

# Rüzgâr Enerjisi Santral Yatırımlarının Değerlendirilmesinde Monte Carlo Simülasyonunun Kullanılması

Şakir SAKARYA<sup>1</sup> - Hasan Hüseyin YILDIRIM<sup>2</sup>

Makale Gönderim Tarihi: 03.03.2017

Makale Kabul Tarihi: 23.09.2017

## ÖZ

Bu çalışmada, Crystall Ball programı kullanılarak rüzgar enerjisi santral (RES) yatırımlarının değerlendirilmesinde monte carlo simülasyon (MCS) modeli kullanılmıştır. RES yatırımını etkileyen girdi değişkenlerin farklı kombinasyonları simüle edilerek, projenin net bugünkü değeri (NBD) belirlenmeye çalışılmıştır. Projenin NBD'sine ait değerlendirmede üç farklı senaryodan yararlanılmıştır. Üç farklı senaryo için yapılan simülasyon sonuçlarında RES yatırımının NBD'sine ait MCS analizi sonuçları elde edilmiştir. MCS modelinin RES yatırımlarının değerlendirilmesinde kullanışlı bir model olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Rüzgar Enerjisi Yatırımları, Monte Carlo Simülasyonu, Senaryo Analizi

**JEL Sınıflandırması:** E27, G31, O22

## Using Monte Carlo Simulation For Wind Power Generation Investment's Assessment

<sup>1</sup> Prof. Dr., Balıkesir Üniversitesi, İİBF, İşletme Bölümü, [sakarya@balikesir.edu.tr](mailto:sakarya@balikesir.edu.tr) orcid.org/0000-0003-2510-7384

<sup>2</sup> Öğr. Gör. Dr., Balıkesir Üniversitesi, BUBYO, Bankacılık ve Finans Bölümü, [hhyildirim@balikesir.edu.tr](mailto:hhyildirim@balikesir.edu.tr)

## Abstract

In this study, using Crystall Ball software Monte Carlo Simulation (MCS) Model was used for evaluation of wind power plant (WPP) investment. WPP project's Net Present Value (NPV) were determined, by simulating different combinations of input variables affecting the WPP investments. Three different scenarios were used in the evaluation of the project's NPV. In the simulation results for three scenarios, the results of the MCS analysis of the WPP investment's NPV was obtained. End of the results, MCS is a useful method for the evaluation of the WPP investmet.

**Keywords:** Wind Power Investment, Monte Carlo Simulation, Senario Analysis

**JEL Classification:** E27, G31, O22

## 1. GİRİŞ

Enerji, dünyadaki birçok değişimin önemli yapı taşlarından biri olmuş ve bu özelliğini de devam ettirmektedir. Enerji ve enerji kaynakları üretimin ve ekonomik yaşantının olmazsa olmazlarından. Her geçen gün doğal kaynaklara ve enerjiye olan talep artarak devam etmektedir. Bundan dolayı temiz, güvenilir ve sürdürülebilir enerjinin tedarik edilmesi, yirmi birinci yüzyılda insanlığın ilgilendiği ve üzerinde çalıştığı önemli bir konu haline gelmiştir. Günümüz enerji kullanımında ağırlıklı olarak fosil enerji kaynakları tercih edilmektedir. Ancak fosil yakıtların sınırlı olması ve kullanımı sonucunda çevreye bıraktığı salınımlardan dolayı alternatif enerji kaynaklarına yönelim artmıştır. Alternatif enerji kaynakları içerisinde yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan rüzgar enerjisine olan ilgi de son dönemlerde artmıştır. Dünya genelinde rüzgar enerjisinin son on beş yıldaki durumuna bakıldığında; 2000 yılında dünyanın kurulu rüzgar gücü 17.400 MW olup, 2013 yılı hariç günümüze kadar her yıl kurulu güçteki ek kapasite artışı artarak devam etmiştir. 2015 yılında eklenen rüzgar kurulu gücü 63.467 MW olup yıl sonuna gelindiğinde dünyanın toplam kurulu rüzgar gücü kapasitesi 432.883 MW'tır (GWEC, 2016:11). Türkiye'de de rüzgar enerjisine yönelik yatırımlar 2007 yılından sonra artış göstermeye başlamıştır. 2006 yılında

51 MW'lık rüzgar enerjisi kurulu gücü her yıl artarak devam etmiştir. 2015 yılında Türkiye'de kurulu rüzgar gücü kapasitesi 4.718 MW iken 2016 yılı temmuz ayı itibariyle 5.146 MW seviyesine ulaşmıştır (TUREB, 2016:5).

Dünya'da ve Türkiye'de rüzgar enerjisi yatırımlarına yönelik bu artış dikkat çekicidir. Bu artışın temel sebebi ihtiyaç duyulan ve her dönem artan enerji talebinin karşılanması için rüzgar enerjisinin alternatif bir enerji kaynağı olması mıdır? Yoksa rüzgar enerjisi yatırımlarının ekonomik olarak kazançlı olması mıdır? Her iki sorunun yanıtı RES yatırımlarına olan ilginin açıklayıcısıdır. Bu çalışmada RES yatırımını etkileyen nakit giriş ve çıkışlarıyla bir finansal model oluşturulmuştur. RES yatırımlarını etkileyen gelir ve giderlere ait değişkenler stokastik olması, yatırımın ekonomik değerlendirilmesinde güçlükler yol açmaktadır. Senaryo analizi ile girdi değişkenlerin farklı değerleri ile yatırımın çıktı değerini belirlenmektedir. Ancak senaryo analizi, çıktı değişkenin sonucunu etkileyen girdi değişkenlerin çok fazla kombinasyonunu belirlemede ve çıktı değişkenin senaryo olasılıklarını tespit etmekte yetersiz olmaktadır (Ross vd., 2010:210). Monte carlo simülasyonunda girdi değişkenlerin çok fazla sayıda rassal dağılımı ile tahmin değişkeni sonuçları farklı kombinasyonlarla oluşturulmaktadır.

## 2. Literatür Araştırması

Yenilenebilir enerji teknolojilerine olan ilginin artmasına rağmen MCS analizi ile enerji projelerinin değerlendirildiği çalışmalar henüz istenilen sayıda değildir. RES yatırımlarının ekonomik olarak değerlendirildiği ve konu ile ilgili MCS kullanıldığı çalışmalardan bir kısmı aşağıda verilmiştir.

Desrochers ve Blanchard (1986) yapmış oldukları çalışmada rüzgar enerjisinin maliyet etkinliği için 1 yıllık türbine ait saatlik verilerden yararlanmışlardır. Çalışmada simülasyonla kurulan method yardımıyla farklı şekillerdeki rüzgar türbinlerinin enerji üretim kapasiteleri karşılaştırılabilmektedir.

Liberman (2003) ise çalışmasında ABD'de farklı eyaletlerden seçilmiş 239 bölgede RES yatırımlarını meteorolojiden alınan rüzgar verilerine bağlı olarak MCS ile bölgeler için geri ödeme

süresini araştırmıştır. Bölgelerin hakim rüzgar hızlarının farklı olmasından dolayı bölgelerde yapılacak yatırımlara ait geri ödeme süreleri farklı çıkmıştır. Rüzgar hızı fazla olan yerlerde yapılan rüzgar enerji yatırımlarına ait geri ödeme süresi, rüzgar hızı düşük olan yerlere göre daha düşük çıkmıştır.

Madlaner ve Wenk (2008) İsviçrenin kurulu enerji kapasitesini araştırmışlar ve enerji kaynaklarına ait yatırımların NBD'lerini MCS ile karşılaştırmışlardır. MCS analizi sonucunda elde edilen çıktılarından yararlanarak enerji kaynak türlerinden belli oranlarda oluşturulmuş optimum enerji portföyünü hesaplamışlardır.

Williams vd. (2008) çalışmalarında Kuzey Arizona eyaletinde iki farklı bölge için RES yatırımı ve işletilmesi döneminde sağlanacak faydaları simüle etmişlerdir. Kurulan MCS ile yatırıma ait belirsizlikler tahmin edilmeye çalışılmıştır. Böylelikle her iki bölge ekonomisi için RES yatırım döneminde ve sonrasında ekonomik aktiviteye sağlayacağı faydalar belirlenmeye çalışılmıştır.

Ay (2010) çalışmasında farklı finansman seçeneklerinin rüzgar enerjisi yatırımlarının sonuçlarını nasıl etkilediğini araştırmıştır. Çalışmasında yıpranmayı hesaba katan ve katmayan olarak iki farklı durumda ekonomik değerlendirme yapmıştır. İki farklı durum için ekonomik değerlendirme sonuçları farklı çıkmıştır. Ekonomik değerlendirmede yıpranmanın dikkate alındığı yöntemde nakit akımları yüksek çıkmıştır. Bu nedenle yıpranma yatırımın ekonomik değerlendirilmesinde dikkate alınması gereken önemli bir değişkendir.

Hamamcıoğlu (2010) çalışmasında rüzgar hızı verilerinden yararlanarak matlab programı yardımı ile RES yatırımını 2 farklı senaryoda NBD, GÖS ve İVO'sunu hesaplamıştır.

Frølund ve Obling (2010) çalışmalarında RES yatırımlarının ekonomik değerlemesini "DCF" ve "ROV" yaklaşımlarını karşılaştırarak yapmışlardır. Her iki yöntem de RES yatırımlarının ekonomik değerlendirmesinde başarılı ve kullanılabilir bir yöntem olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Cardell ve Anderson (2010) çalışmalarında farklı rüzgar hızlarında üretimdeki maliyetleri simüle etmişlerdir. Çalışmada oluşt-

ruhan senaryolar sonucunda bölgesel rüzgar üretimi ile rüzgar hızı arasında korelasyonların olduğunu belirlemişlerdir.

Khindanova (2013) çalışmasında RES yatırımlarının ekonomik değerlemesinde MCS yöntemi kullanarak, stokastik değişkenlerden elektrik fiyatı ve maliyet belirsizliklerini modelleyerek çıktı değişken olan "NPV" değerine ait dağılımı elde etmiştir.

### **3. Araştırma Metodolojisi**

#### **3.1. Analiz Yönetimi: Monte-Carlo Simülasyonu**

Simülasyon, gerçek yaşamdaki olayları nümerik bir yöntemle belirlemek için bir model oluşturmaktır. MCS'de simülasyonun istatistiksel yöntemlerle belirlenmeye çalışıldığı bir modeldir (Williams vd., 2008:401). MCS yaklaşımı, belirsiz olan birden fazla değişkenin birbirini etkilediği durumlar için model oluşturmakta kullanılan bir yöntemdir (Roques vd, 2006:5). MCS, alternatif enerji santral teknolojilerinin değerlemesini belirlemede kullanılan faydalı bir yöntemdir (Khindanova, 2013:94). Ayrıca MCS, enerji santral yatırımlarının risk analizinin yapılmasında yararlı araçlara sahip olduğundan yaygın olarak kullanılmaktadır (Hertzmark, 2007).

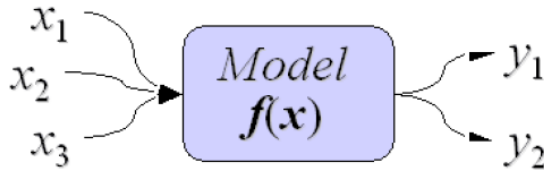
Monte Carlo Metodu istatistiksel ve deneysel problemlerin çözümünde girdi değişkenindeki rassal sayılar yaklaşımı ile çıktı değişkeni belirleme yaklaşımıdır (Simkins ve Simkins, 2013:263). Metodun bir probleme uygulanması, problemin tesadüfi sayıları kullanarak simule edilip hesap edilmek istenen parametrenin bu simülasyon sonuçlarına bakılarak yaklaşık hesaplanması fikrine dayanır (Hançerlioğulları, 2006:545- 556). Monte Carlo karmaşıklık derecesi ne olursa olsun stokastik süreçlerin incelenmesi yöntemidir.

Monte Carlo Simülasyonu aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır (Spinney ve Watkins, 1996):

- Modeldeki girdi değişkenlerinin belirlenmesi,
- Modeldeki anahtar girdi değişkenlerin olasılık dağılımlarının ve istatistiksel değerlerinin belirlenmesi,
- Anahtar girdi değişkenler arasındaki ilişkiyi istatistiksel olarak tanımlanması,

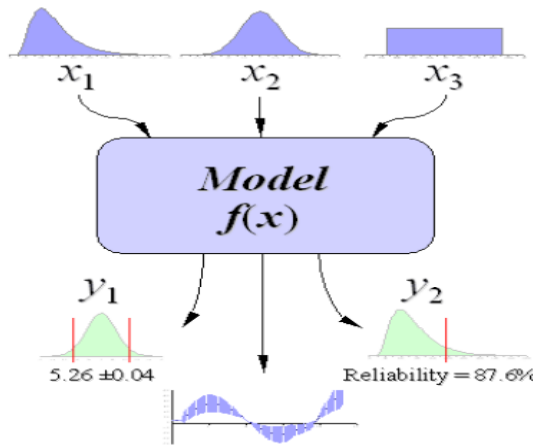
- Değişkenlere ait oluşturulan girdi değişkenlerin olasılık dağılımları ile çoklu kombinasyonların gerçekleştirilmesi,
- Son olarak modelde bulunan çıktı değişkenin olasılık dağılımlarının çıkarılması.

Deterministik bir model, girdi değişkenler ile çıktı değişkenler arasında olan planı verir. MCS, girdi değişkenlerdeki sayıları ( $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ ) rastgele farklı kombinasyonlarda kullanarak deterministik olan modeli defalarca değerlendirerek çıktı değişkenleri ( $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$ ) belirlemektedir.



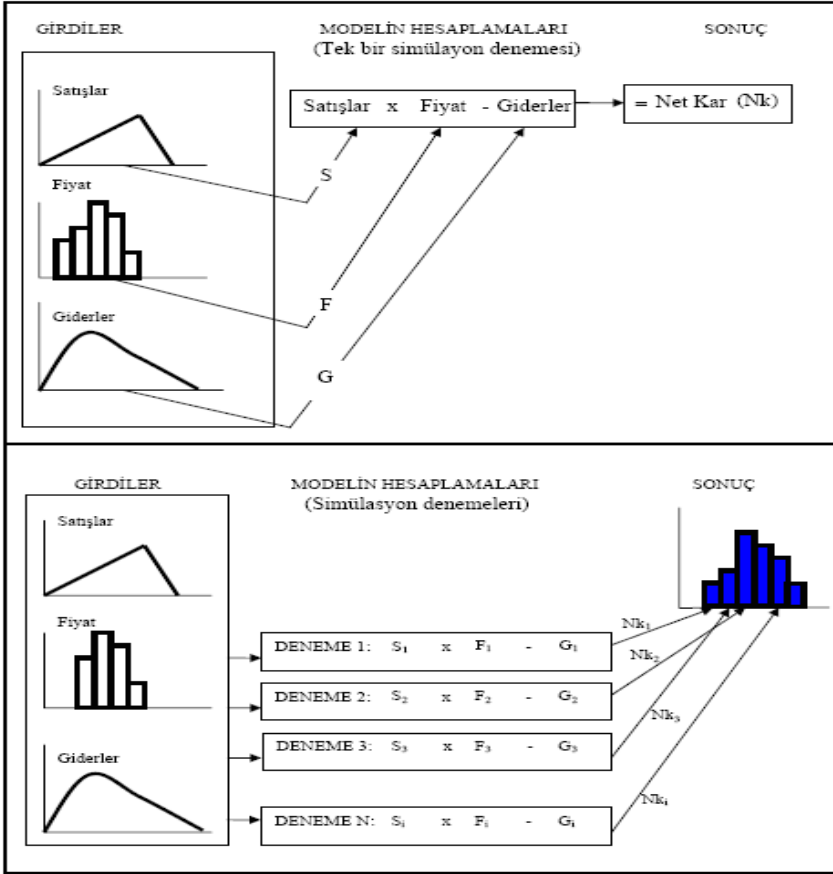
**Şekil 1:** Modelde Dahil Olan Girdi Değişkenler ve Çıktı Değişkenler

Bir simülasyon genel anlamda bir modelin binlerce kez değerlendirmesini içerir. Diğer bir ifade ile simülasyonda, girdi değişkenlerin dağılımı dikkate alınarak değişkenlerin farklı kombinasyondan oluşan değerleri ile stokastik bir model oluşturulur.



**Şekil 2:** MCS'nin Temel Prensipleri "Stokastik Belirsizlik Dağılımı"

Simülasyon sonucunda elde edilen tahmini değerler (çıkıtı değişkenler) olasılık (veya histogram) dağılımı olarak temsil edilebildiği gibi güvenilirlik tahminleri, hata çizgileri, tolerans değerleri ve güven aralıklarına da dönüştürülebilir. Simülasyon modelleri problemlerin analitik modellerle çözülemeyecek derecede karmaşık olduğu durumlarda veya analitik modellerin kurulup, kullanılmadığı durumlarda tercih edilir.



**Şekil 3:** Monte Carlo Simülasyonunun Çalışma Biçimi

Günümüzde yenilenebilir enerji yatırımlarının önemli bir oranını rüzgar enerjisi oluşturmaktadır. Rüzgar enerjisi yatırımlarına başlanılmadan önce iki temel analize ihtiyaç duyulmaktadır. Bun-

lardan birincisi teknik analiz olup; yatırım yapılacak yerin, yatırımın kapasitesinin, yatırımda kullanılacak türbin seçiminin vb. teknik unsurlarını içermektedir. İkinci yapılan analiz ise yatırımın finansal olarak analiz edilmesidir ki yatırımın ekonomik olarak kazançlı olup olmadığının belirlenmesidir. Gerek teknik analizde gerekse finansal analizde yatırımı etkileyen ve belirsiz olan birçok değişken vardır. MCS ile bu belirsizliklerin modellenmesi yapılarak yatırımın ekonomik analizi değerlendirilmektedir.

Bir rüzgar enerjisi projesinin ekonomik değerlendirilmesinde kurulumun maliyetlerine ait proje tahmini yapılmalıdır. RES yatırımına ait teknik değerlendirmenin ne zaman tamamlanacağı, yatırımın kurulumuna ne zaman başlanılacağı, yatırımın kurulum süresinin ne zaman tamamlanacağı, yatırımda kullanılacak malzemelerin gelecek fiyatlarındaki değişiklikler, türbin ne kadar süre içerisinde üretici firmadan tedarik edileceği gibi hususlar, RES yatırımında yeterli bilginin olmadığı ve belirsizliklerin olduğu konu başlıklarıdır. Yatırımın kurulumuna ait maliyetlerdeki belirsizlik durumu, RES yatırımcısı tarafından MCS ile kurulum maliyetlerindeki mümkün olan olasılık aralığı dikkate alınarak gerçekleştirilecek kurulum maliyeti farklı değerlerde belirlenmeye çalışılmaktadır. Bunun için maliyetlerdeki değişimi belirlerken girdi değişkenlere ait farklı senaryolar, değerler dikkate alınır. Yatırımın ekonomik olarak maliyetteki belirsizlik gibi geliri etkileyen değişkenlerde de belirsizlikler mevcuttur. Belirsizlik içeren her bir girdi değişkene ait olası en iyi durum, normal durum ve kötü durumdaki değerler dikkate alınarak yatırımın farklı durumlarda olası sonuçları belirlenmeye çalışılmalıdır.

### **3.2 Araştırmaya Ait Girdi Parametreleri ve Varsayımları**

RES yatırımında kullanılacak girdi parametrelerine ait değerler, yatırımın Türkiye’de gerçekleştirileceği dikkate alınarak oluşturulmuştur. RES yatırımında türbinlerin ekonomik ömrü 25 yıl olarak varsayılmıştır. Yatırıma ait varsayımlar dört başlık altında toplanmıştır. Bunlar; RES üretimine ait parametreler, RES yatırımına ait maliyetler, RES faaliyetlerinin sürdürülmesine ait giderler, RES yatırımına ait finansal değişkenlerdir. RES yatırımına ait değişkenler

için üç farklı senaryoya göre değerler oluşturulmuştur. Aşağıda ekonomik durumun normal olduğu durum dikkate alındığında RES yatırımı için girdi değişkenlerin değerleri verilmiştir.

RES yatırımının üretim parametreleri; yatırım için kurulacak ünite sayısı (türbin sayısı) 30 adettir. Her bir ünitenin kapasitesi 3.3 MW'tır. RES yatırımının toplam kapasitesi 99 MW'tır. Üretim sonucunda elektrik satışı için YEKDEM'in I Sayılı Cetvelinde yer alan birim elektrik satışı dikkate alınmıştır. Buna göre birim kw elektrik satış fiyatı 7,3 cent/Amerikan dolardır.

RES yatırımına ait maliyetler; 3,3 MW'lık bir türbine ait ilk kurulum maliyeti yaklaşık olarak 4.000.000 Amerikan dolardır. İlk yatırım maliyetinde kurulum maliyetinin yaklaşık olarak %90'ını türbine ait maliyetler, yaklaşık olarak %1,5'ini türbinin kurulduğu yerin şalt sahasına ait maliyetler, yaklaşık olarak %3'ünü yatırım için gerekli arazi maliyeti, yaklaşık olarak % 0,5'ini yatırım için proje geliştirme maliyeti, yaklaşık olarak %1'ini diğer maliyetler (yatırım döneminde öngörülemeyen durumlarda gerçekleşen maliyetler), yaklaşık olarak %4'ünü de yatırım için ödenen KDV oluşturmaktadır.

RES faaliyetlerinin sürdürülmesine ait yıllık giderler; 30 adet üniteye ait faaliyet giderleri yaklaşık olarak 2.400.000 Amerikan dolarıdır. Ünite başına yıllık gider yaklaşık olarak 80.000 Amerikan dolarıdır. RES yatırımının faaliyetlerini sürdürürken katlandığı yıllık maliyetlerin yaklaşık olarak %47'si türbinlerin bakım onarım giderlerinden, yaklaşık olarak %4'ü çalışan personel ve güvenlik giderlerinden, yaklaşık olarak % 48'i ünite başına sistem kullanım ve elektrik kalite giderlerinden ve yaklaşık olarak %1'i de diğer operasyonel giderlerden oluşmaktadır. Faaliyet giderleri her yıl %1 oranında artmaktadır.

RES yatırımına ait finansal değişkenler; yatırım finansmanının yabancı kaynak maliyeti için faiz oranı %7,5 ve özsermaye maliyeti %12 olarak varsayılmıştır. Yatırım için ihtiyaç duyulan işletme sermayesi maliyeti ünite başına 100.000 Amerikan dolarıdır. Türkiye için yıllık enflasyon oranı %2 olarak varsayılmıştır. Yatırımın amortisman süresi 25 yıl olarak hesaplanmıştır. Yatırım finansmanında %50 oranında özkaynak %50 oranında yabancı

kaynaktan yararlanıldığı varsayılmıştır. Oluşturulan finansal modelde KDV oranı %18, Kurumlar Vergisi ise %20 olarak alınmıştır.

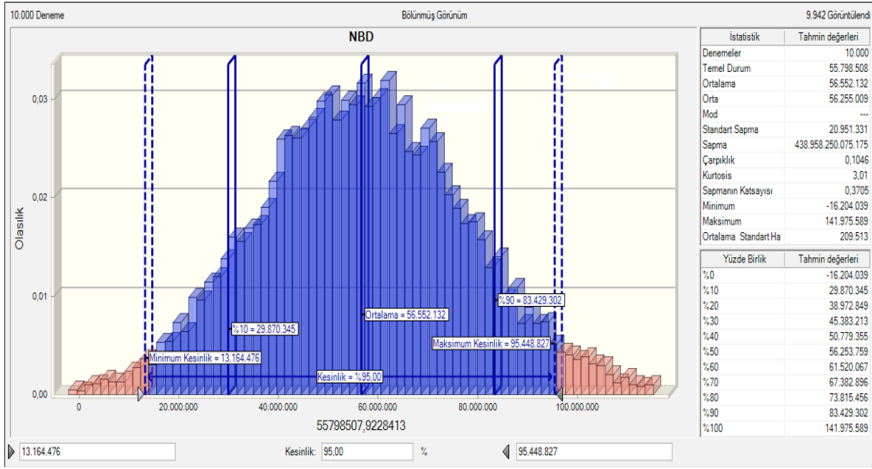
Yukarıda açıklanan parametrelerden yararlanarak Microsoft Office programlarından Excel 2007 programında yatırıma ait bir finansal model oluşturulmuştur. Finansal modelde yatırımın çıktı değişkeni olan tahmin değişkeni ve yatırımı etkileyen bağımsız değişkenler Crystal Ball programında analize başlamadan önce tanımlanmıştır. Ek 1'deki gibi yatırıma ait tahmin değişkeni olarak projenin NBD'si tanımlanmıştır.

Ek 2'de sunulduğu gibi yatırımı etkileyen 7 adet anahtar girdi değişken (bağımsız değişkenler) seçilmiştir. Bunlardan birincisi Euro/Dolar kuru olup ortalama değeri "1.26" ve standart sapması "0.1" olarak tanımlanmıştır. İkinci bağımsız değişken kapasite kullanım oranı olup ortalama değeri "%40" ve standart sapması "%4" olarak tanımlanmıştır. Üçüncü bağımsız değişken faiz oranı olup ortalama değeri "%7,5" ve standart sapması "%1" olarak tanımlanmıştır. Dördüncü bağımsız değişken işletme sermayesi ihtiyacı olup ünite başına ortalama değeri "100.000 Amerikan doları" ve standart sapması "10.000 Amerikan doları" olarak tanımlanmıştır. Beşinci bağımsız değişken özsermaye maliyeti olup ortalama değeri "%12" ve standart sapması "%1" olarak tanımlanmıştır. Altıncı bağımsız değişken yıllık faaliyet giderleri toplamı olup ortalama değeri "2.400.000 Amerikan doları" ve standart sapması "240.000 Amerikan doları" olarak tanımlanmıştır. Yedinci bağımsız değişken RES yatırıma ait ilk yatırım maliyetinin toplamı olup ortalama değeri "120.000.000 Amerikan doları" ve standart sapması "12.000.000 Amerikan doları" olarak tanımlanmıştır. Ek 2'deki değerler normal durum senaryosu dikkate alınarak oluşturulmuş değerlerdir.

RES yatırıma ait yapılacak simülasyon analizi için yukarıda 7 bağımsız girdi değişken ve dağılımları gösterilmiştir. Simülasyonda bağımsız değişkenleri 10.000 farklı kombinasyonla kurulan finansal modelde çalıştırarak NBD'ye ait sonuçlar ortaya konulacaktır.

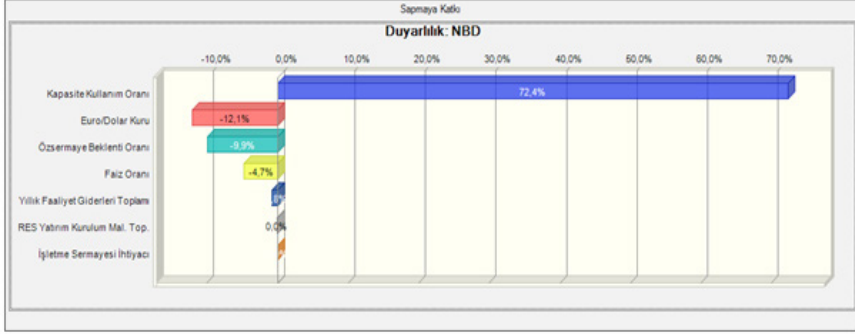
### 3.3 Bulgular

Birim kurulu gücü 3.3 MW olan 30 adet rüzgar türbininin NBD ait simülasyon sonuçlarına aşağıda yer verilmiştir. Aşağıdaki NBD ait sonuçlar, normal durumun dikkate alındığı senaryo sonuçlarıdır.



**Şekil 4:** RES Yatırımına Ait Projenin NBD'nin Tahmin Sonuçları

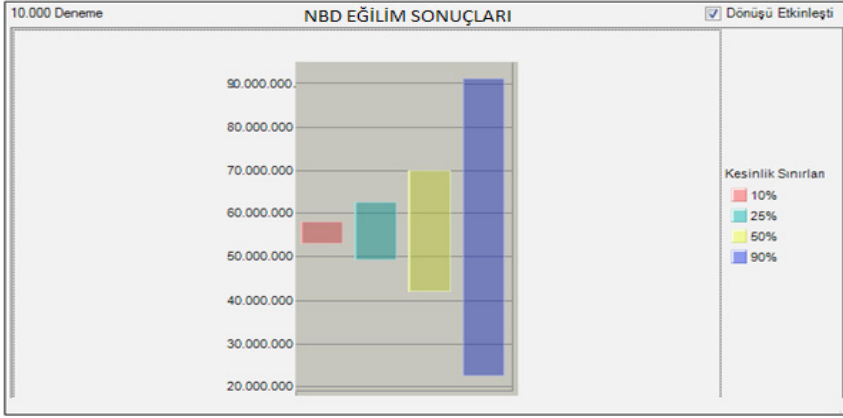
Şekil 4'te, Ek 2'de yer alan girdi bağımsız değişkenlerin dağılımlarına göre NBD'nin tahmin sonuçları sunulmuştur. NBD tahmin sonuçlarına bakıldığında ortalama olarak RES yatırımının NBD'si 56.552.132 Amerikan dolarıdır. %95 kesinlik sınırları içerisinde RES yatırımının NBD'si minimum olarak 13.164.476 Amerikan doları ve maksimum olarak 95.448.827 Amerikan dolarıdır. RES yatırımının %10 olasılık değerinde NBD'si 29.870.345 Amerikan doları olup %90 olasılık değerinde ise NBD 83.429.302 Amerikan dolarıdır. Normal durum senaryosunda RES yatırımının pozitif NBD'ye sahip olduğu görülmektedir. Bu durumda pozitif NBD yatırımın ekonomik olarak kazançlı olduğunu ve RES yatırımının bu girdi değişkenlere göre kabul edilebilir bir yatırım olduğunu göstermektedir.



**Şekil 5:** RES Yatırım Projesinde NBD'ye Ait Duyarlılık Analizi Sonuçları

Şekil 5'te RES yatırımında NBD'yi etkileyen değişkenlerin duyarlılık sonuçları sunulmuştur. Kapasite kullanım oranı, yatırımın NBD'sini "%72.4" ile pozitif yönde etkileyen en önemli parametredir. Ve kapasite kullanım oranının yatırımın NBD'sinde pozitif yönde bir etki, nakit girişi sağlayan parametrelerden biri olması beklenir. Kapasite kullanımı yatırım gelirini etkileyen önemli bir parametredir. RES yatırımında duyarlılık analizi sonuçlarında kapasitedeki artışın yatırımın NBD'sini pozitif yönde etkilediği görülmektedir. Bir yatırımın NBD'si, nakit çıkışına yol açan veya nakit çıkışını arttıran sebeplerden dolayı negatif yönde etkilenmektedir. Duyarlılık analizi sonuçlarında ikinci önemli etki "-%12.1" ile Euro/Dolar kurundan kaynaklanmaktadır. Euro/Dolar kuru, türbin maliyetini etkileyen önemli bir değişkendir. Türbin temini euro cinsinden, gelir ise dolar cinsindedir. Euro/Dolar kurundaki artış yatırımın NBD'sini negatif yönde etkilemektedir. Bir diğer duyarlılık değeri ise iskonto oranıdır. Yatırımın iskonto değeri de NBD'yi negatif etkilemektedir. Özsermaye maliyetindeki ve faiz oranındaki artış NBD'yi negatif etkilemektedir. Özsermaye maliyeti "- %9,9" ile faiz oranı da "-%4,7" ile NBD'yi etkilemektedir. Bir diğer ifade ile RES yatırımının NBD'si "-%9,9" ile özsermaye maliyetine ve "-%4,7" ile de faiz oranına duyarlıdır. RES yatırımına ait NBD, yıllık faaliyet giderlerinden "-%1,8" değerinde etkilenmektedir. RES yatırımına ait kurulum maliyeti toplamı ve işletme sermayesi ihtiyacı yaklaşık olarak "-% 0.5" oranında NBD'yi etkilemektedir. Yatırım maliyetinin NBD'yi etkilemedeki duyarlılığı

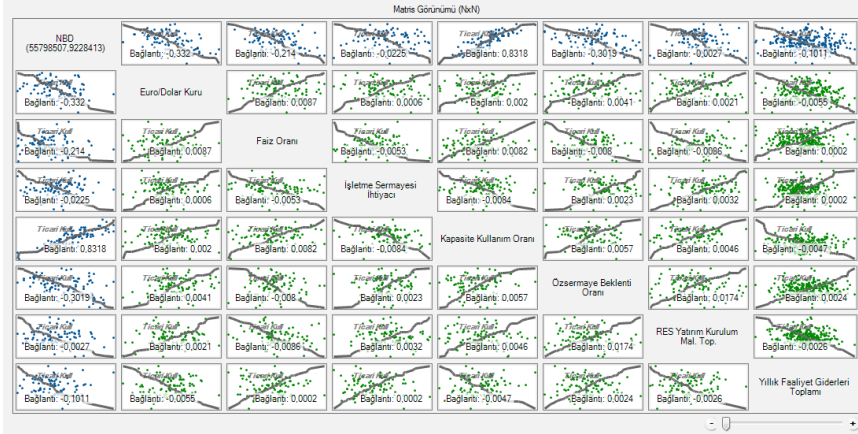
oldukça düşük çıkmıştır. Normal durum senaryosunda nakit akışında en önemli parametrenin kapasite kullanım oranında olduğu görülmektedir. Yatırım yapılacak yerin kapasite kullanımını yüksek düzeyde tutacak daimi rüzgar gücüne sahip olması RES yatırımı için önem arz etmektedir. Her ne kadar ilk yatırım maliyetindeki artış düşük çıkmış olsa da yatırımın maliyet arttırıcı olan euronun dolar karşısındaki değer artışı yatırımın NBD'sini negatif etkileyen bir parametredir.



**Şekil 6:** RES Yatırım Projesinde NBD'ye Ait Eğilim Sonuçları

Şekil 6'da RES yatırım projesinin normal durum senaryosunda NBD'ye ait eğilim sonuçları sunulmuştur. Eğilim sonuçlarına göre %10 kesinlik sınırları içerisinde yatırımın NBD'si yaklaşık olarak 52.000.000 Amerikan doları ile 58.000.000 Amerikan doları aralığında, %25 kesinlik sınırları içerisinde yatırımın NBD'si yaklaşık olarak 49.000.000 Amerikan doları ile 61.000.000 Amerikan doları aralığında, %50 kesinlik sınırları içerisinde yatırımın NBD'si yaklaşık olarak 42.000.000 Amerikan doları ile 70.000.000 Amerikan doları aralığında, %90 kesinlik sınırları içerisinde yatırımın NBD'si yaklaşık olarak 24.000.000 Amerikan doları ile 92.000.000 Amerikan doları aralığındadır. RES Yatırım eğilim sonuçlarında NBD'nin minimum değeri pozitif değerlere sahip olduğundan yatırımın ekonomik olarak kazançlı olduğunu göstermektedir.

Şekil 7’de RES yatırım projesinde ki değişkenler arasındaki ilişkiyi gösteren matris sunulmuştur. Birinci satır ve sütunda bağımlı değişken olan NBD yer almaktadır. Matris içerisinde 7 adet bağımsız değişken bulunmaktadır. Bağımsız değişkenlerden kapasite kullanımı dışında diğer değişkenlerin NBD ile negatif yönde bir ilişkiye sahip olduğu görülmektedir. Her bir matris kutucuğunda değişkenler arasındaki korelasyon derecesi de gösterilmiştir.



**Şekil 7:** RES Yatırım Projesinde Değişkenler Arasındaki İlişkiyi Gösteren Matris

Şekil 4-5-6-7’de RES yatırımının normal durum senaryosunda NBD için simülasyon analizi sonuçları sunulmuştur. Proje değerlendirmelerinde yatırım için tek bir durumu dikkate almak çoğu zaman yetersizdir. Yatırım değerlemesinde normal durum, iyi durum ve kötü durum gibi yatırım birden fazla durumdaki olası sonuçları dikkate alınarak yapılan değerlendirme daha sağlıklı karar verilmesi için önem arz etmektedir. Bu noktadan hareketle Tablo 1’de yatırımı etkileyen bağımsız değişkenlerin iyi durumları, normal durumları ve kötü durumları için olası değerler gösterilmiştir.

**Tablo 1:** RES Yatırımını Etkileyen Bağımsız Değişkenlerin Farklı Senaryolarda Aldığı Değerler

	Kötü Durum	Temel Durum (Normal Durum)	İyi durum
Euro/Dolar Kuru	1.35	1,26	1.15
Kapasite Kullanımı	%30	%40	%50
Faiz Oranı	%9	%7,5	%6
İşletme Sermayesi İhtiyacı	150.000	100.000	50.000
Özsermaye Maliyeti	%15	%12	%10
Yıllık Faaliyet Giderleri Top.	3.000.000 \$	2.400.000 \$	2.000.000 \$
RES Yatırımı Kur. Mal. Top.	150.000.000 \$	120.000.000 \$	100.000.000 \$

Tablo 1’de yer alan değişkenlere ait farklı senaryolardaki değerler Excel’de oluşturulan finansal modelde ayrı ayrı simüle edilmiştir. Yatırım için üç farklı durumda (kötü durum, normal durum ve iyi durumda) yatırımın NBD’sine ait sonuçlara Tablo 1’de yer verilmiştir. NBD için tahmin değerlerine ait istatistikî sonuçlar ve yüzde birlik değerler yatırımın üç farklı durumu için hesaplanmıştır. Kötü durumda yatırımın NBD’sine ait değere bakıldığında negatif bir değere sahip olduğu görülmektedir. Kötü durumda yatırımın NBD’nin alacağı maksimum değer pozitif oluşu yatırımın kötü durumda değerlerinde iyi performans sergilemesi halinde kazançlı olduğunu göstermektedir. Yatırım için normal durum değerlendirmesinde ortalama NBD’nin 56.552.132 Amerikan doları olup pozitif bir değere sahip olduğu görülmektedir. Normal durumda yatırımın minimum NBD’nin negatif olduğu görülmektedir. Yatırımın iyi durum değerlendirmesinde sahip olduğu NBD’lerinin tamamının pozitif olduğu görülmektedir. Yatırım için girdi parametrelerinin iyi durumda RES yatırımının kesinlikle yapılması gerektiği ve kazançlı olduğunu göstermektedir. Üç durumun tamamı için NBD’ye ait dağılımın normal olduğu söylenebilir (Çarpıklık, Basıklık3).

**Tablo 2:** Üç Farklı Senaryoda RES Yatırımının NBD Ait Simülasyon Sonuçları

Tahmin Değerleri		Kötü Durum	Temel Durum (Normal Durum)	İyi durum
İstatistiksel Değerler	Sim. Deneme Say.	10.000 Adet	10.000 Adet	10.000 Adet
	Ortalama \$	-16.756.423	56.552.132	143.987.914
	Minimum \$	-70.418.953	-16.204.039	48.644.813
	Maksimum \$	44.299.541	141.975.589	259.347.056
	Standart Sapma \$	14.638.571	20.951.331	29.561.276
	Çarpıklık	0,131	0.104	0.105
	Basıklık	3,02	3.01	2.95
Yüzde Birlik Değerler	%10	-34.761.823 \$	29.870.345 \$	106.162.376 \$
	%30	-24.170.347 \$	45.383.213 \$	128.023.430 \$
	%50	-16.688.306 \$	56.253.759 \$	143.353.872 \$
	%70	-8.896.277 \$	67.382.896 \$	159.279.352 \$
	%90	2.679.015 \$	83.429.302 \$	182.699.202 \$

Tablo 2’de tahmin değerlerinin yüzde birlik değerlerinde NBD’nin değerleri de yer almaktadır. Kötü durumda RES yatırımının yüzde birlik NBD’leri sadece %90’da pozitif olup diğerlerinde negatif değere sahiptir. Normal durumda ve iyi durumda yatırımın yüzde birlik değerlerinin tamamında pozitif olduğu görülmektedir.

#### 4. Sonuç ve Değerlendirme

Bu çalışmada Türkiye’de kurulacak bir RES yatırımının finansal değerlendirmesi simülasyon yöntemi ile analiz edilmiştir. Bunun için bir finansal model oluşturulmuş ve yatırımın projesine ait NBD hesaplanmıştır. Yatırım projelerini tek bir durumda değerlendirmek yetersiz olduğundan RES yatırımını için 3 farklı senaryoda yatırıma ait parametreler oluşturulmuştur. Her bir senaryo için kurulan finansal modellemede yatırımın NBD’i Crystall Ball programı ile simüle edilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre yatırımın NBD’i kötü durum senaryosunda kabul edilmeyip yatırım yapılmama kararı alınabilir. Kötü durumda %90 yüzde birlik değerde veya maksimum NBD durumunda RES yatırımının yapımı kabul edilebi-

lır. RES yatırımı için normal durum senaryosunda yatırımın ortalama NBD'i pozitif olduğundan yatırımı yapmak ekonomik olarak anlamlıdır. Normal durum senaryosunda her ne kadar ortalama değer pozitif görünse de minimum değer negatif olması RES yatırımcısı tarafından göz önünde bulundurulması gereken bir diğer sonuçtur. Normal duruma ait tahmin değerlerinde yüzde birlik değer sonuçlarına bakıldığında bütün değerlerde RES yatırımının NBD'sinin pozitif olduğu görülmektedir. RES yatırımı için iyi durum senaryosuna bakıldığında NBD'lerinin bütün tahmin değerlerinin pozitif olduğu ve yatırımın ekonomik olarak önemli düzeyde kazançlı olduğu görülmektedir.

Tüm bu sonuçlara göre uygun kapasitede üretimin yapılacağı bir RES yatırımının ekonomik olarak kazançlı olduğu görülmektedir. Yatırım değerlendirmesinin tek bir deneme ile yapılması yatırımcı için yanıltıcı olabilmektedir. Hele ki yatırıma ait maliyet değerleri ve gelir değerleri standart olmadığında yatırımcının tek bir sonuca bağlı kalarak yatırım yapması yanıltıcı olacaktır. RES yatırımlarında her ne kadar yatırım maliyeti belirli gibi gözükse de tam olarak standart değildir. Bunun nedeni RES yatırımı yapılacak yere ait yerel nedenler veya kurulum anında yaşanan beklenmedik nakit çıkışlarıdır. Bu faktörler RES yatırımlarının maliyetini belirsiz kılmaktadır. RES yatırımlarında özellikle elde edilecek gelir konusunda hiçbir standart değer yoktur. Bunun nedeni ise RES yatırımı üretimi büyük oranda yatırımın kurulu olduğu yerdeki rüzgar hızına bağlıdır. Bölgedeki rüzgar geçmiş ölçümlerle her ne kadar ortalama bir değere sahip olmuş olsa da, bölgedeki rüzgar için standart bir değer yoktur. Yıllar, aylar, haftalar, günler ve gün içi değerler itibarıyla bölgedeki rüzgar hızı çeşitlilik göstermektedir. Bu durum da üretimin neticesinde RES yatırımına ait elektrik üretimi ve nihai olarak elektrik satışından elde edilecek olan RES yatırım geliri de değişecektir. Tüm bu nedenlerden dolayı RES yatırımlarını tek bir durum için değil farklı senaryolar için birden fazla kombinasyonları da içine alan bir değerlendirme yaklaşımı ile ele almak daha doğru sonuçlar verecektir.

Bu çalışmada RES yatırımının deterministik olarak dikkate alınan girdi değişkenleri üç farklı senaryo için oluşturulan stokastik

bir yapı içerisinde simüle edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre yatırımcı karşılaştırma yaparak yatırım kararları verebilmektedir. Bu açıdan RES yatırımı gibi maliyet ve gelire ait belirsizliklerin olduğu durumlarda simülasyon analizi yapmak yatırımcı için farklı durum değerlerini bir sonuç içerisinde görmesi açısından önemlidir. Yapılan bu çalışmada Türkiye’de kurulacak olan bir RES yatırımı simülasyon analizi ile değerlendirilmiştir. Sonuç olarak uygun koşulların sağlanması halinde RES yatırımlarının ekonomik olarak kazançlı olduğu sonucuna erişilmiştir.

## KAYNAKLAR

- Ay, A. (2010). Energy Sources And Investment Project Assessment: A Case Study About Wind Energy In Turkey, Bahçeşehir üniversitesi, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Desrochers, G., Blanchard, M., ve Sud, S., 1986, A Monte-Carlo simulation method for the economic assessment of the contribution of wind energy to power systems. IEEE Transactions on Energy Conversion, (4), 50-56.
- Frølund, S. G., & Obling, P. E. (2010). Valuation models for wind farms under development.
- GWEC, 2016, Global Wind Statistics Annual Market Update 2015, [http://www.gwec.net/wp-content/uploads/vip/GWEC-Global-Wind-2015-Report\\_April-2016\\_22\\_04.pdf](http://www.gwec.net/wp-content/uploads/vip/GWEC-Global-Wind-2015-Report_April-2016_22_04.pdf) (Erişim: 14.10.2016)
- Hamamcıoğlu, (2010). Rüzgar Enerji Kaynaklı Elektrik Üretimini Teknik/Ekonomik Analizi ve Yöresel Uygulaması, Yıldız Teknik Üniversitesi, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Hançerlioğulları, A., (2006). Monte Carlo Simülasyon Metodu ve MCNP Kod Sistemi, Kastamonu. Education Journal, 14(2), 545-546.
- Hertzmark, D. I. (2007). *Risk assessment methods for power utility planning*. Energy Sector Management Assistance Program.The World Bank, Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP), Washington D.C.
- Khindanova, I. (2013). A Monte Carlo Model of a Wind Power Generation Investment. *The Journal of Applied Business and Economics*, 15(1), 94.
- Liberman, E. J. (2003). *A life cycle assessment and economic analysis of wind turbines using Monte Carlo simulation* (No. Afit/Gee/Env/03-16). Air Force Inst Of Tech Wright-Patterson Afb Oh School Of Engineering And Management.
- Madlener, R., & Wenk, C. (2008). Efficient investment portfolios for the Swiss electricity supply sector.
- Roques, F. A., Nuttall, W. J., & Newbery, D. M. (2006). *Using probabilistic analysis to value power generation investments under uncertainty*. University of Cambridge, Electricity Policy Research Group.
- Ross, S. A., Westerfield, R. W. ve Jaffe, J., 2010, Corporate Finance, Ninth Edition, ISBN 978-007-131308-7, NewYork. McGraw-Hill/Irwin.
- Simkins, B., & Simkins, R. (2013). *Energy finance and economics: Analysis and valuation, risk management, and the future of energy* (Vol. 606). John Wiley & Sons.

- Spinney, P. J., & Watkins, G. C. (1996). Monte Carlo simulation techniques and electric utility resource decisions. *Energy Policy*, 24(2), 155-163.
- TUREB, 2016, Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu, [http:// www.tureb.com.tr/files/yayinlar/temmuz\\_2016\\_istatistik.pdf](http://www.tureb.com.tr/files/yayinlar/temmuz_2016_istatistik.pdf) (Erişim: 17.10.2016)
- Williams, S. K., Acker, T., Goldberg, M., ve Greve, M. (2008). Estimating the economic benefits of wind energy projects using Monte Carlo simulation with economic input/output analysis. *Wind Energy*, 11(4), 397-414.
- Cardell, J. B., & Anderson, C. L. (2010, January). Analysis of the system costs of wind variability through Monte Carlo simulation. In *System Sciences (HICSS), 2010 43rd Hawaii International Conference on* (pp. 1-8). IEEE.

## Ek 1: Tahmin Değişkeni Olan NBD'nin (Bağımlı Değişken) Crytall Ball Programına Girilmesi

Tahmin Tanımla: FJ222 Hüresi

Ad: PROJE\_NBD

Birim: \$

Tamam İptal Yardım

## Ek 2: Girdi Değişkenler ve Olasılık Dağılımları

	Bağımsız Değişken: Euro/Dolar Kuru	Dağılım Grafiği										
1	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Dağılım Parametreleri</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ortalama</td> <td>1,26</td> </tr> <tr> <td>Standart Sapma</td> <td>0,10</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Dağılım Parametreleri		Ortalama	1,26	Standart Sapma	0,10					
Dağılım Parametreleri												
Ortalama	1,26											
Standart Sapma	0,10											
2	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Bağımsız Değişken: Kapasite Kullanım Oranı</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th colspan="2">Dağılım Parametreleri</th> </tr> <tr> <td>Ortalama</td> <td>% 40</td> </tr> <tr> <td>Standart Sapma</td> <td>% 4</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Bağımsız Değişken: Kapasite Kullanım Oranı		Dağılım Parametreleri		Ortalama	% 40	Standart Sapma	% 4			
Bağımsız Değişken: Kapasite Kullanım Oranı												
Dağılım Parametreleri												
Ortalama	% 40											
Standart Sapma	% 4											
3	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Bağımsız Değişken: Faiz oranı</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th colspan="2">Dağılım Parametreleri</th> </tr> <tr> <td>Ortalama</td> <td>% 7,5</td> </tr> <tr> <td>Standart Sapma</td> <td>% 1</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Bağımsız Değişken: Faiz oranı		Dağılım Parametreleri		Ortalama	% 7,5	Standart Sapma	% 1			
Bağımsız Değişken: Faiz oranı												
Dağılım Parametreleri												
Ortalama	% 7,5											
Standart Sapma	% 1											
4	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Bağımsız Değişken: İşletme Sermayesi İhtiyacı</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th colspan="2">Dağılım Parametreleri</th> </tr> <tr> <td>Ortalama</td> <td>100.000 \$</td> </tr> <tr> <td>Standart Sapma</td> <td>10.000 \$</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Bağımsız Değişken: İşletme Sermayesi İhtiyacı		Dağılım Parametreleri		Ortalama	100.000 \$	Standart Sapma	10.000 \$			
Bağımsız Değişken: İşletme Sermayesi İhtiyacı												
Dağılım Parametreleri												
Ortalama	100.000 \$											
Standart Sapma	10.000 \$											

5	<b>Bağımsız Değişken: Özsermaye Maliyeti</b>		<b>Dağılım Grafiği</b>
	Dağılım Parametreleri		
	Ortalama	%12	
	Standart Sapma	% 1	
6	<b>Bağımsız Değişken: Yıllık Faaliyet Giderleri Toplamı</b>		<b>Dağılım Grafiği</b>
	Dağılım Parametreleri		
	Ortalama	2.400.000 \$	
	Standart Sapma	240.000 \$	
7	<b>Bağımsız Değişken: RES Yatırım Kurulum Mal. Top.</b>		<b>Dağılım Grafiği</b>
	Dağılım Parametreleri		
	Ortalama	120.000.000 \$	
	Standart Sapma	12.000.000 \$	