

**T.C.
OKAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
PATLAYICI MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TİCARİ PATLAYICI MADDELER VE PATLAYICI MADDE SEÇİMİ

Ahmet KÖSE

**Danışman
Prof. Dr. Ali KAHRİMAN**

İSTANBUL - NİSAN, 2015

Bu alışma 08/04/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Patlayıcı Mühendisliği Anabilim Dalı Tezli Yüksek Lisans programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Prof.Dr.Ali KAHRİMAN(Danışman)
Okan Üniversitesi
Mühendislik Mimarlık Fakültesi

Yrd.Doç.Dr.Birol ALAS
Okan Üniversitesi
Mühendislik Mimarlık Fakültesi

Yrd.Doç.Dr. Abdulkadir KARADOĞAN
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenim ve tez aşamasında, bana her türlü desteği veren fikirlerinden ve görüşlerinden yararlandığım Danışmanım Sayın Prof. Dr. Ali KAHRİMAN' a, yardımlarını tez çalışmam boyunca esirgemeyen ve değerli vaktini benim için ayıran Sayın Yrd. Doç. Dr. Abdulkadir KARADOĞAN' a ve tez çalışmam boyunca görüşlerinden yararlandığım Sayın Prof. Dr. Cengiz KUZU' ya sonsuz teşekkür ederim.

Tez çalışmam esnasında Cebeci Taş Ocaklarındaki patlatmalarda bana yardımını ve desteğini esirgemeyen Sayın Yüksek Mühendis Ertuğrul KAYA' ya teşekkür ederim.

Tez çalışmam sürecinde sürekli olarak görüşlerini ve yardımını aldığım Sayın Yüksek Mühendis Sadettin BAĞDATLI' ya teşekkür etmeyi borç bilirim.

Son olarak benim üzerinde büyük emekleri olan, bana her zaman güvenen ve desteklerini hiç esirgemeyen aileme sonsuz teşekkür ederim.

AHMET KÖSE

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
TABLO LİSTESİ.....	x
SEMBOL LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xii
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
2.GENEL KISIMLAR	3
2.1. PATLAYICI MADDE	3
2.1.1. Patlayıcıların Sınıflandırılması	5
2.1.1.1. Kuvvetli Patlayıcılar.....	5
2.1.1.2. Birincil Patlayıcılar	5
2.1.1.3. İkincil Patlayıcılar	5
2.1.1.4. Üçüncül Patlayıcılar	7
2.1.1.5. Zayıf Patlayıcılar ve Yayılma	7
2.2. PERFORMANS KARAKTERLERİ VE ÖZELLİKLERİ.....	9
2.2.1 Delik İçi Basıncı	9
2.2.2. Etkisiz Basınç	9
2.2.3. Yoğunluk	9
2.2.3.1. Kritik Yoğunluk	9
2.2.3.2. Patlayıcı Yoğunluğu.....	10
2.2.4. Detonasyon Basıncı	10
2.2.5. Çap.....	10
2.2.5.1. Kritik Çap.....	10
2.2.5.2. Patlayıcı Çapı	11
2.2.6. Viskozite	11
2.2.7. Hassaslık	11

2.2.8. Raf Ömrü	11
2.2.9. Sıcaklık	11
2.2.10. Detonasyon Hızı	12
2.2.11. Patlayıcının Gücü.....	12
2.2.12. Su Direnci	13
2.3. TUTUŞMA, PARLAMA VE DETONASYON	13
2.3.1. Tutuşma	13
2.3.2. Parlama	14
2.3.3. Detonasyon	14
2.3.3.1. Yanmadan Detonasyona Geçiş	15
2.3.3.2. Şok ile Detonasyon	16
2.4. TUTUŞMA, ATEŞLEME, TERMAL DEKOMPOZİSYON.....	17
2.4.1. Tutuşma	17
2.4.1.1. Sıcak Bölgeler	18
2.4.2. Patlayıcı Zinciri.....	19
2.4.3. Termal Dekompozisyon.....	19
2.5. PATLAYICI İNFİLAKI.....	19
2.5.1. Ticari Patlayıcıların İdeal İnfilak Davranışları	19
2.5.1.1. Patlayıcıların Performans Karakteristikleri.....	20
2.5.1.2. İdeal infilak	21
2.5.1.3. İdeal Olmayan İnfilak	21
2.5.1.4. Patlatmada Enerjinin Bölüşümü.....	22
2.6. PATLAYICILARIN TERMOKİMYASI.....	24
2.6.1. Oksijen Balansı	24
2.6.2. Dekompozisyon Reaksiyonları	25
2.6.3. Patlama Isısı.....	25
2.6.4. Patlama Sonrası Gaz Hacimleri	26

2.6.5. Kimyasal Patlama Sıcaklığı	27
2.6.6. Güçlenmiş Patlayıcılar	28
2.6.6.1. Güç ve Patlamanın Basıncı	28
2.6.7. Patlayıcı Reaksiyonların Kinetiği	28
2.6.7.1. Aktivasyon Enerjisi	29
2.6.7.2. Reaksiyon Hızı	29
2.7. TİCARİ PATLAYICILARIN İÇERİKLERİ VE ÖZELLİKLERİ	30
2.7.1. Patlayıcılarda Kullanılan Yaygın Maddeler	31
2.7.1.1. Amonyum Nitrat	32
2.7.1.2. Patlayıcı Piriller	33
2.7.1.3. Boşluk oranı	33
2.7.1.4. Mekanik Güç	34
2.7.1.5 Nitrogliserin	34
2.7.2. ANFO	34
2.7.2.1. Üretim	36
2.7.2.2. Enerji	36
2.7.2.3. Fiziksel Özellikleri	39
2.7.2.4. Detonasyon Hızı	40
2.7.2.5. Gazların Sülfidlerle Reaktivliği	40
2.7.2.6. ANFO Ürünleri	41
2.7.2.7. Su Dirençli ANFO	41
2.7.3. Emülsiyon Patlayıcılar	42
2.7.3.1. Üretim	43
2.7.3.2. Hassaslaştırma	45
2.7.3.4. Stabilizatör	47
2.7.3.5. Emülgatör	47
2.7.3.6. Enerji	48

2.7.3.7. Fiziksel Özellikler	48
2.7.3.8. Yoğunluk.....	48
2.7.3.9. Viskozite	49
2.7.3.10 Su Direnci	49
2.7.3.11 Performans Karakteri	49
2.7.3.12 Detonasyon Hızı.....	50
2.7.3.13. Detonasyon basıncı	50
2.7.3.14 Testler.....	50
2.7.3.15 Bulk Emülsiyonlar	50
2.7.3.15. İzinli Emülsiyonlar.....	51
2.7.4. Heavy ANFO	52
2.7.5. Water Jel / Slurry Patlayıcılar	52
2.7.5.1. Fiziksel Özellikler	54
2.7.5.2. Yoğunluk.....	54
2.7.5.3. Bulk Formu	54
2.7.5.4. Suyun Rolü.....	55
2.7.5.5. Üretim	55
2.7.5.6. Alüminyumun Etkisi	57
2.7.5.7. Guar Sakızının Rolü.....	57
2.7.5.8. Bağlayıcı	58
2.7.5.9. İzinli Waterjel Patlayıcılar	58
2.7.6. Dinamit	59
2.7.6.1. Bileşim	60
2.7.6.2. Fiziksel Özellikler	60
2.7.6.3. Performans Karakteri	61
2.7.6.4. Dinamit Ürünleri	61
2.7.6.5. Granül Dinamit.....	61

2.7.6.6. Düz dinamit	61
2.7.6.7. Amonyum Granül Dinamit	61
2.7.6.8. Yarı Jelatin dinamit	62
2.7.6.9. Jelatin dinamit	62
2.7.6.10. Düz Jelatin Dinamit	62
2.7.6.11. Amonyum Jelatin Dinamit	62
2.7.6.12. İzinli Dinamit	63
2.8. ATEŞLEME SİSTEMLERİ	63
2.8.1. Kapsül Sistem	63
2.8.1.1. Adi Kapsüller	64
2.8.1.2. Elektrikli Kapsüller	64
2.8.1.3. Elektronik Gecikmeli Kapsül	65
2.8.1.4. Elektriksiz Kapsüller(NONEL).....	66
2.8.1.5. Nonel-Tüpü	66
2.8.1.6. Nonel Bağlantı Üniteleri	66
2.8.2. Fitol Sistem.....	67
2.8.2.1. Elektrikli Fitol	67
2.8.2.2. İnfilaklı Fitol	67
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	68
3.1. PATLAYICI SEÇİM KRİTERLERİ	68
3.1.1. Ekonomik Faktörler	69
3.1.1.1. Patlayıcının Maliyeti	69
3.1.1.2. Delgi Maliyeti	71
3.1.2. Patlayıcı	71
3.1.2.1. Patlayıcı Enerjisi	71
3.1.2.2. Yoğunluk.....	71
3.1.2.3. Duyarlılık	72

3.1.2.4. Raf Ömrü.....	72
3.1.3. Kaya ve Patlatma Koşulları	72
3.1.3.1. Şarj Çapı.....	72
3.1.3.2. Kaya Koşulları	72
3.1.3.3. Su Mevcudiyeti	73
3.1.3.4. Aktarma Oranı.....	73
3.1.4. Patlatma Sonuçları	73
3.1.4.1. Duman Karakteri.....	73
3.1.4.2. Gerekli olan parçacık boyutu	74
3.1.4.3. Çevresel Problemler	74
3.2. TÜRKİYE DE ÜRETİLEN PATLAYICI PORTFÖYÜ	74
4. BULGULAR.....	89
4.1. ANFO SEÇİMİ.....	91
4.1.1. Patlayıcının Enerjisi.....	92
4.1.2. Yoğunluk	93
4.1.3. Duyarlılık.....	93
4.1.4. Şarj Çapı	93
4.1.5. Kaya Koşulları	93
4.1.6. Duman Karakteri.....	94
4.1.7. Çevresel Problemler.....	94
4.1.8. Maliyet.....	94
4.2. SUYA DAYANIKLI ANFO (HEAVY ANFO) SEÇİMİ.....	96
4.2.1. Patlayıcının Enerjisi.....	96
4.2.2. Duyarlılık.....	97
4.2.3. Şarj Çapı	97
4.2.4. Kaya koşulları	97
4.2.5. Çevresel Problemler.....	98

4.2.6. Maliyet.....	98
4.3. EMÜLSİYON DİNAMİT (YEMLEME) SEÇİMİ	99
4.3.1. Patlayıcının Enerjisi	100
4.3.2. Detonasyon basıncı	101
4.3.3. Şarj Çapı	101
4.3.4. Suya Dayanıklılığı	101
4.3.5. Maliyet	102
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	104
KAYNAKLAR	106

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1. Patlayıcıların Sınıflandırılması	6
Şekil 2.2. Yüksek ve Düşük Patlayıcılar İçin Detonasyon ve Yanma	8
Şekil 2.3. Detonasyon Yapısı	15
Şekil 2.4. Patlayıcıların Detonasyonu İçin Yanma Hızı ve Basınç Eğrileri a) α basınç ile birlikte artıyor. b) α yüksek basınçlarda daha fazla artıyor.	16
Şekil 2.5. Parlamadan Detonasyona Geçiş	16
Şekil 2.6. Patlayıcılarda Tutuşmayı Gösteren Basit Model	18
Şekil 2.7. Patlayıcıların Dekompozisyon Hızına Sıcaklığın Etkisi	19
Şekil 2.8. Patlayıcı Maddelerin İnfilak İşlemleri	20
Şekil 2.9. İdeal İnfilak İşlemi	21
Şekil 2.10. İdeal Olmayan İnfilak İşlemi	22
Şekil 2.11.a) Patlatmada Enerjinin Bölüşümünü Gösteren Basınç – Hacim Eğrisi b) Bir Patlayıcının Basınç – Hacim Eğrisi	23
Şekil 2.12. Patlatmada Enerjinin Değişik Bölgelere Bölüşümü	23
Şekil 2.13. RDX İçin Farklı Te Sıcaklıklarında Ortaya Çıkan Q Değerleri	27
Şekil 2.14. Patlayıcılar İçin Reaksiyon Profiline Gösterimi	29
Şekil 2.15. Reaksiyon Hızında Sıcaklığın Etkisi	30
Şekil 2.16. ANFO nun Detonasyonunda Yoğunluğun Etkisi	36
Şekil 2.17. ANFO da Oksijen Balansının Enerji Kaybına Etkisi	37
Şekil 2.18. Mazot Miktarına Karşı Enerji Verimi (AN/FO)	38
Şekil 2.19. ANFO nun Hızına AN Pirillerinin Etkisi	38
Şekil 2.20. ANFO nun Hızına Nemin Etkisi	40
Şekil 2.21. Emülsiyon Patlayıcı Üretimi İçin Sürekli Proses	44
Şekil 2.22. Slurry Proses Diyagramı	56
Şekil 2.23. Elektrikli Kapsüllerin Yapısı	65
Şekil 2.24. Nonel Kapsüllerinin Yapısı	66
Şekil 3.1. Patlayıcı Madde Seçim Sonuçları	68

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1. Patlayıcıların İçinde Kullanılan Maddeler	31
Tablo 2.2. ANFO nun Hızına AN Porozitesinin Etkisi	39
Tablo 2.3. Emülsiyon Patlayıcıların Bileşenleri	44
Tablo 2.4. Emülsiyon Patlayıcılarda Kullanılan Ham Maddeler	45
Tablo 2.5. Emülsiyon Patlayıcı Ürünlerin Çeşitleri	45
Tablo 2.6. Bulk Emülsiyon Patlayıcının Bileşenleri	51
Tablo 2.7. İzinli Emülsiyon Patlayıcıların Bileşimi	51
Tablo2.8. İzinli Patlayıcılar İçin Kurşun Blok İlerlemesi(ml) ve Yoğunluğu(g/ml).....	52
Tablo 2.9. Emülsiyon, ANFO ve HANFO nun Karşılaştırılması	52
Tablo 2.10. Waterjel ve Slurry Patlayıcılarda Kullanılan Maddeler	54
Tablo 2.11. Waterjel ve Slurry Patlayıcıların Farklı Tiplerinin Bileşen Miktarları	54
Tablo 2.12. Waterjel Patlayıcıların İçerik Yüzdeleri	56
Tablo 2.13. Waterjel ve Slurry Patlayıcıların Özelliklerinin Karşılaştırılması	57
Tablo 2.14. İzinli Waterjel Patlayıcıların İçerik Yüzdeleri	59
Tablo 3.1. Yavaşçalar Firmasının Ürettiği Patlayıcılar ve Teknik Özellikleri.....	76
Tablo 3.2. Orica Firmasının Ürettiği Patlayıcılar ve Teknik Özellikleri	77
Tablo 3.3. Kırılıoğlu Firmasının Ürettiği Patlayıcılar ve Teknik Özellikleri.....	78
Tablo 3.4. Maxam Anadolu Firmasının Ürettiği Patlayıcılar ve Teknik Özellikleri	79
Tablo 3.5. Solar Firmasının Ürettiği Patlayıcılar ve Teknik Özellikleri	80
Tablo 3.6. Kapeks Firmasının Ürettiği Patlayıcılar ve Teknik Özellikleri	81
Tablo 3.7. Nitromak Firmasının Ürettiği Patlayıcılar ve Teknik Özellikleri	82
Tablo 3.8. MKE nin Ürettiği Patlayıcılar ve Teknik Özellikleri.....	83
Tablo 3.9. Yavaşçalar Firmasının Ürettiği Ateşleme Elemanları-1	84
Tablo 3.10. Yavaşçalar Firmasının Ürettiği Ateşleme elemanları-2.....	84
Tablo 3.11. Orica Firmasının Ürettiği Elektriksiz Ateşleme Elemanları	85
Tablo 3.12. Kırılıoğlu Firmasının Ürettiği Elektriksiz Ateşleme Elemanları	86
Tablo 3.13. Maxam Firmasının Ürettiği Elektriksiz Ateşleme Elemanları.....	86
Tablo 3.14. Solar Firmasının Ürettiği Elektriksiz Ateşleme Elemanları	87
Tablo 3.15. KAPEKS Firmasının Ürettiği Elektriksiz Ateşleme Elemanları	87
Tablo 3.16. Nitromak Firmasının Ürettiği Elektriksiz Ateşleme Elemanları	88
Tablo 4.1. Patlayıcı Miktarları ve Ateşleme Bilgileri.....	90
Tablo 4.2. ANFO Ürün Portföyü	92
Tablo 4.3. Tablo 4.2. deki Patlayıcı Maddelerin Kriterlere Göre Tercih Edilebilirliği.....	95
Tablo 4.4. Suya Dayanımlı ANFO(heavy ANFO) Ürün portföyü.....	96
Tablo 4.5. Tablo 4.4. deki Patlayıcı Maddelerin Kriterlere Göre Tercih Edilebilirliği.....	99
Tablo 4.6. Emülsiyon dinamit ürün portföyü.....	99
Tablo 4.7. Tablo 4.6. deki Patlayıcı Maddelerin Kriterlere Göre Tercih Edilebilirliği.....	103

SEMBOL LİSTESİ

ANFO	: amonyum nitrat + fueloil karışımı patlayıcı madde
P_d	: detonasyon basıncı(kbar)
SG_e	: patlayıcı yoğunluğu(g/cm^3)
V	: detonasyon hızı(ft/sn)
B	: özgül enerji
N	: reaksiyon ürünlerin özgül hacimleri
R	: gaz katsayısı
T	: reaksiyon sıcaklığı ($^{\circ}K$)
E	: enerji yoğunluğu
I	: enerji akısı
D	: detonasyon hızı
r	: liner yanma hızı
P	: bileşimin herhangi bir anındaki basınç
β	: yanma hız katsayısı
α	: yanma hız indeksi
T_1	: baloncukların başlangıç sıcaklığı
P_1	: baloncukların içindeki başlangıç basıncı
P_2	: baloncukların içindeki son basınç
Y	: özel ısı oranı
Q	: patlama ısısı
T_e	: maksimum patlama sıcaklığı
T_i	: ateşleme sıcaklığı
C_v	: sabit hacimde molar ısı kapasitesi
P_e	: maksimum statik basınç
V_i	: kapalı kabın hacmi
n	: üretilen gazın mol sayısı
F	: güç sabiti
E	: aktivasyon enerjisi
A	: çarpışma faktörü
VOD	: detonasyon hızı
N	: delik sayısı
W	: bir deliğe konulan patlayıcı miktarı
C	: patlayıcı madde fiyatı
D	: her delik için delme ve yükleme maliyeti
T_A	: A patlayıcısının maliyeti
T_B	: B patlayıcısının maliyeti
N_A	: A kullanılırsa delik sayısı
N_B	: B kullanılırsa delik sayısı
W_A	: bir deliğe konan A patlayıcısı(kg/delik)
W_B	: bir deliğe konan B patlayıcısı(kg/delik)
d_A	: A patlayıcısının ağırlıkça gücü
d_B	: B patlayıcısının ağırlıkça gücü
S_A	: A patlayıcısının yoğunluğu
S_B	: B patlayıcısının yoğunluğu

ÖZET

TİCARİ PATLAYICI MADDELER VE PATLAYICI SEÇİMİ

Verimli bir patlatma için patlayıcı seçimi en başta gelen kriterlerdendir. Bu çalışmada Cebeci taş ocağında yapılan patlatmalar için patlayıcı seçimi yapılmıştır. Patlayıcı mühendislerinin patlatmanın nasıl gerçekleştiğini bilmesi patlatmayı analiz etmede önemlidir. Bu bakımdan bölüm 2 de patlamanın nasıl gerçekleştiğine ve patlamanın kimyasına değinilmiştir. Ayrıca ticari patlayıcı maddelerin içerikleri, üretimleri ve fiziksel özellikleri detaylı bir şekilde bahsedilmiştir. Bölüm 3 de ise Türkiye de üretilen ticari patlayıcı maddelerin ürün portföyleri açıklanmıştır.

Patlayıcı seçimi yaparken patlayıcının maliyeti, patlayıcının özellikleri, kaya koşulları ve patlatma sonuçları dikkate alınmıştır. Bu kriterlere göre Türkiye deki ürün portföyünden patlayıcı seçimi yapılmıştır. Bu çalışmada endüstriyel patlatma uygulamalarında mevcut patlayıcı portföyünden en verimli ve ekonomik patlayıcıyı seçebilmek amaçlanmıştır.

SUMMARY

INDUSTRIAL EXPLOSIVES AND EXPLOSIVE SELECTION

Explosive selection for an efficient blasting is one of foremost the criteria. In this study explosives selection for blasting was performed in the Cebeci quarry made. Knowing how to detonate occurs of explosive engineering is important for analyze of the blasting. In this regard, Chapter 2 how the explosion occurred and the chemistry are mentioned. Also, the content of commercial explosives, manufacturing and physical properties are referred in detail. Chapter 3 is described the product portfolio of commercial explosives produced in Turkey.

When selecting explosives; the characteristics of explosive, the cost of explosives, the rock conditions and the blasting results are taken into account. According to the criterias were made explosive selection from the product portfolio in Turkey. In this study, we aimed to choose the most efficient and economical explosive from existing explosive portfolio in Turkey for industrial blasting applications.

1. GİRİŞ

Avrupa da 17. yüzyılın başlarında kara barutun bulunmasıyla kaya gevşetme olayında yakma işlemi yerine patlatma işlemi kullanılmaya başladı. Kara barutun bulunmasıyla kaya gevşetme işlemleri hızlandı ve kara barut yaygın olarak kullanılmaya başlandı. Kara barutun yemleme işlemi başlangıçta zordu. William Bickford un 1831 de emniyetli fitili bulmasıyla kara barutun yemleme işleminin emniyet ve güvenilirliği arttı. Piyasada daha güçlü patlayıcılara talebin artmasıyla yeni patlayıcıların gelişimi hız kazandı. 1846 yılında Ascanio Sobrero nitrogliserini keşfetti. Yalnız nitrogliserinin tek başına kullanımı çok riskli idi. Alfred Nobel bu problemi çözdü. 1867 yılında kapsülü keşfetti ve kapsüller nitrogliserinin yemlenmesinde emniyetli fitil ile birlikte kullanıldı. Daha sonra Alfred Nobel nitrogliserini kiselgura absorbe ettirerek dinamiti keşfetti. 1875 yılında nitroselülozu nitrogliserin içinde çözdürerek jelatinli patlayıcıların ortaya çıkmasını sağladı. 1955 yılında ANFO nun bulunmasıyla ticari patlayıcıların ürün portföyü genişledi. ANFO da bulunan eksiklerden dolayı 1980 lere kadar dinamit ticari patlayıcı sektöründe başı çekti. Yalnız dinamitten daha güvenli ve ucuz ürünlere ihtiyaç vardı. Bu sebeple esas maddesi amonyum nitrat olan slurry ve emülsiyon patlayıcılar geliştirildi. Son zamanlarda ANFO, slurry ve emülsiyon patlayıcılar daha çok tercih edilmektedir.

Dünya da patlayıcı gelişimi yukarıda anlatıldığı gibi gelişirken, ülkemizde ise 1988 yılına kadar MKE bünyesinde dinamit üretimi yapılmıştır. 1988 yılında yabancı firmalar öncülüğünde slurry ve emülsiyon patlayıcılar üretilmiştir. Piyasada şu anda ANFO, slurry, emülsiyon ve dinamit üretimi yapılmaktadır. Bu çalışmada üretilen ürünler fiziksel özellikleri ile birlikte 7. Bölümdeki tablolarda gösterilmiştir.

Patlatma detaylı bir konu olup, patlatmadan elde edilecek sonuç, seçilen patlayıcı madde, patlatılacak kaya ya da kütlenin özellikleri, patlatma geometrisi ve zamanlamasının birlikte fonksiyonudur. Bir patlatmanın verimli sonuçlanması kaya tipi, patlayıcı madde, dizayn değişkenlerinin birbirine uygunluğuna bağlıdır.

Bu çalışmanın amacı patlayıcı seçiminde önemli parametreleri belirlemek ve uygun patlayıcı seçimini yapmaktır. Ayrıca bu tez de patlamanın oluşumu, patlayıcıların termokimyası, ticari patlayıcıların fiziksel özelliklerine ve kimyasına da değinilmiştir.

2.GENEL KISIMLAR

2.1. PATLAYICI MADDE

Ticari patlayıcılar kayayı ve diğer malzemeleri kırmak için ateşleyici tarafından kullanılan enerjik malzemelerdir. Genel olarak patlayıcılar şu şekillerde tanımlanabilirler.

- Patlayıcılar ısı, şok, etki, sürtünme veya bunların birleşimiyle başlatılan kimyasal bileşikler veya karışımlardır.
- Patlayıcılar kapsül veya yemleme ile başlatılan detonasyon ile çok hızlıca dekompose olurlar.
- Patlayıcılar uygun bir şekilde başlatıldığı zaman kendi kendine devam eden bir ekzotermik reaksiyonla büyük basınçta gaz ve ısı açığa çıkarırlar. Üretilen sıcaklık 3000-5000 °C arasındadır. Gaz hacmi ise maddenin orijinal hacminin 12000-15000 katı kadar genişlemektedir. Patlama süresi, kuvvetli gürültü ve şok ile birlikte birkaç mikro saniyede gerçekleşir.

Patlayıcılar içeriğinde çok büyük miktarlarda kimyasal enerji bulunduran enerjik maddelerdir. Bu enerji detonasyon prosesi ile ortaya çıkar. Detonasyon ekzotermik kimyasal reaksiyon ile meydana gelen şok dalgasıdır.

Her patlayıcı kendisini diğer patlayıcılardan ayıran özel karaktere sahiptir. Patlayıcıların tipik özelliği detonasyon hızı, detonasyon basıncı, açığa çıkan enerji ve üretilen gaz miktarlarıdır.

Patlayıcı reaksiyonlarının tamamı büyük miktarlarda ısı açığa çıkarır. Isının hızlı bir şekilde açığa çıkması reaksiyonun gaz ürünlerinin genişlemesine ve yüksek basınçlar üretmesine sebep olur. Ortaya çıkan yüksek basınçlı gazların hızlı ortaya çıkışı patlamayı oluşturmaktadır. Yeteri kadar hızlı olmayan bir ısının açığa çıkması

patlamaya sebep olmadığı bilinmektedir. Örneğin, kömür nitrogliserinin 5 katı kadar ısı açığa çıkarmasına rağmen kömür bir patlayıcı değildir. Çünkü verdiği ısının hızı oldukça yavaştır.

Reaksiyon hızı bir patlayıcı reaksiyonu diğer tutuşma reaksiyonlarından ayırmaktadır. Patlayıcı reaksiyonu yüksek hızlarda meydana gelir. Reaksiyon hızlı bir şekilde meydana gelmezse termal olarak genişleyen gazlar yavaş bir şekilde dağılır ve patlama gerçekleşmez. Patlayıcının sahip olduğu temel özellikler şunlardır:

- 1) Patlayıcıda oluşan kimyasal reaksiyonun etkisiyle potansiyel enerji
- 2) Uygun bir başlama ile hızlı dekompozisyon
- 3) Büyük miktarlarda açığa çıkan enerji ile aynı anda oluşan gazlar

Patlayıcıların araştırması bu özelliklerin çalışmasını kapsar. Örneğin, potansiyel enerjinin araştırılması söz konusu kimyasal bileşiğin termokimyasal çalışmasını içermektedir. Bundan ayrı olarak patlayıcının güç ve hassasiyeti ısının oluşumu ve patlama ısısı gibi özelliklere bağlıdır. İkinci özelliğin araştırması ise patlama dalgalarının yayılma hızının ölçümünü içermektedir. Bu dekompozisyon hızı büyük ölçüde oluşan basıncı belirler ve aynı zamanda dekompozisyon hızı kuvvetli ve zayıf patlayıcıları belirlemek için kullanılır. Üçüncü özelliğin araştırılması ise patlamaya götüren reaksiyonların çalışmasından bahsedilmektedir.

Kuvvetli patlayıcıların hızlı reaksiyona girmesi detonasyon olarak adlandırılırken, patlayıcıların yavaş reaksiyonu deflagration ve yanma olarak isimlendirilir. Patlayıcılar yanma, deflagration ve detonasyona uğrayabilirler. Bunu belirleyen patlayıcının doğası, ateşleme şekli ve sıkıştırma gibi sebeplerdir. Bir patlayıcının dekompozisyon başlangıcı alev ile başladığı zaman basitçe yanar. Fakat sıkıştırılırsa hızlıca yanar ve olay detonasyona dönüşebilir. Patlayıcının detonasyonu şok enerjisi tarafından sağlanabilir. Hızlı bir reaksiyon veya detonasyon, yakıt ve oksijen içeren maddelerin birleşimiyle meydana gelir.(Agrawal, 2010)

2.1.1. Patlayıcıların Sınıflandırılması

Patlayıcıların maden ve tünel alanlarında geniş uygulama sahası vardır. Kaya parçalanması için patlayıcının kullanılması farklı koşullarda gerçekleşir. Bu yüzden birçok çeşitleri vardır. Şekil 2.1 de patlayıcıların sınıflaması gösterilmiştir.

2.1.1.1. Kuvvetli Patlayıcılar

Bu patlayıcılar reaksiyon hızları çok yüksek ve büyük basınçlar üreten patlayıcılar olarak karakterize edilirler. Detonasyon hızı 1800 m/s hızı aşanlar bu sınıfa girerler. Çoğu ticari patlayıcılar ve özellikle amonyum nitrat esaslı olanlar yüksek detonasyon hızları ve gaz basınçları nedeniyle bu sınıfa girerler. Bunlar üç kısma ayrılır. Birincil patlayıcılar, ikincil patlayıcılar ve üçüncül patlayıcılardır.

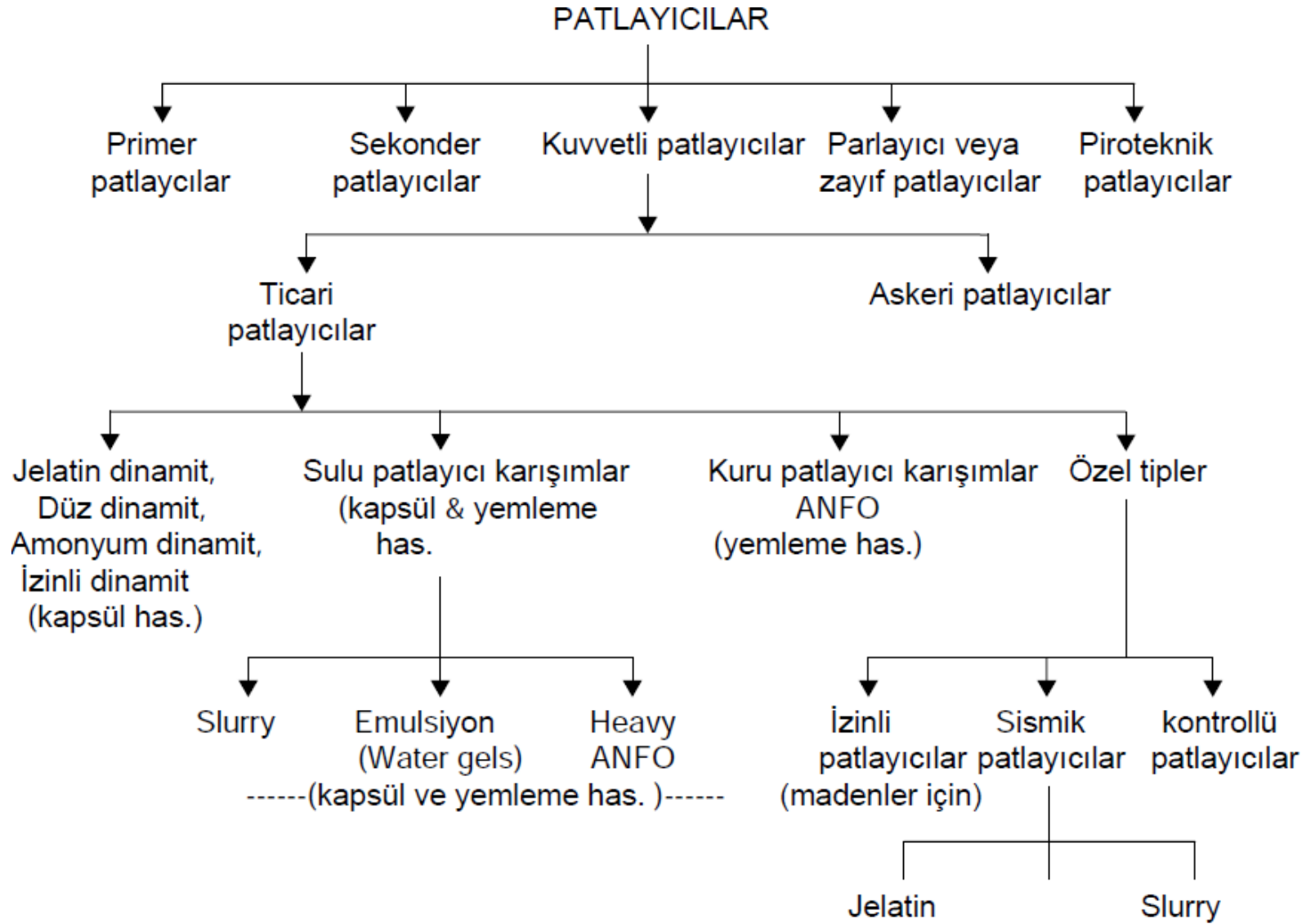
2.1.1.2. Birincil Patlayıcılar

Bu patlayıcılar çok hassas materyallerdir. Sürtünme, şok, alev ve darbe ile kolayca patlayabilirler. Birincil patlayıcıları kullanmak tehlikelidir. Kullanılacağı zaman az miktarlarda kullanılır. Birincil patlayıcılar genellikle kapsüllerde kullanılır. Kurşun azid, gümüş azid ve cıva fulminat örnek verilebilir.

2.1.1.3. İkincil Patlayıcılar

İkincil patlayıcıların mekanik etkiye ve aleve karşı hassasiyetleri azdır. Fakat kendisiyle kullanılan birincil patlayıcının oluşturduğu patlama şoku ile şiddetli bir şekilde patlarlar. İkincil patlayıcıların patlatılması için yemleme veya kapsülle patlamayı başlatmak gereklidir.

İkincil patlayıcılarla birincil patlayıcılar arasındaki en önemli fark birincil patlayıcılar alevle patlayabilirlerken ikincil patlayıcılar şok dalgası ile patlatılması gereklidir. Birincil patlayıcıların en önemli özelliklerinden biri hızlı deflagration-detonasyon geçiştir. Bu hızlı geçiş birincil patlayıcıların gücünün sebebidir. Bu sürenin hızlı olması kazalara de sebep olduğu için bu durum, birincil patlayıcıların dezavantajını ortaya çıkarmaktadır.



Şekil2.1.Patlayıcıların Sınıflandırılması(Tatiya, 2005)

2.1.1.4. Üçüncül Patlayıcılar

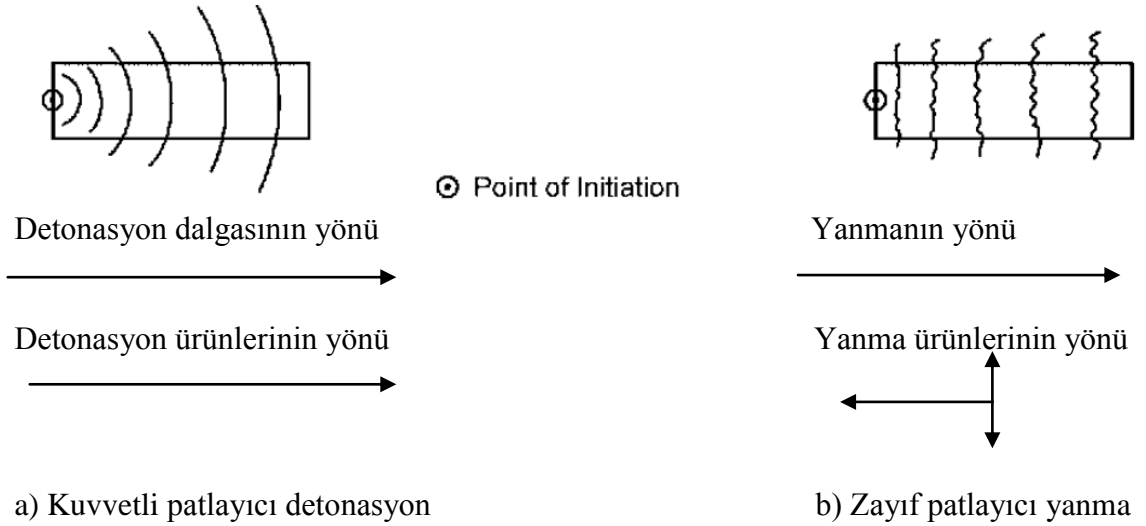
Başlıca okside edici amonyum nitrat, amonyum perklorat ve amonyum dinitramit gibi maddelerdir. Bu patlayıcılar alev, sürtünme ve darbe etkileriyle patlatılamazlar.

Patlayıcılar aynı zamanda homojen ve heterojen patlayıcılar olarak da ayrılırlar. Birincil ve ikincil patlayıcılar homojen sınıfına girerken, kimyasalların karışımından oluşan üçüncül patlayıcılar heterojen patlayıcı sınıfına girerler.

2.1.1.5. Zayıf Patlayıcılar ve Yayılma

Yayılma patlayıcı maddenin tamamını reaksiyona girene kadar patlayıcıda devam eden detonasyon prosesi olarak tanımlanır. Ateşleme tek başına yayılmayı sağlayamaz. Yayılmayı sürdürebilmek için reaksiyonun sonuna kadar patlayıcı dekompozisyonunda süreklilik olmalıdır. Bu olay en iyi silindirik şarjda çevreye verilen ısı kayıpları, şarj boyunca detonasyon dalgalarının oluşturduğu ısıdan daha az ise gerçekleşir. Arrhenus eşitliğini takip eden kimyasal reaksiyonu hızlandıran net ısı enerjisi kazancı vardır. Isı transferi reaksiyon tarafından üretilen ekzotermik ısıya ulaşamadığı sürece kazanılan ısı üretimi kendi kendini devam ettiren durumları çoğaltacaktır. Basınç ve sıcaklık hızlıca artarak detonasyona götürür.

Zayıf patlayıcılar kuvvetli patlayıcılardan dekompozisyon yönünden ayrılırlar. Zayıf patlayıcılar yavaşça ve düzenli bir şekilde yanarlar. Tutuşmada zayıf patlayıcılar büyük miktarlarda kontrol edilebilir bir şekilde gaz oluştururlar. Kuvvetli patlayıcıların detonasyonu ile zayıf patlayıcıların yanması veya deflagration arasındaki farkı nitelik olarak Şekil 2.2. açıklamaktadır.



Şekil 2.2. Kuvvetli ve Zayıf Patlayıcılar için Detonasyon ve Yanma (Agrawal, 2010)

Patlayıcı ateşleme noktasından detonasyon dalgası şeklinde hızlı fizikokimyasal dönüşümü gerçekleştirerek reaksiyona girer. Detonasyon ürünleri de aynı yönde ilerler. Bu yüzden dalganın arkasında düşük basınç oluşturma eğilimi vardır. Bu durum kuvvetli patlayıcılar patladığı zaman detonasyonun dışında oluşan zararı açıklamaktadır. Oluşan düşük basınç patlama etkisi kadar zarara sebebiyet verebilir. Detonasyon dalgasının hızı detonasyon hızı olarak bilinir ve değeri 3000 ile 9500 ms^{-1} arasında değişmektedir. Zayıf patlayıcılar kağıt ve odun gibi tutuşabilir maddelerden daha hızlı yanarlar. Yanmanın yönü ateşleme noktasından bir yöne doğru ilerler. Fakat yanma ürünleri yanmanın yüzeyinden herhangi bir yöne hareket edebilirler. Detonasyon gibi düşük basınç durumu oluşmaz. Deflagration hızlı yanma olarak bilinir ve yanma hızı $600-1000 \text{ ms}^{-1}$ değerleri arasında değişmektedir. (Agrawal, 2010)

Patlayıcıların oluşum ısısı patlayıcının özelliklerinin değerlendirilmesi ve kimyasal karakterlerini anlamamızı sağlayan temel özelliklerindedir. Bir kimyasal reaksiyonda reaksiyona girenlerin oluşum ısısı ile ürünlerin oluşum ısısı arasındaki fark reaksiyonun oluşum ısısı olarak adlandırılır. Patlayıcı hızlı bir şekilde yanmaya başladığı zaman açığa çıkan enerji parlama ısısı olarak adlandırılır. Patlayıcının detonasyonu esnasında açığa çıkan enerji detonasyon ısısı veya patlama ısısı olarak adlandırılır. (Blasters' handbook, 2011)

2.2. PERFORMANS KARAKTERLERİ VE ÖZELLİKLERİ

Patlayıcıların kalitesini iki önemli özellik göstermektedir. Bunlar fiziksel özellikleri ve performans karakterleridir. Ürün seçiminde bu özellikler kıstas alınır. Ürün seçimleri bu özellikler kıstas alınarak prosesi ilerletmeyi ve parçalanmayı optimize etmek için yapılır. Patlayıcı özellikleri ve performans karakterlerinden sırasıyla bahsedilecektir.

2.2.1 Delik İçi Basıncı

Delik içi basıncı reaksiyon ürünlerinin deliğin hacmini kapladıklarında delik çeperine uygulanan basınçtır. Delik içi basıncı, detonasyon basıncı ile karıştırılmamalıdır. Teorik olarak detonasyon basıncının %45-50 değerlerindedir. Patlamada etkili delik içi basıncı patlayıcının delik içini nasıl doldurduğuna bağlıdır.

2.2.2. Etkisiz Basınç

Etkisiz basınç bir saha işlev bozukluğu olayıdır. Patlayıcı ürün yoğunluğunun kritik yoğunluğun üzerine çıkararak basınçlarla karşılaştığı zaman meydana gelir. Bu yüzden etkisiz basınç, bir duyarsızlaştırma prosesidir. Etkisiz basınç genellikle yan delikteki patlayıcının detonasyon dalgası patlayıcıyı sıkıştırdığı zaman meydana gelir. Yüksek hidrostatik basınç da aynı zamanda ürünün yoğunluğunu artırarak duyarsızlaşmasına sebep olabilmektedir. Hassaslaştırıcı olarak cam ve fenol mikro baloncuk kullanan patlayıcılar basınçtan daha az etkilenirler. Bunun limiti baloncukların parçalanmasına sebep olan basınçtır. Şu andaki ticari patlayıcılar normal basınçlarda detone olacak şekilde tasarlanmışlardır.

2.2.3. Yoğunluk

Yoğunluk terimi patlayıcıların kullanımında ve uygulamasında iki farklı şekilde uygulanmaktadır.1) kritik yoğunluk 2) patlayıcı yoğunluğu

2.2.3.1. Kritik Yoğunluk

Genel olarak bilinen patlayıcının yoğunluğu artarken hassasiyetinin azalmasıdır. Bütün patlayıcılar patlamanın gerçekleşebileceği yeterli hassasiyete sahip olan maksimum yoğunluğa sahiptirler. Bu değere kritik yoğunluk denir. Patlayıcının hassasiyeti yoğunluk artarken patlama yeteneğini kaybedecek seviyeye kadar düşebilir. Kritik yoğunluğun üzerinde patlama olmayacaktır.

2.2.3.2. Patlayıcı Yoğunluğu

Yoğunluk patlayıcının en önemli özelliklerinden biridir. Yoğunluk bir patlayıcının deliğin içine ne kadar yüklenebileceğini belirleyen özelliktir. Yoğunluk aynı zamanda hassasiyet, VOD ve patlayıcının kritik çapı gibi performans özelliklerini de etkiler.

2.2.4. Detonasyon Basıncı

Detonasyon basıncı reaksiyon bölgesinin başlangıcındaki basınç olarak görülmektedir. Detonasyon basıncı matematiksel olarak ürün yoğunluğunun, detonasyon hızının ve detonasyonun ön cephesindeki reaksiyona giren patlayıcının parçacık hızının toplamıdır. Yoğunluğu 1 gram/cm³ ün üzerinde olan sıkıştırılmış patlayıcılar için parçacık hızı değeri detonasyon hızının dörtte biri kadardır. Detonasyon basıncının formülü 2.1. denkleminde belirtilmiştir.

$$P_d = 4.18 \times 10^{-7} \times SG_e \times V^2 / (1 + 0.8 \times SG_e) \quad (\text{Kuzu, 2012}) \quad (2.1.)$$

P_d = detonasyon basıncı(kbar)

SG_e = patlayıcı yoğunluğu(g/cm³)

V = detonasyon hızı(ft/sn)

Detonasyon basıncı malzemede oluşan basınç seviyesini gösteren önemli bir özelliktir. Yumuşak ve boşluklu bir kaya patlatıldığı zaman düşük detonasyon basıncına sahip patlayıcı kullanmak gereklidir. Çünkü yüksek şok dalgaları büyük miktarlarda enerji kaybına ve titreşime neden olacaktır.

2.2.5. Çap

Çap da aynı yoğunluk gibi kritik çap ve patlayıcı çapı olarak değerlendirilmektedir.

2.2.5.1. Kritik Çap

Her patlayıcı kendisinin patlayabileceği minimum bir kritik çapa sahiptir. Kritik çap sıkıştırılmaya, yoğunluğa ve patlayıcının tanecik boyutuna bağlıdır. Sıkıştırılmış kritik çap sıkıştırılmamış kritik çaptan daha küçüktür. Diğer parametreler sabit ise kritik çap tanecik boyutu azalır azalmaktadır.

2.2.5.2. Patlayıcı Çapı

Patlayıcı çapı bir patlayıcı kartuşunun enine kesit alanın genişliğidir. Patlayıcı çapı arttığı zaman detonasyon hızı da bir limit değere kadar artıyor. Bu değerinde ideal detonasyon hızı değerine ulaşıyor.(Blasters' handbook, 2011)

2.2.6. Viskozite

Viskozite akış karakterinin, fiziksel uygunluğun ve patlayıcı ürünün yapısının bir tanımıdır. Viskozite daha çok su esaslı patlayıcıları tanımlamak için kullanılır. Viskozite akış sürtünmesinin veya ürün kıvamının bir ölçüsüdür. Kullanılan jelleştiricinin çeşidi ve bağlayıcının miktarı emülsiyonların ve jellerin viskozitesini belirlemektedir. Ürünler özel uygulamaların gereksinimlerini karşılayacak şekilde üretilmektedirler.

2.2.7. Hassaslık

Patlayıcının şok, alev, tutuşma veya başka bir dış etkiyle patlayabilme yeteneği onun fiziksel karakterini tanımlıyor. Patlayıcının şok ile ateşleme hassasiyeti patlayıcının detone olmasının kolaylığını ifade etmektedir. Aynı zamanda aldığı basınç etkisinin süresine ve büyüklüğüne bağlıdır. Bazı patlayıcılar bir kapsül tarafından patlatılırken bazıları yemlemeye ihtiyaç duymaktadırlar.

2.2.8. Raf Ömrü

Patlayıcı maddeler genellikle uzun süre depolarda bekletildikleri için, patlayıcı maddelerin depolama ömrü büyük önem taşımaktadır. Nitrogliserin esaslı patlayıcılar uzun süre depolarda bekletildiklerinde bünyelerinde bulunan hava kabarcıkları kısmen veya tamamen ayrılarak patlayıcının ateşleme hassasiyetini ve patlama özelliğini bozar. Bu nedenle bu tür patlayıcılar yüksek sıcaklıklarda depolanmamalıdır. Yüksek sıcaklıklarda depolama yapılırsa, patlayıcı yumuşar ve bünyesindeki tuz kartuş kağıdın içine nüfuz ederek bozulma meydana gelir. Depolama sıcaklığı 32 °C yi geçmemelidir. 32 °C amonyum nitrat içinde kritik sıcaklıktır.

2.2.9. Sıcaklık

Sıcaklığın detonasyon hızında ve ateşleme hassasiyetinde etkisi vardır. Ürünün sıcaklığı azaldığı zaman hassasiyeti de azalır.

2.2.10. Detonasyon Hızı

Detonasyon hızı patlayıcının kolon boyunca detonasyon dalgasının ilerlediği hızdır. Ticari patlayıcıların hızları geniş deliklerde ve iyi sıkıştırma ile optimum seviyelere ulaşır. İdeal detonasyon şok dalgasının arkasındaki reaksiyon bölgesinin boyutu ile kontrol edilebilir. Reaksiyon bölgesi küçük ise patlayıcı tarafından üretilen enerjinin tümü detonasyon dalgasını destekleyebilecektir. Bölge geniş ise detonasyonun önündeki şok dalgasını arkasından gelen dalgalar bölgeye yayılacak ve şok dalgalarına destekleri az olacaktır. Aşağıdaki faktörler detonasyon hızını etkiler. (Blasters' handbook, 2011)

- Patlayıcı tipi
- Çap ve sıkıştırma
- Sıcaklık
- Ateşleme başlangıcı

2.2.11. Patlayıcının Gücü

Patlayıcının gücü onun faydalı iş yapabilme yeteneğinin ölçüsüdür. Aynı zamanda patlayıcının potansiyeli olarak da tanımlanabilir. Sabit hacimde bir patlama tarafından ortaya çıkan ısı miktarıdır.

Patlayıcının özgül enerjisi 2.2. denkleminde gösterilmektedir.

$$B = N \times R \times T \quad (2.2.)$$

olarak tanımlanmaktadır. Burada;

B : Özgül enerji

N : Reaksiyon ürünlerin özgül hacimleri

R : Gaz katsayısı

T : Reaksiyon sıcaklığı (°K)

olarak alınmaktadır. Patlayıcıların özgül enerjilerinin teorik olarak hesaplanması veya ölçülmesi sorun olmamaktadır. Değişik literatürde bu değerleri bulmak da olasıdır. Ama yeterli değildir. Çünkü, delik içerisine yerleştirdiğimiz patlayıcı maddeler değişik yoğunluklarda olduğu için, birim hacimde değişik miktarda patlayıcı kullanılması kaçınılmazdır. O zaman, özgül enerjiyi yoğunluk ile çarparsak;

$$E = B \times \rho \quad (2.3.)$$

Enerji yoğunluğu tanımını oluşturabiliriz. Bu parametre patlayıcının birim hacminin taşıdığı enerjiyi hesap etmemizi sağlar. Son olarak enerji yoğunluğunun da detonasyon hızı ile çarpılması, bize patlayıcı maddenin enerjiyi salma oranını bulmamızı temin eder.

$$I = E \times D \quad (2.4.)$$

Bu kavram bir anlamda patlayıcının kolonunun birim kesit alanından, birim zaman içinde geçen enerji miktarını işaret etmektedir ve bize oldukça yeterli bir kıyaslama parametresini vermektedir. (Erkoç, 1990)

2.2.12. Su Direnci

Patlayıcının su direnci suyla karşılaşan patlayıcının duyarsızlaşma etkisine karşı dayanıklılığının bir ölçüsüdür. Su direnci patlayıcı maddenin durgun suda saatlerce kaldıktan sonra hala patlayabilmesi olarak ifade edilebilir. Çoğu patlayıcı ürün su içine nüfuz ettiğinde etkisini biraz kaybetmektedir. Eğer uzun süre su ile muamele edilirse patlamayacak şekilde duyarsızlaşabilmektedirler.(Blasters' handbook, 2011)

2.3. TUTUŞMA, PARLAMA VE DETONASYON

2.3.1. Tutuşma

Tutuşma bir madde ile oksijen arasında gerçekleşen kimyasal reaksiyondur. Kimyasal reaksiyon çok hızlıdır ve oldukça ekzotermiktir. Tutuşma esnasında üretilen enerji yükselecektir. Tutuşma tutuşabilir maddelerin özelliklerine bağlı olan bir çok adımı içeren kompleks bir süreçtir. Düşük sıcaklıklarda tutuşabilir maddelerin oksidasyonu yavaşça meydana gelir. Bu sıcaklıklarda alev gözlenmez. Sıcaklık yükseldiği zaman oksidasyonun hızı artacaktır. Maddelerin sıcaklığı kendi tutuşma sıcaklıklarının üzerine yükseldiği zaman tutuşma meydana gelir.

Patlayıcı maddelerin tutuşma prosesi kendi kendini destekleyen, ekzotermik ve hızlı oksitleyici reaksiyon olarak tanımlanır. Patlayıcı maddeler tutuşma esnasında yüksek sıcaklıklarda gaz açığa çıkarırlar. Çevresindeki atmosferde oksijen olmadan kendi

kendini devam ettiren bir reaksiyondur. Patlayıcılar bileşimlerinde okside edici madde ve yakıtın ikisini birlikte içerirler. Detonasyon esnasında patlayıcıların tutuşma prosesi ses üstü hıza sahiptir.

2.3.2. Parlama

Bir madde sıkıştırılmamış bir ortamda alev, şok, sürtünme veya yüksek sıcaklık ile tutuşursa bu maddeler parlayan maddeler olarak sınıflandırılır. Bu maddeler sıradan tutuşabilir maddelerden daha hızlı ve daha şiddetli yanarlar. Patlayıcıların parlamasının başlama esnasında lokal sıcak bölgeler ya sıvı bileşimdeki boşlukların sıkıştırılmasıyla katı partiküller arasında sürtünmeyle veya ürünün plastik akışı aracılığıyla geliştirilir. Bu da sırasıyla ısıyı üretir ve patlamaya aracılık eder. Gaz fazında oldukça ekzotermik reaksiyon meydana gelir.

Parlayıcı olan madde sıkışmış ortamda başlatılırsa gaz ürünleri ortamdan ayrılamayacaktır. Sonuç olarak artan basınç ile parlama hızı da artacaktır. Eğer parlama hızı $1000-1800 \text{ ms}^{-1}$ değerlerine ulaşırsa zayıf detonasyon, değerler 4000 ms^{-1} değerine ulaşırsa kuvvetli detonasyon olarak adlandırılır. Bu yüzden sıkışmamış ortamda parlayan madde sıkışmış ortamda ve kuvvetli bir ateşleme yapıldığı zaman patlayacaktır.

Bileşimin yüzeyinin yanma hızı 'liner yanma hızı' aşağıdaki eşitlikten hesaplanır.

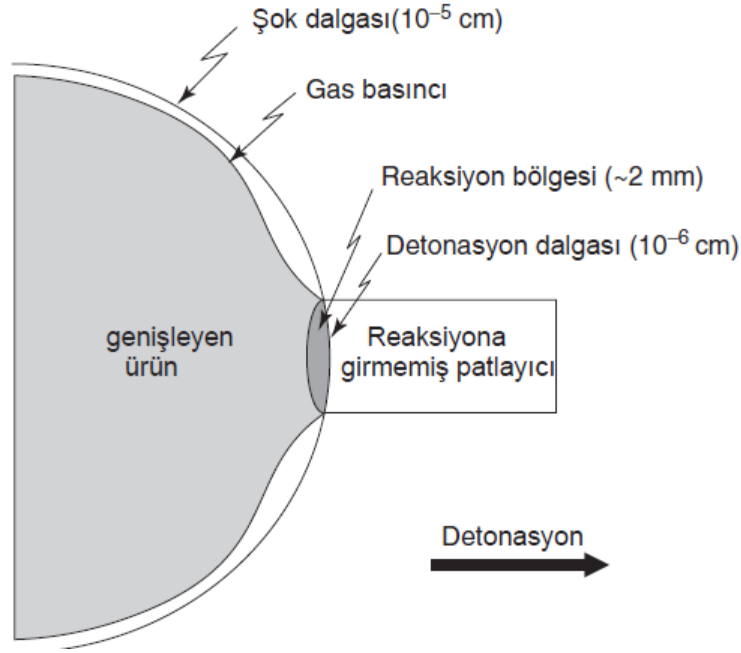
$$r = \beta \cdot P^\alpha \quad (2.5.)$$

Burada liner yanma hızı mm.s^{-1} , P bileşimin herhangi bir anındaki basınç, β yanma hız katsayısı ve α yanma hız indeksidir. Yanma hız katsayısı β , r ve P ye bağlıdır. Yanma hız indeksi α ise farklı basınçlarda patlayıcı maddelerin yakılmasıyla deneysel olarak bulunabilir. (Akhavan, 2004)

2.3.3. Detonasyon

Patlayıcı tetikleyici bir etki aldığı zaman hızlı ve devamlı ekzotermik reaksiyon meydana gelmesi detonasyon olarak adlandırılır. Reaksiyona giren maddede reaksiyon hızı ses hızının aşarsa sesten hızlı şok dalgası meydana gelir. Bu şok dalgası yayılır ve sonunda tüm patlayıcı reaksiyona girer. Dalga yayılırken şok dalgası yüksek basınca

ulaşır ve sonra basınç düşer. Sıkışmış dalgadaki şok dalgası aynı zamanda patlayıcıda ısı üretir. Şok dalgasının hemen arkasında kimyasal dekompozisyonun olduğu reaksiyon bölgesi vardır. Şekil 2.3 de detonasyonun nasıl gerçekleştiği gösterilmiştir. Oksijen ile birleşme ve dekompozisyonundan dolayı gaz ürünleri oluşur ve gaz ürünleri ısı sebebiyle hızlıca genişler. Bu hızlı genişleme patlamada önemli bir iş gücü sağlar. Şok dalgasının hızı $1500-9000 \text{ ms}^{-1}$ arasında değişmektedir. Ürünün reaksiyon hızı ürünün şok dalgasını ileteceği hız tarafından belirlenir.

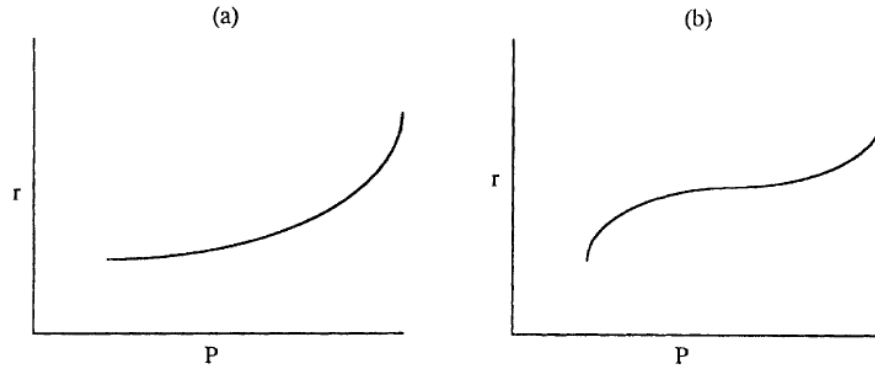


Şekil 2. 3. Detonasyon Yapısı(Mahadevan, 2013)

Detonasyon iki şekilde gerçekleştirilebilir. 1) yanmadan detonasyona 2) başlama şoku ile

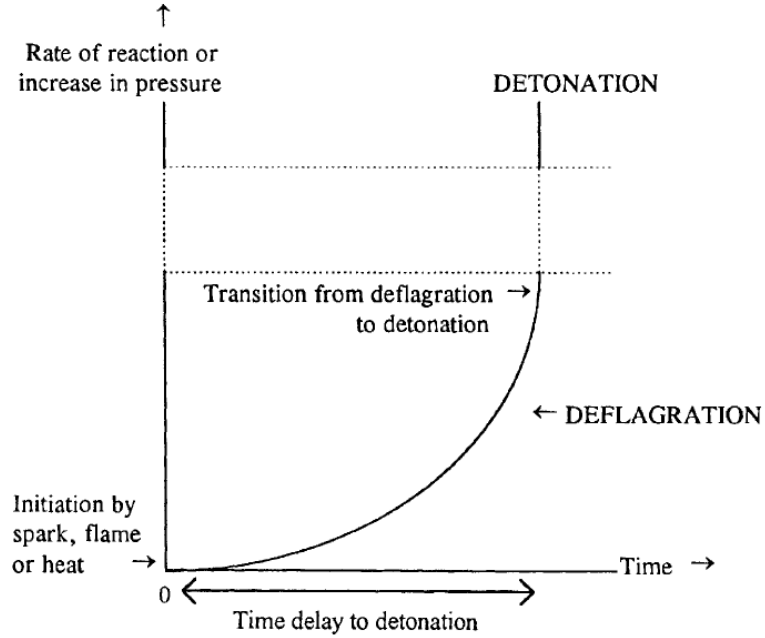
2.3.3.1. Yanmadan Detonasyona Geçiş

Yanmadan detonasyona geçiş patlayıcı maddenin bir tüp içerisinde sıkıştırılması ve tutuşturulması ile gerçekleşir. Patlayıcının kimyasal dekompozisyonundan üretilen gazın sıkıştırılması ile yanma yüzeyindeki basınçta bir artış meydana gelir. Bu da liner yanma hızının artmasına sebep olur. Liner yanma hızı yanan yüzeydeki basınç etkisiyle çok yükselerek ses hızını aşar. Bu da detonasyonla sonuçlanır. Patlayıcının detonasyonu için liner yanma hızı r deki artış ile basınç P deki artış Şekil 2.4 de gösterilmiştir. P ve r için değerler liner yanma hızı eşitliğinden alınmıştır.



Şekil 2.4. Patlayıcıların Detonasyonu İçin Yanma Hızı ve Basınç Eğrileri(Akhavan, 2004)a) α basınç ile birlikte artıyor. b) α yüksek basınçlarda daha fazla artıyor.

Bu yöntemle olan detonasyonda yanmanın başlangıcıyla detonasyonun başlaması arasında ciddi bir gecikme olacak. Bu durum Şekil 2.5 de gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Parlamadan Detonasyona Geçiş (Akhavan, 2004)

Bu gecikme patlayıcı bileşiminin doğasına, tanecik boyutuna, yoğunluğuna ve sıkıştırılma koşullarına göre değişir. Yanmanın detonasyona geçişindeki bu prensip gecikmeli füyelerde ve patlayıcı kapsüllerde değerlendirilir.

2.3.3.2. Şok ile Detonasyon

Patlayıcı maddeler aynı zamanda yüksek hızlı şok dalgasıyla karşılaştıklarında patlayabilirler. Bu metot ikincil patlayıcıları patlatmak için uygulanır. Birincil patlayıcıların detonasyonu bir şok dalgası üretecek ve kendisiyle temas halinde olduğu ikincil patlayıcıyı patlatacaktır. Şok dalgaları tanecikleri sıkışmaya zorlar. Bu da

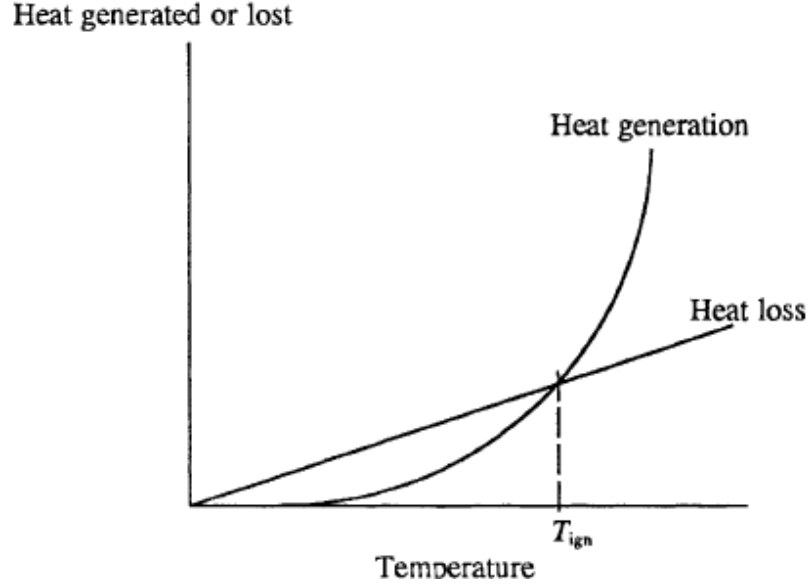
patlayıcı maddenin dekompozisyon sıcaklığının üzerine sıcaklığı çıkaracak adyabatik ısınmaya neden olur. Patlayıcı tanecikler şok dalgasını hızlandıracak ekzotermik kimyasal dekompozisyon oluştururlar. Patlayıcıdaki şok dalgasının hızı ses hızını aşarsa detonasyon gerçekleşecektir. Detonasyon başlaması aniden olmasa da gecikme mikro saniyelerdedir.(Akhavan, 2004)

2.4. TUTUŞMA, ATEŞLEME, TERMAL DEKOMPOZİSYON

Çoğu durumlarda kimyasal patlama dört safhada gerçekleşir. Bunlar ateşleme, parlamanın büyümesi, parlamadan detonasyona geçiş ve detonasyonun yayılmasıdır. Bazı durumlarda ateşleme doğrudan detonasyona götürebilir. Bu olay patlayıcıda büyük miktarda enerji üretebilecek ateşleme tetiklemesiyle meydana gelir. Sonra şok dalgasında adyabatik sıkışma ile üretilen ısı detonasyonla sonuçlanır. Ateşleme ile detonasyon özel formülasyonlu patlayıcılarda yüksek basınçlarda gerçekleşir.(Akhavan, 2004)

2.4.1. Tutuşma

Bir patlayıcı maddenin tutuşması tutuşma sıcaklığının üzerine maddeyi çıkaracak şekilde ısı vermekle mümkündür. Tutuşma sıcaklığı ateşlemenin kendi kendine sürdürebilmesi için gerekli olan minimum sıcaklıktır. Patlayıcı maddeler patlayıcıya enerji veren bir dış tetikleme hareketiyle tutuşturulurlar. Bu enerji patlayıcı sıcaklığını yükseltmektedir. Bu dış etki sürtünme, darbe, elektrik etkisi ve ısı şeklinde olabilir. Sıcaklık arttığı zaman üretilen ısının hızı üssel olarak artmaktadır. Fakat bu sırada meydana gelen enerji kaybı ise liner olarak artmaktadır. Tutuşma üretilen ısı kaybolan ısıdan daha büyük olduğu zaman tutuşma başlar. Şekil 2.6. grafiği T_{ign} tutuşma sıcaklığını gösteriyor.



Şekil 2.6. Patlayıcılarda Tutuşmayı Gösteren Basit Model(Akhavan, 2004)

Tutuşma genellikle patlayıcı maddenin parlamasıyla sonuçlanır. Fakat madde sıkıştırılmışsa veya parlama büyük miktarlarda ise reaksiyon detonasyonla sonuçlanır. Patlayıcıların ateşlenmesi genellikle termal proses olarak tanımlanır. Mekanik veya elektrik uyarı ısıya dönüştürülür. Isı, sıcak bölgeler oluşturan küçük bölgelerde toplanır.

2.4.1.1. Sıcak Bölgeler

Patlayıcı içerisinde sıcak bölgeler, detonasyon dalgasının yayılması ve ateşleme için gereklidir. Sıcak bölgelerin oluşumu enerji girişine ve patlayıcı bileşiminin fiziksel özelliklerine bağlıdır. Sıcak bölgelerin çapı 0.1-10 μm aralığında, süresi ise 900 $^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktan daha büyük derecelerde yaklaşık 10^{-5} - 10^{-3} s değerlerindedir. Sıcak bölgelerin oluşum mekanizması şöyle tanımlanabilir. Tetikleme enerjisi gaz baloncuklarını hapsederek adyabatik sıkışma ile ısıya dönüştürür. Üretilen ısı sıcak bölgeleri oluşturur. İdeal gazlar için gaz baloncukları içindeki sıcaklık T_2 aşağıdaki eşitlikte görüldüğü gibi sıkıştırılma oranına bağlıdır.

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\gamma-1/\gamma} \quad (2.6.)$$

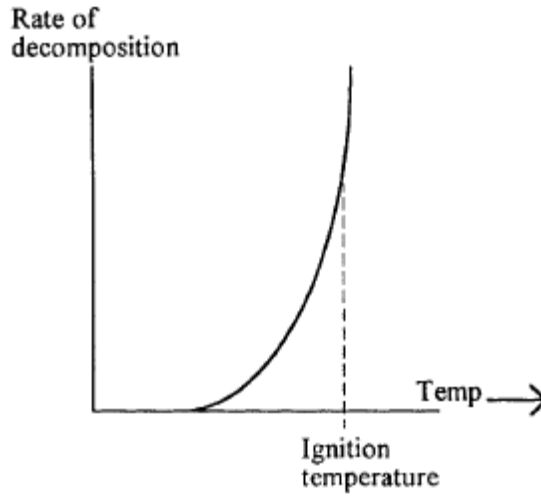
Burada T_1 baloncukların başlangıç sıcaklığı, P_1 ve P_2 baloncukların içindeki başlangıç ve son basınçlarıdır. γ ise özel ısı oranıdır. Eşitlikten başlangıç basıncı P_1 arttığı zaman baloncukun içindeki T_2 sıcaklığı azalacaktır. Gaz baloncukundaki minimum sıcaklık artışı tutuşmanın meydana gelmesi için 450 $^{\circ}\text{C}$ olmalıdır.

2.4.2. Patlayıcı Zinciri

Patlayıcı kompozisyonu patlayıcı zinciri vasıtasıyla patlatılabilir. Patlayıcı zinciri birincil patlayıcının ateşleme gücünün ana patlayıcıya iletilmesine ve ana patlayıcının patlamasına kadar devam eden bir prosestir. Neredeyse tüm patlayıcı zincirleri başlama bileşeni olarak birincil patlayıcılar kullanılır. Zincirde ikinci bileşen ana patlayıcının ateşlemesi için gerekli olan ateşleme tipine bağlıdır.

2.4.3. Termal Dekompozisyon

Tüm patlayıcı maddeler patlamanın meydana geldiği sıcaklıktan çok daha düşük sıcaklıklarda termal dekompozisyona uğrarlar. Termal dekompozisyon esnasında güçlü ekzotermik reaksiyonlar büyük miktarlarda ısı üretirler. Bu ısının bir miktarı çevreye yayılarak kaybolurken geriye kalan ısı ise patlayıcının sıcaklığını yükseltecektir. Üretilen ısının miktarı kaybolan ısıdan daha büyük olduğu zaman tutuşma meydana gelecektir. Şekil 2.7 deki grafik sıcaklık ile dekompozisyon hızını gösteriyor.(Akhavan, 2004)



Şekil 2.7. Patlayıcıların Dekompozisyon Hızına Sıcaklığın Etkisi(Akhavan, 2004)

2.5. PATLAYICI İNFİLAKI

2.5.1. Ticari Patlayıcıların İdeal İnfilak Davranışları

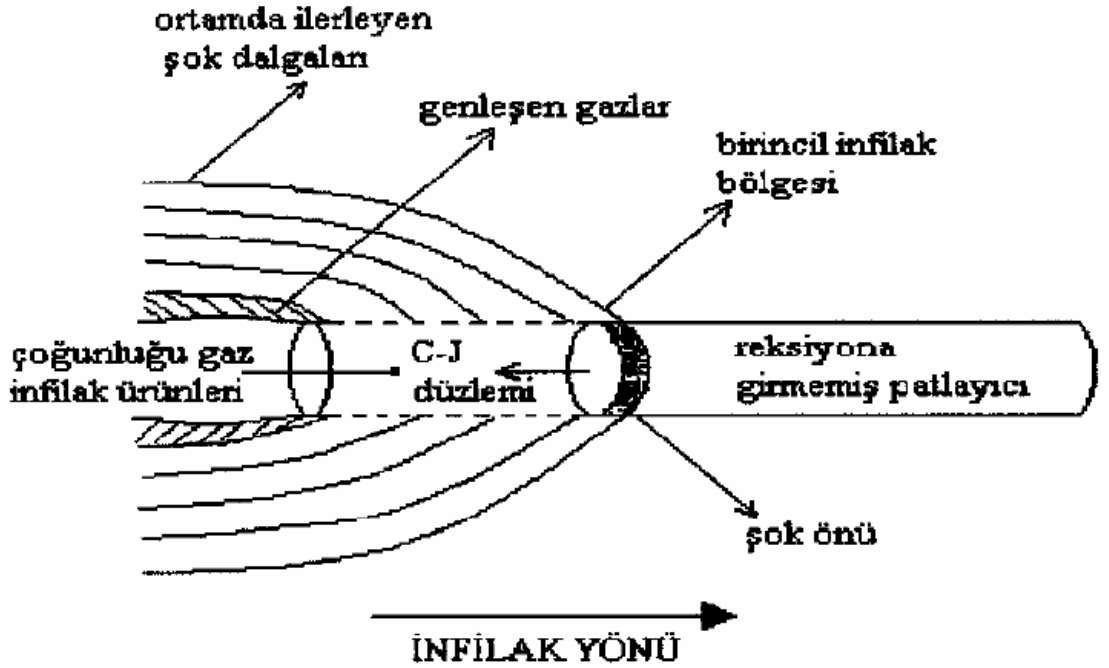
Patlamayı etkileyen en önemli parametreler; patlayıcı madde, kaya ve yüzey patlama tasarımıdır. Patlayıcı kaya etkileşim modelinin bilinmesi ve bu modele göre patlayıcı madde seçiminin yapılması patlatmanın verimini etkiler.

Patlayıcı kaya etkileşim modelinde tek boyutlu ve iki boyutlu infilak teorilerinin uygulanması ve patlayıcı maddenin kayayla etkileşiminin belirlenmesi önemlidir. Tek boyutlu infilak teorisinde, reaksiyonun birincil bölgede tamamlandığı ve şok önünün düz olduğu varsayılır. Ancak gerçekte şok tek boyutlu değildir. Ticari patlayıcıların performansı delik çapı ve ortam katılığı ile önemli derecede değiştiğinden, şok önü düz olmamaktadır. Ticari patlayıcıların ideal olmayan davranışları ancak iki boyutlu infilak teorisi ile açıklanabilir.(Bilgin ve Esen, 1998)

2.5.1.1. Patlayıcıların Performans Karakteristikleri

İnfilak, patlayıcı maddelerin kimyasal reaksiyona girerek şok dalgasını oluşturmasıdır. Şok dalgası akış özelliklerindeki (sıcaklık, basınç, yoğunluk, vb.) ani değişiklikleri gösterir. Bu nedenle şok dalgası süreksizlik olarak görülebilir.

İnfilak sırasında, kimyasal reaksiyon patlayıcı madde içerisinde süpersonik hızla ilerler. Şekil 2.8' deki tipik infilak işleminde görüldüğü gibi; birincil reaksiyon bölgesinin bir tarafı şok önü ile sınırlandırılır ve bu bölgede reaksiyon başlar. Bu bölgenin arkasında Chapman – Jouguet (C – J) düzlemi vardır. Tek boyutlu infilak modelinde bu düzlemde kimyasal reaksiyon tamamlanır.

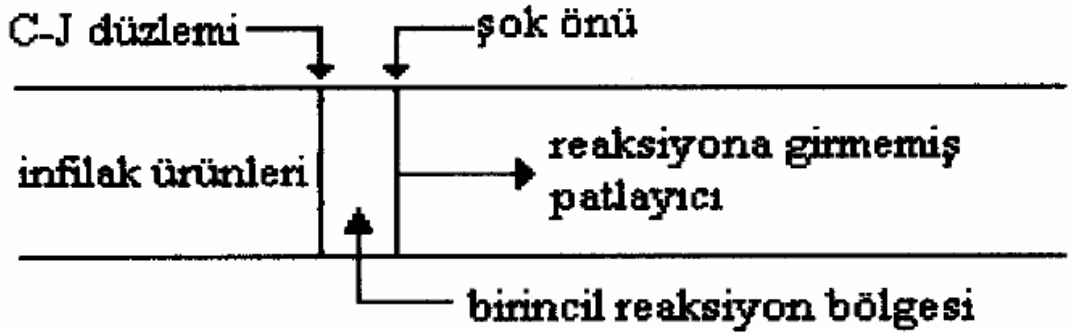


Şekil 2.8. Patlayıcı Maddelerin İnfilak İşlemleri(Bilgin ve Esen, 1998)

İdeal patlayıcılarda birincil reaksiyon bölgesi çok incedir. İdeal olmayan patlayıcılarda ise bu bölge daha kalındır. İdeal patlayıcıların basınç değerleri ideal olmayana göre daha yüksektir ve basınç daha kısa sürede sonlanır. İdeal olmayan patlayıcılar düşük basınç değerleri gösterirken, basınç uzun sürede sonlanır. Dolayısı ile ideal olmayan patlayıcılarda reaksiyon yavaş ve gaz hacmi daha yüksek olur.

2.5.1.2. İdeal infilak

Şok dalgası patlayıcı maddeyi ısıtır ve şok dalgasını destekleyen kimyasal reaksiyonun oluşmasını sağlar. Reaksiyon bölgesi birkaç mm kalınlığındadır. Patlayıcının tüm enerjisi tamamen bu bölgede aniden açığa çıkar.



Şekil 2.9. İdeal İnfilak İşlemi (Bilgin ve Esen, 1998)

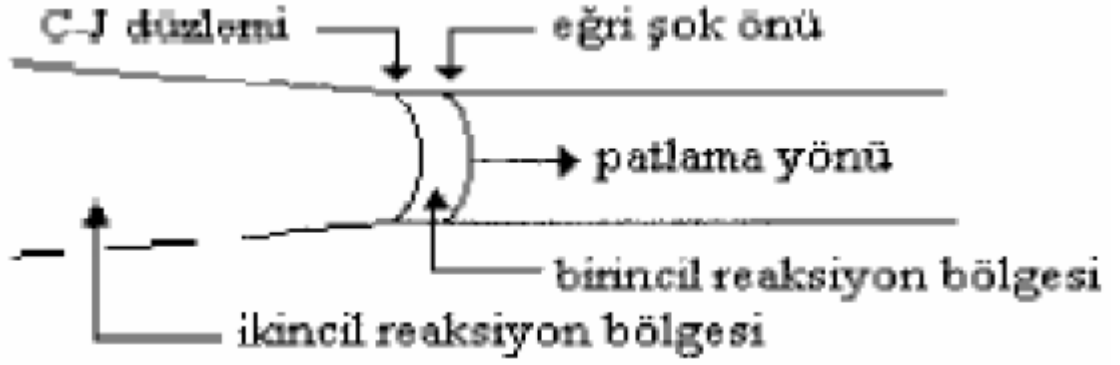
İdeal infilak teorisinin kabulleri şunlardır:

1. Akış tek boyutludur.
2. Detonasyon dalgası, bir süreksizliktir ve çok ani bir reaksiyondur. Dolayısı ile reaksiyon bölgesi kalınlığı sıfıra yakındır. Şok dalgasının ardında kalan gazlar termodinamik dengededir.
3. Akış zamandan bağımsızdır.

2.5.1.3. İdeal Olmayan İnfilak

Patlayıcının infilak hızının çap ile artması patlayıcının idealden uzak bir davranış gösterdiğini belirtir. Tek boyutlu infilak modelinden elde edilen infilak hızı ile deneysel olarak belli bir çapta ölçülen infilak hızı ölçümleri karşılaştırıldığında patlayıcıların ideallik derecesini görebiliriz.

İdeallik derecesi ne kadar 100' e yaklaşırsa patlayıcı o kadar ideal olur. Ticari patlayıcılar idealden uzak bir davranış gösterirler. Dolayısı ile, infilakın iki boyutlu olarak incelenmesi gereklidir.



Şekil 2.10. İdeal Olmayan İnfilak İşlemi(Bilgin ve Esen, 1998)

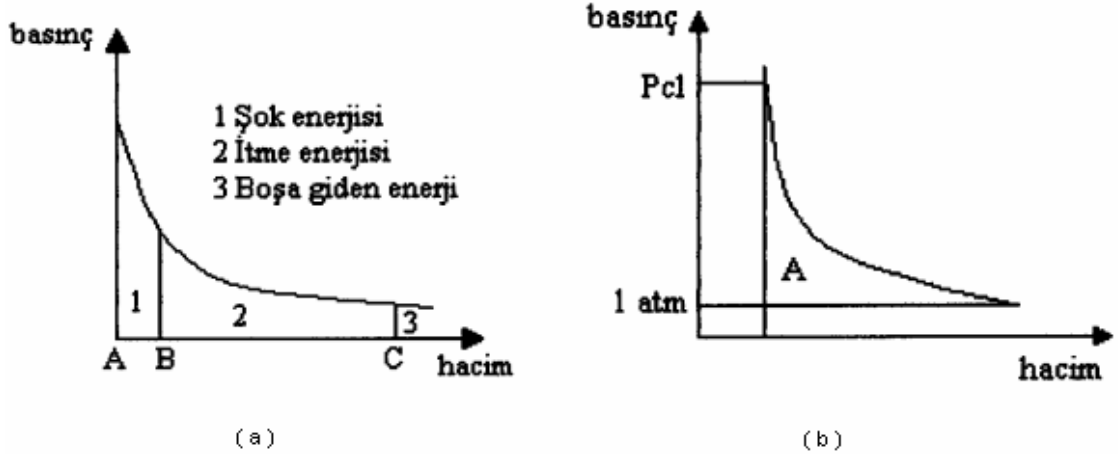
İdeallik derecesi, birincil bölgede reaksiyonun ne kadarının gerçekleştiğini gösterir (Şekil 2.10). Bu bölgede ne kadar çok enerji açığa çıkarsa patlayıcı o kadar ideale yaklaşır. İkincil bölgedeki reaksiyon, şok önünü desteklemez ama kayanın ötelenmesinde önemli rol oynar.

Tek boyutlu infilak teorisinde şokun tek boyutlu olduğu kabul edilmiştir. İnfilak özellikleri, patlayıcının reaksiyon öncesi yoğunluğuna ve reaksiyon toplam entalpisine bağlıdır. Gerçekte şok tek boyutlu ve şok önü düz değildir. Patlayıcının çapına ve patlatıldığı ortam kalınlığına göre şok cephesi eğridir. İnfilak özellikleri bu parametrelere, bazı akış özelliklerine ve reaksiyon yanma yasasına bağlıdır.(Bilgi ve Esen, 1998)

2.5.1.4. Patlatmada Enerjinin Bölüşümü

İnfilak başladıktan sonra patlatma deliği radyal olarak denge durumuna kadar genişlemeye başlar. Denge durumu, patlayıcının basıncıyla kayanın dinamik dayanımının dengelendiği durumdur. Bu ana kadar harcanan enerjiye şok enerjisi denir. Gazların çatlak sistemine girip aynadan çıkıncaya kadar deliği genişletmesi sırasında açığa çıkan enerjiye itme enerjisi denir. Gazlar atmosfere ulaştıktan sonra iş yapmadığı düşünülürse bu süreden sonra açığa çıkan enerji boşa giden enerji olup ısı, ışık ve hava şoku yaratır.

Patlatma enerjisinin dağılımını açıklayabilmek için basınç – hacim(Şekil 2.11.)eğrisine ihtiyaç vardır. Bu eğri patlayıcıya göre değişir ve eğrinin şekli patlayıcının idealliğine bağlıdır. Eğrinin altında kalan alan patlayıcının toplam enerjisini verir.

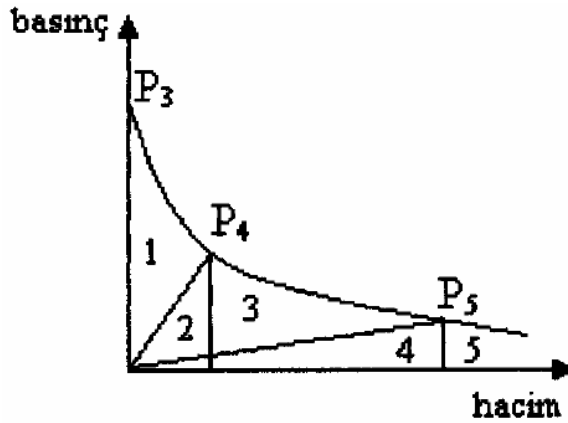


Şekil 2.11. a) Patlatmada Enerjinin Bölüşümü nü Gösteren Basınç – Hacim Eğrisi
b) Bir Patlayıcının Basınç – Hacim Eğrisi(Bilgin ve Esen, 1998)

Şekil 2.11.a' da B noktası denge durumunu, C noktası gazların atmosfere kaçtığı anı gösterir. Böylece şok enerjisi, kırma enerjisi ve boşa giden enerji gösterilebilir. Şok enerjisi ile itme enerjisi birlikte patlayıcının kullanılabilir enerjisini oluşturur. Kullanılabilir enerjinin ne kadarının şok enerjisi ve ne kadarının da itme enerjisi olarak bölüştüğü hem patlayıcının hem de kayacın özelliğine bağlıdır.

Şok ve itme enerjilerini bileşenlerine göre ayırabiliriz. Etkili enerji, genişleyen gazların belli bir basınç değerinin üstünde açığa çıkardığı enerjidir. Etkili enerji, etkili kırma enerjisi ile etkili itme enerjisinin toplamıdır.

Etkili enerji yaklaşımı, kullanılabilir enerjinin tamamının kaya kırma ve ötelenmede kullanılmadığını belirtir. Bu nedenle etkili kırma enerjisi ile etkili itme enerjisinin belirlenmesi gerekir.



Şekil 2.12. Patlatmada Enerjinin Değişik Bölgelere Bölüşümü(Bilgin ve Esen, 1998)

Şekil 2.12.' de görüldüğü gibi patlayıcının P₃ ve P₄ durumları arasında yaptığı iş, şok enerjisidir. Şok enerjisinin iki tip bileşeni vardır; 2. bölgede gösterilen gerilme(birim deformasyon) bileşeni ve 1. bölgede gösterilen kinetik bileşendir. Gerilme bileşeni kaya kırma kullanılır ve bu bileşen etkili kırma enerjisidir. Kinetik bileşen ufalanma bölgesinin oluşumunda ve sismik dalgaların oluşumunda harcanır.

Patlayıcının P1 ve P2 durumlarında yaptığı iş, itme enerjisidir. İtme enerjisinin iki tip bileşeni vardır; 4. bölgede gösterilen gerilme bileşeni ve 3. bölgede gösterilen kinetik bileşenidir. Gerilme bileşeni kayanın ötelenmesinde kullanılır. Kinetik bileşeni ise parçalanmaya yardımcı olur.(Bilgin ve Esen, 1998)

2.6. PATLAYICILARIN TERMOKİMYASI

Termokimya patlayıcı kimyasında önemli bir yer teşkil eder. Termokimya patlamanın meydana gelmesiyle oluşan kimyasal reaksiyonun tipi, enerjisi, mekanizması ve kinetiği hakkında bilgi sağlar. Patlama reaksiyonu meydana geldiği zaman patlayıcı molekülü kendini oluşturan atomlarına ayrılır. Bu olayı hızlıca ayrılan atomların küçük kararlı moleküllere dönüşmesi takip eder. Bu moleküller genellikle su(H₂O), karbondioksit(CO₂), karbon monoksit(CO) ve azot(N₂) gazlarıdır. Bazı zamanlarda patlayıcıda bulunan ürünlere bağlı olarak hidrojen (H₂), karbon(C), alüminyum oksit(Al₂O₃) ve sülfür dioksit(SO₂) gibi maddeler bulunabilir. Reaksiyondan çıkan ürünler patlamada oksijenin miktarına bağlıdır.(Akhavan, 2004)

2.6.1. Oksijen Balansı

Oksijen balansı bir patlayıcı veya okside edici maddeyi potansiyel olarak tanımlamaktadır. Oksijen balansı su, karbondioksit ve metalleri oksitledikten sonra geriye kalan oksijen miktarı olarak da tanımlanabilir. Patlayıcı oksidasyon reaksiyonundan sonra oksijen kalıyorsa pozitif oksijen balansı, oksijen tamamen tükenmiş yakıt kalmış ise negatif oksijen balansına sahiptir. Yakıt ve oksijenin ikisi de bitmiş ise oksijen balansı sıfırdır. Ancak patlayıcılar çok nadir mükemmel oksijen balanslarına sahiptirler. Bir başka ifade ile oksijen balansı patlayıcının okside olabilme derecesidir. Oksijen balansı tamamen oksidasyon için gerekli olan oksijenin yüzdesi olarak aşağıda formüle edilmiştir.

$$OB, \% = \frac{(d-2a-b/2)}{M} \times 1600 \quad (2.7.)$$

Burada patlayıcının genel formülü $CaHbNcOd$ şeklindedir. M ise moleküler ağırlıktır.

Amonyum nitratın oksijen balansı yukarıdaki eşitliğe göre hesaplanır.

$$a=0 \quad b=4 \quad c=2 \quad d=3$$

$$M = (0 \times 12) + (4 \times 1) + (2 \times 14) + (3 \times 16) = 80$$

$$OB, \% = \frac{(3 - 2 \times 0 - \frac{4}{2})}{80} \times 1600 = +20 \%$$

Karışım olan maddelerin oksijen balansları bulunurken kütleli yüzdelere göre oksijen balansı belirlenir.

Oksijen balansı açığa çıkan gazlar hakkında da bize bilgi sağlamaktadır. Oksijen balansı aynı zamanda tahrip gücü, detonasyon hızı ve patlayıcının hassasiyeti gibi önemli özellikler ile de ilişkilidir. Oksijen balansı sıfıra yakın olan patlayıcının tahrip gücü, hassasiyeti ve detonasyon hızı da daha iyi seviyededir. (Agrawal, 2010)

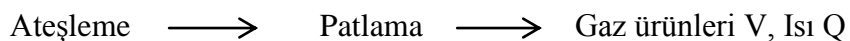
2.6.2. Dekompozisyon Reaksiyonları

Patlama gerçekleştiğinde oluşacak ürünleri tahmin ederek reaksiyon ısısı hakkında fikir elde edebiliriz. Aşağıdaki kurallara göre ürün oluşumu gerçekleşir.

- 1) Azotun tamamı azot gazına dönüşür.
- 2) Hidrojenler oksijenle birleşerek suya dönüşür.
- 3) Geri kalan oksijen karbonu karbon monoksit'e dönüştürür.
- 4) Oksijen hala mevcut ise karbon monoksit karbondioksit'e dönüşür.
- 5) Alüminyum, sülfür gibi maddeler oksijen ile alüminyum oksit ve sülfür di oksit oluşturur.

2.6.3. Patlama Isısı

Patlayıcı yanma veya şok ile ateşlendiğinde açığa çıkan enerji ısı oluşumu şeklindedir. Adyabatik koşullar altında ortaya çıkan ısı patlama ısısı olarak adlandırılır ve Q harfiyle gösterilir. Patlama ısısı patlayıcının iş gücü hakkında bize bilgi sağlamaktadır. Patlama tersinmez bir süreçtir ve aşağıdaki gibi gösterilebilir.



Patlama ısısı ürünlerin oluşum ısılarının toplamından patlayıcının komponentlerinin oluşum ısıları toplamı çıkarılarak bulunabilir.

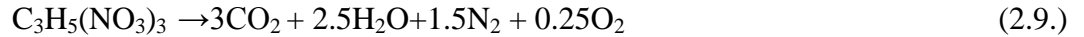
$$Q = \Delta H_{(\text{reaksiyon})} = \sum \Delta H_{(\text{ürünler})} - \sum \Delta H_{(\text{patlayıcı komponent})} \quad (2.8.)$$

Bu eşitlikten bulduğumuz Q değeri tam olarak kabul edilemez. Çünkü yoğunluk, basınç ve sıcaklık gibi değerleri bu eşitlikte dikkate alınmamıştır. Oksijen balansı sıfıra yakın olursa maksimum patlatma ısısı elde edilir. Bunun sebebi hidrojeni suya, karbonu karbondioksite dönüştürecek yeteri kadar oksijenin bulunmasıdır.

2.6.4. Patlama Sonrası Gaz Hacimleri

Ticari patlayıcıların patlama reaksiyonundan sonra meydana gelen gazlar su buharı, azot ve karbondioksittir. Aynı zamanda bazı karbon monoksit ve azot oksitleri gibi zehirli gazlarda küçük miktarlarda bulunabilir. Zehirli gazlar ciddi şekilde problem oluşturduğu yerlerde patlayıcılar dikkatli bir şekilde üretilmeli ve formüle edilmelidirler. Bazı faktörler zehirli gazları artırmaktadır. Bunlar zayıf ürün formülasyonu, yetersiz ateşleme, yetersiz su direnci, sıkıştırılma azlığı ve patlatıldığı yerde kaya veya diğer materyallerle ürünün reaksiyona girmesidir.

Patlama esnasında oluşan gaz hacminin miktarı patlayıcının yaptığı işi görmemiz açısından önemli bir bilgi sağlamaktadır. Gaz hacminin miktarını ölçmek için standart koşullardaki molar hacim den yola çıkabiliriz. Bütün gazlar 0 °C/273 K ve 1 atm standart koşullarında 22.4 litre hacim kaplarlar. Molar hacim sıcaklık ve basınca göre değişmektedir. Nitrogliserinin dekompozisyonundan bu konuyu örnekleyelim.



Bu reaksiyonda 1 mol nitrogliserinin dekompozisyonundan ürünlerdeki gazların mol sayısının toplamı kadar yani 7.25 molar gaz hacmi açığa çıkmıştır. Bu molar hacim standart koşullarda $7.25 \times 22.4 = 162.4$ litre hacme tekabül etmektedir. Bu yüzden patlama ürünlerin hacimleri tahmin edilebilmektedir. Charles yasasına göre ideal gazlar için $V_1.T_2 = V_2.T_1$ geçerlidir. Bu formüle göre herhangi bir sıcaklıkta molar hacim bulunabilir. 15 °C sıcaklık için ideal gazın molar hacmi $15 \text{ °C}(V_{15}) = 22.4 \times 288/273$ 15 eşitliğinden 23.62 litre olarak bulunabilir.

2.6.5. Kimyasal Patlama Sıcaklığı

Patlayıcı reaksiyonu gerçekleştiği zaman çok hızlıdır. Başlangıçta gazların büyük miktarlarda genişmesi için yeterli zaman yoktur. Patlama sırasında oluşan ısı gazların sıcaklığını artıracak ve gazların genişlemesine sebep olacaktır. Bu da gazların kayaları kaldırma ve parçalama gücünü artıracaktır.

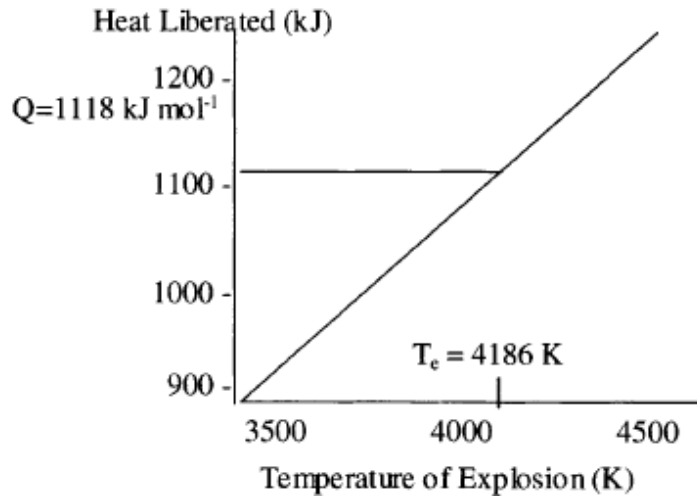
Patlamada adyabatik koşullar altında gerçekleşen maksimum patlama sıcaklığı T_e ve ateşleme sıcaklığı T_i 'dir. Patlamanın ısıyla birlikte T_i başlama sıcaklığı T_e ye yükselir. Bu yüzden T_e değeri Q değerine bağlı olacak ve gaz ürünlerin ısı kapasiteleriyle bağlantısı aşağıdaki eşitlikte gösterilmiştir.

$$Q = \sum_{T_i}^{T_e} C_v \cdot dT \quad (2.10.)$$

Burada C_v sabit hacimde molar ısı kapasitesidir. Yukarıdaki eşitliğin integrali alındığı zaman aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$T_e = \frac{Q}{\sum C_v} + T_i \quad (2.11.)$$

Bu bilgi kullanılarak çeşitli sıcaklıklarda üretilen patlama ısı miktarı hesaplanabilir. RDX için T_e ye karşı Q grafiği şekil 3.1. de gösterilmiştir.



Şekil 2.13. RDX için Farklı T_e Sıcaklıklarında Ortaya Çıkan Q Değerleri(Akhavan, 2004)

2.6.6. Güçlenmiş Patlayıcılar

2.6.6.1. Güç ve Patlamanın Basıncı

Patlayıcı madde detone olduğu zaman bir ses üstü hıza sahip olan dalga, ateşleme noktasına yakın oluşmakta ve bu dalga patlayıcı madde boyunca devam etmektedir. Patlayıcı maddenin ekzotermik reaksiyonu da bu olaya eşlik etmektedir. Bu olaylardan sonra detonasyon dalgası çevreye yayılır. Buradaki şiddetli basınç şiddetli mekanik darbeye eşdeğerdir. Mekanik darbe kayada birçok çatlaklar oluşmasına sebep olacaktır. Bu etki parçalayıcı güç olarak bilinir.

Detonasyon dalgası patlayıcı kompozisyonundan ayrıldıktan sonra gaz ürünleri genişlemeye başlayacaktır. Gaz ürünlerin genişlemesi patlayıcının gücüne (Q.V) bağlı olacaktır.

Patlamanın basıncı P_e kapalı bir kaptaki patlayıcının ulaşabileceği maksimum statik basınçtır. Elde edilen basınç ideal gaz yasasına göre yüksektir. Wandervals eşitliğinde bulunan eş hacim α terimiyle düzeltilmesi gerekir.

$$P_e(V_i - \alpha) = nRT_e \quad (2.12.)$$

Burada V_i kapalı kabın hacmi, n üretilen gazın mol sayısı, T_e patlama sıcaklığı (Kelvin) ve R ise molar gaz sabitidir. Güç sabiti F ise aşağıdaki formül ile gösterilmiştir.

$$F = nRT_e \quad (2.13.)$$

Bu eşitlikte aşağıdaki patlama sıcaklığı formülü ile birleştirilir. (Akhavan, 2004)

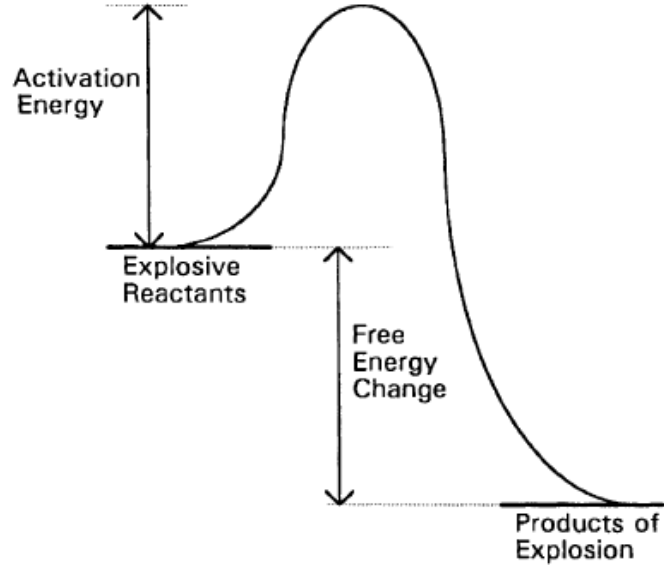
$$T_e = \left(\frac{Q}{\sum C_v} + T_i \right) \quad F = \frac{V}{22.4} R \left(\frac{Q}{\sum C_v} + T_i \right) \quad (2.14.)$$

2.6.7. Patlayıcı Reaksiyonların Kinetiği

Kinetik kimyasal reaksiyonların hız değişimleri ile ilgilidir. Kimyasal reaksiyonlar detonasyon gibi hızlı olabildiği gibi aynı zamanda çok yavaş da olabilir. Patlama reaksiyonları sıcaklığa, reaksiyon basıncına ve reaksiyona giren maddelerin mol sayısına bağlıdır.

2.6.7.1. Aktivasyon Enerjisi

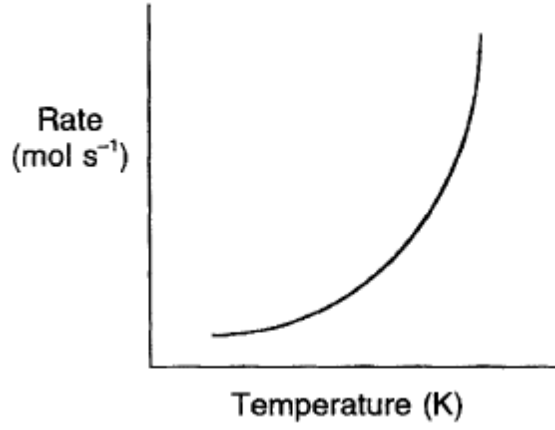
Patlama reaksiyonunda sıcak bölgelerin oluşumu ile tutuşmanın oluşması için ateşleyici ile enerji vermek gereklidir. Verilen enerji patlayıcının sıcaklığını yükseltecektir. Sıcak bölgeler tarafından üretilen enerji aktivasyon enerjisinden büyük ise reaksiyon patlama ürünlerinin oluşumu ile gerçekleşecek ve enerji ortaya çıkacaktır. Bu durum grafikte gösterilmiştir. Aktivasyon enerjisi patlayıcıyı ateşlemek için gerekli olan enerji miktarını göstermektedir.



Şekil 2.14. Patlayıcılar İçin Reaksiyon Profilinin Gösterimi(Akhavan, 2004)

2.6.7.2. Reaksiyon Hızı

Reaksiyon hızı patlama meydana geldiği zaman aktivasyon enerjisinin büyüklüğünden belirlenebilir. Patlayıcının sıcaklığı arttığı zaman gerekli aktivasyon enerjisini karşılayacak moleküllerin sayısı da üssel olarak artmaktadır. Bu yüzden sıcaklık arttığı zaman reaksiyon hızı grafikte gösterildiği gibi üssel olarak artmaktadır.



Şekil 2.15. Reaksiyon Hızında Sıcaklığın Etkisi(Akhavan, 2004)

Reaksiyonun hızı, hız-sıcaklık ilişkisi olarak bilinen Arrhenus eşitliğinden faydalanarak belirlenir.

$$k = A.e^{-E/RT} \quad (2.15.)$$

burada k reaksiyon hız sabiti, A her madde için özel sabit, E aktivasyon enerjisi ve R gaz sabitidir. A çarpışma faktörü olarak bilinir ve moleküller arasında saniyede birim hacim başına çarpışma sayılarını gösterir.

Birincil patlayıcılar ikincil patlayıcılarla kıyaslandığında düşük aktivasyon enerjisi ve çarpışma faktörü değerine sahiptirler. Bu yüzden birincil patlayıcıları ateşlemek için daha az enerji gerekir ve onları dış uyarılara karşı daha hassas yapar. İkincil patlayıcılar yüksek aktivasyon enerjisi ve çarpışma faktörü değerlerine sahip olduklarından dolayı ateşlemek daha zordur ve dış uyarılara karşı daha az hassastırlar.(Akhavan, 2004)

2.7. TİCARİ PATLAYICILARIN İÇERİKLERİ VE ÖZELLİKLERİ

Nitrogliserinin Alfred Nobel tarafından güvenli bir ürün olan dinamit haline getirilmesi ile patlayıcıların ticari amaçlı kullanımı sürekli bir artış eğilimine girmiştir.1950'li yılların hemen başında bu sefer gerçekte gübre amacı ile üretilen amonyum nitrat kendini göstermeye başlamıştır. Çok ucuz olmasının yanı sıra, güvenli olması da hızla kullanım hacminin artmasına yol açmıştır. Kullanılan kolloidal maddeler karışımın içine su girişini çok yavaşlatmakta dolayısı ile karışımların sulu delik içerisinde belirli bir süre bozulmadan kalmasına yardımcı olmaktadır. Slurry karışımların içerisine TNT, ve MAN gibi patlayıcı maddeler, bazen de alüminyum tozu gibi patlayıcı olmayan, ama

enerji veren maddeler katılmaktadır. Günümüzde sadece, suda eriyebilen (glikol) hidrokarbonların katıldığı slurry patlayıcılarda üretilmektedir. Slurry patlayıcılar yüksek yoğunlukları ile de avantaj sağlamaktadırlar.

Üçüncü nesil olarak Emülsiyon karışımlar gündeme gelmiştir. Prensip olarak yine yüksek konsantrasyonlu amonyum nitrat ve nitrat tuzları çözeltisinin suya dirençli bir bulamaç haline getirilmesi amaçlanmıştır. Bu sefer kolloidal maddeler yerine emülgatörler kullanılmıştır. Tanım olarak emülsiyon, yağ ve su gibi birbiri ile karışmayan iki sıvı maddenin yüzey aktif maddeler kullanarak karışımının sağlanmasıdır. Emülsiyonlar iki şekilde oluşabilmektedir. Birinci durumda yağ, mikro parçacıklar halinde suyun içinde dağılmaktadır. Buna su içinde yağ emülsiyonu denmektedir. İkinci durumda, bu sefer su, yine mikro parçacıklar halinde yağ içinde dağılmaktadır. Bu da yağ içinde su emülsiyonu olarak isimlendirilmektedir.

Bu bölümde ilk önce patlayıcıların ana maddeleri olan amonyum nitrat ve nitrogliserinin özelliklerinden bahsedilecektir. Daha sonra ANFO, emülsiyon, slurry/waterjel ve dinamit tipi patlayıcıların fiziksel özelliklerinden, içeriklerinden ve üretimlerinden söz edilecektir.

2.7.1. Patlayıcılarda Kullanılan Yaygın Maddeler

Patlayıcılar yakıt, okside edici madde, hassaslaştırıcı, enerji verici ve diğer yardımcı maddelerden çeşitli oranlarda kullanılarak üretilir. Patlayıcılarda genel olarak kullanılan maddeler aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

Tablo 2.1. Patlayıcıların İçinde Kullanılan Maddeler(Mahadevan, 2013)

Bileşenler	İçindekiler
Patlayıcı içeriği	Yakıtlar , Oksijen taş., Hassaslaştırıcı, Enerji ver. diğer bileşenler
Yaygın kul. yakıtlar	Mazot, karbon, alüminyum, TNT
Yaygın oksijen taşıyıcı maddeler	AN, Sodyum nitrat, Kalsiyum karbonat vb.
Yaygın hassaslaştırıcı maddeler	NG, TNT, Nişasta, alüminyum.
Yaygın enerji verici maddeler	Metalik tozlar
Diğer bileşenler	Su, kıvamlaştırıcı, jelatinleştirici, emülgatör, stabilizer vb.
İçinde bulunan elementler	Oksijen, Azot, Hidrojen v Karbon, bazı metalik elementler alüminyum, magnezyum, sodyum, vb.

2.7.1.1. Amonyum Nitrat

Amonyum nitrat çoğu ticari patlayıcılarda ve patlayıcı karışımlarında kullanılan çok yaygın bir bileşendir. Saf amonyum nitrat beyaz kokusu olmayan bir tuzdur. Amonyum nitrat emülsiyon patlayıcılarda bir bileşen olarak çözeltilerde kullanılır. Amonyum nitrat yaygın olarak ANFO yapmak için kullanılır. Bu şekilde kullanılan amonyum nitrat küçük poroz pelet (piril) formdadır.

Amonyum nitrat farklı sıcaklıklarda farklı formlarda bulunmaktadırlar. Kristal yapısında sıcaklıkla beraber meydana gelen değişiklik faz değişikliği olarak bilinir. Bu özellik kristalin boyutunu, yoğunluğunu ve mekanik gücünü etkilemektedir. Faz değişikliği amonyum nitratta istenmeyen olumsuz özelliklere sebebiyet vermektedir. Kekleşme ve düşük akışkanlık depolama esnasında sıcaklığın sebebiyet verdiği faz dönüşümünden dolayı olmaktadır. Aynı zamanda bu özellik patlamanın başlama hassasiyetini azaltmaktadır. Aşağıda farklı sıcaklıklarda faz değişim değerleri verilmiştir.

V den -18°C IV e

IV den 32°C III e

III den 84°C II e

II den 125°C I e

Burada en önemli faz değişikliği 32°C de olmaktadır. Bu sıcaklıkta tetragonal yapı rombik yapıya dönüşüyor. Ayrıca soğuk yerlerde -18°C sıcaklığına dikkat etmek gerekmektedir.

Amonyum nitrat üretimi genellikle sürekli bir proseste yapılmaktadır. Bu proseste amonyak ile nitrik asidin reaksiyona girerek amonyum nitrat çözeltilisini oluştururlar. Bu safhadaki ürün emülsiyon ve slurry patlayıcı üretiminde kullanılır. Amonyum nitrat çözeltilisi aynı zamanda kurutma, kristallendirme ve pirilleştirilerek amonyum nitrata dönüştürölmektedir. Piriller bir gübre olarak veya patlayıcılarda bir bileşen olarak kullanılabilirler.

Sürekli proses sıcak amonyum nitrat çözeltisinin (%94-%96 konsantrasyonda) piril kulesinin üzerindeki delikli levha boyunca püskürtülmesi ile başlamaktadır. Çözelti delikli levhadan çıktığı zaman sıvı amonyum nitrat damlacıkları oluşmakta ve bu damlacıklar aşağıya doğru düşmektedir. Piril kulesindeki 30.5 metreden 61 metreye kadar serbest düşüş esnasında damlacıklar küresel amonyum nitrat pirilleri olarak kristalleşirler. Bu piriller kurutulur ve soğutulurlar. Yükleme öncesinde çökelmeyi önleyici madde ile kaplanmaktadır.

Piril üreticileri onun yüzeyindeki nemle ilişkisini kesmesi için kaplama yaparak piril kekleşmesini minimize etmektedirler. Yaygın kaplamalar sıvı yüzey aktif maddelerdir. Bunlar kaolin ve talk gibi ince (325 mesh) inert minerallerdir. Bu inert minerallerin aşırı kullanılması ANFO nun hassaslığını azaltacaktır. Ayrıca aşırı miktarda inert mineral patlayıcı emülsiyonlarda emülgatörün stabilitesini etkileyebilir. İyi bir patlayıcı piril tipik olarak % 1 den daha az bu kaplayıcı maddeleri içermelidir.(Blasters' handbook, 2011)

2.7.1.2. Patlayıcı Piriller

Patlayıcı pirillerin iki tane fiziksel özelliği vardır. 1) Boşluk oranı 2) mekanik güç

2.7.1.3. Boşluk oranı

Tüm piriller hem yüzeyde hem de içerisinde boşluklar içerirler. Patlayıcı piriller içerisinde minimum seviyede boşluk oranı içermelidir. Patlayıcı pirillerinde boşluklar iki önemli amacı gerçekleştirirler. 1) Boşluklar fiziksel ürün homojenliğini ve fuel oil absorpsiyon homojenliğini sağlarlar. 2) Boşluklar sıcak bölgeler olarak hareket ederek ürün hassasiyetini sağlarlar veya detonasyon reaksiyonunu gerçekleştirecek tutuşma noktalarını sağlarlar.

Porozite pirillerin yüzeyinde olan boşluk miktarının ölçüsüdür. Porozitenin görevi ANFO yapımında kullanılan mazotu emmesidir. Fuel oil pirillere homojen bir şekilde dağılmalıdır. Patlayıcı ürünleri için en uygun pirillerin yoğunluğu 1.3-1.5 gram / cm³ arasında değişmektedir. Amonyum nitratın yoğunluğuna yaklaşan amonyum nitrat pirillerinin detonasyon hassasiyeti daha azdır.

Piril boşluk oranı piriller arasındaki boşlukla karıştırılmamalıdır. Pirilin hassasiyeti onun iç boşluk oranı arttığı zaman artmaktadır.

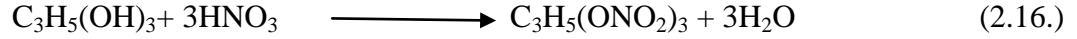
2.7.1.4. Mekanik Güç

Patlayıcı piriller ambalajlama esnasında oluşacak bozulmaya karşı yeteri kadar mekanik güce sahip olmalıdırlar.(Blasters' handbook, 2011)

2.7.1.5 Nitrogliserin

1847 yılında İtalyan ASCANİO SOBRERO gliserini, nitrat ve sülfat asitlerinden ibaret bir karışımla esterleştirerek Nitrogliserini elde etmeyi başardı. İsveçli mühendis ALFRED NOBEL(1888) ballitit denen nitrogliserinli (Dumansız barut) barutu elde etmiştir.

Nitrogliserin kuvvetli patlayıcılarda kullanılır. Detonasyon hızı 8000 m/s dir. Nitrogliserin dinamitin temel hammaddelerindedir. Nitrogliserin şok, ısı ve sürtünmeye karşı oldukça hassastır. Nitrogliserinin reaksiyonu aşağıda gösterilmiştir.



Dinamit grubu iki üst sınıfa ayrılır. Düz ve jelatin dinamittir. Düz dinamitin esas maddesi nitrogliserin iken jelatin dinamit nitrogliserinin yanında nitroselüloz da içerir. Nitroselüloz dinamitin suya direncini artırmaktadır.

Nitrogliserin ve nitroglükol karışımı(NGL) nitrik asit ve oleum karışımı (melanj asidi), glükol, gliserin ve likit parafin hammaddelerinden başlanarak üretilir. NGL, NGL (Donar) ve NGL (Donmaz) olarak iki farklı şekilde üretilmektedir. Bu ürünler arasındaki fark kullanılan hammaddelerden ileri gelmektedir. NGL (Donar) üretiminde gliserin ve melanj asidi hammadde olarak kullanılırken NGL (Donmaz) üretiminde gliserin, glükol ve melanj asidi hammaddeyi oluşturmaktadır. NGL (Donmaz)'a donmazlık özelliğini veren maddenin glükol olduğunu iki ürüne ait hammaddelere bakılarak kolaylıkla söylenebilir. Glükolün endüstride bilinen en önemli antifrizlerden biri olduğu da bilinmektedir.(MKE Staj Notları, 2009)

2.7.2. ANFO

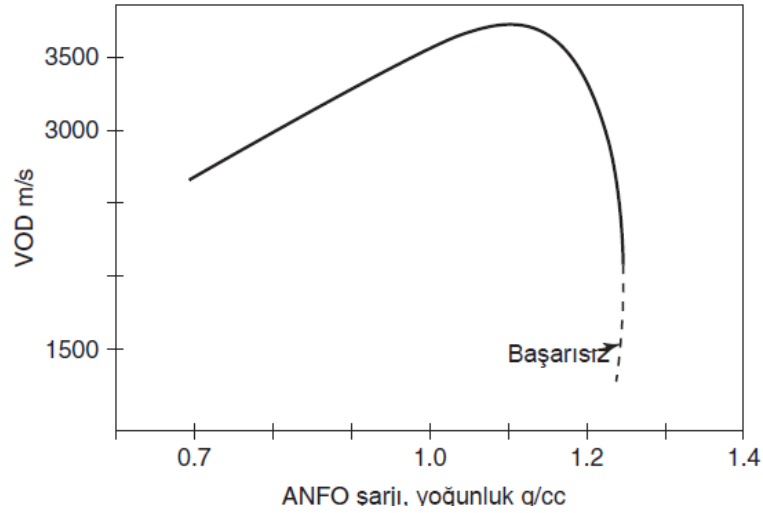
ANFO ve ANFO ürünleri günümüzde 1950'lerde bulunduğundan çok yaygın bir şekilde patlayıcı madde olarak kullanılmaktadır. Bu patlayıcıların yaygın kullanımı

ekonomikliğine ve uygunluğuna atfedilmektedir. ANFO nun kullanımı sınırlayan iki önemli etken vardır. 1) su direncinin olmaması 2) düşük bulk yoğunluğu. Kullanılmadan önce bu sınırlayıcılar dikkate alınmalıdır. ANFO piril poroz amonyum nitratla fuel oilin bir karışımıdır. Önceden kullanılan yüksek yoğunluklu amonyum nitrat pirilleri başarısız patlatma sonuçları vermekteydi. Daha sonradan daha iyi performans gösteren düşük yoğunluklu amonyum nitrat üretildi. Düşük yoğunluklu piril poroz amonyum nitrat kullanıldığında performansın artmasının sebebi pirillerin içindeki hava boşlukları sayesinde oluşan sıcak noktaların sayısının artmasıdır.

Patlayıcı endüstrisinde kullanılan piril amonyum nitratın yüzeyi pirillerin içine doğru kapiler etki yapar. Aynı zamanda pirillerin içinde sıkıştırılmış hava boşlukları vardır. Bu iki olay pirilleşme ve kurutma esnasında oluşur. Pirillerin yüzey alanında ne kadar fazla boşluk varsa porozite o kadar fazla olur. Bu da pirillerin daha fazla fuel oil absorbe etme imkanı sağlar. Piriller kendi içinde bir boşluğa sahiptir. İyi bir poroz piril % 21 boşluk içermelidir.

Bulk yoğunluğu poroziteyle ters orantılıdır. Bulk yoğunluğu patlamalarda sabit hacimli bir şarj için enerjinin bir ölçüsüdür. Yüksek bulk yoğunluğu enerji gerekli olduğu zaman tercih edilir. Fakat artan yoğunluk pirillerdeki poroziteyi azaltır. Bu da patlayıcının ateşleme hassasiyetini azaltır.

ANFO da homojen karışımı gözlemek için kırmızı veya turuncu boya fuel oille birlikte karıştırılmaktadır. Ezilme dayanımı ANFO da mekanik etkiye karşı dayanıklılığın göstergesidir. Kullanıcı ANFO yu orijinal formunda almak ister. ANFO ya uygulanan mekanik etkiyle pirillerdeki hava boşlukları azalır ve bu da belirli bir değere kadar kabul edilebilir. Çünkü yoğunluğun $1 \text{ gr} / \text{cm}^3$ den fazla olması ANFO nun hassasiyetini azaltmakta ve hatta başarısız bir detonasyona götürmektedir.(Şekil 2.16.)



Şekil 2.16. ANFO nun Detonasyonun da Yoğunluğun Etkisi(Mahavedan, 2013)

ANFO düşük detonasyon hızına sahip olmasına rağmen ürettiği gaz hacmi nedeniyle saha performansı çok iyidir. Kendi bileşiminin % 90 dan fazlasını gaza çevirir. ANFO nun 25 °C ürettiği toplam gaz 1050 – 1100 l/kg dır.

Fuel oilin miktarı dört önemli performans karakterini etkiler. 1) enerji 2) detonasyon hızı 3) hassasiyet 4) üretim gazı. (Mahavedan, 2013)

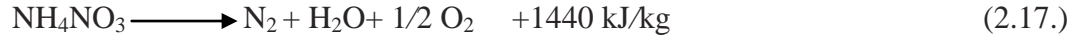
2.7.2.1. Üretim

ANFO üretmede en çok tercih edilen metot helezonlu konveyör kullanarak yapılan sürekli prosestir. Depolama tankından AN pirilleri helezon konveyöre akar. Daha sonra karıştırma tankına boşaltılır. Burada mazot AN pirillerin üzerine püskürtülür. Burada homojen bir şekilde karışım sağlanır. Eklenen mazotun hızı AN pirillerin hızıyla orantılı olmalıdır. Bu oran ANFO nun en verimli olduğu 94.3/5.7 oranıdır. Homojen bir dağılımı kontrol edebilmek için renklendirici boya kullanılır.

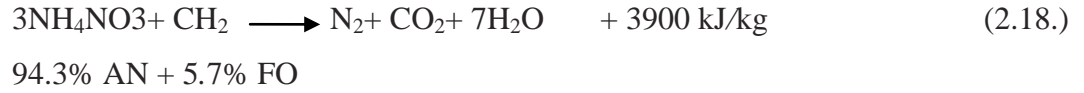
2.7.2.2. Enerji

ANFO diğer patlayıcılardan gram başına daha fazla enerji sağlar. ANFO hiçbir katı atık bırakmaksızın suya ve gazlara dönüşebilir. Amonyum nitrat ve fuel oil tam bir oranda karışırsa maksimum teorik enerji (Q), iş enerjisi (E_{wk}) ve VOD meydana gelir. Fuel oil % 6 yi aştığı zaman karbon monoksit % 6 dan az olduğu zaman azot oksitleri üretecektir.

Amonyum nitrat kendi başına ekzotermik bir şekilde dekompose olduğu zaman aşağıdaki reaksiyon gerçekleşir.

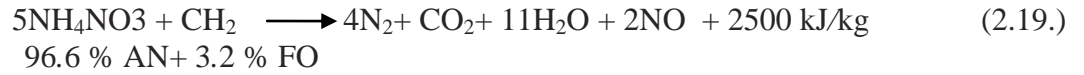


Amonyum nitratındaki tüm oksijenin reaksiyona girmesi için doğru miktarda fuel oil kullanılırsa aşağıdaki reaksiyon gerçekleşir.

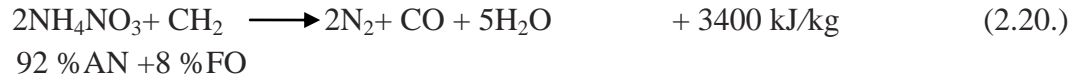


Amonyum nitrat ile fuel oil doğru miktarlarda kullanılarak reaksiyona girdiği zaman enerji üç katına çıkmaktadır.

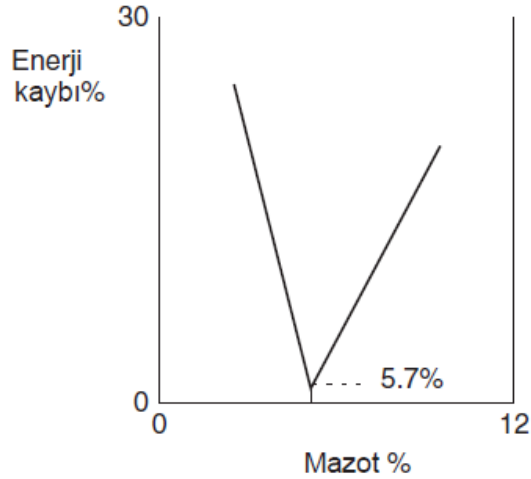
Kullanılan fuel oil oksijeni bitirecek seviyede değilse enerji 2500 kJ/kg a kadar düşer.



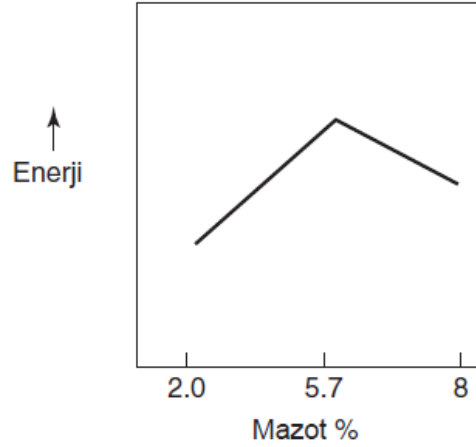
Eğer aşırı miktarda fuel oil olursa reaksiyon aşağıdaki gibidir:



Bu reaksiyonda da enerjide azalma gözlenmektedir.

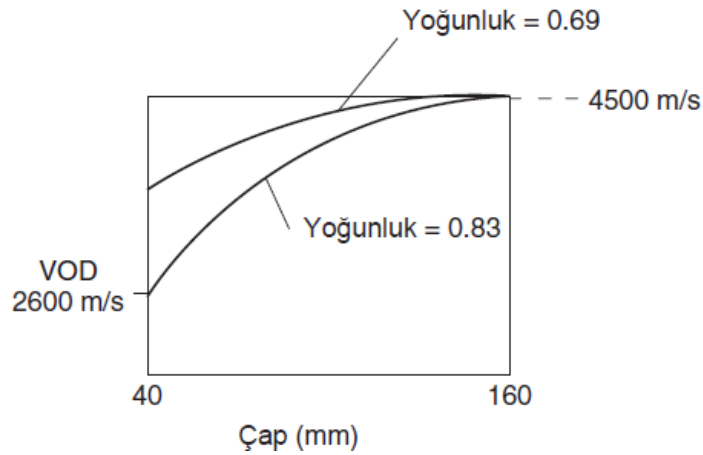


Şekil 2.17. ANFO da Oksijen Balansının Enerji Kaybına Etkisi(Mahavedan, 2013)



Şekil 2.18. Fuel Oil Miktarına Karşı Enerji Verimi(AN/FO)(Mahavedan, 2013)

Bulk yoğunluğu ve şarj çapı VOD değerlerinde çok büyük öneme sahiptir. Farklı yoğunluklarda bile şarj çapı arttığı zaman detonasyon hızı ideale yaklaşır. Şarj çapıyla VOD belirli bir yere kadar artar. Aynı zamanda VOD piril poroz amonyum nitratın boyutuna da bağlıdır. Piril boyutu arttıkça VOD azalıyor.(Şekil 2.19.)



Şekil 2.19. ANFO nun Hızına AN Pirillerinin Etkisi(Mahavedan, 2013)

Amonyum nitrate alüminyum tozu eklemek reaksiyon enerjisini önemli derecede artırmaktadır. Teorik olarak %1 alüminyum tozu eklemek enerjiyi %4.5 artırmaktadır. Pratikte ise bu enerji artışı %2.5 seviyelerinde kalmaktadır.

ANFO orta ve geniş çaplı deliklerde kullanılır ve patlatılmasında yemleme kullanılmalıdır.

Çoğu ANFO da ölçülen detonasyon hızı idealden düşüktür. Geniş çaplarda ve sıkıştırma ile ideale yaklaşılr. Detonasyon dalgasının yayılmasını sağlayan pirillerin içindeki hava boşlukların sıkıştırılmasını sağlayan sıcak bölgelerdir. Daha poroz amonyum nitratta ideal detonasyon hızına yaklaşılabılır. Özel proses şartlarında ekstra piril poroz üretilebilir. Amonyum nitratın porozitesinin ve şarj çapının etkisini gösteren bir karşılaştırma Tablo 2.2. de gösterilmiştir.

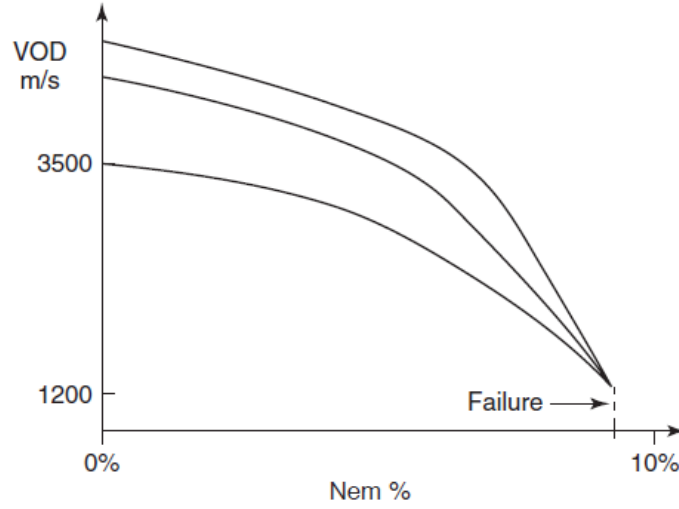
Tablo 2.3. ANFO nun Hızına AN Porozitesinin Etkisi(Mahavedan, 2013)

Çap (mm)	Standart piril VOD (m/s) çelik boru içinde	Ekstra poroz piril VOD (m/s) çelik boru içinde
50	3000	3500
127	3950	4250
250	4300	4600
	VOD (m/s) açıkta	VOD (m/s) açıkta
88	2600	3050
Bulk yoğunluğu	0.85	0.70

2.7.2.3. Fiziksel Özellikleri

Bulk yoğunluğu ve su direnci ANFO nun kullanımını ve performansını etkileyen önemli fiziksel özellikleridir. ANFO nun bulk yoğunluğu karışımında kullanılan amonyum nitrat pirillerin boyutuna ve yoğunluğuna bağlıdır. Çoğu ANFO nun bulk yoğunluğu 0.77 ile 0.85 gram / cm³ arasında değişmektedir. Amonyum nitrat pirillerinin tanecik boyutlarını küçülterek ANFO nun VOD ve yoğunluğunu artırmak için çok denemeler yapıldı. Teorik olarak partikül boyu küçülürse ürün yoğunluğu ve detonasyon hızı artmaktadır. Saha tecrübeleri de göstermektedir ki piriller daha küçük partikül boyutlarında olduklarında daha yüksek VOD ve yoğunluğa sahip olmaktadır.(Blasters' handbook, 2011)

Amonyum nitrat pirillerindeki su muhtevası uzun süre depolamada ve kekleşme özelliklerinde zararlıdır. Düşük yoğunluklu piril poroz amonyum nitrat üreticileri nem miktarını % 0.2 nin altında tutmaya çalışmaktadırlar. Delikte suyun varlığı ANFO nun hızını suyu ne derecede absorbe etmesine bağlı olarak azalmaktadır. Suyun akışkan olması ANFO nun daha fazla absorbe etmesine sebep olarak daha fazla VOD de azalma yapar. ANFO nun su muhtevası ile VOD arasındaki ilişki deneysel olarak şekil 2.20. de gösterildiği gibidir.



Şekil 2.20. ANFO nun Hızına Nemin Etkisi(Mahavedan, 2013)

Su kolayca amonyum nitrat pirillerini çözüyor ve ANFO nun hassasiyetini azaltıyor. Suyun hassasiyeti azaltıcı etkisi yeterli dış korumasız veya emülsiyonla karıştırılmamış yerlerde kullanıldığı zaman çok zayıf patlamaya sebep oluyor. Saha tecrübeleri gösteriyor ki ANFO en iyi sonuçları sadece kuru deliklerde elde etmektedir.(Mahavedan, 2013)

2.7.2.4. Detonasyon Hızı

Dökme ve bulk ANFO nun detonasyon hızı delik çapına ve sıkılama derecesine bağlıdır. ANFO yu çevreleyen sıkılama derecesi bariz bir şekilde detonasyon hızını ve küçük delikli şarjlarda detonasyon sürdürebilme yeteneğini etkiliyor. Örneğin; Çoğu ANFO 10 cm den küçük deliklerde sıkışmamışsa patlamaz. Fakat uygun bir delikte sıkıştırıldığı zaman 2.5 cm lik deliklerde patlayabilir.

2.7.2.5. Gazların Sülfütlele Reaktifliği

Metal sülfürlerle bozulmuş ürünler ANFO nun dekompose olmasına sebep olabilirler. Metal sülfürlerle özellikle demir sülfürle karşılaştığında ANFO nun ısındığı ve kendiliğinden dekompose olduğu bakır madenlerinde gözlenmiştir. ANFO bozulmuş metal sülfürlü yerlerde kullanıldığı zaman ANFO nun içine küçük yüzdelerde inhibitör katmak yararlı olabilir. Bu inhibitörlerin amonyum nitratın dekompozisyonunu yavaşlattığı ve kendiliğinden olan dekompozisyon üzerinde de etkili olduğu gözlenmiştir. (Blasters' handbook, 2011)

2.7.2.6. ANFO Ürünleri

ANFO nun kendiliğinden akması bulk şarjlama uygulamaları için uygundur. Bulk ANFO şarjlanmasının yapıldığı patlama alanında karıştırılır. ANFO ürünleri aynı zamanda geleneksel operasyonlar için paket şeklinde kullanılmaya uygundur. Paket şeklinde olan ANFO sadece kuru deliklere uygulanabilir. Nem bozunmasının olduğu yerlerde kullanılacak suya dirençli ANFO vardır.(Blasters' handbook, 2011)

2.7.2.7. Su Dirençli ANFO

Su dirençli ANFO taş ocaklarında, kanal açmada, genel inşaat ve yol çalışmalarında sulu ortam koşullarında kullanılmaktadır. Su dirençli ANFO su sızıntısı olan yerlerde suyun etkisini azaltmak için kullanılır. Çok fazla su olduğu durumlarda su dirençli ANFO kullanılmamalıdır. Aynı zamanda su dirençli ANFO 1. sınıf gaz üretir ve yer altındaki patlatmalarda kullanılabilir. Bu ürün aynı zamanda hem yer üstü hem de yer altında pnömatik yükleyicilerle şarj edilebilir.

ANFO ya katılacak ek madde amonyum nitrata eklenmelidir. Çünkü ANFO ya eklenirse fuel oilin amonyum nitratın içine girmesini engelleyebilir. Eklenen madde aynı zamanda viskoziteyi de artırmaması da gerekmektedir. Bu maddelere örnek olarak sentetik yağ, nişasta ve karboksil metil selüloz ve guar sakızı verilebilir. En yaygın şekilde kullanılan guar sakızısıdır. Bu eklenen madde özel bir su direnci sağlamaktadır. Bu maddeler suyla temas ettiklerinde hızlıca suyla birleşirler.

Su dirençli ANFO özel bir kaplamanın piril yüzeyine uygulandığı standart bir ANFO dur. Bu kaplama suyun verdiği zararı önlemek ve piril yüzeyinde neme engel olacak şekilde tasarlanmıştır. Zayıf ve orta sulu koşullarda kullanılabilir. Uygun olan sahada kullanıldığı zaman su dirençli ANFO emülsiyon ve slurry patlayıcılardan daha ekonomik ve performans olarak avantajlara sahip olabilmektedir. Su dirençli ANFO kullanmanın bazı yararlarından aşağıda bahsedilmiştir.

Düşük yoğunluk: Yoğunluk ANFO ya benzerdir. Yoğunluğun düşük olması homojen bir enerji uygulamasına izin vermektedir.

Su direnci: Zayıf ve orta sulu koşullarda kullanılabilir.

VOD: ANFO ya benzerdir. Kaplama ANFO nun detonasyon hızını %5 kadar artırabilir.

Delik kaplaması: %100

Su dirençli ANFO nun kaplama içeriğini anlamak patlatma uygulamalarında ateşçi için yararlıdır. Kaplamanın içindekiler su direnci oluşturabilmek için bir form oluşturmak için birleştirilir. Su direncini sağlayan kaplama aşağıdaki maddeleri içerir.

Hidrofobik katkı: Su direncini artırır.

Bağlayıcı: Stabil bir su engelleyici form

Renk maddesi: Standart ANFO dan ürünü ayırır. Aynı zamanda kaplamanın homojen dağılımının anlaşılmasına yardım eder.(Mahavedan, 2013)

2.7.3. Emülsiyon Patlayıcılar

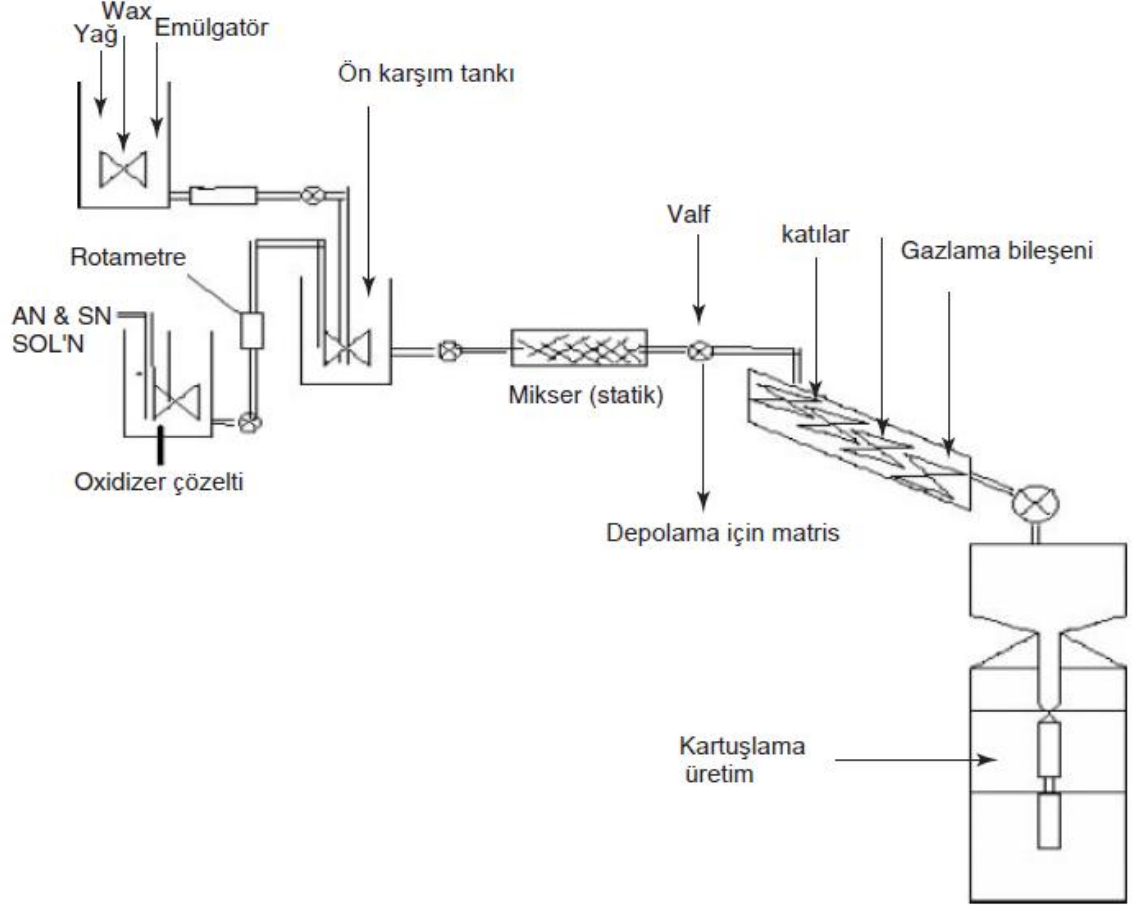
Emülsiyon patlayıcılar dünya çapında yaygın olarak kullanılan ve suya dirençli olmaları sebebiyle ün kazanan patlayıcılardır. Emülsiyon patlayıcılar yağ su emülsiyonunun amonyum nitratla karıştırılmasından elde edilmiştir. Emülsiyon patlayıcıyı bulan Richard Egly ve Albert Neckar ilk başta suya dayanıklı bir ANFO yapmak için uğraşıyorlardı. Sonuç olarak güvenli ve etkili performans karakteriyle emülsiyonlar geliştirildi. Emülsiyonlar bir fazın diğer faz boyunca homojen şekilde yayıldığı iki tane karışmayan sıvıların karışımlarıdır. Karışımı birleştirmek için emülgatör olarak adlandırılan aktif maddeler kullanılır. Bu yüzden emülsiyon patlayıcılar yağda su okside çözeltinin dağılımıdır. Yağ fazı dış faz olarak bilinir. Yağ faz oksitleyici damlacıklarının tümünü kaplıyor. Oksitleyici fazı her zaman amonyum nitrat içermelidir. Aynı zamanda sodyum nitrat, kalsiyum nitrat, amonyum ve sodyum perklorat ta içerebilir.

Emülsiyon patlayıcıların performansını birçok parametre etkiler. Bunların en önemli iki tanesi su içeriği ve karışım homojenliğidir. Bu yüzden karışım homojenliğini sağlamak ve su içeriğini belirli düzeyde tutmak emülsiyon patlayıcının performansını geliştirmek için önemlidir.

Emülsiyon patlayıcının içeriği okside edici madde, yakıt, enerji verici madde, ve hassaslaştırıcı maddeden oluşmaktadır. Gaz karakteri ve performans bakımından oksijen balansının sıfır veya sıfıra yakın olması istenmektedir.

2.7.3.1. Üretim

Emülsiyon patlayıcıları üretmek için dünya çapında birbirine benzeyen üretim metotları kullanılmaktadır. Bu metotlar işlem kolaylığı, gerekli olan patlayıcı tipi üretim esnasındaki sürekliliğe göre değişir. Süreli bir proses için emülsiyon patlayıcı üretimi şu şekildedir. Amonyum nitrat ve diğer oksijen taşıyan tuzlar su içerisinde bir kaptan çözünür ve bu kabın sıcaklığı 80–90 °C ye getirilir. Başka bir tankta wax, yağ ve emülgatör karıştırılır ve bu tankında ısı değeri 80-90 °C ye ayarlanır. Bu karışımı ısıtmamızın sebebi akış kolaylığı sağlamak ve diğer kaptan bulunan okside edici maddelerle karıştırılmasını kolaylaştırmaktır. Bu iki kaptan bulunan karışımlar bir ön karıştırma tankına alınırlar. Burada homojen karışım oluşturmak için düşük enerji ile karıştırılır. Bu tankta bulunan karışımın patlayıcı özelliği yoktur. Bu aşamadan sonra olan işlemler patlayıcının tipini belirlemektedir. Kartuşlu kapsüle duyarlı patlayıcı üretmek için gazlayıcı bileşen, alüminyum ve mikro cam baloncuk gibi maddeler eklenir. Emülsiyona ek maddeler katıldıktan ve kartuşlandıktan sonra soğumaya bırakılır. Önceden soğutulması kekleşmeye sebep olabilir. Proses akış şeması Şekil 2.21. de gösterilmiştir. Aynı zamanda kullanılan madde bileşenlerinin miktarı da Tablo 2.3. de gösterilmiştir.



Şekil 2.21. Emülsiyon Patlayıcı Üretimi İçin Sürekli Proses (Mahavedan, 2013)

Tablo 2.4. Emülsiyon Patlayıcıların Bileşenleri (Mahavedan, 2013)

İçindekiler	Miktar (%)
Amonyum nitrat	62
Sodyum nitrat	6
Sodyum perklorat	5
Kalsiyum nitrat	8
Su	11
Mazot	3
Waxlar	2
Emülgatör	1.2
Atomize edilmiş alüminyum	0.8
Gazlama bileşeni	1
Oksijen balansı	0 a yakın

Yakıt fazı, wax ve yağdan oluşmaktadır. Genellikle viskozitesine bağlı olarak petrol temelli yağlar seçilmektedir. Vazeline veya beyaz mineral yağ daha viskoz bir ürün elde edilmesine yardımcı olmaktadır. Wax ise parafin veya mikro kristal yapıları wax çeşitleri olabilir. Mikro kristal waxların çok küçük kristal yapılarına sahip olması emülsiyon

patlayıcıya yararlı bir özellik katmaktadır. Bu özellik depolama esnasında patlayıcının hassasiyet ve stabilitesini kaybetmemesidir. Patlayıcı bileşiminde yakıt fazını oluşturan wax ve yağın oranı %6-10 arasında değişmektedir. Bu oran fiziksel kararlılık, kimyasal kararlılık ve viskozite temel alınarak seçilmektedir.

Emülsiyon patlayıcılarda kullanılan ham maddeler Tablo 2.4. de gösterilmiştir.

Tablo 2.5. Emülsiyon Patlayıcılarda Kullanılan Ham Maddeler(Mahavedan, 2013)

Oksijen taş. tuzlar	Yakıtlar	Hassaslaştırıcı.	Gazlanma bileşeni	Stabilizer	Emülgatör	Soğutucu
Amonyum nitrat	Fuel oil	MMAN	Sodyum nitrit	Lesitin	SMO	Sodyum klorür
Sodyum nitrat	Mineral yağ	EDDN				
Kalsiyum nitrat	Wax çeşitleri	MEAN	Üre	Sitrik asit	SPANS	Oksalatlar
Sodyum perklorat	Vazeline	Nitro metan	Hidrazin		GMO	Bikarbonat
	Atomize olmuş Alümin.	Hava/gaz Baloncukları Mikro balon.	Hidrat Hidrojen peroksit			Brom tuzları

Tablo 2.6. Emülsiyon Patlayıcı Ürünlerin Çeşitleri(Mahavedan, 2013)

1.paketli	Geniş çaplı-yemlemeye duyarlı genel amaç Küçük çaplı-kapsüle duyarlı Özel uygulamalar	izinli
2.pompalanabilir	Bulk form Patlayıcı olmayan matris	
3. Augured	Heavy ANFO	

Oksitleyici tuzlar çözeltilerde kalması sebebiyle emülsiyon patlayıcıları detonasyon özellikleri çok uzun süre değişmeden kalmaktadır. Bu da emülsiyonlara uzun süreli raf ömrü karakteri vermektedir. Oksitleyicinin yağa oranı doğru ve karışım homojen olursa emülsiyon patlayıcılar mükemmel performans karakteri göstermektedirler.(Mahavedan, 2013)

2.7.3.2. Hassaslaştırma

Emülsiyon patlayıcılarda gaz oluşumu hassaslığı artırmaktadır. Gazların oluşmasının ana prensibi emülsiyon matrisine bazı kimyasalların eklenmesidir. Bu kimyasallar matris de amonyum nitratla reaksiyona girerek gaz üretmektedirler. Homojen bir dağılım için bu kimyasallar bir çözelti olarak veya yağ fazıyla karışmayan bir sıvı olarak kullanılmalıdır. Sıvılar organik maddelerdir. Bunlar hidrazin bileşikleri,

azoamine benzen, hidrazin hidrat ve azotlu bileşiklerdir. Fakat genellikle maliyeti ve kolay bulunabilirliği nedeniyle inorganik kimyasallar tercih edilmektedirler. Bu maddeler nitrit grupları, bikarbonatlar ve peroksitlerdir.

Kullanılan gazlanma sistemleri aşağıda verilmiştir.

- 1) Sodyum nitrit/tiyoüre
- 2) Sodyum nitrit/sodyum tiyosiyanat
- 3) Hidrazin hidrat/sodyum dikromat
- 4) Sodyum bikarbonat/asetik asit

Sodyum nitrit ile amonyum nitratın reaksiyonu aşağıda gösterilmiştir.



Fakat bu reaksiyon yavaş ilerlemektedir. Bu yüzden tiyosiyanat radikali katalizör olarak kullanılmaktadır.

Emülsiyon patlayıcıyı hassaslaştırmak için kullanılan başka bir ürün içi boş taneciklerdir. Basınç duyarsızlığının sebep olduğu patlamayı başlama problemi içi boş küreciklerde ince duvarlar kullanılarak aşıldı. Mikro baloncukların üretiminin artmasıyla içi boşluklu bu ürünler maliyet olarak patlayıcı endüstrisinde kullanılabilir seviyeye gelmişlerdir. İçi boş partikül ürünleri şunlardır.

- 1) Cam mikro baloncuklar
- 2) Reçine esaslı ürünler
- 3) Perlit

Cam mikro baloncuktan % 1-3 arasında kullanmak yeterli hassasiyeti sağlamaktadır. Reçineli ürünler fenol veya üre formaldehit reçine esaslı ürünlerden oluşmaktadır. Bu ürünün içerisinde hava ve gaz bulunmaktadır. Perlit ise silisyum dioksit esaslı bir üründür. İçerisinde izobütan gazı içermektedir. Perlit kullanımı hidrostatik basınca direnci artırmaktadır. Perlitsiz emülsiyon patlayıcı 2.1 atmosfer basınca dayanırken, %2 perlit içeren patlayıcı 4.3-6 atmosfer basınca dayanmaktadır.

Şimdilerde maliyet ve verim için gazlanma bileşeni ve küçük miktarlarda boşluklu mikro baloncuk kullanımına başvurulmaktadır. Gazlanma yoğunlukta önemli bir düşüş sağlamakta ve hava baloncuklarının sayısını artırmaktadır. Küçük miktarlarda mikro baloncuk kullanımı bile uzun süre kararlılık ve yüksek detonasyon hızı sağlıyor.(Mahavedan, 2013)

2.7.3.4. Stabilizatör

Emülsiyonlar depolama esnasında patlayıcı özelliklerini muhafaza etmeleri gerekmektedir. Fazların ayrımını önlemek için kaolin, talk ve streatlar gibi maddeler kullanılmaktadır. Aynı zamanda ince metalik tozlarda stabilizatör etkisine sahiptirler. Fakat bunlar patlayıcıdaki maddelerle reaksiyona girmemeleri gerekir. Fosfat bileşikleri ve soya lesitin de iyi bir stabilizatör oldukları bilinmektedir. Soya lesitin emülgatör ile birlikte patlayıcı bileşimine %0.5 olarak katılırlar.

2.7.3.5. Emülgatör

Emülsiyon patlayıcıyı yapmak için kullanılan ham maddelerden en önemlilerinden biri emülgatörlerdir. Emülgatör kullanılmazsa patlayıcıdaki diğer maddeler doğru oranda karıştırılsa bile sulu ve yağlı fazdan patlayıcı oluşmayacaktır. Emülsiyonun iyi bir patlayıcı özelliği gösterebilmesi için oksitleyici ile yakıtın yüzey alanlarının genişlemesine ihtiyaç vardır. Bu genişleme oksitleyici ile yakıtın daha iyi yaklaşmalarını sağlamaktadır. Bu ise emülsiyonun çok iyi bir şekilde dağılımı ve sürekli bir faz oluşumu ile mümkündür.

Emülgatörün etkinliği ve aktifliği sebebiyle oksitleyici yağda dağılmış şekilde kalmaktadır. Bu da ürünün stabil forma ulaşmasına sağlamaktadır. Emülgatör iki faz arasındaki ara yüzey gerginliğini azaltmakta ve faz ayrımını önlemektedir. Çok farklı emülgatörler vardır. Ürünün gereksinimine göre bir tanesi seçilmelidir.

Emülsiyon patlayıcılar sürekli veya kesikli bir proseste yapılabilirler. Aynı zamanda sabit bir fabrikada ya da hareketli bir ekipmanda yapılabilirler. Sıcak oksitleyici içeren tuzlu suyun yağ ve emülgatör ile birleştirilmesidir. Okside çözeltinin sıcaklığı 50° C ile 90° C arasında değişmektedir. Bu sıcaklık kullanılan oksitleyici tuzlu çözeltinin miktarına ve tipine bağlıdır.

Karışım boyunca artan kayma enerjisi oksitleyicinin damlacık boyutunu küçültmektedir. Bir bileşim için azalan damlacık boyutu ürün stabilitesinin gelişmesine ve viskozitenin artmasına sebep olmaktadır.

Emülsiyonlar oksijen dengeli veya zengin yakıtlı olarak karıştırılabilirler. Zengin yakıtlı olanlar daha az viskoz durlar ve oksijen dengeli olanlar ise daha kolay pompalanabilirler.(Mahavedan, 2013)

2.7.3.6. Enerji

Bir emülsiyon patlayıcıya ANFO ve alüminyum eklenerek enerjinin artırılması sağlanabilmektedir. Teorik olarak %5 alüminyum eklemek emülsiyonun enerjisini %25 - %35 arasında artırabilir. %10 eklemek %40 - % 60 arasında artırabilir. Fakat % 10 eklemek çok maliyetli olmaktadır.

Emülsiyona %10 eklenen ANFO enerjisi %5 artırmaktadır. ANFO aynı zamanda gaz miktarının da artmasına sebep olmaktadır. Gaz hacmindeki artış patlayan kayanın daha iyi atılmasına ve çekim kuvvetleri oluşmasını sağlamaktadır. Ortaya çıkan enerjinin miktarının hesaplanan termokimyasal enerjinin miktarına oranı patlayıcının etkinliğinin ölçüsüdür.

Alüminyum emülsiyonun hassasiyetini çok fazla artırmaz. Bu yüzden daha iri taneli daha ucuz alüminyum enerjinin artması için kullanılabilir. İnce alüminyum tanecikleri küçük çaplı ürünler için gereklidir.(Mahavedan, 2013)

2.7.3.7. Fiziksel Özellikler

Yoğunluk, viskozite ve su direnci emülsiyonu en iyi tanımlayan özelliklerdir.

2.7.3.8. Yoğunluk

Emülsiyon ürünlerin yoğunlukları değişebildiği için ateşleyici üreticinin özel yoğunluk bilgisini dikkate almalıdır.

Kimyasal gaz emülsiyonda gaz baloncukları oluşturmaktadır. Gaz baloncukları oluşumu yoğunluğu düşürmekte ve hassasiyeti artırmaktadır.

2.7.3.9. Viskozite

Emülsiyonun viskozitesi yakıt fazına ve oksitleyicinin damlacık boyutuna bağlıdır. Yakıt fazını oluşturan wax, yağ ve emülgatör ürünün viskozitesinde büyük öneme sahiptir. Bir ürünün stabilitesi ve viskozitesi dört önemli faktöre bağlıdır: 1) oksitleyici çözeltilinin yağa oranı 2) yağ tipi 3) emülgatörün tipi ve miktarı 4) içindekilerin saflığı.

Damlacık boyutu emülsiyona uygulanan kayma işiyle kontrol edilebilir. Emülsiyon daha hızlı ve daha uzun süre karıştırılırsa daha küçük damlacık boyutları oluşur ve daha homojen bir dağılım gerçekleşir. Daha küçük damlacık boyutları oluşması emülsiyonu daha viskoz yapmaktadır.

Emülsiyona diğer maddelerin eklenebilmesi ve tam olarak karıştırılabilmesi için viskozitesinin akışkan şeklinde olması gerekmektedir. Akışkan özelliği üretim esnasından kartuşlanana kadar önemlidir. Aynı zamanda üretimde oluşan gaz baloncuklarını tutacak bir viskoziteye sahip olmalıdır.

Yakıt karışımında oksitleyici maddenin dağılımı mikroskopik çalışmalarda bal peteğine benzediği gözlemlenmiştir. Oksitleyici maddenin tanecikleriyle yakıt karışımını ayıran bariyerin kalınlığı 0.0001mm dir. Yakıt karışımıyla oksitleyici maddenin arasındaki bu yakınlık patlayıcı prosesin hızlı ilerlemesini kolaylaştırmaktadır. Oksitleyici maddenin taneciklerini çeviren wax/yağ filmi suyun girmesine direnç göstermektedir.

2.7.3.10 Su Direnci

Emülsiyonlar sürekli yağ fazlarından dolayı mükemmel su direncine sahiptirler. Paketleşmiş formları su direnci için pakete bağlı değildir. Emülsiyonlar sulu delikli şarjlarda kullanılabilirler. Haftalarca suyun altında kaldıktan sonra bile kullanılabilirler.(Mahavedan, 2013)

2.7.3.11 Performans Karakteri

Emülsiyonlar etkiyle ve sürtünmeyle detone olmazlar. Emülsiyonlar 150 gramlık bir etkiyle detone olmazlar. Diğer yüksek hız etki testleri gösteriyor ki emülsiyonlar waterjel patlayıcılardan ve dinamitlerden daha yüksek bir etkiyle patlamaktadırlar. Emülsiyonlar pompalandığı zaman kuru ve kapalı sistemde çalışılmamalıdır. Her iki

durumda da sürtünme pompada emülsiyonun sıcaklığını artıracaktır. Bu olursa detonasyon meydana gelebilir.

2.7.3.12 Detonasyon Hızı

Patlayıcının içindeki partiküllerin boyutları küçülmesi detonasyon hızını artırmaktadır. Emülsiyonun tanecik boyutu çok ince olması sebebiyle emülsiyon patlayıcılar çok yüksek hızlara sahiptirler.

2.7.3.13. Detonasyon basıncı

Emülsiyonlar yüksek detonasyon hızı ve uygun yoğunluğa sahip oldukları için oldukça yüksek detonasyon basıncı oluştururlar. Detonasyon basınçları akvaryum tekniği ile 100 - 120 kbar arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Sonuç olarak emülsiyonlar sert sağlam bir kayayı parçalamak için oldukça uygundur.(Blasters' handbook, 2011)

2.7.3.14 Testler

Emülsiyon patlayıcıların durumunu ve kalitesini belirleyen testler şunlardır.

- 1) Sıcaklığı değiştirilerek donma ve erime testleri yapılır. Emülsiyon patlayıcı kartuşu dört saat 0 °C de, dört saatte 40 °C de tutulur. Daha sonra görsel olarak kristalizasyonu ve bölünmesi kontrol edilir. Oda sıcaklığına getirilir ve emülsiyon patlayıcı performansı için VOD ölçülür.
- 2) Su direnci testi slurry bakınız.
- 3) Geçirmezlik ölçümleri emülsiyon ürünün veya matrisin kararlılığını değerlendirmek için yapılır. Su oksitleyici emülsiyonun dağılmaya eğilimli olup olmadığı depolanmış numunenin dayanımını göstermektedir.

Emülsiyonun patlayıcının gücünü su altı enerji ölçümleri, krater metot ve kurşun blok testiyle de belirlenebilir.(Blasters' handbook, 2011)

2.7.3.15 Bulk Emülsiyonlar

Emülsiyon patlayıcının bir diğer kullanımı da patlayıcının deliğin içine pompalanmasıdır. Hassaslaştırıcı maddeler ve gazlayıcı bileşen olmadan üretilen patlayıcı matrisi patlatma sahasına götürülür. Patlayıcı deliğe pompalamadan önce matris de eksik olan maddeler eklenir. Patlayıcıyı taşıyan araçlar 20 ton kadar matris patlayıcı taşıyabilirler. Ayrıca amonyum nitrat pirilleri de hassaslaştırıcı maddelerle birlikte eklenir. AN eklemek hem bulk gücünü artırmakta hem de daha fazla gaz hacmi sağlamaktadır. Bu şekilde üretilen emülsiyon patlayıcı çeşidinin bileşenleri Tablo 2.6. da gösterildiği gibidir.

Tablo 2.7. Bulk Emülsiyon Patlayıcının Bileşenleri(Mahavedan, 2013)

H ₂ O	18.6	Yoğunluk	1.15 (g/ml)
Sodyum nitrat	2.5	VOD	4 inç çapta 5000(m/sn)
Kalsiyum nitrat	6.7		
Amonyum nitrat	65(toplam)		
Yakıt	5.4		
Emülgatör	1		

2.7.3.15. İzinli Emülsiyonlar

Yeraltında kömür ocaklarında patlatma ile kömür elde etme yönteminde artış görülmemesine rağmen hala güvenli ve etkili patlatma kullanılmaktadır. Önceleri nitrogliserin içeren izinli patlayıcılar kullanılırken, şimdilerde izinli waterjel ve emülsiyon patlayıcılar kullanılmaktadır. Emülsiyon patlayıcılar 25 mm lik deliklerde bile yüksek VOD lere ulaşmaktadırlar. İzinli emülsiyon patlayıcılarda soğutucu ve alev azaltıcı olarak su ve klorür iyonları kullanılmaktadır. İzinli emülsiyonların içerikleri Tablo 2.7. de gösterilmiştir.

Tablo 2.8. İzinli Emülsiyon Patlayıcıların Bileşimi(Mahavedan, 2013)

İçindekiler	P ₁ tipi emülsiyon Patlayıcılarda yüzde	P ₃ tipi emülsiyon patlayıcılarda yüzde
Amonyum nitrat/sodyum nitrat	65 - 75	60 - 70
Kalsiyum nitrat		
Sodyum klorür	5.0 - 8.0	10.0 – 11.0
Su	10.0 - 12.0	12.0 – 15.0
Emülgatör	1.2	1.2
Yağ/wax	6.0	6.0

Sodyum klorürden başka amonyum bikarbonat, amonyum klorür ve amonyum florür de alevin yayılmasına karşı bir tepki vermektedirler. Aynı zamanda gaz/hava/kömür tozu karışımlarının tutuşmasını önleyerek emülsiyon patlayıcıların güven ile kullanılmasını sağlarlar. Emülsiyon bileşeni %1 mikro baloncuk içeriyorsa P1 ve P3 kategori sınıfına girer. %3 mikro baloncuk içeren izinli patlayıcılar tutuşma derecesi problemlerine sebep olmaktadır. Bu patlayıcılarP3 ve P5 kategori sınıfı içerisinde dirler. Kurşun blok testi genişlemesi testinde yapılan güç ölçümlerinde kategori arttıkça gücün azaldığı gözlemlenmiştir. Üç farklı patlayıcı tipi için değerler Tablo 2.8. de gösterilmiştir.(Mahavedan, 2013)

Tablo 2.9. İzinli Patlayıcılar İçin Kurşun Blok İlerlemesi(ml) ve Yoğunluğu(g/ml)(Mahavedan,2013)

İzin Sınıflaması	Emülsiyon NG patlayıcılar Patlayıcılar	Waterjeller	
P ₁	240 – 260(1.15)	250 – 370(1.30)	240(1.15)
P ₂	210 – 225(1.10)	220 – 230(1.30)	200(1.15)
P ₃	155 – 165(1.10)	140 – 160(1.20)	150(1.15)

2.7.4. Heavy ANFO

Heavy ANFO özellikle ANFO nun yeterli olmayan özelliklerini geliştirmede önemli bir rol oynamaktadır. Heavy ANFO nun ANFO nun özelliklerini nasıl geliştirdiği aşağıda belirtilmiştir.

- 1) Yoğunluğun artması
- 2) Su direncinin artması
- 3) VOD nin artması
- 4) Yemlemeye hassasiyetin artması
- 5) Şok dalgası gücünün artması

Heavy ANFO emülsiyon ile ANFO nun karışımıdır. Kullanılan oran %70 ANFO ya %30 emülsiyondur. Bu karışım geniş çaplı deliklerde kuru ve nemli ortamlarda kullanılır. %50/%50 oran kullanmak su direncini mükemmel yaparken viskoziteyi artırır. Emülsiyon, ANFO ve heavy ANFO nun özelliklerinin karşılaştırılması Tablo 2.9. da belirtilmiştir.

Tablo 2.10. Emülsiyon, ANFO ve HANFO nun Karşılaştırılması(Mahavedan, 2013)

Özellikler	Emülsiyon	AN/FO	HANFO
Yoğunluk (g/ml)	1.15 – 1.20	0.95 – 1.0	1.05 – 1.10
VOD (m/s)	5000 – 5200	4000 – 4300	4500 – 4600
Ağırlık Gücü	120	100	110

2.7.5. Water Jel / Slurry Patlayıcılar

ANFO nun zayıf su direnci ve düşük detonasyon hızı ANFO kullanımında sınırlamalar getirdi. Bu yüzden yapılan araştırmalarda slurry patlayıcılara ulaşıldı. Slurry patlayıcılar amonyum nitrat ve suyun yakıt maddeleriyle karıştırılmasıyla elde edilirler. Daha sonra

kapsüle duyarlı ve küçük çaplarda kartuşlu bir şekilde kullanılabilen waterjel patlayıcılar bulundu.

Slurry patlayıcılar oksitleyici madde, yakıt ve hassaslaştırıcı maddelerin birleştirilmesiyle formüle edilirler. Oksitleyici maddenin büyük çoğunluğunun amonyum nitrattan oluşmasını sağlamak için su kullanılmaktadır. Amonyum nitratta suda çözündüğü için piril formda olmasına gerek yoktur.

Waterjel patlayıcılar su, oksitleyici madde ve yakıt bileşeni içermesi sebebiyle doğal olarak su içermeyen patlayıcılardan ve nitrogliserinli dinamitlerden daha az hassastırlar. Waterjel patlayıcılar trinitrotoluene (TNT) ve barutla hassaslaştırılırlar.

Waterjel patlayıcılar genel olarak bir katı ve bir de sıvı faza sahiptirler. Waterjel patlayıcıların fazları emülsiyonlar gibi iyi karışamazlar. Bunun sebebi çok az olan yakıtın etrafında çok fazla oksitleyici olmasıdır. Waterjelin sıvı fazı, guar sakızı veya diğer uzun zincirli organik polimerler tarafından kıvamlaştırılır. Bu polimer moleküllerin görevi jel ürün oluşturmak için kimyasal bağa katılmaktır. Waterjel de bulunan oksitleyici tuzlar ve yakıtlar sıvı fazda çözünürler. Tüm sistem kıvamlaştırılarak su direnci sağlayan jelleştiriciler ve bağlayıcılar eklenir. Oksitleyici tuz olarak genellikle amonyum nitrat, sodyum nitrat ve kalsiyum nitrat kullanılır. Yakıt olarak ise alüminyum, kömür, gilsonit, şeker ve etilen glikol kullanılabilir. Waterjel patlayıcılar genellikle yüksek sıcaklıklarda yapılırlar. Ürün soğuduğu zaman oksitleyici tuz kristalleri oluşmasına sebep olmaktadır.

Waterjeller kartuş durumdaki slurry patlayıcılardır. Waterjel patlayıcılar hem kartuş formunda hem de bulk formunda üretilebilirler. Çok yüksek miktarlarda bulk şeklinde kullanılacaksa önceden katı kısmı formüle edilerek hazırlanır. Jelleştirici ve bağlayıcılar ise ürün deliklere pompalanırken eklenebilir. Delik sıkılama yapılmadan önce jel fonksiyonunu kazanabilmesi için biraz zaman geçmelidir.

Waterjel patlayıcılar içine katılan maddelerle hassaslaştırılırlar. Tipik hassaslaştırma yöntemleri kimyasal ve fiziksel yöntemlerdir. Kimyasal hassaslaştırıcılar: organik aminlerin nitrat tuzları, alkollerin nitrat esterleri, perklorat tuzları, küçük boyutta ince

alüminyum tozları veya diğer patlayıcıları içerir. Fiziksel hassaslaştırıcılar: Hava boşluğu, gaz baloncukları veya mikro baloncuklar içerebilirler. Güçlü waterjel patlayıcılar aynı zamanda enerji verici olarak alüminyum ve demir tozu gibi maddeleri içermektedirler.

Waterjel patlayıcılarda yaygın şekilde kullanılan maddeler Tablo 2.10. da gösterilmiştir.

Tablo 2.11. Waterjel ve Slurry Patlayıcılarda Kullanılan Maddeler(Mahavedan, 2013)

Oksijen taşıyıcı	Yakıt	Hassaslaştırıcı
Amonyum nitrat	Alüminyum	Metil amine nitrat
Amonyum perklorat	Amonyum oksalat	
Baryum nitrat	Amonyum asetat	Etilen diamine nitrat
Kalsiyum nitrat	Karbon	Alüminyum tozu
Kalsiyum perklorat	Kalsiyum sterat	Mikro baloncuklar
Magnezyum nitrat	Dietilen glikol	Hava baloncukları
Nitrik asit	Monoetilen glikol	Kükürt
Potasyum perklorat	Gliserin	Nitrometan
Sodyum nitrat	Üre	
	Şeker	
	Kükürt	
	Hegzamin	

2.7.5.1. Fiziksel Özellikler

Ürün tam olarak pakletlendiğinde silindirik kartuş şeklinde depoda oldukça stabil şekilde durma özelliğine sahiptirler. Kartuş waterjel patlayıcılar bir yıldan daha fazla raf ömrüne sahiptirler.

2.7.5.2. Yoğunluk

Waterjel patlayıcıların yoğunlukları 0.8 - 1.6 gram / cm³ arasında değişmektedir. Özel uygulamalar için 0.6 gram / cm³ gibi düşük değerlerde de üretilir.

2.7.5.3. Bulk Formu

Bu patlayıcılar akışkan bir şekilde delik içine pompalanırlar. Bunlara slurry patlayıcılar denir. Patlayıcıdan herhangi bir ayırmayı önlemek için guar sakızı gibi bağlayıcılar kullanılmaktadır. Bağlayıcılar ve hassaslaştırıcılar delik içine pompalanmadan katılırlar. ANFO gibi sıfır oksijen balansına sahip olması istenmektedir. En verimli patlatmayı bu zaman gerçekleştirirler. Tablo 2.11. de bazı temel ürün içerikleri gösterilmektedir.

Tablo 2.12. Waterjel ve Slurry Patlayıcıların Farklı Tiplerinin Bileşen Miktarları(Mahavedan,2013)

İçindekiler(%)	Alüminyumsuz	Alüminyumlu	Kapsül has.	Bulk
Amonyum nitrat	57.5	62.5	57.5	67
Sodyum nitrat	10	8	10	5
Su	15-18	15	12-14	16
Guar sakızı	1.5	1.2	1.2	0.8
Şeker	13	8	-	-
Etilen glikol	-	-	6	2
Üre	-	2	4	6
Alüminyum	-	6	4	1
Kükürt	-	-	3	2
Oksijen balansı	0.0	0.0	-3.0	0.0

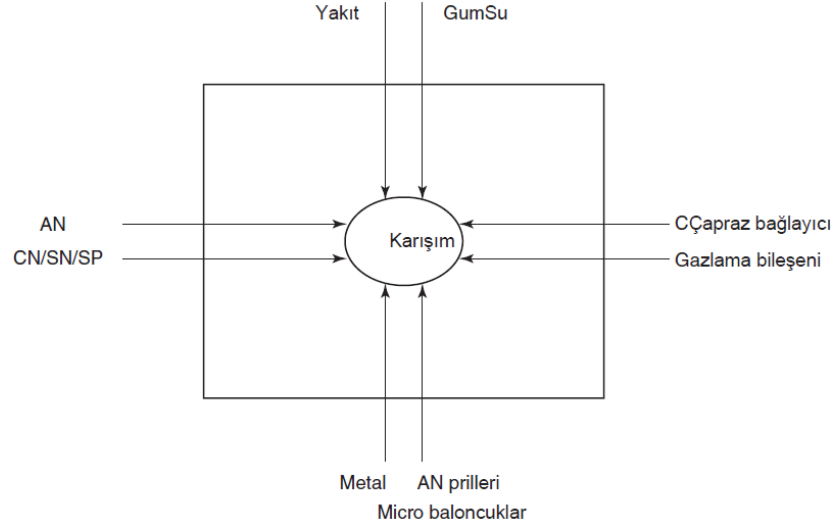
Slurry patlayıcılarda sadece amonyum nitratın oksitleyici olarak kullanılması tavsiye edilmemektedir. Çünkü bu durum reaksiyonun hızı ve depolama duraylılığı için uygun değildir. Böyle bir durumda geniş çaplı deliklerde hemen patlatılması gerekmektedir.

2.7.5.4. Suyun Rolü

Patlayıcılarda su bulunması zararlı etkisiyle bilinmektedir. Fakat su slurry/waterjel patlayıcılarda sıra dışı bir şekilde yeni ürünlerin oluşmasına yardımcı oldu. Slurry, waterjel ve emülsiyon patlayıcılarda suyun rolü çok fazladır. İlk başta su oksitleyici tuzların, yakıtların ve hassaslaştırıcının birbirlerine birleşmelerini sağlamaktadır. İkinci olarak su buhar haline geldiği zaman gaz hacmine katkı sağlamaktadır. Kıvam artırıcı madde ile birlikte patlayıcının viskozitesini düzeltmektedir. Su aynı zamanda bir soğutucu olarak hizmet etmekte ve izinli patlayıcıların bir bileşeni olmaktadır. Su aynı zamanda prosesin kolaylığı ve güvenliği açısından dengeleyicidir. Örneğin su miktarı az olursa çözelti sıcaklığını artırmamız gerekmektedir. Bu da daha fazla enerji harcanması yani daha fazla maliyet anlamına gelmektedir. Bir de su oranı düşük olan ürünler bir etkiye ve sürünmeye karşı daha hassastırlar.

2.7.5.5. Üretim

Slurry/waterjel patlayıcının en yüksek yoğunlukta ve en düşük kritik çapta maksimum enerjiye sahip olması istenmektedir. Temel proses Şekil 2.22. de gösterilmektedir.



Şekil 2.22. Slurry proses diyagramı (Mahavedan, 2013)

Bileşimlerin miktarları da Tablo 2.12 de gösterilmiştir.

Tablo 2.13. Waterjel Patlayıcıların İçerik Yüzdeleri(Mahavedan, 2013)

İçindekiler	Miktar(%)
Oksijen taşıyan tuzlar	45 - 85
Su	8 - 25
Kıvamlaştırıcı	1.0 - 2.5
Çapraz bağlayıcı	0.05 - 0.10
Yakıtlar	6 - 15
Metal tozları	3 - 8
Organik hassaslaştırıcı	10 - 30
Gazlanma bileşeni	0.15 - 0.5
Katı AN pirilleri	5 - 15

Waterjel ve slurry patlayıcı arasındaki fark viskoziteleri, hassasiyetleri ve raf ömürlerinden ileri gelmektedir. Slurry patlayıcılar pompalanabilmesi için düşük viskoziteye sahiptirler. Aynı zamanda düşük hassasiyete sahiptirler ve raf ömürleri kısadır. Slurry patlayıcılar yemlemeye duyarlıdır. Su dirençleri de zayıftır. Tüm bu özellikler bakımından waterjel patlayıcılar daha iyidir. Bu iki patlayıcı arasındaki fark Tablo 2.13. de gösterilmiştir.

Tablo 2.14. Waterjel ve Slurry Patlayıcıların Özelliklerinin Karşılaştırılması(Mahavedan, 2013)

Özellikler	Slurry	Water jel
Viskozite	Akıcı, düşük viskozite	Yüksek viskozite
Raf ömrü	Birkaç gün	Birkaç ay
Hassasiyet	Yemleme	Kapsül
Kritik çap inç	3	7/8
Su direnci	Zayıf	İyi
Kullanım	Çoğunlukla bulk	Paketli
Bağlayıcılığı	Düşük	Yüksek
Yoğunluk (g/ml)	1.20 – 1.35	1.10 – 1.25
VOD (m/s)	4000 – 4500 (açıkta)	3300 – 3800 (açıkta)
AN içeriği	>70	45 - 60
Su içeriği	15 - 18	8 - 25

2.7.5.6. Alüminyumun Etkisi

Alüminyumun patlayıcıya verdiği enerjiden ANFO konusunda bahsedilmiştir. Alüminyum ANFO ve emülsiyon tipi patlayıcılarda sadece enerji verirken, waterjel/slurry tipi patlayıcılarda aynı zamanda hassaslığı artırmaktadır.

İdeal detonasyona ulaşmak için enerji çok hızlı bir şekilde serbest kalmalıdır. Enerji ne kadar hızlı serbest kalırsa patlayıcının performansı o derece daha iyi olur. Alüminyum eklenmesi hızlı reaksiyonu sağlayabilmektedir. Eklenen alüminyum patlayıcının yoğunluğunu artırmaktadır. Yoğunluktaki artış pratik uygulamalarda avantajlıdır ve patlama etkisini geliştirir. Böyle olsa da alüminyumun bir kullanım sınırı vardır. Bu değer patlayıcı bileşiminin %6-8 i arasındadır. Bu sınırlamanın sebebi alüminyum artarken yüzey alanın eklendiği kadar artmamasıdır. Aynı zamanda maliyeti artırmaktadır.

Waterjel patlayıcılar geleneksel ateşleme metotları için güvenli bir hassasiyete sahiptirler. Bu patlayıcılar herhangi bir kazasal olaya karşı dinamitten daha güvenlidirler. Waterjel patlayıcılar bazı uygulamalar için kapsül hassasiyetli olarak formüle edilebilirler. Bazı uygulamalarda ise yemleme hassasiyeti olacak şekilde üretilirler. (Mahavedan, 2013)

2.7.5.7. Guar Sakızının Rolü

Guar sakızı suda çözünen katı maddeleri bazı elementlere bağlayarak stabil bir jel formuna dönüştürmektedir. Bu yüzden gıda ve ilaç sektöründe yaygın bir şekilde

kullanılmaktadır. Slurry patlayıcılar keşfedildiği zaman guar sakızı gibi bir viskozite artırıcı maddeye ihtiyaç duyuldu. Guar sakızı patlayıcının viskozitesini ve bağlayıcı özelliklerini değiştirerek slurry patlayıcılar için gerekli olan viskoziteyi ve birleşmeyi sağlamaktadır. Guar sakızının slurry/waterjel patlayıcılar için önemli işlevleri vardır.

- Proses sıcaklığında AN/H₂O çözeltilisinde viskoziteyi yükseltmek.
- Patlayıcıda kullanılan hava/gaz baloncuklarını tutma yeteneğine sahip olması.
- Biyolojik bozunmaya direnç göstermesi.

2.7.5.8. Bağlayıcı

Slurry patlayıcılar için guar sakızının bağlayıcılığı patlayıcının akışını sürdürmek için düşük derecede olmak zorundadır. Bu yüzden son aşamada delik içinde istenilen jel kıvamı yakalaması için bağlayıcı maddeler eklenebilir. Bağlayıcı madde waterjel patlayıcıların su geçirmezliğini, hassasiyetini ve stabilitesini tutmak için gereklidir.

Bağlayıcı maddeler antimon, bizmut ve zirkonyum gibi inorganik maddelerdir.

Patlayıcıda jel yapının kararsızlığı aşağıdaki sebeplerden dolayı meydana gelmektedir.

- 1) Al/H₂O reaksiyonu
- 2) Guar sakızının biyolojik bozulması
- 3) Oksidasyon
- 4) Aşırı bağlayıcı
- 5) Guar sakızının kısmi hidrasyonu
- 6) pH uygunsuzluğu
- 7) Homojen olmayan şekilde guar sakızı dağılımı

2.7.5.9. İzinli Waterjel Patlayıcılar

Waterjel patlayıcılar yeraltındaki kömür madenlerinde kullanılan nitrogliserinsiz ilk güvenli patlayıcılardır. Bugün çoğu ülkede waterjel ve emülsiyon patlayıcılar kömür madenlerindeki patlatmalarda kullanılmaktadır. İzinli patlayıcıların yeraltındaki kömür madenlerinde kullanılması için aşağıdaki özellikleri taşıması gerekir. (Mahavedan, 2013)

- 1) Yeraltındaki kömür madenlerinde metan hava karışımının tutuşma riskinin düşük seviyede olması ve güvenli olması
- 2) Parlamaya karşı dirençli olmalı. Hızlı detonasyon yerine patlayıcının uzun süre yanması metan hava karışımının tutuşma ve patlama riskini artırmaktadır.
- 3) Patlama sırasında hava kömür tozu karışımının patlamasına sebep olacak bir eğilime düşük seviyede sahip olması.

- 4) Kapsüle duyarlı olmalı.
- 5) Patlatma yoluyla madenlerin ekonomik çalışmasını sağlayabilecek gaz hacmine ve güce sahip olmalı.
- 6) Minimum zehirli gaz üretmeli
- 7) Suyun hareketine karşı dirençli olmalı.

İzinli waterjel patlayıcıyı oluşturan maddelerin yüzdesel olarak içerikleri Tablo 2.14. de gösterilmiştir.

Tablo 2.15. İzinli Waterjel Patlayıcıların İçerik Yüzdeleri(Mahavedan, 2013)

İçindekiler	Miktar(%)
Amonyum nitrat	45 - 60
Sodyum nitrat	8 - 10
Kalsiyum nitrat	6 - 8
Sodyum klorür	5 - 10
Su	15 - 25
Guar sakızı	1 - 2
Çapraz bağlayıcı	0.04 - 0.06
Alüminyum tozu	3.0 - 3.5
Şeker	6 - 8

İzinli waterjel patlayıcılarla izinli nitrogliserinli patlayıcıları karşılaştırıldığında waterjel patlayıcıların hızının % 10-15 daha yüksek olduğu görülmektedir. Aynı zamanda waterjel patlayıcılarda ölçülen alev sıcaklığı 1500 °C civarındadır. Bu değer nitrogliserinli patlayıcıların alev sıcaklığından düşüktür. Su ve sodyum klorür soğutucu etki yapmaktadır.

Yeraltında kömür madenlerinde düşük seviyede zehirli gaz meydana getirecek patlayıcıya ihtiyaç olmakla birlikte aynı zamanda kömürü yeteri derecede kırarak gaz hacmine de ihtiyaç vardır. Bu bakımdan waterjel patlayıcılar nitrogliserinli patlayıcılara göre avantajlıdır. Zehirli gaz seviyesinin düşük olmasında oksijen balansının önemli bir yeri vardır. Waterjel patlayıcılarda oksijen balansı 0 ile -3 arasında değişmektedir.

2.7.6. Dinamit

Dinamit sadece geleneksel şarj uygulamalarında kullanılan kartuş patlayıcılardır. Dinamit ilk kez Alfred Nobel'in kiselgurun çok miktarlarda nitrogliserini absorbe ettiğini fark ettiği zaman keşfedildi. Kiselgur diyatomit olarak bilinir. Kiselgur çift

atomlu silisyum kabuklarının doğal çökeltisidir. İnce bir şekilde öğütüldüğü zaman bir absorbent olarak hareket etmektedir. Son zamanlara kadar dinamit ticari patlayıcı endüstrisinin ana bileşeni olarak hizmet etmekte idi. Kiselgur nitrogliserini kendi ağırlığının 3 katı kadar absorbe edebilmektedir. Bu da nitrogliserini taşımada ve kullanımda güvenli ve uygun bir metot sağlamaktadır.

Nobel kiselgurun patlayıcının enerjisine katkı sağlamadığını ve patlayıcıdan ısıyı absorbe ettiğini fark etti. Sonuç olarak kiselgurun yerine sodyum nitrat ve odun talaşını kullandı. Bu şekilde üretilen dinamitlerde enerji sadece nitrogliserinden kaynaklanmamaktadır. Aynı zamanda tutuşan maddelerle sodyum nitratın reaksiyonundan da gelmektedir.(Blasters' handbook, 2011)

2.7.6.1. Bileşim

Modern dinamit ürünleri kapsül hassasiyetli patlayıcılar olarak bilinmektedirler. Bugün saha koşullarının izin verdiği yerlerde dinamitin yerini daha düşük maliyetli patlayıcılar almıştır. Waterjel ve emülsiyonlar ANFO nun tercih edilmediği koşullarda dinamitin yerine kullanılmaktadırlar.

Bugünün dinamitleri Nobel in orijinal karışımından farklıdır. Bu dinamitler sıvı nitrat esterler, jelleştirici madde, okside tuzlar, yakıtlar ve dope adı verilen maddelerden oluşmaktadır. Dinamit ideal olmayan patlayıcı olarak sınıflandırılmaktadır. Sıvı nitrat ester karışımları nitrogliserin ve nitroglükol içermektedir. Nitroglükol nitrogliserinin donma noktasını düşürmektedir ve soğuk hava şartlarında kullanılmalarına olanak sağlamaktadır.

Nitroselüloz suya karşı direnç sağlayan ve kartuşların sızdırmasını önleyen jelleştirici maddedir. Dinamit yapımında kullanılan yakıtlar enerji sağlamaktadırlar. Oksitleyici tuzlar ise detonasyon için gerekli olan oksijeni sağlamaktadırlar. Amonyum nitrat ve sodyum nitrat kullanılan başlıca oksitleyici tuzlardır.

2.7.6.2. Fiziksel Özellikler

Dinamitler kağıt veya plastik tüpler ile kartuşlanmış patlayıcı karışımlardır. Dinamit ürünleri sıkıştırılarak şarj yoğunluğu ve delik kapasitesi artırılabilir. Dinamitin fiziksel özellikleri çeşitleriyle oldukça değişkenlik gösterir. Spesifik özellikler yapılan

uygulamalarda dikkate alınmalıdır. En önemli dinamit özellikleri yoğunluk ve su direncidir.

2.7.6.3. Performans Karakteri

Dinamit performans karakterleri oldukça değişkenlik gösterebilir. Dört tane önemli performans kriteri daha çok göze çarpmaktadır. 1) enerji 2) VOD 3) hassasiyet 4) gaz sınıfı

Özel bir uygulama için dinamit seçimi, kaya ve çalışma yeri faktörlerini dikkate almayı gerektirmektedir. Bu kriterler: kaya parçalanabilirliği, sulu delik durumu, yeraltında havalandırma ve çalışma sahasına yakınlık, tutuşabilir gazların mevcudiyeti, toz bulunması.

2.7.6.4. Dinamit Ürünleri

Dört tane temel tip dinamit vardır. 1) granül 2) jelatin 3) yarı jelatin 4) izinli. Jelatin dinamit ile yarı jelatinli dinamit arasındaki temel fark nitroselüloz miktarlarıdır. Bu ürünlerin viskozitesi nitroselülözün yüzdesine bağlıdır. Granül dinamitler ise çok az veya hiç nitroselülöz içermezler.(Blasters' handbook, 2011)

2.7.6.5. Granül Dinamit

İki tip granül dinamit vardır. 1) düz 2) amonyumlu

2.7.6.6. Düz dinamit

Düz dinamitte nitrogliserinin derecesi dinamitin derecesini belirlemektedir. Örneğin; %50 nitrogliserin içeren dinamit %50 lik düz dinamit olarak adlandırılmaktadır.

Bu düz dinamit derecesi kabaca barutla aynı enerjiye sahiptir. Fakat performansı baruta göre çok fazladır. Çünkü düz dinamitler devamlı daha yüksek detonasyon hızlarında patlarlar. Amonyumlu dinamitlerin piyasaya girmesinden sonra daha yüksek maliyet, şoka ve tutuşmaya hassasiyet, zehirli gazlar gibi sebepler düz dinamitin kullanımını sınırladı.

2.7.6.7. Amonyum Granül Dinamit

Amonyum granül dinamitler ekstra dinamit olarak bilinir. İlk enerji kaynağı olarak sodyum nitrat ve amonyum nitratı kullanırlar. Nitrogliserin patlayıcı enerjisine katkı sağlamaktadır. Fakat nitrogliserin nitrat karışımları reaksiyonu tamamlayacak bir hassaslaştırıcı olarak kullanılmaktadır.

Amonyum granül dinamit düz granül dinamitlerle karşılaştırıldığında daha düşük detonasyon hızı, enerji ve daha az su direncine sahiptirler. Ayrıca soka ve tutuşmaya karşı daha az hassastır. Fakat oldukça ekonomiktir. Amonyum granül dinamitin güvenli ve ekonomi avantajları düz granül dinamite göre tercih edilmesine sebep olmaktadır.

2.7.6.8. Yarı Jelatin dinamit

Yarı jelatin dinamitler çok az miktarda nitroselüloz içeren amonyumlu dinamitlerdir. Düz yarı jelatin dinamit yoktur. Yarı jelatin dinamit amonyum granül dinamitten daha fazla nitrogliserin içermektedir. Nitroselüloz ve nitrogliserin bir jel formu oluşturmak için birleştirildiği zaman dinamit daha iyi su direncine sahip olmaktadır.

Yarı jelatin dinamitler granül dinamitlerden biraz daha fazla detonasyon hızına sahiptirler. Yarı jelatin dinamitin iyi su direnci ve düşük gaz üretim karakteri sebebiyle yer altında ve taş ocaklarında sıkça kullanılmaktadırlar.

2.7.6.9. Jelatin dinamit

İki tip jelatin dinamit vardır. 1) düz jelatin 2) amonyum jelatin dinamit. Genelde jelatin dinamitler nitrogliserini absorbe etmek için nitroselüloz kullanılmaktadırlar. Jelatin dinamit yarı jelatin dinamitten daha fazla nitroselüloz içeriğine sahiptirler. Bu yüzden daha büyük detonasyon hızına ve daha fazla su direncine sahiptirler.

2.7.6.10. Düz Jelatin Dinamit

Düz jelatin dinamitler düz granül dinamitlerden birkaç yıl sonra keşfedildi. Orijinal formu patlayıcı jelatindir. İçeriği %91 nitrogliserin, %8 nitroselüloz ve %1 kireçtaşıdır. Zamanla güvenli ve ekonomik olduklarından dolayı amonyum jelatin dinamitler düz jelatin dinamitlerin yerini aldı.

Uygun hassasiyet, yüksek detonasyon hızı ve jelatinin performansı jelde bulunan hava boşluğuna bağlıdır. Bu hava boşluğu üretimin karışım prosesi esnasında gelişmektedir. Basınç altında veya uzun depolama esnasında hava boşluğu azalırsa bu jelatin dinamitin hızını azaltabilmektedir.

2.7.6.11. Amonyum Jelatin Dinamit

Bu dinamitler gücünün bir kısmını amonyum nitrattan alır. Bu dinamitler yüksek yoğunluk, yüksek hız ve iyi su direnci sebebiyle tercih edilmektedir.

2.7.6.12. İzinli Dinamit

İzinli dinamitler yer altı kömür ocaklarında kullanılırlar. Bu dinamitler şartnamede belirtilen şartlara göre kullanılmalı ve depolanmalıdırlar.

Tüm patlayıcılar detone oldukları zaman belirli süre yanan ve belirli sıcaklığa çıkan bir alev verirler. İzinli patlayıcılar amonyum dinamitlerdir. Hem granül hem de jelatin tipi vardır. Bu patlayıcılara alevi azaltıcı katkıları eklenmektedir. Bu katkıları patlamanın alevinin miktarını, sıcaklığını ve süresini azaltırlar. Bu patlayıcılar yer altındaki kömür ocaklarında veya diğer uygulamalarda gaz ve tozun tutuşma ihtimalini minimize etmek için tasarlanmışlardır.

İzinli patlayıcılar düşük detonasyon hızına sahiptirler. Kolayca nemi absorbe edip bozulabilirler. İzinli dinamitlerin hem granül şekli hem de jelatin şekli vardır. Granül olan kömür ocaklarında, jelatin olan ise kaya parçalamak için kullanılırlar.(Blasters' handbook, 2011)

2.8. ATEŞLEME SİSTEMLERİ

Bütün patlayıcıların patlatılabilmesi için şok, tutuşma ve darbe gibi bir etkiye ihtiyaç duyarlar. Bu etkiyi gerçekleştirenler ateşleme elemanları olarak bilinirler. Kapsül sistem ve fitil sistem olarak ikiye ayrılır.

2.8.1. Kapsül Sistem

Kapsüle duyarlı patlayıcıları patlatmak için gerekli olan şok etkisini oluştururlar. Kapsül dış metal tüp (bakır, bronz veya alüminyum), genellikle 5.5-7.5 mm arasında değişen çap ve ani ya da gecikmeli olmasına göre değişen uzunluğunu ihtiva etmektedir. Kapsülün altında esas patlayıcı olarak PETN veya RDX gibi ikincil patlayıcılar kullanılmaktadır. İkincil patlayıcının üzerinde birincil patlayıcılar kullanılırlar. Burada kurşun stephenat, kurşun oksit ve alüminyum tozundan oluşan A.S.A karışımı da birincil patlayıcı olarak kullanılmaktadır.

2.8.1.1. *Adi Kapsüller*

Adi kapsüllerin dış kabuğu alüminyumdur. Kuru ve gaz olmayan ortamlarda kullanılırlar. Emniyetli fitil kapsülün içine yerleştirilip sıkıştırılarak kullanılır. Adi kapsülün alt tarafında kurşun azid üst tarafında ise RDX bulunur.

2.8.1.2. *Elektrikli Kapsüller*

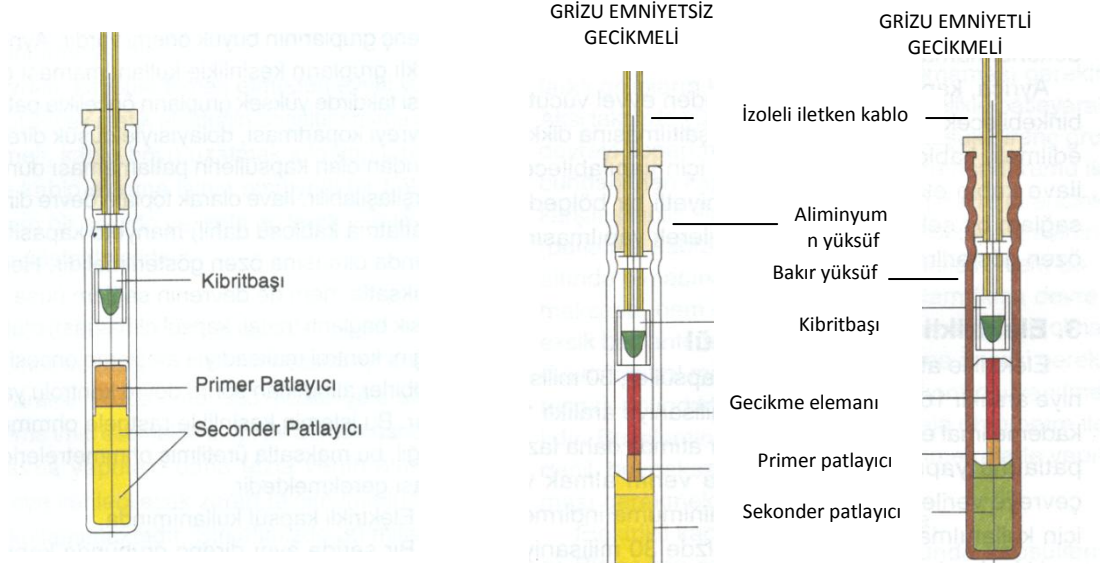
İlke olarak adi tahrip kapsülü ile yapıları aynıdır. Birincil şarjı patlatmak için fitil yerine kibrit başı (Plastik izolasyon ile tutturulmuş iki metal şerittir. Bu iki şeridin bir ucunda kolay yanabilen ecza ile kaplı direnç teli, diğer ucunda puntalanmış kablolar vardır. Köprü teli direnci maksimum 0,2 ohm) vardır. Kibrit başı elektriksel direnç ile ateşlenir. Gecikmeli elektrikli kapsüllerde ise kibrit başı ile birincil şarj arasında gecikme aralığına göre boyu değişen piroteknik gecikme elemanı vardır. Bu kapsüller seri veya paralel elektrik devrelerinde bağlanabilir, farklı direnç gruplarında imal edilirler. Elektrikli kapsülün dezavantajı bazı riskleri bulundurmasıdır. Elektrikli kapsüllerin barındırdığı riskler ve /tehlikeler (Alpsar, 2004; Orica Nitro, 2011):

1. En küçük darbeden bile etkilenir ve patlayabilir,
2. Elektrik akımıyla patlar, farklı direnç grupları aynı patlatmada patlamayabilir,
3. Statik elektrikten, manyetik alandan etkilenir ve patlayabilir (Radyo dalgaları, hava koşulları ve salınım elektrik akımlarından etkilenebilirler),
4. Çok küçük alternatif ve doğru akımla, kıvılcım ve ateşte, kesilince patlar,
5. Şok yanma, şok basınç, şok patlamalarla, İnfilaklı fitilin patlamasıyla patlar,
6. Plastik sıkılama tıparları ve patlayıcı şarj makinelerinden etkilenerek patlayabilir.

8 nolu tahrip kapsülü gücünde üretilen elektrikli kapsüller, kapsüle duyarlı her patlayıcıyı patlatırlar. Elektrikli kapsüllerin avantajları (Wild 1994'den çeviri Kuzu 1998) şunlardır:

1. Kontrollü ateşleme sırası verilir, patlama zamanı hassas olarak belirlenebilir,
2. Ateşleme devresi ölçü tekniği açısından test edilebilir, nümerik olarak hesaplanabilir (Bu işlem uygun ohmmetreler ile yapılmalıdır. Uygun olmayan aletlerin kullanılması sonucu ölümcül kazalar meydana gelmiştir),
3. Patlatma zamanı ayarlanarak, şarjlı delikler farklı zamanlarda patlatılabilir,
4. Büyük sayıda delik şarjı patlatabilir, grizu güvenliği sağlamak mümkündür

Gecikmeli, gecikmesiz ve grizu güvenli elektrikli kapsüllerin şekilleri aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 2.23. Elektrikli kapsüllerin yapısı yapısı (Kapsülsan, 1998)

2.8.1.3. Elektronik Gecikmeli Kapsül

Elektronik kapsüller patlama ateşleme teknolojisinde son zamanlarda gelişmiştir. Bu kapsüllerin yararlarından birisi kesin ve doğru zamanlamadır. Tüm elektronik kapsüller entegre devre çipi ve kondansatöre sahiptirler. Kondansatörün görevi ateşleme zamanını kontrol etmek ve fitil başını ateşlemek için gerekli olan voltajı sağlamaktır. Elektronik kapsüllerin zamanlama kabiliyeti titreşim, parçalanma ve hava şoku gibi patlama sonuçlarında önemli bir gelişim sağladı. Bu kapsüller 1-250 arasında gecikme periyotları ile numaralandırılırlar. Bu sayılar gecikme zamanını göstermez sadece ateşleme düzeninin sıralamasını belirler. Her kapsül kendi zaman referansına sahiptir. Bu kapsülün bazı spesifik özellikleri şunlardır.

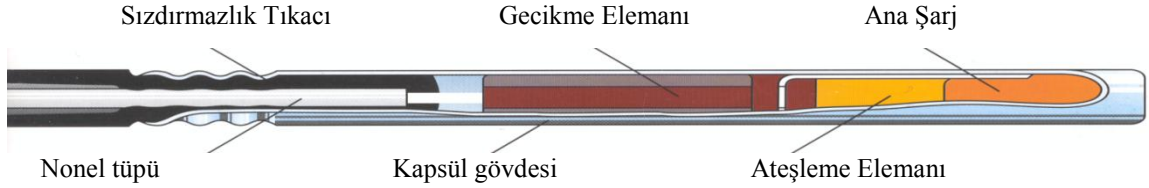
- En kısa gecikme zamanı 1ms, en uzununu ise 5.25 saniyedir.
- Bu kapsüllerden 500 tane patlayıcı makinesine bağlanabilir.
- Radyo frekans sinyalleri, kaçak akımlar ve şarjlama sırasında oluşabilecek statik elektriğe karşı güvenlidir.
- Zamanlama da 0.2ms hassasiyete sahiptir.
- Maliyet olarak diğer kapsüllere göre oldukça pahalıdır.(Blasters' handbook, 2011)

2.8.1.4. Elektriksiz Kapsüller(NONEL)

Nonel, düşük enerji tipli iletim hattı olan elektriksiz ateşleme sistemidir. Kullanımı 1973 yılında yaygınlaşmıştır. Kapsüllerin içinde birincil patlayıcı yoktur.

2.8.1.5. Nonel-Tüpü

Özel olarak seçilmiş plastik maddelerden üretilir. Nonel tüpü; esnemelere ve değişik hava şartlarına dayanabilmeli, iyi yapışabilme özelliğine sahip olmalıdır. Plastik tüpün iç kısmı HMX (High Melting Explosive) ve alüminyum karışımından oluşan reaktif bir toz ile kaplanmıştır.(Şekil 2.24.) Bir reaksiyon başlaması için şok dalgası ve yüksek sıcaklığın birlikte etki etmesi gerekmektedir. Şok dalgası reaktif madde tozunu tahrik eder ve daha sonra yüksek sıcaklıkla ateşlenir. Şok dalgası tüp içerisinde yaklaşık olarak 2100 m/sn hızla ilerlemektedir. Şok dalgası kapsül içerisindeki şok dalgasını ateşleyecek güçte ama Nonel-tüpünü yırtabilecek güçte değildir. Patlatmadan iyi randıman alabilmek için ateşlemenin deliğin tabanından yapılması gerekmektedir.



Şekil 2.14. Nonel kapsüllerinin yapısı (Nitromak, 2000)

Kapsül içindeki başlatıcı eleman çelik tüp içerisindeki PETN, kapsülün gövdesine direkt olarak sıkıştırılmış ikincil patlayıcı Hexojen ana şarjdır. Kapsül içindeki Nonel tüpü serbest ucu tıklı ve uygun uzunluktadır. Sızdırmazlık tıkacı; Kapsüle su girişini engeller, kapsüle yakın bölgedeki nonel tüpünü aşınma ve zedelenmeye karşı korur.

2.8.1.6. Nonel Bağlantı Üniteleri

Nonel tüpünde reaksiyonu başlatmak için detonasyona ihtiyaç vardır. Tüpler arasında detonasyonu sağlamak için bağlantı blokları (Snapline ünitesi), nonel tüpü ile infilaklı fitil bağlantısı için ise klips (mandal) kullanılır. Bağlantı blokları, bağlantı noktalarında nonel-tüpü içerisindeki şok dalgasını diğer tüpe iletir. Her bağlantı bloğunun 3 mm. çapındaki maksimum beş tüpü veya 3,7 mm. çapındaki dört tüpü alabilecek bağlantı yeri bulunur. Bir bağlantı bloğunda; kapsül, su girmesini engelleyen lastik tıkaç, içerisinde bulunan kapsülden çıkacak şarj parçalarını engelleyen plastik blok (Değişik gecikmeler farklı renklidir), bir ucu tıklı diğer ucunda kapsül bulunan Nonel

tüpü, Nonel tüpü halkalarını bir arada tutan demet bandı, bağlantı bloğundaki kapsülün gecikme zamanının ve tüpün uzunluğunun yazıldığı etiket vardır.

2.8.2. Fıtil Sistem

2.8.2.1. Elektrikli Fıtil

1831 de William Bickford tarafından bulunan emniyetli fıtil, ilk olarak kara barutun ateşlenmesinde kullanılmıştır. Günümüzde, tali patlatmalar, küçük atımlar, kaya kesme ve şok tüpü veya infilaklı fıtil ateşlemesi gibi değişik amaçlar için kullanılan emniyetli fıtiler, tahrir kapsülü ile birlikte kullanılmaktadır. Emniyetli fıtil, pamuklu bir ip ile desteklenmiş kara barut dolgusu ve bunun etrafındaki koruyucu dokuma ve yalıtım malzemesinden meydana gelmektedir. Normal yanma hızı 100-120 m/sn mertebesindedir. Buna göre 2 metrelik bir fıtil 240 saniyede yanmaktadır.

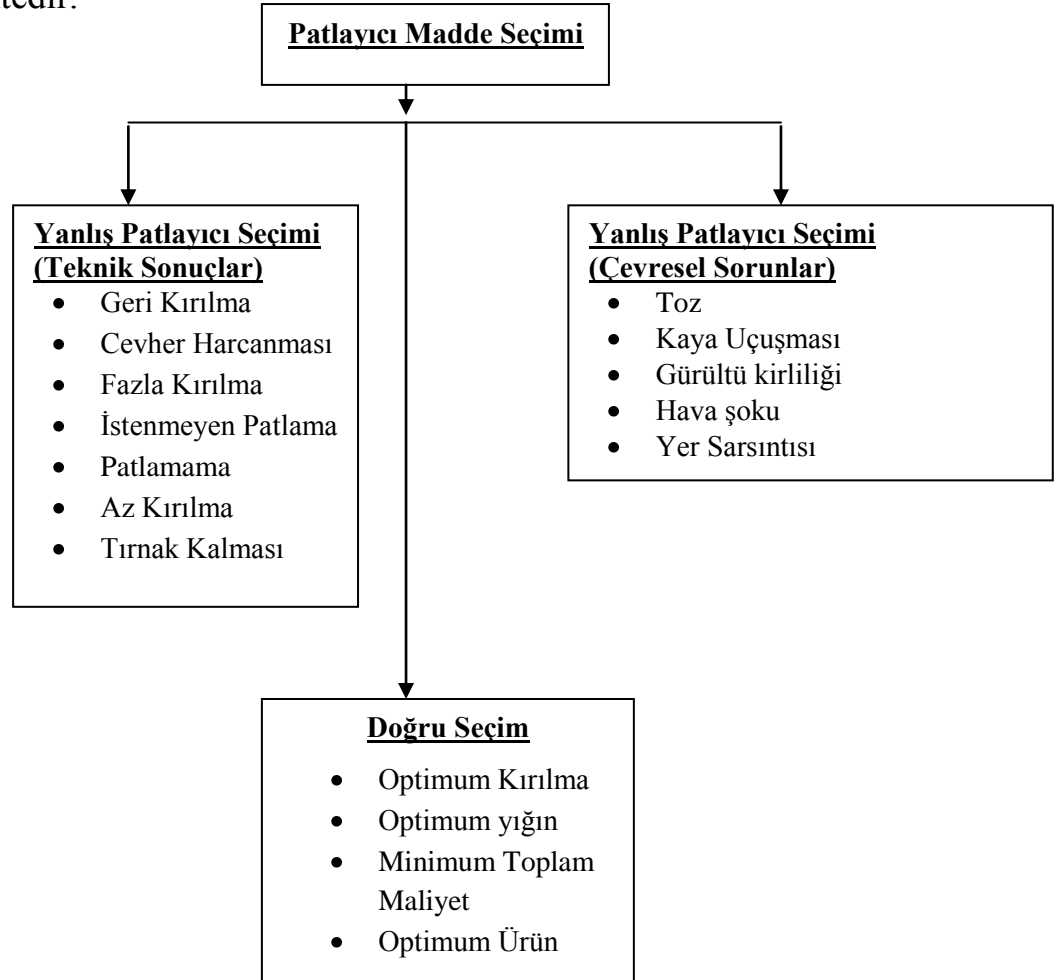
2.8.2.2. İnfilaklı Fıtil

İnfilaklı fıtilde, emniyetli fıtilin tersine kuvvetli bir patlayıcı olan PEN kullanılmaktadır. İnfilaklı fıtilin kuvveti, metre başına içerdiği gram patlayıcı miktarı olarak ifade edilmekte olup, genelde sık rastlanan değerleri; 3, 4, 5, 6, 8, 10, 20, 40, 80 gr/m lik kuvvetteki fıtilerdir. İnfilaklı fıtili ateşlemek için 8 numaralı kapsül yeterli olmaktadır. Ateşlemeden sonra infilaklı fıtil infilak ederek fıtil boyunca ilerleyen bir detonasyon cephesi gösterir. Genellikle bu hız 7000 m/sn mertebesindedir. (Tatiya, 2005)

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. PATLAYICI SEÇİM KRİTERLERİ

Patlayıcı madde seçimi başarılı bir patlatmayı sağlayabilmek için gerekli olan patlatma tasarımının önemli bir parametresidir. Patlayıcı seçimi yapılırken ekonomi, kaya tipi ve gerekli olan patlatma sonuçları dikkate alınmalıdır. İyi bir seçim ancak bu faktörlerin dikkate alınması ile mümkün olabilir. Patlayıcı madde seçiminin doğuracağı sonuçlar aşağıda görülmektedir.



Şekil 3.1. Patlayıcı Madde Seçim Sonuçları (Tosun, 1991)

Patlayıcı seçim faktörleri şu konularda incelenebilir.

- Ekonomik faktörler
- Patlayıcılar
- Kaya ve patlatma koşulları
- Patlatma sonuçları

3.1.1. Ekonomik Faktörler

3.1.1.1. Patlayıcının Maliyeti

Patlayıcının fiyatı çok önemli bir kriterdir. Çalışma koşullarına hitap edecek ve istenilen sonucun alınmasını sağlayacak en ucuz patlayıcı madde seçilmelidir. Bazı durumlarda ucuz patlayıcının seçimi uygun sonuçlar vermeyebilir ve daha yüksek patlayıcı maliyetinin oluşmasına neden olabilir.

ANFO birim enerji başına en düşük maliyete sahiptir. ANFO en ucuz patlayıcı olması yanında bazı dezavantajlara sahiptir. Bunlar ANFO nun zayıf su direnci ve düşük yoğunluk değerlerine sahip olmasıdır. Seçilmesi düşünülen iki patlayıcı arasından hangisinin seçilebileceği konusunda Sing ve diğerleri (1993) bir yaklaşım önermiştir. Bu yaklaşıma göre toplam maliyet 3.1. formülü ile gösterilmiştir.

N= delik sayısı

W= bir deliğe konulan patlayıcı miktarı

C= patlayıcı madde fiyatı

D= her delik için delme ve yükleme maliyetidir.

Burada toplam maliyeti;

$$T=N(D+WC) \quad (3.1.)$$

şeklını alır. A ve B gibi iki patlayıcı arasında toplam maliyet karşılaştırıldığında formül;

$$T_A - T_B=N_A(D+W_A C_A)-N_B(D+W_B C_B) \quad (3.2.)$$

şeklindedir. Patlayıcı maddelerin ağırlıkça kuvvetleri ve yoğunlukları göz önünde bulundurularak aynı blok için A ve B patlayıcısı arasındaki ilişki,

$$N_A d_A S_A=N_B d_B S_B \quad (3.3.)$$

şeklindedir veya N_A

$$\frac{N_A}{N_B} = \frac{d_{BSB}}{d_{ASA}} \quad (3.4.)$$

şeklinde yazılabilir. Buradan da

$$\frac{W_A}{W_B} = \frac{d_A}{d_B} \quad (3.5.)$$

olduğu kabul edilebilir. 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 denklemlerinin çözümünden,

$$T_A - T_B = N_A D \left(1 - \frac{d_{ASA}}{d_{BSB}}\right) + \left(1 - \frac{S_{ACB}}{S_{BCA}}\right) N_A W_A C_A \quad (3.6.)$$

elde edilir.

Bu kriter, denklemin sol tarafının negatif veya pozitif oluşuna bağlı olarak verilen bir iş için patlayıcının kalitesini tespit etmeye yarar. Eğer denklemin sol tarafı pozitif ise B patlayıcısı A patlayıcısından daha uygundur. Eğer negatif ise tersi doğrudur. Formüllerde kullanılan ifadeler aşağıda tanımlanmıştır.

T_A =A patlayıcısının maliyeti

T_B =B patlayıcısının maliyeti

N_A =A kullanılırsa delik sayısı

N_B =B kullanılırsa delik sayısı

W_A = bir deliğe konan A patlayıcısı(kg/delik)

W_B =birdeliğe konan B patlayıcısı(kg/delik)

d_A =A patlayıcısının ağırlıkça gücü

d_B =B patlayıcısının ağırlıkça gücü

S_A =A patlayıcısının yoğunluğu

S_B =B patlayıcısının yoğunluğu

3.1.1.2. Delgi Maliyeti

Normal delme koşulları altında ateşleyici yeterli ve uygun parçalamayı sağlayan en ucuz patlayıcı maliyetini seçmelidir. Sert yoğun kayada delme maliyetleri arttığı zaman delme ücreti ile patlayıcı ücreti optimize olmalıdır.

3.1.2. Patlayıcı

Nitrogliserin esaslı patlayıcılar, ANFO, slurry, emülsiyon ve heavy ANFO patlayıcılarının tümünü değerlendirirken özelliklerini iyi analiz etmek gereklidir.

3.1.2.1. Patlayıcı Enerjisi

Patlayıcı enerjisi patlayıcı maddeleri karşılaştırıldığı zaman çok dikkate alınan özelliklerinden biridir. Patlama enerjisinin büyük bir kısmını şok enerjisi, gaz enerjisi ve ısı enerjisi oluşturmaktadır. Şok enerjisi ve gaz enerjisi patlatma prosesi için çok yararlı parametrelerdir. Yapılacak işin niteliğine göre patlayıcı seçimi çok önemlidir. Güç farklılığından dolayı tahrip, dekapaj kazısı, üretim kazısı, temel kazısı, sismik araştırmalar v.b gibi alanlarda farklı patlayıcılar kullanılırlar. Ayrıca patlatma sonrası oluşan çevresel etkileri (taş fırlaması, vibrasyon, gaz ürünler gibi) de göz önünde bulundurarak patlayıcı maddeleri gücüne göre seçmek gerekir. Patlayıcı enerjisi kıyaslaması yaparken 2.4 de belirttiğimiz enerji denklemini dikkate alınmalıdır.

Patlayıcının enerjisi için detonasyon hızı ve yoğunluğu çok önemlidir. Detonasyon hızının ve yoğunluğun artışı enerjiyi artırdığı bilinmektedir. Patlayıcı seçiminde patlayıcı maddelerin detonasyon hızını etkileyebilecek esaslara dikkat edilmelidir. Örneğin ANFO da kullanılan biyodizel detonasyon hızını azaltmaktadır. Bu yüzden biyodizelle yapılan ANFO nun fuel oille yapılan ANFO dan daha düşük detonasyon hızına sahip olduğu göz önüne alınmalıdır. (Resende ve diğerleri, 2014)

3.1.2.2. Yoğunluk

Patlayıcı maddenin birim hacminin ağırlığıdır. Detonasyon sürecinde birim zamanda devreye giren kütleyi işaret ettiği için önemlidir. Ayrıca patlayıcının duyarlılığının ve detonasyon basıncının oluşmasında da önemli rol oynar. Yoğunluğun detonasyon basıncına etkisi 2.1. denkleminde görülmektedir.

3.1.2.3. Duyarluluk

Bu özellik, patlayıcının patlama kolaylığının ölçümüdür. Bir patlayıcı kararlı bir detonasyona ulaşabilmesi için, minimum bir enerjiye ihtiyaç duyar. Bu, bazı patlayıcılar için bir kapsülün verdiği enerji kadar olurken, bazı patlayıcılar için ise yemleme ile sağlanabilmektedir. Patlayıcılara hassasiyetlerine göre ateşleyici seçmek gereklidir. Nitrogliserin esaslı patlayıcılar, emülsiyonlar ve kapsül hassasiyetli slurry patlayıcılar kapsül ile patlatılabilir. ANFO, slurry ve heavy ANFO gibi ürünler ise patlatılabilmesi için yemleme gerekmektedir.

3.1.2.4. Raf Ömrü

Patlayıcı maddenin stoklanabilme ömrüdür. Değişik kimyasal maddelerin bileşimi olan patlayıcı maddeler, zamanla bozulmaya başlarlar. Tam bir bozulma olmadan önce patlama karakterleri değişmeye başlar. Önemli olan patlayıcının güvenliğini yitirmemesidir. Üretici güvenli raf ömrünü ve koşullarını açıklamak zorundadır. Kullanıcının da stok seviyesini buna göre düzenlemesi önemlidir.

3.1.3. Kaya ve Patlatma Koşulları

Kaya tipi ve patlatma koşulları patlayıcı seçiminde önemli bir yer teşkil etmektedir.

3.1.3.1. Şarj Çapı

ANFO nun etkinliği ve uygunluğu küçük çaplı deliklerde azalır. Kritik çap değeri ANFO da düşüktür. 50 mm in altındaki küçük çaplı deliklerde waterjel, emülsiyon ve nitrogliserin esaslı patlayıcılar tercih edilmektedir. 50 mm in üzerindeki deliklerde nitrogliserin esaslı patlayıcılar tercih edilmez. Çünkü bu çaplarda ANFO ve Heavy ANFO patlayıcıları kullanmak daha uygundur. 100 mm in üzerindeki deliklerde ise ANFO yu bulk şeklinde delik içine pompalanarak kullanmak daha uygundur. 50 mm den büyük çaplı deliklerde su olmayan deliklerde ANFO yu kullanmak daha ekonomik ve verimli olmaktadır.

3.1.3.2. Kaya Koşulları

Patlayıcı maddenin patlatılacak kaya ortamına göre seçilmesi patlayıcı/kaya etkileşim modeline dayandırılmalarıdır. Yüksek dayanma sahip masif kayaların patlatılmasında etkili kırma enerjisi en önemli performans parametresidir. Bu uygulamalarda, daha yüksek etkili kırma enerjisine (ideale yakın) sahip patlayıcı madde seçilmelidir. Çatlaklı

ve düşük dayanıma sahip kayaların patlatılmasında ise etkili itme enerjisi en önemli performans parametresidir. Bu uygulamalarda, daha yüksek etkili itme enerjisine (idealden uzak) sahip patlayıcı madde seçilmelidir. Kırma enerjisi yüksek olan patlayıcılar olarak nitrogliserin ve emülsiyon tipi patlayıcılar olarak öne çıkmaktadır. ANFO da öteleme enerjisi yüksek olan patlayıcı olarak önemlidir.

3.1.3.3. Su Mevcudiyeti

Patlayıcı seçiminde dikkate alınması gereken diğer bir parametre suya dirençli patlayıcıdır. Sulu koşullarda ANFO iyi sonuçlar vermez. Sulu deliklerde emülsiyon ve slurry patlayıcılar tercih edilmektedir. Heavy ANFO da geniş çaplarda yaygın şekilde kullanılmaktadır. Nitrogliserinli patlayıcılar sulu delikte kullanıldığı zaman jelatinli olanları tercih edilmelidir. Suya dirençli olarak tanımlanan bir patlayıcının sulu delik içinde en az 24 saat patlama özelliklerini bozmadan kalabilmesi gerekmektedir.

3.1.3.4. Aktarma Oranı

Patlayıcı maddeler tüm enerjilerini kaya yapılarına aktarmazlar. Bu bir ölçüde, patlayıcının özellikleri ile kaya yapısının özelliklerinin uyuşmamasından kaynaklanır. Kartuşların kendisinden daha büyük çaplı deliklere konulması ile meydana gelen geometrik uyumsuzluk, patlayıcı enerjisinin tümünün kaya yapısına geçmesini engellemektedir. ANFO gibi, harç patlayıcılar gibi dökümlü patlayıcı maddeler deliği tamamen doldurduğu için geometrik uyumsuzluk yoktur.

Kalker, marn veya benzeri kaya yapılarında yoğunluk ve dalga yayılma hızı düşüktür. Böyle kaya yapılarında yüksek detonasyon hızlı patlayıcı maddeler kullanmak yararsızdır, parasal kayıplara neden olmaktadır. Demir cevheri, granit gibi kaya yapılarında ise yüksek detonasyon hızlı patlayıcı maddeler daha iyi sonuçlar verecektir.

3.1.4. Patlatma Sonuçları

Patlatma sonuçları kırılan kayanın parçalanmasından, kaya fırlamasından, hava şoku, vibrasyon ve ortaya çıkan gaz miktarlarından analiz edilebilir.

3.1.4.1. Duman Karakteri

Özellikle yeraltı işlemlerinde kullanılacak patlayıcılar için önemlidir. Patlama ürünü oluşan gaz ürünlerde karbon monoksit ve azot oksit gazlarının belirli bir düzeyin altında

olması gerektiğini işaret eder. Kömür madenlerinde grizu güvenli ürünler seçmek gereklidir.

3.1.4.2. *Gerekli olan parçacık boyutu*

Üretim maliyetinin doğrudan parça boyutu ile ilişkisi vardır. Sert ve yüksek yoğunluklu kayada istenilen parça boyutunu ya dilim kalınlığı, delik çapı ve delikler arası mesafeyi azaltarak mümkündür ya da patlayıcı konsantrasyonunu artırmak gereklidir. Patlayıcı konsantrasyonu ise patlayıcının güç ve yoğunluğuna bağlıdır.

3.1.4.3. *Çevresel Problemler*

Patlatma olan sahaya yakın yerleri etkileyen başlıca problem hava şoku ve titreşimlerdir. Kuvvetli patlayıcı kullanmak daha fazla titreşime sebep olabilecektir. Titreşim ve hava şokunun problem oluşturacağı sahalarda daha düşük enerjili patlayıcılar patlatma verimi de göz önünde bulundurularak seçilebilir.

3.2. TÜRKİYE DE ÜRETİLEN PATLAYICI PORTFÖYÜ

Dünya genelinde sivil amaçlı patlayıcı madde üretimi çeşitli devlet işletmelerinden daha çok özel sektör tarafından gerçekleştirilmektedir. Nitekim ülkemizde 1988 yılına kadar Makine ve Kimya Endüstrisi Kurumu tarafından üretilen dinamit, adi kapsül ve emniyetli fitil patlayıcı portföyünü oluştururken 1988 yılından itibaren özel sektör sayesinde patlayıcı madde portföyü gelişmeye başlamıştır. Bu sayede patlayıcı madde kullanıcılarına değişik tip ve çeşitlerde patlayıcı maddeler arasından hedefledikleri infilak sonucuna daha ekonomik ve etkili olabilecek patlayıcı madde seçim imkânları sunulmuştur.

Ülkemizde yedi özel şirket ve MKE ticari patlayıcı üretimi yapmaktadır. Bu şirketler Orica, Nitromak, Yavaşçalar, Kapeks, Maxam, Kırılıoğlu ve Solar patlayıcıdır. Genel olarak ürün portföyleri benzer ürünler içermektedir. MKE nin ürettiği dinamite muadil olarak emülsiyon patlayıcı üretimine önem vermişlerdir. Bununla birlikte ANFO, heavy ANFO ve waterjel gibi patlayıcılar üretmektedirler. Ürettikleri patlayıcılar kapsüle duyarlı veya yemlemeye duyarlıdır. Bu şirketler aynı zamanda kapsül üretimi de yapmaktadır. Tüm şirketlerin portföyünde elektrikli, elektriksiz, gecikmeli ve gecikmesiz kapsüller bulunmaktadır. Firmaların ürettiği patlayıcılar fiziksel özellikleri

ile birlikte tablolarda gösterilmiştir. Patlayıcılardan sonraki tablolarda da kapsül ürünleri gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Yavaşçalar Firmasının Ürettiği Patlayıcılar ve Teknik Özellikleri(Yavaşçalar ürün kataloğu, 2014)

Patlayıcı İsmi	Detonasyon hızı (VOD) (m/sn)	Enerji (kJ/kg)	Patlama Isısı °K	Gaz Hacmi (lt/kg)	Yoğunluk (g/cm ³)	Suya dayanıklılık	Duyarlılık	Kullanım sahası	Özellik	Grizu Güvenliği
Yavex Gold 150	5000-5500	4455	2950	890	1.18-1.20	Mükemmel	Kapsül	Yer altında ve yer üstünde küçük çaplı deliklerde	Dinamit muadili emülsiyon	Yok
Yavex Gold 100	5200-5700	3670	2515	958	1.20	Mükemmel	Kapsül	Büyük çaplı delikler de yemleme olarak kullanılır	Dinamit muadili emülsiyon	Yok
Yavex Splitter	4200				1.15	Mükemmel	Kapsül	Ön kesme ve son kesmeuygulamalarında	Pürüzsüz patlatma emülsiyon	Yok
Yavex Sismik	5200-5700				1.20	Mükemmel	Kapsül	Sismik patlamalar	Emülsiyon	Yok
Yavex ANFO	3500-4000		3049		0.78-0.80	Yok	Yemleme	Yer üstünde	ANFO	Yok
Yavex ANFO-UP	3500-4000				0.90	Yok	Yemleme	Yer altı uygu.başyukarı deliklerde kulla.basınç. hava ile şarj yapılır	ANFO-emülsiyon karışımı	Yok
Yavex ANFO-LD	3000-3500				0.50-0.52	Yok	Yemleme	Zayıf patlayıcı madde gücü istenilen yerlerde	ANFO emülsiyon straför karışımı	Yok
Yavex 1000	5000-5500		2240		1.23-1.24	Mükemmel	Yemleme	Çok sert kayalarda Yer üstünde	Emülsiyon-ANFO karışımı	Yok
Yavex 6000	4000-4500		2815		1.24-1.25	Mükemmel	Yemleme	Yumuşak kayaç. Yer üstünde	Emülsiyon-ANFO karışımı	Yok
Yavex 6500	4000-5500		2390		1.24-1.26	Mükemmel	Yemleme	Orta sert kayaç. Yer üstünde	Emülsiyon-ANFO karışımı	Yok
Yavex 7500	4500-5000		2325		1.24-1.26	Mükemmel	Yemleme	Sert kayaç. Yer üstünde	Emülsiyon-ANFO karışımı	Yok
Yavex 8000	4500-5000		2319		1.24-1.26	Mükemmel	Yemleme	Çok sert kayaç. Yer üstünde	Emülsiyon-ANFO karışımı	Yok

Tablo 3.2. Orica Firmasının Ürettiği Patlayıcılar ve Teknik Özellikleri(Orica ürün kataloğu, 2014)

Patlayıcı İsmi	Detonasyon hızı (VOD) (m/sn)	Enerji (kj/kg)	Patlama Isısı °K	Gaz Hacmi (lt/kg)	Yoğunluk (g/cm ³)	Suya dayanıklılık	Duyarlılık	Kullanım sahası	Özellik	Grizu Güvenliği
Powerjel Magnum 365	6437	4433	2943		1.20	Mükemmel	Kapsül	Yer altında ve yer üstünde çok kuvvetli patlayıcı	Dinamit muadili emülsiyon	Yok
Powerjel Magnum	6345	3684	2502		1.20	Mükemmel	Kapsül	Yeraltında küçük çaplı deliklerde	Dinamit muadili emülsiyon	Yok
Super Ajax	4400				1.10-1.12	Mükemmel	Kapsül	Yer altı kömür ocaklarında kullanılır	Grizu güvenli emülsiyon	Var
Powerjel Trimex	4300				1.15	Mükemmel	Kapsül	Ön kesme ve son kesme uygulamalarında	Emülsiyon	Yok
ANFO	4000-4200	3890	2946		0.78-0.80	Yok	Yemleme	Yer üstünde	ANFO	Yok
Powerjel 600	4100-4300	3460	2863	1045	1.26-1.27	Mükemmel	Yemleme	Yumuşak kayalarda	ANFO-emülsiyon karışımı	Yok
Powerjel 650	4300-4500	3200	2388	1035	1.26-1.27	Mükemmel	Yemleme	Orta sertlikte kayaç.	ANFO emülsiyon strafor karışımı	Yok
Powerjel 750	5000-5250	3100	2331	990	1.25-1.26	Mükemmel	Yemleme	Çok sert kayalarda	Emülsiyon-ANFO karışımı	Yok

Tablo 3.3. Kırılıoğlu Firmasının Ürettiği Patlayıcılar ve Teknik Özellikleri(Kırılıoğlu ürün kataloğu, 2014)

Patlayıcı İsmi	Detonasyon hızı (VOD) (m/sn)	Enerji (kj/kg)	Patlama Isısı °K	Gaz Hacmi (lt/kg)	Yoğunluk (g/cm ³)	Suya dayanıklılık	Duyarlılık	Kullanım sahası	Özellik	Grizu Güvenliği
Dynex Gold	6000	4850		921	1.10-1.20	Mükemmel	Kapsül	Yer altında ve yer üstünde	Dinamit muadili emülsiyon	Yok
Dynex 100	5500	4480		942	1.10-1.20	Mükemmel	Kapsül	Yer üstünde yemleyici olarak kullanılır	Dinamit muadili emülsiyon	Yok
Methanex	4000	2980		745	1.10-1.20	Mükemmel	Kapsül	Metan gazı tehlikesi olan ocaklarda	Grizu güvenli emülsiyon	Var
Dynex 6000	5000	3210		1116	1.15-1.25	Mükemmel	Yemleme	Yer üstünde	ANFO-Emülsiyon karışımı	Yok
ANFOex	4350	3910	2935	981	0.78-0.80	Yok	Yemleme	Yer üstünde	ANFO	Yok

Tablo 3.4. Maxam Anadolu Firmasının Ürettiği Patlayıcılar ve Teknik Özellikleri(Maxam ürün kataloğu, 2014)

Patlayıcı İsmi	Detonasyon hızı (VOD) (m/sn)(125mm çapta)	Enerji (kj/kg)	Patlama Isısı °K	Gaz Hacmi (lt/kg)	Yoğunluk (g/cm ³)	Suya dayanıklılık	Duyarlılık	Kullanım sahası	Özellik	Grizu Güvenliği
Kar-ANFO	4000	4900		877	0.8-0.82	Yok	Yemleme	Yer üstünde	ANFO	Yok
RIOGEL SB	6500			1017	1.15	Mükemmel	Yemleme	Yer altında ve yer üstünde	Waterjel	Yok
RIOGEL TRONER R	6800			933	1.25	Mükemmel	Kapsül	Yer altında ve yer üstünde	Dinamit muadili emülsiyon	Yok
RIOMAX HE	6400			938	1.20	Mükemmel	Kapsül	Yer altında ve yer üstünde düşük NOx gaz salınımına sahip	Emülsiyon	Yok
RIOSEIS P	7500				1.6	Mükemmel	Kapsül	Sismik çalışmalarda	Sismik dinamit	Yok

Tablo 3.5. Solar Firmasının Ürettiği Patlayıcılar ve Teknik Özellikleri(Solar ürün kataloğu, 2014)

Patlayıcı İsmi	Detonasyon hızı (VOD) (m/sn)(125mm çapta	Enerji (kj/kg)	Patlama Isısı °K	Gaz Hacmi (lt/kg)	Yoğunluk (g/cm ³)	Suya dayanıklılık	Duyarlılık	Kullanım sahası	Özellik	Grizu Güvenliği
Solar ANFO	4200	3870	2940		0.78-0.81	Yok	Yemleme	Yer üstünde	ANFO	Yok
SuperPower 90	6000	4459		917	1.15-1.25	Mükemmel	Kapsül	Yer altında ve yer üstünde	Dinamit muadili emülsiyon	Yok
SuperPower 80	5500	4492		926	1.15-1.25	Mükemmel	Kapsül	Yer altında ve yer üstünde	Dinamit muadili emülsiyon	Yok

Tablo 3.6. Kapeks Firmasının Ürettiği Patlayıcılar ve Teknik Özellikleri(Kapeks ürün kataloğu, 2014)

Patlayıcı İsmi	Detonasyon hızı (VOD) (m/sn)	Enerji (kj/kg)	Patlama Isısı °K	Gaz Hacmi (lt/kg)	Yoğunluk (g/cm ³)	Suya dayanıklılık	Duyarlılık	Kullanım sahası	Özellik	Grizu Güvenliği
Kapeks Nova 80	5800-600	3408	2381	935	1.16-1.18	Mükemmel	Kapsül	Yer altında ve yer üstünde	Dinamit muadili emülsiyon	Yok
Kapeks Nova 70	6200-6400	3706	2583	952	1.18-1.20	Mükemmel	Kapsül	Yeraltında ve yer üstünde	Dinamit muadili emülsiyon	Yok
Kapeks nova 65	6000-6200	4448	2984	887	1.16-1.18	Mükemmel	Kapsül	Yer altı ve yer üstünde	Emülsiyon	Yok
Kapeks nova 55	5700-5900	4205	2852	872	1.14-1.16	Mükemmel	Kapsül	Yer altında ve yer üstünde	Emülsiyon	Yok
Kapeks Kontur	5485	2980	2120	905	1.10	Mükemmel	Kapsül	Ön kesme ve son kesme uygulamalarında	Emülsiyon	Yok
Kapeks Sismik	6100-6200	3572		905	1.20	Mükemmel	Kapsül	Sismik Araştırmalar	Emülsiyon	Yok
Kapeks 600	4000-4500	3434	2858	1032	1.24	Mükemmel	Yemleme	Çok yumuşak kayaç.	ANFO emülsiyon karışımı	Yok
Kapeks 650	4000-4500	3200	1022	905	1.26	Mükemmel	Yemleme	Orta sertlikte kayaç.	ANFO emülsiyon karışımı	Yok
Kapeks 750	4500-500	3072	2326	982	1.26	Mükemmel	Yemleme	Sert kayaçlarda	Emülsiyon-ANFO karışımı	Yok
Kapeks 1000	5000-5500	3025	2240	965	1.23	Mükemmel	Yemleme	Çok sert kayaç.	ANFO emülsiyon karışımı	Yok
Kapeks ANFO	4796	3810	3059	978	0.8	Yok	Yemleme	Yer üstünde	ANFO	Yok
ANFO-S	5684	3592	2716	963	1.05	Yok	Yemleme	Yer altında baş yukarı deliklerde basınçlı hava ile şarjlanır.	ANFO emülsiyon karışımı	Yok
ANFO-L	3472	3428	2590	978	0.5	Yok	Yemleme	Yumuşakformasyon.Üstün itme gücü	ANFO emülsiyon karışımı	Yok

Tablo 3.7. Nitromak Firmasının Ürettiği Patlayıcılar ve Teknik Özellikleri(Nitromak ürün kataloğu, 2014)

Patlayıcı İsmi	Detonasyon hızı (VOD) (m/sn)	Enerji (kJ/kg)	Patlama Isısı °K	Gaz Hacmi (lt/kg)	Yoğunluk (g/cm ³)	Suya dayanıklılık	Duyarlılık	Kullanım sahası	Özellik	Grizu Güvenliği
Powermite	5300	3600	2423	930	1.10-1.12	Mükemmel	Kapsül	Yer altında ve yer üstünde	Dinamit emülsiyon muadili	Yok
Nobelex TG	5000	4560	2830	825	1.10-1.15	Mükemmel	Kapsül	Yer altında ve yer üstünde	Emülsiyon	Yok
Anfonit	3500	3900	2565	974	0.77-0.82	Zayıf	Yemleme	Yer üstünde	ANFO	Yok
Nobelex 1200	5500	2670	1773	1041	1.20-1.22	Orta	Yemleme	Az sulu deliklerde yer altında ve yer üstün.	Emülsiyon-ANFO karışımı	Yok
Nobelex 6000	4500-4800	3000	2049	1015	1.25-1.28	Mükemmel	Yemleme	Yer altında ve yer üstünde	Emülsiyon-ANFO Karışımı	Yok
Nobelex 6500	4500-4800	3050	2009	1016	1.25-1.28	Mükemmel	Yemleme	Yer altında ve yer üstünde	Emülsiyon-ANFO Karışımı	Yok
Nobelex 7000	4500-4800	3120	1981	1017	1.25-1.28	Mükemmel	Yemleme	Yer altında ve yer üstünde	Emülsiyon-ANFO karışımı	Yok

Tablo 3.8. MKE nin Ürettiği Patlayıcılar ve Teknik Özellikleri(MKE ürün kataloğu, 2014)

Patlayıcı ismi	Detonasyon hızı (VOD)m/sn	Enerji kj/kg	Patlama ısısı °K	Gaz hacmi lt/kg	Yoğunluk g/cm ³	Suya dayanıklılık	Duyarlılık	Kullanım sahası	Özellik	Grizu güvenliği
Jelatinit dinamit	6288	4696	2527	894.7	1.5	Mükemmel	Kapsül	Yer altı ve yer üstünde	Dinamit	Yok
GOM II A-1	7088	5467	2702	859	1.5	Mükemmel	Kapsül	Çok sert kayaç. Yer altında ve yer üstünde	Dinamit	Yok
Grizu güvenli dinamit	3206	2620	2144	711.2	1.10	Zayıf	Kapsül	Grizu gazı tehlikesi olan sahada	Dinamit	Var
Sismik dinamit	6978	4642	2628	683	1.55	Mükemmel	Kapsül	Sismik araştırmalarda	Dinamit	Yok
Elbar-1 dinamit	4250	3760	2267	928.3	1.00	Zayıf	Kapsül	Ön kesme ve son kesme uygulamalarında	Dinamit	Yok
Elbar-5	3526	3976	2314	736.2	0.803	Zayıf	Yemleme	Yer altında ve yer üstünde	ANFO	Yok
Elbar-100	4393	4443	2450	921.2	0.944	Mükemmel	Yemleme	Yer altında ve yer üstünde	Anfo jelatinit karışımı	Yok
Baranfo-50	3747	4109	2522	970.6	0.928	Zayıf	Yemleme	Yer üstünde	Yüksek yoğunluklu ANFO	Yok
Baranfo-100	3555	4109	2522	970.6	0.714	Zayıf	Yemleme	Yer üstünde	Düşük yoğunluklu ANFO	Yok

Tablo 3.9. Yavaşçalar Firmasının Ürettiği Ateşleme Elemanları-1(Yavaşçalar ürün kataloğu, 2014)

Adı	Patlatma hızı (m/sn)	Tahrip gücü	Kibrit başı direnci(ohm)	Ateşlenme enerjisi(mWs/ohm)	Tavsiye edilen ateşleme akımı (amper)	Gecikme numaraları	Grizu emniyeti	Kullanıldığı saha	Özellik
Alüminyum kapsül	7500	5mm kalınlığında kurşun blokta 5mm delik açıyor.	1.0-1.8	0.8	1.0	1-16	Yok	Grizu tehlikesi olmayan yer altı ve yer üstünde	8 nolu kapsül
Bakır kapsül	7500	5mm kalınlığında kurşun blokta 5mm delik açıyor.	1.0-1.8	3	1.0	1-16	Var	Gazlı ve tozlu madencilik çalışmalarında	8 nolu kapsül

Tablo 3.10. Yavaşçalar Firmasının Ürettiği Ateşleme elemanları-2(Yavaşçalar ürün kataloğu, 2014)

Adı	Gecikme aralığı ms	Gecikme sayısı	Şarj tabanı	Kullanım sahası	Özellik
INDETSHOCK TS	25/50/100/200/500	40	720 mg PETN veya RDX	Tünel, kuyu gibi yerlerde kullanılır.	Austin tünel serisi
INDETSHOCK MS	25/50	31	720 mg PETN veya RDX	Yer üstü ve yer altında yemleme ateşlemede	Kuyu dibi kapsülü
SHOCKSTAR DUAL DELAY	Yüzey gecikme	Delik içi gecikme	PETN/RDX	Yer üstündeki patlatmalarda	Çift gecikmeli kapsül
	0	800			
	17	475, 500			
	25	300,475,500			
	42, 67	475,500,9000			
Indetshock Shockstar Surface Connector	0, 9, 17, 25, 33, 42, 67, 100, 200		PETN	Yer üstünde	Şok tüplü kapsülleri delikler arasimesafeli olarak patlatıyor.

Tablo 3.11. Orica Firmasının Ürettiği Elektriksiz Ateşleme Elemanları(Orica ürün kataloğu, 2014)

Adı	Gecikme aralığı ms	Gecikme sayısı	Şarj tabanı	Kullanım sahası	Özellik
EXEL MS	0-500 arası 25 500-100 arası 50	28	PETN veya RDX	Yer altında ve yer üstünde	Kısa gecikmeli kapsül sistemi
EXEL LP	0-600 arası 100 600-2000 arası 200 2000-9000 arası 500	26	PETN veya RDX	Yer altı madencilik, tünel ve kuyu çalışmalarında	Uzun gecikmeli kapsül
EXEL HTD	9, 17, 25, 33, 42, 65, 100, 200	8	PETN/RDX	Yer altı ve yer üstündeki patlatmalarda	Kısa gecikmeli yüzey kapsül sistemi
EXEL HANDİDET	Yüzey/Delik içi 17/500 25/475 25/500 33/500 42/475 42/500 42/700	7	PETN	Yer üstünde	Yüzey gecikmeli delik içi kapsül sistemi

Tablo 3.12. Kırılıoğlu Firmasının Ürettiği Elektriksiz Ateşleme Elemanları(Kırılıoğlu ürün kataloğu, 2014)

Adı	Gecikme aralığı ms	Gecikme sayısı	Şarj tabanı	Kullanım sahası	Özellik
detex MS	0-500 arası 25	20	PETN veya RDX	Yer altında ve yer üstünde	Kısa gecikmeli kapsül sistemi
detex LP	0-1000 arası 100 1000-2000 arası 200 2000-6000 arası 500	24	PETN veya RDX	Yer altı madencilik, tünel ve kuyu çalışmalarında	Uzun gecikmeli kapsül
detex SD	17, 25, 42, 67, 109, 176	6	PETN/RDX	Yer altı ve yer üstündeki patlatmalarda	Gecikmeli yüzey kapsül sistemi
Detex HD	Yüzey/Delik içi 17/500 25/500 42/500 67/500 109/500 176/500	6	PETN	Yer üstünde	Yüzey gecikmeli delik içi kapsül sistemi

Tablo 3.13. Maxam Firmasının Ürettiği Elektriksiz Ateşleme Elemanları(Maxam ürün kataloğu, 2014)

Adı	Gecikme aralığı ms	Gecikme sayısı	Şarj tabanı	Kullanım sahası	Özellik
RIONEL MS	0-500 arası 25	20	PETN veya RDX	Yer altında ve yer üstünde	Kısa gecikmeli kapsül sistemi
RIONEL LP	0-1000 arası 100 1000-2000 arası 200 2000-9000 arası 500	24	PETN veya RDX	Yer altı madencilik, tünel ve kuyu çalışmalarında	Uzun gecikmeli kapsül
RIONEL SCX	0, 9, 17, 25, 33, 42, 67	7	PETN/RDX	Yer altı ve yer üstündeki patlatmalarda	Gecikmeli yüzey kapsül sistemi
RIONEL DDX	Yüzey/Delik içi 17/425 25/450 42/475 67/500	4	PETN	Yer üstünde	Yüzey gecikmeli delik içi kapsül sistemi

Tablo 3.14. Solar Firmasının Ürettiği Elektriksiz Ateşleme Elemanları(Solar ürün kataloğu, 2014)

Adı	Gecikme aralığı ms	Gecikme sayısı	Şarj tabanı	Kullanım sahası	Özellik
SUPREMEDET-S DTH	250, 300, 350, 400, 450, 500	6	PETN veya RDX	Yer üstünde	Delik içi kapsül sistemi
SUPREMEDET-S LDS	0-1000 arası 100 1000-2000 arası 200 2000-6500 arası 500	24	PETN veya RDX	Yer altı madencilik, tünel ve kuyu çalışmalarında	Uzun gecikmeli kapsül
SUPREMEDET-S STL	17, 25, 42, 65, 100	5	PETN/RDX	Yer altı ve yer üstündeki patlatmalarda	Gecikmeli yüzey kapsül sistemi
SUPREMEDET-S COMBIDET	Yüzey/Delik içi 17/500 25/500 42/500 65/500 100/500	5	PETN	Yer üstünde	Yüzey gecikmeli delik içi kapsül sistemi

Tablo 3.15. KAPEKS Firmasının Ürettiği Elektriksiz Ateşleme Elemanları(Kapeks ürün kataloğu, 2014)

Adı	Gecikme aralığı ms	Gecikme sayısı	Şarj tabanı	Kullanım sahası	Özellik
Kapeksdet MS	0-500 arası 25	20	PETN veya RDX	Yer altında ve yer üstünde	Kısa gecikmeli kapsül sistemi
Kapeksdet LP	0-600arası 100 600-2000 arası 200 2000-6500arası 500	23	PETN veya RDX	Yer altı madencilik, tünel ve kuyu çalışmalarında	Uzun gecikmeli kapsül
Kapeksdet SD	17, 25, 42, 67, 109	5	PETN/RDX	Yer altı ve yer üstündeki patlatmalarda	Gecikmeli yüzey kapsül sistemi
Kapeksdet DUAL	Yüzey/Delik içi 17/475 17/500 25/475 25/500 42/475 42/500	6	PETN	Yer üstünde	Yüzey gecikmeli delik içi kapsül sistemi

Ayrıca Kapeks firmasının ürettiği Kapeksdet SAFELINE isimli bir ürün vardır. Bu ürün, elektriksiz ateşleme sistemi ile doldurulmuş ve ateşlemeye hazır patlatma deliklerinin, elektriksiz şok tüp hattı ile ateşlenmesini sağlayan güvenli ateşleme hattıdır. Bir ucunda Kapeksdet S ürünü bulunan istenen uzunluktaki şok tüpten meydana gelir.

Tablo 3.16. Nitromak Firmasının Ürettiği Elektriksiz Ateşleme Elemanları(Nitromak ürün kataloğu, 2014)

Adı	Gecikme aralığı ms	Gecikme sayısı	Şarj tabanı	Kullanım sahası	Özellik
NONELDET MS	400, 500	2	PETN veya RDX	Yer altında ve yer üstünde	Kısa gecikmeli kapsül sistemi
NONELDET LP	0-1000 arası 100 1000-1700 arası 200 1700-2300 arası 300 2300-3900 arası 400 3900-5900 arası 500 5900-6500 arası 600 65600-7200 arası 700 7200-8000 arası 800	26	PETN veya RDX	Yer altı madencilik, tünel ve kuyu çalışmalarında	Uzun gecikmeli kapsül
NONELDET SD	17, 25, 42, 65, 100	5	PETN/RDX	Yer altı ve yer üstündeki patlatmalarda	Gecikmeli yüzey kapsül sistemi
NONELDETEZDET			PETN	Yer üstünde	Yüzey gecikmeli delik içi kapsül sistemi

4. BULGULAR

Patlatmanın verimli olabilmesi için saha şartlarına uygun ve ekonomik patlayıcı seçimi gereklidir. Patlayıcı seçimi yapılmadan önce kayanın jeolojisi ve saha şartları analiz edilmelidir. Bu çalışmada taş ocağında yapılan patlatmalar için patlayıcı seçimi yapılacaktır.

İstanbul ili, Sultangazi İlçesi, Cebeci köyü ve çevresinde yer alan taş ocaklarından Kayalar taş ocağında yapılan basamak patlatması incelenecektir.

Bu alanda yer alan ocaklardan çoğu kalker ocağıdır. Patlayıcı seçimi irdelenecek ocak da kalker ocağıdır. İstanbul Üniversitesi tarafından yapılmış olan kaya dayanımı deneylerinde incelediğimiz kayacın orta sağlamlıkta kayaç sınıfından olduğu anlaşılmıştır.

Patlatma için açılan deliklerde 1.5 metre su seviyesi vardır. Basamak yüksekliği 15 metredir. 2 adet yemleme kullanılmaktadır. Delik çapı 89 mm dir. Deliğin kuru kısımlarında ANFO kullanılmaktadır. Patlayıcı seçimi yaparken en başta dikkate alınan kriterler hem ekonomik olması hem de yeterli performansı göstermesidir. Daha önce yapılmış çalışmalarda yer üstünde kuru deliklerde ANFO nun daha ekonomik ve verimli olduğu bilinmektedir. Bu yüzden deliğin kuru kısımlarında ANFO kullanılması doğru seçimdir. Deliğin sulu kısımlarında ise suya dayanıklı ANFO kullanılmaktadır. Deliğin sulu kısmı için uygulanan patlayıcı suya dayanıklı, ekonomik ve yeterli performansı gösterebilecek bir patlayıcı olmalıdır. Mevcut patlayıcı maddeler içerisinde bu şartları sağlayan en uygun ürün suya dayanıklı ANFO dur. Suyu dayanıklı ANFO kullanılması da doğru tercihtir. Yemleme olarak ise emülsiyon dinamit kullanılmaktadır. Yemleme için gerekli enerjiyi ve detonasyon basıncını sağlayacak ürün seçilmelidir. Çünkü detonasyonun kararlı bir şekilde meydana gelebilmesi için bu gereklidir. Yemleme olarak seçilebilecek ürünler emülsiyon dinamit ve nitrogliserin dinamittir. Bu çalışmada

emülsiyon dinamit ve nitrogliserinli dinamitin uygunluk açısından karşılaştırılması yapılacaktır.

Bu sahada izlenen bir atım için değerlendirme yapılacaktır. Patlatmada uygulanan ateşleme sistemi şöyledir. Patlatmada tek sıralı ateşleme sistemi uygulanmıştır. Delik tabanında yemleme olarak emülsiyon dinamit, sulu kısımda suya dayanıklı ANFO ve kuru kısımda ANFO kullanılmıştır. Ateşleme sisteminde ise gecikmeli kapsül kullanılmıştır. Ateşleme sistemi için, delik içi 500 ms lik gecikmeli kapsül ve delikler arası 17 ms lik yüzey gecikmeli kapsül kullanılmıştır. Patlayıcı miktarı ve ateşleme sistemi için bilgiler Tablo 4.1. de verilmiştir.

Tablo 4.1. Patlayıcı Miktarları ve Ateşleme Bilgileri

Patlayıcı Türü		Miktarı	Ateşleme Bilgileri	
1	ANFO	1125 (Kg)	Kapsül Markası	Nonel
2	Heavy ANFO	250 (Kg)	Gecikme Aralığı	517 (ms)
3	Emülsiyon dinamit	22.5 (Kg)	Gecikme Numaraları	17,500
Toplam Şarj		1397.5 (Kg)	Kapsül Adedi	45
Şarj Çapı		89 (mm)		
Delikteki Ort. Şarj		92.5 (Kg)		
Gecikme Başına Toplam Şarj		92.5 (Kg)		
Şarj Şekli		Elle		

Bu patlatmada istenilen parçacık boyutuna ulaşılmıştır. İstenilen öteleme gerçekleşmiş, tırnak kalmamıştır. Titreşim ve hava şoku değerleri için Çevre ve Orman Bakanlığının Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği değerleri kıstas alınmıştır.

Titreşim Frekansı (Hz)	İzin Verilen En Yüksek Titreşim Hızı (Tepe Değeri-mm/s)
1	5
4-10	19
30-100	50

Kayalar taş ocağındaki titreşim sonuçları aşağıda gösterilmiştir.

Max. Parçacık Hızı (PPV) (mm/s)	Frekans f (Hz)	Hava Şoku (dB)	Mesafe (R) (m)	Ölçekli Mesafe (SD)	Yatay mesafe	Ölçüm noktaları
0,635	100	95	530,43	40,55	620,82	Veysel Karani Sok.
2,54	10	106	530,43	41,05	1230,82	Cebeci Spor Kompleksi
4,83	13	114	530,43	41,05	1230,82	Cebeci Spor Kompleksi

Titreşim ve hava şoku değerleri limit değerlerin altındadır. Patlatmada istenilen sonuçlara ulaşılmıştır. Ama patlatma verimli midir? Bu sahada kullanılan patlayıcılar en uygun patlayıcılar mıdır? Bu soruların cevapları bu çalışmada aranacaktır. Bu saha için patlayıcı seçimi yapılarak sahada kullanılan patlayıcılarla karşılaştırma yapılacaktır.

Bu sahada kullanılan ANFO, suya dayanıklı ANFO ve emülsiyon dinamit Türkiye de üretilen patlayıcı portföyü arasından seçilecektir. Bu seçimde bölüm 6 de belirlediğimiz kriterler esas alınacaktır. Patlayıcı maddeleri kıyaslarken etik olması açısından firmalar A, B, C, D, E, F, G, ve H harfleriyle gösterilecektir.

4.1. ANFO SEÇİMİ

Delğin kuru kısımlarında ANFO kullanılmaktadır. Bu sahada Türkiye de mevcut ANFO ürünleri arasından seçim yapılacaktır. Mevcut ANFO ürün portföyü Tablo 4.2. de gösterilmiştir.

Tablo 4.2. ANFO Ürün Portföyü

Patlayıcı	Detonasyon hızı (VOD) (m/sn)	Enerji (kJ/kg)	Patlama Isısı °K	Gaz Hacmi (lt/kg)	Yoğunluk (g/cm ³)
A Firması	3526	3976	2314	736.2	0.803
B Firması	3500	3900	2565	974	0.77-0.82
C Firması	4796	3810	3059	978	0.8
D Firması	4200	3870	2940		0.78-0.81
E Firması	4000	4900		877	0.8-0.82
F Firması	4350	3910	2935	981	0.78-0.80
G Firması	4000-4200	3890	2946		0.78-0.80
H Firması	3500-4000	4000	3049		0.78-0.80

Bölüm 6 daki kriterlere göre Tablo 4.2. deki ürün portföyleri yorumlanarak seçim yapılacaktır.

4.1.1. Patlayıcının Enerjisi

Enerjisi yüksek olan patlayıcı daha çok kırma ve öteleme gücüne sahip olacaktır. Enerji tek başına bir kriter değildir. Ama dikkate alınması gereken faktörlerdendir. 2.3, 2.4 denklemlerinden Tablo 4.2. deki patlayıcıların enerjileri karşılaştırılabilir.

B : Özgül enerji

ρ :yoğunluk

Özgül enerji değerini yoğunluk ile çarparak enerji yoğunluğu terimini buluruz.

$$E = B \times \rho$$

$$E_A = 3976 \times 0.803$$

$$E_A = 3.192 \text{ kJ/ cm}^3$$

Enerji yoğunluğu değeri ile detonasyon hızı çarpılarak enerji akısı bulunur.

D: detonasyon hızı

I : Enerji akısı

$$I = E \times D$$

$$I_A = 3.192 \times 3526$$

$$I_A = 1.1255 \times 10^6 \text{ kJ/cm}^2.\text{sn}$$

Bu işlemler Tablo 4.2. deki diğer patlayıcı maddelere de uygulanarak enerji akısı değerleri bulunur.

$$I_B = 1.092 \times 10^6 \text{ kJ/cm}^2.\text{sn}$$

$$I_C = 1.461 \times 10^6 \text{ kJ/cm}^2.\text{sn}$$

$$I_D = 1.3 \times 10^6 \text{ kJ/cm}^2.\text{sn}$$

$$I_E = 1.587 \times 10^6 \text{ kJ/cm}^2.\text{sn}$$

$$I_F = 1.344 \times 10^6 \text{ kJ/cm}^2.\text{sn}$$

$$I_G = 1.26 \times 10^6 \text{ kJ/cm}^2.\text{sn}$$

$$I_H = 1.185 \times 10^6 \text{ kJ/cm}^2.\text{sn}$$

Enerji akısı birim zamanda birim alandan geçen enerji miktarını gösterir. Yapılan işlemlerden sonra E firmasının ürünü birim zamanda sağladığı enerji miktarı en yüksek olanıdır. C ve F firmaları E firmasından sonra birim zamanda sağladığı enerji miktarı yüksek olan diğer patlayıcı maddelerdir.

4.1.2. Yoğunluk

Detonasyon sırasında birim zamanda devreye giren kütleyi ifade ettiği için önemlidir. Aynı zamanda duyarlılığın ve detonasyon basıncının oluşmasında önemli rolü vardır. Anfo da yoğunluğun ayrı bir önemi vardır. Yoğunluk yüksek olduğu zaman performans kayıpları gözlenecektir. ANFO da ideal yoğunluk 0.77-0.85 arasındadır. Tablo 4.2. deki tüm firmalar ideal yoğunluk değerini sağlamaktadır.

4.1.3. Duyarlılık

ANFO nun duyarlılığı delik çapına ve yoğunluğuna göre değişmektedir. ANFO yemlemeye duyarlı patlayıcıdır. Ürün portföyündeki firmaların patlayıcıları yemleme ile patlamaya uygundur.

4.1.4. Şarj Çapı

Anfo nun kritik çapı yüksektir. Delik çapı büyüdükçe ANFO nun performansı artar. İyi bir patlatma için seçimde 50 mm ve daha yüksek çaplı şarj kullanmamız gerekmektedir. Tablo 4.2. deki firmaların ürün portföyünde ANFO nun güzel sonuçlar verdiği geniş çaplı ürünler bulunmaktadır.

4.1.5. Kaya Koşulları

Patlayıcı seçimi yaparken patlatma yapılacak sahanın jeolojik olarak analiz edilmesi gerekmektedir. Kayacın yapısına göre patlayıcı belirlenmektedir. Orta sertlikte bir kayaç için ANFO nun iyi bir kırma ve öteleme gerçekleştirecek özelliklere sahip olması

gerekir. Bu yüzden de detonasyon hızı ve gaz hacmi yüksek olan tercih edilir. Tablo 4.2. den C ve F firmalarının ürettiği ANFO ürünleri en uygun olanlardır.

4.1. 6. Duman Karakteri

Patlatma sonucunda ortaya çıkan zehirli gazlar açık ocak işletmelerinde problem oluşturmamaktadır. Ancak ANFO için duman karakteri patlatmanın performansını belirlemektedir. Patlatmada ortaya çıkan gazın rengi oksijen balansının değerini saptamamızı sağlamaktadır. Patlayıcının oksijen balansının sıfır veya sıfıra yakın olması gerekmektedir. Ürün portföyündeki firmalar oksijen balansı sıfıra yakın patlayıcı üretmektedirler.

4.1. 7. Çevresel Problemler

Patlatma yapılacak sahanın çevresinde yerleşim birimleri bulunmaktadır. Bu yüzden patlatmanın sebep olduğu titreşim ve hava şoku değerleri limit değerlerin altında olmalıdır. Bunu sağlayabilmek için gecikme başına düşen patlayıcı miktarı çok fazla olmamalıdır.

4.1.8. Maliyet

Patlatmada istenilen performansı sağlayabilecek en ekonomik patlayıcı seçilir. Bu çalışmada bölüm 3.1. de ki 3.6 maliyet denkleminde maliyet hesabı yapılacaktır. 3.6 denklemi;

$$T_A - T_B = N_A D \left(1 - \frac{d_{ASA}}{d_{BSB}} \right) + \left(1 - \frac{S_{ACB}}{S_{BCA}} \right) N_A W_A C_A$$

şeklindedir. Burada;

N_A : Delik sayısı : 15

D : Delgi maliyeti: Kalker ocağında 89 mm çap için bir delik delgi maliyeti 75 TL

d : Patlayıcının ağırlıkça gücü

S : Patlayıcının yoğunluğu

W : Bir delikteki patlayıcı miktarı : 75 kg ANFO

C : Patlayıcının maliyeti : 1 kg ANFO nun fiyatı 2.30 TL dir. Tablo 4.2. deki patlayıcı fiyatlarının eşit olduğu kabul edilmiştir.

Tablo 4.2. deki A firmasının ürünü nü diğer firmalarla karşılaştırarak en ekonomik ürünü bulabiliriz.

$$T_A - T_B = 15*75*(1 - \frac{3976*0.803}{3900*0.8}) + (1 - \frac{0.803*2.3}{0.8*2.3})*15*75*2.3$$

$T_A - T_B = -35.57$ TL A patlayıcısı daha uygundur.

$T_A - T_C = -62.58$ TL A patlayıcısı daha uygundur.

$T_A - T_D = -44.5$ TL A patlayıcısı daha uygundur.

$T_A - T_E = 198.4$ TL E patlayıcısı daha uygundur.

$T_A - T_F = -75.32$ TL A patlayıcısı daha uygundur.

$T_A - T_G = -38$ TL A patlayıcısı daha uygundur.

$T_A - T_H = -53.8$ TL A patlayıcısı daha uygundur.

-75.3	-62.5	-54	-44.5	-38	-35.6	0		198.4
F	C	H	D	G	B	A		E

Yukarıdaki şekildeki gibi A değerini sıfır kabul edilerek hazırlanmış skala ile patlayıcılar birbirleri ile karşılaştırılabilirler. Patlayıcıları birbirleriyle karşılaştırmalar yapıldıktan sonra maliyet açısından en uygun patlayıcının E firmasının ürünü olduğu ortaya çıkmıştır. E patlayıcısından sonra en uygun ürün A firmasının ürünüdür.

Tablo 4.3. Tablo 4.2. deki Patlayıcı Maddelerin Kriterlere Göre Tercih Edilebilirliği

	A	B	C	D	E	F	G	H
Patlayıcı Enerjisi			x		x	x		
Yoğunluk	x	x	x	x	x	x	x	x
Duyarlılık	x	x	x	x	x	x	x	x
Şarj Çapı	x	x	x	x	x	x	x	x
Kaya koşulları			x			x		
Duman Karakteri	x	x	x	x	x	x	x	x
Çevresel Problemler	x	x	x	x	x	x	x	x
Maliyet	x				x			

ANFO seçiminde Tablo 4.3. de patlayıcı maddelerin kriterlere göre tercih edilebilirliği gösterilmiştir. Kriterlere göre yapılan analizler sonucundakaya koşulları bakımından C ve F firmalarının ürünleri ön plana çıkmaktadır. Patlayıcı maddelerin birim zamanda sağladıkları enerji bakımından C, E ve F firmalarının ürünleri en yüksek değerlere sahiptir. Maliyet analizinde ise A ve E firmalarının ürünleri en uygun olan patlayıcı

maddelerdir. Bu sonuçlar değerlendirildiğinde E firmasının ürünü enerji ve maliyet bakımından en uygun olması ve kaya koşulları bakımından değerlerinin çok düşük olmaması sebebi ile bu sahadaki patlatmalarda tercih edilebilir.

4.2. SUYA DAYANIKLI ANFO (HEAVY ANFO) SEÇİMİ

Delğin sulu kısımlarında suya dayanıklı ANFO kullanılmaktadır. Bu saha için Türkiye deki ürün portföyü arasından seçim yapılacaktır. Tablo 4.4. de suya dayanıklı ANFO ürün portföyü gösterilmiştir.

Tablo 4.4. Suya Dayanıklı ANFO(heavy ANFO) Ürün portföyü

Patlayıcı	Detonasyon hızı (VOD) (m/sn)	Enerji (kj/kg)	Patlama Isısı °K	Gaz Hacmi (lt/kg)	Yoğunluk (g/cm ³)
A Firması	4393	4443	2450	921.2	0.944
B Firması	4500-4800	3050	2009	1016	1.25-1.28
C Firması	4000-4500	3200	1022	905	1.26
D Firması					
E Firması	4400-6500	3180		1017	1.15
F Firması	5000	3210		1116	1.15-1.25
G Firması	4300-4500	3200	2388	1035	1.26-1.27
H Firması	4000-5500	3200	2390		1.24-1.26

4.2.1. Patlayıcının Enerjisi

Patlayıcının enerjisi iş yapabilme yeteneğinin ölçüsüdür. Patlama ısı, detonasyon hızı ve yoğunluk enerjiye etki etmektedir. Tablo 4.4. de ki patlayıcı maddelerin 2.3.ve 2.4 denklemlerinden yararlanılarak birim zamanda sağladıkları enerji miktarları kıyaslanabilir.

$$E = B \times \rho$$

A firmasının ürettiği suya dayanıklı ANFO için;

$$E_A = 4443 \times 0.944$$

$$E_A = 4.194 \text{ kj/ cm}^3$$

Enerji yoğunluğu değeri ile detonasyon hızı çarpılarak enerji akısı bulunur.

D: detonasyon hızı

I : Enerji akısı

$$I = E \times D$$

$$I_A = 4.194 \times 4393$$

$$I_A = 1.842 \times 10^6 \text{ kj/cm}^2.\text{sn}$$

değerleri hesaplanır. Bu işlemler Tablo 4.4. deki diğer patlayıcı maddelere de uygulanarak enerji akısı değerleri bulunur.

$$I_B = 1.801 \times 10^6 \text{ kJ/cm}^2.\text{sn}$$

$$I_C = 1.713 \times 10^6 \text{ kJ/cm}^2.\text{sn}$$

$$I_E = 1.901 \times 10^6 \text{ kJ/cm}^2.\text{sn}$$

$$I_F = 1.926 \times 10^6 \text{ kJ/cm}^2.\text{sn}$$

$$I_G = 1.774 \times 10^6 \text{ kJ/cm}^2.\text{sn}$$

$$I_H = 1.9 \times 10^6 \text{ kJ/cm}^2.\text{sn}$$

Tablo 4.4. de verilen patlayıcı maddelerin enerji akıları karşılaştırıldığında F firmasının ürünü en yüksek değere sahiptir. F firmasından başka tercih edilebilecek ürünler E ve H firmalarının patlayıcı maddeleridir.

4.2.2. Duyarlılık

Suya dayanıklı ANFO yemlemeye duyarlı patlayıcıdır. Tablo 4.4. deki ürünler yemlemeye duyarlı patlayıcılardır.

4.2.3. Şarj Çapı

Açık ocak işlemlerinde geniş çaplı deliklerde patlatma yapılır. Suya dayanıklı ANFO nun kritik çap değeri 5.5 cm den büyüktür. Delik çapı genişledikçe suya dayanıklı ANFO nun performansı artar. Tablo 4.4. deki firmaların geniş çaplı ürünlerinden delik çapına göre seçim yapılabilir.

4.2.4. Kaya koşulları

Orta sağlamlıkta kayalarda istenilen etkin kırma ve öteleme enerjisinin birlikte olmasıdır. Daha etkin kırmayı sağlayabilen yüksek detonasyon hızına sahip patlayıcılardır. Daha iyi öteleme sağlayabilen patlayıcılar ise gaz hacmi yüksek olanlardır. Tablo 4.4. de ki ürün portföyü karşılaştırıldığı zaman F firmasının ürünü yüksek değerlere sahiptir. F firmasından sonra en yüksek değere sahip olan B ve E firmalarının patlayıcı maddeleridir.

4.2.5. Çevresel Problemler

Patlatmada hava şoku ve titreşim değerlerinin limit değerlerin altında tutulmasına dikkat edilmelidir. Bunu sağlayabilmek için enerjinin tamamının kayanın parçalanmasında kullanılması gerekmektedir. Özgül şarj, gecikme başına düşen patlayıcı miktarı ve doğru patlayıcı seçimi yapılarak bu başarılabılır. Tablo 4.. deki firmaların ürünleri tercih edilebilir.

4.2.6. Maliyet

Patlayıcının maliyeti sadece fiyatı ile ilişkilendirilemez. Bölüm 3 de belirttiğimiz maliyet denklemi performans parametrelerini de dikkate alarak hazırlanmıştır. Denklem 3.6 vasıtasıyla Tablo 4.4.deki ürünlerin karşılaştırılması aşağıda gösterilmiştir.

$$T_A - T_B = N_A D \left(1 - \frac{d_{ASA}}{d_{BSB}}\right) + \left(1 - \frac{S_{ACB}}{S_{BCA}}\right) N_A W_A C_A$$

N_A : Delik sayısı : 15

D : Delgi maliyeti: Kalker ocağında 89 mm çap için bir delik delgi maliyeti 75 TL

d : Patlayıcının ağırlıkça gücü

S : Patlayıcının yoğunluğu

W : Bir delikteki patlayıcı miktarı: 16 kg

C : Patlayıcının maliyeti: 1 kg suya dayanıklı ANFO nun fiyatı 3.45 TL dir. Tablo 4.4. deki patlayıcı fiyatlarının eşit olduğu kabul edilmiştir.

$$T_A - T_B = 15 * 75 \left(1 - \frac{4443 * 0.944}{3050 * 1.26}\right) + \left(1 - \frac{0.944 * 3.45}{1.26 * 3.45}\right) * 15 * 16 * 3.45$$

A firmasının ürünü ile diğer firmaların ürünlerini kıyaslayarak patlayıcı maddeler arasında bir ilişki sağlanabilir.

$T_A - T_B = 105$ B patlayıcısı daha uygundur.

$T_A - T_C = 162$ C patlayıcısı daha uygundur.

$T_A - T_E = -55$ A patlayıcısı daha uygundur.

$T_A - T_F = 78$ F patlayıcısı daha uygundur.

$T_A - T_G = 162$ G patlayıcısı daha uygundur.

$T_A - T_H = 149$ H patlayıcısı daha uygundur.

-55	0	78	105	149	162
E	A	F	B	H	G,C

A patlayıcısını sıfır kabul edersek yukarıdaki gibi bir skala oluşturabilir. Patlayıcı maddelerin birbirleriyle karşılaştırılmalarından sonra maliyet olarak en uygun patlayıcı ürünün C, G ve H firmalarının ürettiği ürünler olduğu ortaya çıkmıştır.

Tablo 4.5. Tablo 4.4. deki Patlayıcı Maddelerin Kriterlere Göre Tercih Edilebilirliği

	A	B	C	D	E	F	G	H
Patlayıcı Enerjisi					x	x		x
Duyarlılık	x	x	x		x	x	x	x
Şarj Çapı	x	x	x		x	x	x	x
Kaya koşulları		x			x	x		
Çevresel Problemler	x	x	x		x	x	x	x
Maliyet			x				x	x

Tablo 4.5. de patlayıcı maddelerin kriterlere göre tercih edilebilirliği gösterilmiştir. Birim zamanda sağladıkları enerji bakımından en yüksek değere sahip patlayıcılar E, F ve H firmasının ürünleridir. Kaya koşulları bakımından da B, E ve F firmalarının ürünleri tercih edilebilir. Maliyet analizi bakımından ise en uygun C, G ve H firmalarının patlayıcı maddeleridir. Maliyet ve birim zamanda sağladığı enerji bakımından uygun olmasından dolayı H firmasının ürünü bu sahadaki patlatmalarda tercih edilebilir.

4.3. EMÜLSİYON DİNAMİT (YEMLEME) SEÇİMİ

Yemleme için emülsiyon dinamit kullanılmaktadır. Bu saha için yemleme seçimi Türkiye deki ürün portföyünden yapılacaktır. Tablo 4.6. de emülsiyon dinamit ürünleri gösterilmiştir.

Tablo 4.6. Emülsiyon dinamit ürün portföyü

Patlayıcı	Detonasyon hızı (VOD) (m/sn)	Enerji (kJ/kg)	Patlama Isısı °K	Gaz Hacmi (lt/kg)	Yoğunluk (g/cm ³)
A Firması	6288	4696	2527	894.7	1.5
B Firması	5300	3600	2423	930	1.10-1.12
C Firması	6200-6400	3706	2583	952	1.18-1.20
D Firması	6000	4459		917	1.15-1.25
E Firması	6800	4300		933	1.25
F Firması	6000	4850		921	1.10-1.20
G Firması	6437	4433	2943		1.20
H Firması	5200-5700	3670	2515	958	1.20

4.3.1. Patlayıcının Enerjisi

Patlatmada kullanılacak ANFO ve heavy ANFO yemlemenin patlamasıyla ortaya çıkacak enerjiyle detonasyona uğrarlar. Detonasyon için enerjinin delik içinde kararlı bir şekilde ilerlemesi gerekmektedir. Bu yüzden yüksek enerjili ürün tercih edilir. 2.3. ve 2.4 denklemlerinden yararlanılarak Tablo 4.6. deki patlayıcı maddelerin birim zamanda sağladıkları enerji miktarlarını kıyaslayabiliriz.

$$E = B \times \rho$$

$$E_A = 4696 \times 1.5$$

$$E_A = 7.044 \text{ kJ/cm}^3$$

Enerji yoğunluğu değeri ile detonasyon hızı çarpılarak enerji akısı bulunur.

D: detonasyon hızı

I : Enerji akısı

$$I = E \times D$$

$$I_A = 7.044 \times 6288$$

$$I_A = 4.429 \times 10^6 \text{ kJ/cm}^2.\text{sn}$$

Bu işlemler Tablo 4.6. deki diğer patlayıcı maddelere de uygulanarak enerji akısı değerleri bulunur.

$$I_B = 2.117 \times 10^6 \text{ kJ/cm}^2.\text{sn}$$

$$I_C = 2.778 \times 10^6 \text{ kJ/cm}^2.\text{sn}$$

$$I_D = 3.21 \times 10^6 \text{ kJ/cm}^2.\text{sn}$$

$$I_E = 3.655 \times 10^6 \text{ kJ/cm}^2.\text{sn}$$

$$I_F = 3.346 \times 10^6 \text{ kJ/cm}^2.\text{sn}$$

$$I_G = 3.424 \times 10^6 \text{ kJ/cm}^2.\text{sn}$$

$$I_H = 2.422 \times 10^6 \text{ kJ/cm}^2.\text{sn}$$

Yukarıdaki yapılan işlemlerden sonra A firmasının en yüksek enerji akısına sahip olduğu bulunmuştur. A firmasından sonra enerji akısı yüksek olan patlayıcı maddeler E, F ve G firmalarının ürünleridir.

4.3.2. Detonasyon basıncı

Detonasyon basıncı yemleme için en başta gelen kriterlerdendir. Detonasyon basıncının asgari 80 kbar olması gerekmektedir.(Kuzu, 2012) Bölüm 2 de bahsettiğimiz detonasyon basıncı formülünden (2.1.) Tablo 4.6. deki ürünlerin detonasyon basıncı değerleri;

$$P_d = 4.18 \times 10^{-7} \times SG_e \times V^2 / (1 + 0.8 \times SG_e)$$

V = detonasyon hızı(ft/sn)

P_d = detonasyon basıncı(kbar)

SG_e = patlayıcı yoğunluğu(g/cm^3)

Ürün portföyündeki değerler yerine konulursa;

A Firması: 119 kbar

B Firması: 75 kbar

C Firması:105 kbar

D Firması:100 kbar

E Firması:130 kbar

F Firması:97 kbar

G Firması:114 kbar

H Firması:85 kbar

Şeklinde sonuçlar elde edilir. B firması hariç diğer firmaların ürettiği ürünler yeterli olan detonasyon basıncını sağlamaktadırlar. B firması hariç diğer ürünler tercih edilebilir.

4.3.3. Şarj Çapı

Yemleme çapının delik çapına yakın olduğu durumlarda yüksek VOD değerleri elde edilmektedir. Geniş bir şok dalgası elde etmek için delik çapının 2/3 ü veya daha büyük çaplı şarjlar tercih edilmelidir.(Kuzu, 2012) Tablo 4.6. da ki firmalar yemleme için geniş çaplı şarjlar üretmektedirler. Tüm firmalar tercih edilebilir.

4.3.4. Suya Dayanıklılığı

Yemlemeler suya karşı yeterli dirence sahip olmalıdır. Bu özellik, gerek yüksek su basıncına direnci ve gerekse su içinde uzun süre kalmayı da içermelidir. Tablo 4.6. da ki ürünler emülsiyon patlayıcılar oldukları için mükemmel su dirençlerine sahiptirler.

4.3.5. Maliyet

Patlayıcının maliyeti patlayıcı seçiminde en başta gelen kriterlerdendir. Denklem 3.6 da ki maliyet analiz denklemi kullanılarak Tablo 4.6. da ki emülsiyon dinamit ürünlerin kıyaslaması yapılacaktır.

$$T_A - T_B = N_A D \left(1 - \frac{d_{ASA}}{d_{BSB}} \right) + \left(1 - \frac{S_{ACB}}{S_{BCA}} \right) N_A W_A C_A$$

N_A : Delik sayısı : 15

D : Delgi maliyeti: Kalker ocağında 89 mm çap için bir delik delgi maliyeti 75 TL

d : Patlayıcının ağırlıkça gücü

S : Patlayıcının yoğunluğu

W : Bir delikteki patlayıcı miktarı: 2 kg

C : Patlayıcının maliyeti: 1 kg emülsiyon dinamitin fiyatı 5.30 TL dir. Tablo 4.6. da ki patlayıcı fiyatlarının eşit olduğu kabul edilmiştir.

$$T_A - T_B = 15 * 75 \left(1 - \frac{4696 * 1.5}{3600 * 1.11} \right) + \left(1 - \frac{1.5 * 5.3}{1.11 * 5.3} \right) * 15 * 2 * 5.3$$

$T_A - T_B = -910$ A patlayıcısı daha uygundur.

$T_A - T_C = -705$ A patlayıcısı daha uygundur.

$T_A - T_D = -389$ A patlayıcısı daha uygundur.

$T_A - T_E = -380.5$ A patlayıcısı daha uygundur.

$T_A - T_F = -341$ A patlayıcısı daha uygundur.

$T_A - T_G = -400$ A patlayıcısı daha uygundur.

$T_A - T_H = -715$ A patlayıcısı daha uygundur.

-910	-715	-705	-400	-389	-380.5	-341	0
B	H	C	G	D	E	F	A

Maliyet analiz denkleminden çıkan sonuçlar A patlayıcısının en uygun sonuç olduğunu göstermektedir. A firmasının ürününden sonra en yüksek değere sahip ürünler F, E ve D firmasının ürünleridir.

Tablo 4.7. Tablo 4.6. deki Patlayıcı Maddelerin Kriterlere Göre Tercih Edilebilirliği

	A	B	C	D	E	F	G	H
Patlayıcı Enerjisi	x				x	x	x	
Şarj Çapı	x	x	x	x	x	x	x	x
Detonasyon Basıncı	x		x	x	x	x	x	x
Suya Dayanıklılık	x	x	x	x	x	x	x	x
Maliyet	x			x	x	x		

Tablo 4.7. da ki patlayıcı maddelerin kriterlere göre tercih edilebilirliği gösterilmiştir. Birim zamanda en fazla enerjiyi sağlayan A, E, F ve G firmalarının ürünleridir. Yemleme seçiminde gerekli olan 80 kbar detonasyon basıncını B firması hariç diğer firmalar sağlamaktadır. Maliyet analiz denkleminde de A, F ve E firmalarının ürünleri en uygun patlayıcı maddelerdir. Bu sonuçlar karşılaştırıldığında en uygun ürünün A firmasının ürünü olduğu ortaya çıkmıştır. A firmasının ürünü nitrogliserinli dinamittir. Nitrogliserinli dinamit emülsiyon dinamitten birim zamanda sağladığı enerji açısından ve maliyet açısından oldukça avantajlıdır. Ancak depolama zafiyeti ve hassaslığı sebebiyle çok fazla tercih edilmemektedir. Bu sebeple bu sahada E ve F firmalarının ürünleri tercih edilebilir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Patlayıcının doğru seçimi verimli bir patlatma için temel kriterlerdendir. Doğru patlayıcıyı seçebilmek için birçok kriter göz önünde bulundurulmalıdır. Patlayıcının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin çok iyi bilinmesi ve nasıl patlatma sonuçları vereceği öngörülmalıdır. Bu çalışmada ticari patlayıcıların fiziksel ve kimyasal özelliklerine detaylı bir şekilde değinilmiştir.

Patlayıcı seçiminde kaya yapısı ve koşulları dikkate alınmıştır. Deliğin kuru kısımlarında kullanılan ANFO için bölüm 3 de ki patlayıcı madde portföyleri arasından seçim yapılmıştır. Bölüm 3 de belirttiğimiz kriterler yardımıyla E firmasının ürünün bu sahada yapılan patlatmalarda tercih edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu sahada yapılan patlatmalarda B firmasının ürünü kullanılmaktadır. B firmasının ürünü maliyet analiz denkleminde E firmasından daha pahalı çıkmaktadır. B firmasının ürünün gaz hacmi yüksek ama detonasyon hızı düşüktür. Detonasyon hızının düşük olmasının sebebi ANFO üretiminde fuel oil yerine biyodizel kullanılmalarıdır. Biyodizel kullanımı bölüm 3 de belirtildiği gibi detonasyon hızında azalmaya sebep olmaktadır. E firmasının ürünü ise birim zamanda sağladığı enerji bakımından yüksek değerlere sahip ve maliyet bakımından en uygun ürün olmasından dolayı oldukça avantajlıdır. Bölüm 4 de bahsedilen patlatmada istenilen parçacık boyutu elde edilmiş ve iyi bir kaya ötelenmesi gerçekleşmiştir. Ancak bu sonuçlar patlatmanın verimli olduğu anlamına her zaman gelmeyebilir. Bu atımda B firmasının ürünü yerine E firmasının ürünü tercih edilirse delikler arası mesafe artırılarak aynı sonuçlar elde edilebilir. Delikler arası mesafenin artması delik sayısının azalması anlamına gelmektedir. Böylece daha ekonomik bir patlatma gerçekleştirilebileceği düşünülmektedir.

Deliğin sulu kısımlarında kullanılan suya dayanıklı ANFO için bölüm 3 deki patlayıcı madde portföyleri arasından seçim yapılmıştır. Bölüm 4 de belirtilen karşılaştırmalar sonucunda H firmasının ürünü tercih edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu sahada B firmasının suya dayanıklı ANFO su tercih edilmektedir. B firmasının ürünü ile H firmasının ürünü karşılaştırıldığında H firmasının ürünü hem maliyet bakımından daha uygundur hem de birim zamanda verdiği enerji miktarı daha yüksektir. Bu yüzden H firmasının ürünü kullanmak daha ekonomik ve verimli olacağı düşünülmektedir.

Yemleme seçiminde ise bölüm 3 deki patlayıcı madde portföyleri arasından emülsiyon dinamit seçimi yapılmıştır. Bölüm 4 de emülsiyon dinamit ürünleri kriterlere göre kıyaslandığında E ve F firmalarının emülsiyon dinamit ürünleri tercih edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu sahada kullanılan B firmasının ürünü 80 kbar dan daha az detonasyon basıncı üretmektedir. Bu da detonasyonun kararlı bir şekilde ilerlemesi için yeterli olmayabilir. E ve F firmalarının ürünleri daha yüksek detonasyon basıncı değerlerine sahiptir. Aynı zamanda E ve F firmalarının ürünleri daha ekonomiktir. Bu sebeplerden dolayı E ve F firmalarının ürünlerinin bu sahada tercih edilebileceği düşünülmektedir.

Yapılan patlayıcı seçimleriyle daha ekonomik ve verimli bir patlatma yapılacağı düşünülmektedir. Ülkemizde ne yazık ki patlayıcı seçiminde bölüm 4 de tartışılan kriterler detaylıca irdelenmemektedir. Bu da daha pahalı ve verimsiz patlatmaların oluşmasına sebep olmaktadır. Bu çalışmanın daha ekonomik ve verimli patlatmalar için faydalı olabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

MAHADEVAN, E. G., 2013, *Ammonium Nitrate Explosives for Civil Applications*, Wiley-VCH Verlag, Germany, 978-3-527-33028-7.

TATIYA, R. R., 2005, *Surface and Underground Excavations: Methods, Techniques and Equipment*, CRC Press, UK, 9058096270.

AGRAWAL, J. P., 2010, *Salient Features of Explosives*, High Energy Materials, WILEY-VCH Verlag GmbH, India, 1-30.

AKHAVAN, J., 2004, *The Chemistry of Explosives*, The Royal Society of Chemistry, UK, ISBN 0-85404-640-2 2004.

BİLGİN, H.A. ve Esen, S., 1998. *Ticari Patlayıcıların İnfilak Davranışları ve Patlayıcı– Kaya Etkileşim modelinin geliştirilmesi*, Üçüncü Delme – Patlatma Sempozyumu, Ankara.

KUZU, C., 2012, *Patlayıcı Madde Teknolojisi ve Uygulaması Ders Notları*, İstanbul.

ERKOÇ, Ö., Y., 1990, *Kaya Patlatma Tekniği*, İstanbul.

ALPSAR, M., Aralık 2004, Elektrikli Kapsül Kullanımında Riskler ve Tehlikeler, *Nitro-Mak Dergisi*, Sayı 6, Ankara.

ISEE, *Blasters Handbook*, 2011, USA, 18 th Edition.

KAPSÜLSAN, 1998, *İnfilak Kapsülleri*, Ankara.

NİTRO-MAK, *Patlayıcı Maddeler ve Patlatma*, 2010, Ankara.

TOSUN, S., 1991, Madencilikte Patlatılacak Ortama Uygun Patlayıcı Madde Seçimi, *Madencilik Dergisi*, Cilt XXX, Sayı 4, Sayfa 5-11

SINGH B., ve PAL ROY P., 1993, *Blasting in Ground Excavations and Mines*, A. A. Balkema/Rotterdam, 177 sayfa.

RESENDE S. A., SILVA V. C., LİMA H. M., 2014, Study of non-conventional fuels for explosives mixes, *R. Esc. Minas*, 67(3), 297-302, jul. sep.

YAVAŞÇALAR Ürün Kataloğu, 2014, Balıkesir.

ORİCA Ürün Kataloğu, 2014, Ankara.

KIRLIOĞLU Ürün Kataloğu, 2014, Afyon.

MAXAM Ürün Kataloğu, 2014, Malatya.

SOLAR Ürün Kataloğu, 2014, Ankara.

KAPEKS Ürün Kataloğu, 2014, Çankırı.

NİTROMAK Ürün Kataloğu, 2014, Ankara.

MKE Ürün Kataloğu, 2014, Ankara.

MKE Staj Notları, 2009, Ankara

EKLER

EK_A Patlatmada Uygulanan Tasarım Parametreleri

Delik Sayısı	15 (Adet)	Basamak Yüksekliği	15(m)
Delik Çapı	89 (mm)	Basamak Eğimi Açısı	Yok (°)
Delik Boyu	15 (m)	Sıkılama Boyu	3(m)
Delik Eğimi	7-10 (°)	Delikler Arası Mesafe	3.5(m)
Delik Taban Payı	Yok (m)	Dilim Kalınlığı	3 (m)
Su Seviyesi	1.5 (m)	İlk Dilim Kalınlığı	3 (m)
Sıra Sayısı	1 (Adet)	Özgül Delik	0.10 (m/m ³)
Özgül şarj	0.54 (kg/m ³)		

EK-B : Patlatma Sahası Resimleri



ÖZGEÇMİŞ

Ahmet KÖSE 1986 yılının haziran ayında Konya’ da doğdu. İlköğretimini Konya da Yaşar Doğu ilkokulu ve Özel Model ilköğretim okulunda tamamladıktan sonra, Ulu ırmak Nuraniye Kuran Kursunda hafızlık eğitimini tamamlamıştır. 2005 yılında Konya-Karatay lisesinden mezun oldu. Liseyi bitirdiği yıl Atatürk Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümünü kazandı. 2010 yılında lisans eğitimini tamamlayarak kimya sektöründe çalışmaya başladı. 2012 yılında Okan Üniversitesi Patlayıcı Mühendisliği yüksek lisans programı eğitimine başladı. Evli ve 2 çocuk babası olan Ahmet KÖSE şu anda Afyon- Emirdağ da bulunan Adaçal Endüstriyel Mineral San. A.Ş. de çalışmaktadır.