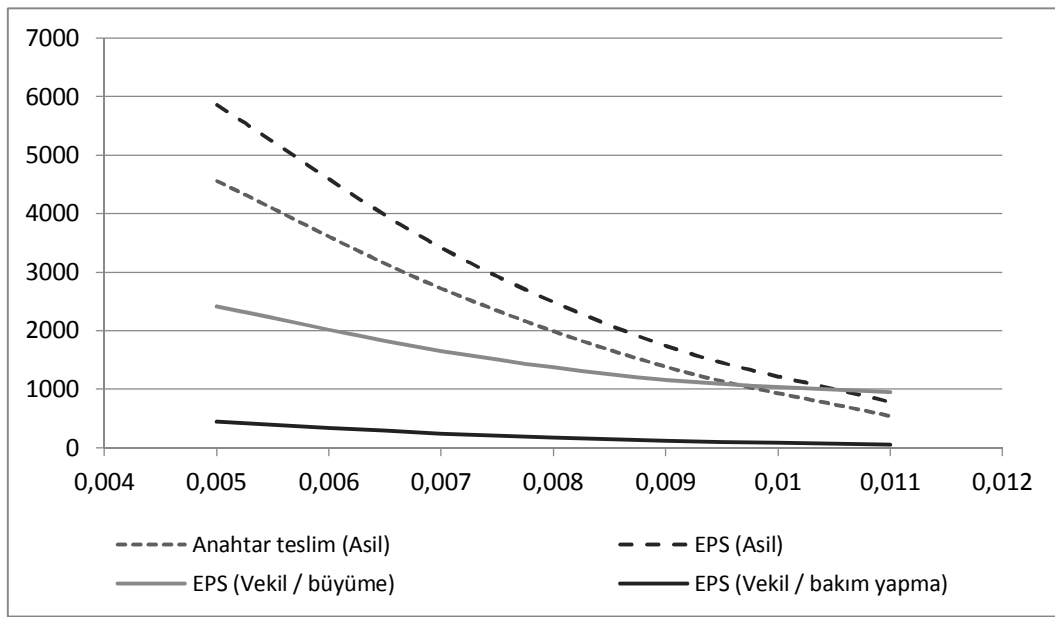
Şekil 6.8 : Farklı volatilité düzeyleri için asil ve vekilin opsiyon değérleri.

Opsiyon değérleri ile ilgili bir diğér analiz de volatilité (σ) değeri sabit tutulup, riske göre düzenlenmiş faiz oranı (ρ) değıştirilerek yapılmıştır. Farklı ρ değérleri için $\alpha=0,25$ ve $\sigma=0,1$ belirsizlik düzeyinde opsiyonların benzetim sonuçlarının

ortalamaları Çizelge 6.8’de ve şekil 6.9’de verilmiştir. Bulgular yorumlandığında ρ arttıkça opsiyon değerlerinin düştüğü görülmektedir.

Çizelge 6.8 : Farklı riske göre düzenlenmiş faiz oranları için asil ve vekilin opsiyon değerleri $\alpha = \%25$, $r = 0,005$ ve $\sigma = \%1$).

ρ	Asil		Vekil	
	Anahtar teslim	EPS	EPS büyüme	EPS performans
0,005	4556,35	5866,20	2413,65	444,84
0,007	2720,63	3422,42	1653,37	244,60
0,009	1384,13	1749,72	1159,92	122,55
0,011	542,77	789,22	953,24	48,88

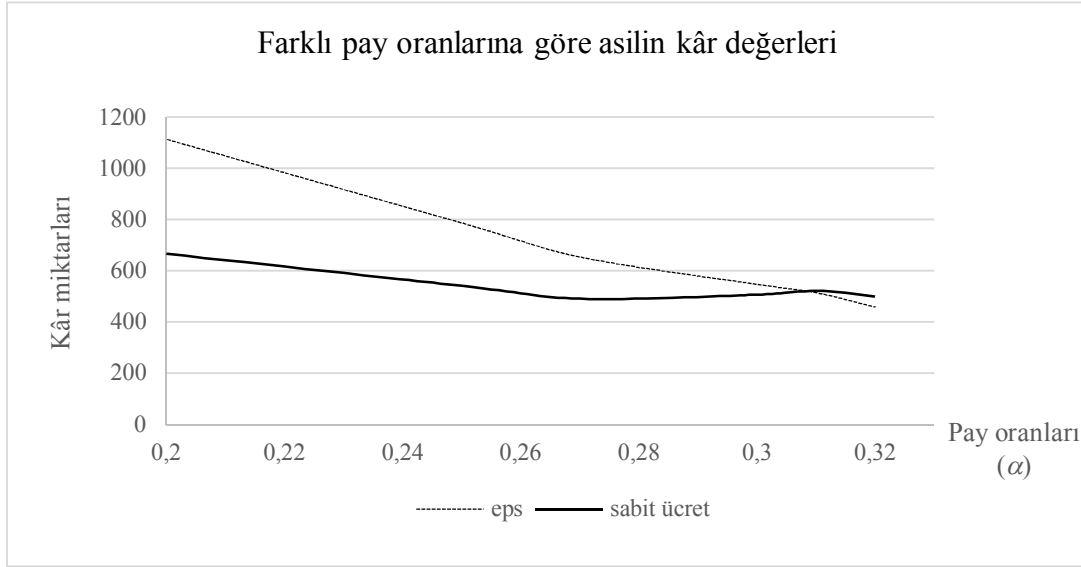


Şekil 6.9 : Farklı riske göre düzenlenmiş faiz oranları için asil ve vekilin opsiyon değerleri,

6.4.3 En fazla ve en az tasarruf pay oranları (α)

Hem asil hem de vekil için EPS’yi anahtar teslim projeye tercih etmek için yatırım anındaki kâr oranlarının EPS’de daha yüksek olması gerekmektedir. Bu durumda EPS tercihi için en düşük ve en yüksek pay oranı α değerleri benzetim yolu ile hesaplanabilmektedir. Farklı α değerleri için her iki sözleşme tipi için hesaplanan asilin kâr oranları eşitlendiğinde, asil için vekile verilebilecek en yüksek pay oranı bulunabilir. Bu oran yükseldiğinde asilin kârı anahtar teslimdeki kârının altına düşecektir bu durumda EPS yerine anahtar teslim sözleşme yapmak daha doğru olacaktır.

Şekil 6.10’da EPS ve anahtar teslim proje için farklı α değerlerine göre 100 benzetim sonucunun ortalaması alınarak hesaplanan kâr miktarları grafiksel biçimde gösterilmiştir. İki sözleşme tipinin kesiştiği nokta asilin EPS seçmesi vekilin kazanabileceği en yüksek α değerini göstermektedir. Bu değer yaklaşık olarak %31 olarak bulunmuştur.



Şekil 6.10 : Asilin sözleşme tiplerine göre farklı pay oranları için ortalama kâr miktarları

Asilin kârını en büyüklemek için olabilecek en düşük pay oranı α değerinin hesaplanması için ise, farklı α değerleri için kârlar, modeldeki kısıtları sağlama koşulları altında karşılaştırılmıştır. Benzetimlerin en az %90’ının koşulları sağlaması durumu için α ’nın olası en düşük değeri %24 olarak hesaplanmıştır.

7. SONUÇLAR

Tez kapsamında enerji verimliliği literatüründe oldukça geniş bir araştırma sahası bulunan enerji paradoksu diğer bir adıyla da enerji verimliliği boşluğu sorunu için bütünsel bir dış kaynak kullanım modeli geliştirilmiştir. Enerji paradoksu, enerji verimliliği projeleri maliyet etkin ve kârlı olsa da çeşitli etkenler nedeniyle firmalar tarafından bu projelerin uygulanmaması ya da uygulanmaya karar verilse bile çok yüksek minimum çekici verim oranlarına sahip olması şeklinde açıklanabilir. Enerji paradoksunun nedenleri çok çeşitlidir. Literatürde bu alandaki çalışmalardan derlenen etkenler; asil-vekil sorunları, bilgi eksiklikleri, kayıptan kaçınma, yetersiz sermaye erişimi, sermaye pazarındaki eksiklikler, enerji fiyatlarının belirsizliği, sermaye kısıtlaması, gizli maliyetler, yüksek işlem maliyetleri, enerji verimliliği yatırımlarının dönüşümsüzlük özelliği, tüketicinin heterojen yapısı şeklinde sıralanabilir.

Tezde önerilen model, enerji paradoksu sorununun doğal yapısı içinde bulunan ve literatürde en çok incelenen etkenlerden olan asil-vekil sorununu enerji fiyatlarının belirsizliği, dinamiklik ve risk durumları ile başa çıkmada geleneksel yatırım analizi yöntemlerine göre üstünlükleri bulunan gerçek opsiyon yaklaşımı ile birleştirmektedir. Model, enerji paradoksunun çözümünde geleneksel müteahhittlik anlaşmaları olan sabit ücrete dayalı anahtar teslim projeler yerine, yüklenici EVD şirketine doğrusal paylaşım kuralı ile enerji tasarruf miktardan pay verme temelli enerji performans sözleşmelerinin yapılmasını önermektedir. Enerji verimli teknolojiyi bilmeyen firma tarafından EVD şirketinin performansı gözlemlenemediği için sabit ücrete dayalı anlaşmalarda EVD şirketi normalden düşük performans gösterebilecek bu da ahlâki tehlike adı verilen asil-vekil sorununa yol açabilecektir. Ancak bu asimetric bilgi durumunda yapılan paylaşıma dayalı anlaşma, EVD şirketinin kazancının, performansına bağlı olması nedeniyle daha fazla çaba göstermesini sağlayacak ve bu durum müşteri firmanın da kazancını arttıracaktır.

Firmanın kazancı, enerji verimliliği projesi uygulamasının sonucu olan enerji faturasında azalma şeklinde görünen enerji tasarruf miktarıdır. Bu parasal enerji

tasarruf miktarının iki bileşeni bulunmaktadır. Birincisi enerji verimli proje uygulaması sonucu enerjinin teknik tarafında kWh cinsinden enerjiyi daha az kullanma, ikincisi ise tasarruf edilen bu enerji ile çarpılan kWh başına birim enerji fiyatıdır. Enerji fiyatlarının değişiminin, literatürde fazlaca sayıda çalışmada olduğu gibi stokastik olduğu kabul edilmiştir. Modelleme stokastik enerji fiyatları değişiminin literatürde çok çalışmada kabul edilen ve gerçek opsiyon analizinin temel kabul olan geometrik Brownian hareketini takip ettiği varsayımı ile yapılmıştır. Bu durumda enerji fiyatlarının hem zamana bağlı bir artışı hem de değişkenlikten gelen rassal bir özelliği mevcuttur. İkinci bileşen olan teknik tasarruf miktarının ise gelecek zamanda teknolojideki gelişmeler ile artan bir eğilim izleyeceği literatür desteği ile kabul edilmiştir. Hem teknolojinin gelişimi hem de enerji fiyat artışları, enerji verimliliği projesi uygulamak isteyen bir firmanın yatırımını gelecek bir tarihe ertelediği takdirde daha fazla kazanabileceğini işaret etmektedir. Erteleme ya da bekleme opsiyonu kavramı ile de açıklanabilen yatırımın ertelenmesi, riske göre düzenlenmiş faiz oranı parametresine göre gelecekte bir tetikleme anında yatırım yapıldığında firmanın kârı enbüyüklenecektir. Tezde önerilen model çözümlendiğinde iki sözleşme tipi için de bekleme opsiyonlarını enbüyükleyen en doğru yatırım anları hesaplanmış ve yatırımın gelecekte belirli bir zamanda yapılması ile firmanın kârının daha yüksek olacağı doğrulanmıştır.

Modelin uygulaması enerji tüketen elektrik motorunun enerji verimli bir elektrik motoru ile değiştirme projesi için kurgulanmıştır. Enerji performans sözleşmesi yapıldığında, EVD şirketinin motor maliyeti yerine tasarruf performansına göre motor seçeceği ve motorun çalışma ömrü boyunca kazanılan tasarruftan pay alacağı için zaman içinde donanımın performansını arttıracak bakım faaliyetlerini üstlenme çabası içinde de olması beklenmektedir. Asil-vekil ilişkisini modellemek için birinci tip sözleşmede EVD şirketinin EFF2 tipi verimi arttırılmış elektrik motor, ikinci tip sözleşmede ise EFF1 tipi yüksek verimli motor satın aldığı varsayılmıştır. Ayrıca ikinci tip sözleşmede, EVD şirketi bakım maliyetlerine katlanarak motorun hem performansı hem de ömrünü yükselttiği varsayılmıştır.

7.1 Sınırlamalar

Modelde, enerji performans sözleşmesi tasarruftan pay alma özelliği ile asil-vekil sorununu ortadan kaldırmaktadır. Enerji performans sözleşmesinin bir çeşidi olan

asilin donanım maliyetini ve vekilin performans maliyetini karşıladığı garantili enerji performans sözleşmesi, sabit ücrete dayalı anahtar teslim proje ile elde edilen kârlar açısından karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalara hem donanım hem de performans maliyetini vekilin karşıladığı paylaşımlı enerji performans sözleşmesi dahil edilmemiştir. Kurulan modellerin yapısını daha da karmaşıklatacak olan bu yaklaşım başka bir çalışmanın konusu olabilecektir.

Modelde kâr fonksiyonunu enbüyüklemeye çalışan yatırım yapılma anı ve tasarruftan alınacak pay oranı değişkenleri birbirini etkilediği için modelin çözümü analitik olarak zor olmaktadır. Bu nedenle, farklı pay oranı değerleri için, yüzer adet benzetim yapılarak model çözülmüş ve kısıtları sağlayan optimum pay oranları deneme yolu ile bulunmuştur.

Enerji fiyatlarının gelecekteki tahmini için PMUM'un (Piyasa Mali Uzlaştırma Merkezi) belirlediği aylık ortalama fiyatlar kullanılmış ve parametre kestirimi yapılmıştır. Daha sonra Monte Carlo benzetimi yöntemi ile gelecek 30 yıl için fiyat tahminleri yapılmıştır. Ancak PMUM enerji fiyat veri sayılarının da yetersizliği ile değişkenliği çok yüksek olduğu için model belirli bir yatırım anına yakınsayamamaktadır. Bu belirsizlik oranı ile PMUM tarafından belirlenen elektrik enerji fiyatları göz önüne alarak uzun dönemli yatırım kararları almak çok doğru olmayacaktır. Bu nedenle belirsizliğin daha düşük olduğu bir fiyat durumu için farklı volatilité değerlerine göre analizler yapılmıştır.

7.2 Analiz Sonuçlarının Özeti

Yapılan analizler sonucu, enerji performans sözleşmesi yapıldığında ve kazancın dörtte birinin performans için vekile verildiği durumda hem asil hem de vekil için elde edilen kâr miktarlarının farklı belirsizlik düzeylerinde sabit ücretlendirmeye dayalı anahtar teslim sözleşmelere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Aynı sonuç, değişkenliğin sabit bir değerde tutulup riske göre düzenlenmiş faiz oranları değiştirildiğinde de elde edilmiştir. Bu analizde elde edilen diğer bir bulgu da belirsizliğin arttıkça opsiyon değerinin yükselmesi dolayısıyla da kâr miktarlarının artması olmuştur. Benzer şekilde sabit volatilité durumunda riske göre düzenlenmiş faiz oranı arttıkça opsiyon ve kâr değerleri düşmüştür.

Sonraki analizde ise, iki sözleşme tipinden elde edilen asilin en yüksek kâr miktarları farklı pay oranları altında karşılaştırılmış ve eşitlendiği andaki pay oranı değerine bakılarak enerji performans sözleşmesini tercih etmek için asilin verebileceği en yüksek tasarruf payı oranı hesaplanmıştır.

Kurulan ikinci modelin analizde ise optimizasyondaki zamanlama değişkeninden sonra ikinci değişkeni oluşturan pay oranının optimum en düşük değeri incelenmiştir. Çünkü belli bir orana kadar asil tasarruftan vekile pay verebilir. Belirli bir eşik değerinin üzerinde sabit ücrete dayalı anlaşmadan elde edeceği kâr daha yüksek olacağı için artık enerji performans sözleşmesini yapmayı seçmesi zararına olacaktır. Ayrıca bu değer optimum pay eşik değerinin altında olduğu takdirde, vekil sabit ücretlendirmeye dayalı anahtar teslim sözleşme yapmak isteyecektir. Ayrıca vekilin performans ve çaba göstermesi için pay oranına dayalı kazancının belirli bir eşik değerinin üzerinde olması gerekmektedir. Bu kısıtları sağlayan ve asilin kârını enbüyükleyen pay oranı, benzetimler sonucu farklı pay oranı değerleri denenerek belirlenmiştir.

Bu tez çalışmasında enerji verimliliği projeleri uygulamak isteyen bir firma için hangi sözleşme tipini seçeceğine dair bir karar destek modeli geliştirilmiştir. Belirli oranının üzerinde ya da altında tasarruf payı vermek sözleşmenin tipini etkilemektedir. Uygun bir pay oranı seçildiğinde, EVD şirketinin performansının gözlemlenemediği durumda, enerji performans sözleşmesi yapılması, asil-vekil ilişkisindeki ayrık amaçlar durumunu ortadan kaldırmaktadır. Vekile doğrusal paylaşım kuralına uygun olarak tasarruftan verilecek pay ile sabit ücretlendirmeye dayalı sözleşmede oluşabilecek ahlâki tehlike sorunu ortadan kaldırılacak ve vekilin daha fazla çaba göstermesi sağlanacaktır.

Analizlerden elde edilen sonuçlara göre belirsizlik arttıkça opsiyon değerleri arttığı için yüksek belirsizlik altında yatırımı ertelemek daha fazla kazandıracaktır. Riske göre düzenlenmiş faiz oranının düşmesi de opsiyon değerini arttırmaktadır.

7.3 Gelecek Çalışmalar

Gelecek çalışmalarda önceki bölümlerde üçüncü tip sözleşme olan paylaşımlı tasarruf sözleşmesi ya da hem paya hem sabit ücrete dayalı hibrit sözleşme tipleri de

modellenecek analizler yapılabilir. Bu durumda modelin yapısı değişecek, farklı değişkenler gelecek ve kısıt sayıları artacaktır.

İkinci bir yenilik de modelin analizinde geliştirilebilir. Benzetim yolu ile farklı enerji tasarruf payı oranları denenerek bulunan kârı enbüyükleyen optimum değerler, ileri matematiksel çözümlerin kullanıldığı bir stokastik programlama ya da metasezgisel yöntemler ile çözülebilir.

Bu model farklı volatilité ve enerji fiyat artış trend değerlerine sahip enerji fiyatlarının olduğu farklı ülkelerin pazarlarında uygulanabilir. Böylece farklı pazarlarda enerji verimliliği sözleşmelerinin kullanımı ile ilgili karşılaştırmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Aggarwal, S. K., Saini, L. M. ve Kumar, A.** (2009). Electricity price forecasting in deregulated markets: A review and evaluation, *Electrical Power and Energy Systems*, 31, 13-22.
- Akerlof, G. A.** (1970). The Market for “Lemons”: Quality Uncertainty and the Market Mechanism, *The Quarterly Journal of Economics*, 84(3), 488-500.
- Alchian A. A.** (1950). Uncertainty, evolution and economic theory, *Journal of Political Economy*, 58(2), 211–221.
- Alchian A. A. ve Demsetz** (1972). Production, information costs and economic organization, *American Economic Review*, 62(5), 772–795.
- Aldrich, H.** (1976). Resource dependence and interorganizational relations: Relations between local employment service office and social services sector organizations, *Administration and Society*, 7(4), 419–455.
- Alvarez, L. H. R ve Stenbacka, R.** (2007). Partial outsourcing: A real options perspective, *International Journal of Industrial Organization*, 25, 91–102.
- Amit R. ve Schoemaker, P.** (1993). Strategic assets and organizational rent, *Strategic Management Journal*, 14, 33–46.
- Amram, M. ve Kulatilaka, N.** (1999). *Real Options – Managing Strategic Investment in an Uncertain World*. Harvard Business School Press.
- Ang, S.** (1994). Towards conceptual clarity of outsourcing. In B.C. Glasson (Ed.), *Business process reengineering: Information systems opportunities and challenges* (pp. 113–126). Amsterdam: Elsevier Science (North-Holland).
- Ang, S. ve Straub, D. W.** (1998). Production and transaction cost economics and IS outsourcing: A study of the U.S. banking industry, *MIS Quarterly*, 22(4), 535–552.
- Ansar, J. ve Sparks, R.** (2009). The experience curve, option value, and the energy paradox, *Energy Policy*, 37, 1012–1020.
- Arrow, K.** (1969). Classificatory notes on the production and the transmission of technological knowledge, *American Economic Review*, 59(2), 29–35.
- Aubert, B. A., Rivard, S. ve Patry, M.** (2004). A transaction cost model of IT outsourcing, *Information and Management*, 41, 921–932.
- Bachelier, L.** (1900). *Theorie de la speculation*, (Doctoral dissertation), Ecole Normale Supérieure III, Paris. (Tekrar basım: Editions Jacques Gabay, Paris, 1995). (İngilizce çeviri in Cootner, P., ed., *The Random Character of Stock Market Prices*, 17–78 MIT Press, Cambridge, 1964).

- Barney, J. B.** (1999). How a firm's capabilities affect boundary decisions, *Sloan Management Review*, 42(3), 137–145.
- Barney, J. B.** (2001). Is resource-based “view” a useful perspective for strategic management research? Yes, *Academy of Management Review*, 26(1), 41–56.
- Barr, N.** (2012). *Economics of the Welfare State*. (5th ed.). Oxford University Press.
- Baumol, W. J., Panzar, J. C. ve Willig, R. D.** (1982). *Contestable market and the theory of industry structure*. New York (NY): Harcourt Brace Jovanovich.
- Beimborn, D.** (2008). *Cooperative Sourcing: Simulation studies and empirical data on outsourcing coalitions in the banking industry*. Frankfurt, Germany: Gabler Edition Wissenschaft.
- Beimborn, D., Martin, S. F. ve Homann, U.** (2005). Capability-oriented modeling of the firm. *Proceedings of IPSI 2005*, Amalfi, Italy.
- Benaroch, M., Webster, S. ve Kazaz, B.** (2010). Outsourcing and Backsourcing under Demand Uncertainty: A Simplified Real Options Model. *Proceedings of 3rd Conference of the MSOM Service Management Special Interest Group*. Technion, Israel, June 27.
- Benson, J. K.** (1975). The interorganizational network as a political economy, *Administrative Science Quarterly*, 20(6), 229–249.
- Bento, A. M., Li, S. ve Roth, K.** (2012). Is there an energy paradox in fuel economy? A note on the role of consumer heterogeneity and sorting bias, *Economic Letters*, 115, 44–48.
- Berg, S. A. ve Friedman, P.** (1981). Impacts of domestic joint ventures on industrial rates of return. A pooled cross-sectional analysis, *Review of Economics and Statistics*, 63(2), 293–298.
- Bertoldi, P., Rezessy, S. ve Vine, E.** (2006). Energy service companies in European countries: Current status and a strategy to foster their development, *Energy Policy*, 34, 1818–1832.
- Bjørnstad, E.** (2012). Diffusion of renewable heating technologies in households. Experiences from the Norwegian Household Subsidy Programme, *Energy Policy*, 48, 148–158.
- Black, F. ve Scholes, M.** (1973). The pricing of options and corporate liabilities, *Journal of Political Economy*, 81, 637–654.
- Blau, P.** (1964). *Exchange and Power in Social Life*. New York: Wiley.
- Boyle, P. P.** (1977). Options: A Monte Carlo approach, *Journal of Financial Economics*, 4, 323–338.
- Capron, L. ve Hulland, J.** (1999). Redeployment of brands, sales forces and general marketing management expertise following horizontal acquisitions: A resource-based view, *Journal of Marketing*, 63(2), 41–54.

- Cao, Q., Ford, D. N. ve Leggio, K.** (2007). The Application of Real Options to the R&D Outsourcing Decision. In Schniederjans, M. Schniederjans, A. Schniederjans, D. (Eds.), *Outsourcing Management Information Systems* (Chapter 2).
- Cheon, M. J., Grover, V. ve Teng, J. T. C.** (1995). Theoretical perspectives on the outsourcing of information systems, *Journal of Information Technology*, 10(4), 209–219.
- Chorn, L. G. ve Shokhor, S.** (2006). Real options for risk management in petroleum development investments, *Energy Economics*, 28(4), 489–505.
- Coase, R.** (1937). The nature of the firm, *Economica*, 4, 386–405.
- Collis, D. J.** (1996). A resource-based analysis of global competition: The case of the bearings industry, *Strategic Management Journal*, 12(Winter special issue), 49–68.
- Colomeischi, T.** (2012). The Moral Hazard as Form of the Information Asymmetry: The Continuous Case, *Academic Research International*, 2(3), 531–356.
- Copeland, T. E. ve Antikarov, V.** (2001). *Real Options – A Practitioner's Guide*, TEXERE.
- Cox, J. C., Ross, S. A. ve Rubinstein, M.** (1979). Option pricing: A simplified approach, *Journal of Financial Economics*, 7, 229–263.
- Croucher, M.** (2011). Potential problems and limitations of energy conservation and energy efficiency, *Energy Policy*, 39, 5795–5799.
- Cudahy, M. ve Dreessen, T.** (1996). *A review of the ESCO industry in the United States. National Association of Energy Service Companies*, Washington, DC.
- Çevik Onar, S.** (2009). *Stratejik Kararların Gerçek Opsiyonlarla Değerlendirilmesi* (Yayınlanmamış doktora tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Da-li, G.** (2009). Energy service companies to improve energy efficiency in China: barriers and removal measures, *Procedia Earth and Planetary Science*, 1, 1695–1704.
- Datta, S.** (2005). Strategic Outsourcing: A Real Option Approach. *Proceedings of Doctoral Symposium of Bristol Business School*, Bristol, United Kingdom.
- David R. ve Han S.** (2004). A Systematic Approach of the Empirical Support for Transaction Cost Economics, *Strategic Management Journal*, 25, 39–58.
- Dayton, D., Goldman, C. ve Pickle, S.** (1998). The Energy Services Company (ESCO) industry: analysis of industry and market trends. Proceedings of the 1998 ACEEE Summer Study, American Council for an Energy-Efficient Economy (Vol. 6 pp. 29–45), Washington, DC., USA.
- DeCanio, S. J.** (1993). Barriers within firms to energy-efficient investments, *Energy Policy* 21(9), 906–914.

- DeCanio, S. J.** (1998). The efficiency paradox: bureaucratic and organizational barriers to profitable energy-saving investments, *Energy Policy*, 26(5), 441-454.
- de Almeida, E.L.F.**, (1998). Energy efficiency and the limits of market forces: the example of the electric motor market in France, *Energy Policy*, 26, 643–653.
- Dibbern, J., Goles, T. Hirschheim, R. ve Jayatilaka, B.** (2004). Information systems outsourcing: A survey and analysis of the literature, *The DATA BASE for Advances in Information Systems*, 35(4), 6–102.
- Dixit, A. K. ve Pindyck, R. S.** (1994). *Investment Under Uncertainty*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Duhan, S., Levy, M. ve Powell, P.** (2001). Information systems strategies in knowledge-based SMEs: The role of core competencies, *European Journal of Information Systems*, 10(1), 25–40.
- Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE)** (2004). *Enerji Verimliliği, 1+1=3*, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, Ulusal Enerji Tasarruf Merkezi, Ankara.
- Emerson, R.** (1972). *Exchange Theory, Part I: A Psychological Basis for Social Exchange and Exchange Theory, Part II: Exchange Relations and Network Structures, Sociological Theories in Progress*, In J. Berger, M. Zelditch and B. Anderson (Ed.), New York: Houghton Mifflin.
- Enerji Verimliliği Kanunu** (2007). Sayı 5627, 2 Mayıs.
- Ertürk, M.** (2012). The evaluation of feed-in tariff regulation of Turkey for onshore wind energy based on the economic analysis, *Energy Policy*, 45, 359-367.
- Fan, Y. ve Zhu, Y.** (2010). A real options based model and its application to China's overseas oil investment decisions, *Energy Economics*, 32, 627–637.
- Feenstra, R. C. ve Hanson, G. H.** (2003). Ownership and control in outsourcing to China: Estimating the property rights theory of the firm, *The Quarterly Journal of Economics*, 120(2), 729–761.
- Ford, D. ve Farmer, D.** (1986). Make or buy – A key strategic issue, *Long Range Planning*, 19(5), 54–62.
- Foss, N. J.** (1993). Theories of the firm: Contractual and Competence Perspectives, *Journal of Evolutionary Economics*, 3, 127–144.
- Foss, N. J.** (1998). Real Options and the Theory of the Firm, working paper, No 98-3, Department of Industrial Economics and Strategy, Copenhagen Business School, Denmark.
- Foss, N. J. ve Eriksen, B.** (1995). Resource-based and evolutionary theories of the firm: Towards a synthesis, In C. A. Montgomery (ed.), *Competitive advantage and industry capabilities* (pp. 43–70.). Boston (MA), USA: Kluwer.
- Foss, N. J. ve Roemer, E.** (2010). Real options, resources and transaction costs: Advancing the strategic theory of the firm, *International Journal of Strategic Change Management*, 2(1), 73–92.

- Furubotn, E. G. ve Richter, R.** (1997). *Institutions and Economic Theory: The Contribution of the New Institutional Economics*. University of Michigan Press, Ann Arbor.
- Gebauer, J.** (1996). Virtual organizations from an economic perspective. *Proceedings of the 4th European Conference on Information Systems (ECIS)*, Lisbon, Portugal.
- Gietzmann, M.** (1996). Incomplete contracts and the make-or-buy decision: Governance design and attainable flexibility, *Accounting, Organizations, and Society*, 21(6), 611–626.
- Giraudet, L.-G., Guivarch, C. ve Quirion, P.** (2012). Exploring the potential for energy conservation in French households through hybrid modeling, *Energy Economics*, 34, 426–445.
- Goldman, C. A., Hopper, N. C. ve Osborn, J. G.** (2005). Review of US ESCO industry market trends: An empirical analysis of project data, *Energy Policy*, 33, 387–405.
- Goldman, C. ve Dayton, D.** (1996). Future prospects for ESCOs in a restructured electricity industry. In *Proceedings of the 1996 ACEEE Summer Study*, American Council for an Energy-Efficient Economy (Vol. 10 pp. 59–69), Washington, DC., USA.
- Goles, T. ve Chin, W.** (2005). Information systems outsourcing relationship factors: Detailed conceptualization and initial evidence, *The DATA BASE for Advances in Information Systems*, 36(4), 47–67.
- Gökmen, R. M.** (2010). *Endüstri Tesislerinde Enerji Verimli Aydınlatma Teknikleri ve Örnek Çalışma* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İ.T.Ü. Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Grant, R. M.** (1991). The resource-based theory of competitive advantage: Implications for strategy formulation, *California Management Review*, 33(3), 114–135.
- Grant, R. M.** (1996). Toward a knowledge-based theory of the firm, *Strategic Management Journal*, 17(Winter special issue), 109–122.
- Graus, W. ve Worrell, E.** (2008). The principal–agent problem and transport energy use: Case study of company lease cars in the Netherlands, *Energy Policy*, 36, 3745–3753.
- Greco, J.** (1997). Outsourcing: The new partnership, *Journal of Business Strategy*, 18(4), 48–54.
- Greene, L. D.** (2011). Uncertainty, loss aversion, and markets for energy efficiency, *Energy Economics*, 33, 608–616.
- Grossman, G. M. ve Helpman, E.** (2002). Integration versus outsourcing in industry equilibrium, *The Quarterly Journal of Economics*, 117(1), 85–120.
- Grossman, S. ve Hart, O.** (1986). The costs and benefits of ownership: A theory of vertical and lateral integration, *Journal of Political Economy*, 94, 691–719.

- Grover, V., Cheon, M. J. ve Teng, J. T. C.** (1994). An evaluation of the impact of corporate strategy and the role of information technology on IS functional outsourcing, *European Journal of Information Systems*, 3(3), 179-190.
- Gurbaxani, V. ve Whang, S.** (1991). The impact of information systems on organizations and markets, *Communications of the ACM*, 34(1), 60–73.
- Harris J, Anderson J ve Shafron W.** (2000). Investment in energy efficiency: A survey of Australian firms, *Energy Policy*, 28(12), 867-876.
- Hart, O.** (1988). Incomplete contracts and the theory of the firm, *Journal of Law, Economics, and Organization*, 4(1), 119–139.
- Hart, O.** (1995). *Firms, Contracts, and Financial Structure*. Oxford: Oxford University Press.
- Hart, O. ve Moore, J.** (1990). Property rights and the nature of the firm, *Journal of Political Economy*, 98(6), 1119–1158.
- Hassett, K. A. ve Metcalf, G. E.** (1994). Energy conservation investment: Do consumers discount the future correctly?, *Energy Policy*, 23(1), 710-16.
- Hausman, J.** (1979). Individual discount rates and the purchase and utilization of energy using durables, *Bell Journal of Economics*, 10(1), 33–54.
- Helle, C.** (1997). On energy efficiency-related product strategies – Illustrated and analysed using contracting approaches in Germany as an example, *Utilities Policy*, 6(1), 75–85.
- Henderson, J.** (1990). Plugging into strategic partnerships: The critical IS connection, *Sloan Management Review*, 31(3), 7–18.
- Hepbasli, A. ve Ozalp, N.** (2003). Development of energy efficiency and management implementation in the Turkish industrial sector, *Energy Conversion and Management*, 44, 231–249.
- Hepbasli, A.** (2007). Enerji Verimliliği Kanunu ve Bilinmesi Gerekenler, Electrotech'07 8.Enerji, Elektrik ve Elektronik Teknolojileri Fuarı Elektrik Tesisat Mühendisleri Derneği Semineri, İstanbul, 10 Mart.
- Hirst, E. ve Brown, M.** (1990). Closing the efficiency gap: barriers to the efficient use of energy, *Resources, Conservation and Recycling*, 3(4), 267–281.
- Holmström, B.** (1982). Moral Hazard in Teams, *The Bell Journal of Economics*, 13, 324-340.
- Holmström, B.** (1979). Moral hazard and observability, *Bell Journal of Economics*, 10(1), 74-91.
- Homans, G. C.** (1961). *Social Behavior: Its Elementary Forms*. New York: Harcourt Brace Jovanovich.
- Hoopes, D. G., Madsen, T. ve Walker, G.** (2003). Guest editors' introduction to the special issue: Why is there a resource-based view? Towards a theory of competitive heterogeneity, *Strategic Management Journal*, 24(10), 889–902.

- Howarth R. B. ve Anderson B.** (1993). Market barriers to energy efficiency, *Energy Economics*, 15(4), 262-272.
- Howarth, R. B., Haddad, B. ve Paton, B.** (2000). The economics of energy efficiency: Insights from voluntary participation programs, *Energy Policy*, 28, 477-486.
- Howarth, R. B. ve Sanstad, A.** (1995). Discount rates and energy efficiency, *Contemporary Economic Policy*, 13(3), 101-109.
- Hull, J. C.** (2003). *Options, Futures, and Other Derivatives*. Pearson Prentice Hall.
- International Energy Agency** (2007a). *Mind the Gap, Quantifying Principal-Agent Problems in Energy Efficiency*. Paris, France: International Energy Agency.
- International Energy Agency** (2007b). *Information Paper: Experience with energy efficiency regulations for electrical equipment*. Paris, France: International Energy Agency.
- Jackson, J.** (2010). Promoting energy efficiency investments with risk management decision tools, *Energy Policy*, 38, 3865–3873.
- Jaffe, A. B. ve Stavins, R. N.** (1994). The Energy Efficiency Gap - What does it mean, *Energy Policy*, 22(10), 804-810.
- Jensen M. C.** (1983). Organization theory and methodology, *Accounting Review*, 58(2), 319–339.
- Jensen, M. C.** (2000). *The theory of the firm: Governance, residual claims and organizational forms*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Jensen M. C. ve Meckling, W. H.** (1976). Theory of the firm: Managerial behaviour, agency costs and ownership structure, *Journal of Financial Economics*, 3(4), 305–360.
- Jiang, B., Yao, T. ve Feng, B.** (2008). Valuate Outsourcing Contracts from Vendors' Perspective: A Real Options Approach, *Decision Sciences*, 39(3), 383–405.
- Johnson, B. E.** (1994). Modelling energy technology choices: which investment analysis tools are appropriate?, *Energy Policy*, 22(10), 877-883.
- Johnstone, D.** (2002). Public sector outsourcing as an exchange option, *Abacus*, 38(2), 153–176.
- Kahneman, D., Knetsch, J. L. ve Thaler, R.H.** (1991). The endowment effect, loss aversion and status quo bias, *Journal of Economic Perspectives*, 5(1), 193–206.
- Kaya, E.** (2006). Enerji yönetimi ve planlaması, *ENKÜS2006 İTÜ Enerji Çalıştayı ve Sergisi*, İ.T.Ü. Ayazağa Yerleşkesi, İstanbul, 22-23 Haziran.
- Kjaerland, F.** (2007). A real option analysis of investments in hydropower – the case of Norway, *Energy Policy*, 35(11), 5901–5908.
- Kodukula, P. ve Papudesu, C.** (2006). *Project Valuation Using Real Options A Practitioner's Guide*. Florida, USA: J. Ross Publishing, Inc., Fort Lauderdale.

- Kogut, B.** (1988). Joint ventures: Theoretical and empirical perspectives, *Strategic Management Journal*, 9(4), 319–332.
- Koopmans, C. C. ve te Velde, D. W.** (2001). Bridging the energy efficiency gap: using bottom-up information in a top-down energy demand model, *Energy Economics*, 23, 57-75.
- Kotler, J. P.** (1979). Managing external dependence, *Academy of Management Review*, 4(1), 87–92.
- Kounetas, K. ve Tsekouras, K.** (2008). The energy efficiency paradox revisited through a partial observability approach, *Energy Economics*, 30, 2517-2536.
- Kreps, D., Wilson, R., Milgrom, P. ve Roberts, J.** (1982). Rational cooperation in the finitely repeated prisoner's dilemma, *Journal of Economic Theory*, 27, 245–252.
- Kumbaroglu, G. ve Madlener, R.** (2012). Evaluation of Economically Optimal Retrofit Investment Options for Energy Savings in Buildings, *Energy and Buildings*, 49(June), 327-334.
- Kumbaroglu, G., Madlener, R. ve Demirel, M.** (2008). A real options evaluation model for the diffusion prospects of new renewable power generation technologies, *Energy Economics*, 30(4), 1882-1908.
- Kutlu, A. C.** (2012). A Risk Management Decision Model for Energy Service Companies by Using Real Options, Athens: ATINER'S Conference Paper Series, No: BUS2012-0224.
- Kutlu, A. C. ve Ekmekçioğlu, M.** (2012). Enerji Verimliliği Danışmanlık Şirketi Seçimi için Bir Bulanık Çok Ölçütlü Karar Verme Yaklaşımı. 12. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu (pp 965–974). 27–29 Eylül, Menemen/İzmir: Gediz Üniversitesi.
- Küçükyaşıcı, G.** (2009). *Dikey bütünleşme stratejisi ve belirlenmesi için bir yaklaşım* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Künar, A.** (2013). Enerji verimliliği uygulamalarına çözüm, *TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Elektrik Mühendisliği dergisi*, 446, 20-21
- Lacity, M. C. ve Hirschheim, R. A.** (1993). *Information Systems Outsourcing: Myths, Metaphors, and Realities*. Chichester, New York: Wiley.
- Laffont J.-J. ve Martimort, D.** (2001). *The Theory of Incentives: The Principal-Agent Model*. Princeton University Press.
- Lammers, M.** (2005). *Sourcing decision making in the banking industry*. Berlin: Pro Business.
- Langlois, R. N. ve Robertson, P. L.** (1995). *Firms, Markets, and Economic Change*. London: Routledge.
- Lee, M. K., Park, H., Noh, J. ve Painuly, J. P.** (2003). Promoting energy efficiency financing and ESCOs in developing countries: experiences from Korean ESCO business, *Journal of Cleaner Production*, 11, 659-665.

- Lee, S.-C. ve Shih, L.-H.** (2010). Renewable energy policy evaluation using real option model - The case of Taiwan, *Energy Economics*, 32, S67–S78.
- Lee, Y.-C. ve Lee S.-S.** (2011). The valuation of RFID investment using fuzzy real option, *Expert Systems with Applications*, 10, 12195-12201.
- Leiblein M. J., Reuer J. J. ve Dalsace F.** (2002). Do Make or Buy Decisions Matter? The Influence of Organizational Governance on Technological Performance, *Strategic Management Journal*, 23, 817–833.
- Levinthal, D.** (1988). A survey of agency models of organization, *Journal of Economic Behaviour and Organization*, 9(2), 153–186.
- Liebeskind, J. P., Oliver, A. L., Zucker, L. ve Brewer, M.** (1996). Social networks, learning, and flexibility: Sourcing scientific knowledge in new biotechnology firms, *Organization Science*, 7, 428–443.
- Lin, T. T. ve Huang S.-L.** (2010). An entry and exit model on the energy-saving investment strategy with real options, *Energy Policy*, 38, 794–802.
- Lin, T. T. ve Huang S.-L.** (2011). Application of the modified Tobin's q to an uncertain energy-saving project with the real options concept, *Energy Policy*, 39, 408–420.
- Loh, L. ve Venkatraman, N.** (1992). Determinants of information technology, outsourcing: a cross-sectional analysis, *Journal of Management Information Systems*, 9(1), 7–24.
- Marcolin, B. L. ve Ross, A.** (2005). Complexities in IS sourcing: Equifinality and relationship management, *The DATA BASE for Advances in Information Systems*, 36(4), 29–46.
- McDonald R. ve Siegel, D.** (1986). The value of waiting to invest, *Quarterly Journal of Economics*, 101, 707-728.
- McCoy, G. A., Litman, T., Douglass, J. G.** (1993). *Energy efficient electric motor selection handbook*. Washington: Washington State Energy Office Olympia.
- McFarlan, F. ve Nolan, R.** (1995). How to manage an IS outsourcing alliance, *Sloan Management Review*, 36(2), 9–23.
- Merton, R.,** 1973. Theory of rational option pricing, *Bell Journal of Economics and Management Science*, 4(1), 141–183.
- Metcalf, G. ve Gilbert, E.** (1994). Economics and rational conservation policy, *Energy Policy*, 22(10), 819–825.
- Metcalf, G. ve Hassett, K. A.** (1999). Measuring the Energy Savings from Home Improvement Investments: Evidence from Monthly Billing Data, *Review of Economics and Statistics*, 81(3), 516-528.
- Milgrom P. ve Roberts, J.** (1992). *Economics, organization and management*. Englewood Cliffs (NJ): Prentice-Hall.
- Mirrlees, J. A.** (1999). The theory of moral hazard and unobservable behaviour: Part 1, *Review of economic studies*, 66, 3-21.

- Maruejols, L. ve Young, D.** (2011). Split incentives and energy efficiency in Canadian multi-family dwellings, *Energy Policy*, 39, 3655–3668.
- McConnell, J. ve Nantell, T.** (1985). Corporate Combinations and Common Stock Returns, *Journal of Finance*, 15, 519-536.
- Mun, J.** (2002). *Real Options Analysis*. John Wiley & Sons Inc.
- Mueller, S.** (2006). Missing the spark: An investigation into the low adoption paradox of combined heat and power technologies, *Energy Policy*, 34, 3153–3164.
- Murtishaw, S. ve Sathaye, J.** (2006). Quantifying the Effect of the Principal-Agent Problem on US Residential Energy Use, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory No. LBNL-59773 Rev., California 94720: University of California Berkeley.
- Myers, S.** (1977). Determinants of corporate borrowing, *Journal of Financial Economic*, 5, 147–176.
- Nash, J. F.** (1953). Two-person cooperative games, *Econometrica*, 21, 128–140.
- Nelson, R. R. ve Winter S. G.** (1982). *An evolutionary theory of economic change*. President and fellows of Harvard College.
- Nembhard, H. B. ve Aktan, M.** (2010). *Real options in engineering design, operations, and management*. Boca Raton: CRC Press.
- Nembhard, H. B., Shi, L. ve Aktan, M.** (2005). A real-options-based analysis for supply chain decisions, *IIE Transactions*, 37(10), 945–956.
- Nembhard, H. B., Shi, L. ve Aktan, M.** (2003). A real options design for product outsourcing, *The Engineering Economist*, 48(3), 199–217.
- Nicholson, B., Jones, J. ve Espenlaub S.** (2006). Transaction costs and control of outsourced accounting: Case evidence from India, *Management Accounting Research*, 17, 238–258.
- Nooteboom, B.** 1992. Information technology, transaction costs and the decision to 'make or buy', *Technology Analysis & Strategic Management*, 4(4), 339-350.
- Nooteboom, B.,** 1993. Firm size effects on transaction costs, *Small Business Economics*, 5, 283–295.
- Nooteboom, B.,** 1993. Research note: An analysis of specificity in transaction cost economics, *Organization Studies*, 14(3), 443-451.
- O'Brien, T ve Selby, M. J. P.** (1986). Option pricing theory and asset expectations: A review and discussion in Tribute to James Boness, *Financial Review*, 21(4), 399–418.
- Okay, E., Okay, N, Konukman A. E. Ş. ve Akman, U.** (2008). Views on Turkey's impending ESCO market: Is it promising?, *Energy Policy*, 36, 1821-1825.
- Okay, N ve Akman, U.** (2010). Analysis of ESCO activities using country indicators, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(9), 2760–2771.

- Oliver, C.** (1990). Determinants of interorganizational relationships: Integration and future directions. *Academy of Management Review*, 15(2), 241–265.
- Onaygil, S.** (2006). Enerji planlaması ve yönetimi Dünya, Türkiye ve İTÜ'deki durum, *ENKÜS2006 İTÜ Enerji Çalıştayı ve Sergisi*, İ.T.Ü. Ayazağa Yerleşkesi, İstanbul, 22-23 Haziran.
- Onaygil, S., Meylani, E. A. ve Satman, A.** (2010). Enerji Verimliliği Danışmanlık şirketlerinin finansman yöntemleri ve Türkiye için öneriler. *1. Ulusal Enerji Verimliliği Forumu*, 14 –156.
- Önalın, Ö.** (2007). Finansal zaman serileri için ortalamaya dönme sıçrama difüzyon modeli, *Marmara Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi*, 23(1), 201-224.
- Paddock, J. L., Siegel, D. R. ve Smith, J. L.** (1988). Option valuation of claims on real assets: the case of offshore petroleum leases, *The Quarterly Journal of Economics*, 103(3), 479–508
- Painuly, J. P., Park, H. , Lee, M.-K. ve Noh J.** (2003). Promoting energy efficiency financing and ESCOs in developing countries: Mechanisms and barriers, *Journal of Cleaner Production*, 11, 659–665.
- Panzar, J. C. ve Willig, R. D.** (1977). Economies of scale and economies of scope in multi-output production, *Quarterly Journal of Economics*, 91(3), 481–494.
- Panzar, J. C. ve Willig, R. D.** (1981). Economies of scope, *American Economic Review*, 71(2), 268–272.
- Pauly, M. V.** (1968). The Economics of Moral Hazard: Comment, *American Economic Press*, 53(3) 535-536.
- Peteraf, M. A.** (1993). The cornerstones of competitive advantage: A resource-based view, *Strategic Management Journal*, 14(3), 179–191.
- Pfeffer, J.** (1981). *Power in Organizations*. Marshfield, Mass.: Pitman Pub.
- Pfeffer, J.** (1982). *Organizations and Organization Theory*. Boston: Pitman Pub.
- Pfeffer, J. ve Salancik, G.** (1978). *The external control of organizations: A resource dependence perspective*. New York (NY): Harper & Row.
- Phillips, Y.** (2012). Landlords versus tenants: Information asymmetry and mismatched preferences for home energy efficiency, *Energy Policy*, 45, 112-121.
- Porter, M. E.** (1985). *Competitive advantage*. Creating and sustaining superior performance. New York (NY): Free Press.
- Porter, M. E. ve Fuller, M. B.** (1986). Coalitions and global strategy, In M. E. Porter (ed.), *Competition in global industries* (pp. 315–344), Boston (MA): Harvard Business School Press.
- Prahalad C. K. ve Hamel, G.** (1990). The core competence of the the corporation, *Harvard Business Review*, 68(3), 79–93.
- Reuer, J. J. ve Tong, T. W.** (2007). *Real Options Theory – Advances in Strategic Management*. Volume 24. Greenwich, CT: Elsevier.

- Rindfleisch, A. ve Heide, J. B.** (1997). Transaction cost analysis: past, present and future applications, *Journal of Marketing*, 61(4), 30–54.
- Rodriguez, R. Y.** (2008). Real option valuation of free destination in long-term liquefied natural gas supplies, *Energy Economics*, 30(4), 1909–1932.
- Roemer, E.**, (2004). Real Options and the Theory of the Firm, *Proceedings of the 8th Annual International Conference of Real Options Group*, June 17-19, Montréal, Canada.
- Ross, J. W., Beath, C. M. ve Goodhue, D. L.** (1996). Develop long-term competitiveness through IT assets, *Sloan Management Review*, 38(1), 31–42.
- Ross, S.** (1973). The economic theory of agency: The principal's problem, *American Economic Review*, 68(2), 134–139.
- Samuelson, P.** (1967). Rational theory of warrant pricing, *Industrial Management Review*, 6, 13-39.
- Sanchez R.** (1993). Strategic flexibility, firm organization, and managerial work in dynamic markets: A strategic options perspective, *Advances in Strategic Management Journal*, 7, 485–501.
- Sanchez R.** (1995). Strategic flexibility in product competition, *Strategic Management Journal*, 16 (summer special issue), 135–159.
- Sanchez, R., Heena, A. and Thomas, H.** (1996). *Introduction: Towards the theory and practice of competence-based competition*. Oxford, UK: Pergamon Press.
- Sanchez, R.** (2003). Integrating transaction cost theory and real options theory, *Managerial and Decision Economics*, 24, 267–282.
- Sanstad, A. H. ve Howarth, R. B.** (1994). 'Normal' markets, market imperfections and energy efficiency, *Energy Policy*, 22(10), 811-818.
- Sardianou, E.** (2008). Barriers to industrial energy efficiency investments in Greece, *Journal of Cleaner Production*, 16, 1416-1423.
- Schleich, J.** (2009). Barriers to energy efficiency: A comparison across the German commercial and services sector, *Ecological Economics*, 68, 2150–2159.
- Seshadri, S.** (2005). *Sourcing Strategy – Principles, Policy and Designs*. New York, ABD: Springer Science + Business Media.
- Shama, A.** (1983). Energy conservation in US buildings: solving the high potential/low adoption paradox from a behavioral perspective, *Energy Policy*, 11(2), 148-167.
- Sharpe, W. F., Alexander, G. J. ve Bailey J. V.** (1998). *Investments*. Prentice-Hall.
- Shelanski H. A. ve Klein P. G.** (1995). Empirical research in transaction cost economics: A review and assessment, *Journal of Law, Economics, & Organization*, 11(2), 335-361.
- Shy, O. and Stenbacka, S.** (2003). Strategic outsourcing, *Journal of Economic Behavior & Organization*, 50, 203–224.

- Siddiqui, A. ve Fleten, S.-E.** (2010). How to proceed with competing alternative energy technologies: A real options analysis, *Energy Economics*, 32, 817–830.
- Singer, T. ve Lockhart, N.** (2002). IEA DSM Task X—Performance Contracting, Country Report: United States. International Energy Agency, Paris, France.
- Slaughter, S. ve Ang, S.** (1996). Employment outsourcing in information systems, *Communications of the ACM*, 39(7), 47–54.
- Smit, H. ve Trigeorgis, L.** (2004). *Strategic Investment: Real Options and Games*. Princeton: Princeton University Press.
- Soroye, K. L. ve Nilsson, L. J.** (2010). Building a business to close the efficiency gap: the Swedish ESCO Experience, *Energy Efficiency*, 3, 237–256.
- Sorrell, S.** (2007). The economics of energy service contracts, *Energy Policy*, 35, 507–521.
- Sorrell, S., Mallett, A. ve Nye, S.** (2011). *Barriers to industrial energy efficiency: A Literature Review*, Working Paper 10/2011 United Nations Industrial Development Organization Development Policy, Statistics and Research Branch, Vienna, Available from http://www.unido.org/fileadmin/user_media/Services/Research_and_Statistics/WP102011_Ebook.pdf
- Spence, M. A.** (1976). Competitive and optimal responses to signals, *Journal of Economic Theory*, 7, 298–315.
- Spence, M. A. ve Zeckhauser, R.** (1971). Insurance, information and individual action, *American Economic Review*, 61(2), 380–387.
- Stewart, K., Straub, D. W. ve Weill, P.** (2002). *Strategic control of IT resources: A test of resource-based theory in the context of selective IT sourcing*. Center for Information Systems at the Sloan School of Management, Cambridge (MA)
- Sutherland, R. J.** (1991). Market Barriers to Energy-Efficiency Investments, *Energy Journal*, 12(3), 15-34.
- Taş, O., Yaşaroğlu, Ç. ve Tokmakçioğlu, K.** (2007). Finansal opsiyonlarla reel opsiyonların karşılaştırılması ve gerçek bir yatırım projesinde reel opsiyonların hesaplanması, *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 22(2), 339-355.
- Teece, D. J., Pisano, G. ve Shuen, A.** (1997). Strategic Management and Dynamic Capabilities. In Nicolai J Foss (Ed.). *Resources, Firms, and Strategies: A Reader in the Resource-Based Perspective*. Oxford: Oxford University Press.
- Teng, J. T. C., Cheon M. J. ve Grover, V.** (1995). Decisions to outsource information systems functions: Testing a strategy-theoric discrepancy model, *Decision Sciences*, 26(1), 75–103.
- Thompson, J. D.** (1967). *Organizations in action*. New York (NY): McGraw-Hill.
- Thompson, P. B.** (1997). Evaluating energy efficiency investments: Accounting for risk in the discounting process, *Energy Policy*, 25(12), 989-996.

- Tolga, A. Ç.** (2009). Araştırma Geliştirme Projelerinin Değerlendirilmesinde Bulanık Gerçek Opsiyon Yaklaşımı (Yayınlanmamış doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tonn B. ve Martin M.** (2000). Industrial energy efficiency decision making, *Energy Policy*, 28(12), 831-843.
- Trigeorgis, L.** (1996). *Real options, managerial flexibility and strategy in resource allocation*. The MIT Press.
- Trigeorgis, L. ve Mason, S. P.** (1987). Valuing Managerial Flexibility, *Midland Corporate Finance Journal*, 5, 14-21.
- Tsang, E. W. K.** (2000). Transaction cost and resource-based explanation of joint ventures, *Organization Studies*, 21(1), 215-242.
- Uçal, İ. ve Kahraman, C.** (2009). Fuzzy real options valuation for oil investments, *Technological and Economic Development of Economy*, 15(4), 646-669.
- Van Mieghem, J.** (1999). Coordinating investment, production and subcontracting, *Management Science*, 45, 954-971.
- Vardareri D. ve Dursun G.,** 2010. Asimetrik Bilgi Çerçevesinde 2008 Küresel Krizin İncelenmesi, *The Journal of Knowledge Economy & Knowledge Management*, 5, 137-150.
- Venetsanos, K., Angelopoulou, P. ve Tsoutsos, T.** (2002). Renewable energy sources project appraisal under uncertainty - The case of wind energy exploitation within a changing energy market environment, *Energy Policy*, 30(4), 293-307.
- Vine, E.** (2005). An international survey of the energy service company (ESCO) industry, *Energy Policy*, 33, 691-704.
- Vine, E., Murakoshi, C. ve Nakagami, H.** (1998). International ESCO business opportunities and challenges: A Japanese case study, *Energy*, 23(6), 439-477.
- Vine, E., Nakagami, H. ve Murakoshi, C.** (1999). The evolution of the US energy service company (ESCO) industry: From ESCO to Super ESCO, *Energy*, 24(6), 479-492.
- Vine, E., Nakagami, H. ve Murakoshi, C.** (1999). The Evolution of the U.S. ESCO Industry: Is There a Super ESCO in Your Life?, *The Electricity Journal*, 12(3), 82-92.
- Vernon, D. ve Meier, A.** (2012). Identification and quantification of principal-agent problems affecting energy efficiency investments and use decisions in the trucking industry, *Energy Policy*, 49, 266-273.
- Wade, M. and Hulland, J.** (2004). Review: The resource-based view and information systems research: Review, extension and suggestions for future research, *MIS Quarterly*, 28(1), 107-142.
- Walker G. ve Weber D.** (1984). A Transaction Cost Approach to Make-or-Buy Decisions, *Administrative Science Quarterly*, 29, 373-391.

- Williamson, O. E.** (1975). *Markets and Hierarchies: Analysis and Antitrust Implications*. New York: The Free Press.
- Williamson, O. E.** (1981a). The economics of organization: The transaction cost approach, *The American Journal of Sociology*, 87(3), 548-577.
- Williamson, O. E.** (1981b). The modern corporation: origins, evolution, attributes, *Journal of Economic Literature*, 19(4), 1537-1568.
- Williamson, O. E.** (1985). *The Economic Institutions of Capitalism*. New York, NY: Free Press.
- Williamson, O. E.** (1991). Comparative economic organization: An analysis of discrete structural alternatives, *Administrative Science Quarterly*, 36, 269-296.
- Wernerfelt, B.** (1984). A resource-based view of the firm, *Strategic Management Journal*, 5(2), 171-180.
- Zhang, G. ve Liu, Z.** (2005). Managing coordination costs of interorganizational relationships: An analysis of determinants. *Proceedings of the 5th International Conference on Electronic Business (ICEB)* (pp. 54-58) Hong Kong.
- Zhao H., Luo Y. ve Suh T.** (2004). Transaction cost determinants and ownership-based entry mode choice: A meta-analytical review, *Journal of International Business Studies*, 35, 524-544.
- Zeckhauser, R.** (1970). Medical Insurance: A Case Study of the Tradeoff between Risk Spreading and Appropriate Incentives, *Journal of Economic Theory*, 2(1), 10-26.
- Zilahy G.** (2004). Organisational factors determining the implementation of cleaner production measures in the corporate sector, *Journal of Cleaner Production*, 12(4) 311-319.
- Bodur, F.** (t.y.). Elektrik Motorlarında ve Uygulamalarında Enerji Verimliliği, Retrieved February 22, 2013, from http://www.emo.org.tr/ekler/8064e39c9540f7e_ek.pdf?tipi=2&turu...
- Doğan, O. N.** (t.y.). Elektrik enerji tarifi, Retrieved 16, December, 2012, from <http://www.eud.org.tr/TR/Genel/BelgeGoster.aspx?F6E10F8892433CFFA79D6F5E6C1B43FFF8E1302CA0BA6395>.
- Energy Performance Contracting.** (t.y.). Retrieved May 16, 2010, from <http://energyperformancecontracting.org>.
- ETSU, AEAT PLC, CETIM, Reeves, D. T., NESA, Technical University Darmstadt European Commission.** (2001). Study on Improving the Energy efficiency of pumps, Retrieved January 05, 2013, from http://iet.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/sites/energyefficiency/files/files/documents/save_pumps_final_report_june_2003.pdf.
- IEA DSM Task XVI.** (2010), Graz, Retrieved January 05, 2013, from [http://www.ieadsm.org/Files/Exco%20File%20Library/Key%20Publications/100608_T16-ExCo_Final%20Task%20Report%20\(2006-2009\).pdf](http://www.ieadsm.org/Files/Exco%20File%20Library/Key%20Publications/100608_T16-ExCo_Final%20Task%20Report%20(2006-2009).pdf).

- Korkmaz, O.** (2010). Hidroelektrik Enerji Yatırımları, Retrieved January 05, 2013, from http://www.icci.com.tr/dosya/2010sunumlar/Otr14_OzanKorkmaz.ppt
- Özutku, H.** (t.y.). İşletme yönetimi dersi notları, Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Afyon. Retrieved May 19, 2010, from www2.aku.edu.tr/~hozutku/sayfalar/uyum.ppt.
- Tharp, M. ve Patterson, D.** (t.y.) Retrieved February 15, 2013, from <http://www.mpw.org/pdf/MotorWorkshop08.ppt>
- Ural, M. M.** (t.y.). Örgütsel iktisat: İşlem maliyeti ve aracı (vekalet) kuramları, Retrieved May 16, 2010. from <http://www.yonetimorganizasyon.com/makale/ural/m5.doc>,
- Url-1** Motiva, International Review of ESCO-activities, Retrieved March 30, 2008 from www.esprojects.net/.../fe7f2590ded40d75fe90800909f5671a/International+Review+of+ESCO-activities+08_2005.pdf.
- Url-2** (t.y.) Enerji Verimliliği Kapsamında Sanayide Yüksek Verimli Elektrik Motorlarının Kullanılması, Retrieved January 21, 2013 http://www.verimot.com.tr/userfiles/file/pdf_dosyalar/yukverimlimotorlar.pdf
- Url-3** (t.y.) Retrieved January 21, 2013, from <http://www.pekerenerji.com.tr/enerji-satis.html>
- Url-4** (t.y) Retrieved December 21, 2012, from http://www.eie.gov.tr/verimlilik/document/Elektrik_Motorlari.pdf

EKLER

EK A: Benzetim çizelgeleri

EK A: Benzetim çizelgeleri**Çizelge A.1 : Benzetimler ($\alpha=0,25$, $r=0,005$, $\rho= 0.011$ ve $\sigma=0,1$)**

	Anahtar teslim (Asil)	EPS (Asil)	EPS (Vekil / büyüme)	EPS (Vekil / bakım yapma)
Benzetim1	9257,09765	10290,78	4125,1514	429,8475884
Benzetim2	10477,0578	10953,58	4282,1076	274,2576565
Benzetim3	6261,39703	6955,225	3013,3009	353,5068
Benzetim4	4604,70387	5354,328	2355,9695	371,6803316
Benzetim5	4934,79895	5547,657	2480,1324	280,9249579
Benzetim6	3536,8789	5175,813	2296,4646	922,5184239
Benzetim7	4517,69313	4675,053	2096,7464	177,0007271
Benzetim8	1194,14577	196,334	760,33729	21,84901122
Benzetim9	3508,09924	3578,278	1887,652	24,34086322
Benzetim10	3420,31268	3702,881	1805,4873	212,4571012
Benzetim11	4522,06966	4721,794	2204,8448	134,4244681
Benzetim12	2171,23326	2585,059	1556,5789	142,6695601
Benzetim13	9236,99313	10426,86	4170,5113	458,9584161
Benzetim14	10717,4153	12663,4	4792,3278	938,4565392
Benzetim15	17684,9129	17842,58	6642,4179	451,3648898
Benzetim16	32038,7007	37869,49	13194,358	2878,574687
Benzetim17	25941,4145	27943,42	9885,6672	1375,512625
Benzetim18	1194,14577	1978,433	1422,2185	229,4244388
Benzetim19	6274,23618	6905,712	2996,7968	448,9780995
Benzetim20	2488,59361	2547,817	1480,1857	47,89585417
Benzetim21	10728,5885	13032,78	4866,8248	1066,246692
Benzetim22	4010,85635	4862,65	2192,0768	389,4167717
Benzetim23	2959,85962	3571,968	1821,5693	238,6173655
Benzetim24	2769,36712	3501,759	1738,4465	315,4978498
Benzetim25	19773,3011	21668,85	7853,8641	1024,485378
Benzetim26	154,094382	561,6888	882,1222	78,85054288
Benzetim27	609,900423	694,7685	862,50285	12,82660117
Benzetim28	11249,1816	12159,53	4684,0901	567,8455744
Benzetim29	15651,6714	15638,54	5784,0401	487,7057615
Benzetim30	1301,428	1749,022	1345,7483	15,17393738
Benzetim31	4675,6721	5230,384	2506,2022	107,3091666
Benzetim32	3382,21676	3957,98	2014,2192	185,3679076
Benzetim33	15994,1247	16540,29	6084,6244	616,8635597
Benzetim34	5566,77548	6389,014	2892,412	127,5730222
Benzetim44	2785,46486	3157,654	1747,4438	126,5078886
Benzetim45	17985,8727	18064,39	6652,3758	572,8011109
Benzetim46	945,732523	1385,963	1224,7286	13,87487216
Benzetim47	619,236338	715,4719	869,40397	16,81456061
Benzetim48	5768,33704	7141,029	3075,2357	573,0771807
Benzetim49	6939,01579	7874,443	3319,7068	369,5376799
Benzetim50	2567,45698	2988,316	1690,9981	150,1958126
Benzetim51	5100,14557	5985,445	2554,4545	456,8857536

Çizelge A.1 (devam): Benzetimler ($\alpha = 0,25$, $r = 0,005$, $\rho = 0.011$ ve $\sigma=0,1$)

	Anahtar teslim (Asil)	EPS (Asil)	EPS (Vekil / büyüme)	EPS (Vekil / bakım yapma)
Benzetim52	2967,21139	3938,315	2007,6643	309,5489979
Benzetim53	2608,53189	2986,236	1758,1527	61,87768454
Benzetim54	2945,85071	3336,334	1683,3049	206,6677053
Benzetim55	14271,5282	15903,36	5872,3125	931,4103829
Benzetim56	4486,4342	5219,892	2502,7047	194,2081933
Benzetim57	2902,67382	3527,086	1746,8887	290,0708595
Benzetim58	13459,5716	16122,79	5945,4564	1252,892427
Benzetim59	2184,11408	2681,581	1588,7529	151,9854666
Benzetim60	2305,36212	2424,144	1502,9406	101,9812014
Benzetim61	15321,8459	16018,99	5910,8578	659,9615051
Benzetim62	26937,7446	28286,58	10123,753	894,1097903
Benzetim63	932,437017	1154,049	946,35143	105,4039413
Benzetim64	4357,58666	5736,339	2483,3067	574,6210819
Benzetim65	2213,8184	2390,844	1559,6888	193,3106582
Benzetim66	5474,74058	6491,606	2735,0623	487,875131
Benzetim67	574,125151	629,1003	773,73813	30,44661759
Benzetim68	27679,9469	27375,98	9696,5212	654,6338341
Benzetim69	2593,96922	2987,812	1758,6783	12,58141298
Benzetim70	25521,1021	27733,96	9811,0689	1450,070544
Benzetim71	1133,91918	1124,02	945,86671	23,12228478
Benzetim72	2800,64879	3193,156	1827,1261	44,41269802
Benzetim73	3749,24349	4571,975	2286,7324	131,464581
Benzetim74	9121,11124	9728,052	3937,5765	286,3303793
Benzetim75	720,316701	927,1807	1003,9528	51,86981628
Benzetim76	6552,71902	7075,944	2989,5612	285,5018496
Benzetim77	8251,22567	8411,931	3375,1704	275,5869664
Benzetim78	2905,80651	3136,835	1808,3524	47,37437375
Benzetim79	14578,7407	15755,25	5820,551	793,4857124
Benzetim80	1690,52928	2262,778	1517,0001	226,1271665
Benzetim81	162,27651	195,6005	636,39369	10,88716428
Benzetim82	19365,3666	21664,44	7916,3719	1091,655118
Benzetim83	1200,15694	1378,889	1030,8231	87,81970783
Benzetim84	1214,83019	1438,157	1050,5793	107,3505265
Benzetim85	11777,8818	14096,56	5461,5943	610,6436582
Benzetim86	5646,88376	6173,509	2820,577	29,95004785
Benzetim87	7476,63915	8237,248	3316,9427	468,0517264
Benzetim88	3494,19697	3683,978	1922,8853	55,25536321
Benzetim89	20389,8329	20211,73	7308,436	511,2718941
Benzetim90	2898,57881	3251,782	1846,6682	1,765260281
Benzetim91	2613,0086	2655,055	1456,2119	81,08571341
Benzetim92	1794,61232	2318,835	1467,8376	143,641625
Benzetim93	4783,31726	4978,062	2290,2672	138,3278226
Benzetim94	799,595589	1112,307	1065,6614	60,71887604
Benzetim95	27614,4757	30275,15	10662,911	1779,034841

Çizelge A.1 (devam): Benzetimler ($\alpha = 0,25$, $r = 0,005$, $\rho = 0.011$ ve $\sigma=0,1$)

	Anahtar teslim (Asil)	EPS (Asil)	EPS (Vekil / büyüme)	EPS (Vekil / bakım yapma)
Benzetim96	2935,45092	3524,386	1869,6878	470,7825547
Benzetim97	10033,8875	10211,02	3974,8679	330,0546606
Benzetim98	67,1065842	275,1197	786,59918	9,046719247
Benzetim99	5226,08517	5432,416	2381,9989	207,6592966
Benzetim100	365,627123	568,0329	820,25765	61,13060948
Ortalamalar:	6907,69438	7600,659	3179,0919	364,8066506

Çizelge A.2 : Benzetimler ($\alpha=0,25$, $r=0,005$, $\rho= 0.011$ ve $\sigma=0,08$)

	Anahtar teslim (Asil)	EPS (Asil)	EPS (Vekil / büyüme)	EPS (Vekil / bakım yapma)
Benzetim1	1694,85379	2110,273	1398,3171	108,262766
Benzetim2	3283,45139	3592,295	1960,1724	169,7418142
Benzetim3	1942,32389	2205,201	1365,9804	68,27745313
Benzetim4	323,319639	470,9323	787,89076	27,63850027
Benzetim5	4039,79128	4919,371	2334,6828	299,768269
Benzetim6	2015,31745	2278,255	1390,3318	102,1125448
Benzetim7	842,296041	1141,878	1075,5187	57,70579028
Benzetim8	9691,96761	10843,64	4185,7386	645,5020729
Benzetim9	944,587305	990,6448	901,40843	36,57144701
Benzetim10	3937,02276	4218,059	2036,933	149,0693801
Benzetim11	896,995247	1056,376	923,31883	73,03794912
Benzetim12	2706,29579	3075,983	1788,0684	35,37337672
Benzetim13	3196,74208	3811,373	1901,3711	251,2816947
Benzetim14	8415,06157	9353,12	3880,4475	204,3436126
Benzetim15	2969,73857	3671,697	1986,6397	171,9668923
Benzetim16	4859,1072	5203,808	2429,4953	135,4316041
Benzetim17	2526,00558	2957,821	1680,8329	122,1210206
Benzetim18	2247,71406	2291,144	1458,6074	23,78823249
Benzetim19	4384,55571	5791,244	2501,6082	584,6516127
Benzetim20	4196,18798	4156,252	2016,3306	95,59513557
Benzetim21	3541,19584	4047,396	1910,8002	284,3210857
Benzetim22	2507,38063	3151,263	1813,1616	77,53870408
Benzetim23	13641,6475	15297,53	5730,0887	848,9113149
Benzetim24	6748,91778	7422,156	3045,2454	405,1451585
Benzetim25	7392,13903	7874,678	3196,0862	359,2557164
Benzetim26	4524,22602	6081,328	2789,8501	492,550831
Benzetim27	2628,09191	4461,105	2058,2287	678,4892329
Benzetim28	8172,47156	9403,407	3705,6626	664,3823826
Benzetim29	465,873763	721,3919	935,35659	59,87997568
Benzetim30	2847,1452	3600,742	1895,14	331,0174418
Benzetim31	4439,14782	5287,383	2457,3538	381,8972377
Benzetim32	9142,06243	9373,515	3755,4183	313,264247
Benzetim33	1914,98752	2247,794	1512,0053	74,34054492

Çizelge A.2 (devam): Benzetimler ($\alpha = 0,25$, $r = 0,005$, $\rho = 0.011$ ve $\sigma=0,08$)

	Anahtar teslim (Asil)	EPS (Asil)	EPS (Vekil / büyüme)	EPS (Vekil / bakım yapma)
Benzetim34	2893,61788	3158,689	1747,789	81,84246804
Benzetim35	2719,95627	3209,631	1832,6179	56,53991692
Benzetim36	1190,68873	1436,121	1049,9005	115,6656007
Benzetim37	7629,21357	8189,685	3424,7875	247,0945397
Benzetim38	1470,88037	1950,973	1221,5178	204,9900486
Benzetim39	3560,51944	4344,029	2210,7506	134,2063974
Benzetim40	1968,12982	2515,567	1601,263	62,36483224
Benzetim41	2025,13166	2431,013	1505,2303	108,7669301
Benzetim42	6873,38591	7779,11	3164,23	486,0609634
Benzetim43	500,026794	575,7702	763,11691	36,38895638
Benzetim44	3750,65345	4232,663	2041,8009	212,0914383
Benzetim45	10791,2239	10916,65	4210,0777	333,6319468
Benzetim46	5363,45701	6481,852	2731,811	515,4559581
Benzetim47	8762,62964	10235,37	3982,9842	759,2189449
Benzetim48	4937,89383	5289,187	2393,9757	193,8026221
Benzetim49	8430,62311	10695,83	4328,0188	705,296783
Benzetim50	7396,89282	9347,084	3667,9612	893,1019823
Benzetim51	2547,31727	2529,493	1414,3579	59,323512
Benzetim52	2554,7652	2508,43	1407,3369	50,0245268
Benzetim53	281,574367	538,9238	874,5339	33,64959061
Benzetim54	1227,46968	1630,058	1306,0935	27,56089375
Benzetim55	1634,12615	1689,736	1134,4387	58,7051907
Benzetim56	688,324947	1039,366	1041,3479	64,88557018
Benzetim57	2155,25205	3576,825	1749,227	540,0430568
Benzetim58	5937,91538	6488,52	2734,0335	344,3525773
Benzetim59	4868,11932	5226,285	2313,2887	248,4334402
Benzetim60	1402,9591	1742,895	1275,8576	76,25791591
Benzetim61	725,513566	1077,311	1053,9963	72,88607695
Benzetim62	1192,03093	1517,741	1200,8062	93,02298304
Benzetim63	2404,36625	3155,246	1622,9423	311,6297461
Benzetim64	1798,76094	1897,067	1263,2692	42,62368294
Benzetim65	8878,33546	9553,034	3879,2371	312,0456209
Benzetim66	1634,76943	1900,039	1328,2388	71,83953372
Benzetim67	12993,2987	13990,21	5294,3154	740,5128534
Benzetim68	198,275459	252,5451	715,09504	3,964369391
Benzetim69	2492,01443	2923,925	1737,3825	330,4527274
Benzetim70	406,827638	832,2566	908,3322	148,319923
Benzetim71	6985,87618	7778,447	3287,7082	323,6826793
Benzetim72	2233,81221	2235,465	1316,3486	57,20018849
Benzetim73	1686,74677	1920,949	1271,2298	163,6245555
Benzetim74	2412,85145	3367,012	1885,0781	181,1707673
Benzetim75	7132,31194	8318,133	3467,6035	812,3026567
Benzetim76	17834,0794	18755,31	6822,9644	792,4506108
Benzetim77	4164,44442	4680,185	2254,9544	184,0338661

Çizelge A.2 (devam): Benzetimler ($\alpha = 0,25$, $r = 0,005$, $\rho = 0.011$ ve $\sigma=0,08$)

	Anahtar teslim (Asil)	EPS (Asil)	EPS (Vekil / büyüme)	EPS (Vekil / bakım yapma)
Benzetim78	2451,37206	2749,898	1547,5459	123,2612102
Benzetim79	828,172571	897,7556	930,16519	51,02815308
Benzetim80	5409,08095	5781,462	2498,3476	268,0384101
Benzetim81	5059,25207	5851,943	2581,561	343,5194973
Benzetim82	1267,62054	1803,791	1364,0044	45,13562607
Benzetim83	3052,75423	3091,71	1601,7635	92,14045005
Benzetim84	5015,78051	5664,08	2459,2201	350,673487
Benzetim85	5521,48785	7696,458	3092,5342	989,7688795
Benzetim86	917,855461	1404,514	988,50388	198,2066523
Benzetim87	2077,75054	3052,149	1588,5767	377,1599705
Benzetim88	14289,707	15166,01	5686,2508	668,6384091
Benzetim89	1480,73426	1533,695	1206,1242	85,8943787
Benzetim90	3123,29916	3314,707	1735,8155	101,8642651
Benzetim91	10552,3222	12653,3	4742,5679	1129,466287
Benzetim92	4861,65758	5793,501	2502,3604	439,4815119
Benzetim93	3946,90036	4484,298	2065,9596	282,8605895
Benzetim94	1279,57462	1779,609	1224,1164	255,0276551
Benzetim95	1139,3062	2039,911	1310,8838	297,3968267
Benzetim96	784,47282	1100,269	1061,649	59,16391987
Benzetim97	535,329743	1006,716	1098,3127	25,10189039
Benzetim98	3568,91797	4420,646	2044,7422	377,2496833
Benzetim99	5776,4716	7101,154	3061,9439	469,8575895
Benzetim100	1503,79766	1920,119	1204,0777	176,7402715
Ortalamalar	3962,59303	4573,314	2168,4297	268,324301

Çizelge A.3 : Benzetimler ($\alpha=0,25$, $r=0,005$, $\rho= 0.011$ ve $\sigma=0,05$)

	Anahtar teslim (Asil)	EPS (Asil)	EPS (Vekil / büyüme)	EPS (Vekil / bakım yapma)
Benzetim1	4798,63134	5486,036	2523,571348	255,9273135
Benzetim2	11,4162979	190,0543	694,2647669	98,36693774
Benzetim3	302,798258	635,6321	842,7907208	31,3380957
Benzetim4	1248,4738	1468,867	1184,514868	67,73031107
Benzetim5	1593,56116	1817,525	1300,734208	64,98430602
Benzetim6	2661,54779	3107,529	1798,583948	87,83168091
Benzetim7	1047,83803	1525,591	1079,723819	183,3074428
Benzetim8	4160,49322	5158,825	2350,521672	429,7303545
Benzetim9	769,444712	1064,982	1117,734793	-5,987716266
Benzetim10	197,247181	498,6041	797,1146989	79,20041337
Benzetim11	1321,6471	1513,081	1199,252992	28,26979369
Benzetim12	2239,35554	2816,859	1701,693744	95,6279413
Benzetim13	5116,35836	5514,496	2409,358825	268,5793185
Benzetim14	2424,75261	2497,537	1463,425611	82,01519135
Benzetim15	9234,04071	10785,75	4166,442884	766,2639671

Çizelge A.3 (devam): Benzetimler ($\alpha = 0,25$, $r = 0,005$, $\rho = 0.011$ ve $\sigma=0,05$)

	Anahtar teslim (Asil)	EPS (Asil)	EPS (Vekil / büyüme)	EPS (Vekil / bakım yapma)
Benzetim16	1327,0366	1460,753	1117,831036	44,38130362
Benzetim17	1176,05408	1720,717	1268,464795	175,0518899
Benzetim18	999,243954	1439,933	1051,171274	169,6174699
Benzetim19	1793,65136	1890,024	1260,921383	57,08363999
Benzetim20	2068,4786	2186,254	1423,644096	69,55748409
Benzetim21	1447,1545	1607,346	1298,522723	87,34027826
Benzetim22	134,253701	444,6626	910,9616475	27,17784528
Benzetim23	2829,44009	3567,712	1820,150538	290,2664952
Benzetim24	866,996899	1301,603	1128,760395	99,7185782
Benzetim25	2524,72269	3597,083	1893,920414	358,6254742
Benzetim26	2468,85931	2791,096	1625,258068	99,57475159
Benzetim27	2745,03161	3217,961	1703,567107	210,4789235
Benzetim28	1779,1988	2141,627	1285,069305	164,9651245
Benzetim29	3548,12071	4034,994	1916,191426	255,0597895
Benzetim30	1266,9241	1542,404	1145,048062	138,6754223
Benzetim31	715,317988	1029,494	1105,90554	50,88982031
Benzetim32	2075,63064	2645,1	1452,893359	255,1570182
Benzetim33	141,372777	245,5456	653,0420469	33,8694473
Benzetim34	110,143337	553,3081	947,1768088	16,60666927
Benzetim35	526,50227	826,5455	970,4077736	50,48374822
Benzetim36	871,331296	1075,598	1053,425133	83,78485496
Benzetim37	1036,04338	1325,204	1012,928078	120,1191124
Benzetim38	728,867121	980,136	1021,60461	36,80584788
Benzetim39	2736,8971	3112,916	1668,55201	155,172727
Benzetim40	1472,77422	2198,876	1304,152081	277,7683247
Benzetim41	3385,09257	3885,379	1990,018859	162,1317477
Benzetim42	887,430177	1153,198	1079,291889	42,80537023
Benzetim43	2509,78879	2694,11	1592,92938	152,0962576
Benzetim44	3192,39665	3813,043	1842,207731	289,8748387
Benzetim45	1810,5182	2406,358	1373,312753	243,6294874
Benzetim46	3688,07863	3975,718	1956,152755	200,7431828
Benzetim47	855,956703	1108,51	1064,396046	56,18325693
Benzetim48	2852,11325	3305,93	1673,170334	224,9136371
Benzetim49	13,2857142	54,51786	589,3661327	9,369156011
Benzetim50	3262,51609	3660,21	1791,263591	217,9848755
Benzetim51	354,347041	510,5885	865,0887695	0,14017729
Benzetim52	1613,91486	1804,38	1296,352547	32,03061824
Benzetim53	1006,10387	1163,637	1018,792257	45,48561675
Benzetim54	426,891796	699,0116	927,8964673	41,98792046
Benzetim55	1309,36584	1660,54	1248,405783	139,299849
Benzetim56	4788,75951	5767,831	2493,803737	453,2208366
Benzetim57	514,94883	702,4807	805,353748	71,92234425
Benzetim58	859,862145	1203,582	1032,107407	111,3353212
Benzetim59	3611,62002	4235,764	2106,813942	207,1365013

Çizelge A.3 (devam): Benzetimler ($\alpha = 0,25$, $r = 0,005$, $\rho = 0.011$ ve $\sigma=0,05$)

	Anahtar teslim (Asil)	EPS (Asil)	EPS (Vekil / büyüme)	EPS (Vekil / bakım yapma)
Benzetim60	8399,1796	9989,009	3900,863052	756,0276771
Benzetim61	764,867045	1379,942	1222,721461	72,33551064
Benzetim62	947,800557	1259,04	1182,420713	21,76281371
Benzetim63	1953,61947	2895,785	1503,657013	380,9048703
Benzetim64	960,101358	1437,645	1050,408362	186,6805692
Benzetim65	764,106976	894,5642	869,3815635	59,74476197
Benzetim66	7354,61509	8886,898	3533,49271	708,138979
Benzetim67	729,849921	1105,33	1063,335789	85,48472861
Benzetim68	546,62225	1020,039	911,2063741	168,0876069
Benzetim69	320,778067	380,4317	698,0040907	23,96011032
Benzetim70	1384,55713	1797,295	1361,838975	27,78318131
Benzetim71	1516,59293	1849,337	1311,338194	93,53553971
Benzetim72	5684,91547	7021,324	2971,354586	617,4269954
Benzetim73	1280,64208	1570,169	1154,30307	177,8773288
Benzetim74	1141,17082	1622,047	1303,423166	72,52877531
Benzetim75	1525,83834	1774,625	1162,735237	120,1217406
Benzetim76	1049,26	1369,481	1151,38631	65,47470576
Benzetim77	3699,61687	4344,629	2143,102368	261,891918
Benzetim78	551,209594	672,5621	795,3808846	50,85907118
Benzetim79	4284,00446	4931,023	2214,867763	328,664962
Benzetim80	2883,92164	3246,28	1844,834222	3,740496592
Benzetim81	6031,28393	7199,709	2971,096471	565,5749089
Benzetim82	1873,01941	2341,39	1351,656944	202,8575862
Benzetim83	3915,40028	4685,397	2324,539868	198,6904778
Benzetim84	92,6906398	197,6332	696,7910828	22,49867482
Benzetim85	1074,43894	1501,66	1263,294095	62,46485234
Benzetim86	860,866263	1235,644	983,0748962	143,8441196
Benzetim87	4449,94986	5420,826	2378,135421	441,177967
Benzetim88	3562,86549	3942,83	2009,169251	177,7832847
Benzetim89	-68,8509591	275,9695	663,1833329	108,3079827
Benzetim90	4693,25978	6009,586	2574,388857	563,0146959
Benzetim91	6282,20981	6807,147	2963,941459	264,7231329
Benzetim92	1808,96846	2233,496	1439,391151	155,1566964
Benzetim93	909,168542	1201,185	1031,308453	88,24928595
Benzetim94	194,231986	298,3392	670,6399186	35,69121839
Benzetim95	1487,19567	1851,592	1312,089933	87,60948955
Benzetim96	3110,70863	3775,521	1829,7006	302,3521134
Benzetim97	109,535014	154,1138	617,786749	15,63957208
Benzetim98	1145,40222	1343,207	1210,476524	42,8241421
Benzetim99	859,501757	1087,184	1057,287286	92,83641451
Benzetim100	517,096314	540,4562	811,0654076	15,04139999
Ortalamalar	2021,12856	2463,734	1469,250963	164,3307874

Çizelge A.4 : Benzetimler ($\alpha=0,25$, $r=0,005$, $\rho=0.011$ ve $\sigma=0,03$)

	Anahtar teslim (Asil)	EPS (Asil)	EPS (Vekil / büyüme)	EPS (Vekil / bakım yapma)
Benzetim1	1814,102254	2151,227	1347,98886	129,1684885
Benzetim2	2093,909121	2512,278	1532,31871	71,35238262
Benzetim3	1374,962115	1702,672	1330,29806	161,8756589
Benzetim4	206,5915169	394,2291	826,302304	29,93727632
Benzetim5	482,4837258	652,43	848,390016	46,04567124
Benzetim6	2470,076401	2815,496	1633,39134	97,42480165
Benzetim7	778,3485687	953,295	888,95852	74,96590578
Benzetim8	1868,197768	2119,645	1277,74199	130,4173367
Benzetim9	739,0046137	1148,83	1145,684	36,60570307
Benzetim10	260,0583696	435,6989	716,426468	60,95369963
Benzetim11	1053,296533	1367,245	1218,48918	35,31274838
Benzetim12	974,501471	1301,171	1064,63698	133,093568
Benzetim13	956,8816542	1180,582	1024,44055	66,49309076
Benzetim14	1259,333943	1455,562	1116,10061	72,75723524
Benzetim15	1059,078767	1462,984	1250,40228	45,00709538
Benzetim16	1794,128234	2144,43	1345,72326	156,9729754
Benzetim17	2879,696166	3440,164	1717,91497	261,2219966
Benzetim18	1409,265931	1896,349	1394,85724	42,39451716
Benzetim19	1659,177893	1965,601	1286,11379	114,7562068
Benzetim20	256,7476626	458,4785	783,739506	50,52734578
Benzetim21	2328,470361	3014,215	1575,93193	287,8322082
Benzetim22	1453,676829	1838,309	1307,66215	136,1323696
Benzetim23	1539,032565	2073,043	1262,2078	215,5588292
Benzetim24	1620,503222	2077,391	1455,20459	31,41748019
Benzetim25	1716,661686	2195,72	1303,10005	202,1229417
Benzetim26	1508,259732	2211,963	1432,21375	198,0533285
Benzetim27	256,8878997	533,3432	808,694414	85,23336579
Benzetim28	95,06752	255,6046	656,395052	51,38498514
Benzetim29	644,3426701	882,7682	865,449568	92,44286141
Benzetim30	734,0071192	941,3085	884,963017	84,53230269
Benzetim31	971,0731957	1235,975	983,185114	110,2473793
Benzetim32	1629,825355	1864,052	1252,26397	125,9443456
Benzetim33	895,1137813	1089,7	934,426877	84,72144437
Benzetim34	1093,608311	1306,262	1130,31342	67,84745798
Benzetim35	12,51953598	204,7167	639,432418	59,66977833
Benzetim36	1866,18687	2141,991	1285,19056	138,4809491
Benzetim37	400,5863574	777,2945	1021,83893	28,59460552
Benzetim38	693,600427	968,5821	1017,7533	83,70970238
Benzetim39	143,4718122	284,4343	789,704056	16,59554452
Benzetim40	3179,688819	3679,641	1857,46047	221,4841879
Benzetim41	2691,452929	3121,435	1611,67189	212,5533927
Benzetim42	430,6198933	778,7788	1022,33372	4,241084753
Benzetim43	612,5000531	785,7582	833,112909	69,84531499
Benzetim44	168,8492037	327,7861	740,175385	40,59605049

Çizelge A.4 (devam): Benzetimler ($\alpha = 0,25$, $r = 0,005$, $\rho = 0.011$ ve $\sigma=0,03$)

	Anahtar teslim (Asil)	EPS (Asil)	EPS (Vekil / büyüme)	EPS (Vekil / bakım yapma)
Benzetim45	1835,764386	2167,748	1353,49592	142,1186614
Benzetim46	1219,463122	1617,894	1302,03863	37,29420761
Benzetim47	232,1388248	476,1626	853,613493	26,70976251
Benzetim48	972,1472284	1264,035	1184,08576	13,11484159
Benzetim49	1950,333675	2308,079	1464,25229	142,6972582
Benzetim50	1494,923498	1788,912	1167,49748	134,3393321
Benzetim51	570,2314581	706,7065	806,76233	56,42265011
Benzetim52	1806,983187	2231,941	1438,8729	112,7571025
Benzetim53	1416,644171	1744,985	1212,57492	130,0633912
Benzetim54	789,4274341	1111,233	1133,15185	4,076385992
Benzetim55	410,7762969	643,9652	785,848564	84,27848769
Benzetim56	2830,366096	3310,124	1798,26736	146,8820215
Benzetim57	38,42542822	124,7476	672,495861	16,5689293
Benzetim58	1803,84018	2041,553	1311,43111	123,4169449
Benzetim59	4345,999795	4853,765	2189,11501	283,9508461
Benzetim60	372,6389156	587,2766	890,651486	23,75351537
Benzetim61	1357,753964	1645,6	1119,72675	128,5221193
Benzetim62	203,7341123	360,7509	691,443796	53,19788729
Benzetim63	458,0377434	789,3052	957,994338	60,07377174
Benzetim64	2088,820668	2467,575	1585,26586	71,59001927
Benzetim65	812,0055249	1044,795	919,458521	95,17187555
Benzetim66	1203,363437	1369,98	1087,57332	68,15656738
Benzetim67	-34,7821584	99,85964	604,480058	39,1847131
Benzetim68	1257,131824	1734,228	1340,81676	118,7781957
Benzetim69	1150,743794	1529,889	1204,85568	119,0461469
Benzetim70	1660,591667	1909,49	1207,69008	123,86207
Benzetim71	42,79382892	287,3431	790,673636	33,84294768
Benzetim72	1069,55359	1312,155	1132,27774	37,67971947
Benzetim73	300,2080311	543,4715	876,04977	56,38043204
Benzetim74	648,9299268	850,7726	914,504212	66,50383275
Benzetim75	904,1469926	1240,078	1044,27282	112,6093687
Benzetim76	352,5544606	509,0794	864,58576	41,79488104
Benzetim77	756,0572632	942,3427	945,027587	49,74490234
Benzetim78	857,1542005	1165,374	959,651555	121,5561187
Benzetim79	2494,310846	2908,111	1600,28367	188,8138593
Benzetim80	951,2873509	1228,738	980,772702	113,8864978
Benzetim81	533,6032762	804,6028	963,093543	64,05762308
Benzetim82	588,7407404	844,268	852,616177	96,61540575
Benzetim83	2295,755274	2888,181	1725,46762	87,26794099
Benzetim84	1013,374868	1360,8	1148,49245	118,4546223
Benzetim85	1453,089587	1808,9	1297,85914	83,66231126
Benzetim86	-236,028143	-67,8749	814,133487	-36,61249099
Benzetim87	1314,140898	1482,06	1124,93332	96,88607484
Benzetim88	2806,690064	3290,056	1859,42625	96,36335328

Çizelge A.4 (devam): Benzetimler ($\alpha = 0,25$, $r = 0,005$, $\rho = 0.011$ ve $\sigma=0,03$)

	Anahtar teslim (Asil)	EPS (Asil)	EPS (Vekil / büyüme)	EPS (Vekil / bakım yapma)
Benzetim89	398,4345478	568,3987	820,379555	39,47495172
Benzetim90	490,8248585	594,7322	769,437565	43,38451494
Benzetim91	2718,458315	3121,399	1611,65979	204,2816636
Benzetim92	1360,756596	1680,497	1191,07893	124,0656702
Benzetim93	670,3909921	841,0394	851,539968	70,56634299
Benzetim94	270,245393	437,3473	840,675054	2,12142539
Benzetim95	1184,979358	1638,549	1117,37647	179,0152101
Benzetim96	1134,882042	1381,237	1155,30499	65,07529483
Benzetim97	308,4706161	464,7706	849,816161	14,04090248
Benzetim98	1255,75083	1495,505	1129,41489	105,2237661
Benzetim99	2055,661518	2482,371	1590,19764	55,48131975
Benzetim100	1008,689403	1306,286	1130,32128	74,52533582
Ortalamalar	1153,272607	1454,896	1136,55388	92,29317117

Çizelge A.5 : Benzetimler ($\alpha = 0,25$, $r = 0,005$, $\rho = 0.011$ ve $\sigma=0,01$)

	Anahtar teslim (Asil)	EPS (Asil)	EPS (Vekil / büyüme)	EPS (Vekil / bakım yapma)
Benzetim1	181,6033856	398,4892	827,7223472	30,43962534
Benzetim2	382,5359071	585,1149	957,7790796	66,81948755
Benzetim3	523,4981474	785,2269	956,6349234	11,91957695
Benzetim4	786,9314057	1033,544	1039,407311	64,44652712
Benzetim5	512,8233816	695,3114	802,9639694	70,18263741
Benzetim6	652,860346	966,1809	1084,80107	23,69554921
Benzetim7	802,317795	1078,182	930,5874855	109,2638468
Benzetim8	189,1153707	345,3093	746,0164453	39,57166429
Benzetim9	769,0133715	1100,264	1061,647261	82,29240533
Benzetim10	860,5833432	1099,922	1061,533178	73,68205686
Benzetim11	372,1346518	539,2535	750,9446713	61,19320124
Benzetim12	559,6978399	785,1041	832,8948804	85,77692405
Benzetim13	914,9289862	1183,436	1025,39197	104,6809088
Benzetim14	524,469479	828,3087	1038,843688	13,69177307
Benzetim15	458,0213259	782,4753	1023,565897	13,29767081
Benzetim16	413,8259334	597,0427	770,2077605	67,70494853
Benzetim17	499,9963983	726,0835	872,9411727	76,82675313
Benzetim18	539,2163892	769,167	951,2816256	58,69469808
Benzetim19	896,9384158	1168,048	1084,241982	81,89406648
Benzetim20	875,3735901	1246,236	1178,152649	33,30523503
Benzetim21	605,7158185	833,1755	972,617774	59,89928967
Benzetim22	357,9877495	603,9282	964,0501919	11,74208733
Benzetim23	602,083237	761,6402	825,0735952	64,99200061
Benzetim24	393,379445	655,3881	981,2034848	8,649450522
Benzetim25	434,5876449	756,1944	1014,805597	9,601671019
Benzetim26	466,1276033	769,4226	1019,214982	11,39418762

Çizelge A.5 (devam): Benzetimler ($\alpha = 0,25$, $r = 0,005$, $\rho = 0.011$ ve $\sigma=0,01$)

	Anahtar teslim (Asil)	EPS (Asil)	EPS (Vekil / büyüme)	EPS (Vekil / bakım yapma)
Benzetim27	307,1145338	582,1786	956,8003186	3,979528274
Benzetim28	490,3700078	702,1362	864,958736	60,29958977
Benzetim29	433,0075206	757,305	1015,17579	6,504957088
Benzetim30	347,7678579	491,913	794,884321	45,70499091
Benzetim31	332,0209757	635,4109	974,5444086	10,87121849
Benzetim32	662,3477761	933,8401	1074,020823	23,76843804
Benzetim33	324,6604894	574,6112	886,4296807	32,70065443
Benzetim34	526,899045	867,2907	1051,837693	15,4710529
Benzetim35	476,4936781	687,7711	924,1496492	47,79099038
Benzetim36	392,7767165	691,077	993,0997939	12,83419851
Benzetim37	591,0235852	812,3937	965,6905138	54,82104257
Benzetim38	342,0827854	527,7949	747,1251393	66,56507829
Benzetim39	429,9210282	692,3114	993,5112386	11,51140418
Benzetim40	401,2813317	631,051	905,2429344	43,3649238
Benzetim41	333,0166597	552,8295	879,169101	42,51595643
Benzetim42	678,4797166	902,8297	995,8358416	58,51597254
Benzetim43	723,9764053	980,9775	1021,885103	62,97546481
Benzetim44	789,8184101	1093,516	1059,398097	66,34194896
Benzetim45	400,3432583	608,2869	897,654905	54,5632207
Benzetim46	386,8668922	611,6084	775,0629722	80,80562403
Benzetim47	472,0695228	780,2844	1022,835572	9,312623411
Benzetim48	644,7521614	865,2764	919,3387886	72,37835569
Benzetim49	309,4740284	542,7226	943,6483142	6,180622623
Benzetim50	455,1858469	687,912	924,1966257	37,70240184
Benzetim51	978,4425412	1248,429	1111,035533	98,8172275
Benzetim52	252,5889721	488,322	925,5147858	6,776013529
Benzetim53	1013,253471	1350,155	1144,944445	87,65049457
Benzetim54	470,6316579	653,3791	912,6856392	56,84348181
Benzetim55	751,8675151	970,1487	1018,275514	68,28601387
Benzetim56	465,8276956	681,1716	857,9705412	73,68367244
Benzetim57	538,3883117	735,2739	816,2847988	75,68439409
Benzetim58	771,1032255	1026,538	1037,071967	67,48115359
Benzetim59	243,1774375	409,2256	767,3218723	49,51478682
Benzetim60	462,8109723	635,0897	842,6099021	61,26590614
Benzetim61	345,2296946	618,0545	968,7589629	12,70222224
Benzetim62	300,8222262	450,8251	721,4685524	53,5280962
Benzetim63	449,1130149	709,662	999,2947684	11,67278624
Benzetim64	244,4160841	409,1152	831,2643426	24,16593642
Benzetim65	498,9018834	740,3882	941,688687	48,97064603
Benzetim66	639,982923	849,1347	913,9582477	76,60262933
Benzetim67	655,3447254	878,1336	923,6245525	86,38454575
Benzetim68	708,5848905	1027,758	1105,326682	28,39418878
Benzetim69	275,0266683	482,5213	855,7330413	39,55418751
Benzetim70	390,0101605	573,2397	885,972515	46,39966264

Çizelge A.5 (devam): Benzetimler ($\alpha = 0,25$, $r = 0,005$, $\rho = 0.011$ ve $\sigma=0,01$)

	Anahtar teslim (Asil)	EPS (Asil)	EPS (Vekil / büyüme)	EPS (Vekil / bakım yapma)
Benzetim71	388,2356136	628,1693	972,1305492	16,24925338
Benzetim72	744,5272282	915,0115	876,1973295	72,54902358
Benzetim73	582,7504306	790,2821	958,3199924	52,63408719
Benzetim74	369,2432222	583,9612	889,5463391	47,50282443
Benzetim75	559,0816535	860,3298	981,6692304	58,1316991
Benzetim76	525,0881902	822,4276	1036,8833	12,53597197
Benzetim77	621,7759852	874,4233	862,6679313	96,56327978
Benzetim78	863,2009854	1125,784	1070,153973	81,78785264
Benzetim79	833,6568968	1157,784	1080,820635	68,96122673
Benzetim80	552,778483	767,0173	950,5650481	56,0903112
Benzetim81	420,4816268	661,8448	915,5075414	47,20615636
Benzetim82	281,4020069	471,3436	852,0071503	37,02941284
Benzetim83	753,6745717	996,0961	1026,92465	50,34706061
Benzetim84	945,2435279	1181,89	1088,856004	86,70936375
Benzetim85	728,1517898	1005,204	1029,960654	69,74647937
Benzetim86	603,3307302	883,83	1057,350791	24,91349839
Benzetim87	582,6861748	821,192	968,6232666	57,6824658
Benzetim88	612,7892804	880,0075	988,2284469	57,1389927
Benzetim89	570,2096895	818,4014	967,6930703	49,64667302
Benzetim90	602,7113748	822,2777	968,9851883	53,11833669
Benzetim91	590,2618882	843,8531	976,1769941	45,15349586
Benzetim92	527,4826402	765,4963	826,3589435	89,09405499
Benzetim93	420,3401207	711,437	932,0382968	51,82559595
Benzetim94	668,224907	957,6976	1014,125152	66,09078624
Benzetim95	636,4573357	927,5458	1071,922704	5,368580569
Benzetim96	660,2808584	961,9451	1083,389148	17,2864881
Benzetim97	581,1834574	802,568	898,4359994	76,71585192
Benzetim98	319,0094558	587,5138	958,578714	5,851932498
Benzetim99	938,1619719	1190,39	1027,709999	81,56226665
Benzetim100	511,2062823	863,5173	1050,579872	15,38662968
Ortalamlar	542,7666964	789,2158	953,2423362	48,88396199

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Ahmet Can Kutlu

Doğum Yeri ve Tarihi: Bakırköy/İstanbul 28/02/1981

E-Posta: kutluac@yahoo.com

Lisans: Elektrik Mühendisliği

Yüksek Lisans: Mühendislik Yönetimi

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

2006-2013 Araştırma Görevlisi – İTÜ Endüstri Mühendisliği Bölümü

2005-2006 Kongre Sorumlusu – Elektrik Mühendisleri Odası

2003-2005 Elektrik Proje Teknikeri/Mühendisi – GRUP Elektrik ltd. şti.

Yayın ve Patent Listesi:

Uluslararası bilimsel dergilerde yayınlanan makaleler:

- **Kutlu A. C.**, Behret, H. ve Kahraman C. (2013). A Fuzzy Inference System for Multiple Criteria Job Evaluation Using Fuzzy AHP, *Journal of Multiple-Valued Logic and Soft Computing*. **(basımda)**
- **Kutlu A. C.** ve Kadaifçi, Ç. (2013). Analyzing Critical Success Factors of Total Quality Management by Using Fuzzy Cognitive Mapping, *Journal of Enterprise Information Management*. **(basımda)**
- **Kutlu A. C.**, Ekmekçioğlu M. ve Kahraman C. (2013). A Fuzzy multi-criteria approach to point-factor job evaluation. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*. **(basımda)**
- Ekmekçioğlu, M. ve **Kutlu, A. C.** (2012). A Fuzzy Hybrid Approach for Fuzzy Process FMEA: An Application to a Spindle Manufacturing Process. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, **5**(4), 611-626.
- **Kutlu, A. C.** ve Ekmekçioğlu, M. (2012). Fuzzy failure modes and effects analysis by using fuzzy TOPSIS-based fuzzy AHP. *Expert Systems with Applications*, **39**(1), 61-67.

▪ Ekmekçioğlu M., **Kutlu A. C.** ve Kahraman C. (2011). A Fuzzy Multi-Criteria SWOT Analysis: An Application to Nuclear Power Plant Site Selection. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 4(4), 583-595.

Uluslararası bilimsel konferans bildiri kitaplarında yayınlanan bildiriler:

▪ **Kutlu, A. C.** 2013. Use of a grey relations based multi-criteria decision making method for job evaluation, Actual Problems of Mathematics and Informatics, 29-31 Makıs, Bakü, Azerbaycan. (özet)

▪ **Kutlu, A. C.** 2012. Modelling a Pay Structure by Using Grey Relations Analysis Integrated with Fuzzy AHP. The 10th International FLINS Conference on Uncertainty Modelling in Knowledge Engineering and Decision Making (FLINS 2012), 26-29 Ağustos, İstanbul, s. 273–278.

▪ Ekmekçioğlu, M. ve **Kutlu, A. C.** (2012). A Fuzzy Hybrid Approach for Fuzzy Process FMEA. 1st International Worskhop on Safety and Security Risk Assessment and Organisational Cultures, 29-31 Ocak, Antwerp, Belçika. (özet)

▪ **Kutlu, A. C.** ve Kadaifçi, Ç. (2012). Analyzing Critical Success Factors of Total Quality Management by Using Fuzzy Cognitive Mapping. *TUB-ITU Joint Conference*, 11-14 Ocak, Berlin, Almanya. (basımda)

▪ Öztayşi, B. ve **Kutlu, A. C.** (2011). Determining the Importance of Performance Measurement Criteria Based on Total Quality Management using Fuzzy Analytical Network Process. *Sixth International Conference on Intelligent Systems and Knowledge Engineering (ISKE2011)*, 15-17 Aralık, Shanghai, Çin, s. 391–400.

▪ Ekmekçioğlu, M. ve **Kutlu, A. C.** (2011). Job Evaluation under Fuzziness. 13th Annual International Conference of GBATA Global Business And Technology Association, 12-16 Temmuz, İstanbul, s. 246-253.

▪ **Kutlu, A. C.** ve Polat S. (2011). A Comparative Analysis of the Perceived Bureaucracy in a Turkish State University. ICBEM 2011: International Conference on Business, Economics and Management, 24-26 Haziran, Paris, Fransa, s. 2487-2496.

▪ Ekmekçioğlu, M., **Kutlu, A. C.** ve Kahraman, C. (2011). A Fuzzy Multi-Criteria SWOT Analysis. 2nd International Symposium on Computing in Science & Engineering (ISCSE2011), 1-4 Haziran, Aydın, s. 525-531.

▪ **Kutlu, A. C.** ve Behret, H. (2011). A Fuzzy Inference System for Outsourcing Arrangements Based on the Degree of Outsourcing and Ownership. 2nd International Symposium on Computing in Science & Engineering (ISCSE2011), 1-4 Haziran, Aydın, s. 512-517.

▪ Kılınç, M. S. ve **Kutlu, A. C.** (2010). A Hybrid Fuzzy Approach for Evaluating Organizational Structures Based on Environmental Dimensions. FLINS 2010 The 9th International FLINS Conference on Computational Intelligence in Decision and Control, Computational Intelligence Foundations and Applications, 2-4 Ağustos, Chengdu, Çin, s. 458-464.

▪ **Kutlu, A. C.** ve Behret, H. (2010). A Hybrid Fuzzy Approach for a Point-Factor Job Evaluation System, 24th European Conference on Operational Research, 11-14 Temmuz, Lisbon, Portekiz. (özet)

- **Kutlu, A. C.** ve Ekmekçioğlu, M. (2010). Fuzzy failure modes & effects analysis by using fuzzy TOPSIS integrated with fuzzy AHP. 1st International Symposium on Computing in Science & Engineering (ISCSE2010), 3-5 Haziran, Aydın, s. 706-713.
- **Kutlu A. C.** ve Polat S. (2009). A Comparative Analysis of Perceived Bureaucracy in Universities: A Case. 11th Annual International Conference of GBATA Global Business And Technology Association, July 7-11, Prag, Çek Cumhuriyeti, s. 678-684.

Ulusal bilimsel konferans bildiri kitaplarında yayınlanan bildiriler:

- **Kutlu, A. C.** ve Ekmekçioğlu, M. (2011). İş Değerlendirmede Bulanık Çok Ölçütlü Bir Yaklaşım ile Faktör-Puan Yönteminin Kullanılması. YA/EM 2011 Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği 31. Ulusal Kongresi, Sakarya, 5-7 Temmuz, s. 824-831. (*Bildiriler CDsi*)
- Onar, S. Ç., Polat, S. ve **Kutlu A. C.** (2008). Firma Çeşitlendirme Stratejileri ve Firma Performansı Üzerine Etkisi: Bir Türkiye Uygulaması. YA/EM 2008 Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği 28. Ulusal Kongresi, Galatasaray Üniversitesi, İstanbul, 30 Haziran – 2 Temmuz. (*Bildiriler CDsi*)

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

Uluslararası hakemli dergilerde yayınlanan makaleler:

- **Kutlu A. C.** (2012). Outsourcing Contracting Strategies from Supplier's Side: A Real Options Approach Based on Transaction Costs. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, **58**(12), 1601-1610.

Uluslararası bilimsel konferans bildiri kitaplarında yayınlanan bildiriler:

- **Kutlu A. C.** (2012). A Risk Management Decision Model for Energy Service Companies by Using Real Options. Athens Institute for Education and Research 10th Annual International Conference on Management, 2-5 Temmuz, Atina, Yunanistan, s. 5-17.
- **Kutlu, A. C.** (2012). A Real Option Valuation Model on Energy Efficiency Investments. TUB-ITU Joint Conference, 11-14 Ocak, Berlin, Almanya. (*basımda*)
- Asan, U., **Kutlu A. C.** ve Kadaifçi, Ç. (2011). Analysis of Critical Factors in Energy Service Contracting Using Fuzzy Cognitive Mapping. 41st International Conference on Computers and Industrial Engineering (CIE41), 23-26 Ekim, Los Angeles CA ABD, s. 62-67.
- **Kutlu, A. C.** ve Polat S. (2011). A Real Options Model for Energy Service Contracting Integrated with Transaction Cost Economics. 13th Annual International

Conference of GBATA Global Business And Technology Association, 12-16 Temmuz, İstanbul, s. 484-491.

▪ **Kutlu, A. C.** ve Polat S. (2010). An Integrated Approach of Transaction Cost Economics and Real Options Theory for the Economics of Energy Service Contracts. ITU-TUB Joint Conference, 10-12 Kasım, İstanbul, s. 55–68.

Ulusal bilimsel konferans bildiri kitaplarında yayınlanan bildiriler:

▪ **Kutlu, A. C.** ve Ekmekçioğlu, M. (2012). Enerji Verimliliği Danışmanlık Şirketi Seçimi için Bir Bulanık Çok Ölçütlü Karar Verme Yaklaşımı. 12. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu, Gediz Üniversitesi, Menemen/İzmir, 27–29 Eylül, s. 965–974.

Hakemlik yapılan uluslararası bilimsel dergiler:

African Journal of Business Management (ASCI-TÜBİTAK SOC-D)
Applied Mathematical Modelling (SCI- TÜBİTAK SCI-A)
Environmental Engineering and Management Journal (SCIE- TÜBİTAK SOC-C)
Information Fusion (SCIE- TÜBİTAK SCI-C)
International Journal of Systems Science (SCI- TÜBİTAK SCI-B)
Iranian Journal of Fuzzy Systems (x3) (SCIE- TÜBİTAK SOC-C)
Journal of Business Economics and Management (SSCI- TÜBİTAK SOC-C)
Scientific Research and Essays (TÜBİTAK SCI-C)
Journal of Intelligent and Fuzzy Systems (SCI- TÜBİTAK SCI-C)
Technological and Economic Development of Economy (SSCI- TÜBİTAK SOC-D)