

MADENCİLİKTE ÇEVREYE DUYARLI  
PATLATMA TASARIMI PROGRAMI

İsmail Topal

Yüksek Lisans Tezi

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Ekim - 2004

MADENCİLİKTE ÇEVREYE DUYARLI  
PATLATMA TASARIMI PROGRAMI

İsmail Topal

Dumlupınar Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
Maden Mühendisliği Anabilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman : Prof.Dr. Birol ELEVLİ

Ekim - 2004

**KABUL VE ONAY SAYFASI**

İsmail TOPAL'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Madencilikte Çevreye Duyarlı Patlatma Tasarımı Programı” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir

08/10/2004

Üye Prof.Dr. Birol ELEVLI

Üye Prof.Dr. Adnan KONUK

Üye Doç.Dr. Kaan ERARSLAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ...../...../..... gün ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof.Dr. M.Sabri ÖZYURT  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## MADENCİLİKTE ÇEVREYE DUYARLI PATLATMA TASARIMI PROGRAMI

İsmail Topal

Maden Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2004

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Birol ELEVLI

### ÖZET

Bu çalışmada, açık maden işletmelerinde kaya gevşetme amaçlı olarak uygulanan delme ve patlatma işlemleri sonucunda oluşan çevresel etkilerden en önemlisi olan yer sarsıntılarının, patlatma öncesinde tahmin edilebilmesi için bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.

Programın geliştirilebilmesi için, yapılan literatür araştırması sonucu, bu konuda geliştirilmiş ve literatürde kabul görmüş bazı formüllere ulaşılmıştır. Ancak bu formüllerin kullanılabilmesi için her sahaya özel, sahanın pek çok jeolojik ve jeofiziksel özelliklerini yansıtan saha sabitlerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Saha sabitlerinin, işletme koşullarında ayrıntılı çalışmalar yapılarak tespit edilmesi, güç ve zaman alıcı işlemler gerektirmektedir.

Söz konusu bu güçlüğü ortadan kaldırması ve titreşim tahmininin pratik bir şekilde her patlatma işlemi öncesinde yapabilmesi için, geliştirilen bilgisayar yazılımında, daha önceki yapılan kontrollü patlatma işlemlerinin sonuçlarından yararlanılarak, her sahaya özel saha sabitleri regresyon ve korelasyon analizleri ile tespit edilmekte ve bu sabitlerden faydalanarak, literatürde kabul görmüş tahmin formüllerine göre, patlatma öncesinde sarsıntı tahmini ve oluşması istenen sarsıntı miktarına göre gecikme aralığı başına kullanılacak maksimum patlayıcı madde miktarı hesapları yapılabilmektedir.

**Anahtar Kelimeler :** Patlatmanın Çevresel Etkileri, Regresyon ve Korelasyon Analizleri, Yer Sarsıntılarının Tahmin Edilmesi.

# **ENVIRONMENTALLY SENSITIVE BLASTING DESIGN PROGRAM FOR MINING OPERATIONS**

Ismail TOPAL

Mining Engineering, M.Sc. Thesis, 2004

Thesis Supervisor: Prof.Dr. Birol ELEVLİ

## **SUMMARY**

In this study, a computer program was developed in order to estimate ground vibrations which are the most important environmental effects occurring as a result of drilling and blasting operations carried out to slacken rocks in open pit mining before blasting.

In order to develop this computer program commonly accepted formulas related to the subject is reached as a result of literature research. But to use these formulas, the area constants reflecting the geological and geophysical characteristics particular to that area need to be determined.

Determination of area constants by carrying out detailed analysis under mining conditions requires difficult and time consuming process. To overcome this difficulty and to make vibration estimation practically before each blasting operation, area constants of each area are determined using regression and correlation analysis by benefiting from the results of previous controlled blasting operations. With the help of these constants, according to commonly accepted formulas, the maximum amount of explosive material that can be utilized per delay with respect to vibration estimation and the desired vibration level can be calculated.

**Key Words :** Earth Vibration Estimation, Environmental Effects of Blasting, Regression and Correlation Analysis

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın hazırlanmasında emeği geçen, değerli tecrübeleri ve bilgileri ile her konuda yol gösteren ve yardımcı olan, danışman hocam, sayın **Prof.Dr. Birol ELEVLİ**'ye, çalışmamın bilgisayar programlaması bölümünün hazırlanmasında çok değerli katkıları olan sayın **Doç.Dr. Kaan ERARSLAN**'a, çok değerli istatistik bilgileri ile katkıları bulunan sayın **Prof.Dr. Alim IŞIK**'a, ve sayın **Prof.Dr. Adnan KONUK**'a literatür kısmının hazırlanmasında katkısı olan sayın **Yrd.Doç.Dr. Hamdi AKÇAKOCA**'ya ve öğrencilerim **Maden Müh. İrfan ÇEPNİ** ve **Maden Müh. Bayram Ali GEDİK**'e, çalışmalarım boyunca manevi desteklerini esirgemeyen ev arkadaşlarım **Ahmet SOLMAZ** ve **Arş.Grv. Mehmet DEMİRBİLEK**'e teşekkür ederim.

Ayrıca, çalışmam boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, Babam **İnş.Müh. Nevzat TOPAL**'a ve abim **Ahmet TOPAL**'a ve çalışmam boyunca manevi desteğini esirgemeyen çok yakında hayat arkadaşım olacak olan **Sosyolog Behiye TOPAL**'a da teşekkürü borç bilirim.

Aynı zamanda, her zaman ileri gitmemi ve okumamı isteyen, rahmetli babaannem **Hanife TOPAL**'ı da saygıyla anıyorum.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	iv
SUMMARY.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Genel .....	1
1.2. Çalışmanın Amacı.....	3
1.3. Çalışmanın İçeriği.....	4
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	5
2.1. Genel.....	5
2.2. Patlayıcı Maddeler.....	5
2.2.1. Tanım.....	5
2.2.2. Tarihsel gelişimi.....	5
2.2.3. Patlayıcı maddelerin özellikleri.....	6
2.2.4. Patlayıcı maddelerin sınıflandırılması.....	8
2.2.4.1. Nitrogliserin esaslı patlayıcılar.....	9
2.2.4.2. Amonyum nitrat esaslı patlayıcılar.....	11
2.3. Açık Maden İşletmelerinde Kayaç Patlatılabilirliği ve Patlatma Tasarımı.....	14
2.3.1. Kayaç patlatılabilirliği ve etkileyen faktörler.....	14
2.3.2. Basamak patlatması tasarım elemanları.....	16
2.3.3. Patlatmanın ateşlenmesi.....	20
2.3.3.1. Elektriksiz ateşleme yöntemleri.....	21
2.3.3.2. Elektrikli ateşleme yöntemleri.....	22
2.4. Açık Maden İşletmelerinde Patlatmanın Çevresel Etkileri.....	23
2.4.1. Taş savrulması.....	24
2.4.2. Hava şoku (Gürültü/Ses).....	25
2.4.3. Toz oluşumu.....	25
2.4.4. Yer sarsıntısı.....	27
2.4.4.1. Yer sarsıntısının oluşum mekanizması.....	27

## İÇİNDEKİLER (DEVAM)

	<b><u>Sayfa</u></b>
2.4.4.2. Yer sarsıntısının ölçülmesi.....	31
2.4.4.3. Yer sarsıntılarının yol açtığı hasarın tanımı.....	32
2.4.4.4. Yer sarsıntılarını azaltmak için alınabilecek önlemler.....	37
2.4.4.5. Yer sarsıntılarının patlatma öncesinde tahmini için yapılmış çalışmalar.....	38
2.4.4.6. Yer sarsıntılarının patlatma öncesinde mm/sn biriminden tahmini için geliştirilen formüller.....	40
2.4.4.7. Yer sarsıntılarının pratik tahmini ve bilgisayar desteği ile tahmininin gerekliliği.....	44
2.4.4.8. Yer sarsıntılarının bilgisayar programı ile tahmini için yapılan çalışmalar.....	45
3. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	47
3.1. Genel.....	47
3.1.1 Yapılan Çalışmalar Bölümünün İçeriği.....	47
3.1.2 Tahmin Formül. Kul. ve Regresyon Analizlerinin gerekliliğinin nedeni....	48
3.2. Tahmin Formüllerinin Regresyon ve Korelasyon Analizleriyle Çözümü.....	48
3.2.1. Çalışmada kullanılan regresyon modelleri ve çözümleri.....	48
3.2.2. Çalışmada kullanılan korelasyon modelleri ve çözümleri.....	53
3.2.3. Tahmin formüllerinin regresyon denklemlerine uyarlanması.....	54
3.2.4. Formüllere regresyon ve korelasyon analizlerinin uygulanması.....	60
3.3. Yersarsıntısı Tahmini için Geliştirilen Bilgisayar Yazılımı.....	66
3.3.1. Genel.....	66
3.3.2. Programın algoritmaları.....	66
3.3.3. Yersarsıntısı tahmini programının kullanılması ve tanıtılması.....	72
4.SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	80
4.1. Sonuçlar.....	80
4.2. Öneriler.....	81
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	82



## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Patlatma işlemiyle oluşan yer titreşimi, hava şoku, toz oluşması ve kaya fir.....	1
2.1 Basamak patlatması terimleri.....	16
2.2 Açık ocak patlatmalarında kullanılan çeşitli delik düzenleri.....	19
2.3 Üçgen delik düzeninde patlatma etki alanları.....	20
2.4 Deliklerin tasarlanan yere delinmemesi durumunda düzensiz parçalanma.....	20
2.5 Patlatma çevresel etkileri.....	23
2.6 Patlatma sonrası kaya fırlaması.....	24
2.7 Patlatma sonrası toz oluşması.....	26
2.8 Toz oluşumunun azaltılması için patlatma öncesi sulama işlemi.....	26
2.9 Basamak pat. bir kolon şarjından dalga yayılmasının şematik gösterimi.....	28
2.10 Patlatma sonucu oluşan P ve S dalgaları .....	29
2.11 Uzaklık ve zamana bağlı olarak dalga titreşimlerinin genel formu.....	30
2.12 Dalga tiplerine bağlı olarak parçacık hareketlerinin değişimi.....	31
2.13 USBM'nin alternatif kriter analizi.....	35
2.14 Ampirik saha faktörlerini gösteren ölçekli mesafe mak. parçacık hızı ilişkisi.....	40
3.1 Yersarsıntısı tahmini programının genel akış şeması.....	67
3.2 Ana sayfa algoritması.....	68
3.3 Saha kayıt sayfası algoritması.....	69
3.4 Yersarsıntısı tahmini sayfası algoritması.....	70
3.5 Gecikme başına kullanıl. maksimum patlayıcı madde miktarı sayfası algoritması...	71
3.6 Yersarsıntısı tahmini programının ana sayfası.....	72
3.7 Saha kayıt sayfası görünümü.....	73
3.8 Saha kayıt sayfasına kontrollü patlatma ölçüm sonuçlarının girilmesi.....	74
3.9 Girilen ölçüm sonuçlarının kaydedilmesi.....	75
3.10 Titreşim tahmini hesapları için kullanılan sayfa.....	76
3.11 Saha sabitlerinin ve korelasyon katsayılarının kayıtlı dosyadan çağrılması.....	77
3.12 Yersarsıntısı tahmini sayfasına veri girişi ve tahmin yöntemi seçimi.....	78
3.13 Maksimum patlayıcı miktarı hesabı sayfası.....	79

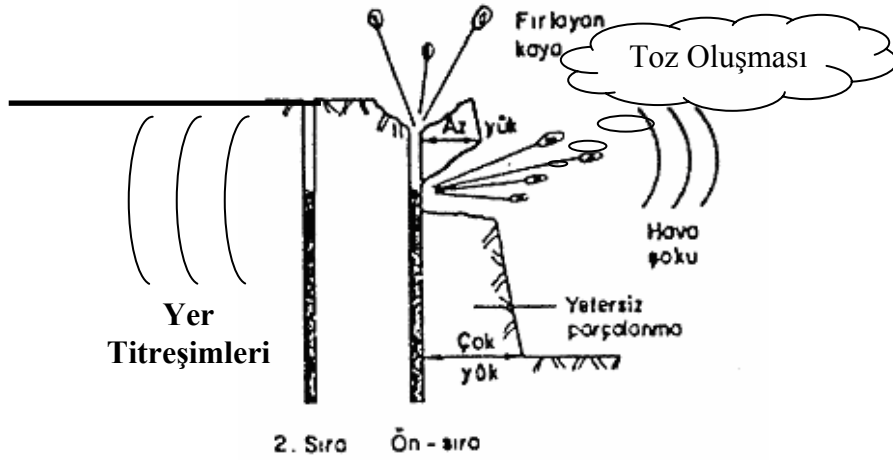
**ÇİZELGELER DİZİNİ**

<b><u>Cizelge</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
2.1 Sivil amaçlı kullanılan patlayıcı maddelerin sınıflandırılması.....	9
2.2 Nitrogliserin esaslı dinamitlerin teknik özellikleri.....	10
2.3 Su içinde yağ emülsiyonu ve yağ içinde su emülsiyonu oranları.....	13
2.4 Crandell'in enerji oranına bağlı hasar kriteri.....	34
2.5 Parçacık hızı hasar düzeyleri (Edward ve Northwood,1959).....	34
2.6 Parçacık hızı hasar düzeyleri (Langefors, Kihlsrom, Westerberg, 1963).....	34
2.7 Parçacık hızı hasar düzeyleri (Amerikan madencilik dairesi,1971).....	35
2.8 Alman DIN 4150'ye göre hasar düzeyleri.....	36
2.9 Carment, Baruer ve Calder'e göre hasar düzeyleri.....	36
2.10 Parçacık hızı hasar düzeyleri (Sting, Olafsson, 1988).....	37
3.1 Titreşim tahmini için geliştirilmiş olan formüller.....	55

## 1.GİRİŞ

### 1.1 Genel

Delme ve patlatma denildiğinde ilk akla gelen madencilik işlemleri olmasına rağmen kullanım alanı sadece madencilik değildir. İnşaat sektörü, petrol sektörü, enerji sektörü, tarım ve ormancılık sektörü, askeri faaliyetler gibi daha pek çok alanda delme ve patlatma işlemleri yapılmaktadır. Bu işlemler yerleşim yerlerinden ve işletme tesislerinden uzak noktalarda olduğunda çevresel yada psikolojik olarak herhangi bir probleme neden olmamasıyla birlikte, yerleşim yerlerine yakın noktalarda uygulandığında, olumsuz etkilere neden olabilmektedir. Patlatma işlemleri sonucu oluşan olumsuz etkiler; toz oluşması, hava şoku, taş savrulması ve yer titreşimleridir (Şekil 1.1). Bunlardan toz oluşması, hava şoku ve taş savrulması patlatma noktasına yakın yerlerde etkili olurken, yer titreşimleri, çok uzak noktalarda bile etkisini gösterebilmektedir.



**Şekil 1.1** Patlama işlemiyle oluşan yer titreşimi, hava şoku, toz oluşması ve kaya fırlaması [1]

Patlayıcılar, patlatma anında formasyona çok yüksek ısı, basınç ve gaz ürünleri verirler. Patlatmadan oluşan gazlar hızla genişleyerek yakın çevredeki kayanın mukavemetini aşan yüksek basınç oluştururlar. Bu basınç burada küçük hacimdeki bir kayaç kütesini parçalar, geri kalan enerji ise ortam içinde her yöne basınç ve şok cephesi olarak 3000 ila 6000 m/sn arasındaki hızlarla yayılır. Böyle bir basınç cephesi serbest yüzeye çarptığı zaman geriye gerilme dalgası olarak yansır. Eğer sınıra gelen ve yansıyan dalgalar yeteri kadar büyük bir

stres oluşturursa, çekme dayanımı basma dayanımından az olan kayaç parçalanarak serbest yüzeye doğru saçılır. Gelen dalganın geride kalan kısmı yeni bir serbest yüzey bulur ve oradan yine gerilme dalgası olarak yansır. Bu olay ortaya çıkan yeni serbest yüzeyden tekrar parçaların kopmasına ve saçılmasına neden olur. Bu arada genişleyen gazlar ise kayaç içinden geçerek serbest yüzeyde kopmuş parçaları savurarak birbirine çarpar ve onların daha da küçülmesine neden olur. Enerjinin geriye kalan kısmı elastik dalgalar halinde yer içinde serbest yüzey boyunca her yöne yayılarak titreşime neden olur. Titreşime neden olan bu şok dalgası yüzey içinde sismik dalgalar şeklinde yayılır. Sismik dalgalar enerjileri tükeninceye kadar yayılmaya devam ederler ve elastik olarak yayılırlar[2].

Bu dalgaların etkisi bir anda kullanılan patlayıcı madde miktarıyla ve ilk dilim kalınlığıyla doğru orantılıdır. Yani bir anda kullanılan patlayıcı madde miktarı arttıkça ve patlatma delikleri arasındaki dilim kalınlığı arttıkça oluşan dalgalar daha büyük ve etkili olur. Dilim kalınlığının büyümesiyle patlatma sonucu oluşan şok etkisi serbest yüzey bulamadığından dolayı geriye doğru etki ederek yer titreşimlerine dönüşmekte ve çok uzak noktalara kadar iletilebilmektedir. Dilim kalınlığının kısa tutulması ise taş savrulmalarını ve hava şokunu artırır. Hem taş savrulması ve hava şoku oluşumunu en aza indirmek hem de oluşacak yer titreşimlerini en aza indirmek için dilim kalınlığı ve birim zamanda kullanılacak patlayıcı madde miktarı iyi hesaplanmalıdır.

Patlatma tasarımının iyi yapılamaması sonucu oluşan yer titreşimi, hava şoku, taş savrulması gibi olumsuz etkiler, psikolojik yada çevresel rahatsızlıklara neden olabilmektedir. Bu rahatsızlıklar haklı yada haksız olarak şikayetlere neden olmakta ve madencilik faaliyetlerinin engellenmesine, kısıtlanmasına yada yatırımcıların tazminatlar ödemek zorunda kalmasına neden olmaktadır. Ayrıca patlatma sonucu çevreye verilen rahatsızlıklar madencilik faaliyetlerinin halk tarafından olumsuz olarak bilinmesine de neden olmaktadır.

Tabi ki, yer altı kaynaklarının değerlendirilip ülke ekonomisine kazandırılması ve bunun içinde delme ve patlatma işlemlerinin yapılması zorunludur. Ancak bu faaliyetlerin çevreye duyarlı ve rahatsızlık vermeyen bir biçimde yapılması gerekmektedir. Zaten madencilik faaliyetleri de yer altı kaynaklarının değerlendirilmesi ve insanlığın yararına sunulabilmesi için yapılmaktadır. İnsanlığın yararına çalışmalar yaparken insanların rahatsız edilmesi doğru değildir. Patlatma faaliyetinde bulunacak bir maden işletmecisi, patlatma sonucu ortaya çıkacak etkileri tahmin edebilmeli ve patlama hatta delik tasarımını ortaya çıkabilecek olumsuz etkileri ortadan kaldıracak şekilde yapmalıdır.

Patlatma sonucunun tahmin edilebilmesi için, çeşitli araştırmalar yapılmış ve çeşitli formüller geliştirilmiş olmasına rağmen pratik ocak koşullarında titreşim tahmininin yapılabilmesi zor ve zaman alıcı işlemler gerektirmektedir. Bunun nedeni bu formüllerin uygulanabilmesi için her sahaya özel birçok faktörü (kayaç yapısı, jeolojik yapı, faylar vs.) göz önünde bulunduran saha sabitlerinin tespit edilmesinin gerekliliğidir. Saha sabitlerinin tespit edilmesi ise, zor ve zaman alıcı işlemler gerektirmektedir. Bu nedenden dolayı pratik olarak titreşim tahmini yapılamamaktadır. Patlatma sonucu oluşan çevresel olumsuzlukların en aza indirilebilmesi için, patlatma sonucu oluşabilecek çevresel etkilerin kolay ve pratik bir şekilde tahmin edilmesi ve patlatma tasarımının bu doğrultuda yapılması gerekmektedir.

Patlatma sonucu oluşacak olan etkilerin tahmin edilmesinin diğer bir faydası ise, patlatma maliyetlerinin azaltılmasıdır. Çünkü, patlatma sonucunda ortaya çıkan hava şoku, taş savrulması, yer titreşimleri gibi olumsuz etkilerin çokluğu, kayayı parçalamak için kullanılması gereken enerjinin bir kısmının boşa harcıandığının göstergesidir. Dolayısıyla gereksiz yere hem patlatma maliyetleri artırılmış hem de çevresel olumsuzluklar ortaya çıkarılmış olmaktadır.

## **1.2 Çalışmanın Amacı**

Bu çalışmanın amacı, açık maden işletmelerinde uygulanan delme ve patlatma işlemleri sonucu ortaya çıkan, çevresel etkilerden en önemlisi olan, yer titreşimlerinin patlatma öncesinde kolay bir şekilde, tahmin edilebilmesi ve oluşması istenen titreşim miktarına göre kullanılması gereken patlayıcı madde miktarının hesaplanabilmesi için bilgisayar yazılımı geliştirilmesidir. Geliştirilecek olan bilgisayar yazılımı, daha önceki yapılmış patlatma ölçüm sonuçlarından yararlanarak sahanın jeolojik özelliklerini belirleyecek ve bu jeolojik özelliklere bağlı olarak, patlatma sonucunda oluşacak titreşim dalgalarının mesafeyle değişimini tahmin edecek yada müsaade edilen maksimum titreşim miktarına göre gecikme başına kullanılması gereken patlayıcı madde miktarını hesaplayacaktır.

Patlatma sonucu oluşacak titreşimlerin tahmin edilebilmesi için çeşitli araştırmacılar tarafından çalışmalar yapılmış ve literatürde kabul gören çeşitli formüller geliştirilmiş olsa da, geliştirilen formüllerin pratik işletme koşullarında kullanılması ve patlatma sonucu oluşabilecek yer titreşimlerinin tahmin edilebilmesi kolay değildir. Bunun nedeni, titreşim dalgalarının yayılmasının pek çok jeolojik ve çevresel faktörden etkilenmesi ve bu faktörlerin tespit edilmesinin hem süre, hem de maliyet açısından külfetli olmasıdır. Saha sabitlerinin tespit edilebilmesi için sahada aylarca hatta yıllarca sürecek çalışmalar yapılmalı, onlarca sondaj

yapılmalı, pek çok kaya mekanik deneyi, mineralojik analiz yapılmalı, fay ve yataklanma yönleri tespit edilmelidir.

Bu işlemlerin yapılması külfetli ve zordur. Bu çalışmada geliştirilen bilgisayar programı ile, yapılması gereken bütün bu jeolojik araştırmalar yerine, sahada daha önceden yapılmış olan, mesafeye bağlı patlatma ölçüm sonuçlarından yararlanarak, regresyon ve korelasyon analizleri ile sahanın jeolojik ve mineralojik özelliklerini yansıtan saha sabitleri tespit edilmektedir. İstatistiksel geçerli korelasyon katsayısına ulaşmak için en az 30 ölçüm değeri kullanılmalıdır. Saha sabitleri bu şekilde tespit edildikten sonra, sahada yapılacak olan patlatma işlemleri sonucu, oluşacak olan yer titreşimleri daha önceki yıllarda geliştirilmiş olan formüller yardımıyla tahmin edilmekte yada müsaade edilen maksimum titreşim miktarına göre gecikme başına kullanılması gereken patlayıcı madde miktarı hesaplanmaktadır.

Geliştirilen bilgisayar yazılımı ile maden işletmecileri, patlatma yapılmadan önce, patlatma sonucu oluşabilecek olan yer titreşimlerini pratik ve kolay bir şekilde tahmin edebileceklerdir. Böylece herhangi bir hasara yada rahatsızlığa neden olmadan, patlatma öncesinde, patlatma delik tasarımı, gecikme başına kullanılacak maksimum patlayıcı madde miktarı vs. gibi gerekli teknik düzenlemeleri yapabilecek ve çevre açısından olumsuz etkileri olmayan patlatma işlemleri yapabileceklerdir.

### **1.3 Çalışmanın İçeriği**

Bu çalışma kapsamında, genel giriş bölümlerinden sonra ikinci bölümde konu ile ilgili literatür araştırması yapılmıştır. Literatür araştırması bölümünde, öncelikle patlayıcı maddelerin tanımı tarihçesi ve özellikleri hakkında bilgiler verilmiş, daha sonra patlatma tasarımı yapabilmek için gerekli olan terimlerden bahsedilmiştir. Sonraki aşamada patlatmanın çevre üzerindeki etkilerine değinilmiş ve en önemli etki olan yer titreşimleri konusu ayrıntılı bir şekilde işlenmiştir. Bu bölümde son olarak, patlatma sonucu oluşan yer titreşimlerinin patlatma öncesinde tahmin edilebilmesi için yapılan çalışmalardan bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde titreşim tahmin formüllerindeki saha sabitlerinin tespit edilmesi için regresyon ve korelasyon analizlerinin tahmin formüllerine uygulanması işlemleri ayrıntılı olarak anlatılmış ve bu işlemlerin yapılması için geliştirilen bilgisayar programının algoritmaları ve kullanımı anlatılmıştır. Son bölümde ise, sonuçlar ve öneriler verilmiştir.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

### 2.1 Genel

Delme ve Patlatma işlemleri madencilikte kaya gevşetme işlemlerinde kullanılmaktadır. Patlatma işlemini kontrollü bir şekilde yapabilmek ve en yüksek verimi elde edebilmek için öncelikle patlatma işlemlerinde kullanılacak patlayıcı maddelerin; yoğunluk, detonasyon hızı, özgül enerji, oksijen balansı, kuvvet, kritik çap, duyarlılık, duman karakteri, suya dayanıklılık, donmaya karşı direnci, depolama ömrü gibi özelliklerinin iyi bilinmesi gerekir. İkinci aşamada patlatma yapılacak sahada, kayaç patlatılabilirliğini etkileyen, kayaç temas tipi, fay, yataklanma yüzeyleri, çatlak sistemleri, kayaç formasyonunun eğim ve doğrultusu gibi özelliklerini tespit etmek gerekir. Bütün bu veriler toplandıktan sonra patlatma tasarımına geçilmelidir. Patlatma tasarımında ise; patlatma tasarımı yapılacak basamağa en uygun, basamak yüksekliği, dilim kalınlığı, delikler arası mesafe, delik boyu, delik çapı, delik taban payı, sıkılama delik düzeni delik yeri gibi parametreler ayrı ayrı tespit edilmelidir. Literatür araştırması kapsamında patlayıcı maddeler, patlatma tasarım parametreleri ve patlatmanın çevresel etkileri ayrı ayrı incelenerek takip eden bölümlerde açıklanmıştır.

### 2.2 Patlayıcı Maddeler

#### 2.2.1 Tanım

Patlayıcı madde, ısı, darbe veya sürtünme sonucu çevreden herhangi bir elemanın, kimyasal katkısı olmadan çok hızlı bir şekilde reaksiyona giren, genellikle gaz ürünler veren, organik veya inorganik bileşimlerdir. Reaksiyon hızları, patlayıcı maddelerin türünü tayin eder. Reaksiyon hızı ses altı (subsonik) olursa **parlayıcı maddeler**, ses üstü (süpersonik) olursa **patlayıcı maddeler** olarak tanımlanırlar[3].

#### 2.2.2 Tarihsel gelişimi

Kara barutun bulunması ile kaya gevşetme işlemlerinde yakma işlemi yerine patlatma işlemi kullanılmaya başlanmıştır. Kara barut bulunmadan önce, kaya gevşetme işleminde uygulanan yakma işleminde, kaya odunla yakılarak ısıtılıyor ve yavaş yavaş kırılıyordu (tansiyon gerilimi ile). Yakma işlemi için kullanılan odun'un, ormandan kesip temizlenmesi ve yakma yerine taşınması büyük bir problemdi. Kayanın bu şekilde gevşetilmesi de büyük maliyetlere yol açıyordu. Kara barutun bulunması ile birlikte kaya gevşetme işlemleri hızlanmış ve kara barut yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. William Bickford'un 1831 yılında

Emniyetli Fital'i bulmasıyla başlangıçta tehlikeli olan ateşleme işlemi emniyetli hale gelmiş ve kara barutun kullanımını artmıştır.

İlk zamanlar kara barut'un enerjisi yeterli olurken daha sonraki aşamalarda piyasada daha güçlü patlayıcılara talebin artmasıyla, yeni patlayıcıların geliştirilmesi çalışmaları hız kazanmıştır. 1846 yılında Ascanio Sobrero Nitrogliserini keşfetmiş, 1956 yılında A.B.D'de ANFO bulunmuş, 1864 yılında Alfred Nobel ilk Nitrogliserin üreten fabrikayı kurmuştur. 1866 yılında Kieselguhr, nitrogliserin'in absorbe edilerek şoka karşı daha az hassas olduğunu bulmuş ve dinamiti keşfetmiştir. 1875 yılında Alfred Nobel nitroselülozu nitrogliserin'e çözdürerek Blasting Gelantine'leri keşfetmiştir. 1876 yılında kapsüllerin keşfedilmesi ile nitrogliserinin ateşlenmesi emniyetli hale gelmiştir.

1920 yılında nitro-glikol dinamite eklenmiş, böylece dinamit'in donma noktası düşürülmüştür. Dinamit'in kullanımının yaygınlaşması ile birlikte dinamit'i ateşlemek için yeni metotlar araştırılmış, 20. Yüzyılın başlangıcında elektrikli kapsüller bulunmuş, 1970 yılında elektriksiz ateşleme sistemleri (nonel initiating systems) geliştirilmiştir.

Günümüzde kaya gevşetme işlemlerinde en çok kullanılan patlayıcı ANFO olup, ANFO'nun ateşlenmesi için ise çeşitli dinamitler kullanılmaktadır[4].

### 2.2.3 Patlayıcı maddelerin özellikleri

Bir patlayıcı madde kullanıcısının, kullanacağı patlayıcı maddeyi doğru olarak seçebilmesi için bazı özellikleri bilmesi gerekmektedir. Patlayıcı maddelerin dikkate alınması gereken özellikleri aşağıda verildiği gibidir[3];

1. Yoğunluk,
2. Detonasyon Hızı,
3. Özgül Enerji,
4. Oksijen Balansı,
5. Kuvvet,
6. Kritik Çap,
7. Duyarlılık,
8. Duman Karakteri,
9. Suya Dayanıklılığı,
10. Donmaya Karşı Direnci,
11. Depolama Ömrü.



1-Yoğunluk: Patlayıcı maddelerin birim hacim ağırlığıdır. Detonasyon<sup>1</sup> süresince birim zamanda devreye giren kütleyi işaret ettiği için önemlidir. Artan yoğunlukla, detonasyon basıncı ve dolayısı ile patlayıcının performansı artar. Bu nedenle bazı patlayıcılar kalıplama ve presleme yolu ile yüksek yoğunluklarda imal edilirler[3].

2-Detonasyon hızı: Yoğunlukla beraber birim zamanda devreye giren kütleyi işaret ettiği için önemlidir. Detonasyon hızının yüksek olması, pratikte patlayıcının kuvvetli olduğunu bir işaretidir[3].

3-Özgül enerji: Patlayıcı maddelerin termodinamik olarak hesap edilen parametrelerinden birisidir. Özgül enerji, patlayıcı maddelerin patlaması sonrası oluşan gazlarının patlama esnasında genişleşerek bir iş enerjisi oluşturmasıdır. Spesifik enerjinin yüksek olması patlayıcı maddenin kuvvetli olduğunu bir göstergesidir. Bu enerji Metre-Ton/Kg veya Joules olarak ifade edilir[3].

4-Oksijen balansı: Patlayıcı maddelerin önemli özelliklerinden biriside, reaksiyon sırasında dışarıdan oksijen alma gereksinimlerinin olmayışıdır. Kimyasal olarak gerekli oksijen bünyelerinde vardır. Patlayıcı maddeler bünyelerinde fazla oksijen içerirse reaksiyon sonucu NO ve NO<sub>2</sub> gazları, eğer az oksijen içerirse CO gazı oluşur. Bu gazlar toksiktir. Toksik gazları (özellikle CO, NO<sub>x</sub> gazları) minimize etmek için patlayıcı maddelerin oksijen balansı optimum olmalıdır[3].

5-Kuvvet: Patlayıcı maddelerin birim ağırlığının iş yapabilme yeteneğine *Ağırlıkça Kuvveti*, patlayıcı maddenin ağırlık kuvveti ile yoğunluğunun çarpımına *Hacim Kuvveti* denir[3].

6-Kritik çap: Patlayıcı madde detonasyon'un oluşacağı minimum çaptır. Kapsüle duyarlı olmayan patlayıcılarda kritik çap çok büyük olabilir. Bir noktadan ateşlenen patlayıcı içinde küresel bir reaksiyon cephesi oluşur ve kısa süre içerisinde patlayıcı kolonu<sup>2</sup> boyunca tek yöne hareket eden detonasyon cephesine dönüşür. İşte bu çap patlayıcılar için kritik çap olarak tanımlanmaktadır. Bu çapın altında detonasyona uğramazlar, veya reaksiyon başlasa bile çok yavaş olur ve çok çabuk söner dolayısı ile patlatma etkisi oluşmaz[3].

<sup>1</sup> *Detonasyon:* Ateşlemeden doğan patlatma dalgasının bir patlayıcı madde sütununda birim zamandaki ilerleme miktarı olup, m/sn ile ifade edilir[5].

<sup>2</sup> *Patlayıcı kolonu:* Patlatma işleminin yapılabilmesi için kayada delici makine ile açılmış ve patlayıcı madde ile doldurulmuş kolon.

7-Duyarlılık: Patlayıcı maddenin detonasyona girebilmesi için gerekli olan fiziksel etkiyi, minimum enerji basınç veya gücü tarif eder. Ticari patlayıcılar kapsüle duyarlı olanlar ve yemleme şarjına duyarlı olanlar şeklinde iki temel gruba ayrılırlar. Kapsüle duyarlı olanlar kendi başlarına ateşlenebilirken, yemlemeye duyarlı olanları ateşleyebilmek için kapsüle duyarlı patlayıcı madde kullanılmak zorundadır[3].

8-Duman karakteri: Öncelikle kapalı bir hacimde çalışması nedeni ile, patlatma sonucu açığa çıkan gazın kimyasal yapısı önemlidir. Patlatma sonrası oluşan gaz ürünlerinin önemli kısmı su buharı, karbondioksit ve azot gazlarından oluşmaktadır. Bunların yanında patlayıcı formülündeki imalat nedeni ile oluşan sapmalar, depolama sırasında bozulmalar, uygulamadan kaynaklanan (su gibi, yemleme kuvveti gibi) nedenler ile patlatma sonrası oluşan gaz içerisinde CO, NO ve NO<sub>2</sub> gibi zehirli gazlar da gözlenebilmektedir[3].

9-Suya dayanıklılığı: Patlayıcının suya dayanabilme yeteneğine veya normal olarak patlayıcının daha sonra patlamak şartı ile su altında kalabileceği, yani suya dayanabileceği süre olarak ifade edilir. Patlayıcı maddeler, sudan iki şekilde etkilenir. Birincisi patlayıcının bünyesinde bulunan organik tuz, suda çözünüp ayrılabilir. İkincisi de su basıncı nedeni ile duyarlılığı temin eden hava kabarcıklarının miktarı ve boyutları azalır[3].

10-Donmaya karşı direnci: Patlayıcıların bu özelliği sıcaklığın 0 °C altına düştüğü bölgelerde önemlidir. Nitrogliserinli ürünlerin önlem alınmamışsa donma ile beraber duyarlılığı tehlikeli şekilde artar. Bu durumdaki patlayıcıların depolanması ve kullanılması çok tehlikelidir[3].

11-Depolama ömrü: Patlayıcı maddeler genellikle uzun süre hatta uygun olmayan koşullarda, depoda bekletildiklerinden patlayıcının depolanma ömrü büyük önem taşımaktadır[3]. Patlatma işlemi yapılan her işletmede patlayıcı maddelerin bir süre depolanması kaçınılmazdır. Bunun için seçilen patlayıcı maddenin depolama ömrünün uzun olması ve işletmenin depolama şartlarına uygun olması gerekmektedir.

#### **2.2.4 Patlayıcı maddelerin sınıflandırılması**

Sivil amaçlı olarak kullanılan patlayıcı maddeler başlıca 2 grupta toplanabilir[4];

1. Nitrogliserin esaslı patlayıcılar,
1. Amonyum nitrat esaslı patlayıcılar.

Sivil amaçlı olarak kullanılan patlayıcı maddelerin sınıflandırılması Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

**Çizelge 2.1** Sivil amaçlı kullanılan patlayıcı maddelerin sınıflandırılması

<b>Nitrogliserin esaslı patlayıcı maddeler</b>	<b>Amonyum nitrat esaslı patlayıcı maddeler</b>
1. Jelatinit dinamit, 2. Sismik dinamit, 3. Antigruzutin dinamit, 4. Gom II-A1 dinamit, 5. El-bar I dinamit.	1. ANFO, 2. Bulamaç (slurry) tipi patlayıcılar, 3. Emülsiyon patlayıcılar, a. Emülite patlayıcı, b. Emülan patlayıcı.

#### **2.2.4.1 Nitrogliserin esaslı patlayıcılar**

Değişik amaçlar için çok değişik türleri üretilmektedir. Nitrogliserin esaslı dinamitlerde, depolama şartları hayati önem göstermektedir. Uygun şartlarda yapılmayan depolamalarda veya süresinden uzun bekletilmiş ürünlerde, nitrogliserin kusması görülebilmektedir. Serbest kalan nitrogliserin ise en ufak bir darbeye karşı bile duyarlıdır. Nitrogliserin esaslı dinamitlerin yarattığı diğer bir olumsuz olayda, insanlarda şiddetli baş ağrısına neden olmasıdır. Tüm bu nedenler ile, günümüzde nitrogliserin esaslı dinamitlerden vazgeçilmekte, harç patlayıcılar veya emülsiyon patlayıcılar kullanılmaktadır. Nitrogliserin esaslı olarak üretilen dinamit çeşitleri aşağıda sıralanmıştır[4]. Nitrogliserin bazı dinamitlerin teknik özellikleri ise Çizelge 2.2’de verilmiştir.

1. *Jelatinit dinamit,*
2. *Sismik dinamit,*
3. *Antigruzutin dinamit,*
4. *Gom II-A1 dinamit,*
5. *El-bar I dinamit.*

*1-Jelatinit dinamit:* Nitrogliserinin bazı patlayıcıları içerisinde en kullanışlı olanıdır. İyi gaz karışım karakteristiği onun en kötü çevre şartlarına bile uygun olmasını sağlar. Jelatinit dinamitler, kağıt kartuşlarda, karton borularda, plastik tüplerde sunulmaktadır. Çok şiddetli olanlarının dışında çoğu patlatma sonucu az zehirli gaz çıkarır.

2-Sismik dinamit: Özellikle su altı patlatmaları ve petrol araştırmaları için geliştirilmiştir. Sağlam plastik tüpler içerisinde ve kağıt kartuşlarda üretilmektedir. şarj işlemi sırasında hızlı ve kolay birleştirme yapmayı sağlayan bağlantı parçaları ile birbirlerine eklenirler.

3-Anti-Grizutin dinamit: Anti-grizutun dinamitleri, kömür madenlerinde metan gazının veya kömür tozunun ateşlenmesi riskini önleyici özel emniyet şartlarını sağlayan grizu emniyetli patlayıcıdır.

4-GOM II A - I dinamit: Nitrogliserin esaslı patlayıcılar içerisinde en kullanışlı olanlarından birisidir. Yüksek infilak hızı ile en sert kaya patlatmalarında bile başarı ile uygulanır. Bu dinamit kağıt kartuşlarda ve karton borularda üretilmektedir.

5-El-Bar I dinamit: Yersarsıntısı, kaya fırlaması ve hava şokunun problem olabileceği durumlarda kontrollü patlatmalar ve yıkım patlatması için (büyük eski binalar, hastaneler, köprüler, bacalar, su kuleleri vs.) ideal bir patlayıcıdır.

**Çizelge 2.2** Nitrogliserin esaslı dinamitlerin teknik özellikleri[5].

Teknik Özellikler	Jelatinit	Sismik	Anti-grizutin	GomII-A1	Elbar I
Yoğunluğu(gr/ml)	1,50	1,55	1,10	1,50	1,10
İntikal Testi(cm)	4	20	8	4-6	6
Gaz Hacmi(lt/kg)	860	780	723	820	910
Oksijen Balansı	+%1,0	+% 2,0	+% 6,0	+% 2,27	+% 4,9
Detonasyon Hızı(m/sn)	6200	6100	5000	7025	4250
Suya Dayanıklılık	İyi	Çok iyi	Zayıf	Çok iyi	Zayıf
Spesifik Enerji(kj/kg)	1128		880	1140	945
Kullanıldığı Yerler <sup>1</sup>	1,2,3,4,5,12	6,7,8	9	1,10,3,7,11	2,12,13,14

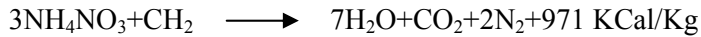
<sup>1</sup> 1.Yer altı ve yer üstü patlatma operasyonları. 2.Tünel patlatmaları. 3. Maden ve taş ocakları. 4.Kanal-hendek patlatmaları. 5.Ön kesme ve son kesme operasyonları. 6.Petrol, doğalgaz, termal su kaynakları, sondaj çalışmaları, Su altı patlatmaları, Sismik araştırmalar 7.Nemli ve sulu ortamlardaki patlatma operasyonları 8.Booster (ateşleyici) olarak. 9.Grizu gazı tehlikesi olan yer altı ocakları,Yumuşak formasyonlardaki kaya patlatmaları. 10.Çok sert kayaların parçalanması. 11.Genel amaçlı patlatmalar. 12. Yer titreşimi, hava şoku ve kaya fırlamasının sorun olduğu bölgeler 13. Kontrollü patlatma ve yıkım patlatmaları 14.şev kesmeleri.

### 2.2.4.2 Amonyum nitrat esaslı patlayıcılar

Temel hammaddesi Amonyum nitrat olan karışımlardır. Amonyum nitrat oksijen verici bir rol oynamakta olup karışım % 10-30 arasında su içermektedir. Amonyum nitrat esaslı patlayıcı türleri aşağıda sıralanmıştır[4].

1. *ANFO*,
2. *Bulamaç (slurry) tipi patlayıcılar*,
3. *Emülsiyon patlayıcılar*,
  - a. *Emülite patlayıcı*,
  - b. *Emülan patlayıcı*.

1-ANFO: Günümüzde kaya gevşetme işlemlerinde Dünyada en yaygın olarak kullanılan patlayıcı olup, % 94,5 Teknik Amonyum Nitrat<sup>1</sup> ile % 5,5 oranında mazot karışımından oluşmuştur. ANFO'daki kimyasal reaksiyonu ise;



şeklinde olmaktadır. Teknik olarak herhangi bir yakıt türü malzeme ile karıştırılmayan amonyum nitrat, patlayıcı madde sınıfına dahil edilmemektedir. Ama herhangi bir yakıt türü malzeme ile bulaştığı anda patlayıcı madde olmaktadır. Buna göre depolanması ve taşınması gerekmektedir.

Suya mukavemeti çok zayıf olduğundan, kuru deliklerde doğrudan patlatma deliğine şarj edilebilen ANFO, ıslak deliklerde plastik torbalara konulmak suretiyle kullanılabilir. Detonasyon sırasında oluşan portakal-kahve renkli duman, ANFO'nun su ile temas ederek bozunduğuna işaret eder[3].

2-Bulamaç (slurry) tipi patlayıcılar: Çok verimli ve güvenli bir patlayıcı olan ANFO, suya karşı dirençsizdir. Sulu deliklerde patlatma yapılabilmesi için yapılan araştırmalar sonucu, temel maddesi yine amonyum nitrat olan bulamaç patlayıcılar geliştirilmiştir. Suya karşı zayıflığı olan amonyum nitrat çok yüksek konsantrasyonlarda çözeltiler verir. Yürütülen araştırmalar böylesi çözeltilerin içine bazı bitkisel zamkların katılması ile suda erimeye dirençli, kıvamlı karışımların elde edilebileceğini göstermiştir[5].

---

<sup>1</sup> *Teknik amonyum nitrat*; amonyum ile nitrik asit'in reaksiyonundan elde edilen organik bir tuzdur.

Karışımlarda değişik kimyasal maddelerin kullanılması, bunların zaman içerisinde birbirlerini etkilemesine yol açabilmekte ve karışımın bozulmasına neden olabilmektedir. Özellikle alüminyum tozunun kullanıldığı karışımlarda alüminyum ile suyun reaksiyonundan hidrojen gazı salınmakta ve geride alüminyum hidroksit kalmaktadır. Bu nedenle alüminyum tozu özel bir şekilde kaplanmaya başlanmış ve su ile teması önlenmiştir. Ayrıca, karışımın pH'ını ayarlamak için katılan nitrik asit, çevre kayaçlar ile (özellikle kireçtaşı) reaksiyona girerek sorunlar yaratmıştır. Bunun sonucunda, özellikle uzun süre depolanacak olan patlayıcılarda, kimyasal dengeyi sağlayacak olan önlemler alınmıştır[6].

3-Emülsiyon patlayıcılar: Nitrogliserin bazlı dinamitlerin üretimi, depolanması, nakliyesi ve kullanımının çok zor ve tehlikeli olması, ANFO'nun ise suya dayanıklı olmaması, zayıf ve patlama hızının çok düşük olması gibi nedenlerle, çok daha güvenli ve geniş kullanım alanlarına sahip modern patlayıcılara ihtiyaç duyulmuştur. Uzun yıllar süren araştırmalar sonucunda, 1970'li yılların sonunda emülsiyon tipi patlayıcılar<sup>1</sup> keşfedilmiş ve 1984 yılında Nitro-Nobel firması tarafından Emülite piyasaya sürülmüştür[5].

Genelde organik veya mineral yağların çok büyük bir yüzdesi, su içinde çözülmezler. Ancak özel katkı maddeleri aracılığı ile emülsiyon haline getirilebilirler. Yüksek konsantrasyondaki Amonyum Nitrat çözeltisi, yakıt olarak kullanılan yağ (veya mazot) içerisinde ikinci tür emülsiyon haline getirilebilirse, suya dayanıklı bir karışım haline gelir.

Emülsiyon patlayıcılar iki türde oluşur. Birincisi, esas ortamı su oluşturur ve yağ zerrecikleri bu ortam içerisinde bulunur (su içerisinde yağ emülsiyonu). İkinci türde ise esas ortam yağdan oluşur ve su zerrecikleri bu ortam içerisinde bulunur (yağ içerisinde su emülsiyonu). Yoğunlukları 1,25-1,45 kg/dm<sup>3</sup> arasında, patlama hızları 5000-6000 m/sn arasında değişir[5]. Bu iki tür emülsiyonun içerdiği elemanlar ve bunların karışım içerisindeki oranları Çizelge 2.3'de verilmektedir.

---

<sup>1</sup> *Emülsiyon tipi patlayıcı:* Yağ içinde su emülsiyonu veya su içinde yağ emülsiyonu şeklinde oluşturulmuş patlayıcı türü.

**Çizelge 2.3** Su içerisinde yağ emülsiyonu ve yağ içerisinde su emülsiyonu oranları[5].

<b>Elemanlar</b>	<b>Su içerisinde yağ emülsiyonu(%)</b>	<b>Yağ içerisinde su emülsiyonu(%)</b>
Amonyumnitrat	58	51
Kalsiyumnitrat		20
Su	17	15
Sodyumperklorat		5
Sodyumnitrat	15	
Reçine/yağ	6	
Guar		1
Emülsifer	2	
Cam baloncuklar	2	2

Emülsiyon türü patlayıcıların emülit ve emülan olmak üzere iki çeşidi vardır.

*3-a-Emülitte patlayıcı:* Emülsiyon türü patlayıcılardan olan Emülitte, esas itibariyle oksitleyici (amonyum nitrat ve sodyumnitrat), yağ veya fuel-oil, mikrocama baloncuklar, su ve emülsifer karışımından ibarettir. Bu damlacıkları birbirinden ayıran ve özel yağların karışımından oluşan yağ filminin kalınlığı onbinde bir milimetreden azdır. Böylelikle, yakıt ile oksidan arasında çok geniş kontak yüzeyi sağlamış olup, sonuçta çok hızlı ve tam bir yanma elde edilir. Amonyum nitrat damlacıklarını çevreleyen özel yağ karışımlarından oluşan ince zar, aynı zamanda suya karşı bir dayanıklılık sağlar. Bu nedenle Emülitte, sulu deliklerde uzun süre bekletilebilir.

Emülitte'in yüksek ve sabit bir patlama hızı vardır. Bu özellik uzun süre depolanmasıyla değişmez. Deliklere şarj edilen Emülitte patlayıcısı özelliğini kaybetmeden aylarca durabilir, buda üretim planlamasında büyük esneklik sağlar. Emülitte sürtünme, yanma ve diğer mekanik etkilere karşı çok daha duyarsız olduğundan, diğer sivil patlayıcılara göre üretmek ve kullanmak daha güvenlidir. Nakliyesi ve depolanması kolay ve emniyetlidir. Tesiste öncelikle patlayıcı olmayan bir matris elde edilmektedir. Sonra bu karışım, ya tesiste yada pompalama kamyonunda duyarlı hale getirilebilmektedir. Ürün ancak bundan sonra patlayıcı hale gelmektedir. Orta sertlikteki ve sert kayalar için Emülitte ideal bir patlayıcıdır. Emülit, büyük ve küçük çaptaki patlatma deliklerinde dökme olarak kullanıldığı gibi, kartuşlu olarak ta kullanılabilir[5].

3-b-Emülan patlayıcı: Emülan, ANFO ile Emülite'in karıştırılması ile elde edilen bir patlayıcıdır. ANFO'ya Emülite'in katılması daha güçlü bir patlayıcı elde edilmesini sağladığı gibi, yeni karışımın hacim kuvveti ve suya dayanıklılığını da geliştirmiştir. Emülite ve ANFO'nun karışım oranları değişik patlatma şartlarını karşılamak üzere ayarlanabilir. Emülan, değişik kaya tipleri için farklı patlayıcı özelliklerine gereksinilmesi sorununa bir çözümdür. Emülan patlayıcıları, Emülite 1200 ve ANFO'nun değişik oranlarda karıştırılması ile optimum patlatma sonucunu sağlar. Yumuşak ve orta sertlikteki kayalarda en iyi verimi gösterir[5].

### 2.3 Açık Maden İşletmelerinde Kayaç Patlatılabilirliği ve Patlatma Tasarımı

Açık maden işletmelerinde patlatma tasarımı yapılabilmesi için öncelikle kaya yapısının ve kayaç patlatılabilirliğinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Başarılı bir delme ve patlatma için aşağıdaki şartlar sağlanmalıdır[7];

- Patlayıcının kuvveti, patlatılacak olan kayanın mukavemeti ile orantılı olmalıdır.
- Dilim kalınlığı (Ayna-delik uzaklığı) patlayıcının kuvveti ile doğru orantılıdır.
- Standart delme ve delik doldurma düzeninin uygulanması çok ekonomiktir.
- Kayaç parçalanması, yüklemesi ve kaya fırlaması açısından özgül şarjdan fazla patlayıcı kullanılmamalıdır.

#### 2.3.1 Kayaç patlatılabilirliği ve etkileyen faktörler

Kayaç patlatılabilirliği, kayacın patlatmaya mukavemeti olarak tanımlanır. Kayacın durumu ve sedimentasyon kayaç patlatılabilirliğini etkiler. Sağlam ve sert kayaçlarda patlatma çok iyi bir şekilde kontrol edilebilir. Fakat çatlaklı kayaçlarda çok etkisi yaratacak olan patlama gaz basıncı çatlaklardan sızar ve patlayıcının enerjisi çatlaklarda kaybolur bu tip kayaçlarda patlatma kontrolü zayıftır.

Farklı kayaçların özellikleri ve yapısal bağları kayaçların karakteristiğini ve arazide kayaç patlatılabilirliğini belirler. Kayaç kütlelerinin yüzeydeki özellikleri büyük oranda, kayacın yönelimi ve deformasyon ile erozyon sonucu oluşan süreksizlik yüzeylerine bağlıdır. Kayaç patlatılabilirliğini etkileyen faktörler aşağıda sıralanmıştır[7].

1. *Kayaç temas tipleri*
2. *Faylar,*
3. *Yataklanma yüzeyleri ve şistosit,*
4. *Çatlak sistemleri,*



### 5. *Kayaç formasyonunun eğim ve doğrultusu.*

1-Kayaç temas tipleri: Kayaç temas tipleri süreksizlik yüzeylerinin değişik biçimleridir. Temaslar keskin veya belirsiz olabilir. Derinlik kayaçları süreksizlik yüzeyleri içerdiğinde, yüzeyler kademeli olur ve kayacın mukavemetinde herhangi bir düşüş yaratmaz. Çünkü derinlik kayaçları pratikte homojendir. Bununla beraber, açık temaslarda yapı sabit değildir ve temaslar çatlak sistemi ile irtibatlı görünmektedir[7].

2-Faylar: Faylar hareket ve mineralleşmenin olduğu makaslama yüzeyleridir. Fay temasları (kontakt) kil ve mylanit gibi ince boyutlu malzemeleri ihtiva etmekte olup, bu malzemeler makaslama işlemi sonucunda oluşur. Fay yarıkları, matkap ve tijin sıkışmasından dolayı, delme hızını düşürür. Ayrıca zayıf patlama karakterlerinden dolayı, delik modeli buna göre uyarlanmalıdır[7].

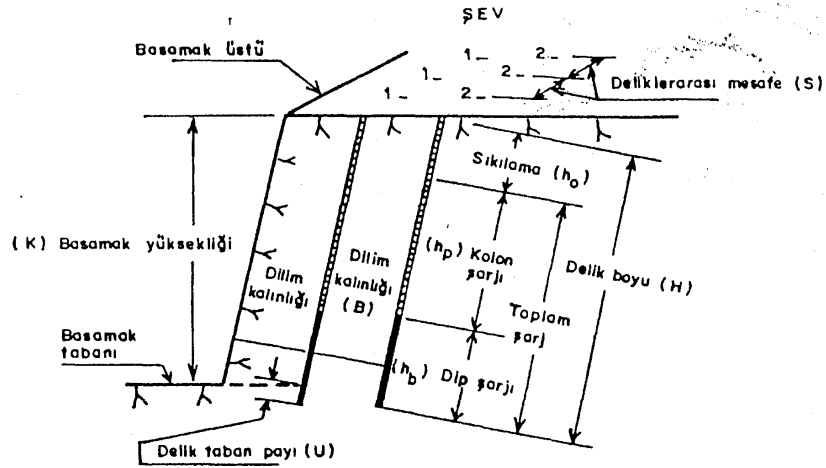
3-Yataklanma yüzeyleri ve şistosit: Yataklanma yüzeyi ve şistosit'i hem lokal hem de büyük ölçekte kayacın mukavemetini düşürür. Ayrıca yataklanma kayaca kırılabilme özelliği katar. Yataklanma yüzeyleri birbirine yakınsa, patlatma açısından son derece yararlıdır. Eğer yataklanma yüzeyi azsa ve aralarındaki mesafe büyükse, patlatma sonucu büyük patarlar oluşur. Eğer yataklanma yoğunsa, hafif ve hızı düşük patlayıcılar başarılı olmaktadır. Yataklanma yüzeyleri birbirinden uzak ise, yüksek hızlı yoğun patlayıcılar kullanılmaktadır[7].

4-Çatlak sistemleri: Çatlak sistemleri genellikle yatay olup, delme ve patlatma üzerinde, yataklanma ve şistositesinin benzeri etki göstermektedir. Çatlak sistemlerinin en önemli özelliği, çekme mukavemetini geçirmemesidir. Bundan dolayı çatlak yüzeyleri gerilim dalgalarını yansıtır ve böylece gerilim dalgalarının kayaç kütle içinde ilerlemesi engellenmiş olur. Açık işletmecilikte; çatlak yüzeyleri dilim kalınlığı ve ara mesafeyi etkiler lağım deliğindeki patlayıcının miktarının artırılmasını gerektirir[7].

5-Kayaç formasyonunun eğim ve doğrultusu: Kayacın eğim ve doğrultusu; deliğin (kuyunun) yataklanma boyunca veya tersten keseceğini belirler. Eğim ve doğrultu esas alınarak patlatma yüzeyinin yönünün değiştirilmesi gerekebilir. Eğer yüzeyin yönü değiştirilemiyorsa, patlayıcı seçiminde bu faktörler dikkate alınır[7].

### 2.3.2 Basamak patlatması tasarım elemanları

Açık maden işletmeleri ile taş ocaklarında işletmecilik basamaklar oluşturularak yapılır. Burada yapılan patlatmalara basamak patlatması denilmektedir. Açık maden işletmesi basamak patlatmalarında kullanılan başlıca terimler Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Basamak patlatması terimleri[1].

Şekil 2.1’de görülen patlatma tasarım elemanları aşağıda sıralanmıştır[1].

1. Basamak yüksekliği,
2. Dilim kalınlığı,
3. Delikler arası mesafe,
4. Delik boyu,
5. Delik çapı,
6. Delik taban payı,
7. Sıkılama,
8. Delik düzeni,
9. Delik yeri,

**1-Basamak yüksekliği:** Basamak yüksekliğinin delme patlatma ve yükleyici makineler açısından önemi vardır. Patlatmaya yönelik delici makinelerin optimum verimle çalıştıkları bir derinlik önerilir. Bu derinlik gereğinden kısa tutulduğunda, delici makineden tam verim alınmamış olur. Aksine, deliğin fazla derin olması halinde, hem delme hızının düşmesi, delgi ve

patlayıcı madde doldurma hatalarının artması, hem de makinelerin zorlanması kaçınılmaz olur[8].

Normal patlatmalarda, kural olarak basamak ayna yüksekliğinin, delik ayna uzaklığının en az 2,5 en fazla 6 katı alınması doğru bir seçim olacaktır. Yükleyici makinelerin de, güvenli ve verimli çalışabilmeleri açısından, karşılarında uygun bir ayna yüksekliği olması gerekir. Tarif olarak bu kepçe erişebilme yüksekliğidir. Genel olarak basamak yüksekliğinin 3 ile 18 metre arasında değiştiğini söylenebilir[9].

2-Dilim kalınlığı: Dilim kalınlığı, delik eksenine ile basamak ayna yüzeyi arasındaki en kısa mesafedir. En uygun dilim kalınlığı, belirli patlatma koşulları altında uygun şekilde parçalanmış ve gevşetilmiş kaya hacminin maksimum olduğu ve uygun koşulları (tırnaksız) sağlayan bir uzaklıktır. Dilim kalınlığı öyle olmalıdır ki, patlatma gazlarının atmosfere yayıldığı ana kadar gazlar bütün enerjilerini kayacın parçalama işinde kullansınlar.

Eğer dilim kalınlığı en uygun dilim kalınlığından küçük seçilirse basınçla oluşan çatlaklar aynaya uzanır ve gazlar bu çatlaklardan havaya kaçarak enerjilerini boşa harcarlar. Kaçan gazların yol açtığı hava şoku ve fırlayan kayalar patlatma enerjisinin randımsız kullanıldığını gösterir.

Dilim kalınlığı büyük olduğunda ise, delikteki patlayıcı madde önündeki yük fazla olmakta, bunun sonucu olarak da yetersiz kırılma, sıkışık yığın ve düşük randıman elde edilmektedir. Ayrıca parçalanmış malzemenin yeteri kadar ileri fırlatılmaması sonucu geriye kalan enerji aşırı yer sarsıntılarını, geri çatlama neden olmaktadır.

Çok sıralı atımlarda ön sıra delikleri dilim kalınlığının çok fazla olmamasına dikkat edilmelidir. Gecikmeli kapsüllerle ikinci sıra delikler ateşleninceye kadar geçen süre içinde, eğer ilk sıra şarjlar kendi dilimini kaya kütesinden koparmayı başaramazsa dilimlerin birbiri peşi sıra koparılması asla başarılabilir ve yer sarsıntıları ve de geri çatlama artar[10].

3-Delikler Arası Mesafe: Delik çapı, derinlik, kaya türü ve delik şarj boyu belirleyici etkenlerdir. Delikler arası mesafe gereğinden fazla olursa, aynı sıradaki deliklerin yardımlaşmasının azalmasına, bu delikler arasında çatlak oluşumuna, öteleme enerjisinin yukarı doğru yönelmesine, sıkılmanın gereğinden önce bozulmasına, iri parça çıkmasına sebep olur. Delikler arası mesafe gereğinden az olursa, patlatma maliyeti gereksiz yere artırılmış olur[11].

4-Delik boyu: Düzgün ve yatay bir basamak taban profili oluşturabilmek için deliklerin taban seviyelerinin aynı kotta olması gerekir. Bunu sağlamak için düzgün basamaklarda eşit boyda, engebeli basamaklarda ise değişik boyutlarda delikler delmek gerekir. Düzgün bir basamakta, eşit boyda olmayan deliklerden kısa olanı ön sırada ise tabanda tırnak kaldığı gibi arka sıralardaki deliklerinde başarısız olumsuz etkiler[8].

5-Delik çapı: Patlatılacak kaya yapılarının içerisine patlayıcı madde yerleştirmenin en verimli yolu, bu kaya yapılarına delik delmektir. Genel kural olarak bilinir ki, patlayıcı, kaya yapısının içerisine ne kadar iyi dağıtılsa, o kadar iyi verim alınır. Diğer bir deyişle küçük delik çapı ve dar geometri her zaman için, büyük delik çapı ve geniş geometriden daha iyi verim ve küçük parça boyutu sağlar. Kolayca anlaşılacağı gibi, artan delik çapı, içine konabilecek patlayıcı miktarını arttıracak, bu ise delik geometrisinin genişlemesine yol açacaktır. Genişleyen geometride, patlayıcı maddenin kaya yapılarını daha geniş açı ile etkilemesine ve elde edilen yığılda, tane boyutunun, jeolojik etkenlere de bağlı olarak artmasına neden olacaktır[9].

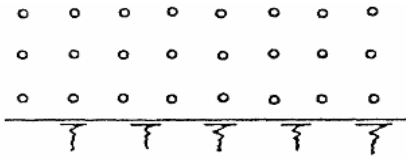
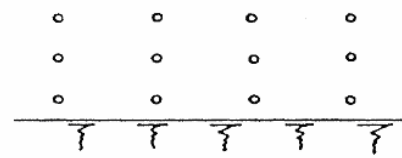
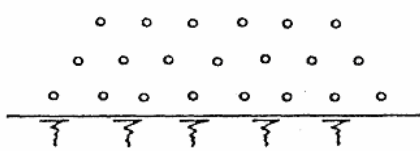
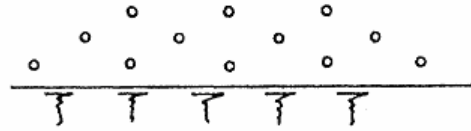
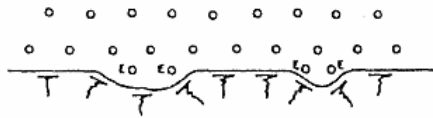
6-Delik taban payı: Yerinde basınç dağılımı ve patlayıcının etkinliği açısından konu incelendiğinde görülür ki, aynaların tabanında kırılması güç bir kısım vardır. Eğer delikler tam basamak yüksekliğinde delinirse, kırılmanın tam 90° olmaması nedeni ile tırnak dediğimiz sert bir kısım kalacaktır. Bu ise yükleyici makineler açısından olsun, kazıcı makineler açısından olsun hiç istenmeyen bir olaydır. Bu nedenle delikler, aynayı tam tabanından kesecek gibi biraz derin delinir. Bu fazlalığa delik taban payı denir[9].

7-Sıkılama: Sıkılama, patlatma sonrası oluşan yüksek basınçlı gazları hapsederek, gazın serbest yüzeye doğru yönlendirilmesini ve malzemenin öne doğru ötelenmesini sağlar. Ayrıca atmosfere gaz kaçışına engel olarak parçalanmayı artırdığı gibi hava şoku (gürültü) ve taş savrulmasını engeller. Sıkılama boyu delik çapına, sıkılama malzemelerine ve kayaca bağlıdır. Yetersiz sıkılama kaya fırlamasına, atmosfere gaz kaçışına, gürültü ve hava şokuna sebep olur. Çok çatlaklı, yumuşak ve düşük enerji yoğunluğu gerektiren kayalarda sıkılama boyu en az yük mesafesi kadar alınmalıdır[9].

8-Delik düzeni: Delik düzeni, basamakta açılan patlayıcı deliklerinin sıralanma şeklidir. Yeryüzü patlatmalarında sık uygulanan başlıca delik düzenleri aşağıda maddeler halinde ve Şekil 2.2’de plan görünümleri verilmiştir[5].

- a. Kare,

- b. Dikdörtgen,
- c. Şeş-beş yada şaşirtmalı düzen,
- d. İsveç,
- e. Yardımcı delik kullanımı.

a-) Kare düzeni  $V / E = 1:1$ b-) Dikdörtgen düzeni  $V / E = 1:2$ c-) Şeş-beş düzeni  $V / E = 1:1,15$ d-) İsveç düzeni  $V / E = 1:4$ 

e-) Fazla dilim kalınlıklarını gidermek için yardımcı delik kullanımı

**Şekil 2.2** Açık ocak patlatmalarında kullanılan çeşitli delik düzenleri[5].

Yapılan araştırmalar göstermiştir ki yukarıda belirtilen delik düzenlen içerisinde en iyi verim şeş-beş düzen ile alınmaktadır[5]. Bu düzen ile patlayıcının kayaya etkisi daha iyi sağlanmakta, kayada patlayıcıdan etkilenmeyen çok az alan kalmaktadır.

*9-Delik yeri:* Deliklerin mühendisçe verilen düzende ve mesafelerde delinmesi önemlidir. Şekil 2.3'de düzgün bir düzende ve eşit uzaklıklarda delinen deliklerde, her deliğin etki alanını gösteren dairelerin nasıl uygun bir biçimde kesiştiklerini ve en az miktarda patlatmadan etkilenmeyen kısım kaldığını görülmektedir[12]. Şekil 2.4'te ise deliklerin tasarlanan yere delinmemesi durumunda etki alanlarının uygunsuz şekilde kesiştikleri görülmektedir. Bu durumda dairelerin fazla çakıştıkları kısımlarda kayanın aşırı kırılması, dairelerin kesişmediği yerlerde ise yetersiz parçalanma olmaktadır. Bu yetersiz parçalanma



başarısı uygulanacak olan patlatma tekniğinin doğru seçimine bağlı olduğu, kadar uygun patlayıcı maddenin, ateşleyicinin ve ateşleme yönteminin seçimiyle de doğrudan ilişkilidir[13].

Kullanılan ateşleme yöntemlerini aşağıdaki gibi iki grupta incelemek mümkündür[10];

1. Elektrikli ateşleme yöntemleri,
2. Elektriksiz ateşleme yöntemleri.

### 2.3.3.1 **Elektriksiz ateşleme yöntemleri**

Ateşleme işleminde elektriğin kullanılmadığı ateşleme yöntemleridir. Dört şekilde uygulanmaktadır. Bunlar, aşağıda maddeler halinde verilmiştir[10].

1. *Emniyetli fitil- adi kapsül,*
2. *İnfilaklı fitil,*
3. *Elektriksiz (nonel) kapsüller,*
4. *Detaline Cord.*

1-Emniyetli Fitil -Adi Kapsül: Eski bir ateşleme metodu olmasına rağmen basit ve ekonomik oluşu nedeni ile günümüzde halen ikincil patlatma metodu kapsamında, taş ve kütük yarma işlemlerinde yaygın bir biçimde uygulanmaktadır. Adi kapsüle<sup>1</sup> bağlanan emniyetli fitil<sup>2</sup> vasıtası ile ateşleme yapılmaktadır. Emniyetli fitil genellikle kibrit ile ateşlenir. Emniyet açısından, uygulama sırasında kullanılan fitil boyunun en az bir metre olmasına dikkat edilmelidir[10].

2-İnfilaklı Fitil: Dünyada çok yaygın olarak kullanılan ateşleme sistemlerinden birisidir. Emniyetli fitilden farklı olarak PETN<sup>3</sup> içerir ve kendisinde kapsülle ateşlenir. Patlatma hızı, yaklaşık 7000 m/s dir. İnfilaklı fitilin özelliği içerdiği PETN miktarına bağlı olarak belirlenmektedir. PETN miktarı metrede 3 ile 150 gr arasında değişebilir. En yaygın olarak kullanılanı; 10 gr/m PETN içeren infilaklı fitil tipidir.

Dip şarj olarak kullanılan, yüksek hassasiyetli patlayıcı herhangi bir kapsülle ihtiyaç duymaksızın patlatabilir. Sürtünmeye ve çarpmaya karşı kapsül kullanımının sakıncalı olduğu

<sup>1</sup> *Adi kapsül:* İçinde çok az miktarda patlayıcı madde bulunur. Görevi içinde bulunduğu patlayıcı maddeyi patlatmaktır.

<sup>2</sup> *Emniyetli fitil:* Pamuk ipliği ile sıkıca örülmüş karabarut dolgusundan oluşmuştur. Yanma hızı diğer fitillere göre çok düşüktür (115 ± 15 saniye/1m)[10].

<sup>3</sup> *PETN:* Penta Etitol Tetra Nitrat

ortamlarda ve uygun olmayan hava koşullarında emniyetle kullanılabilir. Patlama tasarımına göre bazı durumlarda, bir delik içerisinde, muhtelif aralıklarla patlayıcı madde yerleştirmek ve aynı delikte birden fazla patlama yapmak istenilebilir. Bu tür patlamalarda infilaklı fitil ideal seçim olmaktadır. Çünkü böyle bir durumda tek tek kullanılacak birkaç adet kapsül yerine delik boyunca uzanan tek bir infilaklı fitil kordonu ile işlem yapılabilir. Böylece patlama operasyonu hem daha ekonomik hem de daha garantili olarak gerçekleştirilebilir[10].

3-Elektriksiz (Nonel) kapsüller: Elektrikli kapsülün tüm avantajlarına sahip bu tür kapsüller, detanör ve detanöre bağlı plastik tüpten oluşur. Kablo şeklindeki plastik tüp içerisinde bulunan reaktif madde ile iletilen şok vasıtası ile ateşleme gerçekleştirilmektedir. Sürtünme ve ateşten etkilenmeyen bu kapsüller, özel manyeto ile ateşlenmektedir. Elektriksiz kapsüller statik elektrikten de etkilenmezler ve her türlü hava koşullarında kullanılabilirler. Ayrıca bu tür kapsül kullanımı patlama uygulamalarında da kolaylık getirmektedir.

Bir basamak patlamasında elektrikli kapsül kullanıldığında, açılan deliklere gecikme zamanı önceden belirlenen kapsüller yerleştirilip üzerinde patlayıcı madde ile doldurulduktan sonra artık geriye dönüşü yoktur. Patlamanın o gecikme düzeninde yapılması zorunludur. Halbuki elektriksiz kapsülün konulup yüzeyde gecikme elemanı kullanılması ile, gerektiğinde patlatma öncesinde, gecikme zaman aralıklarında değişiklik yapmak mümkün olabilmektedir. Elektriksiz kapsüller de elektrikli kapsüller gibi muhtelif gecikme aralıklarında üretilmekte olup, bu kapsüllerde gecikme, gecikme elemanları ile de verilebilir[10].

4-Detaline Cord: 0,2 gr/m PETN içeren tipik bir infilaklı fitildir. Bu fitil kapsüle duyarlı patlayıcı patlatamamakta bu yüzden üzerinde bulunan özel kapsüller ile patlatmakta olup, fitilin kendisinin içinde yer aldığı patlayıcıya herhangi bir etkisi olmamaktadır. Elektrikli olmayan kapsüllerin delik içinde sadece bir noktadan yemleme olasılığı vermesi uygulamada zaman zaman dezavantajlar yaratmaktadır. İşte böyle durumlarda aynı delikte birden fazla patlatmanın arzu edildiği durumlarda “Detaline Cord” tercih edilmektedir[10].

### **2.3.3.2 Elektrikli ateşleme yöntemleri**

Adi tahrip kapsüllerinin yarattığı zamanlama sorununu ortadan kaldırmak ve deliklerdeki patlayıcıları istenilen zamanda ve milisaniye aralıklarla patlatmak için elektrikli kapsüller kullanıma girmiştir[10]. Ekonomik ve pratik oluşu nedeni ile, halen dünyada en



yaygın olarak kullanılan ateşleme sistemidir. Gecikmesiz elektrikli kapsüller ve gecikmeli elektrikli kapsüller olmak üzere iki türü bulunmaktadır.

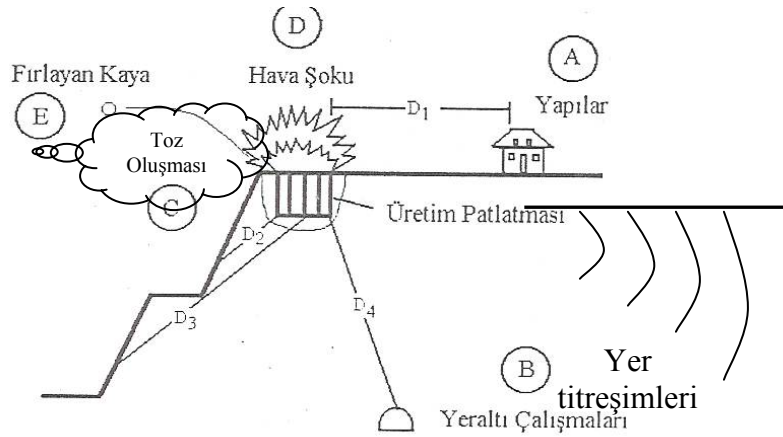
Gecikmesiz elektrikli kapsüller, adi kapsülün geliştirilmiş bir tipidir. Bu kapsülde emniyetli fitilin yerini elektrik kablosu almış olup, detenatör içerisinde bulunan ilk ateşleme eczası, elektrik akımı ile ateşlenmektedir. Gecikmeli elektrikli kapsüllerde ise, ateşleme eczası ile birincil şarj arasında gecikme aralığına göre boyu değişen bir gecikme elemanı vardır. Gecikme elemanları, yanma süreleri belli olan maddelerdir. Boyları hassas olarak kesilir, gecikme aralıkları sağlanır[11].

Elektrikli patlatma kapsüllerini ateşlemek için, kapsüller patlatma devrelerine bağlanmalıdır ve bir güç kaynağı ile akım verilmelidir. 3 tip elektrikli patlatma devresi vardır. Bunlar; seri, karışık (seri-paralel) ve paraleldir. Seri devrelerde güç kaynağından gelen akım sadece tek bir yol izlesin diye tüm kapsüller ardışık olarak bağlanır. Bütün kapsüllerden aynı miktarda akım geçmesi ve bağlantısının basit olması nedeniyle seri bağlama tavsiye edilir. Paralel bağlama, uygulamada en çok kullanılan bağlama şeklidir. Planlanan ateşlemede toplam direncin düşürülmesinde yarar görülüyorsa tercih edilen bağlama şeklidir. Karışık bağlama ise seri ve paralel bağlamanın birlikte kullanılmasıdır[4].

#### **2.4 Açık Maden İşletmelerinde Patlatmanın Çevresel Etkileri**

Patlayıcı maddelerin kaya kütlelerini kırma amacı ile kullanımlarında çevreye verebilecekleri başlıca dört değişik olumsuzluk bulunmaktadır (Şekil 2.5). Bu olumsuzluklar aşağıda sıralanmıştır[11];

1. Taş savrulması,
2. Hava şoku,
3. Toz emisyonu,
4. Yer sarsıntısı.



Şekil 2.5 Patlatmanın çevresel etkileri [14]

#### 2.4.1 Taş savrulması

Patlatma esnasında ses üstü hızda gelişen kimyasal reaksiyonun yarattığı şok enerjisi etkin olur. İkinci olarak ta reaksiyon sonucu oluşan gaz ürünlerin çok büyük basınçlar ile çatlaklara doluşması parçalama işlemini tamamlar ve parçalanmış kütleyle ötelir. Patlayıcı maddenin kaya kütlesi içinde iyi bir şekilde hapsedilmediği durumlarda, reaksiyon sonucu oluşan yüksek basınçlı gaz ürünler bulabildikleri çatlaklardan atmosfere erken deşarj olurlar. Çok yüksek hızla oluşan gaz boşalımı kaya kütlesinde bir kısım yırtılmalara neden olur ve beraberinde kaya parçalarını da hareketlendirir. Böylece savrulan kaya parçaları çevrede tehlike yaratırlar (Şekil 2.6). Taş savrulmasının kontrol edilebilmesi için delme patlatma tasarımı esnasında aşağıdaki hususların göz önüne alınması gerekir[11];

- Patlayıcı madde, uygun çap ve boyutta delikler kullanılarak kaya yapısı içinde olabildiğince homojen dağıtılır ve hapsedilir.
- Patlayıcının büyük miktarlarla odaklaştığı ve parçalanma mekanizmasının kontrol edilemediği “galeri patlatması” uygulanmamalıdır.
- En az, dilim kalınlığı boyutunda sıkılama boyu bırakılır ve uygun bir malzeme kullanılarak sıkılama<sup>1</sup> yapılır.
- Patlatma sonucu oluşan şok dalgasının enerjisinin tamamının kayayı parçalamada kullanılabilmesi için ve çok sıralı atımlarda patlatma sırasının düzenlenerek düzgün ötelemenin oluşabilmesi için gecikmeli kapsüller kullanılır.

<sup>1</sup> Sıkılama: Patlayıcı ile doldurulmuş patlatma deliklerinin üstünün kapatılması.



**Şekil 2.6** Patlatma sonrası kaya fırlaması

#### 2.4.2 Hava şoku (Gürültü/Ses)

Patlatmada önlemler alınmadığı durumlarda kaya çatlaklarından dış atmosfere hızla ve erken boşalan, reaksiyon ürünü gazlar önemli düzeyde gürültü oluştururlar. Önlemlerin alınmadığı koşullarda gürültü düzeyi yüksek boyutlara ulaşarak hava şoku dalgalarına dönüşür. Şok dalgalarının oluşmasında diğer bir etkenin de, hızla harekete geçen kaya kütlesi olduğu savlari bulunmaktadır. Harekete geçen kaya kütlesi bir piston görevi görerek şok dalgaları yaratmaktadır. Şok dalgaları çoğunlukla insanlarda psikolojik rahatsızlıklara neden olmakta, patlatmanın kendilerine zarar vereceği endişesi yaratmaktadır. Atmosferde yol alarak binalara ulaşan şok dalgaları, cam ve gevşek çerçevelerin titreşimine yol açmakta, insanlarda patlatmanın çok şiddetli olduğu kanısını uyandırmaktadır.

Şok dalgalarının insanlar üzerine etkisi, insanların o andaki psikolojik durumlarına göre değişmektedir. Keyifli ve mutlu olduklarında çok şiddetli hava şokunu umursamayan insanlar, keyifsiz ve kızgın oldukları durumlarda en ufak şok dalgalarına aşırı tepki verebilmektedirler. Zaman zaman hava şok dalgaları şiddetli olabilmekte ve yapılarda hasara yol açabilmektedir. En belirgin hasar cam kırılmasıdır. Bununla beraber cam kırılmalarında, camların iyi tespit edilmemiş olması, çerçeve ve kasaların gevşek olması gibi bina sahiplerinin de kusurları bulunmaktadır. Şok dalgalarının daha yüksek şiddetlerinde bacalarda hasar ve duvarlarda sıva çatlakları gözlemlendiği de görülebilmektedir. Hava şokunun önlenmesi için alınması gereken önlemler, taş savrulmasının önlenmesi için alınması gereken önlemlerle aynı olmakla birlikte,

ayrıca, delme öncesi, patlatma aynası incelenerek, gaz deşarjına yol açabilecek bir jeolojik olgu olup olmadığı incelenip, böylesine bir jeolojik olgunun varlığında o bölgeye az patlayıcı madde yerleştirilmesi de gerekmektedir[11].

### 2.4.3 Toz oluşumu

Patlatma ile kayaların kırılması aşamasında, büyük miktarlarda kaya kütlesi harekete geçirilmektedir. Söz konusu hareket sırasında da bir kısım iç öğütme oluşur. Bu nedenler ile belirli bir miktar toz emisyonu kaçınılmazdır (Şekil 2.7). Büyük açık ocak maden işletmelerinde yapılan gözlemlerde, patlatma ile verilen toz emisyonu, diğer toz kaynaklarına kıyasla ihmal edilebilecek kadar az miktarda ve kısa süreli olmaktadır. Toz oluşumu hem işçi sağlığı, hem de makine ve ekipmanların ekonomik ömürleri üzerinde etkili olan ciddi bir sorun olup, hafife alınmamalıdır[11].



**Şekil 2.7** Patlatma sonrası toz oluşması

Basamak patlatması sırasında toz oluşumuna karşı alınabilecek teknik önlem, patlatma öncesinde delikler şarj edilip hazırlandıktan sonra patlama yapılacak kısmın sulanmasıdır (Şekil 2.8). Sulama işlemi patlatma deliklerinin yakınından basınçlı su püskürtmek şeklinde, basınçlı su püskürtme özelliği bulunan tankerlerle, patlatmadan çok kısa bir süre önce yapılmalıdır.



**Şekil 2.8** Toz oluşumunun azaltılması için patlatma öncesi sulama işlemi

#### 2.4.4 Yer sarsıntısı

Patlatmanın çevreye olan en önemli etkisi yer sarsıntısıdır. Çünkü taş savrulması, hava şoku, toz oluşumu patlatma noktasına yakın bölgelerde etkin olabilirken yer sarsıntısı çok uzaklarda da kendini hissettirebilmektedir. Yer sarsıntısı, kaya patlatma sürecinin kaçınılmaz bir sonucudur. Patlatmalı kazı işlemlerinde patlatmanın asıl amacı kayayı kırarak gevşetmek veya ötelemektir. Ancak detonasyon süresince açığa çıkan ve kayaya uygulanan enerjinin en azından bir kısmı, sismik dalga ve hava şoku şeklinde verimsiz artık enerjiye dönüşür[11]. Bu enerji, patlatma kaynağından uzaklaştıkça ihmal edilebilir bir düzeye iner ve tamamen sönünceye kadar uzun bir mesafe kat edebilir. Titreşimler, patlatma kaynağına yakın bölgelerde, mesken, sanayi, tesisleri ve diğer yapılarla birlikte kaya yapılarına hasar verebilir, kaya şev stabilitesi'nde problemlere neden olabilirler[15]. Yer sarsıntılarını depremler ile benzer etkiler yaparlar. Dolayısı ile oluşan yapı hasarları benzerlik gösterirler. Bu nedenle deprem veya patlatma sarsıntısı ile oluşan hasarları, diğer nedenler ile oluşan hasarlardan ayırmak, teknik olarak mümkündür.

Tüm dünyada olduğu gibi, ülkemizde de yapılan gözlemlerde, sarsıntı nedeni ile yapılan şikayetler 3 ana grupta toplanmaktadır;

1. Gerçek hasara bağlı şikayetler,

2. Endişe, korku ve bilgisizlikten kaynaklanan şikayetler,
3. Çıkar sağlamaya yönelik şikayetler.

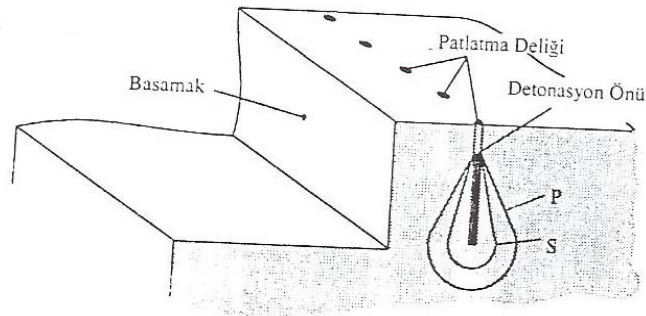
Dünya genelinde yapılan değerlendirmelerde birinci grup şikayetlerin azınlıkta kaldığı ve diğer gruptaki şikayetlerin çoğunlukta olduğu anlaşılmıştır[15].

#### 2.4.4.1 Yer sarsıntısının oluşum mekanizması

Patlatılan patlayıcı maddenin yarattığı sismik dalgalar, kaya ortamında bir noktadan diğer noktaya ulaşan enerji transferini temsil ederler. Oluşan bu sismik dalgalar enerjileri tükeninceye kadar yayılmaya devam ederler ve sonunda sönümlenirler[16].

Bu sönmenin başlıca iki nedeni vardır. Bunlardan biri, kaya yapısının jeolojik ve fiziksel yapısı dolayısıyla gösterdiği direnç, diğeri ise dalganın kaynağından uzaklaştıkça geometrik olarak daha büyük alana yayılmasıdır.

Bir basamak patlatması incelendiğinde, kolon şarjının patlaması sonucu iki tür dalga oluşur(Şekil 2.9). Bunlar P(gövde) dalgaları ve S(yüzey) dalgalarıdır[17]. Gövde dalgaları, kaya yada toprağın içerisinde hareket ederken, yüzey dalgaları yüzey boyunca hareket etmektedir[18].



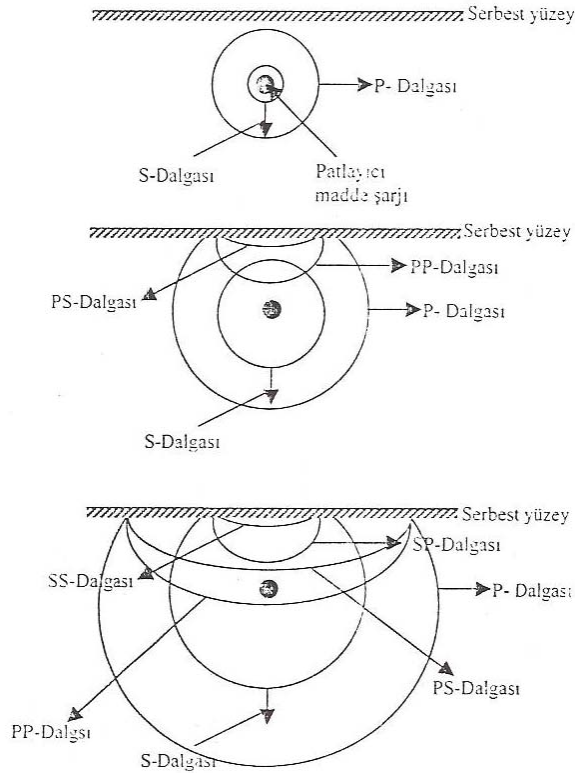
**Şekil 2.9** Basamak patlatmasındaki kolon şarjından dalga yayılmasının şematik gösterimi[17].

Jeolojik bir ortamda bir kaynaktan yayılan dalgalar; yansıma, kırılma, yüzeye ulaşma gibi etkiler sonucu kayıt istasyonuna, gövde dalgaları ve yüzey dalgaları şeklinde ulaşırlar. Dalga hareketi sırasında toplu bir hareket veya madde taşınması oluşmaz. Ortamı oluşturan

parçacıklar, denge pozisyonlarında salınım ve dönme hareketine uğrarlar. Ortam boyunca herhangi bir yer değiştirme söz konusu değildir[16].

Gövde dalgaları; kaynaktan yayılan dalga, hareket yönüne paralel hareketler oluşturan ve kayıt noktasına ilk ulaşan dalgalardır. Bu dalgalar; boyuna (longitudinal) dalga veya primer dalga olarak adlandırılırlar(Şekil.2.10).

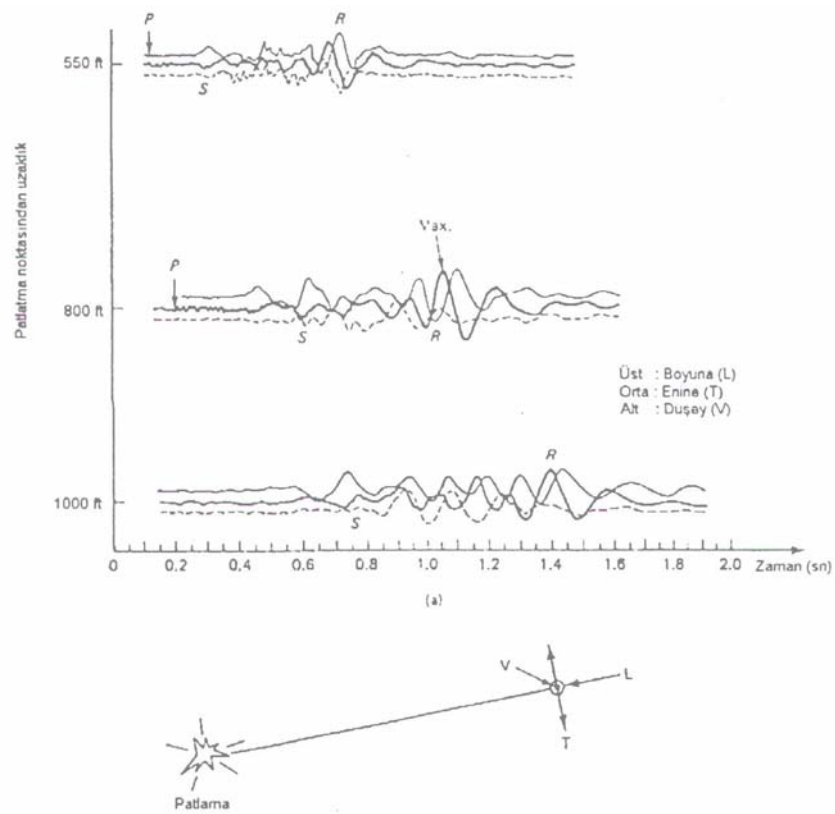
Yüzey dalgaları ise; gövde dalgalarının yüzeye veya herhangi bir süreksizliğe ulaşması ile oluşmaktadır. Yayılma yönüne dik olarak oluşan dalga (shear), enine veya seconder dalga olarak bilinmektedir. Seconder dalgalar sadece katı ortamda yayılmaktadırlar (Şekil.2.10)[16].



**Şekil.2.10** Patlatma sonucu oluşan P ve S dalgaları[19]

Patlayıcılar kısa mesafelerde öncelikli olarak gövde dalgalarını oluşturmaktadır. Gövde dalgaları küresel hareketlerle başka bir kaya tabakası, toprak veya yüzey tabakası ile kesişinceye kadar ilerlemektedir. Bu kesişimde ise makaslama ve yüzey dalgaları oluşmaktadır. Rayleigh yüzey dalgaları daha uzak mesafelerde önemli olmaktadır[20].

Kısa mesafelerde bu üç dalga tipide aynı anda gelmekte ve dalga tanımlaması zorlaşmaktadır. Uzun mesafelerde ise, daha yavaş olan makaslama ve yüzey dalgaları, basınç dalgalarından rahatlıkla ayırt edilebilmektedir(Şekil 2.11). Fakat birçok patlatmanın farklı ilerleme yönlerinde ve milisaniyelerle geciktirilmiş küçük patlatmaların bir serisi şeklinde olması nedeniyle dalgalar üst üste binmekte ve bu ayırım zor olmaktadır[20].

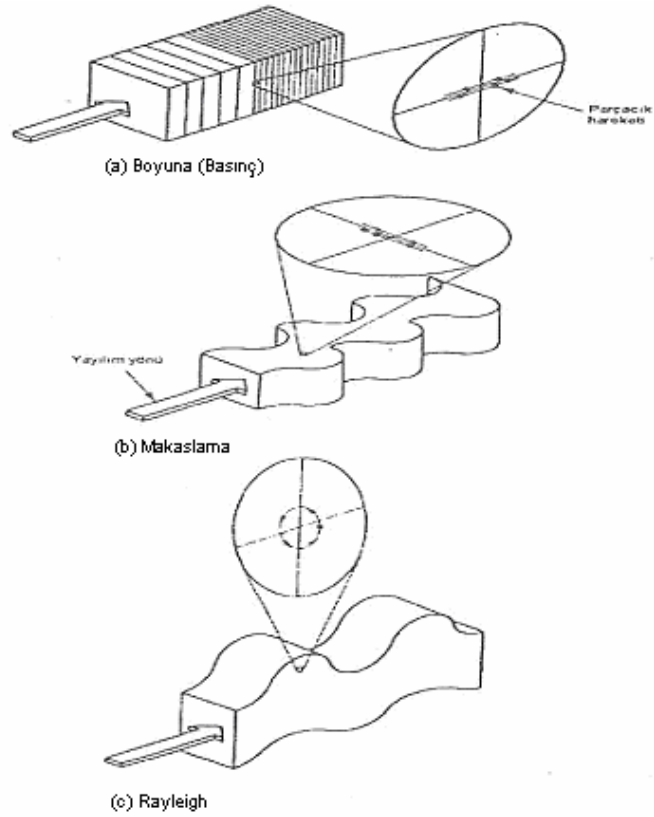


**Şekil 2.11** Uzaklık ve zamana bağlı olarak dalga titreşimlerinin genel formu[21].

Bu üç dalga tipi, içinden geçtikleri kaya parçacıkları yada toprağa göre değişik özellikler göstermektedir. Bunun sonucunda, yüzeydeki yapılar yada kaya her dalga tipine göre farklı bir şekilde deforme olmaktadır. Her asal dalga tipi için değişik parçacık hareketlerinin değişimi Şekil.2.12' de verilmektedir. Boyuna dalgalar, yayıldıkları doğrultuyla aynı yönde parçacık hareketi meydana getirmektedir. Diğer taraftan makaslama dalgaları yayılım yönüne dik yönde hareket oluşturmaktadır. En karmaşık yapıyı gösteren Rayleigh dalgaları ise yayılma yönüne paralel ve düşey yönde hareketler oluşturmaktadır[20]. Rayleigh dalgaları yüzey dalgalarından daha büyük bir hızla yayılırlar. Rayleigh dalgasının genişliği, yüzeyden



derinliğin artması ile, hızla azalır ve bu dalgalar yayılmazlar ve bu dalgaların yapıları değişmez[17]. Hasar tanımında en önemli olan dalga tipi Rayleigh dalgalarıdır.



**Şekil.2.12** Dalga tiplerine bağlı olarak parçacık hareketlerinin değişimi[21].

Bir kaynaktan yayılan sismik dalgaların iki temel olgusu söz konusudur. Bunlardan en çok kullanılanı, dalga yayılımı hızıdır. Ortamın jeolojik ve fiziksel özelliklerine bağlı olarak değişmez bir elemandır. Uzaklıkla değişmemektedir. Kaya yapısı sağlamlaştıkça dalga yayılma hızı yüksek olmakta ve kayaların sınıflandırılmasında kullanılmaktadır. Bunun dışında; dalga yayılım hızı, sarsıntıyla zarar verme olayında önemli bir büyüklük olan dalga boyunu tayin etmede kullanılmaktadır[8]. Çevreye verilecek hasar açısından önem taşıyan husus, sismik dalgaların ulaştıkları belirli bir noktada yarattıkları elastik deformasyonlardır[22].

#### **2.4.4.2 Yer sarsıntısının ölçülmesi**

Patlatma ile oluşan sarsıntılar taşıdıkları enerji düzeyi oranında hasara neden olurlar[15]. Sarsıntıların enerji düzeyleri şu parametreler ile ölçmeye çalışılır[11];

1. Patlatma deplasmanı (mm)
2. Parçacık hızı (mm/sn)
3. Parçacık ivmesi (mm/sn<sup>2</sup>)
4. Dalga frekansı (Hz)

Binalara verilen hasarda, tek başına sarsıntıların taşıdıkları enerji düzeyi sorumlu olmamaktadır. Bu olayda binaların yapım tekniği, boyutları kadar üzerinde oturtuldukları zemin özellikleri de etkin olabilmektedir. Bu nedenler ile sarsıntıya bağlı hasar etütlerinde çok kapsamlı çalışmak gerekmektedir. Hasar etütleri'nde batılı ülkelerde saptanmış limitler bulunmaktadır. Ülkemizde ise maalesef bu konuya yönelik ve saptanmış limitler bulunmamaktadır. Ülkemizdeki mühendisler ancak diğer ülkelerdeki limitleri kullanarak yorum yapmaya çalışmaktadırlar[11].

Ocak patlatmalarından kaynaklanan yersarsıntıları kısa süreli (gelip-geçici) ve düzensiz yer hareketleridir. Zemindeki bir parçacığın hareket hızına parçacık hızı denir. Parçacık hızı sıfırdan başlar, en yüksek değerine ulaşır ve giderek sönümlenir. Yer sarsıntısı incelemelerinde en önemli özelliklerden biri, en yüksek parçacık hızıdır. Çünkü en yüksek hız değeri ne kadar büyük ise binalarda o denli yüksek hızla sallanır. Frekans (f) ise, zemindeki bir parçacığın bir saniyede kaç kez (devir/saniye) sarsıldığını gösterir[9]. Frekans Herz (Hz) birimi ile ifade edilir. Yer sarsıntısının özellikleri ve niteliği, patlatma yerine yakın kesimlerde daha çok patlatma parametreleri, özellikle bir seferde ateşlenen patlayıcı miktarı, ateşleme aralığı (gecikme süresi) ve bir yere kadarda ateşleme yönünden etkilenir[23]. Diğer bir deyişle bu etmenlere bağlı olarak oluşan parçacık hızı önemli bir hasar göstergesidir. Ancak patlatma yerinden uzaklarda, sarsıntının özellikleri ve niteliği daha çok yersarsıntısı dalgasının iletiildiği kaya veya zemin ortamının özelliklerinden etkilenir[23,24]. Yani arazi katsayıları ve yer sarsıntılarının frekansı da hasar oluşumunda veya oluşmamasında önemli ve tayin edici etmenlerdir. A.B.D. Maden Dairesi (USBM) ve Açık Ocak Madencilik Bürosu (OSMR) ölçütleri hem en yüksek parçacık hızını hem de frekansı (f) göz önüne aldıkları için genellikle ülkemizde de bu konuda yapılan çalışmalarda sonuçları yorumlamak için seçilmektedirler.

#### **2.4.4.3 Yer sarsıntısının yol açtığı hasarın tanımı**

Patlatma sonucu oluşan yersarsıntılarının yol açtığı hasarın tanımı konusunda yapılan çalışmalar, aşağıda sıralanmıştır[2,16,20,25].

1. *Rockwell Enerji Formülü, 1934*

2. *Amerikan Madencilik Dairesinin Formülü, 1942*
3. *Crandell'in Enerji Oranı, 1949 (Çizelge 2.4),*
4. *Edward ve Northwood Parçacık hızı yaklaşımı, 1959 (Çizelge 2.5),*
5. *Langefors, Kihlsröm ve Westerberg'in yaklaşımı, 1963 (Çizelge 2.6),*
6. *USBM'nin Yaklaşımı, 1971 (Çizelge 2.7),*
7. *Alman DIN 4150'ye göre parçacık hızı hasar kriteri, (1975) (Çizelge 2.8),*
8. *Carmer, Baruer ve Calder'e göre hasar düzeyleri, 1977 (Çizelge 2.9),*
9. *Sting ve Olafasson'a göre hasar kriteri, 1988 (Çizelge 2.10),*

1. Rockwell'in enerji formülü: 1934 yılında Rockwell patlatma kaynaklı yer sarsıntısının  $f^2 \times A^2$  enerjisi ile yayıldığını işaret etmiştir. Burada  $f$  = frekans,  $A$  = genliktir[2].

2. USBM'nin formülü: 1942 yılında Amerikan Madencilik Dairesi daha geniş bir formülle yer hareketinin genliğini aşağıdaki şekilde ifade etmişlerdir[2].

$$A = \frac{C^{\frac{2}{3}}}{100} (0,07e^{-0,00143d} + 0,001)$$

Burada;  $A$  = Yer hareketinin genliği (inç)

$C$  = Patlayıcı miktarı (libre)

$d$  = Mesafe (metre)

Bu formül genlik için doğru yaklaşımlar vermesiyle birlikte, frekans alanında doğru yaklaşımlar vermemektedir. Bu formülle çalışan araştırmacılar frekansın örtü tabakası veya derinlikle değiştiğini tahmin etmişlerdir. Aynı zamanda kompleks patlatmalarda formül yetersiz kalmıştır. Ayrıca binaların hasar kriteri olarak ivme düşünülmüştür. İvme 0,1 g dan az ise güvenli, 0,1-1,0 gr arasında tehlikeli, 1 gr dan büyük ise zarar verici olarak kabul edilmektedir ( $g$  = yer çekimi ivmesi)[16].

3.Crandell enerji oranı formülü: 1949 yılında Crandell, aşağıdaki enerji oranı kavramını geliştirmiştir. Enerji oranına bağlı hasar kriteri için ise Çizelge 2.4'de gösterilen tabloyu vermiştir[20].

$$ER = a^2 / f^2$$

Burada:

ER = Enerji oranı,  
a = ivme,  
f = frekans.

**Çizelge 2.4** Crandell'in Enerji Oranına bağlı hasar kriteri[20].

<b>Enerji Oranı</b>	<b>Hasar Tanımı</b>
<3,0	Hasar yok
3,0-6,0	Uyarı
>6,0	Hasar var

4.Edwards ve Northwood'un Parçacık Hızı Yaklaşımı: Edwards ve Northwood'un (1959) Kanada'da yaptıkları araştırmalar ışığında parçacık hızına bağlı hasar tahminleri Çizelge 2.5'te verilmiştir[20].

**Çizelge 2.5** Parçacık hızı hasar düzeyleri (Edward ve Northwood, 1959)[20]

<b>Parçacık Hızı (inç/sn)</b>	<b>Parçacık Hızı (mm/sn)</b>	<b>Hasar</b>
<2	≤ 50,8	Hasar yok
2-4	50,8 – 101,6	Uyarı düzeyinde
>4	>101,6	Hasar çok

5.Langefors, Kihlström ve Westerberg'in Yaklaşımı: Langefors ve arkadaşlarının 1963 yılında geliştirdikleri parçacık hızı ve yapı hasar gözlemlerine dayalı hasar kriteri Çizelge 2.6'te verilmiştir[25].

**Çizelge 2.6** Parçacık hızı hasar düzeyleri (Langefors, Kihlstrom, Westerberg, 1963)[25].

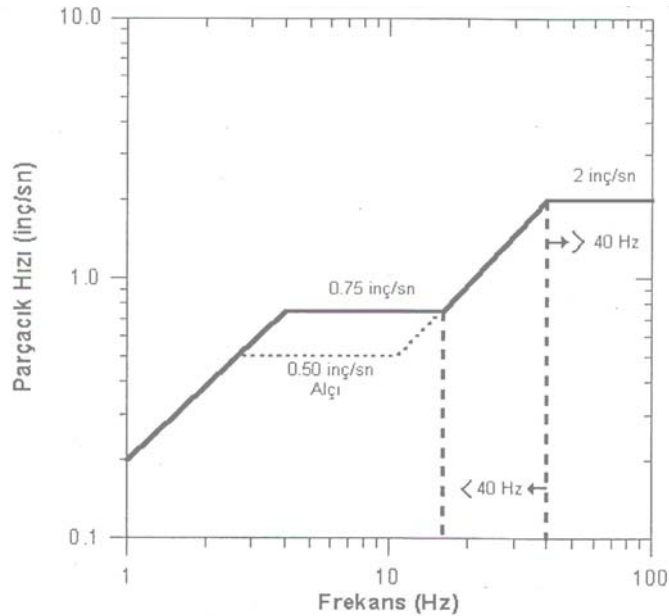
<b>Parçacık Hızı (mm/sn)</b>	<b>Hasar</b>
18	Hasar yok
30	İnce yüzey çatlakları ve sıva dökülmesi
40	Duvarlarda ve sıvalarda çatlaklar
60	Tehlikeli çatlaklar

6.USBM'nin Yaklaşımı: 1971'de Birleşik Devletler Maden Bürosu'nun yaptığı kapsamlı araştırmalar sonucu parçacık hızına bağlı hasar tanımı Çizelge 2.7' da verilmiştir[20].

**Çizelge 2.7** Parçacık hızı hasar düzeyleri (Amerikan Madencilik Dairesi USBM – 1971)[20]

Parçacık Hızı (inç/sn)	Parçacık Hızı (mm/sn)	Hasar
<2	≤ 50,8	Hasar yok
2-4	50,8 – 101,6	Sıva çatlakları
4-7	101,6 – 178	Eşik hasar
>7	> 178	Eşik üstü hasar

Ayrıca USBM tarafından hem yapılarda ölçülmüş titreşim katlamalarını, hem de tahribat özelliklerini kullanan, alternatif olarak tavsiye edilen patlatma seviyesi kriterleri geliştirilmiştir. “Alternatif Kriter Analizi” olarak adlandırılan bu metot, daha düzgün bir kriter setidir(Şekil 2.13). Fakat hem hareketi hem de hızı içine alan daha sıkı bir ölçüme ihtiyaç gösterir. Bu sistem 40 Hz altında en iyi tahribat kriterinin, frekansın bir fonksiyonu olarak maksimum parçacık hızı olduğunu göstermektedir[20].



**Şekil 2.13** USBM'nin alternatif kriter analizi[20]

7.Alman DIN 4150'e Göre Hasar Düzeyleri (1975): Bu yaklaşımda bina türlerine göre müsaade edilen parçacık hızları belirtilmiştir(Çizelge 2.8)[25].

**Çizelge 2.8** Alman DIN 4150'ye göre hasar düzeyleri[25]

Bina Sınıfı	Müsaade edilen maksimum parçacık hızı (mm/sn)	Müsaade edilen parçacık hızı aralığı(mm/sn)
Oturmaya elverişli binalar	8	4,8-8
Ahır binaları	30	8-30
Diğer binalar ve tarihsel anıtlar	4	2,8-4

8.Carment, Baruer ve Calder' e Göre Hasar Düzeyleri (1977): Bu araştırmacılara göre kabul edilen hasar düzeyleri ve bina türleri Çizelge 2.9'de verilmiştir[20].

**Çizelge 2.9** Carment, Baruer ve Calder'e göre hasar düzeyleri[20]

Yapı Türü	Hasar Tanımı	Hasarın Başladığı Parçacık Hızı (mm/sn)
Evler	Sıvada Çatlaklar	50,8
Yeni bir binadaki beton bloklar	Blokta Çatlaklar	203
Muhafaza borulu sondaj delikleri	Yatay bükülmeler	381
Mekanik ekipman, pompalar, kompresörler	Şaft eğilmeleri	1016
Beton temel üzerine inşa edilmiş prefabrik metal binalar	Temel çatlakları, binada bükülme ve çatlaklar	1524

9.Sting ve Olafsson'a Göre Hasar Kriterleri (1988): Bu araştırmacılar partikül hızını, basınç dalgası yayılma hızı ve formasyon cinsine göre binada meydana gelebilecek hasar düzeylerini sınıflandırmışlardır (Çizelge 2.10)[2].

**Çizelge 2.10** Parçacık hızı hasar düzeyleri (Sting, Olofsson, 1988)[2].

<b>Dalga Hızı (m/sn)</b>	<b>1000-1500 (Kum, Kil)</b>	<b>2000-3000 (Yumuşak kireçtaşı)</b>	<b>4500-6000 (Granit, Gnays,Kuvarsit, Kumtaşı)</b>	<b>Hasar</b>
<b>Partikül Hızı (mm/sn)</b>	9	18	35	Görünen bir
	13	25	70	çatlama yok
	18	35	50	İnce Çatlamalar ve Sıva
	30	55	100	
	40	80	150	Düşmesi Önemli
	60	115	225	Çatlaklar Tehlikeli Çatlaklar

#### **2.4.4.4 Yer sarsıntılarını azaltmak için alınabilecek önlemler**

Yer sarsıntısını azaltmak için alınması gerekli önlemler aşağıda sıralanmıştır[11];

1. Basamak patlatmasında uygun gecikme aralıklı ateşleme sistemleri kullanılır.
2. Her gecikme aralığında patlatılacak patlayıcı madde miktarlarına kısıt getirilerek, sarsıntı düzeyi denetlenir.
3. Patlatma noktası ile yapılar arasındaki zemin etüd edilerek, amplifikasyon (genlik artması) ve polarizasyon (yönlendirme) ile sürpriz yapabilecek jeolojik bulguların olup olmadığı araştırılır.
4. Arazi katsayıları tespit edilerek, uygun ölçekli mesafeler tayin edilir.
5. Çevredeki yapılar incelenir ve bu yapılara hasar vermemek için ilk dört maddedeki bulgular kullanılarak uygun patlatma tasarımı yapılır ve önerilir.

#### 2.4.4.5 Yer sarsıntılarının patlatma öncesinde tahmini için yapılmış çalışmalar

Patlatma sonucu oluşacak olan yer titreşimlerinin, patlatma yapılmadan önce tahmin edilebilmesi için pek çok araştırmacı çalışmalar yapmış ve ölçekli mesafeye bağlı çeşitli formüller geliştirilmiştir[14,17,19,20,22,28].

Ölçekli mesafe, kavram olarak yer hareketlerinin değişik uzaklıklardaki patlatma seviyelerinin miktarları ile ilişkilidir. Ölçek uzaklığına bağlı olarak kullanılan birimsiz bir faktördür[14]. Ölçekli mesafe, uzaklık ve sismik dalgaların temelini etkileyen veya hava şoklarındaki enerjiyi yaratan patlayıcı madde miktarı kullanılarak ortaya konulmuş bir kavramdır. Kayada meydana gelen dalga hareketlerini yaratan toplam enerji bir seferde ateşlenen patlayıcı miktarına bağlı olarak değişmektedir. Patlatma kaynağından itibaren oluşan dalgalar ileriye doğru yayılırken, basınç dalgası etkisinde kalan kaya hacmi artmaktadır[27].

Parçacık hızını, ölçekli mesafeye bağlı olarak tahmin etmeyi esas alan yaklaşımlar, yer sarsıntısı tahmin aletlerinin geliştirilmesi ve kullanılması ile ortaya çıkmıştır. Çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen ölçekli mesafe yaklaşımları en genel şekliyle aşağıdaki formüle dayanmaktadır[16].

$$SD = R / W^{1/m} \dots\dots\dots(2.1)$$

Burada;

SD = Ölçekli mesafe,

R = Patlatma noktasından uzaklık (metre),

W = Gecikme aralığı başına kullanılan patlayıcı miktarı (kg),

m = Çoğu araştırmacı tarafından ½ olarak önerilen sabit.

Ölçekli mesafe için;

$$SD = R / W^{0.5} \dots\dots\dots(2.2)$$

şeklindeki ampirik ilişki geniş bir şekilde kabul görmüştür[20]. Ölçekli mesafe için kabul gören diğer bir ampirik ilişki ise;

$$SD = R / W^{0.333} \dots\dots\dots(2.3)$$



şeklindedir[28].

Ölçekli mesafe ve maksimum parçacık hızı arasındaki ampirik ilişki ise pek çok araştırmacı tarafından aşağıdaki şekilde kabul görmüştür.

$$PPV = K_s \times (SD)^{-\beta} \dots\dots\dots(2.4)$$

Burada;

*PPV = Maksimum parçacık hızı (mm/sn),*

*SD = Ölçekli mesafe,*

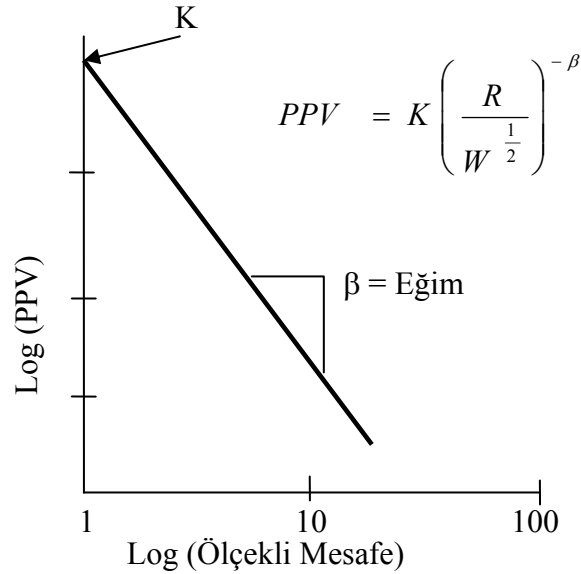
*K<sub>s</sub> = Her bir sahada çalışmalar sonucu, o saha için belirlenmesi gereken geçirgenlik katsayısı,*

*β = Çalışılan sahada jeolojik birimleri dikkate alan ve her saha için yeniden belirlenmesi gereken sabit.*

Çalışılacak sahanın sabitleri olarak da ifade edilen K<sub>s</sub> ve β katsayıları; patlatma çalışmaları sırasında, her bir atım için en fazla patlayıcının kullanıldığı gecikme sırasındaki şarj miktarlarının ve kaynakla kayıt yeri arasındaki uzaklığın sağlıklı bir şekilde belirlenmesi ile, bir dizi atım sonucu (en az 30 atım ölçümü) ölçülecek parçacık hızları ile ölçekli mesafe ilişkisinden ortaya çıkacak üssel fonksiyonun regresyonundan tespit edilmektedir. Bulunan bu değerler, kontrollü patlatma tasarım ve uygulamalarında, titreşim ölçme aletinin olmadığı durumlarda, bazı pratik tabloların hazırlanması suretiyle uygulayıcılara büyük kolaylıklar sağlamaktadır. K<sub>s</sub> ve β katsayılarının bir başka belirlenme yöntemi, maksimum parçacık hızlarının logaritmalarının, ölçekli mesafe logaritmalarına olan fonksiyonel ilişkisinden tespit edilebilir. Bu ilişki aşağıda verildiği gibidir[16].

$$\log PPV = \log K_s - \beta \times \log SD \dots\dots\dots(2.5)$$

burada K<sub>s</sub> = ölçekli mesafenin 1 olduğu andaki eğrinin eksenle kesiştiği noktadır. β ise logaritmik fonksiyonun eğimini ifade eder (Şekil.2.14). Ayrıca bu grafikten bulunan sabitlerin işletmenin ömrü boyunca değişebileceği unutulmamalıdır. Bu nedenle söz konusu büyüklükler, her yıl gözden geçirilmelidir. Bu fonksiyonun grafik gösterimi Şekil.2.14'de gösterilmiştir.



**Şekil.2.14** Ampirik saha faktörlerini gösteren ölçekli mesafe maks. parçacık hızı ilişkisi[16].

Bu yöntemle saha sabitlerini belirleme işlemi oldukça zor ve masraflı bir çalışmayı gerektirir. Çünkü oldukça fazla sayıda veri çiftini, çok hassas bir biçimde elde etmek gerekmektedir[29]. Çeşitli literatürlerde bu veri çiftinin en az 30 tane olmasının yapılacak regresyon analizinin güvenilirliği açısından gerektiği belirtilmektedir.

#### **2.4.4.6 Yer sarsıntılarının patlatma öncesinde mm/sn biriminden tahmini için geliştirilen formüller**

Patlatma kaynaklı yer titreşimlerinin önceden tahmin edilmesi, yer sarsıntılarının önlenmesinde büyük önem taşımaktadır. Yer sarsıntısının önceden tahmin edilmesine yönelik bir çok kişi ve kuruluş çeşitli araştırmalar yapmış ve ölçekli mesafeye bağlı maksimum parçacık hızının tahmininin en iyi olduğu sonucuna varmışlardır[20]. Bu konuda geliştirilmiş pek çok formül vardır literatürde kabul görmüş olan formüller kronolojik olarak aşağıda verilmiştir[30].

Literatürde kabul gören ilk çalışma 1958 yılında Ambreseys ve Hendron tarafından geliştirilmiştir. Ambreseys ve Hendron, küresel simetri için, şarj miktarının küp kökü ile doğrusal bir ilişki olduğunu ileri sürmüşler ve ölçekli mesafe formülünü  $\frac{R}{\sqrt[3]{W}}$  olarak tanımlamışlardır. Patlatma sonucu oluşacak olan titreşim miktarını ise; mm/sn biriminden;

$$PPV = K_s \left( \frac{R}{\sqrt[3]{W}} \right)^\beta \dots\dots\dots(2.7)$$

şeklinde tanımlamışlardır.

Patlatma kaynaklı yer titreşimlerinin tahmini için yapılan ikinci çalışma, 1971 yılında Nicholls, Johnson ve Duvall tarafından yapılmıştır. Bu araştırmacılar, patlatmanın sismik geometriye sahip olduğunu ve patlayıcı miktarının karekökü ile doğrusal ilişkisi bulunduğunu ileri sürmüşler ve ölçekli mesafe formülünü  $\frac{R}{\sqrt{W}}$  olarak tanımlamışlardır. Patlatma sonucu oluşacak olan titreşim miktarını ise; mm/sn biriminden;

$$PPV = K_s \left( \frac{R}{\sqrt{W}} \right)^\beta \dots\dots\dots(2.8)$$

şeklinde tanımlamışlardır.

Patlatmanın kaynaklı yer titreşimlerin tahmini için yapılan üçüncü çalışma, 1973 yılında, Langefors ve Kihlstrom tarafından yapılmıştır. Langefors ve Kihlstrom ölçekli mesafe formülünü  $\left( \sqrt{\frac{W}{R^2}} \right)$  şeklinde tanımlamışlar ve patlatma sonucu oluşacak olan titreşim miktarını mm/sn biriminden;

$$PPV = K_s \left( \sqrt{\frac{W}{R^2}} \right)^\beta \dots\dots\dots(2.9)$$

şeklinde tanımlamışlardır.

Patlatmanın kaynaklı yer titreşimlerin tahmini için yapılan dördüncü çalışma gene 1973 yılında, Hindistan standartları enstitüsü tarafından yapılmış ve sonuçları 1973 yılında 6922 nolu enstitü bülteninde yayınlanmıştır. Burada, ölçekli mesafe formülü  $\left( \frac{W^{\frac{2}{3}}}{R} \right)$  şeklinde tanımlanmış ve patlatma sonucu oluşacak olan titreşim miktarını mm/sn biriminden;

$$PPV=K_s \left( \frac{W^{\frac{2}{3}}}{R} \right)^\beta \dots\dots\dots(2.10)$$

şeklinde tanımlamıştır.

Patlatmanın kaynaklı yer titreşimlerin tahmini için geliştirilen beşinci formül, 1983 yılında, Brich ve Daemen tarafından yapılmıştır. Brich ve Daemen ölçekli mesafe formülünü kullanmayarak, partikül simetrisi yerine genel bir eşitlik kullanmışlar ve patlatma sonucu oluşacak olan titreşim miktarını mm/sn biriminden;

$$PPV=K.R^{-\alpha} .W^\beta \dots\dots\dots(2.11)$$

şeklinde tanımlamıştır.

Grash ve Daemen, 1983 yılında, dalga yayılımı sırasında, azalan enerjiden dolayı sayısız elastik olmayan davranış ortaya çıktığını, elastik olmayan davranışın etkisine, geometrik dalga yayılımındaki yer değiştirmenin toplam azalmasının neden olduğu gibi, başka bir çok nedeninin de olduğunu bulmuşlar ve bu nedenlerin başlıcalarını aşağıdaki gibi sıralamışlardır[2].

- Serbestlik içeren akışkan ortam nedeniyle azalma,
- Sıkıştırılmış gaz gibi parçacık doyması etkisi,
- Çatlaklar arasında etkileşimin artması,
- Katlar arası farklardan dolayı enerji absorbesi,
- Jeolojik yapı, jeolojik süreksizlikler, büyük düzensizlikler, ince tabakalarda yansımadan dolayı ayrılma.

Daha sonra, ölçekli mesafe formülünü tekrar formülize etmişler ve yukarıda sıralanan faktörleri de göz önünde bulunduran inelastik seyrelme faktörü  $e^{-\alpha R}$  'yi, Nicholls, Johnson ve Duvall tarafından 1971 de geliştirilen formüle katmışlardır.

Sonuç olarak titreşim miktarını mm/sn biriminden;

$$PPV=K_s \left( \frac{R}{\sqrt{W}} \right)^{-\beta} e^{\alpha R} \dots\dots\dots(2.12)$$

şeklinde tanımlamışlardır. Bu formül literatürde kabul gören altıncı formüldür.

Patlatmanın kaynaklı yer titreşimlerin tahmini için yapılan yedinci çalışma da, gene 1983 yılında, Grash ve Daemen tarafından yapılmıştır. Grash ve Daemen 1968 yılında Ambreseys ve Hendron tarafından geliştirilen formüle inelastik seyrelme  $e^{-\alpha R}$  yi eklemiştir.

Sonuç olarak titreşim miktarını mm/sn biriminden;

$$PPV = K_s \left( \frac{R}{\sqrt[3]{W}} \right)^{-\beta} e^{\alpha R} \dots\dots\dots (2.13)$$

şeklinde tanımlamışlardır.

Sekizinci çalışma, Gupta ve Arkadaşları tarafından 1987 yılında yapılmıştır. Gupta ve Arkadaşları Langefors ve Kihlström tarafından 1973 yılında geliştirilmiş olan formüle inelastik seyrelme faktörünü eklemişler ve aşağıdaki bağıntıyı elde etmişlerdir.

$$PPV = K_s \left( \sqrt{\frac{W}{R^2}} \right)^{-\beta} e^{\alpha R} \dots\dots\dots (2.14)$$

Dokuzuncu çalışmada, gene Gupta ve Arkadaşları tarafından 1987 yılında yapılmıştır. Gupta ve Arkadaşları bu çalışmalarında, Hindistan standartları enstitüsü tarafından 1973 yılında geliştirilen formüle inelastik seyrelme faktörünü eklemiş ve aşağıdaki bağıntıyı elde etmişlerdir.

$$PPV = K \left( \frac{W^{\frac{2}{3}}}{R} \right)^{-\beta} e^{\alpha R} \dots\dots\dots (2.15)$$

Onuncu çalışmada, gene Gupta ve Arkadaşları tarafından 1988 yılında yapılmıştır. Gupta ve Arkadaşları bu çalışmalarında, Nichols Johnson ve Duvall tarafından 1971 de geliştirilen formüle inelastik sönme faktörünü eklemiş ve aşağıdaki bağıntıyı elde etmişlerdir;

$$PPV = K_s \left( \frac{R}{\sqrt{W}} \right)^{-\beta} e^{\alpha \frac{R}{W}} \dots\dots\dots (2.16)$$

Onbirinci denklem, Hindistan madencilik dairesi tarafından geliştirilmiştir. Buradaki araştırmacılar yer sarsıntısındaki genlik azalmasını sadece jeolojik nedenlere bağlamışlardır ve bu doğrultuda parçacık hızı tahmin formülünü aşağıdaki şekilde ifade etmişlerdir;

$$PPV = N + K_s \left( \frac{R}{\sqrt{W}} \right)^{-1} \dots\dots\dots(2.17)$$

burada, N = kayanın yapısı ve jeolojik süreksizlikler ile ilişkisi olan deneysel bir sabittir.

Onikinci denklem, Bilgin ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir. Bilgin ve arkadaşları TKİ Çan Linyitleri İşletmesinde patlatmaların yol açtığı çevre sorunlarının giderilmesi amacı ile yaptıkları çalışmada, maksimum parçacık hızının dilim kalınlığı ile değişip değişmediğini araştırmışlar ve parçacık hızı tahminine dilim kalınlığı parametresini de ekleyerek aşağıdaki şekilde ifade etmişlerdir;

$$PPV = K_s \left( \frac{R}{\sqrt{W}} \right)^{\alpha} D^{\beta} \dots\dots\dots(2.18)$$

burada; D = Dilim kalınlığıdır (metre).

#### **2.4.4.7 Yer sarsıntılarının pratik tahmini ve bilgisayar desteği ile tahmininin gerekliliği**

Bir önceki bölümde kronolojik sırada verildiği gibi, literatürde kabul gören çeşitli yaklaşımlar bulunmasına rağmen, günümüzde patlatma öncesinde titreşimlerin tahmin edilmesi kolay bir işlem değildir. Bunun nedeni belirlenmesi gereken  $\alpha, \beta, K_s, N$  saha sabitlerinin tespitinin güç olması ve bir dizi işlem gerektirmesidir.

Daha önceki bölümlerde belirtildiği gibi, saha sabitlerinin belirlenmesi için üç yöntem vardır. Birinci yöntem olarak; daha önceki yapılmış patlatma ölçüm sonuçlarındaki, ölçekli mesafe ve titreşim miktarı (PPV) arasındaki logaritmik grafikten yararlanılabilir. İkinci yöntem; sahada pek çok jeolojik araştırma ve laboratuvar deneyleri yapılarak saha sabitleri tespit edilmeye çalışılabilir. Üçüncü yöntem olarak ise, sahada yapılmış daha önceki patlatma sonuçlarından ve geliştirilmiş olan formüllerden yararlanılarak regresyon analizleri ile saha sabitleri tespit edilmeye çalışılır. Bu üç yöntemde de saha sabitlerinin tespit edilmesi ve titreşim tahmininde bulunulması zor ve zaman alıcı işlemler gerektirmektedir.

Günümüzde saha sabitlerinin tespitindeki güçlükler nedeni ile, patlatma öncesinde titreşim tahmini her zaman yapılamamakta ve bu nedenle, patlatma kaynaklı oluşan titreşimler pek çok şikayetlere neden olmaktadır. Kolay ve hızlı bir şekilde her maden işletmecisi tarafından patlatma öncesinde patlatma sonuçlarının tahmin edilmesi ve buna göre önlemler alınarak çevresel şikayetlerin ortadan kaldırılması gerekmektedir.

Titreşim tahmin formüllerindeki saha sabitlerinin tespit edilmesinin en güvenilir ve kolay yolu, yukarıda bahsedilen üçüncü yöntemdir. Yani tahmin formüllerine, daha önceki titreşim ölçüm sonuçları eşitlenerek diğer verilerle birlikte, regresyon analizleri yapılmasıdır. Regresyon analizi yapılabilmesi için ise, öncelikle formüllerin regresyon modellerine uyarlanması gerekmektedir. Çünkü formüller regresyon analizlerine uygun durumda değildir. Formüllerin öncelikle, çoklu regresyon modeline uygun hale getirilmesi için bazı parametrelerin birleştirilmesi daha sonra, logaritmik dönüşümlerle lineer hale dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu işlemlerin her ölçüm sahası için ayrı ayrı, klasik hesaplarla yapılması, regresyon modellerinin el işlemleri ile çözülmesindeki zorluklar nedeni ile zaman alıcı ve zordur. Regresyon analizleri bazı istatistik paket programları ile de yapılabilmektedir. Ancak bu paket programlardaki regresyon modelleri tahmin formüllerine uygun değildir. Regresyon analizlerinin paket programlarla yapılabilmesi için tahmin formüllerinin bir dizi işlemle geçirilerek regresyon modellerine uygun hale getirilmesi gerekmektedir. Bu işlemlerin her saha için yapılması pratik değildir. Ayrıca saha sabitleri hesaplandıktan sonrada bir dizi işlem sonucunda, elde edilen saha sabitlerinin tekrardan formüllere yerleştirilerek tahmin yapılması da zaman alıcı bir işlemdir.

Tüm bu nedenlerden dolayı, hem saha sabitlerini regresyon analizleri ile tespit eden, hem titreşim tahmini yapılabilen, hem de oluşması istenen titreşim miktarına göre kullanılması gereken maksimum patlayıcı miktarını mesafeye göre hesaplayan bir paket program kullanılması gerekmektedir.

#### **2.4.4.8 Yer sarsıntılarının bilgisayar programı ile tahmini için yapılan çalışmalar**

Patlatma sonucu oluşacak olan yer titreşimlerinin patlatma öncesinde tahmini günümüze kadar yeterince önemsenmemiş olduğundan dolayı, madencilik için geliştirilmiş pek çok paket programda titreşim tahmini yer almamıştır. Hatta sırf delme ve patlatma için geliştirilmiş pek çok programlarda dahi titreşim tahmini hesapları yer almamıştır. Titreşim tahmini için, Excel 7.0 da geliştirilen program bu amaca yönelik olmasına rağmen pratik olarak kullanımı ve uygulanması pek yaygınlaşmamıştır[20].

Bu doğrultuda, yapılan bu çalışmada, patlatma kaynaklı yer titreşimlerinin patlatma öncesinde kolay bir şekilde tahmin edilebilmesi için Borland C++ Builder 5.0 programında bir paket program hazırlanmıştır. Geliştirilen bu programa, daha önce aynı sahada yapılmış olan patlatma ölçüm sonuçları, patlatma ve ölçüm noktası arasındaki mesafe, dilim kalınlığı, gecikme başına kullanılan maksimum patlayıcı miktarı verileri ile birlikte girilerek saha sabitleri tespit edilmekte ve bu saha sabitlerinden yararlanarak, patlatma sonucunda oluşan titreşim miktarı, yada oluşması istenen titreşim miktarına göre mesafeye bağlı olarak, gecikme başına kullanılması gereken patlayıcı madde miktarı, literatürde kabul görmüş formüllere göre kolay ve hızlı bir şekilde tahmin edilmektedir.



### 3. YAPILAN ÇALIŞMALAR

#### 3.1 Genel

Delme patlatma işlemlerinin uygulanmasında, üzerinde durulması gereken en önemli faktör çevreye verilen olumsuz etkilerdir. Bunun nedeni, patlatma sonucunda kaya fırlaması, hava şoku, toz oluşması, yer sarsıntısı gibi olumsuz etkiler fazla miktarda oluşuyorsa, bu hem çevresel rahatsızlıklara neden olmakta, hem de yapılan patlatmanın verimsizliğinin ve gereğinden fazla maliyetle yapıldığının göstergesidir. Bilindiği gibi patlatma maliyetleri toplam işletme giderlerinin %30' una yaklaşan değerlere ulaşabilmektedir[16]. Çevresel rahatsızlıkların ve patlatma maliyetlerinin en aza indirilebilmesi için, patlatmanın kontrollü olarak yapılması gerekmektedir. Patlatmanın kontrollü olarak yapılması hem işletmeci, hem de çevre açısından önemlidir.

Patlatmanın kontrollü olarak yapılabilmesi için ise, en önemli hususlardan bir tanesi patlatma sonucu oluşacak olan çevresel etkilerin tahmin edilebilmesidir. Bu doğrultuda bu çalışmada, patlatma sonucu oluşacak yer titreşimlerinin patlatma öncesinde, kolay ve hızlı bir şekilde tahmin edilebilmesi için, bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Programın geliştirilebilmesi için, öncelikle konu hakkında daha önce yapılmış olan çalışmalar ve geliştirilen programlar incelenmiş ve daha önce yapılan çalışmalarda geliştirilen programların eksiklikleri giderilmeye çalışılmıştır.

##### 3.1.1 Yapılan çalışmalar bölümünün içeriği

Yapılan çalışmalar bölümünde, genel giriş bölümünden sonra, ilk olarak tahmin formüllerinin kullanılabilmesi için saha sabitlerinin tespitinde regresyon ve korelasyon analizlerinin kullanılmasının gerekliliği vurgulanmıştır. İkinci aşamada, tahmin formüllerinin regresyon ve korelasyon analizleri ile çözümü, üçüncü aşamada, kullanılan regresyon ve korelasyon modelleri ve çözümleri, dördüncü aşamada, tahmin formüllerinin regresyon denklemlerine uyarlanması, beşinci aşamada, tahmin formüllerinin regresyon ve korelasyon analizleri ile çözümü anlatılmıştır. Altıncı aşamada patlatma sonucu oluşacak yer titreşimlerinin tahminini yapması ve gecikme başına kullanılması gerekli maksimum patlayıcı madde miktarı hesabını yapması için geliştirilen bilgisayar programı ve son olarak çalışmanın sonuçları ve öneriler anlatılmıştır.

### 3.1.2 Tahmin formüllerinin kullanılması ve regresyon analizlerinin gerekliliğinin nedeni

Daha önceki bölümlerde de belirtildiği gibi, patlatma öncesinde patlatma sonucu oluşacak olan yer titreşimlerinin tahmin edilebilmesi için literatürde kabul gören, bazı tahmin formülleri geliştirilmiştir. Ancak, pratik ocak koşullarında bu formüllerin uygulanabilmesi ve patlatma sonucu oluşacak olan yer sarsıntılarının tahmin edilebilmesi kolay değildir. Bunun nedeni formüllerde yer alan ve her saha için farklı değerleri olan, saha sabitlerinin tespit edilmesindeki güçlüklerdir. Saha sabitlerinin belirlenmesi için daha önceki bölümlerde bahsedilen bazı yöntemler olmasına karşın, en sağlıklı sonuç veren ve bilgisayar programına en kolay aktarılabilir olan yöntem, regresyon analizleri ile saha sabitlerinin tespit edilmesi ve korelasyon analizleri ile ise, tahminin güvenilirlik derecesinin hesaplanmasıdır.

Bu nedenle, bu çalışmada, geliştirilen bilgisayar programında, titreşim tahmini yapabilmek için gerekli olan saha sabitlerinin tespitinde, regresyon analizleri kullanılacaktır. Yani regresyon analizleri ile saha sabitleri tespit edilecek, korelasyon analizleri ile ise, tahminin doğruluk derecesi hesaplanacaktır.

## 3.2 Tahmin Formüllerinin Regresyon ve Korelasyon Analizleriyle Çözümü

Bu çalışmada, patlatma sonucu oluşacak olan yer titreşimlerinin PPV (mm/sn) biriminden bilgisayar programı ile tahmin edilebilmesi için, geliştirilmiş olan formüllerde kullanılan saha sabitlerinin tespitinde regresyon analizleri kullanılmıştır. Tespit edilen saha sabitlerinin doğruluk oranı ise korelasyon analizleri ile belirlenmiştir. Geliştirilen bilgisayar programında kullanılan regresyon modelleri; “bir bağımlı ve bir bağımsız değişkenden oluşan regresyon modeli” ve “bir bağımlı ve iki bağımsız değişkenden oluşan regresyon modelleri” dir. Kullanılan regresyon ve korelasyon modelleri ve çözümleri aşağıda anlatılmıştır.

### 3.2.1 Çalışmada kullanılan regresyon modelleri ve çözümleri

Bölüm 2.4.4.6’ da verilen, literatürde kabul görmüş tahmin formüllerinin 5 tanesi, iki bilinmeyenli denklem olduğu için, “bir bağımlı ve bir bağımsız değişkenden oluşan regresyon modeli” ne, 7 tanesi ise; üç bilinmeyenli denklem olduğu için, “bir bağımlı ve iki bağımsız değişkenden oluşan regresyon modeli” ne uygundur. Bu regresyon modelleri aşağıda anlatılmıştır.

1-Bir bağımlı, bir bağımsız değişkeni olan regresyon modeli ve çözümü:

Bir bağımsız ve bir bağımlı değişkeni olan regresyon denklemi aşağıdaki gibidir [32];

$$Y = a + b X \dots \dots \dots (3.1)$$

burada;

$$\begin{aligned} Y &= \text{bağımlı değişken,} \\ X &= \text{bağımsız değişken,} \\ b, a &= \text{sabit sayı.} \end{aligned}$$

a: X'in değeri sıfır olduğunda Y'nin aldığı değer olup,

$$a = \bar{Y} - b \bar{X} \dots \dots \dots (3.2)$$

formülüyle hesaplanır.

Burada;

$$\bar{Y} = Y \text{ nin ortalama değeridir.}$$

$$\bar{X} = X \text{ in ortalama değeri,}$$

$b =$  doğrunun eğimi olup, X'deki bir birimlik değişiminin Y'de yaptığı değişikliği göstermekte olup,

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i - n \bar{X} \bar{Y}}{\sum_{i=1}^n X_i^2 - n \bar{X}^2} \dots \dots \dots (3.3)$$

formülüyle hesaplanır.

Burada;

$$n = \text{örnek sayısı,}$$

$$\sum_{i=1}^n X_i Y_i = 1 \text{ den } n \text{ 'e kadar olan } X \text{ ve } Y \text{ değerlerinin çarpımının toplamıdır.}$$

$$\sum_{i=1}^n X_i^2 = 1 \text{ den } n\text{'e kadar olan } X \text{ değerlerinin karelerinin toplamıdır.}$$

2-Bir bağımlı ve iki bağımsız değişkeni olan regresyon modeli ve cözümü (Çoklu regresyon): Doğrusal regresyonda, biri bağımlı, biri bağımsız olmak üzere iki değişken arasındaki ilişki incelenirken; birden fazla bağımsız değişkenin etkilediği bağımlı değişken denklemleri için çoklu regresyon analizi uygulanmaktadır. Çoklu regresyon analizinin uygulanabilmesi için, bağımlı değişken ile bağımsız değişkenlerin her biri arasında da doğrusal regresyon olması gerekir. Eğer, bağımsız değişkenlerden her hangi biri ile bağımlı değişken arasındaki doğrusal ilişki yoksa, çoklu regresyon analizi ile elde edilecek regresyon eşitliğinin güvenilirliği kalmaz[32].

İki adet bağımsız değişken olduğunda çoklu regresyon modeli;

$$Y = a + b X_1 + c X_2 \dots \dots \dots (3.4)$$

şeklinde yazılabilir[32].

Burada;

$$\begin{aligned} Y &= \text{Bağımlı değişken,} \\ X_1, X_2 &= \text{bağımsız değişkenler.} \\ a, b, c &= \text{sabit sayılardır.} \end{aligned}$$

Böyle bir regresyon modelinin normal denklemleri;

$$\sum_{i=1}^n Y_i = n.a + b \sum_{i=1}^n X_{1i} + c \sum_{i=1}^n X_{2i} \dots \dots \dots (3.5)$$

$$\sum_{i=1}^n Y_i X_{1i} = a \sum_{i=1}^n X_{1i} + b \sum_{i=1}^n X_{1i}^2 + c \sum_{i=1}^n X_{1i} X_{2i} \dots \dots \dots (3.6)$$

$$\sum_{i=1}^n Y_i X_{2i} = a \sum_{i=1}^n X_{2i} + b \sum_{i=1}^n X_{1i} X_{2i} + c \sum_{i=1}^n X_{2i}^2 \dots \dots \dots (3.7)$$

olmaktadır. Bu normal denklemler yardımıyla regresyon parametreleri hesaplanması matrisler yöntemiyle yapılabilir.

Bir doğrusal matris sisteminin katsayılar matrisine A, sabitler vektörüne B ve bilinmeyenler vektörüne de P denilerek;

$$A.P=B \dots \dots \dots (3.8)$$

Şeklinde denklem sisteminin matrislerle ifadesi sağlanmış olur. Buradaki A, B ve P matrislerinin ayrı ayrı yazılımı aşağıdaki gibidir.

$$\Delta = \begin{vmatrix} n & \sum_{i=1}^n X_{1i} & \sum_{i=1}^n X_{2i} \\ \sum_{i=1}^n X_{1i} & \sum_{i=1}^n X_{1i}^2 & \sum_{i=1}^n X_{1i}X_{2i} \\ \sum_{i=1}^n X_{2i} & \sum_{i=1}^n X_{1i}X_{2i} & \sum_{i=1}^n X_{2i}^2 \end{vmatrix}$$

$$B = \begin{vmatrix} \sum_{i=1}^n Y_i \\ \sum_{i=1}^n Y_i X_{1i} \\ \sum_{i=1}^n Y_i X_{2i} \end{vmatrix}$$

$$P = \begin{vmatrix} a \\ b \\ c \end{vmatrix}$$

Denklem sisteminin çözümünde Cramer kuralı, Ters Matris ve Gauss Eleme yöntemleri kullanılabilir[32].

Bu çalışmada, çözülmesi gereken çoklu regresyon denklemleri, bilgisayar modellemesi en kolay yöntem olduğu için, Cramer kuralı ile “iki adet bağımsız değişkenli çoklu regresyon modeli” yöntemi uygulanarak çözülmüştür. Bu yönteme göre öncelikle aşağıdaki gibi matrislerden faydalanarak  $\Delta$ ,  $\Delta_1$ ,  $\Delta_2$ ,  $\Delta_3$  hesaplanmakta ve daha sonra bu matrislerin sonuçlarından faydalanarak regresyon denklemine ait a,b,c katsayıları hesaplanmaktadır.  $\Delta$ ,  $\Delta_1$ ,  $\Delta_2$ ,  $\Delta_3$  matrisleri aşağıdaki gibi oluşturulur.

$$\Delta = \begin{vmatrix} n & \sum_{i=1}^n X_{1i} & \sum_{i=1}^n X_{2i} \\ \sum_{i=1}^n X_{1i} & \sum_{i=1}^n X_{1i}^2 & \sum_{i=1}^n X_{1i}X_{2i} \\ \sum_{i=1}^n X_{2i} & \sum_{i=1}^n X_{1i}X_{2i} & \sum_{i=1}^n X_{2i}^2 \end{vmatrix}$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} \sum_{i=1}^n Y_i & \sum_{i=1}^n X_{1i} & \sum_{i=1}^n X_{2i} \\ \sum_{i=1}^n Y_i X_{1i} & \sum_{i=1}^n X_{1i}^2 & \sum_{i=1}^n X_{1i}X_{2i} \\ \sum_{i=1}^n Y_i X_{2i} & \sum_{i=1}^n X_{1i}X_{2i} & \sum_{i=1}^n X_{2i}^2 \end{vmatrix}$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} \sum_{i=1}^n Y_i & n & \sum_{i=1}^n X_{2i} \\ \sum_{i=1}^n Y_i X_{1i} & \sum_{i=1}^n X_{1i} & \sum_{i=1}^n X_{1i}X_{2i} \\ \sum_{i=1}^n Y_i X_{2i} & \sum_{i=1}^n X_{2i} & \sum_{i=1}^n X_{2i}^2 \end{vmatrix}$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} \sum_{i=1}^n Y_i & n & \sum_{i=1}^n X_{1i} \\ \sum_{i=1}^n Y_i X_{1i} & \sum_{i=1}^n X_{1i} & \sum_{i=1}^n X_{1i}^2 \\ \sum_{i=1}^n Y_i X_{2i} & \sum_{i=1}^n X_{2i} & \sum_{i=1}^n X_{1i} X_{2i} \end{vmatrix}$$

bu matrislerin sonuçlarından aşağıdaki gibi a,b,c sabit sayıları hesaplanır.

$$a = \frac{\Delta_1}{\Delta} \dots\dots\dots(3.9),$$

$$b = \frac{\Delta_2}{\Delta} \dots\dots\dots(3.10),$$

$$c = \frac{\Delta_3}{\Delta} \dots\dots\dots(3.11)$$

### 3.2.2 Çalışmada kullanılan korelasyon modelleri ve çözümleri

İki değişken arasındaki doğrusal regresyon denkleminin gözlenen değerleri ne derecede açıkladığını incelemeye ve değişkenler arası ilişkinin derecesinin belirlenmesinde korelasyon katsayısı (R) kullanılır.

İki değişkenin birlikte değişim ölçüsü olarak ta tanımlanan korelasyon katsayısı (R) -1 ile +1 arasında değerler alabilmektedir. Korelasyon katsayısının  $\pm 1$  olması, değişkenler arası ilişkinin tam olduğunu,  $R = 0$  olması ise değişkenler arasında hiçbir ilişkinin olmadığını gösterir. Korelasyon katsayısı  $\pm 1$ 'e yaklaştıkça, değişkenler arası ilişkinin güçlendiğini, sıfır'a yaklaştıkça ise değişkenler arası ilişkinin zayıfladığını söylemek mümkündür. Bununla birlikte, korelasyon katsayısı değerlendirilirken, değişken gözlem sayıları da dikkate alınmalıdır. Korelasyon katsayısına güvenilirliğin artırılması ve rassal nedenlerin etkilerinin azaltılabilmesi için gözlem sayısı mümkün olduğunca artırılmalıdır.

Korelasyon katsayısının (R) işareti yardımıyla değişkenler arası ilişkinin yönünü de belirlemek mümkündür. Bağımsız değişken X artarken bağımlı değişken Y de artıyorsa korelasyon katsayısının işareti (+), X artarken Y azalıyorsa korelasyon katsayısının işareti (-) olmaktadır[32].

Bir bağımlı değişken ve bir bağımsız değişkenden oluşan regresyon denklemi için korelasyon katsayısı:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i - \frac{\sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{n}}{\sqrt{\left[ \sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n X_i)^2}{n} \right] \left[ \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n Y_i)^2}{n} \right]}} \dots\dots\dots(3.12)$$

formülüyle hesaplanır[32].

Bir bağımlı değişken ve iki bağımsız değişkenden oluşan regresyon denklemi için korelasyon katsayısı;

$$R = \sqrt{\frac{r_{12}^2 + r_{13}^2 - 2r_{12}r_{13}r_{23}}{1 - r_{23}^2}} \dots\dots\dots(3.13)$$

formülüyle hesaplanır.

Burada;

$$r_{12} = \frac{n \sum_{i=1}^n X_{1i} X_{2i} - (\sum_{i=1}^n X_{1i}) \cdot (\sum_{i=1}^n X_{2i})}{\sqrt{\left[ n \sum_{i=1}^n X_{1i}^2 - (\sum_{i=1}^n X_{1i})^2 \right] \left[ n \sum_{i=1}^n X_{2i}^2 - (\sum_{i=1}^n X_{2i})^2 \right]}} \dots\dots\dots(3.14)$$

$$r_{13} = \frac{n \sum_{i=1}^n X_{1i} X_{3i} - (\sum_{i=1}^n X_{1i}) \cdot (\sum_{i=1}^n X_{3i})}{\sqrt{\left[ n \sum_{i=1}^n X_{1i}^2 - (\sum_{i=1}^n X_{1i})^2 \right] \left[ n \sum_{i=1}^n X_{3i}^2 - (\sum_{i=1}^n X_{3i})^2 \right]}} \dots\dots\dots(3.15)$$

$$r_{23} = \frac{n \sum_{i=1}^n X_{2i} X_{3i} - (\sum_{i=1}^n X_{2i}) \cdot (\sum_{i=1}^n X_{3i})}{\sqrt{\left[ n \sum_{i=1}^n X_{2i}^2 - (\sum_{i=1}^n X_{2i})^2 \right] \left[ n \sum_{i=1}^n X_{3i}^2 - (\sum_{i=1}^n X_{3i})^2 \right]}} \dots\dots\dots(3.16)$$

( $X_1=Y$ ,  $X_2= X_1$ ,  $X_3= X_2$ ), (n = örnek sayısı)

formülleriyle hesaplanır[33].

### 3.2.3 Tahmin formüllerinin regresyon denklemlerine uyarlanması

Literatürde kabul görmüş yer sarsıntısı tahmin formülleri bölüm 2.4.4.6'dan kronolojik olarak Çizelge 3.1'de verildiği gibidir.



**Çizelge 3.1** Titreşim tahmini için geliştirilmiş olan formüller

Formül No	Yıl	Kişi veya Kurum	Formül
1	1968	Ambraseys ve Hendron	$PPV=K_s \left( \frac{R}{\sqrt[3]{W}} \right)^\beta$
2	1971	Nicholls, Johnson ve Duvall	$PPV=K_s \left( \frac{R}{\sqrt{W}} \right)^\beta$
3	1973	Langefors ve Kihlström	$PPV=K_s \left( \sqrt{\frac{W}{R^2}} \right)^\beta$
4	1973	Hindistan Standartları Enstitüsü	$PPV=K_s \left( \frac{W^{\frac{2}{3}}}{R} \right)^\beta$
5	1983	Birch ve Daemen	$PPV=K_s . R^{-\alpha} . W^\beta$
6	1983	Grash ve Daemen	$PPV=K_s \left( \frac{R}{\sqrt{W}} \right)^{-\beta} . e^{\alpha . R}$
7	1983	Grash ve Daemen	$PPV=K_s \left( \frac{R}{\sqrt[3]{W}} \right)^{-\beta} . e^{\alpha . R}$

8	1987	Gupta ve Arkadaşları	$PPV = K_s \left( \sqrt{\frac{W}{R^{\frac{3}{2}}}} \right)^{-\beta} . e^{\alpha.R}$
9	1987	Gupta ve Arkadaşları	$PPV = K_s \left( \frac{W^{\frac{3}{2}}}{R} \right)^{-\beta} . e^{\alpha.R}$
10	1988	Gupta ve Arkadaşları	$PPV = K_s \left( \frac{R}{\sqrt{W}} \right)^{-\beta} . e^{\alpha \cdot \frac{R}{W}}$
11	1991	Hindistan Madencilik Dairesi	$PPV = N + K_s \left( \frac{R}{\sqrt{W}} \right)^{-1}$
12	1998	Bilgin ve Arkadaşları	$PPV = K_s \left( \frac{R}{\sqrt{W}} \right)^{-\alpha} . D^{-\beta}$

Burada:

$PPV$  = Maksimum parçacık hızı (mm/sn),

$R$  = Patlatma noktasından uzaklık (m),

$D$  = Dilim kalınlığı (m),

$W$  = Gecikme başına kullanılan maksimum patlayıcı madde miktarı (kg),

$K_s$  = Geçirgenlik katsayısı (saha sabiti)

$\beta$  = Jeolojik birimleri dikkate alan saha sabiti,

$\alpha, N$  = Saha sabitleri,

$e^{-\alpha R}$  = İnelastik seyrelme faktörü,

$e^{-\alpha(R/W)}$  = İnelastik sönme faktörü

Çizelge 3.1’de verilen tahmin formüllerinin regresyon analizleri ile çözümlü formüllerde geçen  $\alpha, \beta, K_s, N$  saha sabitlerinin belirlenebilmesi için, öncelikle denklemlerdeki bazı

parametreler birleştirilerek yeni tanımlamalar geliştirilmiş, daha sonra üssel durumdaki tahmin formülleri logaritmik dönüşümlerle doğrusal (lineer) hale dönüştürülmüştür. Formüllerde yer alan R (metre biriminden ölçüm mesafesi) ve W (kg biriminden gecikme başına kullanılan patlayıcı miktarı) bilinen sabit değerlerdir. Bu nedenle formüllerde yer alan bu değerler birleştirilerek, tek bir sabit sayı elde edilmiştir. Bu değerlerin birleştirilmesi ile oluşan  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ,  $X_4$ ,  $X_5$ ,  $X_6$  tanımlamaları aşağıda gösterilmiştir;

$$X_1 = \left( \frac{R}{\sqrt[3]{W}} \right) \dots\dots\dots(3.17)$$

$$X_2 = \left( \frac{R}{\sqrt{W}} \right) \dots\dots\dots(3.18)$$

$$X_3 = \left( \frac{\sqrt{\frac{W}{3}}}{R^2} \right) \dots\dots\dots(3.19)$$

$$X_4 = \left( \frac{W^{\frac{2}{3}}}{R} \right) \dots\dots\dots(3.20)$$

$$X_5 = \left( \frac{R}{W} \right) \dots\dots\dots(3.21)$$

$$X_6 = \left( \frac{\sqrt{W}}{R} \right) \dots\dots\dots(3.22)$$

Birinci aşamada; Yukarıda kabul edilen tanımlamalar denklemlere uygulanarak denklemler aşağıda gösterildiği şekilde üssel regresyon modellerine uygun hale getirilmiştir.

1. Denklem;

$$PPV = K_s \left( \frac{R}{\sqrt[3]{W}} \right)^\beta \Rightarrow PPV = K_s (X_1)^\beta \dots\dots\dots(3.23)$$

2. Denklem;

$$PPV=K_s \left( \frac{R}{\sqrt{W}} \right)^\beta \Rightarrow PPV=K_s (X_2)^\beta \dots\dots\dots(3.24)$$

3. Denklem;

$$PPV=K_s \left( \sqrt{\frac{W}{R^2}} \right)^\beta \Rightarrow PPV=K_s (X_3)^\beta \dots\dots\dots(3.25)$$

4. Denklem;

$$PPV=K_s \left( \frac{W^{\frac{2}{3}}}{R} \right)^\beta \Rightarrow PPV=K_s (X_4)^\beta \dots\dots\dots(3.26)$$

5. Denklem;

$$PPV=K_s \cdot R^\alpha \cdot W^\beta \Rightarrow PPV=K_s \cdot R^\beta \cdot W^\alpha \dots\dots\dots(3.27)$$

6. Denklem;

$$PPV=K_s \left( \frac{R}{\sqrt{W}} \right)^{-\beta} \cdot e^{\alpha \cdot R} \Rightarrow PPV=K_s (X_2)^{-\beta} \cdot e^{\alpha R} \dots\dots\dots(3.28)$$

7. Denklem;

$$PPV=K_s \left( \frac{R}{\sqrt[3]{W}} \right)^{-\beta} \cdot e^{\alpha \cdot R} \Rightarrow PPV=K_s (X_1)^{-\beta} \cdot e^{\alpha R} \dots\dots\dots(3.29)$$

8. Denklem;

$$PPV=K_s \left( \sqrt{\frac{W}{R^2}} \right)^{-\beta} \cdot e^{\alpha \cdot R} \Rightarrow PPV=K_s (X_3)^{-\beta} \cdot e^{\alpha R} \dots\dots\dots(3.30)$$

9. Denklem;

$$PPV=K_s \left( \frac{W^{\frac{3}{2}}}{R} \right)^{-\beta} \cdot e^{\alpha \cdot R} \Rightarrow PPV=K_s (X_4)^{-\beta} \cdot e^{\alpha R} \dots\dots\dots(3.31)$$

10. Denklem;

$$PPV=K_s \left( \frac{R}{\sqrt{W}} \right)^{-\beta} \cdot e^{\alpha \cdot \frac{R}{W}} \Rightarrow PPV=K_s (X_2)^{-\beta} \cdot e^{\alpha \frac{R}{W}} \dots\dots\dots(3.32)$$

11. Denklem;

$$PPV = N + K_s \left( \frac{R}{\sqrt{W}} \right)^{-1} \Rightarrow PPV = n + K_s (X_6) \dots \dots \dots (3.33)$$

12. Denklem;

$$PPV = K_s \left( \frac{R}{\sqrt{W}} \right)^{-\alpha} . B^{-\beta} \Rightarrow PPV = K_s (X_2)^{-\alpha} . B^{-\beta} \dots \dots \dots (3.34)$$

İkinci aşamada, Üssel regresyon modellerine uygun hale getirilen tahmin formülleri logaritmik dönüşümlerle doğrusal regresyon modellerine uygun hale getirilmiştir.

1. Denklem;

$$PPV = K_s (X_1)^\beta \Rightarrow \ln PPV = \ln K_s + \beta . \ln X_1 \dots \dots \dots (3.35)$$

2. Denklem;

$$PPV = K_s (X_2)^\beta \Rightarrow \ln PPV = \ln K_s + \beta . \ln X_2 \dots \dots \dots (3.36)$$

3. Denklem;

$$PPV = K_s (X_3)^\beta \Rightarrow \ln PPV = \ln K_s + \beta . \ln X_3 \dots \dots \dots (3.37)$$

4. Denklem;

$$PPV = K_s (X_4)^\beta \Rightarrow \ln PPV = \ln K_s + \beta . \ln X_4 \dots \dots \dots (3.38)$$

5. Denklem;

$$PPV = K_s . R^\beta . W^\alpha \Rightarrow \ln PPV = \ln K_s + \beta . \ln R + \alpha . \ln W \dots \dots \dots (3.39)$$

6. Denklem;

$$PPV = K_s (X_2)^{-\beta} . e^{\alpha R} \Rightarrow \ln PPV = \ln K_s - \beta . \ln X_2 + \alpha R \dots \dots \dots (3.40)$$

7. Denklem;

$$PPV = K_s (X_1)^{-\beta} . e^{\alpha R} \Rightarrow \ln PPV = \ln K_s - \beta . \ln X_1 + \alpha R \dots \dots \dots (3.41)$$

8. Denklem;

$$PPV=K_s(X_3)^{-\beta} .e^{\alpha R} \Rightarrow \ln PPV = \ln K_s - \beta .\ln X_3 + \alpha R \dots \dots \dots (3.42)$$

9. Denklem;

$$PPV=K_s(X_4)^{-\beta} .e^{\alpha R} \Rightarrow \ln PPV = \ln K_s - \beta .\ln X_4 + \alpha R \dots \dots \dots (3.43)$$

10. Denklem;

$$PPV=K_s(X_2)^{-\beta} .e^{\frac{\alpha R}{W}} \Rightarrow \ln PPV = \ln K_s - \beta .\ln X_2 + \alpha X_5 \dots \dots \dots (3.44)$$

11. Denklem;

$$PPV=n+K_s(X_6) \Rightarrow PPV = n + K_s(X_6) \dots \dots \dots (3.45)$$

12. Denklem;

$$PPV=K_s(X_2)^{-\beta} .D^{-\alpha} \Rightarrow \ln PPV = \ln K_s - \beta .\ln X_2 - \alpha \ln D \dots \dots \dots (3.46)$$

Şeklinde, titreşim tahmin formülleri “Bir bağımlı ve bir bağımsız değişkeni olan” ve “Bir bağımlı ve iki bağımsız değişkeni olan” regresyon modellerine dönüştürülmüştür.

### 3.2.4 Formüllere regresyon ve korelasyon analizlerinin uygulanması

Doğrusal hale getirilen tahmin formüllerinin regresyon modelleri ile çözümü aşağıda ayrı ayrı gösterilmiştir. Buna göre; 1.,2.,3.,4. ve 11. formüller “Bir bağımlı değişken ve bir bağımsız değişkenden oluşan regresyon modeli” ne, 5.,6.,7.,8.,9.,10.,12. denklemler “Bir bağımlı ve iki bağımsız değişkenden oluşan regresyon modeli”ne uygundur.

Aşağıda, literatürde kabul görmüş 12 adet titreşim tahmin denkleminin, regresyon modellerine uygun hale getirilmesi ve regresyon denklemiyle karşılaştırılıp, çözümlenerek saha sabitlerinin nasıl hesaplandığı ayrı ayrı anlatılmıştır. Ayrıca her denklem için tahminin güvenilirlik derecesini veren korelasyon katsayılarının da nasıl hesaplandığı ayrı ayrı anlatılmıştır.

Denklem 1 (bölüm 3.2.1'den):

$\ln PPV = \ln K_1 + \beta_1 \ln(X_1)$  denklemi  $Y = a + bX$  regresyon denklemi ile karşılaştırıldığında;

$$\ln PPV = Y,$$

$$\ln K_1 = a,$$

$$\beta_1 = b,$$

$$\ln X_1 = X, \text{ olmaktadır.}$$

Bu durumda 1. denkleme ait saha sabitleri aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır;

$$\beta_1 = \frac{\sum_{i=1}^n X_{1i} \cdot \ln PPV_i - n \bar{X}_1 \cdot \ln \bar{PPV}}{\sum_{i=1}^n X_{1i}^2 - n \bar{X}_1^2},$$

$$\ln K_1 = \ln \bar{PPV} - \beta_1 \ln \bar{X}_1,$$

$$K_1 = e^{\ln K_1} \text{ olmaktadır,}$$

Denklem 1 için korelasyon katsayısı (bölüm 3.2.2'den):

$$R_1 = \frac{\sum_{i=1}^n \ln X_{1i} \ln PPV_i - \frac{\sum_{i=1}^n \ln X_{1i} \cdot \sum_{i=1}^n \ln PPV_i}{n}}{\sqrt{\left[ \sum_{i=1}^n \ln X_{1i}^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n \ln X_{1i})^2}{n} \right] \cdot \left[ \sum_{i=1}^n \ln PPV_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n \ln PPV_i)^2}{n} \right]}}$$

Denklem 2,3,4 ve 11'de 1. yöntem gibi çözülmektedir.

Denklem 6 (bölüm 3.4.1'den):

$\ln PPV = \ln K_6 - \beta_6 \ln X_2 + \alpha_6 R$  denklemi  $Y = a + b X_1 + c X_2$  regresyon denklemi ile karşılaştırıldığında;

$$\ln PPV = Y$$

$$\ln K_6 = a,$$

$$\beta_6 = b,$$

$$\alpha_6 = c,$$

$$\ln X_2 = X_1,$$

$$R = X_2, \text{ olmaktadır.}$$

Bu durumda 6. denkleme ait normal denklemler aşağıdaki gibi olmaktadır;

$$\sum_{i=1}^n (\ln PPV_i) = n \cdot \ln K_6 + \beta_6 \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i}) + \alpha_6 \sum_{i=1}^n (R_i)$$

$$\sum_{i=1}^n (\ln PPV_i)(\ln X_{2i}) = \ln K_6 \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i}) + \beta_6 \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i})^2 + \alpha_6 \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i})(R_i)$$

$$\sum_{i=1}^n (\ln PPV_i)(R_i) = \ln K_6 \sum_{i=1}^n (R_i) + \beta_6 \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i})(R_i) + \alpha_6 \sum_{i=1}^n (R_i)^2$$

bu denklemlerden  $\Delta_6, \Delta_{61}, \Delta_{62}, \Delta_{63}$  matrisleri oluşturulur;

$$\Delta_6 = \begin{vmatrix} n & \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i}) & \sum_{i=1}^n (R_i) \\ \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i}) & \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i})^2 & \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i})(R_i) \\ \sum_{i=1}^n (R_i) & \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i})(R_i) & \sum_{i=1}^n (R_i)^2 \end{vmatrix}$$



$$\Delta_{61} = \begin{vmatrix} \sum_{i=1}^n (\ln PPV_i) & \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i}) & \sum_{i=1}^n (R_i) \\ \sum_{i=1}^n (\ln PPV_i)(\ln X_{2i}) & \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i})^2 & \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i}) (R_i) \\ \sum_{i=1}^n (\ln PPV_i)(R_i) & \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i}) (R_i) & \sum_{i=1}^n (R_i)^2 \end{vmatrix}$$

$$\Delta_{62} = \begin{vmatrix} \sum_{i=1}^n (\ln PPV_i) & n & \sum_{i=1}^n (R_i) \\ \sum_{i=1}^n (\ln PPV_i)(\ln X_{2i}) & \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i}) & \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i}) (R_i) \\ \sum_{i=1}^n (\ln PPV_i)(R_i) & \sum_{i=1}^n (R_i) & \sum_{i=1}^n (R_i)^2 \end{vmatrix}$$

$$\Delta_{63} = \begin{vmatrix} \sum_{i=1}^n (\ln PPV_i) & n & \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i}) \\ \sum_{i=1}^n (\ln PPV_i)(\ln X_{2i}) & \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i}) & \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i})^2 \\ \sum_{i=1}^n (\ln PPV_i)(R_i) & \sum_{i=1}^n (R_i) & \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i}) (R_i) \end{vmatrix}$$

bu matrisler gauss metodu ile çözümlenerek aşağıdaki eşitlikler elde edilir;

$$\begin{aligned} \Delta_6 = & n \cdot \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (R_i)^2 + \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i}) \cdot \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i}) (R_i) \cdot \sum_{i=1}^n (R_i) + \sum_{i=1}^n (R_i) \cdot \\ & \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i}) \cdot \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i}) (R_i) - \sum_{i=1}^n (R_i) \cdot \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (R_i) - \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i}) (R_i) \cdot \\ & \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i}) (R_i) \cdot n - \sum_{i=1}^n (R_i)^2 \cdot \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i}) \cdot \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta_{61} = & \sum_{i=1}^n (\ln PPV_i) \cdot \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (R_i)^2 + \sum_{i=1}^n (\ln PPV_i)(\ln X_{2i}) \cdot \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i}) (R_i) \cdot \sum_{i=1}^n (R_i) \\
& + \sum_{i=1}^n (\ln PPV_i)(R_i) \cdot \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i}) \cdot \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i}) (R_i) - \sum_{i=1}^n (R_i) \cdot \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i})^2 \cdot \\
& \sum_{i=1}^n (\ln PPV_i)(R_i) - \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i}) (R_i) \cdot \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i}) (R_i) \cdot \sum_{i=1}^n (\ln PPV_i) - \sum_{i=1}^n (R_i)^2 \cdot \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i}) \\
& \cdot \sum_{i=1}^n (\ln PPV_i)(\ln X_{2i})
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta_{62} = & \sum_{i=1}^n (\ln PPV_i) \cdot \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i}) \cdot \sum_{i=1}^n (R_i)^2 + \sum_{i=1}^n (\ln PPV_i)(\ln X_{2i}) \cdot \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i}) \cdot \sum_{i=1}^n (R_i) + \\
& \sum_{i=1}^n (\ln PPV_i)(R_i) \cdot n \cdot \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i}) (R_i) - \sum_{i=1}^n (R_i) \cdot \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i}) \cdot \sum_{i=1}^n (\ln PPV_i)(R_i) - \\
& \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i}) (R_i) \cdot \sum_{i=1}^n (R_i) \cdot \sum_{i=1}^n (\ln PPV_i) - \sum_{i=1}^n (R_i)^2 \cdot n \cdot \sum_{i=1}^n (\ln PPV_i)(\ln X_{2i})
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta_{63} = & \sum_{i=1}^n (\ln PPV_i) \cdot \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i}) \cdot \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i}) (R_i) + \sum_{i=1}^n (\ln PPV_i)(\ln X_{2i}) \cdot \sum_{i=1}^n (R_i) \cdot \\
& \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i}) + \sum_{i=1}^n (\ln PPV_i)(R_i) \cdot n \cdot \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i})^2 - \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i}) \cdot \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i}) \cdot \\
& \sum_{i=1}^n (\ln PPV_i)(R_i) - \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (R_i) \cdot \sum_{i=1}^n (\ln PPV_i) - \sum_{i=1}^n (\ln X_{2i}) (R_i) \cdot n \cdot \\
& \sum_{i=1}^n (\ln PPV_i)(\ln X_{2i})
\end{aligned}$$

bu eşitliklerden  $K_6, \alpha_6, \beta_6$  saha sabitleri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\ln K_6 = \frac{\Delta_{61}}{\Delta_6}, \quad K_6 = e^{\ln K}, \quad \alpha_6 = \frac{\Delta_{63}}{\Delta_6}, \quad \beta_6 = \frac{\Delta_{62}}{\Delta_6}$$

Denklem 6 için korelasyon katsayısı (bölüm 3.2.2'den);

$$R_6 = \sqrt{\frac{r_{612}^2 + r_{613}^2 - 2r_{612}r_{613}r_{623}}{1 - r_{623}^2}}, \text{ burada;}$$

$$r_{612} = \frac{n \sum_{i=1}^n \ln PPV_i \cdot \ln X_{2i} - \left( \sum_{i=1}^n \ln PPV_i \right) \cdot \left( \sum_{i=1}^n \ln X_{2i} \right)}{\sqrt{\left[ n \sum_{i=1}^n \ln PPV_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n \ln PPV_i \right)^2 \right] \left[ n \sum_{i=1}^n \ln X_{2i}^2 - \left( \sum_{i=1}^n \ln X_{2i} \right)^2 \right]}},$$

$$r_{613} = \frac{n \sum_{i=1}^n \ln PPV_i \cdot R_i - \left( \sum_{i=1}^n \ln PPV_i \right) \cdot \left( \sum_{i=1}^n R_i \right)}{\sqrt{\left[ n \sum_{i=1}^n \ln PPV_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n \ln PPV_i \right)^2 \right] \left[ n \sum_{i=1}^n R_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n R_i \right)^2 \right]}},$$

$$r_{623} = \frac{n \sum_{i=1}^n \ln X_{2i} \cdot R_i - \left( \sum_{i=1}^n \ln X_{2i} \right) \cdot \left( \sum_{i=1}^n R_i \right)}{\sqrt{\left[ n \sum_{i=1}^n \ln X_{2i}^2 - \left( \sum_{i=1}^n \ln X_{2i} \right)^2 \right] \left[ n \sum_{i=1}^n R_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n R_i \right)^2 \right]}},$$

Denklem 5,7,8,9,10,12' de 6. denklem gibi çözülmektedir.

### 3.3 Yersarsıntısı Tahmini için Geliştirilen Bilgisayar Yazılımı

#### 3.3.1 Genel

Bu çalışmada açık maden işletmelerinde uygulanan basamak patlatmaları sonucunda oluşacak olan yer titreşimlerinin patlatma öncesinde tahmin edilebilmesi için Borland C++ Builder 5.0 programı kullanılarak bir bilgisayar yazılımı geliştirilmiştir.

Geliştirilen bilgisayar programına öncelikle patlatma yapılan sahaya ilgili veriler girilerek bu verilere bağlı olarak tespit edilen saha sabitleri ile patlatma öncesinde, mesafeye ve gecikme aralığı başına kullanılan maksimum patlayıcı madde miktarına bağlı olarak patlatma sonucu oluşabilecek olan maksimum parçacık hızını mm/sn birimiyle tahmin etmektedir. Ayrıca programda oluşması istenen titreşim miktarına göre gecikme başına kullanılması gereken maksimum patlayıcı madde miktarı da hesaplanabilmektedir.

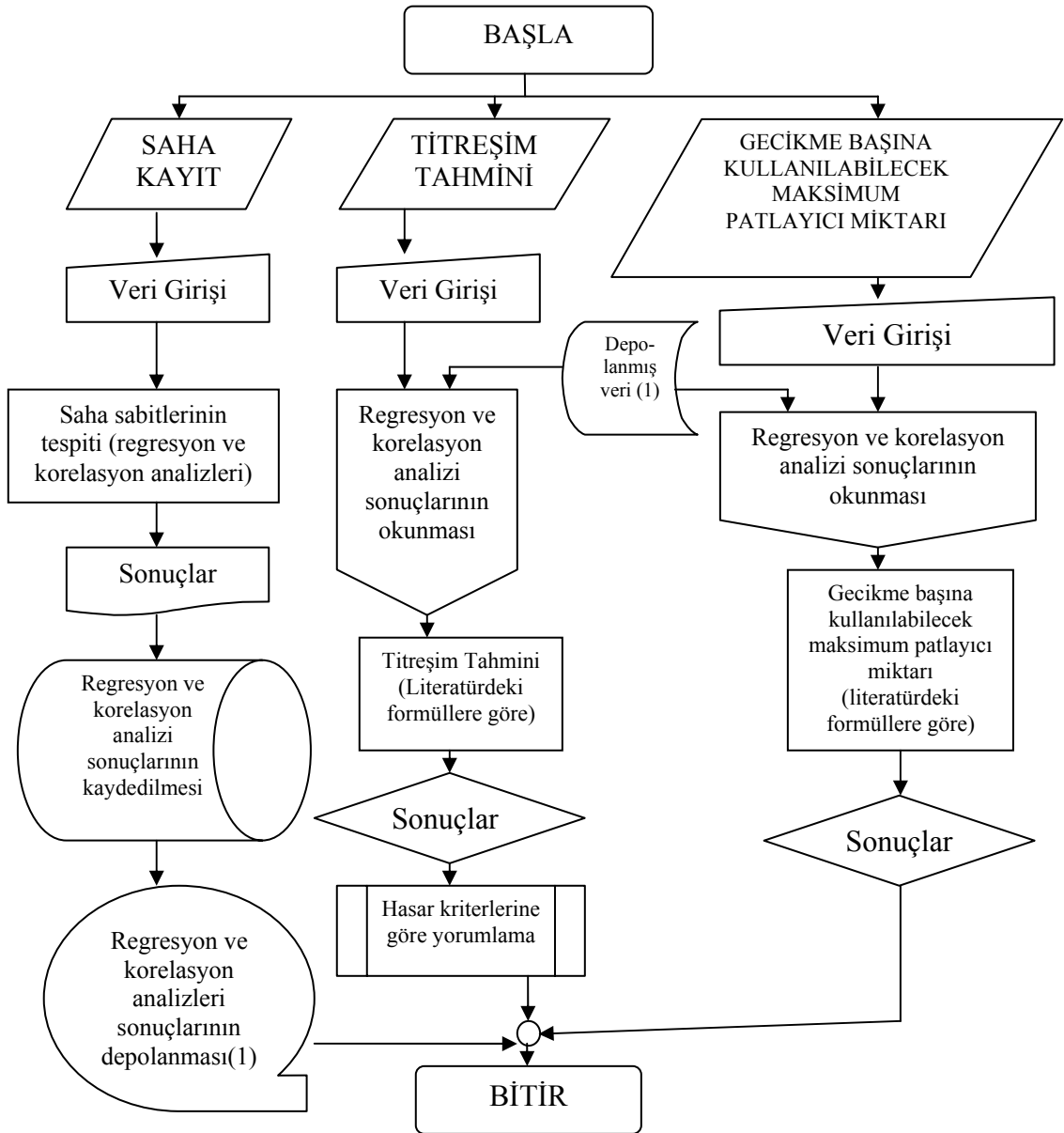
Programda patlatma sonucu oluşacak maksimum titreşim miktarın tahmininin yapılabilmesi için, daha önceki yıllarda çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilen formüller kullanılmıştır. Bu formüllerde yer alan her sahaya özel saha sabitlerinin belirlenebilmesi için ise; saha da daha önce yapılmış olan kontrollü titreşim ölçümü sonuçlarından yararlanılarak her formül için ayrı ayrı regresyon ve korelasyon analizleri yapılmaktadır. Yani sahada titreşim tahmininde bulunulabilmesi için, tahmin yapılacak sahada, daha önceden yapılmış kontrollü patlatma işlemi (dilim kalınlığı, gecikme başına kullanılan patlayıcı miktarı, ölçüm mesafesi bilinen) ölçüm sonuçlarının programa girilmiş olması gerekmektedir. Yapılan regresyon analizleri sonucunda saha sabitleri, korelasyon analizleri sonucunda ise tahminin doğruluk oranı hesaplanmaktadır.

#### 3.3.2 Programın algoritmaları

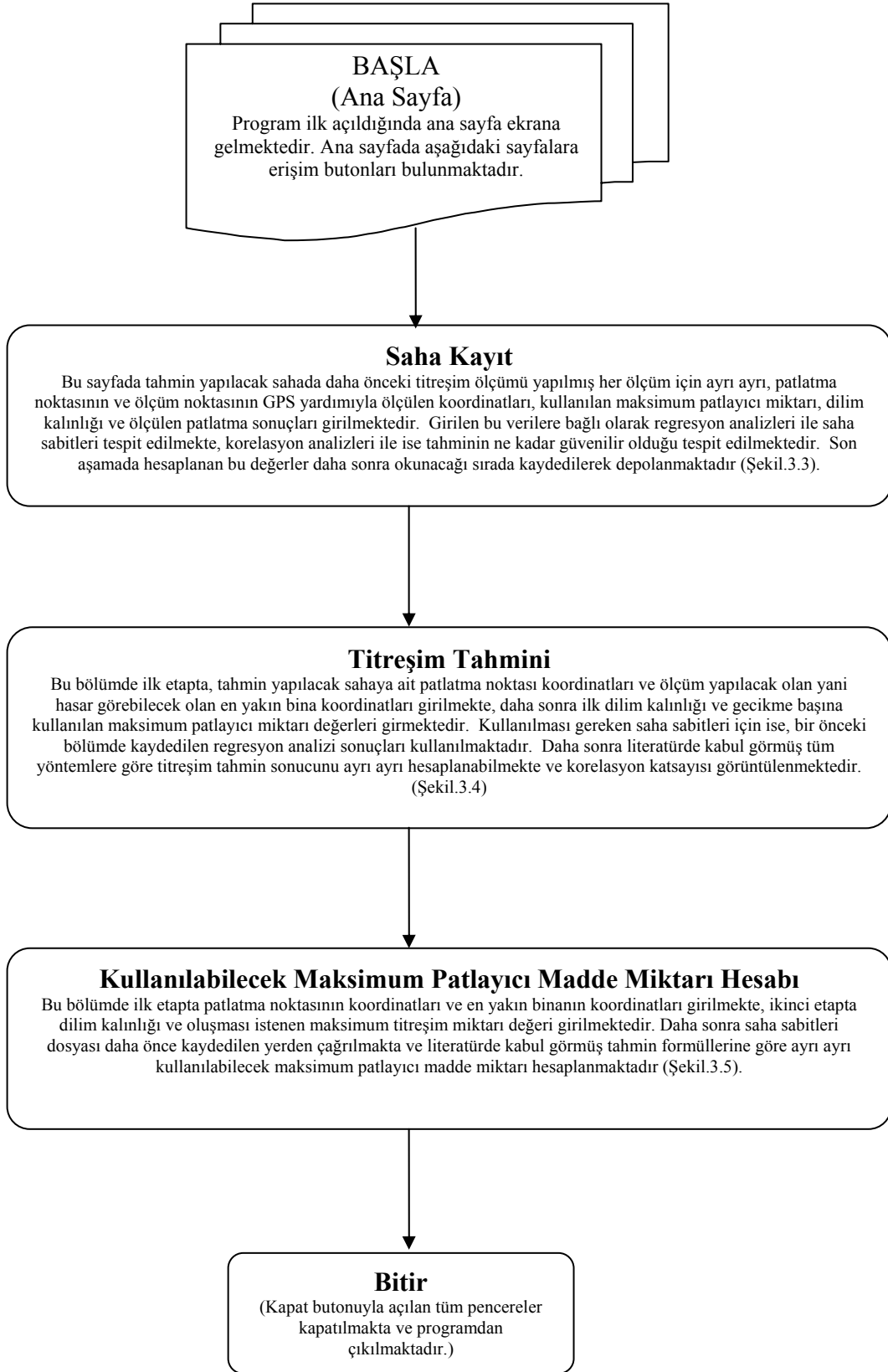
Geliştirilen bilgisayar yazılımı dört bölümden oluşmaktadır.

1. Ana sayfa (Şekil 3.2)
2. Saha kayıt (Şekil 3.3)
3. Titreşim tahmini (Şekil 3.4)
4. Gecikme başına kullanılacak maksimum patlayıcı miktarı (Şekil 3.5)

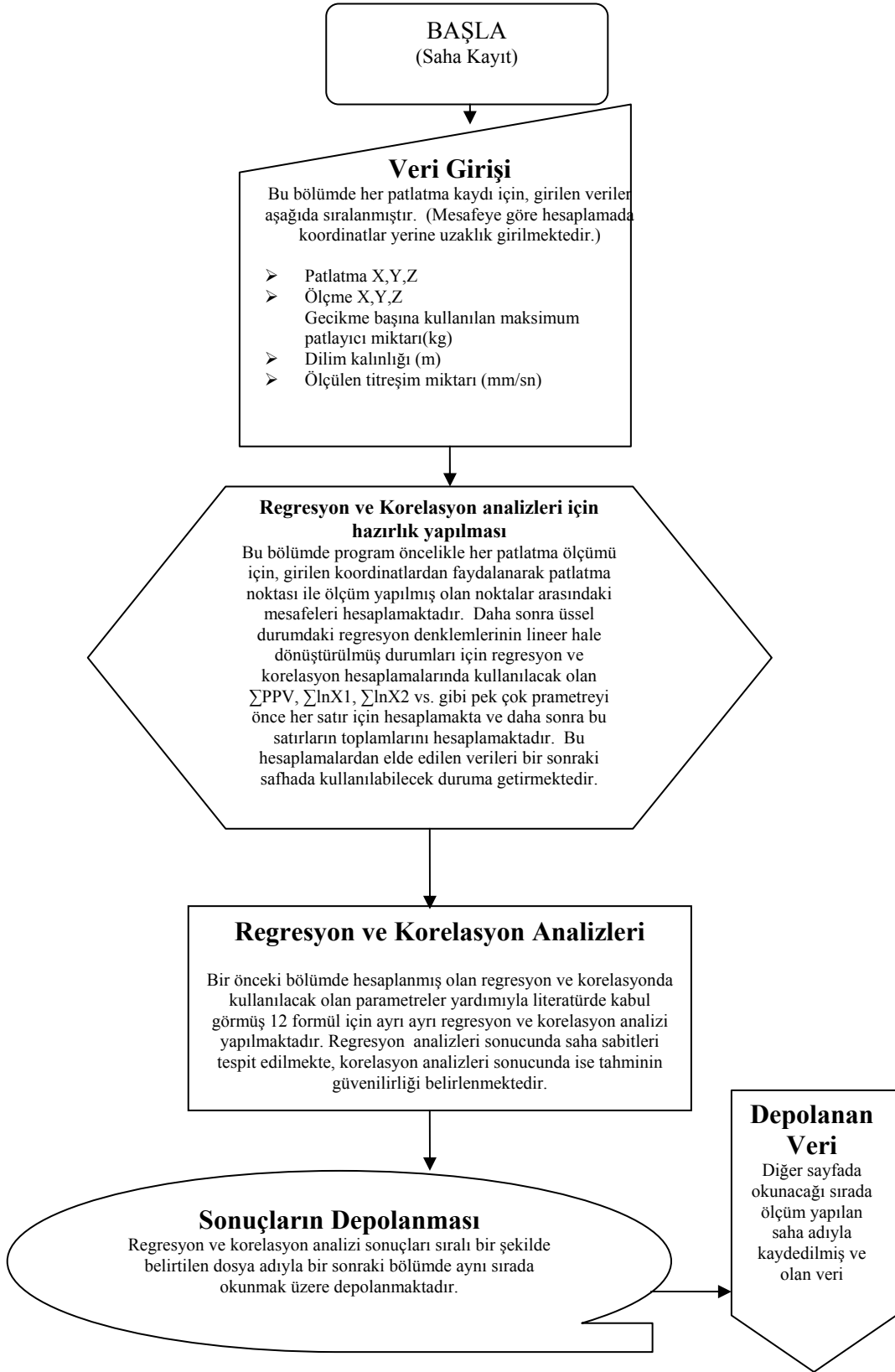
Programın genel akış şeması Şekil 3.1'de görülmektedir.



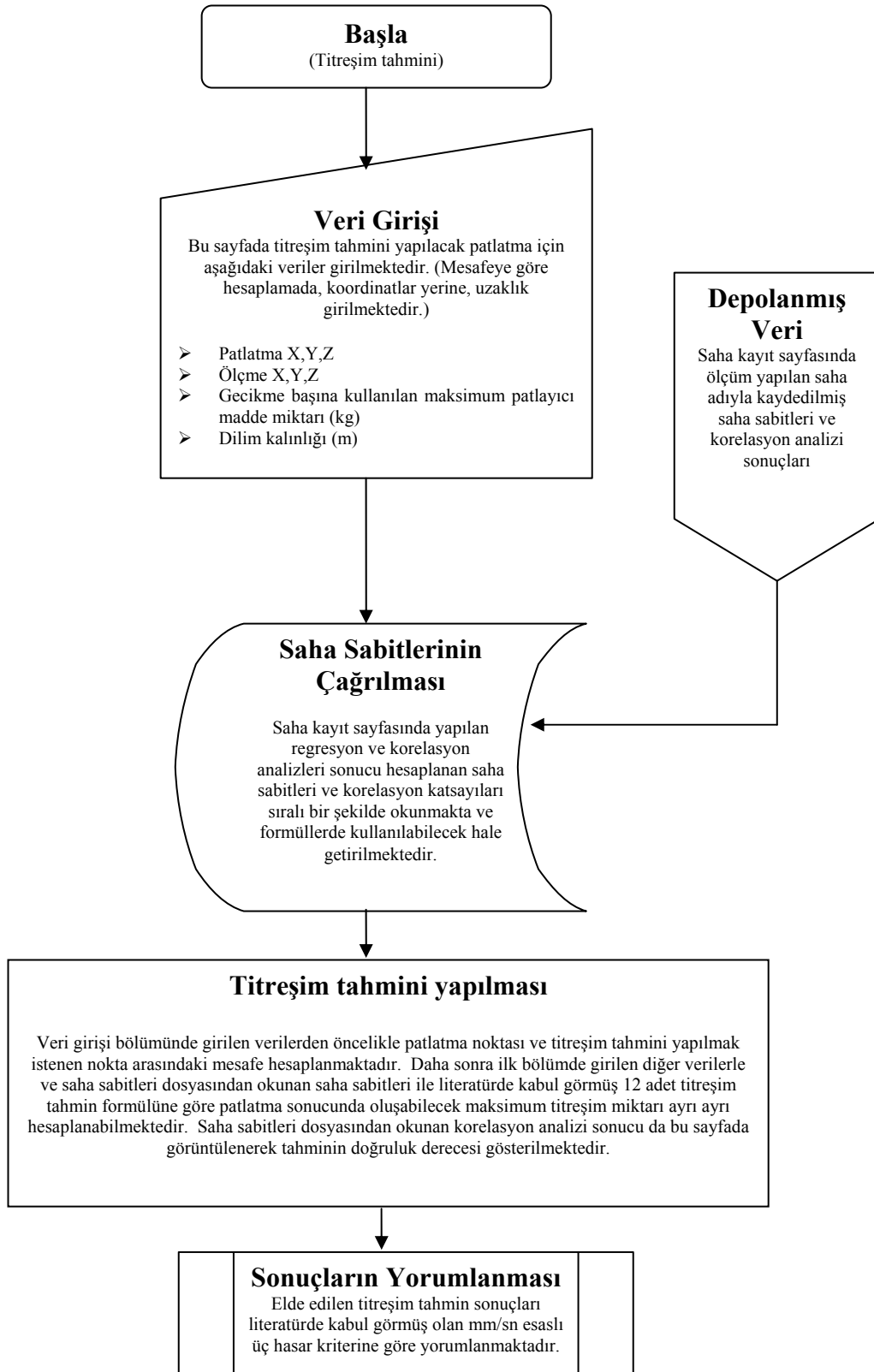
Şekil 3.1 Yersarsıntısı tahmini programının genel akış şeması



Şekil 3.2 Ana sayfa algoritması

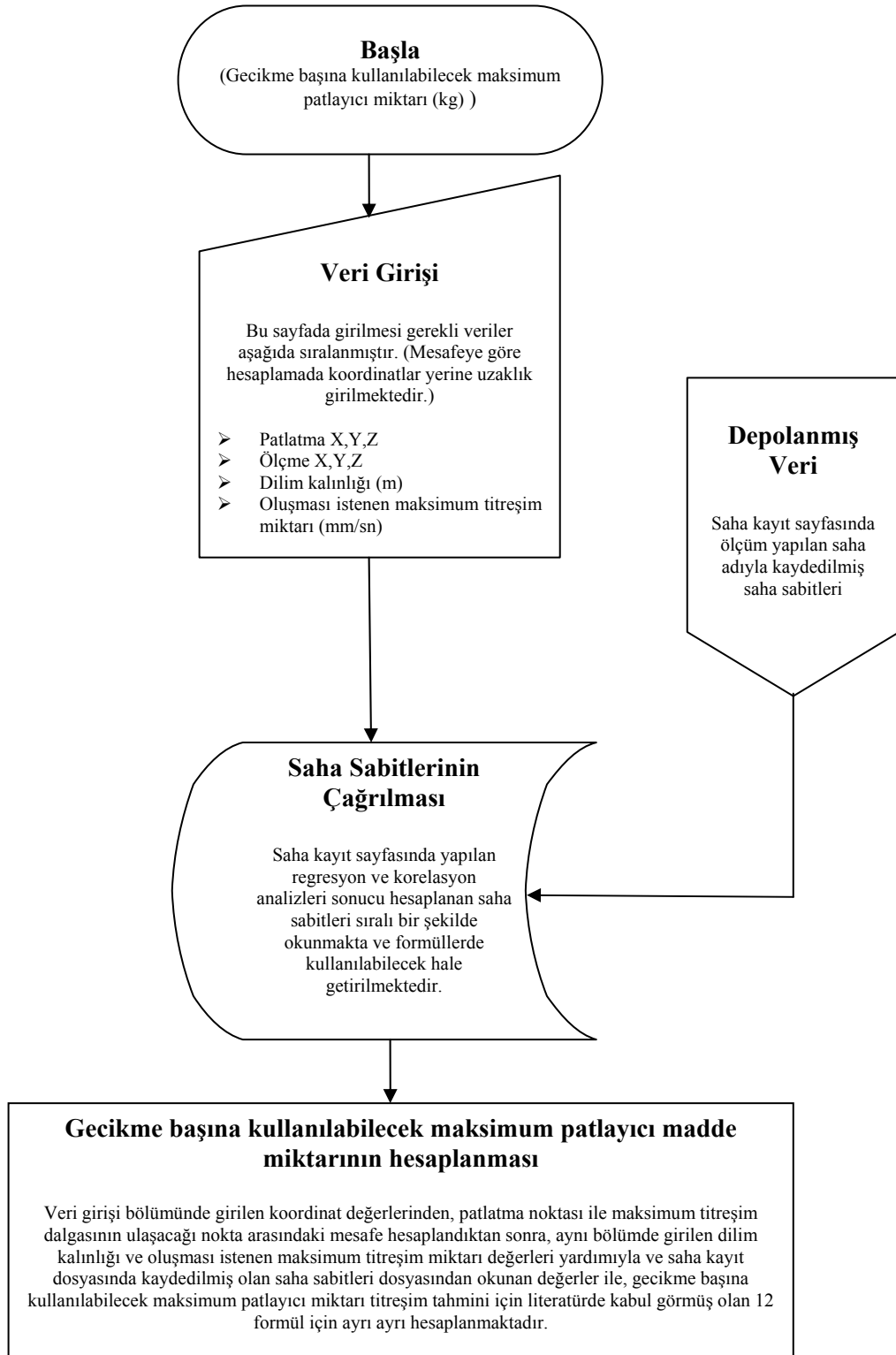


Şekil 3.3 Saha kayıt sayfası algoritması



Şekil 3.4 Yersarsintısı tahmini sayfasının algoritması



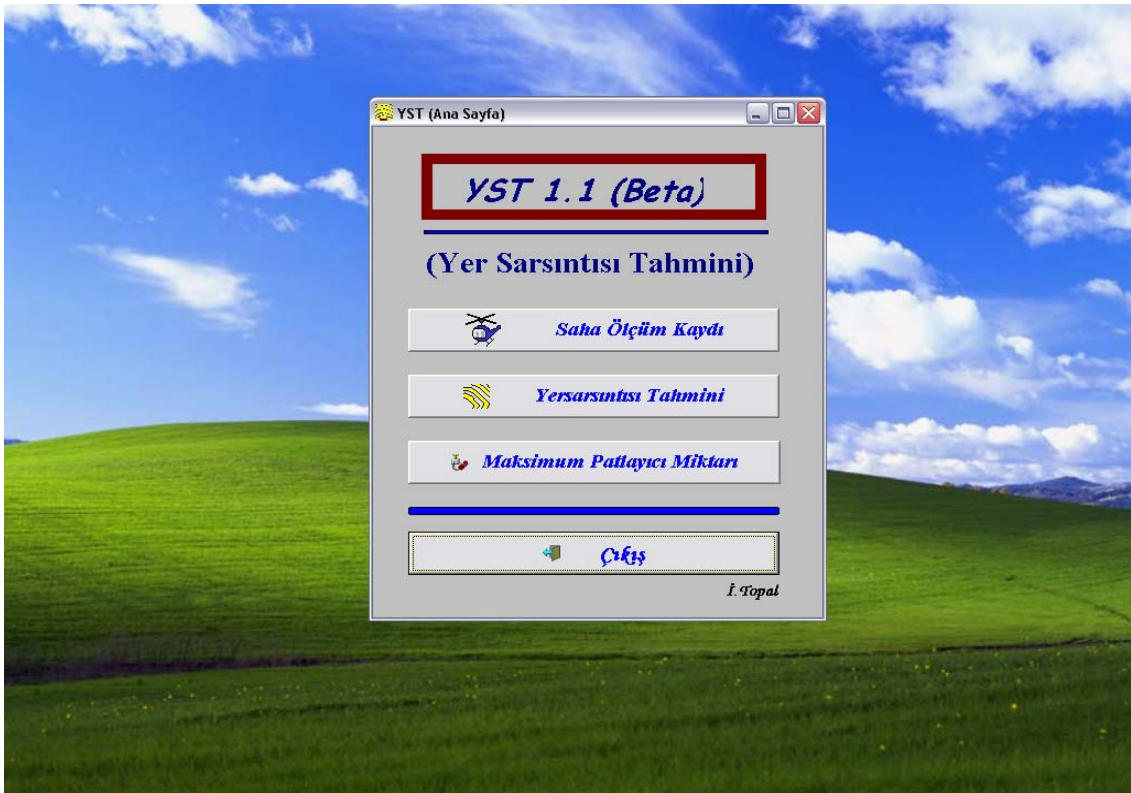


**Şekil 3.5** Gecikme başına kullanılabilir maksimum patlayıcı madde miktarı sayfası algoritması

### 3.3.3 Yersarsıntısı tahmini programının kullanımı ve tanıtılması

Geliştirilen bilgisayar programında hesaplamalar, hem direk mesafeye göre, hem koordinatlar girilerek mesafenin hesaplanmasıyla yapılabilmektedir.

Şekil 3.6’da görülen bölüm ana sayfadır. Program ilk açıldığında bu sayfa ile başlanır. Eğer daha önceden sahaya ait ölçüm kayıtları girdiyse, bu sonuçlardan faydalanılarak patlatma sonrasında oluşacak yersarsıntısı tahmini yapabilmek için, “yersarsıntısı tahmini” sayfasına yada oluşması istenen titreşim miktarına göre kullanabileceği maksimum patlayıcı madde miktarını hesaplayabilmek için “kullanılması gerekli patlayıcı miktarı” sayfasına girebilmektedir. Ölçüm kayıtları girip saha sabitlerini, tahminin ortalama standart hatasını ve korelasyon katsayısını bir dosya halinde hesaplamak için ise “saha ölçüm kaydı” sayfasına girebilmektedir.

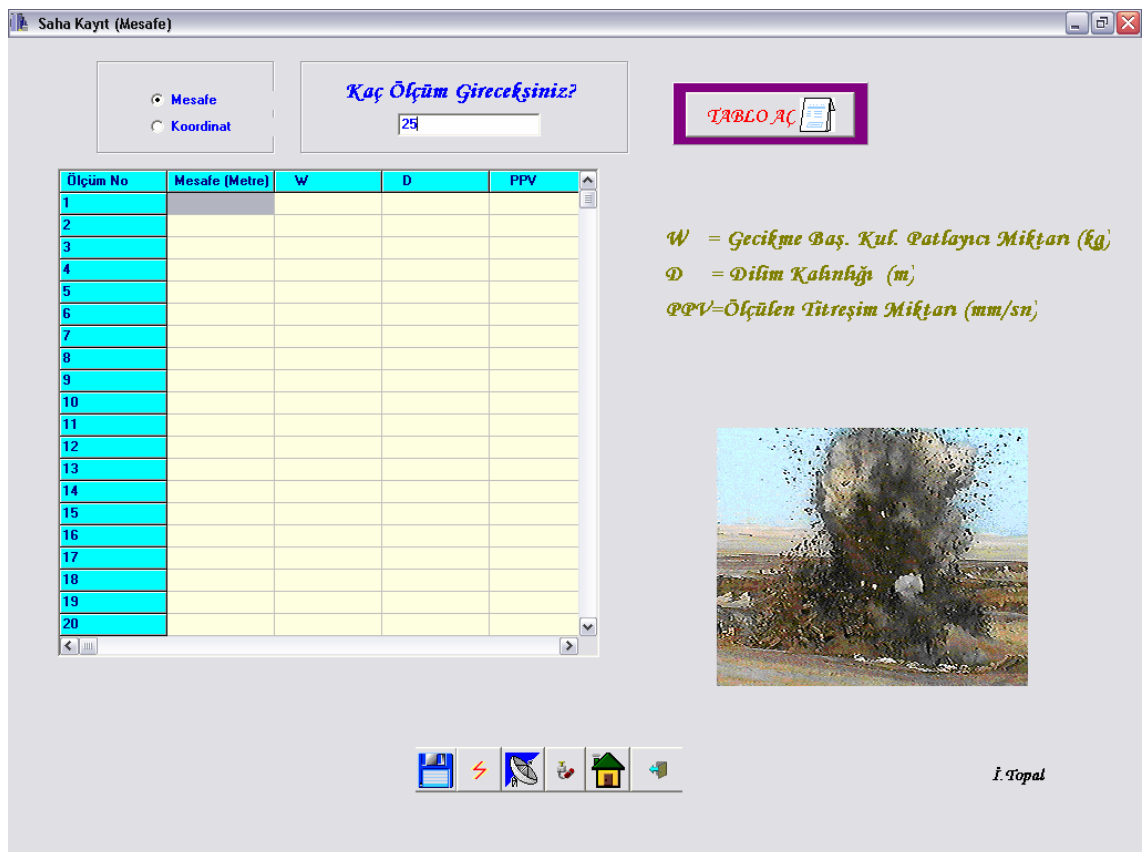


Şekil 3.6 Yersarsıntısı tahmini programının ana sayfası

İkinci bölümde, şekil 3.7’ de görülen “saha kayıt” sayfası yer almaktadır. Bu bölümde daha önce sahada yapılmış olan ölçüm kayıtları girişi vardır. Program, daha önce sahada

yapılmış kontrollü patlatma ölçüm sonuçlarından faydalanarak regresyon ve korelasyon analizleri yapıp sonuçları “dat” dosyası halinde kaydetmektedir.

Şekil 3.7’ te görülen bu sayfaya girildiğinde, öncelikle mesafeye bağlı veya koordinatlara bağlı hesaplama işlemi seçildikten sonra, program kullanıcıya kaç ölçüm kaydı girileceğini sormaktadır. Kullanıcı girmek istediği ölçüm kaydı sayısını girip tablo aç butonuna bastığında ölçüm girilecek sayıda satırlar oluşturulmakta ve her satırda kullanıcının girmesi gereken, “patlatmaX, patlatmaY, ölçümX, ölçümY, W, D ve PPV sütunları veya mesafeye göre kayıt yapılacak ise, mesafe,W,D,PPV sütunları oluşturulmaktadır.



Şekil 3.7 Saha kayıt sayfası görünümü

Kullanıcının verdiği sayı doğrultusunda satırlar ve sütunlar oluşturulduktan sonra daha önceki yapılmış olan ölçüm kayıtları programa girilmektedir.

Burada:

Patlatma X : Patlatma yapılan noktanın X koordinatı,

Mesafe : Patlatma noktası ile ölçüm noktası arasındaki mesafe (metre),

Patlatma Y : Patlatma yapılan noktanın Y koordinatı,

Ölçüm X : Patlatma ölçümü yapılan noktanın X koordinatı,

Ölçüm Y : Patlatma ölçümü yapılan noktanın Y koordinatı,

W : Ölçümü yapılan patlatma işleminde gecikme başına kullanılan maksimum patlayıcı madde miktarı (kg),

D : Ölçümü yapılan patlatma işleminde ilk dilim kalınlığı (m),

PPV : Patlatma sonucu titreşim ölçüm cihazıyla ölçülen maksimum parçacık hızı (mm/sn) dır.

**Ölçüm No**   **Mesafe (Metre)**   **W**   **D**   **PPV**

1	250	300	5	33
2	300	310	3	34
3	400	450	3	30
4	600	400	3,5	20
5	700	350	3	4

*W = Gecikme Baş. Kul. Patlayıcı Miktar (kg)*  
*D = Dilim Kalınlığı (m)*  
*PPV=Ölçülen Titreşim Miktar (mm/sn)*

*f. Topal*

Kaydet

**Şekil 3.8** Saha kayıt sayfasına kontrollü patlatma ölçüm sonuçlarının girilmesi

Titreşim ölçüm cihazı ile yapılan, kontrollü patlatma ölçüm sonuçları programa girildikten sonra kaydet buton'una basılmakta ve kullanıcıya işlem sonuçlarının nereye kaydedileceğini soran bir pencere açılmaktadır (Şekil 3.9).



**Şekil 3.9** Girilen ölçüm sonuçlarının kaydedilmesi

Açılan pencerede kaydedilecek yer seçilip, dosya adı yazıldıktan sonra kaydet buton'una basmasıyla, program öncelikle saha sabitlerinin tespit edilmesi için literatürde kabul görmüş olan 12 adet formül için ayrı ayrı regresyon analizleri yapmakta ve bulunması gereken saha sabitlerini tespit etmektedir. Aynı anda 12 adet formül ve girilen değerler için ayrı ayrı korelasyon analizleri yapmakta ve ortalama standart hataları hesaplamaktadır. Bu işlemler sonucunda elde edilen sonuçları kullanıcının isimlendirdiği dosyaya “dat” uzantılı olarak kaydetmektedir.

Bu işlemler sonucunda üzerinde çalışılan saha programa tanıtılmış olur ve program bu sahaya ait yapılan ölçümlerden faydalanarak pek çok jeolojik faktörü içine alan saha sabitlerini

titreşim tahmin formüllerinde kullanılmak üzere tespit eder ve açılan dosyaya diğer sayfada okunabilecek düzende kaydeder.

Kayıt işleminden sonra kullanıcı, ister direk olarak titreşim tahmini sayfasına geçebilmekte, ister ana sayfaya dönerek oradan titreşim tahmini sayfasına geçebilmektedir.

**Yersarsıntısı Tahmini**

**Yöntem**

Mesafe

Koordinat

**Mesafe (Metre)**

**W**

**D**

**PPV** =

**R** =

**S** =

Kazaz Kriteri	Kazaz Türü
Edwards ve Northwood, 1959	
Langefors, Kiklatrom, Westerberg, 1963	
USBR, 1971	

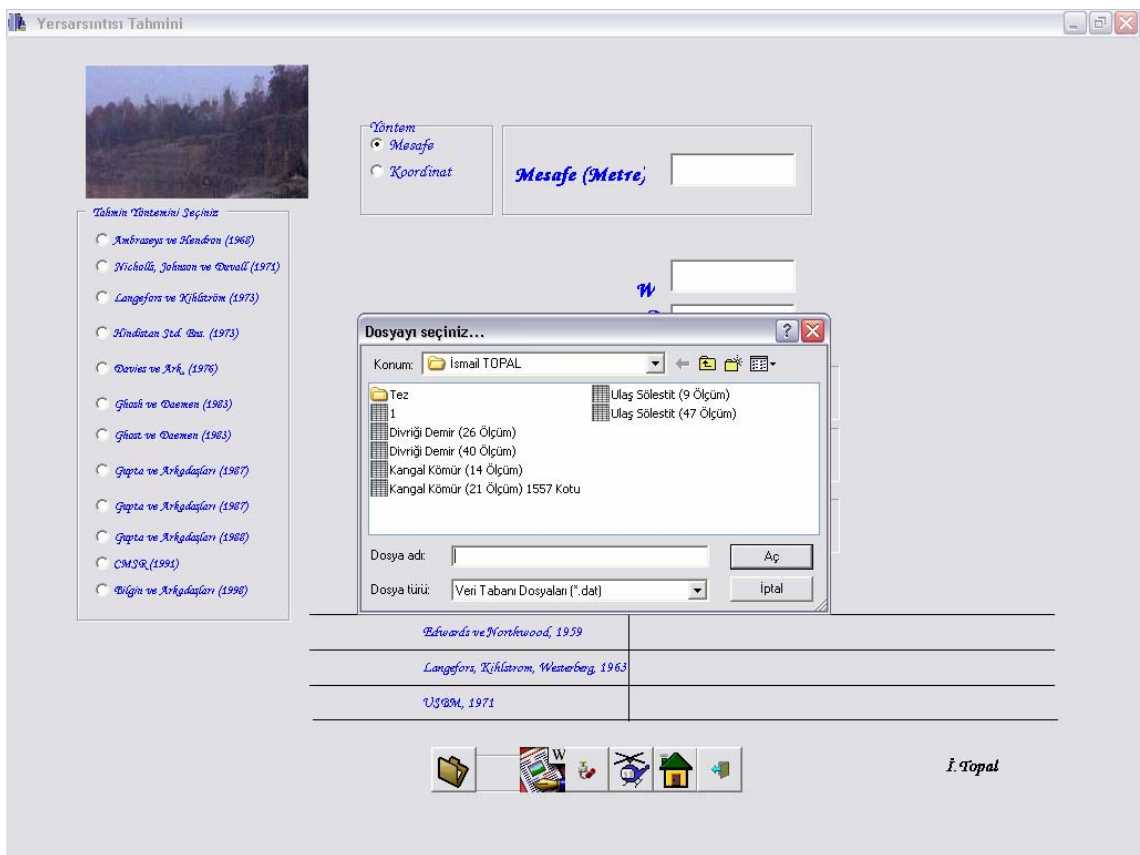
**İ. Topal**

**Şekil 3.10** Yersarsıntısı tahmini için kullanılan sayfa

Üçüncü bölümde, Şekil 3.10’ da görülen yersarsıntısı tahmini ana sayfası bulunmaktadır. Bu sayfada kullanıcı daha önce girmiş olduğu ölçüm sonuçlarından hesaplanan saha sabitleri yardımıyla istediği tahmin formülüne göre titreşim tahmini yapabilmektedir.

Kullanıcı öncelikle mesafeye veya koordinatlara göre hesaplama yapacağını seçmekte, daha sonra bu seçimine bağlı olarak veri girişi yapmaktadır. İkinci aşamada, yapmayı planladığı patlatma işlemindeki ilk dilim kalınlığı (metre) ve gecikme başına kullanılan maksimum patlayıcı miktarını (kg), girmektedir.

Kullanıcının ilk dilim kalınlığı ve gecikme başına kullanılan patlayıcı madde miktarı verilerini patlatma delik dizaynı ve şarjını yapmadan hesaplaması gerekmektedir. Aksi takdirde yıkıcı etki oluşabilecek yersarsıntısı miktarı tahmin edilse dahi verilerde değişiklik yapamayacağından dolayı patlatma işlemini yapması gerekmektedir. Dolayısı ile kullanıcı öncelikle mesafeyi yada patlatma noktası ve ölçüm yapacağı koordinatları ölçmeli ve bu verilere göre gecikme başına kullanabileceği maksimum patlayıcı madde miktarını programla hesaplamalıdır.



**Şekil 3.11** Saha sabitlerinin ve korelasyon katsayılarının kayıtlı dosyadan çağırılması

Kullanıcı “Saha Dosyası” yazılı butona bastığında ekrana Şekil 3.11’de görüldüğü gibi dosyayı seçiniz başlıklı bir pencere gelmektedir. Buradan daha önce kayıt yapmış olduğu saha dosyasını seçtiğinde program o dosyadaki saha sabitlerini ve korelasyon katsayılarını okumaktadır.

Bu işlem daha önceden kaydedilmiş ve bilgisayara tanıtılmış olan dosyaların çağırılması şeklinde gerçekleşmektedir. Kayıtlı dosyalar silinmediği sürece bu sahalarda yeni tahminler yapabilmek için aynı kayıtlar kullanılabilir.

**Yersarsıntısı Tahmini**

**Tahmin Yöntemini Seçiniz**

- Ambrose ve Hendron (1962)
- Nicholls, Johnson ve Orvell (1971)
- Langefors ve Kiklatrom (1973)
- Hindman Ltd. Bni (1973)
- Davies ve Ark (1976)
- Ghosh ve Dasgupta (1983)
- Ghosh ve Dasgupta (1983)
- Gupta ve Arkhadasari (1987)
- Gupta ve Arkhadasari (1987)
- Gupta ve Arkhadasari (1988)
- CMSR (1991)
- Bilgin ve Arkhadasari (1998)

**Yöntem**

- Mesafe
- Koordinat

**Mesafe (Metre):**

**W:**

**D:**

**PPIV =**

**R =**

**S =**

Hasar Kriteri	Hasar Durumu
Edwards ve Norrhtwood, 1959	<b>Hasar Yok</b>
Langefors, Kiklatrom, Westberg, 1963	<b>Hasar Yok</b>
USBR, 1971	<b>Hasar Yok</b>

**İ. Topal**

**Şekil 3.12** Yersarsıntısı tahmini sayfasına veri girişi ve tahmin yöntemi seçimi

Saha dosyası seçildikten ve yapılacak olan yani tahmin edilecek olan patlatma işlemine ait bilgiler girildikten sonra ekranın sol orta kısmında yer alan literatürde kabul görmüş titreşim tahmin formüllerinden biri seçilerek hesaplama yapılmalıdır (Şekil 3.12). Tahmin formülü işareti değiştirilerek literatürdeki tüm formüllere göre titreşim tahmin sonuçları, kolerasyon katsayıları, ortalama standart hatalar ve hasar kriterlerine göre yorumlama ekranda görülebilmektedir. Programda formül sonuçlarının hepsi birlikte de görüntülenebilmektedir.

Programda tüm veriler girilip tahmin dosyası ve tahmin yöntemi seçildikten sonra “Hesapla” butonuna basıldığında ekranda seçilmiş olan yöntemle göre oluşacak olan yersarsıntısı tahmini, korelasyon katsayısı ve bu tahmine ait ortalama standart hata



görüntülenmektedir. Bilindiği gibi korelasyon katsayısı -1 ile +1 arasında değerler almakta ve -1 ve +1 e yaklaştıkça veriler arasındaki ilişki artmakta yani tahmin daha güvenli olmakta 0' a yaklaştıkça ise tahmin güvenilirliği düşmektedir.

Tahmin sonucunda kullanıcı meydana gelen titreşimin zarar verici boyutta olduğunu görürse gecikme aralığı başına kullanılabilir titreşim miktarını değiştirerek uygun patlayıcı miktarını Şekil 3.13'te görülen "kullanılması gerekli patlayıcı miktarı hesabı" sayfası ile hesaplayabilmektedir.

Dördüncü bölümde ise; Şekil 3.13'de görülen "kullanılması gerekli patlayıcı miktarı hesabı" sayfası bulunmaktadır. Bu sayfada, kullanıcı, oluşması istenen titreşim miktarına göre kullanabileceği maksimum patlayıcı madde miktarı hesaplarını yapabilmektedir. Bu hesapları yöntemlere göre ayrı ayrı görüntüleyebildiği gibi hepsini birliktede görüntüleyebilmektedir.

The screenshot shows a web application window titled "Kullanılması gerekli patlayıcı miktarı hesabı". The interface includes the following elements:

- Method Selection:** A section labeled "Yöntem" with two radio buttons: "Mesafe" (selected) and "Koordinat".
- Distance Input:** A text box labeled "Mesafe (Metre)" with the value "500" entered.
- Prediction Method Selection:** A section titled "Tahmin Yöntemini Seçiniz" with a list of radio buttons:
  - Ambraseys ve Hendron (1968)
  - Nicholls, Johnson ve Duvall (1971) (selected)
  - Langefors ve Kihlström (1973)
  - Hindistan Stl. Ens. (1973)
  - Davies ve Ark. (1976)
  - Grash ve Daemen (1983)
  - Grash ve Daemen (1983)
  - Gupta ve Arkadaşları (1987)
  - Gupta ve Arkadaşları (1987)
  - Gupta ve Arkadaşları (1988)
  - CMSR (1991)
  - Bilgin ve Arkadaşları (1998)
- Input Fields:** Two input fields for "D" (3) and "Q<sub>0</sub>" (7).
- Result Display:** A large box showing the calculated result: "455,29 Kg".
- Text:** "Gecikme aralığı başına kullanılması gerekli patlayıcı madde miktarı".
- Footer:** A row of icons and the text "İ. Topal".

Şekil 3.13 Maksimum patlayıcı miktarı hesabı sayfası

Geliştirilen bilgisayar programı herkesin kullanabileceği basitliktedir. Bu program sayesinde, patlatma öncesinde, patlatma sonucu oluşacak olan titreşim tahmini kolay bir şekilde yapılabilmesi ve ayrıca oluşması istenen titreşim miktarına göre kullanılması gerekli patlayıcı madde miktarı hesaplarının kolaylıkla yapılabilmesi beklenmektedir. Bu sayede patlatma sonucu oluşan çevresel etkilerin en önemlisi olan yer titreşimleri kontrol altına alınabilmesi ve patlatma sonucu oluşan çevresel olumsuzluklar azaltılabilmesi beklenmektedir.

## 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 4.1 Sonuçlar

Bu çalışmada, açık maden işletmelerinde yapılan patlatma işlemleri sonucu oluşan olumsuz etkilerden en önemlisi olan yer titreşimlerinin, patlatma işlemleri öncesinde tespitine yönelik olarak araştırmalar yapılmıştır. Araştırma kapsamında öncelikle literatür araştırması yapılmış ve konu hakkında daha önce yapılan çalışmalar incelenmiştir.

Yapılan literatür araştırması sonucunda, daha önceki araştırmacılar tarafından patlatma öncesinde oluşacak olan yersarsıntısının tahmini için, çeşitli yıllarda, patlatma sonucu oluşan yer titreşimleri ile ölçekli mesafe arasındaki ilişkilerin incelendiği görülmüştür. Yapılan incelemeler sonucunda literatürde kabul gören ölçekli mesafe ve oluşan yer titreşimleri arasındaki ilişkiyi veren 12 adet formüle ulaşılmıştır. Ancak geliştirilen formüllerin uygulanabilmesi için gerekli olan saha sabitleri hiçbir kaynakta yeterli düzeyde verilmemiştir. Bunun nedeni; patlatma yapılan her bölgenin pek çok jeolojik faktörden etkilenmesi ve çalışılan sahaların jeolojik özelliklerinin diğer sahalarla modellenmesinin olanaksız olmasıdır. Çünkü patlatma titreşimleri pek çok jeolojik faktörden (çatlak yapısı, cevherleşme yönü, faylanmalar, kayaç yapısı, mineral türleri, kayaçların elastik özellikleri vs.) etkilenmektedir. Dünyada her şeyiyle aynı özelliklere sahip birden fazla saha bulunmamaktadır. Bunun için geliştirilen formüllerde, her saha için ayrı ayrı saha sabitlerinin tespit edilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, açık maden işletmelerinde uygulanan basamak patlatması sonrasında oluşacak olan yer titreşimlerinin tahmininin pratik ocak koşullarında yapılabilmesi için Borland C++ Builder 5.0'da bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.

Geliştirilen bilgisayar programında saha sabitlerinin tespit edilebilmesi için çoklu regresyon ve korelasyon analizleri uygulanmıştır. Bilindiği gibi çoklu regresyon ve korelasyon analizlerinin elle yapılması güç ve zaman alıcı işlemler gerektirmektedir. Bunun için saha sabitlerinin bilgisayar yardımı olmadan el hesaplarıyla her saha için ayrı ayrı tespit edilmesi uzun işlemler gerektirmektedir.

Bu doğrultuda, bu çalışmada daha önceki yapılan patlatma ölçümlerinin girildiği ve saha sabitlerinin hesaplanarak literatürde kabul görmüş formüllere göre tahmin yapan bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Geliştirilen programla patlatma öncesinde titreşim tahmini yapabilmek için, sahada daha önceden kontrollü patlatma işlemleri yapılmış ve bu patlatmaların

titreşim ölçme cihazıyla yapılan ölçüm sonuçlarının programa girilmiş olması gerekmektedir. Program, girilen bu ölçüm sonuçlarını, literatürde kabul görmüş 12 titreşim tahmin formülüne göre yorumlamakta ve regresyon analizleri ile formüllerde yer alan saha sabitlerini belirlemektedir.

Geliştirilen programın uygulamalarında görülmüştür ki, hangi sahada hangi formülün kullanılacağına dair bir genelleme yapılamamaktadır. Bunun nedeni bir formül, bir sahada, bir titreşim tahmininde ölçülen titreşim değerine, diğer formüllere göre en yakın sonucu verirken, aynı sahada aynı koşullarda yapılan başka bir patlatma sonucu oluşan titreşim tahmini için başka bir formül ölçülen titreşim değerine diğer formülden daha yakın sonuç vermektedir. Yani hangi sahada hangi formülün kullanılması gerektiğine dair bir genelleme yapılamamaktadır.

#### **4.2 Öneriler**

Bu çalışmada tahmin formüllerinin pratik olarak kullanılabilmesi olanakları sunulması ile birlikte, titreşim tahmini için geliştirilen formüllerin tahmin yapmada yetersiz olduğu görülmüştür. Formüllerde yön kavramı ve kot farkı kavramı dikkate alınmamıştır. Patlatma yönünün ve patlatma noktası ile ölçüm noktası arasındaki yükseklik farkının titreşim dalgalarının yayılmasını ve hızını etkileyeceği düşünülmektedir. Bu konuda kapsamlı araştırma ve ölçümler yapılarak daha kapsamlı formüller geliştirilmeye çalışılmalıdır.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Bilgin, H. A., 1986, Açık işletmelerde patlatma sorunları ve tasarımı, *TKİ Eğitim Seminer No.2, ODTÜ, Ankara, 102 s.*
- [2] Karakuş, D., 2000, Patlatmadan kaynaklanan yer sarsıntılarının binalar üzerindeki etkisinin araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi, D.E.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, 110 s.*
- [3] Nitro-Mak, Kasım, 2003, Sektörel dergi, *Nitro-Mak A.Ş. Genel Müdürlüğü Cinnah Cad. Pilot Sk. No.17, Çankaya/Ankara, 32 s.*
- [4] Nitro-Mak, Temmuz, 2003, Sektörel dergi, *Nitro-Mak A.Ş. Genel Müdürlüğü Cinnah Cad. Pilot Sk. No.17, Çankaya/Ankara, 32 s.*
- [5] Köse, H., Yalçın, E., Şimşir, F., Konak, G., Onargan, T., Kızıllı, M.S., 2001, Açık işletme tekniği, *D.E.Ü.Müh.Fak.Basım Ünitesi., 467 s.*
- [6] Orica-Nitro, 1998, Kaya Patlatma Tekniği, *Kurs Notları, 40 s.*
- [7] Yıldız, R., Köse, H., 2003, Açık işletmelerde delik delme metodları ve delici makineler, *Kümaş A.Ş. Eskişehir Yolu 9.km Kütahya, 218 s.*
- [8] Erkoç, Ö.Y., 1990, Kaya patlatma tekniği, *İstanbul, 84 s.*
- [9] Bilgin, A., 2003, Patlatma Mühendisliği Seminer Notları, *TMMOB Maden Mühendisleri Odası Sürekli Eğitim Merkezi, 146 s.*
- [10] Barutsan A.Ş., 2001, Patlayıcı maddeler ve patlatma teknikleri kursu, *kurs notları, Elmadağ, Ankara, 97 s.*
- [11] Barutsan, A.Ş., 1999, Delme patlatma mühendisliği, patlayıcılar, patlatma teknikleri, güvenlik önlemleri, *kurs notları, Ankara, 95 p.*
- [12] Tamrock, 1988, Surface drilling and blasting, 477 p.
- [13] Barutsan A.Ş., 1994, dergi, yıl 2 sayı 1994/1, 36 s.
- [14] Dick, R.A., Fletcher, L.R., D'Andrea, D.V., 1983, Explosives and blasting procedures manual, *USBM, IC 8560, USA., 44 p.*
- [15] Barutsan, A.Ş., 2001, Patlayıcı maddeler ve patlatma teknikleri kursu, *kurs notları, Ankara, 103 p.*
- [16] Kahriman, A., 1995, Sivas ulaş yöresi sölestit cevheri ve yankayaçları için optimum patlatma koşullarının araştırılması ve kayaç özellikleri ile ilişkilendirilmesi, *Doktora Tezi, C.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, 276 s.*

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [17] Daehnke, A., Rossmannith, H.P., 1997, Reflection and refraction of plane stress waves at interfaces modelling various rock joints, *fragblast-International journal of blasting and fragmentation.*, 231 p.
- [18] Özer, Ü., 2001, Patlatma kinematığının araştırılması ve patlatma simülasyonu, *Doktora Tezi, Ç.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, 180 s.*
- [19] Fournery, W.L., 1993, Mechanism of rock fragmentation by blasting, in comprehensive rock engineering, *J.A. Hudson (Ed).*, 69 p.
- [20] Apraz, E., 2000, Türkiye'deki bazı açık işletmelerde patlatmadan kaynaklanan titreşimlerin izlenmesi ve değerlendirilmesi, *Doktora Tezi, C.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, 230 s.*
- [21] Dowding, C.H., 1985, Blast vibration monitoring and control, *Prentice-Hall, 297 p.*
- [22] Langefors, U., Kihlström, B., 1979, The modern technique of rock blasting, 3<sup>rd</sup> edition, *John, Willey & Sons, New York, 437 p.*
- [23] 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, *RI 8507, Bureau of Mines, 74 p.*
- [24] Bilgin, H.A., Esen, S., Kılıç, M., 1998, TKİ Çan Linyit İşletmesinde patlatmaların yol açtığı çevre sorunlarının giderilmesi için araştırma, *proje kod no: 97-03-05-01-08, ODTÜ, Ankara, 100 s.*
- [25] Persson, P.A., Holmberg, R., Lee, J., 1994, Rock blasting and explosives engineering, *New York, 538 p.*
- [26] Siskind, D.E., Crum, S.V., 1989, Otterness, R. E., Kopp, J.W., Comparative study of blasting vibrations from indiana surface coal mines, *RI 9226, Bureau of Mines, 41 p.*
- [27] Yağanoğlu, A., Altan, A., 1993, Patlatma sonrası oluşan titreşimlerin izlenmesi ve analizi, *Delme Patlatma Sempozyumu, 2-3 Aralık, MMO, Ankara.*
- [28] Konya, C.J., Walter, E.J., 1990, Surface balast design, *New Jersey, USA, 233 p.*
- [29] Rosenthal, M.F., Morlock, G.L., 1987, Blasting guidance manuel", *OSMRE, USA*
- [30] Hustrulid, W., 1999, Blasting principles for open pit mining, volume1, volume2, *Colarado School of Mines, Golden, Colarado, USA, 1395 p.*
- [31] Horim, H.B., Levy, H., 1981, Statistik decisions and applications in business and economics, *New York, 772 p.*

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- [32] Konuk, A., Önder, S., 1999, Maden istatistiği, *Osmangazi Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir*
- [33] Spiegel, R. M., Stephens, Larry, J., 2000, Statistic with problems and theory, *Universty of Nebraska, Ohama, 490 p.*