

JEOTERMAL YATIRIM DEĞERLENDİRİLMESİNDE RİSK ANALİZİ

Ümran SERPEN
Tolga KAYGAN

ÖZET

Bu çalışmada, biri büyük diğeri ise küçük 2 adet jeotermal prospekt şimdiye dek yapılan çalışmalardan tanındığı kadarıyla ele alınmış ve önce sahaların elektrik üretim kapasiteleri stokastik yöntemle dağılım olarak hesaplanmıştır. İkinci aşamada bu sahada kazılması gereken üretim, enjeksiyon ve kuru kuyu sayıları, belirlenen kapasite çerçevesinde yine stokastik yöntemle dağılım olarak hesaplanmıştır. Son aşamada ise, ilk iki aşamadaki dağılımlar çerçevesinde tüm maliyet parametreleri 3 ayrı ekonomik analiz yöntemi kullanılarak ekonomik analiz gerçekleştirilmiş ve sahalara yatırım yapmanın net şimdiki değer (NŞD) karlılığı belirlenmiştir. Bu tür bir modelde kullanılan birçok parametre belirsizlik içerdiğinden, riski en alt düzeye indirebilmek amacıyla, hesaplamalar stokastik bir yöntem olan Monte Carlo simülasyonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal yatırım, risk analizi.

ABSTRACT

2 geothermal prospects, one is big and the other is small, are discussed in this study to an extent which they are known from the studies carried out; and first the power generation capacities of these areas are calculated stochastic methods as distributions. Second, the numbers of generation, injection and dry wells to be excavated in this area are again calculated stochastic methods as distributions. Finally, all cost parameters are economically analyzed by means of using 3 different economic analysis methods within the frame of the distributions of the first two stages and the benefits of the net current value (NCV) of investment in the areas are determined. Since several of these parameters used with this model have uncertainty, Monte Carlo simulation which is a stochastic method is used during calculations in order to minimize the risk.

Key Words: Geothermal investment, risk analysis.

1. GİRİŞ

Tüm önemli iş kararları belirsizlik koşulları altında verilir. Karar veren, kendisine gelen veriler arasında mümkün olan yollardan bazılarının sonuçları kesinlikle tahmin edilemeyen olaylara bağlı olmasına rağmen, birisini seçecektir. Jeotermal aramada risk ve belirsizlik elimine edilemez. Çeşitli yöntemlerin kullanılması riski azaltmaz, fakat alet olarak riskin değerlendirilmesi, araştırılması ve sayısal olarak ortaya konmasını kolaylaştırır. Karar veren bunun üzerine riski minimize edecek karar stratejisini kurar.

Doğal enerji kaynaklarının araştırılması aşamasında bilinmeyen parametrelerin fazla olması ve ekonomideki salınımlar nedeniyle, yapılacak ekonomik analizlerin kesinlikleri azalmaktadır. Bu sebeple, daha farklı ekonomik analiz modelleri geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla kullanılan stokastik modelleme yöntemi, risk faktörlerinin sayısallaştırılması ve dağılımlar şeklinde tanımlanması

temeline dayanmaktadır. Böylece, risk faktörlerinin diğer parametrelerle olan ilişkileri daha verimli bir şekilde incelenmiş olup, yapılan analizin daha sağlıklı bir içgörü vermesi sağlanmaktadır.

Bu çalışmada, X ve Z sahaları için oluşturulan veriler ışığında, elektrik üretiminin ekonomik analizinin yapılması amacıyla, Monte Carlo Simülasyonu kullanılarak rezerv ve kârlılık hesaplamaları yapılmıştır.

2. METODOLOJİ

Bu çalışmada simülasyon tekniği kullanılarak risk analizi yapılmaktadır. Simülasyon yaklaşımı analizciye risk ve belirsizliği tanımlama seçeneğini verir. Bu tanımlama, belirsiz parametrelerin (rezervuar büyüklüğü, sondaj maliyetleri, üretilebilirlik, vb.) muhtemel dağılımları şeklinde gerçekleştirilir[1].

Bu dağılımlar bir model üzerinde birleştirilerek bir sahadan beklenebilecek karlılığın olası seviyelerinin dağılımı elde edilir. Karar verme prosesi için, beklenen değer parametresinin böyle bir dağılımdan hesaplanması son küçük bir adım olacaktır. Yöntem risk ve belirsizliğin sürekli sonuç modelidir[1].

Burada söz konusu olan simülasyonun, rezervuar simülasyonu ile bir ilgisi yoktur. Buradaki simülasyon yöntemi rastgele değişkenlerin olası dağılımlarının kombinasyonu ile elde edilir. Sonuç dağılımı belirlendikten sonra, bir "mean" değeri bulmak kolaydır. Dağılımın "mean" değeri tanımlama olarak beklenen değerdir ve *i* iskonto oranında iskonto edilmiş net şimdiki değer karının dağılımının mean değeri beklenen parasal değerdir (BPD). Bu bir parametre yönetimi olup, bir sahanın fizibilitesini belirlemek için kullanılır. Bunun yanında, kar dağılımı grafik olarak sunulduğunda, karar vericiye kar ve zararın oluşumunun muhtemel seviyelerinin olasılığı yanında aralığını da sunar. Olasılık dağılımı gibi böyle bir resim bazen çok anlamlı olabilir [1].

Simülasyonun amacı bir jeotermal sahanın geliştirilmesinden elde edilecek kar dağılımının belirlenmesidir. Bir hipotetik jeotermal saha geliştirme yatırımının aşağıda verilen denklem 1 ile gerçekleştirildiğini varsayalım. Net kârlılık 3 bağımsız değişkene dayalı bir bağıntı olsun:

$$\text{Kar} = 25x + (1+y)^2 (55z^{0.4})^{1/2} \quad (1)$$

Bu soyut bir model olup, x, y ve z değerleri bağımsız rastgele değişkenler ve kar ise bağımlı bir değişkendir. Herhangi bir işteki (jeotermal vb.) eşdeğer bağıntıda sol taraf net şimdiki değer (NŞD) karı, sağ tarafı ise rezervler, işletme masrafları, sondaj maliyetleri, vergiler, net gelirler, vb.'dir. Bağımsız değişkenler NŞD karını hesaplamada kullanılan tüm parametrelerdir (rezervler, sondaj maliyetleri, elektrik fiyatları, işletme masrafları vb.). Eğer biz bu parametrelerin gerçek değerlerini bilseydik, karı deterministik yöntem ile hesaplayabilirdik. Doğal kaynak prospektlerinin analizinde böyle ideal bir durum bulunamaz. Karar verici bunların tam değerlerini bilemez, ama muhtemel değerlerin aralıklarını bilebilir. Aralık içindeki her bir rastgele değişkenin tüm değerleri dikkate alınır ve bunlar kombine edilerek kar dağılımının aralığı hesaplanır. Gerçekte, x,y ve z değerlerinin tek değeri vardır. Sorun, yatırım kabul edilmeden önce bu değerlerin bilinmemesi, ancak her bir değişkenin muhtemel değerinin göreceli olasılığının ve aralığının bilinmesidir.

3. KULLANILAN DAĞILIMLAR

3.1 Olasılık Dağılımları

Olasılık dağılımı, herhangi bir değişkenin alabileceği değerlerin oluşma aralığının ve yoğunluğunun grafiksel bir ifadesidir. Burada yatay eksene değişkenin alacağı değerler yerleştirilir. Elde edilen olasılık da daima pozitif olacaktır.

3.2. Frekans Dağılımları

Olasılık dağılımı, herhangi bir değişkenin alabileceği değerlerin oluşma aralığının ve yoğunluğunun grafiksel bir ifadesidir. Burada yatay eksene değişkenin alacağı değerler yerleştirilir. Elde edilen olasılık da daima pozitif olacaktır. Bunun dışında veriler kümülatif (yığınsal) dağılım adı verilen bir grafik formda da gösterilebilirler. Kümülatif dağılım şeklinde gösterilmelerinin en önemli avantajı belirli bir düzeyin altında ya da üstünde bulunan birimlerin frekansının rahatlıkla görülebilmesidir.

3.3. Standart Dağılımlar

Herhangi bir değişkenin alacağı değerlerin değişimlerini rahatlıkla gözlemleyebilmek amacıyla değişkenler dağılım şeklinde verilirler. Birçok matematiksel dağılım tipi vardır. Bunlardan en sık kullanılanları aşağıdaki gibidir:

- Normal Dağılım
- Lognormal Dağılım
- Düzgün (uniform) Dağılım
- Üçgen (triangle) Dağılım

Kayaç ve akışkan özelliklerini tanımlayan değişkenler rezerv değerlendirilmesinde kullanılırken bu dağılımlardan oldukça faydalanılır. Doğrudan ölçülebilir veriler; su doymuşluğu, gözeneklilik ve ekonomik veriler normal dağılım gösterirler. Ölçülen verilerden hesaplanan veriler: geçirgenlik, rezerv büyüklüğü lognormal dağılım gösterirler. Kararsız olma durumu veya az veri örneğinin olması durumunda üçgen veya düzgün dağılımlarının kullanılması daha sağlıklıdır.

4. MONTE CARLO SİMÜLASYONU

Eğer bir jeotermal sahanın değerlendirilmesi analizi yapılıyorsa, ve simülasyon yoluyla risk ve belirsizliğin derecesi sayısallandırılmak isteniyorsa, aşağıdaki altı adımın izlenmesi gerekir:

- Tüm değişkenleri tanımla.
- Değişkenleri birbirine bağlayan bağıntıları tanımla.
- Değişkenleri değerleri tam bilinen ve bilinmeyen olarak grupta.
- Bilinmeyen değişkenlerin dağılımlarını tanımla.
- Tekrarlanan simülasyon adımları uygulayarak sonuç değerinin dağılımını tanımla.
- Karın beklenen değeri dağılımını hesapla ve grafik olarak sun.

Monte Carlo simülasyonu son yıllarda belirsizliğin hakim olduğu problemleri analiz etmek ve rezervleri değerlendirmek isteyen mühendis ve yerbilimciler tarafından giderek artan bir şekilde kullanılmakta ve bu yöntemin hem tek noktalı (deterministik) tahmine, hem de en iyi, en olası ve en kötüyü temsil eden senaryo yaklaşımına göre daha iyi bir alternatif olduğu kabul edilmektedir.

Monte Carlo simülasyonunun temeli girişteki olasılık dağılımlarını kümülatif olasılık dağılımlarına çevirmek ve bu dağılımları bir rastgele sayı üretici aracılığı ile örnekleme. Bu rastgele sayı, örneğin, kayacın verilen bir gözeneklilik değerinin gerçekleşme olasılığına karşılık gelir. Bu şekilde her bir dağılım örneklenerek ve birbiriyle çarpılarak ardışık rezerv tahminleri bulunur. Bu işlem yeterli sayıda tekrar edildiğinde "beklenen eğri" olarak da bilinen rezervlerin beklenen kümülatif dağılım fonksiyonuna ulaşılır. Bu çalışma sırasında kullanılan adım sayısı 10000'dir. Bu adım sayısı ile sonuçlar tatmin edici düzgün dağılımlar olarak bulunmuştur.

Bu simülasyonda, üçgen ve üniform dağılımlar kullanılmıştır. Kullanılan dağılım tipinin seçimi sonuç dağılımlarını önemli ölçüde etkilediği için, dağılımlar elde var olan verilere ve o parametrenin varsa, doğadaki niteliğine uygun olarak seçilmişlerdir. Gözeneklilik dağılımının değerleri, kuyu logları verileri ile karotlardan elde edilmiştir. Petrol yatırımları risk analizi konusunda çalışmaları olan Newendorp, (1975) [1] risk analizi simülasyonlarında az veri bulunduğu zaman üçgen dağılımının kullanılmasını

önermektedir. Bu simülasyon için hazırlanan üçgen dağılımlarının verileri, bu çalışmanın rezervuar tanımlanması aşamasındaki verilerden toplanmıştır. Üniiform dağılım ise alt ve üst sınırı olan değişken dağılımlar için seçilmişlerdir. Görüleceği üzere dağılım tipleri işlevlerine ve eldeki verilere bağlı olarak seçilmişlerdir. Bu simülasyon için kullanılan dağılımlar bağımsız değişkenler varsayılmıştır.

Risk analizi programı Excel® tabanlı bir yazılım olup içerisinde Monte Carlo Simülasyonu'nu da bulunduran bir programdır. Bu program sayesinde herhangi bir hesaplama için risk analizi kolaylıkla yapılabilir. İstenildiği taktirde yapılan analizler grafiklere dökülebilir. Böylece hesapların hassaslığı çok daha net gözler önüne serilebilir.

Programda kullanılan değişkenleri iki gruba ayırmak gereklidir. Girdi değişkenler ve çıktı değişkenler. Girdi değişkenler istenirse sabit olarak verilebilir, bir formülün sonucu olarak programa hesaplatırılabilir ya da daha önceki bölümde de bahsedildiği gibi dağılımlar şeklinde de tanımlanabilir. Dağılım olarak tanımlandığında program değişkeni, seçilen dağılım türüne bağlı olarak hesaplayacaktır. Simülasyon tamamlandığında sonuç ekranında yalnızca çıktı olarak tanımlanan değişkenler ve dağılım şeklinde tanımlanan girdi değişkenler görülebilir. Sabit olarak girilen değişkenler sonuç ekranında görünmezler. Ayrıca, çıktı değişkenler üzerinde formüsel işlemler de yapılabilir.

Risk analizi programı hesaplanmak istenen değerler için bir simülasyon gerçekleştirir. Yapılacak simülasyonun türü, iterasyon sayısı, kaç kez simüle edileceği gibi çeşitli ayarlar kolaylıkla değiştirilebileceği gibi, daha önceden yazılmış bir makro da simülasyon hesaplarına katılabilir. Bu çalışmada simülasyon türü olarak Monte Carlo alınmış, iterasyon sayısı da 10000 olarak seçilmiştir.

Simülasyon tamamlandığında sonuç ekranı otomatik olarak açılır ve sonuçlar bir tablo şeklinde ekrana yansır. Burada yukarıdan aşağıya doğru önce çıktı değişkenlerin simülasyon sonuçları, çıktıların altında da dağılım şeklinde tanımlanmış girdi değişkenlerin sonuçları görünür. Sonuçlar minimum, ortalama ve maksimum değerler olarak görünür ve bunların yanı sıra iki hedef değer ve iki de olasılık değeri sonuç ekranına yansır.

Ayrıca hesaplanan değerlerin yüzde olarak dağılımlanmış hesapları ayrı bir ekranda görülebilir. Burada yüzdeler dışında standart sapma, varyans, eğiklik gibi değerler de görülebilir. Girdi dağılımların hassaslık analizi sonuçları her bir değer için hesaplanan regresyon ve korelasyon katsayıları olarak bulunabilir. Son olarak da tüm bulunan sonuçlar rahatlıkla farklı grafiklere dökülebilir ya da Excel® ortamına taşınabilir.

Ekonomik benzetim (simülasyon) aşağıdaki 3 aşamada gerçekleştirilecektir:

- Jeotermal kaynak rezervleri belirlenecektir.
- Kuyu programı gelişimini ve üretim kestirimi belirlenecektir.
- Maliyetleri belirleyip ve gelirleri iskontalayıp karlılık hesaplanacaktır.

Birinci aşamadaki rezerv hesaplamalarında rezervuar hacmi, sıcaklığı, gözenekliliği, üretilebilirlik, dönüşüm faktörü, yük faktörü gibi parametreler rasgele değişkenler olarak alınmışlardır.

İkinci aşamada kuyu üretimi, üretim, kuru ve enjeksiyon kuyu sayısı, kuyuların delinme zamanı, üretim süreçleri rasgele değişkenler olarak alınmışlardır.

Üçüncü aşamada tüm maliyet faktörleri (kuyu, üretim tesisleri, boru hatları), elektrik fiyatları, vergiler, devlet hissesi ve işletme masrafları rasgele değişkenler olarak alınmışlardır.

5. SAHALARIN EKONOMİK DEĞERLENDİRİLMESİ

Risk analizi için görece olarak bir büyük ve bir de küçük saha seçilmiştir. Simülasyonun ilk aşamasında bu sahaların elektrik üretim kapasiteleri dağılım olarak hesaplanmış; ikinci aşamada bu sahalardaki üretimi sağlayacak üretim reenjeksiyon ve kuru kuyu sayıları dağılım olarak belirlenmiştir. En son

aşamada ise, tüm maliyetler (saha için ödenecek bedel dahil) dikkate alınarak bir NŞD karı dağılımları hesaplanmıştır. Her bir saha için üç aşama birlikte simüle edilmiş ve sonuç dağılımları elde edilmiştir.

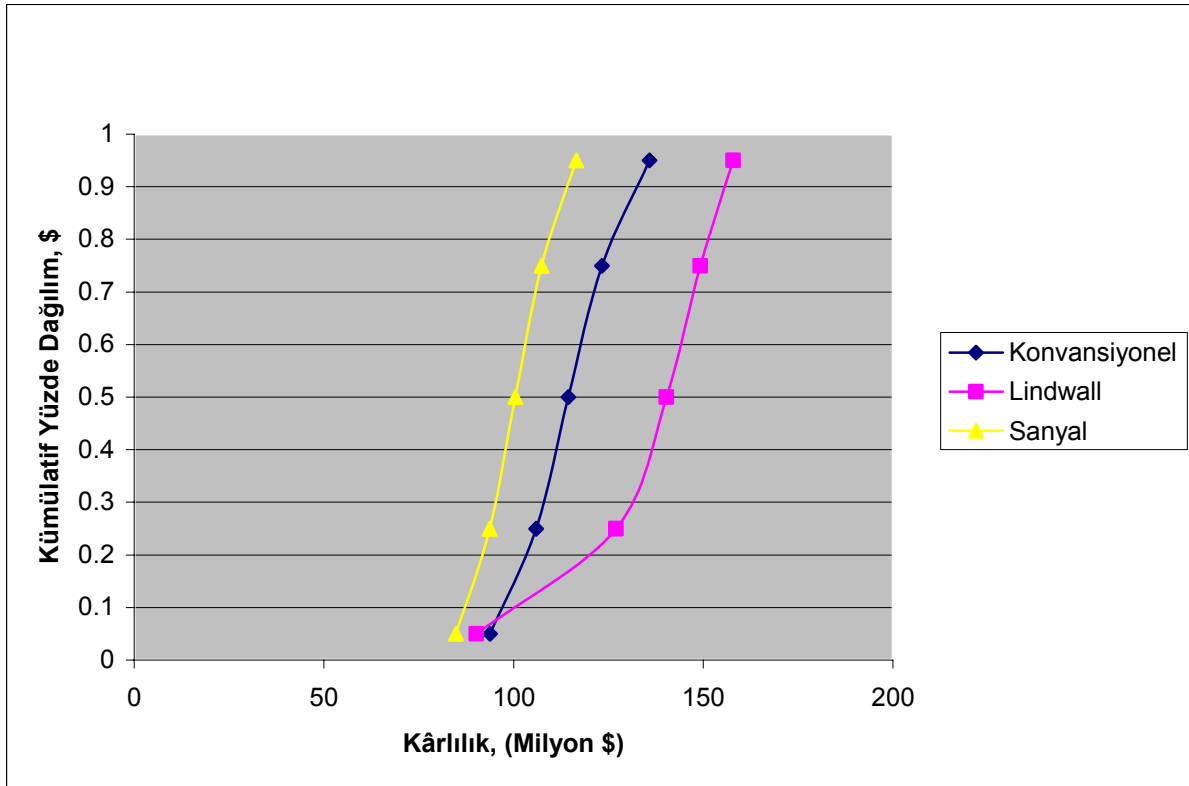
Çalışmada ekonomik analiz için kullanılan değişkenler aşağıda verilmektedir:

- Kuyu dağılımı
- İskonto faktörü
- Kuyu sayısı
- Sondaj metre maliyet dağılımı
- Sondaj derinliği
- Sondaj maliyeti
- Dağıtım maliyeti
- Yüzey donanımları maliyeti
- Arama maliyeti
- İşletme maliyeti:

Ekonomik değerlendirme için aşağıda verilen üç ayrı analiz yöntemi kullanılmıştır:

- Geleneksel ekonomik analiz [2],
- Sanyal "levelized cost" yöntemi [3] ve
- Lindwal yöntemi [4]

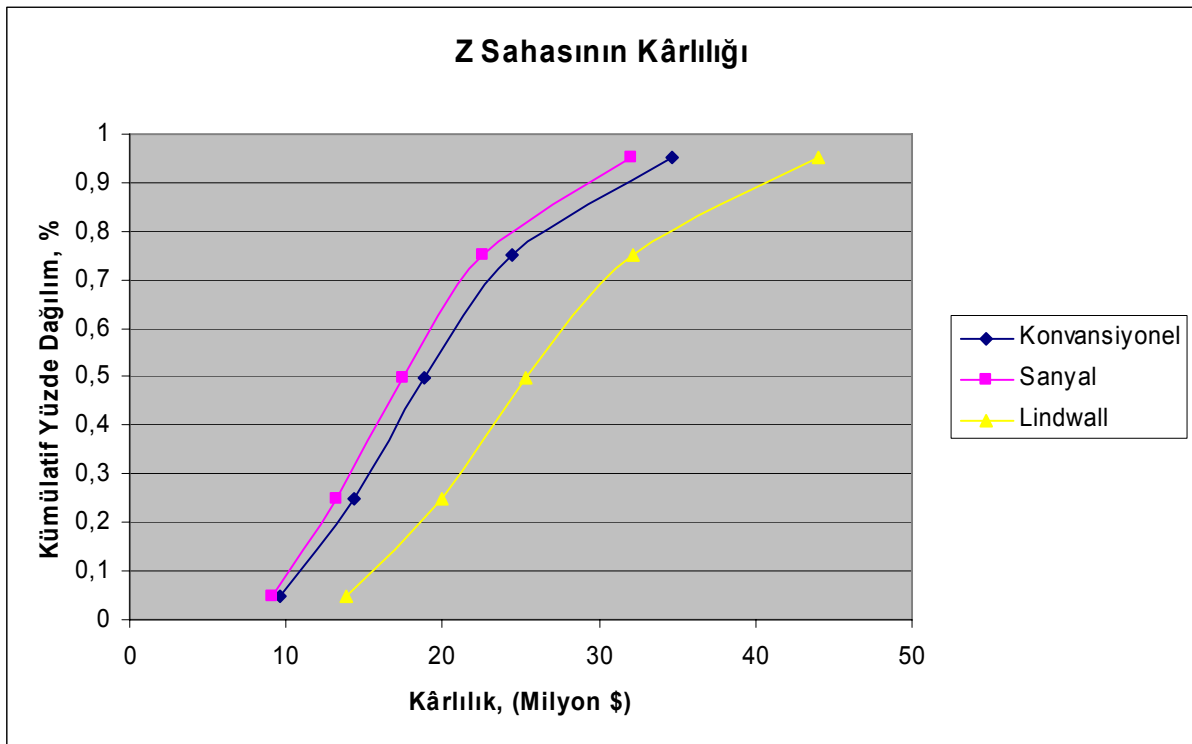
Yukarıda bahsedilen Geleneksel yöntem ile Sanyal yöntemi birbirlerine öz olarak benzemelerine rağmen bunların arasında iki temel fark bulunmaktadır: (1) geleneksel yöntem kazanç hesaplamaya yönelik iken, Sanyal yöntemi maliyet üzerinden gitmektedir, (2) geleneksel yöntemde ülkemizdeki geçerli maliyetler kullanılırken, Sanyal yönteminde uluslararası maliyetler kullanılmıştır. Her iki yöntemde de üretim proje boyunca yıl bazında aynı olduğu varsayılmaktadır. Öte yandan, Lindwal yönteminde ise sahadan yapılan üretimin proje ömrü boyunca exponensiyel olarak azaldığı varsayılmaktadır.



Şekil 1. X Sahasının Modellerine Göre Kârlılık Durumu (elektrik fiyatı=75 \$/MW_e).

Şekil 1 görel olarak kapasitesi büyük kabul edilen X sahasında 3 ayrı ekonomik model için uygulanan risk analizinin sonuçlarını vermektedir. Bu simülasyon aynı saha için elektrik fiyatının 120\$/MW_e olması durumu için de yapılmış ve karlılığın çok arttığı gözlenmiştir. NŞD karlılığının P95 değerinin tüm yöntemlerde birbirine yaklaştığı gözlenmiştir. Geleneksel yöntemle elde edilen karlılığın diğer iki yöntem arasında kaldığı gözlenmektedir. Sanyal yönteminde karlılığın düşük kalmasının nedeni uluslararası maliyetin yüksek olmasındandır. Bu uygulamada en olası değer olarak da adlandırılan diğer bir deyişle, beklenen parasal değer (BPD) P50 90-140 milyon US\$ seviyesinde bir NŞD vermektedir. Şekil 1 yatırımcı için çeşitli karlılık seviyelerini, diğer bir deyişle projenin karlılığının bir iç görüşünü sunmaktadır. Karar verici buna göre karar verecektir.

Şekil 2 ise kapasitesi düşük olan Z sahası için yapılan simülasyon sonuçlarını göstermektedir. Bu çalışmada elektrik fiyatı sabit alınmamış ve dağılım olarak uygulamaya sokulmuştur. Sahanın kapasitesinin düşük olması simülasyon sonucunda elde edilen karlılığı büyük ölçüde düşürmüştür. P95 olarak alınan değer oldukça düşüktür. En olası değer olarak adlandırılan beklenen parasal değer de (P50) diğer sahaya göre oldukça düşüktür.



Şekil 2. Z Sahası İçin 3 Ekonomik Modelle Risk Analizi Sonuçları.

SONUÇ

Sonuç olarak, risk analizi yöntemiyle, jeotermal sahalara yapılan yatırımları ekonomik olarak değerlendirebilecek ve karar vericiye yardımcı olabilecek bir simülasyon yöntemi geliştirilmiş ve iki jeotermal sahaya uygulanmıştır. Bu yöntem, karlılığın değişik seviyelerini karar vericiye gösterdiği ve yatırım için bir içgörü sağladığından, yatırım değerlendirme kararlarında yararlıdır. Riskin büyük olduğu petrol yatırımlarında, petrol yatırımcıları bu yöntemi kullanarak doğal kaynaklardan kaynaklanan belirsizlik ve risklerini minimize etmektedirler.

KAYNAKLAR

- [1] NEWENDORP, P.D., "Decision Analysis for Petroleum Exploration", Penn Well Books, Tulsa Oklahoma, 1975.
- [2] SAYI, T., "Jeotermal Sahalarda Çeşitli Modellere Göre Ekonomik Analizler", *Lisans Tezi*, İTÜ. Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği, İstanbul, sayfa: 3-21, 2005.
- [3] SANYAL, S.K., "Cost of Geothermal Power and Factors that Affect It", Twenty-Ninth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, January 26-28, 2004.
- [4] LINDAL, R.C., "On the Optimum Development of (geothermal) Resources", Proceedings NZ V 13 pp 207-212, 1991.

ÖZGEÇMİŞ

Ümran SERPEN

1945 yılı İzmir doğumludur. 1967 yılında İTÜ Petrol Müh. Böl.'den mezun olduktan sonra 1974 yılına kadar TPAO ve MTA'da petrol ve jeotermal sahalarda çalışmıştır. 1974 yılından 1987 yılına kadar ELECTROCONSULT adlı bir İtalyan mühendislik ve danışmanlık şirketinde El Salvador, Guatemala, Meksika, Nikaragua, Kosta Rika, Arjantin, Şili, Etiyopya, Kenya, Filipinler, Rusya ve İtalya gibi ülkelerin çeşitli jeotermal projelerin çeşitli aşamalarında danışmanlık yapmıştır. 1987 yılından itibaren İTÜ Petrol ve Doğal Gaz Müh. Böl.'de Öğr. Gör. Dr. olarak çalışmaktadır. İlgili alanları ise jeotermal sondaj ve kuyu tamamlama, jeokimya, ekonomi, jeotermal kuyu logları ve testleri vb. konulardır.

Tolga KAYGAN

1982 İstanbul doğumludur. İTÜ Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümünü 2008 yılında bitirmiştir. TPAO Adıyaman ve Trakya Bölgelerinde sondaj, kuyu tamamlama ve üretimde pratik çalışmalar yapmıştır. Son zamanlarda ilgi alanı jeotermal sahalarda risk analizidir.