

Açık İşletmelerde Patlatma Tasarımı ve Çevresel Etkilerin Python Gui Yardımıyla Modellenmesi

Zekeriya Duran*¹, Tuğba Doğan²

¹Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü / Sivas Teknik Bilimler MYO, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Türkiye

²Endüstri Mühendisliği Bölümü / Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Türkiye

*(zduran@cumhuriyet.edu.tr)

(Received: 05 February 2026, Accepted: 15 February 2026)

(7th International Conference on Engineering, Natural and Social Sciences ICENSOS 2026, February 06-07, 2026)

ATIF/REFERENCE: Duran, Z. & Doğan, T. (2026). Açık İşletmelerde Patlatma Tasarımı ve Çevresel Etkilerin Python Gui Yardımıyla Modellenmesi, *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 10(2), 49-60.

Özet – Açık işletmelerde patlatma tasarımı ve çevresel etkilerin hesaplanması için Python tabanlı arayüz (GUI) uygulamasını kullanarak bir yazılım modeli geliştirilmiştir. Model patlatma tasarımını ve çevresel etkileri sayısal olarak hesaplamaktadır. Modele, ilk aşamada çalışma yapılacak maden sahasının işletme türü (kömür, taş ocağı vs.), yıllık üretim miktarı, çalışma süreleri (yıllık, aylık, günlük ve patlatma aralığı) ve basamak geometrileri (basamak yüksekliği ve delik eğimi açısı) veri olarak girilmektedir. Model bu verileri kullanarak aylık ve günlük üretim miktarları ile aylık ve yıllık patlatma sayılarını hesaplamaktadır. Model, bir atımdaki delik sayısına bağlı olarak patlatma kaynaklı çevresel etkileri belirlemektedir. Model ile, patlatma kaynaklı çevresel etkilerin matematiksel olarak hesaplanmasının uzun alması ve olası işlem hatalarının önüne geçilerek işlemler çok daha kısa ve anlaşılır bir şekilde çözülmektedir. Model ayrıca üretim faaliyetine geçmeyen ve patlayıcı madde kullanmayı planlayan açık maden işletmeleri için alternatif üretim planlarına bağlı olarak patlatma tasarımı ve çevresel etkileri de önceden çok kısa zamanda ve doğru bir şekilde yapmaktadır.

Anahtar Kelimeler – Patlatma tasarımı, Patlatmalı Kazı, Çevresel etkiler, GUI, Modelleme

I. GİRİŞ

Son yıllarda artan nüfusa paralel olarak tüketim arttığı için hammaddeye olan ihtiyaç da artış göstermektedir. Hammaddeye olan talep hızının artması, üretim faaliyetlerinin daha seri olmasını zorunlu hale getirmiştir. Madencilikte üretimin seri olmasını sağlayan en önemli faaliyetlerden birisi patlatmalı kazı çalışmalarıdır. Madencilikte üretimin seri olması, kazı hacminin artması ve maden üretim sahalarının yerleşim yerlerine yaklaşması patlatmalı kazı faaliyetlerini güçleştirmektedir. Patlatmalı kazı faaliyetleri birtakım çevresel sorunları da beraberinde getirmektedir.

Maden ocaklarında patlatma, cevherin veya yan kayaçların ana kaya ya da örtü tabakasından kontrollü biçimde ayrıştırılmasını sağlayan temel bir mühendislik yöntemidir. Bu yöntem, yalnızca cevherin üretim zincirine kazandırılmasını değil, aynı zamanda sonraki zenginleştirme ve işleme aşamalarına uygun boyut ve özelliklerde parçacıkların elde edilmesini amaçlar. Patlatma tasarımında dikkate alınan kaya kütlelerinin jeomekanik özellikleri, kullanılan patlayıcı türü ve delik düzeni gibi parametreler, parçacık boyutu dağılımını ve enerji verimliliğini doğrudan etkiler. Dolayısıyla patlatma sürecinin doğru biçimde optimize

edilmesi hem ekonomik verimliliğin artırılması hem de çevresel etkilerin en aza indirilmesi açısından kritik bir öneme sahiptir. Patlatma mekanizması son derece karmaşıktır; kimyasal reaksiyonlar yoluyla çok yüksek sıcaklıklar ve basınçlar içermektedir, ekzotermik reaksiyon, cevherin ana kayadan ayrılmasını sağlayan yaklaşık 20 GPa'ya kadar yüksek basınçlar üretilmesiyle sonuçlanmaktadır [1]. Patlatma, en uygun maliyetli kaya kırma yöntemi olma avantajına sahiptir [1]. Ancak, genellikle fırlayan kayalar, sismik aktivite, hava şoku ve patlama titreşimi gibi yan etkiler veya çevresel sorunlarla ilişkilendirilir. Bu çevresel etkiler patlatma operasyonlarına da olumsuz yansımaktadır.

Madencilik faaliyetlerini gerçekleştiren işletmeciler, toz, yer sarsıntısı (titreşim), hava şoku, gürültü ve taş fırlaması gibi çevresel etkileri göz önüne alarak faaliyetlerini sürdürmek zorundadır. Bu nedenle, işletmeciler patlatmalı kazı faaliyetlerini insanların ve diğer canlıların yaşam döngülerine zarar vermeyecek şekilde (yaşadıkları ortamlara, sit alanlarına, su yapılarına, tarım ve orman alanlarına vs.) yapmayı amaçlamalıdır. Bu çalışmada, patlatmalı kazı faaliyetlerinden kaynaklı çevresel etkiler "T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı" "Patlatma Tasarımları ve Patlatma Kaynaklı Çevresel Etkiler Kılavuzuna [2]" göre değerlendirilmiş ve PYTHON GUI yardımıyla modellenmiştir. Geliştirilen model sayesinde patlatmadan kaynaklı çevresel etkilerin önceden tahmin edilmesini olanak sağlamakta ve böylece patlatmanın çevresel etkileri kontrol edilebilmekte ve azaltılabilmektedir. Patlatmalı kazı işlemini gerçekleştiren açık işletmelerin toplam maliyetlerinin yaklaşık %15-20'sini [3], başka bir çalışmada ise yaklaşık %30'unu delme ve patlama maliyetinden kaynaklanmaktadır [4], [5]. Bu nedenle patlatma tasarımının iyi yapılması sonraki aşamada yükleme ve taşıma maliyetine olumlu yönde katkısının olması kaçınılmazdır. Patlatma tasarımının matematiksel hesaplanması uzun zaman almakta ve tasarımcıya bağlı hatalara sebebiyet vermektedir. Tasarımın daha hızlı, pratik ve doğru gerçekleştirebilmesi için birçok farklı yazılımlar geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yazılımlar daha çok bilgisayar kullanımının olduğu ortamlarda kullanılabilir yazılımlar olup; WipFrag, DelPat, Blaspa, Structural Blast Designer basamak patlatma tasarımına, Rockmate, Master Blaster & Inventory Management Software System, Vibration Consultant, Vibration Assistant ise patlatmadan kaynaklanan çevresel sorunların analizi için kullanılan yazılımlara örnek olarak verilebilir [6].

II. BASAMAK PATLATMA TASARIM

Ekonomik ve güvenilir bir patlatma tasarımının en önemli parametreleri arasında; delik çapı, basamak yüksekliği, delik eğimi, birim şarj, delikler arası mesafe, delik yükü (dilim kalınlığı), sıkılama boyu, özgül delme, özgül şarj, yemleme miktarı ve ateşleme sistemi sayılabilmektedir. Delik çapı açık ocak madenciliğindeki basamak patlatma tasarımını etkileyen en önemli parametrelerden birisidir. Patlatma tasarımları delik çapının tespit edilmesi ile başlamaktadır. Uygulamada genellikle delik çapının artması ile delme ve patlatma birim maliyetinin düşeceği kabul edilmektedir [5]. Ancak maden işletmeleri patlatmalı kazı faaliyetlerini gerçekleştirirken delme ve patlatma faaliyetlerinin yanında yükleme ve taşıma faaliyetlerinde de bulunmaktadırlar. Maden işletmelerinde yükleme ve taşıma en önemli maliyet kalemlerinden birisi olup toplam maliyetin yaklaşık yarısını oluşturmaktadır [5]. Yükleme ve taşıma maliyetini etkileyen en önemli parametrelerden birisi de yüklenen malzemenin parça boyutudur. Delik çapının artması beraberinde patlatma sonrası iri parçalanma oranının da artmasına neden olacaktır. Bu durum yükleme ve taşıma maliyetinin artmasına sebep olacaktır. Bu nedenle birim maliyeti etkileyen en önemli parametrelerden birisinin delik çapı olmasından dolayı işletme bazlı delik çapı belirlenmeli ve büyük çaplı delik yerine en düşük maliyete sebep olabilecek optimum delik çapı seçilmelidir. Delik çapının belirlenmesinde etkin olan temel parametreler arasında patlatma yapılacak kayanın özellikleri, patlatma yapılacak alanın yerleşim yerlerine ve hassas yapılara olan etki mesafeleri, istenilen parçalanma derecesi, makine-ekipman kapasiteleri ve boyutları ile basamak yüksekliği sayılabilir [6]. Yukarıda sayılan bu nedenlerden dolayı patlatma tasarımlarında delik çapının proje bazında tespit edilmesi gerekmektedir. Literatürde pratik olarak delik çapının belirlenmesi ile ilgili değişik referans yaklaşımlar bulunmaktadır. Delik çapının belirlenmesi çoğunlukla basamak yüksekliği ile ilişkilendirilmiş olup bununla ilintili olarak, [7], [9] - [12] sırasıyla (1), (2), (3), (4) ve (5) ile verilen eşitlikleri önermişlerdir. Ayrıca, optimum patlatma deliği çapının basamak yüksekliğinin 0,005 ila 0,0125 [7] - [13], başka bir çalışmada ise basamak yüksekliğinin 0,5 ile %1 arasında olması gerektiği ifade edilmiştir [14]. Diğer taraftan, bazı araştırmacıların

yaptıkları çalışmalar sırasında delik çapının, basamak yüksekliğinin 40'ta biri ile 80'de biri arasında değiştiğini gözlemlemiştirler [8]. Ülkemizde, açık ocak patlatmalarında 76, 89, 102 ve 165 mm delik çapları seçilmekte olup en çok 89 mm delik çapları tercih edilmektedir. Literatürde ANFO verimliliği için 89 mm ve üzerindeki delik çapları önerilmektedir [15].

$$D_{\min} = 10 * H, D_{\max} = 16,6 * H + 50 \quad (1)$$

$$D = 5 \dots 10 * H \quad (2)$$

$$D = 8,33 * H \quad (3)$$

$$D_{\max} = 16,6 * H \quad (4)$$

$$D \leq 15 * H \quad (5)$$

Burada:

D : Delik çapı (mm)

H : Basamak yüksekliği (m)

Maden işletmelerinde basamak yüksekliğinin belirlenmesinde; yükleyici makine kapasitesi ve boyutları (yükleyici makinenin bom uzunluğu basamağın en üst kısmına erişebilmeli), patlatma verimi, delici makine kapasitesi, jeolojik faktörler, kayacın özellikleri, yeraltı su koşulları, çevresel koşullar, topoğrafya ve ocak verimi gibi hususlar dikkate alınmalıdır. Ayrıca basamak yüksekliği üretimi gerçekleştirecek maden yatağının fiziksel koşullarına, cevherin ve yan taşların ayrı olarak alınması ile sağlanacak selektif madencilik derecesine, üretimi gerçekleştirecek ekipmanların büyüklüğüne ve tipine, ülke maden mevzuatlarına ve iklimsel koşullarına bağlı olarak da değişebilmektedir [16] - [18]. Basamak yüksekliğinin uzun seçilmesi delme hızının düşmesine, delgi ve patlayıcı madde doldurma hatalarının artmasına, yükleme maliyetinin artmasına, iş sağlığı ve güvenliği açısından risk oluşturmaya ve ocaktaki basamak şevlerinin duraylılığının risk oluşturmaya neden olmaktadır. Diğer taraftan basamak yüksekliğinin uzun seçilmesi rezerv kaybının azalmasına ve ocaktan alınacak hammaddenin homojen olmasına sebep olmaktadır. Basamak yüksekliğinin kısa tutulması ise delici iş makinesinden alınacak verimin düşmesine, patlatma ve yükleme maliyetinin artmasına, her basamakta yapılacak yolların artmasına ve ocakta rezerv kaybına neden olmaktadır. Ancak, gereğinden kısa tutulan basamak yüksekliği iş emniyetinin artmasına ve ayrı olarak alınacak malzemelerde daha az karışma olduğundan selektif madencilik daha fazla olanak sağlamaktadır [18], [19]. Yukarıda sayılan nedenlerden dolayı işletme koşulları dikkate alınarak optimum basamak yüksekliği belirlenmelidir. Ülkemizde taş ocakları ve çimento fabrikalarının hammadde ocaklarında basamak yüksekliği 8-12 m arasında değişmekle beraber çoğunlukla 10 m'lik basamak yüksekliği tercih edilmektedir.

Patlatma tasarımı için dikkat edilmesi gereken hususlardan birisi de patlatmanın yapılacağı kayaç tipine bağlı olarak özgül şarjın belirlenmesidir. Özgül şarj, birim hacimde kaya kütlelerini patlatmak için gerekli olan patlayıcı madde miktarı olarak ifade edilmekte olup maliyeti etkileyen önemli patlatma tasarım parametrelerinden birisidir. Literatürde özgül şarjın belirlenmesi ile ilgili değişik yaklaşımlar bulunmakta olup kayanın madde ve kütle özellikleriyle, optimum özgül şarjın ilişkilendirilmesi en önemlileri arasında sayılabilmektedir [20] - [25]. Özgül şarjın fazla olması delme-patlatma maliyetinin artmasına, taş savrulmasının daha uzak noktalara erişmesine sebep olurken, az olması da patlatma sonrası blok oluşumdan dolayı yükleme ve taşıma maliyetini olumsuz yönde etkilemektedir. Dolayısıyla özgül şarjın belirlenmesi son derece önemlidir. Özgül şarj patlatma yapılacak maden sahasındaki kayaç türüne göre de belirlenebilmektedir (Tablo 1). Buna göre ilk defa açılacak maden sahasında Tablo 1'deki özgül şarj değerleri referans alınarak kayaç türüne bağlı olarak patlatma tasarımının yapılması mümkündür. Sonraki aşamada ise işletme koşullarına bağlı olarak özgül şarjın tekrar hesaplanması yoluna gidilebilir.

Literatür incelendiğinde delme ve patlatma tasarım parametrelerinin belirlenmesi için birçok yaklaşım geliştirilmiştir [9] - [12], [20], [21], [26], [27]. Dağçimen (2006) delme-patlatmaya etki eden parametreleri araştırmış ve tünel ve basamak patlatmaları için Langefors'un yaklaşımı, parça boyut dağılımı için ise Kuz-Ram modeli kullanılarak VISUAL BASIC programlama dili ile delALPat adında bir bilgisayar programı hazırlamıştır. Python Script desteği ile geliştirilen "Power BI" isimli bir entegrasyon sistemi ile büyük

miktardaki delme ve patlatma verisi analiz edilerek yorumlanmış ve raporlanmıştır [28]. Bu çalışmada ise kullanılan tasarım parametrelerinin büyük bir kısmı T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı” “Patlatma Tasarımları ve Patlatma Kaynaklı Çevresel Etkiler Kılavuzundaki [2] eşitlikler dikkate alınmıştır. Tasarım parametrelerinde kullanılan eşitlikler Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1. Patlatma yapılacak değişik kayaç tipleri için özgül şarj değerleri [12], [29] - [32].

Kayaç dayanım sınıfı	Basınç dayanımı (MPa)	Kayaç adı	Özgül şarj (kg/m ³)
Yumuşak kaya (Düşük dayanım)	1-5		0,15-0,25
	5-25		0,25-0,35
	4-12	Kiltaşı, Silttaşı, Killi Marn	0,10-0,16
	40-60	Marn	0,13-0,18
	<50	Kömür	0,15-0,25
	50-70	Karbonatlı Marn	0,20-0,25
	50-70	Çok Killi Kalker	0,21-0,27
	50-100	Kumtaşı, Kireçtaşı, Şeyl	0,30
	50-150	Kumtaşı	0,30-0,40
	Alçıtaşı (jips)	0,45-0,55	
Orta sert / Orta dayanım (Düşük dayanım)	25-30		0,40-0,50
	50-100	Çok çatlaklı kalker	0,25-0,30
	80-140	Kalker (taze, az çatlak)	0,35-0,40
	60-100	Andezit (az, orta ayrıışmış)	0,30-0,375
	70-100	Silisifiye kayaçlar	0,55-0,60
	60-100	Mermer (metamorfik)	0,40-0,50
	20-40	Serpantin	0,35 (ezik)-0,50 (taze)
	40-140	Granit (porfiri bakır)	0,40-0,45
	100-200	Dolomit, Metamorfik Kayaçlar, Kuvars, Serpantin, Şist	0,45
		Kalker (kırıklı, çatlaklı, karstik boşluklu)	0,45-0,55
	Kalker (az çatlaklı, masif)	0-35-0,45	
Sert Kaya (Yüksek Dayanım)	130-180	Bazalt	0,375 (eklemlili)-0,45 (masif)
	130-200	Dasit	0,45 (eklemlili)-0,50 (masif)
	130-160	Siyenit / Riyolit	0,40-0,45
	100-160	Andezit (taze, az ayrıışmış)	0,35-0,40
	140-330	Granit (taze) / diyabaz	0,45-0,50
	55-250	Kuvars monzonit/K.Diorit	0,45-0,50
	>200	Andezit, Granit, Demir cevheri, Çakmaktaşı, Diyabaz	0,70
	50-100		0,70-0,80
Orta Dayanım	50-90	Bakır cevheri	0,50-0,65
	50-70	Hematit cevheri	0,80-0,85
Yüksek Dayanım	100-110	Manyetit Cevheri	0,85-1,0

Tablo 2. Patlatma tasarımında kullanılan eşitlikler

Tasarım parametreleri	Eşitlik	Kaynak
En büyük yük mesafesi (B_{max})	$B_{max} = 1,36 \cdot \sqrt{l_b} \cdot R_1 \cdot R_2$ ANFO	
Delik taban payı (U)	$U = 0,3 \cdot B_{max}$	
Delik boyu (H)	$H = k_1 \cdot (K + U)$	
Delme hatası (E)	$E = d/1000 + 0,03 \cdot H$	
Yük mesafesi (B)	$B = B_{max} - E$	
Delik aralığı (S)	$S = 1,25 \cdot B$	[27]
Özgül delme (b)	$b = H/(K \cdot B \cdot S)$	[2]
Dip şarj uzunluğu (h_b)	$h_b = 1,3 \cdot B_{max}$	[31]
Dip şarj miktarı (Q_b)	$Q_b = h_b \cdot l_b$	
Kolon şarj yoğunluğu (l_c)	$l_c = \%50 \cdot l_b$	
Sıkılama uzunluğu (h_0)	$h_0 = B$	
Kolon şarj yüksekliği (h_c)	$h_c = H - h_b - h_0$	
Kolon şarj miktarı (Q_c)	$Q_c = h_c \cdot l_c$	
Toplam şarj miktarı (Q_{top})	$Q_{top} = Q_c + Q_b$	
Özgül şarj (q)	$q = Q_{top}/(B \cdot S \cdot K)$	
Taş savrulması (L_{max})	$L_{max} = 260 \cdot d_1^{\frac{2}{3}}$	[33]
Taş savrulması (L_{max})	$L_{max} = \frac{k_1^2}{g} \left(\frac{\sqrt{l_b}}{h_0} \right)^{2,6} \sin 2\theta$	[34]
Ölçekli gömme derinliği ($SDOB_m$)	$SDOB_m = \frac{h_0 + 0,0005 \cdot m \cdot d}{0,00923 \cdot (m \cdot d^3 \cdot \rho_e)^{0,333}}$	[2]
Azami taş savrulması mesafesi (L_{max})	$L_{max} = 11 \cdot (SDOB_m)^{-2,167} \cdot d^{0,667}$	[2]
Maksimum parçacık hızı (PPV)	$PPV = k \cdot \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-\beta}$	[35] [2]
Ölçekli mesafe (SD)	$SD = \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)$	[36] [2]
Hava şoku (P)	$P = k \cdot \left(\frac{D}{\sqrt[3]{W}} \right)^{-\beta}$	[37] [2]
Ölçekli mesafe (SD)	$SD = \left(\frac{D}{\sqrt[3]{W}} \right)$	[36] [2]
Hava şoku (P)	$P = 165 - 24 \cdot \log_{10} \left(\frac{D}{\sqrt[3]{W}} \right)$	[38]
Patlatma yapılan işkolları için geçerli parçacık hızı tahmin formülleri		
Patlatma Türü	Metrik formül (mm/s)	Güvenilirlik derecesi
Genel	$P = 1140 \cdot SD^{-1,6}$	En iyi uyum (%50 güvenilirlik)
İnşaat	$P = 173 \cdot SD^{-1,6}$	Alt sınır eşitliği (%50'den az güvenilirlik)
İnşaat	$P = 1730 \cdot SD^{-1,6}$	Üst sınır eşitliği %95 güvenilirlik
İnşaat	$P = 4320 \cdot SD^{-1,6}$	Üst sınır-yüksek hapsedme/patlayıcı fazla gömülmüş (%95 güvenilirlik)
İnşaat	$P = 53 \cdot SD^{-1,09}$	En iyi uyum (%50 güvenilirlik)
Taş ocağı	$P = 1090 \cdot SD^{-1,82}$	En iyi uyum (%50 güvenilirlik)
Kömür madeni	$P = 905 \cdot SD^{-1,52}$	En iyi uyum (%50 güvenilirlik)
Kömür madeni	$P = 3330 \cdot SD^{-1,52}$	Üst sınır eşitliği (%95 güvenilirlik)
Kömür (düşük frekanslı sahalar)	$P = 1252 \cdot SD^{-1,31}$	En iyi uyum (%50 güvenilirlik)
ABD Federal Tüzüğünde cihazın düşük frekansları ölçme kabiliyetine bağlı olarak izin verilen en yüksek gürültü düzeyleri		
Ölçüm sisteminin düşük frekans limiti (Hz)		Azami gürültü seviyesi (dB)
2 Hz veya daha düşük		En yüksek 133
6 Hz'den düşük (2 Hz'e kadar)		En yüksek 129
Patlatma yapılan işkolları için geçerli hava şoku tahmin formülleri		
Patlatma türü	Metrik formül (mbar)	Güvenilirlik derecesi
Açıkta patlama (hapsedilmemiş)	$P = 3589 \times SD^{-1,38}$	En iyi uyum
Kömür Madeni (arakesme patlatması)	$P = 2596 \times SD^{-1,62}$	En iyi uyum
Kömür Madeni (şev öteleme patlatması)	$P = 5,37 \times SD^{-0,79}$	En iyi uyum

Taşocağı basamak patlatması	$P = 37,1 \times SD^{-0,97}$	En iyi uyum					
Metal madeni	$P = 14,3 \times SD^{-0,71}$	En iyi uyum					
İnşaat (ortalama)	$P = 24,8 \times SD^{-1,1}$	En iyi uyum					
İnşaat (iyi hapsedilmiş)	$P = 2,48 \times SD^{-1,1}$	En iyi uyum					
Gömülü (tam hapsedme)	$P = 1,73 \times SD^{-0,96}$	En iyi uyum					
Delik eğimi	Düşey	10:1	5:1	3:1	2:1	1:1	
R ₁	0,95	0,96	0,98	1,00	1,03	1,10	
c	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	>0,60
R ₂	1,25	1,20	1,15	1,00	0,90	0,80	0,70
Eğim ve açısı	Düşey (90°)	10:1 (84°)	5:1 (79°)	4:1 (76°)	3:1 (62°)	2:1 (63°)	1:1 (45°)
k ₁	1,00	1,005	1,02	1,03	1,05	1,12	1,41

lb : Deliğin dip şarj metresi başına patlayıcı madde miktarı, (kg/m)

R₁ : Farklı delik eğimleri için düzeltme faktörü

R₂ : Farklı kaya sabitleri (katsayıları) için R2 düzeltme faktörleri

K : Basamak yüksekliği, (m)

k₁ : Farklı delik eğimleri için delik boyu hesabında kullanılan düzeltme faktörleri

d : delik çapı, (mm)

d₁ : delik çapı, (inç)

k₁ : Yumuşak kayalarda (kömür vb.) 13,5 iken sert kayalarda (granit, bazalt vb.) 27'dir.

g : Yerçekimi ivmesi, (m/s²)

θ : Taş savrulma açısı, (°)

m : katkıda bulunan patlayıcı kolon (şarj) uzunluğu, ("m"nin azami değeri, delik çapı 100 mm'den (4 inç'ten) küçük olduğunda 8, "m"nin azami değeri, delik çapı 100 mm'den (4 inç'ten) büyük veya eşit olduğunda 10 olarak alınmaktadır)

ρe : patlayıcı yoğunluğu, birimi (g/cm³)

k : Patlatma sonucu oluşan sonik (sismik) dalgaların inceleme konusu zeminde yayılması ile ilgili bir katsayıdır.

D : Patlatma noktası ile söz konusu inceleme noktası (veya ölçüm noktası veya hasar görmesi olası ve incelenen yapı) arasındaki fiziki mesafe, (m)

W : Patlatma yapılan madende anlık (gecikme başına) patlatılan patlayıcı madde miktarı, (kg)

β : Saha sabiti (Saha sönümleme katsayısı veya jeolojik sabit)

D : Patlatma noktasından uzaklık, (m)

W : Gecikme başına maksimum patlayıcı madde miktarı, (kg)

III. BİLGİSAYAR MODELİ VE ÖRNEK UYGULAMALAR

Geliştirilen PYTHON tabanlı arayüz (GUI) uygulaması ile değişik maden ocakları için patlatma tasarımı ve çevresel etkilerin modellenmesi mümkündür. Bunun için modele ilk etapta patlatma yapılacak madenin işletme türü (taş ocağı, metal madeni, kömür ocağı vs.), yıllık üretim miktarı, çalışma süreleri (ay, gün, saat), patlatma gün aralığı, patlatma yapılacak kayacın yoğunluğu, delik çapı, patlayıcı madde yoğunluğu, basamak yüksekliği, delik eğimi, kaya sabiti, yemleyici dinamit ve kapsül miktarları (delik içi, yüzey ve sıralar arası) veri olarak girilmektedir. GUI uygulamasının modelleme yapabilmesi için veri giriş ekranındaki tüm verilerin eksiksiz bir şekilde girilmesi gerekmektedir. Aksi takdirde model çalışmamaktadır. Modelin veri giriş ekranında veriler eksiksiz bir şekilde girildikten sonra hesapla butonuna tıklanarak model çalıştırılmaktadır. Örnek bir taş ocağına ait ana girdi parametreleri ve GUI uygulamasının hesap ekranı Şekil 1'de verilmiştir. Model, girdi parametrelerine göre patlatma tasarımı ve çevresel etkileri hesaplayıp sonuçları çıktı ekranında vermektedir (Şekil 2). Buna göre modelin çıktı ekranında, projenin üretim miktarları (yıllık, aylık, günlük ve saatlik), patlatma gün sayıları (aylık, yıllık), delik pateni, bir atım ile yıllık patlayıcı madde tüketimleri ve patlatma kaynaklı çevresel etkiler verilmektedir. Model sayesinde patlatma yapılacak madenin türüne göre patlatma tasarımının ve çevresel etkilerinin önceden tahmin edilmesi çok kısa zaman aralığında ve doğru bir şekilde gerçekleştirilmesi mümkündür.

PARAMETRELER		Delme hatası (m)	0.42	PATLATMA KAYNAKLI ÇEVRESEL ETKİLER_ TAŞ OCAĞI	
Kayaç yoğunluğu (ton/m ³)	2.50	Özgül delme (m/m ³)	0.14	Zemin titreşimi etki mesafesi, 12.7 mm/sn (m)	75.76
Yıllık üretim miktar (ton/yıl)	1500000.00	Dip şarj uzunluğu (m)	3.76	Zemin titreşimi etki mesafesi, 5 mm/sn (m)	126.44
Yıllık üretim miktar (m ³ /yıl)	600000.00	Dip şarj miktar (kg)	18.82	Zemin titreşimi etki mesafesi, 50 mm/sn (m)	35.68
Aylık üretim miktar (ton/ay)	125000.00	Kolon şarj yüksekliği (m)	4.64	Taş savulması, Lundborg yaklaşımı (m)	599.81
Aylık üretim miktar (m ³ /ay)	50000.00	Kolon şarj miktar (kg)	23.23	Taş savulması, Richard and Moore yaklaşımı (m)	57.51
Günlük üretim miktar (ton/gün)	5000.00	Özgül sarj (kg/m ³)	0.55	Azami taş savulma mesafesi (m)	56.63
Günlük üretim miktar (m ³ /gün)	2000.00	Bir delikten elde edilen teorik hacim (m ³)	76.08	PATLATMA KAYNAKLI HAVA ŞOKU_ TAŞ OCAĞI	
Saatlik üretim miktar (ton/saat)	625.00	Bir delikten elde edilen teorik tonaj (ton)	190.19	Hava şoku, (Blasters Handbook, 133 dB)	165.69
Saatlik üretim miktar (m ³ /saat)	250.00	BİR DELİĞE DÖLDÜRÜLEN PATLAYICI MADDE MİKTARLARI		Hava şoku, (Blasters Handbook, 140 dB)	72.19
Kaç günde bir patlatma yapacağı (gün)	5.00	Ana şarj (ANFO) miktar (kg)	42.05	Hava şoku, (Zeeman, 133 dB)	75.51
Aylık patlatma sayısı (adet)	5.00	Yemleyici dinamit miktar (kg)	1.00		
Yıllık patlatma sayısı (adet)	60.00	Elektriksiz kapsül miktarı (adet)	2.00		
Bir atımdaki üretim (ton/atım)	25105.08	Bir delikteki toplam patlayıcı madde miktarı (kg)	43.05		
Bir atımdaki üretim (m ³ /atım)	10042.03				
DELİK PATERNİ		BİR ATIMDAKI TÜKETİMLER		Kapat	
Delik sayısı (adet/atım)	132.00	ANFO (kg/atım)	5551.00		
Delik çapı (mm)	89.00	Yemleyici (dinamit) miktar (kg/atım)	132.00		
Delik eğimi (derece)	90.00	Elektriksiz kapsül miktar (adet/atım)	264.00		
Birim şarj (kg/m)	5.01	Elektrikli kapsül miktar (adet/atım)	2.00		
Basamak boyu (m)	10.00	Sıralararası gecikme kapsül miktar (adet/atım)	4.00		
En büyük yük mesafesi (m)	2.89	PROJENİN YILLIK PATLAYICI MADDE MİKTARLARI			
Yük mesafesi (m)	2.47	ANFO (kg/yıl)	333060.00		
Dip delgi (m)	0.87	Yemleyici (dinamit) (kg/yıl)	7920.00		
Delik boyu (m)	10.87	Elektriksiz kapsül (adet/yıl)	15840.00		
Delikler arası mesafe (m)	3.08	Elektrikli kapsül (adet/yıl)	120.00		
Sıklama boyu (m)	2.47	Sıralar arası gecikme kapsülü (adet/yıl)	240.00		

Şekil 2. Modelin çıktı parametreleri

IV. TARTIŞMA

Geliştirilen model sayesinde patlatma tasarımı ve çevresel etkilerinin (titreşim, hava şoku, taş savrulması) projenin başlangıcında yani ÇED süreci aşamasında kısa zamanda ve doğru bir şekilde tahmin edilmektedir. Model ile patlatma yapılacak sınırın yerleşim yerlerine olan etki mesafelerini dikkate almak suretiyle de tasarımının yapılması mümkündür. Ayrıca farklı basamak yüksekliklerinde, değişik delme çaplarında ve değişik özgül şarjlar dikkate alınarak da patlatma tasarımlarının ve çevresel etkilerinin de tahmin edilmesi mümkündür. Geliştirilen model ile Şekil 1'deki veriler dikkate alınarak örnek bir taş ocağında (kalker) 8, 10, 12, 15 ve 20 metrelik basamak yükseklikleri ile 76, 89, 102, 115, 127 ve 152 mm'lik delik çapları için ayrı ayrı modellemeler yapılmış olup tasarımları, çevresel etkileri ve birim maliyetleri Tablo 3'te verilmiştir. Buna göre modellemelerden elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir.

Patlatma tasarımları ve maliyetler için, tüm patlama deliklerinin kuru olduğu kabul edilerek, $0,805 \text{ kg/dm}^3$ yoğunluğa sahip ANFO dikkate alınarak yapılmıştır. Patlayıcı madde miktarı olarak her bir delik için 1 kg'lık kapsüle duyarlı patlayıcı madde kullanılmıştır. Elektriksiz kapsüllerin uzunluklarının hesabında her bir patlama deliğinin derinliği ve delikler arası mesafeler dikkate alınmıştır. Patlatma tasarımı için birim maliyetlerin hesabında ANFO; 1,4 dolar/kg, yemleyici dinamit; 2,6 dolar/kg, elektriksiz kapsül (yüzey gecikmeli delik içi ateşleme sistemi); 5,5-8 dolar/adet değerleri kullanılmıştır.

Delik çapı aynı olmak koşuluyla basamak yüksekliği arttıkça bir atımda gerekli olan ANFO miktarı ve buna bağlı olarak özgül şarj artmaktadır. Modelden elde edilen bu sonuçlar daha önce yapılan çalışmaları destekler nitelikte olduğu görülmüştür [5]. Ayrıca, delik çapının sabit kalması koşuluyla basamak yüksekliği artması, bir atımdaki delik sayısının azalmasına ancak atımdaki toplam delik uzunluğunun artmasına sebep olmaktadır. Böylece, basamak yüksekliğinin artması atımdaki delik uzunluğunu arttıracığı için delme maliyetinin artmasına, ancak delik sayısının az olmasından dolayı delicinin daha verimli çalışmasına neden olmaktadır. Bu nedenle düşük basamak yüksekliğinde delme süresi, yüksek basamağa göre daha kısa olmakta ancak manevra süresinin daha fazla olmasına neden olmaktadır. Basamak yüksekliğinin sabit ve delik çapının artması durumunda atımdaki delik sayısını düşüreceği için delme ve patlatma birim maliyetinin azalmasına neden olmaktadır. Bu durum, aynı zamanda atımdaki gerekli olan yemlemeye duyarlı patlayıcı maddenin düşüreceğinden özgül şarjın azalmasına da işaret etmektedir.

Delik çapı sabit kalmak koşuluyla basamak yüksekliği arttıkça bir deliğin gevşetilmesi sırasında alınacak malzeme miktarı artmaktadır. Zemin titreşim etki mesafesi, hava şoku ve azami taş savrulması mesafesi delik çapı ve basamak yüksekliğine bağlı olarak artış göstermektedir. Düşük zemin titreşimi, hava şoku ve taş savrulması için delik çapının ve basamak yüksekliğinin düşürülmesi gerekmektedir.

Delik çapının artması patlatma birimi maliyetini azalmasına sebep olurken patlatma kaynaklı zemin titreşimi, hava şoku ve azami taş savrulma mesafesinin artmasına sebep olmaktadır. Örneğin geliştirilen modele göre en yakın yerleşim yerinin 160 metre olduğu kabul edildiği bir durumda, ekonomik olmasına rağmen büyük çaplı deliklerle patlatma yapılamayacağı görülmüştür. Bunun için sadece 76 ve 89 mm delik çapında delik delineceği ve basamak yüksekliğinin ise 76 mm için 8, 10 ve 12 metre, 89 mm delik çapı için ise sadece 8 metre basamak yüksekliğinde çalışma yapılacaktır. Bu durumda ise en ekonomik ocak planlamasının 89 mm delik çapı ve 8 metre basamak yüksekliği için olacaktır. Dolayısıyla patlatma tasarımı yapılırken birim maliyetin yanında çevresel etkiler de dikkate alınmalıdır.

Tablo 3. Farklı basamak yükseklikleri ve delik çapları için patlatma tasarım parametreleri, çevresel etkileri ve birim maliyetleri

Delik çapı (mm)	Basamak yüksekliği (m)	Delikler arası mesafe (m)	Dilim kalınlığı (m)	Atımdaki delik sayısı-boyu	ANFO miktarı (kg)	Özgül şarj (kg/m ³)	Zemin titreşimi 5 mm/sn	Hava şoku 133 dB	Azami taş savrulma (m)	Patlatma birim maliyeti (TL/ m ³)
76	8	2,66	2,13	221 – 1931,54	5335	0,53	96,62	138,49	40,26	42,30
	10	2,71	2,09	177 – 1911,60	5496	0,55	109,09	150,16	43,02	42,20
	12	2,63	2,03	157 – 2011,17	5833	0,58	119,02	159,14	49,10	43,70
	15	2,71	1,94	127 – 2010,41	6171	0,62	135,69	173,68	52,74	44,90
	20	2,65	1,97	96 – 2007,36	6432	0,64	158,90	192,95	67,64	45,60
89	8	3,16	2,53	157 – 1392,59	4983	0,51	110,25	151,23	44,15	38,00
	10	3,12	2,50	129 – 1409,97	5447	0,54	126,68	165,69	55,68	40,20
	12	3,05	2,44	112 – 1449,28	5685	0,57	138,63	176,17	52,87	41,40
	15	3,05	2,35	94 – 1500,24	6184	0,61	157,47	191,80	64,56	43,70
	20	3,02	2,42	69 – 1452,45	6228	0,62	184,07	212,83	74,37	43,80
102	8	3,67	2,94	116 – 1042,84	4624	0,46	123,18	163,82	52,61	33,90
	10	3,59	2,88	97 – 1066,03	5181	0,52	142,14	179,13	66,79	36,90
	12	3,52	2,82	84 – 1091,16	5466	0,55	156,63	191,11	68,76	37,90
	15	3,70	2,81	64 – 1023,36	5554	0,56	177,30	207,57	76,43	38,10
	20	3,85	2,76	48 – 1007,52	5607	0,57	205,42	228,98	73,16	38,80
115	8	4,18	3,35	90 – 820,80	4252	0,42	133,84	172,09	55,87	30,40
	10	4,09	3,28	75 – 834,00	4917	0,49	157,21	191,58	71,78	34,50
	12	4,03	3,23	65 – 852,80	5381	0,53	176,38	206,86	87,62	36,60
	15	4,06	3,13	53 – 854,36	5480	0,54	196,87	222,58	80,85	36,80
	20	4,30	3,09	38 – 802,56	5291	0,52	228,18	245,60	76,10	35,70
127	8	4,65	3,72	73 – 674,52	4107	0,41	145,82	182,21	60,64	28,80
	10	4,57	3,66	60 – 674,40	4636	0,46	170,48	202,22	76,01	32,10
	12	4,50	3,60	52 – 688,48	5111	0,51	192,00	218,89	92,31	34,40
	15	4,56	3,51	42 – 682,08	5301	0,53	217,34	237,75	99,47	35,20
	20	4,87	3,36	31 – 658,44	5333	0,53	253,47	263,42	103,21	35,60
152	8	5,63	4,51	50 – 474,00	3638	0,36	165,50	198,26	68,76	24,80
	10	5,55	4,44	41 – 470,68	4217	0,42	196,37	222,21	85,36	28,30
	12	5,47	4,38	35 – 471,80	4653	0,46	223,01	241,87	102,78	31,00
	15	5,36	4,29	29 – 477,92	5164	0,52	257,87	266,46	130,56	34,20
	20	5,38	4,14	23 – 494,04	5409	0,53	296,13	292,20	111,34	34,70

V. SONUÇLAR

Patlatma tasarımı ve çevresel etkilerin hesaplanması yapan bir bilgisayar modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model ile özellikle “T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı” “Patlatma Tasarımları ve Patlatma Kaynaklı Çevresel Etkiler Kılavuzunda [2]” belirtilen eşitlikler kullanılmıştır. Model ile farklı birçok açık ocak varyasyonlarındaki patlatma parametrelerini kullanarak veri girişi yapılabilen ve kısa zamanda doğru sonuçlar üretilebilmektedir. Geliştirilen model sayesinde, patlatma tasarımlarının ve olası çevresel etkilerindeki matematiksel hesaplama hatalarının önüne geçilmiş ve tasarımlar çok kısa ve anlaşılır düzeyde çözüm sunma olanağı sağlamıştır. Ayrıca, geliştirilen modelin çıktı ekranındaki veriler patlatma işlemi yapılması zorunlu ÇED raporlarının ilgili bölümlerinde rahatlıkla kullanılabilme imkânı da sunmaktadır. Böylece, ÇED raporlarının içerisinde yer alan patlatma tasarımları ve çevresel etkilerindeki olası hesaplama hatalarının önüne geçilmiş olunabilmektedir. Geliştirilen modelin sonuç ekranındaki çıktı verileri patlayıcı madde ihtiyaç raporunun hazırlanmasının zorunlu olduğu resmî belgelerde kullanıcıya hızlı ve pratik çözüm önerileri sunmaktadır. Model ile, istenilen üretim kapasiteleri ve çalışma koşullarına göre kullanıcıya farklı çözüm senaryoları da sunmaktadır.

Geliştirilen model ile yıllık üretim kapasitesi 1500.000 ton olan bir taş ocağı (kalker) için değişik delik çapları ve basamak yükseklikleri için patlatma tasarımları ve çevresel etkileri hesaplanmıştır. Buna göre delik çapı sabit kalmak koşuluyla patlatma birim maliyetinin arttığı, zemin titreşimi, hava şoku ve azami taş savrulma mesafesinin ise artış gösterdiği görülmüştür. Bu nedenle ocak planlaması yapılırken birim maliyetlerin yanında çevresel etkilerin de dikkate alınması gerekmektedir. Bu çalışma sayesinde, veri görselleştirmenin her patlatma tasarımı için çok önemli olduğu, görselleştirme yoluyla son kullanıcının veya kullanıcının verileri daha kolay ve rahat bir şekilde okuyabileceği maden firmaları açısından kolaylıkla kullanılabilirliği ve raporlamada da kolaylık sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] H. Jang, & E. Topal, “Optimizing overbreak prediction based on geological parameters comparing multiple regression analysis and artificial neural network”. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 38, 161-169, 2013
- [2] ÇSB, “Patlatma Tasarımları ve Patlatma Kaynaklı Çevresel Etkiler Kılavuzu”, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ÇED İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü, Ankara, 2018
- [3] Z. Duran, Y. Gül, “Sivas-Ulaş Akkaya jips açık ocağında ateşleme sistemlerinin patlatma maliyetine etkilerinin incelenmesi”. 6. Ulusal kırmataş sempozyumu, 06-07 Ekim, s.141-148, Sivas, 2011
- [4] H. Georgen, “Festgesteins-Tagebau”, Trans Tech Publications, Aachen, 96 pp, 1987
- [5] H. Köse, C.O. Aksoy, A. Gönen, M. Kun, T. Malli, “Economic evaluation of optimum bench height in quarries”, *The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy*, 127-135, 2005
- [6] A. Dağçimen, “Patlatma tasarımı için geliştirilen bir bilgisayar programı”, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 2006
- [7] G.R. Adhikari, “Selection of blasthole diameter for a given bench height at surface mines”, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* (36) 843-847, 1999
- [8] Y. Karakuş, “Yerleşim birimlerinde yapılacak temel kazılarında mini basamak patlatma sisteminin uygulanabilirliği”, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2012
- [9] Tamrock, *Handbook on surface drilling and blasting*, Painofactrit Finland, 310, 1984
- [10] Atlas Powder Co., *Explosives and rock blasting*, Atlas powder co., Dallas, 662, 1987
- [11] C.J. Konya, E. J. Walter, “Surface blast design”, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1990
- [12] DYN0, *Blasting and Explosives Quick Reference Guide*, 32 pages, 2010
- [13] F.F.Roxborough, G.C. Sen, “Breaking coal and rock. In: Australasian coal mining practice, monograph”, 12. Australia: The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 1986
- [14] J. Naapuri, “Surface drilling and blasting”. Tamrock, 1987.
- [15] Ö. Akkoyun, “Basamak patlatması temel hesaplamaları için bilgisayar yazılımı”, Delme patlatma sempozyumu, Ankara, 2010
- [16] D. Armstrong, Definition of mining parameters [online], http://books.smenet.org/Surf_Min_2ndEd/sm-ch05-sc07-ss00-bod.cfm#3., 2006
- [17] G.A. Fourie, C.D.Gerald, “Open pit planning and design”, SME Mining engineering handbook on cd-rom, Hartman H.L. (senior edt), 2nd ed Vol:2, USA, Cushing-Malloy, Inc., Ann Arbor, MI, 0-87335-100-2, 1996
- [18] T. Doğan, “Açık ocak üretim planlamasında coğrafi Bilgi sisteminin (GIS) kullanılabilirliği”, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 2007
- [19] S. Saltoğlu, “Açık işletmeler”, Teknik Üniversite Matbaası, Gümüşsuyu, İstanbul, 1992

- [20] U. Langefors, B. Kihlstrom, "The modern technique of rock blasting", Halsted Press a division of John Wiley & Sons Inc., 3. Baskı, New York, 438, 1978
- [21] H.A. Bilgin, A.G. Paşamehmetoğlu, "Kayaların patlatılabilirlikleri delinebilirlikleri üzerine bir çalışma", 1. Ulusal Kaya Mekanik Sempozyumu, s.113-125, Ankara, 1986.
- [22] A.Z. Toper, "Study on blasting parameters in TKI open-pit lignite mines", M.Sc. Thesis, METU, 68 p., An-kara, 1988
- [23] H.A. Bilgin, A.G. Paşamehmetoğlu ve H.T. Özkahraman, "Effect of dominant discontinuity orientation on blasting", Mine Planning and Equipment Selection, Third International Symposium, İstanbul, 1994.
- [24] A. Kahrıman, "Sivas Ulaş Yöresi Sölestit Cevheri ve Yankayaçları için Optimum Patlatma Koşullarının Araştırılması ve Kayaç Özelliklerin İlişkilendirilmesi", Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi, Sivas, 1995
- [25] E. Arpaz, "Türkiye'deki Bazı Açık İşletmelerde Patlatmadan Kaynaklanan Titreşimlerin İzlenmesi ve Değerlendirilmesi", Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi, Sivas, 2000
- [26] T.N. Hagan, "Rock breakage by explosives, Aust geomec nat symp of fragmentation", s.1-17, Alaide, 1974
- [27] S.O. Olofsson, Applied Explosives Technology for Construction and Mining, Sweden, 1988
- [28] J. Mallqui Carhuamaca, J. Jorim Tello Olivas, B. Esterripa Aguilar, C. Enrique Alvarez Montalvan, N. Moggiano Aburto, & L. U. I. S. Ruben Carrasco Contreras, "Big Data analysis for drilling and blasting in a mine in the Central Andes". in Proceedings of the 2021 9th International Conference on Communications and Broadband Networking, 27-33, 2021
- [29] E. Schmidt, "a non-destructive concrete tester". Concrete, 59(8), 1951
- [30] F. Mohamed, A. Hafsaouri, K. Talhi, K. Menacer, "Study of the powder factor in surface bench blasting", Procedia Earth and Planetary Science, 892-899, 2015
- [31] EGM, Sivil Kullanım Amaçlı Patlayıcı Madde Kullanımına İlişkin İhtiyaç Raporu Hazırlama Kılavuzu, T.C. İçişleri Bakanlığı, Emniyet Genel Müdürlüğü, Ankara, 2023
- [32] WEB 1, chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://miningandblasting.wordpress.com/wp-content/uploads/2009/09/blasting-in-surface-excavation.pdf, 2024
- [33] N. Lundborg, "The Hazards of Flyrock in Rock Blasting", Swedish Detonic Research Foundation, Report DS 12, Stockholm, 1974
- [34] A. B. Richards, A.J. Moore, "Blasting Assessment, The Big Hill Enhanced Development Project", Crocodile Gold Corporation, Australia, 2014
- [35] D. E. Siskind, M. S. Stagg, J.W. Kopp, C. H. Dowding, "Structure response and damage produced by ground vibration from surface mine blasting", BuMines RI 8507, 74, 1980
- [36] C.H. Dowding, "Blast Vibration Monitoring and Control". Prentice-Hall. 297p, 1985
- [37] N.R. Ambraseys, A.J. Hendron, "Dynamic behaviour of rock masses. Rock mechanics in engineering". Practices, London: Wiley, 1968
- [38] J.D. Zeeman, "Blast management and consulting report: environmental impact assessment: ground vibration and air blast study", Lodestone magnetite mine project, Colin Christian & Associates CC, 2012