



Orijinal Araştırma / Original Research

MADEN MALİYET YAZILIMI KULLANILARAK AÇIK İŞLETME PLANLAMASINDA NİHAİ İŞLETME DERİNLİĞİ OPTİMİZASYONU

FINAL DEPTH OPTIMIZATION IN OPEN PIT MINE PLANNING BY USING MINE COST OPTIMIZATION SOFTWARE

Tahir Mallı^{a,*}, Doğan Karakuş^{a,**}, Alper Gönen^{a,***}

^a Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İZMİR

Geliş Tarihi / Received : 02 Mart / March 2017

Kabul Tarihi / Accepted : 21 Nisan / April 2017

Anahtar Sözcükler:

Maden planlaması,
Açık işletme,
Nihai işletme derinliği,
Net bugünkü değer,
Maliyet optimizasyon yazılımı.

ÖZ

Günümüzde maden işletme planlamasında temel hedef, Net bugünkü değerini yükseltmesine yöneliktir. İdeale yakın gerçekçi bir planlamaya göre elde edilecek gelir, popüler yatırım değerlendirme yöntemi olan Net bugünkü değer (NBD) tekniği kullanılarak değerlendirilmektedir. NBD'yi maksimum yapan işletme parametrelerinin belirlenmesi bu nedenle oldukça önemlidir. Özellikle optimum işletme kapasitesi, derinlik ve boyutsal sınırlar işletmenin ekonomikliğini de belirlemektedir. Mevcut madencilik sorunlarının çözümü, ideal işletme planlaması ile NBD yükseltilmesine dayandığından Maden Maliyet Optimizasyonu yazılımı (MCO), bu amaca yönelik tasarlanmıştır. Bu çalışmada, yazılım kullanılarak madencilik fizibilitelerinin değerlendirilmesinde önemli parametre olarak öngörülen optimum açık işletme nihai derinliği ve işletme ömrünün daha kesin olarak belirlenmesine yönelik bir model önerilmektedir. İşletilebilir rezerv cevher ton başına elde edilmesi öngörülen NBD maksimizasyonu temel amaçtır. Bu yönüyle çalışmanın madencilik yatırımlarına yeni çözümlene stratejisiyle farklı bir yaklaşım getireceği düşünülmektedir.

ABSTRACT

The main objective of today's mine planning is intended to maximize net present value of a project. Income to be earned on a realistic plan close to ideal is evaluated at using Net present value (NPV) technique which is a popular investment appraisal method. This is why it is very important to determine the operating parameters that maximize the NPV. Especially optimum production capacity, depth and dimensions of ore body also determine the economics of mine. Solution of existing mining problems are based on the ideal mine planning and to increase NPV. Mine Cost Optimisation (MCO) software is designed to be aimed at these solutions. In this study, a model is proposed for more precise determination of the open pit final depth and mine life as an important parameter in the evaluation of mining feasibilities by using MCO software and maximization of NPV is aimed. It is thought that this study will bring a different approach to mining investments with a new solution strategy.

Keywords:

Mine planning,
Open pit,
Final pit depth,
Net present value,
Cost optimization software.

* Sorumlu yazar: tahir.malli@deu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0002-5786-9132>

** dogan.karakus@deu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0001-6134-1034>

*** alper.gonen@deu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0001-7025-4063>

GİRİŞ

Madencilik sektörü küresel ekonomik büyümedeki yavaşlamadan kolay etkilenebilen büyük risk taşıyan bir sektördür. Madencilikte büyük risklerle birlikte yatırım, sermaye ve finansman gereksinimleri de oldukça yüksektir. Bu ekonomik risklerin yanısıra teknik faktörler ve kısıtlar da bir diğer handikapıdır. Olası risk ve belirsizliklerin azaltılması, planlama ve uygulama çözümlerine bağlıdır. Tüm bu bileşenlerle birlikte planlamada temel hedef, doğru ve gerçekçi bir planlama ile işletme ekonomik kazanım değeri yükseltilmesine yöneliktir. Maden işletme planlamalarında, teknik ve ekonomik kriterlerinin belirlenmesi ve tüm parametreleri kapsayan üretim maliyetleri ile ekonomik kazanım değerlerinin öngörülmesi işletmelerin sürdürülebilirliği açısından oldukça önemlidir.

Madencilik sektörü, diğer sektörlerle göre daha karmaşık ve riskli olduğu için maden cevher yataklanmasının rezerv hesaplama ve bu rezervin planlanması aşamasında kararlar verilirken birçok kesin olmayan veri göz önünde bulundurulmalıdır (Erdem vd., 2012). Bu belirsizlikler proje yatırım kararında ve işletme planlamalarında etkili olduğu için belirsizlik kaynakları ve diğer detayların kaynaklarının belirlenmesi ve tanımlanması önemli olmaktadır. Bu yüzden her belirsiz ve kesin olmayan verinin projedeki etkisi analiz edilerek değerlendirmelerin yapılması gerekmektedir (Snowden vd., 2002). Bu belirsizliklerin, iyimser bir bakış açısı yaklaşımıyla ve yönetsel esneklikle gerçek optimuma yaklaştırılması gerekmektedir.

Madencilikte çözüm bekleyen sorunlar, işletmelerin karlılık ve net bugünkü değerini etkilediği için üzerinde yoğunlaşmaktadır. Özellikle; açık işletme nihai sınırlarının belirlenmesi, makine-ekipman optimizasyonu, işletme planlama faktörlerinin maliyete etkisi, madencilik yatırımlarının değerlendirilmesi, optimum maden işletme kapasitesi ve ekonomik işletme ömrü vb. sayılabilir. Özet olarak çözüm, maden rezervinin ekonomik değerlendirilmesi ve elde edilecek net bugünkü değerinin yükseltilmesine yönelik ideal işletme modelinin belirlenip planlamasıdır. Yatırım projelerinin değerlendirilmesinde ve ekonomik analizler komplike ve dinamik bir yapıdadır. Diğer statik yöntemlerden farklı olarak paranın zaman değerini dikkate alıp nakit akışlarını piyasa faiz oranıyla indirilmesi ile yatırımlar arasındaki farkı belirleyen yatırım değerlendirme kriteri olması ve diğerlerine göre daha gerçekçi sonuçlar üretmesi nedeniyle Net Bugünkü Değer (NBD) tekniği yaygın olarak kullanılmaktadır. En yüksek NBD'i

sağlayan optimum işletme üretim kapasitesi ile birlikte derinlik, boyut olarak maden işletme sınırları belirlenmektedir. Bu nedenle, çeşitli yazılımlar yardımıyla optimum nihai açık işletme sınırının daha gerçekçi ve kesin olarak belirlenmesi, madencilik sektöründe üzerinde yoğunlukla çalışılan konuların başında gelmektedir. Uzun vadeli işletme planlamasında, maden yatağından en yüksek karı elde edebilmek için açık işletmenin bitip, uygun koşullar görüldüğünde yeraltı işletmesinin başlayabileceği bu sınırın tespit edilmesi, mühendislik ve işletmecilik açısından zorunluluk noktasına gelmiştir. Madencilik planlamalarında, işletilecek cevher miktarları ve ekonomik değerleri, işletmenin derinleşmesiyle artan nakliye giderleri, oluşan maliyetler, kaya-mekaniksel parametrelerin etkileşimi olan kazı, yükleme ve nakliye makinelerinin seçimi, iş güvenliği açısından şev duraylılığını sağlayan uygun genel şev açısı gibi teknik kısıtlar ve satış fiyatı, faiz oranı gibi önemli üretim maliyetine etkisi olan üretim tekniği ve kaya mekaniksel parametreler, ve olası tüm kombinasyonların maliyetleri göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca, işletme gelir ve giderlerini, paranın zaman değerini de hesaba katarak indirgenmesiyle elde edilen nakit akışlarına ve yatırımlara göre işletme derinliğini tespit eden bir modelin oluşturulması çalışmanın temelini oluşturmaktadır.

Bu çalışmada, farklı açık işletme derinliklerinde elde edilecek birim üretim maliyet, net bugünkü değerleri ve diğer kriterlere ait çıktılar sunulmaktadır. Geliştirilen yazılım, açık maden işletme fizibilitelerinin değerlendirilmesinde işletme kapasitesi, işletme nihai sınır derinliği ve ekonomik işletme ömrü gibi önemli parametrelerin optimizasyonunu hedeflemektedir. Bu yönüyle, çalışmanın açık maden işletmeleri ve yatırımlarının ekonomik değerlendirilmesinde farklı bir çözümlenme yaklaşımı getireceği düşünülmektedir.

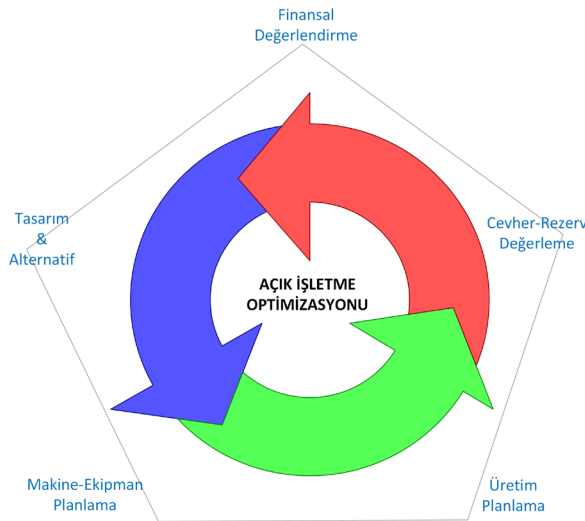
1. AÇIK MADEN İŞLETME PLANLAMASI

Maden işletmelerinin dinamik parametreleri, farklı koşul ve yapılar ile bazı değişkenlerin belirsizliği planlamayı güçleştirmekte ve önemini de giderek arttırmaktadır. Genel olarak madencilik problemlerinin çözümü, işletme parametrelerinin optimizasyonuna ve Net bugünkü değer olabildiğince yükseltilmesine bağlıdır (Mallı, 2013). Açık işletme üretim tekniğinde planlamanın temel amacı; genellikle farklı üretim kapasitesi, karışım modeli, zaman-iş termini ve farklı işletme parametrelerinde en yüksek NBD'i sağlayan optimum değer belirlenmesidir (Dağdelen, 2001). Maden işletme

planlamasında, cevher rezervini ekonomik ömür süresince, işletme karlılığı veya indirgenmiş nakit akışını maksimize edecek üretim sıralamasının belirlenmesi temel amaçtır. Optimum işletme planlamasında; üretim kapasitesi ve üretim termi ni nihai işletme sınırlarını etkilemektedir.

Planlama; ekonomik ve finansal veriler, tahminleme, maliyet öngörüsü ve karar verme gibi süreçlerle ilintili olup verilerdeki değişimlerin etkisindedir. Optimum madencilik yöntemini belirlenmesinde, rezerv tonaj, metal miktarı ve ortalama tenör değerinin doğru tahminlenmesi gerektiği belirtilmektedir (Tercan ve Akcan, 2004). Planlama çalışmalarında ilk aşama; projenin ortaya konulmasıdır. Burada; maden işletmesi derinlik, örtü-kazı oranı, cevher tenörü, cevher satış fiyatı, mesafe gibi faktörlere göre tasarlanır. Stratejik planlama safhasında ise uzun dönem maden planlaması ve makine-ekipman seçimi yapılır. Geliştirme aşamasında ise planlama; yıllık, aylık ve günlük planlar ile detaylandırılır (Runge, 1998).

Açık işletme optimizasyonu, genel olarak rezerv dağılım analizi, üretim planlama, bu üretim kapasitesi ve koşullara uygun makine-ekipman planlaması, tasarım alternatiflerinin ekonomik değerlendirilmesi gibi aşamalardan oluşmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Açık işletme optimizasyonu (Dohm, 1979)

Maden işletme planlaması ve tasarımı, en fazla rezerv ve net bugünkü değer etkisindedir. Bu değer yükseltilebilmesi, işletmeyi etkileyen jeoteknik parametrelerdeki değişimlerin ya da cevher satış fiyatlarındaki değişim ve tahminin hızla güncellenmesi ve güncellenmiş rezervin yeniden işletme dizaynı uygulanarak yorumlanabilmesine bağlıdır (Baffoe ve Al-Hassan, 2005).

Maden rezervlerinin en uygun şekilde değerlendirilmesi, işletmecilikte çözüm bekleyen ve ideal planlamayı grifileştiren temel konulardandır. İdeal maden işletme planlaması, işletmenin maksimum ekonomik değerle çalışmasını ve rezervin verimli şekilde değerlendirilmesini sağlama felsefesine dayalıdır. Bu nedenle, maden işletme projelerinin tasarlanması ve değerlendirilmesinin temel işlevini, belirli bir indirgenme oranında oluşması öngörülen nakit akışlarına dayalı net bugünkü değer maksimizasyonu sağlamaktadır. Bu değer, aynı zamanda, işletmedeki maden üretim miktarı ile doğrudan ilişkilidir. İşletme üretim kapasitesi, açık işletmeden elde edilmesi öngörülen birim üretim maliyeti, makina ilkyatırımlarını, NBD ve işletme sınırlarını etkilemektedir. Ekonomik ve finansal açıdan, işletmelerde maksimum geri dönüşü sağlayan üretim modeli ve üretim kapasitesinin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Sınır tenör, ekonomik şartlara göre değişirken örneğin blok, sınır tenörden yüksek bir tenöre sahipse cevher bloğu, düşükse pasa bloğu olarak sınıflandırılır. Bu açıdan sınır tenörün işletilebilir rezervin ekonomik kriteri temsil ettiği söylenebilir. Tenör-tonaj eğrileri, bir maden yatağının işletmeye açılıp açılmayacağı ve işletmeye açılmış bir maden yatağında ne tür bir üretim yöntemi uygulanacağı konusunda önemli bilgiler sağlamaktadır. Sınır tenörün yükselmesi ile toplam cevher miktarı azalmakta, ortalama tenör ise artmaktadır (Tercan ve Akcan, 2005).

Ekonomik değerlendirmelerde ve maden işletme planlamasında, nakit akışına dayalı bir analiz gerçekçi, ekonomik sonuçlar verdiği ve gelecekte düşük tenörüne sahip uygun görünmeyen cevher yataklarının da değerlendirilebileceği gerçeği, net bugünkü değer yöntemini önemli kılmaktadır. Detaylı ve gerçekçi bir işletme planlaması, üretim sıralamasıyla birlikte paranın zaman değeriyle gelir ve giderlerin gerçekçi uygun piyasa koşullarıyla değerlendirilmesiyle sağlanabilir. Planlamalarda, maden sahası bazen tamamen bir açık işletme ya da yeraltı işletmesi olarak tasarlanmaktadır. Ancak ideal olan, NBD'i maksimum yapan işletme kapasitesinde ve optimum işletme derinlikleri için tasarımların araştırılmasıdır.

2. NİHAİ İŞLETME SINIRI VE DERİNLİĞİ

Birçok maden açık işletme madenciliği ile üretime başlamakta ancak belirli bir noktadan sonra eğer ekonomik üretim sağlanmakta ise yeraltı işletmesi olarak devam edilmektedir. Şili Chuquicamata bakır işletmesinde, açık işletme nihai derinliği 1100

m olarak tasarlanıp bu derinlikte üretimin sonlandırılması planlanmıştır (Flores, 2004). Açık işletme ve yeraltı işletmesi arasında bir seçimde göz önünde bulundurulması gereken faktörler; maden yatağının şekli, boyutları ve derinliği, yan kayacın kaya mekaniksel şartları, üretim kapasitesi ve makina-ekipman seçimi, sermaye ve finansman durumu, işletme giderleri, faiz oranı, yatırım, amortisman, cevher kazanımı, gelir ve satış, işyeri güvenliği ve çevresel etki değerlendirme gibi parametrelerdir (Hartman,1992; Nilsson,1997).

Açık işletme üretim sıralamasında optimizasyon kriteri olarak maksimum net bugünkü değeri baz alarak dinamik programlama tekniği tanımlamakta ve optimal üretim zamanını ve sırasını belirlenmektedir. Dinamik programlama tekniğinin, üretim sıralaması problem çözümlemesinde efektif sonuçlar verdiği fakat daha ileri teknikler kullanılarak geliştirilebileceği vurgulanmaktadır (Onur, 1992). Optimal nihai işletme sınırları ile üretim sıralamasının birbirinden bağımsız düşünülmemeyeceği yeni geliştirilecek modellemelerde bu gerçeğin ve önemli işletme parametrelerinin beraber hesaba katılması gerektiği, optimal üretim planlarında gerçekçi bir ekonomik değerlendirmenin net nakit akışlarının adapte edilmesiyle sağlanabileceği ayrıca parametrisasyonun üretim sıralamasında yararlı bir teknik olduğu açıklanmaktadır (Sevim, 1994; Mukherjee, 1991). Chen (2003), izin verilebilir örtü-kazı oranı yaklaşımını geliştirerek açık işletme içinde kalan cevher ve dekapaj hacimleri derinlik sabitine bağlı bir fonksiyon olarak tanımladı. Son yıllarda, genellikle açık işletme sınırlarının optimizasyonunda Lerch-Grosmann algoritmasının kullanıldığı ve yıllık bazda en iyi planlama ve üretim terminin, Whittle 4-X yazılım programı kullanılarak belirli bir işletme ömrü ve sabit bir indigenme oranında türetildiği belirtilmektedir (Whittle,1988; H.Askari-Nasab, vd., 2008). Günümüzde, ekonomik ortamların belirsizlikleri ve teknik yetersizlikleri nedeniyle bu yöntemin yararlı olamayacağı ifade edilmektedir.

Konik açık işletme tasarımında 50 derecelik genel şev açısında; nihai işletme derinliğinin 76,2 m (250 ft) olması durumunda kaldırılan kütle bir milyon ton iken işletme derinliği 152,4 m (500 ft) olması durumunda kaldırılacak kütle yaklaşık 10 milyon ton ve işletme derinliğinin 304,8 m (1000 ft) olması durumunda kaldırılması gereken kütle 100 milyon tona yaklaştığı ifade edilmektedir (Hustrulid ve Kuchta,1995). Bu derinlik ile ortaya çıkan hacim ve tonaj değeri, makine sayı ve ilkyatırımlarını dolayısıyla işletme ekonomisi-

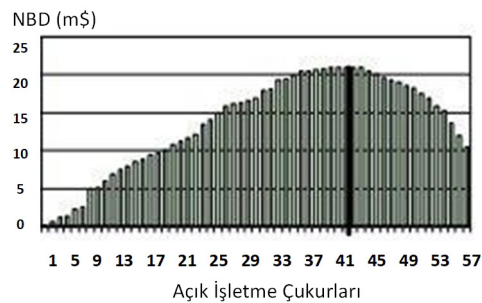
ni tamamen değiştirmektedir. Zamanla değişen açık işletme geometrisine bağlı olarak dekapaj malzeme hacmi ile birlikte maden işletmeciliğinin net bugünkü değerinin türetilmesi gerekmektedir (Askari-Nasab, 2008).

En yüksek değerli cevher çıkaran bir dizi iç içe geçmiş açık işletme çukurunun en sonundaki nihai çukurun şekli ve boyutlarını; maden-metal satış fiyatı, maden üretim maliyeti ve uygulanan yöntemin temel mühendislik kısıtlamaları belirler. Bu boyut, ekonomik, teknik ve jeoteknik parametreleri değiştikçe, nihai sınır şekli, çeşitli eşik değerlere ulaşıldığında ve ekonomik blokların sayısının artması veya azalmasıyla değişebilmektedir. Her bir açık işletme çukuru ile bir sonraki arasındaki farkı tanımlayan fazlarda öncelik, en iyi NBD değeri gerçekleştirmek temel ilkedir.

Ekonomik model, maden ömrü için maliyet ve fiyat parametrelerini belirlemek ve daha sonraki cevher ve metalurjik işlem özelliklerin bir fonksiyonu olarak bir blok modelde, her bloğun işleme yöntemi başına içsel bir değer hesaplamakla tanımlanır. Bu değer genellikle ekonomik model tanımının bir parçası olarak üretim zamanlamasına bağlı olarak NBD 'leri hesaplanmaktadır. Blok değerlerini hesaplamak için satış fiyatı, üretim birim maliyeti ve işleme maliyeti üzerine seyrelme ve geri kazanım faktörleri ve gerekirse ilave giderler de hesaba katılmaktadır.

Açık işletme ekonomik blok modeli ve Korsakov'un algoritması kullanılarak açık işletme seviyeleri ve ardından optimal limit derinlik belirlenmiştir (Bakhtavar, 2009).

Nihai işletme sınırı, derinliğe bağlı elde edilen kazanımların kümülatif toplam değerine göre belirlenmektedir. Grafıksel olarak açık işletme çukurları ve derinliğinin NBD ile değişimleri genelleştirilmiş olarak Şekil 2' de görülmektedir. Burada, en yüksek değeri sağlayan çukur; açık işletme final derinliği olarak belirlendiği ifade edilmektedir (Nilsson, 1997; Bakhtavar vd. 2009).



Şekil 2. Açık işletme için genelleştirilmiş NBD

3. MADEN MALİYET YAZILIMI

Maden Maliyet Optimizasyonu yazılımı (MCO), işletme parametrelerinin optimizasyonu ile mevcut madencilik sorunlarının çözümüne odaklanmış ve ideal işletme planlaması ile NBD maksimizasyonuna dayalı olarak tasarlanmıştır. Genellikle maden işletmelerinde ekonomik ve teknik kısıtlamalar bulunmaktadır. Bu kısıtlar, kayaç veya zemine uygun işletme şevi ve kazı hızına bağlı olarak kazı maliyetlerini etkilemektedir. Teknik sınırlamalar ise makine-ekipman seçimi, boyut ve sayıları, üretim, yükleme ve nakliye kapasiteleri ve ayrıca cevher üretim sıralamasını içerdiği ifade edilmektedir. Farklı formasyonlardaki şev açısı değişimlerinin sağlanması ve üretim esnasında karşılaşılabilecek formasyon zorluklarının da kazı maliyetini artırma yönünde yansıtılması gerektiği de vurgulanmaktadır (Onur, 1995; Koenigsberg, 1982). Bu nedenle, geliştirilen yazılımda, örtü formasyonu ve cevherin kazılabilirliği, gerekli olan makine-ekipman seçimi ve sayılarını etkilediği gözönünde bulundurulmaktadır. Programın makine-ekipman seçim ve özellikleriyle ilgili bölümde, değişken parametrelere göre gerekli kamyon ve yükleyici, delici makina vb. sayıları belirlenerek makine-ekipman ilkyatırımları hesaplanmaktadır. Programın ekonomik ve teknik değerlendirme bölümünde ise model değişkenleri, makine ekipman seçimi, maden işletme birim üretim maliyeti, yıllık işletme giderleri ve yatırım giderleri, işletme verimi, tenör değeri, cevher satış fiyatı model için önemli kriterlerdir. Ayrıca, farklı üretim modellerinde, değişen işletme kapasite ve ekonomik işletme ömürleri için gerekli olan makine sayıları belirlenmekte ve makine-ekipman yatırımları bulunmaktadır.

Optimum açık işletme final derinliğinin belirlenmesine yönelik algoritma aşağıda verilmektedir.

Adım 1. İşletilebilir rezervin belirlenmesi

Adım 2. İşletme parametrelerinin girilmesi

Adım 3. İşletme kapasitesinin girilmesi

Adım 4. Açık işletme tasarımı; genel şev açısı vb. teknik kısıtlara göre işletme dizaynı

Adım 5. Makina-ekipman planlaması ve ilkyatırım

Adım 6. Açık işletme derinliğinin girilmesi

Adım 7. Üretim planlaması

Adım 8. Satış fiyatı ve faiz oranı vb. ekonomik kısıtlara göre maliyet ve ekonomik analiz

Adım 9. NBD hesaplaması

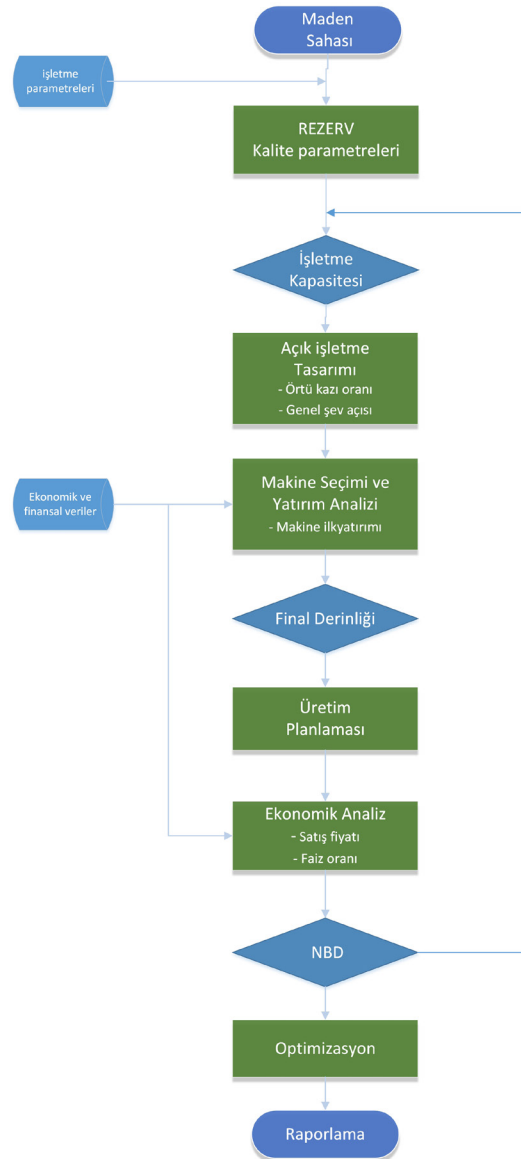
Adım 10. Açık işletme derinlikleri için öngörülen NBD ve en yüksek ton başı NBD geliştirilmesi

Adım 11. İşletme modeli optimizasyonu

Adım 12. Optimum final derinliğinin belirlenmesi

Yazılım ile istenilen kapasiteye uygun farklı üretim modelleri tasarlamaya ve entegrasyona elverişli olarak hazırlanmıştır (Şekil 3).

Değişen koşul ve işletme parametreleri, örneğin işletme derinliği ve kapasite için maliyet analizleri yapılarak birim üretim maliyetleri ve Net bugünkü değerleri bulunmaktadır. Hazırlık programı ve cevher üretim maliyetleri, gider dağılımları, alternatiflerin maliyet analizleri ile birim maliyet ve Net bugünkü değerleri bulunmaktadır (Şekil 4).



Şekil 3. Optimum final derinliği için akım şeması

Şekil 4. Açık işletme ekonomik değerlendirme ve maliyet analizine ilişkin arayüz

4. ÖRNEK ÇALIŞMA

Maden modelinde, örnek maden sahasına ait sondaj verileri kullanılarak rezerv hesaplaması yapılarak, farklı açık işletme üretim alternatifleri için sabit kapasitede gerekli olan makine-ekipman sayıları belirlenmiştir. İşletme kapasitesine uygun makine-ekipman ilkyatırımları bulunmakta ve bunlara bağlı olarak ekonomik değerlendirmeler yapılarak NBD'leri belirlenmektedir.

Model çalışmada, yıllık bir milyon ton kapasiteli planlanan açık işletme için gerekli makine sayıları, öngörülen ilkyatırımları ve net bugünkü değerlerinin işletme derinliği ile değişimi incelenmektedir. Model uygulama için kabul edilen parametreler Çizelge 1' de verilmektedir.

Çizelge 1. Model parametreleri

İşletme parametreleri	Değer
Cevher rezervi (t)	20000000
Cevher derinliği (max) (m)	400 m
Damar eğim açısı (°)	30
Cevher satış fiyatı (\$/t)	400
Üretim kapasitesi (t/y)	1000000
Genel şev açısı (°)	55
Örtü-kazı oranı (max) (m ³ /t)	5.22
Piyasa ort. faiz oranı (%)	10

Sabit üretim kapasiteli açık işletme için derinliğe bağlı gerekli kamyon(K), yükleyici(Y) ve delici(D) makine sayıları Çizelge 2'de verilmektedir.

Çizelge 2. İşletme derinliğine göre değişen makine sayı ve ilkyatırım tutarları

İşletme derinliği (m)	Dekapaj İşlemi			Cevher üretimi			Makina ilkyatırımı (\$)
	Y	K	D	Y	K	D	
20	4	5	2	2	2	1	29010000
40	4	5	2	2	2	1	29010000
60	4	5	2	2	2	1	29010000
80	4	5	2	2	2	1	29010000
100	4	6	2	2	3	1	30330000
120	4	6	2	2	3	1	30330000
140	4	6	2	2	3	1	30330000
160	4	6	2	2	3	1	30330000
180	4	7	2	2	3	1	31530000
200	4	7	2	2	3	1	31530000
220	4	7	2	2	3	1	31530000
240	4	7	2	2	3	1	31530000
260	4	7	2	2	3	1	31530000
280	4	8	2	2	3	1	32730000
300	4	8	2	2	4	1	32850000
320	4	8	2	2	4	1	32850000
340	4	8	2	2	4	1	32850000
360	4	9	2	2	4	1	34050000
380	4	9	2	2	4	1	34050000
400	4	9	2	2	4	1	34050000

Model açık işletme 3039 ton/gün sabit kapasiteli ve 55° genel şev açısı ve diğer işletme verilerinin sabit kalmasına göre farklı işletme derinliklerinde olmak üzere 20 farklı açık işletme tasarımı yapılmıştır. Her işletme tasarımı belirli bir işletme derinliğinde sonlandırılmakta ve buna bağlı olarak değişen makine ilkyatırımları, üretim maliyetleri ile NBD'leri geliştirilmektedir. Açık işletme derinliğinin en yüksek 400 m ve 20 yıllık bir süreç için planlanması durumunda net bugünkü değer 359674767 \$ olarak bulunmaktadır (Çizelge 3).

Çizelge 3. Açık işletme modelinde derinliğe bağlı işletilebilir rezerv ve NBD değerleri

İşletme ömrü (yıl)	İşletme derinliği (m)	İşletilebilir rezerv (t)	NBD (\$)
1	20	1000000	4079029
2	40	2000000	46593562
3	60	3000000	85122008
4	80	4000000	120224718
5	100	5000000	148986579
6	120	6000000	177724629
7	140	7000000	196091178
8	160	8000000	219841633
9	180	9000000	236404103
10	200	10000000	255126119
11	220	11000000	272812114
12	240	12000000	288890292
13	260	13000000	303506817
14	280	14000000	313528887
15	300	15000000	320067288
16	320	16000000	330943857
17	340	17000000	340831647
18	360	18000000	343989923
19	380	19000000	352087908
20	400	20000000	359674767

Model çalışma madencilik realitesine uygun olarak sabit cevher üretim kapasiteli açık işletmelerde artan işletme derinlikleri,

- Nakliye sistemini oluşturan kamyon sayısı ve ilkyatırımları arttırmakta olduğu, artan makine ilkyatırımları beraberinde maden birim üretim maliyetlerini de etkilediği açıktır.
- Derin olarak nitelendirilebilen 400 m derinlikteki işletmelerin 40 m' lik derin olmayan açık işletmelere göre kapasiteye bağlı olarak makine yatırımlarının %17 ve birim üretim maliyetlerinin de %16 daha fazla olduğu görülmektedir.
- İşletme ömrünün 20 yıl planlanması durumunda, en yüksek makina-ekipman ilkyatırım değerlerine ve artan rezervle birlikte elde edilmesi öngörülen net bugünkü değerlerine ulaşılmakta olduğu görülmektedir.

5. ÖNERİLEN MODEL

Genel olarak, açık işletme nihai derinliği arttıkça ocak çukurundan üretilmesi planlanan cevher miktarı da artmaktadır. Bu üretilen miktarla birlikte sağlanacak ekonomik kazanımların büyüklüğünü de arttıracığı için her işletme derinliğinde üretilen birim ton cevherden sağlanacak net bugünkü değer dikkate alınması gerekmektedir. Başka bir ifadeyle, birim ton cevher rezervinden elde edilmesi öngörülen net bugünkü değer büyüklüğü önemlidir. Burada karar vermek için açık maden işletmesinden sağlanacağı öngörülen net bugünkü değer, her işletme derinliğinde kazanılacak cevher miktarı başına düşen NBD ile değişiminin incelenmesi gerekmektedir. Ayrıca bu değer maden satış fiyatına oranı da bir diğer kriter olarak piyasa ve pazarlama koşullarını entegre etmek için düşünülmektedir.

Model işletme için açık işletme derinliği değişimi sonucunda üretilen birim ton cevher başına Net bugünkü değeri, birim cevher üretim maliyeti ve satış fiyat oranı kriteri Çizelge 4' de verilmektedir.

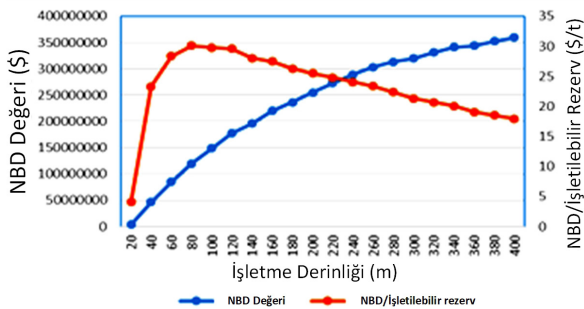
Çizelge 4. Açık işletme derinliğiyle değişen işletilebilir rezerv başına NBD değerleri

İşletme derinliği (m)	Birim üretim maliyeti (\$/t)	Birim ton başı NBD (\$/t)	Satış fiyatı oranı kriteri
20	7.975	4.08	0.010
40	8.005	23.30	0.058
60	8.035	28.37	0.071
80	8.143	30.06	0.075
100	8.251	29.80	0.075
120	8.360	29.62	0.074
140	8.455	28.01	0.070
160	8.551	27.48	0.069
180	8.647	26.27	0.066
200	8.704	25.51	0.064
220	8.762	24.80	0.062
240	8.819	24.07	0.060
260	8.876	23.35	0.058
280	8.934	22.39	0.056
300	8.973	21.34	0.053
320	9.029	20.68	0.052
340	9.086	20.05	0.050
360	9.142	19.11	0.048
380	9.198	18.53	0.046
400	9.255	17.98	0.045

Çizelge 4' te belirlenen değer ve kriterlere göre; 80 m açık işletme derinliğinde birim ton başı NBD değerinin 30.06 \$/t ile en yüksek değerini almaktadır.

Yine bu işletme derinliğinde bu değer satış fiyatına oranı da 0,075 ile pik değerine ulaşmaktadır. Bu değerlerden sonra düşüş eğiliminde olduğu görülmektedir.

İşletme derinliği 40-100 m gibi derin olmayan açık işletmelerde; kapasiteyle ilintili olarak makine ilkyatırımlarının düşük olması avantaj sağladığı için daha yüksek değerler sağlanabilmektedir. Giderek derinleşen açık ocak çukuru daha yüksek NBD'ler sağlamaktadır. Bu nedenle, derinleştikçe artan NBD değerleri ile düşüş eğilimi gösteren cevher ton başı NBD değerlerinin kesişim noktası, optimum işletme derinliğini belirleyeceği öngörülmektedir. Grafikselsel olarak bu kesişim değeri, Şekil 5' te görülmektedir.



Şekil 5. Nihai işletme derinliğine bağlı NBD ile NBD/İşletilebilir rezerv ilişkisi

Genel olarak değerlendirilirse,

Nihai işletme derinliği 80 m olarak planlandığında en yüksek birim ton başı NBD ve satış fiyatı oranı kriteri elde edilmektedir.

- İşletme derinliğiyle birlikte derinleşen ocak çukuru daha yüksek NBD'ler sağlamaktadır.
- Optimum açık işletme nihai derinliğinin 220 metre olduğu görülmektedir.
- Bu derinlikten sonra, en yüksek NBD sağlama- sı öngörülen yeraltı üretim modeli ve kombine üretim seçeneklerinin de ekonomik yönleriyle gerçeğe uygun olarak kapsamlı değerlendirilmesi gerekmektedir.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Küresel rekabet ortamında serbest piyasa ekonomisi koşullarında fiyat dalgalanmaları ve değişen pazarlama koşullarına karşın dinamik ve esnek yönetsel çözümlerin bulunması gerekmektedir. Ayrıca, her maden işletmesinin farklı dinamikleri ve belirsizlikleri, işletmelerin optimum noktalarında planlanmasını gerekli kılmaktadır. Bu değişken parametrelere uygun makine yatırımlarının ekonomik açıdan ideale yakın değerlendirilmesi de gerekmektedir. Bu nedenle, farklı derinlik ve kapasitelerde planlanan açık işletmeler için tüm bu bileşenleri kapsayan NBD'lerin öngörülmesi oldukça önemlidir.

Optimum işletme nihai derinliği belirlenmesine yönelik olarak, her işletme derinliğinde birim ton cevher üretimi başına elde edilmesi öngörülen net bugünkü değer ile bu değer satış fiyatına oranı kriterlerinin dikkate alınması ve bulunan bu değerlerin işletmeden sağlanması öngörülen NBD ile optimizasyonu önerilmektedir. Ayrıca, işletmeler için teknik ve ekonomik parametrelerin, piyasa koşullarıyla dinamik entegrasyonu ile sağlanacak optimizasyonun planlanmayı rasyonelleştireceği düşünülmektedir.

Kullanılan Maden Maliyet Optimizasyonu (MCO) yazılımı, maden işletmelerinden en yüksek verimlilik ve NBD'nin sağlanabileceği model optimizasyonu ile planlamaya farklı bir bakış açısı kazandırmaya çalışmaktadır. Böylelikle, maden rezervleri ve işletmelerin optimum değerlendirilip ideale yakın çözümlerin üretilmesinde sektöre ulusal-ekonomik faydalar sağlanacağı öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

Askari Nasab, H., Frimpong, S., Szymanski J., 2008. Investigating Continuous Time Open Pit Dynamics. Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, SAIMM, 108, 61-71.

Baffoe, S.B., Al-Hassan, S., 2005. Open Pit Mine Planning and Design – A Case Study. Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry. Taylor & Francis Group, London, 287-290.

Bakhtavar, E., Shahriar, K., Oraee, K., 2009. Mining Method Selection and Optimization of Transition from Open Pit to Underground in Combined Mining. Archives of Mining Sciences, 54 (3), 481-493.

Chen, J., Guo, D., Li, J., 2003. Optimization principle of combined surface and underground mining and its applications. Journal of Central South University of Technology, Volume 10, No 3, 222-225.

Dağdelen, K., 2001. Open Pit Optimization Strategies

- for Improving Economics of Mining Projects through Mine Planning. 17th International Mining Congress and Exhibition of Turkey, 117-121.
- Dohm, G. C. Jr., 1979. Circular Analysis-Open Pit Optimization. Open Pit Mine Planning and Design. (Ed. Hustrulid, W., Kuchta, M.) Balkema Rotterdam, 1995, 625.
- Erdem, Ö., Güyagüler T., Demirel N., 2012. Uncertainty Assessment for the Evaluation of Net Present Value: A Mining Industry Perspective. Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, SAIMM, 112, 405-412.
- Flores, G., 2004. Geotechnical Challenges of the Transition from Open Pit to Underground Mining at Chuquicamata Mine. Proceedings of Mass Min Conference, Chile, 591-602.
- Hartman, H.L., Mutmanky, J.M., 2002. Underground mining method; Introductory Mining Engineering. John Wiley, New Jersey.
- Hustrulid, W., Kuchta.M., 1995. Open Pit Mine Planning and Design, Fundamentals. Balkema, Rotterdam, 310-311.
- Koenigsberg, E., 1982. The optimum contours of an open pit mine: An application of dynamic programming. Proceeding of 17th International APCOM Symposium, 201-136.
- Mallı, T., 2013. Yatırım Teorileri Kullanılarak Yeraltı ve Yerüstü Maden İşletme Sınırının Belirlenmesi. Doktora tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Morley, C., Snowden, V., Day, D., 1999. Financial Impact of Resource/Reserve Uncertainty. Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, 99, 293-301.
- Mukherjee, K., 1991. Optimal production planning of opencast mines: A case from Indian Mining industry. International Journal of Surface Mining and Reclamation 5, 39-43.
- Nilsson, D. S., 1997. Optimal final pit depth: Once again. International Journal of Mining Engineering, 71-72.
- Onur, A. H., Dowd, P.A., 1992. Optimal Scheduling in Open Pit Mining. Leeds University Mining Association Journal, England, 71-80.
- Runge, I.C., 1998. Mining Economic and Strategy. Society for Mining, Metallurgy and Exploration, SME, Littleton, USA, 24-171.
- Sevim, H., Lei, D.D., 1994. The state of term production planning in open pit mining. Mine Planning and Equipment Selection, 69-75.
- Snowden, D.V., Glacken, I., Noppe, M., 2002. Dealing with Demands of Technical Variability and Uncertainty Along the Mine Value Chain. Value Tracking Symposium, Queensland, Australia.
- Tercan, A. E., Akcan, E., 2004. Assessment of uncertainty associated with grade-tonnage curves using geostatistical simulation. Mining Technology, Vol. 113:2, 129-136.
- Tercan, A. E., Akcan, E., 2005. Linyit Kalitesi-Rezerv Eğrilerindeki Belirsizliğin Jeostatistiksel Benzetimle Değerlendirilmesi: Örnek Bir Çalışma. Madencilik, Cilt 44, Sayı 2, 3-16.
- Whittle, J., 1988. Beyond optimization in open pit design. Computer Applications in the Mineral Industry, Balkema, Rotterdam, 331-337.