

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ORMAN YOLLARI YAPIMINDA KAYA PATLATMA TEKNİĞİ
VE ÇEVRESEL ETKİLERİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

DOKTORA TEZİ

Orm. Yük. Müh. Sadık ÇAĞLAR

**EKİM 2008
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ORMAN YOLLARI YAPIMINDA KAYA PATLATMA TEKNİĞİ
VE ÇEVRESEL ETKİLERİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

Orm. Yük. Müh. Sadık ÇAĞLAR

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“Doktor (Orman Mühendisliği)”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06.10.2008
Tezin Savunma Tarihi : 07.11.2008**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. H. Hulusi ACAR
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Ayhan KESİMAL
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Selçuk GÜMÜŞ
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Fazıl ÇELİK
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Mesut HASDEMİR**

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Salih TERZİOĞLU

Trabzon 2008

ÖNSÖZ

"Orman Yolları Yapımında Kaya Patlatma Tekniği ve Çevresel Etkileri Üzerine Bir Araştırma" isimli bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı'nda doktora tezi olarak hazırlanmıştır. Tezin arazi çalışmaları Trabzon Orman Bölge Müdürlüğündeki orman yolu inşaat alanlarında, deneysel çalışmaları ise KTÜ Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, Kaya Mekaniği laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Doktora tez konusunun belirlenmesinden çalışmaların yürütülmesi ve sonuçlandırılmasına kadar her aşamada, her türlü desteği sağlayan tez danışmanım Sayın Hocam Prof. Dr. H. Hulusi ACAR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hem arazi hem de laboratuvar çalışmaları aşamasında beni yönlendiren ve yardımlarını esirgemeyen tez izleme komitesi üyesi Sayın Prof. Dr. Ayhan KESİMAL'e içtenlikle teşekkür ederim. Yine her türlü öneri ve desteğini esirgemeyen tez izleme komitesi üyesi Sayın Yrd. Doç. Dr. Selçuk GÜMÜŞ'e teşekkürlerimi sunarım. Bir süre tez izleme komitesi üyeliği yapan Sayın Prof. Dr. Hakkı YAVUZ'a teşekkür ederim. Önerilerinden yararlandığım Sayın Prof. Dr. Mesut HASDEMİR, Sayın Prof. Dr. Fazıl ÇELİK, Sayın Prof. Dr. Metin TUNAY, Sayın Doç. Dr. Abdullah Emin AKAY ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Osman ÜÇÜNCÜ hocalarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Gerek arazi gerekse laboratuvar çalışmalarımda özverili bir şekilde yardımlarını esirgemeyen Sayın Arş. Gör. Ferdi CİHANGİR'e, Sayın Arş. Gör. Cem YÜCEL'e teşekkürlerimi sunarım. Arazi çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen Torul ve Trabzon Orman İşletme Müdürlüğü çalışanlarına, yol yapımı üstlenen müteahhitlere ve orman yolu işçilerine ayrı ayrı teşekkür ederim.

Bu çalışma, KTÜ Araştırma Projeleri Yönetim Birimi tarafından 2005.113.001.5 kod no'lu doktora tezi projesi olarak desteklenmiştir. Çalışma sonuçlarının orman yolu inşaatında uygulayıcılara yararlı olmasını dilerim.

Bu çalışmayı, beni her zaman destekleyen aileme, eşime ve çalışmalarım nedeni ile kendisiyle yeterince ilgilenemediğim sevgili kızıma ithaf ederim.

Sadık ÇAĞLAR
Trabzon 2008

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	VIII
SUMMARY.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XV
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Literatür Özeti.....	4
1.2. Tezin Gerekçe ve Amacı.....	14
2. GENEL BİLGİ VE KAVRAMLAR.....	17
2.1. Orman Yolu Tipleri ve Orman Yolu İnşası.....	17
2.1.1. Orman Yolu Tip ve Standartları	17
2.1.1.1. Ana Orman Yolu	18
2.1.1.2. Tali Orman Yolları.....	18
2.1.1.2.1. A-tipi Tali Orman Yolu.....	18
2.1.1.2.2. B-tipi Tali Orman Yolu	18
2.1.1.3. Traktör Yolu.....	20
2.1.2. Orman Yollarının Planlanması ve İnşaatı.....	20
2.1.3. Orman Yolu Yapımında Kaya Kazısı İşleri	22
2.2. Patlayıcı Maddelerle Kaya Patlatma.....	23
2.2.1. Patlatmanın Gereksinimi.....	23
2.2.2. Patlatmalı Kazıda Temel Bilgi ve Kavramlar.....	24
2.2.3. Patlatma Tasarım Parametreleri	28
2.2.4. Patlatma Teorisi ve Parçalanma Mekanizması.....	29
2.2.4.1. Birincil Parçalanma Mekanizması.....	30
2.2.4.2. İkincil Parçalanma Mekanizması.....	32
2.3. Patlamadan Kaynaklanan Çevresel Problemler.....	32
2.3.1. Kaya Fırlamaları	34

2.3.2.	Yer Sarsıntısı, Teorisi ve Karakteristikleri.....	36
2.3.2.1.	Yer Titreşimlerinin Ölçümü ve İlgili Terimler.....	39
2.3.2.2	Ölçekli Mesafe	40
2.3.2.3.	Maksimum Parçacık Hızı Tahmini.....	41
2.3.2.4.	Patlatmadan Kaynaklanan Yapısal Hasar Kriterleri.....	41
2.3.2.4.1.	Frekansın Önemi	42
2.3.2.4.2.	A.B.D Madencilik Bürosu'nun Patlatma Hasar Tahmini.....	42
2.3.2.4.3.	A.B.D Açık Ocak Madencilik Bürosu'nun Patlatma Hasar Tahmini.....	44
2.3.2.4.4.	Alman DIN 4150 Normu'nda Patlatma Hasar Tahmini.....	46
2.3.2.4.5.	Ülkemizde Yer Titreşimleri ve Hasar Kriterleri.....	48
2.3.3.	Hava Şoku ve Gürültü.....	49
2.3.4.	Yer Sarsıntısı ve Hava Şoku Etkilerini Azaltma Yöntemleri.....	52
2.3.5.	Toz Oluşumu.....	53
3.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	54
3.1.	Araştırmanın Coğrafi, Teknik ve Zaman Açısından Sınırlandırılması...	54
3.2.	Araştırmanın Planlanması.....	55
3.3.	Materyal.....	56
3.3.1.	Araştırma Alanları.....	56
3.3.1.1.	Alacadağ Orman İşletme Şefliğine Ait Genel Bilgiler.....	57
3.3.1.2.	Şalpazarı Orman İşletme Şefliğine Ait Genel Bilgiler.....	58
3.3.1.3.	Vakfikebir Orman İşletme Şefliğine Ait Genel Bilgiler	59
3.3.2.	Orman Yolu İnşaatlarında Kullanılan Ekipmanlar.....	59
3.3.2.1.	Kullanılan Paletli Hidrolik Ekskavatörler.....	60
3.3.2.2.	Kaya Delmede Kullanılan Ekipman.....	61
3.3.2.3.	Kaya Patlatmada Kullanılan Materyaller.....	62
3.3.2.3.1.	Ateşleme Sistemi.....	62
3.3.2.3.2.	Kullanılan Patlayıcı Maddeler.....	63
3.3.3.	Araştırmada Kullanılan Cihaz ve Aletler.....	64
3.3.3.1.	Yer Sarsıntısı ve Hava Şoku İzleme Sistemi	64
3.3.3.2.	Kaya Numuneleri Dayanım ve Sertlik Ölçüm Araçları.....	66
3.3.3.2.1.	Nokta Yükleme Ölçüm Cihazı.....	66
3.3.3.2.2.	Dijital Kumpas.....	68
3.3.3.2.3.	Schmidt Çekici	68

3.3.3.3.	Konumsal Yer Belirleyici.....	69
3.3.3.4.	Araştırmada Kullanılan Diğer Materyaller.....	70
3.3.4.	Kullanılan Bilgisayar Yazılımları.....	70
3.3.4.1.	Blastware 8.0 Yazılımı.....	70
3.3.4.2.	SPSS İstatistik Paket Programı.....	72
3.3.4.3.	Diğer Yazılımlar.....	73
3.3.5.	Atım Yeri Envanter ve Kayıt Karnesi.....	73
3.4.	Yöntem.....	75
3.4.1.	Araştırma Alanlarının Seçilmesi.....	75
3.4.2.	Atım Yeri Envanter ve Kayıt Karnesinin Oluşturulması.....	75
3.4.3.	Delik Geometrisine İlişkin Parametrelerin Ölçümü.....	77
3.4.4.	Kaya Patlatmanın Çevresel Etkilerinin Ölçümü.....	77
3.4.4.1.	Yer Sarsıntısı ve Hava Şoku Değerlerinin Belirlenmesi.....	77
3.4.4.2.	Sismografin Kurulumu, Çalıştırılması ve Kayıt Alma Yöntemi.....	78
3.4.4.3.	Kaya Fırlaması Uzaklığının Ölçümü Yöntemi.....	80
3.4.5.	Kayaç Örneklerinin Dayanımı ve Sertliklerin Ölçümü Yöntemi.....	81
3.4.5.1.	Kayaçların Dayanımlarının Ölçüm Yöntemi.....	81
3.4.5.2.	Kayaçların Sertliğinin Ölçümü Yöntemi.....	86
3.4.6.	İstatistikî Değerlendirme Yöntemi.....	87
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	89
4.1.	Kaya Patlatma Tekniğine Ait Bulgular ve Tartışılması.....	89
4.1.1.	Alacadağ OİŞ 126 Kodlu Orman Yolu ile Atıma Ait Bulgular ve Tartışılması.....	91
4.1.1.1.	Orman Yolu İnşaatına Ait Bulgular ve Tartışılması.....	91
4.1.1.2.	Kaya Patlatma ve Atımın Dizaynına Ait Bulgular ve Tartışılması.....	92
4.1.2.	Alacadağ OİŞ 120 Kodlu Orman Yolu ile Atıma Ait Bulgular ve Tartışılması.....	95
4.1.2.1.	Orman Yolu İnşaatına Ait Bulgular ve Tartışılması.....	95
4.1.2.2.	Kaya Patlatma ile Atımın Dizaynına Ait Bulgular ve Tartışılması.....	96
4.1.3.	Şalpazarı OİŞ 002 Kodlu Orman Yolu ile Atımlara Ait Bulgular ve Tartışılması.....	101
4.1.3.1.	Orman Yolu İnşaatına Ait Bulgular ve Tartışılması.....	101
4.1.3.2.	Kaya Patlatma ile Atımların Dizaynına Ait Bulgular ve Tartışılması....	102
4.1.4.	Vakfikebir OİŞ 011 Kodlu Orman Yolu ile Atıma Ait Bulgular ve Tartışılması.....	124

4.1.4.1.	Orman Yolu İnşaatına Ait Bulgular ve Tartışılması.....	124
4.1.4.2.	Kaya Patlatma ile Atımların Dizaynına Ait Bulgular ve Tartışılması....	125
4.1.5.	Vakfikebir OİŞ 029 Kodlu Orman Yolu ve Atıma Ait Bulgular ve Tartışılması.....	128
4.1.5.1.	Orman Yolu İnşaatına Ait Bulgular ve Tartışılması.....	128
4.1.5.2.	Kaya Patlatma ile Atımların Dizaynına Ait Bulgular ve Tartışılması....	129
4.1.6.	Tüm Atımların Dizaynına Ait Bulgular ve Tartışılması.....	134
4.1.6.1.	Uygulanan Kaya Delme Araç ve Tekniğinin Tartışılması.....	134
4.1.6.2.	Delik Geometrisi ile Düzenine Ait Bulgular ve Tartışılması.....	135
4.1.6.2.1.	Delik Çapı ile Boyuna Ait Bulgular ve Tartışılması.....	136
4.1.6.2.2.	Delik Düzenine Ait Bulgular ve Tartışılması.....	137
4.1.6.2.2.1.	Dilim Kalınlığına Ait Bulgular ve Tartışılması.....	138
4.1.6.2.2.2.	Delikler Arası Mesafeye Ait Bulgular ve Tartışılması.....	139
4.1.6.3.	Patlayıcı Şarjına Ait Bulgular ve Tartışılması.....	140
4.1.6.4.	Sıkılama Boyuna Ait Bulgular ve Tartışılması.....	141
4.1.6.5.	Ateşleme ve Gecikme Zamanına Ait Bulgular ve Tartışılması.....	144
4.1.6.6.	Özgül Şarj ile Özgül Delmeye Ait Bulgular ve Tartışılması.....	145
4.1.6.7.	Orman Yollarında Uygulanabilecek Patlatma Tasarım Modeli.....	148
4.2.	Orman Yollarında Kaya Patlatma ve Çevresel Açından Tartışılması.....	151
4.2.1.	Kaya Fırlamalarına Ait Bulgular ve Tartışılması.....	151
4.2.1.1.	Kaya Fırlamaları ile Çevresel Etkilerine Ait Bulgular ve Tartışılması....	151
4.2.1.2.	Kaya Fırlamalarının İstatistiksel Bulguları ve Tartışılması.....	156
4.2.2.	Yer Sarsıntılarına Ait Bulgular ve Tartışılması.....	161
4.2.2.1.	Yer Sarsıntılarının Hasar Kriterleri Bulguları ve Tartışılması.....	165
4.2.2.2.	Yer Sarsıntılarının Hasar Kriterlerine Göre Değerlendirme Sonuçları... 171	
4.2.2.3.	Maksimum Parçacık Hızı ile Ölçekli Mesafe İlişkisinin Değerlendirilmesi.....	172
4.2.3.	Hava Şoklarına Ait Bulgular ve Tartışılması.....	174
4.2.4.	Toz Oluşumuna Ait Bulgular ve Tartışılması.....	177
4.3.	Kayaçların Dayanım ve Sertliklerine Ait Bulgular ve Tartışılması.....	177
4.3.1.	Nokta Yüğü Dayanımına Ait Bulgular ve Tartışılması.....	178
4.3.2.	Kayalarda Delme ve Patlatma Gerekliliğinin İncelenmesi.....	181
4.3.3.	Kayaçların Schmidt Çekici Sertliği Bulguları ve Tartışılması.....	183
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	187

6.	KAYNAKLAR.....	193
7.	EKLER.....	202
	ÖZGEÇMİŞ.....	208

ÖZET

Orman ekosistemi, başta orman yolları yapımı olmak üzere kendine yapılan her türlü müdahaleden etkilenmektedir. Orman yolları ormancılık faaliyetlerinin gerçekleştirilmesinde vazgeçilemez temel alt yapı tesisleridir. Dağlık arazide inşaatı sürdürülen orman yolu inşaatlarında patlatmalı kaya kazısı kaçınılmazdır. Uygun tekniklerin kullanılmadığı kaya patlatma yöntemleri ciddi boyutta çevresel tahribatlara neden olmaktadır.

Bu çalışmada, Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içindeki beş ayrı orman yolundaki delme patlatma tekniği ve ortaya çıkardığı çevresel etkileri incelenmiştir. Her bir atımda uygulanan patlatma tasarımı parametreleri belirlenerek, mevcut kaya patlatma tekniği sonuçları çevresel açıdan belirlenmiştir. Kaya patlatma nedeni ile oluşan kaya fırlaması, yer sarsıntısı ve hava şoklarının azaltılmasına ilişkin, çevresel açıdan uygun kaya patlatma tasarımı ve modeli ortaya konulmuştur.

Araştırmanın sürdürüldüğü orman yollarında, yörede yayılış gösteren granit, kireçtaşı, bazalt, bazaltik tuf ve volkanik breş türlerindeki kayalar patlayıcı maddelerle patlatılmıştır. Kaya fırlamasına neden olan parametreler belirlenerek, kaya fırlaması uzaklığının tahmini için model geliştirilmiştir. Kaya patlatmanın çevresel etkilerinden; yer sarsıntısı ve hava şokunun ulusal ve uluslararası standartlara göre hasar potansiyelleri belirlenmiştir. Ayrıca, patlatmalı kazı yöntemi uygulanan kayalarda kazı zorluğu ve delme-patlatmanın gerekli olup olmadığı araştırılmıştır. Çalışmanın sonucuna göre orman yollarında gerçekleştirilen kaya delme ve patlatmanın kişisel tecrübeye göre yapıldığı, özellikle sıkılama boyunun olması gerekenden daha az uygulandığı, gecikmeli kapsüllerin gelişigüzel düzende kullanıldığı ve kaya fırlamalarının orman ağaçları üzerinde ciddi hasarlar oluşturduğu belirlenmiştir.

Orman yollarında gerçekleştirilecek kaya patlatmaları sonucu oluşan kaya fırlamaları bu çalışma ile geliştirilen model yardımıyla tahmin edilebilecektir. Yine maksimum parçacık hızı tahmini için geliştirilen model yardımıyla, ölçekli mesafeye göre hasar olasılığı önceden tahmin edilerek patlatma tasarımları oluşturulacaktır. Sonuç olarak, gelecekte inşa edilecek orman yollarında kaya patlatmanın verimliliği ile çevresel kriterleri dikkate alan delme-patlatma tasarımları yapılmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Orman Yolu İnşaatı, Kaya Patlatma, Çevresel Etki, Dağlık Arazi,

SUMMARY

An Investigation on Rock Blasting Technique and Its Environmental Effects At Forest Road Construction

Forest ecosystem is affected by any interference especially most of all by forest road construction. Forest roads are the unavoidable infrastructure foundations in performing forest activities. Rock blasting excavation is inevitable during the forest road construction on mountainous steep terrain. Rock blasting methods without using appropriate techniques cause serious environmental damages.

In this dissertation, the rock drilling and blasting technique and its environmental effects were investigated on five different forest roads at Regional Forest District of Trabzon. By determining designing parameters of each blasting application, the effects of current rock blasting technique on the environmental were determined. In terms of reducing rock flying, ground vibration and air blasts due to rock blasting, environmentally acceptable rock blasting design and model was suggested.

Granite, limestone, basalt, basaltic tuff, and volcanic breccias type rocks were blasted by using explosives at the forest roads construction of study area. By determining the parameters causing rock flying, a model was developed to estimate the distance of flying rocks. As the environmental effects of rock blasting, potential damages of ground vibration and air blast were evaluated by considering national and international standards. Besides, difficulties of excavation operation by using rock blasting method and the necessities of drilling-blasting operation were investigated. The results from the research indicated that the current rock drilling and blasting operations on forest roads were performed according to work experiences, especially the stemming length was applied shorter than it should have been, delay time capsules have been used randomly, and rock flying generated serious damages on forest trees.

The rock flying due to rock blasting applied on forest roads will be estimated by using the model developed in this research. Besides, by using the model developed to estimate maximum particle velocity, blasting designs will be generated by predetermining probability of the damages according to scaled distance. Thus, the rock drilling-blasting designs, considering productivity of rock blasting and its environmental criteria, should be implemented in constructing future forest roads.

Key Words: Forest Road Construction, Rock Blasting, Environmental Effect, Steep Terrain,

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. OBM'nin yeni orman yolu yapım maliyetleri.....	3
Şekil 2. B tipi tali orman yolu en kesiti.....	19
Şekil 3. Uygulamada orman yollarında kaya kazısı ve iş akışı.....	22
Şekil 4. Kaya patlatmada kullanılan basamak terimleri	25
Şekil 5. Kaya delme ve patlatmada kullanılan terimler.....	27
Şekil 6. Gaz basıncı ile kayada çatlak oluşumu.....	30
Şekil 7. Patlatma sonrası birincil parçalanma mekanizması.....	31
Şekil 8. Kaya patlatmanın istenen ve istenmeyen etkileri.....	33
Şekil 9. Sismik dalgalar ve yayılma karakteristikleri.....	38
Şekil 10. Rayleigh dalgası.....	38
Şekil 11. USBM'nin alternatif hasar kriter analizi grafiği.....	44
Şekil 12. OSMRE'nin alternatif hasar kriter analizi grafiği.....	46
Şekil 13. Alman DIN 4150 normu grafiği.....	47
Şekil 14. Çevre ve Orman Bakanlığınca izin verilen titreşim kriterleri	48
Şekil 15. Gürültü ve hava şokunun insanlar ve yapılarda etkileri	51
Şekil 16. Trabzon Orman Bölge Müdürlüğündeki araştırma alanları.....	56
Şekil 17. Orman yolu yapımında hidrolik ekskavatörle toprak ve kaya kazısı.....	61
Şekil 18. Havalı (pnömatik) kompresörle patlatma deliklerinin delinmesi.....	61
Şekil 19. Kaya delme tabancası (martoperfaratör) ve matkap keski ucu.....	62
Şekil 20. Kullanılan ANFO, Jelatinit dinamit ve elektrikli kapsüller.....	63
Şekil 21. Instantel Minimate Plus model sismograf.....	65
Şekil 22. Yer sarsıntısı ölçümünde jeofon tipleri.....	66
Şekil 23. Kullanılan nokta yükleme deneyi ölçüm cihazı ve bileşenleri.....	67
Şekil 24. Dijital kumpasla kırılma yüzeyi kesit kenarı ölçümü.....	68
Şekil 25. Schmidt çekici ve blok numunede sertlik ölçümü.....	69
Şekil 26. Blastware 8.0 yazılımı event manager ara yüzü ve atımlara ait özet bilgiler..	71
Şekil 27. Blastware 8.0 yazılımı event ve fast fourier transform raporu çıktıları.....	72
Şekil 28. Araştırmada izlenen yönteme ait akış diyagramı.....	76

Şekil 29. Yer sarsıntısı ve hava şoku ölçümünde sismograf kurulumu.....	79
Şekil 30. Kaya fırlamalarının yamaç aşağısındaki zarar uzaklıkları.....	81
Şekil 31. Düzensiz şekilli kayaç örnekleri.....	82
Şekil 32. Çatlaklı kaya kütleleri dayanım diyagramı.....	85
Şekil 33. Jelatinit dinamitlere elektrikli kapsül yerleştirme.....	90
Şekil 34. Patlayıcı maddenin deliklere şarjı ve sıkılama.....	91
Şekil 35. Atım yerinde açılan patlatma delikleri.....	93
Şekil 36. Atımda uygulanan delik düzeni ve üstten görünümü.....	93
Şekil 37. Atım yerinde deliklerin şarjı.....	94
Şekil 38. AD-3 nolu atım yerinde kompresörle patlatma deliği açılması.....	97
Şekil 39. AD-3 nolu atım yerinde uygulanan delik düzeni ve üstten görünümü.....	98
Şekil 40. AD-3 nolu atım yerindeki deliklere patlayıcı madde şarjı.....	99
Şekil 41. Şalpazarı OİŞ orman yolu yapımı alanında kullanılan hidrolik ekskavatör....	102
Şekil 42. SP-1 nolu atım yerindeki kayada patlatma delikleri ve düzeni.....	103
Şekil 43. SP-1 nolu atım yerinde uygulanan delik şarjı.....	104
Şekil 44. SP-2 ve SP-3 nolu atımda uygulanan delik düzeni ve üstten görünümü.....	105
Şekil 45. Atım yerinde patlayıcı şarjı ve patlatma sonrası oluşan blok boyutu.....	106
Şekil 46. SP-2 ve SP-3 nolu atımlarda uygulanan delik şarjı.....	106
Şekil 47. SP-4 Nolu atım yerinde uygulanan delik düzeni ve üstten görünümü.....	108
Şekil 48. SP-4 Nolu atımda patlatılma öncesi ve sonrasına ait genel görünüm.....	109
Şekil 49. SP-4 nolu atımda uygulanan patlayıcı şarjı.....	110
Şekil 50. SP-5 nolu atımda uygulanan delik düzeni ve üstten görünümü.....	111
Şekil 51. SP-5 nolu atım yerinde deliklere patlayıcı şarjı.....	112
Şekil 52. SP-6 nolu atımda uygulanan delik düzeni ve üstten görünümü.....	113
Şekil 53. SP-6 nolu atım yerinde deliklere patlayıcı şarjı.....	114
Şekil 54. SP-7 Nolu atımda kaya delme ve uygulanan delik düzeni.....	116
Şekil 55. SP-7 nolu atım yerinde uygulanan delik şarjı.....	117
Şekil 56. SP-8 no'lu atım yerinde patlatma delikleri ve patlatma sonrası durum.....	119
Şekil 57. SP-8 nolu atımda uygulanan delik düzeni.....	119
Şekil 58. SP-8 nolu atım yerinde uygulanan delik şarjı.....	120
Şekil 59. SP-9 nolu atımda delik düzeni ve üstten görünümü.....	122
Şekil 60. SP-9 nolu atım yerinde uygulanan delik şarjı.....	123
Şekil 61. Vakfikebir OİŞ 011 kodlu yolda kullanılan paletli hidrolik ekskavatör.....	125

Şekil 62. VK-1 nolu atımda uygulanan delik düzeni ve üstten görünümü.....	126
Şekil 63. VK-1 nolu atım yerinde uygulanan deliklere patlayıcı şarjı.....	127
Şekil 64. Vakfikebir OİŞ 029 kodlu yolda kullanılan paletli hidrolik ekskavatör.....	129
Şekil 65. VK-2 nolu kaya patlatma alanı ve çevresine ait genel görünüm.....	130
Şekil 66. VK-2 nolu atımda uygulanan delik düzeni ve üstten görünümü.....	131
Şekil 67. VK-2 nolu atım yerinde deliklere patlayıcı şarjı.....	132
Şekil 68. Orman yolu enine kesitinde patlatma deliklerinin konumu.....	136
Şekil 69. Patlayıcının ateşlenmesinde kablo bağlama sıralı gecikmeli ateşleme paterni.	144
Şekil 70. Orman yolu kazı şevlerinde delik düzeni ve patlatma tasarımı modeli.....	150
Şekil 71. Yetersiz sıkılama ve dilim kalınlığı nedeni ile kaya fırlaması.....	152
Şekil 72. Kaya fırlaması ile yamaç aşağısındaki ağaçlarda gövdede oluşan hasarlar.....	153
Şekil 73. Yamaç aşağısına fırlayan kayaların ağaçlarda gövde, dal ve tepe kırması.....	153
Şekil 74. Kayaların akarsuların akış rejiminde ve ağaçlarda oluşturduğu hasarlar.....	154
Şekil 75. Sıkılama boyu ile kaya fırlaması uzaklığının grafiksel gösterimi.....	160
Şekil 76. Çevre ve Orman Bakanlığı titreşim kriterlerine göre atımların grafiği.....	166
Şekil 77. AD-1 Nolu atıma ait parçacık hızları ve frekansları örnek grafiği.....	167
Şekil 78. VK-1 nolu atıma ait USBM ve OSMRE kriteri grafiği.....	169
Şekil 79. Alman DIN 4150 normuna göre AD-1 nolu atımına ait grafik.....	170
Şekil 80. Maksimum parçacık hızı ile ölçekli mesafe arasındaki ilişki.....	174
Şekil 81. Atımlara ait hava şoku değerleri ve yüzde (%) dağılımı.....	175
Şekil 82. Hava şoku ile ölçüm uzaklığı arasındaki ilişki.....	176
Şekil 83. Nokta yükü dayanımı deneyi ve geçerli kırılmanın olduğu örnekler.....	178
Şekil 84. Kayaçların dayanımı ve süreksizliklerine göre kazılabilirlik durumları.....	182

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Orman yol tipleri ve geometrik standartları.....	18
Tablo 2. Patlatma kaynaklı çevresel etkiler ve özellikleri	33
Tablo 3. USBM (RI 8507)'ye göre izin verilen maksimum parçacık hızı değerleri... 43	43
Tablo 4. Uzaklığa bağlı müsaade edilen ölçekli mesafe faktörleri	45
Tablo 5. Patlatmada noktasından belirli uzaklıklarda maksimum parçacık hızları.... 45	45
Tablo 6. Alman DIN 4150 normuna göre maksimum parçacık hızı değerleri..... 47	47
Tablo 7. Patlama nedeniyle oluşacak titreşimlerin en yakın yapıda yaratacağı zemin titreşimlerinin izin verilen en yüksek değerleri..... 48	48
Tablo 8. ÇOB şantiye alanı için çevresel gürültü sınır değerleri..... 51	51
Tablo 9. Yer sarsıntısı ve hava şoku düzeylerini azaltmak için dikkate alınması gereken parametreler..... 52	52
Tablo 10. Alacadağ şefliğine ait işletme sınıfları itibari ile alan dağılımı..... 57	57
Tablo 11. Şalpazarı serisi işletme sınıfları itibari ile alan dağılımı	58
Tablo 12. Vakfikebir serisi işletme sınıfları itibari ile alan dağılımı	59
Tablo 13. Araştırma alanlarında kullanılan hidrolik ekskavatörler ve özellikleri..... 61	61
Tablo 14. Orman yollarında kullanılan patlayıcı maddeler ve teknik özellikleri..... 64	64
Tablo 15. Orman yolu yapımında atım yeri envanter ve kayıt karnesi	74
Tablo 16. Nokta yükü dayanım sınıflandırması..... 84	84
Tablo 17. Tek eksenli basma dayanım sınıflaması..... 84	84
Tablo 18. Schmidt çekici değerlerine göre kayaç sertlikleri..... 86	86
Tablo 19. Atımda uygulanan delik düzeni ve patlatmaya ilişkin bilgiler..... 94	94
Tablo 20. AD-1 ve AD-2 nolu atımda kaya hacmi, özgül şarj ve özgül delme..... 95	95
Tablo 21. AD-3 nolu atımda delik düzeni ve patlatmaya ilişkin bilgiler..... 99	99
Tablo 22. AD-3 nolu atımda kaya hacmi, özgül şarj ve özgül delme..... 100	100
Tablo 23. SP-1 nolu atımda delik düzeni ve patlatmaya ilişkin bilgiler..... 103	103
Tablo 24. SP-1 nolu atımda kaya hacmi, özgül şarj ve özgül delme..... 104	104
Tablo 25. SP-2 ve SP-3 nolu atımda delik düzeni ve patlatmaya ilişkin bilgiler..... 105	105
Tablo 26. SP-2 ve SP-3 nolu atımda kaya hacmi, özgül şarj ve özgül delme..... 107	107
Tablo 27. SP-4 nolu atımda delik düzeni ve patlatmaya ilişkin bilgiler..... 109	109
Tablo 28. SP-4 nolu atımda kaya hacmi, özgül şarj ve özgül delme..... 110	110

Tablo 29. SP-5 Nolu atımda delik düzeni ve patlatmaya ilişkin bilgiler.....	111
Tablo 30. SP-5 nolu atımda kaya hacmi, özgül şarj ve özgül delme.....	113
Tablo 31. SP-6 nolu atımda uygulanan delik düzeni ve patlatmaya ilişkin bilgiler.....	114
Tablo 32. SP-6 nolu atımda kaya hacmi, özgül şarj ve özgül delme.....	115
Tablo 33. SP-7 nolu atımda uygulanan delik düzeni ve patlatmaya ilişkin bilgiler....	117
Tablo 34. SP-7 nolu atımda kaya hacmi, özgül şarj ve özgül delme.....	118
Tablo 35. SP-8 nolu atımda uygulanan delik düzeni ve patlatmaya ilişkin bilgiler....	120
Tablo 36. SP-8 nolu atımda kaya hacmi, özgül şarj ve özgül delme.....	121
Tablo 37. SP-9 nolu atımda uygulanan delik düzeni ve patlatmaya ilişkin bilgiler....	122
Tablo 38. SP-9 nolu atımda kaya hacmi, özgül şarj ve özgül delme.....	123
Tablo 39. VK-1 nolu atımda uygulanan delik düzeni ve patlatmaya ilişkin bilgiler...	126
Tablo 40. VK-1 nolu atımda kaya hacmi, özgül şarj ve özgül delme.....	127
Tablo 41. VK-2 nolu atımda uygulanan delik düzeni ve patlatmaya ilişkin bilgiler...	132
Tablo 42. VK-2 nolu atımda kaya hacmi, özgül şarj ve özgül delme.....	133
Tablo 43. Tüm atımlarda uygulanan delik düzeni ve patlatmaya ilişkin bilgiler.....	137
Tablo 44. Atım yerinde 1 m derinliğindeki deliklerde kullanılan patlayıcı miktarı....	141
Tablo 45. Uygulamada gerçekleştirilen sıkılama boyları ve önerilen sıkılama boyları	143
Tablo 46. Tüm atımlarda patlayıcı miktarı, kaya hacmi, özgül şarj ve özgül delme...	146
Tablo 47. Orman yollarında uygulanabilecek patlatma tasarımı örneği.....	149
Tablo 48. Kaya fırlamalarını etkileyen kontrol edilebilir parametrelerden bazıları....	155
Tablo 49. Bağımlı değişken kaya fırlaması ile bağımsız değişkenler.....	158
Tablo 50. Kaya fırlaması ile bağımsız değişkenler arasındaki korelasyon katsayıları...	158
Tablo 51. Kaya fırlaması uzaklığının belirlenmesi için regresyon modelleri	159
Tablo 52. Atım yerlerinde ölçülen ve 1 nolu model ile hesaplanan kaya fırlamaları...	160
Tablo 53. Orman yollarındaki atımlarda oluşan yer sarsıntısı ve hava soku değerleri.	163
Tablo 54. Kaya patlatma alanlarındaki delik geometrisi ve atımlar neticesinde oluşan titreşimlere ait parametreler.....	164
Tablo 55. Orman yollarında yapılan atımlara ait yer sarsıntısı değerleri ve hasar kriterlerine göre değerlendirme sonuçları.....	172
Tablo 56. Ölçekli mesafeye bağlı maksimum parçacık hızı tahmin modeli sonuçları.	173
Tablo 57. Kayaç örneklerinin nokta yükü ve tek eksenli dayanım sonuçları.....	179
Tablo 58. Kaya örneklerinin Schmidt çekici deneyi sonuçları ve sertlik sınıflaması...	184
Tablo 59. Orman yollarında Schmidt çekici ile kayaç sertliğinin belirlenmesi.....	186

SEMBOLLER DİZİNİ

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ANFO	: Amonyum Nitrat Fuel Oil
ASTM	: American Society for Testing and Materials
BBDD	: Basınç Birim Deformasyon Dalgası
ÇBDD	: Çekme Birim Deformasyon Dalgası
ÇOB	: Çevre ve Orman Bakanlığı
DKB	: Doğu Karadeniz Bölgesi
GPS	: Global Positioning System
ISRM	: International Society for Rock Mechanics
OBM	: Orman Bölge Müdürlüğü
OGM	: Orman Genel Müdürlüğü
OİM	: Orman İşletme Müdürlüğü
OİŞ	: Orman İşletme Şefliği
SPSS	: Statistical Package for Social Science
TOBM	: Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü
OSMRE	: Office of Surface Mining Reclamation and Enforcement
USBM	: United State Bureau of Mines
USD	: United States Dollar
YTL	: Yeni Türk Lirası

1. GİRİŞ

Orman ekosistemi kendi içerisinde dinamikleri olan bir sistem olarak, kendilerine yapılan her türlü müdahaleden etkilenmektedir. Bu etki bazen kısa süreli olup sistem kendi dengesini tekrar sağlayabilirken, bazı durumlarda ise kendi denge ve yenilenmesini sağlayamayıp doğal dengesinin bozulmasına ve sonuçta tamamen yok olmasına neden olabilmektedir. Orman ekosistemi üzerinde olumsuz etkiye sahip etmenlerin başında, ormanı bir uçtan bir uca bıçak gibi kesen orman yolları gelmektedir.

Orman yolları, orman topluluğundan elde edilecek her çeşit hâsılatı amaca uygun bir şekilde ve sürekli olarak taşımakla birlikte diğer ormancılık hizmetlerinin yapılabilmesi için de orman içine dağılımı iyi olan bir yol ağına ihtiyaç duyulmaktadır. Başka bir deyişle ağaçlandırma alanlarına ulaşılması, orman içine hizmet götürülmesi, ormanların yetiştirilmesi, bakımlarının yapılması ve yararlanılması gibi ormancılık faaliyetlerinin yapılabilmesi amaca uygun bir orman yol ağının varlığı ile mümkün olabilmektedir.

Orman yolları sadece ormanın işletilmesine, korunmasına ve orman ürünlerinin ormandan çıkarılmasına hizmet etmeyip, diğer karayollarının bir parçası olarak kırsal alana ulaşım ve burada yaşayan halkın da kullanımına yönelik bir altyapı tesisi olarak topluma hizmet etmektedirler. Bu yönü ile birçok görevi üstlenmiş olan orman yollarının, dağlık ve bakir alanlarda inşa edilmesi nedeni ile çevresel hassasiyetlerin ön planda tutulmasını gerekmektedir.

Tekniğine uygun olmayan, yetersiz bir şekilde projelendirilip, planlanarak inşaatı gerçekleştirilen ve bakımı sürdürülen orman yolları ciddi boyutta çevresel tahribatlara neden olmaktadır. Mühendislik çalışmaları yetersiz olan bu tür orman yolları, yağışlarla birlikte çok aşırı derecede yüzeysel akışlarla sediment taşınımına, erozyona ve toprak kaymalarına neden olmaktadır (Heinrich, 2001). Bu nedenle orman yollarının planlanması ve projelendirilmesi teknik, ekonomik, ekolojik ve çevresel boyutta özellikleri dikkate alan ehliyetli mühendisler tarafından yapılması gerekmektedir.

Orman yolu yapımı sırasında doğru ve özenle seçilmeyen bir orman yolu geçişinde 1 km yeni yol yapılması ile ortalama 0,6 – 1,0 ha ormanlık alan doğrudan açıldığı, meşcere yaşına göre 400- 3500 ağaç kesildiği belirtilmektedir (OGM, 2007). Oysaki orman yolları, ormanların işletilmesi ve geliştirilmesinde çok önemli bir role

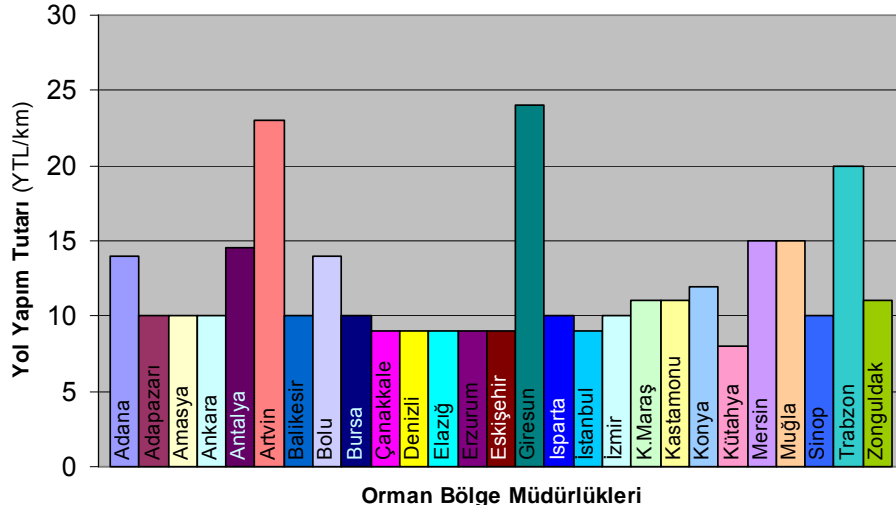
sahip mühendislik yapılarından ve ormanlar için temel altyapı tesisidirler. Bu yollar, diğer ulaşım sistemleriyle birlikte ormanın derinliklerine ulaşımı saylayan kompleks mühendislik yapılarıdır.

Ülkemizde orman yolları Orman Yol Ağı Planlarının Düzenlenmesine dair 292 Sayılı tebliğde belirtilen esaslara göre planlanarak inşaat işleri yürütülmektedir. Bu yönetmeliğin amacı; “bir orman topluluğunun entansif olarak işletilmesi için ekim, dikim, bakım, kesim, hastalık ve zararlılarla mücadele, yangınlardan korunma veya yangınları söndürme gibi çeşitli ormancılık hizmetlerinin zamanında, yöntem ve tekniğine uygun olarak yapılabilmesi; ormanların çok yönlü fonksiyonel faydalarının hizmete sunulması için yapılacak orman yol ağı planlarını düzenlemek” olarak belirtilmektedir (OGM, 2007).

Ülkemizde ormancılık çalışmaları 2006 yılı sonu itibariyle ülkenin değişik yerlerinde ve dağlık durumdaki yaklaşık 21,2 milyon hektar orman alanı üzerinde yürütülmektedir. Ülkemiz genel toplam alanının % 27,2’sine karşılık gelen bu kadar geniş çoğunlukla dağlık arazide yayılış gösteren ormanların işletilmesi ancak iyi bir orman yol ağının varlığı ile mümkündür (Anonim, 2006).

Ülkemizin tüm ormanlık alanı için toplam yol ihtiyacı 201 810 km olarak hesaplanmıştır. Türkiye’de genellikle orman içerisinde inşa edilen yaklaşık 157 000 km orman yolu mevcuttur. Bu miktara her yıl ortalama 1 000 km yeni orman yolu ilave edileceği ve yaklaşık 1 000 km uzunluğunda standardı düşük orman yollarının büyük onarımı yapılacağı belirtilmektedir. Yol yapım maliyetleri açısından bakıldığında; ülkemizde orman yolları için 2006 yılında ülke genelinde 50 km uzunluğundaki yeni orman yolu için 600 000 Yeni Türk Lirası (YTL) harcanacağı belirtilmektedir (OGM, 2006; Çağlar ve Türk, 2008). Buna göre, ülkemizde 1 km yeni yol yapımının ortalama maliyeti 12 bin YTL olarak öngörülmüştür.

Orman yolu yapım maliyetleri bölgeler bazında incelendiğinde, orman yolu inşaatının en pahalı olduğu bölge dağlık Doğu Karadeniz Bölgesidir. Bu bölgede yer alan Giresun, Trabzon ve Artvin Orman Bölge Müdürlüklerinde (OBM) 1 km yeni orman yolu yapımının ortalama maliyeti, 22 300 YTL’dir (OGM, 2006). Bu miktar, aynı yıl için ülkemiz ortalamasının yaklaşık iki katıdır (Şekil 1). Bu yörede, orman yolu inşaat maliyetinin yüksek oluşunun başlıca nedeni, ormanların yüksek eğimde, dağlık ve kayalık alanlarında yayılış göstermesine paralel olarak kaya kazısının yoğun olarak yapılmasıdır.



Şekil 1. OBM'nin yeni orman yolu yapım maliyetleri (OGM, 2006).

Günümüzde aşırı yararlanma ve müdahaleler sonucu dağlık ve sarp araziye doğru çekilmiş orman alanlarında orman yollarının inşaatı, kullanılan yol yapım yöntemine göre bazı teknik, ekonomik ve çevresel sorunları beraberinde getirmektedir. Sarp, aynı zamanda kayalık arazide yol yapımı, kayalık alanların geçilebilmesi için bazı özel teknikleri gerekli kılmaktadır. Kayalık alanda yol yapım tekniklerinin uygulanmasında; yol inşaatının yapılacağı yerde işin tekniği, ekonomisi, ekolojisi ve diğer arazi koşulları dikkate alınarak en uygun olan yöntemin seçilmesi bir zorunluluktur.

Planlaması yapılmış orman yol ağlarının yapımı sırasında yol geçkisine rastlayan kazılabilir nitelikteki toprak veya küskülük zeminler yol yapım makineleri ile kolayca geçilebilirken, büyük kaya partilerinin geçilmesinin zorunlu olduğu yerlerde patlayıcı madde kullanımı söz konusu olmaktadır.

Genel olarak bakıldığında, inşası sürdürülen orman yol geçkilerine rastlayan kaya partileri; ya dozer bıçağı veya dozer arkasına monteli riperiyle ya da ekskavatör kovası ile sökülme veya ekskavatör koluna monteli hidrolik kırıcıyla kırılmak suretiyle kazısı gerçekleştirilmektedir.

Ancak orman yolu geçkilerine rastlayan, dozer veya ekskavatörle ekonomik olarak sökülüp kazılması mümkün olmayan sert kaya kazısının gerekli olduğu durumlarda, patlayıcı maddeler kullanılarak kayanın parçalanarak ötelenip gevşetilmesi ve kazısının yapılması yoluna gidilmektedir.

Patlayıcı maddelerle kayanın patlatılmasında iş akışı; patlatılacak olan kayanın delicilerle delinmesi, yeteri kadar derinlikte açılan deliklere patlayıcının şarj edilmesi,

ateşleme düzeneğinin hazırlanması ve kabloların bağlanması, gerekli güvenlik önlemleri ve kontrollerin yapılmasının ardından patlayıcının ateşlenmesi ve patlatılan kaya parçalarının dozer veya ekskavatörle tesviyesinin yapılması şeklinde olmaktadır.

Orman yollarında uygulamada kullanılmakta olan kaya kazısı yöntemlerinin teknik, ekonomik ve çevresel açıdan ele alınarak incelenmesi gerekir. Teknik, ekonomik ve çevresel açıdan en uygun yöntem ve ekipmanın seçilmesi orman kaynaklarından faydalanma, sürdürülebilirlik ve çevresel açıdan kaçınılmaz bir zorunluluktur. Yol yapım alanının yersel özellikleri dikkate alındığında, bazı koşullarda sadece çevresel hassasiyetler ön planda tutulabileceği gibi, bazı koşullarda ise ekonomi ile birlikte ikili veya tümünün aynı ağırlıkta kombinasyonu ile yol inşaatı gerçekleştirilebilir.

Bu çalışmada, dağlık ve kayalık arazide orman yolları yapımında patlatma tabanlı kaya kazısı tekniği ve ortaya çıkardığı çevresel sorunlardan; kaya fırlaması, yer sarsıntısı ve hava şoku incelenmiştir. Bu çevresel etkilere neden olan, patlatmanın kontrol edilebilir faktörleri belirlenerek, çevresel etkilerinin en aza indirilmesine yönelik model ve tasarımlar ortaya konulmuş ve yer sarsıntısı ve hava şoku değerlerinin hasar kriterleri içerisindeki yeri belirlenmiştir. Bununla birlikte, patlatmalı kazısı yapılan kaya türlerinin sertlik ve dayanımları belirlenerek, kayaların mekanize kazılabilirlikleri incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında incelenen konuya ilişkin literatür aşağıda verilmiştir.

1.1. Literatür Özeti

Ülkemizde uygulamada bir orman yol ağı planı ve aplikasyonunda 292 sayılı “Orman Yol Ağı Planlarının Düzenlenmesine Dair Tebliğ” ve buna ek bazı yönetmelikler esas alınmaktadır. Burada, iş yeri güvenliğinden müteahhidin sorumlu olacağı vurgulanmakta ve ateşleme belgesi olmayanların patlayıcı madde kullanma, ateşleme ve patlatma işlerinde çalışamayacağı ve çalıştırılmayacağı belirtilmektedir.

Orman yolu yapılırken, projede gösterilsin veya gösterilmesin çevrede bulunan her türlü sahipli malın ve orman ağaçlarının hiçbir zarara uğratılmaması gerektiği ve bunun için her türlü tedbiri almaktan ve neticelerinden müteahhidin sorumlu olduğu belirtilmektedir (OGM, 2007). Ancak kendine özgü ekolojik özellikleri olan ormanlarda yapılmakta olan orman yolu inşaatlarının yılın hangi zamanında yapılacağı, çevresel açıdan orman ekosistemini etkilemeyecek, yaban hayatı ve diğer fauna ve florasının zarar görmeden nasıl yapılacağı belirtilmemiştir.

Orman yolu geçkisinin seçim aşaması, üzerinde çalışma yapılacak alana ait ulaşılabilir tüm bilgilerin toplanması ve analizi ile başlar. Bu bilgiler, bölgeye ait hava fotoğrafları, topografik haritaları, toprak erozyonu haritaları, detaylandırılmış arazi stabilitesi haritaları ile diğer değerlendirmeleri kapsamalıdır (BCMF, 2002). Bu bilgi ve veriler kullanılarak tespit edilen orman yolu geçkisi ve yapılacak olan yol inşaatı sırasında ortaya çıkan kayaların kazılması her yönü ile iyi bir planlamayı gerektirir. Bu planlamada işin tekniği, ekonomisi ve çevreye duyarlılığı detaylı olarak incelenmelidir.

Spinelli ve Marchi'ye (1996) göre; etkin bir orman işletmeciliği yapılabilmesi için, orman yollarının temel görevlerini dikkate almaksızın uygun, aynı zamanda iyi nitelikte orman yolları planlaması ve yapımı çok önemlidir. Orman bakımı, odun hammaddesi üretimi, av-yaban hayatı kontrolü, rekreasyonel faaliyetlerin hepsine ulaşılabilirlik uygun bir yol ağını gerektirmektedir. Bu amaçla, orman yolları pek çok gereksinimi giderecek şekilde tasarlanmalı ve yolların inşası çevresel kayıpları azaltmaya yönelik uygulamaları içermelidir.

Dağlık ve buna bağlı olarak eğimli arazinin geniş yer tuttuğu ülke ve bölgeler, genellikle çeşitli kitle hareketleri, erozyon gibi dış dinamik olayların en etkili olduğu ve bunların sel, erozyon, taşkın ve benzeri zararlı sonuçlarının en çok görüldüğü yerlerdir. Avusturya'nın toplam yüzölçümünün yaklaşık % 67'si bu kuşakta yer almakta ve dağlık arazi karakteri taşımaktadır (Fiebiger, 1999). Ülkemiz yüksek ve genellikle dağlık bir araziye sahiptir. Ülkemizde yükseltisi 1000 m'nin üzerinde olan ve dolayısıyla dağlık arazi kategorisine giren alanlar ülke yüzölçümünün yaklaşık % 57'sine ulaşmaktadır (Görcelioğlu, 1974; Görcelioğlu, 2003). Ülkemizin kuzey doğusunda yer alan Doğu Karadeniz dağlarında yayılış gösteren ormanlar ise yüksek, dağlık ve kayalık arazi özelliğindedir.

Orman yolu inşaatı yönünden yamaç eğimi; % 0–19 kolay, % 20–39 orta, % 40–69 zor ve \geq % 70 çok zor yamaçlar olarak dört sınıfta incelenmektedir. Bu eğim sınıflarında, yol yapımı için kolay yamaçlardan çok zor yamaçlara doğru gidildikçe maliyetler artmaktadır (Erdaş, 1997). Ülkemiz ormanları ise ortalama yamaç eğiminin %50–60 olduğu dağlık arazide yer almaktadır. Yol yapımı bakımından değerlendirildiğinde ülkemiz ormanları “zor eğimli” ve “çok zor eğimli” yamaçlar üzerinde yayılan dağlık arazide yer almaktadır (Tunay ve Melemez, 2004).

Sekendiz ve Özder (1983) Doğu Karadeniz Bölgesi ormanlarında yamaç yollarının yapımı sırasında, yamaç aşağısında kalan orman alanının önemli bir kısmının yuvarlanan

taş ve kayalar ile yok edildiğini, yaralanan ve kırılan gövde ve tepelerden bakteri, mantar, kabuk böceği gibi zararlıların girebildiğini, epidemi yapabildiğini, neticede kerestelik ağaçların % 50'sinin yok edildiğini belirtmektedir. Yine orman yolu yapımı sırasında meşcereyi koruyucu önlemlerin alınmadığı ve yamaç eğiminin % 75'in üzerinde olduğu yamaçlardan sökülen taşların yolun altında 70–80 metre genişliğinde bir şeridi kapladığı, iri taşların ise daha da aşağılara yuvarlandığı vurgulanmaktadır.

Dykstra ve Heinrich (1996) özellikle dik yamaçlarda ve erozyona eğilimli alanlarda orman yollarının yapımında ekskavatörlerin kullanılarak kazı ve dolgu hacimlerinin azaltılması, kazılan materyalin yana (dolgu kısmına) depolanmasından kaçınılması ve dinamit gibi patlayıcı maddelerin kullanımının kısıtlanması gerektiğini belirtmiştir.

Yamaç eğiminin ortalama % 70 olduğu bir arazide 4 metre genişliğinde bir orman yolu yapımı ile toprak malzeme için yaklaşık 32 m., kayalık alanda ise 20 metre genişliğinde bir orman alanının yok edildiği vurgulanmaktadır. Yine bu çalışmada 1 km orman yolu için kazılan materyal, kayalık olmayan arazide 8000 m³, kayalık alanda ise yaklaşık 3300 m³ olduğu, ancak patlatılan kayaların % 70'lik kısmı yamaç aşağısındaki alanda tahribat yaptığı belirtilmektedir (FAO, 1985).

Orman yolu yapımı sırasında ağaç ve diğer vejetasyonun geçki yerlerinden kaldırılması, yüzey eğiminin değiştirilmesi, yol yapımında dinamit kullanımı ve ağır makinelerin hareketi gibi nedenlerle oluşan titreşimler, yüzeysel ve yer altı suyu drenajında ve toprağın sıkışmasındaki değişimler eğim stabilitesini etkilemekte ve neticede toprak kaymasına veya heyelanlara neden olmaktadır (Anonim, 2007).

Erdaş ve arkadaşları (1995) yapmış oldukları çalışmada kayaların patlatılması ve yamaç aşağısına yuvarlanması ile çok büyük kayıplar olduğunu belirtmektedirler. Yine Erdaş (1981)'de patlayıcı maddelerin gerek cinsini seçmek ve gerekse yerinde kullanılmasını sağlamanın oldukça önemli olduğunu, iyi ve yerinde kullanılan patlayıcı maddelerin hem kazı verimini artırdığını hem de yol yapım makinelerinin ömürlerini uzatarak maliyetleri düşürdüğünü belirtmektedir. Aynı çalışmada, karayollarında çapı 5,08 cm (2 inch) olan ve 1 m derinliğinde açılan patlatma deliklerinde farklı delik aralık ve mesafelerine göre 2,33 m³ ile 5,95 m³ hacimlerdeki kayaların patlatılması için 2,53 kg patlayıcı madde kullanıldığını belirtmektedir. Dinamit kartuşlarının deliklere şarjında, elektrikli kapsülün bütün bir grup içinde aynı derinlik ve sırada koymanın uygun olacağını belirtmektedir. Bununla birlikte elektrikli kapsülün ıslak deliklerde dipten ikinci kartuşa,

çok sayıdaki sıralı ateşlemenin yapıldığı kuru deliklerde ise elektrikli kapsülün en dipteki kartuşa koymanın gerektiğini vurgulamaktadır.

Bayoğlu (1989), yanlış planlanan orman yolları yanında, yol yapım çalışmalarında sadece dozerle yol boyunca yapılan tesviye nedeniyle yolların aşağısında kalan orman alanlarında büyük zararların meydana geldiğini belirtmektedir. Gerek arazi kaybına gerekse yol altındaki orman örtüsünün zarar görmesine neden olan bu uygulamanın dağlık arazide kendini daha fazla gösterdiğini vurgulamıştır.

Acar ve arkadaşları (2005) orman yolu yapımı süresince, makine gürültüsü, egzoz gazı ile kaya kazısı yöntemlerinden kaya patlatmanın oluşturduğu çevresel problemlerden “taş savrulması” orman ağaçları üzerinde oldukça zararlı olmakta, yaban hayatını olumsuz yönde etkilenmekte olduğunu vurgulamıştır.

Acar ve Şentürk (1997) dağlık ve kayalık arazide yol yapımı sırasında büyük kaya partilerinin uzaklaştırılabilmesi için iticilikten çok kırıcılık özelliği yüksek olan patlayıcı maddeler tercih edildiğini, bu amaçla yol geçkilerine rastlayan kayaların kazısının yapılabilmesi için parçalayıcı ve dağıtıcı özellikteki patlayıcı maddelerle parçalanması gerekliliğini belirtmektedir.

Çağlar ve Acar (2006) yapmış oldukları çalışmada dağlık ve kayalık arazide inşa edilen orman yollarında kontrolsüzce yapılan kaya patlatmalarının çevresel etkilerine dikkat çekmişlerdir. Bu çevresel etkilerden özellikle kaya fırlamalarının orman ağaç ve fidanlarında ciddi zararlar oluşturduğunu, doğal su kaynaklarının kirletildiği, patlatma sonrası oluşan yer sarsıntısı ve hava şoklarının dağlık arazi koşullarında oluşturabileceği tehlikeleri vurgulamışlardır. Çalışmada orman yollarında ilkel kaya patlatma yerine, çevresel açıdan belirlenen kriterlere göre patlatma tasarımının yapılması gerekliliği ortaya konulmuştur.

McKelvey ve arkadaşları (2002), insanların doğada yol gibi yapıları yaparak, yaban hayatının yaşam alanlarının kısıtlamalarının yanı sıra, bu habitatlar arasındaki bağı koparıp nesli tükenmekte olan yaban hayvanlarından küçük popülasyonlar için ciddi bir şekilde yıkıcı oldukları belirtilmektedir.

Birleşik Devletler Balık ve Yaban Hayatı Kurumunca yapılmış olan çalışmada, habitat yıkımına ve habitatlar arası bağın kaybolmasına neden olan başlıca etmenlerden birisinin de dünyada bir uçtan bir uca uzanan yollar olduğu belirtilmiştir. Kuzey Amerika kayalıklarında bölgesel bazda parçalanma nedeniyle bu bölgeye ait gri ayı

popülasyonlarının nispeten daha az gelişmiş yerlerde ve daha az doğal tahribata uğramış alanlarda toplandığı vurgulanmaktadır (USFWS, 1993).

Winkler (1998) Avusturya'da ekskavatörle ve hidrolik kırıcılarla gerçekleştirilen üç ayrı alandaki 1 metre uzunluğunda orman yolu yapılabilmesi için gereken verimli çalışma zamanı belirlemiştir. Bu yollardan; yol yapımında sadece ekskavatörün kullanıldığı 1 numaralı çalışma alanında 8,75 dakika, ekskavatör ve hidrolik kırıcının birlikte kullanıldığı 2 numaralı çalışma alanında 9,52 dakika ve ekskavatör ile patlayıcı madde kullanıldığı 3 numaralı çalışma alanında ise 16,93 dakika olduğunu belirlemiştir. Ayrıca, üç ayrı çalışma alanında ekskavatörle yol inşaat maliyetleri sırasıyla 10,12 USD/m, 17,64 USD/m ve 95,83 USD/m olarak hesaplanmıştır.

Winkler (1998) kaya patlatmanın yapıldığı orman yollarında, dikdörtgen delik düzeninde ve 1,5 m aralıklarla dik delikler delindiğini belirtmiştir. Yol güzergâhında ortaya çıkan 76 m³ kireçtaşının patlatılması için 6 ayrı atım yapıldığını ve bekleme zamanlarını da içeren iş yeri zamanı toplam 166,5 dakika harcandığını belirlemiştir. Çalışma zamanını dikkate alarak çalışma veriminin 2,13 dakika /m³, saatlik çalışma zamanına göre ise kaya patlatma verimliliğinin 28,18 m³/saat olduğunu belirlemiştir. Aynı çalışmada; kireçtaşının patlatılması için 3–4 m derinliğindeki deliklerin her birinde 1,50 kg ile 1,75 kg patlayıcı madde kullanıldığı belirtilmektedir. Patlayıcının ateşlenmesinde milisaniye gecikmeli elektrikli kapsüllerin kullanıldığı ve deliklerin sıra ile patlatıldığı belirtilmektedir. Buradan 1 m derinliğindeki bir delikte 0,44 kg ile 0,50 kg arasında patlayıcı kullanıldığı anlaşılmaktadır.

Antola (1998) orman yolu inşaatlarında büyük miktarda sert kaya kazılarının dağlık ve engebeli arazi şartlarında ise kaçınılmaz olduğunu belirtmektedir. Buna bağlı olarak, kaya delme ve patlatma çok pahalı olduğu için büyük miktardaki kaya kazısı işleri yol yapım maliyetlerinde etkili olduğunu belirtmektedir. Aynı çalışmada 1981 yılı maliyetlerine göre, 1 m³ kayanın patlatılması için 9 USD ve tesviyesi için ise 12 USD harcandığını belirtmektedir.

Paşamehmetoğlu vd, (1991) ile Kesimal (2005) bir patlatmada verimliliği etkileyen değiştirilebilen parametrelerinin; dilim kalınlığı, delikler arası mesafe, delik taban payı, delik eğimi, delik çapı, kullanılan patlayıcı maddenin cinsi, miktarı ve dağılımı, sıkılama materyali ve boyu, patlayıcının ateşlenme sırası, gecikme zamanı gibi parametreler olduğu belirtilmektedir. Kaya patlatmada hem patlatma verimi hem de çevresel açıdan optimum sonuçlara ulaşılabilmesi için bu parametrelerde değişiklik yapılabileceği vurgulanmaktadır.

Erçikdi ve arkadaşları (2004-a) teknik ve ekonomik yönden uygun patlatma tasarımları gerçekleştirilirken; yer sarsıntısı, hava şoku ve kaya fırlaması gibi çevresel etkilerin kontrol edilmesi gerektiği, yapılacak patlatmalarda; parçacık hızı (mm/sn), parçacık deplasmanı veya yer değişimi (mm), parçacık ivmesi (mm/s^2) ve frekansı (Hz) ölçmek ve bu değerleri kontrol edilebilir sınırlarda tutarak tasarımlar gerçekleştirmek suretiyle çevresel sorunların en aza indirilebileceğini vurgulamıştır.

Adlaş ve arkadaşları (2004), bir taş ocağında jeofizik yöntemlerden biri olan yer radarı (GPR) yöntemi ile jeolojik süreksizliklerin belirlenmesi, 2B modellenmesi ve elde edilen veriler sayesinde patlatma tasarımında yapılan iyileştirmeleri incelemişlerdir. Çalışma alanı olarak seçilen bir basamakta GPR yöntemi ile süreksizliklerin tespiti ve parçalanmayı iyileştirmek amacı ile GPR verileri dikkate alınarak patlatma tasarımında yapılan değişiklikler anlatılmıştır.

Young (1999) sert kaya kazısı, ikincil kırma ve beton yapıların yıkımı için patlayıcı içermeyen kontrollü köpük enjeksiyonu (Controlled Foam Injection, CFI) metodunda, parçalayıcı olarak yüksek basınçlı köpük (bulamaç) kullanılmakta olduğunu belirtmektedir. Bu sayede, patlayıcı tabanlı kazı teknikleri ile ortaya çıkan; yer sarsıntısı, hava soku, kaya fırlaması ve zehirli gaz ile toz oluşumu problemlerinin tamamen elimine edildiğini vurgulamaktadır. CFI metodunun kontrol edilebilen kırma özelliği sayesinde, uygun boyutlarda kaya parçaları elde edilebilmekte olduğu ve kalan şevde ki kaya kütlelerinin en az zararla kırılması mümkün olduğu belirtilmektedir. Bu metodun kullanıldığı tüm süreçte ortaya çıkan yan ürünlerin, çevresel açıdan makul ve tamamıyla bakterilerle ayrışabildiği vurgulanmaktadır.

Caldwell (2004) kayaların çatlatma ile kazısında, patlayıcı madde içermeyen ürünlerden Cardox, Nonex ve PCF (Penetrating Cone Fracture) ticari isimli materyalleri arazi çalışmaları ile karşılaştırmıştır. Bu çalışmada, bir yol inşaatında $10\ 000\ \text{m}^3$ hacmindeki granitin kazısı amacıyla 1,5 m aralık ve mesafelerde açılan deliklere, içeriğinde sıvı karbondioksit bulunan Cardox tüplerinin yerleştirilerek kayanın başarılı bir şekilde çatlatıldığı belirtilmektedir.

Revey (2006), patlatmadan kaynaklanan çeşitli riskleri tanımlamakta, bunların durumlarını açıklayarak sorunun ana noktalarına rehberlik etmesi ve kontrol edilmesi için pratik önerilerde bulunmaktadır. Bu çalışmada; bir karayolu yapımında $27\ 432\ \text{m}^3$ sert bazalt türü kayanın kazısında, yol inşaatı yakınında oluşabilecek patlatma tabanlı titreşim zararlarının önüne geçmek için, alternatif olarak mekanik kazı şekli olan ekskavatöre

monteli darbeleri kırıcı (impact riper ve hoe-ram) makinelerinin kullanıldığını belirtilmektedir. Bu miktar kayanın bir hafta gibi bir sürede patlayıcı maddeyle kazılması yerine, makinelerle sürekli bir şekilde ve uzun bir periyotta kırılarak söküldüğü, buna rağmen civarda oturanların gürültüden rahatsız oldukları için başka bir yere taşındıkları belirtilmektedir. Yine, bazalt türü kaya kazısının ve bakım masraflarının çok yüksek olduğu belirtilmiş, mekanik kazının 1 yard küpü (0,766 m³) için maliyeti 5,55 USD bulunmuştur. Aynı kayanın patlayıcı madde kullanılarak kontrollü bir şekilde patlatılsaydı 1 m³ kaya için 1,96 USD/ m³ maliyet ortaya çıkacağı belirtilmektedir.

Ak (2006), bir açık ocak madeninde patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının yayılımına jeolojik yapının etkilerini araştırmıştır. Bunun için, üretim patlatmalarından kaynaklanan yer sarsıntıları bir sismograf yardımıyla dört ana yönde kaydedilmiştir. Ölçülen maksimum parçacık hızları, her bir atıma ait patlatma parametreleri ve jeolojik faktörler de göz önüne alınarak analiz edilmiştir. Çalışmanın sonucunda, parçacık hızının sönümleme derecesinin patlatmanın kaynağından eşit mesafelerde ancak farklı yönlerde değiştiğini belirlemiştir. Buna neden olan parametrenin ise hâkim süreksizlik yönelimi olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle, ocağın farklı yönlerinde bulunan yapıların patlatmanın olumsuz etkilerinden korunabilmesi için, jeostatistiksel kriging tahmin yöntemini de kullanarak, yapılara özgü gecikme başına izin verilen maksimum şarj haritası oluşturulmuştur. Son olarak, açık işletmedeki basamaklarda yapılan jeolojik gözlemlere dayanılarak, Nicholes ve arkadaşları'nın önerdiği parçacık hızı tahmin modeline, süreksizlik sıklığı parametresi eklenerek, yeni bir parçacık hızı tahmin eşitliği geliştirilmiştir. Geliştirilen yeni model neticesinde, gözlem ile tahmin edilen parçacık hızı değerleri arasında oldukça yüksek bir korelasyon katsayısı elde edilmiştir.

Persson ve arkadaşları (1996) patlayıcı madde seçimi, en ekonomik patlatma deliği boyutları ve delme derinliği, kaya delme maliyetlerini dikte etmekte olduğunu vurgulamaktadır. Yine delik delme maliyeti, kaya materyaline nüfuz etme ve kayanın aşınma karakteristikleri ile lağım deliklerinin ebat ve derinliklerine bağımlı olduğuna işaret edilmektedir.

Ak, (2006) patlatma kaynaklı yer sarsıntısının, her zaman en önemli çevre sorunları arasında yer aldığını ve bu nedenle yer sarsıntısının etkilerinin analizini içeren birçok deneysel formül ve yöntem geliştirildiğini belirtmektedir. Parçacık hızının zemindeki azalımının hesaplanması için önerilen en yaygın yaklaşımın, mesafenin ölçeklendirilmesi olduğunu vurgulamaktadır. Bu yaklaşımın, patlayıcı şarj miktarının, mesafenin veya her

ikisinin de değişmesi durumunda, maksimum parçacık hızının tahmin edilmesini olanaklı kıldığını belirtmektedir. Ancak bazı durumlarda, patlatma yeri ve gecikme başına şarj miktarı aynı olmasına rağmen, patlatmalar farklı yönlerde ve eşit mesafelerde kaydedildiklerinde farklı titreşim büyüklükleri olduğu vurgulanmaktadır. Bunun muhtemel nedenin; yapısal özelliklerdeki değişim, anizotropi veya ortamın jeolojik diğer özellikleri olduğu belirtilmektedir.

Otuonye (1981) patlatmada hava şoku, kaya fırlaması, yer sarsıntısı ve kayanın yetersiz kırılmasının nedenini patlatma tasarımında önemli bir faktör olan sıkılamanın yeterince yapılmamasından kaynaklandığını belirtmiştir. Sıkılama boyutu dağılımının bir fonksiyonu olarak, patlayıcının patlatılması ile ortaya çıkan gaz basıncının kayanın içinde tutulabilmesi için patlayıcı şarjı üzerine yerleştirilen minimum uzunluktaki sıkılama boyu ile delik çapı arasındaki ilişkiyi belirlemiştir. Gerçekleşen (fili) delik basıncını ölçerek, teorik hesaplamalarla uygunluğunu belirlemiştir. Ateşleme alanında test için gerçekleştirilen, uygun sıkılama uzunlukları seçilerek yer sarsıntısı ve hava şoku seviyeleri azaltılabildiği vurgulanmıştır. Çalışmanın sonunda, uygun sıkılama materyali ve boyut dağılımı seçilmesi ile sıkılama uzunluğunu % 40'a kadar, hava şoku düzeyini % 98'e kadar ve yer sarsıntısı düzeyini ise % 36'ya kadar azaltabileceğini ortaya koymuştur.

Kecojevic ve Radomsky (2005), yer üstü madencilik çalışmalarında 1978–1998 yılları arasında gerçekleştirilen kaya patlatma çalışmalarında, kaya fırlaması ve patlatma yeri güvenlik eksikliği nedeni ile ortaya çıkan kazaları incelemiştir. Bu kazalardan 45 tanesinin ölümlü, 367 tanesi ise yaralanma ile sonuçlanan kazalar olduğunu belirlemiştir. Bu kazaların oluşmasının öncelikli nedenleri olarak; patlatma alanı güvenlik önlemi eksikliği, kaya fırlaması, erken patlatma ve yanlış ateşleme olarak sıralanmaktadır. 1978-1998 periyodunda, her yıl ortalama 2,14 kişi ölmüş, yaralanma sayısı ise her yıl ortalama 17,47 kişi olarak belirlenmiştir. Patlatma alanındaki güvenlik önlemi eksikliği ile kaya fırlaması nedenli kazalar 281 adet olup, toplam kaza sayısının % 68,2 sini oluşturmaktadır.

Verakis ve Lobb (2003), Amerikan yerüstü madencilik çalışmalarında 1978–2001 yılları arasında toplam 195 kaza gerçekleştiğini, bunlardan 89 kazanın doğrudan patlatma alanındaki gerekli güvenlik önlemlerinin alınmayışı, 54'ünün kaya fırlamasına, 33'ünün patlatmanın beklenenden erken yapılmasına, 11'inin yanlış ateşleme ve 8 tanesinin ise diğer nedenlerle ortaya çıktığı belirtmiştir.

Lindsey (1989), kaya patlatması yapılan bir yere yakın otoyoldaki köprü gibi yapıların güvenliği için ihtiyaç duyulan titreşim değeri seviyesini incelemiştir. Amerika'da

kullanılan titreşim limitleri, Amerikan Madencilik Bürosu'nun (USBM) tavsiye ettiği limitler olduğu tespit etmiştir. Bu çalışmada, esas alınan kriterlerden birincisi bağımsız 2,0 inç/saniye frekanslı maksimum parçacık hızı, ikincisi uzaklığa bağlı, maksimum parçacık hızı ve ölçekli mesafeyi esas alan limitler, üçüncüsü ise hem USBM ve hem de Amerikan Açık Ocak Madencilik Bürosu (OSMRE) tarafından tavsiye edilmiş alternatif patlatma kriterleridir. Bu çalışmada, yer sarsıntısının karakteristiği ve tahmini irdelenerek, karayolu köprüsüne ulaşan ve ölçümü alınan patlatma kaynaklı titreşimlerin seviyeleri ile USBM, OSMRE geliştirdiği yaklaşımların karşılaştırılmasına ilişkin bir model geliştirilmiştir.

Arpaz (2000), dört farklı açık işletmede değişik kaya birimlerinde patlatma kaynaklı yer sarsıntıları ve hava şoklarının ölçümlerini yapmıştır. Bu ölçüm sonuçlarını literatürdeki hasar kriterlerine göre değerlendirmiştir. Parçacık hızı tahmin yöntemlerine göre değerlendirdiği bu patlatmalarda en yüksek korelasyon katsayısına sahip maksimum parçacık hızı tahmini için ilişkiler belirlenmiştir. Ayrıca benzer çalışma hava şoku tahmini için de yapılmıştır.

Keser (2002) kaya patlatmaları sonucu kalıcı şevde meydana gelen hasarları önlemek amacıyla geliştirilen kontrollü özel patlatma teknikleri incelemiştir. Bu tekniklerle kullanım yerlerini tanıtarak, bir baraj projesinde yapılan kontrollü patlatmalardan alınan değerlere göre ortalama özgül şarj miktarını; baraj inşaatı için $0,352 \text{ kg/m}^3$ ve yol yapımı için $0,288 \text{ kg/m}^3$ olarak hesaplamıştır. Sonuçta, kullanım yerine bağlı olarak bazı değişiklikler yapıldıktan sonra, kontrollü patlatma yöntemleri kullanılarak birçok uygulama alanında başarılı sonuçların elde edilebildiğini vurgulamıştır.

Kahrıman ve arkadaşları (1996), gürültü değerleri ile şarj miktarı ve uzaklık arasında bir ilişkinin var olduğu düşüncesi ile 47 atıma ait değerleri aşamalı bir şekilde çoklu regresyona tabi tutmuşlardır. Bu analiz sonucunda; $N = 0,05603xW + 18012,6x(1/R)$ şeklinde bir ilişki belirlemiş ve bu ilişkinin korelasyon katsayısı ($r = 0,93$) olarak belirlemiştir. Bu eşitlikte; gürültü (N, dB), gecikme başına şarj miktarı (W, kg) ve mesafe (R, m) olarak ifade edilmiştir.

Kahrıman ve arkadaşları (2005) Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyetinde (KKTC) değişik taş ocaklarında kireçtaşı kaya biriminde patlatmalı kazı çalışmalarından kaynaklanan yer sarsıntısı ve hava şokunun çevresel etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmada toplam 6 atıma ait titreşim ölçümleri 3 ayrı sismograf ile yapılmıştır. Ölçülen titreşim değerlerinin yapılarda hasar riski oluşturup oluşturmadığı, Amerikan Madencilik Bürosu'nun (USBM) alternatif kriter analizi ve Alman DIN 4150 normuna göre değerlendirilmiştir. Ölçülen

maksimum parçacık hızı (PPV) ile ölçekli mesafe (SD) arasında regresyon analizi yapılarak, kontrollü patlatmalarda kullanılması için; $PPV = 166 \times SD^{-1,27}$ eşitliğini ortaya koymuşlardır. Yine bu çalışmada, kireçtaşı kaya birimlerinin sertliklerini belirlemek ve kazı zorluğu derecelerini ortaya koymak amacıyla, patlatmalı kazı faaliyetleri gözlemlerine ek olarak kaya sınıflama çekici (Schmidt Çekici) deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sertlik değerleri Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği (ISRM) tarafından önerilen Schmidt Çekici sertlik skalasına göre sınıflandırılmış ve sertlik tanımları yapılmıştır.

Ceylanoğlu ve arkadaşları (2007) kazı tasarımı üzerinden etkili olan parametreleri açıklayarak, kazılabilirlik ve riparlenebilirlik sınıflama sistemlerinde kullanılan parametreler ve parametrelerin kullanılış sıklıklarını ve ağırlıklarını incelemiştir. Mevcut sınıflama sistemlerini, değişik kaya birimlerinin kütle ve malzeme özellikleri dikkate alınarak değerlendirilmiş ve yeni bir sınıflama sistemini önermiştir.

Franklin ve arkadaşları (1971) karotlar üzerinde yaptıkları bir çalışmada geliştirdikleri kazılabilirlik sınıflamasında nokta yükü dayanımı ve çatlaklar arası uzaklık gibi iki temel parametreyi kullanmıştır. Ancak bu sistem kazı aracının tipini ve kapasitesini dikkate almadığı için, yalnızca kazılabilirlik sınıflamasına bir örnek olarak değerlendirilmektedir.

Kristen (1982) geliştirdiği kazılabilirlik sınıflamasında kaya kütle dayanımı, blok boyutu, zeminin yapısal durumu ve eklem dayanımının yer aldığı sekiz bölümlü bir sistem kullanmıştır. Ancak bu sistemde kullanılan parametrelerin bir kısmının kazı öncesinde tespit edilmesi pratikte mümkün olmaması nedeni ile sınıflandırmanın sığ derinliklerde yapılacak inşaat öncesi kazılara uygundur (Kristen, 1982; Ceylanoğlu, 2007). Kolleth (1990) kazılacak materyalin tek eksenli basınç dayanımı dikkate alınarak kazı makinelerinin uygulanabilirliklerini ortaya koymaya çalışmıştır.

Orman Genel Müdürlüğü 292 sayılı tebliğde, kazı alanlarındaki sert kayaların sökülmesinde ön çatlatma yöntemi ve kırıcılar kullanılacağı; kayaların patlatılmasıyla meydana gelen kaya fırlaması, yuvarlanma, heyelan, çarpma, kırma, yaralama gibi olumsuz çevre zararları en aza indirileceği belirtilmektedir. Ön çatlatmada kayaların sertlik derecelerine göre, deneme yöntemiyle delik aralıkları, derinlikleri ile dinamit miktarlarının belirleneceği bildirilmektedir (OGM, 2007). Ancak kaya sertliklerinin hangi kıstaslara göre nasıl sınıflandırılacağı, çevresel etkilerin en aza indirileceği kontrollü patlatmaların hangi koşullarda, kimler tarafından ve nasıl uygulanacağına belirtilmemiştir.

Orman yolu inşaatının çevresel etkilerinin değerlendirildiği çalışmaların çoğunda; orman yollarının doğayı tahrip ettiği, orman bitki örtüsü ve peyzajı üzerinde olumsuz etkilere sahip olduğu, akarsuları kirlettiği, yüzeysel sediment taşınımına neden olduğu ve gürültü kirliliğine neden olduğu gibi birçok olumsuz çevresel etkileri vurgulanmıştır. Ancak, orman yollarında kaya patlatma nedeni ile oluşan kaya fırlaması, yer sarsıntısı ve hava şoku gibi çevresel etkiler ile teknik ve çevresel açıdan nasıl bir kaya patlatma tekniğinin kullanılması gerektiği konusunda yapılmış hemen hiç çalışma yoktur. Bu çalışma ile orman yollarında patlatmalı kazı çalışmalarının çevresel etkileri ilk kez ele alınarak incelenmiştir. Bu bakımdan orman yollarında uygulanmakta olan kaya patlatma tekniğinin temel yetersizlikleri ve ortaya çıkardığı çevresel sorunlar konusunda diğer çalışmalara ilave olarak bu eksiklik giderilmiştir.

Bu araştırma, orman yollarındaki kaya patlatma tekniği ile çevresel etkilerinden kaya fırlaması, yer sarsıntısı ve hava şokunun incelenmesi olarak sınırlandırılmıştır. Bu amaçla orman yollarında uygulanmakta olan kaya kazısı ve patlatma tekniğinin ortaya konularak, çevresel açıdan eksikliklerinin belirlenmesi, oluşturduğu çevresel etkilerden kaya fırlaması ve buna neden olan değiştirilebilir parametrelerin belirlenerek kaya fırlamalarını en aza indirecek patlatma tasarımı ve modelin ortaya konulması amaçlanmıştır. Yine patlatmanın çevresel etkilerinden yer sarsıntısı ve hava şoku etkilerinin ölçümü ile bunların ulusal ve uluslararası mevzuat ve standartlarla karşılaştırılarak, hasar potansiyelleri belirlenmiştir.

1.2. Tezin Gerekçe ve Amacı

Orman yolları yapımında, tekniğine uygun yapılmayan ve çevresel kriterlerin dikkate alınmadığı patlatmalı kaya kazısı çalışmaları orman ağaçlarına doğrudan zarar verdiği gibi orman fauna ve florası ile diğer doğal kaynaklar üzerinde olumsuz kalıcı etkilere neden olmaktadır. Ormanların sürdürülebilirliği, ekolojik dengesinin bozulmaması ve orman peyzajının korunması için özellikle tarihi ve turistik değeri olan orman alanlarında gerçekleştirilecek orman yolu inşaatındaki kaya patlatma çalışmalarında çevreye duyarlı yöntem ve tekniklerin kullanılması gerekir. Bu nedenle birçok sektörde uygulanmakta olan çevreye duyarlı kontrollü patlatma tekniklerinin orman yolu yapımında da kullanılması gerekmektedir.

Patlatmalı kaya kazısının yapıldığı orman yollarında ortaya çıkan başlıca çevresel problemler; kaya fırlamaları, yer sarsıntısı (titreşim), hava şoku veya gürültü, zehirli gaz ve toz oluşumu gibi olumsuz çevresel etkilerdir. Kaya patlama nedeni ile ortaya çıkan bu sorunlar, patlatmalı kazı çalışmalarının yürütüldüğü orman yolu inşaat alanlarının yakınında yer alan köprü, menfez ve diğer yapılar üzerinde de hasarlara neden olabilmektedir. Yine çevrede yaşayan orman köylüleri ile anlaşmazlıkların kaynağı olmaktadır. Kaya patlatma nedeni ile çevrede yaşayan yaban hayvanlarının yaşam alanlarını terk etmesine kadar giden sorunların kaynağı olabilmektedir. Yine patlatma sonucu oluşan toz bitki yaprakları üzerinde yoğunlaşmakta ve uzun süre burada kalması durumunda ise bitkinin gelişmesi ve biyolojik artımını olumsuz yönde etkileyebilmektedir.

Kaya fırlaması, orman yolu yapım alanında bulunan köprü, sanat yapısı ve diğer yapılar üzerinde etkili olabildiği gibi, dikili ağaçlar ve fidanlar üzerinde kırma, yaralama, soyma gibi doğrudan zararlar oluşturmaktadır. Bununla birlikte, yamaç aşağısına yuvarlanan kayaların kapattığı verimli orman toprakları atıl alanlar haline gelmektedir. Kaya fırlamaları, civarda yaşayan yaban hayvanlarının yaralanmalarına veya ölmelerine, içme suyu kaynakları gibi doğal kaynakların kirlenmelerine neden olabilmektedir.

Orman yolu inşaatında patlayıcı madde kullanılarak kayanın patlatılması sonucunda ormanda meydana gelen pek çok çevresel bozulmalar doğrudan kaya fırlamasının bir sonucudur. Bu nedenle yol geçkilerinde ortaya çıkan kaya patlatma faaliyetlerinin bu tür olumsuz etkilerini en aza indirecek ve kazı çalışmalarını aksatmayacak, çevresel açıdan uygun kontrollü bir patlatma modelinin ortaya konulması gerekmektedir. Bu amaçla, öncelikle patlatma sonucu oluşan kaya fırlaması, yer sarsıntısı ve hava şoku gibi çevresel etkilerin hangi boyutta olduğu belirlenerek bunların uluslararası kabul görmüş kriterlere göre değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bu doktora tezi çalışmasının konusu; dağlık ve kayalık arazide yayılış gösteren ormanlarda inşa edilen orman yollarında patlatma tabanlı kazı çalışmaları ve ortaya çıkardığı çevresel problemlerdir. Bu amaçla dağlık ve kayalık araziye sahip Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisinde yapılmakta olan orman yollarındaki patlatmalı kazı çalışmaları incelenmiştir.

Bu doktora tezi çalışmasında temel amaçlar;

- 1- Orman yollarında uygulanmakta olan kaya patlatma yönteminin teknik ve çevresel açıdan ortaya konulması, çevresel zararlara neden olan faktörlerin belirlenmesi,

- 2- Kaya patlatma tabanlı çevresel problemlerin minimize edilmesi için; çevresel zararlara neden olan teknik yetersizliklerin belirlenip, mevcut kaya patlatma tekniğinin eksikliklerini giderecek patlatma tasarımların ortaya konulması,
- 3- Kaya fırlamasına neden olan parametrelere göre patlatma tasarımı ve incelenen çalışma alanlarına benzer koşullar için kaya fırlamaları azaltacak modelin oluşturulması,
- 4- Kaya patlatmanın çevresel etkilerinden; yer sarsıntısı ve hava şoku değerlerinin titreşim ölçerle titreşim hızı, frekansı ve genliklerinin ölçülmesi ile bunların ulusal ve uluslararası standartlarla karşılaştırılarak hasar normları içindeki yerlerinin belirlenmesi ve hasar olasılığının ortaya konulması,
- 5- Patlayıcı maddelerle kazısı yapılan kaya türlerinin dayanım ve sertliklerinin belirlenerek, bu kaya türlerinin kazılabilirlik ölçütleri ve patlatmalı kazı çalışmaları açısından değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

2. GENEL BİLGİ VE KAVRAMLAR

Ülkemizin tüm ormanlık alanları için toplam yol ihtiyacının % 77'si olan 157 000 km orman yolu inşa edilmiştir. Bu miktara her yıl 1 000 km yeni yol ilave edileceği ve standardı düşük yollarda 1.000 km de büyük onarımın yapılacağı belirtilmektedir. Ülkemiz 2006 yılı verilerine göre; 1 km yeni orman yolunun ortalama maliyeti 12 bin YTL iken, bu maliyet Doğu Karadeniz Bölgesi ormanlarında 22,3 bin YTL olmuştur (OGM, 2006; Çağlar ve Türk, 2008). Bölge ormanlarının yüksek eğimli, dağlık ve kayalık arazide yayılış göstermekte ve kaya kazısının yoğun olarak yapılmakta olması inşaat maliyetlerini artırmaktadır. Bu nedenle bölgede yapılmakta olan kaya kazısının teknik, ekonomik ve çevresel açıdan en uygun şekilde yapılması gerekmektedir.

2.1. Orman Yolu Tipleri ve Orman Yolu İnşaatı

2.1.1. Orman Yolu Tip ve Standartları

Orman yolları yapıldığı yere göre vadi yolları, yamaç yolu ve sırt yolu diye üç gruba ayrılmaktadırlar (Erdaş, 1997; Acar, 2005). Dağlık arazide vadi tabanlarından geçen vadi yollarından ayrılarak devam eden yamaç yolları ve sırt yolları da söz konusudur. Ormanların iç kısımlarına ulaşım genellikle yamaç yolları ile sağlanır ve yamaç yolları genellikle geçtikleri yamaçların üst kısımlarında kalan ormanlık alanları işletmeye açarlar. Sırt yolları ise sırt ve sırtlara yakın yerlerde özellikle dağlık alanlardaki yerleşim birimlerinin birbirine bağlanması amacıyla planlanan yollardır. Su ayırma çizgilerine yakın olmaları nedeniyle sağlam ve kuru yollardır (Erdaş, 1997; Gümüş, 2003).

Orman yolları, bir yılda üzerinden taşınacak ürün miktarları, yapılış amaçları, trafik yoğunluğu, seyir halindeki araçların büyüklüğü ve ağırlıkları dikkate alınarak; ana orman yolları, tali orman yolları (A tipi ve B tipi) ve traktör yolları olarak üç ana gruba ayrılmıştır. Bu yolların geometrik standartları Tablo 1'de verilmiştir (OGM, 2007).

2.1.1.1. Ana Orman Yolu

Trafiğe uygun platform genişliği 7 m ve hendek genişliği 1m olup toplam genişliği 8 m olan ana dereleri takip eden yollardır. Bu genişlikte yol yapılabilmesi için yol üzerinde bir yılda taşınacak odun hammaddesi miktarının 50 000 m³'ten fazla olması gerekmektedir. Bu tip yollarda standart trafik işaretleri konulması zorunludur (OGM, 2007).

Tablo 1. Orman yol tipleri ve geometrik standartları (OGM, 2007).

Yolun tipi	Ana orman yolu	Tali orman yolu				Traktör yolu
		A - tipi	B - tipi			
			SBT	NBT	EBT	
Platform genişliği (m)	7	6	5	4	3	3,5
Şerit sayısı (Adet)	2	1	1	1	1	1
Azami eğim (%)	8	10	9	12	12	20
Asgari karp yarıçapı	50	35	20	12	8	8
Şerit genişliği (m)	3	3	3	3	3	3
Banket genişliği (m)	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	
Hendek genişliği (m)	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	
Üst yapı genişliği (m)	6	5	4	3	3	
Köprü genişliği (m)	7+(2x0,6)	6+(2x0,6)	5+(2x0,6)	4+(2x0,6)		

SBT: Standartları yükseltilmiş B tipi, NBT: Normal B tipi, EBT: Ekstrem B-Tipi tali orman yolu

2.1.1.2. Tali Orman Yolları

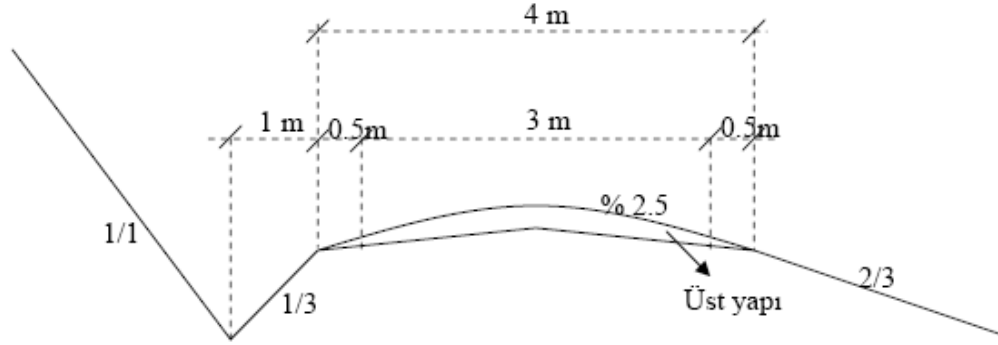
2.1.1.2.1. A-Tipi Tali Orman Yolu

Trafiğe uygun platform genişliği 6 m ve hendek genişliği 1m olup toplam genişliği 7 m olan ana dere yollarıdır. Bu genişlikte yol yapılabilmesi için o yol üzerinde bir yılda taşınacak emval miktarının 25 000 – 50 000 m³ arasında olması gerekmektedir (OGM, 2007).

2.1.1.2.2. B-Tipi Tali Orman Yolu

Trafiğe uygun platform genişliği 4–5 m ve hendek genişliği 1 m olup toplam genişliği 5 – 6 m olan dere ve yamaç yollarıdır (Şekil 2). Bu yollar üzerinde bir yılda

taşınacak emval miktarı 25 000 m³'ten azdır. Yamaç eğimi % 75'in üzerinde olan bir arazide, uzun mesafede masif ve sert kaya olması halinde yol platformu 3 m, hendek 0,50 m olmak üzere B tipi tali orman yolu 3,5 m genişliğinde olabilen yollardır (OGM, 2007).



Şekil 2. B tipi tali orman yolu en kesiti (OGM, 1984; Gümüş, 2003)

Yukarıda genel tanımlaması yapılan ve ormanların çok büyük bir bölümüne ulaşımı sağlayan B-tipi tali orman yolları; arazinin topografik yapısı, ormancılık faaliyetlerinin yoğunluğu ve önceliği, iş merkezleri, trafik yoğunluğu gibi etkenler dikkate alınarak üç alt gruba ayrılmıştır.

1. Standartları Yükseltmiş B-Tipi Tali Orman Yolları (SBT): Bu yollar, İşletme Şefliği ormanlarının merkezine ulaşan veya ormanlarla birlikte grup köylerin ulaşımını sağlayan, treylerlerin ağır iş makinelerini manevrasız taşıyabileceği, platform genişliği 5 m, hendek genişliği 1 m, azami eğimi % 9, asgari kurp yarıçapı 20 m ve laseleri uygun, asgari 20 - 30 m görüş mesafesi olan, sanat yapısı ve üst yapı yapılması öncelikli yollardır (OGM, 2007).

2. Normal B-Tipi Tali Orman Yolları (NBT): Platform genişliği 4 m, hendek genişliği 1 m, azami eğimi genelde % 9, ender olarak % 12, kurp ve lase asgari yarıçapı 12 m olan ve ormanların geneline ulaşımı sağlayan yollardır. Bu yollar normal topografik yapı ve arazi şartlarında uygulanır (OGM, 2007).

3. Ekstrem B-Tipi Tali Orman Yolları (EBT): Bu yollar, çok zor arazi şartlarının bulunduğu veya orman zonundan dağ zonuna yaklaşıldığında ucu kör yollar ile çok dik yamaçlar ve som kayalıkların bulunduğu alanlarda kısa mesafelerde uygulanabilecek yollardır. Platform genişliği 3 m, hendek genişliği 0,50 m, azami eğimi kısa mesafelerde %

12 olabilen yollardır. Bu yollarda karşılaşma yerleri ve yol sonunda dönüş yerleri yapılır, uygun görülen yerlere trafik işaretleri konulur (OGM, 2007).

2.1.1.3. Traktör Yolu

Herhangi bir orman nakliyat taşıtları ile veya normal eğimli orman yolları ile ulaşılamayan ve yoğun üretim yapılan çok zor arazi şartlarındaki alanlarda biriken orman ürünlerinin tam kapasite ile taşımaya uygun yol veya rampaya kadar kısa mesafeli taşınması amacıyla yapılan standartları düşük yollardır (OGM, 2007).

2.1.2. Orman Yollarının Planlanması ve İnşaatı

Uygulamada bir orman yol ağı planı ve aplikasyonunda 292 sayılı Orman Yol Ağı Planlarının Düzenlenmesine dair tebliğ ve buna ek düzenlemeler esas alınmaktadır. Buna göre, bütün bir dere sistemini içine alan su toplama havzası veya işletme şefliği sınırları dâhilinde kalan alan bir plan ünitesi olarak belirtilmektedir. Düzenlenen plan ünitelerinin birleştirilmesi ve koordinesiyle havza veya şeflik bazında “Orman Yol Ağı Planı” meydana getirilmektedir.

Orman yolları da diğer karayolu çalışmalarında olduğu gibi temel olarak üç aşamada yapılmaktadır. Bu aşamalardan birincisi uygun yöntem ve tekniklerle orman yollarının planlanması, ikincisi plan ve projeleri hazırlanan yolların aplikasyonu ile alt yapı çalışmalarından kazı ve dolgu işleri ile sanat yapılarının tamamlanması, son aşamada üst yapısının seçilerek boyutlandırılıp uygulanması ile son bulmaktadır (OGM, 2007).

Orman yolları genel olarak ihale yöntemi ile müteahhitlere yaptırılmaktadır. Bunun için öncelikle arazi çalışmaları ile yolun geçirileceği sıfır hattı orman idaresi tarafından araziye işaretlenmektedir. Arazi çalışmaları ile geçki yerlerinde yapılacak; toprak, küskülük ve kaya hafriyatı ve miktarı geçki yeri incelemeleri ile önceden keşifle belirlenerek ihale ilanı yapılmaktadır.

İhale sırasında yeterli belgesi olan ve en düşük fiyat teklifinde bulunan müteahhit firma orman yolu yapımını üstlenmektedir. Orman yolu inşaatını yüklenen müteahhit firmayla gerekli sözleşmeler yapılarak, yolun yapılacağı güzergâh gezdirilmekte ve inşaat alanı teslim edilmektedir. Orman yolu yapımına, inşaat alanı yakınında kurulan personelin

konaklayacağı yerler ile araç ve gereçlerinin konulacağı yerlerin bulunduğu bir şantiyenin kurulması başlanır.

Şantiyenin kurulmasından sonra orman yolu alt yapı çalışmalarına başlanmaktadır. Orman yolları yapımında altyapı çalışmaları; yapı alanının temizlenmesi yani ağaçların kesilmesi ve dip kütüklerin çıkarılması, gerekli olan yerlerde patlayıcı maddeler ile kayaların parçalanması, değişik kazı metotları ile yol platformunun oluşturulması için toprak düzlemesi, kazı ve dolgu şevlerinin düzenlenmesi işlerinden oluşmaktadır (Erdaş, 1997; Eroğlu, 2003; Çağlar vd., 2006).

Genel olarak bu çalışmada incelenen, orman yolu yapım tekniği aşağıdaki üç ana başlık altında toplanmaktadır. Bunlar;

- 1- Geçki yerlerindeki kesilmiş ağaç gövdelerinin uzaklaştırılması; hidrolik ekskavatörle orman yolu inşaatı sürdürülürken yol güzergâhının açılması, ağaçların kesilmesi ve inşaat alanından çıkarılması genellikle aynı anda yapılmaktadır. Bu durum genellikle yol inşaatı başlamadan önce kesilip alandan uzaklaştırılması gereken ağaçların zamanında kesilmemiş olduğu şartlarda ortaya çıkmaktadır.
- 2- Üst toprak tabakasının inşaat alanından uzaklaştırılması; yol yapımı gerçekleştirilen alanların hiç birinde humusça zengin bitkisel toprağın korunması veya bir yerde depolanması için herhangi bir taşıma yapılmamaktadır. Ekskavatör kovası ile kazılan organik ve kazılabilir nitelikteki bu materyal yamaç aşağısına atılarak kazı işleri sürdürülmektedir.

Kazılan materyalin kontrolsüz bir şekilde yamaç aşağısına atılması, ekskavatörün kullanılmasının çevresel açıdan avantajını ortadan kaldırılmaktadır. Yine yamaç aşağı atılan bu bitkisel toprağın üzerine taşlı ve kayalı materyal dökülerek hem meşcere zararlarına, hem de orman alanının kayalarla kaplanması ile verimli orman toprağı kaybına neden olmaktadır. Oysa ekskavatör kullanılarak yamaç aşağısında dolgu şevinin tesisi için temel kazılması mümkündür. Gerek patlayıcı maddelerle gevşetilerek parçalanan gerekse hidrolik ekskavatörün kırıcısı ile kırılan kaya blokları dolgu şevine kontrollü bir şekilde yerleştirilerek bir kuru taş duvar şeklinde tesis edilebilmektedir.

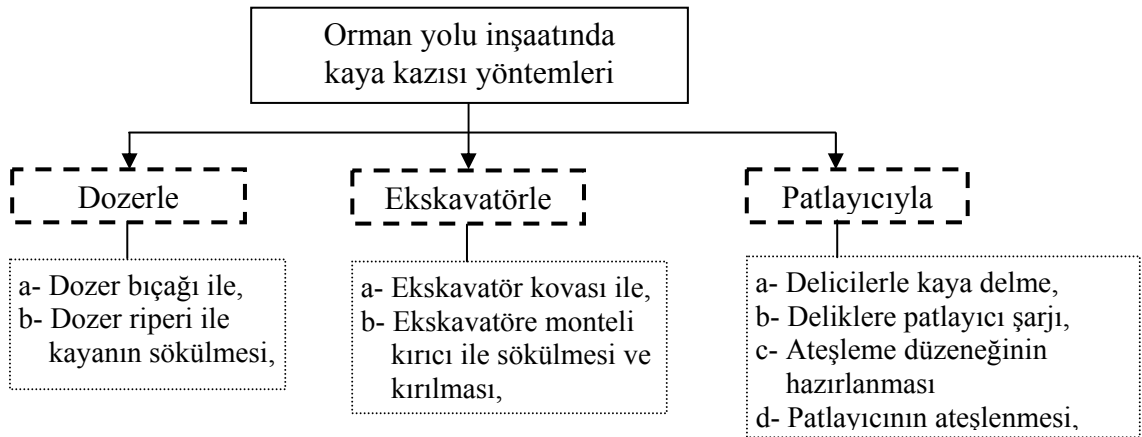
- 3- Patlayıcı maddeler ile kayaların parçalanması; yol güzergahında yapılan kazı çalışmaları sonucu ortaya çıkan büyük kaya partilerini parçalamak için patlayıcı maddeler kullanılmaktadır. Bunun için öncelikle patlatılacak kayada portatif pnömatik kompresörlerle patlatma (lağım) delikleri açılmakta, açılan bu deliklere patlayıcı şarjı yapılmakta ve patlayıcı ateşlenerek kaya blokları parçalanmaktadır.

2.1.3. Orman Yolu Yapımında Kaya Kazısı İşleri

Uygulamada orman yolu yapımı sırasında yol geçkisine rastlayan kazılabilir nitelikteki toprak veya küskülük zeminler yol yapım makineleri ile kazılabilirken, blok halindeki büyük kaya partilerinin geçilmesinin zorunlu olduğu yerlerde patlayıcı madde kullanımı söz konusu olmaktadır.

Orman yolu inşaat alanında ortaya çıkan kazılabilir veya sökülebilir nitelikteki ayrılmış kaya partileri; ya dozer bıçağı veya riperi ile ya da hidrolik ekskavatör kovası ile kazılmakta veya kırıcısı ile kırılmaktadır. Ancak dozer veya ekskavatörle ekonomik olarak sökülüp kazılması mümkün olmadığı koşullarda, sert veya çok sert olarak adlandırılan kaya partileri patlayıcı maddelerle gevşetilerek kazısının yapılması yoluna gidilmektedir (Şekil 3). Orman yolu yapımında kaya patlatmanın uygulama şeklindeki iş akışı;

- 1- Patlatılacak kayanın pnömomatik (havalı) kompresörle delinmesi,
- 2- Açılan deliklere patlayıcının şarj edilmesi,
- 3- Ateşleme düzeneğinin hazırlanması ve kabloların bağlanması,
- 4- Gerekli güvenlik önlemlerinin alınması ve kontrollerin yapılması,
- 5- Patlayıcının manyeto ile güvenli bir uzaklıktan ateşlenmesi,
- 6- Parçalanan kayaların dozer veya ekskavatör tarafından tesviyesinin yapılması şeklinde gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3. Uygulamada orman yollarında kaya kazısı ve iş akışı

Parçalanmış kaya parçalarının dozer, ekskavatör veya yükleyici gibi araçlar kullanılarak inşaat alanı dışına sürüklenmesi ya da kamyonlara taşınması gerekmektedir. Yine bu kayaların amaca uygun olarak kullanılabilmesi ve istenilen boyutta parçalanmasını sağlamak, kullanılacak patlayıcı madde ve patlatma tasarımının iyi yapılması ile mümkün olmaktadır.

2.2. Patlayıcı Maddelerle Kaya Patlatma

2.2.1. Patlatmanın Gereksinimi

Patlayıcı madde kullanılarak kaya patlatmadaki temel amaç, patlayıcının ateşlenmesi ile ortaya çıkan gaz basıncı enerjisinin kayaya iletilerek parçalanmasını ve kayanın ötelenmesini sağlamaktır. İnşaat ve kazı çalışmalarının yapıldığı birçok sektörde makineli kazı çalışmalarının ekonomik olmadığı sert kaya ortamlarında zeminin gevşetilmesi amacıyla kaya patlatma çalışmaları yapılmaktadır. Ancak patlatma ile oluşan enerjinin bir kısmı kayayı kırma ve ötelenmesinde kullanılırken bir kısmı da gürültü veya sismik dalgaları oluşturan enerji şeklinde ortaya çıkmaktadır.

Bir kaya birimi için kazılabilirlik, kayaçların buldukları yerden kazı makineleri ile ne ölçüde koparılabildiklerinin göreceli ifadesidir. Kazılabilirliği sayısal büyüklüklerle ifade edebilmek için o kaya türünde yeterli sayıda kazılabilirlik tespiti testlerini yapmak gerekir. Ripperleme ise dozerlerin arkalarına takılan ripperlerin değişik açılarda batırılması ve ilerletilmesi ile kayaçların sökülerek parçalanması olarak tanımlanmaktadır. Ripperlenebilirlik ise; kayaçların ripperli dozer ile ne ölçüde sökülerek parçalanabileceğinin göreceli ifadesidir (Ceylanoğlu vd., 2007).

Teknik, ekonomik ve emniyet açısından iyi ve güvenilir bir kazı tasarımı üzerinde aşağıdaki parametreler etkilidir. Bunlar;

- 1- Kaya birimlerinin kütle ve malzeme özellikleri; kaya türü, yapısı, ayrışma derecesi, sismik (P-dalga) hızı, basınç çekme ve darbe dayanımı, sertliği vb.
- 2- Kazı makinesi ve operatör özellikleri; makine gücü, enerji tüketimi, kepçe kapasitesi, operatör tecrübesi,
- 3- Kazı geometrisi; basamak yüksekliği, genişliği, kazı derinliği, kazı yönü olmak üzere üç temel başlık altında toplanabilmektedir (Ceylanoğlu vd., 2007).

Kazı işlemi için patlatmanın gerekli olup olmadığı konusundaki belirleyici unsurlar bakımından, orman yollarında mekanik olarak dozer veya hidrolik ekskavatör gibi kazıcı ekipmanlarla kazılamayacak derecede sert olan veya ön gevşetme gerektiren kaya bloklarının yol geçki yerlerinden uzaklaştırılmasında patlayıcı madde kullanımı zorunlu olmaktadır.

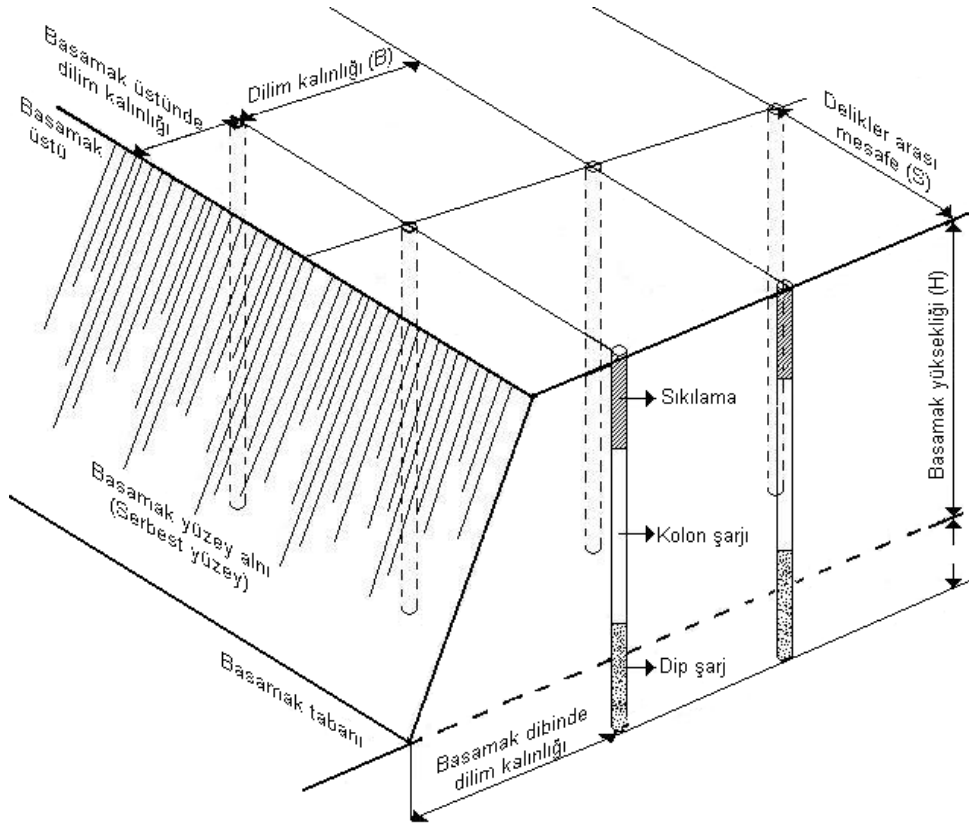
Orman yollarında patlayıcı maddelerle kayaların yerinde çatlatılıp hidrolik ekskavatör kırıcısı veya dozer riperi ile sökülebilecek boyutlarda olması istenmekte, patlatma sonrasında yer sarsıntısı, hava şoku ve gürültü değerlerinin izin verilen sınırlarda kalması ve herhangi bir kaya (taş) savrulmasının olmaması arzu edilmektedir. Bu nedenle her bir atım yeri ve kayaya ait çevresel ve yersel koşullar incelenerek patlatma tasarımının yapılması gerekir.

Kaya patlatma sırasında, hem yol işçileri hem de yol inşaat alanı çevresindeki meskûn yerlerde yaşayanları, doğal kaynakları, orman ekosistemini ve orman yaban hayatını dikkate alınarak bunlara zarar vermeyecek bir patlatma tasarımı ortaya konulmalı, araziye ait yersel özelliklerinin de uygun olduğu durumlarda uygulanması gerekmektedir.

2.2.2. Patlatmalı Kazıda Temel Bilgi ve Kavramlar

Kaya kazısı çalışmalarında, kazı sırasında oluşturulan farklı kotlardaki her kademeye basamak, bu basamaklarda yapılan atımlara da basamak patlatması denilmektedir. Her bir basamağın en üst ve en alt yükseklik farkları basamak yüksekliğini belirtmektedir (Şekil 4). Her basamakta, basamağı oluşturan kayanın yerinden sökülmesine imkân veren şev *serbest yüzey* olarak tanımlanmaktadır (Erçikdi, 2004-b).

Genel olarak orman yollarının inşasında patlatılan kayalar, ya yüzeyde yer almakta ya da yol yapım makineleriyle bitkisel toprağın ve küskülük materyalin alınmasından sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle oluşturulmak istenen yol platformu veya şevdeki konuma göre, kayanın patlatılmak istenen bölümünde patlatma delikleri açılarak patlatılmaktadır. Ancak bu kayalar düzensiz şekillerde olduğundan bir basamak özelliği göstermemektedir. Bununla birlikte, basamak patlatmalarında kullanılan delik düzeni ve geometrisine ilişkin basamak terimleri Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Kaya patlatmada kullanılan basamak terimleri (Kesimal, 2004).

Bir atımın basamak patlatması olarak adlandırılabilmesi için dilim kalınlığı (B) en fazla bir basamak yüksekliğinin (H) yarısına ($B \leq H/2$) eşit olmalıdır (Gustaffson, 1973; Erçikdi, 2004-b; Langefors ve Khilstrom, 1978). Bu bakımdan orman yollarında gerçekleştirilen kaya patlatmalarının çoğu tam bir basamak patlatması olarak değerlendirilmemektedir. Ancak basamak patlatmasında kullanılan terimlerin bu tür patlatmalarda benzeştirme yapılarak kullanılması kavram birliğinin olması açısından uygun görülmüştür.

Serbest yüzey ile birinci sıra delikler veya delik sıraları arasında ki uzaklığa *dilim kalınlığı* (B) adı verilmektedir. Dilim kalınlığı diğer tüm tasarım parametreleri üzerinde etkilidir. Aynı zamanda; delikler arası mesafe, sıkılama boyu, delik taban payı, gecikme aralığı, dip şarj boyu, kolon şarj boyu dilim kalınlığının bir fonksiyonudur. Hem atımın ekonomisi yönünden hem de fırlayan kaya, yer sarsıntısı gibi çevre emniyetini etkilemesi bakımından kritik bir tasarım unsuru özelliğindedir (Kesimal, 2004).

Maksimum dilim kalınlığı; $B_{maks} = 1,36 \times R_1 \times (I_b)^{0,5}$ eşitliğinden yararlanılarak hesaplanmaktadır. Burada R_1 ; delik eğimi düzeltme faktörü olup delikler dik olduğunda 0,95 değeri alınır. Eşitlikteki I_b ; şarj yoğunluğu (kg/m) olup $I_b = 7,854 \times 10^{-4} \times d^2 \times p$

eşitliğinden hesaplanır. Bu eşitlikte d ; delik çapı (mm) ve p ; patlayıcı madde yoğunluğunu (ton/m^3) ifade etmektedir. Pratikte uygulanacak dilim kalınlığı; $B = B_{\text{maks}} - E$ eşitliği ile belirlenir. Burada E ; delik hata payı olup $E = [(d/1000) + (0,03 \times H)]$ eşitliği ile belirlenir. Burada, d ; delik çapı (mm), H ; delik boyunu (m) ifade etmektedir (Kesimal, 2004). Maksimum dilim kalınlığının belirlenmesinde, deliklere şarj edilen ana patlayıcı yoğunluğu ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Bu nedenle jelatinit dinamit gibi yüksek yoğunlukla patlayıcılar kullanıldığında dilim kalınlığı daha yüksek hesaplanmaktadır.

Uygun seçilen bir dilim kalınlığıyla yapılan patlatma tasarımında, patlatma gaz basıncından oluşan dışarı doğru etkiyen kuvvet, dilimdeki kayayı parçalayarak öteler ve iyi patlatılmış bir yığın meydana getirir. Çok küçük seçilen dilim kalınlığı, radyal çatlakların serbest yüzeye kadar ulaşmasına, dolayısıyla da, verim kaybıyla birlikte patlatma gazlarının kaçmasına ve fırlayan kaya ve hava şoku sorunlarına yol açar. Çok büyük dilim kalınlığı, patlatmanın boğulmasına, çok kötü parçalanmaya, patlatmanın genel verimin düşmesine yol açar. Dilim kalınlığı ve delikler arası mesafe sadece delik düzenine bağlı değildir, aynı zamanda ateşleme sırasına da bağlıdır (Paşamehmetoğlu vd., 1991).

Aynı sıradaki deliklerin birbirinden olan uzaklıkları *delikler arası mesafe* olarak bilinir. Patlama tasarımının yapılmasında, delikler arası mesafenin (S) dilim kalınlığının (B) bir fonksiyonudur. Delikler arası mesafe $S = 1,25 \times B$ eşitliği ile hesaplanmaktadır. Delikler arası mesafenin dilim kalınlığına oranı 1'den küçük olursa; sıkılama malzemesinin erken boşalması nedeni ile delikler arasında çok erken çatlaklar oluşacaktır. Bunun sonucunda gaz kaçıışının hızlanması, hava şoku, gürültü ve iri blok oluşumu gibi sorunlar ortaya çıkacaktır. Bu oran 1'den çok büyük olursa uygun olmayan parçalanma veya hiç parçalanmama gibi iri bloklar oluşacaktır. Delik düzenlerinden; kare düzende dilim kalınlığının delikler arası mesafeye oranı ($S/B = 1/1$) olup, şeşbeş düzende 1/1,5 ve İsveç düzeninde bu oran 1/4 olarak uygulanmaktadır (Kesimal, 2004).

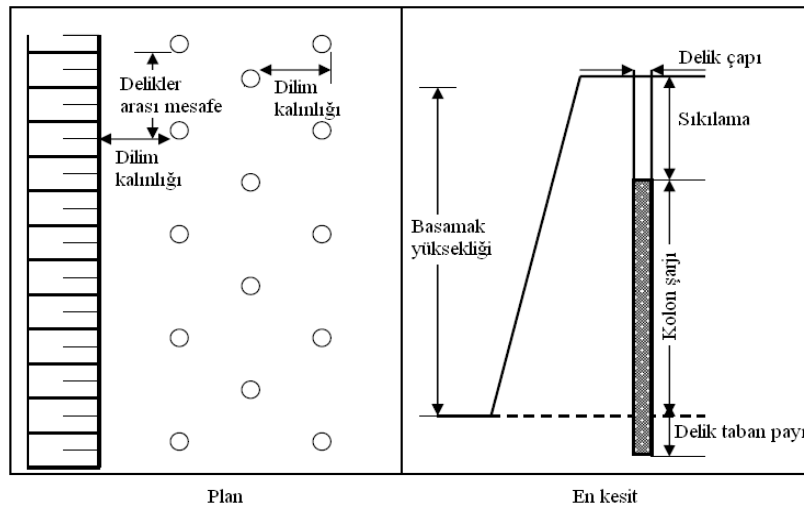
Delik taban payı; kayanın dayanımına ve yapısal durumuna bağlı olarak, delik tabanından itibaren kayanın kırılması yatayla $15^\circ - 25^\circ$ açı yapacak şekilde ters bir koni oluşturacak şekilde yayılır. Bu şekilde ortaya çıkan kırılma konileri birbiri ile birleşerek patlatılamayan kaya kalmaktadır. Bunun önüne geçilebilmesi ve patlatılan kayanın istenilen seviyeye kadar kırılabilmesi için delik taban payı uygulanır. Delik taban payı, delikler arası uzaklığın 0,2–0,3 katı seçilmesi önerilmektedir (Paşamehmetoğlu vd., 1991).

Delik boyları basamak tabanının düzgün ve tırnaksız olmasını sağlamak için basamak yüksekliğinden bir miktar fazla delinmekte ve *delik taban payı* olarak

adlandırılmaktadır. Her bir deliğin dip kısmına konulan patlayıcı madde *dip şarj*, bunun üzerinde bulunan patlayıcı şarjına ise *kolon şarjı* denilir (Erçıkı, 2004-b).

Deliğin ağız tarafına içerisindeki patlayıcının üzerinin kapatılarak sıkılaştırılmasına *sıkılama* denilmektedir. Böylece hem patlayıcının yoğunluğu artırılmakta, hem de patlatma sırasında enerjinin kaçması önlenerek kayaç içine işleme sağlanmaktadır. Deliği tamamen dolduracak şekilde konulan ve sıkılama malzemesi olarak delme sırasında elde edilen kırıntılar, bazen kum bazen de kumlu toprak kullanılmaktadır. Uygun parçalanma derecesinde bir yığın elde etmede, hava şoku ve kaya fırlaması gibi çevresel etkilerin en aza indirilmesinde sıkılama boyu ve sıkılama malzemesinin cinsi önemli olmaktadır. Pratikte sıkılama boyu, delik boyunun 1/3'ü olarak uygulanmaktadır. (Kesimal, 2004; Kesimal, 2005). Sıkılamanın çok kısa olması, patlatma ile ortaya çıkan gazların kaçmasına, fırlayan kaya ve hava şoku sorunları oluşarak patlatma veriminin düşmesine yol açar. Çok uzun sıkılama ise kolon şarjı üzerindeki kayanın zayıf parçalanmasına neden olur (Paşamehmetoğlu vd., 1991).

Patlatma tasarımlarında değiştirilebilir parametreleri; delikler arası mesafe, dilim kalınlığı, basamak yüksekliği, kayada delinen delik çapı ve boyu, açılan deliklerin patlayıcı maddeyle şarjında kullanılan sıkılama boyu, kolon şarjı ve delik taban payı olarak bilinmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Kaya delme ve patlatmada kullanılan terimler (Akail, 2004).

Değişik kaya ve jeolojik ortamlarda farklı şekillerde ortaya çıkabilen patlatma nedenli çevresel etkilerin en aza indirilmesi için uygun patlatma tasarımlarının yapılması

gerekir. Patlatma tasarımının yapılmasında, delik düzeni veya delik geometrisi, delikler arası mesafe, dilim kalınlığı, deliklerin derinliği, delik taban payı, gecikme başına kullanılan patlayıcı miktarı, sıkılama boyu ve benzeri gibi patlatmanın değiştirilebilir parametrelerinin belirlenmesine ihtiyaç vardır.

2.2.3. Patlatma Tasarım Parametreleri

Patlatma tabanlı kaya kazısı çalışmalarında teknik ve ekonomik açıdan verimli, çevresel sorunlar açısından da yeterince güvenli bir patlatma tasarımının gerçekleştirilmesi gerekir. Orman yolu inşaatlarında iyi ve güvenilir bir patlatmadan beklenen, ekonomik açıdan dozer veya ekskavatör gibi kazı makinelerinin verimliliğini artırması, çevresel açıdan ise herhangi bir zarara neden olmamasıdır. Bu nedenle, yol inşaatı alanı dışına fırlamadan gevşetilmiş kaya yığınının uygun boyutta ve kazı makineleriyle yüklenmesine veya tesviyesine olanak sağlaması, çevresel açıdan da yer sarsıntısı, hava şoku ve fırlayan kaya gibi çevresel sorunları en aza çekilmiş kaya patlatmanın gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Teknik, ekonomik ve çevresel açıdan güvenli bir patlatma tasarımı üzerinde etkili olan pek çok parametre bulunmaktadır. Bu parametreler;

1- Kaya birimlerinin malzeme ve kütle özellikleri; yoğunluk, basınç, çekme ve darbe dayanımları, sismik dalga hızı, süreksizlik durumu ve kütleli olarak sağlamlık derecesi, su durumu, elastik modülü, poisson oranı, kaya homojenliği ve sertliği gibi parametrelerdir.

2- Patlayıcı maddenin cinsi ve özellikleri ile dağılımı; patlayıcı yoğunluğu, patlama hızı, gücü, suya ve dona dayanımı, gaz özellikleri, depolama şekli ve süresi gibi parametrelerdir.

3- Patlatma geometrisi; delik çapı ve boyu, delik düzeni, dilim kalınlığı ve delikler arası mesafe, basamak aynasının şekli, yüksekliği ve eğimi, sıkılama boyu, delik taban payı, patlayıcı şarj şekli ve delik içi dağılımı, yemleme ve ateşleme şekli ile düzeni, uygulanan gecikme tipi ve süresi gibi parametreler olarak özetlemek mümkündür (Olofsson, 1988; Konya ve Walter, 1990; Singh, 1993; Erçıkı, 2004-b).

Bu parametrelerden yemleme, asıl patlayıcıyı tepkimeye sokacak ateşleyicinin yerleştirilmesi anlamında kullanılmaktadır. Amonyum Nitrat Fuel Oil (ANFO) ile yemlemede kapsülle ateşlenecek dinamit lokumları kullanılmaktadır (Kesimal, 2004). İyi

bir ateşleme için yemleme çapının yaklaşık şarj çapına eşit olması ve yemleme boyunun şarj çapının 2 ile 4 katı arasında olması önerilmektedir (Kesimal, 2004; Olofsson, 1998).

Gecikme zamanı; güvenilir ve istenilen parçalanmaya cevap veren bir atımın gerçekleştirilmesi için, gerek aynı sıradaki gerekse delik sıraları arasında uygun bir gecikme süresi belirlenmelidir. Gecikmeli ateşlemenin amacı, her sıra için fazladan serbest yüzey oluşturmaktır. Gecikmeli elektrikli kapsüllerin kullanılması patlatma verimliliğini artırdığı gibi, yer sarsıntısı, hava şoku ve fırlayan kaya gibi çevresel etkileri de en aza indirmektedir (Kesimal, 2004). Gecikmeli ateşlemeler; sıra sıra, V düzeninde gibi gecikmeli atış gibi farklı düzenlerde oluşturulabilir. Bunlardan normal sıra sıra atışlar en basit ve en tatminkâr ateşleme sırasındır (Paşamehmetoğlu vd., 1991; Kesimal, 2005).

Gecikmeli kapsüllerin kullanılmasıyla, kontrollü patlatma neticesinde oluşan kaya materyalinin hareketinin yönünü de belirlenir. Genel olarak, bu gecikmeli kapsüller patlatılmak istenen kayada ilk parçalanmak istenen kısımdan başlanacak şekilde yerleştirilir. Ön sıradaki deliklere şarj edilen patlayıcılar öncelikle patlatılacak ve patlatılan kaya kütlesi daha önceden tesis edilmiş bir sonraki gecikmeli kapsülle ateşlenen patlayıcı şarjına tarafından yönlendirilir (Winkler, 1998).

2.2.4. Patlatma Teorisi ve Parçalanma Mekanizması

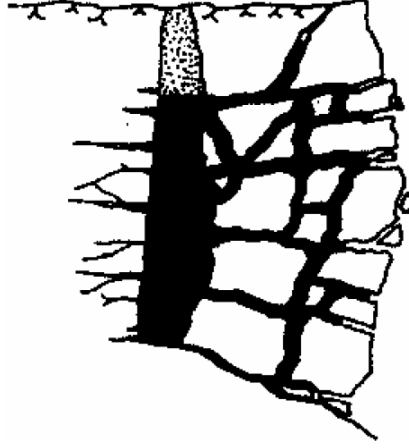
Kaya kırma mekanizmasını içeren birçok teori bulunmakla birlikte en çok kullanılan iki yaklaşımdan birincisi patlayıcı maddenin detonasyon (şok) kuvvetinin oluşturduğu gerilmelerin rolü ikincisi ise detonasyon gaz ürünleri tarafından oluşturulan delik basınçlarının rolüdür. Patlayıcının deliğe konulup sıkılması yapıldıktan sonra patlayıcı maddenin parçalanma ve ötelenmeye kadar geçen olaylar; detonasyon, şok ya da birim deformasyon dalgalarının yayılımı, gaz basıncının yayılımı ve kütle taşınması olarak 4 temel aşamada incelenmektedir (Onargan vd., 2003; Kesimal, 2004; Ünal, 2005). Bunlar;

1- Detonasyon: Kayada kırılma işleminin başlangıcı olup, fuel ve oksitleyici kombinasyonlarını içeren bir patlayıcı karışım, detonasyondan hemen sonra yüksek basınç ve sıcaklıktaki gazlara dönüşmektedir.

2- Şok ya da birim deformasyon dalgalarının yayılması: Detonasyonun hemen ardından şok ya da birim deformasyon dalgaları kaya kütlesi içerisinde yayılır. Ortaya çıkan yüksek basınçlı gazlar delik cidarına çarparak basınç dalgalarının oluşmasına neden olur. Delik cidarındaki basınç anlık olarak tepe değerine ulaşır ve daha sonra exponansiyel olarak

bozulmaktadır. Bu hızlı bozulma sonucu delik genişlemekte ve gaz soğumaktadır. Boşluk genişlemesi, malzemede çatlamlar veya malzemenin yer değiştirmesine neden olmaktadır.

3- Gaz basıncının yayılımı: Arazi gerilmeleri haline dönüşen yüksek sıcaklıktaki gazların basıncı süreksizlikler içerisine girerek radyal çatlakların ilerlemesine ve orijinal deliğin bozulmasına neden olmaktadır. Bu gaz basıncının çatlaklar içinde ilerlemesi ve kaya kütesinin ötelenmesi Şekil 6'de gösterilmiştir.



Şekil 6. Gaz basıncı ile kayada çatlak oluşumu (Ünal, 2005).

Parçalanmış malzemenin yer değiştirmesini bu yüksek gaz basınçları sağlamaktadır. Gazların hareket yönleri direncin en düşük olduğu yöne doğru olmaktadır. Eğer bu süreksizlikler yüzeye kadar devam ediyorsa gaz basıncı atmosfere çıkmakta, basınç düşmekte, malzemenin parçalanması ve kırılmış malzemenin yer değiştirmesi azalmaktadır.

4- Kütle taşıması: Parçalanma işlemindeki son aşama olup, gaz basıncı ya da basınç ve çekme dalgaları sonucu temel parçalanma oluşmaktadır. Kütle taşımasındaki en önemli parametre delik önündeki malzeme miktarı olmaktadır. Kaya patlatmadaki parçalanma ve ötelenmeye kadar olan bu dört temel aşama birincil ve ikincil parçalanma mekanizması olarak da adlandırılmaktadır.

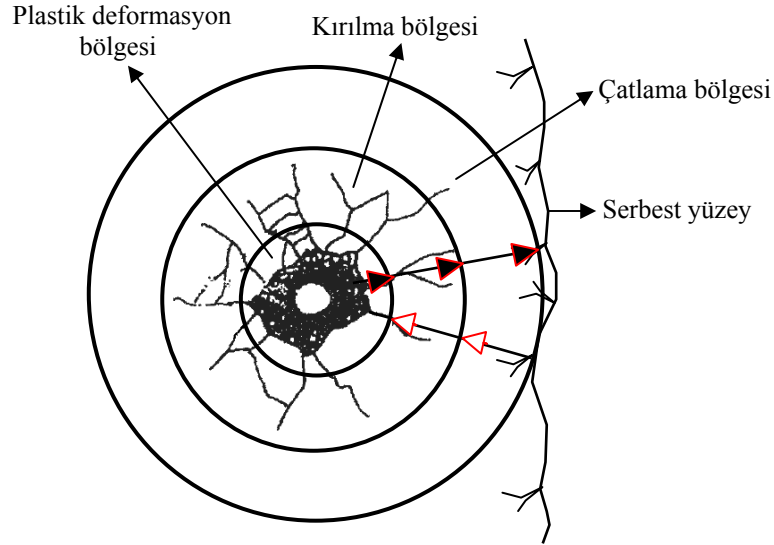
2.2.4.1. Birincil Parçalanma Mekanizması

Patlatma deliğindeki patlayıcı madde ateşlendiğinde oluşan termodinamik reaksiyon sonucu patlayıcı enerjisi, çok yüksek basınç ve sıcaklıktaki gaz şeklinde ortaya

çıkılmaktadır. Böylece deliği çevreleyen kayaya uygulanan çok büyük basınçlar kayanın kırılıp parçalanmasına yol açmaktadır (Kesimal, 2004; Ünal, 2005; Cihangir, 2006).

Patlayıcı faaliyete geçtiğinde delik cidarı darbenin etkisi ile plastik deformasyona uğramaktadır. Plastik deformasyon bölgesi genellikle kaya özelliklerine göre bir veya birkaç milimetre genişliğindedir. Patlatma boşluğu ve plastik deformasyon bölgesini parçalanma bölgesi çevrelemekte ve iki alt bölgeden oluşmaktadır (Şekil 7). Bunlardan iç taraf kırılma bölgesi, dış taraf ise çatlama bölgesidir (Kesimal, 2004; Cihangir, 2006).

Kırılma bölgesinde kaya tamamen parçalanmış olup parçalanma, darbe sonucu oluşan *basınç birim deformasyon dalgasının* (BBDD) kayanın dinamik basınç birim deformasyon limitinden fazla olması nedeni ile oluşur (Kesimal, 2004). Kırma olayını oluşturan basınç birim deformasyon dalgasının şiddeti gittikçe azalır, ancak yarıçap yönündeki yoğun ışımsal basınç sonucu dalga cephesine teğet yönde dinamik *çekme birim deformasyon dalgaları* (ÇBDD) oluşur. Çekme birim deformasyon dalgaları, kayanın dinamik çekme birim deformasyon limitini aştığı sürece ışımsal çatlamlar devam eder (Dowding ve Aimone, 1992; Cihangir, 2006).



Şekil 7. Patlatma sonrası birincil parçalanma mekanizması

Hem ışımsal hem de teğetsel çatlakların olduğu “çatlama bölgesi” ışımsal çatlakların ucu ile sınırlıdır. Bölgenin genişliği delik çapının 10 ila 25 katına kadar ulaşmaktadır. Patlatmanın yarattığı basınç dalgası parçalanma bölgesindeki kırılma ve çatlama olaylarında enerjisinin bir kısmını harcadığından şiddetinin düşmesi sonucu ve yakında

serbest yüzey bulamadığından elastik titreşim dalgası olarak sonsuz kaya ortamı içinde dağılır ve gider. Titreşimin olduğu bu bölgeye sismik bölge adı verilir (Kesimal, 2004; Cihangir, 2006).

Eğer yakında basamak aynası ya da açık fay, açık eklem gibi süreksizlikler varsa bunlar birer serbest yüzey gibi davranırlar. Sismik bölgede titreşimlere neden olan basınç birim deformasyon dalgaları bu yüzeylere geldiğinde hava boşluğuna geçemeyerek yansır ve çekme birim deformasyon dalgaları'na dönüşür. Bu yansıyan dalga yeterli şiddette ise genellikle kayaların çekme dayanımları çok düşük olduğu için kaya yaprak gibi parçalanır. (Akail, 2004; Cihangir, 2006).

2.2.4.2. İkincil Parçalanma Mekanizması

Birbiri ardına gelen BBDD'ları ÇBDD'larına dönüştükçe kayada dilim dilim koparılma devam eder. Bu dilimlenme olayı ikincil parçalanma mekanizmasının ilk aşamasıdır. İkinci aşaması ise formasyon kontak ve dokunaklarında görülür. İki ayrı cins kayanın deformasyon modülleri arasındaki fark arttıkça, gelen basınç birim deformasyon dalgasının bu formasyonlarda oluşturduğu deformasyonlar da farklı olur (Cihangir, 2006).

İkinci parçalanma mekanizmasını üçüncü aşamasında, patlatma sonucu oluşan basınç altındaki gaz hem doğal çatlaklara hem de patlatma ile oluşan çatlaklara girerek onlara kama etkisi yaparak çatlakların uzamasına neden olur. Hem deliği çevreleyen çatlakların uzaması hem de serbest yüzeyden deliğe doğru dilim dilim parçalanma sonucu arada çok dar bir kaya bölümü parçalanmamış olarak kalır. Bu bölüm ise deliği çevreleyen çatlakları dolduran gaz basıncı tarafından ileri doğru püskürtülerek parçalanır. Dördüncü aşamada ise, gaz basıncının püskürtülmesi sonucu parçalanma ile delik grubunun yer aldığı kaya bölümü tamamen parçalanmış ve bir miktar da kabarak öne doğru ötelenir (Cihangir, 2006).

2.3. Patlamadan Kaynaklanan Çevresel Problemler

Patlayıcının ateşlenmesi ile ortaya çıkan enerjinin parçalama ve/veya öteleme işlemlerinden arta kalan kısmının kaya içerisinde veya atmosferdeki hareketleri patlatmanın çevresel etkilerini meydana getirmektedir. Patlatmalar sonucu oluşan başlıca

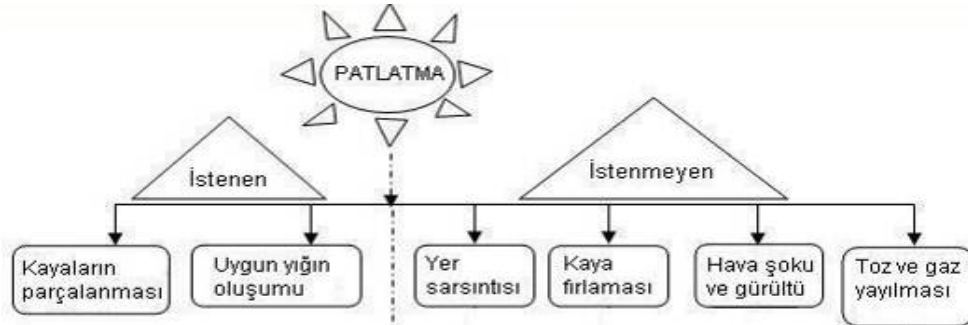
çevresel etkiler; yer sarsıntısı, hava şoku ve gürültü, kaya fırlamaları, toz oluşumu ile zehirli gaz emisyonu'dur.

Bu etkilerden hava şoku ve gürültü, kaya fırlamaları ile toz ve zehirli gazlar patlatma yapılan yere yakın yerlerde etkin olurken yer sarsıntısı çok daha uzaklarda dahi etkisini gösterebilmektedir (Tablo 2). Bu nedenle gelişmiş ülkelerde patlatma sonucu oluşan bu olumsuz etkilerin tanımlanması, oluşabilecek hasarların önceden tahmini ve çözümüne yönelik bazı standart ve ölçütler geliştirilmiştir.

Tablo 2. Patlatmanın çevresel etkileri ve özellikleri (Raina vd., 2004; Cihangir, 2006).

Etki	Nicelik	Birim	Sembol	Hasar Potansiyeli	Tahmin Değerlendirmesi
Yer sarsıntısı	Maksimum parçacık hızı	mm/sn	PPV	Yapısal ve kişisel tepkiler/rahatsızlıklar	Ölçekli mesafe, gecikme başına kullanılan patlayıcı miktarı
Hava şoku	Yüksek basınç	Pa	P	Yapısal ve kişisel tepkiler/rahatsızlıklar	Ölçekli mesafe, gecikme başına kullanılan patlayıcı miktarı
Gürültü	Yüksek ses	dB	-	Rahatsızlık	Gürültü seviyesi
Kaya fırlaması	Fırlama ve parça boyutu	m, kg	-	Yaralanma ve ölümcül kazalar, ekipmanlara zarar, güvenli yaşamın azalması	Parçacığın başlangıç hızı
Toz ve zehirli gazlar	Havanın birim hacmindeki parçacıklar	ppm	-	Sağlığa zararlı	Havada asılı bulunan tanecikler/parçacıklar ve zehirli dumanlar

Patlatmalı kaya kazısı çalışmalarının yürütüldüğü birçok sektörde patlatma sonucunda kayaların parçalanması ve uygun bir yığın oluşması istenirken, çevresel hasar potansiyeline sahip kaya fırlaması, yer sarsıntısı, hava şoku (gürültü) ile toz veya gaz yayılması istenmemektedir (Şekil 8).



Şekil 8. Kaya patlatmanın istenen ve istenmeyen etkileri (Raina vd., 2004).

Patlatmanın daha verimli ve güvenli olarak gerçekleştirilmesi için değişik atım denemeleri ile patlatma tasarımı parametreleri üzerinde değişikliklere gidilerek patlatma yapılacak yere ait saha sabitleri belirlenmekte ve patlatmanın çevresel etkileri kontrol edilebilmektedir.

Dağlık ve kayalık arazide orman yolu yapımında; mevcut kayaların açılan lağım deliklerine yerleştirilen patlayıcı maddelerle parçalanması ve sökülen kayaların tesviyesi şeklinde iki aşamada gerçekleştirilmektedir (Acar ve Şentürk, 1997). Patlatmalı kaya kazısının yapıldığı diğer inşaat sektörlerinde olduğu gibi, orman yollarının yapımında da ortaya çıkan kayaların patlatılması sırasında; kaya fırlamaları, yer sarsıntısı (titreşim), hava şoku veya gürültü, toz oluşumu gibi olumsuz çevresel etkiler oluşmaktadır.

Yer sarsıntısı, hava şoku ve kaya fırlaması gibi çevresel problemler için; patlayıcı madde miktarının azaltılması, patlayıcı şarjının delik içerisinde iyi dağıtılması, gecikmeli bir ateşleme sistemi kullanılması, sıkılama miktarının artırılması gibi yöntem değişikliği gerektirmeyen kısmi çözümler vardır. Ancak kaya patlatma sonrasında geri kalan kayada veya kalıcı şevde oluşan aşırı yüzey kırıklıkları gibi problemler kontrollü özel patlatma teknikleri ile çözülebilmektedir (Keser, 2002). Orman yollarının geometrik boyutları, karayollarına göre daha küçük olup kalıcı şevde ortaya çıkacak duraylılık problemleri kaya patlatma sırasında uygulanacak patlatma tasarımından delik düzeni ile çözülebilecek boyuttur.

2.3.1. Kaya Fırlamaları

Kaya fırlamaları ya da taş savrulması, patlayıcı maddenin kaya kütlesi içinde iyi bir şekilde hapsedilmediği durumlarda, reaksiyon sonucu oluşan yüksek basınçlı gazlar bulabildikleri çatlaklardan atmosfere erken deşarj olurlar. Çok yüksek hızla oluşan gaz boşalımı kaya kütlesinde yırtılmalara neden olur ve beraberinde kaya parçalarını da kopararak hareketlendirir (Erçikdi, 2004-b). Bu şekilde savrulmuş kaya parçaları etraftaki mülklere zarar vermekte, insanların ve diğer canlıların ölüm veya yaralanmasına neden olabilmektedir.

Orman yollarında patlayıcı madde kullanılarak, kaya patlatmanın çevreyi koruyucu olan uygun yöntemlerle yapılmaması durumunda ortaya çıkan başlıca sorun kaya fırlaması'dır. Kaya fırlaması, yol yapım alanında bulunan köprü, sanat yapısı ve diğer yapılar üzerinde etkili olabildiği gibi, yamaç aşağısındaki dikili ağaçlar ve fidanlar

üzerinde kırma, yaralama, soyma gibi zararlar oluşturmaktadır. Bununla birlikte, kayaların kapattığı orman yolu dolduru şevindeki verimli topraklar kullanılamaz hale gelmektedir.

Kayanın patlatılması sonucunda ormanda meydana gelen pek çok çevresel bozulmalar doğrudan kaya fırlamasının bir sonucudur (BCMF, 2002). Bunlar;

- Dikili servet olan ağaçlar, kaya patlatılmasıyla veya başka bir şekilde hava şoku ve fırlayan kaya tarafından zarar görürler,
- Ağaçlara saplanan taş parçaları ağacı deviren ve tomrukları işleyen tesis ve işçiler için tehlike arz etmektedir,
- Toprak yüzeyinin kaya parçaları ile örtülmesi, ağaçlandırma ve toprak işlemesi işlerini zorlaştırır ve sonuçta toprak kaybına neden olur,
- Orman içerisinden geçen enerji nakil hattı veya diğer yapılara fiziksel zarar vermektedir,
- İçme suyu kaynakları, kuru dere gibi suyolu, dere veya ırmak üzerinde olumsuz etkiler oluşturarak özellikle taşkınlar sonucunda sel felaketine neden olur,
- Kontrolsüz bir şekilde kaya patlatması yapılan yerlerde kazı şevinde ve yamaç aşağısında ki kayalar tehlike arz eden bir durumda askıda kalırlar.

Kaya fırlaması kazalarının araştırmaları şu faktörlerin biri veya birkaçının katkısının olduğunu belirtmektedir (Kesimal, 2004; Kecojevic ve Radomsky, 2005; Cihangir, 2006). Buna göre kaya fırlamasının başlıca nedenleri;

1. Yetersiz sıkılama ve deliklere aşırı miktarda patlayıcı şarjı yapılması,
2. Sıkılama bölgesinde kaya yapısının zayıflık ya da gevşek olması veya sıkılama yapmaksızın deliklerin tamamen patlayıcı ile doldurulması,
3. Patlayıcı madde boyutları ile delik boyutlarının uyuşmaması ve patlayıcının deliklerde homojen dağıtılmaması,
4. Deliklerin açılmasından önce kayanın incelenmeden deliklerin çatlaklı kısımlarda açılarak şarj edilmesi,
5. Uygun olmayan delik tasarımı ve yetersiz dilim kalınlığının uygulanması,
6. Ateşçi ve delici operatörünün yeterli düzeyde iş eğitimine sahip olmaması ve delme esnasında deliklerin serbest yüzeye paralel olmayan bir şekilde açılması,
7. Gecikmeli kapsül kullanılmaması veya kullanılması durumunda delikler arasında gecikme aralıklarının yanlış verilmesi,
8. Jeolojik yapı veya kaya yapısındaki süreksizlikler gibi özelliklerinin bilinmemesinden kaynaklanan problemler olarak sayılmaktadır.

Patlatmalı kaya kazısı sonrasında ortaya çıkan çevresel etkilerden kaya fırlaması uzaklığının tahminine yönelik değişik eşitlikler verilmiştir. Bunlardan biri İsveç Patlatma Araştırma Enstitüsünce yoğunluğu bilinen bir kayanın (granit) parça büyüklüğü için delik çapı ve en uzak kaya fırlama mesafesi arasında ilişki geliştirilmiştir. Buna eşitliğe göre maksimum kaya fırlaması uzaklığı (L_{maks}), delik çapının (d) bir fonksiyonu olarak;

$$L_{maks} = 260 \times d^{2/3} \quad (1)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Bu eşitlikte d ; delik çapını (inç) ifade etmektedir (Paşamehmetoğlu vd., 1991; Persson vd., 1994; Kecojevic ve Radomsky, 2005).

Kaya fırlamasının hesaplanmasında delik çapının yanında özgül şarjı da içeren tahmin yöntemi ise;

$$L_{maks} = 143 \times d \times (q-0,2) \quad (2)$$

eşitliği kullanılarak hesaplanmaktadır. Burada, L_{maks} ; maksimum kaya fırlaması mesafesini (m), d ; delik çapını (inç) ve q ; özgül şarjı (kg/m^3) ifade etmektedir (Cihangir, 2006).

Burada özgül şarj, birim hacim ya da birim ağırlıktaki kayayı kırmak için gerekli patlayıcı miktarının ağırlığı olarak tanımlanmaktadır. Bir patlatma tasarımında ilk ve en önemli işlem özgül şarjın seçilmesi ve belirlenmesidir. Özgül şarjın ne olacağı konusunda arazi çalışmaları ile ilk denemeler yapılır, ancak uygun bir başlama değerinin belirlenmesi için çok az kural vardır. Bunlardan bir tanesi ise arazide sismik hız ile özgül şarj arasındaki ilişkidir (Paşamehmetoğlu vd., 1991). Bu bakımdan her bir atıma ait özgül şarj miktarlarının ve bu atımlara ait sismik hız değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir.

2.3.2. Yer Sarsıntısı, Teorisi ve Karakteristikleri

Patlatmalı kazı çalışmalarında kullanılan patlayıcı madde enerjisinin sadece %20-30'u kadarı kayanın parçalanması için kullanılmaktadır. Geri kalan kısmı ise buldukları çatlak ve boşluklardan ya direkt olarak havaya yayılır veya kaya ortamında titreşim dalgaları olarak yayılır ve yer titreşimlerinin patlatma sahasından çok uzak noktalara ulaşmasına neden olur (Cihangir, 2006).

Orman yollarında kaya patlatma sonucu oluşan yer sarsıntısı heyelan riski olan yerlerde veya akışkan arazilerde toprak kayması ve hareketine sebep olabilmektedir. Dağlık arazide kış aylarında yapılacak yol yapım çalışmalarında, yoğun kar tabakasının harekete geçmesine ve neticede çığ oluşumuna neden olabilmektedir. Kaya patlatmadan kaynaklanan yer sarsıntısı ve diğer nedenlerle, içme suyu kaynakları kirlenmekte ve yerleri değişebilmektedir.

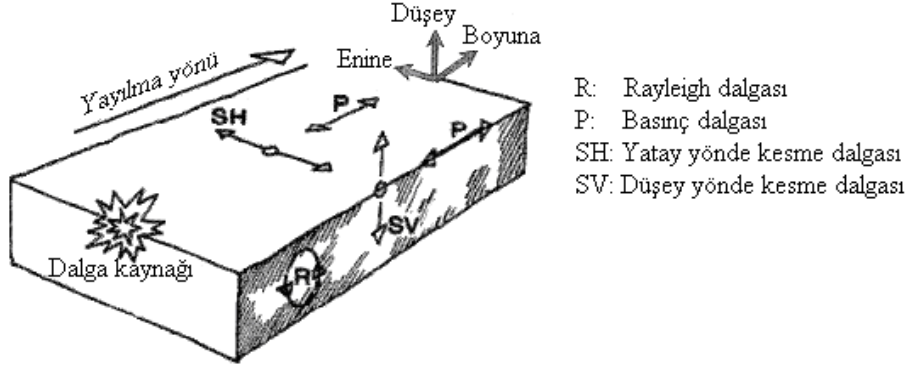
Kaya patlama nedeni ile ortaya çıkan bu sorunlar bazı durumlarda çevrede yer alan yapılar üzerinde hasara neden olabilmektedir. Yine patlatmalı kazı çalışmalarının yürütüldüğü orman yolu inşaat alanlarının yakınında yaşayan orman köylüleri ile anlaşmazlıkların kaynağı ve civarda yaşayan yaban hayvanlarının yaşam alanlarını terk etmesine kadar giden sorunların kaynağı olabilmektedir.

Kayacın içinde patlatılan patlayıcı maddenin yarattığı sismik dalgalar; kaya ortamında bir noktadan bir noktaya ulaşan enerji transferini temsil etmektedir. İlk başta ortama yeni giren enerji, ortamdaki denge konumunu bozarak yer değiştirmeye neden olmaktadır. Eğer, ortam yeni gelen enerjiye elastik özellik göstermezse, enerji sönümlenmekte ve sadece titreşimi azalmış dalgalar yansımaktadır. Elastik özellik gösterdiğinde ise bozulan ortamın sonucu olarak komşu ortamlar denge ayrılarak yay-ağırlık mekanizmasına benzer bir şekilde salınım meydana getirmektedir. Böylece bozulan ortamın her elementi, salınımın özelliklerini diğer elementlere de geçirerek ortamda dalga hareketi oluşturmaktadır (Arpaz, 2000).

Dalga hareketi sırasında toplu hareket söz konusu olmamaktadır. Ortamı oluşturan parçacıklar denge pozisyonlarında salınım ve dönme hareketi yapmakta ve ortam boyunca herhangi bir yer değiştirme olmamaktadır. Bu özellikleri taşıyan olayda iki hız bulunmaktadır. Birincisi bozulan ortamın yoğunluğuna bağlı olarak dalga veya faz hızı, ikicisi ise dalga enerjisini etkileyerek denge durumunun bozulması ile parçacığın küçük salınımları olarak tanımlanan parçacık hızı olmaktadır. Parçacık hızı her zaman dalga hızından daha küçük olmakta ve patlatmadan kaynaklanan titreşimlerin analizinde, dalga hızına göre daha yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Kaya kütlesi sürekli ve homojen bir ortam olmadığından sismik dalgaların yayılımı sönümlenerek devam etmektedir (Arpaz, 2000).

Patlatmadan kaynaklanan dalgalar basınç, makaslama (kesme) ve yüzey olmak üzere 3 temel kategoriye ayrılmaktadır. Hareket tam olarak boyuna (L), enine (T) ve düşey

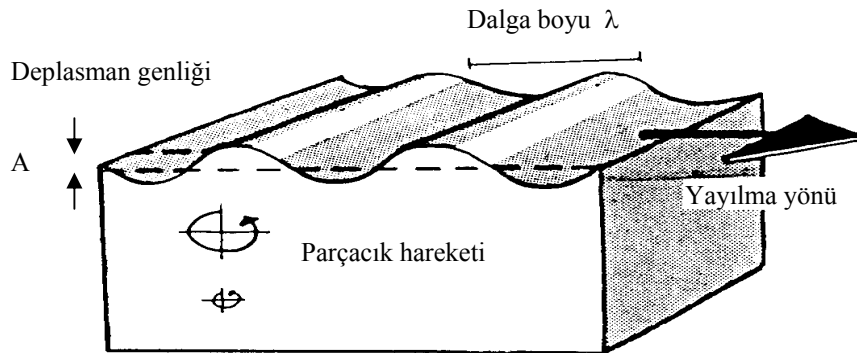
(V) olmak üzere üç bileşeni ile tanımlanmaktadır (Şekil 8). Boyuna bileşen (L) genellikle patlatmanın yatay iletimi boyunca ilerlemektedir (Arpaz, 2000).



Şekil 9. Sismik dalgalar ve yayılma karakteristikleri (Kahrıman vd., 1999).

Bu üç temel kategori kendi arasında gövde dalgaları ve yüzey dalgaları olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar. Gövde dalgaları kaya ya da toprağın içinde hareket ederken, yüzey dalgaları ise yüzey boyunca hareket etmektedir. En önemli yüzey dalgası Rayleigh (R) dalgasıdır. Gövde dalgaları ise yine kendi içinde basınç (çekme ve basma) dalgası (P) ve kesme veya makaslama (S) dalgası olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar (Arpaz, 2000).

Patlayıcılar kısa mesafelerde öncelikli olarak gövde dalgalarını oluşturmaktadır. Gövde dalgaları küresel hareketlerle başka bir kaya tabakası, toprak veya yüzey tabakasına rastlayınca kadar ilerlemektedir. Bu kesimlerde ise makaslama ve yüzey dalgaları oluşmaktadır. Rayleigh yüzey dalgaları daha uzak mesafelerde önemli olmaktadır (Arpaz, 2000, Kahrıman vd., 1999).



Şekil 10. Rayleigh dalgası (Kahrıman vd., 1999).

Bu üç dalga tipi içinden geçtikleri kaya parçacıkları ya da toprağa göre değişik özellik göstermektedir. Bunun sonucunda, yüzeydeki yapılar ya da kaya her dalga tipine göre farklı bir şekilde deforme olmaktadır. Boyuna dalgalar veya P dalgası, yayıldıkları doğrultu ile aynı yönde parçacık hareketi meydana getirmektedir. Diğer taraftan makaslama (S) dalgaları yayılma yönüne hem yatay hem de düşeyde dik yönde hareket oluşturmaktadır. En karmaşık yapıyı gösteren Rayleigh yüzey dalgaları yayılma yönüne paralel ve düşey yönde hareketler oluştururlar (Arpaz, 2000).

Gövde dalgaları içerisinde en hızlı hareket eden P dalgalarıdır. P dalgaları; boyuna dalga, ses veya ses dalgası olarak da adlandırılmaktadır. P dalgaları çok yüksek frekansa sahip olup, genlikleri en azdır. Bu nedenle minimum yer değiştirmeye neden olurlar. P dalgalarını takiben kesme (S) dalgaları oluşmaktadır. S dalgalarının hızı, P dalgalarının hızının yaklaşık $3/5$ 'i kadar hızla hareket etmektedirler. S dalgaları genellikle P dalgalarından daha düşük frekansa ve daha büyük genliğe sahiptir. P dalgaları su içerisinde, havada ve katı ortamda yayılabilirken, S dalgaları sadece katı ortamda yayılabilir. Yüzey dalgaları yarattıkları hareketin yüzeyde yoğunlaşması ve ilerlemesi, binalar üzerindeki hasar oluşma riskini artırmaktadır. Rayleigh dalgaları kesme (S) dalgalarının hızının yaklaşık 0,9 katı ile ilerlemektedir (Cihangir, 2006).

2.3.2.1. Yer Sarsıntılarının Ölçümü ve İlgili Terimler

Patlatmalardan kaynaklanan titreşim dalgaları bazı birimlerle ifade edilmekte olup, patlatma sonucu oluşan dalgaların enerji düzeyleri ölçülerek hasara neden olup olmayacağı belirlenen standartlarla karşılaştırılarak anlaşılabilir. Yer titreşimlerinin enerji seviyeleri ve neden olabilecekleri etkiler genel itibari ile parçacık hızı (mm/sn), parçacık ivmesi (mm/sn^2) parçacık yer değiştirmesi (mm) ve titreşim frekansı (Hz) ile ölçülür (Cihangir, 2006).

Parçacık hızı; titreşim hareketi nedeni ile yerin bir parçacığının birim zamandaki yer değiştirmesidir. Birimi mm/sn'dir. Parçacık hızı sıfır'dan başlayarak en yüksek değerine ulaşır ve giderek sönümlenir. Parçacık hızı yer titreşim analizlerinde kullanılan en önemli parametrelerden biridir.

Parçacık yer değiştirmesi; titreşime maruz kalan bir parçacık ya da noktanın başlangıç pozisyonuna olan mesafesidir. Birimi mm'dir.

Parçacık ivmesi; birim zamanda parçacık hızında meydana gelen değişim olup birimi mm/sn^2 ya da yer çekimi ivmesinden dolayı g 'dir.

Frekans; birim zamandaki parçacık hareketidir ve analizlerde bir saniyedeki salınım sayısı olarak alınmaktadır. Birimi hertz (Hz)'dir. Yer sarsıntısının frekansı da çevresel etkilerin değerlendirilmesinde en az parçacık hızı kadar önemli parametredir. Yer titreşimlerinin büyüklüğünde en etkili faktör gecikme başına düşen patlayıcı madde miktarıdır ve atım noktasına olan mesafe ile birlikte parçacık hızı tahminin temelini oluşturur (Cihangir, 2006; Bilgin vd, 2000).

Patlatma ile oluşan yer sarsıntısı ölçümlerinde en çok tercih edilen parametre parçacık hızıdır. Titreşim dalgaları tarafından harekete maruz bırakılan parçacık; boyuna, düşey ve enine birbirine dik üç boyutta salınım özelliği gösterirler ve üç yönde de ölçümü yapılır. Patlatma sonucu oluşan yer sarsıntısı ve hava şoku gibi çevresel etkiler çeşitli standartlara göre değerlendirilerek, hasara neden olmayacak sınırlara çekilebilmektedir.

2.3.2.2. Ölçekli Mesafe

Patlatmadan kaynaklanan yer sarsıntısı tahminlerinde, birçok ampirik ilişkidenden yararlanılmakta olup bu ilişkilerden en çok güvenilenleri; ölçekli mesafe ve parçacık hızını esas alanlardır. Ölçekli mesafe; kavram olarak, yer hareketlerinin değişik uzaklıklardaki patlatma seviyelerinin miktarları ile ilişkilidir. Kayada meydana gelen dalga hareketlerini yaratan toplam enerji, bir seferde ateşlenen patlayıcı madde miktarına bağlı olarak değişmektedir. Ölçekli mesafe, sismik gelişimi ve hava şoku enerjisini etkileyen gecikme başına şarj miktarı ve patlatma ile ölçüm noktası arasındaki mesafenin kombinasyonlarından türetilmekte ve aşağıdaki eşitlikle ifade edilmektedir (Kahrıman vd., 1999).

$$SD = R / W^{1/2} \quad (3)$$

Bu eşitlikte, SD; ölçekli mesafe, R; uzaklık (m), W; gecikme başına düşen en fazla şarj miktarı (kg)'dir.

2.3.2.3. Maksimum Parçacık Hızı Tahmini

Patlatmadan kaynaklanan yersarsıntılarının önceden tahmin edilmesine yönelik çeşitli araştırmalar yapılmış ve ölçekli mesafeye bağlı maksimum parçacık hızı tahmininin en iyi olduğu yaklaşım olduğu sonucuna varmışlardır. Maksimum parçacık hızının tahminine yönelik yapılan çalışma sonuçları aşağıda verilmektedir (Kahrıman, 1999).

$$PPV = K \times SD^{-\beta} \quad (4)$$

Bu eşitlikte, PPV; maksimum parçacık hızı (mm/s), SD; ölçekli mesafe, K ve β ; saha sabitlerini ifade etmektedir. Çalışma sahasının sabitleri, ölçülen maksimum parçacık hızı ve ölçekli mesafe değerlerinin ilişkilendirilmesi sonucunda belirlenmektedir. Bulunan bu değerler, kontrollü patlatma tasarım ve uygulamalarında, titreşim ölçüm aletinin olmadığı durumlarda, bazı pratik tabloların hazırlanması suretiyle uygulayıcılara büyük kolaylıklar sağlamaktadır (Kahrıman vd., 1999).

Saha sabitleri olarak tanımlanan K ve β sabitleri değişen zemin koşullarına göre farklı değerler alabilmektedir. Bu sabitlerin değişmesi muhtemelen jeolojik süreksizlikler, patlayıcı özellikleri ve miktarı ateşleme yönü, patlatma geometrisi ve gecikme aralığından kaynaklanmaktadır.

2.3.2.4. Patlatmadan Kaynaklanan Yapısal Hasar Kriterleri

Çeşitli araştırmacılar tarafından yaklaşık 60 yıldan daha fazla süredir, patlatma hasar kriterleri değişik başarı dereceleriyle uygulanmaya gelmiştir. Yapısal hasarın değerlendirilmesinde etkili olan en önemli parametreler; frekans, büyütme faktörü, ivmenin ölçülmesi, yerleşim yerlerinin jeolojisi ve yapılaşma durumudur (Cihangir, 2006).

Aşağıda, içinde kullandıkları parametreler açısından benzerlik arz eden ve yaygın kabul görmüş, başvuru ve mukayese kaynağı olarak kullanılan uluslararası normlar tanıtılmıştır. Bunlar; A.B.D Madencilik Bürosu'nun USBM (RI 8507) normu ve Amerikan Açık Ocak Madencilik Bürosu'nun (OSMRE) gösterdiği yaklaşımlarla, Alman DIN 4150 Normu'dur (Johnston ve Durucan, 1994; Kahrıman, 1999). Bunlara ilaveten ülkemizde T.C. Çevre ve Orman Bakanlığının 25862 yönetmelikte belirtilen esaslar tanıtılmıştır.

2.3.2.4.1. Frekansın Önemi

Yer sarsıntılarının frekans özellikleri başlıca iki unsurdan etkilenirler. Bunlar titreşim dalgalarının yayıldığı jeolojik ortam özellikleri, gecikmeli ateşlemelerde gecikme aralığı ve atım noktasından olan mesafe, patlatma dizaynı ve delik geometrisidir (Cihangir, 2006). 10 Hz değerinin altındaki frekanslar zeminde büyük yer değişimleri ve yüksek düzeyli birim deformasyonlar yarattığı için hasar olasılığını da artırır (Kahrıman vd., 1999).

Binalarda hasar olasılığı, zeminde patlatmanın oluşturduğu uyarıcı dalganın frekansı ile söz konusu binanın doğal (özyapısal) frekansının birbirleri ile olan ilişkisine bağlıdır. Patlatmalarda en kritik durum zemindeki uyarıcı dalganın frekansının, bir veya iki katlı binalarda genellikle 5-10 Hz arasında değişen bina özyapısal frekansına eşit veya ondan büyük olduğunda oluşur. Bu durumda bina rezonansa girer ve zemindeki uyarıcı (yer sarsıntısı) dalga geçip gittiği halde bina sarsılmaya devam eder. İşte insanların hissedip, endişeye kapılmalarına neden olan da budur. Bina rezonans halindeyken, parçacık hızı, sınır değer olduğunda ise binada hasar oluşmaz ama kişiler rahatsız olur. Fakat bina rezonans halindeyken parçacık hızı da yeterli büyüklükte (genlikte) ise binada hasar oluşur (Kahrıman vd, 1999; Bilgin, 1998).

2.3.2.4.2. ABD Madencilik Bürosu'nun Patlatma Hasar Tahmini

A.B.D Madencilik Bürosu (United State Bureau of Mines, USBM) açık ocak patlatmalarından kaynaklanan yer sarsıntısının yapılara olan etkisiyle ilgili 1980'de Siskind ve arkadaşlarına 219 üretim atımının 79 evdeki etkisini belirlemeye yönelik bir çalışma yaptırarak sonuçlarını yayınlamıştır. USBM RI 8507 olarak adlandırılan raporda belirtilen sonuçlar aşağıda özet olarak verilmektedir (Kahrıman vd., 1999).

1. Parçacık hızı halen en iyi yer titreşimini tanımlama ve titreşime karşı tepki özellikleri iyi bilinen bir yapı grubu için tahribat potansiyelini açıklayabilecek en pratik kontrol aracıdır.
2. Patlatmacı, bütün atımları titreşim cihazı ile izleme yükümlülüğünü almamak için, muhafazakâr bir yaklaşımla, ölçekli uzaklığın kareköklü uygulamasını seçer (R/\sqrt{W}). Bu tip ölçekli uzaklıkta titreşim seviyeleri 0,08–0,15 inç/sn (2–3,8 mm/sn) civarında olmaktadır.

3. Düşük frekanslı (≤ 40 Hz) patlatmalarda zarar verme potansiyeli, yüksek frekanslı (≥ 40 Hz) patlatmalardan daha fazladır.
4. Bina inşaat tipleri, minimum beklenen zarar seviyesine etki eden bir faktördür. Alçı panellerden oluşan iç duvarlar, eski tahta kalas üzeri sıva kaplamalı duvarlara göre titreşim zararına karşı daha dayanıklıdır.
5. Pratik olarak 40 Hz'den düşük frekanslı yer titreşimleri yaratan patlatmalar için emniyet sınırı; modern alçı pano duvarlı evler için 0,75 inç/sn (19 mm/sn), tahta kalas üzeri sıva duvarlı evler için 0,50 inç/sn (12,7 mm/sn)'dir. 40 Hz üzeri frekanslarda tüm evler için emniyetli parçacık hızı, maksimum 2,0 inç/sn (51 mm/sn) olarak tavsiye edilir (Tablo 3).
6. Bütün evlerde; zamanla çeşitli çevresel basınçlardan, havadaki sıcaklık ve nem değişimlerinden, taban yerleşimlerinden doğan oturmalarından, yerdeki nem değişimlerinden, rüzgârdan ve hatta ağaç köklerinin su emmesinden dolayı çatlaklar oluşur. Bunların sonucu olarak çatlak meydana geldiği (herhangi bir nedenden dolayı, örneğin kapıyı hızlı çarpmak) durumlarda; mutlak bir minimum titreşim limit değeri olmayabilir.

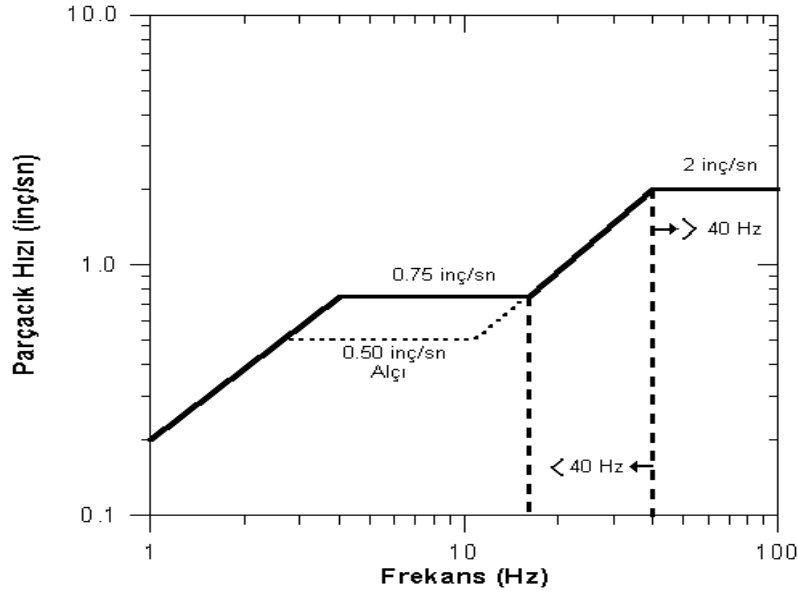
Tablo 3. USBM (RI 8507)'ye göre izin verilen maksimum parçacık hızı değerleri

Yapı türü	İzin verilen maksimum parçacık hızı, (mm/sn)	
	< 40 Hz	> 40 Hz
Modern evler	19,0	50,8
Eski binalar	12,7	50,8

Ayrıca USBM tarafından hem yapılarda ölçülmüş titreşim katlamalarını, hem de tahribat özelliklerini kullanan “Alternatif Kriter Analizi” olarak da adlandırılan kriterleri geliştirilmiştir (Şekil 11). Bu metot daha düzgün bir kriter seti olmasına karşılık, hem hareketi hem de hızı içine alan sıkı bir ölçüme ihtiyaç duymaktadır. Bu sistem 40 Hz altında en iyi tahribat kriterlerinin, frekansın bir fonksiyonu olarak maksimum parçacık hızı olduğunu göstermektedir (Arpaz, 2000).

Şekil 11 incelendiğinde; 4-12 Hz frekans aralığında maksimum parçacık hızının 0,75 inç/sn (19 mm/sn), sıva çatlakları görüldüğünde ise maksimum parçacık hızının 0,5 inç/sn (12,7 mm/sn) olması gerektiği tavsiye edilmektedir. Frekansı 40 Hz'den büyük

sonuçlanan ölçümlerde tavsiye edilen en yüksek titreşim hızı değeri ise 51 mm/sn (2 inç/sn)'dir (Persson vd., 1994).



Şekil 11. USBM'nin alternatif hasar kriter analizi grafiği

2.3.2.4.3. A.B.D Açık Ocak Madencilik Bürosu'nun Patlatma Hasar Tahmini

A.B.D. Açık Ocak Madencilik Bürosu (Office of Surface Mining Reclamation and Enforcement, OSMRE), yer sarsıntısı ve hava şokunu kontrol altına almak için patlayıcı maddelerin nasıl kullanılması gerektiği konusundaki en önemli raporunu 8 Mart 1983 tarihinde yayınlamıştır. Bu rapordaki kurallar tüm dünyada oldukça yaygın bir kabul görmüş ve uygulanmaktadır. OSMRE kuralları patlatma sorumlusuna, aşağıdaki üç metottan birini kullanmasını tavsiye etmektedir (Arpaz, 2000).

1. Metot: Titreşim ölçer cihazının kullanılmadığında parçacık hızının sınırlandırılması kriteri'dir. Patlatma sorumlusu; atımı Tablo 4'de gösterilen patlatma noktası ile ölçüm noktası arasındaki uzaklığa bağlı ölçekli mesafe tasarım faktörlerine uygun düzenlemelidir. Ölçekli mesafe faktörleri, uzaklıkla değişerek, maksimum parçacık hızlarının limitlerini değiştirmektedir. Bu metotta, Tablo 4'deki OSMRE ölçekli mesafe faktörleri uygulandığı sürece, sismik kayıt almaya ihtiyaç duyulmamaktadır.

Tablo 4. Uzaklığa bağlı müsaade edilen ölçekli mesafe faktörleri (OSMRE, 1983).

Patlatma noktasından uzaklık		Sismik izleme yapılmadan kullanılacak ölçekli mesafe faktörü
m	Ft	(SD)
0 – 90	0 – 300	50
91 – 1500	301 – 5000	55
> 1500	> 5001	65

2. Metot: Titreşim ölçer cihazı kullanıldığında ölçekli mesafe eşitliği kriteri'dir. Her patlatmanın, maksimum parçacık hızını izleyebilecek kapasitede bir sismograf tarafından izlenmesi gerekmektedir. Maksimum parçacık hızı Tablo 5'de gösterilen seviyelerin altında kaldığı sürece operatör kurallara uymaktadır. Her gecikme için patlayıcı madde miktarını hesaplamada izin verilen değerler; çok sıkı bir biçimde ölçekli mesafe faktörüyle sınırlandırılmamıştır. Böylelikle operatör daha büyük atımlar tasarlayabilir, daha büyük çapta delik açabilir ve daha büyük basamak veya daha geniş delik paterni kullanabilir (Kahrıman, 1999).

Tablo 5. Patlatma noktasından belirli uzaklıklarda maksimum parçacık hızları (OSMRE, 1983).

Uzaklık		Maksimum parçacık hızı	
m	ft	mm/sn	inç/sn
0 – 90	0 – 300	31,75	1,25
91 – 1500	301 – 5000	25,40	1,00
>1500	>5001	19,05	0,75

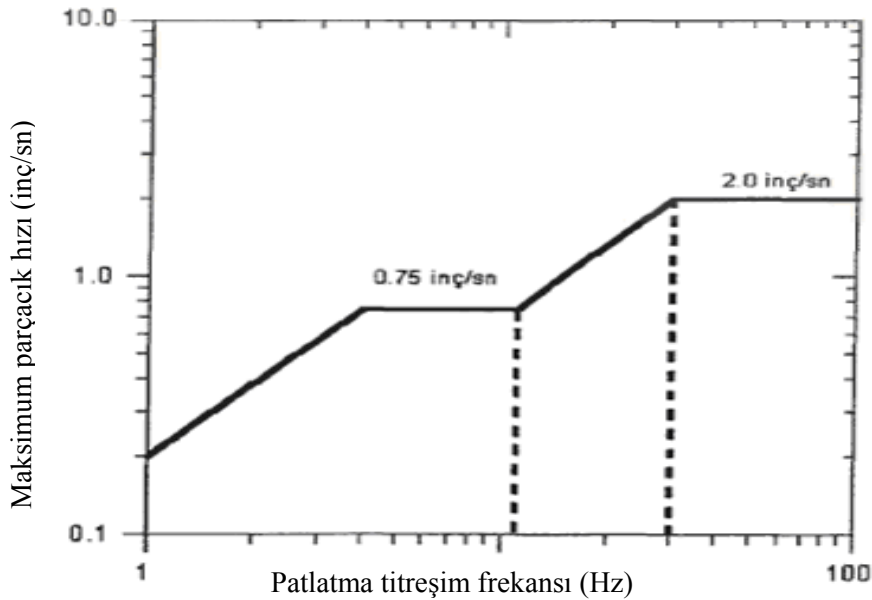
Patlatma noktasının en yakın yapıya mesafesi arttıkça, izin verilen hız artmaktadır. Bu durum uzak mesafelerde parçacık hızından daha çok baskın olan düşük frekansların zarar verme potansiyeline sahip olmasından kaynaklanmaktadır.

3. Metot: Frekans esaslı patlatma seviyesi grafiği kriteri'dir. Bu metotta, patlatmadan kaynaklanan yer titreşimi dalga frekanslarının analizinin ve her atımın parçacık hızı ölçümlerinin yapılması gerekmektedir. Patlatma sorumlusunun frekansla birlikte değişen parçacık hızı seviyelerini kullanmasına izin verir.

Baskın frekansları bulmak için dalga şekli analiz edilmekte ve bu frekanslara gelen parçacık hızları belirlenmektedir. Birçok durumda, her bir frekansın şiddetini analiz etmek için elektronik cihazlara ve yetenekli bir sismolog tarafından yapılması gereken sayısal analizlere ihtiyaç bulunmaktadır. Bu metot, patlatmalardan kaynaklanan meskûn binalara

ve hatta insanlara yönelik potansiyel zararları değerlendirmede en iyi yöntemi temsil etmektedir (Kahriman vd, 1999; Arpaz, 2000).

OSMRE kurallarındaki bu yöntem, USBM tarafından tavsiye edilen metottan farklıdır. Şekil 12'deki grafik çizgisinin herhangi bir yerinde; altında kalan, belirli bir baskın frekansa karşılık gelen herhangi bir parçacık hızı emniyetli kabul edilmektedir. Grafik çizgisinin herhangi bir kesiminin yukarısında kalan değerler, bina tahribatı ve insanlara zarar verme riskini artırmaktadır. Grafiğin yorumundan da anlaşılacağı gibi, titreşim frekansı arttıkça belirli değerdeki bir parçacık hızının hasar riski önemli ölçüde azalmaktadır (Kahriman vd, 1999; Arpaz, 2000).



Şekil 12. OSMRE'nin alternatif hasar kriter analizi grafiği

Yaygın olarak kullanılan USBM ve OSMRE standartlarının haricinde Almanya, Avustralya, İsveç, İngiltere, Rusya, Hindistan, gibi birçok ülkede kullanılan farklı standartlar vardır. Bunlardan patlatma kaynaklı sarsıntı nedeni ile tarihi eser ve anıtların vb yapıların zarar görmemesi için geliştirilen DIN 4150 Alman normu aşağıda tanıtılmıştır.

2.3.2.4.4. Alman DIN 4150 Normu'nda Patlatma Hasar Tahmini

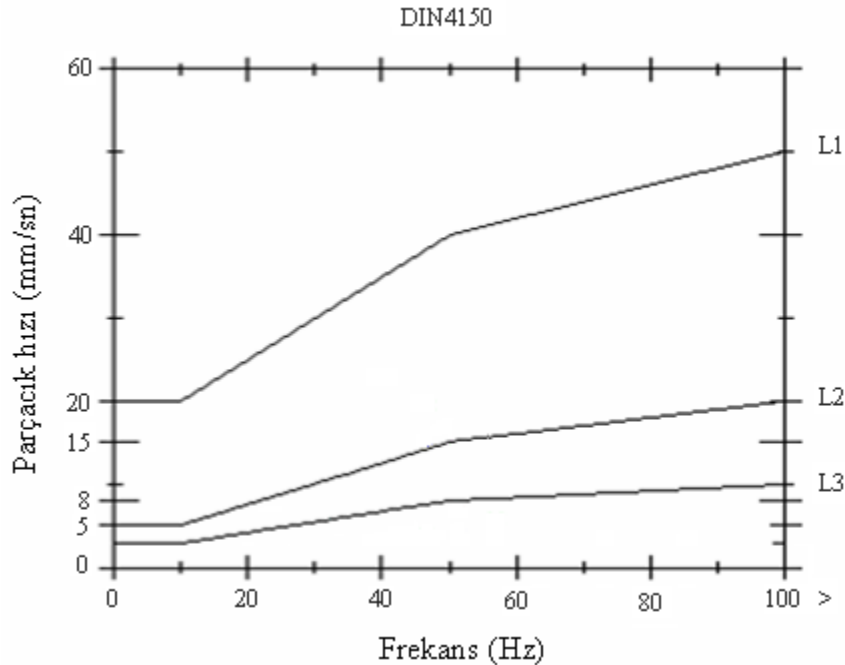
Alman DIN 4150 normu temel olarak tarihi eser, anıtların zarar görmeyeceği ve insanların bile rahatsız olmayacakları sarsıntı seviyelerini belirlemeye çalışır. Tablo 6'da

DIN 4150 Alman Normu'nda frekansa bağılı olarak değişen parçacık hızı değerleri yapı türüne göre verilmektedir (Cihangir, 2006).

Tablo 6. Alman DIN 4150 normuna göre maksimum parçacık hızı değerleri

Yapı Türü		İzin verilen pik parçacık hızı değeri (mm/sn)		
		Titreşim frekansı 0-10 Hz	Titreşim frekansı 10-50 Hz	Titreşim frekansı 50-100 Hz
Eski bina ve tarihi eserler, anıtlar	L3	3	3-8	8-10
Dayanıklı bina, beton, yığma tuğla	L2	5	5-15	15-20
Betonarme, çelik yapı	L1	20	20-40	40-50

Şekil 13'de gösterilen bu norm incelendiğinde; en alttaki çizgi kerpiç, eski yıpranmış tarihi eserler gibi sağlam olmayan yapılar, ortadaki kırıklı çizgi yığma tuğla, beton gibi nispeten dayanıklı yapılar, üstteki kırıklı çizgi ise betonarme çelik konstrüksiyon gibi dayanıklı yapılar için titreşim frekansına göre parçacık hızı (partiküler hız) sınırlarını belirlemektedir (Kahriman vd., 1999).



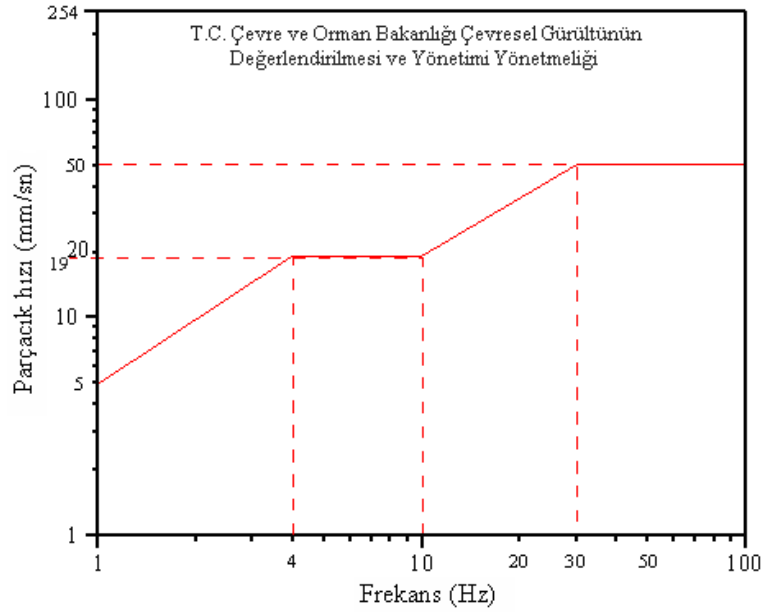
Şekil 13. Alman DIN 4150 normu grafiği

2.3.2.4.5. Ülkemizde Yer Titreşimleri ve Hasar Kriterleri

Ülkemizde patlatmalardan kaynaklanan yer titreşimleri ve hasar kriterlerini saptamak ve denetlemek için T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından 25862 sayılı *Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği*, esas alınmaktadır. Bu yönetmelikte kaya patlatma çalışmalarının yapıldığı, yerleşim alanlarında çeşitli titreşim kaynaklarının neden olacağı çevresel titreşimin kontrol altına alınmasına ilişkin titreşim frekansı ve izin verilen en yüksek titreşim hızı değerleri Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Patlama nedeniyle oluşacak titreşimlerin en yakın yapıda yaratacağı zemin titreşimlerinin izin verilen en yüksek değerleri (ÇOB, 2008).

Titreşim frekansı (Hz)	İzin verilen en yüksek titreşim hızı (Tepe değeri, mm/s)
1	5
4–10	19
30–100	50



Şekil 14. Çevre ve Orman Bakanlığınca izin verilen titreşim kriterleri

Tablo 7’deki titreşim frekansları 1 Hz- 4 Hz arasında 5 mm/s’den 19 mm/s’ye; 10 Hz- 30 Hz arasında 19 mm/s’den 50 mm/s’ye, logaritmik çizilen grafikte doğrusal olarak yükselmektedir (ÇOB, 2008). T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı maden ve taş ocakları için titreşim kriterlerine yönelik standart grafik Şekil 14’de görülmektedir (Kesimal vd., 2007).

2.3.3. Hava Şoku ve Gürültü

Patlatmadan kaynaklanan çevresel problemlerinden bir diğeri ise hava şoku veya gürültüdür. Patlatma çalışmalarında etkin önlemler alınmadığında, kaya çatlaklarından atmosfere hızlı ve erken boşalan reaksiyon ürünü gazlar önemli oranda hava şoku oluşturur (Erçıkıdı, 2004-b). Hava şokları, patlatmadan kaynaklanan hava basınç dalgaları olarak tanımlanmaktadır. Yüksek frekanslı basınç dalgaları duyulabilirken, düşük frekanslı olanlar ise etki ettiği yapılarda tıkırtılar oluşturduğunda duyulabilmektedir. Hava şoku düzeyi patlatma, arazi ve hava koşullarına bağlı olmaktadır. Patlatmadan kaynaklanan hava şokları yapılarda kırık ve çatlaklara, pencerelerde kırılmalara ve insanların rahatsız olmasına neden olabilmektedir (Erçıkıdı, 2004-b; Arpaz, 2000; Kahrıman vd., 1999).

Orman yollarında gerçekleştirilen kaya patlatma sonucu ortaya çıkan hava şoku ise ormandaki yaban hayatı ve canlı ekosistemi üzerinde olumsuz etkilere neden olabilmekte, orman içi ya da yakınında oturan orman köylüleri üzerinde ise psikolojik baskılar oluşturmaktadır. Patlatma sonucu ortaya çıkan gürültünün belirli değerleri aşması ve sürekli olması, orman yaban hayatını rahatsız etmekte ve doğal yaşam alanlarını terk etmeye zorlamaktadır. Bu doğal yaşam alanlarından uzaklaşma onların nesillerinin devamını güçleştirmektedir.

Patlatmadan kaynaklanan hava şoklarına neden olan önemli etkenler; gereğinden fazla şarj edilmiş delikler, zayıf sıkılama, açıktaki infilaklı fitil, uygun olmayan dilim kalınlığı, kayadaki çatlaklardan gaz kaçıışı olarak ifade edilebilir. Gürültü veya hava şoku, basınç (pascal) ya da desibel (dB) olmak üzere iki farklı birim ile ifade edilebilmektedir (Kahrıman, 1999, Erçıkıdı, 2004-b).

Sıkılama malzemesinin miktarı ve verimli olup olmaması hava şokları üzerinde etkili olmaktadır. Yeterince sıkılama kullanılmadığında sıkılama malzemesi delikten fırlayabilir ve patlayıcı enerjisi etkili bir şekilde kırma ve parçalama işi yapamaz. Yeterli sıkılama yapmak parçalanma işlemini artırır, bunun yanında hava şoku ile kaya fırlaması kontrol altına alınır (Erçıkıdı, 2004-b).

Gürültü, atım noktasından uzaklaştıkça hava şokunun bozulması ve dağılmasıyla oluşmaktadır (Arpaz, 2000). Gürültüden kaynaklanan problemler kişisel rahatsızlıklara ve diğeri şikâyetler şeklinde ortaya çıkmaktadır. Atım yapılan bölgedeki hava koşulları, rüzgârın yönü ve şiddeti, sıcaklık hava şoku enerjisini önemli şekilde etkilemektedir.

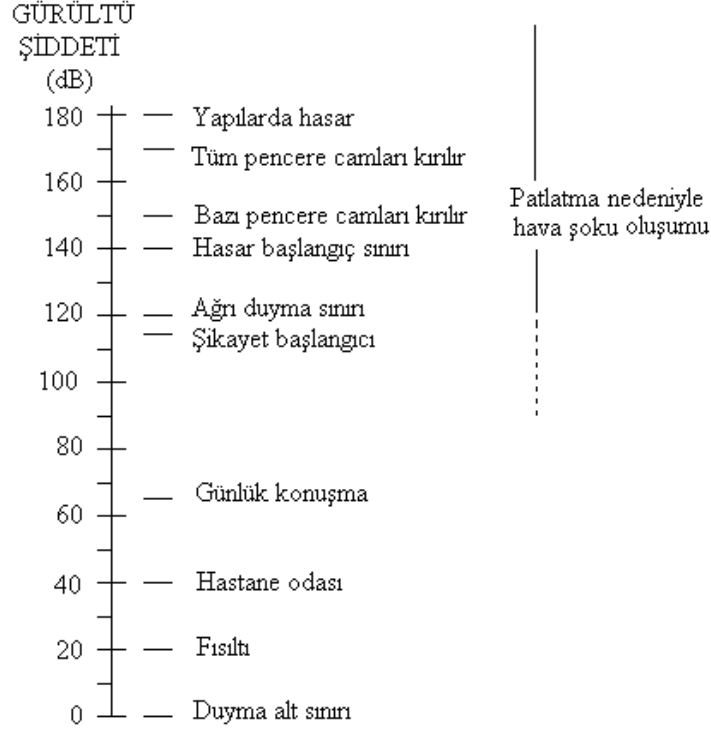
Gürültü şiddetinin iki katına çıkması demek meydana gelebilecek hasar olasılığının da iki katına çıkması anlamını taşımaktadır. Ayrıca sürekli olan bir gürültünün verdiği rahatsızlık ile aniden oluşan bir gürültünün verdiği rahatsızlık aynı değildir. Patlatma sonrası açığa çıkan iri blokların parçalanması amacıyla yapılan patar atımlarının oluşturacağı gürültü ve hava şoku, normal atımların oluşturduğundan daha fazladır (Erçikdi, 20004-b; Kesimal vd., 2003). İnsan kulağının duyabildiği ve gürültüye neden olan basınç dalgalarının frekansları 20 Hz'den büyüktür. Frekansları 20 Hz'in altında olan şok dalgaları ise camlarda şingirdamalara ve evlerdeki eşyaların yerinden oynamalarına neden olarak insanlar tarafından sarsıntı olarak algılanır (Cihangir, 2006).

İnsan kulağı frekansı 20–20 000 Hz arasındaki mekanik titreşimleri ses olarak duyabilmektedir. Gürültü desibel (dB) ile ölçülmekte olup, değişik ses sistemlerini karşılaştırmak için logaritmik esasa dayanır. Ses ölçme aletleri değiştirilebilen A, B ve C filtrelerine göre sesi dB(A), dB(B) ve dB(C) cinsinden ölçerler (Yıldırım, 1989).

Ergonomik açıdan gürültü insan üzerinde fizyolojik ve psikolojik etkiler yaparak, insanın huzurunun kaçmasına ve veriminin düşmesine neden olmaktadır. Yapılan araştırmalar; gürültünün yoğunluğu, gürültünün zaman içinde ki akışı, frekansı ve etki süresi insan verimi üzerine gürültünün rol oynayan unsurları olduğunu ortaya koymuştur. İnsanın fiziksel ve psikolojik durumu, gürültü kaynağına kendini kaptırıp kaptırmaması ve meşguliyeti gürültünün kişi üzerindeki etkisini farklı kılar (Acar, 1998).

ABD'de (USBM ve OSMRE kuralları) yapılan yasal düzenlemelerle 140 desibele (dB) karşılık gelen hava şoku düzeyi hasar başlangıç ve gürültü üst sınırı olarak belirlenmiştir. Hava şoku etkisinin uzaklıkla azaldığı bilinmektedir (Bilgin, 1998; Kahrıman, 1999).

Hava şokunu oluşturan havadaki basınç dalgalarının yapılarda değişik hasarlar oluşturabilmesi için 150 dB seviyesine ulaşması gerekmektedir. Genliğin yükselmesi ile 150 dB seviyesinde pencere camları çatlamaya ve kırılmaya başlar. Pencere camlarının çoğu, 160 dB seviyesindeki genlikte kırılacaktır. Binalardaki yapısal hasar ise 180 dB ve üzerinde oluşmaktadır (Durmuş, 2005; Cihangir, 2006). Şekil 15'de insanların ve yapıların gürültü ve hava şokundan etkilenme dereceleri gösterilmiştir. Burada da görüleceği gibi 140 desibele karşılık gelen değer hasar başlangıç sınırı ve gürültü üst sınırı olarak kabul edilmektedir.



Şekil 15. Gürültü ve hava şokunun insanlar ve yapılardaki etkileri

Herhangi bir yerdeki gerçek hava şoku ve gürültü seviyeleri meteorolojik veya topografik şartlarla birlikte atım geometrisine bağlı olmaktadır (Arpaz, 2000). Bu nedenle çok ciddi şikâyetlerin yaşandığı bölgelerde, bu tahminlere ek olarak hava şoku ölçümlerinin yapılması gerekir.

25862 sayılı yönetmelikte çevresel gürültüye sınırlamalar getirilmiştir. İnsan işitme sistemi özelliği dikkate alınarak ses basıncı seviyesinin frekanslara göre ayrılmıştır. İnsan işitme sisteminin en çok duyarlı olduğu orta ve yüksek frekanslara daha fazla ağırlık veren ses düzeyi ölçütü dB(A) olarak tanımlanmaktadır. A ağırlıklı ses düzeyi gürültünün değerlendirilmesi ve kontrolünde yaygın olarak kullanılır (ÇOB, 2008). Şantiye alanındaki faaliyetlerden çevreye yayılan gürültü seviyesi sınır değerleri Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. ÇOB şantiye alanı için çevresel gürültü sınır değerleri (ÇOB, 2008).

Faaliyet türü (yapım, yıkım ve onarım)	$L_{gündüz}$ dB(A)
Bina	70
Yol	75
Diğer kaynaklar	70

2.3.4. Yer Sarsıntısı ve Hava Şoku Etkilerini Azaltma Yöntemleri

Patlatmadan kaynaklanan yer sarsıntıları taşıdıkları enerji düzeyi oranında hasara neden olurlar. Çevreye verilen hasarlarda, tek başına sarsıntıların taşıdıkları enerji düzeyi sorumlu olmamaktadır. Bu olayda çevre binaların yapım tekniği, boyutları kadar üzerinde oturdukları zemin özellikleri de etkin olabilmektedir. Bu nedenle sarsıntıya bağlı hasar etütlerinde çok kapsamlı çalışmak gerekir (Kahriman vd., 1999).

Patlatma tasarımlarının yapılmasında ve patlatmanın çevresel etkileri üzerinde pek çok parametre etkili olmaktadır. Ancak bu parametrelerden bir kısmı değiştirilebilirken, bir kısmının değiştirilme olanağı yoktur. Hem yer sarsıntısı hem de hava şoku üzerinde etkili olduğu kabul edilen parametreler Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. Yer sarsıntısı ve hava şoku düzeylerini azaltmak için dikkate alınması gereken parametreler (Arpaz, 2000; Erçıkıd, 2004-b).

Değiştirilebilen parametreler	Yer Sarsıntısı	Hava Şoku
1. Gecikme başına patlayıcı madde miktarı	Çok etkili	Çok etkili
2. Gecikme süresi	Çok etkili	Çok etkili
3. Dilim kalınlığı	Çok etkili	Orta etkili
4. Delikler arası mesafe	Orta etkili	Orta etkili
5. Delik çapı	Orta etkili	Az etkili
6. Delik taban payı	Orta etkili	Az etkili
7. Delik boyu	Orta etkili	Orta etkili
8. Ateşleme yönü	Çok etkili	Orta etkili
9. Delik eğimi	Orta etkili	Orta etkili
10. Sıkılama boyu ve malzemesi	Orta etkili	Çok etkili
11. Atım grubu boyutları ve şekli	Çok etkili	Çok etkili
12. Şarj şekli	Orta etkili	Az etkili
13. Ateşleme yöntemi	Çok etkili	Çok etkili
14. Atımdaki toplam patlayıcı miktarı	Az etkili	Az etkili
Değiştirilemeyen parametreler		
15. Örtü tabakasının özellikleri	Çok etkili	Orta etkili
16. Jeolojik faktörler	Çok etkili	Orta etkili
17. Yapının konumu	Çok etkili	Orta etkili
18. Yeraltı suyu durumu	Çok etkili	Az etkili
19. Atmosferik koşullar	Az etkili	Etkili

Yer sarsıntılarının azaltılması için gecikme başına düşen patlayıcı madde miktarını azaltarak, parçacık hızının genliğini düşürmenin en iyi yollardan biri olduğu pek çok

kaynakta vurgulanmaktadır. Ayrıca delik çapının, dilim kalınlığının, delikler arası mesafenin ve basamak yüksekliğinin küçültülmesi, kademeli şarj uygulanması gibi yöntemler üzerinde de durulmaktadır.

Genel olarak yer sarsıntısını azaltmak için;

1. Basamak patlatmasında uygun gecikme aralıklı ateşleme sistemleri kullanılır.
2. Her gecikme aralığında atılacak patlayıcı miktarına kısıt getirilerek, sarsıntı düzeyi denetlenir.
3. Patlatma noktası ile yapılar arasındaki zemin etüt edilerek, amplifikasyon ve polarizasyon ile sürpriz yapılabilecek jeolojik bulguların olup olmadığı araştırılır.
4. Arazi katsayıları tespit edilerek, uygun ölçekli mesafeler tayin edilir.
5. Çevredeki yapılar incelenir ve bu yapılara hasar vermemek için ilk dört maddedeki bulgular kullanılarak uygun patlatma tasarımı yapılır ve önerilir (Bilgin, 1998; Kahrıman vd., 1998).

2.3.5. Toz Oluşumu

Orman yollarında hem kazı çalışmaları hem de delme ve patlatma nedeni ile bir miktar toz oluşmaktadır. Patlatmalı kazı çalışmaları sonucu oluşan tozun çevrede yaşayanların sağlığı üzerinde olumsuz etkiye sahip olup, bitki yaprakları üzerinde biriken tozun uzun süre burada kalması durumunda bitkinin gelişimini ve biyolojik artımını olumsuz yönde etkileyebileceği bilinmektedir.

Orman yollarında kaya patlatma nedeni ile ortaya çıkan çevresel etkileri en aza indirecek, kazı çalışmalarını aksatmayacak çevresel açıdan uygun bir delme-patlatma yönteminin ortaya konulması gerekir. Bu amaçla, mevcut kaya patlatma yönteminin ortaya konulması, patlatma sonucu oluşan; kaya fırlaması, yer sarsıntısı ve hava şokları ve oluşum nedenlerinin ortaya konulması gerekir. Çevresel etkilerin oluşumuna neden olan patlatmanın kontrol edilebilir parametrelerinin belirlenmesi, kaya fırlamalarını en aza indirecek yöntem ve modelin ortaya konulması ve yer sarsıntısı ile hava şoku değerlerinin uluslararası ve ulusal kriterlere göre hasar olasılıklarının belirlenmesi ve bu etkilerin azaltılması için patlatma tasarımının yapılması gereklidir.

3. YAPILAN ÇALIŞMALAR

3.1. Araştırmanın Coğrafi, Teknik ve Zaman Açısından Sınırlandırılması

Bu doktora tezi çalışmasının konusu; dağlık ve kayalık arazide yayılış gösteren ormanlarda inşa edilen orman yollarında patlatma tabanlı kazı çalışmalarının ortaya çıkardığı çevresel problemlerdir. Bu amaçla Doğu Karadeniz Bölgesinde (DKB) yer alan, dağlık ve kayalık araziye sahip Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü (OBM) sınırları içerisinde ihale edilerek yaptırılmakta olan orman yollarında patlatmalı kaya kazısı çalışmalarının ortaya çıkardığı çevresel problemler incelenmiştir. Bu nedenle elde edilen sonuçlar, kaya delme ve patlatmanın yapılacağı benzer koşullar için geçerlidir.

Araştırma konu bakımından, orman yollarında gerçekleştirilen kaya patlatma çalışmalarının çevresel etkilerinin incelenmesi olarak sınırlandırılmıştır. Bu amaçla orman yollarında uygulanmakta olan kaya patlatma tekniği ve yönteminin ortaya konularak, çevresel açıdan eksikliklerinin belirlenmesi, oluşturduğu çevresel etkilerden yer sarsıntısı ve hava şoku değerlerinin ölçümü ile bunların uluslararası standartlarla karşılaştırılması, kaya fırlamasına neden olan değiştirilebilir parametrelerin belirlenerek kaya fırlamalarını en aza indirecek modelin ortaya konulması olarak sınırlandırılmıştır.

Doğu Karadeniz yöresi ormanları genelde yüksek rakımlı, sarp ve güç arazi koşullarını ihtiva eden alanlar üzerinde yayılmıştır. Düz ve düze yakın alanlar yok denecek kadar azdır. Arazideki girinti ve çıkıntılar fazla olup, taşlık ve kayalık alanlar yoğundur. Orman yolu inşaatlarının sürdürüldüğü Trabzon OBM hem yöre ormanlarını hem de yörenin dağlık arazi yapısını karakterize etmektedir.

Arazi çalışmaları için ülkemizin en dağlık, engebeli ve orman yolu inşaatının en pahalı olduğu Doğu Karadeniz Bölgesi seçilmiştir. Bölgede yer alan Trabzon OBM idari sınırları içerisindeki Torul Orman İşletme Müdürlüğü ve Trabzon Orman İşletme Müdürlüğü'ne ait planlaması yapılmış ve yatırım programlarına göre inşaatı sürdürülmekte olan orman yolları seçilmiştir. Sınırlandırılan alan, hem dağlık ormanların özelliklerini yansıtmakta, hem de arazi yapısı ve topografik yapı itibari ile Doğu Karadeniz Bölgesi ormanlarının genel özelliklerini göstermektedir.

Yapılan bu çalışma teknik açıdan; orman yollarında patlayıcı maddelerle kaya patlatma çalışmaları ve bu çalışmalarda kullanılan yol yapım makinelerinin varlığı ile sınırlandırılmıştır. Çalışmanın yapıldığı Trabzon Orman Bölge Müdürlüğünde yapımı gerçekleştirilen orman yolu inşaatlarının tümünde kazı çalışmaları için hidrolik ekskavatörler, ekskavatöre monte edilebilen kırıcıları ve kayada patlatma deliklerinin açılması için ise pnömatik kompresörler kullanılmaktadır.

Bölgede orman yolu inşaatı çalışmaları genellikle yaz sonu ve sonbahar aylarında sürdürülmektedir. İşletme şefliklerinin yol ağı planlarına göre yapımı sürdürülen orman yolu inşaatları, genel olarak 500 m ile 3 km'ye kadar değişen uzunluklarda yaptırılmaktadır.

Orman idaresi bu uzunluklardaki orman yolu inşaatının yapılıp bitirilmesi için müteahhitlere, 1-3 ay gibi inşaat süresi vererek yer teslimatı yapmaktadır. Yer teslimatı genellikle Ağustos ayı içerisinde olmakta, yol inşaatları ise Kasım ayına kadar devam etmektedir. Bu nedenle zamansal olarak çalışma kapsamında Ağustos-Kasım aylarındaki inşaat çalışmaları sürdürülen orman yolları incelenmiştir. Bu bakımdan çalışma yaz ve sonbahar aylarında yapılan orman yolu inşaatlarındaki kaya patlatma çalışmaları ile bunların çevresel etkilerini kapsamakta olup, kış aylarını kapsamamaktadır.

3.2. Araştırmanın Planlanması

Bu çalışmada temel amaç, yukarıda sınırlandırılması yapılan ve dağlık arazi koşullarına sahip orman yolu inşaatlarında uygulanan alışılmış kaya patlatma tekniği sonuçlarının teknik ve çevresel açıdan ortaya konulmasıdır. Patlatmanın çevresel etkilerinden; yer sarsıntı ve hava şoku değerlerinin ölçülüp uluslararası standartlarla karşılaştırılması, kaya fırlamasına neden olan parametrelerin ölçülmesi ile belirlenen koşullar için kaya fırlamalarını en aza indirecek tasarımların ve modelin oluşturulması ve patlatmalı kazı çalışmalarının yapıldığı kaya türleri için kazılabilirliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla araştırma;

1- Yol yapım alanlarına ait bilgi ve belgelerin toplanması: İhale edilerek inşası gerçekleştirilecek orman yollarına ait bilgi ve materyal elde edilmiş, patlayıcı maddelerle kaya patlatma için izin verilen orman yolları belirlenmiştir.

2- Arazi etütlerinin yapılarak yol inşaat alanlarının seçilmesi: Belirlenen orman yollarının inşaat geçkileri incelenerek, kaya kazısı veya kaya patlatmanın yoğun olduğu

orman yolları seçilmiştir. Orman yol yapım yerleri seçilirken, hâlihazırdaki mevcut yapım alanlarından, kaya patlatmanın ormanlık alan içerisinde olduğu kaya kazısı ile kaya patlatma işlerinin yapılacağı alanlara öncelik verilmiştir.

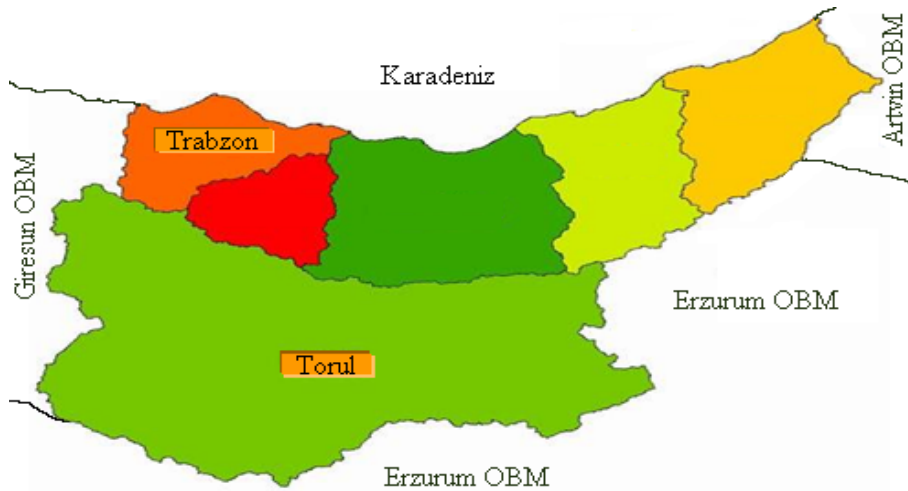
3- Orman yollarında ön etütler yapılması ve veri toplama: Orman yolu inşaatı ve kaya patlatma tekniğinin ortaya konması ile patlatmanın çevresel etkilerinin ayrıntılı ölçümü ve tespitinde kullanılacak arazi etüt formu ön etütler yapılarak hazırlanmıştır.

4- Uygulanan kaya patlatma tekniği ve çevresel etkilerinin ortaya konulması ve bu etkilerin minimize edilmesi; bunun için kaya patlatma öncesi ve sonrasında gerekli ölçümlerin alınması, elde edilen verilerin analizi ve değerlendirilmesi ile patlatmanın çevresel etkilerinin en aza indirilmesi için tasarımların ve modelin ortaya konulması şeklinde planlanmıştır.

3.3. Materyal

3.3.1. Araştırma Alanları

Bu çalışma, Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü (OBM) idari sınırları içerisinde, Torul ve Trabzon Orman İşletme Müdürlüklerinde yeni inşa edilen orman yollarında patlayıcı maddelerle kaya kazısı faaliyetlerinin orman yollarında gerçekleştirilmiştir. Araştırma orman işletme şefliklerinin yol ağı planında yer alan yeni yol yapımı sırasında patlayıcı madde kullanılarak kaya kazısının yapıldığı yerlerde sürdürülmüştür (Şekil 16).



Şekil 16. Trabzon Orman Bölge Müdürlüğündeki araştırma alanları

Araştırma alanları; Torul Orman İşletme Müdürlüğü, Alacadağ Orman İşletme Şefliğinde 126 ve 120 kod numaralı orman yolları ve Trabzon Orman İşletme Müdürlüğü, Şalpaazarı Orman İşletme Şefliğinde 002 kod numaralı yol ile Vakfikebir Orman İşletme Şefliğinde ise 011 ve 029 kod numaralı orman yolları olmak üzere beş ayrı orman yolu seçilmiştir.

3.3.1.1. Alacadağ Orman İşletme Şefliğine Ait Genel Bilgiler

Alacadağ Orman İşletme Şefliği, Gümüşhane ili Torul ilçesi sınırları içinde ve idari bakımdan ise Trabzon OBM, Torul Orman İşletme Müdürlüğüne bağlıdır. Coğrafi olarak Doğu Karadeniz yöresinde, 1/25000 ölçekli standart topografik haritalarda Trabzon G42-a3, G42-a4, G42-d1, G42-d2 paftalarında yer almaktadır. Bölge ekvatora göre 40° 40' 28" ile 40° 49' 10" kuzey enlemleri ile 39° 00' 38" ile 39° 10' 22" doğu boylamları arasındadır. Bölgenin en yüksek noktası doğuda 2182 rakımlı Kurban Tepesi, en düşük noktası ise Deregözü deresi ile Harşit çayının birleştiği 430 rakımlı yerdir. Sahanın Ortalama rakımı 1306 m, ortalama eğimi % 61–80 olup, yer yer % 100'e ulaşmaktadır (AOİŞAP, 2006).

İşletme şefliği ormanları Doğu Karadeniz dağlarının kuzeye bakan kesimlerinde yer almaktadır. Yılın her ayı yağışlı geçer ve yağışlar genel olarak yağmur şeklindedir. Fakat yüksek kısımlar, kışın 4–5 ay karla kaplıdır. İklim genel olarak fazla sıcak olmayan yazları mutedil, kışları ise tipik Karadeniz iklimidir. Bölge jeolojik olarak; ikinci zamana ait üst krateseden oluştuğu, yöreye özellik veren ana kayanın ise volkanik olması ve ayrışma nedeni ile derin toprakların meydana geldiği anlaşılmaktadır (AOİŞAP, 2006).

Alacadağ Orman İşletme Şefliğine ait amenajman planına göre işletme şefliği ladin, kayın, su koruma ve yaban hayatı koruma işletme sınıflarına ayrılmış ve toplam ormanlık alanı 9 770,0 hektar, açıklık alanı 2 705,5 ha olmak üzere genel toplamda 12 475,5 ha alana sahiptir. Plan ünitesindeki alanların dağılışı Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Alacadağ şefliğine ait işletme sınıfları itibari ile alan dağılımı (AOİŞAP, 2006).

İşletme sınıfları	Ormanlık alan (ha)	Ormansız alan (ha)	Genel toplam (ha)
A- Ladin	2453,5	618,0	3071,5
B-Kayın	3060,0	349,0	3409,0
C-Su koruma	3657,0	1735,0	5392,0
D-Yaban hayatı koruma	599,5	3,5	603,0
Plan ünitesi toplamı	9770,0	2705,5	12475,5

3.3.1.2. Şalpaazarı Orman İşletme Şefliğine Ait Genel Bilgiler

Şalpaazarı Orman İşletme Şefliği, Trabzon ili Şalpaazarı ve Vakfıkebir ilçesi sınırları içinde bulunmakta ve idari bakımdan ise Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü, Trabzon Orman İşletme Müdürlüğüne bağlı bulunmaktadır. Coğrafi olarak Doğu Karadeniz yöresinde, 1/25000 ölçekli standart topografik haritalardan Trabzon F42-d3, F42-c4, G42-b1, G42-a3, G42-a4 paftalarında yer almaktadır. Bölge ekvatora göre 40° 45' 02" ile 41° 04' 31" kuzey enlemleri ile 39° 07' 17" ile 39° 16' 00" doğu boylamları arasında yer almaktadır. Plan ünitesinin içindeki en yüksek nokta güneyde 2150 m rakımlı Alaca yayla içindeki isimsiz tepe, en düşük rakımlı nokta Karadeniz kıyısı şerididir (ŞOIŞAP, 2003).

Şalpaazarı (Gökçeşehir) plan ünitesi Doğu Karadeniz yöresinde Karadenize paralel dağ silsilelerinin kuzeye bakan yamaçlarındadır. Karadeniz ikliminin belirgin etkisi altında, yılın her mevsimi yağışlı geçer, yükseldikçe iklim sertleşir. Yağışlar genel olarak yağmur şeklindedir (ŞOIŞAP, 2003).

Bölge jeolojik olarak; plan ünitesi ikinci zamana ait üst krateseden magmatik kayalardan oluşmuştur. Ana kaya esas itibariyle püskürük kayalardan oluşmuş olup en çok rastlanan çeşitleri granit, diyorit, granodiyorit, kuvarslı diyorit, vb'dir. Plan ünitesinde genellikle orta derin, sıg ve derin killi balçık topraklar hâkimdir (ŞOIŞAP, 2003).

Şalpaazarı Plan ünitesine ait amenajman planına göre, işletme şefliği ladin-kayın, kızılâğaç ve muhafaza karakterinde işletme sınıflarına ayrılmıştır. Plan ünitesinin toplam alanı 25289,6 ha olup, plan ünitesindeki alanların dağılışı Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11. Şalpaazarı serisi işletme sınıfları itibari ile alan dağılımı (ŞOIŞAP, 2003).

İşletme sınıfları	Ormanlık alan (ha)	Ormansız alan (ha)	Genel toplam (ha)
A-Ladin-kayın	6877,5	2501,5	9379,0
B-Kızılâğaç	3358,0	3515,5	6873,5
C-Muhafaza	1591,0	7446,0	9037,0
Plan ünitesi toplamı	11826,5	13463,0	25289,5

3.3.1.3. Vakfikebir Orman İşletme Şefliğine Ait Genel Bilgiler

Vakfikebir Orman İşletme Şefliği, Trabzon ili Vakfikebir ilçesi sınırları içinde ve idari bakımdan ise Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü, Trabzon Orman İşletme Müdürlüğüne bağlı bulunmaktadır. Coğrafi olarak Doğu Karadeniz yöresinde bulunmakta olup, bölge ekvatora göre 40° 54' 53" ile 41° 06' 26" kuzey enlemleri ile 39° 15' 00" ile 39° 27' 27" doğu boylamları arasındadır. Plan ünitesi içindeki en yüksek nokta 1895 m rakımlı Karadağ yaylasının batısındaki isimsiz tepe, en düşük rakımlı nokta ise Karadeniz kıyısı şerididir (VOİŞAP, 2003).

Vakfikebir plan ünitesi Doğu Karadeniz yöresi iklimi özelliklerini yansıtmaktadır. Bu bölgede her mevsim yağış alan, ılıman bir iklim hüküm sürmektedir. Yağışlar genel olarak yağmur şeklindedir. Bölge jeolojik olarak; plan ünitesinin sahil şeridi volkanik sahre ara tabakalı neojen, iç kısımları volkanik sahre ara tabakalı genellikle kratese'den oluşmuştur (VOİŞAP, 2003).

Vakfikebir Plan ünitesine ait amenajman planına göre işletme şefliği kızılâğaç, ladin, kayın ve muhafaza karakterinde işletme sınıflarına ayrılmıştır. Plan ünitesinin toplam alanı 20 860,5 ha olup, plan ünitesindeki alanların dağılışı Tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 12. Vakfikebir serisi işletme sınıfları itibari ile alan dağılımı (VOİŞAP, 2003).

İşletme sınıfları	Ormanlık alan (ha)	Ormansız alan (ha)	Genel toplam (ha)
A-Kızılâğaç	4065,5	2352,5	6428,0
B-Ladin	1115,0	241,5	1356,5
C-Kayın	632,5	79,5	712,0
D-Muhafaza	1661,5	10702,5	12364,0
Plan ünitesi toplamı	7474,5	13386	20860,5

3.3.2. Orman Yolu İnşaatlarında Kullanılan Ekipmanlar

Orman yol inşaat makinelerinin seçiminde; arazinin eğimi, zeminin yapısı ve kayaların parçalanabilirliği, makinelerin çalışma tarzı ve zemine yapılan basınç, taşınacak materyal miktarı, taşıma uzaklığı ve taşıma yönü etkili olmaktadır (Edaş, 1986). Karayolu yapımında kullanılan birçok araç, orman yolu yapımında da kullanılmaktadır. Ancak büyük yapım makinelerinin orman yollarında kullanılabilirliğini, dar kurplar gerektiren ve

araziye tam anlamıyla uyumunu zorlaştıran düşük standartlı orman yolları sınırlandırmaktadır (Acar vd., 2005).

Araştırmanın sürdürüldüğü orman yollarında, çevreyi koruyucu özelliklerinden dolayı paletli hidrolik ekskavatörler, kayaların kırılmasında ekskavatör koluna monte edilebilen kaya kırıcısı ve patlayıcı maddelerle kayaların gevşetilmesi amacıyla kayaların delinmesinde ise pnömatik kompresörler kullanılmıştır. Orman yolu inşaatlarında kullanılan ekipmanlar ile kaya patlatma çalışmalarında kullanılan materyallere ilişkin detaylı bilgiler aşağıda verilmiştir.

3.3.2.1. Kullanılan Paletli Hidrolik Ekskavatörler

Orman yolu kazı çalışmaları sırasında farklı firmalar tarafından üretilmiş, çeşitli tip ve özelliklere sahip paletli hidrolik ekskavatörler kullanılmıştır. Hidrolik ekskavatörler, 20–25 ton ağırlığında ve 0,8–1,40 m³ kova kapasitesine sahiptirler. Yapımı gerçekleştirilen orman yollarında kullanılan ekskavatörler ve bunlara ait genel özellikler Tablo 13’de verilmiştir. Kazı çalışmaları sürdürülürken paletli hidrolik ekskavatör, kaya kırıcısı ile birlikte kullanılmıştır (Şekil 17).

Tablo 13. Araştırma alanlarında kullanılan hidrolik ekskavatörler ve teknik özellikleri (Hyundai, 2008; Liebherr, 2008; Sumitomo, 2008; Komatsu, 2008)

Yol yapım yeri	Alacadağ O.İ.Ş		Şalpazarı O.İ.Ş	Vakfikebir O.İ.Ş		Birimi	
Yol kod no	126	120	002	011	029		
Üretici firma	Hyundai	Liebherr	Sumitomo	Komatsu	Hyundai		
Modeli	R210 LC-7	A 904	SH200LC-3	PC220-7	R210 LC-7		
Model yılı	2005	2005	2005	2005	2005		
Motor gücü	112	99	103	125	112		kW
Çalışma ağırlığı	21,7	18,0	19,5	22,8	21,7		ton
Kova hacmi	1,34	1,05	0,8	1.26	1,4	m ³	

O.İ.Ş: Orman İşletme Şefliği

Yol yapım alanlarında, ekskavatör kovasıyla kazılması ve sökülmesi mümkün olmayan kaya blokları ekskavatör koluna monteli kırıcı ile kırılmaktadır (Şekil 17). Ancak yapılan çalışmalar sırasında, operatörler kullanılan ekskavatörün erken yıpranacağı

düşüncesiyle kayaların kırıcı ile kırılmasından ziyade patlayıcılarla kazısını tercih ettikleri belirlenmiştir.



Şekil 17. Orman yolu yapımında hidrolik ekskavatörle toprak ve kaya kazısı

3.3.2.2. Kaya Delmede Kullanılan Ekipman

Orman yollarında kayaların patlatılması amacıyla hava basıncı ile çalışan kompresörler kullanılmıştır. Kompresörlerin meydana getirdiği 5–7 atmosferlik basınçlı hava hortumlarla hava basıncı ile çalışan tabancalara (martoperfaratör) sevk edilerek burguları (matkap) harekete geçirmektedir. Kompresör hortumları genelde 80 m'ye kadar uzanmaktadır (Şekil 18).



Şekil 18. Pnömatik (havalı) kompresörle patlatma deliklerinin delinmesi

Deliklerinin açılmasında 80 cm ve katları uzunluğundaki matkaplar kullanılmıştır. Deliklerin açılmasında 80 cm boyuttaki matkapla ve çapı en geniş keski ile başlanmaktadır. Daha uzun matkaplar kullanılırken matkabın kenetlenmesini önlemek için keski gittikçe küçültülmektedir (Şekil 19).



Şekil 19. Kaya delme tabancası (martoperfaratör) ve matkap keski ucu

3.3.2.3. Kaya Patlatmada Kullanılan Materyaller

3.3.2.3.1. Ateşleme Sistemi

Kaya partilerinin dinamit ve benzeri patlayıcıları infilak ettirmesi amacıyla elektrikli kapsüller kullanılmaktadır. Araştırma alanlarında kullanılan elektrikli kapsüller, çoğunlukla Makine ve Kimya Endüstrisi Kurumu (MKE) Av ve Fişek Sanayi ve Ticaret A.Ş. yapımıdır. Bu kapsüller gecikme zamanlarına göre 16 tipte üretilmekte ve 1/K dip numaralı elektrikli kapsül 30 ms gecikmeye sahip olup, 16/K dip numaralı kapsül ise 480 ms gecikmeye sahiptir (MKE, 2008).

Orman yolu kaya patlatma çalışmalarında MKE yapımı bu kapsüllerden genellikle 150 ms gecikmeli (5/K dip numaralı) 6,33 mm çapında, 62 mm boyunda, kablo boyu 2,5 m uzunluğunda olan elektrikli kapsüller kullanılmıştır. Bununla birlikte, yapılan gözlemler sırasında değişik firmalarca ithal edilen PEL marka 25 ms gecikmeli ve MKE yapımı 450 ms gecikmeli (15/K dip numaralı) elektrikli kapsüllerin kullanılmıştır.

3.3.2.3.2. Kullanılan Patlayıcı Maddeler

Orman yollarında kayaların parçalanmasında kullanılan başlıca patlayıcı maddeler, farklı üretici ve ithalatçı firmalarca piyasada bulundurulan patlayıcılardan oluşmaktadır. Kompresörle açılan patlatma delikleri 2,5 cm çapında olduğundan, bu çaplarda üretilen patlayıcı kartuşları ile emülsiyon patlayıcılar kullanılmaktadır.

Bunlardan MKE, Barutsan AŞ tarafından üretilmekte olan 25 mm çapında ve 200 mm boyunda, parafinli kraft kağıtlı kartuşlara sarılı, ortalama ağırlığı 140 gr kartuş tipinde Jelatinit dinamitler kullanılmaktadır. Bununla birlikte yemlemeye duyarlı Amonyum Nitrat Fuel Oil (ANFO) kullanılmaktadır (Şekil 20). Dinamit, kuru deliklerde ANFO'nun yemlenmesi için kullanılırken, ıslak deliklerde ise ANFO suya dayanıksız olduğundan sadece dinamit kullanılmaktadır.



Şekil 20. Kullanılan Jelatinit dinamit, elektrikli kapsüller ve ANFO

ANFO, oksitleyici olarak ağırlıkça % 94,3 oranında Amonyum Nitrat (AN) ve yakıt olarak (indirgen) % 5,7 oranında Fuel-Oil'in homojen şekilde karıştırılması sonucu elde edilen bir patlayıcıdır. ANFO'nun etkin bir şekilde ateşlenmesinde yemleyici dinamit hayati öneme sahiptir. ANFO'yu en yüksek potansiyel değerinde ateşlemek için Jelatinit dinamit gibi hızı yüksek bir yemleyici kullanılmalıdır (MKE, 2008).

MKE üretimi patlayıcılara ilaveten, Nitromak AŞ'nin ürettiği kapsüle duyarlı Emulite TG ve Emulite E100 (Nobelex 100) su bazlı patlayıcılar ile Orica firmasının ürettiği kapsüle duyarlı emülsiyon patlayıcılar kullanılmıştır. Araştırmanın sürdürüldüğü

orman yollarında kullanılan patlayıcı maddeler ve teknik özellikleri Tablo 15’de verilmiştir.

Tablo 14. Orman yollarında kullanılan patlayıcı maddeler ve teknik özellikleri

Patlayıcı Adı	Yoğunluğu (gr/cm ³)	PATLAMA			Suya direnci	Kartuş			Üretici firma
		Hızı (m/sn)	Enerjisi (MJ/kg)	Basıncı (Gpa)		Çapı (mm)	Boyu (mm)	Ağırlığı (gr)	
Jelatinit dinamit	1,50	7527	4,696	23.271	Çok iyi	25	200	140	MKE
Emulite TG	1,10-1,15	5000	4,280	-	Çok iyi	27	245	155	Nitromak
Emulite E-100	1,15	5000	3,370	74	Çok iyi	50	270	625	Nitromak
Magnum 365	1,20	6437	4,433	-	Çok iyi	27	225	155	Orica
ANFO	0,79 – 0,82	3500-4300	3,900	-	Yok	25 kg torba			MKE

3.3.3. Araştırmada Kullanılan Cihaz ve Aletler

Bu araştırmada hem arazide gerçekleştirilen hem de laboratuvar çalışmaları sırasında kullanılmış olan araştırma materyalleri kullandıkları yerlere göre ayrıntılı olarak aşağıda verilmiştir.

3.3.3.1. Yer Sarsıntısı ve Hava Şoku İzleme Sistemi

Kaya patlatma ile ortaya çıkan yer sarsıntısı, hava şoku çevresel etkilerin ölçümleri için değişik firmalar tarafından geliştirilmiş birçok izleme sistemi mevcuttur. Bu ölçüm cihazlarında genel olarak 5 temel bileşen bulunmaktadır (Erçikdi 2004-b, Cihangir 2006). Bunlar;

1) Jeofon ve mikrofon: Her ikisi de zamana bağlı olarak, elektrik sinyalleri şeklinde ölçümler yaparlar. Jeofon yer sarsıntısında parçacık hızı bileşenlerini (enine, düşey, boyuna) değerlerini, mikrofon ise hava şoku ve gürültü değerlerini ölçmektedir.

2) Bağlantı kabloları: Jeofon ve mikrofondan gelen elektrik sinyallerini yükselticiye iletirler.

3) Yükseltici ve sinyal düzenleyici: Jeofon ve mikrofondan gelen elektrik sinyallerini yükselterek ve analog verileri sayısal verilere çevirirler.

4) Disk: Sayısal veriler kayıt edilir.

5) Yazıcı: Diske kaydedilen veriler zaman esaslı olarak yazdırılır.

Orman yollarında kaya patlatmalarının açığa çıkardığı yer sarsıntısı ve hava şoku değerlerinin ölçülebilmesi için InstanTEL firmasının ürettiği, InstanTEL Minimate Plus marka ve modeldeki yer sarsıntısı ve hava şoku izleme cihazı kullanılmıştır (Şekil 21).

InstanTEL Minimate Plus serisi sismograflar (titreşim ölçerler) kayıt yapan kanal sayısına göre iki ayrı modeldirler. Bunlardan standart olanı dört kanallı, diğeri sekiz kanallı ölçüm yapacak şekilde tasarlanmıştır (InstanTEL, 2006). Bu çalışmada 4 kanallı ölçüm sismografı kullanılmıştır. Burada jeofon yer sarsıntısını 3 yönde (enine, düşey, boyuna) ve zamana bağlı olarak elektrik sinyalleri şeklinde ölçerken, mikrofon ise hava şoku (gürültü) değerlerini zamana bağlı olarak elektrik sinyalleri şeklinde ölçmektedir.

Yer sarsıntısı ve hava şoku izleme cihazı temel olarak ana gövdeye kablolarla bağlanan biri *jeofon* diğeri *mikrofon* olmak üzere iki ana parçadan oluşmaktadır. Patlatma sırasında meydana gelen yer sarsıntısının ölçümü jeofon, hava şoku değerlerinin ölçümü ise mikrofon ile gerçekleştirilmektedir. Jeofon ve mikrofon yardımı ile alınan ölçümler, sismografin ana gövdesi üzerindeki monitörde gösterilmekte ve belleğine kayıt edilmektedir.



Şekil 21. InstanTEL Minimate Plus model sismograf (InstanTEL, 2006).

InstanTEL Minimate Plus marka ve modeldeki cihaz kayıtları; zaman esaslı olarak her bir atım için hava şoku, genlik, frekans, ivme ve parçacık hızı bileşenlerini (boyuna, enine, düşey, bileşke ve maksimum) içermektedir. Cihaz sürekli kayıt yapabilmekte olup, kaydedilen olayların analizi ve hafızanın boşaltılabilmesi için veriler bilgisayar ortamına

aktarılabilmektedir. Sismograf 4 kanallı olup hafızasında her bir olayın süresine bağlı olarak yaklaşık 300 adet atım sonucunu saklama kapasitesine sahiptir.

Instantel firması yer sarsıntılarının ölçümü için iki modelde (ISEE tipi ve DIN tipi) jeofon üretmektedir (Şekil 22). Bunlardan ISEE versiyonu jeofon 2-250 hertz (Hz) frekans aralığında ölçüm yapabilirken, DIN versiyonu jeofon 1- 315 Hz frekans aralığında ölçüm yapabilmektedir (Instantel, 2006). Bu çalışmada daha hassas ölçümler yapmaya olanak sağlayan DIN tipi jeofon kullanılmıştır.



Şekil 22. Yer sarsıntısı ölçümünde jeofon tipleri (Instantel, 2006).

3.3.3.2. Kaya Numuneleri Dayanım ve Sertlik Ölçüm Araçları

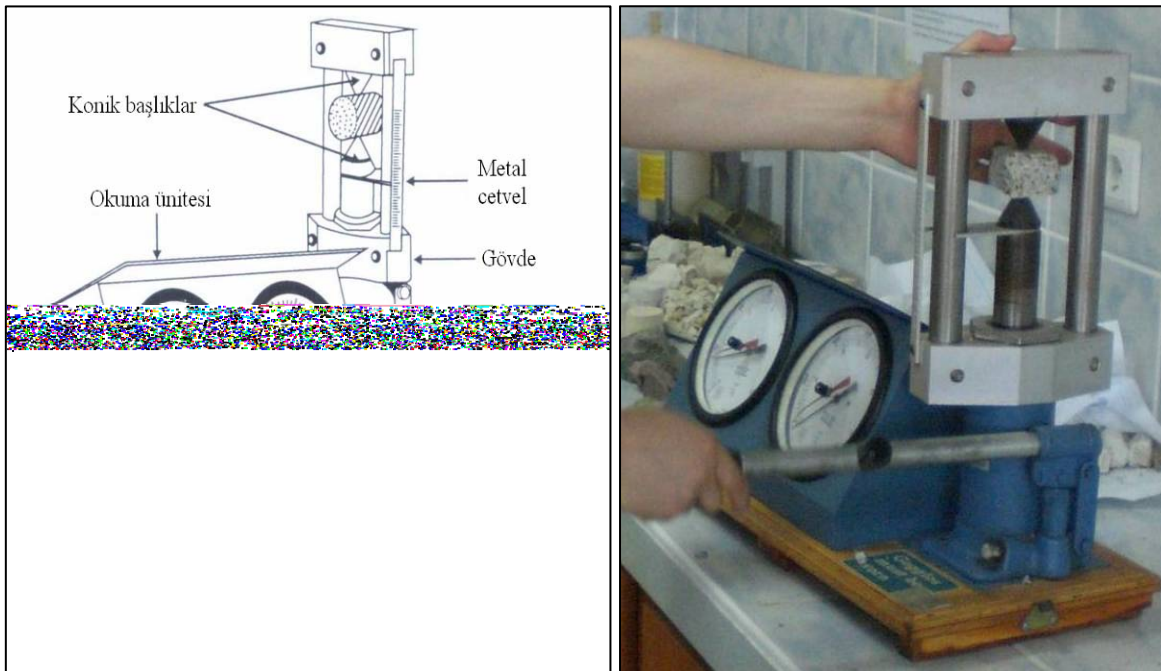
Araştırma alanlarında gerçekleştirilen kaya patlatma sonrasında, her bir patlatma alanından alınan kaya numunelerinin teşhisleri yapılarak, bu kaya türlerinin sertlik ve dayanımları belirlenmiştir. Bu çalışmalarda kullanılan materyaller aşağıda özet olarak tanıtılmıştır.

3.3.3.2.1. Nokta Yükleme Ölçüm Cihazı

Orman yollarında gerçekleştirilen kaya patlatma sonrasında, patlatılan kayayı temsil edecek şekilde alınan kaya örnekleri alınarak bu kayaların dayanımlarının belirlenmesi için “Nokta Yükleme” ölçüm cihazı kullanılmıştır. Nokta yükleme dayanımı deneyi, kayaların dayanımlarına göre sınıflandırılmasında kullanılan nokta yükü dayanım

indeksinin tayini amacıyla yapılmaktadır (Kesimal, 2007). Nokta yükleme aleti; yükleme pompası, yük göstergesi, gövde, konik başlıklar ve gövdeye monteli metal cetvel bileşenlerinden oluşur (Şekil 23).

Nokta yükleme cihazı, kaya numunesi üzerine düşey olarak basınç uygulayabilen ve hidrolik baskılı olup, uygulanan kuvveti kilonewton (kN) olarak gösteren iki ayrı okuma ünitesi bulunmaktadır. Bunlardan solda olan göstergeden 5,655 kN'a kadar olan basınç kuvvetini, diğeri ise bu gösterge ile aynı anda kuvveti ölçüp 56,55 kN'dan daha büyük basınç kuvvetlerinin okunmasında kullanılmaktadır.



Şekil 23. Kullanılan nokta yükleme deneyi ölçüm cihazı ve bileşenleri

Orman yolu yapımı kaya patlatma sonrasında alınan kaya numuneleri, bu nokta yükleme deneyi düzeneğinde teste tabi tutularak her bir atımda patlatılan kayaya ait dayanım deneyleri yapılmıştır. Elde edilen nokta yükü dayanımı değerlerinden kayalara ait tek eksenli basma ve çekme dayanımları hesaplanarak, kayalara kazı zorlukları ve kazılabilirlikleri ortaya konulmuştur.

3.3.3.2.2. Dijital Kumpas

Araziden alınan kaya numunelerine uygulanan nokta yükleme deneyi sırasında numunelerin kırılma yüzeyi kesit kenarlarının ölçülmesi için dijital kumpas kullanılmıştır. ASTM standartlarına göre geçerli kırılma olması durumunda, nokta yüklemenin yapıldığı eksene dik yönde numuneye ait genişlik (W) bu dijital kumpas ile ölçülmüştür. Ölçümde kullanılan kumpas 0,01 mm duyarlılıkta ölçüm yapmaktadır (Şekil 24).



Şekil 24. Dijital kumpasla numunenin kırılma yüzeyi ölçümü

3.3.3.2.3. Schmidt Çekici

Bu çalışmada, orman yolu inşaatı sırasında ortaya çıkan kayaların delinip patlatılmasından sonra, alınan blok kaya örneklerinin sertliklerinin belirlenmesi ve kazı zorluğunun ortaya konulması için L- tipi Schmidt çekici kullanılmıştır (Şekil 25). Blok numuneler üzerinde, farklı yüzlerinden peş peşe alınan ölçümler kaydedilerek değerlendirilmiştir.

Schmidt çekici beton sertliklerinin ve dağılmaya karşı dayanımlarının test edilmesi için geliştirilmiş (Schmidt, 1951) ve daha sonra kaya dayanımlarının belirlenmesinde kullanılmıştır (Katz vd, 2000). Schmidt çekici; silindirik kapalı bir kutu içinde bulunan yay, çekiç ve çekiç kurma düzeneğinden oluşur. Bu çekicin N ve L-tipi türleri olup,

kayaçlar için 0,74 Nm çarpma enerjisine sahip L-tipi Schmidt çekici önerilir (ISRM, 1981).



Şekil 25. Schmidt çekici ve blok numunede sertlik ölçümü

Schmidt çekici kullanılarak, kayaçların Schmidt geri sıçrama sertliğinin tayini ve dolaylı olarak tek eksenli sıkışma dayanımlarının saptanması hem laboratuarda hem de arazide yapılabilmektedir. (Kesimal, 2007). Bu bakımdan orman yolu inşaatlarında kazısı yapılan veya yapılacak olan kaya birimlerinin sertliğinin belirlenmesinde de kolaylıkla kullanılabilir.

3.3.3.3. Konumsal Yer Belirleyici

Orman yolu geçkileri üzerinde arazide GPS ile yersel incelemeler yapılarak konumsal yerleri belirlenmiştir. Konumsal yer belirleyicinin altimetresinden bir noktanın deniz seviyesine göre yükseltisi ölçülmüş, pusulasından ise çalışma alanlarının yön ve bakışının belirlenmesinde yararlanılmıştır.

Bunlara ilaveten kaya patlatmanın yapıldığı yer ve sismografin ölçüm yapılmak üzere kurulduğu ölçüm noktalarının konumsal koordinatlarının belirlenmesi amacıyla GPS kullanılmıştır.

3.3.3.4. Araştırmada Kullanılan Diğer Materyaller

Arazi çalışmaları sırasında kullanılan diğer başlıca yardımcı araçlar; yamaç eğiminin belirlenmesinde klizimetre (eğim ölçer), uzunluk ve mesafelerin ölçülmesinde çelik şerit metre, çalışma zamanı ölçümünde dijital kronometre (süre ölçer) kullanılmıştır.

Klizimetre: Aşağıdan yukarı doğru ya da yukarıdan aşağı doğru bakılmak suretiyle durulan nokta ile bakılan nokta arasında kalan düşey yöndeki eğimin yüzde, grad ve derece olarak ölçülmesinde kullanılmaktadır.

Şerit metre: Uzaklıkların ve uzunlukların ölçülmesinde 50 m uzunluğundaki çelik şerit metre, ayrıca cepte taşınabilen 2 m uzunluğundaki şerit metre de kullanılmıştır.

Fotoğraf Makinesi: Arazide yapılan kaya patlatma çalışmaları ile patlatma öncesi ve sonrası çalışmaların görüntülenmesinde ve kaya patlatma sırasında fırlayan kayaların yoğun olduğu yerlerin görüntülenmesinde kullanılmıştır.

Ayrıca, çalışılan yöreye ait 1/25000 ölçekli memleket haritası ve bunlardan çoğaltılarak yapılmış amenajman planı, yol şebeke planı, silvikültür planı ve üretim dosyası çalışma yerinin bağlı olduğu birimlerden temin edilmiştir.

3.3.4. Kullanılan Bilgisayar Yazılımları

Bu çalışma kapsamında bilgisayar ortamına aktarılan verilerin işlenmesi, değerlendirilmesi ve yorumlanmasında kullanılan başlıca yazılımlar verilmiştir.

3.3.4.1. Blastware 8.0 Yazılımı

Orman yolu yapımında kaya patlatmalarının açığa çıkardığı yer sarsıntısı ve hava şoku değerlerinin ölçülmesi için Instantel Minimate Plus titreşim ölçer cihazı kullanılmıştır. Atımlar sırasında cihaza kaydedilen verilerin ulusal ve uluslararası hasar kriter normlarına göre değerlendirilmesi için titreşim değerlerinin görüntülenmesi, grafiklerinin çizilmesi ve çıktılarının alınması amacıyla sismografına ait Blastware 8.0 bilgisayar yazılımı kullanılmıştır.

Bilgisayar destekli data değerlendirme ünitesi (Blastware 8.0 yazılımı) ile her bir atımda sismograf jeofonuna ulaşan yer sarsıntısı değerlerinin parçacık hızları enine, düşey, boyuna 3 yönde ve zamana bağlı olarak görüntülenebilmektedir. Aynı şekilde sismografin

mikrofonuyla hava şoku değerleri (dB) zamana bağlı olarak grafiksel görüntülenebilmektedir.

Blastware 8.0 yazılımının *Event manager* menüsü kullanılarak her bir atımda kullanılan sismograf seri numarası ve kaç kanallı olduğu, atım tarihi ve saati özet görüntülenmektedir. Yine sismografin kurulduğu yere üç yönde (enine, düşey, boyuna) ulaşan yer sarsıntısı değerleri, bunların maksimum parçacık hızları (PPV, mm/sn) bu üç yönde en yüksek değerde olan yönü, en yüksek vektörel toplamları (PVS, mm/sn) özet olarak görüntülenebilmektedir (Şekil 22). Patlatma sonrası oluşan gürültü ve hava şoku değerleri (dB) olarak belirlenebilmektedir.

Type	Serial No.	Date/Time	No. Chan	Trigger	Tran Peak (mm/s)	Vert Peak (mm/s)	Long Peak (mm/s)	Mic Peak (dB)	PVS1 (mm/s)	Description
W	BE10315	Oct 27 '05 13:16:58	4	Vert	6.95	23.5	15.4	***	27.8	Gumushane
W	BE10314	Oct 27 '05 13:17:41	4	Long	4.30	24.4	1.87	140.9L	24.7	Gumushane
W	BE8040	Sep 6 '06 16:45:00	4	Tran	31.7	22.8	15.5	146.4L	35.2	Gumushane, Torul
W	BE11697	Sep 10 '07 16:02:38	4	Vert	0.254	1.65	0.127	<88L	1.68	OGM
W	BE11697	Sep 15 '07 15:25:37	4	Tran	4.06	2.92	7.24	94.0L	8.55	OGM
W	BE11697	Sep 15 '07 15:31:21	4	Tran	10.5	6.22	14.6	94.0L	17.6	OGM
W	BE11697	Sep 20 '07 16:25:34	4	Vert	9.40	10.0	7.87	127.1L	12.3	OGM
W	BE11697	Sep 23 '07 22:06:17	4	Tran	3.30	2.41	4.32	130.6L	4.64	OGM
W	BE11697	Sep 29 '07 18:38:07	4	Vert	3.43	4.57	3.56	130.0L	6.11	OGM
W	BE11697	Oct 1 '07 18:32:49	4	Tran	0.508	0.635	0.635	142.8L	0.959	OGM
W	BE11697	Oct 3 '07 12:11:49	4	Vert	0.635	0.635	0.762	121.8L	0.925	OGM
W	BE11697	Oct 3 '07 12:37:24	4	MicL	0.127	0.127	0.254	106.0L	0.284	OGM
W	BE11697	Oct 20 '07 13:58:23	4	Vert	58.2	58.8	55.1	147.1L	78.4	OGM
W	BE11697	Oct 28 '07 14:26:07	4	Vert	17.0	17.9	22.0	144.5L	28.5	OGM

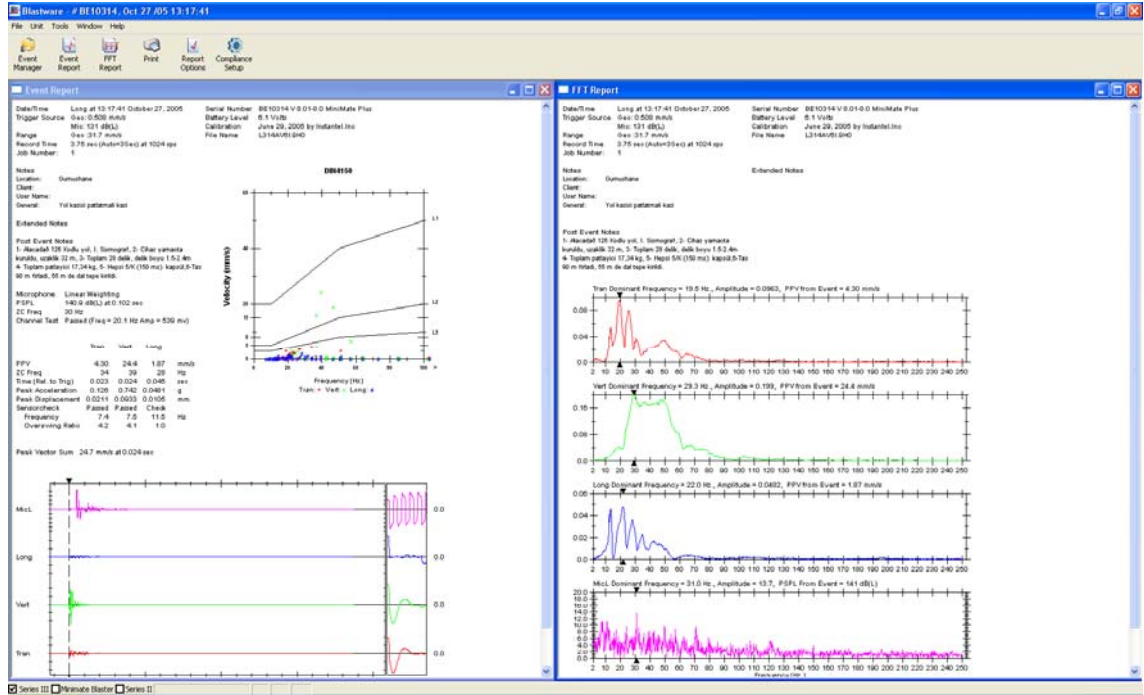
Şekil 26. Blastware 8.0 yazılımı event manager ara yüzü ve atımlara ait özet bilgileri

Event manager menüsünden özet olarak elde edilen yer sarsıntısı ve hava şoku değerlerine ilişkin detaylı bilgi elde edilebilmektedir. Bu raporda her bir atıma ait üç yönde kaydedilen yer sarsıntısı değerleri, maksimum parçacık hızları (mm/sn) bunların frekansları (Hz), ivmeleri (g), yer değiştirme (deplasman, mm) yine hava şoku değerleri (dB) ve bunların frekansları (Hz) *event raporu* ile elde edilebilmektedir.

Bu program, Amerikan USBM RI 8507 ve OSMRE yaklaşımları ile Alman DIN 4150 normu yaklaşımlarına göre istenilen herhangi bir periyoddaki parçacık hızı

bileşenlerinin (enine, düşey, boyuna) tepe hızlarının düzeylerini ve frekanslarını dikkate alarak titreşimlerin emniyetli veya hasar verme riskine sahip olduklarını göstermektedir.

Yine uluslararası normlarda (USBM, OSMRE ve DIN4150 gibi) kullanılan standartlara göre her bir yöne ait parçacık hızlarını ordinat ekseninde ve bunların frekanslarının apsiste yer aldığı grafiklerinin elde edilmesinde ve zamana bağlı olarak yer sarsıntısı ve hava şoku değerleri ve bunların genlikleri “Event Report” ile elde edilmektedir (Şekil 27).



Şekil 27. Blastware 8.0 yazılımı event ve fast fourier transform raporu çıktıları

Fast Fourier Transform (FFT) Report ile sismografin jeofonuna ulaşan üç ayrı yöndeki maksimum parçacık hızlarına (PPV, mm/sn) ait dalgaların, apsiste frekanslarını (Hz), ordinatta genliklerini ve yine sismografin mikrofona ulaşan ses dalgalarının apsiste frekansları (Hz), ordinatta genliklerini gösteren grafikleri elde edilmektedir (Şekil 27).

3.3.4.2. SPSS İstatistik Paket Programı

Araziden elde edilen verilerin istatistikî değerlendirilmesinde regresyon, korelasyon ve varyans analizi gibi analizlerin yapılmasında, elde edilen verilere ilişkin grafiklerin

izilmesinde istatistik paket programından yararlanılmıştır. Bu amaçla SPSS 11.0 (Statistical Package for Social Science) paket programı kullanılmıştır.

3.3.4.3. Diğer Yazılımlar

Araştırma alanlarından elde edilen verilerin değerlendirilmesinde yapılan bazı hesaplamalar, grafik çizimleri, bağımlı ve bağımsız değerkenlere ilişkin tanımlayıcı istatistikler olan maksimum ve minimum değerler ile ortalama ve standart sapma değerlerinin hesaplanması için, Windows XP bilgisayar işletim sisteminde alışan, Microsoft Office Excel 2003 paket programı kullanılmıştır.

3.3.5. Atım Yeri Envanter ve Kayıt Karnesi

Orman yollarında gerçekleştirilen kaya patlatmalarında; çalışma yerine, ait araziye, orman yoluna, kullanılan inşaat ekipmanlarına, yol yapımı ve kaya patlatmada gerçekleşen çalışma şekline, çalışma koşullarına, kaya patlatma sırasında çalışan işçi sayısına ait bilgiler ile patlatılacak kaya ebatları, kaya özellikleri, açılan delik geometrisine ilişkin bilgilerin kaydedilmesi için atım yeri envanter ve kayıt karnesi geliştirilmiş ve çalışmada bu form kullanılmıştır (Tablo 15).

Tablo 15. Orman yolu yapımında atım yeri envanter ve kayıt karnesi

Çalışma Yeri ve Çalışma Şekline İlişkin Genel Özellikler					
1-Tarih		9- Yol yapım miktarı			
2-İşletme adı		10-Yapım makinesi			
3-Bölme no		11-Yol yapım yönü			
4-Çalışma yeri koordinatı		12-Delici araç adı			
5-Rakım ve bakı		13-İşçi sayısı ve özel.			
6-Meşcere tipi		14-Patlayıcı tipi			
7-Meşcere gövde sıklığı		15-Patlayıcı fiyatı			
8- Arazi eğimi (%)		16-Hava hali			
Diğer Notlar:					
Patlatma Yapılacak Kaya ve Delik Düzenine Ait Parametreler					
Atım No	1	2	3	4	5
1-Çalışan işçi sayısı					
2-Kayaç türü ve cinsi					
3-Toprağın hali (ıslak/nemli/kuru)					
4- Kullanılan patlayıcı türü					
5- Kullanılan patlayıcı miktarı(kg)					
6- Kullanılan başlatıcı sistem					
7- Basamak yüksekliği (m)					
8- Basamak uzunluğu (m)					
9- Dilim kalınlığı (m) ↓					
10-Delik durumu (ıslak, nemli, kuru)					
11-Delik düzeni					
12-Delik çapı (mm) ve boyu (m)					
13-Delikler arası mesafe (m)↔					
14-Delik eğimi					
15-Delik taban payı					
16-Delik sayısı ve derinliği					
17-Sıkılama boyu ve malzemesi					
18-Kolon şarjı boyu (m)					
19-Dip şarjı boyu (m)					
20-Yemleme yeri ve miktarı					
21-Kaya tabakalılık durumu					
22-Patlatma başarısı					
23-Kaya fırlaması - zarar uzaklığı (m)					
24-Oluşan en büyük parça boyutu					
25-Titreşim değerleri (mm/sn)					
26-Toz oluşumu					
27-Zeminin su ve drenaj durumu					
Diğer Notlar: (Kaya fırlaması ve gözlenen sonuçları, patlatma sonu hasar durumu vb.)					

3.4. Yöntem

Bu çalışmada, orman yolları yapımında kaya patlatma çalışmalarının incelenmesi ve çevresel etkilerinin ortaya konulması amacıyla planlama, veri toplama ve verilerin değerlendirilme yönteminin akış şeması Şekil 28’de verilmiştir.

3.4.1. Araştırma Alanlarının Seçilmesi

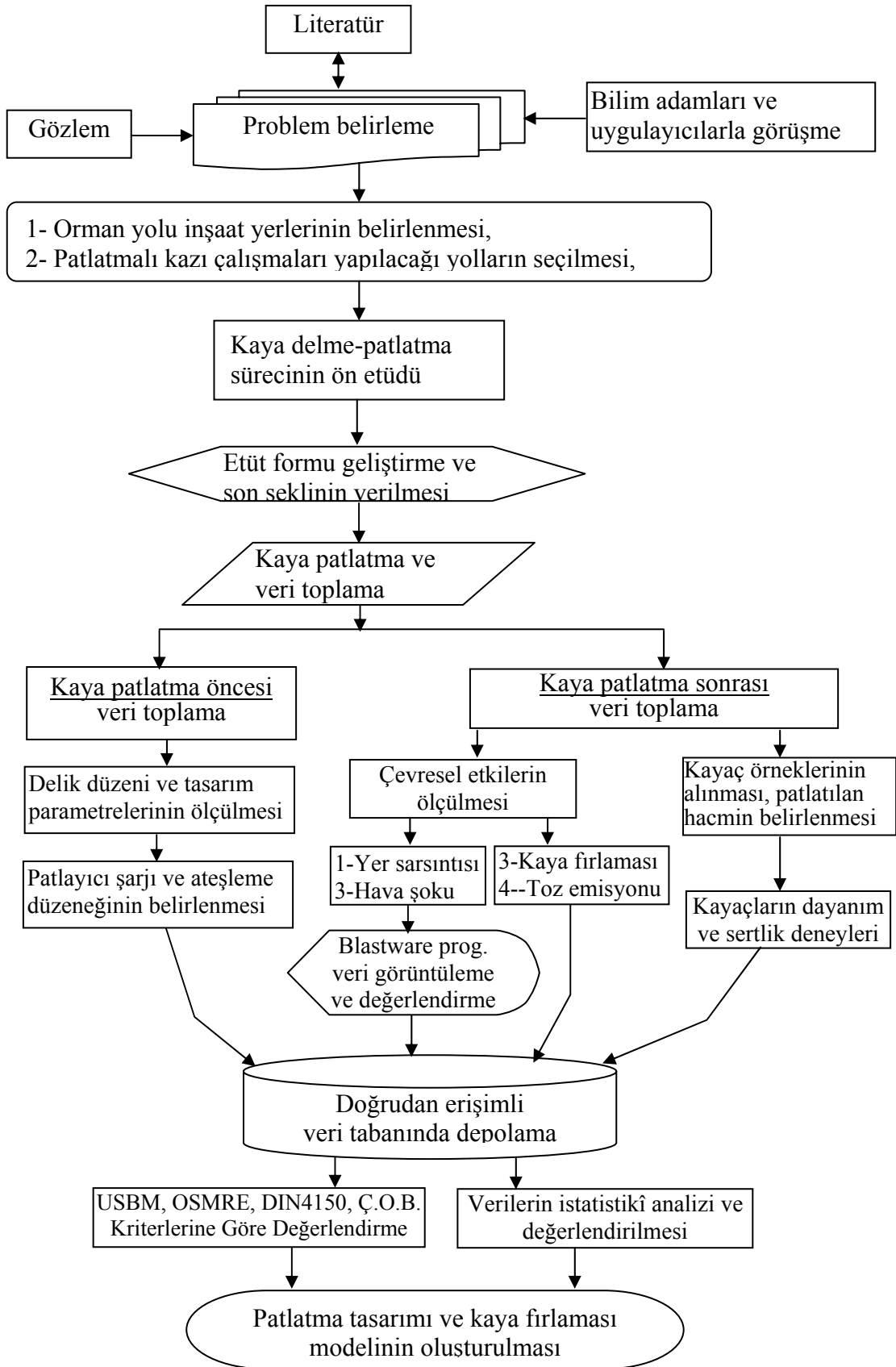
Araştırma alanı olarak Doğu Karadeniz Bölgesinde yer alan Trabzon OBM sınırları içerisinde Torul ve Trabzon Orman İşletme Müdürlüklerinde yapımı gerçekleştirilen yeni orman yolları seçilmiştir. Orman yollarının yapım yerleri belirlenerek, ön incelemelerle yol geçki yerleri gezilmiş ve yolun sıfır hattının araziye işaretlenmesi sırasında yersel incelemelerle araştırma için uygun orman yolları seçilmiştir. Seçim yapılırken yol inşaatı öncesinde, kaya patlatmalarının yoğun olarak yapılacağı orman yolları tercih edilmiştir.

3.4.2. Atım Yeri Envanter ve Kayıt Karnesinin Oluşturulması

Çalışmada kullanılan atım yeri etüt ve envanter karnesi, çalışmalara ilişkin ön etütler yapılarak ve daha önce yapılmış benzer çalışmalardan yararlanılarak oluşturulmuştur. Yol yapımı sırasında ve özellikle kaya patlatma öncesi ve sonrasındaki tüm ölçümlerde ilgili etüt karneleri kullanılmıştır.

Orman yollarında yapılan kaya patlatmalarında kullanılan etüt formu; her bir yol yapım alanına ait genel bilgiler ve her bir yolda yapılan atımlara ait ayrıntılı bilgilerin yer aldığı iki ayrı bölüm halinde geliştirilmiştir (Tablo 15). Bunlardan birinci bölümde çalışma yeri ve çalışma şekline ilişkin genel özellikler, ikinci bölümde ise patlatma yapılacak kaya ve delik düzenine ait parametrelerin ölçülmesi ve kaydedilmesi için detaylandırılmıştır.

İlk bölümde; araziye, yola, ekipmanlara, yapım ve kaya patlatma şekli ve koşullarına, işçi sayısına ait bilgiler yer almaktadır. İkinci bölümde; her bir atımda patlatılacak kaya, delikleri geometrisi ve durumu, patlayıcı miktarı ve şarjı, sıkılama malzemesi ve miktarı, yer sarsıntısı, hava şoku ve kaya fırlaması durumu yer almaktadır.



Şekil 28. Araştırmada izlenen yönteme ait akış diyagramı

3.4.3. Delik Geometrisine İlişkin Parametrelerin Ölçümü

Orman yollarında, patlatılacak olan kayada kompresör tabancasına takılan değişik boylardaki matkaplarla 2,54 cm çapında delikler delinmektedir. Patlayıcı maddelerle patlatılacak kaya ebatları, açılan patlatma deliklerinin sayısı, delik derinliği, aynı sırada yer alan delikler arası mesafe, delik sıraları arasındaki dilim kalınlığı gibi uzunluklar metre ile ölçülmüş ve etüt formuna kaydedilmiştir.

Yine deliklere patlayıcı madde şarj edilmesinde her bir patlatma deliğine konulan patlayıcı miktarı, kullanılan elektrikli kapsül tipi ve gecikme süresi belirlenerek etüt formlarına kaydedilmiştir. Kullanılan dinamit sayısı ve miktarı, yemlemeye duyarlı toz patlayıcı (ANFO) miktarı belirlenerek etüt formuna ayrı ayrı kaydedilmiştir.

3.4.4. Kaya Patlatmanın Çevresel Etkilerinin Ölçümü

Dağlık ve kayalık arazide ki orman yollarının inşaatında, yol geçkisine rastlayan kazılabilirliği ve sökülebilirliği güç aynı zamanda pahalı olan, sert kaya kütlelerinin gevşetilerek ötelenmesi, patlatma deliklerine yerleştirilen patlayıcı maddelerin patlatılması şeklinde yapılmaktadır. Kaya partilerinin patlatılması aşamasında çevresel açıdan ortaya çıkan temel problemler; yer sarsıntısı, hava şoku, kaya fırlaması ve toz emisyonu şeklinde olmaktadır.

Çevresel açıdan en uygun kaya patlatma tasarımının ortaya konulması ve yer sarsıntısı, hava şoku, kaya fırlaması gibi çevresel etkilerin kontrol edilebilmesi, ulusal ve uluslar arası standartlarla karşılaştırılması amacıyla gerekli ölçümler yapılmıştır.

3.4.4.1. Yer Sarsıntısı ve Hava Şoku Değerlerinin Belirlenmesi

Kayanın patlatılması sırasında ortaya çıkan olumsuz çevresel etkilerinden; yer sarsıntısı ve hava şoku değerlerinin tespit edilerek çevresel etkilerinin belirli sınırların altında tutulması gerekmektedir.

Kaya patlatmalarının oluşturduğu yer sarsıntısına ait parçacık hızları, titreşim frekansları, parçacık deplasmanı (yer değiştirme) ve ivmesi parametreleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesi, ölçülen bu değerlerin uluslararası standartlardan Amerikan USBM (RI 8507) ve OSMRE, Alman DIN 4150 normu ve Ülkemizde Çevre ve Orman

Bakanlığı'nın belirlediği kriterlerle karşılaştırılarak hasar normları içindeki yerleri belirlenmiştir. Yine patlatma sırasında oluşan hava şoku değerleri yapılarda hasar oluşturma, insanların gürültüden rahatsızlık duyma derecelerine göre çevresel açıdan analizi yapılmıştır.

Orman yollarında yapılan atımlar sırasında, yer sarsıntısı ve hava şoku ölçüm noktaları değişik ölçekli mesafe (SD) değerleri elde edilebilecek şekilde ölçülmüştür. Bu nedenle, ölçüm yapılan noktanın yakınında yapı olup olmadığı dikkate alınmamıştır. Bu gibi noktalarda yapı bulunması durumunda ölçülen parçacık hızı unsurlarının hasar verme riskinin ne olabileceğini belirlemek amacıyla ölçülmüş ve orman yollarında gerçekleştirilen atımlar esnasında oluşan yer sarsıntısı unsurları uluslararası ve ulusal hasar kriterlerine göre değerlendirilmiştir.

Kaya patlatma neticesinde ortaya çıkan yer sarsıntısı ve hava şoku değerlerinin ölçümü için, taşınabilir nitelikte olan Instantel Minimate Plus dört kanallı titreşim ölçer (sismograf) kullanılmıştır. Patlatma sırasında alınan kayıtlar sismografin ana gövdesi üzerindeki monitörden okunup belleğine kayıt edilmiştir. Atım yerine ait her bir atım sonrasında patlatmanın yapıldığı yer, atım saati gibi temel bilgiler not edilmiştir.

3.4.4.2. Sismografin Kurulumu, Çalıştırılması ve Kayıt Alma Yöntemi

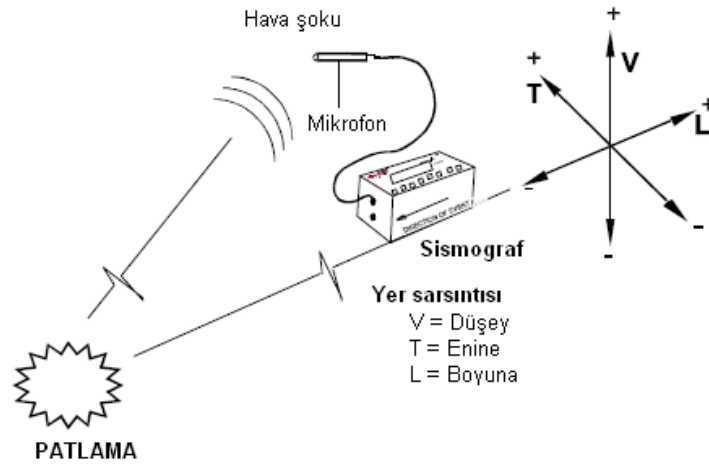
Orman yolu yapımı sırasında patlatılacak olan kaya bloğuna yeterince lağım deliği delindikten ve deliklere patlayıcı şarj edildikten sonra gerekli düzenleme ve önlemler alınarak patlayıcının ateşlenmesine geçilmektedir. Titreşim ölçer (sismograf) patlayıcı ateşlenmeden önce patlatma yerinden, yeterli ve aynı zamanda güvenli bir uzaklıkta kurulmuştur. Sismografin jeofonu yolun daha önce yapılmış kısımlarında veya yamaçta toprağın bir miktar kazılarak oluşturulan sert zeminlere, vidaları üzerine kurularak kayıt alınmıştır.

Kaya patlatma yapılacak yerde, sismografin kurulacağı uygun ve güvenli bir yer seçimi yapıldıktan sonra, buradan verilerin kayıt altına alınması için sırasıyla aşağıdaki işlemler yapılır;

- 1) Algılayıcılar olan mikrofon ve jeofonun ana gövdeye olan kablo bağlantıları yapıp, hem ana gövde hem de jeofon üzerinde gösterilen yönlendirme işareti patlatma yapılacak noktayı gösterecek şekilde sabitlenir,

- 2) Minimate Plus klavyesi üzerindeki açma-kapama butonundan sismograf açılarak pil göstergesi, zaman ve tarih kontrol edilir,
- 3) Sismografin ayarları *setups* butonundan kontrol edilir ve *test* butonundan jeofon ve mikrofon ana gövdeyle temasta olup olmadığı kontrol edilir. Yine ayarlarda iken yön butonlarından yukarı (↑) işareti ile daha önce kayıt altına alınan sonuçlara ulaşılabilir,
- 4) Kontroller tamamlandıktan sonra *start monitor* butonundan gösterge moduna girilir, Jeofon ve mikrofonun kontrolü başlar ve ekranda *performing sensorcheck* mesajı görülür. Bu aşamada Minimate Plus klavyesinde herhangi bir butona basılmamalıdır,
- 5) Eğer ateşlemeden önce yanlışlıkla yapılmışsa, *cancel* butonundan iptal edilerek, 4. adımdan sonraki işlemler (*start monitor*) tekrarlanır,
- 6) Patlatma işlemi gerçekleştikten sonra, açma/kapama butonuna (*) 5 saniye kadar basılı tutularak sismograf kapatılır (Instantel, 2006).

Sismografin jeofonu patlatma yeri ile sismografin kurulduğu yer arasındaki doğrultunun enine (T), düşey (V), boyuna (L) yönünde oluşan yer sarsıntısı değerlerini, mikrofonu ise hava şoku değerlerini ölçebilmektedir (Şekil 29).



Şekil 29. Yer sarsıntısı ve hava şoku ölçümünde sismograf kurulumu

Parçacıklar, enine yönde gerçekleşen titreşimlerle sol ve sağ, düşey yönde gerçekleşen titreşimlerle yukarı ve aşağı, boyuna yönde gerçekleşen titreşimlerle ileri ve geri doğrultuda hareket ettirilmektedir. Patlatma sonrası oluşan hava şoku değerleri ise

sismografin mikrofonu tarafından ölçülmektedir. Hava şoku enerjisinin doğrusal olarak yapılar üzerinde veya insanlar ve diğer canlılar üzerindeki etkisi ölçülebilmektedir.

Yer sarsıntısı ve hava şoku değerlerinin ölçülmesi için sismograf kuruluş yeri bilgileri ile patlatma noktasına olan uzaklık ölçümleri şerit metre ile yersel olarak doğrudan ölçülmüştür. Yine kaya patlatmanın yapıldığı yer ile sismograf ölçüm yerinin koordinatları konumsal yer belirleyici (GPS) ile belirlenerek etüt formlarına kaydedilmiştir. Bu noktalara ait koordinatlar kullanılarak iki nokta arasındaki uzaklık hesaplanmıştır.

Instantel Minimate Plus sismografa kayıt altına alınan verilerin bilgisayara aktarılması, yine yer sarsıntısı ve hava şoku verilerinin uluslararası standartlarla (USMB ve OSMRE ile DIN4150) karşılaştırılabilmesi, grafiksel görüntülenmesi ve incelenmesi, yorumlanması için bilgisayar destekli veri değerlendirme ünitesi Blastware 8.0 yazılımı kullanılmıştır.

3.4.4.3. Kaya Fırlaması Uzaklığının Ölçümü Yöntemi

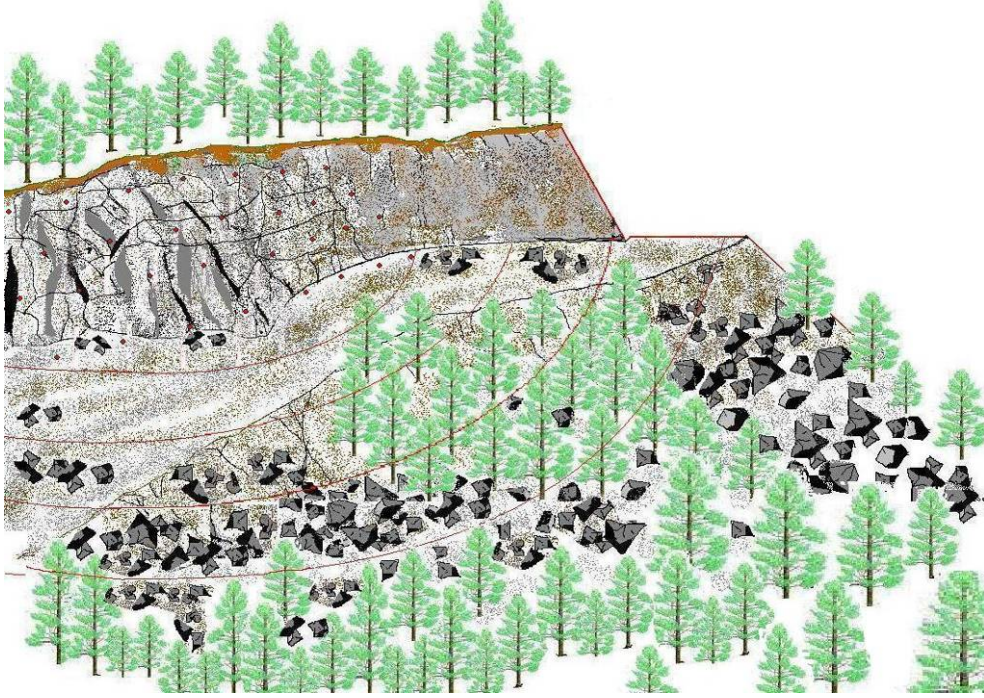
Orman yollarında patlayıcı madde kullanılarak kaya patlatmalarının açığa çıkardığı bir diğer çevresel sorun ise kaya fırlaması'dır. Çevreyi koruyucu patlatma tasarımının ve patlatmanın kontrol edilebilen parametrelerinin uygun şekilde yapılmaması gibi nedenler kaya fırlamasına neden olmaktadır.

Kaya fırlaması, yol yapım alanı ve çevresinde bulunan yapılar üzerinde etkili olabildiği gibi, yamaç aşağısındaki dikili ağaçlar ve fidanlar üzerinde kırma, yaralama, soyma gibi zararlar da oluşturmaktadır. Yaralanan ağaç ve fidanlara bölgede sıkça görülen kabuk böcekleri arız olmakta ve nihayetinde dikili halde kurumaktadırlar. Bununla birlikte, yamaç aşağısına fırlayan veya yuvarlanan kaya blokların kapattığı verimli topraklar kullanılamaz hale gelmekte ve orman alanı kaybına neden olmaktadır.

Kaya patlatmaları ile fırlayan kaya parçalarının yamaç aşağısındaki ağaç ve fidanlar üzerindeki zararlarının belirlenmesi amacıyla, patlatma öncesinde alan gezilerek arazideki mevcut durumları incelenmiştir. Kaya patlatma sırasında fırlayan kaya parçalarının gittiği yönlerin tespit edilmesi için patlatma sırasında kameraya kayıt yapılmıştır.

Patlatmadan sonra kaya parçalarının yoğun olarak fırladığı alanlar tekrar gezilerek, kaya fırlamalarının hasar oluşturduğu en uzaktaki ağaç ve fidanların yeri ile patlatma noktasına olan uzaklıkları ölçülmüştür (Şekil 30). Kaya fırlaması uzaklık ölçümleri şerit metre ile yatayda doğrudan ölçülmüştür. Yine kaya patlatmanın yapıldığı yer ve en uzak

mesafedeki zarar gören ağaçların koordinatları konumsal yer belirleyici ile belirlenerek etüt formlarına kaydedilmiştir. Daha sonra bu koordinatlar kullanılarak iki nokta arasındaki yatay uzaklık hesaplanmıştır.



Şekil 30. Kaya fırlamalarının yamaç aşağısındaki zarar uzaklıkları

3.4.5. Kayaç Örneklerinin Dayanımı ve Sertliklerin Ölçümü Yöntemi

Orman yolu yapım alanlarında gerçekleştirilen kaya patlatma sonrasında, patlatma alanlarından alınan kaya numunelerinin sertlik ve dayanımları, K.T.Ü, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kaya Mekaniği Laboratuvarında deney ve ölçümler yapılarak belirlenmiştir.

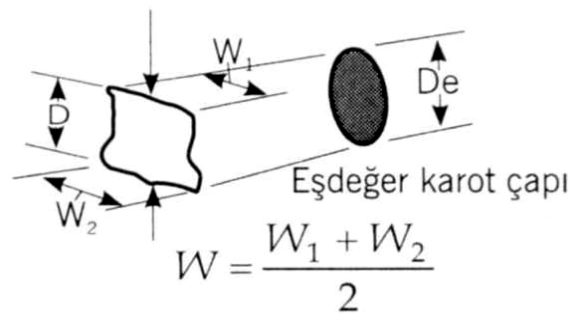
3.4.5.1. Kayaçların Dayanımlarının Ölçümü Yöntemi

Nokta yükleme dayanımı deneyi, kayaçların dayanımlarına göre sınıflandırılmasında kullanılan nokta yükü dayanım indeksinin tayini amacıyla yapılmaktadır (Kesimal, 2007). Numunenin mekanik dayanımının belirlenmesi için yaygın

olarak kullanılan bir deney yöntemidir. Nokta yükleme deneyi ile iki konik uç arasında sıkıştırılan kayaç örneğinin yenilme yükü ve boyutları kullanılarak nokta yükleme dayanım indeksinin hesaplanması amaçlanmaktadır. Elde edilen nokta yükleme dayanım indeksi, kayaçların tek eksenli sıkışma ve çekme dayanımlarının dolaylı olarak belirlenmesinde, kayaçların malzeme özelliği açısından dayanımlarına göre sınıflandırılmasında, kayaç anizotropisinin saptanmasında, kaya kütlesi sınıflamasında, kayaçların kazılabilirlik açısından sınıflamalarında ve kayaçların dış etkilere karşı dayanıklılığı ile ilgili çalışmalarda kullanılmaktadır (Başarı ve Kumral, 2004).

Kayaçların dayanımlarına göre sınıflandırılması amacıyla, orman yol inşaatlarında patlatılan kayayı temsil edecek şekilde alınan kaya örneklerinin dayanımlarının belirlenmesi için *nokta yükleme dayanımı deneyi* yapılmıştır. Nokta yükleme dayanımı deneyi, Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu (American Society for Testing and Materials, ASTM D 5731-08) ve Uluslararası Kaya Mekaniği Birliği (ISRM, 1985) tarafından belirlenen standartlara uygun olarak yapılmıştır.

Nokta yükleme dayanımı deneyi, blok ve düzensiz şekilli örnekler üzerine uygulanmaktadır. Düzensiz şekilli kaya numunelerinin konik uçların temas noktaları arasında kalan kalınlık; D , genişlik; W ve eşdeğer karot çapı; D_e ile simgelenmektedir (Şekil 31). Numune kalınlığının genişliğine oranı (D/W) 0,3 ile 1,0 arasında, tercihen 1'e yakın olması istenmektedir (Kesimal, 2007).



Şekil 31. Düzensiz şekilli kayaç örnekleri (ISRM, 1985)

Bu çalışmada, orman yolu inşaatı sırasında gerçekleştirilen kaya patlatma sonrasında, patlatılan kayayı temsil edecek şekilde kayaç örnekleri alınmıştır. Araziden alınan bu numuneler, laboratuarda jeolog çekici ile kırılarak nokta yükleme deneyi ölçüm cihazında kullanılacak düzensiz şekilli el örnekleri şeklinde hazırlanmıştır.

Kaya numunelerine nokta yüklemesi yapılırken, kaya numunesinin konik uçlar arasında kalan kayaç kalınlığı (D) aletin gövdesindeki metal cetvelden okunarak belirlenmiştir. Kayaç örneklerine 10–60 saniye arasında kırılacak şekilde nokta yükleme yapıp, yenilme anındaki yük (P), cihazın yük göstergesinden okunarak kaydedilmiştir.

ISRM (1985) standartlarına göre geçerli olan kırılma olduktan sonra, örneğin kenarları (W_1 ve W_2) dijital kumpas ile ölçülerek bunlardan ortalama genişlik (W) hesaplanmıştır. Kırılmanın gerçekleştiği kayaç kalınlığının genişliğine oranı (D/W) 0,3 ile 1,0 arasında, tercihen 1'e yakın olması istenmektedir (Kesimal, 2007). Bu nedenle her bir numunede kırılma sonrasında 0,3 ile 1 aralığında kalan oranlar uygun standart olarak kabul edilmiştir.

Her bir atım alanından alınan kayaç örneklerinin nokta yükleme deneyinden, elde edilen yük (P) ve örnek boyutları (D, W) kullanılarak öncelikle “düzeltilmemiş nokta yükleme dayanımı (I_s)” bulunmuştur. *Düzeltilmemiş nokta yükleme dayanımı (I_s)* hesaplanmasında;

$$I_s = P/(D_e)^2 \quad (5)$$

eşitliği kullanılmıştır. Bu eşitlikteki P: Kırılma anındaki yük (Mpa) ve D_e : eşdeğer karot çapını (mm) ifade etmektedir.

Deneyin değişik eşdeğer çaptaki örnekleri üzerinde yapılması nedeniyle, düzeltilmemiş nokta yükleme dayanımını (I_s) değiştirmektedir. Standart bir nokta yükleme dayanımı indeksi $I_{s(50)}$ bulabilmek için I_s değeri 50 mm olarak belirlenmiş eşdeğer bir karot çapına göre düzeltilmektedir (Topal, 2000). ISRM (1985) tarafından *Düzeltilmiş nokta yükü dayanım indeksi*'nin ($I_{s(50)}$) belirlenmesi için önerilen;

$$I_{s(50)} = F \times I_s \quad (6)$$

eşitliği kullanılmıştır. Eşitlikteki (F) boyut düzeltme faktörü olup,

$$F = (D_e/50)^{0,45} \quad (7)$$

eşitliği ile belirlenmektedir (Kesimal, 2007; Topal, 2000).

Ölçülen en az 10 adet geçerli deney sonucu arasındaki en yüksek ve en düşük ikişer değer iptal edilerek, geriye kalan değerlerin aritmetik ortalaması alınmış ve kayaç numunelerine ait ortalama *düzeltilmiş nokta yükü dayanımı* $I_{s(50)}$ değeri elde edilmiştir (Kesimal 2007). Hesaplanan $I_{s(50)}$ değerlerinin nokta yükü dayanımı için Tablo 16’da verilen Bieniawski (1973) ve Deere (1966) dayanım sınıflandırması esas alınmıştır.

Tablo 16. Nokta yükü dayanım sınıflandırması, $I_{s(50)}$

Sınıf	Dayanım Sınıfı	Bieniawski (1973)	Deere (1966)
A veya 1	Çok Yüksek	> 8 MPa	> 10 MPa
B veya 2	Yüksek	4 – 8	5 – 10
C veya 3	Orta	2 – 4	2,5 – 5
D veya 4	Düşük	1 – 2	1,25 – 2,5
E veya 5	Çok Düşük	< 1	< 1,25

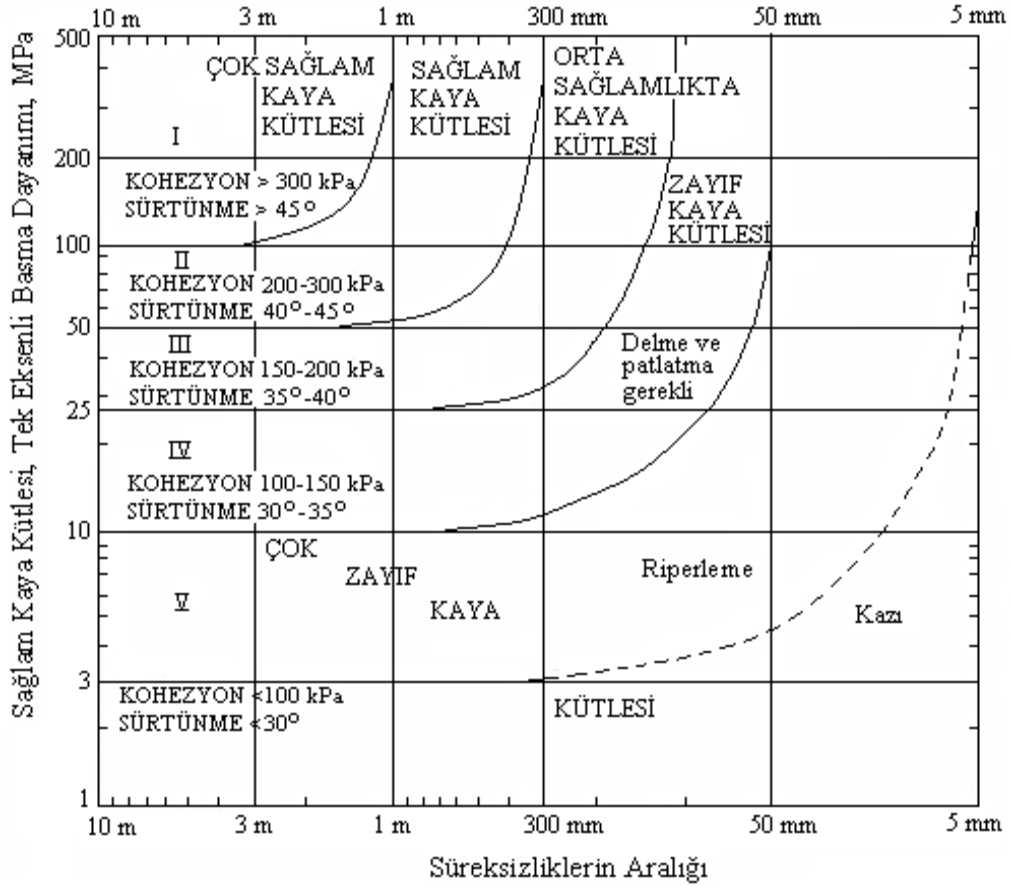
Tek eksenli basma ve çekme dayanımının hesaplanması; düzeltilmiş nokta yükü dayanımı indeksinden ($I_{s(50)}$) yararlanarak, kayaçlara ait tek eksenli basma ve çekme dayanımının hesaplanması için; basma dayanımı $I_{s(50)}$ değerinin 20-25 katı, çekme dayanımının ise $I_{s(50)}$ değerinin 1,25 katı olarak alınmaktadır (Kesimal, 2007). Buna göre orman yollarından alınan kayaç örneklerinin tek eksenli basma dayanımı $I_{s(50)}$ değerinin 22 katı ve tek eksenli çekme dayanımı $I_{s(50)}$ değerinin 1,25 katı alınarak hesaplanmıştır. Hesaplanan tek eksenli basma dayanımı sınıflaması için Tablo 17’de verilen dayanım sınıflandırması esas alınmıştır.

Tablo 17. Tek eksenli basma dayanım sınıflaması (Bienawski, 1973)

Sınıf	Dayanım	Dayanım Değeri (MPa)
A	Çok Yüksek	>220
B	Yüksek	110–220
C	Orta	55–110
D	Düşük	27,5–55
E	Çok Düşük	<27,5

Bu çalışmada, orman yollarında patlatılan kaya türlerine ait tek eksenli basma dayanımı ile arazi incelemeleri sırasında belirlenen kayaya ait süreksizlik aralıkları dikkate alınarak, kayanın makine ile kazılabilirliği, sökülebilirliği veya patlatmalı kazı

yöntemlerinin hangisinin uygulanması gerekliliği ortaya konulmuştur. Bu amaçla, kayaların tek eksenli basma dayanımı ile kayadaki süreksizlik aralığına göre aşağıda verilen diyagram esas alınmıştır (Karpuz ve Hindistan, 2006).



Şekil 32. Çatlaklı kaya kütleleri dayanım diyagramı (Karpuz ve Hindistan, 2006).

Bu diyagramda; kaya türü tek eksenli basma dayanımlarına göre beş dayanım sınıfına ayrılmıştır. Buna göre kayanın tek eksenli basma dayanımı; 1-10 MPa arasında ise *çok zayıf*, 10-25 MPa arasında ise *zayıf*, 25-50 MPa arasında ise *orta sağlam*, 50-100 MPa arasında *sağlam* ve 100 MPa değerinden daha yüksek dayanıma sahip ise *çok sağlam* kaya kütleleri olarak sınıflandırılmaktadır. Kaya kütlelerinin ekskavatör veya kepçe ile kazılabilirliği, dozer riperi ile sökülebilirliği veya delme-patlatmanı gerekli olup olmadığı, tek eksenli basma dayanımı ve süreksizlik aralıkları dikkate alınarak karar verilebileceği görülmektedir.

3.4.5.2. Kayaçların Sertliğinin Ölçümü Yöntemi

Kayaçların çoğu homojen değildir ve temsili bir sertlik değerini belirlemek için rasgele noktalardan seri ölçümler yapılarak ortalamasının alınması gerekir. Sertliğin fiziksel bir birimi olmayıp kaya sertliğinin relatif olarak saptanmasında iki temel sertlik ölçme cihazı vardır. Bunlar; Shore skleroskobu ve Schmidt çekici'dir (ISRM, 1979; Ceylanoğlu, 1996). Bu çalışmada, orman yollarında gerçekleştirilmiş kaya patlatma sonrasında alınan kayaç numunelerinin sertliklerinin belirlenmesi için, Schmidt çekici kullanılmıştır.

Schmidt çekici ile sertlik belirlenmesi için, kaya test yüzeyine alet gövdesi dikey olarak bastırılır. Yay ile hareket kazanan çekiç darbeyi kayaca ileten uca çarpar ve geri zıplar. Elmas uçlu çekicinin vurma sonucu ölçekte yükseldiği yer sertlik değeri olarak alınır (Ceylanoğlu, 1996; Özberk, 2003).

Schmidt çekici ile kaya üzerinde temsili bir sertlik değeri bulabilmek için rasgele noktalarda seri ölçümler yapılmıştır. Elde edilen sertlik değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanıp, bu değerlerin en küçük % 50'si iptal edilmiş ve geri kalan sertlik değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak Schmidt sertliği bulunmuştur (Kesimal, 2007). Daha sonra elde edilen Schmidt çekici değerlerine göre, kaya sertlik sınıflaması ISRM (1979)'da verilen değerlerden yararlanılarak sertlik sınıfları belirlenmiştir (Tablo 18).

Tablo 18. Schmidt çekici değerlerine göre kayaç sertlikleri (ISRM, 1979)

Schmidt çekici değeri (MPa)	Sertlik Sınıfı
0 – 10	Yumuşak
10 – 20	Az yumuşak
20 – 40	Az sert
40 – 50	Sert
50 – 60	Oldukça sert
☆60	Çok sert

Schmidt sertlik çekici hızlı sonuç veren ve arazide kolaylıkla uygulanabilen bir deney yöntemidir. Bu özelliklerinin yanı sıra numune toplama, hazırlama gibi masrafları da yoktur (Başarı ve Kumral, 2004). Bu bakımdan, orman yollarının inşaatı sırasında

ortaya çıkan ayrışmamış kaya kütlelerinin sertliklerinin belirlenmesinde kolaylıkla kullanılabilir.

3.4.6. İstatistikî Değerlendirme Yöntemi

Bu çalışmada orman yolu inşaatları sırasında gerçekleştirilen kaya patlatmaları farklı kaya türü, jeolojik ortam özelliğini gösteren çalışma alanlarında gerçekleştirilmektedir. Kaya patlatmadan kaynaklanan yer sarsıntısı, hava şoku ve kaya fırlaması üzerine etkili olan bağımlı ve bağımsız değişkenlerin aralarındaki ilişkilerin belirlenmesinde, verilerin normal dağılıma uyup uymadığının kontrolünde Kolmogorov-Smirnov (K-S) testi, değişkenler arasındaki ilişkinin düzeyinin belirlenmesi için korelasyon analizi ve eğer ilişki varsa bu ilişkinin fonksiyonel tipinin ortaya konulması için regresyon analizi yapılmıştır.

Kolmogorov-Smirnov (K-S) testi, verilerin frekans dağılımlarının belirli ya da herhangi bir dağılıma uygunluğunu test etmek için yararlanılan bir testtir. Tek örneklem ve iki örneklem uygulaması vardır. Birim sayısı az ve sınıf birleştirmesi istenmeyen uygunluk testlerinde K-S testi kullanılır (Özdamar, 2002).

Regresyon analizi; bağımlı değişken (y) ile bağımsız değişken (x) arasındaki sebep-sonuç ilişkisini matematiksel model olarak ortaya koyan yönteme regresyon analizi adı verilmektedir. Regresyon analizinin uygulanması için değişkenlerin bağımlı ve bağımsız değişkenler olarak ayrılması ve regresyon modelinin kurulması gerekir. İki değişken arasındaki ilişki düzeyini ve yönünü belirlemeye yardım eden yönteme ise korelasyon analizi adı verilmektedir (Özdamar, 2002).

Regresyon ve korelasyon kavramları birbirinin içine girmiş iki kavramdır. Regresyon analizi ile korelasyon analizi birlikte ele alınır ve birbirlerini tamamlarlar. Verilere regresyon analizi uygulanırken korelasyon analizi de birlikte uygulanmaktadır. Fakat korelasyon analizi tek başına da uygulanabilmektedir (Özdamar, 2002).

Bağımlı değişkenler (y) ve iki veya ikiden çok bağımsız değişkenler (x_1, x_2, \dots, x_p) arasındaki sebep sonuç ilişkisini matematiksel bir model olarak ortaya koyan yönteme çoklu regresyon analizi adı verilmektedir. Bir bağımlı değişken ile bu değişkenin değişimi üzerinde etkide bulunan p sayıda bağımsız değişken arasındaki ilişkinin düzeyini belirleyen yönteme ise çoklu korelasyon analizi denilmektedir. Genellikle çoklu regresyon ve korelasyon birlikte ele alınan ve hesaplamaları birlikte yapılan karma yöntemlerdir (Özdamar, 2002).

Çoklu regresyon modelini oluştururken p bağımsız değişken seti içerisinde (y)'yi en iyi açıklayan p-k ($k>1$) bağımsız değişkenler alt setini seçmek amacıyla başvurulan yönteme ise aşamalı regresyon (Stepwise) yöntemi adı verilmektedir. Bunun tersi olan yönteme ise geriye doğru aşamalı regresyon (Backward) adı verilmektedir (Özdamar, 2002).

Bu çalışmada SPSS 11.0 paket programı kullanılarak; normal dağılıma uygunluk için K-S testi, çoklu korelasyon ve çoklu regresyon analizi yöntemleri kullanılmıştır. Regresyon denklemlerinin oluşturulmasında; doğrusal regresyon analizi uygulanmıştır. Aşamalı (stepwise ve backward) regresyon analizi kullanılarak bağımlı değişken (y) değerleri ile bağımsız değişkenler (x) arasındaki ilişkinin matematiksel fonksiyonel tipi ortaya konulmuştur.

Bağımlı değişkenler (y) üzerinde etkili olan bağımsız değişkenlerin (x) bir fonksiyonu olarak $y = f(x_1, x_2, \dots, x_p)$ şeklinde ortaya çıkan regresyon analizi sonucunda, oluşturulan regresyon eşitliği için;

- Serbestlik derecesi (R^2) değerinin 0,5 veya daha büyük olması ve mutlak değerinin 1'e yakın olması,
- İlişki katsayısı (R) değerinin 0,5 den büyük ve 1'e yakın olması,
- Oluşturulan regresyon modelinin (eşitliğinin) standart hatasının küçük olması, koşulları aranmış ve bunu sağlayan modeller tercih edilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında Doğu Karadeniz Yöresi ormanlarında, Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü idari sınırları içerisinde 2005–2007 yılları arasında, orman işletme şefliklerinin yol ağı planlarına göre inşaatı sürdürülen 5 ayrı orman yolunda patlayıcı maddelerle kayaların patlatılması çalışmalarında mevcut kaya delme patlatma tekniği ve ortaya çıkardığı çevresel sorunlar incelenmiştir.

Araştırma ve incelemeler, Torul Orman İşletme Müdürlüğü (OİM), Alacadağ Orman İşletme Şefliği (OİŞ) 126 ve 120 kod numaralı, Trabzon OİM, Şalpazarı OİŞ 002 kod numaralı ve Vakfikebir OİŞ 011 ve 029 kod numaralı orman yollarında yapılan kaya patlatma çalışmaları sırasında yapılmıştır. Çalışma alanlarında yapılan kaya patlatma çalışmaları sırasında yapılan ölçüm, kayıtlar ile bunlardan elde edilen bulguların teknik ve çevresel açıdan değerlendirilmesi aşağıda başlıklar altında verilmiştir.

4.1. Kaya Patlatma Tekniğine Ait Bulgular ve Tartışılması

Orman yolu güzergahlarında ortaya çıkan kayaların patlatılmasında öncelikle patlatılacak kaya üzerinde ve çevresindeki kazılabilir materyal ekskavatör kovasıyla alınmakta ve sonra kırıcı ile kırılmaktadır. Genel olarak ekskavatör kovasıyla sökülemeyen ve kırıcı ile kırılması mümkün olmayan kayaların patlayıcı maddelerle patlatılması;

- 1) Kompresör ile patlatma deliklerinin açılması,
- 2) Açılan patlatma deliklerine patlayıcı madde şarjı,
- 3) Delikler arasında kapalı bir devre oluşturulacak şekilde kabloların bağlanması,
- 4) Patlayıcının manyeto ile güvenli bir uzaklıktan ateşlenmesi şeklinde gerçekleştirilmektedir.

Patlatma deliklerinin açılması sırasında delik düzeni, kompresörü kullanan operatörün tecrübesine göre oluşturulmaktadır. Patlatılacak kayanın yapısı ve süreksizlik aralıkları etüt edilmeksizin delikler açılıp patlatılmakta ve çoğunlukla aynı yerde birkaç atım tekrarlanmaktadır. Genel olarak, kaya üzerinde hem delikler arası ve hem de delik sıraları arası uzaklık (dilim kalınlığı) 1-1,5 m olacak şekilde delinmektedir.

Kompresör ile patlatma deliklerini delme sırasında biri operatör, yardımcısı olmak üzere iki kişi çalışmakta ve herhangi bir koruyucu elbise, ayakkabı kullanmamaktadır. Çalışanlardan biri kayayı delerken diğeri açılacak lağım deliğinin yerinin hazırlanması, delici matkap uçlarının değiştirilmesi gibi işlere yardımcı olmakta ve birinin yorulması durumunda diğeri kayayı delmektedir.

Kompresörü kullanan kişi genelde ateşleyici olup, sadece teknik olarak patlatmanın güvenli bir şekilde yapılması konusunda sertifikalıdır. Ancak orman içerisinde yapılacak kaya patlatması konusunda, yaban hayatı için kaya patlatmanın ne zamanlar yapılıp yapılmaması gerektiği, kaya fırlaması, yer sarsıntısı ve hava şoku (gürültü) oluşumu gibi çevresel hassasiyeti dikkate alan bir eğitimden yoksundurlar.

Ana patlayıcının deliklere şarjından önce veya şarj sırasında elektrikli kapsül dinamit kartuşu içine yerleştirilerek her patlatma deliği için bir tane olacak şekilde hazırlanmaktadır (Şekil 33). Hazırlanan kapsüllü dinamit delik içinde en dipte, ortada veya en üste olmak üzere farklı şekillerde yerleştirilmektedir.



Şekil 33. Jelatinit dinamitlere elektrikli kapsül yerleştirme

Elektrikli kapsüllerin yerleştirilmesinde sırasında delikler veya delik sıraları arasında herhangi bir gecikme sırası uygulanmamakta ve kapsüller rasgele kullanılmaktadır. Tüm deliklerde aynı gecikmeye sahip (30 ms gibi) elektrikli kapsüller kullanılmakta ve tüm deliklerdeki patlayıcı aynı anda ateşlenmektedir. Oysaki bu kapsüller patlatılacak kayanın mevcut özelliklerine göre belirli bir düzende kullanıldığında hem patlatma daha verimli olacak hem de çevresel etkilerin önüne geçilebilecektir.

Genel olarak, kayada açılan deliklere patlayıcı şarjında her 0,80 m delik derinliği için 2 adet dinamit yerleştirilerek, üzerine veya aralarına yemlemeye duyarlı ANFO şarj

edilip kumlu toprak ile sıkılması yapılmaktadır (Şekil 34). Sıkılama boyu delik derinliğine göre değişiklik göstermektedir.

Patlatma deliklerinin tümüne patlayıcı şarj edilip sıkılması yapıldıktan sonra, her bir deliğe ait kapsül kabloları delikler arasında kapalı bir paralel devre oluşturacak şekilde bağlanmaktadır. Bu kablolardan en son iki tanesi bir ara kablo ile güvenli bir uzaklıkta kurulan manyeto ile bağlantısı sağlanmakta ve gerekli kontroller yapıldıktan sonra ateşleme gerçekleştirilmektedir.



Şekil 34. Patlayıcı maddenin deliklere şarjı ve sıkılama

Bu çalışmada incelenen orman yollarında her bir atımda patlatılan kaya türü, uygulanan patlatma geometrisi, sıkılama boyu, patlayıcı madde miktarı ile atıma ait diğer parametreler ve yersel özelliklerine ait bulgular ve değerlendirilmesi aşağıda detaylı olarak verilmiştir.

4.1.1. Alacadağ OİŞ 126 Kodlu Orman Yolu ile Atıma Ait Bulgular ve Tartışılması

4.1.1.1. Orman Yolu İnşaatına Ait Bulgular ve Tartışılması

Alacadağ Orman İşletme Şefliği Yol Ağı Planında 126 kod numarası ile belirtilen orman yolu Haindere ile Armutalan sırtı mevkileri arasında planlanmıştır. Orman yolunun toplam uzunluğu 18+500 km'dir. Bu miktarın 1+750 km'lik bölümü çalışmanın sürdürüldüğü 2005 yılında yapılmış ve yol inşaatı sırasında gerçekleştirilen kaya delme ve patlatma çalışmaları sırasında ölçüm, gözlem ve kayıtlar alınmıştır.

Orman yolunun 2005 yılında tamamlanan 1+750 km bölümünün yapımı için aşağıda belirtilen tür ve miktarda toprak, küskü ve kaya materyalinin kazısı ve tesviyesi yapılmıştır. Bunlar;

1. Her cins toprağın kazılması ve kullanılması: 2 718,54 m³
2. Her cins küskünün kazılması ve kullanılması: 2 344,71 m³
3. Her cins yumuşak kayanın kazılması ve kullanılması: 3 130,08 m³
4. Her cins sert kayanın kazılması ve kullanılması: 10 868,13 m³
5. Her cins çok sert kayanın kazılması ve kullanılması: 9 835,67 m³ olmak üzere

1+750 km uzunluğundaki orman yolunda yapılan toplam kazı miktarı 28 897,12 m³ olmuştur. Orman yolunda gerçekleştirilen kazı ve tesviye işleri sonucunda hak ediş miktarı 114 811,12 YTL 'dir (TOBM, 2005). Buna göre bölgede 2005 yılında 1 km orman yolunun kazı ve tesviye işleri maliyeti 66 180,77 YTL olarak gerçekleşmiştir. Bu miktar ülkemiz ortalaması ile kıyaslandığında oldukça yüksektir. Bunun temel nedeni yamaç kaya kazısının oldukça fazla miktarda olmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Orman yolu yapımında Hyundai 210 LC-7 marka, 2005 model paletli hidrolik ekskavatör kullanılmıştır. Buna ilaveten kaya kazısı işlerinde ekskavatör koluna monte edilen kırıcı, patlatılmasına karar verilen kaya bloklarında patlatma deliklerinin açılması için ise pnömatik kompresör kullanılmıştır.

4.1.1.2. Kaya Patlatma ile Atımın Dizaynına Ait Bulgular ve Tartışılması

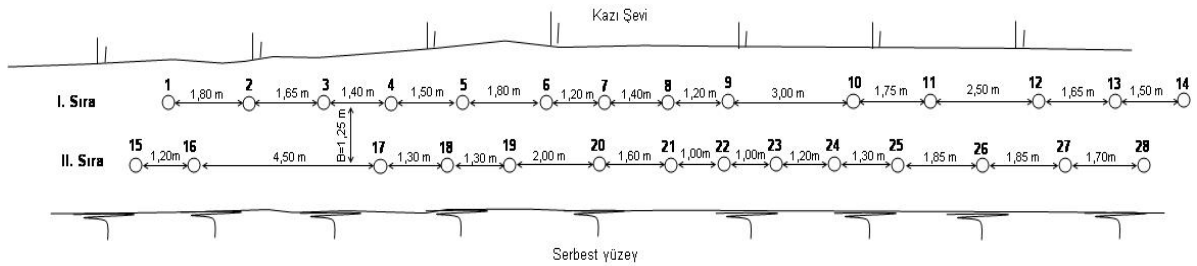
Alacadağ Orman İşletme Şefliği 126 kod numaralı orman yolu yapımı sırasında gerçekleştirilen bir atımda ölçüm, kayıt ve gözlem yapılmıştır. Atım sırasında iki ayrı sismograf ile yer sarsıntısı ve hava şoku değerleri ölçülmüş olup AD-1 ve AD-2 nolu atımlar olarak isimlendirilmiştir. Kaya patlatma alanı güneybatı bakıda olup, yamaç eğimi % 85, patlatma noktasının ortalama yükseltisi 1198 m'dir. Araştırma alanı 1/25000 ölçekli Trabzon G42-a4 pafta numaralı standart topografik haritada Merek Dere mevkiinde yer almaktadır.

Patlatma sonrası alınan kayaç örneklerinin tanımlanmasıyla, patlatılan kaya türünün ayrılmış granit olduğu belirlenmiştir. Granit magmatik kayalardan olup derinlik kayaçlarındandır. Patlatma ile yol kazı şevinin düzgün olarak ortaya çıkarılması, yol platformunun istenen seviyeye indirilmesi ve kazı hendeğinin oluşturulması amaçlanmıştır. Bu amaçla kayada farklı derinliklerde patlatma delikleri açılmıştır (Şekil 35).



Şekil 35. Atım yerinde açılan patlatma delikleri

Atım yerindeki kayanın patlatılması için, iki sıralı ve eşleşmiş düzende ve hepsi düşey yönde 28 adet patlatma deliği açılmıştır (Şekil 36). Yol platformu ve su akıtıcı kanal oluşturmak için 8 tane 0,80 m derinliğinde delik açılmıştır. Kazı şevi oluşturmak için açılan patlatma delikleri ise 20 tane olup 1,60 m derinliğindedir. Buna göre ortalama delik derinliği de 1,37 m olmuştur.



Şekil 36. Atımda uygulanan delik düzeni ve üstten görünümü

Aynı sırada yer alan patlatma delikleri arasındaki uzaklık 1,00 m ile 4,50 m arasında değişmekte ve ortalama 1,70 m olarak hesaplanmıştır. İki delik sırası arasındaki dilim kalınlığı ise 1,26 m alınmıştır (Tablo 19). Buna göre delikler arası mesafenin, dilim kalınlığına oranı (S/B) 1,35 olup 1 den büyüktür. Bu oranın 1'den küçük olması durumunda, sıkılama malzemesinin erken boşalması nedeniyle hava şoku, gürültü iri blok oluşumu gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır.

Uygulamada genel olarak delikler ve delik sıraları arası mesafeler yaklaşık 1,50 m aralık ve mesafelerde açılmaktadır. Ancak granit gibi sert kayalarda lağım deliklerinin açılmasında, delikler arası mesafe çoğunlukla kısa tutulmakta bu mesafe bazı durumlarda

0,60 m'ye kadar düşürülmektedir. Uygulanan dilim kalınlığının delikler arası mesafeye oranı (B/S) 1/1,35 olup şeşbeş düzende (1/1,50) delinmiştir.

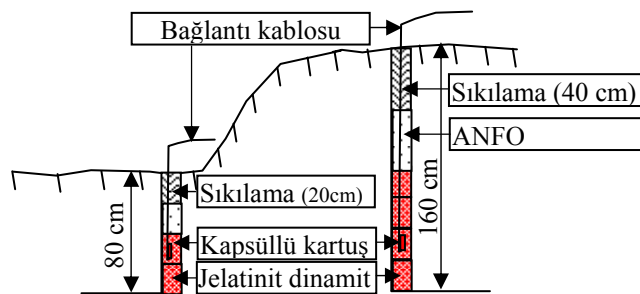
Tablo 19. Atımda uygulanan delik düzeni ve patlatmaya ilişkin bilgiler

Delik sayısı	Delik çapı	Toplam delik boyu		Delik derinliği	Delikler arası mesafe	Dilim kalınlığı	Sıkılama boyu
adet	cm	m		m	m	m	m
28	2,54	38,40	Ortalama	1,37	1,70	1,26	0,34
			En uzun	1,60	4,5	1,26	0,34
			En kısa	0,80	1,0	1,26-	0,34
			Std. sapma	0,37	0,72	0,00	0,00

Orman yolunda AD-1 ve AD-2 nolu atım yerindeki kayada açılan deliklerin patlayıcı ile şarjı güneşli hava ve kuru zemin koşullarında, 2 kişilik ekiple delikler kuru iken gerçekleştirilmiştir.

Deliklerin patlatılmasında, MKE tarafından üretilen kartuş tipinde Jelatinit dinamitler kullanılmıştır. Patlayıcı maddenin ateşlenmesi için ise 5/K dip numaralı 150 ms gecikmeli elektrikli kapsüller kullanılmıştır. Patlatma sırasında delikler veya delik sıraları arasında herhangi bir gecikme uygulanmamıştır. Tüm deliklerde aynı gecikmeye sahip kapsül kullanılmakta ve aynı anda ateşlenmiştir.

Açılan patlatma deliklerine patlayıcı madde şarjında her 80 cm derinlik için 2 adet Jelatinit dinamit kartuşu yerleştirilmiştir. Kuru deliklerde ise dinamitlerin üzeri yemlemeye duyarlı ANFO ile doldurulmaktadır. Patlayıcı madde şarjı yapılan deliklerde uygulanan sıkılama boyu 0,80 m derinliklerde en üst kısımdan 20 cm ve 1,60 m derinlikteki deliklerde ise 40 cm derinlik kumlu toprak ile sıkılması yapılmıştır (Şekil 37).



Şekil 37. Atım yerinde deliklerin şarjı

Elektrikli kapsül, jelatinit dinamit kartuşlarından en alttan ikincisinin içine yerleştirilmiş, her bir kablonun birleştirilmesi ile oluşturulan devrenin, manyeto ile ateşlenmesi sonucu patlatma gerçekleştirilmiştir.

Atım yerindeki tüm deliklerde kullanılan toplam patlayıcı miktarı olarak 96 adet jelatinit dinamit kartuşu kullanılmıştır. Buna göre deliklerin şarjında; 13,44 kg jelatinit dinamit ve buna ilaveten 3,90 kg ANFO olmak üzere, kullanılan toplam patlayıcı miktarı 17,34 kg 'dır.

Atım yerinde patlatılan alterasyona uğramış granit türü kayanın toplam hacmi 75,70 m³ dür. Granit için *özümlü şarj* bir başka deyişle 1 m³ kayayı parçalamak için kullanılan patlayıcı madde miktarı 0,229 kg/m³ olarak hesaplanmıştır. Aynı şekilde granit türü için *özümlü delme* veya 1 m³ yerinde kayayı parçalamak için delinen delik boyu 0,51 m/m³ olarak hesaplanmıştır (Tablo 20). Genel olarak özümlü şarjın yaklaşık 0,20 kg/m³ ile 0,25 kg/m³ arasında kullanılması önerilmektedir. Bu atımdaki özümlü şarj miktarı 0,229 kg/m³ olarak hesaplanmış ve verilen ortalama kadardır.

Tablo 20. AD-1 ve AD-2 nolu atımda kaya hacmi, özümlü şarj ve özümlü delme

Kaya türü	Patlatılan kaya hacmi m ³	Toplam delik boyu m	Toplam patlayıcı miktarı kg	Özümlü	
				Şarj kg/m ³	Delme m/m ³
Granit	75,70	38,40	17,34	0,229	0,51

Yapılan atım sonrasında, özellikle tabanda açılan deliklerde istenilen parçalanma sağlanamamış ve kaya fırlamaları oluşmuştur. Kazı sevi oluşturmak amacı ile açılan patlatma deliklerinden istenen platform açılmış ancak düzenli delik aralık ve dilim kalınlığının yüksek olduğu yerlerdeki delikler şevde tüm derinliği boyunca ötelemeyi sağlayamamış ve yoğun kaya fırlamaları gözlenmiştir.

4.1.2. Alacadağ OİŞ 120 Kodlu Orman Yolu ve Atıma Ait Bulgular ve Tartışılması

4.1.2.1. Orman Yolu İnşaatına Ait Bulgular ve Tartışılması

Alacadağ Orman İşletme Şefliği Yol Ağı Planında 120 kod numarası ile belirtilen orman yolu Hanzar yayla ile Kıraç yayla mevkileri arasında planlanmıştır. Orman yolunun planlanmış toplam uzunluğu 5+800 km'dir. Bu miktarın 0+750 km'lik bölümü 2006

yılında yapılmış ve yol inşaatı sırasında gerçekleştirilen kaya delme ve patlatma çalışmaları sırasında ölçüm, gözlem ve kayıtlar alınmıştır.

Orman yolunun 2006 yılında tamamlanan 0+750 km uzunluğundaki orman yolunun kazı ve tesviyesinde, aşağıda belirtilen tür ve miktarda toprak, küskü ve kaya materyali kazısı yapılmıştır. Bunlar;

- 1- Her cins toprağın kazılması ve kullanılması: 1 233,09 m³
- 2- Her cins küskünün kazılması ve kullanılması: 1 451,13 m³
- 3- Her cins yumuşak kayanın kazılması ve kullanılması: 1686,22 m³
- 4- Her cins sert kayanın kazılması ve kullanılması: 3 349,015 m³
- 5- Her cins çok sert kayanın kazılması ve kullanılması: 2 686,59 m³ olmak üzere

0+750 km uzunluğundaki orman yolunda yapılan toplam kazı miktarı 10 406,04 m³ olmuştur. Orman yolunda gerçekleştirilen kazı ve tesviye işleri sonunda hak ediş miktarı 57 141,54 YTL 'dir (TOBM, 2006). Buna göre bölgede 2006 yılında 1 km orman yolunun kazı ve tesviye maliyeti 76 188,85 YTL olmuştur.

Alacadağ O.İ.Ş 120 kod numaralı orman yolu yapımında Liebherr A904 marka, 2005 model paletli hidrolik ekskavatör kullanılmıştır. Ayrıca kaya kazısı işlerinde ekskavatör koluna monte edilen kırıcı, patlatılmasına karar verilen kaya bloklarında patlatma deliklerinin açılması için ise pnömatik kompresör kullanılmıştır.

4.1.2.2. Kaya Patlatma ile Atımın Dizaynına Ait Bulgular ve Tartışılması

Alacadağ Orman İşletme Şefliği 120 kod numaralı orman yolunda gerçekleştirilen bir atımda ölçüm, kayıt ve gözlem yapılmış ve AD-3 nolu atım olarak isimlendirilmiştir. Kaya patlatma yeri kuzeydoğu bakıda, yamaç eğimi % 80 olup patlatma noktasının ortalama yükselti 1342 m'dir. Atım yapılan yer 1/25000 ölçekli Trabzon G42-a3 pafta numaralı standart topografik haritada Kıraç Yayla mevkiinde yer almaktadır.

AD-3 nolu atım sonrasında alınan kayaç örneklerinin tanımlanmasıyla patlatılan kaya türünün kireçtaşı olduğu belirlenmiştir. Patlatılarak kazısı yapılan kireçtaşı kimyasal tortul kayalardandır.

Yol platformunun istenen seviyeye indirilmesi, kazı şevi ve kazı hendeğinin oluşturulması amacıyla ortaya çıkan kireçtaşı kayasında kompresörle delikler açılmış ve patlayıcı madde kullanılarak kazısı gerçekleştirilmiştir. (Şekil 38).

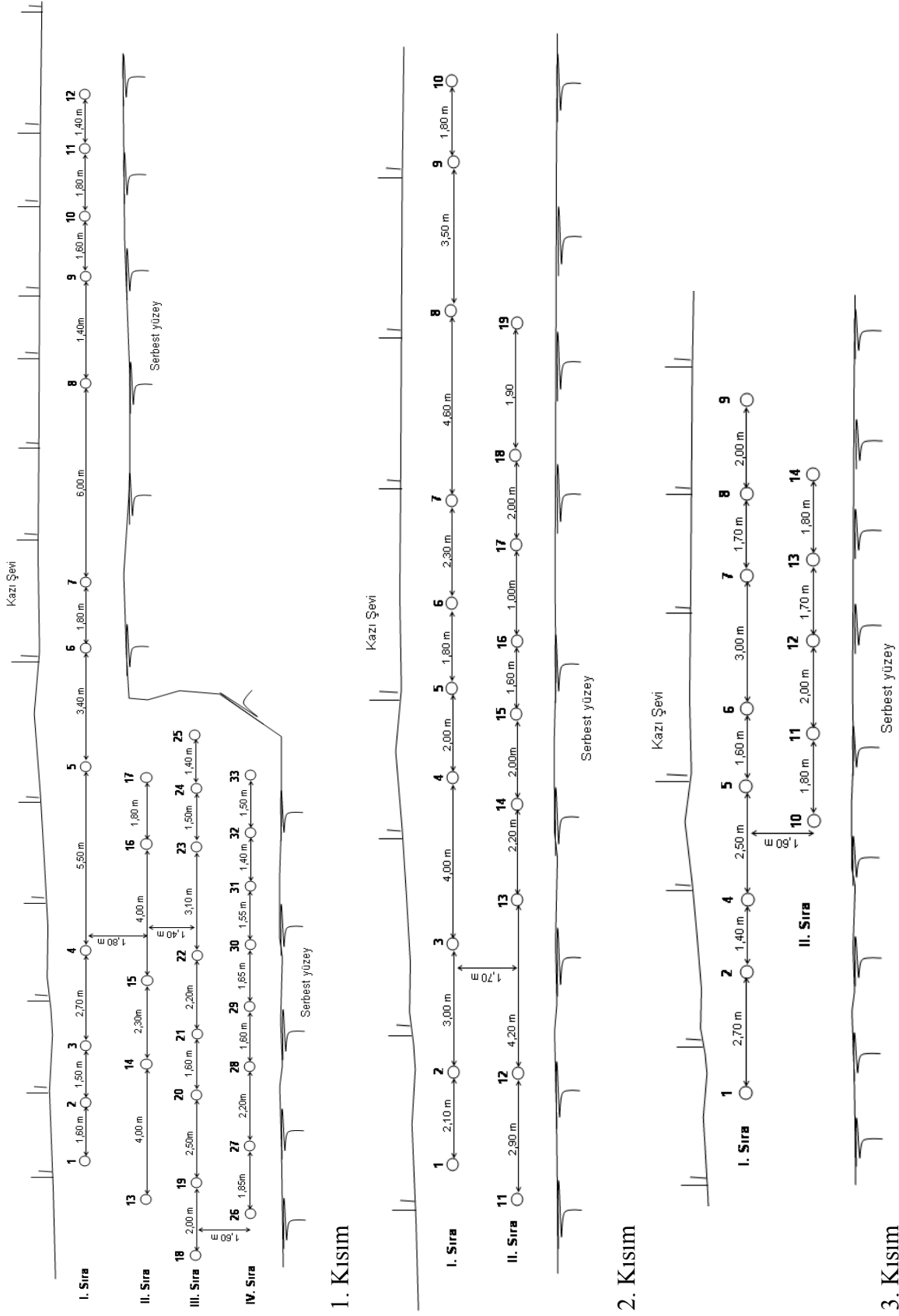


Şekil 38. AD-3 nolu atım yerinde kompresörle patlatma deliği açılması

Patlatılacak kaya, çoğunlukla kazı şevinde, bazı yerlerde ise yol platformu ve kazı hendeği üzerinde yer almaktadır. Kayada yol boyunca 96 m uzunlukta 3 ayrı bölümde patlatma delikleri açılmıştır. Yol başlangıç yönü dikkate alınarak, aşağıdan yukarıya doğru üç ayrı yerde kaya bloğu üzerinde açılan patlatma delikleri ve dağılımları 1., 2. ve 3. kısım şeklinde isimlendirme yapılmıştır. Kayada açılan patlatma deliklerinin üstten görünüşleri her bir kısım için ayrı ayrı verilmiştir (Şekil 39).

Kayanın patlatılması için, 1. kısımda dört sıralı olarak, 2. ve 3. kısımlar ise iki sıralı ve şaşbeş düzende olmak üzere, hepsi düşey yönde 65 adet patlatma deliği açılmıştır. Bu patlatma deliklerinden 7 tanesi 80 cm, 12 tanesi 120 cm, 5 tanesi 130 cm, 13 tanesi 140 cm, 22 tanesi 150 cm ve 6 tanesi 160 cm derinliğinde delinmiştir (Şekil 39). Kayada üç ayrı kısımda açılan deliklerin derinlikleri 0,80 m ile 1,60 m arasında değişmekte olup, ortalama delik derinliği 1,34 m'dir.

Aynı sırada yer alan patlatma delikleri arasındaki uzaklık 1,00 m ile 6,00 m arasında değişmekte olup, ortalama delik aralığı 2,34 m'dir. Açılan delik sıraları arasındaki dilim kalınlığı ise 1,40 m ile 1,80 m arasında değişmekte ve ortalama dilim kalınlığı ise 1,62 m olarak hesaplanmıştır (Tablo 21). Buna göre delikler arası mesafenin, dilim kalınlığına oranı 1,44 olup 1'den büyüktür. Bu oranın 1'den küçük olması durumunda, sıkılama malzemesinin erken boşalması nedeniyle hava şoku, gürültü çok iri blok oluşumu gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır. Uygulanan dilim kalınlığının delikler arası mesafeye oranı (B/S) 1/1,44'dir. Bu oran delik düzenlerinden şaşbeş düzende 1/1,50 şeklinde olup, bu nedenle açılan deliklerin düzeni şaşbeş düzendedir.



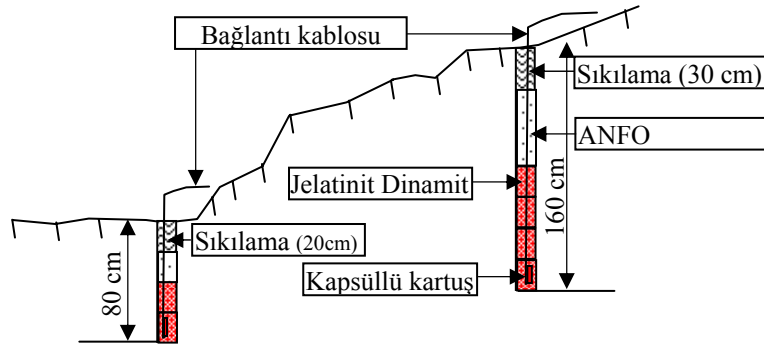
Şekil 39. AD-3 nolu atım yerinde uygulanan delik düzeni ve üstten görünümü

Tablo 21. AD-3 nolu atımda delik düzeni ve patlatmaya ilişkin bilgiler

Delik sayısı	Delik çapı	Toplam delik boyu		Delik boyu	Delikler arası mesafe	Dilim kalınlığı	Sıkılama Boyu
Adet	cm	m		m	m	m	m
65	2,54	87,30	Ortalama	1,34	2,34	1,62	0,27
			En uzun	1,60	6,00	1,80	0,30
			En kısa	0,80	1,00	1,40	0,20
			Std. sapma	0,23	1,05	0,15	0,52

AD-3 nolu atım yerinde deliklerin patlayıcı ile şarjı güneşli hava ve kuru zemin koşullarında 2 kişilik ekiple delikler kuru halde iken gerçekleştirilmiştir. Kayanın patlatılmasında Jelatinit dinamitler şarj edilmiştir. Bu dinamitlerin ateşlenmesi için, 5/K dip numaralı 150 ms gecikmeli elektrikli kapsüller kullanılmıştır. Delikler veya delik sıraları arasında herhangi bir gecikme uygulanmamakta tüm deliklerde aynı gecikmeye sahip kapsül kullanılmakta ve aynı anda patlatılmaktadır.

Deliklere patlayıcı şarjında; 0,80 m derinliğindeki deliklere 2 adet jelatinit dinamit 0,80 m'den daha derin deliklere ise 4 adet jelatinit dinamit yerleştirilerek, üzerine yemlemeye duyarlı ANFO şarj edilip kumlu toprak ile sıkılması yapılmıştır. Sıkılama boyu delik derinliğine göre değişmekte olup 0,80 m ve 1,20 m derinliğindeki deliklerde 20 cm, daha derin deliklerde ise 30 cm olarak uygulanmıştır (Şekil 40). Delik boyunun 1/3 oranında sıkılama yapılması kabul edildiğinde genel olarak sıkılama boyunun daha az uygulanmıştır.



Şekil 40. AD-3 nolu atım yerindeki deliklere patlayıcı madde şarjı

Elektrikli kapsül, delikte en altta yer alan dinamit kartuşunun içine yerleştirilmiştir. Her delikteki elektrikli kapsül kabloları, elektrik akımını paralel bir devre halinde

tamamlayacak şekilde, birbirine bağlanarak uzatma kablosu ile manyetoya bağlanmıştır. Daha sonra manyetodan bu devreye elektrik verilerek deliklerin ateşlenmesi gerçekleştirilmiştir.

Atım yerindeki patlatma deliklerinde 246 adet jelatinit dinamik kartuşu kullanılmıştır. Buna göre toplam; 34,44 kg kapsüle duyarlı Jelatinit Dinamit ve buna ilaveten 8,34 kg ANFO kullanılmıştır. Kullanılan tüm patlayıcı miktarı ise 42,78 kg'dır.

Atım yerinde patlatılan kireçtaşı türündeki kayanın toplam hacmi 204,00 m³ dür. Kireçtaşı için *özellik şarj* bir başka deyişle; 1 m³ kayayı parçalamak için kullanılan patlayıcı madde miktarı 0,210 kg/m³ olarak hesaplanmıştır. Aynı şekilde kireçtaşı için *özellik delme* veya 1 m³ yerinde kayayı parçalamak için delinen delik boyu 0,43 m/m³ olarak hesaplanmıştır (Tablo 22).

Tablo 22. AD-3 nolu atımda kaya hacmi, özellik şarj ve özellik delme

Kaya türü	Patlatılan kaya hacmi m ³	Toplam delik boyu m	Toplam patlayıcı miktarı kg	Özellik	
				Şarj kg/m ³	Delme m/m ³
Kireçtaşı	204,00	87,30	42,78	0,210	0,43

Genel olarak özellik şarjın yaklaşık 0,20 ile 0,25 kg/m³ arasında olması önerilmektedir. Kireçtaşının türündeki kayanın patlatıldığı AD-3 nolu atımdaki özellik şarj miktarı 0,210 kg/m³ olup verilen ortalama miktardadır.

Yapılan atım sonrasında sonrası, istenilen platform yer yer oluşturulmuş ancak delik aralığı ve dilim kalınlığının uzun olduğu yerlerde istenilen parçalanma olmamıştır. Atım sonrasında yaklaşık 1 m³'e varan hacimlerde kaya kütleleri ortaya çıkmıştır. Ekskavatörle yol yapımı sırasında bu tür kaya blokları, yolun dolgu seviye tarafına kontrollü ve birbirine kilitlenecek şekilde yerleştirilebilmektedir. Bu sayede hem kazı materyali yamaç aşağıda atılmamış ve yol platformu kolayca oluşturulabilmektedir. Yine bu kaya blokları kazı seviye tarafında, özellikle yamaç tarafında, gevşek materyal olan yerlerde kuru taş duvar olarak ekskavatör kovası ile kolayca yerleştirilebilmektedir.

4.1.3. Şalpazarı OİŞ 002 Kodlu Orman Yolu ile Atımlara Ait Bulgular ve Tartışılması

4.1.3.1. Orman Yolu İnşaatına Ait Bulgular ve Tartışılması

Şalpazarı Orman İşletme Şefliği, Yol Ağı Planında 002 kod numarası ile belirtilen orman yolu, Gökçeköy köyü ile Güdünayla mevkileri arasında planlanmıştır. Orman yolu inşaatı mevcut yolun bitiminden başlayarak, Cibadere paralelinde 1+500 km inşası gerçekleştirilmiştir. Yol inşaatında gerçekleştirilen kaya patlatma çalışmaları sırasında ölçüm, gözlem ve kayıtlar alınmıştır.

Orman yolunun 2007 yılında tamamlanan 1+500 km uzunluğundaki bölümünün yapımı için, aşağıda belirtilen tür ve miktarda toprak, küskü ve kaya türü materyalin kazısı ve tesviyesi yapılmıştır. Bunlar miktarları;

- 1- Her cins toprağın kazılması ve kullanılması: 6 134,67 m³
- 2- Her cins küskünün kazılması ve kullanılması: 5 478,06 m³
- 3- Her cins yumuşak kayanın kazılması ve kullanılması: 1 153,51 m³
- 4- Her cins sert kayanın kazılması ve kullanılması: 272,61 m³
- 5- Her cins çok sert kayanın kazılması ve kullanılması: 1 503,33 m³ olmak üzere

orman yolunda yapılan toplam kazı miktarı 14 542,18 m³ olmuştur. Orman yolunda gerçekleştirilen kazı ve tesviye işleri sonucunda kesin hak ediş miktarı ise 85 472,93 YTL'dir (TOBM, 2007). Buna göre bölgedeki 1 km orman yolunun kazı ve tesviye maliyeti 56 981,95 YTL olarak gerçekleşmiştir.

Şalpazarı O.İ.Ş'deki orman yolu yapımında Sumitomo SH200 LC-3 marka, 2005 model paletli hidrolik ekskavatör kullanılmıştır (Şekil 41). Buna ilaveten kaya kazısı işlerinde ekskavatör koluna monte edilen kırıcı, patlatılmasına karar verilen kaya bloklarında patlatma deliklerinin açılması için ise kompresör kullanılmıştır.



Şekil 41. Şalpazarı OİŞ orman yolu yapımı alanında kullanılan hidrolik ekskavatör

4.1.3.2. Kaya Patlatma ile Atımların Dizaynına Ait Bulgular ve Tartışılması

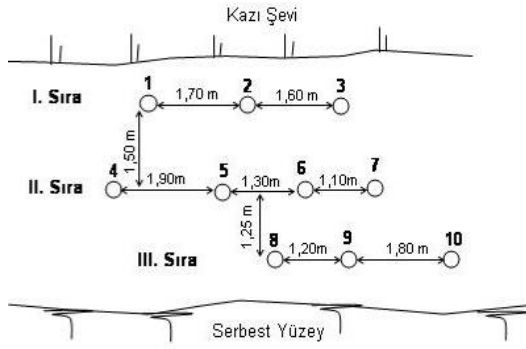
Şalpazarı Orman İşletme Şefliği 002 kod numaralı orman yolunun inşası sırasında gerçekleştirilen atımlarda ölçüm, kayıt ve gözlem yapılmıştır. Atım sırasında sismograf ile yer sarsıntısı ve hava şoku değerleri ölçülmüş ve atımın yapıldığı tarih sırasına göre SP-1, SP-2, SP-3, ..., SP-9 nolu atımlar olarak isimlendirilmiştir.

Bu atımlardan SP-1, SP-2, SP-3, SP-4 ve SP-5 nolu atımlarda patlatılan kaya türü magmatik kayalardan piroklastik bazaltik tüf olduğu ve SP-6, SP-7, SP-8 ve SP-9 nolu atımlarda patlatılan kaya türünün ise magmatik kayalardan bazalt olduğu belirlenmiştir. Kaya patlatma yerleri hakim bakışı güneydoğu bakıda, yamaç eğimi % 80-85 ve ortalama yükseltisi ise 925 m ile 947 m arasında değişmektedir.

1. SP-1 nolu atıma ve dizaynına ait bulgular:

SP-1 nolu atım yerindeki kayanın patlatılması için, üç sıralı ve şerbeş düzende 10 adet patlatma deliği açılmıştır (Şekil 42). Açılan patlatma deliklerinin hepsi 1,60 m derinliğinde düşey yönde delinmiştir.

Aynı sırada yer alan patlatma delikleri arasındaki uzaklık 1,10 m ile 1,90 m arasında değişmekte olup, ortalama 1,51 m'dir. Üç sıra olarak delinen delik sıraları arasındaki dilim kalınlığı ise 1,25 m ve 1,50 m olarak uygulanmış ve ortalaması da 1,38 m olmuştur (Tablo 23).



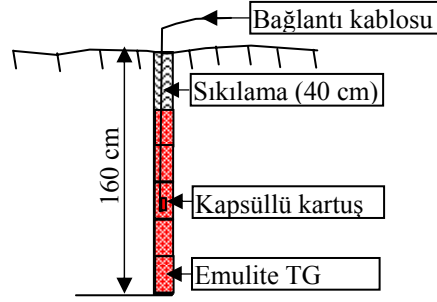
Şekil 42. SP-1 nolu atım yerindeki kayada patlatma delikleri ve düzeni

Uygulanan delikler arası mesafenin, dilim kalınlığına oranı 0,86 olup 1'den küçük olarak uygulanmıştır. Uygulanan dilim kalınlığının delikler arası mesafeye oranı (B/S) 1/0,86 olup bu oran kare düzende 1/1 şeklinde olup, deliklerin düzeni yaklaşık kare düzende delinmiştir.

Tablo 23. SP-1 nolu atımda delik düzeni ve patlatmaya ilişkin bilgiler

Delik sayısı	Delik çapı	Toplam delik boyu		Delik boyu	Delikler arası mesafe	Dilim kalınlığı	Sıkılama Boyu
adet	cm	m		m	m	m	m
10	2,54	16,00	Ortalama	1,60	1,51	1,38	0,40
			En uzun	1,60	1,90	1,50	0,40
			En kısa	1,60	1,10	1,25	0,40
			Std. sapma	0	0,31	0,17	0

SP-1 nolu atım yerindeki kayada açılan deliklerin patlayıcı ile şarjı güneşli hava ve kuru zemin koşullarında 2 kişilik ekiple delikler kuru halde iken gerçekleştirilmiştir. Patlatma deliklerinin şarjında, Emulite TG emülsiyon patlayıcı kartuşları kullanılmıştır. Derinliği 160 cm olan deliklere patlayıcı şarjında; en alta 2 adet, ortaya içine 150 milisaniye gecikmeli (5/K dip numaralı) kapsül yerleştirilmiş 1 adet ve en üste 2 adet olmak üzere, her delikte toplam 5 adet Emulite TG kartuşu yerleştirilmiştir. Bunların üzeri ise ortalama 40 cm derinliğinde kumlu toprak ile sıkılması yapılmıştır (Şekil 43).



Şekil 43. SP-1 nolu atım yerinde uygulanan delik şarjı

Genel olarak delik boyunun 1/3 oranında sıklama yapılması gerekirken, bu atımda uygulanan sıklama boyunun delik uzunluğuna oranı, delik boyunun yaklaşık 1/4'i olan 40 cm uzunluk sıklama boyu olarak uygulanmıştır. Bu açıdan bakıldığında, uygulanması gereken sıklama boyu 53 cm olması gerekirken 40 cm sıklama uygulanmıştır.

Atım yerinde tüm deliklerde toplam 50 adet kapsüle duyarlı Emulite TG kartuşu kullanılmıştır. Deliklerin şarjında toplam 7,75 kg Emulite TG emülsiyon patlayıcı kullanılmış ancak ANFO kullanılmamıştır. Patlatılan piroklastik bazaltik tuf türü kayanın hacmi 54,08 m³ tür. Bazaltik tuf için *özümlü şarj* 0,143 kg/m³ olarak hesaplanmıştır. Aynı şekilde bazaltik tuf türü için *özümlü delme* 0,30 m/m³ olarak hesaplanmıştır (Tablo 24). SP-1 nolu atımda hem *özümlü şarj* miktarı hem de *özümlü delme* miktarı olarak tüm atımlar içerisinde en az olarak uygulanmıştır.

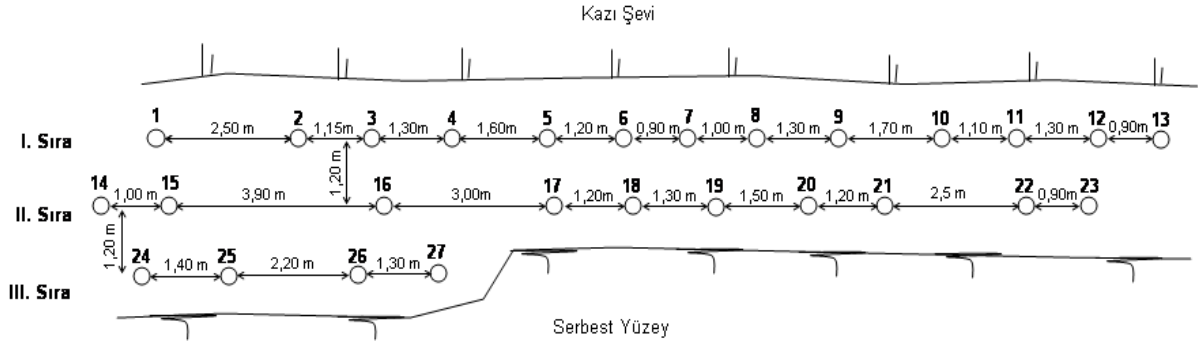
Tablo 24. SP-1 nolu atımda kaya hacmi, *özümlü şarj* ve *özümlü delme*

Kaya türü	Patlatılan kaya hacmi m ³	Toplam delik boyu m	Toplam patlayıcı miktarı kg	Özümlü	
				Şarj kg/m ³	Delme m/m ³
Bazaltik tuf	54,08	16,00	7,75	0,143	0,30

Patlatma sonrasında istenilen parçalanma ve ötelenme sağlanmıştır. Yaklaşık hacmi 1-2 m³ olan kaya blokları oluşmuştur. Açılan patlatma delikleri kazı şev tabanında açılmış olup, patlatma ile şev üstündeki kayanın kütlelerinin altı boşaldığından aşağı gelmiştir. Buna rağmen patlatma delikleri bir dilim kalınlığı oluşmadığından sadece üst kısımlarından kayayı koparabilmiş ve tüm derinlikleri boyunca öteleme yapamamıştır. Bu nedenle patlatılacak kaya bloğunda serbest yüzeyin oluşumuna olanak veren gecikmeli patlatmanın uygulanması gerekmektedir.

2. SP-2 ve SP-3 nolu atıma ve dizaynına ait bulgular:

Atım yerindeki patlatılan kayada 27 patlatma deliğinin 21 tanesinin SP-2 nolu atımla, geri kalan 6 tane deliğin ateşlenmesi ise SP-3 nolu atımla aynı günde gerçekleştirilmiştir (Şekil 44). Kayada yapılan iki ayrı atıma ait sismograf kayıtlarının incelenebilmesi amacıyla SP-2 ve SP-3 nolu atımlar olarak adlandırılmıştır.



Şekil 44. SP-2 ve SP-3 nolu atımda uygulanan delik düzeni ve üstten görünümü

SP-2 ve SP-3 nolu atım yerindeki kayanın patlatılması için, üç sıralı ve şerbeş düzende 27 adet patlatma deliği açılmıştır. Açılan patlatma deliklerinin tümü 1,60 m derinliğinde ve düşey yönde delinmiştir. Aynı sıradaki patlatma delikleri arasındaki uzaklık 0,90 m ile 3,90 m arasında değişmekte olup, ortalama 1,56 m'dir. Üç sıra olarak delinen delik sıraları arasındaki ortalama dilim kalınlığı 1,20 m olarak uygulanmıştır (Tablo 25).

Tablo 25. SP-2 ve SP-3 nolu atımda uygulanan delik düzeni ve patlatmaya ilişkin bilgiler

Delik sayısı	Delik çapı	Toplam delik boyu		Delik boyu	Delikler arası mesafe	Dilim kalınlığı	Sıkılama Boyu
Adet	cm	m		m	m	m	m
27	2,54	43,20	Ortalama	1,60	1,56	1,20	0,15
			En uzun	1,60	3,90	1,20	0,15
			En kısa	1,60	0,90	1,20	0,15
			Std. sapma	0	0,75	0	0

Delikler arası mesafenin, dilim kalınlığına oranı 1,30 olup 1'den büyüktür. Patlatma sonrasında çok iri olmayan, ekskavatörle kovasına alınabilecek boyutlarda kaya parçaları

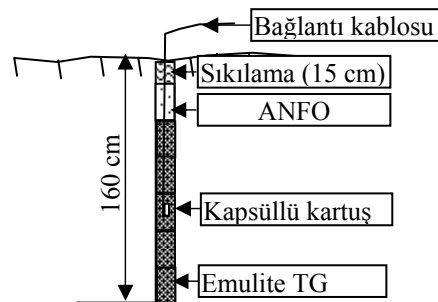
oluşmuştur (Şekil 45). Dilim kalınlığının, delikler arası mesafeye oranı (B/S) 1/1,30 olup, delikler yaklaşık şerbeş düzende delinmiştir.

SP-2 ve SP-3 nolu atımların gerçekleştirildiği kayada açılan deliklerin patlayıcı ile şarjı güneşli hava ve kuru zemin koşullarında 3 kişilik ekiple, delikler kuru halde iken gerçekleştirilmiştir.



Şekil 45. Atım yerinde patlayıcı şarjı ve patlatma sonrası oluşan blok boyutu

Patlatma deliklerinin şarjında, Emulite TG emülsiyon patlayıcı kartuşları kullanılmıştır. Her bir patlatma deliğine en alta 2 adet, ortaya içine 25 ms gecikmeli elektrikli kapsülden 1 adet ve en üste 2 adet olmak üzere, toplam 5 adet Emulite TG kartuşu yerleştirilmiştir. Kartuşların üzerine ANFO şarj edilerek, kumlu toprak ile sıkılması yapılmıştır. Patlatma deliklerinin tümünde, sıkılama boyu ortalama 15 cm olarak uygulanmıştır (Şekil 46).



Şekil 46. SP-2 ve SP-3 nolu atımlarda uygulanan delik şarjı

Genel kabul olarak delik boyunun 1/3 oranında sıkılama yapılması genel kabul görmektedir. Ancak bu atımda uygulanan sıkılama boyunun delik uzunluklarına oranına bakıldığında delik boyunun yaklaşık 1/11'i olan uzunluk, sıkılama boyu olarak uygulanmıştır. Bu açıdan bakıldığında, uygulanması gereken sıkılama boyu 53 cm olması gerekirken, sade 15 cm sıkılama boyu olarak uygulanmıştır.

Atım yerinde tüm deliklerde toplam 135 adet Emulite TG kartuşu kullanılmıştır. Bu deliklerden 21 tanesi SP-2 nolu atımda patlatılmış ve 16,28 kg Emulite TG ile 1,68 kg ANFO olmak üzere toplam 17,96 kg patlayıcı kullanılmıştır. Geri kalan 6 delik ise SP-3 nolu atımda patlatılmış ve 4,65 kg Emulite TG ile 0,48 kg ANFO olmak üzere toplam 5,13 kg patlayıcı kullanılmıştır. Buna göre iki ayrı atımda kullanılan toplam patlayıcı miktarı 20,93 kg Emulite TG 'ye ilaveten 2,16 kg ANFO olmak üzere, kayanın patlatılması için toplam 23,09 kg patlayıcı kullanılmıştır.

SP-2 nolu atımla patlatılan kaya hacmi 86,40 m³ dür. Bazaltik tüf için *özümlü şarj* 0,208 kg/m³, *özümlü delme* ise 0,39 m/m³ olarak hesaplanmıştır. SP-3 nolu atımda ise patlatılan kaya hacmi 16,00 m³ dür. Bazaltik tüf için *özümlü şarj* 0,321 kg/m³ olmuş ve *özümlü delme* 0,60 m/m³ olarak hesaplanmıştır (Tablo 23).

Her iki atımda da patlatılan kaya türünün bazaltik tüf olmasına karşılık, 1 m³ kayanın patlatılması için SP-3 nolu atımda 320 gram patlayıcı kullanılırken, SP-2 nolu atımda ise 210 gram kullanılmıştır. Buna göre patlatılan kaya hacmi arttıkça *özümlü şarj* ve *özümlü delme* miktarının azaldığı görülmektedir. Yine aynı kaya türünün patlatıldığı yapılan diğer atımlarla karşılaştırıldığında, SP-2 nolu atıma ait *özümlü şarj* değeri ortalama değer olan 0,200 kg/m³ daha yakınken, SP-3 nolu atıma ait *özümlü şarj* değeri ise yaklaşık % 60 daha fazladır. Bu durum az sayıda deliklerin ayrı ayrı patlatılması yerine, deliklerin grup halinde atımının yapılmasının daha ekonomik olacağını göstermektedir.

Tablo 26. SP-2 ve SP-3 nolu atımda kaya hacmi, *özümlü şarj* ve *özümlü delme*

Atım No	Kaya türü	Patlatılan kaya hacmi m ³	Toplam delik boyu m	Toplam patlayıcı miktarı kg	Özümlü	
					Şarj kg/m ³	Delme m/m ³
SP-2	Bazaltik tüf	86,40	33,60	17,96	0,208	0,39
SP-3	Bazaltik tüf	16,00	9,60	5,13	0,321	0,60

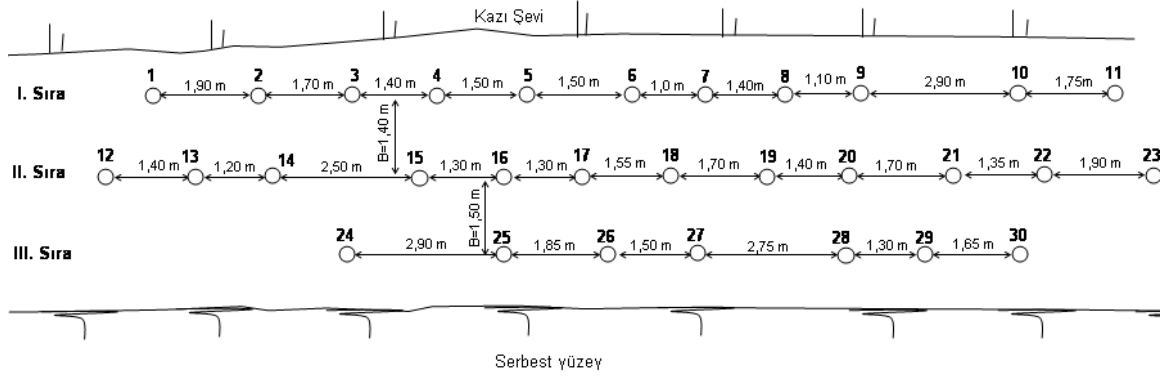
Aynı şekilde, 1 m³ kayanın patlatılması için SP-3 nolu atımda 60 cm delik delinmesine karşılık SP-2 nolu atımda 39 cm derinliğinde delik delinmiştir. Bu durum kaya

patlatmalarında az sayıda delik delinerek yapılacak atımların daha maliyetli olduğunu, bunun yerine yol geçkisi boyunca uygun sayıda ve düzende açılacak patlatma deliklerinin açılması ile düzeltilebilecektir.

Yapılan atım sonrasında, patlatılmak istenen kaya üzerinde açılan delikler arası mesafe ve dilim kalınlığı sürekli farklılık gösterdiğinden bazı yerlerde, kaya yeterince ötelenirken özellikle arka sıralarda yeterli öteleme olmamıştır. Bu nedenle parçalanma delik ağzı çevresinde olmakta ve bu durum ise kaya fırlamalarına neden olmaktadır. Ön sırada yeterince öteleme olmuş, askıda yada çatlatılan kaya parçalarının ekskavatör kırıcısı ile tekrar kırılmak durumunda kalmıştır. Bu nedenle patlatmada, hem dilim kalınlığı daha kısa tutulmalı hem de sıra sıra atım için gecikmeli ateşleme yapılmalıdır.

3. SP-4 nolu atıma ve dizaynına ait bulgular:

Atım yerindeki kayanın patlatılması için, üç sıralı ve yaklaşık kare düzende 30 adet patlatma deliği açılmıştır. Açılan deliklerinin hepsi 1,60 m derinliğinde düşey yönde delinmiştir (Şekil 47). Aynı sırada yer alan patlatma delikleri arasındaki uzaklık 1,00 m ile 2,90 m arasında değişmekte ve ortalaması 1,68 m hesaplanmıştır. Üç sıra olarak delinen delik sıraları arasındaki ortalama dilim kalınlığı 1,46 m olarak uygulanmıştır (Tablo 27).



Şekil 47. SP-4 Nolu atımda uygulanan delik düzeni ve üstten görünümü

Delikler arası mesafenin, dilim kalınlığına oranı 1,16 olup 1 den büyüktür. Patlatma sonrasında patlatılan kaya kısmen yerinde çatlamış, ekskavatörle kovaşına alınabilecek boyutlarda kaya parçaları oluşmuştur (Şekil 48). Dilim kalınlığının, delikler arası mesafeye oranı (B/S) 1/1,16 olup, delikler yaklaşık kare düzende delinmiştir.

Tablo 27. SP-4 nolu atımda delik düzeni ve patlatmaya ilişkin bilgiler

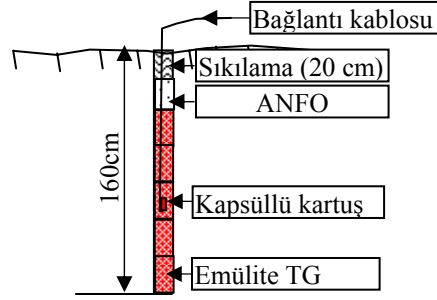
Delik sayısı	Delik çapı	Toplam delik boyu		Delik boyu	Delikler arası mesafe	Dilim kalınlığı	Sıkılama Boyu
adet	cm	m		m	m	m	m
30	2,54	48,00	Ortalama	1,60	1,68	1,45	0,20
			En uzun	1,60	2,90	1,50	0,20
			En kısa	1,60	1,00	1,40	0,20
			Std. sapma	0	0,52	0,07	0

SP-4 nolu atımın yapıldığı kayada açılan deliklerin patlayıcı ile şarjı güneşli hava ve kuru zemin koşullarında 3 kişilik ekiple delikler kuru halde iken gerçekleştirilmiştir. Her bir patlatma deliğinde toplam 5 adet Emulite TG kartuşu şarjında edilmiştir. Bu kartuşlar en altta 2 adet, ortaya içine 150 ms gecikmeli elektrikli kapsülden yerleştirilmiş 1 adet ve en üste 2 adet olmak üzere, Bu kartuşların üzerine 20 cm derinliği ANFO şarj edilmiştir. Her delikte ortalama 20 cm derinlikte kumlu toprak ile sıkılması yapılmıştır.



Şekil 48. SP-4 Nolu atımda patlatılma öncesi ve sonrasına ait genel görünüm

Delik boyunun 1/3 oranında sıkılama yapılması gerekirken, bu atımda uygulanan sıkılama boyunun delik uzunluklarına oranına bakıldığında delik boyunun yaklaşık 1/8'i olan uzunluk, sıkılama boyu olarak uygulanmıştır. Bir başka deyişle, uygulanması gereken sıkılama boyu 53 cm olması gerekirken, sadece 20 cm sıkılama uygulanmıştır (Şekil 49).



Şekil 49. SP-4 nolu atımda uygulanan patlayıcı şarjı

Atım yerindeki 30 adet patlatma deliğinde toplam 150 adet Emulite TG kartuşu kullanılmıştır. Buna göre tüm deliklerde kullanılan toplam Emulite TG miktarı 23,250 kg'dır. Bu miktara ilaveten tüm deliklerde 2,44 kg ANFO olmak üzere, kayanın patlatılması için toplam 25,69 kg patlayıcı kullanılmıştır.

SP-4 nolu atımda patlatılan piroklastik bazaltik tüf türü kayanın hacmi 128 m³'tür. Buna göre SP-4 nolu atımda 1 m³ bazaltik tüfün patlatılması için kullanılan patlayıcı miktarı veya *özellik şarj* 0,201 kg/m³ olarak hesaplanmıştır. Aynı şekilde 1 m³ bazaltik tüf türü kaya için *özellik delme* 0,38 m/m³ olarak hesaplanmıştır (Tablo 28).

Tablo 28. SP-4 nolu atımda kaya hacmi, özellik şarj ve özellik delme

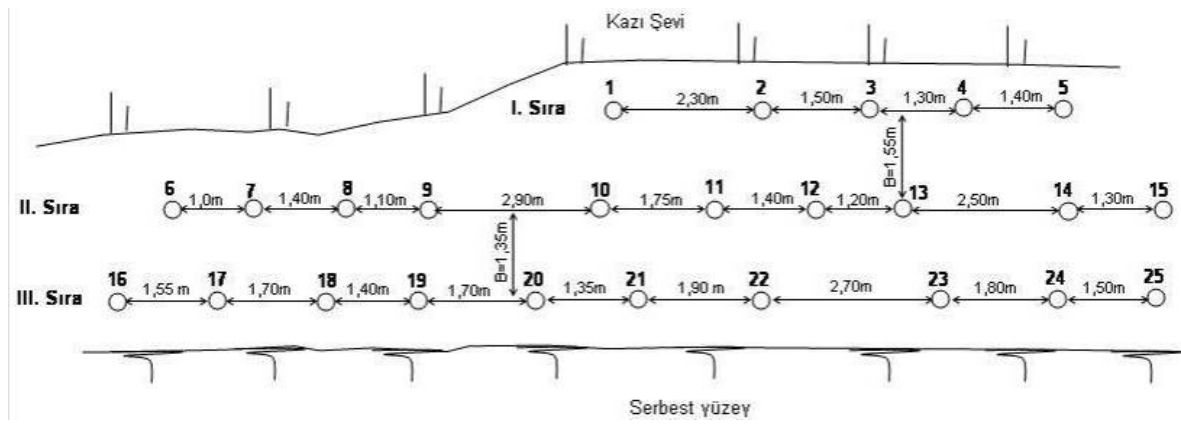
Kaya türü	Patlatılan kaya hacmi	Toplam delik boyu	Toplam patlayıcı miktarı	Özellik	
				Şarj	Delme
	m ³	m	kg	kg/m ³	m/m ³
Bazaltik tüf	128,00	48,00	25,69	0,201	0,38

Bu özellik şarj miktarı, aynı kaya türünün patlatıldığı SP-1 nolu atımdan (0,143 kg /m³) daha yüksek, ancak SP-3 nolu atımdan (0,321 kg /m³) daha azdır. Diğer atımlardaki özellik şarj miktarına ise yaklaşık değerdedir. Aynı şekilde özellik delme miktarı da özellik şarjda olduğu gibi benzerlik göstermektedir.

SP-4 nolu atım sonrasında, ön sıralardaki delikler kayanın parçalanmasını ve ötelenmesini arka sıradakiler göre daha iyi sağlamıştır. Sıkılama boyunun düşük tutulması ve tüm deliklerin aynı anda ateşlenmesi nedeni ile arka sıradaki deliklerin delik ağzı çevresinden kaya fırlamaları oluşmuştur. Yine bu delikler tüm derinlikleri boyunca kayayı öteleyememiştir. Bununla birlikte çatlatılan kaya ekskavatör kırıcısı ile tekrar kırılmak durumunda kalmıştır.

4. SP-5 nolu atıma ve dizaynına ait bulgular:

Kayanın patlatılması için, üç sıra halinde 25 adet patlatma deliği açılmıştır (Şekil 50). Açılan patlatma deliklerinin hepsi 2,20 m derinliğinde ve düşey yönde delinmiştir. Aynı sırada yer alan patlatma delikleri arasındaki uzaklık 1,00 m ile 2,90 m arasında değişmekte olup, ortalaması 1,67 m olarak hesaplanmıştır (Tablo 29). Üç sıra olarak delinen delik sıraları arasındaki dilim kalınlığı ise 1,55 m ve 1,35 m olarak uygulanmış olup ortalaması 1,45 m olmuştur.



Şekil 50. SP-5 nolu atımda uygulanan delik düzeni ve üstten görünümü

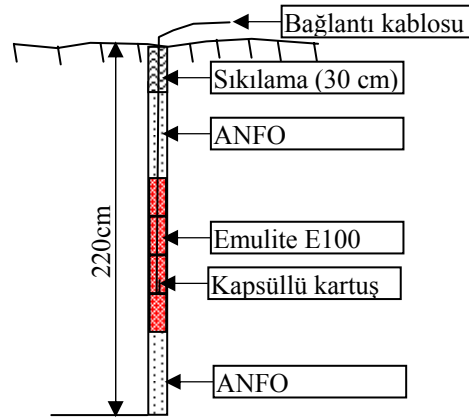
Delikler arası mesafenin, dilim kalınlığına oranı (S/B) 1,17 olup 1'den büyüktür. Kaya patlatma sonrasında çok iri bloklar oluşmamıştır. Aynı kaya türünün patlatıldığı ve bu oranın 1,16 olduğu SP-4 nolu atım ile yaklaşık aynıdır. Yine dilim kalınlığının, delikler arası mesafeye oranı (B/S) 1/1,17 olup, delikler yaklaşık kare düzende delinmiştir.

Tablo 29. SP-5 Nolu atımda delik düzeni ve patlatmaya ilişkin bilgiler

Delik sayısı	Delik çapı	Toplam delik boyu		Delik boyu	Delikler arası mesafe	Dilim kalınlığı	Sıkılama Boyu
Adet	cm	m		m	m	m	m
25	2,54	55,00	Ortalama	2,20	1,67	1,45	0,30
			En uzun	2,20	2,90	1,55	0,30
			En kısa	2,20	1,00	1,35	0,30
			Std. sapma	0	0,51	0,14	0

SP-5 nolu atımın yapıldığı kayada açılan deliklerin patlayıcı ile şarjı yağmurlu hava ve ıslak zemin koşullarında 3 kişilik ekiple, delikler ıslak ve nemli iken gerçekleştirilmiştir. Granüler bir patlayıcı olan ANFO suya dayanıklı değildir. Bu nedenle, ıslak deliklerde ANFO kullanılması teknik açıdan uygun değildir. SP-5 nolu atım yağmurlu hava koşullarında patlatma deliklerine şarj yapılmıştır.

Patlatma deliklerinin şarjında, her deliğe Emulite E100'den oluşturulan 4 adet kartuş şarj edilmiştir. Her bir patlatma deliğinde en alta ANFO ve üzerine 4 adet dinamit kartuşu yerleştirilmiştir (Şekil 51). Alttan ikinci kartuşun içine 25 ms gecikmeli elektrikli kapsül yerleştirilmiştir. Bu kartuşların üzerine ANFO şarj edilmiştir. Her delikte ortalama 30 cm derinlik kumlu toprak ile sıkılması yapılmıştır.



Şekil 51. SP-5 nolu atım yerinde deliklere patlayıcı şarjı

Genel kabul olarak delik boyunun 1/3'ü oranında sıkılama yapılması kabul görmektedir. Ancak bu atımda uygulanan sıkılama boyunun delik boyuna oranı yaklaşık 1/7'si olan 30 cm uzunluk, sıkılama boyu olarak uygulanmıştır. Bu açıdan bakıldığında, uygulanması gereken delik boyu 73 cm olması gerekirken, sade 30 cm sıkılama uygulanmıştır.

SP-5 nolu atımda tüm deliklerde k 15,625 kg Emulite E100 su bazlı patlayıcıya ilaveten 9,15 kg ANFO kullanılmıştır. Buna göre atımda toplam 24,775 kg patlayıcı madde kullanılmıştır. SP-5 nolu atımla patlatılan piroklastik bazaltik tüf türü kayanın hacmi 126,40 m³'tür. Buna göre 1 m³ bazaltik tüf türü kayacın patlatılması için *özellik şarj* 0,196 kg/m³ olarak hesaplanmıştır. Yine 1 m³ kayanın patlatılması için *özellik delme* 0,44 m/m³ olmuştur (Tablo 30).

Tablo 30. SP-5 nolu atımda kaya hacmi, özgül şarj ve özgül delme

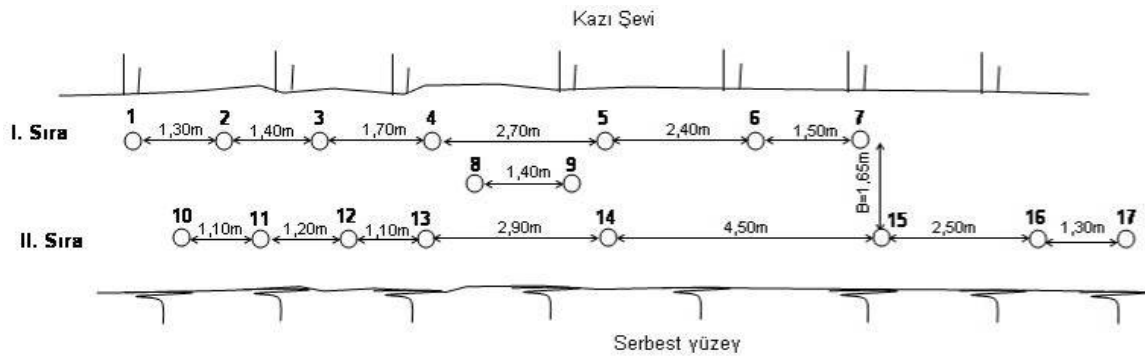
Atım No	Kaya türü	Patlatılan kaya hacmi m ³	Toplam delik boyu m	Toplam patlayıcı miktarı kg	Özgül	
					Şarj kg/m ³	Delme m/m ³
SP-5	Bazaltik tüf	126,40	55,00	24,77	0,196	0,44

Bu özgül şarj miktarı, aynı kaya türünün patlatıldığı SP-1 nolu atımdan (0,143 kg /m³) daha yüksek, ancak SP-3 nolu atımdan (0,321 kg /m³) daha azdır. Bazaltik tüfün patlatıldığı SP-2 ve SP-4 nolu atımlardaki özgül şarj miktarına ise yaklaşık aynı değerdedir. Özgül delme miktarı da özgül şarjda olduğu gibi benzerlik göstermektedir.

Gerçekleştirilen kaya patlatma sonrasında, patlatılmak istenen kaya ön sıralarda bir miktar öteleme ve çatlatılma olmuştur. Buna karşılık arka sıralardaki deliklerde ise istenilen çatlatma ve öteleme olmamıştır. Bunun temel nedeni, ıslak deliklerde ANFO'nun sudan etkilenmesi nedeni ile patlatmada etkili olamamıştır. Buna ilaveten delik derinliklerinin çok az bir kısmında sıkılmama yapılmış ve patlayıcı enerjisi ile oluşan basınçlı gazlar delik ağzı çevresinden kaya fırlamalarına neden olmuştur.

5. SP-6 nolu atıma ve dizaynına ait bulgular:

Kayanın patlatılması için iki sıra halinde 17 adet dikey yönde patlatma deliği açılmıştır. Bunlardan; ilk sırada 7 adet patlatma deliği 2,20 m derinliğinde, ikinci sırada ki 8 adet patlatma deliği ise 1,30 m derinliğinde açılmıştır. Bunlara ilaveten, iki sıra arasında 2 adet patlatma deliği ise 2,20 derinliğinde açılmıştır (Şekil 52).



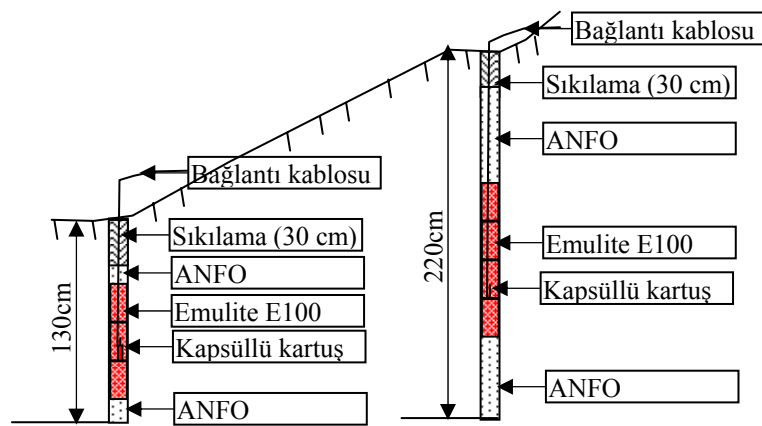
Şekil 52. SP-6 nolu atımda uygulanan delik düzeni ve üstten görünümü

Açılan delikler arasındaki uzaklık 1,10 m ile 4,50 m arasında değişmekte olup, ortalama uzaklık 1,93 m olarak hesaplanmıştır. Delik sıraları arasındaki ortalama dilim kalınlığı 1,65 m olarak uygulanmıştır (Tablo 28). Buna göre, delikler arası mesafenin, dilim kalınlığına oranı 1,17 olup 1'den büyüktür. Kayanın patlatılması sonrasında oluşan parça boyutları ekskavatör kovasına alınabilecek ebatlarda oluşmuştur. Dilim kalınlığının, delikler arası mesafeye oranı (B/S) 1/1,17 olup, delikler yaklaşık kare düzende delinmiştir.

Tablo 31. SP-6 nolu atımda uygulanan delik düzeni ve patlatmaya ilişkin bilgiler

Delik sayısı	Delik çapı	Toplam delik boyu		Delik boyu	Delikler arası mesafe	Dilim kalınlığı	Sıkılama Boyu
adet	cm	m		m	m	m	m
17	2,54	30,26	Ortalama	1,78	1,93	1,65	0,30
			En uzun	2,20	4,50	1,65	0,30
			En kısa	1,30	1,10	1,65	0,30
			Std. sapma	46,3	0,97	0	0

SP-6 nolu atım yerinde deliklerin patlayıcı ile şarjı güneşli hava ve kuru zemin koşullarında, iki kişilik bir ekiple, delikler kuru halde iken gerçekleştirilmiştir. Patlayıcı şarjında derinliği 2,20 m olan deliklerin doldurulmasında; en alta ANFO üzerine 4 adet Emulite E100 kartuşu, üzerine tekrar ANFO şarj edilerek, en üstten 30 cm uzunluk kumlu toprak ile sıkılması yapılmıştır (Şekil 53).



Şekil 53. SP-6 nolu atım yerinde deliklere patlayıcı şarjı

Derinliği 1,30 m olan patlatma deliklerinin şarjında ise en alta ANFO, ortada olan kartuş içine 150 ms gecikmeli elektrikli kapsül yerleştirilmiş ve her delikte 3 adet Emulite

E100'den oluşturulan kartuş yerleştirilmiştir. Kartuşların üzerine tekrar ANFO şarj edilerek en üstte 30 cm kumlu toprak ile sıkılama yapılmıştır.

Genel kabul olarak delik boyunun 1/3 oranında sıkılama yapılması kabul edilmektedir. Uygulanan sıkılama boylarının delik uzunluklarına oranına bakıldığında; 1,30 m derinliğindeki delik boyunun yaklaşık 1/4'ü ve 2,20 m derinliğindeki deliklerin boyunun ise 1/7'si oranında uzunluk (30 cm) sıkılama olarak uygulanmıştır. Bir başka deyişle sıkılama boyu 130 cm derinliğindeki bir delikte 43 cm, 220 cm derinliğindeki bir delikte ise 73 cm olarak uygulanması gerekirken, her ikisinde de sadece 30 cm olarak uygulanmıştır.

SP-6 nolu atımda magmatik kayalardan bazalt türü kayanın patlatılması için 9,382 kg Emulite E100 su bazlı patlayıcıya ilaveten 4,13 kg ANFO kullanılmıştır. Buna göre tüm deliklerde toplam 13,51 kg patlayıcı madde kullanılmıştır.

Atımla patlatılan bazalt türü kaya hacmi 72,62 m³'dür. Buradan atımda 1 m³ bazalt türü kayacın patlatılması için *özgül şarj* 0,186 kg/m³, *özgül delme* 0,42 m/m³ olarak hesaplanmıştır (Tablo 32).

Tablo 32. SP-6 nolu atımda kaya hacmi, özgül şarj ve özgül delme

Atım No	Kaya türü	Patlatılan kaya hacmi m ³	Toplam delik boyu m	Toplam patlayıcı miktarı kg	Özgül	
					Şarj kg/m ³	Delme m/m ³
SP-6	Bazalt	72,62	30,20	13,51	0,186	0,42

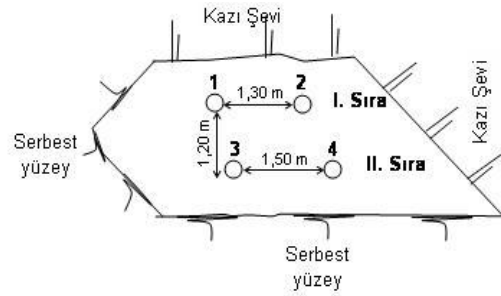
Özgül şarjın yaklaşık 0,20 ile 0,25 kg/m³ arasında kullanılması önerilmektedir. Buradaki özgül şarj miktarı 0,186 kg/m³ olup yaklaşık belirtilen değerdedir. Aynı orman yolunda bazalt türü kayanın patlatıldığı atımlar içinde en az özgül şarj miktarıdır. Aynı yolda ki diğer atımlarda 1 m³ türü kayanın patlatılması için, SP-7 nolu atımda bazalt 0,458 kg/m³, SP-8 nolu atımda 0,296 kg/m³ ve SP-9 nolu atımda ise 0,241 kg/m³ özgül şarj yapılmıştır. Ancak burada, aynı orman yolunda ve aynı uygulayıcılar olmasına rağmen farklı miktarlarda patlayıcı madde kullanıldığı görülmektedir.

Yapılan kaya patlatması sonrasında özellikle ön sıralarda yeterli parçalanma öteleme olmuştur. Ancak ikinci sıradaki patlatma delikleri kayayı yeterince öteleyememiştir. Bu nedenle, atım ön sıralarda başarılı olurken, arka sıralarda boğulmaktadır. Bunun nedeni olarak dilim kalınlığının uzun, sıkılama boyunun düşük

olması ve sıralar arasında gecikmeli ateşleme kullanılmamasıdır. Çatlatılan kaya, ekskavatör kovası kırıcısı ile çatlaklı kısımlardan kırma ve sökme yoluna gidilerek kazısı sürdürülmüştür.

6. SP-7 nolu atıma ve dizaynına ait bulgular:

Kayanın patlatılması için iki sıralı halinde 4 adet dikey yönde patlatma deliği açılmıştır. Deliklerinden bir tanesi 1,40 m ve diğerleri ise 2,20 m derinliğinde açılmıştır. Aynı sırada yer alan delikler arasındaki uzaklık 1,30 m ile 1,50 m arasında değişmekte olup, ortalaması 1,40 m'dir. Delik sıraları arasındaki ortalama dilim kalınlığı 1,20 m olarak uygulanmıştır (Şekil 54).



Şekil 54. SP-7 Nolu atımda kaya delme ve uygulanan delik düzeni

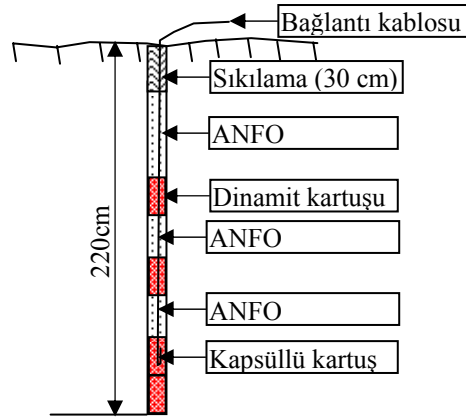
Buna göre, delikler arası mesafenin, dilim kalınlığına oranı 1,17 olup 1 den büyüktür. Kayanın patlatılması sonrasında diğre atımlarla karşılaştırıldığında daha küçük ebatlı kaya parçaları oluşmuştur. Dilim kalınlığının, delikler arası mesafeye oranı (B/S) 1/1,17 olup, delikler yaklaşık kare düzende delinmiştir.

SP-7 nolu atım yerinde kaya delme ve deliklerin patlayıcı ile şarjı 2 kişi ile yağmurlu hava ve ıslak zemin koşullarında delikler nemli ve ıslak halde iken gerçekleştirilmiştir. Patlatma deliklerinden derinliği 1,40 m olan patlatma deliğinde ise 3 adet dinamit kartuşu ANFO ile kullanılmış ve sıkılama boyu ise yine 30 cm olarak uygulanmıştır.

Tablo 33. SP-7 nolu atımda uygulanan delik düzeni ve patlatmaya ilişkin bilgiler

Delik sayısı	Delik çapı	Toplam delik boyu		Delik boyu	Delikler arası mesafe	Dilim kalınlığı	Sıkılama Boyu
adet	cm	m		m	m	m	m
4	2,54	8,00	Ortalama	1,93	1,40	1,20	0,30
			En uzun	2,20	1,50	1,20	0,30
			En kısa	1,40	1,30	1,20	0,30
			Std. sapma	46,18	0,14	0	0

Patlatma deliklerinden derinliği 2,20 m olan her bir deliğe toplam 4 adet Powergel Magnum365 kapsüle duyarlı emülsiyon patlayıcı kartuşları şarj edilmiştir. Dinamit kartuşlarından 2 tanesi en alta yerleştirilerek, 150 ms gecikmeli kapsül alttan ikincisinin içerisine yerleştirilmiştir. Bunların üzerine ve diğer kartuşlarının arasına ANFO şarj edilmiştir. Patlatma deliğinin en üstte 30 cm kumlu toprak ile sıkılama yapılmıştır (Şekil 55).



Şekil 55. SP-7 nolu atım yerinde uygulanan delik şarjı

Uygulanan sıkılama boylarının delik uzunluklarına oranına bakıldığında; 1,40 m derinliğindeki delik boyunun yaklaşık 1/5'i ve 2,20 m derinliğindeki delik boyunun ise 1/7'si oranındaki uzunluk (30 cm) sıkılama olarak uygulanmıştır. Bir başka deyişle sıkılama boyu 140 cm derinliğindeki bir delikte 47 cm, 220 cm derinliğindeki bir delikte ise 73 cm olarak uygulanması gerekirken, her ikisinde de sadece 30 cm olarak uygulanmıştır.

SP-7 nolu atımda patlatılan bazalt türü kayanın patlatılması için 2,50 kg Orica Powergel Magnum365 kapsüle duyarlı emülsiyon patlayıcıya ilaveten 1,24 kg ANFO kullanılmıştır. Buna göre SP-7 nolu atımda toplam 3,74 kg patlayıcı madde kullanılmıştır.

Patlatılan bazalt türü kaya hacmi 8,16 m³ dür. Bu atımda 1 m³ bazalt türü kayacın patlatılması için *özügöl şarj* 0,458 kg/m³ ve 1 m³ kayası için *özügöl delme* 0,98 m/m³ olmuştur (Tablo 34).

Tablo 34. SP-7 nolu atımda kaya hacmi, özügöl şarj ve özügöl delme

Atım No	Kaya türü	Patlatılan kaya hacmi	Delik Sayısı	Toplam delik boyu	Toplam patlayıcı miktarı	Özügöl	
						Şarj	Delme
		m ³	adet	m	kg	kg/m ³	m/m ³
SP-7	Bazalt	8,16	4	8,00	3,74	0,458	0,98

Özügöl şarjın yaklaşık 0,20 kg/m³ ile 0,25 kg/m³ arasında kullanılması önerilmektedir. Buradaki özügöl şarj miktarı 0,458 kg/m³ olup önerilen miktarın iki katı ve aynı zamanda tüm atımlar içerisinde en yüksek miktardadır. Aynı orman yolunda bazalt türü kayanın patlatıldığı atımlar diğer özügöl şarj miktarları 0,186 kg/m³ ile 0,296 kg/m³ arasında değişen miktarlarda özügöl şarj yapılmıştır. Yine bir başka orman yolunda VK-2 nolu atımda bazalt türü kaya patlatılmış ve özügöl şarj miktarı 0,163 kg/m³ olup, SP-7 nolu atımdaki bunun yaklaşık 3 katıdır.

Gerçekleştirilen patlatma sonrasında tüm deliklerdeki patlayıcı kayayı yeterince ötelemeiş ve istenilen yol platformu oluşturulmuştur. Ancak kırılmanın gerçekleşmesine rağmen kaya fırlamaları oluşmuştur. Bu atımda hem delikler arası mesafe, hem de dilim kalınlığı diğer atımlara göre daha kısa uygulanmıştır. Buna ilaveten atım yapılan kayanın iki kenarında da serbest yüzey alanı olup, kaya bu iki yöne doğru kırılarak ötelenmiştir.

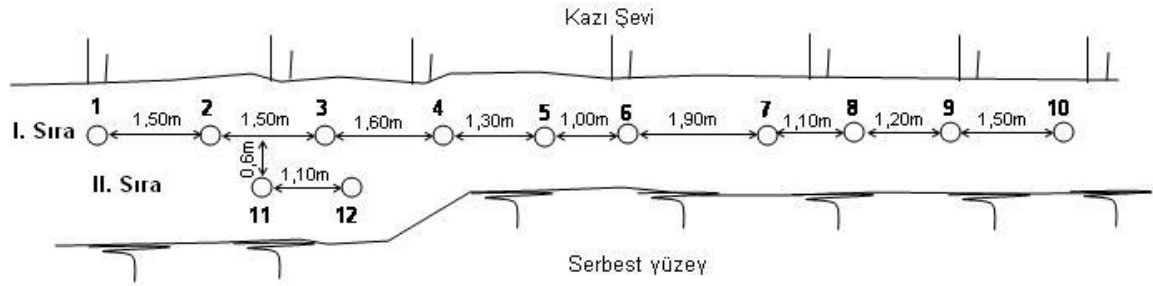
7. SP-8 nolu atıma ve dizaynına ait bulgular:

SP-8 nolu atım yerinde açılan patlatma delikleri daha önce oluşturulmuş kazı şevi tabanında açılmıştır. Açılan deliklerden bazıları kazı şevinin yüksek olması nedeni ile dik olarak delinememiş ve düşey eksenle yaklaşık 45-60 derece açı ile delinmiştir (Şekil 56). Kayanın patlatılması için iki sıra halinde, 12 tane patlatma deliği açılmıştır. Açılan patlatma delikleri birinci sırada 10 tane 1,40 m derinliğinde ve ikinci sırada ise 2 tane 0,80 m derinliğinde delinmiştir (Şekil 57). Ortalama delik derinliği 1,30 m olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 56. SP-8 no'lu atım yerinde patlatma delikleri ve patlatma sonrası durum

Aynı sırada yer alan patlatma delikleri arasındaki uzaklık 1,00 m ile 1,90 m arasında değişmekte olup ortalama uzaklık 1,37 m'dir. Delik sıraları arasındaki dilim kalınlığı ise 0,60 m olarak uygulanmıştır (Tablo 35). Buna göre delikler arası mesafenin, dilim kalınlığına oranı 2,28 olup 1'den büyüktür. Ancak, yatay delinen deliklerde kaya sadece delik ağzı çevresinden parçalanmıştır. Bu atımda dikey olarak açılan deliklerde ise kaya gevşetilmiş ve ötelenmiştir.



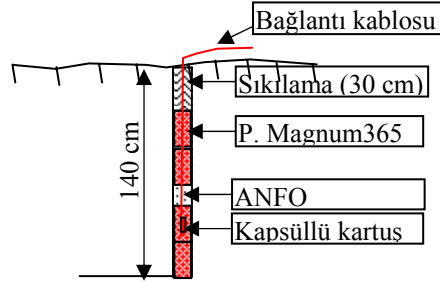
Şekil 57. SP-8 nolu atımda uygulanan delik düzeni

Uygulanan delik düzenine bakıldığında; dilim kalınlığının, delikler arası mesafeye oranı (B/S) 1/2,28 olup, delikler bu oranın 1/1,5 oranında uygulanan şebeş düzenden daha fazla, ancak bu oranın 1/4 olduğu İsveç düzeninden daha az olarak uygulanmıştır. Ancak, delikler çoğunlukla tek sıra üzerinde delinmiş ve çoğunluğu yatay delinmiştir. Bu nedenle serbest yüzey ile delik sırası arasında tam olarak bir dilin kalınlığı oluşmamıştır.

Tablo 35. SP-8 nolu atımda uygulanan delik düzeni ve patlatmaya ilişkin bilgiler

Delik sayısı	Delik çapı	Toplam delik boyu		Delik boyu	Delikler arası mesafe	Dilim kalınlığı	Sıkılama Boyu
adet	cm	m		m	m	m	m
12	2,54	15,60	Ortalama	1,30	1,37	0,60	0,30
			En uzun	1,40	1,90	0,60	0,30
			En kısa	0,80	1,00	0,60	0,30
			Std. sapma	23,35	0,27	0,00	0,00

SP-8 nolu atım yerinde deliklerin patlayıcı ile şarjı iki kişi ile güneşli hava ve kuru zemin koşullarında delikler kuru halde iken gerçekleştirilmiştir. Derinliği 1,40 m olan her bir delikte; en alta 2 adet Orica Powergel Magnum365 patlayıcı şarj edilmiştir. Bu kartuşlardan en alttan ikincisinin içerisine 150 ms gecikmeli kapsül yerleştirilmiştir. Bunların üzerine bir miktar ANFO, üzerine tekrar 2 adet dinamit kartuşu şarj edilmiştir. Patlatma deliğinin en üstte 30 cm kumlu toprak ile sıkılanmıştır (Şekil 58). Delik derinliği 0,80 m olan patlatma deliğinde ise 2 adet dinamit kartuşu ANFO ile kullanılmış ve sıkılama boyu ise yine 30 cm olarak uygulanmıştır.



Şekil 58. SP-8 nolu atım yerinde uygulanan delik şarjı

Uygulanan sıkılama boylarının delik uzunluklarına oranına bakıldığında; 1,40 m derinliğindeki delik boyunun yaklaşık 1/5'i oranında (30 cm) uygulanmış ve yetersiz sıkılama yapılmıştır. Bir başka deyişle sıkılama boyu 140 cm derinliğindeki bir deliklerde 47 cm, uygulanması gerekirken 30 cm olarak uygulanmıştır. Buna karşın 0,80 m derinliğindeki delik boyunun ise yaklaşık 1/3'ü oranındaki uzunluk (30 cm) sıkılama olarak uygulanmıştır.

Bazalt türü kayanın patlatılması için 7,35 kg Orica Powergel Magnum365 emülsiyon patlayıcıya ilaveten 0,41 kg ANFO kullanılmıştır. Buna göre SP-8 nolu atım yerindeki 12 adet patlatma deliğinde toplam 7,76 kg patlayıcı kullanılmıştır. Atımda

patlatılan bazalt türü kayanın hacmi 26,21 m³'dür. Bu atımda 1 m³ bazalt türü kayacın patlatılması için *özümlü şarj* 0,296 kg/m³ ve 1 m³ kaya için *özümlü delme* 0,60 m/m³ olarak hesaplanmıştır (Tablo 36).

Tablo 36. SP-8 nolu atımda kaya hacmi, özümlü şarj ve özümlü delme

Atım No	Kaya türü	Patlatılan kaya hacmi m ³	Toplam delik boyu m	Toplam patlayıcı miktarı kg	Özümlü	
					Şarj kg/m ³	Delme m/m ³
SP-8	Bazalt	26,21	15,60	7,76	0,296	0,60

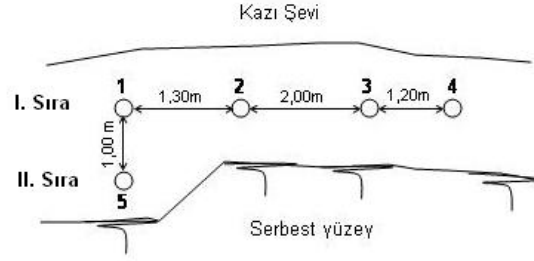
Özümlü şarjın yaklaşık 0,20 kg/m³ ile 0,25 kg/m³ arasında kullanılması önerilmektedir. SP-8 nolu atımdaki özümlü şarj miktarı 0,296 kg/m³ bazalt türü kayanın patlatıldığı aynı orman yolunda yapılan diğer atımlarda özümlü şarj miktarları 0,186 kg/m³ ile 0,458 kg/m³ arasında değişmektedir. Buna göre uygulanan özümlü şarj miktarı ortalama değerdedir. Yine bir başka orman yolunda bazalt türü kaya patlatıldığı VK-2 nolu atımda ve özümlü şarj miktarı 0,163 kg/m³ olup atımdaki miktardan daha azdır.

Patlatma sonrasında kayanın istendiği gibi parçalanamadığı ve çok küçük boyutta parçaların koparılabildiği, bununda delik ağız kısmından kaya fırlaması şeklinde olduğu gözlenmiştir. Bunun başlıca nedeni arasında deliklerden çoğunun yatay olarak delinmesi ve şev üzerindeki yük miktarının fazla olmasıdır. Bu deliklerdeki patlayıcının ateşlenmesi ile oluşan basınçlı gazlar, sıkılmanın yeterince yapılmaması nedeni delik ağız çevresinden kaya parçalarını kopararak fırlatmıştır. Bununla birlikte aynı kayada dikey olarak açılan deliklerde kaya yeterince gevşetilmiştir.

8. SP-9 nolu atıma ve dizaynına ait bulgular:

Atım yerindeki kayanın patlatılması için iki sıra halinde, şerşbeş düzende 5 tane patlatma deliği açılmıştır (Şekil 59). Açılan patlatma deliklerinin tümü 1,40 m derinliğinde ve düşey yönde delinmiştir.

Aynı sırada yer alan patlatma delikleri arasındaki uzaklık 1,20 m ile 2,00 m arasında değişmekte olup, ortalaması 1,50 m olarak hesaplanmıştır. Delik sıraları arasındaki dilim kalınlığı ise 1,00 m olarak uygulanmıştır (Tablo 37). Buna göre delikler arası mesafenin, dilim kalınlığına oranı (S/B) 1,50 olup 1'den büyüktür. Patlatma ile oluşan bloklar ekskavatör kovaasına alınabilecek ebatlarda olmuştur.



Şekil 59. SP-9 nolu atımda delik düzeni ve üstten görünümü

SP-9 nolu atım yerinde uygulanan dilim kalınlığının, delikler arası mesafeye oranı (B/S) 1/1,5 olup delikler eşbeş düzende delinmiştir.

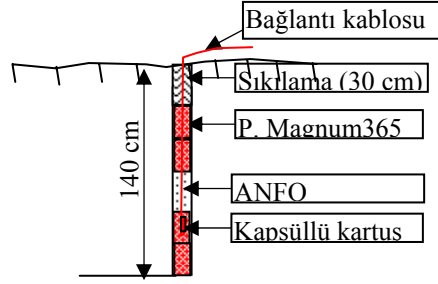
Tablo 37. SP-9 nolu atımda uygulanan delik düzeni ve patlatmaya ilişkin bilgiler

Delik sayısı	Delik çapı	Toplam delik boyu		Delik boyu	Delikler arası mesafe	Dilim kalınlığı	Sıkılama Boyu
adet	cm	m		m	m	m	m
5	2,54	7,00	Ortalama	1,40	1,50	1,00	0,30
			En uzun	1,40	2,00	1,00	0,30
			En kısa	1,40	1,20	1,00	0,30
			Std. sapma	0	0,44	0,00	0,00

SP-9 nolu atım yerinde kaya deliklerin patlayıcı ile şarjı iki kişi ile güneşli hava ve kuru zemin koşullarında delikler kuru iken gerçekleştirilmiştir. Deliklerin şarjında Orica Powergel Magnum365 patlayıcı kartuşları ile ANFO kullanılmıştır.

Atım yerinde, derinliği 1,40 m olan patlatma deliklerinin her birinde 4 tane dinamit kartuşu yerleştirilmiştir. Deliğin en dip kısmına 2 adet kartuş yerleştirilerek, alttan ikincisinin içerisine 150 ms gecikmeli elektrikli kapsül yerleştirilmiştir. Bunların üzerine 20 cm kadar yüksekliğinde ANFO şarj edilip, üzerine tekrar 2 adet kartuş yerleştirilerek 30 cm derinlik kumlu toprak ile sıkılanmıştır (Şekil 60).

Uygulanan sıkılama boyunun delik uzunluğuna olan oranına bakıldığında; delik boyunun yaklaşık 1/5'i (30 cm) sıkılama boyu olarak uygulanmış ve yetersiz sıkılama yapılmıştır. Bir başka deyişle sıkılama boyu delik boyunun 1/3 ü olan 47 cm olarak uygulanması gerekirken 30 cm olarak uygulanmıştır.



Şekil 60. SP-9 nolu atım yerinde uygulanan delik şarjı

Bazalt türündeki kayanın patlatılması için 3,10 kg Orica Powergel Magnum365 kapsüle duyarlı emülsiyon patlayıcıya ilaveten 0,41 kg ANFO kullanılmıştır. Buna göre SP-9 nolu atımda toplam 3,51 kg patlayıcı madde kullanılmıştır. Patlatılan bazalt türü kayanın hacmi 14,56 m³'dür. Buna göre 1 m³ kayanın patlatılması için *özell şarj* 0,241 kg/m³ ve 1 m³ kaya için *özell delme* 0,48 m/m³ olarak hesaplanmıştır (Tablo 38).

Tablo 38. SP-9 nolu atımda kaya hacmi, *özell şarj* ve *özell delme*

Atım No	Kaya türü	Patlatılan kaya hacmi m ³	Toplam delik boyu m	Toplam patlayıcı miktarı kg	Özell	
					Şarj kg/m ³	Delme m/m ³
SP-9	Bazalt	14,56	7,00	3,51	0,241	0,48

Özell şarjın yaklaşık 0,20 kg/m³ ile 0,25 kg/m³ arasında kullanılması önerilmektedir. Aynı orman yolunda yapılan diğer atımlarda *özell şarj* miktarları en az 0,186 kg/m³ ile en fazla 0,458 kg/m³ olarak uygulanmıştır. Bazalt türü kayanın patlatıldığı SP-9 nolu atımdaki *özell şarj* miktarı 0,241 kg/m³ olup bu değer verilen ortalama miktardadır. Bazalt türü kaya patlatıldığı bir başka orman yolunda VK-2 nolu atım sırasında uygulanan *özell şarj* miktarı 0,163 kg/m³ olup, SP-9 nolu atımdaki miktardan azdır.

Bu atımda çoğu tek sıra halinde ve kazı şevi üzerinde açılan patlatma delikleri uygulanan dilim kalınlığındaki kayayı gevşeterek öteleyebilmiştir. SP-9 nolu atım sonrasında oluşturulmak istenen yol platformu ortaya çıkarılmıştır. Diğer atımlara göre daha kısa dilim kalınlığının uygulandığı bu atımda daha az kaya fırlaması oluşmuştur. Sıkılama miktarının artırılması ve delikler arasında gecikmeli ateşlemenin yapılması ile kaya fırlamalarının kısmen önüne geçilebilecektir.

4.1.4. Vakfikebir OİŞ 011 Kodlu Orman Yolu ile Atıma Ait Bulgular ve Tartışılması

4.1.4.1. Orman Yolu İnşaatına Ait Bulgular ve Tartışılması

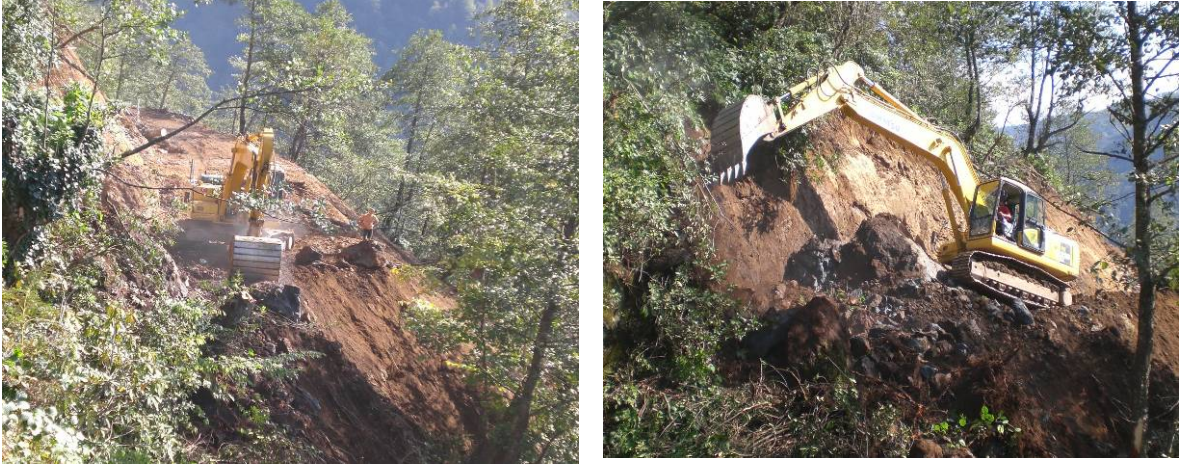
Vakfikebir Orman İşletme Şefliği Yol Ağı Planında 011 kod numarası ile belirtilen orman yolu Deregözü köyü sınırları içerisinde Apega mevkiinde yer almakta olup, Kaldırımyayla ile Çanakçidere mevkileri arasında planlanmıştır. Orman yolunun planlanmış toplam uzunluğu 15+400 km'dir. Bu miktarın 2+500 km uzunluğundaki bölümünün inşaatında gerçekleştirilen kaya delme ve patlatma çalışmaları sırasında incelemeler yapılmıştır.

Orman yolunun 2007 yılında tamamlanan 2+500 km uzunluğundaki bölümünün yapımı için, aşağıda belirtilen tür ve miktarda toprak, küskü ve kaya türü materyalin kazısı ve tesviyesi yapılmıştır. Bunlar;

- 1- Her cins toprağın kazılması ve kullanılması: 11 705,18 m³
- 2- Her cins küskünün kazılması ve kullanılması: 10 675,35 m³
- 3- Her cins yumuşak kayanın kazılması ve kullanılması: 8 592,64 m³
- 4- Her cins sert kayanın kazılması ve kullanılması: 6 953,81 m³
- 5- Her cins çok sert kayanın kazılması ve kullanılması: 2 524,39 m³ olmak üzere

orman yolunda yapılan toplam kazı miktarı 40 451,368 m³ olmuştur. Orman yolunun kazı ve tesviye işleri sonucunda kesin hak ediş miktarı 132 042,26 YTL'dir (TOBM, 2007). Buna göre bölgedeki 1 km orman yolunun kazı ve tesviye maliyeti 52 816,90 YTL/km olarak gerçekleşmiştir.

Orman yolu yapımında 2005 model Komatsu PC220-7 marka ekskavatör kullanılmıştır (Şekil 61). Buna ilaveten kaya kazısı işlerinde ekskavatör koluna monte edilen kırıcı, patlatılmasına karar verilen kaya bloklarında patlatma deliklerinin açılması için ise pnömatik kompresör kullanılmıştır.



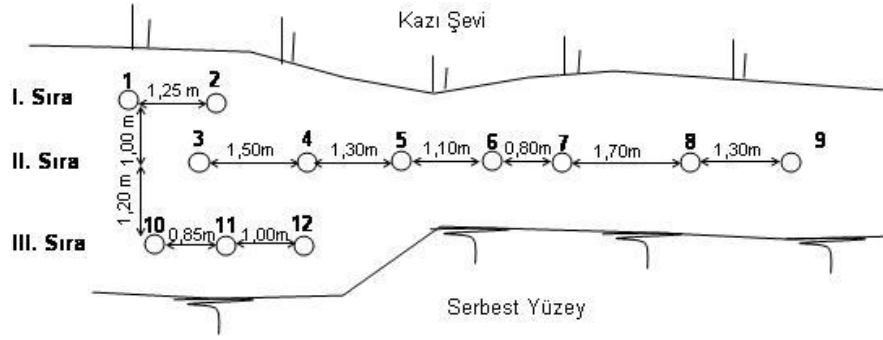
Şekil 61. Vakfikebir OİŞ 011 kodlu yolda kullanılan paletli hidrolik ekskavatör

4.1.4.2. Kaya Patlatma ile Atımların Dizaynına Ait Bulgular ve Tartışılması

Vakfikebir Orman İşletme Şefliği 011 kod numaralı orman yolunda gerçekleştirilen kaya patlatma VK-1 nolu atım olarak isimlendirilmiştir. Atım yeri Deregözü Köyü, Apega mevkiinde ve batı bakıdadır. Yamaç aşağısı % 85 eğimli olup patlatma noktasının ortalama yükselti 974 m'dir. Atım yapılan yer 1/25000 ölçekli Trabzon G42-b2 pafta numaralı standart topografik haritada yer almaktadır.

Atım sonrasında arazide alınan kayaç örneklerinin tanımlanmasıyla, patlatılan kaya türünün magmatik kayaçlardan piroklastik volkanik breş olduğu belirlenmiştir. Bu kayanın patlatılması için, üç sıralı halinde 12 adet patlatma deliği açılmıştır (Şekil 62). Açılan patlatma deliklerinden 5 tanesi 3,20 m, 2 tanesi 2,40 m ve 5 tanesi ise 1,60 m derinliğinde olup hepsi dikey (düşey) yönde delinmiştir. Buna göre ortalama delik derinliği de 2,40 m olmuştur.

Aynı sırada yer alan patlatma delikleri arasındaki uzaklık 0,80 m ile 1,70 m arasında değişmekte olup, ortalama olarak 1,20 m dir. Delik sıraları arasındaki dilim kalınlığı ise 1,20 m ve 1,00 m olarak uygulanmış, ortalaması ise 1,10 m dir (Tablo 39). Buna göre delikler arası mesafenin, dilim kalınlığına oranı (S/B) 1,09 olup 1 den büyüktür. Patlatma sonrasında oluşan kaya blokları ekskavatör kovasına alınabilecek ebatlarda ve diğer atımlara göre kısmen daha iri oluşmuştur.



Şekil 62. VK-1 nolu atımda uygulanan delik düzeni ve üstten görünümü

VK-1 nolu atım yerinde uygulanan dilim kalınlığının delikler arası mesafeye oranı (B/S) 1/1,10'dir. Bu oran kare düzende 1/1 şeklinde olup, delikler yaklaşık kare düzende delinmiştir.

Tablo 39. VK-1 nolu atımda uygulanan delik düzeni ve patlatmaya ilişkin bilgiler

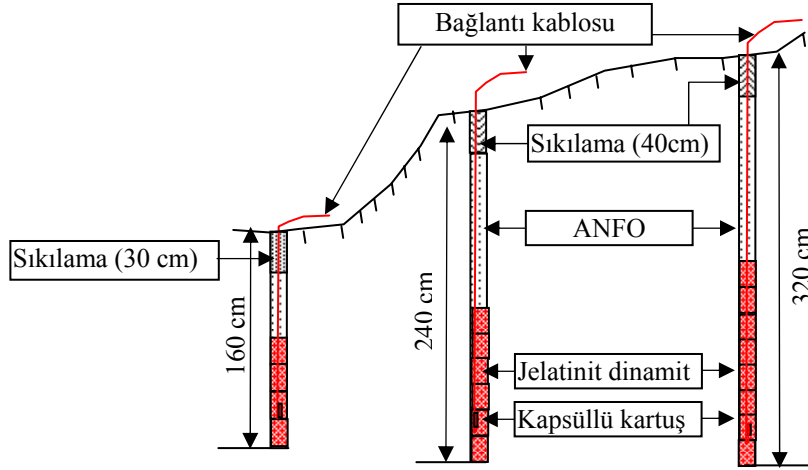
Delik sayısı	Delik çapı	Toplam delik boyu		Delik boyu	Delikler arası mesafe	Dilim kalınlığı	Sıkılama Boyu
adet	cm	m		m	m	m	m
12	2,54	28,80	Ortalama	2,40	1,20	1,10	0,36
			En uzun	3,20	1,70	1,20	0,40
			En kısa	1,60	0,80	1,00	0,30
			Std. sapma	0,76	0,29	0,14	5,15

VK-1 nolu atım yerinde kaya deliklerin patlayıcı ile şarjı iki kişi ile güneşli hava ve kuru zemin koşullarında gerçekleştirilmiştir. Deliklerin patlayıcı ile şarjı sırasında deliklerin tümüne yol platformu üzerinden ulaşılabilirdiğinden merdiven kullanılmamıştır. Delikler patlayıcı şarjında bir standart olmayıp, delikler kuru olarak doldurulmuştur.

Deliklerin patlayıcı madde ile şarj edilmesinde her 80 cm uzunluk için 2 adet jelatinit dinamit kartuşu yerleştirilerek üzerine ANFO şarj edilmiştir. Şarj sırasında jelatinit dinamit kartuşlarından en alttan ikincisinin içine 150 ms gecikmeli elektrikli kapsül yerleştirmiştir.

Kayada açılan patlatma deliklerinden 3,20 m derinliğindeki deliklerin her birinde 8 adet, 2,40 m derinliğindeki deliklerin her birinde 6 adet Jelatinit dinamit yerleştirilerek üzerine ANFO şarj edilmiştir. Son olarak ise deliğin en üst kısmında ortalama 40 cm uzunluk kumlu toprak ile sıkılanmıştır. Derinliği 1,60 m olan patlatma deliklerinde ise 4

adet Jelatinit dinamit kartuşu yerleştirilerek üzerine ANFO şarj edilmiştir. En üst kısmında ortalama 30 cm uzunluk kumlu toprak ile sıkılması yapılmıştır (Şekil 63).



Şekil 63. VK-1 nolu atım yerinde uygulanan deliklere patlayıcı şarjı

Pratikte açılan delik boyunun 1/3 oranında sıkılama yapılması önerilmektedir. Bu atımda uygulanan sıkılama boyları 160 cm derinlikteki delikte 53 cm, 220 cm derinliğinde 80 cm ve 320 cm derinliğinde ise yaklaşık 107 cm sıkılama boyu uygulanması gerekmektedir. Bu açıdan sıkılama boyları yetersiz olarak uygulanmıştır.

Atım yerindeki kayanın patlatılması için 10,10 kg Jelatinit dinamit'e ilaveten 4,90 kg ANFO kullanılmıştır. Buna göre VK-1 nolu atımda toplam 15,00 kg patlayıcı madde kullanılmıştır. VK-1 nolu atımda patlatılan volkanik breş türü kayanın hacmi 76,03 m³ dür. Bu atımda 1 m³ kayanın patlatılması için *özümlü şarj* 0,197 kg/m³ ve 1 m³ kaya için *özümlü delme* 0,38 m/m³ olarak hesaplanmıştır (Tablo 40).

Tablo 40. VK-1 nolu atımda kaya hacmi, *özümlü şarj* ve *özümlü delme*

Atım No	Kaya türü	Patlatılan kaya hacmi m ³	Toplam delik boyu m	Toplam patlayıcı miktarı kg	Özümlü	
					Şarj kg/m ³	Delme m/m ³
VK-1	Volkanik breş	76,03	28,80	15,00	0,197	0,38

VK-1 nolu atımda hem *özümlü şarj* miktarı, önerilen 0,2 ile 0,25 kg/m³ *özümlü şarj* miktarına yakın bir değerde gerçekleşmiştir. Bu miktarda patlayıcının kullanıldığı şartlarda kayada istenilen parçalanma olmuştur. Patlatma sonrası oluşan parça boyutları,

ekskavatörle orman yollarında dolgu şevinde tesis edilebilecek kuru taş duvar yapımına uygun boyutlardadır.

Kaya patlatma sonrasında orman yolunda istenen yol platformu oluşturulmuş, fakat kaya fırlamaları gözlenmiştir. Ön sıradaki patlatma deliklerinde istenilen parçalanma olurken, aynı anda patlatılan ve delik derinliğine göre sıkılama boyu daha kısa tutulan arka sıradaki delikler tüm derinlikleri boyunca kayayı öteleyememiştir. Bununla birlikte bu kısımlardaki çatlaklı kaya ekskavatör kovası ve kırıcısı ile sökülmüştür. Uygulanan delikler arası mesafe ve dilim kalınlığı çok fazla olmayıp, sıkılama boyunun artırılması ve gecikmeli ateşlemenin yapılması ile daha verimli bir patlatma gerçekleştirilebilecektir.

4.1.5. Vakfikebir OİŞ 029 Kodlu Orman Yolu ve Atıma Ait Bulgular ve Tartışılması

4.1.5.1. Orman Yolu İnşaatına Ait Bulgular ve Tartışılması

Vakfikebir Orman İşletme Şefliği Yol Ağı Planında 029 kod numarası ile belirtilen orman yolu Ballı Köyü sınırları içinde, Ardıçlık Yaylası mevkiinde yer almaktadır. Orman yolu Çanakçidere ile Ardıçlık yaylası arasında planlanmıştır. Orman yolunun 1+603 km uzunluğundaki bölümünün inşaatı sırasında gerçekleştirilen kaya delme ve patlatma çalışmaları sırasında incelemeler yapılmıştır.

Orman yolunun 2007 yılında tamamlanan 1+603 km uzunluğundaki bölümünün yapımı için, aşağıda belirtilen tür ve miktarda toprak, küskü ve kaya türü materyalin kazısı ve tesviyesi yapılmıştır. Bunlar;

- 1- Her cins toprağın kazılması ve kullanılması: 5 857,83 m³
- 2- Her cins küskünün kazılması ve kullanılması: 5 446,62 m³
- 3- Her cins yumuşak kayanın kazılması ve kullanılması: 4 827,99 m³
- 4- Her cins sert kayanın kazılması ve kullanılması: 2 686,76 m³
- 5- Her cins çok sert kayanın kazılması ve kullanılması: 1 454,26 m³ olmak üzere

orman yolunda yapılan toplam kazı miktarı 20 273,26 m³ olmuştur. Orman yolunun kazı ve tesviye işleri sonucunda kesin hak ediş miktarı ise 58 083,45 YTL'dir (TOBM, 2007). Buna göre bölgedeki 1 km orman yolunun kazı ve tesviye maliyeti 36 234,22 YTL/km olarak gerçekleşmiştir.

Orman yolu yapımında kazı işleri için 2005 model Hyundai R210LC-7 marka ekskavatör kullanılmıştır (Şekil 64). Buna ilaveten kaya kazısı işlerinde ekskavatör koluna

monte edilen kaya kırıcı, patlatılmasına karar verilen kaya bloklarında patlatma deliklerinin açılması için ise pnömatik kompresör kullanılmıştır.



Şekil 64. Vakfikebir OİŞ 029 kodlu yolda kullanılan paletli hidrolik ekskavatör

4.1.5.2. Kaya Patlatma ile Atımların Dizaynına Ait Bulgular ve Tartışılması

Vakfikebir Orman İşletme Şefliğinin 029 kod numaralı orman yolunda yapılan kaya patlatma VK-2 nolu atım olarak isimlendirilmiştir. Atım yeri Ballı Köyü, Ardıçlık yaylası mevkiinde olup batı bakıdadır. Yamaç aşağısı eğim % 75 olup patlatma noktasının ortalama yükselti 1034 m'dir. Atım yapılan yer 1/25000 ölçekli Trabzon G42-b2 pafta numaralı standart topografik haritada yer almaktadır.

Atım yerinde patlatılan kaya türünün magmatik kayalardan bazalt olduğu belirlenmiştir. Patlatılacak kaya orman yolu inşaatının dere ile kesiştiği yerde dere içinde ve bu derenin sağında, solunda yer almaktadır. Yol başlangıç yönü dikkate alınarak üç ayrı yerde için; 1. bölüm, 2. bölüm ve 3. bölüm şeklinde isimlendirme yapılmıştır (Şekil 65).

Orman yolu inşaatının dere ile kesiştiği yerde birbirine yakın üç ayrı yerdeki bazalt türü kayanın patlatılması için 57 adet patlatma deliği açılmıştır. Açılan deliklerden 15 tanesi 0,80 m, 42 tanesi ise 1,60 m derinliğinde düşey yönde delinmiştir.

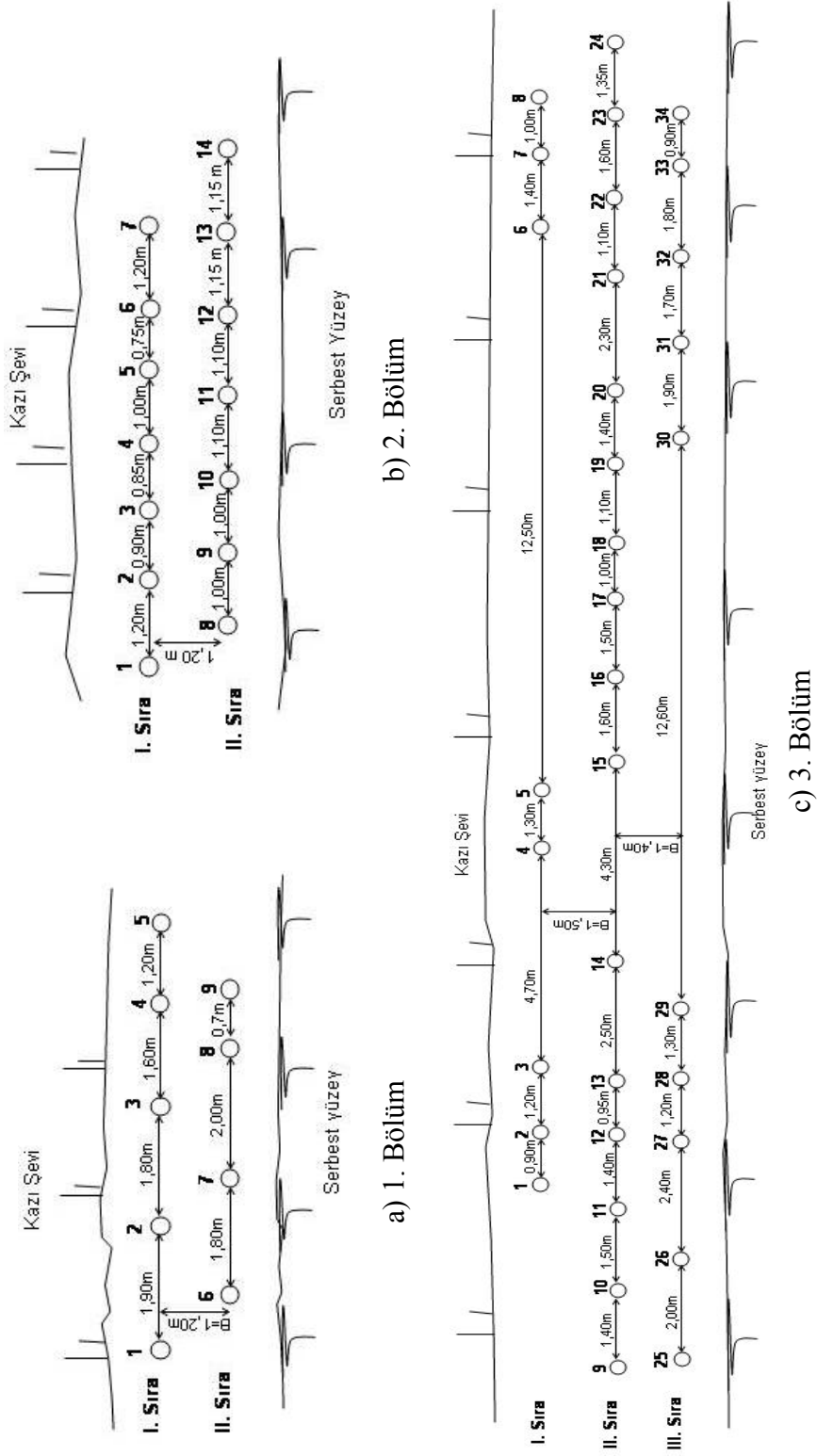
1. Bölümde yer alan kayanın patlatılması için iki sıralı ve şesbeş düzende 9 tane patlatma deliği açılmıştır. Bunlardan 8 tanesi 1,60 m, 1 tanesi ise 0,80 m derinliğinde

delinmiştir (Şekil 66-a). Buna göre ortalama delik derinliği 1,51 m olmuştur. 2. Bölümde yer alan kayanın patlatılması için iki sıralı ve şerbeş düzende hepsi 0,80 m derinliğinde 14 adet patlatma deliği açılmıştır (Şekil 66-b). 3. Bölümde yer alan kayanın patlatılması için üç sıralı halinde hepsi 1,60 m derinliğinde, 34 adet patlatma deliği açılmıştır (Şekil 66-c).



Şekil 65. VK-2 nolu kaya patlatma alanı ve çevresine ait genel görünüm

Genel olarak bakıldığında, VK-2 nolu atım yerinde birbirine yakın üç ayrı noktada yer alan bazalt türü kayada açılan 57 adet patlatma deliğinin ortalama derinliği 1,39 m'dir. Aynı sırada yer alan patlatma delikleri arasındaki ortalama uzaklık ise 1,51 m olup, delik sıraları arasındaki ortalama dilim kalınlığı 1,33 olarak uygulanmıştır.(Tablo 41). Buna göre VK-2 nolu atım yerinde delikler arası mesafenin, dilim kalınlığına oranı (S/B) 1,14 olup 1'den büyüktür. Atım sonrasında kayada yeterli parçalanma olmuş ve diğer atımlara göre fazla miktarda kaya fırlaması ve hasar oluşmamıştır.



Şekil 66. VK-2 nolu atımda uygulanan delik düzeni ve üstten görünümü

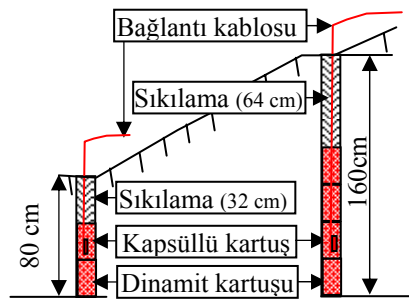
Tablo 41. VK-2 nolu atımda uygulanan delik düzeni ve patlatmaya ilişkin bilgiler

Delik sayısı	Delik çapı	Toplam delik boyu		Delik boyu	Delikler arası mesafe	Dilim kalınlığı	Sıkılama Boyu
adet	cm	m		m	m	m	m
57	2,54	79,23	Ortalama	1,39	1,51	1,33	0,56
			En uzun	1,60	4,70	1,50	0,64
			En kısa	0,80	0,70	1,20	0,32
			Std. sapma	0,36	0,76	0,15	0,14

VK-2 Nolu atım yerinde deliklerin patlayıcı ile şarjı yağışlı hava ve ıslak zemin koşulunda, 3 kişilik bir ekiple gerçekleştirilmiştir. Deliklerin tamamı ıslak ve içi su dolu haldeyken patlayıcı şarj edilmiştir. Bu nedenle deliklerin şarjında suya dayanıklı olmayan ANFO kullanılmamıştır. Patlayıcı olarak sadece su bazlı Emulite TG kullanılmıştır.

Deliklerin patlayıcı madde ile şarj edilmesinde her 80 cm delik derinliği için 2 adet Emulite TG kartuşu kullanılmıştır. Dinamit kartuşlarından en alttan ikincisinin içine 450 ms gecikmeye sahip, (15/K dip numaralı) elektrikli kapsüller rasgele yerleştirilmiştir.

Atım yerinde derinliği 0,80 m olan her bir patlatma deliğine 2 tane, derinliği 1,60 m olan patlatma deliklerinin her birine 4 tane Emulite TG şarj edilmiştir. Bu deliklerde 0,80 m derinliğindeki patlatma deliklerinde 32 cm, 1,60 m derinliğindeki deliklerinde ise 64 cm derinlikte kumlu toprak ile sıkılama yapılmıştır (Şekil 67).



Şekil 67. VK-2 nolu atım yerinde deliklere patlayıcı şarjı

Genel olarak delik boyunun 1/3 oranında sıkılama yapılması önerilmektedir. Uygulanan sıkılama boylarının delik uzunluklarına oranına bakıldığında; 0,80 m derinliğindeki deliklerde 27 cm sıkılama gerekirken 32 cm yapılmıştır. Yine derinliği 160 cm olan deliklerde yaklaşık 53 cm sıkılama yapılması gerekirken 64 cm sıkılama

yapılmıştır. Bu bakımdan tüm atımlar içerisinde, sıkıma boyunun önerilenden daha fazla uygulanmış ve kayada yeterli parçalanmanın olduğu da belirlenmiştir. VK-2 nolu atım sıkılama boyunun uygulanması ve kaya fırlamaları bakımından en ideal bir atım şeklini oluşturmaktadır.

VK-2 nolu atımda bazalt türü kayanın patlatılması için 30,69 kg su bazlı Emulite TG kapsüle duyarlı patlayıcı kullanılmıştır. Deliklerin içi ıslak olması nedeni ile ANFO kullanılmamıştır. Buna göre VK-2 nolu atımda toplam 30,69 kg patlayıcı madde kullanılmıştır. Atımda patlatılan bazalt türü kaya hacmi 188,48 m³'dür. Buna göre atımda 1 m³ kayanın patlatılması için *ölgül şarj* 0,163 kg/m³ ve 1 m³ kaya *ölgül delme* 0,42 m/m³ olarak hesaplanmıştır (Tablo 42).

Tablo 42. VK-2 nolu atımda kaya hacmi, *ölgül şarj* ve *ölgül delme*

Atım No	Kaya türü	Patlatılan kaya hacmi m ³	Delik Sayısı adet	Toplam delik boyu m	Toplam patlayıcı miktarı kg	Ölgül	
						Şarj kg/m ³	Delme m/m ³
VK-2	Bazalt	188,48	57	79,23	30,69	0,163	0,42

Ölgül şarjın yaklaşık 0,20 ile 0,25 kg/m³ arasında kullanılması önerilmektedir. Buradaki *ölgül şarj* miktarı 0,163 kg/m³ olup bu miktardan azdır. Bazalt türü kayanın patlatıldığı diğer atımlarla *ölgül şarj* miktarı 0,143 kg/m³ ile 0,458 kg/m³ miktarları arasında değişmektedir. Bu atımda uygulanan *ölgül şarj* miktarı bu değerlerden alt sınıra daha yakındır. VK-2 nolu atım sıkılama boyunun uygulanması, istenilen kazı miktarının yapılması ve kaya fırlamaları az oluşması bakımından oldukça ideal bir sonuç vermiştir.

Kaya patlatma sonrasında genel olarak kazı şevinde açılan patlatma deliklerinde yeterli kırılma sağlanmış ve genel olarak yol platformu oluşturulmuştur. Diğer atımlara kıyasla patlatma sonrasında daha az kaya fırlaması olmuştur. Bununla birlikte, tüm delikler aynı anda patlatıldığında, yol tabanındaki ve kazı şevinde arka sıralardaki patlatma deliklerinin tüm derinliği boyunca kırılma sağlanamamıştır. Bu atımda arka sıralardaki deliklerin bulunduğu yerlerde kaya çatlatılmış ve kırıcı ile alınmıştır. Bu atımda sıkılama boyu yeterli olup, dilim kalınlığı ve delikler arası mesafe kısaltılarak delik sıraları arasında gecikme ateşlemenin yapılması ile daha verimli bir patlatma yapılabilir.

4.1.6. Tüm Atımların Dizaynına Ait Bulgular ve Tartışılması

Orman yollarında uygulanan mevcut kaya delme ve patlatma tekniğinin değerlendirilmesinde aşağıdaki ana maddeler ve parametrelerde yapılabilecek değişiklikler ile patlatma tasarımı ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu amaçla kaya patlatmaları;

- 1- Kayaların patlatılması sırasında uygulanan deliklerin düzeni; delik aralıkları ve dilim kalınlığı ilişkisi, delik derinlikleri, delik taban payı, ele alınarak değerlendirilmiştir.
- 2- Her bir atımda açılan deliklerde kullanılan patlayıcı türü, patlayıcı şarjı ve şekli, patlayıcı madde miktarı, gecikmeli elektrikli kapsüllerin kullanılması ve ateşleme şekli, uygulanan sıkılama boyu gibi parametreler ayrı ayrı değerlendirilmiştir.
- 3- Patlatmanın yapıldığı kaya türlerinden 1 m³ yerinde kayayı patlatmak için kullanılan patlayıcı madde olan *özgül şarj* ve *özgül delme* miktarları her bir kaya türü için ayrı ayrı değerlendirilmiştir.
- 4- Sonuçta hem kaya patlatmaları sırasında gerçekleştirilen patlatmanın kontrol edilebilir parametrelerinin değerlendirilmesi, hem de patlatma tasarımının yapıldığı çalışmaların değerlendirilmesi ile benzer çalışma koşulları için orman yollarında pratikte uygulanabilecek delme ve patlatma tasarımı ortaya konulmuştur.

4.1.6.1. Uygulanan Kaya Delme Araç ve Tekniğinin Tartışılması

Bu çalışmada incelenen 5 ayrı orman yollunda kayaların patlatma amacıyla patlatma deliklerinin delinmesinde pnömatik kompresörler kullanılmıştır. Kompresör tabancalarına (martoperfaratör) takılan delici matkaplar 2,54 cm çapında olup 0,80 m ve katları olan uzunluklardadır.

Kullanılan bu kompresörlerden tamir ve bakımları yapılmamış olanlar, çalışmalar sırasında sık sık arızalandıkları görülmüştür. Bu nedenle kullanılacak olan kaya delme ekipmanlarının tamir ve bakımları mutlaka zamanında yapılmalı ve sıklıkla ihtiyaç duyulan tamir ve bakım malzemelerinin iş yerinde sürekli bulundurulmalıdır.

Orman yollarında kayaların delinmesi için pnömatik kompresörler teknik açıdan yeterli olmakla birlikte, çevresel açıdan uzun süreli ve oldukça yüksek gürültü oluşturmaktadırlar. Bu gürültü düzeyi yaban hayvanları ve civarda yaşayanlar için

rahatsızlık kaynağıdır. Kayaların delinmesinde pnömatik kompresörler kullanılacaksa, gürültüyü azaltıcı susturucu filtreler kullanılmalıdır.

Günümüzde bu tür pnömatik ekipmanlar yerini, değişik açılarla hem dikey ve hem de yatay yönde delgi işini yapabilen, hidrolik kaya delme ekipmanlarına bırakmıştır. Bu hidrolik deliciler pnömatik ekipmanlara göre daha sessiz çalışmaktadır. Yine bu hidrolik deliciler, gücünü ekskavatörün hidrolik pompalarından almaktadır. Bu açıdan çalışma alanında ilave bir havalı kompresöre ihtiyaç duyulmamaktadır. Kayalarda patlatma deliklerinin açılması için hidrolik ekskavatör koluna monte edilebilen hidrolik kaya delicileri kullanılması ile kompresörle delme sırasında çoğunlukla bekletilen ekskavatörler daha etkin ve verimli olacaktır.

Bununla birlikte, kaya delme işini kompresör tabancası ile yapan işçiler 8-10 m yüksekliğindeki şevler üzerinde hareket güçlüğü çekmekte ve çoğunlukla tehlikeli pozisyonlarda çalışmaktadırlar. Ekskavatör koluna monte edilebilen hidrolik kaya delme ekipmanları ile çalışılması durumunda bu tehlike ortadan kaldırılacaktır.

Kaya patlatmada verimliliği etkileyen patlatmanın değiştirilebilen parametreleri; dilim kalınlığı, delikler arası mesafe, delik taban payı, delik çapı ve eğimi, patlayıcı maddenin cinsi, miktarı ve dağılımı, sıkılama boyu ve şekli, patlayıcı ateşleme sırası, gecikme zamanı gibi parametrelerdir. Hem verimlilik hem de çevresel açıdan bu parametrelerde değişiklik yapılarak optimum sonuçlara ulaşılabilmektedir. Bu parametrelerin orman yollarında uygulanışı ve değerlendirilmesi aşağıda verilmiştir.

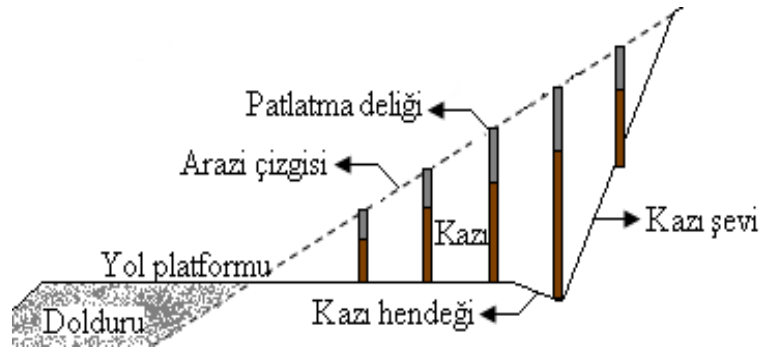
4.1.6.2. Delik Geometrisi ile Düzenine Ait Bulgular ve Tartışılması

Araştırmanın yapıldığı kaya patlatma alanlarında kayaların delinmesinde uygulanan delik aralıkları ve dilim kalınlığı kompresörü kullanan kişinin tecrübesine göre şekillenmektedir. Bu aşamada uygulanan delik düzeni, delikler arası mesafe, delik sıraları arası dilim kalınlığı, patlatma sonrası oluşturulmak istenen şevde delik derinliği ve eğimi kompresörü kullanan kişinin bilgi ve tecrübesine göre yapılmaktadır. Bu uygulama şeklinde farklı kişiler tarafından birbirinden farklı şekilde delik düzenleri ortaya çıkmaktadır. Bu durum patlatmanın verimli olmamasına, kayanın yeterinde ötelenememesi veya boğulmasına veya aşırı parçalanma ile kaya fırlaması şeklinde sonuçlanabilmektedir.

4.1.6.2.1. Delik Çapı ile Boyuna Ait Bulgular ve Tartışılması

Bu çalışmanın yapıldığı orman yollarında patlatılan kayalar düzgün şekilli olmayıp, basamak patlatması şeklinde değildir. Kompresörün tabancasına (martoperfaratör) takılan matkap uçları ve açılan deliklerin çapları 2,54 cm'dir.

Orman yollarında ortaya çıkan kayada açılan patlatma delikleri kazı şevi, kazı hendeği ve yol platformu düzgün şekilde oluşturulması amacıyla farklı derinliklerde açılmaktadır. Delik boyları kazı derinliğine kazısı yapılacak kayanın şekline değişkenlik göstermektedir (Şekil 68). Genel olarak, deliklerin derinlikleri matkap uçlarının boylarına göre 0,80 m ve katları şeklinde açılmaktadır. Bu çalışmada incelenen orman yollarındaki kayalarda açılan en derin delik boyu olarak 3,20 m derinliğinde açıldığı belirlenmiştir.



Şekil 68. Orman yolu enine kesitinde patlatma deliklerinin konumu

Bir atımın basamak patlatması olarak adlandırılabilmesi için dilim kalınlığının en fazla, basamak yüksekliğinin yarısına eşit olması ve delik çapının ise uygulanan basamak yüksekliğinin 1/40'ından daha küçük olması gerektiği belirtilmektedir (Paşamehmetoğlu vd., 1991, Erçikdi, 2004-b). Orman yollarında delik çapı 2,54 cm olup, delik derinliği basamak yüksekliği olarak kabul edildiğinde, uygulanacak en kısa delik derinliği delik çapının 40 katı olan 1,00 m olması gereklidir. Basamak yüksekliğinin 1 m olması durumunda, dilim kalınlığının en fazla 0,50 m olması gerektiği sonucuna varılmaktadır.

4.1.6.2.2. Delik Düzenine Ait Bulgular ve Tartışılması

Bu çalışmanın yürütüldüğü orman yollarındaki kaya patlatma alanlarında deliklerin delinmesinde delik düzenlerinden kare, şerbeş, İsveç düzenine uyan herhangi bir düzen yoktur. Delik aralık ve mesafeleri kompresörü kullanan personelin kişisel tecrübesine, kayanın sert veya yumuşak olmasına, kimi zaman ise delik delinecek yerde çatlak olması gibi nedenlere bağlı olarak değişebilmektedir.

Atım yerlerinde yapılan ölçümler sonucunda genellikle delikler arası mesafenin, dilim kalınlığından daha uzun olarak uygulandığı belirlenmiştir. Tablo 43 incelendiğinde, delikler arası mesafenin dilim kalınlığına oranı (S/B) genel olarak 1'in üzerindedir. Ancak kimi durumlarda delikler arası mesafe ya da dilim kalınlığı 0,60 m ye kadar düşebilmektedir. Delikler arası mesafenin, dilim kalınlığına oranı 1'den küçük olması durumunda sıkılama malzemesinin erken boşalması nedeniyle delikler arasında çok erken çatlaklar oluşması ile hava şoku, gürültü ve iri blok oluşumu gibi sorunlar ortaya çıkabilmektedir. Bu tür olumsuz etkilerin olmaması için, delikler arası mesafenin dilim kalınlığına oranının 1 veya 1'den büyük olduğu delik düzenlerinde açılması gerekmektedir.

Tablo 43. Tüm atımlarda uygulanan delik düzeni ve patlatmaya ilişkin bilgiler

Atım No	Kaya türü	Delik sayısı	Delik boyu	Sıkılama boyu	Toplam delik boyu	Delikler arası mesafe (S)	Dilim kalınlığı (B)	S/B oranı
		Adet	m	m	m	m	m	-
AD-1	Granit	28	1,37	0,34	38,40	1,70	1,26	1,35
AD-2	Granit	28	1,37	0,34	38,40	1,70	1,26	1,35
AD-3	Kireçtaşı	65	1,34	0,27	87,30	2,34	1,62	1,44
SP-1	Bazaltik tüf	10	1,60	0,40	16,00	1,51	1,38	0,86
SP-2	Bazaltik tüf	21	1,60	0,15	33,60	1,56	1,20	1,30
SP-3	Bazaltik tüf	6	1,60	0,15	9,60	1,56	1,20	1,30
SP-4	Bazaltik tüf	30	1,60	0,20	48,00	1,68	1,45	1,16
SP-5	Bazaltik tüf	25	2,20	0,30	55,00	1,67	1,45	1,17
SP-6	Bazalt	17	1,78	0,30	30,26	1,93	1,65	1,17
SP-7	Bazalt	4	1,93	0,30	8,00	1,40	1,20	1,17
SP-8	Bazalt	12	1,30	0,30	15,60	1,37	0,60	2,28
SP-9	Bazalt	5	1,40	0,30	7,00	1,50	1,00	1,50
VK-1	Volkanik breş	12	2,40	0,36	28,80	1,20	1,10	1,09
VK-2	Bazalt	57	1,39	0,56	79,23	1,51	1,33	1,14

Tüm atımlar uygulanan delik düzenine bakıldığında; ortalama delikler arası mesafe 1,62 m ve ortalama dilim kalınlığı ise 1,26 m olarak hesaplanmıştır. Dilim kalınlığının

delikler arası mesafeye oranı (B/S) 0,78 olduğu belirlenmiştir. Bu oran kare, şeşbeş veya İsveç düzeninden herhangi birin delik düzeninde değildir. Bu bakımdan, orman yollarında uygulanan dilim kalınlığının delikler arası mesafeye oranı (1/1) olan kare düzene veya şeşbeş düzende (1/1,5) uygulanması hem patlatmanın verimliliği hem de çevresel etkilerin azaltılması açısından gerekmektedir.

Avusturya'da orman yollarında yapılmış bir çalışmada kireçtaşı türündeki kaya patlatılmıştır. Bu amaçla ekskavatör koluna monte edilebilen hidrolik delicilerle düşey deliklerin 1,5 m aralık ve mesafelerle kare düzeninde delindiğini, delik derinliklerinin kaya yüzeyi ile inilmek istenen seviye arasındaki mesafeye bağlı olarak 3 – 4 m arasında değiştiği belirtilmektedir (Winkler, 1998).

Bu çalışma kapsamında incelenen kaya delme çalışmalarında, tüm deliklerde aralık ve mesafeler gelişigüzel ve kişisel tecrübeye göre seçilmektedir. Kaya üzerinde gözle görülebilir çatlakların olması durumunda delik aralıkları ve dilim kalınlığı daha uzun veya kısa olarak uygulanabilmektedir. Eğer çatlaksız sert kayalar olduğunda yaklaşık olarak 1,5 m aralık ve mesafelerde delinmektedir. Bununla birlikte, delikler arası mesafenin dilim kalınlığına oranının 1'e yakın olduğu atımlarda delik düzeninin kare düzene, bu oranın 1,5 değerine yakın olduğu delik düzenleri şeşbeş düzene yakın olmaktadır. Genel olarak uygulamada şeşbeş düzen tercih edilmektedir. Delik düzeninde şeşbeş düzende uygulanması yanında delikler arası mesafenin, dilim kalınlığının ve sıkılama boyunu uygun seçilmesi ile gecikmeli ateşlemenin de birlikte uygulanması gerekmektedir.

4.1.6.2.2.1. Dilim Kalınlığına Ait Bulgular ve Tartışılması

Serbest yüzey ile birinci sıra delikler veya delik sıraları arasındaki uzaklığa dilim kalınlığı denilmektedir. Dilim kalınlığı diğer tüm tasarım parametreleri üzerinde etkilidir. Aynı zamanda; delikler arası mesafe, sıkılama boyu, delik taban payı, gecikme aralığı, dip şarj boyu, kolon şarj boyu dilim kalınlığının bir fonksiyonudur. Hem atımın ekonomisi yönünden hem de fırlayan kaya, yer sarsıntısı gibi çevre emniyetini etkilemesi bakımından kritik bir tasarım unsuru özelliğindedir.

Dilim kalınlığının belirlenmesine yönelik yaklaşımlardan bir tanesi de maksimum dilim kalınlığı (B_{maks}) yaklaşımıdır. Orman yollarında kaya patlatma amacıyla açılan delikler 1 inç (25,4 mm) çapında ve genelde dik (delik eğimi düzeltme faktörü; $R_1=0,95$)

delinmektedir. Maksimum dilim kalınlığı, deliklere şarj edilen ana patlayıcı yoğunluğu ile doğru orantılı olarak değişmektedir.

Patlayıcı madde şarjının etkili kullanımının, dilim kalınlığının delik çapının yaklaşık 40 katı olarak seçilmesiyle elde edilebileceği belirtilmektedir (Paşamehmetoğlu vd., 1991). Bu bakımdan orman yollarında açılan patlatma deliklerinin çapı standart olup 2,5 cm'dir. Bu durumda, uygulanması gereken dilim kalınlığı yaklaşık olarak 1 m olarak belirlenecektir.

Bu çalışmada incelenen atımlar sırasında belirlenen dilim kalınlıkları en az 0,60 m ve en fazla 1,65 m olarak uygulanmış ve tüm atımlar için ortalama 1,26 m olmuştur. Her iki duruma göre de ortalama dilim kalınlığının olması gerekenden daha yüksek uygulandığı sonucuna varılmaktadır.

4.1.6.2.2.2. Delikler Arası Mesafeye Ait Bulgular ve Tartışılması

Delikler arası mesafe; aynı sırada yer alan delikler arası mesafenin dilim kalınlığının 1,25 veya 1,50 katı alınması durumunda iyi sonuçlar vereceği belirtilmektedir. Ancak delikler arası mesafe değişik delik düzenleri için farklı şekillerde uygulanabilmektedir. Ayrıca şarj edilen patlatma delikleri arasında farklı gecikmelere sahip elektrikli kapsüllerin kullanılması durumunda dilim kalınlığı ve delikler arası mesafe farklı şekilde ortaya çıkabilmektedir (Paşamehmetoğlu vd., 1991; Kesimal, 2005).

Delikler arası mesafenin, dilim kalınlığına oranının 1'den küçük olması durumunda sıkılama malzemesinin erken boşalması nedeniyle delikler arasında çok erken çatlaklar oluşması nedeni ile gaz kaçışının hızlanması, hava şoku, gürültü ve iri blok oluşumu gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır (Kesimal, 2005). Bu çalışmada her bir atım yerinde uygulanan delikler arası mesafenin dilim kalınlığına oranı sadece bir atımda 0,86 m olarak gerçekleşmiştir (Tablo 43). Diğer atımlarda ise bu oran 1'den büyüktür.

Orman yollarında patlatma sonrasında oluşacak parça boyutunun ekskavatör kovası ile alınabilecek boyutlarda olması istenmektedir. Bu bakımdan delikler arası mesafenin (S) dilim kalınlığının (B) 1,5 katı alınması uygundur. Bu durumda delikler arası mesafenin, dilim kalınlığına oranı (S/B) 1,5 olup 1'den büyük bir değerdedir. Yine dilim kalınlığının, delikler arası mesafeye oranı (B/S) ise 1/1,5 şeklinde olup şebbeş delik düzeninde olacaktır.

4.1.6.3. Patlayıcı Şarjına Ait Bulgular ve Tartışılması

Orman yollarında kayaların delinmesinde kompresörü kullanan personel, delikler patlayıcı şarjını da gerçekleştirmektedirler. Deliklere patlayıcı şarjını yapan ateşçi, patlayıcının güvenli bir şekilde nakledilmesi, kullanılması ve patlatma delikleri arasında elektrik devresinin uygun bir şekilde bağlanması gibi konularda bir sertifikaya sahiptir. Ancak çevresel açıdan orman içerisinde ki yol inşaatlarında nasıl bir kaya patlatma tekniğinin uygulanması gerektiği, patlatmanın günün hangi saatlerinde yapılacağı, orman yaban hayatı, doğal kaynakların korunması ve yüksek eğimli arazi koşullarının getireceği dezavantajlar konusunda herhangi bir sertifikaya sahip değildirler.

Bu çalışmada incelenen orman yollarında genel olarak yüksek duyarlıklı dinamitler ile ANFO patlayıcılar kullanılmıştır. Genellikle dinamit kartuşları kuru deliklerde ANFO ile birlikte kullanılırken, ıslak deliklere sadece dinamit kullanılmıştır. Dinamit kartuşların delik içerisine şarj edilmesinde ve kapsülün yerleştirilmesinde izlenen bir düzen yoktur. Dinamit kartuşları ANFO'nun yemleyicisi olarak kullanılmak yerine çoğunlukla ana patlayıcı olarak kullanılmıştır (Tablo 44). Atımlar sırasında gecikmeli kapsüller, genellikle ortadaki veya dipten ikinci dinamit kartuşunun içine yerleştirilmiştir.

Deliklere patlayıcı şarjında genel olarak her 80 cm delik derinliği için 2 adet dinamit kartuşu (jelatinit dinamit gibi) şarj edilmişse, delik boyunun 1/3 oranı gibi yeterli bir sıkılama yapılması durumunda ANFO kullanılmasına gerek kalmadığı belirlenmiştir. Deliklerde ana patlayıcı olarak ANFO kullanılması durumunda ise; derinliği 80, 160 ve 240 cm olan deliklerde ANFO'nun yemlenmesi için sırasıyla bir dinamit kartuşunun 1/4'ü, 1/2'si ve 1 tanesinin kullanılması yeterli olduğu belirlenmiştir. Patlayıcının deliklere şarjından sonra, kaya fırlamalarının önüne geçilebilmesi ve patlayıcının gücünün kayaya iletilmesi için sıkılama boyunun delik derinliğinin 1/3'ü oranında uygulanması yeterli olmaktadır.

Bu çalışmada incelenen her bir atımda değişik kaya türlerinin patlatılması için 1 m derinliğindeki patlatma deliklerinde kullanılan patlayıcı madde miktarı hesaplanarak Tablo 44'de verilmiştir. Buna göre, 1 m derinliğindeki deliklerde kullanılan patlayıcı madde miktarı en az 0,522 kg ile en fazla 0,646 kg arasında değiştiği hesaplanmıştır.

Orman yollarında kireçtaşının patlatılması amacıyla açılan 1 m derinliğindeki bir delikte 0,44 kg ile 0,50 kg arasında patlayıcı kullanıldığı belirtilmektedir (Winkler, 1998). Bu çalışmada kireçtaşının patlatılması için AD-3 nolu atım yerinde açılan 1 m delikte ise

ortalama 0,613 kg patlayıcı kullanılmış olup belirtilen miktarından daha yüksektir. Bu durum, deliklerde sıkılama boyunun az uygulanması ve bunun yerine patlayıcı madde şarjının yapılmasından ileri gelmiş ve sonuçta gereğinden fazla miktarda patlayıcı madde kullanılmıştır.

Tablo 44. Atım yerlerinde 1 m derinliğindeki deliklerde kullanılan patlayıcı miktarı

Atım no	Patlatılan kaya türü	Kullanılan patlayıcı türü ve miktarı (kg)		Toplam patlayıcı miktarı kg	Toplam patlayıcı şarj boyu m	1 m delikte kullanılan patlayıcı miktarı kg/m
		Dinamit	ANFO			
AD-1	Granit*	13,44	3,90	17,34	32,80	0,529
AD-2	Granit*	13,44	3,90	17,34	32,80	0,529
AD-3	Kireçtaşı	34,44	8,34	42,78	69,75	0,613
SP-1	Bazaltik tuf	7,75	-	7,75	12,00	0,646
SP-2	Bazaltik tuf	16,28	1,68	17,96	30,45	0,590
SP-3	Bazaltik tuf	4,65	0,48	5,13	8,70	0,590
SP-4	Bazaltik tuf	23,25	2,44	25,69	42,00	0,612
SP-5	Bazaltik tuf	15,63	9,15	24,78	47,50	0,522
SP-6	Bazalt	9,38	4,12	13,50	25,16	0,537
SP-7	Bazalt	2,50	1,24	3,74	6,80	0,550
SP-8	Bazalt	7,35	0,41	7,76	12,00	0,646
SP-9	Bazalt	3,10	0,41	3,51	5,50	0,638
VK-1	Volkanik breş	10,10	4,90	15,00	24,24	0,619
VK-2	Bazalt	30,69	-	30,69	47,55	0,645

*Ayrışmış (alterasyona uğramış) granit.

Karayollarında çapı 3,81 cm olan 1 m derinliğindeki patlatma deliklerinde 1,34 kg patlayıcı madde kullanıldığını belirtilmektedir (Erdaş, 1981). Bu çalışmadaki atım yerlerinde açılan patlatma deliklerinin çapı 2,54 cm olduğundan, bu patlayıcı miktarının 2,54 cm çapı için 1 m derinlikte 0,893 kg kullanıldığı hesaplanmıştır. Buna göre, incelenen atım yerlerinde kullanılan patlayıcı madde miktarı tüm kaya türleri için daha az olarak şarj edilmiştir.

4.1.6.4. Sıkılama Boyuna Ait Bulgular ve Tartışılması

Sıkılama, patlayıcının enerjisinin kayaya yönlendirilmesi için deliğin en üst kısmındaki bölümde yapılmaktadır. Orman yollarında gerçekleştirilen çalışmalarda, sıkılama malzemesi olarak delme kırıntıları veya kumlu toprak kullanılmıştır. Sıkılama

boyunun uygulanmasında ise belirli bir düzen yoktur. Gelişigüzel uygulanan sıkılama boyunun en az 15 cm, en fazla 56 cm arasında değiştiği belirlenmiştir. Sıkılama boyu dilim kalınlığı veya delik boyu dikkate alınmaksızın rasgele uygulanmıştır.

Optimum sıkılama boyu kayanın özelliklerine bağlı olup dilim kalınlığının 0,67 – 2 katı arasında değişmektedir. Dilim kalınlığının 0,67 katından daha kısa sıkılamalar fırlayan kaya, hava şoku ve kalıcı şevdeki kayanın kırılması sorunlarına yol açar (Paşamehmetoğlu vd., 1991). Bu çalışmada önerilen sıkılama boyu, tüm deliklerin aynı derinlikte olduğu ve dilim kalınlığının eşit uzunlukta ve delik derinliğinden daha az uygulandığı basamak patlatmalarında için önerilmiştir.

Orman yollarında en kısa dilim kalınlığı ortalama 0,60 m ve en uzun ise 1,65 m olarak uygulanmıştır. Eğer önerilen sıkılama boyu bu dilim kalınlıklarının 0,67 katı kadar alınacak olursa, dilim kalınlığı 0,60 m olduğunda sıkılama boyu en az 40 cm ve dilim kalınlığı 1,65 m olduğunda ise sıkılama boyu en az 110 cm olması gerekmektedir. Ancak orman yollarında delik boyları 80 cm ve katları şeklinde delinmektedir. Delik derinliklerinin 80 cm olduğu ve dilim kalınlığının da 0,60 olduğu düşünüldüğünde en kısa sıkılama boyunun 40 cm olarak uygulanabilir. Ancak, dilim kalınlığının 1,65 olduğunda ve delik derinliğinin de 0,80 cm olduğu koşullarda sıkılama boyunun 110 cm olarak uygulanması olanaklı değildir. Deliklerin tümünün aynı derinlikte ve dilim kalınlığının da aynı olduğu basamak patlatmaları için geçerlidir. Orman yollarında bir basamaktan söz edilmesi mümkün olmayıp, aynı atımda farklı derinliklerde delikler patlatılmakta ve yine dilim kalınlıkları farklılık göstermektedir.

Bu uygulama şekli, delik derinliğinin dilim kalınlığından daha uzun olmasını zorunlu kılmaktadır. Bir başka deyişle, delik derinliği dilim kalınlığının yaklaşık 1,3 katı uzunluğunda delinmesi durumunda uygundur. Bu bakımdan orman yollarında gerçekleştirilen kaya patlatmaları basamak patlatması şeklinde değildir. Delik boyları ise aynı sırada veya sıralar arasında farklılık göstermektedir. Bu nedenle bu yaklaşım yerine açılan delik boyunun 1/3'ü oranındaki uzunluk kadar sıkılama yapılması yaklaşımı daha uygundur.

Sıkılama boyunun uygulanmasında bir diğer yaklaşım ise, açılan delik boyunu bağlı olan yaklaşımdır. Bu yaklaşım Kesimal (2005)'de, genel olarak kaya fırlamalarının olmaması ve patlayıcı madde enerjisinin kayaya iletilerek kayanın ötelenmesinin istendiği durumda sıkılama boyunun delik boyunun 1/3 uzunluğunda olması gerektiği belirtilmektedir (Kesimal, 2005). Orman yollarına sıkılama boyunun uygulanması için bu

yaklaşım şekli daha pratiktir. Çünkü orman yollarında basamak atımlarında olduğu gibi sabit bir dilim kalınlığı uygulanması olanaklı değildir.

Orman yollarında uygulamada gerçekleşen sıkılama boyları ile önerilen delik boyunun 1/3'üne karşılık gelen sıkılama boyu uzunlukları hesaplanarak Tablo 45'de verilmiştir. Orman yollarında gerçekleştirilen sıkılama boyu miktarının, hesap yolu ile bulunan sıkılama boylarından oldukça az uygulandığı görülmektedir. Atım yerlerinde uygulanan sıkılama boylarından sadece VK-1 nolu atımda hesaplanan sıkılama boyundan fazla uygulandığı belirlenmiştir.

Tablo 45. Uygulamada gerçekleştirilen sıkılama boyları ve önerilen sıkılama boyları

Atım No	Ortalama delik boyu	Uygulanan sıkılama boyu (SB _u)	Hesaplanan sıkılama boyu (SB _h)	Sıkılama Boyları Farkı (SB _h - SB _u)
	m	m	m	m
AD-1	1,37	0,34	0,46	0,12
AD-2	1,37	0,34	0,46	0,12
AD-3	1,34	0,27	0,45	0,18
SP-1	1,60	0,40	0,53	0,13
SP-2	1,60	0,15	0,53	0,38
SP-3	1,60	0,15	0,53	0,38
SP-4	1,60	0,20	0,53	0,33
SP-5	2,20	0,30	0,73	0,43
SP-6	1,78	0,30	0,59	0,29
SP-7	1,93	0,30	0,67	0,37
SP-8	1,30	0,30	0,43	0,13
SP-9	1,40	0,30	0,47	0,17
VK-1	2,40	0,36	0,80	0,44
VK-2	1,39	0,56	0,46	-0,10

Orman yollarında Teknik Amonyum Nitrat'ın ana patlayıcı olarak, dinamitin ise yemleme amacıyla kullanıldığı patlatma deliklerinde sıkılama boylarının; 80 cm derinliğindeki bir delikte 30 cm, 160 cm derinliğinde 50 cm, 240 cm derinliğinde ise 60 cm boyunda sıkılama çamuru ile sıkılama yapıldığını belirtmektedir (Erdaş, 1981). Bu bakımdan delik boylarının 1/3 kadar uzunluğun sıkılama boyu olarak uygulanması yaklaşımı ile çalışmada verilen sıkılama boyu uzunlukları yakın değerlerde ve uyum vardır.

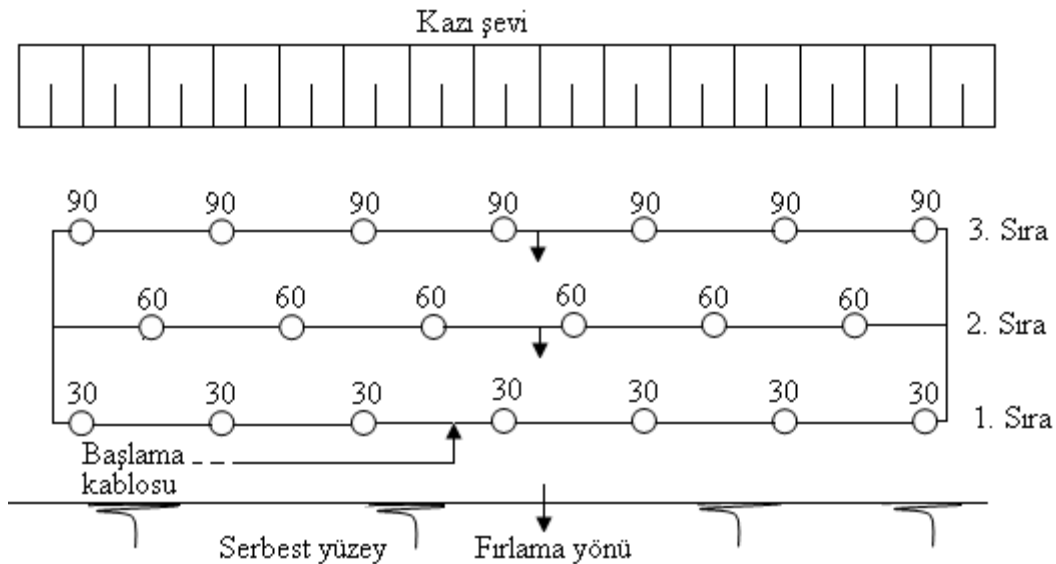
Araştırmanın sürdürüldüğü orman yollarında, her 80 cm delik için kartuş boyu 20–25 cm olan iki adet dinamit kartuşunun kullanılması ve delik boyunun yaklaşık 1/3'ü oranında sıkılama yapıldığı koşullarda, kayanın yeterince kırılarak ötelendiği belirlenmiştir. Yine patlatma sonucu oluşan kaya ebatları olarak ekskavatör kovası ile

hareket ettirilebilecek ebatlarda bloklar oluştuğu belirlenmiştir. Bir başka deyişle, yerinde kayadan ayrılarak oluşan kaya bloklarının tekrar patlatılarak parçalanmasına gerek kalmamıştır.

4.1.6.5. Ateşleme ve Gecikme Zamanına Ait Bulgular ve Tartışılması

Bu çalışmada incelenen orman yollarındaki patlatılan kayalarda patlayıcı şarj edilmiş patlatma delikleri arasında, ucu her bir deliğin dibindeki elektrikli kapsüle bağlı kabloların paralel bir devre oluşturularak bağlanmıştır (Şekil70). Tüm deliklerde aynı gecikme süresine (150 ms gibi) sahip elektrikli kapsüller rasgele düzende yerleştirilerek kullanılmıştır. Bu nedenler delikler veya sıralar arasında herhangi bir gecikme uygulanmamıştır.

Orman yollarında genel olarak 2-3 sıra halinde patlatma delikleri açılmaktadır. Üç sıralı olarak delinen bir atımda uygulanabilecek gecikme süreleri 30 ms gecikme aralıklı atım paterni oluşturulabilir. Bu durumda manyetodan devreye elektrik akımının verilmesinden sonra; ilk olarak birinci sıra 30 ms sonra, ikinci sıra 60 ms, üçüncü sıra ise 90 ms gecikme ile patlatılacaktır (Şekil 69).



Şekil 69. Patlayıcının ateşlenmesinde kablo bağlama sıralı gecikmeli ateşleme paterni

Gecikmeli atımlarda birinci sıranın patlatılıp kayanın şevden ötelenmesi ile bir sonraki sıra için serbest yüzey oluşumu sağlanmaktadır. Bu şekilde hem patlatma

verimliliği artırıldığı gibi hem de bir seferde ateşlenen patlayıcı miktarı daha az olacağından yer sarsıntısı, hava şoku ve fırlayan kaya gibi çevresel etkilerin önüne geçilebilmektedir.

Gecikmeli kapsüllerin kullanılması ile kontrollü patlatma neticesinde oluşan kaya materyalinin hareketinin yönünü de belirlenir. Genel olarak, bu gecikmeli kapsüller patlatılmak istenen kayada ilk parçalanmak istenen kısımdan başlanacak şekilde yerleştirilir. Ön sıradaki deliklere şarj edilen patlayıcılar öncelikle patlatılır ve patlatılan kaya kütlesi daha önceden tesis edilmiş bir sonraki gecikmeli kapsülle ateşlenen patlayıcı şarjına tarafından yönlendirilecektir (Şekil 69).

Patlatmalı kazılarda gecikme sırası serbest yüzeyin bulunduğu tarafa veya istenen kaya fırlaması yönü dikkate alınarak ateşleme sırası değişik düzenlerde uygulanabilir. Bunlardan normal sıra sıra ateşleme şekli Şekil 70'de verilmiştir. Bununla birlikte kayanın fırlama yönünün belirlenmesi ve kontrolü için ateşleme sıraları; çapraz düzende, V düzeninde, yamuk düzende, kanal şekilli düzende uygulanan farklı düzenlerde de gecikme aralıkları uygulanabilir.

Orman yollarında su akıtıcı hendeğin oluşturulması amacıyla tek sıra halinde ve yolun kazı tabanında patlatma delikleri açılmaktadır. Bu deliklerin serbest yüzeye mesafenin yüksek olduğundan, patlayıcının ateşlenmesi sonucunda delik ağzı çevresinden kaya fırlamaları oluşmaktadır. Tek sıra halindeki bu tür patlatma delikleri arasında da gecikmeli kapsüller kullanılarak patlatmanın verimi artırılabilir. Bu şekilde ilk deliğin patlatılması ile kendisinden sonra patlatılacak delik için serbest yüzey oluşacaktır. Kaya fırlamaları da oluşan serbest yüzeye doğru olacak ve sonuçta delik ağzı çevresinden olan kaya fırlamalarının önüne geçilecektir.

4.1.6.6. Özgül Şarj ile Özgül Delmeye Ait Bulgular ve Tartışılması

Özgül şarj; birim hacim ya da birim ağırlıktaki kayayı kırmak için gerekli patlayıcı miktarının ağırlığı olarak tanımlanıp, yukarıda açıklanan; patlayıcı maddenin cinsi, miktarı ve dağılımı ile delik çapı, dilim kalınlığı, delikler arası mesafe etkenleri ile doğrudan ilgilidir. Bir patlatma tasarımında ilk ve en önemli işlem özgül şarjın seçilmesi ve belirlenmesidir. Bu nedenle özgül şarj değişik kaya birimlerinin patlatılmasında optimum sonuç elde etmede en önemli elemanlardan birini oluşturur.

Orman yollarında ortaya çıkan bu kaya türleri birbirinden farklı miktar ve hacimlerde patlatılmıştır. Patlatılan kayalar; granit, kireçtaşı, bazaltik tüf, bazalt, volkanik breş olmak üzere beş ayrı türdedir. Bu kaya türlerinden kireçtaşı kimyasal tortul kayalardan olup diğerleri magmatik kayalardandır.

Her bir kaya türünün 1 m³'ünün patlatılması için kullanılmış patlayıcı madde miktarı (özümlü şarj) ile 1 m³ yerinde kayanın patlatılması için delinen delik boyu (özümlü delme) miktarları hesaplanmıştır. Araştırma alanlarında ki değişik kaya birimlerinde yapılan her bir atımda patlatılan kaya hacmi, kullanılan toplam patlayıcı miktarı, özümlü şarj miktarı ve özümlü delme miktarları Tablo 46'da verilmiştir.

Karayollarında çapı 5,08 cm olan ve 1 m derinliğinde açılan patlatma deliklerinde değişik delik aralık ve mesafeleri göre hesaplanmış 2,33 m³ ile 5,95 m³ hacimlerdeki kayanın patlatılması için ortalama 2,53 kg patlayıcı madde kullanılmıştır (Erdaş, 1981). Burada 1 m³ kayanın patlatılması için 0,425 kg ile 1,085 kg patlayıcı madde kullanıldığı anlaşılmaktadır. Bu çalışmada orman yollarındaki atım yerlerinde 1 m³ kayanın patlatılması için kullanılan özümlü şarj miktarı en az 0,143 kg/m³ ve en çok 0,458 kg/m³ olup, genel olarak daha azdır (Tablo 46). Bunun temel nedeni olarak, patlayıcı madde imalatındaki gelişmeler, ateşlemede elektrikli kapsüller yerine ateşleme fitillerinin kullanılıyor olması gibi nedenler olabilir.

Tablo 46. Tüm atımlarda patlayıcı miktarı, kaya hacmi, özümlü şarj ve özümlü delme

Atım no	Kayaç türü	Toplam delik boyu m	Patlatılan kaya hacmi m ³	Toplam patlayıcı miktarı kg	Özümlü		Kullanılan patlayıcı türü --
					Şarj kg/m ³	Delme m/m ³	
AD-1	Granit	38,40	75,70	17,34	0,229	0,51	Jeltinit, ANFO
AD-2	Granit	38,40	75,70	17,34	0,229	0,51	Jeltinit, ANFO
AD-3	Kireçtaşı	87,30	204,00	42,78	0,210	0,43	Jeltinit, ANFO
SP-1	Bazaltik tüf	16,00	54,08	7,75	0,143	0,30	Emulite TG
SP-2	Bazaltik tüf	33,60	86,40	17,96	0,208	0,39	Emulite TG, ANFO
SP-3	Bazaltik tüf	9,60	16,00	5,13	0,321	0,60	Emulite TG, ANFO
SP-4	Bazaltik tüf	48,00	128,00	25,69	0,201	0,38	Emulite TG, ANFO
SP-5	Bazaltik tüf	55,00	126,40	24,77	0,196	0,44	EmuliteE100, ANFO
SP-6	Bazalt	30,20	72,62	13,51	0,186	0,42	EmuliteE100, ANFO
SP-7	Bazalt	8,00	8,16	3,74	0,458	0,98	P.Magnum365,ANFO
SP-8	Bazalt	15,60	26,21	7,76	0,296	0,60	P.Magnum365,ANFO
SP-9	Bazalt	7,00	14,56	3,51	0,241	0,48	P.Magnum365,ANFO
VK-1	Volkanik breş	28,80	76,03	15,00	0,197	0,38	Jeltinit, ANFO
VK-2	Bazalt	79,23	188,48	30,69	0,163	0,42	Emulite TG

Bir orman yolu inşaatında 76 m³ hacmindeki kireçtaşı türü kayanın patlatılması için 3-4 m derinliğinde 11 adet patlatma deliğinde toplam 16,5 kg patlayıcı madde kullanılmıştır (Winkler, 1998). Burada 1 m³ kireçtaşının patlatılması için özgül şarj miktarının 0,217 kg/m³ olmuştur. Bu çalışmada incelenen AD-3 nolu atımda kireçtaşının patlatılmasında özgül şarj miktarı 0,210 kg/m³ olup kullanılan patlayıcı miktarı yaklaşık aynıdır. Ancak AD-3 nolu atımda ortalama derinliği 1,34 m olan 65 adet delik açılmış ve patlatılmıştır.

Bir başka çalışmada basamak patlatmaları şeklinde kireçtaşı kaya biriminde yapılan 21 atımda özgül şarj miktarının en az 0,18 kg/m³ ve en fazla 0,57 kg/m³ olduğunu belirlenmiştir. Aynı atımlara ait özgül delmenin miktarlarının ise en az 0,011 m/m³ ve en çok 0,040 m/m³ olduğunu belirlemiştir (Arpaz, 2000). Bu araştırmada Tablo 46 görüleceği gibi, kireçtaşı için özgül şarj 0,21 kg/m³ olmuş ve Arpaz (2000)'de verilen en az miktara daha yakın bir değerde bulunmuştur. Yine kireçtaşı için özgül delme ise 0,43 m/m³ olarak belirlenmiş ve verilen değerden yüksektir. Bunun başlıca nedeni basamak patlatmalarında delik tasarımlarının yapılarak, daha düzgün delik düzeni uygulanması, delikler arasında gecikme kullanılması ve bu sayede daha fazla miktarda kaya hacminin patlatılması gibi nedenlerdir.

Basamak atımında tuf türü kayanın patlatılmasında ise özgül şarj 0,23 kg/m³ ile 0,63 kg/m³ arasında değiştiği, aynı atımlarda özgül delmenin 0,027 m/m³ ile 0,047 m/m³ olduğu belirlenmiştir (Arpaz, 2000). Bu çalışmada SP-1, SP-2, SP-3, SP-4 ve SP- nolu atımlarda bazaltik tüflerin patlatılmasında özgül şarj en az 0,14 kg/m³ en fazla 0,32 kg/m³ arasında değişmiş ve özgül şarj daha az miktarı uygulanmıştır. Buna karşılık aynı atımlarda özgül delme ise 0,30 m/m³ ile 0,60 m/m³ olmuş ve Arpaz (2000)'e göre daha yüksek olmuştur.

Baraj inşaatında servis yolu inşaatında yapılan kontrollü patlatmalarda kaya türü belirtilmemiş ve özgül şarj miktarının 0,288 kg/m³ olduğu belirlenmiştir (Keser, 2002). Orman yol inşaatlarında sürdürülen bu çalışmada ise tüm kaya türleri için özgül şarj miktarlarının ortalama 0,230 kg/m³ olup baraj inşaatı yolunda kullanılan miktarla yaklaşık aynı değerdedir.

Orman yollarında gerçekleştirilen atımlarda, delik şarjını yapan kişiye göre, kullanılan patlayıcı madde miktarı da değişebilmektedir. Delikler arası ve dilim kalınlığı uzaklığı yüksek alındığında, özgül şarj miktarı az olmakta ancak istenen parçalanma sağlanamamaktadır. Genel olarak değerlendirildiğinde özgül şarj miktarı yaklaşık 0,250

kg/m³ değerde uygulanmıştır. Kullanılan patlayıcı yoğunluğuna göre delikler arası mesafe ve dilim kalınlığının daha kısa alınması ile özgül şarj miktarının 0,34 kg/m³ ile 3 0,37 kg/m³ arasında değiştiği belirlenmiştir.

4.1.6.7. Orman Yollarında Uygulanabilecek Patlatma Tasarım Modeli

Patlatma tasarım parametreleri arasındaki ilişkinin ortaya konulması sonucunda tasarım için uygun yaklaşımlarda bulunmak mümkün olabilmektedir. Ancak, birçok araştırmacının kabul ettiği ve yanıt aradığı iki anahtar parametre, özgül şarj ve en uygun dilim kalınlığıdır. Herhangi bir kaya birimi için bu iki parametre belirlenebildiği takdirde, kabul edilebilir yaklaşımlara dayalı olarak diğer tasarım parametreleri hesaplanabilmekte ve tasarım tamamlanabilmektedir. Çeşitli araştırmacıların geliştirdiği belirli ampirik ilişkiler ve kaya koşullarını dikkate alınarak bir başlangıç dilim kalınlığı ve özgül şarj değeri belirlenip ön tasarım yapılabilir. Deneme yanılma yoluyla en uygun değerlere ulaşmak için iterasyonlar yapılmakta ve işletme koşulları da göz önüne alınarak çalışmalar sonucu bulunan değerler uygun değerler olarak kabul edildiğinde tasarım kesinleştirilebilmektedir (Arpaz, 2000).

Bu çalışmada, hem kaya patlatmaları sırasında gerçekleştirilen patlatmanın kontrol edilebilir parametrelerine ait ölçümlerin değerlendirilmesi, hem de patlatma tasarımının yapıldığı çalışmaların değerlendirilmesi ile orman yollarında pratikte uygulanabilecek delme ve patlatma tasarımı ortaya konulmuştur. Bunun için patlatma tasarımında göz önüne alınan ve diğer tüm tasarım parametreleri üzerinde etkili olan dilim kalınlığı belirlenmiştir.

Orman yollarında kaya patlatma amacıyla açılan delikler 25,4 mm çapında ve genelde dik olarak delinmektedir. Maksimum dilim kalınlığı, deliklere şarj edilen ana patlayıcı yoğunluğu ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Orman yollarında ana patlayıcı olarak bazı atımlarda ANFO, bazılarında ise jeletinit dinamit gibi yüksek yoğunluklu dinamitler kullanılmıştır.

Orman yollarında yol platformunun oluşturulması için genel olarak en fazla 4-5 sıra halinde patlatma delikleri açılmaktadır. Delikler 2,54 cm çapında ve dik delinip, boyu en fazla 3,2 m derinliğinde delinmiştir. Orman yollarında ortaya çıkan kaya blokları düzgün şekilli olmamaları nedeni ile sabit bir basamak yüksekliği de yoktur. Bu nedenle, basamak yüksekliği yerine ortalama delik boyu değerinin alınması patlatma tasarımının yapılması

için uygun olacaktır. Orman yollarında delik boyları 0,80 m ve katları olan derinliklerde açılmaktadır. Yapılan ölçümlere uygun olarak, ortalama delik boyu ve basamak yüksekliği patlatma tasarımının yapılması için 2,40 m olarak alınmıştır.

Patlatılacak kayanın uzunluğu olarak ise ortalama olarak bir seferde patlatılan kaya uzunluğu kabul edilebilir. Bu çalışma sırasında orman yolları boyunca en fazla 96 m, en az 4 m uzunluğunda ve ortalama olarak her atımda 20 m uzunluğunda kayanın patlatıldığı belirlenmiştir. Buna göre, ortalama uzunluğu (L) 20 m olan bir kayanın patlatma tasarımı yapılmıştır. Kullanılan ana patlayıcının ANFO ve jelatinit dinamit olduğu ve deliklerin kuru halde şarj edildiği koşullar için şesbeş düzende yapılacak patlatma tasarımı ve delik dizaynı parametreleri Tablo 47’de verilmiştir.

Tablo 47. Orman yollarında uygulanabilecek patlatma tasarımı örneği

Patlatılacak kaya ve deliklere ait veriler				
Patlatılacak kaya yüksekliği (K)	m	2,40	Delik eğimi	Dik
Patlatılacak kaya uzunluğu (L)	m	20	Delik düzeni	Şesbeş
Delik çapı (d)	mm	25,4	Delik durumu	Kuru
Hesaplanan önemli büyüklükler				
1-Kullanılan ana patlayıcı			ANFO	Jelatinit dinamit
2-Patlayıcı yoğunluğu (p)	ton/m ³	0,8		1,5
3-Şarj yoğunluğu (I _b)	kg/m	0,41		0,76
4-Maksimum dilim kalınlığı (B _{maks})	m	0,82		1,13
5-Dilim kalınlığı (B)	m	0,73		1,03
6-Delikler arası mesafe (S)	m	1,10		1,54
7-Delik boyu	m	2,40		2,40
8-Sıkılama boyu	m	0,80		0,80
9-Bir sıradaki delik sayısı	adet	20		14
10-Bir delikteki şarj	kg	0,65		1,22
11-Özgül şarj	kg/m ³	0,37		0,34
12-Özgül delme	m ³	1,38		0,68

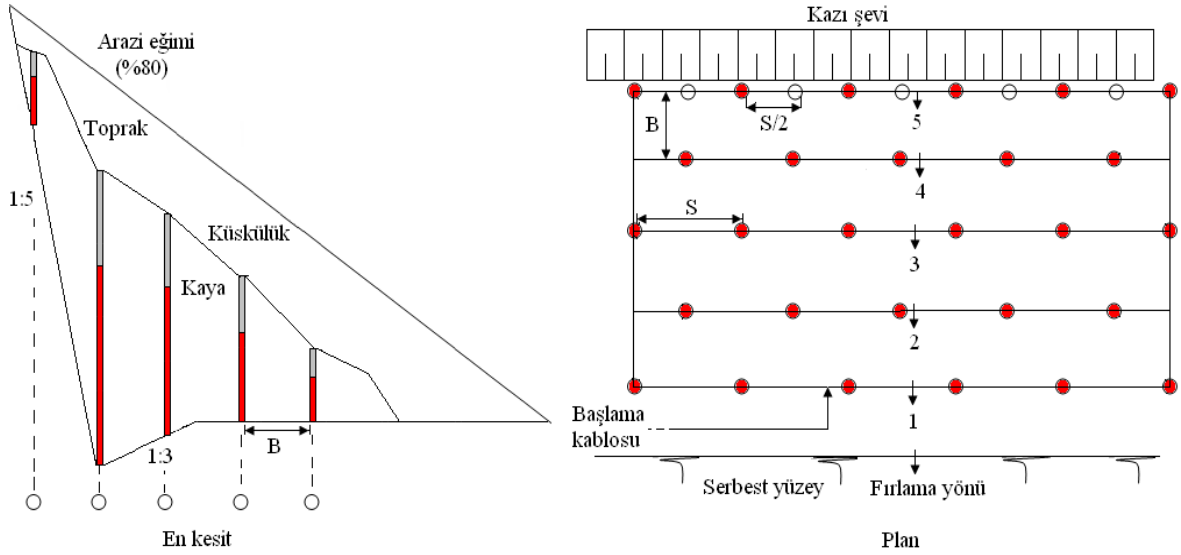
Ana patlayıcı olarak yoğunluğu (p) 0,8 ton/m³ olan ANFO kullanıldığında, şarj yoğunluğu (I_b) 0,41 kg/m ve bu göre maksimum dilim kalınlığı (B_{maks}) 0,82 m hesaplanmıştır. Uygulanabilecek pratik dilim kalınlığı (B) 0,73 m ve delikler arası mesafe (S) ise 1,10 m hesaplanmıştır. Buna göre ANFO kullanıldığında, özgül şarj miktarı 0,37 k/m³ özgül delme miktarı ise 1,72 m/m³ olarak hesaplanmıştır (Tablo 47).

Deliklerin şarjında ana patlayıcı olarak jelatinit dinamit kullanıldığında dinamitin yoğunluğunun 1,50 ton/m³ olması nedeni ile şarj yoğunluğu (I_b) 0,76 kg/m olarak hesaplanmıştır. Buna göre maksimum dilim kalınlığı (B_{maks}) 1,13 m, buna göre pratik dilim

kalınlığını (B) 1,03 m, delikler arası mesafe (S) ise 1,54 m olarak hesaplanmıştır. Yine jelatinit dinamik kullanıldığında, hesaplanan özgül şarj miktarı $0,34 \text{ k/m}^3$ özgül delme miktarı ise $1,21 \text{ m}^3$ olarak hesaplanmıştır (Tablo 47).

Orman yollarında uygulamada tüm atım yerlerinde ölçülen ortalama delik aralıkları 1,62 m ve dilim kalınlığı ise 1,26 m olarak hesaplanmış ve oluşturulan patlatma tasarımındaki değerlerden daha yüksektir. Özgül şarj miktarı tasarımda ANFO kullanıldığında $0,370 \text{ kg/m}^3$, jelatinit dinamit kullanıldığında ise $0,34 \text{ k/m}^3$ olarak hesaplanmıştır. Özgül şarj miktarı uygulamada en az 0,143 ile $0,458 \text{ kg/m}^3$ arasında değişen miktarlarda gerçekleşmiştir.

Orman yollarında kaya patlatma alanlarında tüm deliklere patlayıcı şarj edilmekte ve hepsi aynı anda patlatıldığı belirlenmiştir. Bu şekildeki uygulamalar kalıcı şevde hasarlar oluşturmakta ve istenilen düzgün şev yüzeyi oluşturulamamaktadır. Düzgün kazı şevi yüzeyi oluşturmak için, kazı şevinde son sırada açılan delikler arası mesafe, ön sıralardaki delikler arası mesafenin yarısı ($S/2$) uzaklıkta delinmeli ve sıralar arasında gecikmeli kapsüller kullanılmalıdır. Örneğin son sıradaki delikler arası mesafe ana patlayıcı olarak ANFO kullanıldığında 0,55 m, jelatinit dinamit kullanıldığında ise 0,77 m aralıklarla delinebilir (Şekil 70).



Şekil 70. Orman yolu kazı şevlerinde delik düzeni ve patlatma tasarımı modeli

Bu şekilde açılan son sıradaki deliklerin birer tanesi atlanılarak şarj yapılmalıdır. Deliklerden arada açılan deliklere patlayıcı şarj edilmediğinde, patlatma sonrasında aynı bu

sıradaki patlayıcı şarj edilen deliklerden, patlayıcı şarj edilmeyen deliklere doğru çatlama olacak ve kalıcı şev daha düzgün şekilde kesilecektir. Bu sayede kalan şevde meydana gelen hasarlar önlenerek ve bu şevlerin stabilitesi de sağlanabilecektir (Şekil 70).

Kontrollü olarak kazı şevlerinin ortaya çıkarılması için bazı deliklerde patlayıcı şarj edilirken bazılarında şarj edilmemesi yoluna da gidilebilir. Bununla birlikte kaya özellikleri ve yersel özellikler ortaya konularak her bir deliğe konulan patlayıcı madde miktarının azaltılarak şevlerin uygun şekilde kesilmesi yolu da seçilebilir.

4.2. Orman Yollarında Kaya Patlatma ve Çevresel Açından Tartışılması

Bu çalışmada, orman yollarının inşaatında kayaların patlatılması sırasında oluşan; kaya fırlaması, yer sarsıntısı (titreşim) ve hava şoku değerleri ile orman yol inşaat alanı çevresinde oluşturduğu etkiler ölçülerek çevresel açıdan değerlendirilmiştir. Orman yollarında gerçekleştirilen atımlarda ortaya çıkan bu sorunlara ilişkin bulgular ve bunların değerlendirilmesi aşağıdaki başlıklar altında verilmiştir.

4.2.1. Kaya Fırlamalarına Ait Bulgular ve Tartışılması

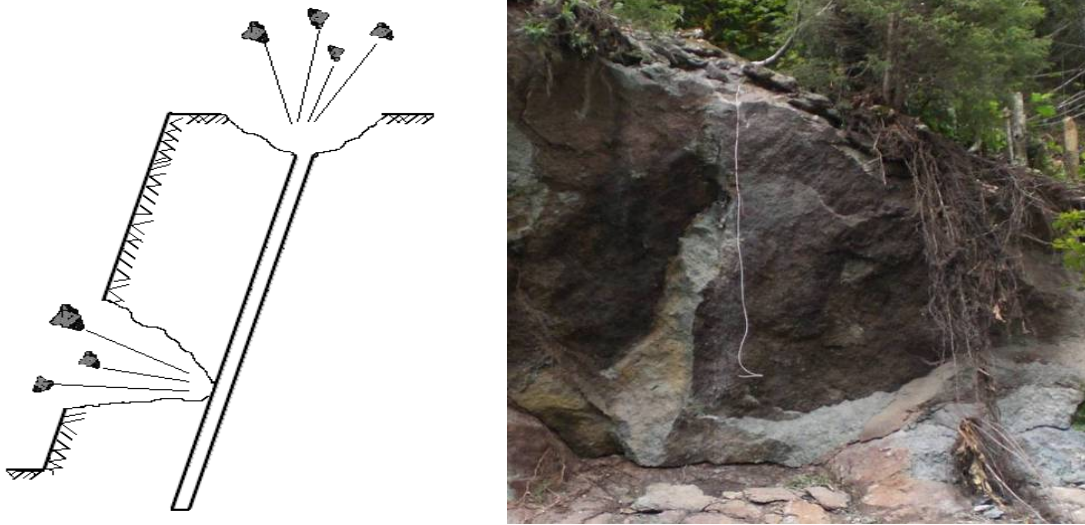
4.2.1.1. Kaya Fırlamaları ile Çevresel Etkilerine Ait Bulgular ve Tartışılması

Orman yollarında patlayıcı maddelerle kaya patlatmaları sırasında ortaya çıkan başlıca sorun kaya fırlaması'dır. Kaya fırlamaları yamaç aşağısındaki ağaçlar ve fidanlarda kırma, yaralama, soyma gibi zararlar oluşturmaktadır. Yine fırlayan kayalar yol yapım alanında bulunan köprü, sanat yapısı ve diğer yapılar üzerinde yıkıcı veya tahrip edici olabilmektedir. Bununla birlikte, yamaç aşağısında kayaların kapattığı verimli topraklar kullanılamaz duruma gelmektedir.

Patlayıcının ateşlenmesiyle ortaya çıkan enerji ile kayaların hareket yönü en yakın serbest yüzeye doğru veya sıkılama bölgesinden yukarı doğru olmaktadır. Ön dilim kalınlığının uygun seçilmediği ya da sıkılama boyunun kısa olduğu durumlarda kaya fırlamaları olmaktadır (Şekil 71-a). Bu durumlarda kaya parçaları oldukça uzak mesafelere kadar fırlatılmaktadır. Dilim kalınlığının uygun olmadığı veya kayada serbest yüzey ile delik arasında çatlaklı bir yapı olması durumunda kaya fırlamaları serbest yüzeyden, yeterli sıkılama olmaması durumunda ise delik ağzı çevresinden kaya fırlamaları olabilmektedir.

Bu çalışmada incelenen orman yollarında, kazı şevi üzerinde açılan patlatma deliklerinin patlatılmasından sonra hem serbest yüzeyden hem de delik ağzı çevresinden kaya fırlamalarının oluştuğu belirlenmiştir. Eğer kaya, tabakalı veya delikten serbest yüzeye doğru olan zayıf ve çatlaklı olması durumunda bu yerlerden de kaya fırlamalarının olduğu ve deliklerin kayada kaldığı gözlenmiştir (Şekil 71-b).

Dilim kalınlığının yüksek veya yük mesafesinin fazla olduğu atımlarda, patlatma deliklerinin ağız kısımlarından yukarı yönde kayalar fırlamaktadır. Orman yollarında bu şekilde oluşan kaya fırlamaları, çevresindeki yük mesafesi oldukça fazla olan yol tabanında ve kazı hendeği oluşturmak amacıyla yapılan atımlarda sıklıkla ortaya çıktığı belirlenmiştir. Kayanın ötelenebileceği en yakın serbest yüzey delik ağzı çevresi olduğundan, patlatma ya boğulmakta ya da kaya parçaları delik ağzı çevresinden fırlayarak orman ağaçlarına ve çevresine hasar vermektedir. Yine delikler tüm derinlikleri boyunca kayayı öteleyemediği gibi sadece delik ağzı çevresinde bir parçalanma olmaktadır.



a) Çatlak ve delik ağzından kaya fırlaması b) Uygun seçilmeyen dilim kalınlığı

Şekil 71. Yetersiz sıkılama ve dilim kalınlığı nedeni ile kaya fırlaması

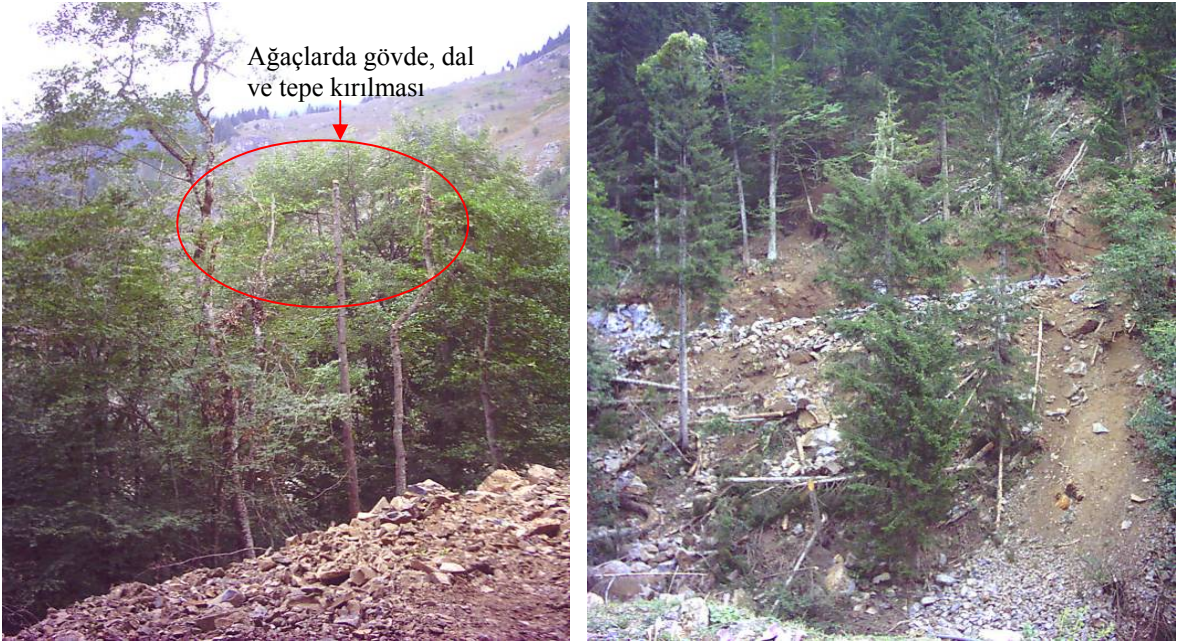
Bu çalışmada orman yollarında yapılan incelemelerle, kayaların patlatılması sonucunda oluşan kaya fırlamaları nedeniyle aşağıdaki hasarlar belirlenmiştir (Şekil 72, 73, 74). Bunlar;

- Patlatma yapılan kayanın özellikle yamaç aşağısındaki ağaç ve fidanlarda soyma, yaralama, kırma, devirme gibi zararlar oluşturduğu,
- Kaya fırlamaları sonucunda taş parçalarının ağaç gövdelerine saplandığı,

- Yamaç aşağı fırlayan ve yuvarlanan kaya parçalarının verimli orman toprağı yüzeyini kapladığı ve atıl duruma getirdiğı,
- Patlatma ile fırlayan veya yuvarlanan kaya parçalarının içme suyu kaynaklarını kirlettiğı,
- Yuvarlanan kaya kütlelerinin su akışını değıştirebilecek şekilde sulu ve kuru dere yataklarında yığılmakta olduğı, dere veya ırmak üzerinde olumsuz etkiler oluşturduğı,
- Kontrolsüzce yapılan patlatma sonucunda yamaç aşağısına yuvarlanan kayaların tehlike arz eden bir durumda askıda kaldığı belirlenmiştir.



Şekil 72. Kaya fırlaması ile yamaç aşağısındaki ağaçlarda gövdede oluşan hasarlar



Şekil 73. Yamaç aşağısına fırlayan kayaların ağaçlarda gövde, dal ve tepe kırması



Şekil 74. Kayaların akarsuların akış rejiminde ve ağaçlarda oluşturduğu hasarlar

İsveç Patlatma Araştırma Enstitüsünün bir çalışmasında özgül şarja bağlı en uzak fırlama mesafesi ilişkisi araştırılmıştır. Bu ilişkiye göre belirli bir kaya kütlesi ve patlatma geometrisi için, özgül şarjın $0,2 \text{ kg/m}^3$ 'e düşürülmesiyle fırlayan kaya sorununun olmayacağı anlaşılmaktadır (Paşamehmetoğlu vd., 1991; Persson vd., 1994). Ancak bu özgül şarj miktarının pratikte uygulanması, kaya türlerinin değişken dayanımları, değişen dilim kalınlıkları, kayadaki çatlak ve süreksizlikler gibi tahmin edilemeyen nedenlerle oldukça zordur (Persson vd., 1994). Bu çalışmada, orman yollarında gerçekleştirilen atım yerlerindeki 1 m^3 farklı türdeki kayaların patlatılması için özgül şarj miktarı en az $0,140 \text{ kg/m}^3$ ve en çok $0,460 \text{ kg}$ arasında değiştiği belirlenmiştir (Tablo 53). Atımlarda uygulanan özgül şarj miktarından bir kısmı belirtilen $0,20 \text{ kg/m}^3$ miktarından daha fazladır.

Kaya fırlamalarının önlenmesinde özgül şarjın değiştirilmesine bir alternatif olarak ön dilim kalınlığı ve sıkılama boyunun artırılmasıdır. Ancak bu uygulama bazen patlamanın boğulmasına veya zayıf parçalanmaya neden olabilmektedir. Özgül şarj, ön dilim kalınlığı ve sıkılama boyları arasındaki ilişkiyi optimize edecek kesin kural yoktur. (Paşamehmetoğlu vd., 1991). Orman yollarında basamak patlatmalarında olduğu gibi sabit bir ön dilim kalınlığı olmamakla birlikte ön dilim kalınlığı olarak genelde 1-1,5 m arasında bir uzunluk seçilmektedir. Yine sıkılama boylarının 15 cm ile 54 cm arasında değişmekte olduğu belirlenmiştir. Sıkılama boyu olarak, sıkılması yapılacak delik boyunun $1/3$ 'ü alınması hem uygulama açısından pratik hem de uygundur.

Kaya fırlamaları üzerinde etkili, kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen pek çok parametre vardır. Kaya fırlamalarına neden olan ve kontrol edilebilir parametrelerden bazıları Tablo 48'de verilmiştir. Kaya fırlamaları üzerinde etkili olan bu bağımsız değişkenlerde yapılacak değişikliklerle patlatma tasarımları gerçekleştirilmektedir.

Tablo 48. Kaya fırlamalarını etkileyen kontrol edilebilir parametrelerden bazıları

Atım no	Patlatılan kaya türü	Delik sayısı	Delik boyu	Sıkılama boyu	Delikler arası mesafe	Dilim kalınlığı	Gecikme başına patlayıcı miktarı	Tek eksenli basma dayanımı	Kaya fırlaması
		Adet	m	m	m	m	kg	Mpa	m
AD-1	Granit	28	1,37	0,34	1,70	1,26	17,34	112,2	55,00
AD-2	Granit	28	1,37	0,34	1,70	1,26	17,34	116,6	55,00
AD-3	Kireçtaşı	65	1,34	0,27	2,34	1,62	42,78	138,6	40,00
SP-1	Bazaltik tüf	10	1,60	0,40	1,51	1,38	7,75	59,4	25,00
SP-2	Bazaltik tüf	21	1,60	0,15	1,56	1,20	17,96	57,2	60,00
SP-3	Bazaltik tüf	6	1,60	0,15	1,56	1,20	5,13	55,0	60,00
SP-4	Bazaltik tüf	30	1,60	0,20	1,68	1,45	25,69	48,4	40,00
SP-5	Bazaltik tüf	25	2,20	0,30	1,67	1,45	24,77	55,0	45,00
SP-6	Bazalt	17	1,78	0,30	1,93	1,65	13,51	151,8	40,00
SP-7	Bazalt	4	1,93	0,30	1,40	1,20	3,74	160,6	46,00
SP-8	Bazalt	12	1,30	0,30	1,37	0,60	7,76	156,2	25,00
SP-9	Bazalt	5	1,40	0,30	1,50	1,00	3,51	158,4	20,00
VK-1	Volkanik breş	12	2,40	0,36	1,20	1,10	15,00	96,8	35,00
VK-2	Bazalt	57	1,39	0,56	1,51	1,33	30,69	147,4	15,00

Orman yollarında yapılan bir çalışmada düşey delinen 11 adet patlatma deliğinde 16,5 kg patlayıcı şarj edilmiş ve gecikmeli elektrikli kapsüllerle ateşlenmiştir. Patlatma sonrasında inşaat alanına bitişik meşcere üzerinde kaya fırlamalarının etkisini önemli derecede azalttığı belirtilmiştir. Bu şekilde patlatmalar ile kayanın yerinde kırıldığı, buna karşılık patlatma nedeni hasarların oluşmadığı ve ana kaya katmanlarını olumsuz etkilemediği vurgulanmıştır. Bu patlatma sonrasında yol boyunca yamaç aşağısındaki ağaçlarda zararların oluşmadığı, kaya parçalarının orman yolu yapılarında kullanılabilir boyutta elde edilebildiğini belirtilmiştir (Winkler, 1998).

Bu çalışmada ise incelenen orman yollarında gerçekleştirilen atımlarda gecikmeli elektrikli kapsüller gelişigüzel kullanılmakta, deliklerin şarjında bu konuda eğitilmiş ve çevresel hassasiyetleri dikkate kişiler çalışmamaktadır. Bu bakımdan, yapılacak kaya patlatmaları konusunda uzman kişilerce patlatma tasarımı kontrollü olarak yapılmalıdır.

Patlatmalı kazı çalışmalarının yapıldığı yerlerde kaya fırlamalarını tamamen engellemek mümkün değildir. Bununla birlikte gerekli önlemlerin alınması ve

düzenlemelerin yapılması durumunda kaya fırlamaları önemli ölçüde azaltılabilir (Kesimal, 2004; Cihangir, 2006). Orman yollarında kaya fırlamalarının önüne geçmek için delik düzeni ve patlatma tasarımı yanında, çok riskli bölgelerde patlatılacak kaya kütlelerinin üzerine örtü malzemesi serilmesi yöntemi de kullanılabilir bir diğer seçenektir.

Örtü malzemeleri olarak, kamyon lastiklerinin taban kısımları kesilerek elde edilen lastik şeritlerin birleştirilmesiyle elde edilen örtü malzemesi, çelik hasır ve dayanıklı perdeler kullanılabilir. Orman yollarında yol tabanı, hendek açılması ve kazı şevi oluşturmak amacıyla yapılan atımlarda, bu örtü malzemelerinden lastik şeritler kullanılabilir. Patlatılacak olan kaya üzerine bu malzemenin serilmesinde, dağlık arazide yol inşaatlarında kullanılan ekskavatörle gerçekleştirilebilir. Eğer patlatma sıraları arasında bir gecikme verilmiş ise bu durumda önce patlatılacak bölüm ile bunu takip eden kaya bölümlerinin patlatılma düzenine göre örtü malzemesi serilmelidir.

Uygulamada bu tür malzemelerin serilmesinde oluşabilecek olan başlıca problem, her bir patlatma deliği arasında bağlantıyı sağlayan kabloların kopmasıdır. Bunun önlemek için, örtü malzemesinin ekskavatör kolunun uzanabildiği boyda hazırlanmalı ve serilirken bağlantı kablolarının kopmamasına dikkat edilmelidir. Bu kablolarında kopma olup olmadığının yani elektrik devresinin kapalı olup olmadığı direnç ölçme aleti (ohm metre) ile aynı zamanda kontrol edilmelidir.

4.2.1.2. Kaya Fırlamalarının İstatistiksel Bulguları ve Tartışılması

Bu çalışmada incelenen orman yollarında yapılan kaya patlatmaları sonrasında fırlayan kaya parçalarının başta yamaç aşağısında ki orman alanı ve meşcereler olmak üzere çevresine ciddi boyutta zararlar verdiği belirlenmiştir. Koşulları daha önceki bölümlerde verilen her bir atım sonrasında fırlayarak giden kaya parçaları, patlatma yerinden değişik uzaklıklarda ki ağaç ve fidanlarda kırma, yaralama, soyma gibi zararlar oluşturmuştur.

Kaya fırlamasının uzaklığının tahminine yönelik literatürde eşitlikler verilmiştir. Bunlardan biri maksimum kaya fırlaması uzaklığını (L_{maks}), delik çapının (d) bir fonksiyonu olarak hesaplanmaktadır. Orman yollarında mevcut kaya delme çalışmalarında uygulanan delik çapı 2,54 cm'dir. Sadece delik çapını esas alan eşitlik kullanıldığında, maksimum kaya fırlama mesafesinin $L_{maks} = 260$ m olması gerektiği sonucuna varılmaktadır. Bu çalışmada orman yollarında ölçülen kaya fırlamaları ve oluşturdukları

zarar uzaklıkları en fazla 60 m uzaklıkta olup, hesaplanan 260 m değeri bu ölçüm sonucundan 4,2 kat daha büyüktür

Bu eşitlik, açık ocak işletmelerinde farklı delik çaplarının uygulandığı granit, gnays, pegmatit gibi kaya türlerinin basamak patlatmalarında belirli patlayıcı şarjlarında geçerlidir (Persson vd., 1994). Ancak orman yollarında açılan patlatma deliklerinin çapı değişkenlik göstermeyip 2,54 cm olduğundan tam olarak uygun değildir.

Bununla birlikte, maksimum kaya fırlamasının hesaplanmasında delik çapının yanında özgül şarjı (q) içeren tahmin yöntemi de kullanılmaktadır. Bu çalışmada orman yollarında gerçekleştirilen atımlarda delik çapı 2,54 cm, özgül şarj (q) ise en fazla 0,458 kg/m³ olmuştur. Bu değerleri eşitlikte kullanılıp hesaplandığında; maksimum kaya fırlama mesafesi; $L_{maks} = 37$ m olarak hesaplanmıştır. Ancak yapılan ölçümlerde kaya fırlamalarının en fazla 60 m uzaklıktaki ağaçlarda ciddi hasarlar oluşturduğu belirlenmiştir.

Her iki formülden elde edilen sonuca göre, patlatma yerinden 37 m ile 260 m uzaklık içerisinde kaya fırlamaları olabilmektedir. Bu iki ayrı eşitlik kayanın en uzak fırlama mesafesi olup, açık ocak işletmelerinde yapılan atımlarla belirlenmiştir. Orman yollarında ise kaya fırlamaları ile patlatma alanı çevresinde bulunan ağaç, fidanlarda değişik zararlar oluşturmaktadır. Bu iki yaklaşıma göre hesaplanan kaya fırlama uzaklıkları, en az 15 m ve en fazla 60 m olarak orman yollarında ölçülen kaya fırlamaları ve hasar uzaklıklarını kapsamaktadır.

Bu çalışmada, orman yollarında patlatmanın yapıldığı yerden maksimum uzaklıklardaki kaya fırlamasıyla oluşan hasar verme uzaklığı doğrudan ölçülerek elde edilmiştir. Bu uzaklık ile kaya fırlamasına neden olduğu bilinen patlatmanın kontrol edilebilir parametrelerinden olan; sıkılama boyu, delikler arası mesafe, dilim kalınlığı, gecikme başına patlayıcı miktarı gibi bağımsız değişkenlerle kayanın mekanik özelliklerinden tek eksenli basma dayanımı ilişkiye getirilmiştir (Tablo 49).

Orman yollarında kaya fırlamalarının oluşturduğu hasar uzaklığının tahmini ve modellenmesi amacıyla, korelasyon analizi ve geriye doğru (backward) aşamalı regresyon analizi yapılmıştır. Kaya fırlaması uzaklığı tahmin modelinin ortaya konulması için, bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişki; $KF = f(SB, DA, DK, TPM, BD)$ şeklinde olan bir fonksiyon kabul edilmiştir. Kaya patlatmaları sonrasında kaya fırlamalarının değişik mesafelerdeki orman ağaç ve fidanlarında oluşturduğu zarar uzaklığının tahmin edilmesine yönelik model ortaya konulmuştur.

Tablo 49. Bağımlı değişken kaya fırlaması ile bağımsız değişkenler

Bağımlı değişken		Bağımsız değişkenler	
KF	Kaya fırlaması (m)	SB	Sıkılama boyu (m)
		DA	Delik aralığı (m)
		DK	Dilim kalınlığı (m)
		TPM	Gecikme başına patlayıcı miktarı (kg)
		BD	Kayacın tek eksenli basma dayanımı (MPa)

Bağımlı değişken kaya fırlaması zarar uzaklığı ile bağımsız değişkenler arasında çoklu korelasyon analizi yapılmıştır. Korelasyon analizi sonucunda, sıkılama boyu ile kaya fırlaması zarar uzaklığı arasında % 99 güven düzeyinde negatif yönde ilişkili bulunmuştur. Bu durum sıkılama boyu arttıkça kaya fırlaması uzaklığının azaldığını, sıkılama boyu kısaldığında ise kaya fırlaması uzaklığının arttığını göstermektedir. Kaya fırlaması uzaklığı ile dilim kalınlığı ve delikler arası mesafe arasında pozitif yönde bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Yine kaya fırlaması ile kayalara ait basma dayanımı ve gecikme başına patlayıcı madde miktarı arasında negatif yönde bir ilişki olduğu belirlenmiştir (Tablo 50).

Tablo 50. Kaya fırlaması ile bağımsız değişkenler arasındaki korelasyon katsayıları

Değişkenler	Kaya fırlaması	Sıkılama boyu	Dilim kalınlığı	Delikler arası mesafe	Kayaç basma dayanımı	Gecikme başına patlayıcı miktarı
Kaya fırlaması		-0,827**	0,202	0,255	-0,437	-0,015
Sıkılama boyu	-0,827**		0,019	-0,300	0,370	0,144
Dilim kalınlığı	0,202	0,019		0,610*	-0,239	0,571*
Delikler arası mesafe	0,255	-0,300	0,610*		0,200	0,663**
Kayaç basma dayanımı	-0,437	0,370	-0,239	0,200		-0,078
Gecikme başına patlayıcı miktarı	-0,015	0,144	0,571*	0,663**	-0,078	

Değişkenler; * % 95 önem düzeyinde ilişkilidir, ** % 99 önem düzeyinde ilişkilidir.

Bağımsız değişkenler de kendi aralarında korelasyona sahiptir. Bunlardan; dilim kalınlığı ile delikler arası mesafe, dilim kalınlığı ile gecikme başına patlayıcı madde miktarı % 95 güven düzeyinde pozitif yönde, delikler arası mesafe ile gecikme başına patlayıcı madde miktarı arasında %99 güven düzeyinde ilişki olduğu belirlenmiştir (Tablo 50). Bu durum dilim kalınlığı arttıkça delikler arası mesafenin de arttığı, yine dilim kalınlığı arttıkça kullanılan patlayıcı madde miktarının da arttığını göstermektedir. Aynı şekilde dilim kalınlığı attıkça gecikme başına patlayıcı miktarının da arttığı sonucuna varılmaktadır.

Bağımlı değişken kaya fırlaması zarar uzaklığı ile bağımsız değişkenler arasında yapılan çoklu regresyon analizi sonucunda doğrusal regresyon modelleri elde edilmiştir (Tablo 51). Kaya fırlaması zarar uzaklığı ile sıkılama boyu arasındaki korelasyon analizi ve regresyon analizi sonucunda güçlü bir ilişki olup, bu uzaklığın tahmin edilmesinde en fazla etkiye sahip bağımsız değişkenin sıkılama boyu olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 51. Kaya fırlaması uzaklığının belirlenmesi için regresyon modelleri

Model no	Katsayı	Sıkılama boyu	Dilim kalınlığı	Delikler arası mesafe	Gecikme başına patlayıcı miktarı	Tek eksenli basma dayanımı	Modelin ilişki katsayısı ve standart hatası	
	a	SB (m)	DK (m)	DA (m)	TPM (kg)	BD (MPa)	R ²	SE
1	95,03	-182,3	35,7	- 47,0	0,6	0,15	0,808	8,2
2	76,26	-128,2	18,9	-16,9	0,2		0,772	8,4
3	67,76	-121,1	20,2	-11,8			0,761	8,3
4	56,66	-111,1	12,1				0,735	8,3
5	71,73	-110,5					0,684	8,6

Yapılan regresyon analizi ile oluşturulan beş ayrı model içerisinde 1 nolu modelin ilişki katsayısı en yüksek, standart hatası en düşüktür. Bu modele göre kaya fırlaması zarar uzaklığı (KF);

$$KF = 95,03 - 182,3 \times SB + 35,7 \times DK - 47,0 \times DA + 0,63 \times TPM + 0,15 \times BD \quad (8)$$

şeklinde eşitlik olarak belirlenmiştir. Bu modelin ilişki katsayısı (R²) 0,808 ve standart hatası (SE) 8,2'dir. Bu modelde bağımsız değişkenlerin tümü modelde yer almıştır. Bu bakımdan modeldeki değişkenlerin belirlenmesi durumunda 1 nolu eşitliğin kullanılması daha uygun olacaktır. Bu modele göre hesaplanan kaya fırlamaları uzaklığı ile arazi çalışmalarında ölçülen kaya fırlaması uzaklık değerlerinden bazıları Tablo 52'de karşılaştırma amacıyla verilmiştir.

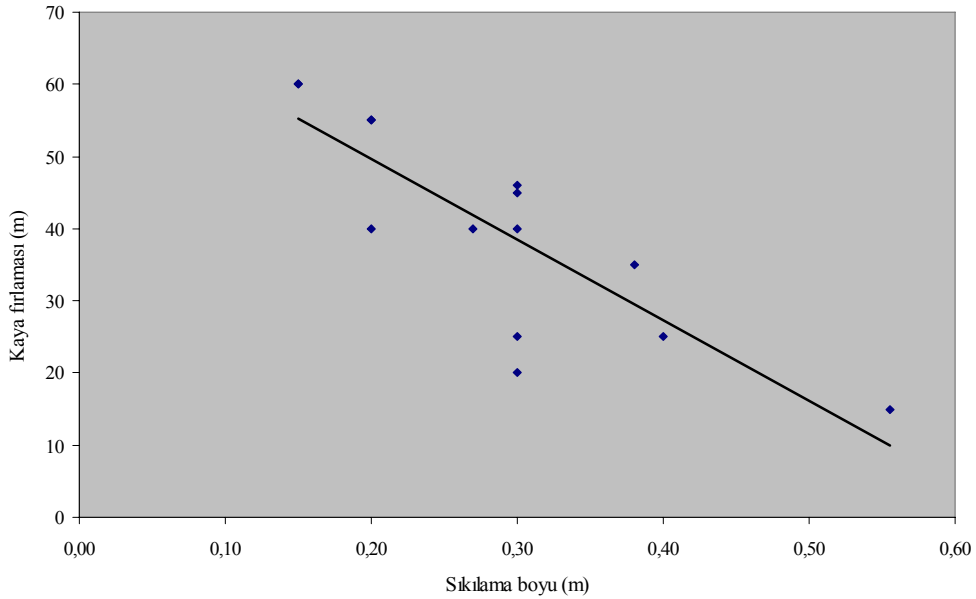
Tablo 52. Atım yerlerinde ölçülen ve 1 nolu model ile hesaplanan kaya fırlamaları

Atım yeri no	Sıkılama boyu (SB) m	Dilim kalınlığı (DK) m	Delikler arası mesafe (DA) m	Gecikme başına patlayıcı miktarı (TPM) kg	Tek eksenli basma dayanımı MPa	Kaya fırlaması	
						Ölçülen m	Hesaplanan m
SP-1	0,40	1,38	1,18	7,75	59,40	25,00	54
SP-2	0,15	1,20	1,48	17,96	57,20	60,00	80
SP-3	0,15	1,20	1,48	5,13	55,00	60,00	76
SP-4	0,20	1,46	1,68	25,69	48,40	40,00	66
SP-5	0,30	1,45	1,67	24,78	55,00	45,00	52

Yapılan regresyon analizi ile oluşturulan 5 nolu modelde ise bağımsız değişkenlerden sadece sıkılama boyu yer almıştır. Elde edilen 5 nolu model;

$$KF = 71,73 - 110,5xSB \quad (9)$$

Bu modelin ilişki katsayısı (R^2) 0,684 ve standart hatası (SE) ise 8,6 olarak belirlenmiştir. Bu model, diğer değişkenler olmadığı ve sadece sıkılama boyu değeri varken kaya fırlaması tahminini amacıyla verilmiştir. Regresyon modellerinin hepsinde yer alan bağımsız değişkenlerden sıkılama boyu ile kaya fırlaması arasındaki doğrusal ilişkiye ait grafiksel gösterimi Şekil 75’de verilmiştir.



Şekil 75. Sıkılama boyu ile kaya fırlaması uzaklığının grafiksel gösterimi

Şekil 75'deki grafik incelendiğinde, sıkılama boyu arttıkça kaya fırlamasının azaldığı görülmektedir. Bu nedenle, orman yollarında gerçekleştirilen ölçümlerle belirlenen sıkılama boyunun daha yüksek alınması gerekmektedir. Atım yerlerinde kaya fırlamalarına başlıca neden olan sıkılama boyunun, delik boyunun 1/3'ü oranında kadar artırılması ile her deliğe şarj edilen patlayıcı miktarı da azalacak ve sonuçta kaya fırlamaları azaltılabilecektir.

Bu çalışmada incelenen atım yerlerinde, farklı derinliklerdeki patlatma deliklerinin çapları 2,54 cm olup sabit tutulmuştur. Patlatılan kaya türleri granit, kireçtaşı, bazalt, bazaltik tüf, volkanik breş türündedir. Tüm atımlar yamaç eğiminin %80-85, meşcere kapallılığının % 40-70 ve ağaç çaplarının 20-50 cm arasında olduğu orman içerisindeki şartlarda gerçekleştirilmiştir. Bu bakımdan Tablo 51'de verilen kaya fırlaması ile zarar uzaklığının tahmin edilmesi için belirlenen regresyon modelleri sadece çalışılan saha ve benzer çalışma koşulları için geçerlidir. Bu çalışma ile kaya fırlaması uzaklığının tahmininde belirtilen parametrelerin kullanılabilmesi gösterilmiştir. Araştırmacılar farklı koşullar için yeni modeller çalışabilirler, bir başka deyişle bu eşitliklerin genel geçerliliği yoktur.

Eşitliklerdeki değişkenlerin belirlenmesi için, öncelikle uygun bir patlatma tasarımının yapılarak (dilim kalınlığı, delikler arası mesafe, delik boyu, sıkılama boyu, patlayıcı miktarı gibi) daha sonra bu tasarım sonucu kaya fırlama mesafesinin tahmini için kullanılabilir. Patlatma tasarımında dilim kalınlığı, delikler arası mesafe, sıkılama boyu patlayıcı miktarı gibi değişkenler birbirine bağımlı olarak hesaplanmaktadır. Bu nedenle, tasarım yapılmaksızın gelişigüzel değerler kullanılarak verilen eşitlikler kullanıldığında yanıltıcı sonuçlar verecek veya patlatma başarısız olacaktır.

4.2.2. Yer Sarsıntılarına Ait Bulgular ve Tartışılması

Bu çalışmada orman yollarında patlatmalı kaya kazısı çalışmalarının çevresel etkilerden yer sarsıntısı ve hava şoku değerleri sismografla ölçülmüştür. Ölçüm noktaları değişik ölçekli mesafe (SD) değerleri elde edilebilecek şekilde belirlenmiştir. Bu nedenle, ölçüm yapılan noktanın yakınında yapı olup olmadığı dikkate alınmamış, bu noktalarda yapı bulunması durumunda ölçülen parçacık hızı unsurlarının hasar verme riskinin ne olabileceğinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Atımın yapıldığı yere göre kaya fırlamaları bakımından emniyetli olan yol üstü yamaçta veya yolun daha önce yapılmış ileri veya geri noktasında titreşim ölçer kurularak ölçümler yapılmıştır. Bu çalışmada titreşim ölçer; AD-1, AD-2, AD-3, VK-1 ve VK-2 nolu atımlarda yamaçta, diğer atımlarda (SP-1,..., SP-9) yol üzerinde kurularak kayıt alınmıştır. Atımlar sırasında oluşan yer sarsıntısı unsurları uluslararası kabul görmüş Amerikan USBM ve OSMRE standardı, Alman DIN 4150 normu ile ülkemizde Çevre ve Orman Bakanlığının uyguladığı hasar kriterlerine göre değerlendirilmiştir.

Orman yollarındaki her bir atım için parçacık hızı bileşenleri (enine-PTV, düşey-PVV, boyuna-PLV, maksimum-PPV), maksimum frekans, bileşke parçacık hızı, hava şoku, yer değiştirme ve ivme, gecikme başına düşen en fazla patlayıcı madde miktarı, ölçüm uzaklığı ve ölçekli mesafe değerleri Tablo 53'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Bununla birlikte, orman yollarında, yer sarsıntısı ve hava şokları ölçümünün yapıldığı atımlarda kullanılan patlatma tasarım parametreleri ve atımlara ait diğer bilgiler Tablo 54'da verilmiştir. Bu tabloda atım yerlerinde kullanılan delik geometrisi, delik sayısı ve derinliği, delik sıraları arasındaki dilim kalınlığı, sıkılama boyu, kullanılan başlatıcı sistem, patlayıcı tür ve miktarı, kaya fırlaması ve zarar uzaklığı, yer sarsıntısı bileşenleri ve hava şoku değerlerine ait bulgular bir arada verilmiştir.

Tablo 53. Orman yollarındaki atımlarda oluşan yer sarsıntısı ve hava soku değerleri

Orman işletme şefliği	Yol kod no	Atım yeri no	Delik sayısı	Parçacık hızı (mm/sn)				Titreşim frekansı (Hz)	Bileşke parçacık hızı (mm/sn)	Maks. hava şoku (dB)	Hava şoku frekansı (Hz)	Maks. yer değiştirme (mm)	Maks. İvme (g)	Gec. başına toplam patlayıcı* (W) (kg)	Ölçüm uzaklığı (R) (m)	Ölçekli mesafe (SD)
				Enine	Düşey	Boyuna	Maksimum									R/W ^{1/2}
Alacadağ	126	AD-1	28	6,950	23,500	15,400	23,5	39	27,800	145,3	43	0,0868	0,676	17,34	32,00	7,68
Alacadağ	126	AD-2	28	4,300	24,400	1,870	24,4	39	24,700	140,9	30	0,0933	0,742	17,34	48,00	11,53
Alacadağ	120	AD-3	65	31,700	22,800	15,500	31,7	57	32,500	146,4	14	0,0691	1,830	42,78	62,00	9,48
Şalpazarı	002	SP-1	10	0,254	1,650	0,127	1,65	51	1,680	<88	N/A	0,00477	0,053	7,75	75,00	26,94
Şalpazarı	002	SP-2	21	4,060	2,920	7,240	7,24	>100	8,550	94,0	>100	0,00924	0,597	17,96	80,00	18,88
Şalpazarı	002	SP-3	6	10,500	6,220	14,600	14,6	>100	17,600	94,0	>100	0,0267	1,030	5,13	80,00	35,32
Şalpazarı	002	SP-4	30	9,400	10,000	7,870	10,0	64	12,300	127,1	11	0,0308	0,411	25,69	60,00	11,84
Şalpazarı	002	SP-5	25	3,300	2,410	4,320	4,32	43	4,640	130,6	24	0,0173	0,186	24,78	70,00	14,06
Şalpazarı	002	SP-6	17	3,430	4,570	3,560	4,57	51	6,110	130,0	14	0,0136	0,133	13,50	57,00	15,51
Şalpazarı	002	SP-7	4	0,508	0,635	0,635	0,635	73	0,959	142,8	23	0,00409	0,0398	3,74	48,00	24,82
Şalpazarı	002	SP-8	12	0,635	0,635	0,762	0,762	32	0,925	121,8	37	0,00515	0,0265	7,755	86,00	30,88
Şalpazarı	002	SP-9	5	0,127	0,127	0,254	0,254	73	0,284	106,0	30	0,00074	0,0133	3,51	86,00	45,92
Vakfikebir	011	VK-1	12	58,200	58,800	55,100	58,8	39	78,400	147,1	32	0,347	1,840	15,00	46,00	11,88
Vakfikebir	029	VK-2	57	17,000	17,900	22,000	22,00	28	28,500	144,5	20	0,107	0,464	30,69	65,00	11,73

*Atımlar aynı anda ve aynı gecikmeye sahip elektrikli kapsülle ateşlenmekte olduğundan gecikme başına toplam patlayıcı ile toplam patlayıcı miktarı (kg) aynıdır.

Tablo 54. Kaya patlatma alanlarındaki delik geometrisi ve atımlar neticesinde oluşan titreşimlere ait parametreler

Özellikler	Atım yeri ve numarası														
	AD-1	AD-2	AD-3	SP-1	SP-2	SP-3	SP-4	SP-5	SP-6	SP-7	SP-8	SP-9	VK-1	VK-2	
Kaya Türü	Granit	Granit	Kireçtaş 1	Bazaltik tüf	Bazaltik tüf	Bazaltik tüf	Bazaltik tüf	Bazaltik tüf	Bazalt	Bazalt	Bazalt	Bazalt	Volkani k breş	Bazalt	
Delik sayısı (adet)	28	28	65	10	21	6	30	25	17	4	12	5	12	57	
Delik çapı (mm)	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	
Delik boyu (m)	1,37	1,37	1,34	1,60	1,60	1,60	1,60	2,20	1,78	2,00	1,30	1,40	2,40	1,39	
Sıkılama boyu (m)	0,20	0,20	0,27	0,40	0,15	0,15	0,20	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,38	0,56	
Delikler arası mesafe (m)	1,70	1,70	2,34	1,18	1,48	1,48	1,68	1,67	1,93	1,40	1,37	1,50	1,20	1,46	
Dilim kalınlığı (m)	1,25	1,25	1,62	1,38	1,20	1,20	1,46	1,45	1,65	1,20	0,60	1,00	1,10	1,33	
Patlayıcı ve yemleme cinsi	ANFO/ dinamit	ANFO/ dinamit	ANFO/ dinamit	Dinamit	ANFO/ dinamit	ANFO/ dinamit	ANFO/ dinamit	ANFO/ dinamit	ANFO/ dinamit	ANFO/ dinamit	ANFO/ dinamit	ANFO/ dinamit	ANFO/ dinamit	Dinamit	
Kullanılan gecikmeli kapsül (ms)	150	150	150	150	25	25	150	25	150	150	150	150	150	450	
Toplam patlayıcı (kg)	17,34	17,34	42,78	7,75	17,96	5,13	25,69	24,78	13,50	3,74	7,76	3,51	15,0	30,69	
Gecikme başına patlayıcı mikt.(kg)**	17,34	17,34	42,78	7,75	17,96	5,13	25,69	24,78	13,50	3,74	7,76	3,51	15,0	30,69	
Kaya fırlaması (zarar) uzaklığı (m)	55	55	40	25	60	60	40	45	40	46	25	20	35	15	
Titreşim ölçüm uzaklığı (m)	32	48	62	75	80	80	60	70	57	48	86	86	46	65	
Titreşim ölçer kuruluş yeri	yamaç	yamaç	yamaç	yol	yol	yol	yol	yol	yol	yol	yol	yol	yamaç	yamaç	
Bileşke parçacık hızı (mm/sn)	27,80	24,70	32,50	1,68	8,55	17,60	12,30	4,64	6,11	0,959	0,925	0,284	78,40	28,50	
Boyuna	Parçacık hızı (mm/sn)	15,40	1,87	15,50	0,127	7,24	14,60	7,87	4,32	3,56	0,635	0,762	0,254	55,10	22,00
	Frekans (Hz)	47	28	85	>100	>100	>100	>100	43	39	30	32	73	47	28
Enine	Parçacık hızı (mm/sn)	6,95	4,30	31,70	0,254	4,06	10,50	9,40	3,30	3,43	0,508	0,635	0,127	58,20	17,00
	Frekans (Hz)	51	34	57	>100	>100	47	64	30	37	43	27	>100	51	34
Dikey	Parçacık hızı (mm/sn)	23,50	24,40	22,80	1,65	2,92	6,22	10,00	2,41	4,57	0,635	0,635	0,127	58,80	17,90
	Frekans (Hz)	39	39	37	51	47	51	64	57	51	73	20	>100	39	43
Maksimum Parçacık hızı (mm/sn)	23,5	24,4	31,7	1,65	7,24	14,6	10,0	4,32	4,57	0,635	0,762	0,254	58,8	22,00	
Maks. parçacık hızı frekansı (Hz)	39	39	57	51	>100	>100	64	43	51	73	32	73	39	28	
Hava Şoku / Gürültü (dB)	145,3	140,9	146,4	<88	94,0	94,0	127,1	130,6	130	142	121,8	106	147	144,5	

AD: Alacadağ OİŞ 126 ve 120 kodlu yollarda, SP: Şalpaazarı OİŞ 002 kodlu yolda, VK: Vakfikebir OİŞ 011 ve 029 kodlu yollarda yapılan atımlar,

** Tüm deliklerde aynı gecikmeye sahip (örneğin 150 ms gibi) elektrikli kapsül kullanılmakta ve tüm deliklerdeki patlayıcı aynı anda ateşlenmektedir.

4.2.2.1. Yer Sarsıntılarının Hasar Kriterleri Bulguları ve Tartışılması

Uluslararası hasar kriterlerinden, Amerikan Madencilik Bürosu (USBM RI 8507) ve Amerikan Açık Ocak Madencilik Bürosu (OSMRE) gösterdiği yaklaşımlara ve Alman DIN4150 yaklaşımında belirtilen kriterler dikkat alınarak patlatma nedeni yer sarsıntılarının yapılara hasar verme durumları değerlendirilmiştir. Uluslararası hasar kriterine ait titreşim ölçer cihazı örnek çıktıkları; USBM ve OSMRE için Ek-1’de, Alman DIN 4150 için ise Ek-2’de verilmiştir. Uluslararası hasar kriterlerine ilaveten ülkemizde Çevre ve Orman Bakanlığının belirlediği ulusal kriterlere göre de belirlenerek Tablo 55’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

1- Çevre ve Orman Bakanlığı kriterlerine göre değerlendirilmesi

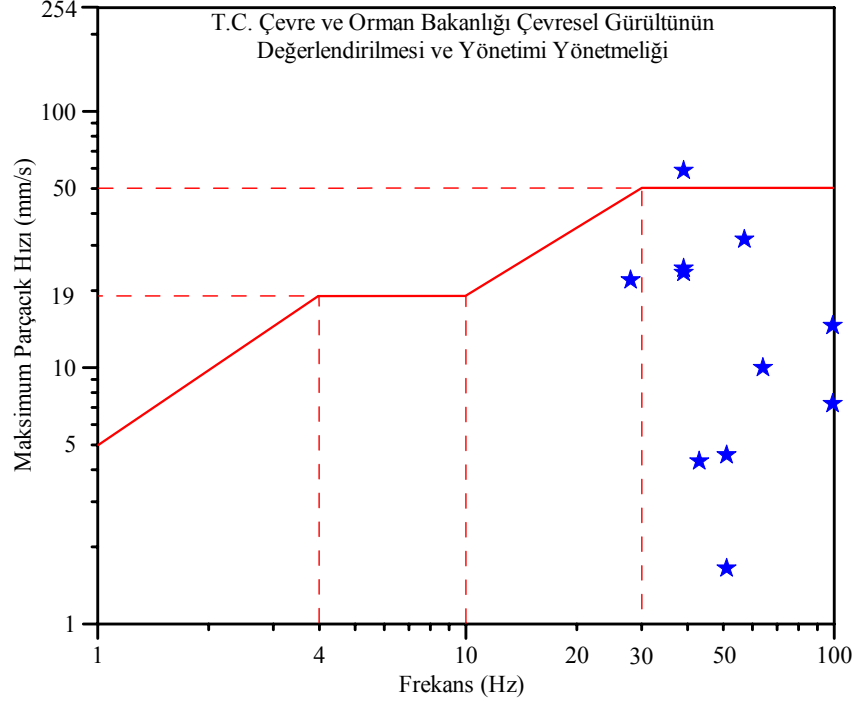
Çevre ve Orman Bakanlığının 25862 sayılı *Çevre ve Orman Bakanlığı Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği*, maden ve taş ocakları ile benzeri alanlarda patlama nedeniyle oluşan titreşimlerin en yakın yapının dışında yaratacağı zemin titreşimlerinin izin verilen en yüksek değerler esas alınarak, titreşimlerin hasar potansiyelleri belirlenmiştir.

Orman yollarında kaya patlatma çalışmaları sırasında ölçülen atımlara ait titreşim maksimum parçacık hızları ve frekansları ile 25862 sayılı yönetmelikte izin verilen en yüksek titreşim hızı ve frekans değerleri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda her bir atımın hasar potansiyeli olup olmayacağı Tablo 55’de diğer kriterlerle birlikte verilmiştir. Orman yollarında gerçekleştirilen atımlara ait maksimum parçacık hızı ve frekansları, 25862 sayılı yönetmelikteki, maden ve taş ocakları için titreşim kriterlerin grafiği logaritmik eksenli olarak çizilmiş ve Şekil 76’da verilmiştir.

Şekil 76 incelendiğinde, atımlardan maksimum parçacık hızı 58,80 mm/sn olan ve buna ait frekansı 39 Hz olan VK-1 nolu atıma ait yer sarsıntısı değerinin, verilen sınır değerleri aştığı görülmektedir. Bu yer sarsıntısı değeri titreşim ölçer ile 46,00 m mesafeden kaydedilmiştir. VK-1 nolu atım dışında kalan atımlara ait maksimum parçacık hızı ve buna ait frekans değerleri izin verilen sınır değerlerden daha küçük olup ve ölçüm alınan uzaklıklara göre herhangi bir hasar potansiyeli oluşturmamıştır.

Hasar potansiyeli oluşturan, Vakfikebir 011 kod numaralı orman yolunda patlatılan kaya türü Volkanik breşitir. Atım sırasında 12 adet delik açılmış ve toplam 15,00 kg

patlayıcı kullanılarak kaya patlatılmıştır. Atım sırasında titreşim ölçer (sismograf) 46 m uzaklıkta ve yol üstündeki yamaçta kurulmuştur.



Şekil 76. Çevre ve Orman Bakanlığı titreşim kriterlerine göre atımların grafiği

Bu atım sonrasında maksimum parçacık hızı düşey (PPV-V) yönde ve 58,8 mm/sn hızında olup, frekansı 39 Hz olarak ölçülmüştür. Patlatmalı kazı çalışmaları için 25862 sayılı yönetmelikte 30-100 Hz titreşim frekansları için izin verilen en yüksek titreşim hızı 50 mm/sn'dir. Bu nedenle atım sırasında gerçekleşen maksimum parçacık hızı bu kriterlere göre hasar potansiyeli oluşturmaktadır. Bu atım düşünüldüğünde, yamaçta toprak yapısının gevşek olması nedeniyle parçacık hızı buna bağlı olarak yüksek çıkmıştır. Bu zemin ve doğrultuda herhangi bir yapı bulunması durumunda hasar potansiyeli oluşturabilecek niteliktedir.

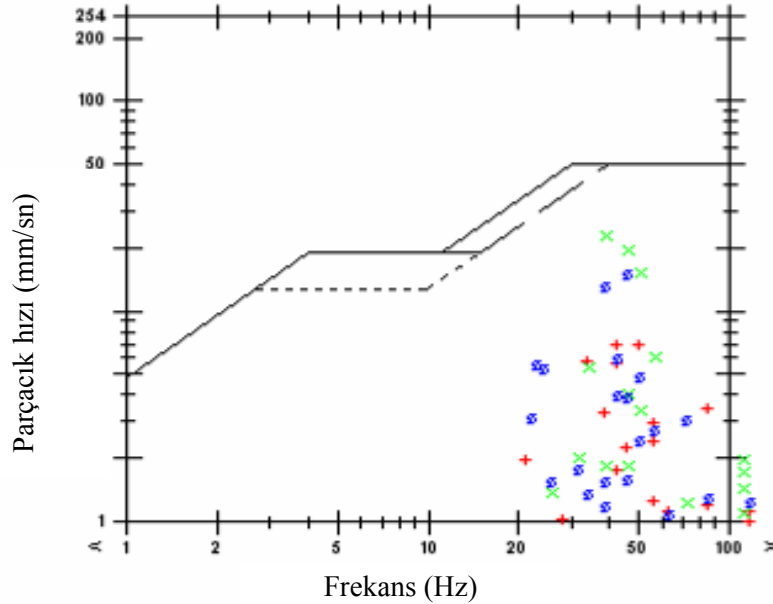
Şekil 76'da verilen grafikte logaritmik eksenlerin kesişim noktası 1 olarak alındığından, maksimum parçacık hızı değerleri 1'den küçük olan Şalpazarın 002 kod numaralı orman yolunda ölçülen SP-7, SP-8 ve SP-9 nolu atımlara ait değerler grafikte gösterilememiştir. Bu değerler de grafikte verilen sınır değerleri aşmamış ve herhangi bir hasar potansiyeli de oluşturmamıştır.

2- Amerikan USBM (RI 8507) alternatif kriter analizine göre değerlendirilmesi

Bu çalışmada Amerikan Madencili Bürosu, USBM (RI 8507) tarafından hem yapılarda ölçülmüş titreşim katlamalarını, hem de tahribat özelliklerini kullanan alternatif olarak tavsiye edilen *alternatif kriter analizi* olarak da adlandırılan kriterler esas alınarak değerlendirilmiştir.

Bu kriterler incelendiğinde, 4-12 Hz frekans aralığında maksimum parçacık hızının 19 mm/sn (0,75 inç/sn), sıva çatlama görüldüğünde ise maksimum parçacık hızının 12,7 mm/sn (0,5 inç/sn) olması gerektiği tavsiye edilmektedir. Frekansı 40 Hz'den büyük sonuçlanan ölçümlerde tavsiye edilen en yüksek titreşim hızı değeri ise 51 mm/sn (2 inç/sn)'dir.

Blastware 8.0 yazılımı kullanılarak hem USBM ve hem de OSMRE Alternatif hasar kriterlerine göre örnek çıktısı alınabilmekte aynı grafikte gösterilebilmektedir. Ölçüm yapılan atımlardan AD-1 nolu atıma ait parçacık hızı bileşenlerinin hızları ve frekansları Şekil 77'de örnek olarak verilmiştir. AD-1 nolu atıma ait Tablo 53. verilmiş olan; maksimum parçacık hızı 23,50 mm/sn ve frekansı ise 39 Hz olduğundan, USBM Alternatif hasar kriterine göre hasar oluşturmadığı belirlenmiştir.



Şekil 77. AD-1 nolu atıma ait parçacık hızları ve frekansları grafiği

AD-1 nolu atıma benzer şekilde, USBM alternatif hasar kriter analizinde izin verilen sınır değerlere göre, orman yollarında gerçekleştirilen her bir atıma ait maksimum parçacık hızı ve frekansları karşılaştırılarak yer sarsıntılarının hasar oluşturup oluşturmayacağı belirlenmiştir. Ölçülen yer sarsıntılarının bu kriterlere göre hasar olasılıkları verilmiştir (Tablo 55).

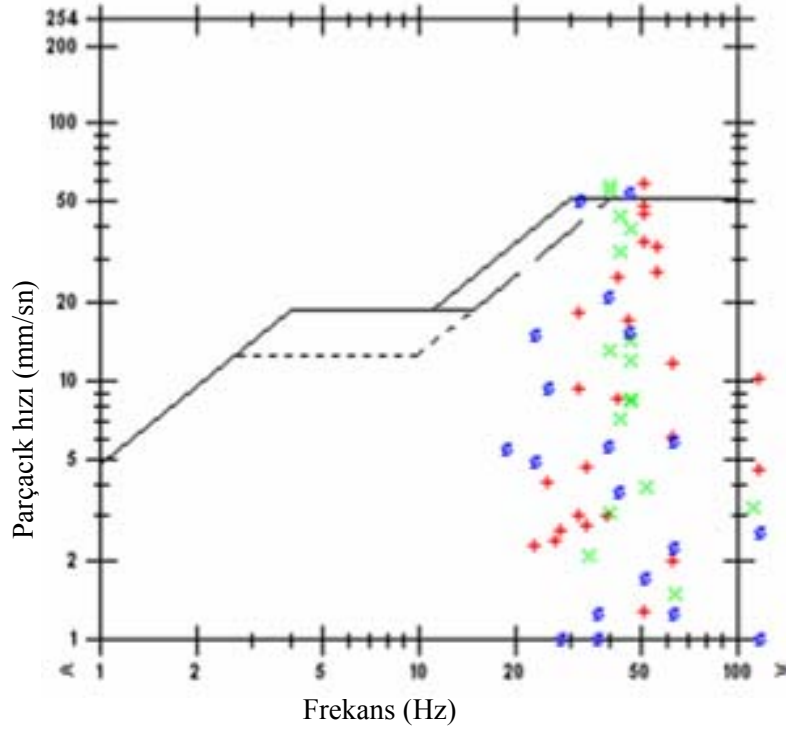
Orman yollarında gerçekleştirilen atımların Amerikan USBM (RI 8507) alternatif hasar kriterine göre değerlendirildiği Tablo 55 incelendiğinde, sadece maksimum parçacık hızı 58,80 mm/sn olan ve buna ait frekansı 39 Hz olan VK-1 nolu atıma ait yer sarsıntısı değerinin, verilen sınır değerleri aştığı görülmektedir. Bu atım sırasında volkanik breş türü kaya patlatılmış ve sismografin yamaçta ve patlatma noktasına olan ölçüm uzaklığı 46,00 m'dir. Bu atım maksimum parçacık hızı ve frekansına göre yapılarda hasar oluşturabilecek düzeydedir.

3- Amerikan OSMRE alternatif hasar kriter analizine göre değerlendirilmesi

Bu çalışmada, yer sarsıntısı bileşenleri Amerikan Açık Ocak Madencilik Bürosu'nun (OSMRE) *alternatif kriter analizi*'ne göre değerlendirilmiştir. OSMRE'nin bu metodu frekansla birlikte değişen parçacık hızı seviyelerinin kullanılmasına olanak vermektedir. Bu metot, patlatmalardan kaynaklanan, meskûn binalara ve hatta insanlara yönelik potansiyel zararları değerlendirmede en iyi yöntemi temsil ettiği bildirilmektedir. Blastware 8.0 yazılımı kullanılarak, hem USBM hem de OSMRE hasar kriterleri ne ait parçacık hızları ile frekansları aynı grafikte gösterilmiş ve *titreşim ölçer cihazı örnek çıktıları* Ek-1'de verilmiştir.

Orman yollarında gerçekleştirilen her bir atıma ait maksimum parçacık hızı ve frekansları, Amerikan OSMRE alternatif hasar kriter analizinde izin verilen sınır değerlerle karşılaştırılarak hasar oluşturup oluşturmayacağı belirlenmiştir. Bu kriterlere göre, yer sarsıntılarının hasar olasılıkları Tablo 55'te verilmiştir.

Orman yollarında gerçekleştirilen atımların OSMRE (1983) alternatif hasar kriterlerine değerlendirildiği Tablo 55 incelendiğinde, sadece maksimum parçacık hızı 58,80 mm/sn olan ve buna ait frekansı 39 Hz olan VK-1 nolu atıma ait yer sarsıntısı değerinin, verilen sınır değerleri aştığı görülmektedir (Şekil 78). Bu atım sırasında volkanik breş türü kaya patlatılmış ve sismografin yamaçta ve patlatma noktasına olan ölçüm uzaklığı 46,00 m'dir.



Şekil 78. VK-1 nolu atıma ait USBM ve OSMRE kriteri grafiği

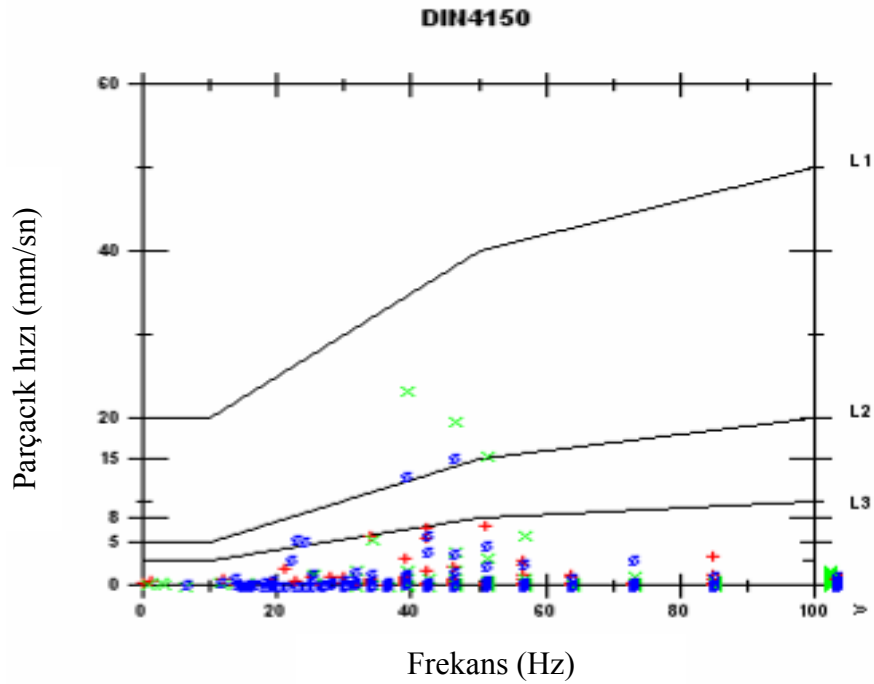
4- Alman DIN 4150 normuna göre değerlendirilmesi

Alman DIN 4150 normu temel olarak tarihi eser, anıtların zarar görmeyeceği ve insanların bile rahatsız olmayacakları sarsıntı seviyelerini belirlemeye çalışır. Bu normda frekansa bağlı olarak değişen parçacık hızı değerleri yapı türüne göre verilmektedir. Titreşim frekansları 0-10 Hz, 10-50 Hz ve 50-100 Hz olmak üzere sınıflandırılmış ve yapı türleri için bu frekans aralıklarında hasar oluşup oluşmayacağı belirlenmiştir.

Şekil 79'da verilen Alman DIN 4150 normu incelendiğinde, en alttaki çizgi (L3) kerpiç, eski yıpranmış tarihi eserler gibi sağlam olmayan yapılar, ortadaki kırıklı çizgi (L2) yığma tuğla, beton gibi nispeten dayanıklı yapılar, üstteki kırıklı çizgi (L1) ise betonarme çelik konstrüksiyon gibi dayanıklı yapılar için titreşim frekansına göre parçacık hızı sınırlarını belirlemektedir.

Bu çalışmada kullanılan sismografa ait Blastware 8.0 programı kullanılarak, Alman DIN 4150 normuna göre her bir atıma ait *titreşim ölçer cihazı örnek çıktıları* Ek-2'de verilmiştir. Bu örnek çıktılarda her bir atıma ait maksimum parçacık hızı bileşenleri ve frekanslarının gösterildiği grafikler elde edilmiştir.

Orman yollarında ölçülen AD-1 nolu atıma ait Alman DIN 4150 normu grafiği örnek olarak Şekil 79’da verilmiştir. AD-1 nolu atımda, titreşim ölçümü 32 m uzaklıktan yapılmıştır. Atıma ait maksimum parçacık hızı 23,50 mm/sn ve frekansı ise 39 Hz olarak ölçülmüştür. Bu atım Alman DIN 4150 normu hasar kriterine göre; eski bina ve tarihi eserler (L3) için ve beton yığma tuğla binalar (L2) için hasar oluşturabilecek düzeydedir. Buna karşılık betonarme ve çelik yapılar (L1) için ise hasar oluşturacak düzeyde değildir.



Şekil 79. Alman DIN 4150 normuna göre AD-1 nolu atımına ait grafik

Benzer şekilde orman yollarında gerçekleştirilen her bir atıma ait maksimum parçacık hızı ve frekansları dikkate alınarak, Alman DIN 4150 normunda L1, L2 ve L3 olarak belirtilen düzeylerde yapılar için izin verilen kriterlere göre, yer sarsıntılarının hasar olasılıkları Tablo 55’de ayrı ayrı verilmiştir.

Tablo 55 incelendiğinde, orman yollarında gerçekleştirilen atımlardan sadece VK-1 ve VK-2 nolu atımların Alman DIN 4150 normuna göre; çelik yapı (L1), betonarme yığma tuğla (L2) ve eski bina, tarihi eser (L3) çizgisi ile belirtilen izin verilen maksimum sınır değerleri aştığı yapılarda hasar oluşturabilecek düzeydedir. Yine bununla birlikte AD-1, AD-2 ve AD-3 nolu atımlarda L2 ve L3 çizgisi ile belirtilen kriterler için hasar verebilecek değerdedir.

Bu atımlardan; VK-1 nolu atımda volkanik breş türü kaya patlatılmış ve titreşim ölçer 46 m uzaklıkla yolun üstündeki yamaçta kurularak ölçüm alınmıştır. Atımlardan VK-2 nolu atımda bazalt türü kaya patlatılmış ve titreşim ölçer 65 m uzaklıkla yolun üstündeki yamaçta kurularak ölçüm alınmıştır. Yine AD-1 ve AD-2 nolu atımda granit türü kaya patlatılmış ve sırası ile 32 m ve 48 m uzaklıktan yamaçta kurulan sismograf ile ölçüm alınmıştır. AD-3 nolu atımda ise kireçtaşı türündeki kaya patlatılmış ve 62 m uzaklıktan yamaçta kurulan sismograf ile kayıt alınmıştır.

4.2.2.2. Yer Sarsıntılarının Hasar Kriterlerine Göre Değerlendirme Sonuçları

Orman yollarında gerçekleştirilen her bir atıma ait maksimum parçacık hızı ve frekansları Amerikan (USBM ve OSMRE) alternatif kriter analizleri ile Alman DIN 4150 normu kriterlerine ve ülkemizde Çevre Orman Bakanlığı tarafından izin verilen kriterlere göre ayrı ayrı hasar analizleri yapılmıştır. Yapılan değerlendirme sonuçları Tablo 55'de *hasar var* ve *hasar yok* şeklinde belirtilmiştir.

Tablo 55 incelendiğinde, sınır değerleri geçen atımlar sırasında sismograf yamaç üzerinde kurularak kayıt alınmıştır. Atımın yapıldığı kaya biriminin ve zeminin jeolojik özelliklerin titreşimi iletmesindeki arazi sabitlerine ilaveten, yamaç üzerinde bitkisel toprak kazılarak yeterince sert zemine ulaşamaması nedeni ile kısmen gevşek zemine ulaşan titreşim değerleri yüksek olduğu kanaati ortaya çıkmaktadır. Bu durum, orman yollarında yapılacak atımların yamaç eğimi yüksek olan yerlerde kış şartlarında yapılması durumunda çığ oluşumunu başlatabileceği kanaatini güçlendirmektedir. Yine yüksek yamaç eğimlerinde gevşek ve akışkan materyalin harekete geçebileceği ve hezeyanlara neden olabileceği kanaatini güçlendirmektedir.

Orman yollarında gerçekleştirilen atımların değerlendirildiği, Amerikan (USBM, OSMRE) ve Alman DIN 4150 hasar kriterleri ile ülkemizde ÇOB kriterleri olmak üzere 4 ayrı hasar kriter analizinin hepsinde de VK-1 nolu atım hasar riski oluşturacak parçacık hızı ve frekansa sahip olduğu belirlenmiştir. Bu atımda volkanik breş türündeki kayaç 12 adet patlatma deliğinde 15 kg patlayıcı madde kullanılarak tüm delikler gecikmesiz olarak patlatılmıştır. Bu atımda özgül şarj $0,197 \text{ kg/m}^3$ olup ölçekli mesafe 11,88 olarak hesaplanmıştır.

VK-1 nolu atım sırasında titreşim ölçer cihazı, atım yapılan yere göre üst yamaçta 46 m uzaklıkta kurulmuştur. Yapılan atımda maksimum parçacık hızı 58,80 mm/sn olan ve

buna ait frekansı 39 Hz olarak ölçülmüştür. Ölçülen bu değerler 4 ayrı standartta verilen yapı hasar kriterlerinde sınır değerleri aşmıştır.

Tablo 55. Orman yollarında yapılan atımlara ait yer sarsıntısı değerleri ve hasar kriterlerine göre değerlendirme sonuçları

Atım no	Patlatılan kaya türü	Maksimum parçacık hızı (mm/sn)	Frekans (Hz)	Ölçüm uzaklığı (m)	Alternatif kriter analizi		Alman DIN 4150 normu			TC. Çevre Orman Bakanlığı kriterleri
					USBM	OSMRE	L1	L2	L3	
AD-1	Granit	23,50	39	32,00	Hasar yok	Hasar yok	Yok	Var	Var	Hasar yok
AD-2	Granit	24,40	39	48,00	Hasar yok	Hasar yok	Yok	Var	Var	Hasar yok
AD-3	Kireçtaşı	31,70	57	62,00	Hasar yok	Hasar yok	Yok	Var	Var	Hasar yok
SP-1	Bazaltik tüf	1,65	51	75,00	Hasar yok	Hasar yok	Yok	Yok	Yok	Hasar yok
SP-2	Bazaltik tüf	7,24	>100	80,00	Hasar yok	Hasar yok	Yok	Yok	Yok	Hasar yok
SP-3	Bazaltik tüf	14,60	>100	80,00	Hasar yok	Hasar yok	Yok	Yok	Var	Hasar yok
SP-4	Bazaltik tüf	10,00	64	60,00	Hasar yok	Hasar yok	Yok	Yok	Var	Hasar yok
SP-5	Bazaltik tüf	4,32	43	70,00	Hasar yok	Hasar yok	Yok	Yok	Yok	Hasar yok
SP-6	Bazalt	4,57	51	57,00	Hasar yok	Hasar yok	Yok	Yok	Yok	Hasar yok
SP-7	Bazalt	0,64	73	48,00	Hasar yok	Hasar yok	Yok	Yok	Yok	Hasar yok
SP-8	Bazalt	0,76	32	86,00	Hasar yok	Hasar yok	Yok	Yok	Yok	Hasar yok
SP-9	Bazalt	0,25	73	86,00	Hasar yok	Hasar yok	Yok	Yok	Yok	Hasar yok
VK-1	Volk. breş	58,80	39	46,00	Hasar var	Hasar var	Var	Var	Var	Hasar var
VK-2	Bazalt	22,00	28	65,00	Hasar yok	Hasar yok	Var	Var	Var	Hasar yok

Orman yollarında ölçülen yer sarsıntısı unsurları hasar kriter analizlerinden; Amerikan USBM, OSMRE ve Çevre Orman Bakanlığı kriterine göre verilen sadece 1 atımın (VK-1) sınır değerleri aştığı belirlenmiştir. Buna karşılık Alman DIN 4150 normu, VK-1 ve VK-2 nolu atımların 3 ayrı düzey (L1; çelik yapı, L2; betonarme yapı ve L3: eski tarihi yapıda) için hasar riski oluşturduğunu, AD-1, AD-2 ve AD3 nolu atımların iki düzey (L2: betonarme yapı ve L3: eski tarihi yapıda) için hasar riski oluşturduğunu,, SP-3 ve SP-4 nolu atımlarında sadece eski ve tarihi binalar için verilen (L3 düzeyi için) hasar riski oluşturduğunu ortaya koymuştur. Bu bakımdan Alman DIN 4150 normu oldukça ayrıntılı analiz yapma olanağı vermektedir. Özellikle tarihi yapıların bulunduğu alanlara yakın yerlerde yapılacak atımlar için bu normun kullanılarak atımda düzenlemelere gidilebilir.

4.2.2.3. Maksimum Parçacık Hızı ile Ölçekli Mesafe İlişkisinin Değerlendirilmesi

Patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının önceden tahmin edilmesine yönelik olarak, ölçekli mesafeye bağlı maksimum parçacık hızı tahmin yöntemi en iyi yaklaşım olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle, orman yolu inşaatlarında gerçekleştirilen kaya patlatmaları

sırasında alınan yer sarsıntılarına ait maksimum parçacık hızı tahmini için, ölçekli mesafe ile olan ilişkisi incelenmiştir.

Bu amaçla orman yollarında gerçekleştirilen her bir atımda ölçekli mesafe (SD); gecikme başına düşen patlayıcı miktarı (R) ve atım yerleri ile ölçüm istasyonu arasındaki uzaklığın kareköküne oranlanarak hesaplanmıştır (Tablo 56). Her bir atıma ait maksimum parçacık hızı ile ölçekli mesafe veri çiftleri arasında ilişkinin fonksiyonel tipi ortaya konulmuştur.

Maksimum parçacık hızı ile ölçekli mesafe veri çiftleri arasında yapılan basit korelasyon analizi sonucunda, maksimum parçacık hızı (PPV) ile ölçekli mesafe arasında % 95 güven düzeyinde (korelasyon katsayısı -0,542) negatif yönde ilişki belirlenmiştir.

Kaya patlatma yerlerindeki maksimum parçacık hızı ile ölçekli mesafe veri çiftleri arasında yapılan regresyon analizi ile ilişki katsayısı en yüksek model, üssel fonksiyonlu olarak belirlenmiştir. Buna göre, her bir atımda ölçülen maksimum parçacık hızı (PPV) ile ölçekli mesafe (SD) arasındaki ilişki;

$$PPV = 5646,8 \times (SD)^{-2,403} \quad (10)$$

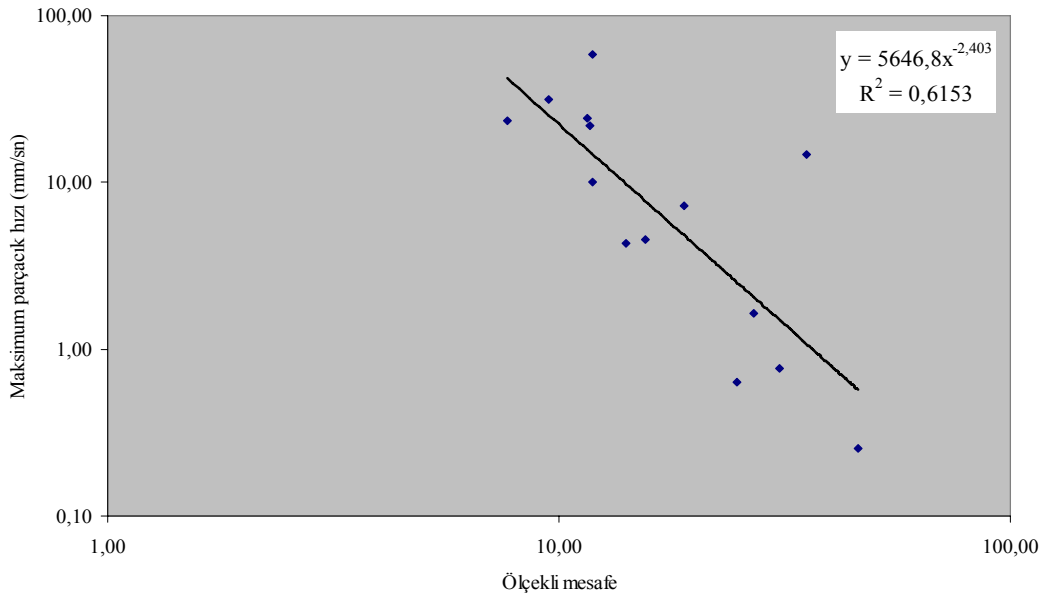
şeklinde belirlenmiştir. Ölçüm sonuçlarından elde edilen bu modelin ilişki katsayısı (R^2) 0,615 olarak belirlenmiş ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Bu eşitlikte SD; ölçekli mesafeyi, PPV; maksimum parçacık hızı'nı (mm/sn) ifade etmektedir.

Bu model kullanılarak, patlatma yapılacak herhangi bir noktası ile en yakın yapıya olan uzaklığı dikkate alınarak, yapıda bir hasar oluşturmaması için gecikme başına kullanılacak patlayıcı madde miktarı hesaplanabilmektedir. Ölçekli mesafeye bağlı maksimum parçacık hızı tahmin modelinden hesaplanan ve orman yolunda atımlar sırasında ölçülen maksimum parçacık hızı değerlerinden bazıları Tablo 56'da verilmiştir.

Tablo 56. Ölçekli mesafeye bağlı maksimum parçacık hızı (PPV) tahmin modeli sonuçları

Atım no	Ölçüm uzaklığı (R) (m)	Gecikme başına toplam patlayıcı (W) (kg)	Ölçekli mesafe (SD)	Maksimum parçacık hızı (PPV), (mm/sn)	
			R/W ^{1/2}	Ölçülen	Hesaplanan
SP-1	75	7,75	26,94	1,65	2,06
SP-2	80	17,96	18,88	7,24	4,85
SP-4	60	25,69	11,84	10,00	14,88
SP-6	57	13,50	15,51	4,57	7,77
SP-7	48	3,74	24,82	0,64	2,51
SP-8	86	7,755	30,88	0,76	1,49

Atımlar sırasında maksimum parçacık hızı ile ölçekli mesafe arasındaki ilişki ve veri çiftlerinin logaritmik ölçekte grafiksel olarak dağılımı Şekil 80’de verilmiştir. Bu grafik incelendiğinde, maksimum parçacık hızı ile ölçekli mesafe değerleri arasında negatif yönde bir ilişki vardır. Bir başka deyişle, ölçekli mesafe değerindeki artışla birlikte maksimum parçacık hızında düşme gözlenmektedir. Bu durum, maksimum parçacık hızı ile ölçekli mesafe ilişkisinin araştırıldığı çalışmalarla benzerlik göstermektedir. Ancak bu ilişki, ölçülen veri çiftlerinin yeterli sayıda olmaması nedeni ile güvenilir değildir.



Şekil 80. Maksimum parçacık hızı ile ölçekli mesafe arasındaki ilişki

Orman yollarında atım yapılan noktaların yol boyunca değişken olması nedeni ile bu yerlerde saha sabitlerinin belirlenmesine gerek yoktur. Ancak bu çalışmada ölçekli mesafeye bağlı maksimum parçacık hızının tahminine ilişkin model sadece bir fikir verme açısından ele alınmış ve değerlendirilmiştir.

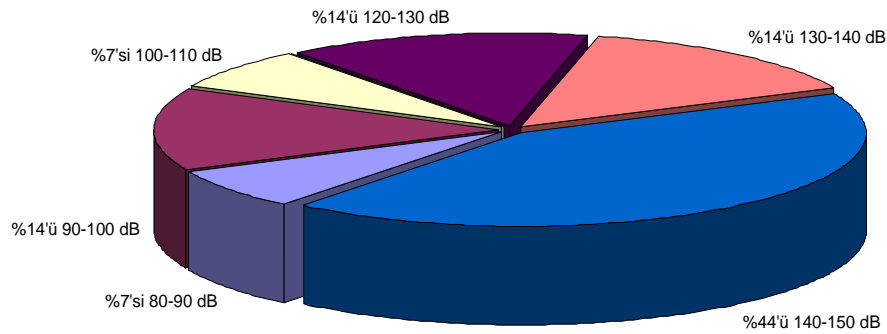
4.2.3. Hava Şoklarına Ait Bulgular ve Tartışılması

Patlatmadan kaynaklanan çevresel problemlerinden bir diğeri ise hava şoku veya gürültüdür. Hava şokunu oluşturan havadaki basınç dalgalarının yapılarda değişik hasarlar oluşturabilmesi için 150 dB seviyesine ulaşması gerekmektedir. Genliğin yükselmesi ile 150 dB seviyesinde pencere camları çatlamaya ve kırılmaya başlar. Pencere camlarının

çoğu 160 dB seviyesindeki genlikte kırılacaktır. Binalardaki yapısal hasar ise 180 dB ve üzerinde oluşmaktadır (Cihangir, 2006; Durmuş, 2005).

Bu çalışmada orman yolu inşaatları gerçekleştirilen kaya patlatmaları sırasında, titreşim ölçerle kaydedilen hava şoku değerleri ve bunlara ait frekansları her bir atım için Tablo 53'de ayrı ayrı verilmiştir. Atımlar sırasında oluşan hava şoku değerleri en az 88 dB ile en fazla ise 147,1 dB düzeyinde ölçülmüştür. Bu değerlerdeki hava şokları ise yapılarda herhangi bir hasar oluşturabilecek düzeyde olmadığı belirlenmiştir.

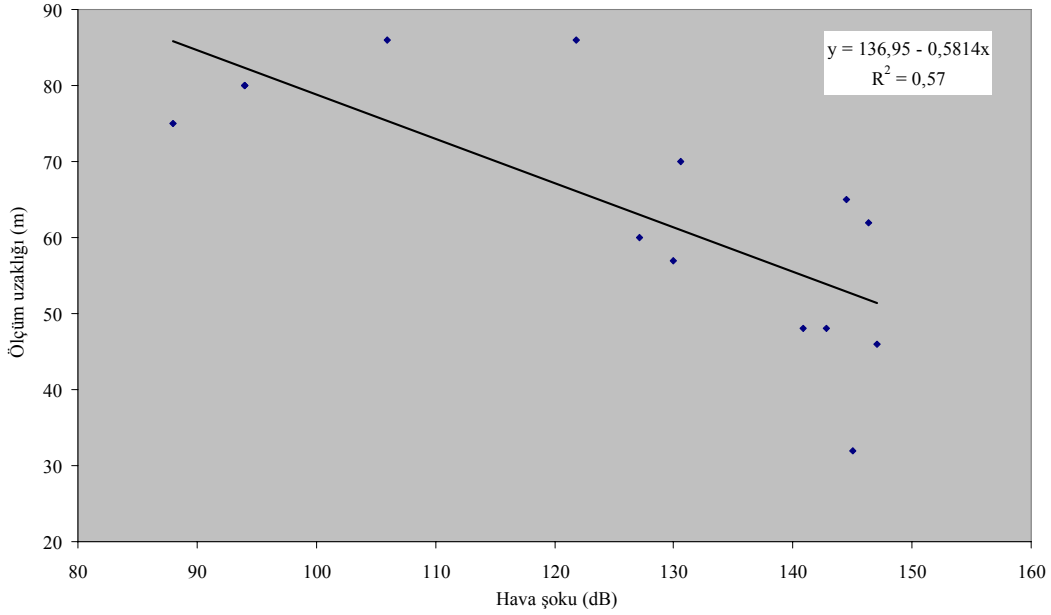
Ancak bu değerler insanlar açısından ele alındığında; ölçülen hava şoklarının % 44'ü 140-150 dB aralığında acı başlangıcı ve tahammül edilemez düzeyde, %14'ü 130-140 dB aralığında olup ileri derecede rahatsız edici düzeyde, %14'ü 120-130 dB rahatsız edici ve son derece yüksek düzeyde, %7'si 100-110 dB aralığında rahatsızlık başlangıcı düzeyde, %14'ü 90-100 dB aralığında çok gürültülü düzeyde, % 7'si 80-90 dB arasında olup, kaya delicilerin ortaya çıkardığı seviye olarak bilinen *çok gürültülü* algılanma düzeyindedir (Şekil 81).



Şekil 81. Atımlara ait hava şoku değerleri ve yüzde (%) dağılımı

Orman bitki örtüsü içerisinde ölçüm alınan yerlerin bazıları atım yapılan yere göre üst yamaçta bazıları ise atım yapılan yerin ilerisinde veya gerisindeki değişik mesafelerden ölçüm alınmıştır. Orman yollarında patlatma yeri ile ölçüm yeri arasında hava şoku dalgalarının yayılmasında bariyer görevi gören topografik yapı, karşı yamaç yerine üst yamaçta ölçüm alınması, orman bitki örtüsü ve ağaçlarla kaplı alan olması daha düşük seviyede ölçüm alınmasına neden olabilmektedir.

Orman yollarında orman içerisinde değişik mesafeler uzaklıklardan titreşim ölçer ile ölçülen hava şoku ve gürültü değerleri Şekil 82'de verilmiştir. Bu grafik incelendiğinde, patlatma noktasına olan uzaklık arttığında hava şoku ve gürültü değerleri azalmaktadır.



Şekil 82. Hava şoku ile ölçüm uzaklığı arasındaki ilişki

Bazı araştırmalarda, hava şoku ve gürültünün yaban hayvanları üzerinde olumsuz etkileri olabileceğine ilişkin ifadeler olmasına karşılık, yaban hayvanlarının yaşam alanlarını hangi koşullarda ve hava şoku (gürültü) düzeylerinde terk ettikleri konusunda belirlenmiş bir sınır düzeyi yoktur. Bununla birlikte, McKelvey (2002)'de ve Birleşik Devletler Balık ve Yaban Hayatı Kurumunun (USFWS, 1993)'de yol inşaatı gibi faaliyetlerin yaban hayvanlarının yaşam alanlarını terk etmelerine ve popülasyonlarının azalmalarına yol açtığı belirtilmektedir.

Kahriman (2005)'de taş ocaklarında 47 m ile 322 m arasında değişen uzaklıklarda hava şoklarını ölçmüş ve hava şoklarının 104 -140 dB değerleri arasında olduğunu belirlemiştir. Bu değerlerin gürültüden rahatsız olma seviyesi olan 140 dB değerinden düşük olması nedeni ile kayda değer bir rahatsızlık yaratmayacağını belirtmiştir. Hava şoku değerlerinin uzaklıkla azaldığı ve hava şoku dalgalarının yayılmasına topografya, hava durumu ve doğal bariyerlerin etkili olduğu belirtilmiştir.

Cihangir (2006)'da ise bir kalker ocağında 80 m ile 300 m arasında değişen uzaklıklardan ölçmüş olduğu hava şoku değerlerinin 103- 147 dB aralığında olduğunu ve frekanslarının 20 Hz'den büyük olduğunu belirlemiştir. Çalışmada, ölçülen hava şoku dalgalarının kayıt istasyonunun atım yapılan yerin arka tarafında kurulmuş olması ve çevre yüzeylerinin doğal bariyer görevi görmesi nedeniyle dalgalarının etkilerini azalttığını

belirtmiştir. Bu çalışmada da hava şoku değerleri uzaklıkla azaldığı ve yapılarda hasar verecek düzeyde olmadıkları belirtilmiştir.

Hava şoku veya gürültüyü oluşturan basınç dalgalarının frekansı 20 Hz den büyük ve çok geniş aralıkta olması durumunda insanlar tarafından duyulabilen gürültüye neden olmaktadır. Gürültü ise belirli bir seviyeden sonra hava şoklarına dönüşebilmekte olup, 20 Hz altındaki frekansa sahip hava şoku basınç dalgaları sarsıntı olarak algılanmaktadır.

Orman yollarında atım yerlerinde ölçülen hava şoku ait frekanslarının dağılımına bakıldığında frekansların; % 23'ü 20 Hz daha küçük değerde, % 54'ü 20-40 Hz aralığında, % 8'i 40-60 Hz aralığında ve % 15'i ise 100 Hz'den daha büyük frekanslarda dağılım göstermiştir. Bu frekans değerleri dikkate alındığında, yapılar üzerinde kayda değer ciddi bir hasar oluşturmayacağı anlaşılmaktadır.

4.2.4. Toz Oluşumuna Ait Bulgular ve Tartışılması

Orman yollarında kaya patlatma amacı ile yapılan çalışmalarda özellikle patlatma deliklerinin açılması sırasında ve patlamadan hemen sonra ortaya çıkmaktadır. Ancak bu toz oluşumu, aynı yerde sürekli yapılan çalışmalar olmadığından az miktarda ve ciddi boyutlarda olmadığı görülmüştür. Bununla birlikte toz oluşumunun önüne geçebilmek için, patlatma deliklerinin açılacağı kaya üzerine patlatmayı etkilemeyecek şekilde su serpilmesi gibi yöntemlerle toz oluşumu azaltılabilir.

4.3. Kayaçların Dayanım ve Sertliklerine Ait Bulgular ve Tartışılması

Bu çalışmada, orman yollarında kayaların patlatılması amacıyla oluşturulan patlatma tasarımı parametreleri ve patlatma uygulamalarının ortaya çıkardığı çevresel sorunların azaltılmasına ilişkin değerlendirmelere ilaveten, patlatmalı kazısı gerçekleştirilen kayaçların mekanik özelliklerinden nokta yükü dayanımı deneyi, tek eksenli basma ve çekme değerleri ile kayaçlara ait Schmidt sertliği değerleri belirlenmiştir.

Patlatılan kayaçlara ait mekanik özellikleri ve arazi çalışmalarında patlatılan kayaya ait süreksizlikler gibi arazide incelemelerinden yararlanılarak, kayaçların makine ile kazılabilirlik, sökülebilirlik veya patlatma ile yapılacak kazı yöntemlerinin hangisinin uygulanması gerekliliği ortaya konulmuştur.

4.3.1. Nokta Yüklü Dayanımına Ait Bulgular ve Tartışılması

Nokta yükleme deneyi ile nokta yükleme dayanım indeksinin belirlenmiştir. Elde edilen nokta yükleme dayanım indeksi, kayaçların dayanımlarına göre sınıflandırılmasında, kayaçların tek eksenli basma ve çekme dayanımlarının belirlenmesinde ve kayaçların kazılabilirlik açısından değerlendirilmelerinde kullanılmıştır.

Orman yollarında kaya patlatma sonrasında, her bir patlatma alanından alınan düzensiz şekilli kayaç örnekleri üzerinde nokta yükü dayanımı deneyi yapılmıştır (Şekil 83). Kayaç örneklerine ait nokta yükü dayanım sınıflandırması Bieniawski (1973) ve Deere ve Miller (1968)'e göre; çok yüksek, yüksek, orta, düşük ve çok düşük dayanımlar olarak sınıflandırılmıştır. Elde edilen düzeltilmiş nokta yükü dayanım indeksinden ($I_{s(50)}$) yararlanarak, kayaçlara ait tek eksenli basma ve çekme dayanımları hesaplanmıştır.



Şekil 83. Nokta yükü dayanımı deneyi ve geçerli kırılmanın olduğu örnekler

Bu çalışmanın gerçekleştirildiği beş ayrı orman yolundaki atım yerlerinden alınan kayaç türleri; magmatik kayaçlardan granit, bazalt, bazaltik tuf ve volkanik breş ile tortul kayaçlardan kireçtaşı olup her biri için nokta yükleme dayanımı deneyi yapılmıştır. Tablo 57'de kayaç örneklerinin nokta yükü dayanımı, bu dayanım değerlerine karşılık gelen nokta yükü dayanım sınıfları, tek eksenli basma dayanımı ve sınıfı ile tek eksenli çekme dayanımları verilmiştir.

Alacadağ Orman İşletme Şefliği 126 kod nolu orman yolunda gerçekleştirilen AD-1 ve AD-2 nolu atım yerlerinden alınan numunelerin magmatik kayalardan alterasyona uğramış granit olduğu belirlenmiştir. Bu kayaç örneklerinde yapılan nokta yükü dayanımı deneyi sonucunda numunelerin ortalama kırılma yükü 5,1 ve 5,3 MPa olarak belirlenmiştir. Bu değerler ise nokta yükü dayanımı sınıflamasında *yüksek* sınıfta yer almaktadır.

Tablo 57. Kayaç örneklerinin nokta yükü ve tek eksenli dayanım sonuçları

Atım Yeri No	Kayaç Türü	Nokta Yükü Dayanımı ($I_{s(50)}$)	Nokta Yükü Dayanım Sınıfı	Tek Eksenli Basma Dayanımı	Tek Eksenli Basma Dayanım Sınıfı	Tek Eksenli Çekme Dayanımı
		(MPa)		(MPa)		(MPa)
AD-1	Granit*	5,1	Yüksek	112,2	Yüksek	6,4
AD-2	Granit*	5,3	Yüksek	116,6	Yüksek	6,6
AD-3	Kireçtaşı	6,3	Yüksek	138,6	Yüksek	7,9
SP-1	Bazaltik tüf	2,7	Orta	59,4	Orta	3,4
SP-2	Bazaltik tüf	2,6	Orta	57,2	Orta	3,3
SP-3	Bazaltik tüf	2,5	Orta	55,0	Orta	3,1
SP-4	Bazaltik tüf	2,2	Orta	48,4	Düşük	2,8
SP-5	Bazaltik tüf	2,5	Orta	55,0	Orta	3,1
SP-6	Bazalt	6,9	Yüksek	151,8	Yüksek	8,6
SP-7	Bazalt	7,3	Yüksek	160,6	Yüksek	9,1
SP-8	Bazalt	7,1	Yüksek	156,2	Yüksek	8,9
SP-9	Bazalt	7,2	Yüksek	158,4	Yüksek	9,0
VK-1	Volkanik breş	4,4	Yüksek-Orta	96,8	Orta	5,5
VK-2	Bazalt	6,7	Yüksek	147,4	Yüksek	8,4

*Ayrılmış (alterasyona uğramış) granit.

Alacadağ Orman İşletme Şefliği 120 kod nolu orman yolunda gerçekleştirilen AD-3 nolu atım yerinden alınan kayaç türü kimyasal tortul kayalardan kireçtaşı olduğu belirlenmiştir. Kireçtaşında yapılan nokta yükü dayanımı deneyi ile sonucunda numunelerin ortalama kırılma yükü 6,3 MPa olarak belirlenmiştir. Bu değer de nokta yükü dayanımı sınıflamasında *yüksek* sınıfta yer almaktadır. Kireçtaşının dayanımı ayrılmış granitten yüksek olmasına karşılık nokta yükü dayanımı aynı sınıfta yer almaktadır.

Şalpazarı Orman İşletme Şefliği, 002 kodlu orman yolunda gerçekleştirilen SP-1, SP-2, SP-3, SP-4 ve SP-5 nolu atım yerlerinden alınan örnekler, magmatik kayalardan piroklastik bazaltik tüf olduğu belirlenmiştir. Bazaltik tüf örneklerinin nokta yükü dayanımı deneyi sonucunda ortalama kırılma yükü 2,2 ile 2,7 MPa arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu değerleri nokta yükü dayanımı sınıflamasında *orta* dayanım sınıfında yer almaktadır. Bu çalışmada orman yollarında patlatılan kayaç türleri içerisinde, bazaltik tüfler en az dayanıma sahip olan kayaç türüdür.

Şalpazarı Orman İşletme Şefliği 002 kodlu orman yolunda gerçekleştirilen SP-6, SP-7, SP-8 ve SP-9 nolu atım yerlerinden alınan örnekler, magmatik kayalardan bazalt olduğu belirlenmiştir. Bazalt örneklerine uygulanan nokta yükü dayanımı deneyi ile ortalama kırılma yükü 6,9 ile 7,3 MPa arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu değerler nokta yükü dayanımı sınıflamasında *yüksek* dayanım sınıfındadır. Bazalt bu çalışmada incelenen orman yollarında patlatılan kayaç türleri içerisinde en yüksek dayanıma sahip olan kayaç türü olmuştur.

Vakfikebir Orman İşletme Şefliği 011 kodlu orman yolunda gerçekleştirilen VK-1 nolu atım yerinden alınan kayaç örnekleri, magmatik kayalardan piroklastik volkanik breş olduğu belirlenmiştir. Volkanik breş örneklerine uygulanan nokta yükü dayanımı ile numunelerin ortalama kırılma yükünün 4,4 MPa olduğu belirlenmiştir. Bu değer nokta yükü dayanımı sınıflamasında Bieniawski (1973)'e göre *yüksek* dayanım sınıfında yer alırken, Deere (1968)'e göre *orta* dayanım sınıfında yer almaktadır. Volkanik breş bu çalışmada incelenen orman yollarında patlatılan kayaç türlerinden bazaltik tüflerden daha yüksek ancak granitten daha düşük bir dayanıma sahip olduğu belirlenmiştir.

Vakfikebir Orman İşletme Şefliği 029 kodlu orman yolunda gerçekleştirilen VK-2 nolu atım yerinden alınan kayaç örnekleri, magmatik kayalardan bazalt olduğu belirlenmiştir. Bazalt örneklerine uygulanan nokta yükü dayanımı deneyi sonucunda numunelerin ortalama kırılma yükü 6,7 MPa olduğu belirlenmiştir. Nokta yükü dayanımı sınıflamasında *yüksek* dayanım sınıfında yer almaktadır. Diğer atımlardaki bazaltlarda olduğu gibi, VK-2 nolu atım yerinden alınan bazalt türünün dayanımı, incelenen kayaç türleri içerisinde en yüksek dayanıma sahiptir.

Bu kayaç türlerinin nokta yükleme deneyi sonuçlarından hesaplanan ve Tablo 57'de verilen bazaltlara ait tek eksenli basma dayanımı değerleri 147,4 ile 160,6 MPa arasında, granit'in 112,2 ile 116,6 MPa arasında değiştiği ve kireçtaşının ise 138,6 MPa olduğu belirlenmiştir. Bu dayanım değerlerine göre üç kayaç türü de tek eksenli basma dayanımı sınıflamasında *yüksek* dayanım sınıfında yer aldığı belirlenmiştir.

Volkanik breşin tek eksenli basma dayanımı değeri 96,8 MPa ve bazaltik tüflerin 48,4 ile 59,4 MPa arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu iki kayaç türü de tek eksenli basma dayanımı sınıflamasında *orta dayanım* sınıfında yer aldığı belirlenmiştir. Volkanik breş bazaltif tüflere göre daha yüksek dayanıma sahip olmasına karşılık, dayanım sınıflamasında aynı sınıfta yer almaktadır.

Buna göre, bu çalışmada incelenen kayaç türlerinden en yüksek tek eksenli dayanıma sahip kayaç türü bazalt olup, en düşük dayanıma sahip kayaç türü ise bazaltik tüfler olduğu belirlenmiştir. Kayaç numuneleri yol inşaatının gerçekleştirildiği derinliklerden alınmış kaya kütlelerini temsil etmektedir. Ancak, orman yollarında alınan granit kaya türü derinlik kayacı olmasına karşılık yüzeye yakın olması nedeni alterasyona uğradığı belirlenmiştir. Bu kayaç türlerinin tek eksenli çekme dayanımı sıralaması da benzer şekildedir.

Kayalara ait tek eksenli basma dayanımı değerleri ve süreksizlik aralığı dikkate alınarak, ekskavatör veya kepçe gibi makineyle kazısı veya ripperle sökülebilirliği ya da delme patlatma gerekli olup olmadığı ortaya konulabilmektedir. Bu amaçla, orman yollarında patlatma ile kazısı yapılan bu kaya türlerinin Karpuz ve Hindistan (2006) bir diyagram kullanılarak kazılabilirlik delme patlatmanın gerekli olup olmadığı irdelenmiştir.

4.3.2. Kayalarda Delme ve Patlatma Gerekliliğinin İncelenmesi

Bu çalışmada, kayaçlara ait tek eksenli basma dayanımı değeri nokta yükü dayanımından hesaplanarak ve atım yerlerindeki kayaların göstermiş oldukları süreksizlik aralıkları dikkate alınarak patlatmanın gerekli olup olmadığı değerlendirilmiştir.

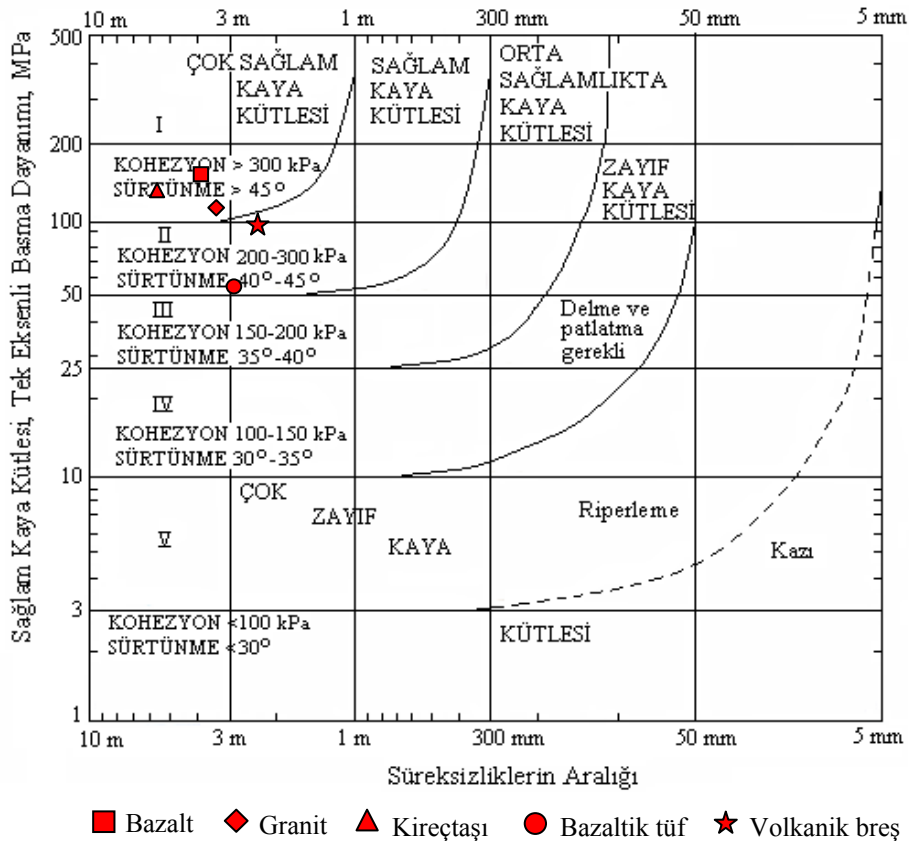
Bu çalışmada incelenen orman yollarında ortaya çıkan kaya kütlelerinin kazısında, ilk olarak kaya üzerindeki kazılabilir ya da sökülebilir nitelikte materyal ekskavatör kovası ile alınmaktadır. Daha sonra, eğer kaya kütlesi ayrılmış çatlaklı bir yapı gösteriyorsa ve az miktarda ise hidrolik kırıcı ile kırılmaktadır. Kaya kütlelerinin kırıcı ile kırılmasından sonra çatlaksız sağlam kayanın ortaya çıkmasıyla ve kırıcı ile kırılması uzun zaman alıcı veya olanaklı değilse bu durumda kayanın delinerek patlatılması yoluna gidilmektedir.

Bununla birlikte ekskavatörü kullanan operatörler kişisel tecrübelerine göre, bazı kaya türlerinin sert ve dayanımları yüksek olduğu, hidrolik kırıcı ile kırmanın ekonomik olmayacağı ve makinelerinin hasar göreceği gibi nedenlerle kayayı kırmaktan kaçınmakta oldukları belirlenmiştir. Eğer yol yapım sözleşmesinde de kaya patlatmaya izin verilmişse kayayı kırmak yerine patlatılmasını tercih etmektedirler.

Bu bakımdan kayaların, yol yapım makineleri ile kırılması veya sökülmesi ya da delme patlatma ile kazısının yapılmasına karar vermek gerekmektedir. Bu kararın belirlenmesinde kayalara ait tek eksenli basma dayanımları ve kaya kütlelerinin süreksizlik aralığını dikkate alan diyagram esas alınmıştır (Karpuz ve Hindistan, 2006).

Karpuz ve Hindistan (2006)'da tek eksenli kaya basma dayanımının birçok sınıflama sisteminde göz önüne alındığını, bunun nedeninin ise kaya kütlesi dayanımının, bir ölçüde süreksizliklerle bunlar arasında yer alan kaya dayanımına bağlı olduğunu belirtilmektedir. Kazısı yapılacak kayada delme-patlatma gerekliliğini, ripperleme, diğer kazı şekillerinden hangisi ile yapılacağını, kayanın sağlamlık durumunu da dikkate alınacağını Şekil 84'de verilen diyagramla yapılabileceği bildirilmektedir.

Kaya kazısı sırasında kaya üzerindeki materyal öncelikle ekskavatör kovası veya kırıcı ile bir miktar kırıldıktan sonra ortaya çıkan kaya delik delinerek patlatılmaktadır. Bu nedenle, arazi çalışmaları sırasında kaya türlerinin tümünde süreksizlik aralıklarının 2-3 m'den daha büyük olduğu gözlenmiştir. Şekil 84'de verilen diyagram incelendiğinde, tek eksenli basma dayanımının ise 10 MPa'dan daha yüksek ve süreksizlik aralığının 50 mm'den daha büyük olduğu kaya birimlerinde delme patlatmanın gerekli olduğu görülmektedir.



Şekil 84. Kayaçların dayanımı ve süreksizliklerine göre kazılabilirlik durumları Orman yollarından alınan kayalara ait tek eksenli basma dayanımları; bazalt'ta 147,4 ile 160,6 MPa aralığında, kireçtaşı'nda 138,6 MPa ve granit'te ise 112,2 ile 116,6

MPa aralığında değişmekte olup üç kaya türü de diyagramda gösterilen *çok sağlam* kaya kütlesi sınıfında yer almaktadır. Bu kaya türlerinin süreksizlik aralıklarının arazide yapılan incelemelerle 3 m'den daha büyük olduğu belirlenmiştir. Bu durum dikkate alındığında, bu üç kaya türünde delme patlatmanın gerekli olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 84).

Kaya türlerinden volkanik breş'in tek eksenli basma dayanımı 96,8 MPa olup, *sağlam kaya kütlesi* sınıfında yer almaktadır. Sağlam kaya kütlesi sınıfının değerleri 50-100 MPa arasında değişmekte olup volkanik breşin dayanımı çok sağlam kaya kütlesi sınıfına daha yakın değerdedir. Volkanik breşe ait tek eksenli basma dayanımı ve kaya kütlesinin süreksizlik aralığının 2-3m'den daha yüksek olduğu dikkate alındığında, delme patlatmanın gerekli olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

Bazaltik tüflere ait tek eksenli basma dayanımı değerleri ise 48,4–59,4 MPa arasında değişmekte olup bu değerler diyagramda *orta sağlam* ve *sağlam* kaya kütlesi sınıfında yer almaktadır. Bazaltik tüflerin tek eksenli basma dayanımı ve süreksizlik aralığının 50 mm'den daha yüksek olduğu dikkate alındığında delme patlatmanın gerekli olduğu anlaşılmaktadır.

Orman yollarında arazi incelemeleri sırasında, bazaltik tüflerin süreksizlik aralıklarının 2-3 m'den daha yüksek olduğu ve çatlaklı bir yapı göstermediği gözlenmiştir. Bazaltik tüf incelenen kaya türleri içerisinde en az dayanıma sahip olup, süreksizlik aralıklarının daha kısa olduğu koşullarda, az miktarda olan bazaltik tüflerin patlatılması yerine hidrolik kırıcılarla kırılması yolu orman ekosistemi açısından daha uygun olacaktır.

4.3.3. Kayaların Schmidt Çekici Sertliği Bulguları ve Tartışılması

Bu çalışmada orman yollarında, patlatmalı kazısı yapılan bazalt, granit, kireçtaşı, volkanik breş, bazaltik tüf kaya türlerinin sertliklerini ve kazı zorluğu derecelerini belirlemek amacıyla patlatmalı kazı çalışmaları sonrasında araziden getirilen blok kaya örnekleri üzerinde Schmidt çekici sertliği deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sertlik değerleri, Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği (ISRM, 1969) tarafından önerilen sertlik sınıflama skalasına göre sınıflandırılmıştır.

Orman yollarında patlatmalı kazısı yapılan kaya türleri, blok kaya örneklerinde ölçülen Schmidt çekici değerlerinin ortalaması, en küçük ve en büyük değeri ile bunlara ait standart sapmaları, deney sonucu ortalamalarına karşılık gelen ISRM (1969) da belirtilen sertlik sınıfı Tablo 58'de verilmiştir. Bu tablo incelendiğinde, orman yollarından alınan

kayaç örneklerinin Schmidt sertlik sınıfı *az sert* ile *oldukça sert* sınıfı arasında değiştiği ve kayaç örneklerinden hiç birinin Schmidt sertlik sınıfındaki *yumuşak kaya* veya *az yumuşak kaya* sınıfında olmadığı görülmektedir.

Tablo 58. Kaya örneklerinin Schmidt çekici deneyi sonuçları ve sertlik sınıflaması

İşletme şefliği	Atım no	Kaya türü	Schmidt çekici değeri (MPa)				Schmidt sertlik sınıfı
			En küçük	En büyük	Std.sapma	Ortalaması	
Alacadağ	AD-1	Granit	50	59	2,19	55,95	Oldukça Sert
Alacadağ	AD-2	Granit	48	61	2,17	56,20	Oldukça Sert
Alacadağ	AD-3	Kireçtaşı	54	64	2,66	61,05	Çok Sert
Şalpazarı	SP-1	Bazaltik tüf	30	43	5,27	36,45	Az Sert
Şalpazarı	SP-2	Bazaltik tüf	33	42	2,34	37,75	Az Sert
Şalpazarı	SP-3	Bazaltik tüf	31	41	2,36	36,10	Az Sert
Şalpazarı	SP-4	Bazaltik tüf	22	50	8,20	37,40	Az Sert
Şalpazarı	SP-5	Bazaltik tüf	28	39	3,39	33,60	Az Sert
Şalpazarı	SP-6	Bazalt	50	57	2,31	54,00	Oldukça Sert
Şalpazarı	SP-7	Bazalt	48	56	2,24	52,25	Oldukça Sert
Şalpazarı	SP-8	Bazalt	47	58	3,06	51,30	Oldukça Sert
Şalpazarı	SP-9	Bazalt	49	56	2,76	53,50	Oldukça Sert
Vakfikebir	VK-1	Volkanik breş	38	50	3,54	44,35	Sert
Vakfikebir	VK-2	Bazalt	45	56	3,22	50,70	Oldukça sert

*Ayrışmış (alterasyona uğramış) granit.

Alacadağ Orman İşletme Şefliği 126 kod numaralı orman yolundan alınan ayrışmış granitin ortalama Schmidt sertliği 55,95 ile 56,20 MPa olarak belirlenmiş ve bu değer Schmidt sertlik sınıfında *oldukça sert* sınıfta yer almaktadır. Aynı işletme şefliğine ait ve 126 kod numaralı orman yolundan ayrılan 120 kod numaralı orman yolundan alınan kireçtaşı'nın ortalama Schmidt sertliği 61,05 MPa olarak belirlenmiş ve bu değer sertlik sınıfında *çok sert* sınıfta yer almaktadır (Tablo 58). Buradan yöredeki kireçtaşının, granite göre daha sert ancak *oldukça sert* sınıfa daha yakın bir sertliği olduğu sonucuna varılmıştır.

Şalpazarı Orman İşletme Şefliği 002 kod numaralı orman yolunda 5 ayrı yerden alınan bazaltik tüflere ait ortalama Schmidt çekici değerleri 36,10 ile 37,75 MPa arasında değişmekte olup, bu değerler sertlik sınıflamasında *az sert* sınıfta yer almaktadır. Şalpazarı işletme şefliği 002 kod numaralı orman yolunda alınan bazalt'ta ait ortalama Schmidt çekici değerleri 51,30-54,00 MPa arasında değişmekte olup, bazaltın Schmidt sertlik sınıfı *oldukça sert sınıfta* yer almaktadır.

Vakfikebir Orman İşletme Şefliği 011 kod numaralı orman yolunda VK-1 nolu atımda patlatılan volkanik breşe ait ortalama Schmidt çekici değeri 44,35 MPa olarak

belirlenmiştir. Bu değer sertlik sınıfında *sert* sınıfta yer almaktadır. İşletme şefliğine ait 029 kod numaralı orman yolunda VK-2 nolu atımda patlatılan kaya türü ise bazalt olup, ortalama Schmidt çekici değeri 50,70 MPa olup Schmidt sertlik sınıfında diğer bazalt türünde olduğu gibi *oldukça sert* sınıfta yer almaktadır.

Bu çalışmada incelenen ve yörede yer alan kayaç türlerinden en yüksek Schmidt sertliğine sahip kaya türü kireçtaşı olup, en düşük Schmidt sertliğine sahip kayaç türü ise bazaltik tüfler olduğu belirlenmiştir.

Genel olarak granit derinlik kayacı olup tek eksenli basma dayanımı diğer kayaçlardan daha yüksektir. Ancak, bu çalışmada dayanım ve sertlikleri belirlenen granit numuneleri 3-4 m derinlikteki ve yüzeydeki sağlam olmayan bir numuneyi temsil ettiği için alterasyona uğramış bu nedenle deney sonuçları kısmen düşük çıkmıştır.

Buna göre mevcut arazi koşullarında, yöredeki bazaltın dayanımı granit ve kireçtaşına göre daha yüksek iken, sertliği granit ve kireçtaşından daha düşük olduğu sonucuna varılmaktadır. Yine yöredeki kireçtaşının, ayrışmış granite göre hem dayanımı hem de sertliği daha yüksektir. Volkanik breş ve bazaltik tüflerin hem dayanımı hem de sertlikleri bazalt, kireçtaşı ve granitten daha düşüktür. Volkanik breş, bazaltik tüfe göre hem dayanıklı hem de daha sert olduğu belirlenmiştir.

Kahriman ve arkadaşları (2005)'de dört farklı taş ocağındaki patlatmalı kazı çalışmalarının yapıldığı kireçtaşı kaya birimlerinin sertliklerini ve kazı zorluğu derecelerini belirlemek amacıyla, patlatmalı kazı faaliyeti gözlemlerine ilaveten Schmidt Çekici deneyleri de yapmıştır. Ölçümler sonucunda kireçtaşının ISRM skalasında oldukça sert sınıfta yer aldığını ve patlatmalı kazının çalışmalarının zorunlu olduğu belirtilmiştir. ISRM skalasında oldukça sert sınıf 50 ile 60 MPa arasında, çok sert sınıf ise 60 MPa dan daha büyük değerlere karşılık gelmektedir. Bu çalışmada patlatmalı kazısı yapılan kireçtaşının ortalama Schmidt çekici değeri 61,05 MPa olarak belirlenmiş ve çok sert sınıfta yer almasına karşılık, oldukça sert sınıfa daha yakın değerdedir.

Orman yollarında süreksizlik aralıklarının yüksek olduğu kireçtaşı, bazalt ve granit gibi sert ve sağlam kayaların patlatmalı kazısı kaçınılmaz olmaktadır. Bununla birlikte volkanik breş, bazaltik tüflere göre daha yüksek dayanımdadır. Bu iki kaya türünün kırıcılarla kırılması ve makineli kazısı, kayanın gösterdiği süreksizlik aralıklarına göre tercih edilebilir.

Orman yolu geçkisinin araziye işaretlenmesi sırasında kazısı yapılacak kaya miktarı ve inşaattı gerçekleştirilen orman yolunda kazısı yapılmış kayaların miktarları

belirlenmektedir. Gerek yol inşaatı öncesi gerekse inşaat sonrası kazısı yapılan kayaların birim fiyatları kayanın sertliğine göre belirlenmektedir. Orman yollarında kaya sertlikleri; yumuşak, sert ve çok sert kaya olarak sınıflandırılmaktadır. Ancak mevcut uygulamada kaya sertlikleri kişisel bilgi ve tecrübeye göre kaya türleri yumuşak kaya, sert kaya veya çok sert kaya olarak sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflama sırasında ise aynı kaya türü için kişiden kişiye farklılıklar göstermektedir. Bu durum anlaşmazlık kaynağı olabilmekte ve sonuçta bazen orman idaresini, bazen de orman yolunu yapan müteahhitleri zarara uğratmaktadır.

Schmidt sertlik çekici hızlı sonuç veren ve arazide kolaylıkla uygulanabilen bir deney yöntemi olup, araziden numune toplama, hazırlama gibi masrafları da yoktur. Bu bakımdan, orman yollarının inşaatı sırasında ortaya çıkan kaya kütlelerinin sertliklerinin belirlenmesinde kolaylıkla kullanılabilir.

Eğer ISRM (1979) verilen Schmit çekisi sertlik sınıfı; yumuşak kaya, sert kaya ve çok sert kaya olarak 3 sınıfa ayrılabilir. Bu durumda Schmidt çekici değeri; 0–20 MPa arasında ise; yumuşak kaya, 20–50 MPa arasında ise; sert kaya ve Schmidt çekici değeri 50 MPa'dan büyükse; çok sert kaya olarak sınıflandırılabilir (Tablo 59).

Tablo 59. Orman yollarında Schmidt çekici ile kayaç sertliliğinin belirlenmesi

Sıra no	Schmidt çekici değeri (MPa)	Sertlik sınıfı (ISRM, 1979)	Sıra no	Schmidt çekici değeri (MPa)	Sertlik sınıfı (Orman yolu için)
1	0 – 10	Yumuşak	1	0 – 20	Yumuşak kaya
2	10 – 20	Az Yumuşak			
3	20 – 40	Az Sert	2	20 – 50	Sert kaya
4	40 – 50	Sert			
5	50 – 60	Oldukça Sert	3	> 50	Çok sert kaya
6	> 60	Çok Sert			

Orman yollarında Schmidt çekici ile kazısı yapılmış veya yapılacak olan kayaların sertlikleri daha doğru olarak belirlenebilecektir. Bu sayede kayaların yumuşak, sert veya çok sert kaya türünden olup olmadığı daha gerçekçi olarak belirlenecektir. Yine orman idaresinin kazısı yapılan 1 m³ kaya için ödediği parasal miktar ve yol yapım maliyeti daha gerçekçi olacaktır. Yine bu sayede, çoğu zaman anlaşmazlıklara neden olan, kaya türlerinin sertliklerine göre kazı miktarı ve bunların birim bedelleri müteahhitlere daha gerçekçi olarak ödenmiş olacak ve anlaşmazlıkların önüne geçilebilecektir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu doktora tezi çalışmasında, dağlık ve kayalık arazideki ormanlarda inşaatı sürdürülen orman yollarındaki patlatma tabanlı kazı çalışmalarında, mevcut delme patlatma tekniği ile ortaya çıkardığı çevresel problemler konu edilmiştir. Bu amaçla, dağlık ve kayalık araziye sahip Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisinde inşaatı sürdürülen 5 ayrı orman yolunda gerçekleştirilen kaya patlatma çalışmaları incelenmiştir.

“Orman yolları yapımında kaya patlatma tekniği ve çevresel etkileri üzerine bir araştırma” isimli bu doktora tezi kapsamında, yapılan arazi incelemeleri ile uygulanmakta olan patlatma tekniğinin çevresel zararlara neden olan temel eksiklikleri, patlatma sonrasında ortaya çıkan kaya fırlaması, yer sarsıntısı ve hava şoku etkileri belirlenmiştir. Orman yollarında bu çevresel sorunları azaltacak patlatmanın kontrol edilebilir parametrelerinde yapılacak değişikliklerle patlatma tasarımı ortaya konulmuş ve kaya fırlamalarının tahminine ilişkin model geliştirilmiştir.

Ayrıca, kazısı gerçekleştirilen kayaların mekanik özelliklerinden; nokta yükü dayanımı, tek eksenli basma ve çekme dayanımları ile Schmidt sertlikleri belirlenerek kaya kütlelerinin süreksizlik aralıklarına göre, patlatmanın gerekli olup olmadığı değerlendirilmiştir.

Araştırmanın sürdürüldüğü orman yollarının inşaatında gerçekleştirilen kaya patlatma çalışmaları sırasında elde edilen veriler ve bunların teknik ve çevresel açıdan değerlendirilmesi ile ulaşılan sonuçlar ve öneriler aşağıda ayrı ayrı verilmiştir.

a) Orman yolu inşaat tekniği ve kaya kazısına ait sonuçlar ve öneriler;

Orman yollarının hepsinde, kazı çalışmalarında paletli hidrolik ekskavatörler kaya kırıcıları ile birlikte kullanılmıştır. Ancak, operatörler ekskavatörün erken yıpranacağı düşüncesiyle kayaları kırıcı ile kırmak yerine patlayıcılarla patlatmayı tercih etmektedirler. Yine kazı çalışmalarındaki ekskavatörün kullanımı ile fazla materyalin şevlerde kullanımı depolanması işi yetersiz durumdadır.

Ekskavatörle sökülmesi veya kırılması mümkün olmayan kaya kütleleri, patlayıcı maddelerle parçalanarak güzergâhtan uzaklaştırılmıştır. Kullanılan pnömatik kompresörler teknik açıdan yeterli olmasına karşılık, çevresel açıdan oldukça yüksek gürültü oluşturmaktadır. Bu kompresörlerde ya gürültüyü azaltıcı susturucular kullanılmalı ya da

daha sessiz çalışan ve ekskavatöre monte edilebilen hidrolik kaya delme ekipmanları kullanılmalıdır. Yine kullanılacak kaya delme ekipmanlarının tamir ve bakımları zamanında yapılmalıdır.

b) Patlatma tasarımı parametrelerine ait sonuçlar ve öneriler;

Bu çalışmada; granit, kireçtaşı, bazalt, volkanik breş, bazaltik tüf türünde kaya partileri patlayıcı maddelerle patlatılmıştır. Patlatmalı kazı çalışmaları sırasında her bir atımda uygulanan delik tasarımı parametreleri ayrı ayrı belirlenmiştir.

Orman yollarında mevcut uygulamada, kaya patlatma sırasında delik düzeni, delikler arası mesafe, dilim kalınlığı, sıkılama boyu ve patlayıcı miktarının belirlenmesi bu konuda eğitimli kişiler tarafından yapılmayıp, kompresör operatörü veya ateşçinin bilgi ve tecrübesine göre yapılmaktadır.

Orman yollarında çoğunlukla Jelatinit dinamit, Emulite TG, Magnum365 gibi patlayıcılar kuru deliklerin şarjında ANFO ile birlikte, ıslak deliklerde ise sadece dinamit kullanılmıştır.

Kaya türlerinin patlatılması için 1 m derinliğindeki patlatma deliklerinde kullanılan ortalama patlayıcı madde miktarı; granitte 0,529 kg, kireçtaşında 0,613 kg, bazaltta 0,603 kg, bazaltik tüflerde 0,592 kg ve volkanik breşte 0,619 kg olduğu belirlenmiştir. Patlatma deliklerinde ana patlayıcı olarak ANFO, yemleyicisi olarak dinamit kullanıldığında 1 m derinliğindeki bir delikte yarım dinamit kartuşu kullanılmalıdır. Sıkılama boyu delik derinliğinin 1/3'ü uzunluğunda yapılmalıdır.

Orman yollarındaki 1 m³ kayanın patlatılması için kullanılan patlayıcı (ölgül şarj) miktarı; granitte 0,229 kg/m³, kireçtaşında 0,210 kg/m³, bazaltik tüflerde 0,143 ile 0,321 kg/m³ arasında, bazaltta 0,163 ile 0,458 kg/m³ arasında değişen miktarlarda ve volkanik breşte ise 0,163 kg/m³ olarak uygulandığı belirlenmiştir. Buna göre ölgül şarj, bazaltik tüflerde en az, bazaltta ise en fazla miktarda kullanılmıştır. Bununla birlikte aynı atımlarda ölgül delme ise en az bazaltik tüfte 0,30 m/m³ ile en fazla bazaltta 0,98 m/m³ olarak uygulanmıştır.

Kaya patlatma sırasında deliklerin delinmesinde uygulanan herhangi bir düzen yoktur. Genellikle delikler arası mesafe, dilim kalınlığından daha fazla alınmakta, diğer tasarım parametreleri gelişigüzel alınmaktadır. Bu nedenle patlatma öncesinde patlatılacak kaya için uygun bir patlatma tasarımının yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmada, orman yollarında benzer koşullar için pratikte uygulanabilecek örnek bir delme ve patlatma tasarımı yapılmıştır. Bu amaçla; uzunluğu 20 m olan bir kaya

kütlesinde şeşbeş düzende dik olarak açılan, ortalama derinliği 2,40 m ve çapı 2,54 cm olan deliklerle patlatılacak örnek patlatma tasarımı yapılmıştır.

Yapılan patlatma tasarımında ana patlayıcı olarak ANFO kullanıldığında; dilim kalınlığı 0,73 m, delikler arası mesafe 1,10 m, delik derinliği 2,40 m ve sıkılama boyu 0,80 m olarak hesaplanmıştır. Deliklerdeki şarj yoğunluğu (I_b) 0,41 kg/m ve buna göre maksimum dilim kalınlığı (B_{maks}) 0,82 m olarak hesaplanmıştır. Özgül şarj miktarı 0,37 k/m³ özgül delme miktarı ise 1,38 m/m³ olarak belirlenmiştir.

Yine aynı kaya için yapılan patlatma tasarımında, ana patlayıcı olarak jelatinit dinamit kullanılması durumunda; dilim kalınlığı 1,03 m, delikler arası mesafe 1,54 m, delik derinliği 2,40 m ve sıkılama boyu 0,80 m olarak hesaplanmıştır. Deliklerdeki şarj yoğunluğu (I_b) 0,76 kg/m olmuş ve buna göre maksimum dilim kalınlığı (B_{maks}) 1,13 m bulunmuştur. Özgül şarj miktarı 0,34 k/m³, özgül delme miktarı ise 0,68 m/m³ olarak hesaplanmıştır.

Uygulamada tüm atım yerlerinde ölçülen ortalama delik aralığı 1,62 m, dilim kalınlığı ise 1,26 m olarak hesaplanmıştır. Bu değerler patlatma tasarımındaki değerlerden daha yüksektir. Yapılan tasarımda özgül şarj miktarı, ANFO kullanıldığında 0,37 kg/m³, jelatinit dinamit kullanıldığında ise 0,34 kg/m³ olarak hesaplanmıştır. Uygulamada özgül şarj miktarı ise 0,143 kg/m³ ile 0,458 kg/m³ arasında değişen miktarlarda yapılmıştır.

Uygulamada tüm deliklere patlayıcı şarj edilmekte ve gecikmesiz olarak hepsi aynı anda patlatılmaktadır. Düzgün kazı sevi yüzeyi oluşturmak için, son sıradaki delikler arası mesafe, ön sıralardaki delikler arası mesafenin yarısı ($S/2$) uzaklıkta delinmeli ve sıralar arasında uygun gecikmeli kapsüller kullanılmalıdır. Yapılan patlatma tasarımında son sıradaki delikler arası mesafe, ana patlayıcı olarak ANFO kullanıldığında 0,55 m, jelatinit dinamit kullanıldığında ise 0,77 m aralıklarla açılması gerektiği belirlenmiştir. Burada son sıradaki deliklere patlayıcı şarjı birer atlamalı olarak yapılmalıdır.

Uygulamada sıkılama boyu, delik boyu dikkate alınmaksızın en az 15 cm ile en fazla 56 cm arasında gelişigüzel bir şekilde ve çoğunlukla yetersiz miktarda alınmıştır. Açılan delik boyları 0,80 m ile 3,2 m arasında değişmiştir. Uygulama pratikliği bakımından, sıkılama boyu delik derinliğinin en az 1/3'ü uzunluğunda alınmasının hem literatüre göre hem de mevcut uygulamalar sırasında yeterli olduğu belirlenmiştir. Sıkılama malzemesi için çok ince ve kuru toz şeklindeki materyal yerine, delme sırasında delik içerisinden çıkan kırıntılar ile içerisinde organik madde bulunmayan kumlu toprak kullanılmalıdır.

Bu çalışmada tüm deliklerde aynı gecikme süresine sahip elektrikli kapsüller rasgele düzende yerleştirilerek ateşlenmiştir. Gecikmeli elektrikli kapsüllerin belirli bir düzende kullanılması patlatma verimliliğini artırdığı gibi, yer sarsıntısı, hava şoku ve fırlayan kaya gibi çevresel etkileri de en aza indirmektedir. Kayanın süreksizlikleri gibi yersel özellikleri ve kırılmanın yönü dikkate alınarak delikler veya delik sıraları arasında uygun bir gecikme ile ateşleme yapılmalıdır.

c) Kaya patlatmanın çevresel etkilerine ait sonuç ve öneriler;

Orman yollarında patlayıcı maddelerle kaya patlatmaları sırasında ortaya çıkan kaya fırlamaları ile yamaç aşağısındaki 15 m ile 60 m uzaklıklardaki dikili ağaçlar ve fidanlar üzerinde kırma, yaralama, diri oduna taş saplanması ve soyma gibi zararların olduğu belirlenmiştir. Bu uzaklık bağımlı değişkeni ile kaya fırlamasına neden olan bağımsız değişkenler istatistiksel analizi yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, kaya patlatmaları sonrasında kaya fırlamalarının değişik mesafelerdeki zarar uzaklığının tahmin edilmesine yönelik 5 ayrı model ortaya konulmuştur.

Kaya fırlaması zarar uzaklığı ile sıkılama boyu arasında yapılan korelasyon ve regresyon analizi sonucunda güçlü bir ilişki olduğu, bu uzaklığın tahmin edilmesinde en fazla etkiye sahip bağımsız değişkenin sıkılama boyu olduğu belirlenmiştir.

Orman yollarında atımların değerlendirildiği dört ayrı hasar kriterinin hepsinde de; maksimum parçacık hızı 58,80 mm/sn ve buna ait frekansı 39 Hz olarak ölçülen VK-1 nolu atımın hasar riski oluşturduğu belirlenmiştir.

Hasar kriter analizlerinden, Amerikan USBM, OSMRE ve Çevre Orman Bakanlığı kriterleri, sadece VK-1 nolu atım sınır değerleri aştığını ve hasar potansiyeli olduğunu belirlemiştir. Buna karşılık Alman DIN 4150 normuna göre; VK-1 ile VK-2 nolu atımların çelik yapılar (L1), betonarme yapılar (L2) ile eski ve tarihi yapılar (L3) için hasar riski oluşturduğu, AD-1, AD-2 ile AD3 nolu atımların L2 ile L3 düzeyi için ve SP-3 ile SP-4 nolu atımların L3 düzeyi için hasar riski oluşturduğu belirlenmiştir. Bu bakımdan Alman DIN4150 normu bina türü ve hasar riski bakımından oldukça ayrıntılı analiz yapma olanağı vermektedir. Özellikle tarihi yapıların bulunduğu alanlara yakın yerlerde yapılacak atımlar için bu normun kullanılarak atımda düzenlemelere gidilmelidir.

Her bir atım yerinde ölçülen maksimum parçacık hızı (PPV) ile ölçekli mesafe (SD) arasında yapılan regresyon analizi ilişki katsayısı en yüksek model, üssel fonksiyonlu olarak belirlenmiştir. Bu model kullanılarak, patlatma yapılacak herhangi bir nokta ile en yakın yapıya olan uzaklığı dikkate alınarak, yapıda bir hasar oluşturmaması için gecikme

başına kullanılabilen patlayıcı madde miktarı hesaplanabilmektedir. Bir başka deyişle, bu eşitlikle, hangi miktarda patlayıcı madde aynı anda patlatılırsa hangi uzaklıkta ne kadar parçacık hızı yaratacağı, titreşim ölçer cihazına gerek kalmaksızın hesaplanabilecektir.

Yapılan çalışmalarda orman yollarında 32 m ile 86 m uzaklıklardan ölçülen hava şoku değerleri 88 dB ile 147,1 dB arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu hava şoklarının ise yapılarda hasar oluşturabilecek düzeyde olmadığı belirlenmiştir.

Bu hava şoku (gürültü) değerleri insanlar açısından değerlendirildiğinde; ölçülen değerlerin % 44'ü acı başlangıcı ve tahammül edilemez, %14'ü ileri derecede rahatsız edici, %14'ü rahatsız edici ve son derece yüksek düzeyde, %7'si rahatsızlık başlangıcı düzeyde, %14'ü çok gürültülü düzeyde, % 7'si *çok gürültülü* algılanma düzeyindedir.

Orman içerisinde yaşayan yaban hayvanlarının gürültü ve hava şoklarına karşı nasıl tepki gösterdikleri veya yaşam alanlarını terk edip etmedikleri konusunda tür bazında belirli sınırlamaların verildiği kapsamlı bir çalışma yoktur. Bu değerleri yaban hayvanlarının 130 dB'den daha yüksek değerlerde rahatsız olabilecekleri kabul edildiğinde, ölçülen değerlerin % 58'i yaban hayatını olumsuz etkileyebilecek düzeydedir.

Orman yollarında gerçekleştirilen atımlar sırasında, ciddi boyutta bir toz oluşumu gözlenmemiştir. Yapılan ölçümler sırasında genel olarak bölgenin yağış alması ve toprağın nemli olması gibi nedenlerle yoğun toz oluşumu gözlenmemiştir.

d) Kayaların dayanım ve sertliklerine ait sonuç ve öneriler;

Orman yollarında patlatılarak kazısı gerçekleştirilen granit, kireçtaşı, bazalt, bazaltik tüf, volkanik breş türü kayalara ait nokta yükü dayanımı, tek eksenli basma ve çekme değerleri ile kayalara ait Schmidt sertlikleri belirlenmiştir.

Bu kayaç türlerinin tek eksenli basma dayanımı; bazaltın 147,4 ile 160,6 MPa, ayrılmış granit'in 112,2 ile 116,6 MPa arasında değiştiği ve kireçtaşının dayanımı ise 138,6 MPa olarak belirlenmiştir. Bu dayanım değerlerine göre, her üç kayaç türü de tek eksenli basma dayanımı sınıflamasında *yüksek dayanım* sınıfında yer aldığı belirlenmiştir. Volkanik breşin tek eksenli basma dayanımı 96,8 MPa ve bazaltik tüflerin 48,4 ile 59,4 MPa arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu iki kayaç türü de tek eksenli basma dayanımı sınıflamasında *orta dayanım* sınıfında olduğu belirlenmiştir.

Atım yerlerindeki tüm kaya türlerinin tek eksenli basma dayanımı 10 MPa'dan daha yüksek ve süreksizlik aralıklarının 50 mm'den daha büyük olması nedeni ile bu kayalarda delme ve patlatmanın gerekli olduğu ortaya konulmuştur.

İncelenen kayaç türlerinden, en yüksek Schmidt sertliğine kireçtaşı sahip olup, en düşük sertliğe sahip kayaç türü ise bazaltik tuf olduğu belirlenmiştir. Bazaltik tüfler incelenen kaya türleri içerisinde en düşük basma dayanıma ve sertliğe sahiptir. Kazılabilirlik açısından, hacimce az miktarda ve süreksizlik aralıklarının daha kısa olduğu bazaltik tüflerin patlatılması yerine kırıcılarla kırılması daha uygundur.

Bu çalışmada elde edilen sonuç ve önerilere ilaveten, Doğu Karadeniz yöresi yağışlı bir bölge olduğundan yol inşaatları için hem toprak erozyonu hem de inşaat çalışmaları açısından yağışların daha az olduğu sezonlar seçilmelidir. Kaya fırlamasının hiç istenmediği koşullarda, patlatma tasarımına ilaveten, patlatma delikleri üzerine örtü malzemesi serilmelidir.

Orman yollarında kaya patlatma çalışmaları değişik jeolojik ortam ve kaya koşullarında patlatma tasarımları yapılarak, patlatmanın çevresel etkilerinin minimize edilmesine ilişkin detaylı çalışmalar yapılmalıdır. Bu şekilde oluşturulacak veritabanı sayesinde patlatma sonrasında çevresel etkilerin kontrolü bakımından tasarım parametreleri oluşturulabilecektir.

6. KAYNAKLAR

- Acar, H.H. ve Şentürk, N., 1997. Orman Yolları Yapımında Kayaların Geçilmesi ve Patlayıcı Madde Kullanımı, İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Seri B, 45, 1-2, 73-89.
- Acar, H.H., 1998. Ormancılık İş Bilgisi Ders Notları, KTÜ Orman Fakültesi Yayın No:55, Trabzon, 161 s.
- Acar, H.H., 2004. Ormancılıkta Transport Ders Notları, KTÜ Orman Fakültesi Yayın No:56, Trabzon, 246 s.
- Acar, H.H. ve Eker, M., 2003. Orman Yolu Yapımında Ekskavatörlerin Kullanılması Ve Çevresel Açıdan Yararları, Batı Akdeniz Ormancılık Araştırma Müdürlüğü Dergisi, 5, 97-128.
- Acar, H.H., 2005. Orman Yolları Ders Notları, KTÜ Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü Ders Teksirleri Serisi: 82, Trabzon. 183 s.
- Acar, H.H., Çağlar, S. ve Şentürk, N., 2005. The Environmental Impacts of Forest Road Construction in Steep Terrain And Rocky Places in Turkey, International Scientific Conference, Ecological, Ergonomic and Economical Optimization of Forest Utilization in Sustainable Forest Management, 2005, June 15-18, Krakow, Poland.
- Ak, H., 2006. Patlatma Kaynaklı Yer Sarsıntılarının Yönel Değişiminin Araştırılması, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 281 s.
- Akail, S., 2004. Comparative Study on Ground Vibrations Prediction by Statistical and Neural Networks Approaches at Tunçbilek Coal Mine Panel Byh, MSc., Department of Mining Engineering, The Graduate School Of Applied And Natural Sciences Of Middle East Technical University, Ankara, 113 p.
- Aldaş, G.G.U., Kadioğlu, S. ve Ulugergerli E.U., 2004. Enhancements of Blasting Design Pattern by Using Ground Penetrating Radar (GPR), ROCKMEC'2004-VIIth Regional Rock Mechanics Symposium, Sivas, Türkiye
- Anonim, 2006. Orman Varlığımız, Çevre ve Orman Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara, 56 s.
- Anonim, 2007. NWFP Environmental Protection Agency, Environmental Assessment Checklists and Guidelines, Forest Road Constructions, www.environment.gov.pk, 15.06.2007
- Antola, A., 1998. Forest Road Construction Techniques, University of Helsinki, Department of Logging and Utilization of Forest Products, Research Notes No:50, Helsinki, 1998.

- Arpaz, E., 2000. Türkiye'deki Bazı Açık İşletmelerde Patlatmadan Kaynaklanan Titreşimlerin İzlenmesi Ve Değerlendirilmesi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Sivas, 230 s.
- AOİŞAP, 2006. Aladağ Orman İşletme Şefliği Orman Amenajman Planı, (II.Yenilenme; 2005-2024), Trabzon OBM, Torul OİM, 2006.
- ASTM, 1984. American Society for Testing and Materials, Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Intact Core Specimens, Soil and Rock Building Stones, Annual Book of ASTM Standards 4.08. Philadelphia, Pennsylvania.
- Ataman, T., 2000. Kaya Mekaniğine Giriş, Seç Yayın Dağıtım, ISBN:975-7670-243, İstanbul. 239 s.
- Aulitzky, H., 1974. Endangered Alpine Regions and Disaster Prevention Measures, Nature and Environment Series, 6, Council of Europe, Strasbourg.
- Barutsan, 2008. Barutsan Ürün Katalogu, Ankara.
- Başarır, H. ve Kumral, M., 2004. Kayaçların Tek Eksenli Basınç Dayanımının Basit Deney Yöntemleriyle Tahmini, KAYAMEK'2004-VII. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Sivas, Türkiye.
- Bayoğlu, S., 1989. Dağlık Arazide Orman ve Çevreye Zarar Vermeyen Bir Yol İnşa Tekniği, Orman Mühendisliği Dergisi, 26, 12, 6-9.
- Bieniawski, Z.T., 1973. Engineering Classification of Jointed Rock Masses, Transactions of the South African Institution of Civil Engineers, 15, 12, 335- 344.
- Bilgin, H.A., Esen, S., Kılıç, M. ve Adlaş, G.G.U., 2000. Yeniköy Linyit İşletmesinde Patlatma Kaynaklı Yer Sarsıntılarının İncelenmesi, 4. Delme ve Patlatma Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, Ankara, 147-159.
- Bilgin, A., Esen, S. ve Kılıç, M. 1998. TKİ Çan Linyit İşletmesi'nde Patlatmaların Yol Açtığı Çevre Sorunlarının Giderilmesi İçin Araştırma, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Proje kod No: 97-03-05-01-08, Ankara, 100 s.
- BCMF, 2002. Forest Road Engineering Guidebook, British Columbia Ministry of Forest, Forest Practices Code of British Columbia, Second Edition, ISBN 0-7726-4806-9, June 2002, 22 p.
- Caldwell , T., M., 2004. A Comparison of Non-Explosive Rock Breaking Techniques, The University Of Queensland, School of Engineering Faculty of Engineering, Physical Sciences and Architecture, Bachelor Of Engineering Thesis, Australia. 100 p.,
- Ceylanoğlu, A., 1996. Kaya Mekaniği Laboratuar Deneyleri, Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Ders Notları Yayın No: 24, Sivas, 60 s.

- Ceylanoğlu, A., Gül, Y. ve Akın, A., 2007. Kazılabilirlik ve Riperlenebilirlik Sınıflama Sistemlerinin İncelenmesi ve Yeni Bir Sınıflama Sisteminin Önerilmesi, Madencilik Dergisi, 46, 2, 13-26.
- Cihangir, F., 2006. Bir Kalker Ocağında Patlatmalı Kazılardan Kaynaklanan Yer Titreşimi ve Hava Şoku Etkilerinin İstatistiksel Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon,
- Çağlar, S., Acar, H.H. ve Kesimal, A., 2006. Orman Yolu İnşaatlarında Kaya Patlatmanın Çevresel Etkilerinin İrdelenmesi, Doğu Karadeniz Bölgesi Maden Kaynaklarının Değerlendirilmesi Sempozyumu, 14-16 Eylül 2006, Trabzon, Bildiriler Kitabı, 253-258.
- Çağlar, S. ve Acar, H.H., 2006. An Evaluation on the Environmental Effects Induced by the Rock Blasting in Forest Road Construction at Rock Areas in Turkey, Proceedings of The 29th Council on Forest Engineering Conference, 2006, July 30-August 2, Coeur d'Alene, Idaho, USA, 273-281.
- Çağlar, S. ve Türk, Y., 2008. Orman Yolu Yapımında Bazı Teknik ve Çevresel Sorunlar (Doğu Karadeniz Yöresi Örneği), Düzce Üniversitesi, Orman Fakültesi, VI. Ulusal Orman Fakülteleri Öğrenci Kongresi, 8-9 Mayıs 2008, Düzce, Bildiriler Kitabı, 173-180.
- Çağlar S., Acar H.H. ve Kesimal A., 2007. An Evaluation Of Rock Blasting And Its Environmental Effects At Forest Road Construction In Turkey, Annals Of Warsaw Agricultural University (SGGW), 6th Conference On Agricultural And Forest Engineering, 2007, 14-15 June, Warsaw, Poland. 251-260.
- ÇOB, 2008. Çevre ve Orman Bakanlığı, 25862 sayılı Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği, (2002/49/EC), 7 Mart 2008, Resmî Gazete, Sayı: 26809, Ankara.
- Deere D.U. ve Miller, R.P., 1966. Engineering Classification and Index Properties for Intact Rock, Air Force Weapons Lab. Tech. Report, AFWL-TR 65-116. Kirtland Base, New Mexico.
- Demirci, A., 1996. Sivas Ulaş Yöresi Sölestit Açık İşletmesinde Basamak Patlatmasından Kaynaklanan Yer Sarsıntısı Ölçüm Sonuçları ve Değerlendirilmesi, 2. Delme ve Patlatma Sempozyumu, Ankara, 89-96.
- Dowding, C.H. ve Aimone C.T., 1992. Rock Breakage, Explosives, Mining Engineering Handbook, Chapter 9.2, 722-746.
- DSİ, 1970. Türkiye İstikşafı Arazi Amenajmanı Raporu, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Yayını, Cilt 2, Ankara.
- Durmuş, O., 2005. Yozoz Tüneli Kazısında Patlatmadan Kaynaklanan Titreşimlerin Ölçümü ve Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

- Dykstra, D.P. ve Heinrich, R., 1996. FAO Model Code of Forest Harvesting Practice, FAO-FOPH Publication,17-23, Rome, Italy, 85 p.
- Erçıkıdı, B., Kesimal, A. ve Yılmaz, E., 2004-a. Evaluation of Ground Vibrations Induced by Blasting at Araklı-Taşönü Limestone Quarry, ROCKMEC'2004-VIIth Regional Rock Mechanics Symposium, Sivas, Türkiye. 337-347.
- Erçıkıdı, B., 2004-b. Araklı Taşönü Kalker Ocağından Yapılan Atımların Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Erdaş, O., 1981. Orman Yolları Yapımında Patlayıcı Maddeler ile Kayaların Parçalanması, K.T.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Trabzon. 4, 2, 397-418.
- Erdaş, O., 1986. Orman Yollarında Proje ve Yapım Tekniğine Bağlı Olarak Kazı ve Taşıma Makinelerinin Rasyonel Kullanımı, Ormancılıkta Mekanizasyon ve Verimliliği 1. Ulusal Sempozyumu, 8-12 Temmuz 1985, Bolu, MPM Yayın No:339, Ankara, 110-128.
- Erdaş,O., Acar, H.H.,Tunay, M. ve Karaman, A., 1995. Türkiye'de Orman İşçiliği ve Üretim, Orman Yolları, Orman Ürünleri Transportu, Ormancılıkta Mekanizasyon ve Mülkiyet-Kadastro ile İlgili Sorunlar ve Çözüm Önerileri, Türkiye Ormancılık Raporu, KTÜ Orman Fakültesi Yayın No:48, Trabzon, 44-79.
- Erdaş, O., 1997. Orman Yolları, Cilt II, KTÜ Orman Fakültesi Yayın No:188/26 Trabzon,
- Erkan, Y., 2006. Mağmatik Petrografi, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları No:93, ISBN:9944-89-062-6, Ankara, 176 s.
- Eroğlu, H., 2003. Orman Yollarında Kağıt Fabrikası Atığının Stabilizasyon Amaçlı Kullanımı Üzerine Bir Araştırma, K.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Trabzon, 172 s.
- FAO, 1985. Logging and Transport in Steep Terrain, Forestry Paper 14, Rev.1, ISBN 92-5-102218-6, Rome, 1985. 333 s.
- Fiebiger, 1999. Torrent and Landslide Control Management in Austria, Austrian Forest Technical Service in Torrent and Avalanche Control, Salzburg and Hallein.
- Fraklin, J.A., Broch, E. ve Walton, G., 1971. Logging the Mechanical Character of Rock, Trans., Inst., of Mining and Metallurgy, A1-9, 80.
- Gorton, F., 1985. Praxis und Kosten Einer Landschaftsschonenden Bauausführung von Forststrassen Allgemeine Forstzeitung, 96, 9, 214-244.
- Görcelioğlu, E., 1974. Türkiye'de Toprak Erozyonunun Kapsam ve Önemi, İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi, Seri B, 24, 1. İstanbul.
- Görcelioğlu, E., 2003. Sel ve Çığ Kontrolü, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No: 4415, Orman Fakültesi Yayın No: 473, ISBN: 975-404-688-3, İstanbul, 384 s.

- Gustafsson, T., 1973. Swedish Blasting Technique, Barutsan Dergisi, Ankara, 3, 17-18.
- Gümüş, S., 2003. Üretim, Milli Park ve Yangına Hassas Alanlarda Orman Yol Ağının Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Planlanması, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Heinrich, R., 2001. The FAO Programme on Forest Harvesting, Engineering and Environment, Proceeding of The International Mountain Logging and 11th Pacific Northwest Skyline Symposium, p.183-189, College of Forest Resources, University of Washington and International Union of Forest Research Organisation, Seattle, WA, December 10-12, 2001, USA.
- Hyundai, 2008. Hyundai Roex 210LC-7 Paletli Hidrolik Ekskavatör Katalogu, 28 s.
- Instantel, 2006. Instantel Minimate Plush Operator Manuel, Instantel Inc. Canada Press, No: 716U0101, Rev. 14, Ottawa, Ontario, Canada.
- I.S.R.M, 1979. Suggested Methods for Determining The Uniaxial Compressive Strength and Deformability of Rock Material, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. And Geomech. Abstr., 16, 135-140.
- I.S.R.M, 1981. Rock Characterization Testing and Monitoring, ISRM Suggested Methods, International Society for Rock Mechanics, E.T.. Brown (Ed.), Pergamon Press, Oxford. 211 p.
- I.S.R.M, 1985. Suggested Method for Determining Point Load Strength, International Journal of Rock Mechanics, Mining Sciences and Geomechanical Abstracts, 22, (2), 51-60 p.
- İzbırak, R., 1964. Coğrafya Terimleri Sözlüğü, Doğu Matbaası Ankara.
- Johnston, G.J. ve Durucan, Ş., 1994. The Numerical Prediction, Analysis and Modeling of Ground Vibration Induced by Blasting, Third International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection, Istanbul, Turkey, 18-20 October 1994.
- Kahriman, A., Ceylanoğlu, A., Demirci, A., 1996. Sivas Ulaş Yöresi Sölesit Açık İşletmesinde Basamak Patlatmasından Kaynaklanan Yer Sarsıntısı Ölçüm Sonuçları ve Değerlendirilmesi, 2. Delme ve Patlatma Sempozyumu, Ankara, Bildiriler Kitabı, 89-96.
- Kahriman, A., Tuncer, G. ve Görgün, S., Karadoğan A.K. 1998. Patlatmalı Kazılardan Kaynaklanan Titreşimlerin Kentsel Yerleşim Alanlarına Etkileri ve Alınacak Önlemler, Jeoloji ve Kentleşme Sempozyumu, 19-20 Kasım 1998, İstanbul.
- Kahriman, A., Karadoğan, A., Görgün, S. ve Tuncer, G., 1999. Taşocaklarında Patlatmadan Kaynaklanan Yer Sarsıntısının Ölçülmesi ve Analizi, 2. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, 3-4 Haziran 1999, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 129-142.
- Kahriman, A., Karadoğan, A., Tuncer, G., Erdim, H., Göze, B., Göker, Z., Çakmak, F. ve İlkışık, M., 2005. KKTC Taş Ocaklarında Patlatmalı Kazı Çalışmalarından

- Kaynaklanan Titreşim ve Hava Şokunun Çevresel Etkisinin İncelenmesi, 1. Taşocakları Kongresi, 12-14 Ocak 2005 Lefkoşa, KKTC, Bildiriler Kitabı, 77-91.
- Karpuz, C. ve Hindistan M. A., 2006. Kaya Mekaniği (İlkeleri, Uygulamaları), TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayın No: 116, İkinci Baskı, ISBN 9944-89-166-5, Ankara, 346 s.
- Katz, O., Reches, Z. ve Roegiers J. C., 2000. Evaluation of Mechanical Rock Properties Using a Schmidt Hammer, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 37 (2000),723-728.
- Kecojevic, V. ve Radomsky, M., 2005. Flyrock phenomena and area security in blasting-related accidents, *Safety Science*, 43 (2005) 739–750.
- Keser, O., 2002. Kontrollü Patlatma Tekniklerinin İncelenmesi ve Uygulama Yöntemlerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Kesimal, A., Erçıkıdı, B., Kaya, R. ve Yılmaz, E., 2003. Trabzon İli, Araklı İlçesi, Taşönü Köyü Hudutlarında Bulunan Kalker Taşocağının Üretiminde Patlatmadan Kaynaklanan Titreşimlerin Ölçüm Sonuçları ve Değerlendirilmesi, KTÜ, Döner Sermaye Projesi, Trabzon.
- Kesimal, A., 2004. Delme-Patlatma Lisans Ders Notları, Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon.
- Kesimal, A., 2005. Patlayıcı Maddelerle Arazi Gevşetme, Yüksek Lisans Ders Notları, KTÜ Trabzon, 2005, Trabzon.
- Kesimal, A., 2007. Kaya Mekaniği Laboratuvarı Ders Notları, Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü.
- Kesimal, A., Erçıkıdı, B., Cihangir, F., Yılmaz, E. ve Durmuş, O., 2007. Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki Açık Ocaklarda Yapılan Üretim Patlatmalarından Kaynaklanan Sarsıntı Parametrelerinin Ölçümü ve Standartların Oluşturulması, KTU Araştırma Fonu Sonuç Raporu, 152 s.
- Komatsu, 2008. Komatsu PC220-7 Paletli Hidrolik Ekskavatör Katalogu, 42 s.
- Kolleth, H., 1990. Overview of Open-pit Mines for Mining Technologies with High Outputs, *Bulk Solid Handling*, 10, 1, 29-35.
- Konya, C.J. ve Walter, E.J., 1990. Surface Blast Design, A. A. Balkema New Jersey.
- Kristen, H.A.D., 1982. Specifications and Application Handbook, Komatsu Ltd., 6th Edition, Alaska, Minato-ku, Tokyo, Japan.
- Langefors, U. ve Khilström, B., 1978. The Modern Technique of Rock Blasting, Third Edition, Stockholm, Sweden.
- Liebherr, 2008. Liebherr A904 Paletli Hidrolik Ekskavatör Katalogu, 36 s.

- Lindsey, D., E. 1989. An Investigation Of Blasting Criteria For Structural And Ground Vibrations, Ohio University, The Faculty of the College of Engineering and Technology, MsC thesis, June 1989, Ohio, USA, 92 s.
- McKelvey, K.S., Schwartz, M.K. ve Ruggiero, L.F. 2002. Why is connectivity important for wildlife conservation?, www.wildlifecrossings.info, 18 Nisan 2007.
- Melemez, K., 2004. Dağlık Arazideki Orman Yol İnşaatında Uygulanan Mekanizasyonun Çevresel Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın.
- MKE, 2008. Makine ve Kimya Endüstrisi Kurumu Ürün Katalogu, İnfilaklı Kapsüller, Ankara, 14 s.
- OGM, 1984. Orman Yolları Planlaması ve İnşaat İşlerinin Yönetilmesi Hakkında 202 Sayılı Tebliğ, OGM, İnşaat Dairesi Başkanlığı, Ankara, 497 s.
- OGM, 2004. Orman Genel Müdürlüğü 2004 Yılı Döner Sermaye Bütçesi, APK Dairesi Başkanlığı Şubat, 2004, Ankara, 156 s.
- OGM, 2006. Orman Genel Müdürlüğü 2006 Yılı Döner Sermaye Bütçesi, Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, Şubat 2006, Ankara, 170 s.
- OGM, 2007. Orman Yol Ağı Planlarının Düzenlenmesine Dair Yönetmelik, Çevre ve Orman Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü, 1 Temmuz 2007, Resmi Gazete, Sayı:26569, Ankara, 150 s.
- OAKES, 1958. Türkiye Toprakları TYZMB Yayını, Sayı 18, İzmir.
- Olofsson, S. O., 1988. Applied Explosives Technology for Construction and Mining, Sweden.
- Onargan, T., Yayla, N., Gönen, A., Kaya, E. ve Germen, M., 2003. Açık Ocak Tasarımı ve Planlaması, Delik Delme Patlayıcı Maddeler ve Kullanımı Eğitim Semineri, Yurt Madencilik Geliştirme Vakfı, İstanbul.
- OSMRE Bulletin, USA, 1983.
- Otuonye, F. O., 1981. Effective Blasthole Stemming, Doctorate Thesis, The Ohio State University, Ohio, United States.
- Özberk, H., 2003. Kayaçların Fiziko-Mekanik Özellikleri Arasındaki İlişkiler, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Özdamar, K., 2002. Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi Cilt 1, Kaan Kitabevi, 4. Baskı, Eskişehir, 686 s.
- Paşamehmetoğlu, G., Özgenoğlu, A. ve Karpuz, C., 1991. Kaya Şev Stabilitesi, (Yazarlar: Hoek, E., Bray, J.W.) Maden Mühendisleri Odası Yayını, İkinci Baskı, ISBN 975-395-028-4, Ankara, 359 s.

- Persson, P.A., Holmberg, R. ve Lee, J., 1994. Rock Blasting and Explosive Engineering, 3rd Edition, 1994 by CRC Press LLC, ISBN 0-8493-8978-X, CRC Press Boca Raton, Florida, USA.
- Revey, G. F. 2006. Evaluating and Managing Blasting Risk, P. Eng., Principal, REVEY Associates, Inc, Littleton, CO InstanTel Inc. Technical Notes, USA.
- Raina, A.K. ve Chakraborty, A.K., Choudhury, P.B., Ramulu, M., Bandyopadhyay, C., 2004. Human response to blast-induced vibration and air-overpressure: an Indian scenario, Bulletin of Engineering Geology and The Environment, 63, 209-214.
- Schmidt, E., A 1951. Non-destructive Concrete Tester, Concrete, 59, 8, 34-35.
- Sekendiz, O., A.ve Özder, Z., 1983. Doğu Karadeniz Ormanlarında Yamaç Yollarının Kabuk Böceği (scolytidae) Salgınları Üzerine Etkileri, K.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, 6, 1, 127-135.
- Singh, S.P., 1993. Prediction and Determination of Explosive Induced Damage, FRAGBLAST-4. Proceedings 4th International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting. Rossmanith, H.P. (ed.). Rotterdam, Balkema, 183-192.
- Spinelli, R. ve Marchi, E., 1996. A Literature Review of The Environmental Impacts Of Forest Road Construction, Proceeding of The Seminar on Environmentally Sound Forest Roads and Wood Transport, 1996,17-22 June, Sinaia, Romania, Italy. 261-275.
- Sumitomo, 2008. Sumitomo SH200LC-3 Paletli Hidrolik Ekskavatör Katalogu, 47 s.
- ŞOİŞAP, 2003. Şalpazarı (Gökçeşar) Orman İşletme Şefliği Orman Amenajman Planı, Trabzon OBM, Torul OİM.
- Tavşanoğlu, F., 1974. Sel Yataklarının Tahkimi, İ.Ü. Yayın No.1972, Orman Fakültesi Yayın N: 2003, İstanbul.
- TOBM, 2005. Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü, Makine İkmal Şubesi ve Muhasebe Kayıtları, Torul OİM, Alacadağ OİŞ 126 kodlu yol inşaatı sözleşme dosyası.
- TOBM, 2006. Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü, Makine İkmal Şubesi ve Muhasebe Kayıtları, Torul OİM Alacadağ OİŞ 120 kodlu yolun inşaatı sözleşme dosyası.
- TOBM, 2007. Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü, Makine İkmal Şubesi ve Muhasebe Kayıtları, Trabzon OİM, Şalpazarı OİŞ 002, Vakfıkebir 011 ve 029 kodlu yol inşaatları ve sözleşme dosyası.
- Topal, T., 2000. Nokta Yükleme Deneyi ile İlgili Uygulamada Karşılaşılan Problemler, Teknik Not, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, sy. 73-86, Cilt 23/24, Sayı: 1, 1999/2000, Ankara.
- Tunay, M. ve Melemez, K., 2004. Dik Eğimli Arazide Orman Yol İnşaatının Çevresel Etkileri, Ekoloji Dergisi, İzmir, 13, 52, 33-37.

- USBM, 1980. U.S. Bureau of Mines, RI 8507, (Siskind, D.E., Stagg, M.S., Kopp, J.W., Dowding, C.H., 1980, Structure Response and Damage Produced by Ground Vibration from Surface Mine Blasting) 74 p.
- USFWS, 1993. United State Fish and Wildlife Service, Grizzly Bear Recovery Plan. U.S. Fish and Wildlife Service, Missoula, Montana, USA. 181 p.
- Ünal, D., 2005. Açık İşletmelerde Kullanılan Patlayıcılar ve Patlamalardaki Yeni Teknolojiler ve Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- VOİŞAP, 2003. Vakfikebir Orman İşletme Şefliği, Vakfikebir Bölgesi Orman Amenajman Planı, Trabzon OBM, Torul OİM.
- Verakis, H.C. ve Lobb, T.E., 2003. An analysis of surface coal mine blasting accidents. 2003 SME Annual Meeting, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Littleton, Preprint, 03-081.
- Winkler, N., 1998. Environmentally Sound Road Construction in Mountainous Terrain, FAO Forest Harvesting Case-Study 10, Rome, Italy. 55 p.
- Yıldırım, M., 1989. Ormancılık İş Bilgisi, İstanbul Üniversitesi, İ.Ü. Yayın No:3555, Orman Fakültesi Yayın No: 404, İstanbul. 287 s.
- Young, C., 1999. Controlled Foam Injection for Hard Rock Excavation, 37th U.S. Rock Mechanics Symposium 1999, 6-9 June, Vail, Colorado – USA, 22 p.

7. EKLER

Ek-1.

Orman Yollarında Kaya Patlatmaları Sırasında Yapılan
Atımların USBM ve OSM Hasar Kriterlerine Göre Değerlendirmesi
(Titreşim Ölçer Cihazı Örnek Çıktıları)



Event Report

Date/Time Vert at 13:16:58 October 27, 2005
 Trigger Source Geo: 0.508 mm/s
 Mic: 131 dB(L)
 Range Geo :31.7 mm/s
 Record Time 7.25 sec (Auto=3Sec) at 1024 sps
 Job Number: 1

Serial Number BE10315 V 8.01-8.0 MiniMate Plus
 Battery Level 6.2 Volts
 Calibration June 29, 2005 by InstanTel, Inc
 File Name L315AV61.8A0

Notes

Location: Gumushane
 Client:
 User Name:
 General: Yol kazisi patlatmalı kazı

Extended Notes

Post Event Notes

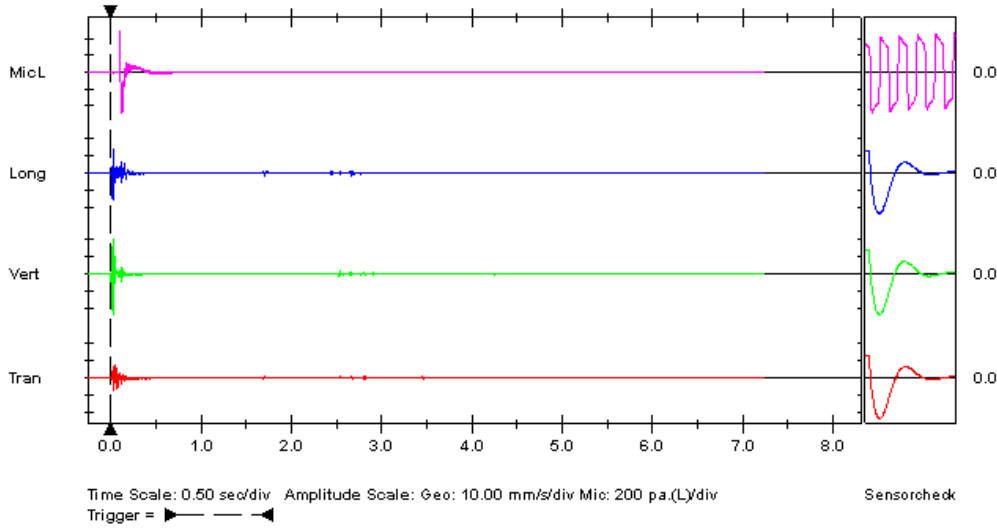
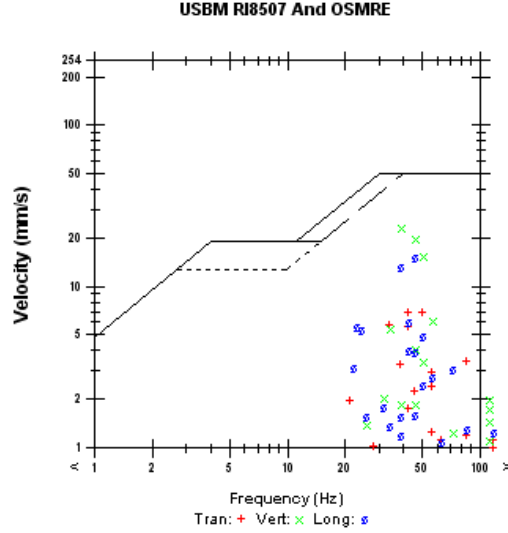
1- Alacadağ 126 Kodlu yol, II. Sismograf, 2- Cihaz yamaçta kuruldu, uzaklık 48 m, 3- Toplam 28 delik, delik boyu 1.5-2.4m
 4- Toplam patlayıcı 17,34 kg, 5- Hepsi 5/K (150 ms) kapsül, 6- Tas 55 m de adağ gövdesinde yara, dal tepe kırıldı.

Microphone Linear Weighting
 PSPL *** dB(L) at 0.098 sec
 ZC Freq 43 Hz
 Channel Test Passed (Freq = 20.1 Hz Amp = 531 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	6.95	23.5	15.4	mm/s
ZC Freq	51	39	47	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.038	0.021	0.021	sec
Peak Acceleration	0.267	0.676	0.358	g
Peak Displacement	0.0475	0.0868	0.0489	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.2	7.5	7.4	Hz
Overswing Ratio	4.2	3.7	4.3	

Peak Vector Sum 27.8 mm/s at 0.021 sec

*** : Out of Range



Printed: August 6, 2008 (V 8.01 - 8.01)

Format Copyrighted 1996-2004 InstanTel Inc.

Ek-1 Şekil 1. AD-1 nolu atıma ait parçacık hızı bileşenlerinin hızları ve frekansları



Event Report

Date/Time Vert at 13:58:23 October 20, 2007
 Trigger Source Geo: 0.508 mm/s
 Range Geo: 254 mm/s
 Record Time 1.0 sec at 1024 sps
 Job Number: 1

Serial Number BE11697 V 8.01-8.0 MiniMate Plus
 Battery Level 6.2 Volts
 Calibration October 13, 2006 by InstanTel Inc.
 File Name MB97BWDG.5B0

Notes

Location: OGM
 Client:
 User Name: Sadik CAGLAR
 General:

Extended Notes

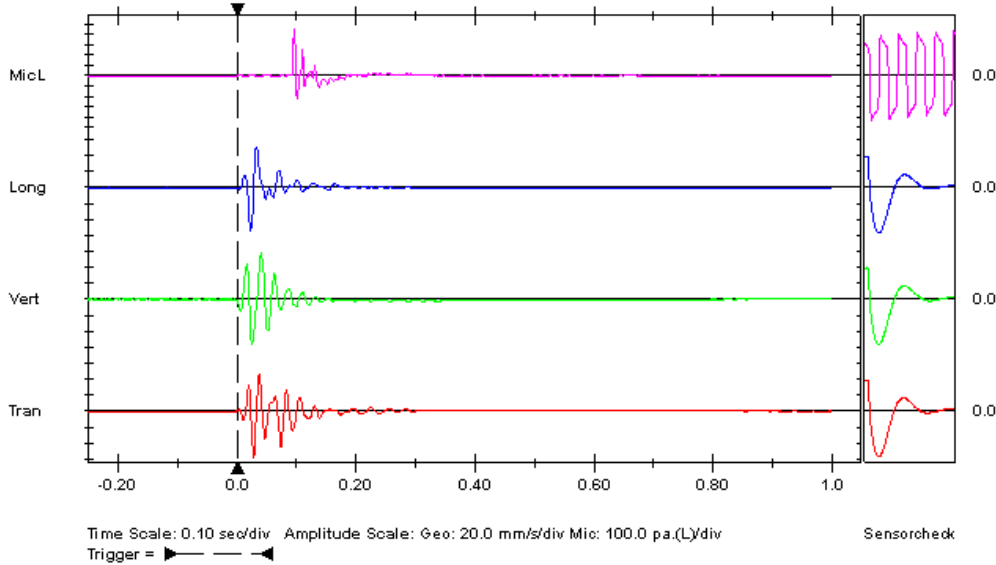
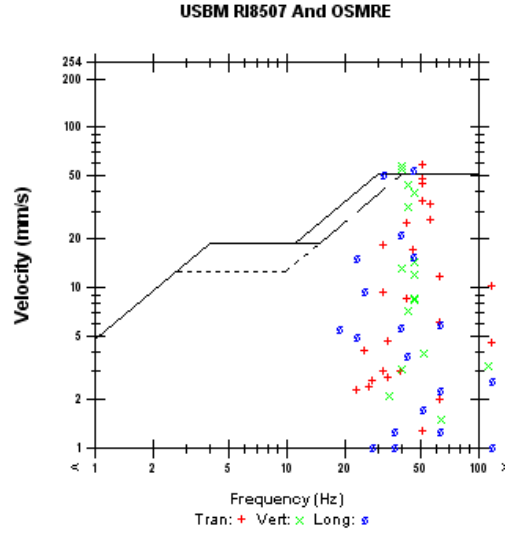
Post Event Notes

1- Vakfıkebir 11Kodlu yol, 2-Sismograf yamacta 46 m ye kuruldu. 3- Toplam 12 delik delik boyu 1,8m-3,2 m. 4- Toplam patlayıcı 15 kg kullanıldı. 5- 5K(150 ms) kapsul, 6-Tas 35 m dal tepe kinilmesi gozlendi.

Microphone Linear Weighting
 PSPL 147.1 dB(L) at 0.096 sec
 ZC Freq 32 Hz
 Channel Test Passed (Freq = 20.5 Hz Amp = 520 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	58.2	58.8	55.1	mm/s
ZC Freq	51	39	47	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.028	0.041	0.023	sec
Peak Acceleration	1.90	1.84	1.87	g
Peak Displacement	0.237	0.347	0.198	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.5	7.4	7.2	Hz
Overswing Ratio	4.0	4.0	4.1	

Peak Vector Sum 78.4 mm/s at 0.025 sec



Printed: August 6, 2008 (V 8.01 - 8.01)

Format Copyrighted 1996-2004 InstanTel Inc.

Ek-1 Şekil 2. VK-1 nolu atıma ait parçacık hızı bileşenlerinin hızları ve frekansları

Ek-2

Orman Yollarında Kaya Patlatmaları Sırasında Yapılan
Atımların DIN 4150 Hasar Kriterlerine Göre Değerlendirmesi
(Titreşim Ölçer Cihazı Örnek Çıktıları)



Event Report

Date/Time Vert at 13:16:58 October 27, 2005
 Trigger Source Geo: 0.508 mm/s
 Mic: 131 dB(L)
 Range Geo :31.7 mm/s
 Record Time 7.25 sec (Auto=3Sec) at 1024 sps
 Job Number: 1

Serial Number BE10315 V 8.01-8.0 MiniMate Plus
 Battery Level 6.2 Volts
 Calibration June 29, 2005 by Instantel,Inc
 File Name L315AV61.8A0

Notes

Location: Gumushane
 Client:
 User Name:
 General: Yol kazisi patlatmalı kazı

Extended Notes

Post Event Notes

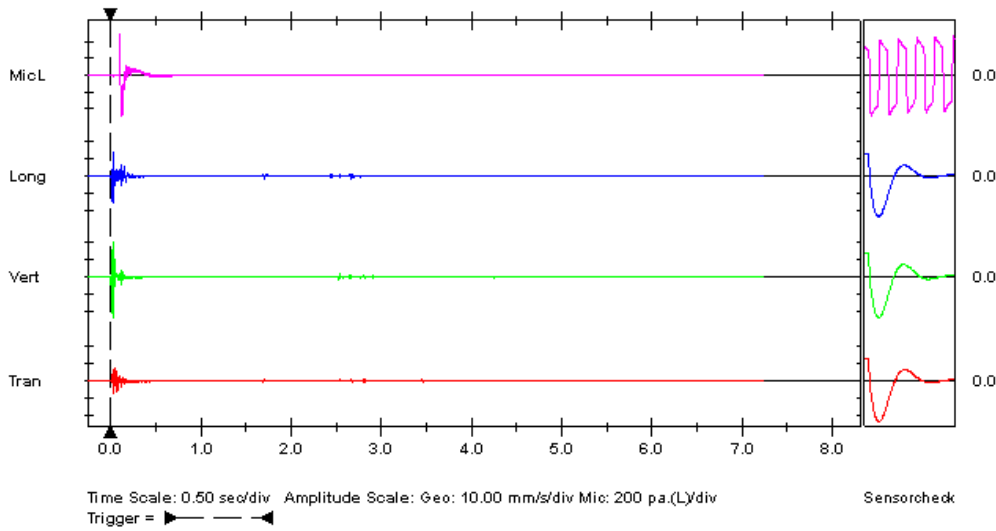
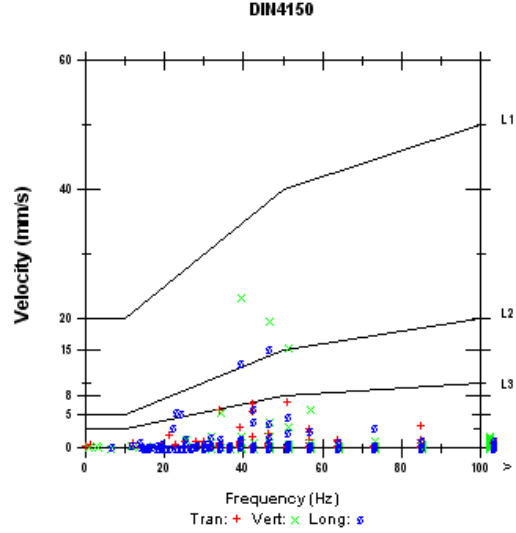
1- Alacadağ 126 Kodlu yol, II. Sismograf, 2- Cihaz yamaçta kuruldu, uzaklık 48 m, 3- Toplam 28 delik, delik boyu 1.5-2.4m
 4- Toplam patlayıcı 17,34 kg, 5- Hepsi 5/K (150 ms) kapsül,6-Tas 55 m de adağ gövdesinde yara, dal tepe kırıldı.

Microphone Linear Weighting
 PSPL *** dB(L) at 0.098 sec
 ZC Freq 43 Hz
 Channel Test Passed (Freq = 20.1 Hz Amp = 531 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	6.95	23.5	15.4	mm/s
ZC Freq	51	39	47	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.038	0.021	0.021	sec
Peak Acceleration	0.267	0.676	0.358	g
Peak Displacement	0.0475	0.0868	0.0489	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.2	7.5	7.4	Hz
Overswing Ratio	4.2	3.7	4.3	

Peak Vector Sum 27.8 mm/s at 0.021 sec

*** : Out of Range



Printed: August 6, 2008 (V 8.01-8.01)

Format Copyrighted 1996-2004 Instantel Inc.

Ek-2 Şekil 1. AD-1 nolu atıma ait parçacık hızı bileşenlerinin hızları ve frekansları



Event Report

Date/Time Vert at 13:58:23 October 20, 2007
 Trigger Source Geo: 0.508 mm/s
 Range Geo :254 mm/s
 Record Time 1.0 sec at 1024 sps
 Job Number: 1

Serial Number BE11697 V 8.01-8.0 MiniMate Plus
 Battery Level 6.2 Volts
 Calibration October 13, 2006 by InstanTel Inc.
 File Name M697BWDG.5B0

Notes
 Location: OGM
 Client:
 User Name: Sadik CAGLAR
 General:

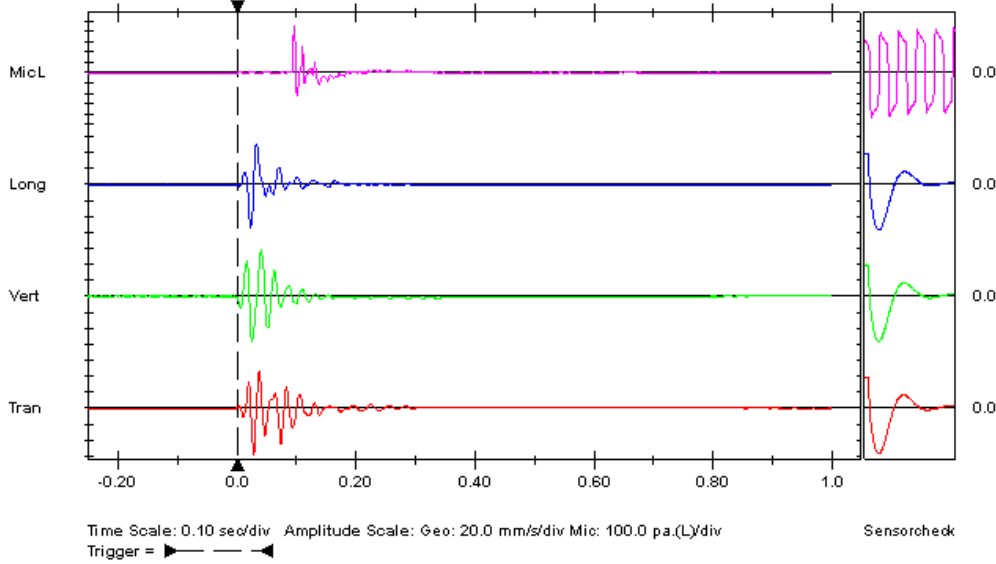
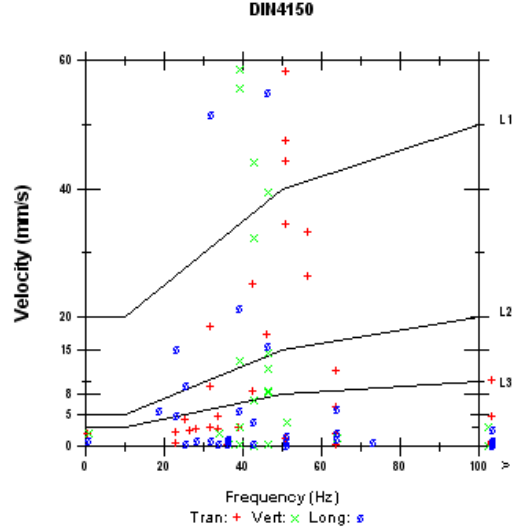
Extended Notes

Post Event Notes
 1-Vakfikebir 11Kodlu yol, 2-Sismograf yamacta 46 m ye kuruldu. 3-
 Toplam 12 delik delik boyu 1,8m-3,2 m. 4- Toplam patlayici 15 kg
 kullanildi.5- 5K(150 ms) kapsul, 6-Tas 35 m dal tepe kirlmesi
 gozlendi.

Microphone Linear Weighting
 PSPL 147.1 dB(L) at 0.096 sec
 ZC Freq 32 Hz
 Channel Test Passed (Freq = 20.5 Hz Amp = 520 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	58.2	58.8	55.1	mm/s
ZC Freq	51	39	47	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.028	0.041	0.023	sec
Peak Acceleration	1.90	1.84	1.87	g
Peak Displacement	0.237	0.347	0.198	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.5	7.4	7.2	Hz
Overswing Ratio	4.0	4.0	4.1	

Peak Vector Sum 78.4 mm/s at 0.025 sec



Printed: August 6, 2008 (V 8.01 - 8.01)

Format Copyrighted 1996-2004 InstanTel Inc.

Ek-2 Şekil 2. VK-1 nolu atıma ait parçacık hızı bileşenlerinin hızları ve frekansları

ÖZGEÇMİŞ

Sadık ÇAĞLAR, 1978 yılında Ordu ili Aybastı ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Ordu'da tamamladı. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümüne 1994 yılında kaydını yaptırdı ve 1998 yılında mezun oldu. 1999 yılında, Kafkas Üniversitesi, Artvin Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Orman İnşaatı Geodezi ve Fotogrametri Anabilim Dalı Araştırma Görevlisi sınavını kazanarak çalışmaya başladı.

Yüksek lisansını, 2002 yılında Kafkas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı'nda tamamladı. Aynı yıl T.C. Yükseköğretim Kurumu'nun 35. maddesi uyarınca kadro aktarımı yapılarak KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Anabilim dalında çalışmaya başladı. 2002 yılında KTÜ Yabancı Diller Bölümünde bir yıl süre ile İngilizce hazırlık okudu. 2003 yılında KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalında doktora öğrenimine başladı.

2006 yılı bahar döneminde Sokrates-Erasmus programı kapsamında kazandığı burs ile 6 ay süre ile Avusturya / Viyana'da Bodenkultur Üniversitesi'nde (BOKU) çalışmalarda bulundu. Ayrıca Polonya'da Krakow (2005) ve Varşova (2007)'de uluslararası bilimsel toplantılarda sözlü bildiriler sundu. Ulusal ve uluslararası bildiri ve yayınları vardır.

Sadık ÇAĞLAR, halen KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü bünyesinde Araştırma Görevlisi olarak devam etmektedir. Yabancı dili İngilizce olup evli ve bir çocuk sahibidir.