

Basamak Patlatma Tasarımı ve Analizi Yapabilen Bir Mobil Uygulama Yazılımının Geliştirilmesi

Barış KADEM^{1,a}, Abdulkadir KARADOĞAN^{1,b}

¹İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

^aORCID: 0009-0004-2518-7681; ^bORCID: 0000-0001-7321-3320

Makale Bilgileri

Geliş : 28.05.2025

Kabul : 25.09.2025

DOI: 10.21605/cukurovaumfd.1708218

Sorumlu Yazar

Abdulkadir KARADOĞAN

akadir@iuc.edu.tr

Anahtar Kelimeler

Patlatma tasarımı

Çevresel etkiler

Parça boyut dağılımı

Mobil uygulama geliştirme

Atf şekli: KADEM, B., KARADOĞAN, A., (2025). Basamak Patlatma Tasarımı ve Analizi Yapabilen Bir Mobil Uygulama Yazılımının Geliştirilmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 40(3), 725-741.

ÖZ

Bu çalışmada, patlatma tasarımı ve analizleri süreçlerini bütünleşik bir şekilde gerçekleştirilebilen mobil bir uygulama yazılımı geliştirilmiştir. iRockBlast adı verilen bu uygulama, kullanıcıdan alınan saha verileri ile birincil patlatma tasarımı yapabilmekte; yer titreşimi, hava şoku, kaya savrulması gibi çevresel etkileri ve parça boyut dağılım oranlarını tahmin edebilmektedir. Uygulama, Flutter uygulama geliştirme aracı ve Dart programlama dili kullanılarak iOS ve Android mobil işletim sistemlerinde çalışabilecek biçimde geliştirilmiştir. Literatür bilgileri ile oluşturulan algoritmalar üzerine inşa edilmiştir. Bir vaka çalışması ile uygulamanın doğruluğu test edilmiş ve saha sonuçları ile yüksek düzeyde uyum sağladığı gösterilmiştir. Geliştirilen yazılım, mevcut diğer uygulamalardan farklı olarak tasarım ve analiz aşamalarında yenilikler sunmaktadır. Bu uygulama, patlatma operasyonlarının planlanması aşamasında zaman verimliliği ve karar desteği sağlamaktadır.

Development of a Mobile Application Software Capable of Bench Blast Design and Analysis

Article Info

Received : 28.05.2025

Accepted : 25.09.2025

DOI: 10.21605/cukurovaumfd.1708218

Corresponding Author

Abdulkadir KARADOĞAN

akadir@iuc.edu.tr

Keywords

Blast design

Environmental effects

Particle size distribution

Mobile application development

How to cite: KADEM, B., KARADOĞAN, A., (2025). Development of a Mobile Application Software Capable of Bench Blast Design and Analysis. Çukurova University, Journal of the Faculty of Engineering, 40(3), 725-741.

ABSTRACT

In this study, a mobile application software capable of performing integrated blast design and analysis processes has been developed. Named iRockBlast, the application enables users to carry out primary bench blast designs using field data provided on-site. It also allows for the prediction of environmental impacts such as ground vibration, air overpressure, and fly rock, as well as fragment size distribution. The application was developed using the Flutter framework and Dart programming language, making it compatible with both iOS and Android operating systems. It is built upon algorithms derived from well-established literature models. The accuracy of the application was verified through a case study, demonstrating a high degree of consistency between the predicted and actual field results. Unlike existing solutions, the developed software introduces innovative features in both the design and analysis phases. This tool offers significant time efficiency and decision support during the planning of blasting operations.

1. GİRİŞ

İnsanlık tarihinin çeşitli dönemlerinde karşımıza çıkan patlayıcı maddeler, zamanla kaya kazısında da kullanılmaya başlanmıştır. Patlatmalı kazılar, madencilik, taş ocağı işletmeciliği, inşaat sektörleri ve kazı gerektiren diğer altyapı işlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır ve bu işlemin kendisinden sonra gelen tüm işlemlere etkisi bulunmaktadır. Bundan dolayı patlatma tasarımı kritik bir önem taşımaktadır. Patlatma tasarımı başarıya veya başarısızlığa bağlı olarak değişkenlik gösterirken, planlayıcılar kontrol edilemeyen parametreleri göz önüne alarak kontrol edilebilen parametreleri düzenlemektedirler. Başarılı ve çevresel etkileri en az olan kontrollü patlatmaları gerçekleştirmek, atım yapılacak alandaki kayacın özelliklerinin iyi bilinmesine ve bu özelliklere uygun patlatma tasarımının yapılmasına bağlıdır. İdeal bir patlatma tasarımı; en düşük delme, patlatma, yükleme, taşıma ve kırma maliyetleriyle istenen parçalanma oranını sağlamayı hedefler. Artan şehirleşmeyle birlikte madencilik, taş ocaklığı, metro, tünel, baraj, yol ve temel kazıları gibi birçok alanda patlatmadan kaynaklanan çevresel etkilerle yoğun bir şekilde karşılaşmaktadır. Bu çevresel etkiler titreşim, aşırı hava basıncı ve kaya savrulmaları gibi sorunları içerir ve bu etkiler belli şartlar altında çevreye zarar verebilmektedir. Patlatma tasarımında çevresel etkilerin kontrolü hem etkin hem de ekonomik çözümler sunarak madencilik faaliyetlerinin sürdürülebilirliğini sağlamaktadır [1-7].

Literatürde basamak patlatması tasarımı yapabilmek için geliştirilmiş pek çok tasarım modeli mevcuttur. Kayaç özellikleri, işletme koşulları, istenen parçalanma oranları gibi değişkenlere bağlı olarak patlatma tasarım parametreleri belirlenmektedir. Birincil tasarımların sahada uygulanması ve sonuçlara göre tasarımın geliştirilmesi ile nihai tasarım elde edilmektedir. Olofsson [8] tarafından basamak patlatma tasarımı ve bir delikte bir ara sıkılama uygulaması ile çift yemleme kullanılmasına yönelik geliştirilmiş bir model mevcuttur. Patlatma tasarımında delik gecikme süreleri Konya ve Walter'ın [9] önerdiği eşitlikler ile belirlenebilmektedir. Patlatma kaynaklı çevresel etkilerin önceden tahmin edilebilmesi için araştırmacılar tarafından geliştirilmiş çeşitli ampirik eşitlikler bulunmaktadır. Yer titreşimi tahmininde Duvall ve Fogelson [10] tarafından geliştirilen ölçekli mesafe – en yüksek parçacık hızı eşitliği açık ocak patlatmalarında sıkça kullanılmaktadır. Patlatma kaynaklı kaya savrulma mesafeleri için farklı senaryolara göre geliştirilmiş çeşitli eşitlikler mevcuttur. Lundborg ve arkadaşları [11] tarafından en kötü durum senaryosu eşitliği, Richards ve Moore [12] tarafından basamak aynası (yatay) ve sıkılama (düşey) yönlerde kaya savrulma mesafeleri eşitlikleri, McKenzie [13] tarafından ise ölçekli gömme derinliği eşitliği önerilmiştir. Patlatma kaynaklı hava şoku miktarlarının tahmininde Siskind ve arkadaşları [14] tarafından geliştirilmiş bir eşitlik bulunmaktadır. Patlatma işlemi sonucu ana kayadan kopup parçalanan kayaçların oluşturacağı yığının tane boyut dağılımının önceden tahmin edilebilmesi amacıyla Cunningham'ın [15] önerdiği iyileştirilmiş Kuz-Ram modeli gerçek sonuçlar ile uyumluluğu nedeniyle tercih edilmektedir.

Son yıllarda yapay zekâ (AI) ve nesnelerin interneti (IoT) gibi teknolojiler, patlatma mühendisliği alanında önem kazanmaya başlamıştır. AI, makine öğrenmesi (ML) ve derin öğrenme (DL) gibi alt dallara ayrılmaktadır. Bu algoritmalar, basamak patlatma tasarımı, çevresel etkilerin tahmini ve parça boyut dağılımının tahmini amacıyla birçok çalışmada kullanılmıştır. Literatürde, patlatma kaynaklı yer titreşiminin tahmini için [16-20]; aşırı hava basıncı tahmini için [21-26]; kayaç savrulması tahmini için [27-31]; parça boyut dağılımı tahmini için ise [32-36] gibi çalışmalar mevcuttur. Gradyan inişi gibi yöntemler kullanılarak, AI algoritmalarından alınan çıktıların belirli bir limitin altına düşürülmesi için girdiler optimize edilebilmektedir. Bu durum, tahmin sonuçlarına göre patlatma tasarımının revize edilmesini sağlamaktadır. Literatürde yer alan pek çok çalışmanın sonuçlarına göre AI tabanlı yöntemler, ampirik yöntemlere oranla daha yüksek tahmin başarıları sunmaktadır. Ancak doğası gereği kara-kutu olarak tanımlanan bu yöntemler, tahmin başarısını artırırken ampirik yöntemlerin sağladığı açıklanabilirliği azaltmaktadır. Ayrıca, yapılan çalışmaların birçoğu bilimsel ölçekli olup, saha uygulamalarında kullanımı son derece kısıtlıdır. IoT tabanlı sensörler ile saha koşullarında verilerin gerçek zamanlı olarak toplanması ve AI algoritmalarıyla analiz edilmesi, patlatma mühendisliğinde yeni bir yaklaşım olarak ortaya çıkmaktadır. Bu yaklaşım sayesinde, titreşim, aşırı hava basıncı ve kayaç savrulması gibi çevresel etkiler anlık olarak takip edilebilecek ve elde edilen sonuçlara göre patlatma tasarımları hızla revize edilebilecektir. Aruna ve diğ. [37] tarafından yapılan çalışmada, IoT teknolojisinin AI ile kullanıldığında, patlatma süreçlerinde çevresel etkilerin daha doğru tahmin edilmesine katkı sağladığı gösterilmiştir.

Patlatmanın tasarım aşaması dinamik bir yapıdadır. Patlatmanın tasarımı ve analizi fazla sayıda değişkenin eşzamanlı olarak değerlendirilmesini gerektiren karmaşık bir süreçtir. Patlatma planlayıcıları saha üzerinde her zaman anlık olarak yeni bir patlatma tasarımı geliştirebilecek zamanı bulamayabilmektedir. Patlatma tasarımı, parçalanma tahmini ve çevresel etki tahminleri amacıyla geliştirilmiş pek çok masaüstü yazılım

mevcuttur ancak saha koşullarında bilgisayarlara erişim her zaman mümkün olamamaktadır. Bu durum, patlatma planlayıcılarının ani değişikliklere hızlıca tepki vermesini zorlaştırmakta, tasarım-analiz-yenileme döngüsünü yavaşlatmaktadır. Gelişen teknolojiye paralel olarak gelişen akıllı telefon teknolojisi, akıllı telefonları kişisel birer cep bilgisayarı haline getirmiştir. Son dönemde akıllı telefonlar, patlatma tasarımı ve analizi için uygun bir donanım olarak karşımıza çıkmaktadır. Mobil cihazlara entegre çözümler, karar süreçlerinde zaman avantajı sağlayabilmektedir [38].

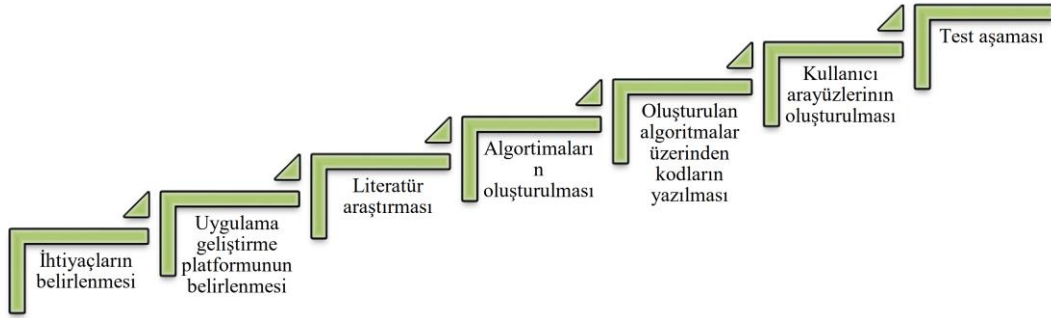
Daha önce benzer amaçlarla patlayıcı firmaları ve/veya yazılım firmaları tarafından geliştirilen uygulamalar [39-45] incelendiğinde hiçbir uygulamanın patlatma tasarımı, çevresel etki analizi ve parça boyut dağılımı analizi konularının tamamını bütüncül bir şekilde ele alamadığı, çeşitli konularda eksiklikleri olduğu ve kullanıcı odaklı çözümler sunamadıkları görülmüştür.

Bu çalışmanın amacı, anlık olarak kullanıcı tarafından uygulamaya girilecek olan saha, patlayıcı madde ve patlatma geometrisi ile ilgili veriler üzerinden birincil patlatma tasarımı yapabilen, bu tasarımdan yola çıkarak yer titreşimi, kaya savrulması, hava şoku gibi çevresel etkileri ve parça boyut dağılımlarını patlatma öncesi tahmin edebilen ve tüm sonuçları raporlayarak bu anlamda patlatma planlayıcılarına karar desteği sağlayabilecek bir mobil uygulama yazılımı geliştirmektir. Bu çözüm, sahada gerçek zamanlı değerlendirme yapılabilmesini mümkün kılarak hem güvenlik hem de ekonomik verimlilik açısından önemli avantajlar sağlayacaktır.

2. YÖNTEM

Patlatma tasarımı ve analizleri süreçlerini bütünlük bir şekilde gerçekleştirilebilen mobil bir uygulama yazılımı geliştirilmesi kapsamında, aşağıdaki aşamalar sistematik biçimde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada izlenen yöneme ait metodolojik akış Şekil 1’de verilmiştir.

1. Kullanıcı ihtiyaçlarının belirlenmesi,
2. Uygun yazılım dili ve mobil uygulama geliştirme platformunun belirlenmesi,
3. Uygulama algoritmasında kullanılacak literatür bilgilerin tespiti,
4. İlgili algoritmaların geliştirilmesi ve yazılım kodlarına dönüştürülmesi,
5. Kullanıcı arayüzlerinin tasarlanması,
6. Gerçek zamanlı testlerin gerçekleştirilmesi.



Şekil 1. Metodolojik akış

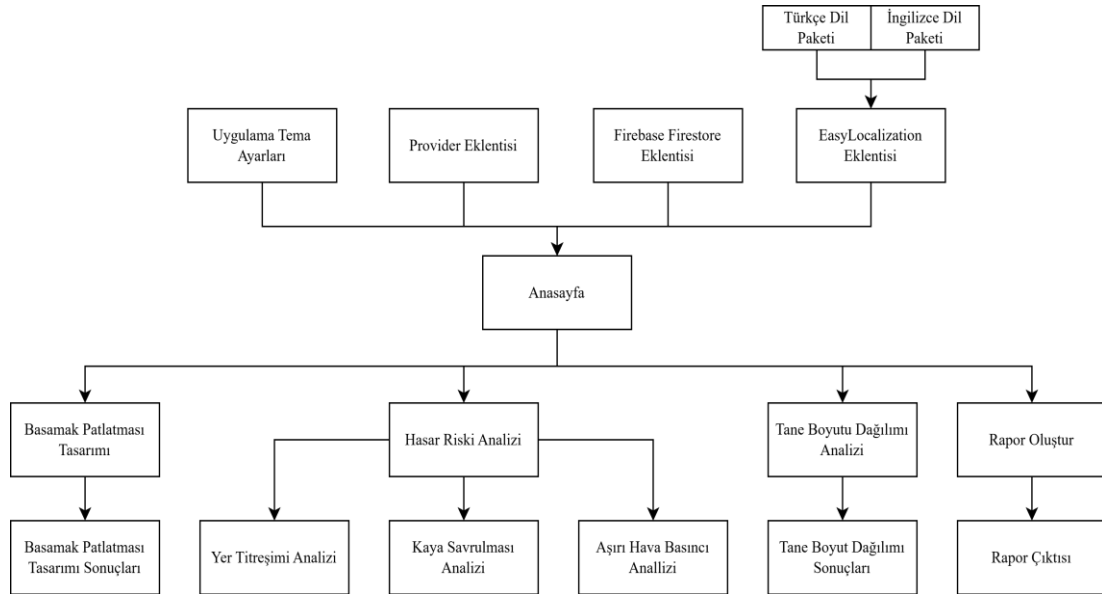
Çalışmanın birinci aşamasında mevcut olan benzer mobil uygulamalar analiz edilmiştir. Bu uygulamaların sahip olduğu ve eksik kalan yönleri belirlenerek geliştirilecek olan yazılımın fonksiyonel kapsamı tanımlanmıştır. Uygulamanın hem iOS hem de Android işletim sistemlerine sahip cihazlarda çalışabilir olması hedeflenmiştir. Bu nedenle, tek bir kod tabanı ile birden fazla platformda çalışabilen, zaman ve maliyet açısından daha verimli olan Flutter çapraz platform geliştirme platformu tercih edilmiştir. Programlama dili olarak ise Flutter ile entegre şekilde çalışan Dart dili seçilmiştir. Uygulamanın ihtiyaç duyacağı hesaplamalar ve bu hesaplamalarda kullanılacak bilgiler için literatür taraması yapılmıştır. Elde edilen bilgiler ile algoritmalar geliştirilmiş, bu algoritmalar kodlara dönüştürülmüştür. Kullanıcı arayüzleri tasarlanmış ve sistemin çalışabilirliği gerçek zamanlı olarak test edilmiştir. Nihai testler ve uygulamadan elde edilen sonuçların saha verileri ile karşılaştırılması ile geliştirme aşaması sonlandırılmıştır. Uygulamaya iRockBlast adı verilmiştir. Uygulama; birincil patlatma tasarımının yapılmasını, yer titreşimi, kaya savrulması ve aşırı hava basıncı gibi çevresel etkilerin önceden tahmin edilmesini, parçalanma

oranlarının analiz edilmesini ve tüm bu adımların sonuçlarının bir rapor halinde kullanıcıya sunulmasını sağlamaktadır. Uygulama toplamda 6209 satır kod içermektedir. Uygulama algoritmasında, kullanıcıya kolaylık sağlamak amacıyla üç ayrı veri tabanı oluşturulmuştur. Bu veri tabanları, uygulamaya entegre biçimde çalışmaktadır. Veri tabanları kullanıcı tarafından yapılan seçimlere göre sorgulanmakta ve bu sorgulardan gelen değerler hesaplamalar için gerekli bazı parametreleri sağlamaktadır. Bu veri tabanları şu şekildedir;

- Yer Titreşimi Veri Tabanı:** Bu veri tabanı, titreşim tahminlerinde kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Saha iletim (k) ve jeolojik (β) sabitlerinin ilgili sahaya özgü olarak belirlenebilmesi için istatistikî güvenilirlik düzeyi (≥ 30 atım ölçümü) gerekmektedir. Ön veri eksikliği bulunan sahalarda kullanılabilmesi için ulusal literatürden alınan denklem sabitleri derlenerek bir veri tabanı oluşturulmuştur.
- Hava Şoku Veri Tabanı:** Hava şoku tahminleri için de yer titreşiminde olduğu gibi benzer bir yaklaşım benimsenmiştir. Literatürdeki güvenilir hava şoku yayılım formülleri ile oluşturulan veri tabanı, kullanıcıların sahadan yeterli sayıda ölçüm verisine sahip olmadan öncesinde güvenli tasarım yapabilmesine imkân tanımaktadır.
- Patlayıcı Malzeme Bilgi Veri Tabanı:** Türkiye’de ve dünyada yaygın olarak kullanılan ticari patlayıcıların marka, model ve yoğunluk bilgilerini içermektedir. Kullanıcı, tasarım aşamasında patlayıcı seçimi yaparken veri tabanındaki teknik özelliklere doğrudan erişmekte; böylece hesaplama sürecinde ek bir araştırma yapmasına gerek olmamaktadır.

3. UYGULAMA ÖZELLİKLERİ VE KULLANICI ARAYÜZÜ

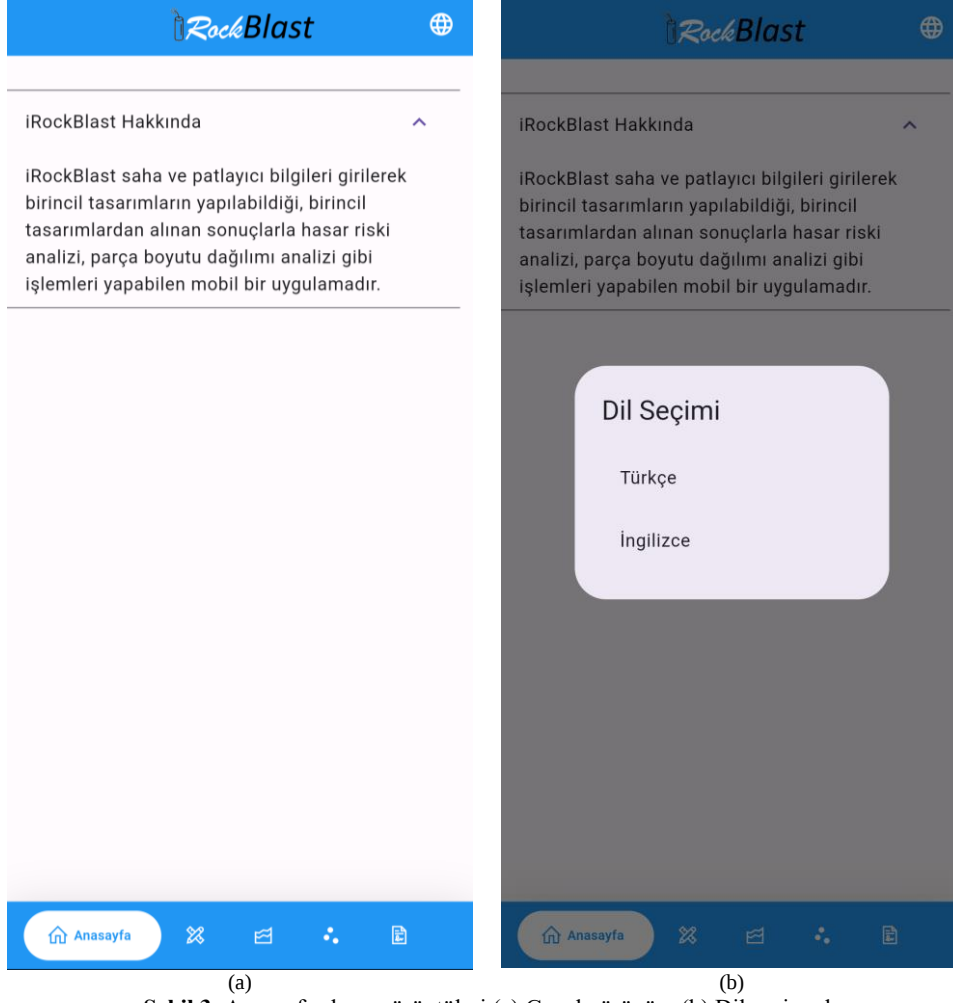
Bu bölümde geliştirilen uygulamanın çalışma mantığı açıklanmış ve kullanıcı arayüzü görselleri verilmiştir. Uygulamanın yapısı beş ana modül üzerine kurulmuştur. Bunlar sırası ile anasayfa, basamak patlatması tasarımı, hasar riski analizi, parça boyut dağılımı analizi ve rapor oluşturma modülleridir. Uygulamadaki sayfaların alt-üst ilişkileri Şekil 2’de sunulmuştur.



Şekil 2. Uygulama sayfaları arasındaki ilişkiler

3.1. Anasayfa

Geliştirilen uygulamanın anasayfa algoritması, uygulamanın temel kodlarına yer vermektedir. Bu kodlar uygulamanın başlatılması, uygulamanın ihtiyaç duyacağı eklentilerin tanımlanması, kullanıcı arayüzü tasarımları, sayfalar arası geçişler, uygulama dil seçenekleri gibi içeriklere sahiptir. Uygulamaya entegre olarak çalışan veri tabanları ve uygulamada hesaplanan değerlerin bellekte saklanması ve gerekli sayfalardaki değişkenlere atanması için gerek duyulan durum yönetimi sistemi ve uygulamanın çalışacağı dil dosyaları bu sayfa içerisinde tanımlanmıştır. Tasarım ve analiz işlemlerine geçişler anasayfa üzerinden yapılmaktadır. Uygulamanın anasayfa ekran görüntüleri Şekil 3’te verilmiştir.



(a) Genel görünüm (b) Dil seçim ekranı
Şekil 3. Anasayfa ekran görüntüleri (a) Genel görünüm (b) Dil seçim ekranı

3.2. Basamak Patlatma Tasarımı Sayfası

Bu sayfada kullanıcıdan istenen veriler ile Olofsson [8] tarafından geliştirilen tek ve çift kademeli patlatma tasarım modeli eşitlikleri kullanılarak tasarım parametreleri hesaplanmaktadır. Olofsson modeli, tasarım için daha az sayıda veri girişine gerek duyması ve daha pratik olması nedeni ile tercih edilmiştir. Ayrıca, önerilen çift kademeli hesaplamaların uygulamaya dahil edilmesi ile çevresel etki değerlerinin izin verilen limitleri aşması durumunda bir ara sıkılama uygulaması ile delik içerisindeki patlayıcı madde miktarının bölünüp farklı zamanlarda ateşlenmesi sonucunda çevresel etki değerleri düşürülebilmektedir. Delikler ve sıralar arası gecikme hesaplamaları Konya ve Walter [9] tarafından önerilen yaklaşım ile yapılmaktadır. Bu sayfanın ekran görüntüleri Şekil 4'te verilmiştir. Arayüzde kullanıcıdan girişi istenen parametreler şu şekildedir;

- Atım Bilgileri: Delik çapı, delik eğimi, basamak yüksekliği, atım uzunluğu, atım genişliği ve kaya sabiti.
- Patlayıcı Bilgileri: Kademe sayısı (tek/çift), patlayıcı şarj türü (kolon/kolon ve dip), yemleyici patlayıcı türü, yemleyici patlayıcı miktarı, delik içi kapsül gecikme süresi, ara kapsül gecikme süresi, ara sıkılama uzunluğu, dip şarj patlayıcı modeli, dip şarj patlayıcı türü, dip şarj patlayıcı yoğunluğu, kolon şarj patlayıcı modeli, kolon şarj patlayıcı türü, kolon şarj patlayıcı yoğunluğu.
- Gecikme Bilgileri: Atım sonrası istenen sonuçlar, kayaç faktörü.

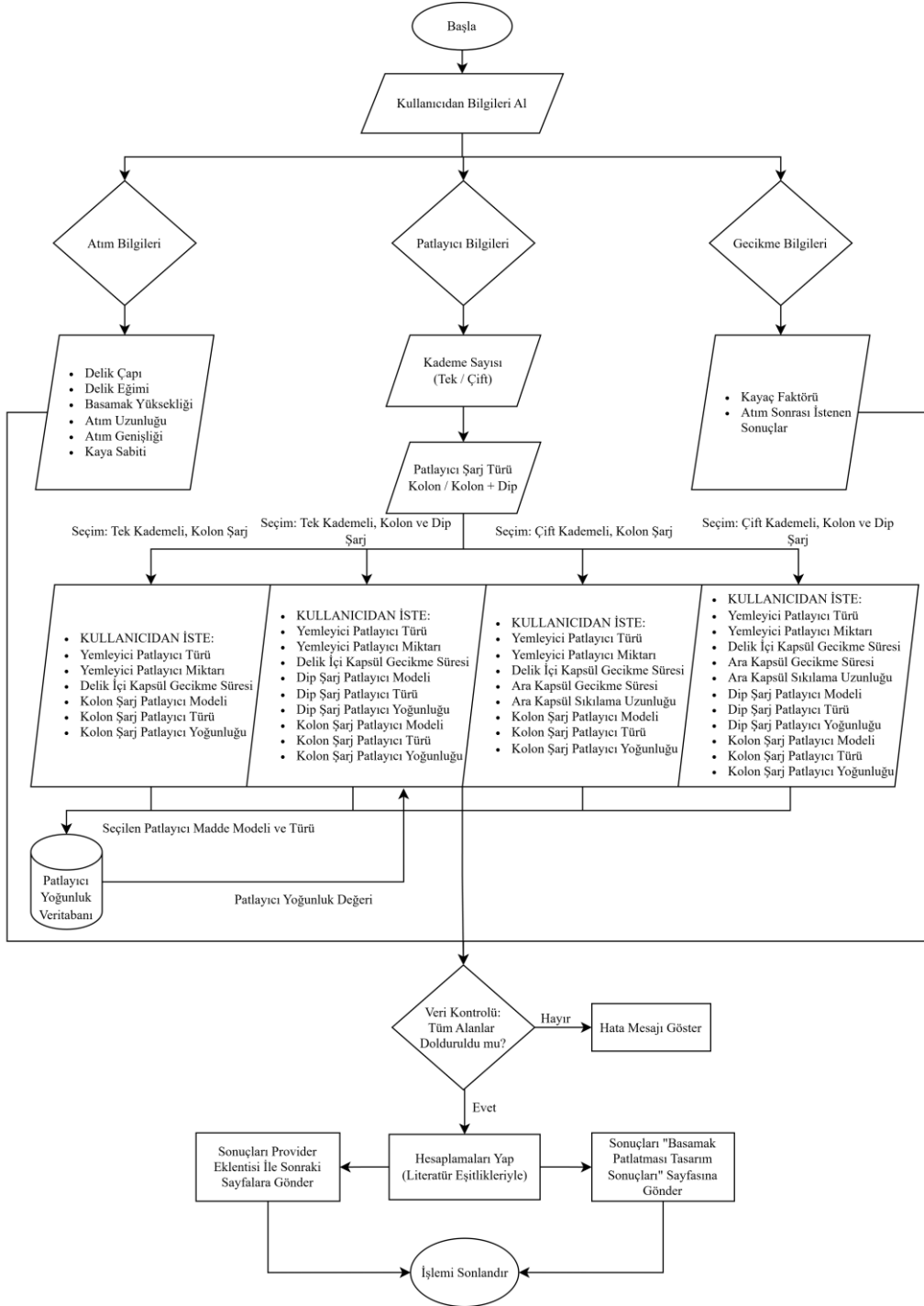
Yapılan parametre girişlerinin uygunluğu arayüz tarafından kontrol edilmekte, uygun değil ise hata mesajı gösterilmektedir. Uygun ise literatür eşitliklerine göre hesaplamalar yapılmakta ve aşağıdaki parametreler hesaplanmaktadır;

- Kolon şarj konsantrasyonu, dip şarj konsantrasyonu, maksimum dilim kalınlığı, delik taban payı, delik boyu, delik hata payı, pratik dilim kalınlığı, sıralar arası mesafe, atım genişliğine uyarlama, pratik sıralar arası mesafe, delik sayısı, sıra sayısı, toplam delik sayısı, özgül delme, sıkılama boyu, seçildi ise dip şarj boyu, dip şarj miktarı, kolon şarj boyu, kolon şarj miktarı, seçildi ise çift kademeli şarj hesaplamaları, toplam şarj miktarı, gecikme başı en yüksek şarj miktarı, özgül şarj, delikler arası gecikme süresi, sıralar arası gecikme süresi.

Parametre	Sonuç	Birim
Delik Çapı	89	mm
Delik Eğimi	90	°
Basamak Yüksekliği	8.000	m
Atım Uzunluğu	30.000	m
Atım Genişliği	6.000	m
Maks. Dilim Kalınlığı	3.315	m
Delik Taban Payı	0.994	m
Delik Boyu	8.994	m
Delik Hata Payı	0.359	m
Pratik Dilim Kalınlığı	2.956	m
Sıralar Arası Mesafe	3.695	m
Delik Sayısı	10	adet
Sıra Sayısı	4	adet
Toplam Delik Sayısı	40	adet
Patlatma Kademe Türü	Tek kademeli	
Patlayıcı Şarj Tipi	Kolon	
Sıkılama Boyu	2.956	m
Ara Sıkılama Boyu	0.000	m
Dip Şarj Konsantrasyonu	0.000	kg/m
Dip Şarj Boyu	0.000	m
Dip Şarj Miktarı	0.000	kg
Kolon Şarj Konsantrasyonu	4.977	kg/m
Kolon Şarj Boyu	6.039	m
Kolon Şarj Miktarı	30.053	kg
Yemleyici Patlayıcı Miktarı	1.000	kg
Toplam Şarj Boyu	6.039	m
Toplam Şarj Miktarı	31.053	kg
Gecikme Başı Maksimum Şarj	31.053	kg
Özgül Delme	0.103	m/m³
Özgül Şarj	0.355	kg/m³
Delik İçi Kapsül Gecikme	500	ms
Ara Kapsül Gecikme	0	ms
Delikler Arası Gecikme Süresi	17	ms
Sıralar Arası Gecikme Süresi	50	ms

Şekil 4. Basamak patlatması tasarımı sayfası ekran görüntüleri (a) Veri giriş kutuları (b) Tasarım hesap sonuçları

Uygulama, bu tasarım işlemleri sırasında deliklerdeki su durumuna göre esnek patlatma tasarımı yapılabilmesi adına kullanıcıya kolon ve dip şarj seçeneklerini ve bu şarjlarda kullanılacak patlayıcı maddelerin seçimine imkân tanımaktadır. Patlayıcı madde seçimi, uygulamanın patlayıcı madde veri tabanı ile bağlantılıdır. Bu veri tabanı Türkiye’de ve dünyada yaygın olarak kullanılan birçok patlayıcı üreticisinin ürün portföyünde yer alan patlayıcıların yoğunluk değerlerini içermektedir. Yapılan seçime göre patlayıcı yoğunluk değeri veri tabanından alınmaktadır. Patlayıcı yoğunluk değerleri el ile de uygulamaya girilebilmektedir. Yapılan hesaplama sonuçları “Basamak Patlatma Tasarımı Sonuçları” sayfasında bir tablo halinde kullanıcıya gösterilmekte ve durum yönetimi sistemi ile kendisinden sonra gelen analiz ve rapor sayfalarına iletilmektedir. Bu modülde kullanılan algoritmanın akım şeması Şekil 5’te verilmiştir.



Şekil 5. Basamak patlatması tasarımı sayfası algoritması

3.3. Hasar Riski Analizi Sayfası

Uygulamanın bu modülünde patlatma kaynaklı çevresel etkilerin atım öncesi tahmin edilebilmesi amacı ile oluşturulmuş olan yer titreşimi analizi, kaya savrulması analizi ve aşırı hava basıncı analizi alt sayfalarına yer verilmiştir. Her bir tahmin sayfasının açıklaması aşağıda sunulmuştur.

3.3.1. Yer Titreşimi Analizi Sayfası

Yer titreşimi analizi sayfasında açık ocak patlatmalarında titreşimin en yüksek parçacık hızını tahmin etmedeki başarısı nedeniyle Duvall ve Fogelson [10] tarafından önerilen titreşim yayılım denklemi eşitliği

kullanılarak en yüksek parçacık hızı değeri girildi ise, gecikme başı en yüksek şarj miktarı; gecikme başı en yüksek şarj miktarı girildi ise en yüksek parçacık hızı değerleri hesaplanmaktadır. Bu sayfada kullanıcıdan istenen parametreler şu şekildedir;

- En yüksek parçacık hızı, gecikme başı en yüksek şarj miktarı, mesafe, il, ilçe, kayaç türü, arazi iletim sabiti, saha jeolojik sabiti.

Bu sayfa ile bağlantılı olarak çalışan yer titreşimi veri tabanı içerisinde ulusal yayınlardan elde edilen titreşim yayılım denklemi sabitleri yer almaktadır. Sayfa içerisinde kullanıcının yapacağı il-ilçe ve kayaç türü seçimlerine göre uygun titreşim yayılım denklemi sabitleri veri tabanından alınmakta ve hesaplamalarda kullanılmaktadır. Bu değerler el ile de girilebilmektedir. Yer titreşimi analizi sayfasının ekran görüntüleri Şekil 6'da verilmiştir.

3.3.2. Kaya Savrulması Analizi Sayfası

Kaya savrulması analizi sayfası, kullanıcının ihtiyaç duyabileceği farklı yönlerdeki kaya savrulma mesafelerini tahmin edebilmek amacıyla atım sonucu savrulabilecek kayaçların ortalama tane boyutunun ve en kötü durum senaryosu [11], basamak aynası yönünde ve sıkılama yönünde [12] ve ölçekli gömme derinliği [13] eşitliklerine göre kaya savrulma mesafelerinin hesaplandığı sayfadır. Bu sayfanın ekran görüntüleri Şekil 7'de verilmiştir. Kullanıcıdan istenen girdi parametreleri şu şekildedir;

- Delik çapı, delik eğimi, dilim kalınlığı, kaya sabiti, sıkılama boyu, toplam şarj boyu, toplam şarj miktarı, ortalama patlayıcı yoğunluğu.

3.3.3. Hava Şoku Analizi Sayfası

Hava şoku analizi sayfası, atım sonrası oluşacak olan aşırı hava basıncı değerlerinin önceden tahmin edilebilmesi amacıyla oluşturulmuştur. Hesaplamalar Siskind ve arkadaşları [14] tarafından önerilen eşitlikler ile yapılmaktadır. Bu sayfada kullanıcıdan istenen girdi parametreleri şu şekildedir;

- Mesafe, gecikme başı en yüksek şarj miktarı, patlatma türü, saha iletim sabiti, saha jeolojik sabiti.

Bu sayfa ile bağlantılı olarak çalışan hava şoku veri tabanı içerisinde patlatma türlerine göre güvenilir olarak kabul edilen hava şoku yayılım denklemi sabitleri yer almaktadır. Uygulama içerisinde kullanıcı tarafından yapılan patlatma türü seçimine denk gelen yayılım denklemi sabitleri hesaplamalarda kullanılmaktadır. Bu değerler el ile de girilebilmektedir. Hava şoku analizi sayfasının ekran görüntüleri Şekil 8'de verilmiştir.

3.4. Parça Boyut Dağılımı Analizi Sayfası

Parça boyut dağılımı analizi sayfası, kullanıcıdan alınan veriler ve/veya yapılan birincil patlatma tasarımından alınan sonuçlar üzerinden tahmin başarısının gerçek değerlere yüksek uygunluğu ve kullanım kolaylığıyla bilinen iyileştirilmiş Kuz-Ram parçalanma modeli [15] kullanılarak, atım öncesinde parça boyut dağılım oranlarının belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Bu sayfada kullanıcıdan istenen parametre girişleri şu şekildedir;

- Kayaç Bilgileri: Özgül ağırlık, elastisite modülü, tek eksenli basınç dayanımı, kaya kütle sınıflaması, eklem düzlem aralığı, eklem düzlem yönelimi.
- Atım Bilgileri: Delik çapı, dilim kalınlığı, sıralar arası mesafe, basamak yüksekliği, dip şarj boyu, kolon şarj boyu, delik düzeni.
- Patlayıcı Bilgileri: Patlayıcının ağırlıkça kuvveti, gecikme başı en yüksek şarj miktarı.
- Parçalanma Dağılım Hedefleri: Elek üstü boyutu, optimum boyut, elek altı boyutu.

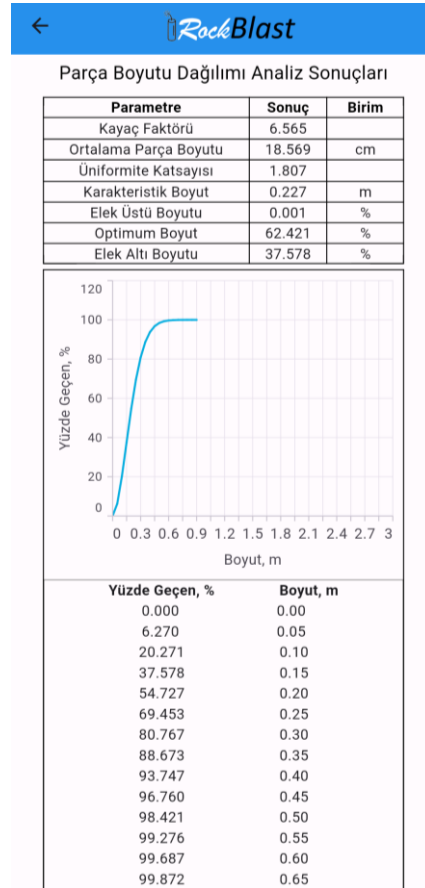
Kayaç faktörü, ortalama parça boyutu, üniformite indeksi, karakteristik boyut, patlatılabilirlik indeksi gibi parametreler hesaplandıktan sonra % geçen – boyut eğrisi ve tablosu oluşturulmakta ve tüm hesaplama sonuçları arayüzde kullanıcıya gösterilmektedir. Bu sayfanın ekran görüntüleri Şekil 9'da verilmiştir.

Şekil 6. Yer titreşimi tahmini sayfası ekran görüntüsü

Şekil 7. Kaya savrulması tahmini sayfası ekran görüntüsü

Şekil 8. Hava şoku tahmini sayfası ekran görüntüsü

(a)

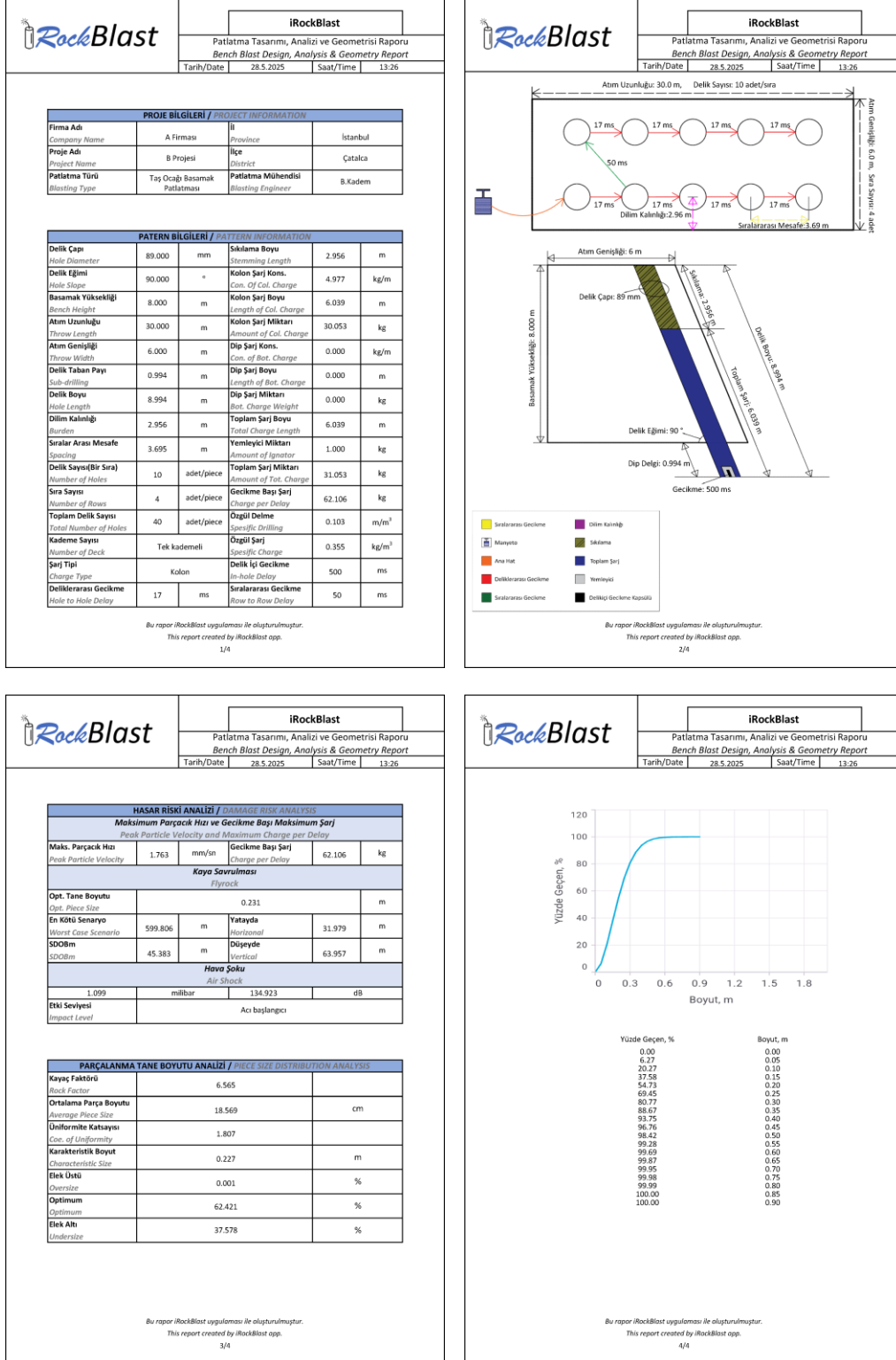


(b)

Şekil 9. Parça boyut dağılımı analizi sayfası ekran görüntüleri (a) Veri giriş kutuları (e) Hesaplama sonuçları

3.5. Rapor Oluştur Sayfası

Rapor oluştur sayfası, uygulama tarafından üretilen patlatma tasarımı, çevresel etki analizi ve parça boyut dağılımı analizi sonuçlarının PDF formatında yazılı ve görsel olarak bir rapor halinde üretilbildiği sayfadır. Bu sayede oluşturulan tasarım ve analiz sonuçları kaydedilebilmekte ve paylaşılabilir. Bu modül tarafından üretilen raporun ekran görüntüleri Şekil 10'da sunulmuştur.



Şekil 10. Uygulama tarafından üretilen raporun sayfaları

4. VAKA ÇALIŞMASI

Bu bölümde, Özyurt ve arkadaşları [39] tarafından Trakya bölgesinde gerçekleştirilen örnek bir atıma ait bilgiler ve sahadan elde edilen ölçüm sonuçları kullanılarak geliştirilen uygulamanın tasarım, çevresel etki ve parçalanma tahminleri sonuçları karşılaştırılmaktadır. Araştırmacılar tarafından sahada uygulanan patlatma tasarımına ait bilgiler ve sahada ölçülen sonuçlar Çizelge 1’de sunulmuştur.

Çizelge 1. Örnek saha çalışmasına ait bilgiler [39]

Uygulanan patlatma tasarımı			Ölçülen çevresel etki sonuçları		
Parametre	Değer	Birim	Parametre	Değer	Birim
<i>Patern bilgileri</i>			Ölçüm cihazı: Instanfel BE10709		
Basamak yüksekliği	8	m	Maksimum Parçacık Hızı	1,397	mm/s
Delik çapı	89	mm	Frekans	12,80	Hertz
Delik boyu	10	m	Hava Şoku	126,60	dB
Dip delgi	2	m	Mesafe	149,00	m
Dilim kalınlığı	2,70	m	<i>Kaya savrulma mesafesi</i>		
Sıralar arası mesafe	2,70	m			
Özgül delme	0,17	m/m ³			
Delik adeti	40	adet			
Patlayıcı yoğunluğu	0,80	g/cm ³			
Sıkılama boyu	2,50	m			
Şarj boyu	7,50	m			
Şarj konsantrasyonu	4,97	kg/m			
Bir delikteki yemleyici miktarı	1	kg			
Bir delikteki ANFO miktarı	37,275	kg			
Bir delikteki toplam patlayıcı miktarı	38,275	kg			
Toplam patlayıcı miktarı	1491	kg			
Çakışan delik sayısı	2	adet			
Gecikme başı şarj miktarı	76,55	kg			
Özgül şarj	0,47	kg/m ³			
Delik içi gecikme	500	ms			
Yüzey gecikmesi	25	ms			
Sıralar arası gecikme	42	ms	<i>Parça boyut dağılımı analizi sonuçları</i>		
<i>Saha - kayaç bilgileri</i>			P ₂₀	118,33	mm
Tek eksenli basınç dayanımı	47,63	MPa	P ₅₀	227,01	mm
Süreksizlik aralığı	1,70	m	P ₈₀	354,01	mm
Yoğunluk	2,497	g/cm ³	En Büyük Parça Boyutu	657,59	mm

4.1. Basamak Patlatması Tasarımı Sonuçlarının Karşılaştırılması

Örnek saha çalışmasından alınan tasarım parametreleri (Çizelge 1) uygulamaya girilerek hesaplamalar yapılmıştır. Uygulama tarafından üretilen hesaplama çıktıları Çizelge 2’de sunulmuştur. Uygulama çıktıları ile saha uygulamasında kullanılan tasarım parametreleri arasında genel olarak yüksek benzerlik söz konusudur. Farklılıkların bir kısmı uygulamanın literatür bilgilere göre hesaplama yaparken, planlamacıların bu bilgilere ek olarak deneyimsel tecrübelerini de hesaplamalarda kullanmasından kaynaklanmıştır. Elde edilen sonuçlar, geliştirilen uygulamanın literatür temelli tasarım algoritmasının, saha değerleri ile yüksek düzeyde örtüşüğünü göstermektedir.

Araştırmacılar, örnek çalışmada aynı gecikme sürelerinde iki delik ateşlemiş, bu nedenle gecikme başı en yüksek şarj miktarı, delik içi toplam şarj miktarının iki katı olmuştur. Uygulamada bundan sonraki hesaplamalarda gecikme başı en yüksek şarj değeri için saha şartlarına uygun biçimde delik içi toplam şarj miktarının iki katı kabul alınmıştır.

Çizelge 2. Basamak patlatması tasarımı için uygulamaya girilen değerler ve alınan sonuçlar

Girdiler			Çıktılar		
Parametre	Değer	Birim	Parametre	Sonuç	Birim
<i>Atım bilgileri</i>			Delik taban payı	0,994	m
Delik çapı	89	mm	Delik boyu	8,994	m
Delik eğimi	90	°	Delik hata payı	0,359	M
Basamak yüksekliği	8	m	Dilim kalınlığı	2,956	m
Atım uzunluğu	30	m	Sıralar arası mesafe	3,695	m
Atım genişliği	6	m	Delik sayısı	10	adet
Kayaç türü	Zayıf kayaç		Sıra sayısı	4	adet
<i>Patlayıcı bilgileri</i>			Toplam delik sayısı	40	adet
Patlatma kademe sayısı	Tek kademeli		Sıkılama boyu	2,956	m
Patlayıcı şarj tipi	Kolon şarj		Şarj konsantrasyonu	4,997	kg/m
Yemleyici patlayıcı türü	Jelatinit dinamit		Şarj boyu	6,039	m
Yemleyici patlayıcı miktarı	1	kg	Kolon şarj miktarı	30,053	kg
Delik içi kapsül gecikmesi	500	ms	Delik şarj miktarı	31,053	kg
Kolon şarj modeli	ANFO		Gecikme başı şarj miktarı	31,053	kg
Kolon şarj türü			Toplam şarj miktarı	1242,12	kg
Kolon şarj patlayıcı yoğunluğu	0.8	g/cm ³	Özgül delme	0,103	m/m ³
<i>Gecikme bilgileri</i>			Özgül şarj	0,355	kg/m ³
Kayaç faktörü	Bazı kireçtaşları, şeyl vb.		Delikler arası gecikme	25	ms
Atım sonrası istenen sonuçlar	Minimum geri kırılma ve dağılık yığın		Sıralar arası gecikme	50	ms

4.2. Patlatma Kaynaklı Çevresel Etki Sonuçlarının Karşılaştırılması

Çevresel etki tahminleri, uygulamanın yer titreşimi, kaya savrulması ve hava şoku modülleri kullanılarak gerçekleştirilmiş ve Çizelge 1’deki saha ölçümleriyle karşılaştırılmıştır. Hasar riski analizi için kullanılan girdi parametreleri ve alınan sonuçlar Çizelge 3’te verilmiştir. Aşağıda her bir etki türü için kullanılan yöntem ve elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

a. Yer Titreşimi: Uygulamanın titreşim veri tabanından, aynı sahada daha önce ölçülmüş ve veri tabanında kayıtlı İstanbul-Çatalca-Sarıkayatepe Taş Ocağı titreşim yayılım denklemi sabiti verileri alınmıştır ve hesaplamalarda kullanılmıştır. Uygulama tahmini ile saha ölçümlerinin en yüksek parçacık hızı değerleri arasındaki farklılığın, jeolojik heterojenite ve ölçüm anındaki atmosferik koşullar gibi kontrol edilemeyen değişkenlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Önemli olan husus, bu sapmanın kabul edilebilir düzeyde kalması ve tahmin edilen en yüksek parçacık hızı değerlerinin çevresel sınırlar içerisinde kalmasıdır.

b. Kaya Savrulması: Sahada gerçekleştirilen atıma ait video görüntüsü Kinovea uygulaması ile basamak yüksekliği (8 m) baz alınarak analiz edilmiştir. Video görüntülerinin görünen kısmında kaya parçalarının yatay yönde yaklaşık 20 metre savrulduğu görülmüştür. Bu parçacıklar bir miktar daha serbest hareketine devam edecek, sonrasında ise yerde sürüklenecektir. Sahadaki kaya savrulma mesafelerinin yaklaşık 30 metre olacağı ön görülmüştür. Geliştirilen uygulama ile yapılan kaya savrulma mesafelerinin tahmin sonuçları ile sahada uygulanan atımın yatay yöndeki sonuçları örtüşmektedir. Atım videosundan elde edilen yatay yöndeki savrulma mesafesi, uygulamada hesaplanan kayaç savrulma mesafesi sınırlarının içerisinde kalmaktadır.

c. Hava Şoku: Bu hesaplama için uygulamada patlatma türü olarak “taş ocağı basamak patlatması” seçimi yapılmış, bu seçime karşılık gelen değer uygulamanın veri tabanından alınarak hesaplamalarda kullanılmıştır. Hesaplanan hava şoku değeri ile örnek saha çalışmasında yapılan ölçüm sonuçları arasında yaklaşık 8 dB’lik bir fark söz konusudur. Elde edilen sonuçlar aynı etki seviyesi içerisinde kalmaktadır. Cihaz hassasiyeti ve yerel atmosferik koşullar göz önünde bulundurulduğunda bu sonuç kabul edilebilir sapma seviyesindedir.

4.3. Parça Boyut Dağılımı Sonuçlarının Karşılaştırılması

Uygulamaya girilen parametre değerlerinden alınan parça boyut dağılım analizi sonuçları ile örnek saha çalışmasında araştırmacılar tarafından görüntü işleme teknikleri kullanılarak elde edilen yığın parça boyutu dağılımı sonuçları büyük oranda benzerlik göstermektedir. Sahadan elde edilen verilerde, sadece yığının fotoğrafta görünen yüzeysel kısımları analiz edilebildiğinden, uygulamadan alınan sonuçlar ile sahada

yapılan ölçümler arasında bazı farklılıkların olması normal bir durumdur. Basamak patlatması sonuçlarının karşılaştırılması amacı ile uygulamaya girilen değerler ve alınan sonuçlar Çizelge 4'te verilmiştir.

Bu vaka çalışması, geliştirilen uygulamanın sahada uygulanan gerçek tasarım ve ölçümlerle yüksek uyum sağladığını, aynı zamanda literatür tabanlı hesaplamaların pratikte geçerli sonuçlar verdiğini ortaya koymaktadır.

Çizelge 3. Hasar riski analizi için uygulamaya girilen değerler ve alınan sonuçlar

Girdiler			Çıktılar		
Parametre	Değer	Birim	Durum	Sonuç	Birim
<i>Yer titreşimi analizi</i>					
Gecikme başı maksimum şarj	62,106	kg			
Mesafe	149	m		1,763	mm/s
Saha iletim sabiti	340				
Saha jeolojik sabiti	1,79				
<i>Kaya savrulması analizi</i>					
Delik çapı	89	mm	Ortalama parça boyutu	0,231	m
Delik eğimi	90	°	En kötü durum senaryosu	599,806	m
Dilim kalınlığı	2,956	m	Ölçekli gömme derinliği	45,383	m
Kaya sabiti	25		Basamak aynası yönünde	31,979	m
Sıkılama boyu	2,956	m	Sıkılama yönünde	63,957	m
Şarj boyu	6,036	m			
Şarj miktarı	31,053	kg			
Patlayıcı yoğunluğu	0,8	g/cm ³			
<i>Hava şoku analizi</i>					
Mesafe	149	m	Hava basıncı	1,099	mBar
Gecikme başı maksimum şarj	62,106	kg	Hava basıncı	134,923	dB
Saha iletim sabiti	37,1		Etki seviyesi	Acı başlangıcı	
Saha jeolojik sabiti	0,97				

Çizelge 4. Parça boyut dağılımı analizi için uygulamaya girilen değerler ve alınan sonuçlar

Girdiler			Çıktılar		
Parametre	Değer	Birim	Parametre	Sonuç	Birim
<i>Kayaç bilgileri</i>			Kayaç faktörü	6,717	
Özgül ağırlık	2.497	t/m ³	Ort. parça boyutu	19,191	cm
Elastisite modülü	40,00	GPa	Üniformite katsayısı	1,807	
Tek eksenli basınç dayanımı	47,63	MPa	Karakteristik boyut	0,235	m
Kaya kütle sınıflaması	Bloklı		Elek üstü boyutu	0,001	%
Eklem düzlem aralığı	>1.0	m	Optimum boyut	64,143	%
Eklem düzlem yönelimi	Aynaya paralel		Elek altı boyutu	35,856	%
<i>Atım bilgileri</i>			Yüzde geçen, %	Boyut, m	
Delik çapı	89	mm	0,000	0,00	
Dilim kalınlığı	2,956	m	5,919	0,05	
Sıralar arası mesafe	3,695	m	19,220	0,10	
Basamak yüksekliği	8,000	m	35,856	0,15	
Dip şarj boyu	0,000	m	52,606	0,20	
Kolon şarj boyu	6,039	m	67,287	0,25	
Delik düzeni	Şaşırtmalı/şeşbeş		78,845	0,30	
<i>Patlayıcı bilgileri</i>			87,154	0,35	
Patlayıcı ağırlıkça kuvveti	100		92,661	0,40	
Gecikme başı maksimum şarj	62,106	kg	97,994	0,50	
<i>Parçalanma dağılım hedefleri</i>			99,563	0,60	
Elek üstü boyutu	0,90	m	99,971	0,75	
Optimum boyut	0,45	m	99,996	0,90	
Elek altı boyutu	0,15	m	100,000	0,95	

5. KARŞILAŞTIRMA VE SONUÇLAR

5.1. Mevcut Uygulamaların Karşılaştırılması

Bu çalışmada ele alınan konu ile ilgili daha önce çeşitli patlayıcı ve/veya yazılım firmaları tarafından geliştirilmiş mobil uygulamalar bulunmaktadır. Bu uygulamaların listesi ve özellikleri Çizelge 5'te

sunulmuştur. Bu bölümde, bu çalışmada bahsedilen uygulama ile daha önce geliştirilmiş olan uygulamaların özellikleri karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5: Benzer amaçla daha önce geliştirilmiş olan mobil uygulamalar

Uygulama adı	Uygulama özellikleri	Yayın durumu	Kaynak
O-Pit Blast Guide	Patlatma tasarım parametrelerinin her biri farklı bir sayfada hesaplanmaktadır. Yer titreşimi ve aşırı hava basıncı tahminleri yapılabilmektedir. Kayaç savrulması ve parça boyut dağılım analizine yer vermemektedir.	AP + GPS	[40]
Pocket Blast Guide Mobile App	Delik başı şarj miktarı, özgül şarj, patlatılacak toplam kayaç hacmi, yer titreşimi hesaplamaları gibi birkaç temel özelliğe sahiptir.	AP + GPS	[41]
Explosives Engineers' Mobile App	Birkaç temel patlatma tasarım parametresi hesabı yapılabilmektedir. Yer titreşimi ve aşırı hava basıncı tahmini yapılabilmektedir.	AP + GPS	[42]
Nelson Brothers App	Planlanan basamak patlatma tasarım parametreleri uygulamaya girildiğinde toplam delgi miktarı, patlatılacak kayaç hacmi gibi sonuçlar üretmekte, planlanan tasarımda düzeltmeler önermekte ve en yüksek parçacık hızı, ölçekli mesafe gibi sonuçları üretmektedir.	AP + GPS	[43]
BME Guide	Birden fazla patlatma tasarım parametresinin tek sayfada hesaplanabildiği bir modüle ve bu parametrelerin ayrı ayrı hesaplanabildiği ek modüllere sahiptir. Yer titreşimi tahmini yapılabilmektedir.	AP + GPS	[44]

*AP: AppStore, GPS: Google Play Store

Benzer amaçla daha önce geliştirilen Smart Blasting App [45] adlı uygulama yayından kaldırılmıştır. Sakcalı ve arkadaşları [46] tarafından geliştirilen uygulama ise hiçbir uygulama marketinde yayınlanmamıştır. Bu uygulamalar karşılaştırmaya dahil edilememiştir. Çalışma kapsamındaki uygulama ile, benzer amaçla daha önce geliştirilmiş diğer uygulamalar karşılaştırıldığında elde edilen sonuçlar şu şekildedir;

- Geliştirilen uygulama diğer uygulamaların aksine patlatma tasarımı, çevresel etki tahminleri ve parçalanma oranı analizlerini tek bir uygulamada birleştirmiştir. Bu hesaplamaların her birini farklı modüller içinde bütünleşik olarak yapmaktadır. Diğer uygulamaların birçoğunda bu özelliklerin biri/birkaçı mevcut değildir ya da her bir modüldeki parametreler ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Uygulama, diğer uygulamalardan farklı olarak kaya savrulması tahminlerinde birden fazla senaryoya göre hesaplamalar yapılabilmektedir. Parça boyut dağılımı analizinde ise sonuçları tablo ve grafik üzerinde sunabilmektedir.
- Geliştirilen uygulamada diğer uygulamaların aksine patlatma tasarımı aşaması sırasında patlatma deliklerindeki su varlığı durumuna göre kolon ya da kolon ve dip şarj yöntemleri uygulanarak patlatma tasarımı yapılabilmektedir. Ayrıca şarj miktarlarının çevresel etkiler açısından izin verilen limitleri aşması durumunda bir delikte bir ara sıkılama uygulaması ile şarj miktarını bölerek iki ayrı patlatma gerçekleştirilmesine imkân tanıyan çift kademeli patlatma tasarımlarının yapılabilmesini sağlamaktadır.
- Uygulama, çeşitli veri tabanları ile bağlantılıdır. Yer titreşimi ve hava şoku veri tabanları sayesinde arazi iletim ve jeolojik sabitleri istatistiksel olarak belirlenene kadar daha güvenli patlatma tasarımlarının yapılabilmesi amaçlanmıştır. Uygulamanın patlayıcı bilgi veri tabanında ise, diğer uygulamaların aksine Türkiye’de ve dünyada faaliyet gösteren birçok patlayıcı firmasının ürün bilgilerine yer vermektedir. Patlayıcı firmaları tarafından geliştirilen uygulamalarda sadece kendi ürünlerine yer vermişlerdir.
- Geliştirilen uygulama, kullanıcıya tüm sonuçların bir rapor halinde sunulmasını sağlamaktadır. Görsel ve metinsel olarak tüm hesaplamalar tek bir rapor üzerinde kaydedilebilmekte ve paylaşılabilmektedir. Bu özellik diğer uygulamalar tarafından desteklenmemektedir.

Diğer uygulamalarda yer alan metrik/İngiliz ölçü sistemi seçenekleri, patlatma literatür dokümantasyonu, bazı patlatma tasarım parametreleri ve hesaplama sonuçları (sıkılama malzemesinin optimum tane boyutları gibi) özelliklerine sahip değildir.

5.2. Sonuçlar ve Gelecek Çalışmalar

Bu çalışmada, kullanıcıdan alınan saha bilgileri, patlayıcı bilgileri ve patlatma geometrisi ile ilgili parametreleri kullanarak patlatma tasarımı yapabilen, parçalanma oranları ve çevresel etki (yer titreşimi, hava şoku, kaya savrulması) analizleri sunabilen, elde edilen tüm verileri rapor halinde PDF formatında

kullanıcıya sunabilen bir mobil uygulama geliştirilmiştir. Dart programlama dili ve Flutter mimarisi kullanılarak inşa edilen iRockBlast adlı bu uygulama hem iOS hem de Android işletim sistemlerine sahip cihazlarda çalışmaktadır.

Uygulamanın güvenilirliğini tespit etmek amacıyla, örnek bir saha çalışması üzerinden geliştirilen uygulamanın tasarım ve analiz hesaplamalarından elde edilen sonuçlar hem literatürdeki bilgilerle hem de gerçek saha verileriyle karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda, uygulama tarafından üretilen çıktılar ile sahada yapılan ölçümler karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Saha çalışmasında, sahada fiilen uygulanan tasarım parametreleri temel alınarak, uygulamanın ürettiği tasarım, çevresel etki ve yığın parça boyut dağılımı sonuçları karşılaştırılmıştır. Tasarım aşamasında elde edilen bulgular, tasarım parametrelerine ilişkin uygulama çıktılarının saha verileri ile büyük ölçüde örtüştüğünü göstermektedir. Gözlemlenen küçük farklılıkların ise, planlamacıların kişisel deneyimlerini tasarım sürecine dâhil etmelerinden kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Çevresel etki analizlerine ilişkin sonuçlar da genel anlamda saha verileriyle yüksek uyum göstermiştir. Gözlemlenen küçük miktardaki farklılıkların, sahadaki jeolojik heterojenite, patlatma anındaki atmosferik koşullar gibi değişkenlerden etkilendiği düşünülmektedir. Parçalanma analizine ilişkin karşılaştırmalarda ise, uygulamadan elde edilen sonuçlar ile araştırmacılar tarafından görüntü işleme teknikleri kullanılarak yapılan analiz arasında genel bir uyum gözlenmiştir. Bununla birlikte, görüntü işleme teknikleri ile yapılan analizlerde yalnızca yığının yüzey kısmı analiz edildiğinden, küçük farklılıkların ortaya çıkması doğal kabul edilmektedir. Genel bir değerlendirme yapıldığında, uygulamanın ürettiği çıktıların hem saha verileri hem de literatürdeki bilgilerle yüksek derecede tutarlılık gösterdiği ve saha koşullarına uyum sağladığı sonucuna varılmıştır.

Mevcut durumda geliştirilen uygulama, benzer mobil çözümlerden farklı olarak tek bir platformda bütünleşik patlatma tasarımı, çevresel etki analizi ve parçalanma analizi modüllerini daha gelişmiş bir biçimde sunmaktadır. Getirdiği yenilikçi çözümler ile patlatmanın tasarım ve analiz aşamalarında kullanıcı dostu bir yapı sergilemektedir. Patlatma operasyonları; yüksek maliyetleri, çevresel etkileri ve parçalanma derecelerinin sonraki proselere olan etkisi nedeniyle titizlikle planlanmalıdır. Basamak patlatma tasarımlarının hazırlanması, çevresel etki analizlerinin yapılması ve parça boyut dağılımının öngörülmesi zaman alıcı ve karmaşık işlemler gerektirmektedir. Güçlü bir literatür altyapısı üzerine inşa edilen bu uygulama, planlamacıların bu süreçlerdeki zaman kayıplarını azaltmakta ve karar verme süreçlerini hızlandırmaktadır. Tasarım parametrelerinin anlık olarak değiştirilebilmesi ve sonuçların eşzamanlı hesaplanabilmesi, olası tasarım hatalarının minimize edilmesini sağlayarak operasyonların daha verimli yürütülmesine katkı sunmaktadır. İyi planlanmış bir patlatma tasarımı yalnızca patlatma aşamasını değil, aynı zamanda yükleme, nakliye, kırma ve öğütme gibi sonrasında gelen tüm madencilik işlemlerini doğrudan etkilemekte; işlem maliyetlerini azaltarak toplam işletme verimliliğini artırmaktadır. Dolayısıyla geliştirilen bu ve benzeri mobil uygulamaların yaygınlaşması, patlatma planlamacılarının sahada tasarım ve analiz süreçlerini anlık olarak gerçekleştirebilmesine olanak tanıyacak; böylece yalnızca teknik doğruluk değil, aynı zamanda maliyet, zaman ve güvenlik açısından da somut faydalar sağlayacaktır.

İlerleyen dönemlerde, geliştirilen bu mobil uygulamanın kapsamının genişletilmesi planlanmaktadır. Özellikle yeraltı ve tünel patlatmaları için tasarım modüllerinin eklenmesi kullanılabilirliği artıracaktır. Ayrıca, patlatma maliyet analizini gerçekleştirebilecek yeni modüllerin entegrasyonu ile ekonomik değerlendirme süreçlerinin desteklenmesi hedeflenmektedir. Çevresel etkilerin daha doğru modellenebilmesi için kullanılan yer titreşimi ve hava şoku yayılım denklemlerine ait sabitlerin bulunduğu veri tabanlarının veri çeşitliliğinin artırılması da planlanan geliştirmeler arasındadır. Bunun yanında, IoT sensör entegrasyonu ile sahadan gerçek zamanlı verilerin toplanması, uygulamanın yalnızca tahmine dayalı değil, ölçüm verilerine dayalı bir karar destek sistemi olarak kullanılabilmesine olanak sağlayacaktır. Yapay zekâ ve optimizasyon algoritmalarının sisteme entegre edilmesiyle birlikte tasarım parametrelerinin otomatik optimize edilmesi hem güvenlik hem de maliyet açısından daha etkin çözümler sunabilecektir. Mobil platformlara bu yeni teknolojilerin entegrasyonunun sağlanması ile uygulamanın, patlatma mühendisliği alanında hem yüzey hem de yeraltı koşullarına kullanılabilen, kapsamlı ve akıllı bir platform haline getirilmesi öngörülmektedir.

6. KAYNAKLAR

1. Ceylanoğlu, A., Kahrıman, A. ve Demirci, A. (1993). Delme patlatmanın önemi, kullanıldığı alanlar ve maden mühendisliği ile ilgisi. *1. Delme ve Patlatma Sempozyumu*, Ankara, Türkiye.

2. MacKenzie, A.S. (1966). Cost of Explosives – Do You Evaluate it Properly? *Mining Congress Journal*, 52(5), 32-41.
3. ISEE (International Society of Explosives Engineers), (2015). Field practice guidelines for blasting seismographs. *International Society of Explosives Engineers*, Cleveland, USA.
4. Jimeno, C.L., Jimeno, E.L. & Carcedo, F.J.A. (1995). *Drilling and Blasting of Rocks*. Ramiro, Y.V. (Çev.), A.A. Balkema Publishers, Brookfield.
5. Karadoğan, A. (2008). Patlatmadan kaynaklanan titreşimler için ulusal yapı hasar kriterlerinin oluşturulabilirliğinin araştırılması. *Doktora tezi*, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 187.
6. Kalaycı Şahinoğlu, Ü. (2024). Patlatma sonucu meydana gelen hava şoku ve partikül madde yayılımı arasındaki ilişkinin araştırılması. *Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 39(3), 831-837.
7. Ercins, S. ve Tosun, A. (2022). Bir taş ocağındaki patlatma uygulamalarına ait en yüksek parçacık hızı ile frekans ilişkisi. *Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 37(3), 827-834.
8. Olofsson, S.O. (1990). *Applied Explosives Technology for Construction and Mining*. 2nd Ed., Applex, Arla, Sweden.
9. Konya, C.J. & Walter, E.J. (1990). *Surface Blast Design*. Prentice Hall, New Jersey.
10. Duvall, W.I. & Fogelson, D.E. (1962). *Review of Criteria for Estimating Damage to Residences from Blasting Vibrations*. U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines, 19.
11. Lundborg, N., Persson, A., Ladegaard-Pedersen, A. & Holmberg, R. (1975). Keeping the lid on flyrock in open-pit blasting. *Engineering & Mining Journal*, 176, 95-100.
12. Richards, A. & Moore, A. (2004). Flyrock control-by chance or design. *The Annual Conference on Explosives and Blasting Technique*, 1, ISEE.
13. McKenzie, C.K. (2009). Flyrock range and fragment size prediction. *35th Annual Conference on Explosives and Blasting Technique*, 2, ISEE, Denver, CO.
14. Siskind, D.E., Stagg, M.S., Kopp, J.W. & Dowding, C.H. (1980). Structure response and damage produced by ground vibration from surface mine blasting. *Rapor*, RI 8507, Bureau of Mines, 118.
15. Cunningham, C.V.B. (1983). The Kuz-Ram model for prediction of fragmentation from blasting. *1st International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting*, Lulea, Sweden.
16. Ullah, S., Ren, G., Ge, Y., Fissaha, Y., Kinyua, E.M. & Zhang, L. (2025). Machine learning-based prediction of blast-induced ground vibration in open-pit mining. *Journal of Vibration Engineering & Technologies*, 13, 293.
17. Fissaha, Y., Khatti, J., Ikeda, H., Grover, K.S., Owada, N., Toriya, H., Adachi, T. & Kawamura, Y. (2024). Predicting ground vibration during rock blasting using relevance vector machine improved with dual kernels and metaheuristic algorithms. *Scientific Reports*, 14, 20026.
18. Chen, L., Fissaha, Y., Hasanipanah, M., Ghodhbani, R., Dehghani, H. & Khatti, J. (2025). Accurate prediction of blast-induced ground vibration intensity using optimized machine learning models. *Defence Technology*, 1-15.
19. Fattahi, H. ve Hasanipanah, M. (2021). Prediction of blast-induced ground vibration in a mine using relevance vector regression optimized by metaheuristic algorithms. *Natural Resources Research*, 30, 1849-1863.
20. Mohamed, M.T. (2009). Artificial neural network for prediction and control of blasting vibrations in Assiut (Egypt) limestone quarry. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 46(2), 426-431.
21. Temeng, V.A., Ziggah, Y.Y. & Arthur, C.K. (2021). Blast-induced noise level prediction model based on brain inspired emotional neural network. *Journal of Sustainable Mining*, 20.
22. He, Z., Jahed Armaghani, D., Masoumnezhad, M., Khandelwal, M., Zhou, J. & Murlidhar, B.R. (2021). A combination of expert-based system and advanced decision-tree algorithms to predict air-overpressure resulting from quarry blasting. *Natural Resources Research*, 30, 1889-1903.
23. Ramesh Murlidhar, B., Yazdani Bejarbaneh, B., Armaghani, D.J., Mohammed, A.S. & Mohamad, E.T. (2021). Application of tree-based predictive models to forecast air overpressure induced by mine blasting. *Natural Resources Research*, 30(2), 1865-1887.
24. Gao, W., Alqahtani, A.S., Mubarakali, A., Mavaluru, D. & Khalafi, S. (2020). Developing an innovative soft computing scheme for prediction of air overpressure resulting from mine blasting using GMDH optimized by GA. *Engineering with Computers*, 36, 647-654.
25. Nguyen, H., Bui, X.N., Bui, H.B. & Mai, N.L. (2020). A comparative study of artificial neural networks in predicting blast-induced air-blast overpressure at Deo Nai open-pit coal mine, Vietnam. *Neural Computing and Applications*, 32(8), 3939-3955.

26. Hasanipanah, M., Jahed Armaghani, D., Khamesi, H., Bakhshandeh Amnieh, H. & Ghoraba, S. (2016). Several non-linear models in estimating air-overpressure resulting from mine blasting. *Engineering with Computers*, 32, 441-455.
27. Trivedi, R., Singh, T.N. & Gupta, N. (2015). Prediction of blast-induced flyrock in opencast mines using ANN and ANFIS. *Geotechnical and Geological Engineering*, 33(4), 875-891.
28. Monjezi, M., Bahrami, A., Varjani, A.Y. & Sayadi, A.R. (2011). Prediction and controlling of flyrock in blasting operation using artificial neural network. *Arabian Journal of Geosciences*, 4(3), 421-425.
29. Han, H., Armaghani, D.J., Tarinejad, R., Zhou, J. & Tahir, M.M. (2020). Random forest and bayesian network techniques for probabilistic prediction of flyrock induced by blasting in quarry sites. *Natural Resources Research*, 29(2), 655-667.
30. Barkhordari, M.S., Armaghani, D.J. & Fakharian, P. (2022). Ensemble machine learning models for prediction of flyrock due to quarry blasting. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(9), 8661-8676.
31. Hosseini, S., Poormirzaee, R., Hajihassani, M. & Kalatehjari, R. (2022). An ANN-fuzzy cognitive map-based Z-number theory to predict flyrock induced by blasting in open-pit mines. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 55(7), 4373-4390.
32. Kulatilake, P.H.S.W., Hudaverdi, T. & Wu, Q. (2012). New prediction models for mean particle size in rock blast fragmentation. *Geotechnical and Geological Engineering*, 30(3), 665-684.
33. Bahrami, A., Monjezi, M., Goshtasbi, K. & Ghazvinian A. (2011). Prediction of rock fragmentation due to blasting using artificial neural network. *Engineering with Computers*, 27, 177-181.
34. Miao, Y., Zhang, Y., Wu, D., Li, K., Yan, X. & Lin, J. (2021). Rock fragmentation size distribution prediction and blasting parameter optimization based on the muck-pile model. *Mining, Metallurgy & Exploration*, 38(2), 1071-1080.
35. Xie, C., Nguyen, H., Bui, X.N., Choi, Y., Zhou, J. & Nguyen-Trang, T. (2021). Predicting rock size distribution in mine blasting using various novel soft computing models based on meta-heuristics and machine learning algorithms. *Geoscience Frontiers*, 12(3), 101108.
36. Li, E., Yang, F., Ren, M., Zhang, X., Zhou, J. & Khandelwal, M. (2021). Prediction of blasting mean fragment size using support vector regression combined with five optimization algorithms. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 13(6), 1380-1397.
37. Aruna, M., Vardhan, H., Tripathi, A. K., Parida, S., Reddy, N.V.R.S., Sivalingam, K.M., Yingqiu, L. & Elumalai, P.V. (2025). Enhancing safety in surface mine blasting operations with IoT based ground vibration monitoring and prediction system integrated with machine learning. *Scientific Reports*, 15, 3999.
38. Kadem, B. (2024). Bölgesel patlatma tasarımı ve analizi yapabilen bir mobil uygulama yazılımının geliştirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 117.
39. Özyurt, M.C., Arslan, A., Mutlu, H.E. ve Odabaşı, T.C. (2024). *Trakya bölgesinde gerçekleştirilen patlatmalı kazı çalışmalarının verimlilik açısından değerlendirilmesi*. Sonuç Raporu, TÜBİTAK 2209/A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destek Programı.
40. O-Pit Blast, (2024). *O-Pit Blast Guide uygulaması tanıtım sayfası*. <https://www.o-pitblast.com/products/o-pitblasting-guide> Erişim tarihi: 11.05.2024.
41. Orica-Nitro, (2024). *Pocket Blast Guide uygulaması tanıtım sayfası*. https://www.oricaminin gservices.com/au/en/page/products_and_services/pocket_blast_guide_app/pocket_blast_guide_mobile_app, Erişim tarihi: 12.05.2024.
42. Dyno-Nobel, (2024). *Explosives Engineers' Mobile App uygulaması tanıtım sayfası*. <https://dynonobel.com/practical-innovations/recent-innovation/mobile-app>, Erişim tarihi: 11.05.2024.
43. Nelson Brothers, (2024). *Nelson Brothers uygulaması Google Play store mağaza sayfası*. https://play.google.com/store/apps/details?id=com.nelsonbrothers.mobile&hl=en_US&pli=1 Erişim tarihi: 12.05.2024.
44. Bulk Mining Explosive, 2025. *BME Guide uygulama tanıtım sayfası*. <http://bme.co.za/blasting-alliance/blasting-guide-app/>, Erişim tarihi: 27.04.2025.
45. MineExcellence, (2024). *Smart Blasting App uygulaması tanıtım sayfası*. <https://www.mineexcellence.com/blasting-mobile-app-for-mining/>, Erişim tarihi: 11.05.2024.
46. Sakcalı, A., Yavuz, H. ve Cevizci, H. (2016). Basamak patlatmasında kullanılmak üzere geliştirilen bir android uygulaması. 8. *Uluslararası Kırmataş Sempozyumu*, 13-14 Ekim 2016, Kütahya, Türkiye.

