

# MADENCİLİK YATIRIMLARI RİSK DEĞERLENDİRMESİ İÇİN BİR BİLGİSAYAR YAZILIMININ GELİŞTİRİLMESİ

Development of a Computer Program for Risk Evaluation of Minerals Industry Investments

Özgür AKKOYUN<sup>(\*)</sup>  
Erhan ÇETİN<sup>(\*\*)</sup>

## ÖZET

Bu çalışmada, madencilik yatırımları ile ilgili olarak yatırım riski değerlendirmesine yardımcı olabilecek bir bilgisayar yazılımı geliştirilmiştir. Yazılım, riskli yatırımlar olarak değerlendirilen madencilik yatırımları için, geçmiş yıllarda gerçekleşen bilgileri girdi olarak alıp bir benzetim uygulamaktadır. Bu benzetim sonucunda yazılım, madencilik yatırımının ömrü boyunca ortaya çıkması muhtemel sonuçları belirleyerek yatırımcıya yardımcı olmaktadır. Çalışma sonunda, iki maden yatağı için bilgiler yazılıma yüklenip denenmiştir. Denemede her iki maden yatağının sabit bilgileri eşit alınmış, değişken bilgiler ise iki farklı dağılım şeklinde girilmiştir. Yazılıma birinci yatak için düşük varyanslı, ikinci yatak için yüksek varyanslı bir maliyet ve satış fiyatı dağılımı ve tenör-tonaj dağılımı girilmiştir. Bu sayede, fiyat ve maliyetlerdeki istikrarın ya da dalgalanmaların ve tenör-tonaj dağılımının homojenitesinin yatırım kararları açısından ne derece önemli olduğu gerçeği ortaya konulmaya çalışılmıştır.

**Anahtar sözcükler:** Madencilik Yatırımı, Risk Analizi, Yazılım, Monte Carlo

## ABSTRACT

In this study, a computer program that can be used for evaluation of investment risks for minerals industry is developed. The program applies a simulation for mine investments which are considered as risky, by using values of recent years as input data. At the end of this simulation, program helps investors by showing possible results of a mining project for the life of the mine. Finally, data about two mineral deposits are searched by means of the program. For the case study, fixed values are chosen as the same for both of the deposits, variables are chosen as two different distributions. Costs and prices data and grade-tonnage data with a lower variance entered for the first deposit and that with a higher variance entered for the second deposit. Thus, it is aimed to show how important the stability or fluctuations of prices and costs and the homogeneity of grade-tonnage distributions are for investment decisions.

**Keywords:** Mine Investment, Risk Analysis, Software, Monte Carlo

---

<sup>(\*)</sup> Dr., Dicle Üniversitesi, Müh. Mim. Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, DİYARBAKIR oakoyun@dicle.edu.tr

<sup>(\*\*)</sup> Dr., Dicle Üniversitesi, Müh. Mim. Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, DİYARBAKIR

## 1. GİRİŞ

Yatırım projelerinde temel amaç, hedeflenen mal veya hizmet üretimi sürecinin girişimci ya da kamu yararı açısından en az maliyetle ve en fazla yararı sağlayacak şekilde önceden belirlenen süre içinde gerçekleştirilmesidir. Girişimcileri yatırım yapmaya yönlendiren temel unsur kazançtır. Bu nedenle farklı yatırım projeleri arasından en yüksek kazanç getirmesi öngörülenin seçilmesi beklenir. Yatırımın gerçekleşmesi için belirli bir miktar varlığını harcamayı göze alan girişimcilerin çeşitli yatırım seçenekleri içinden en kazançlı ve en az riskli olanını seçmek istemeleri doğaldır.

Yatırım projelerinin başlangıçta öngörülenden farklı bir sonuç ile karşılaşmasına risk denir (Durmaz, 2003). Ancak genel kanı, sonuçların öngörülenin altında gerçekleşmesi halinde riskin oluştuğu yönündedir.

En büyük risk, yatırımdan beklenen faydanın sağlanamamasıdır. Gerçek hayatta tüm girdiler, elemanlar, çıktılar ve yatırımın gerçekleştirildiği sosyal ve siyasal yaşamın kendisi belirsizlik taşırlar. Bu belirsizlikler toplanarak sonuçta yatırımdan elde edilecek faydanın öngörülmesini zorlaştırırlar. Riski yaratan bu belirsizliklerdir. Risk analizi çalışmalarının amacı, belirsizlikleri sayısal değerlere çevirerek yatırımın taşıdığı riski anlamak ve doğru yatırım kararı verilmesine yardımcı olmaktır (Durmaz, 2003). Belirsizliklerin sayısal değerlere dönüştürülememesi durumunda sayısal risk analizi yapılamaz.

Yatırımın kendi sektörü içinde alacağı rolün ve getirisinin anlaşılması, bu konudaki risklerin açıkça ortaya konulması, ancak onun içinde bulunduğu çevrenin doğru anlaşılıp analiz edilmesi ile mümkün olabilir. Risk analizi için bir çok değişik koşul değerlendirilmelidir. Bunlardan bazıları; ekonomik, teknolojik ve sosyal nitelikli olan genel çevre koşulları ve yasalar, pazar koşulları ve mali kuruluşlarla ilgili olan yakın çevre koşullarıdır. Yatırım projelerinde risk çeşitleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

### Sistematiik riskler

- Faiz oranı riski
- Enflasyon riski
- Piyasa riski

### Sistematiik olmayan riskler

- Yönetim riski
- Sektör riski

- Politik risk
- Finansal risk
- Faaliyet riski

Yatırım projelerinin değerlendirilmesi, elde edilmesi umulan verimin ve nakit akımlarının ölçülmesi ilkesine dayanır. Belirlik altında proje değerlendirme sürecinde, maliyetler, satışlar, çeşitli ekonomik etkenler gibi belirsiz değişkenler proje değerlendirmede tek değerli kesin tahminler olarak alınır. Bu tahminlerden nakit akışları üretilir. Daha sonra bir özet fayda rakamı (net bugünkü değer, fayda maliyet oranı, iç verim oranı) hesaplanarak önemli değişkenlerin değerleri değiştirilerek özet fayda rakamı yeniden hesaplanır. Böylece sonuçlara en çok hangi faktörlerin ne ölçüde etki ettiği bulunur. Bu çalışma duyarlılık analizidir. Karar vericiler, yargı ve inceleme aşamasında yatırım projesinin getiri oranını, duyarlılık analizi sonuçları ile birlikte diğer yatırım olanaklarını ve hesaplamalarda göz önüne alınmayan diğer soyut etkenleri inceleyerek karara ulaşırlar (Hertz, 1964).

Madencilik yatırımlarının değerlendirilmesinde de çok sayıda belirsizlik ve bu belirsizliklerden doğan riskler vardır. Bu belirsizliklerin başında maden yataklarının jeolojik yapısı gelir. Teknolojik ve ekonomik kısıtlamalardan dolayı bir maden yatağındaki bazı jeolojik ve mineralojik koşullar önceden belirlenemedikleri için, üretim süreci sırasında maden kalitesinde, yatak geometrisinde, içeriğinde ya da mineral özelliklerinde meydana gelebilecek değişikliklerin her biri risk unsurudur. Bu belirsizlikler nedeniyle madencilik yatırımları riskli yatırımlar olarak nitelenmekte ve değerlendirme sonuçları diğer yatırımlardan daha az kesinlik taşımaktadır (Çelebi ve Seyrantepe, 1990).

Madencilik sektöründe risk analizi için yaygın olarak kullanılan yöntemler; duyarlılık analizi, risk faktörünü içeren parametreler (indirgeme oranı, geri dönüş süresi, vb.), risk benzetim yöntemi, Monte Carlo benzetim yöntemi gibi analizlerdir. Bu yöntemlerden duyarlılık analizi, madencilikte uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. (Bennett, 1970), (Brown, 1970). Monte Carlo benzetim yöntemi ise en yaygın olarak kullanılan yöntemlerden birisidir (Aziz vd., 1977), (Bilodeau ve Park, 1988). Monte Carlo yöntemine duyarlılık analizi yönteminin daha gelişmiş hali denilebilir (Nasuf ve Orun, 1990). Yatırım risklerinin değerlendirilmesi ve yatırım risklerin azaltılması için bir çok değişik yöntem önerilmiştir.

Bu yöntemler ile ilgili bilgiler Kavrakoğlu (1992), Tefvik (1997) ve Durmaz (2003)'dan özetlenerek oluşturulan Çizelge 1'de verilmiştir.

## 2. BENZETİM YÖNTEMİ İLE RİSK ANALİZİ

Son yıllarda en çok kullanılan risk analizi yöntemlerinden birisi de benzetim yöntemidir. Bu yöntemde söz konusu yatırım ile ilgili olarak risk değerlendirmesine neden olan parametreler belirlenip, bu parametrelerin nasıl dağılım gösterdikleri tespit edilmeye çalışılır. Maden satış fiyatı ya da üretim maliyeti gibi ekonomik bir parametre için, geçmiş yıllardaki bilgiler veri olarak kullanılabilir.

Benzetim yöntemlerinden en yaygın kullanılanı Monte Carlo benzetim yöntemidir. Bu yöntemde, belirli bir dağılıma sahip girdiler esas alınarak rasgele sayılar üretilir. Yeni verilere karşılık gelen bu rasgele sayılar ile hesaplamalar yapılır.

Bu çalışmada, risk analizine etki edecek olan değişkenler tespit edilip bunların dağılımları belirlendikten sonra, normal dağılımı ve buna bağlı olan z tablosu değerlerini esas alan bir Monte Carlo uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemde, risk analizi için seçilmiş olan veri kümesi normal dağılım olarak alınıp ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanır. Ardından z tablosu değerlerinin de yardımı ile, bu veri grubunun ortalamasını ve standart sapmasını bozmayan, dolayısıyla bu grubun dağılımına uygun bireyler gibi davranan, rasgele değerler üretilir ve hesaplamalar yapılır.

Bu tür bir benzetimde önemli nokta, girdi değerlerinin temsil açısından yeterince fazla sayıda olması ve rasgele üretilen verilerin girdi grubunun ortalama ve standart sapmasına uygun veriler olmasıdır.

Değişkenlerdeğerleriüretildiktensonrabelirlenen ekonomik göstergeye uygun olarak hesaplamalar

Çizelge 1. Yatırım Riskleri Değerlendirme Yöntemleri

Yöntem	Açıklama
Baş baş noktası analizi	Bir projede kar ve zararın baş baş olduğu ya da kar ile zararın eşit olduğu üretim noktasını belirlemeyi amaçlar. Bir projenin baş baş noktasındaki üretim miktarı ne kadar fazla ise proje o kadar risklidir. Fiyat ayarlamaları yapılırken baş baş noktası fiyatı, kar edilebilecek en düşük fiyat düzeyini göstermektedir.
Duyarlılık analizi	Bir projenin kapsamında yer alan değişken ve parametrelerin nasıl ve hangi derecede projenin getirilerini etkileyeceklerini inceleyen bir yöntemdir. Temel amacı bir değişkenin değişim aralığı içindeki değişmelerinin projenin karlılığı üzerindeki etkilerini hesaplamaktır. Böylece sonuçları en çok etkileyen değişkenler saptanır.
Karar ağacı analizi	Projenin hayata geçmesinden sonra her aşamasını izleyen kararlar bir önceki aşamada gerçekleşen duruma bağlı olarak farklılık gösterecektir. Her aşamada çeşitli seçeneklerin bulunması sonucu aşamalar bakımından dallanmalar görülecektir. Bu yöntem ile çok karmaşık gibi görünen karar durumları açık görülür hale gelir ve standart sapma cinsinden risk hesabı yapmak mümkündür.
Benzetim	Geçmiş yıllardaki verileri alıp dağılımlara dönüştürerek sonuçları tahmin etme ilkesine dayanır. Bu çıktı yönetimin önemli belirsiz değişkenler konusunda daha bilgili kılınmasını sağlar.
Beklenen Parasal Değer analizi	Kabaca kazançlar ile bu kazançlara ulaşılma ihtimallerinin çarpılmasından elde edilen sonuçların toplamıdır.
İskonto Oranının Kullanılması	İskonto oranlarında değişiklik yapılarak risk kontrolü yapılabilir. Daha riskli projeler için daha büyük iskonto oranları kullanılır, böylece indirgenmiş kar değerleri düşük tutulmuş olur.
Belirlilik eşdeğeri	Gelecekte belirli bir yılda elde edilmesi tahmin edilen ve risk taşıyan bir nakit girişi, işletme yöneticileri için aynı tarihte elde edilmesi kesin olan daha küçük bir miktarda nakit girişine tercih edilebilir. Risk taşıyan ve kesin olan nakit akışı arasındaki oran q olarak alınırsa $0 < q < 1$ olan bir belirli katsayıya dönüşür. Bu katsayı risk arttıkça sifıra yaklaşır.
Fayda fonksiyonları	Yatırımcının bir getiri için hangi ihtimaller içinde ne kadar riski göze aldığını gösteren ve bir takım testler ile ortaya çıkarılan tamamen yatırımcının özelliklerine bağlı bir fonksiyondur. Daha çok yatırımcının riske olan yaklaşımını anlamak için kullanılır.

yapılır. Yatırımın hesaplanan ekonomik ömrü boyunca elde edilecek gelir ve gider hesaplanır. Bu işlem belirli sayıda tekrarlanarak, sonuçların belirli bir güven sınırı içinde elde edilmesi sağlanır. Hava tahmini gibi çok karmaşık problemlerde bilgisayar kapasiteleri dikkate alınarak belli bir değere ulaşıldığında benzetim sonlandırılırken, daha basit problemlerde sonuçların durağanlığa ulaştığı uygun bir değerde de sonlandırılabilir. Bir optimum hedefin olmadığı bu çalışmada ise, sonuçların belirli bir durağanlığa ulaşması söz konusu değildir. Geliştirilen yazılımda bu değer 1-500 aralığında alınmış ve seçimi kullanıcıya bırakılmıştır. Hesaplamaların ardından, standart sapma ve ortalama hesaplanıp, karar verilmesi için sonuçlar bulunur.

### 3. YAZILIMIN GELİŞTİRİLMESİ

Madencilik yatırımlarının risk analizinde kullanılacak yazılımı geliştirmek için @MSVisualBasic6.0 programı kullanılmıştır. Yazılım, verilerin girilmesi ve sonuçların gösterilmesi için pencereler ile girdileri normal dağılıma dönüştüren, rasgele sayı üreten, hesaplamaları yapan ve sonuçları grafik olarak yansıtan modüllerden oluşmaktadır.

#### 3.1. Girdiler ve Hesaplamalar

Yazılım, bir maden yatağı için maden işletme kapasitesini, cevher işleme kapasitesini, rafineri ve/veya pazarlama kapasitesini, sabit maliyeti, cevher kazanım oranını ve indirgeme oranını sabit bilgi olarak kullanıcıdan almaktadır. Ayrıca madencilik maliyeti, konsantre maliyeti, rafineri ve/veya pazarlama maliyeti, satış maliyeti ve tenör-tonaj dağılımı bilgileri de değişken olarak hesaplamalara katılmaktadır. Bu bilgiler kullanılarak sonuçta elde edilecek kazancın hesaplanması için literatürde Lane (1964) yaklaşımı olarak bilinen bağıntı kullanılmıştır (1).

Bu bağıntıda, bir madenden üretilen ham cevherin konsantre tesisinde işlenmesi sonrasında ya da rafineri sonrasında belirli bir satış fiyatı ile satılması bilgileri değerlendirilerek bir yıllık kar hesaplanabilmektedir. Tenör-tonaj dağılımı ve sınır tenörü bilgilerinin kullanılması sonrasında maden yatağının işletme ömrü de ayrıca hesaplanabilmektedir.

Bu ömür süresi içinde her yıl için elde edilecek

kar, Lane (1964) yaklaşımı ile hesaplanıp belirli bir indirgeme oranı ile bu karın bugünkü değeri hesaplanmakta, böylece maden yatağının ömrü süresince elde edilecek toplam indirgenmiş kar hesaplanabilmektedir. Bu hesaplamalarda kullanılan kar bağıntısı aşağıdaki gibidir;

$$P = (s - r) * Q_r - c * Q_c - m * Q_m - f * T \quad (1)$$

Burada;

P : Kar (\$)

s : Satış fiyatı (\$/ton)

r : Rafineri ve/veya pazarlama maliyeti (\$/ton)

c : Cevher işleme maliyeti (\$/ton)

m : Madencilik maliyeti (\$/ton)

Q<sub>r</sub> : Konsantre Cevher miktarı (ton)

Q<sub>c</sub> : Cevher işleme tesisine giden maden miktarı (ton)

Q<sub>m</sub> : Çıkarılan maden miktarı (ton)

f : Sabit maliyet (\$)

T : Süre

Buradan elde edilen yıllık karların bugünkü değerini, yani indirgenmiş karı belirlemek için ise indirgenmiş kar hesabı yapılmalıdır. İndirgenmiş kar hesabı için kullanılan ilişki aşağıda verildiği gibidir (2);

$$D = \sum_{n=1}^m \frac{P}{(1+d)^n} \quad (2)$$

Burada;

n : yıl

m : işletme ömrü

DP : İndirgenmiş kar

d : İndirgeme oranı

#### 3.2. Dağılımların Düzenlenmesi

Belirli bir dağılım elde edebilmek için bazı değişkenler ile ilgili olarak, o değişkenlerin yıllardaki gerçek değerlerinin kullanıcı tarafından girilmesi gerekmektedir. Yazılımda bu süre en fazla 10 yıl olmak şartı ile kullanıcıya bırakılmıştır. Buna rağmen benzetim için gerekli olan ortalama ve standart sapmaların hesaplanabilmeleri için en az iki verinin gerekli olduğu ve veri sayısı arttıkça benzetim sonuçlarının daha sağlıklı olacağı unutulmamalıdır. Girilmesi gereken değişkenler, madencilik maliyetleri, konsantre maliyetleri, rafineri ve/veya pazarlama maliyetleri ve satış fiyatları bilgileridir. Bu bilgiler kullanıcı tarafından

yazılımın ilgili penceresi kullanılarak girilmektedir.

Geçmiş yıllara ait girilen veriler kullanılarak, ortalama ve standart sapma hesaplanır. Daha sonra yazılım, standart sapması ve ortalaması bilinen bu kümeden yararlanarak o kümenin normal dağılımına uygun, aynı standart sapma ve ortalamaya sahip çok sayıda rasgele değer üretir. Bu işlem yazılım içerisine yerleştirilen bir alt program ile yapılmaktadır.

Bu alt program, önce 1-10000 aralığında rasgele bir sayı üretir. Bu sayının normal dağılıma ait z tablosundaki yerine göre belirli bir olasılık çarpanı ortaya çıkar.

Böylece, kullanıcının belirleyeceği benzetim tekrar sayısı kadar yeni veri üretmek mümkün olmaktadır.

Maden yatakları ile ilgili hesaplamalar yapılırken bir başka önemli değişken de maden yatağının tenör-tonaj dağılımı ve sınır tenörü değeridir. Yazılım, sınır tenörü değerini ve tenör-tonaj dağılımını 10 ayrı tenör aralığı halinde girdi olarak almaktadır. Kullanıcının elinde daha az tenör aralığı verisi var ise bunlar da kullanılabilir. Kullanıcının girdiği her bir tenör-tonaj aralığı için normal dağılıma uygun tonaj verileri benzetimleri elde edilmektedir.

Burada önemli bir nokta maden yatağı tenör-tonaj dağılımının homojenliği ile ilgili bilgidir. Bu bilgi kullanıcıya kolaylık olması açısından bir cetvel üzerinden verilmiştir. Buna göre 1-10 aralığında bir homojenite cetveli düzenlenerek maden yatağı için bir derece girilmesi istenmektedir. Bu girilen değere uygun olarak normal dağılım sınırları yazılım tarafından hesaplanıp kullanıcıya eş zamanlı olarak gösterilmekte ve seçtiği homojenlik derecesinin ne anlama geldiği hakkında bilgi verilerek en doğru dereceyi seçmesine yardımcı olunmaktadır.

Bu homojenlik derecesi kullanılarak rasgele sayı üretici ve z tablosu yardımı ile her bir tenör aralığı için çok sayıda tonaj verisi üretilebilmektedir. Bu veriler maden yatağının ömrünün hesaplanmasında da kullanılmaktadır.

Maden yatağı ile ilgili olarak sabit değerler, değişkenler ve benzetim süreci içinde rasgele yenilenen değerler elde edildikten sonra maden yatağının hesaplanan ömrü içinde indirgenmiş

kar hesaplaması yazılım tarafından yapılır ve kullanıcı tarafından belirlenen benzetim tekrar sayısı kadar sonuç değeri üretilerek grafik olarak sonuç ekranında gösterilir.

Bu sonuçların ortalama ve standart sapma değerleri de ayrıca hesaplanmaktadır. Bu değerler kullanılarak ortalama indirgenmiş kar, risk faktörü ve kullanıcının gireceği bir indirgenmiş kar değerinin bu koşullarda gerçekleşme yüzdesi yine yazılım tarafından hesaplanarak sonuç ekranında verilir (Şekil 1). Risk faktörü, benzetim sonucu elde edilen indirgenmiş kar değerlerinin standart sapmalarının ortalamalarına oranı olarak tanımlanabilir. Risk faktörü, yatırım kararı açısından önemli bir parametredir (Dowd, 1994) ve aşağıdaki gibi formüle edilebilir;

$$R = \frac{S}{m} \quad (3)$$

Burada;

R : risk faktörü,  
 $\sigma$  : standart sapma,  
m : ortalamadır.

### 3.3. Algoritma

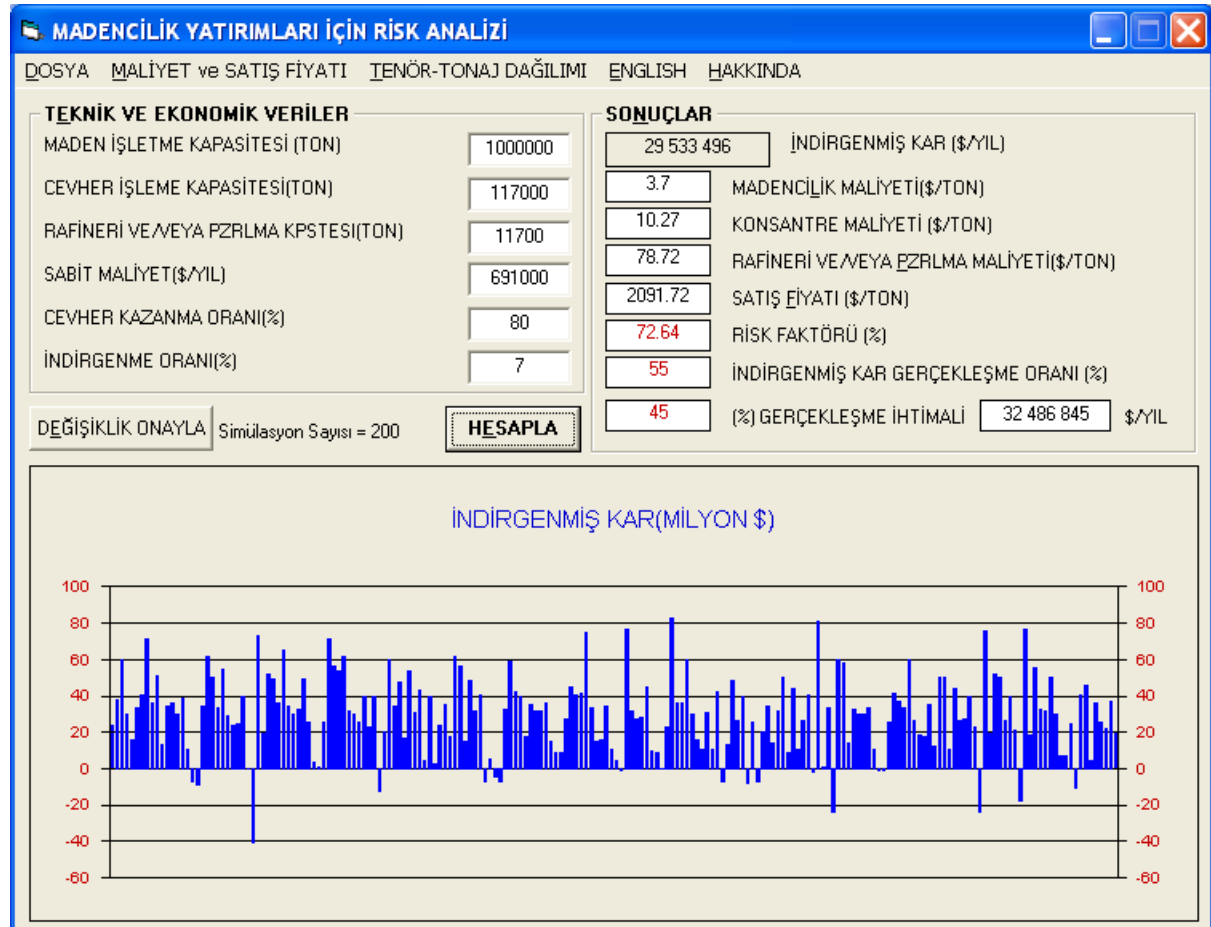
Yazılım, öncelikle hesaplamalar için ihtiyaç duyduğu bilgileri yüklemek için çalışmaya başlamaktadır. Bu bilgilerin bir bölümü (1) numaralı eşitlikle verilen hesaplama için gerekli bilgilerdir. Daha sonra tenör-tonaj dağılımı ve sınır tenörü değerini ve üretim ile ilgili kapasiteleri de kullanarak ömür hesaplaması yapılmaktadır. Ömür hesaplaması gelecek yıllar ile ilgili olarak bir yıl için hesaplanan karlar kullanılarak, indirgenmiş kar hesabı yapmak için gereklidir.

Daha sonra, başlangıçta 100 olarak alınan ancak kullanıcı tarafından değiştirilebilen bir benzetim sayısı kadar, her bir tonaj dilimi için tonaj, madencilik maliyetleri, konsantre maliyetleri, rafineri ve/veya pazarlama maliyetleri ile satış fiyatları bilgileri kendi dağılım değerlerine uygun olarak yeniden rasgele üretilip hesaplamalar yeniden yapılarak dağılım sınırları içindeki her ihtimal için kar ve indirgenmiş kar yeniden hesaplanır.

Bu hesaplamaların ortalama ve standart sapmaları bir yandan hesaplanırken bir yandan da indirgenmiş kar değerleri için benzetim sayısı kadar grafikte sütun oluşturulur. Bu sayede kullanıcı her bir benzetim sayısı için indirgenmiş kar

Çizelge 2. Yazılım Özet Algoritması

ADIM	İŞLEM
	Benzetim sayısı=0
1	Benzetim sayısını bir artır
2	Madencilik kapasitesi,cevher işleme kapasitesi, rafineri ve/veya pazarlama Kapasitesi, sabit maliyet, cevher kazanma oranı ve indirgeme oranı verilerini al
3	Rasgele sayılar üreterek madencilik maliyeti, konsantre maliyeti, satış fiyatı ve rafineri ve/veya pazarlama maliyeti verilerinden dağılımlarına uygun yeni sonuçlar üret.
4	Rasgele sayılar üreterek tenör-tonaj dağılımına uygun yeni tonaj sonuçları üret
5	Maden yatağı ömrünü hesapla
6	Maden yatağı ömrüne uygun olarak kar ve indirgenmiş kar hesapla
7	Hesaplanan değeri grafikte göster
8	Benzetim sayısı = İstenen benzetim sayısı ise 9. adıma, değilse 1. adıma git
9	Benzetim sayısı adedi kadar hesaplanan indirgenmiş kar değerlerinin ortalamasını ve Standart sapmasını hesapla
10	Risk faktörünü hesapla
11	Kullanıcının girdiği indirgenmiş kar değeri için gerçekleşme yüzdesini hesapla ve dur



Şekil 1. Yazılım ana penceresi



**GEÇMİŞ 10 YIL İLE İLGİLİ BİLGİLER**

MADENCİLİK MALİYETLERİ (\$/TON)		
5	4	ORTALAMA
4	4	3.7
3	3	STANDART SAPMA
4	4	0.64
3	3	HESAPLA

SATIŞ FİYATLARI (\$/TON)		
2 164	1 577	ORTALAMA
2 275	1 556	2093,7
1 652	1 779	STANDART SAPMA
1 573	2 868	659,55
1 814	3 679	HESAPLA

CEVHER ZENGİNLEŞTİRME MALİYETLERİ(\$/TON)		
11	8	ORTALAMA
9	11	10,2
10	11	STANDART SAPMA
11	10	0,98
10	11	HESAPLA

RAFİNERİ VE/VEYA PAZARLAMA MALİYETİ (\$/TON)		
80	81	ORTALAMA
79	82	78,9
81	76	STANDART SAPMA
82	75	2,62
78	75	HESAPLA

Şekil 2. Geçmiş yıllar ile ilgili verilerin girileceği yazılım penceresi

**TENÖR-TONAJ DAĞILIMI**

TENÖR(%)	TONAJ (TON)	
0,0	0,3	2 500 000
0,3	0,5	2 500 000
0,5	1,1	2 600 000
1,1	1,5	2 800 000
1,5	2,0	2 200 000
2,0	2,5	3 400 000
2,5	3,0	3 200 000
3,0	3,5	3 900 000
3,5	5,0	4 500 000
5,0	7,0	1 650 000

MADEN YATAĞI TENÖR/TONAJ DAĞILIMI HOMOJENLİĞİ

1  2  3  4  5  6  7  8  9  10

SINIR TENÖR(%)

TOPLAM TONAJ(TON)

Şekil 3. Tenör-tonaj dağılımı ve homojenite veri giriş penceresi

değerini grafikte görebilir. Yazılımın veri girişi, sonuçların gösterilmesi ve grafiğin çizilmesi için kullanılan ana penceresi Şekil 1'de verilmiştir. Geçmiş yıllara ait bilgilerin kullanıcı tarafında girildiği ve dağılımlara uygun hesaplamaların

yapıldığı pencere Şekil 2'de, tenör-tonaj dağılımı, sınır tenörü ve maden yatağı homojenitesi ile ilgili yazılım penceresi Şekil 3'de verilmiştir. Yazılımın basitleştirilmiş algoritması ise adımlar halinde Çizelge 2'de verildiği gibi yazılabilir.

#### 4. UYGULAMA VE SONUÇLAR

Yazılım, geliştirildikten sonra, bir bakır madeni ile ilgili bilgiler girilerek denenmiştir. Madencilik ve piyasa bilgileri ile maden yatağı tenör-tonaj dağılımı bilgilerinin, indirgenmiş kar dağılımı gerçekleşme oranları ve risk faktörü üzerindeki etkilerini görebilmek için iki farklı özellikte veri grubu ile yazılım denenmiştir. Birinci gruptaki verilerin geçmiş yıllardaki dağılımları birbirine yakın, küçük bir varyans ile gerçekleşirken ikinci grup veri maden yatağı geçmiş yıllar ile ilgili verilerinin dağılımı biraz daha büyük varyansa sahip olarak seçilmiştir. Dağılımdaki varyansın sonuç üzerindeki etkisini daha iyi görebilmek için işletme kapasitesi ve sabit maliyetler gibi girdiler her iki durum için de sabit tutulmuştur. Ayrıca, tenör-tonaj değerleri aynı olmasına rağmen, birinci durumda tenör-tonaj homojenite derecesi 1 iken ikinci durumda 10 alınmıştır. Buna göre birinci durum (görece olumlu dağılım) ve ikinci durum (görece olumsuz dağılım) ile ilgili veriler ve bu veriler ile ilgili yazılımın ürettiği sonuçlar Çizelge 3'de verilmiştir.

Görüldüğü gibi üretim, işleme ve pazarlama maliyetleri ile kapasite verileri aynı seçilmesine karşın geçmiş on yıl ile ilgili maliyet ve satış bilgileri farklı olduğunda ve tenör-tonaj dağılımının homojenitesi farklı olduğunda, yatırımın ortalama indirgenmiş kar değerleri ve risk faktörü değerleri birbirinden çok farklı çıkmaktadır. Bu durum, ekonomik istikrarın ve fiyat dalgalanmalarının

yatırım kararları üzerinde ne kadar önemli etki yaptığını göstermesi bakımından dikkate değerdir.

Ayrıca maden yatağının tenör-tonaj dağılımının da homojen bir yapı göstermesi yatırım kararı üzerinde önemli etki yapmaktadır. Homojenlik derecesi büyük olunca benzetim sırasında rasgele üretilen tonaj değerleri büyük varyans ile üretilecek ve farklı ömür ve ekonomik sonuçlara ulaşılacaktır. Oysa düşük homojenlik değeri ile birbirine yakın tonaj değerleri üretilecek ve ortalamadan büyük bir sapma gözlenmeyecektir. Sapma az olunca risk faktörü de azalacaktır. Buradan, maden yatağının tenör-tonaj dağılımının homojen olmasının yatırım kararı üzerinde olumlu etkisinin olacağı sonucuna varılabilir.

#### KAYNAKLAR

Aziz, A., Janakiraman, C., Werner, A.B.T., 1977; A Computer Simulation Model for the Assessment of Mineral Resources, 14th APCOM, R.V. Ramani ed., AIME, NY, pp.1182-1196.

Bennett, H.J., 1970; Financial Evaluation of Mineral Deposits using Sensitivity and Probabilistic Analysis Methods, US Bureau of Mines, IC 8495, 82 p.

Bilodeau, M.L., Park, Y.H., 1988; Computer Aided Mine Investment Analysis, Computer Applications

Çizelge 3. Yazılımda Denenen İki Durum ve Sonuçları

Veriler	Durum A	Durum B
Maden işletme kapasitesi (ton)	1 000 000	1 000 000
Cevher işleme kapasitesi (ton)	900 000	900 000
Rafineri /pazarlama kapasitesi (ton)	25 000	25 000
Sabit Maliyet (\$)	850 000	850 000
Cevher kazanma oranı (%)	80	80
İndirgenme oranı (%)	7	7
Madencilik maliyeti (\$/ton-tüvenan) ortalama (s.sapma)	6,0 (1,18)	6,1 (4,42)
Konsantre maliyeti (\$/ton-tüvenan) ortalama (s.sapma)	15,6 (1,69)	14,8 (7,95)
Rafineri /pazarlama maliyeti (\$/ton-konsantre) ortalama (s.sapma)	78,9 (2,62)	89,7 (31,22)
Satış fiyatı (\$/ton) ortalama (s.sapma)	1673,7 (9,87)	1893,7 (87,72)
Tenör-tonaj homojenite (1-10)	1	10
<b>Sonuçlar</b>		
Ortalama İndirgenmiş kar (milyon \$)	108 -178	80 -230
Risk faktörü (%)	29-32	63-233



inthe Mineral Industry, Balkema, Rotterdam

Brown, G. A., 1970, The Evaluation of Risk in Mining Ventures, CIM Bulletin, October, pp.1165-1171.

Çelebi, N., Seyrantepe, T., 1990; Türkiye Kömür Madenciliği Yatırımları için Bir Risk Analiz Modeli, Türkiye 7. Kömür Kongresi, Zonguldak.

Dowd, P.A., 1994; "Risk Assessment in Reserve Estimation and Open-pit Planning", Transactions of the Institute of Mining and Metallurgy, **103**, (September-December), A148-154.

Durmaz, D., 2003; Yatırım Projelerinin Planlanmasında Risk Analizi, Yönetimi ve Bir Uygulama, Yıldız T.Ü. YL Tezi, FBE, Yayınlanmamış.

Hertz, D.B., 1964; "Risk Analysis in Capital Investment," Harvard Business Review, January-February.

Kavrakoğlu, İ., 1992; Decision Economics, Boğazici Mezunlar Derneği, İstanbul.

Lane, K. F., 1964; "Choosing the Optimum Cut-off Grade", Quarterly of the Colorado School of Mines, **59**, (4), 811-829.

Nasuf, E., Orun E.S., 1990; "Madencilik Projelerinde Mikro-Bilgisayar Destekli Risk Analizi", Madencilik, **30**, (3), 19-30.

Tevfik, T. A., 1997; Risk Analizine Giriş, Alfa Basım Yayım Dağıtım, İstanbul.



**15-17 Kasım 2007  
İstanbul**



**TMMOB Maden Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi  
İTÜ Maden Fakültesi Dekanlığı  
İTÜ Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü**

[www.uyak2.itu.edu.tr](http://www.uyak2.itu.edu.tr)

[uyak2@itu.edu.tr](mailto:uyak2@itu.edu.tr)