

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KÖMÜR DAMARI İÇİ PATLATMA KAYNAKLI KANAL DALGALARININ
VE
ÇEVRESEL ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Ezel BABAYİĞİT

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ANKARA

2012

Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KÖMÜR DAMARI İÇİ PATLATMA KAYNAKLI KANAL DALGALARININ VE ÇEVRESEL ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Ezel BABAYİĞİT

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. G. Gülsev UYAR ALDAŞ

Açık ocak işletmeciliği ile üretim yapılan kömür madenlerinde, dekapaj malzemesi veya kömür içerisinde yapılan patlatmalar, getirdiği ekonomik kazanımlar nedeniyle vazgeçilmezdir. Bununla beraber, patlatmalar sonucu oluşan titreşimler ocak çevresindeki yerleşimler için önemli sorunlar oluşturmaktadır.

Patlatmaların kömür madeni çevresindeki yerleşimlerde oluşturduğu titreşimlerin etkisi, kömür damarının bu yerleşim yerlerinin altına doğru devam etmesi durumunda normalden daha fazla olmaktadır. Bunun sebebi, etrafındaki kayaçlar ile kıyaslandığında düşük sismik hız ve yoğunluğa sahip olan kömür damarı içerisinde gelişen kanal dalgalarıdır. Kanal dalgaları damar kalınlığına bağlı olarak uzun mesafeler kat edebilir ve normalden birkaç kat daha fazla titreşim etkisi yaratabilir.

Maden ve jeofizik mühendisleri kanal dalgalarından üretim ve araştırma faaliyetleri sırasında çeşitli şekillerde yararlanmaktadırlar. Bu çalışmada öncekilerden farklı olarak, kanal dalgalarının yerleşim yerlerinde oluşturduğu titreşim etkisi, model çalışmaları ve bir açık ocak kömür madeninde iki grup patlatma ile yapılan arazi deneyi ile incelenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Patlatma kaynaklı titreşimlerin azaltılması çalışmalarında genel beklenti, titreşimlerin mesafeyle azalması yönündedir. Bu çalışma, kömür gibi etrafındaki kayaçlara göre düşük sismik hız ve yoğunluğa sahip damarlarda gelişebilen kanal dalgalarının, titreşimleri genel beklentinin aksine çok uzak mesafelere taşıyabileceğine dikkat çekmektedir.

2012, 74 sayfa

Anahtar Kelimeler

Patlatma, kömür ocağı, kanal dalgaları, yönlenmiş dalgalar, sönen dalgalar

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF BLAST-INDUCED IN-SEAM CHANNEL WAVES AND THEIR ENVIRONMENTAL IMPACTS

Ezel BABAYİĞİT

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geophysical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. G. Gülsev UYAR ALDAŞ

Blasting in coal or rock material in open pit mines is indispensable because of its economic gains. Nevertheless, blast-induced vibrations constitute significant problems for surrounding settlements.

The effects of blast-induced vibrations at the surrounding settlements are more than usual if coal seam continues through under the settlement. The reason for this case is formation of channel waves that occur in coal seam which has low density and low seismic velocity according to neighboring rocks. Channel waves, capable of traveling long distance depending on the seam thickness and their vibration effects, have several times high amplitudes than the usual waves.

Mining and geophysical engineers use channel waves a variety of ways in their production and research activities. In this study, unlike previous studies, channel waves induced vibration effects in settlements are investigated with model studies and field experiments including 2 group blasts at an open pit mine. The general expectation in minimizing blast-induced ground vibration works is that decreasing vibration with increasing distance. This study points out that, contrary to the general expectation, channel waves move the vibration with longer distances without decreasing their amplitudes.

2012, 74 pages

Key words

Blasting, coal mine, channel waves, guided waves, evanescent waves

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın her aşamasında, bilgi ve deneyimi ile yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Gülsev UYAR ALDAŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans çalışmalarına başlamam konusunda beni cesaretlendiren ve değerli görüşleri ile her zaman destek olan Jeofizik Yüksek Mühendisi İsmail ERGÜDER'e teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın arazi deneyleri, "Patlatmaların doğrusal olmayan davranışlarının patlatma verimliliğine etkilerinin araştırılması" adlı TÜBİTAK projesinin arazi çalışmaları sırasında gerçekleştirilmiştir. Tez çalışmasında kullanılan modelleme programını geliştiren, ayrıca arazi deneyleri ve modelleme konularında yardımını esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Berkan ECEVİTOĞLU'na, arazi deneyi sırasındaki yardımlarından dolayı Yrd. Doç. Dr. Bülent KAYPAK ve Jeofizik Yüksek Mühendisi Aslı Zeynep CAN'a, çalışmalara destek veren TKİ Yeniköy Linyitleri İşletmesi personeline, ayrıca çalışmalarım sırasındaki manevi desteğinden dolayı sevgili eşime teşekkürlerimi sunarım.

Ezel BABAYİĞİT

Ankara, Haziran 2012

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER DİZİNİ	vi
Kısaltmalar	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	6
3. ÇALIŞMA ALANI	15
3.1 Genel Jeoloji	15
3.1.1 Neojen Öncesi Kayaçlar	18
3.1.2 Neojen Çökelleri	18
3.1.2.1. Denizel Kökenli Çökeller	19
3.1.2.2. Taban Serisi (Ks)	19
3.1.2.3. Kömür Horizonu	19
3.1.2.4. Marn Kireçtaşı Serisi (Mk)	21
3.1.2.5. Yamaç Molozları, Heyelanlar ve Alüvyon	21
4. KURAMSAL GELİŞME	23
4.1. Sismik Dalgalar	23
4.2. Kanal Dalgaları ve Sönen Dalgaların Oluşum Mekanizmaları	27
4.3. Kanal Dalgalarında Soğrulma ve Dispersiyon	34
5. MODEL ÇALIŞMALARI	39
5.1 Model 1	40
5.2 Model 2	42
5.3 Model 3	44
5.4 Model 4	46
5.5 Model 5	47
6. ARAZİ ÇALIŞMASI	50
6.1. Patlatma Geometrisi	50
6.2. Jeofonlar	51
6.3 Arazi Çalışması	52
SONUÇLAR	55
KAYNAKLAR	58
EKLER	64
EK 1 – 1.Patlatma 1. Jeofon kaydı	65
EK-2 – 1.Patlatma 2. Jeofon kaydı	66
EK-3 – 1.Patlatma 3. Jeofon kaydı	67
EK-4 – 1.Patlatma 4. Jeofon kaydı	68
EK-5 – 2.Patlatma 1. Jeofon kaydı	69
EK-6 – 2.Patlatma 2. Jeofon kaydı	70

EK-7 – 2.Patlatma 3. Jeofon kaydı.....	71
EK-8 – 2.Patlatma 4. Jeofon kaydı.....	72
ÖZGEÇMİŞ	73

SİMGELER DİZİNİ

ω	Açısal frekans
$A(\omega)$	Açısal frekansa bağlı sönen dalga genliği
f_i	Alt etken frekans
Al	Alüvyon
P	Basınç
V_1	Birinci tabakanın sismik hızı
K	Bulk modülü
ε_D	Çapsal birim deformasyon
F	Çıkış sinyalinin genliği
M	Denizel fasiyesteki fosilli kireçtaşları
M_s	Denizel fasiyesteki kum, silt ve konglomeralar
b	Dispersif faktörü
ε_L	Eksenal birim deformasyon
θ_i	En küçük frekansa bağlı açı
θ_a	En büyük frekansa bağlı açı
$\theta(f)$	Frekansa bağlı geliş açısı
$V(\omega)$	Frekans bağımlı hız
θ	Geliş açısı
G	Giriş sinyalinin genliği
V	Hacim
ΔV	Hacim değişimi
H	Hilbert dönüşümü
V_2	İkinci tabakanın sismik hızı
$A-A'$	Jeolojik kesit doğrultusu
K_s	Kil, silt, kum, çakıltaşı serisi
M_k	Kireçtaşı serisi
i_c	Kritik açı
τ	Makaslama gerilmesi
x	Mesafe
T_m	Metamorfik şist ve mermer

V_P	P dalga hızı
z	Patlatma noktasının arayüze dik uzaklığı
ν	Poisson oranı
V_S	S dalga hızı
μ	Shear modülü
V_0	Sıfır frekans hızı
Q	Sismik kalite faktörü
α	Soğrulma katsayısı
V_∞	Sonsuz frekans hızı
h	Tabaka kalınlığı
f_a	Üst etken frekans
x_a	Yatay mesafe
ρ	Yoğunluk
E	Young modülü
t	Zaman

Kısaltmalar

ALS	Uyarlamalı gecikme toplamı
CDP	Ortak derinlik noktası
DTG	Dinamik iz toplamı
PPV-SD	En yüksek parçacık hızı – Ölçekli mesafe
VSP	Düşey sismik profil

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1	Çalışma alanı yer bulduru haritası (http://maps.google.com/) 15
Şekil 3.2	Hüsamlar Köyü civarının jeoloji haritası (Yiğitel, 1981) 16
Şekil 3.3	Çalışma alanı civarının ölçeksiz stratigrafik dikme kolon kesiti (Engin, 1999'dan değiştirilerek) 17
Şekil 3.4	Kömür üretimi yapılan açık ocak ve çalışma alanı olan Hüsamlar köyünün görünümü (http://maps.google.com/)..... 18
Şekil 3.5	Hüsamlar Köyü ve açık ocaktan geçen jeolojik kesit A-A' (Yiğitel,1981) 20
Şekil 3.6	Hüsamlar Köyü altına doğru devam eden kömür damarı 20
Şekil 4.1	Altta ve üstte göreceli olarak yüksek sismik hızlı tabakalar bulunan düşük sismik hızlı bir tabaka içerisinde oluşan kanal dalgaları 28
Şekil 4.2	Love ve Rayleigh tipi kanal dalgalarındaki parçacık hareketleri (Krey, 1976) 28
Şekil 4.3	Yansıma ve kırılmanın sanal açıları (Sheriff ve Geldart, 1982) 29
Şekil 4.4	Düşük-yüksek sismik hızlara sahip iki tabakanın ara yüzeyinde oluşan sönen dalgalar 30
Şekil 4.5	Kanal özelliği gösteren düşük sismik hızlı tabaka ara yüzeylerinde oluşan sönen dalgalar 31
Şekil 4.6	Kömür damarı tavanında yapılan patlatma sonucu (tavan vuruşu) oluşan dalgalar 32
Şekil 5.1	Patlatma ile oluşan en büyük mutlak genliklerin uzaklıkla ilişkisini gösteren grafik..... 40
Şekil 5.2	50 m örtü tabakası altında kömür olmadığı durumda oluşan direk, yüzey ve toplam dalgaların en büyük mutlak genlikleri 41
Şekil 5.3	50 m örtü tabakası altında bulunan 5 m kalınlığındaki kömür tabakasının tavanında yapılan patlatma modeli sonucunda oluşan en büyük mutlak genlikler 42
Şekil 5.4	50 m örtü, 5 m kömür, örtü hızı 2000 m/s, kömür hızı 1000m/s olan patlatma modeli sonucunda oluşan en büyük mutlak genlikler 43
Şekil 5.5	50 m örtü tabakası altında değişen kalınlıklarda kömür tabakasının tavanında yapılan patlatma modeli sonucunda oluşan genlikler 45
Şekil 5.6	Değişen kalınlıklardaki kömür tavanında yapılan patlatma modeli sonucunda oluşan PPV-Kömür kalınlığı grafiği..... 45

Şekil 5.7	5 m kömür tabakası üzerinde değişen kalınlıklardaki örtü tabakaları için yapılan patlatma modeli sonucunda oluşan en büyük mutlak genlikler	46
Şekil 5.8	Değişen kalınlıklardaki örtü tabakaları için yapılan patlatma modeli sonucunda oluşan PPV-Örtü kalınlığı grafiği	47
Şekil 5.9	3000 m/s sismik hıza sahip örtü tabakası altında bulunan 5 m kalınlığındaki kömür tabakasının değişen hız değerleri sonucunda oluşan en büyük mutlak genlikler	48
Şekil 6.1	Patlatma noktaları, jeofonlar ve Hüsamlar Köyünün konumu (ölçeksiz)	50
Şekil 6.2.	Patlatma titreşimlerini kaydetmek için kullanılan kayıtçı, 3-bileşenli jeofon ve mikrofon sistemi.....	52
Şekil 6.3	1.grup patlatma sonucu oluşan titreşimlerin enine, boyuna ve düşey bileşenleri.....	53
Şekil 6.4	2. grup patlatma sonucu oluşan titreşimlerin enine, boyuna ve düşey bileşenleri.....	54

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 5.1	1.Modelde kullanılan parametreler	41
Çizelge 5.2	2.Modelde kullanılan parametreler	42
Çizelge 5.3	3.Modelde kullanılan parametreler	44
Çizelge 5.4	4.Modelde kullanılan parametreler	46
Çizelge 5.5	5.Modelde kullanılan parametreler	48
Çizelge 6.1	Arazi çalışmalarında kullanılan jeofonların teknik özellikleri	51
Çizelge 6.2	Patlatma noktaları ve jeofonların koordinatları	52

1. GİRİŞ

Kömür madenciliğinde uygulanan patlatma yöntemleri, özellikle açık ocak işletmelerinde kömür üretimini gerçekleştirebilmek için, örtü malzemesinin gevşetilmesi ve kömür üzerinde bulunan sert birimlerin iş makineleri tarafından yerinden alınıp taşınabilecek boyutlara getirilmesi amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır.

Patlatma faaliyetleri en uygun koşullarda gerçekleştirildiğinde yükleme, taşıma ve kırma-öğütme işlemlerinde maliyetlerin azalmasına, dolayısıyla işletmelerin toplamda pozitif bir gelişim göstermesine neden olmaktadır (Kahriman 1999).

Patlatma yolu ile kaya kütlelerini kırma faaliyeti, maden, taş ocakları, yol, tünel, baraj, inşaat ve alt yapı çalışmalarında kabul gören en güçlü ve en ekonomik yöntem olmasına rağmen, patlatmalar sonucu çevreye verilebilecek taş savrulması, hava şoku, toz emisyonu ve patlatma titreşimleri gibi etkileri de beraberinde getirmektedir. Bunlar arasında en fazla şikayet konusu olan ise patlatmalardan kaynaklanan titreşimlerdir. Çünkü gerek taş savrulması ve gerekse hava şoku ve toz emisyonu patlatma noktasına yakın bölgelerde etkin olabilirken patlatma titreşimleri çok uzaklarda da kendini hissettirebilmektedir. İşletmeler, patlatmaların yarattığı bu olumsuz etkiyi en az düzeyde tutabilmek ve çevreye zarar vermemek için gerekli ölçüm ve değerlendirme çalışmalarını yapmak ya da yaptırmak zorundadırlar.

Patlatma kaynaklı sarsıntıların çevre yerleşim yerlerine olan etkilerinin belirlenmesi ve minimize edilmesinde alışlagelmiş yöntem, sismografla en yüksek parçacık hızlarının belirlenmesi, patlatma ile ölçüm alınan yer arasındaki güzergah için arazi katsayılarının saptanması, sarsıntının yayılma kuralını belirleyen görgül formülünün bulunması ve bu formül kullanılarak yapılan patlatmalar için mesafeye bağlı olarak bir seferde güvenle ateşlenebilecek en yüksek patlayıcı madde miktarlarının saptanmasıdır (Bollinger 1971, Siskind vd. 1980, Anderson vd. 1982, Dowding 1985, Siskind vd. 1989, Anderson 1993, Persson vd. 1994, Muller 1997, Muller ve Hohlfeld 1997, Hoshino vd. 2000,

Siskind 2000, Chen ve Huang 2001, Tripathy ve Gupta 2002, Adhikari vd. 2004, Blair 2004, Kahrman 2004, Khandelwal ve Singh 2007, Singh ve Roy 2010). Bu yöntemde, parçacık hızı - ölçekli mesafe (PPV-SD) ilişkisi incelenmektedir. PPV-SD yönteminde sadece en yüksek titreşim değerleri esas alınmakta, tüm dalga biçiminin analizini kapsayan değerlendirmeler yapılmamaktadır. En yüksek parçacık hızlarına karşılık gelen ölçekli mesafelere göre hesaplanan görgül formül ile, kullanılan patlayıcı miktarlarına kısıtlamalar getirerek titreşim düşürülmek istenmektedir. Etken frekanstaki en yüksek parçacık hızını esas alan PPV-SD değerlendirmelerinde, bu parçacık hızlarına ait frekanslar civarındaki daha düşük genlikli fakat uzun sürdüğü için daha fazla hasar verebilecek titreşim dalgaları göz ardı edilmektedir. Bu durum, bu yöntem ile elde edilen görgül formüllerin güvenilirliğini düşürmektedir. Yöntem, aynı anda ateşlenecek olan patlayıcı miktarlarına kısıt getirmek sureti ile titreşimi düşürmeyi hedeflediği için, patlatmaların verimliliğini de düşürerek, çalışmalarda daha fazla patlatma deliği ve daha fazla gecikme elemanı kullanımına neden olmaktadır

Patlatma kaynaklı titreşimleri en aza indirebilmek için PPV-SD yöntemine alternatif olarak geliştirilen yeni bir yöntemde (Aldaş ve Ecevitoglu 2008) alışlagelmışin aksine, patlayıcı miktarı önemini yitirmektedir. Bu yöntem, patlatma ile ilgili parametrelere (delik sayısı, delik tasarımı, kullanılan patlayıcı miktarı, türü, deliklerin konumları, jeolojik etkiler vs.) herhangi bir kısıt getirmemektedir. Yeni yaklaşımın esası, pilot atış kullanılarak, çoklu patlatma ile oluşan sismik dalgaların modellenmesi ve uygun gecikmeler verilerek birbirlerini söndürmelerine dayanmaktadır. Titreşim verilerinin analizinde, en büyük genlikli (parçacık hızı, mm/s) sismik bileşen içindeki yine en büyük genliklerin bulunduğu zaman penceresine denk gelen dalga biçimleri üzerine yoğunlaşılır (en büyük tahribatı bu büyük genlikler vermektedir). Veri analizinden elde edilen gecikme parametreleri, gerçek grup patlatmasında uygulanır. Yöntemin temeli pilot delik patlatmasına dayanmaktadır. Patlatma noktasından başlayarak hedefe ilerleyen sismik dalgalar çeşitli etkilerle karşılaşılır. Patlayıcı miktarı, türü, patlayıcı-kayaç etkileşimi, ayna etkisi, karmaşık jeoloji (tabakalanma, tektonik ve litolojik özellikler) bu etkilerin başlıcalarını oluşturmaktadır. Pilot patlatma ile oluşan sismik dalgalar, tüm bu etkilerin kaydını, farklı dalga biçimi oluşumları ve genlik ölçeklenmeleri şeklinde üzerlerinde taşırlar. Grup patlatması içerisindeki her bir

deliğın, pilot patlatmadakine eşdeğer bir dalga üreteceği varsayımından yola çıkılmıştır. Kullanılan veri işlem tekniğinin esası, lineer sistemlerin önemli bir özelliği olan süperpozisyon prensibine (Oppenheim ve Schafer 1975) dayanır.

Gerek “alışılagelmiş yöntem”, gerekse de “yüzey dalgalarının modellenmesini esas alan yöntem”, kömür patlatmalarında dikkatle uygulanmalıdır. Çünkü, kömür üstü dekapaj malzemesinde ve kömür damarı içinde yapılan patlatmalar, özellikle kömür damarı çevre yerleşim birimlerinin altına uzanıyorsa, özel ayrıcalık gösterilmesi gereken patlatmalardır. Böyle durumlarda, klasik anlamda incelenen doğrudan gelen ve yüzey dalgalarının yaratacağı etkilerin yanı sıra, kömür damarında oluşan kanal dalgalarının ve kaybolan dalga etkilerinin de ayrıca araştırılması gerekmektedir.

Çevresindeki kayalar ile kıyaslandığında düşük sismik hız ve yoğunluğa sahip olan kömür tabakaları bir kanal gibidir (Essen vd. 2007). Kömür içinde veya üzerindeki dekapaj malzemesinde yapılan patlatmaların yarattığı sismik dalgalar, kömür damarı içerisinde, kritik açı ötesinde (kırılma açısının 90° olması durumunda geliş açısı kritik açı olarak adlandırılır) tam yansımaya uğrayarak kanalize olurlar (Ravindra ve Cervený 1971). Kritik açı altında ise sızma fazı oluşur. Bir nokta kaynaktan yayılan sismik enerji bu Őekildeki düşük hızlı bir tabaka içerisinde küreselden çok silindirik olarak yayılır ve uzaklıkla, çevresindeki kayalardakine göre daha düşük bir oranda azalır (Telford vd. 1991). Bu durum hız kontrastının son derece yüksek olduğu (bir serbest yüzeyde olduğu gibi) veya geliş açısının kritik açıyı aştığı durumlarda, tam ya da tama yakın yansımaların ortaya çıktığı tabaka sınırlarında oluşur (Shreiff ve Geldart 1982). Bu dalgalar, hızları frekansa bağlı olarak değiştiğinden dispersif özelliktedirler ve yayılım boyunca Őekil değiştirirler. Kanal dalgaları uygun Őartlarda damar kalınlığının 1000 katı kadar bir mesafeye ilerleyebilirler (Lavergne 1989). Özellikle damar içi patlatmalarda, üzerinde çalışılan kömür damarının, çevredeki yerleşim birimlerinin altına doğru uzanması, kanal dalgalarının varlığı nedeni ile patlatma kaynaklı titreşimlerin etkilerini birkaç kat arttırmaktadır. Bu durum kömür patlatmalarındaki uzaklık-titreşim genliği ilişkisinin basit bir tekdüze azalım ilişkisi olmadığını göstermektedir. Kanal dalgalarının etkili olduğu ocaklarda, patlatma kaynaklı titreşim etkilerinin azaltılması için özellikle

kömür damarı içi kanal dalgalarının doğasının ve bu dalgaların çevredeki yerleşim birimlerine etkisinin incelenmesi gerekir.

Kanal dalgaları jeofizikte birçok araştırmacı tarafından farklı amaçlar için kullanılmıştır. Başta kömür damarı içerisindeki fay ve süreksizliklerin tespit edilmesi olmak üzere (Krey 1963, Mason vd. 1980, Buchanan vd. 1980, 1981, 1986, 1990, Gürbüz 1986, Findlay vd. 1991, Pant vd. 1992, Greenhalgh vd. 1992, Hatherly vd. 2003, Essen vd. 2007, Yang vd. 2009); boşlukların ve terk edilmiş yeraltı maden ocaklarının belirlenmesi (Gritto 2003, Wang 2005, Yancey 2006, Gochioco vd. 2008, Feddock vd. 2006); yerkabuğunda bulunan düşük hızlı birimler ve deprem üreten faylar ile yayılan dalgaların etkisinin araştırılması (Gritto ve Dresen 1992, Gritto 2003, Haberland vd. 2003); karmaşık yeraltı yapılarının ve gaz kuyuları arasındaki rezervuar karakterinin belirlenmesi (Hatherly vd. 2003) bu amaçlar arasında gösterilebilir. Kanal dalgalarının soğrulma, dispersiyon ve anizotropi gibi özelliklerinin araştırılması da (Greenhalgh ve King 1981, Li vd. 1995, Liu vd. 2000) bir diğer çalışma alanı olarak gösterilebilir.

Ancak kömür madenlerindeki patlatmaların, çevre yerleşim birimlerinde oluşturduğu titreşimlerden kaynaklanan hasarların belirlenmesi için kanal dalgası etkilerinin de incelenmesine literatürde rastlanılmamıştır.

Bu çalışmada, kömür madenciliği yapılan sahaların etrafındaki yerleşim yerlerinin altında bulunan kömür tabakalarında, maden ocaklarındaki patlatmalar sonucunda yayılan kanal dalgalarının doğası incelenmiştir. Bu modelleme çalışmasıyla, kanal dalgaları ve sönen dalga etkisiyle oluşacak titreşim genliklerindeki artmaların yerleri önceden belirlenebilecektir. Kanal dalgalarının modellenmesini içeren bu çalışma, patlatma kaynaklı titreşim analizi çalışmalarına başlamadan önce yapılması gereken önemli bir hazırlık çalışmasıdır. Kanal dalgalarının modellenmesi sonucu elde edilecek bilgiler, belirlenen bölgelerdeki genlik artışlarını engellemek üzere, klasik yaklaşımla (PPV-SD yaklaşımı) ya da yeni yaklaşımla (yüzey dalgası modellenmesi, Aldaş ve Ecevitoglu 2008) patlatma kaynaklı titreşim etkilerinin en aza indirilmesi çalışmalarından daha verimli sonuçlar alınması için kullanılabilir.

Bu çalışmada ilk olarak kanal dalgaları ile ilgili bir modelleme yazılımı geliştirilmiştir. Bu yazılım yardımıyla kömür ve üzerindeki tabakanın kalınlığı ile sismik hızlar kullanarak kanal dalgası modelleme çalışması yapılmıştır.

Arazi alışmaları 2010 yılı Ağustos ayında, Türkiye Kömür İşletmeleri Yeniköy Linyitleri İşletmesi Hüsamlar ocağında, Hüsamlar köyünün altına doğru devam eden kömür damarı üzerinde yapılan iki grup patlatma ve oluşan titreşimlerin ölçüldüğü; üç tanesi köy içerisine biri ocak içerisine yerleştirilen toplam dört adet 3-bileşen sismik kayıt cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen yazılım ile, uygun parametreler kullanılarak, elde edilen model sonuçları arazi verileri ile karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Kömür madenciliğinde kömür üretimini kolaylaştıran ve hızlandıran modern ekipmanların yeraltı madenciliğinde kullanılmaya başlanmasıyla, yüzeyden yapılan jeofizik araştırmalar ile tespit edilemeyen küçük atımlı faylar, büyük sorunlara neden olmaktadır. Bu tip faylar, tesis edilmesi yoğun sermaye gerektiren bu sistemler ile yapılan üretimde ciddi kayıplara neden olabilmektedir. Krey (1963), Mason vd. (1980), Buchanan vd. (1980, 1981, 1990), Buchanan (1986) Gürbüz (1986), Findlay vd. (1991), Pant vd. (1992), Greenhalgh vd. (1992, 2007), Hatherly vd. (2003), Essen vd. (2007), ve Yang vd. (2009), yaptıkları çalışmalar ile bu fayların kanal dalgaları yardımıyla bulunabileceğini göstermişlerdir. Bu tip uygulamalar günümüzde yeraltı kömür madenciliğinde olağan hale gelmiştir.

Kanal dalgası sismolojisi ilk olarak Krey (1963) tarafından kullanılmıştır. Krey (1963), kömür madenciliğinde küçük atımlı fayların oluşturduğu zorlukların önüne geçilmesi için bu süreksizlikleri belirlemede yüzeyden yapılan yansıma sismiğinin veya maden içerisinde yapılan ve normal cisim dalgalarının kullanıldığı sismik uygulamaların yetersiz kaldığını görmüştür. Yüzeyden yapılan yansıma sismiği ile mümkün olan en küçük dalga boyu bile bu fayların belirlenmesi için çok uzun kalmaktadır. Cisim dalgalarının maden içerisinde kullanılması ile yapılan yansıma sismiğinde ise enerjinin büyük bölümü kömür ve komşu kayaçlar arasındaki dar bir bölgeden yansımakta, fay düzleminden yansıyan enerjinin oranı çok düşük olmaktadır.

Krey (1963), kömür ve komşu kayaçların fiziksel özellikleri üzerinde bir süre çalıştıktan sonra, kömürün komşu kayaçlarınkine oranla düşük sismik hız ve yoğunluğa sahip olduğunu fark etmiştir. Bu nedenle kömür damarı, parçacıkların kömüre paralel ve ışın yönüne dik olarak hareket ettiği Love tipi dalgalar için bir dalga kılavuzu gibi davranmaktadır. Krey'e (1963) göre bu tür yönlendirilmiş dalgalar en büyük genliklerine kömür damarı içerisinde sahip olurlar. Yan kayaçlarda ise genlikler kömürden uzaklaştıkça üstel olarak azalır. Yüksek frekanslarda bu azalma daha hızlıdır. Bu durum kömür içerisindeki enerji oranının frekans ile artması gibi önemli bir gerçeği de içerir.

Kömür damarı içerisinde gelişen başka bir dalga tipi de Rayleigh dalgalarıdır. Bu dalgalar dispersiyon ve genliklerin üstel olarak azalması bakımından Love dalgaları ile benzer niteliklere sahiptir. Fakat Rayleigh türünün asıl yönlendirilmiş dalgaları, komşu kayalar içerisinde enerjisini kalıcı olarak kaybetmeyen sızıntısız modlardır. Bu tip dalgalar, komşu kayaların S dalga hızı, kömürün genişleme hızını aştığında oluşabilir, ancak bu şart her zaman sağlanmaz.

Krey'e (1963) göre damar ile yönlendirilen dalgalar fay düzleminde cisim dalgalarına göre daha etkili biçimde yansır. Bunu doğrulayabilmek için 1966 yılında Almanya'nın Ruhr bölgesinde hükümet tarafından da desteklenen bir dizi çalışma yapmış ve birçok durumda damar dalgalarını ve yansıyan damar dalgalarını gözlemleyebilmiştir. Bu araştırmalar sonucunda beklenen ve gözlemlenen faylar %66 oranında uyum sağlamıştır.

Mason vd. (1980), kömür üretiminin %80'inin ilerletimli uzunayak yöntemiyle yapıldığı İngiltere'de, yeraltı faylarının belirlenmesinde doğruluğa engel olan dispersiyon sorununun üstesinden gelebilmek için "frekans ortamı migrasyonun bir boyutlu iz-iz (trace-by-trace) formunu önermişlerdir. Mason vd. (1980), Yüze ve yeraltı verilerinde dispersiyon analizindeki ayrımı, İngiltere'de bulunan Pye Hill kömür ocağındaki Blackshale kömür damarında yaptıkları örnek bir çalışma ile incelemişlerdir. Bu çalışmalarında 1 m atıma sahip gömülü bir fay civarındaki saçılmaların muhtemel dağılımını gösteren düşük veri tekrarı haritalarını (low data redundancy maps) bir Huygens-Kirchhoff migrasyonunun iki değişkenini kullanarak oluşturmuşlardır. Mason vd. (1980) çalışmalarının sonucunda, dispersiyonun, yeraltının yapısal özelliklerinin yüksek çözünürlükle görüntülenmesinde gerçek bir engel olmayacağını göstermişlerdir. Mason vd. (1980) yeteri kadar homojen 3 m kalınlığındaki bir kömür damarı içerisindeki 1 m atımlı bir fayın 250 m mesafeden, 110 Hz merkez frekansında 33 m dalga boyu kullanılarak belirlenebileceğini söylemektedirler.

Buchanan vd. (1980), delik delme ve atışlardan etkilenmeyen kömür üretiminin gerçekleştirilebilmesi için, kanal dalgaları ile yapılan araştırmalarda sismik kaynak

olarak kömür kesicilerin kullanılmasını önermişlerdir. Buchanan vd. (1981), akustik bir boruya benzettikleri kömür damarı içerisinde bir sismik kaynaktan yayılan enerjinin kanal dalgası modları şeklinde katlanabileceğini ve saçılan dalgalar kaydedilerek veri analizi ile damarın haritalanabileceğini göstermişlerdir. Bu çalışmalarında, dispersiyonun elde edilen çözünürlük üzerinde önemli bir sınırlamasının olmadığını göstermişlerdir. Buchanan vd. (1981), çalışmalarını iki ana bölüme ayırmıştır. Önce, temel gecikme toplamı tekniklerinin bir uyarlamalı gecikme toplamı (ALS- adaptive-lag-sum) haritalama işlemi üretmek için nasıl uzatıldığını göstermişler ve ikinci olarak, ortak-derinlik-noktası (common-depth-point CDP) yığmasına bir alternatif tanımlamışlardır. Dinamik-iz-toplamı (dynamic trace gathering – DTG) olarak adlandırılan bu varyasyon, yalnızca benzer yansıma noktalarından gelen bu izleri yığar. Çalışmalarında tanımladıkları damar içi sismik veri işleminden DTG, CDP yığma yönteminin bir türü iken, ALS, geçerli olarak bir Kirchoff-Huygens göç metodudur. Her iki teknik de,

- i) sismik hat ile herhangi bir açıdaki hedeflerin görüntülenmesine
- ii) mod dönüşümü olsun ya da olmasın, yansıma veya iletim ile hedeflerin görüntülenmesine
- iii) verilerin farklı grup ve faz hızları ile kullanılmasına
- iv) basit arazi prosedürlerinin kullanılmasına izin verir (Buchanan vd. 1981).

Buchanan (1986), sonlu elemanlar ve sonlu farklar yöntemleri ile elde edilen frekansın yansıma katsayısı hesaplamalarını, bir fay düzleminde etkilenen SH-kanal dalgasının saçılma matrisini, fayın atımı ve damarın dikey durumdan ayrılma açısının (hade angle) fonksiyonu olarak analitik yolla hesaplayarak genişletmiştir. Buchanan (1986) hesaplamalarını, SH-kanal dalgasının Fourier bileşenlerine ayrılması, yansıma geometrisinin sınırları içerisinde düzlem dalganın yansıma ve iletim katsayılarının hesaplanması ve son olarak da Helmholtz-Kirchoff integrali ile saçılma matrisinin sentezi üzerine temellendirmiştir. Buchanan vd. (1990), kanal dalgaları ile yapılan çalışmaların madencilik faaliyetleri ile doğrulandığı, örneğin 500 m mesafeden bir fayın belirlenmesi gibi bazı çalışmaları göstermişlerdir.

Pant vd. (1992), kömür damarlarındaki fay ve daykların yerlerinin belirlenmesinde düşük maliyetli iki boyutlu bir yöntem üzerinde çalışmışlardır. Bu yöntem şüphelenilen yanal süreksizlik dolayında basit bir tek geçişli ilerleyen kaynaklı düşey sismik profil çalışması ile (one-pass walk-away source VSP survey) kanal dalgalarının çok bileşenli kayıtlarından saçılmaların görüntülenmesini gerektirir (Pant vd. 1992). Kullandıkları yöntemle dalga boyunun onda birinden daha küçük süreksizliklerin belirlenmesinde ilerleyen dalga kılavuzu çalışmasının (waveguide walk-away survey) etkili olduğunu göstermektedirler.

Greenhalgh vd. (1992), bir kömür damarındaki yanal süreksizlerde oluşturulan kanal dalgalarının, yeryüzündeki bir enerji kaynağından yayılan cisim dalgalarının saçılma mekaniğinin ayrılmaz bir parçası olduğunu söylemektedir. İnce ve kalın kömür damarı kanal dalgaları için yapılan laboratuvar ve sayısal modelleme çalışmaları, küçük fayların, P ve S dalgalarından dönüşen kanal dalgalarının bir kuyu içi sismik profildeki damar içi jeofonlarda gözlenen varışlarında belirgin kırılmalar oluşturduğunu göstermiştir. Greenhalgh vd. (1992), maden kârlılığını geliştirmek ve faylı birimlerdeki uzunayak sistemi optimizasyonu için yüzeyden yansıma araştırmalarında damar içi jeofonların kullanılabilceğini önermektedirler.

Hatherly vd. (2003), kanal dalgası kullanımının Avustralya'daki arama kuyuları arasındaki iletim araştırmalarında özellikle kullanışlı olduğunu söylemektedir. Sinyaldeki bozulmaların, damar kalınlığı, fayın atımı ve kanal dalgası frekansının fonksiyonu olduğunu bildirmektedir. 10 m veya daha kalın ve yüksek soğrulma özelliği gösteren kömür damarlarında 2 m dolayındaki fayları tespit edebilmek için kanal dalgası karakterindeki çözümü zor anomalilerin tanımlanması gerekmektedir (Hatherly vd. 2003).

Essen vd. (2007), ilerleyen kömür madenlerinde karşılaşılabilecek süreksizlikleri belirlemek üzere kömür damarındaki dalga yayılımını sayısal olarak modellemişlerdir. Bu çalışmada P-SV cisim dalgalarını ve Rayleigh tip dalgaları içeren tam sentetik dalga alanları Green fonksiyonu kullanılarak hesaplanmıştır. Gerçekçi geometriler için de

yatay olarak homojen modeller ve bir paralel elastik 2 ve 3 boyutlu sonlu fark modelleme kodu (Bohlen 2002) kullanılmıştır (Essen vd. 2007).

Essen vd.'ne (2007) göre, basit bir üç tabakalı model için kömür damarı içerisindeki dalga alanı temel bir Rayleigh kömür modu hakimiyetindedir. Eğer damar yüksek hız ve yoğunluğa sahip ayrı bir bant içeriyorsa yüksek modlar dalga yayılımına egemen olur. Yatay olarak homojen olmayan ve damar sonu, faylanma, incelleme, erozyon ve damar ayrılması gibi bozuklukları içeren kömür damarı modeli içerisindeki dalga yayılımı, bozulma tipinden güçlü bir şekilde etkilenir. 3-boyutlu modeller için sonlu farklar hesaplamaları, damar dalgalarının galeri yüzeyinde Rayleigh dalgalarına dönüştüğünü göstermektedir. Bunlar galeri yüzeyi boyunca ilerlemekte ve galeri dışında damar dalgaları ile karışmaktadır (Essen vd. 2007).

Yeraltı kömür madenciliğinde eski ocakların varlığından kaynaklanan boşluklar ve çökmeler de kanal dalgaları yardımıyla belirlenebilmektedir. Terk edilmiş yeraltı madenleri, su, zehirli veya patlayıcı gazların boşluklarda birikmesi açısından risk oluşturmaktadır. Gritto (2003), kanal dalgalarının kullanılması durumunda, dalga yolu üzerinde bulunan boşluklar ve engellerin, kömür içerisinde bulunan kesintisiz bir damara kıyasla seyahat zamanlarında artmaya ve genliklerde azalmaya neden olacağını ve yapılacak tomografi çalışmaları ile boşluk ve engellerin yerlerinin daha sağlıklı olarak tespit edilebileceğini belirtmektedir. Wang (2005), Yancey (2006), Gochioco vd. (2008) de boşlukların belirlenmesinde kanal dalgalarını kullanmışlardır. Feddock vd. (2006) tarafından, terk edilmiş yeraltı madenlerinin yarattığı güvenlik sorunlarının önüne geçebilmek için hazırlanan raporda, boşlukların kanal dalgaları yardımıyla tespit edilebileceği gösterilmiştir.

Gritto (2003), Düşük hızlı bir petrol rezervuarı içinde doğrudan karbondioksit gazının varlığını görüntülemek için yapılan kanal dalgası tomografisi uygulamasında, enjekte edilen karbondioksitin rezervuar içerisinde eski bir akıntı kanalını izlediğini ve enjeksiyon kuyusundan üretim kuyusuna göç ettiğini göstermiştir. Çalışma, kanal dalgalarının yansıyan P dalgalarına nasıl tercih edilebileceğini ve ikinci olarak düşük

hızlı kanal içerisindeki gazın varlığından yalnızca marjinal olarak etkilendiği göstermiştir.

Gritto'ya (2003) göre kanal dalgalarının bant genişliği P dalgalarına göre daha fazladır. Yüksek kömür dalgası frekansı, yüksek araştırma çözünürlüğü sunar. Yüksek frekanslı fazlar kömür damarı içinde yoğunlaşmıştır. Oysa daha düşük frekanslar damar içinde olduğu gibi damar dışına da enerji taşıyabilir (Gritto ve Dresen 1992). Eğer düşük frekanslı fazlar yayınimleri boyunca bir nesne ile karşılaşırlarsa, bir kısım dalga bitişik ana kaya üzerinden kömür damarının bozulmamış olan kesimine doğru ilerlerken, dalganın bir kısmı da geri yansiyacaktır. Yansıyan bu fazlar yapıcı girişimlerle engelin arkasında tekrar farklı dalga boylarında kanal dalgaları yaratacaklardır. Bu durumun dikkate değer tek farkı olan yüksek frekans enerjisindeki azalmayı tespit etmek için sismogramları dikkatli bir şekilde incelemek gerekir. En iyi durum senaryosunda, yüksek frekanslı kaynaklar (örneğin, düşük patlayıcı miktarları) kullanılmalıdır, bu durumda frekans içeriği yeteri kadar yüksek olur ve enerji kömür damarı içerisine hapsedilir. Fakat bu yüksek frekanslar hızla sönmülenecektir, bu nedenle her tekil durum için çözünürlük ve yayılım mesafesi arasında bir uyum bulunmalıdır (Gritto 2003).

Komşu kayaçlar ile hız farkının yüksek olduğu kömür damarı ve petrol rezervuarlarında olduğu gibi, tektonik kuvvetlerin etkisiyle üst manto içerisine dalan düşük hızlı okyanusal kabuklardaki dalma zonları ile litosferdeki fay zonlarında, deformasyon ile ilişkili yapısal zarar bölgeleri, kanal dalgalarının gelişebileceği düşük hızlı tabakalar olarak düşünülebilir (Haberland vd. 2003). Haberland vd. (2003) çalışmalarında, Ortadoğu'da son 20 milyon yılda yaklaşık 100 km yer değiştirme gösteren Ölü Deniz Transform Fayında, yapay patlatmalar ile oluşturulan yüksek frekanslı kanal dalgası verilerini incelemişlerdir. Ürdün'ün Avara vadisinde özel olarak tasarlanan sismik deneyde düşük hızlı dalga kılavuzları tarafından yakalanan dalga izlerini kaydetmişlerdir. Haberland vd. (2003) kanal dalgaları yardımıyla tespit edilen oldukça dar bir düşük hızlı yapının aynı bölgede yürütülen diğer çalışmalar ile (yansıma-kırılma) tespit edilemediğini söylemektedirler. Fayların geometrik ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesi ve 2-3 boyutlu modellenmesi ile ilgili olarak Singh vd. (1998), Igel vd.

(2002), Fohrmann vd. (2004) gibi araştırmacılar kanal dalgalarından faydalanmışlardır. Singh vd. (1998) Orta Amerika ukuru civarında oluşan depremleri izlemişler ve hızla sönümlenen dalgaların dışında önemli bir sönümlenme göstermeyen dispersif dalga izlerinin varlığını tespit etmişlerdir. Bu dalgaların çukur boyunca gelişen kama şeklindeki sedimanlar boyunca ilerlediğini görmüşlerdir. Igel vd. (2002), sonlu farklar hesaplamaları ile fay zonlarının yapısının derinlere doğru nasıl değiştiği üzerine modelleme çalışmaları yapmışlar ve simülasyon çalışmaları sonucunda fay zonlarının derinlere doğru daraldığını buna karşın küçük ölçekte yapıların ve geometrik değişkenlerin değişmediği sonucuna varmışlardır.

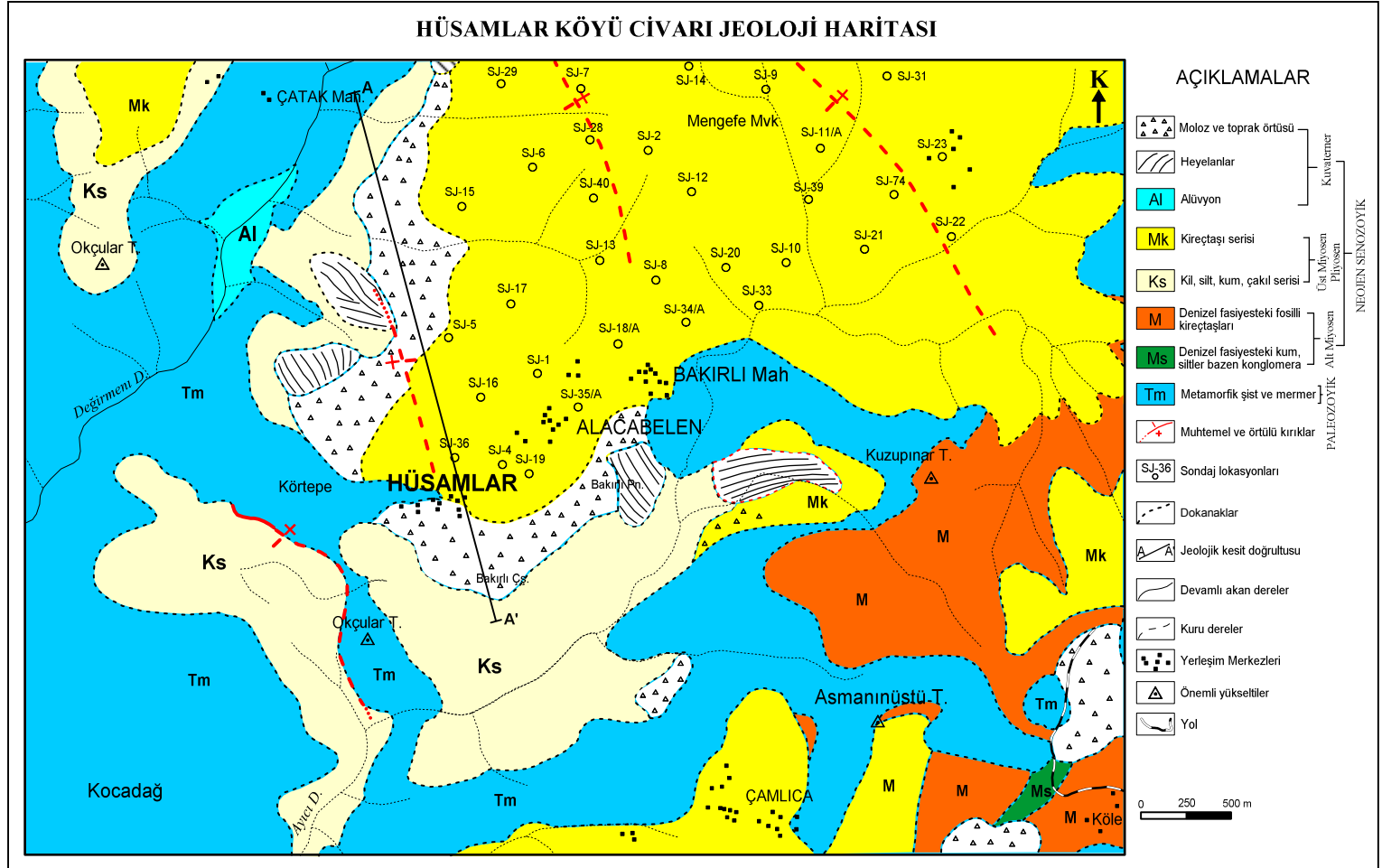
Kanal dalgaları geliştikleri ortamın yapısal özellikleri ve materyal parametreleri konusunda da bilgiler taşırlar. Bu bilgiler frekans bağımlı grup ve faz hızı verileri yoluyla jeofizik ters çözüm yöntemleri kullanılarak elde edilebilir (Dobroka 2001). Lines vd. (1992), sismik hız oranının yaklaşık 2'ye 1 olduğu yatay tabakalı bir jeolojik ortamda kanal dalgalarının oluşturulmasıyla, karşılıklı kuyu (cross bore-hole) verilerinin jeolojik bilgilerin elde edilmesinde kullanılabileceğini göstermiştir. Benzer şekilde Parra vd. (2002) de, iki gaz kuyusu arasındaki düşük hızlı rezervuarın dalga kılavuzu gibi davranmasından yararlanarak bu kuyular arasındaki jeolojik bilgilere kanal dalgaları ile ulaşılabileceğini belirtmektedir. Essen vd. (2005) kömür damarı içerisinde bulunan yüksek hız ve yoğunluğa sahip kirli kömür bantlarının kalınlıklarına bağlı olarak dalga yayınımına hakim olabileceklerini belirtmiş ve mekanize sistemlerle çalışılan madenlerde bu durumların önceden tahmin edilmesinde kanal dalgalarının kullanılması konusunda çalışmıştır. Hui vd. (2010) dalga alanı simülasyonu ile, farklı olarak, iki düşük hızlı tabaka arasında bulunan yüksek hızlı bir tabaka modeli kullanmış ve bu durumda alt ve üst tabakalarda yanal yönde yayılan kanal dalgalarının oluştuğunu, buna karşın yüksek hızlı tabaka içerisindeki dalga alanının yansılardan dolayı oldukça karmaşık olduğunu tespit etmiştir. Goulty vd. (1990), kuyu içi sismik yöntemle kanal dalgalarının kullanılması ile sığ kömür damarlarının bulunması üzerine çalışmıştır.

Lou ve Crampin'e (1991a, b) göre, eğer uygun kaynak mekanizmaları ve frekans bantları seilebilirse, tortul rezervuarlar içerisindeki ince tabakalar sismik dalga

kılavuzu gibi davranır. Ayrıca çalışmada, kanal dalgalarının kuyu araştırmalarında rezervuar özelliklerinin belirlenmesinde kullanılış olduğu ve kanal dalgaları dispersiyonunun çatlak yoğunluğu ve yönelimini belirlemede duyarlı olduğu, petrol rezervi arttırma işlemlerinde, belirli ince tabakaların yoğunluk seviyesinin belirlenmesi bakımından da önemli bilgiler içerebileceği belirtilmektedir. Buchanan vd. (1983) ise kömür damarındaki faylanmaları tespit etmekte kullanılan kanal dalgası sismolojisinin etkin mesafesini yani hangi uzaklığa kadar fayları belirleyebileceğini tespit edebilmek için fay içermeyen bir kömür tabakasındaki kanal dalgalarının sönümlenme özelliklerini incelemiş ve damar içi sismik yöntemle verilerin toplanması ve işlenmesi ile ilgili olarak anizotropinin önemine değinmiştir. Li vd. (1995), kömür damarlarının yüksek soğurma özelliğinden dolayı, sismik araştırmaların doğruluğu için özellikle Love tipi kanal dalgalarının soğrulma-dispersiyon özelliklerinin bilinmesinin önemine değinerek, kömür ve komşu kayaların sismik kalite faktöründen yararlanarak bu özellikleri tartışmıştır. Liu vd. (2000), Antrim şeyl test alanında yaptıkları çalışmada, sismik kuyu logu analizi ile sedimanter yatak boyunca uzanan kil katmanlarının neden olduğu güçlü bir enine izotropi olasılığının varlığını ve devamlılığını ortaya koymuştur. Sonik loglarda tanımlanan düşük hızlı zonlar ile ilişkili kanal dalgalarının hakim olduğu verilerden, kanal dalgası analizi ile, şeyl biriminin kırıklı yapısı ile ilişkilendirilebilecek, araştırma derinliğinin en üst noktasındaki olası anizotropi varlığının ortaya çıkarılabileceğini belirtmiştir. Dobroka (1987, 1988), kömür damarının değişen kalınlıkları için kanal dalgalarının soğrulma ve dispersiyon özellikleri konusunda yaptığı çalışmada, damar kalınlığına göre çeşitli frekanslardaki Love tipi kanal dalgalarının soğrulma katsayıları ve faz hızlarını sayısal çözümlerle incelemiş ve damar kalınlığındaki değişimin, dispersif yüzey dalga izindeki en büyük genlikleri oluşturan frekanslar (the average Airy-phase frequency) civarında optimal olarak belirlenebileceği sonucuna varmıştır. Greenhalgh ve King (1981) de Love tipi kanal dalgalarının dispersiyon özelliklerini incelemiştir.

Kanal dalgaları ile ilgili yapılan çalışmalara bakıldığında bu dalgaların genellikle yer içinin özelliklerini belirlemek amacıyla, damar içi veya kuyu içi sismik çalışmalarda kullanıldığı görölmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında ise, maden ocaklarında kazı amacı ile yapılan patlatmalar sonucu kanal dalgası oluşumu ve yakın çevredeki yerleşimlerde oluşturduğu titreşim etkisi incelenmiştir.



Şekil 3.2 Hüsamlar Köyü civarının jeoloji haritası (Yiğitel 1981)



Şekil 3.4 Kömür üretimi yapılan açık ocak ve çalışma alanını olan Hüsamlar köyünün görünümü (<http://maps.google.com/25.06.2012>).

3.1.1 Neojen Öncesi Kayaçlar

Temel kayaçlar olarak haritalanan bu kayaçlar Paleozoyik yaşlı metamorfik şistlerle Mesozoyik yaşlı kristalize kireçtaşlarından oluşmaktadır (Yiğitel 1981).

3.1.2 Neojen Çökelleri

Alt Miyosen yaşındaki bu çökeller, denizel kökenli çökeller, taban serisi (Ks), kömür horizonu ve marn-kireçtaşı serisinden oluşmaktadır. Ayrıca bu birimlerin üzerinde yamaç molozları, heyelanlar ve alüvyonlar bulunur (Yiğitel 1981).

3.1.2.1. Denizel Kökenli Çökeller

İçerdiği fosilli zonlardan Alt Miyosen yaşında ve denizel fasiyeste olduğu saptanan bu çökeller çalışma alanında iki seri halinde görülmektedir. Kum ve siltlerle bazen konglomeralardan oluşan bir alt seri (Ms) ile bunun üzerinde yer alan genellikle gri-beyaz renkli, yer yer kumlu yapıda olan kireçtaşlarıdır (M). Denizel kireçtaşları çalışma alanında oldukça geniş bir alanda görülürler, yer yer bol miktarda denizel fosil kavkuları içeren zonlara rastlanır (Yiğitel 1981).

Bu kireçtaşları fosil içermedikleri yerlerde kömürlü damarının tavanında yer alan Mk serisi içindeki kireçtaşlarıyla zaman zaman büyük benzerlikler göstermektedir. Ancak yer yer kumlu olmaları genellikle iri taneli bir yapı göstermeleri ve tabakalanma göstermemeleri veya gösterdikleri zaman da nispeten kalın katmanlı olmaları gibi detay ayrıntılar yardımıyla ayırım yapılabilmektedir (Yiğitel 1981).

3.1.2.2. Taban Serisi (Ks)

Genellikle temel kayaların üzerinde diskordansla geldiği yerlerdeki mostralara görülebilmekte, denizel kökenli çökeller üzerine geldiği yerlerde mostra vermemesi nedeniyle izlenememektedir. Genellikle kil, silt, kum ve çakıllardan ibaret olan bu seri Çamlı Tepe civarında, Belen Tepe-Kurugedik Tepe hattının kuzeybatı ve güneydoğusunda, Hüsamlar sektörünün batısında ve güneyinde, Çamlıca ve Damyanı köylerinin batısında epey geniş bir alanda görülmektedir. Hüsamlar sektörünün batısında ve güneyinde mavimsi renkli killerle siltlerin hakim olduğu söylenebilir. Serinin kalınlığı çökme ortamında bulunduğu yere göre değişmektedir. Ortalama 30 ile 40 m arasında denebilir (Yiğitel 1981).

3.1.2.3. Kömür Damarı

Hüsamlar sektöründeki kömür damarı Muğla kömürlü neojeni içinde bazı farklı özellikler göstermektedir. Kömür damarı, tabanda Ks (kil-silt-kum), tavanda Mk (marn-kireçtaşı) arasında bulunur. Şekil 3.5, Hüsamlar Köyü ve açık ocaktan geçen jeolojik

3.1.2.4. Marn Kireçtaşı Serisi (Mk)

Kömür damarının hemen üzerinde mavimsi gri renkli marnlar bulunmaktadır. Marnlar bazen kalın bazen de ince tabakalıdır. Daha üst seviyelerde beyaz-gri renk görülür. Marnlar üzerinde kireçtaşları yer almaktadır. Kireçtaşları yer yer ince katmanlıdır ve çok çatlaklı bir yapıya sahiptir.

Muğla civarındaki kömürlü neojenler içerisinde Sekköy Formasyonu olarak isimlendirilen bu seri tipik özellik olarak yanal ve düşey yönlerde marn ve kireçtaşları arasında geçişler gösterir. Marn ve kireçtaşı seviyelerinde yer yer mollusk (yumuşakçalardan bir deniz canlısı) kavkılarında, nadiren de yaprak izlerinden ibaret fosiller görülmektedir.

Hüsamlar sektöründe kenar zonlarına doğru kömür damarı üzerindeki marnların kalınlığı azalmakta, kireçtaşlarının kalınlığı ise artmaktadır. Buna karşı havzanın derinleşen yerlerinde de marn kalınlığı artmakta, kireçtaşı kalınlığı nispeten azalma göstermektedir.

Marn-Kireçtaşı serisi Hüsamlar sektörünün doğusunda ve güneyinde yer yer temel kayalar ve denizel kireçtaşları üzerine gelmektedir. Kumluca köyü güneyinde yine temel üzerinde köyün 1 km kadar batısında ise denizel kireçtaşları üzerinde yer almıştır. Çamlıca ve Damyanı köyleri doğusunda da temel kayalar ve denizel kireçtaşları üzerine aşmalı olarak gelirler.

Bu seri Hüsamlar sektörünün batısında ve kuzeyinde de Ks taban serisi üzerinde oldukça ince bir kömür horizonundan sonra görülmektedir.

3.1.2.5. Yamaç Molozları, Heyelanlar ve Alüvyon

Hüsamlar sektörünün kuzeyinde eski heyelanlar görülmektedir. Burada Neojen çökellerinin Değirmen Dere tabanına kadar kuzeyden ve güneyden kaymış oldukları

görülmektedir. Sektörün güneyinde ve batısında da nispeten daha önemsiz heyelanlar vardır. Sektörün batısında ve güneybatısında görülen yamaç molozları ve toprak örtü kömürlü horizonun mostra vermesini engellemektedir. Sektörün batısında Değirmen Dere kenarında dar bir alanda Alüvyonlar bulunmaktadır (Yiğitel 1981).

4. KURAMSAL GELİŞME

Bu bölümde sismik dalgalar ve elastik ortamlardaki yayınımları hakkında kısaca bilgi verildikten sonra tezin konusu olan kanal dalgalarının oluşumu ve titreşim etkisine neden olan sönen (evanescent) dalgalar anlatılmıştır. Ayrıca, soğrulma ve dispersiyon gibi kanal dalgası yayınımlarında etkili olan olaylara da değinilmiştir.

4.1. Sismik Dalgalar

Sismik çalışmalarda, yer içinde ilerleyen ve jeolojik sınırlardan yansıyan veya kırılan sismik dalgaların seyahat zamanları ölçülür ve bu zamanlar derinlik bilgisine dönüştürülerek yeraltındaki ara yüzeylerin dağılımı jeolojik açıdan sistematik olarak haritalanabilir (Kearey ve Brooks 1991).

Bir kaynaktan yayılarak yeraltında hareket eden farklı sismik dalga türlerini anlayabilmek için, gerilme ve deformasyon gibi temel kavramları göz önünde bulundurmak gerekir.

Bir cisme dışarıdan bir kuvvet uygulandığı zaman o cisim içerisinde uygulanan kuvvete denk iç kuvvetler oluşur. Gerilme bu iç kuvvetlerin yoğunluğunun bir ölçüsüdür. Bir cisim içerisindeki herhangi bir yüzeyde etkili olan gerilme, yüzeye dik olarak etkiyen normal gerilme ve yüzeye yatay olarak etkiyen kesme gerilmesi olmak üzere bileşenlerine ayrılabilir (Kearey ve Brooks 1991).

Gerilme altındaki bir cisim içerisindeki herhangi bir noktada, bileşenleri tamamen normal gerilmeler olan ve makaslama gerilmesinin bulunmadığı üç dik düzlem tanımlanabilir. Bu düzlemler, gerilmenin temel eksenleri olarak bilinen üç dik eksen olarak tanımlanır ve bu yönlerde oluşan gerilmeler asal gerilmeler olarak adlandırılır. Her ana gerilme, eşit büyüklükte fakat ters yönlü kuvvet bileşenlerini temsil eder. Kuvvetler birbirlerine doğru ise basma, tersi ise çekme (tensile) olarak adlandırılır.

Eğer bir cisim içerisindeki bir noktada asal gerilmeler eşit büyüklükte ise gerilme durumu hidrostatik basınç olarak adlandırılır. Hidrostatik gerilme durumunda makaslama gerilmeleri oluşmaz. Eğer asal gerilmeler birbirine eşit değilse, asal eksenlerde kesişen üç dik düzlem dışında gerilme altındaki cismin içinde bulunan tüm yüzeylerde makaslama gerilmeleri oluşur.

Gerilme altındaki bir cismin şeklindeki veya boyutlarındaki değişimin ilk boyutuna oranı deformasyon olarak adlandırılır. Gerilmenin, elastik limit olarak bilinen belirli bir limit değerine kadar, deformasyon, uygulanan gerilme ile doğrusal olarak ilişkilidir. Bu elastik deformasyon tersinirdir ve gerilme ortadan kalktığında deformasyon da kaybolur. Eğer elastik limit aşılsa deformasyon doğrusal olmayan ve kısmen kalıcı bir hal alır ve plastik deformasyon olarak adlandırılır. Eğer gerilme daha da artarsa cisim kırılır (Kearey ve Brooks 1991).

Bir madde için, elastik sınırlar içerisinde, gerilme ve deformasyon arasındaki doğrusal ilişki, o maddenin, gerilmenin özel bir şeklini ve oluşturduğu deformasyonu ifade eden çeşitli elastik modülleri ile ilişkilidir. Uzunluğu l , kesit alanı A olan bir çubuğa F gerilmesinin uygulanması ile boyunun Δl kadar arttığı düşünülürse, uygun elastik modül *Young Modülü* (E) olarak tanımlanır ve Eşitlik (4.1.1) ile hesaplanabilir.

$$E = \frac{F/A}{\Delta l/l} \quad (4.1.1)$$

Tek eksenli yükleme altında, uygulama doğrultusuna dik doğrultuda oluşan çapsal birim deformasyonun (ε_D), uygulanan yük doğrultusunda oluşan aksenal birim deformasyona (ε_L) oranının ters işaretlisine *Poisson Oranı* (ν) adı verilir (Eşitlik 4.1.2).

$$\nu = - \left(\frac{\varepsilon_D}{\varepsilon_L} \right) \quad (4.1.2)$$

Bulk Modülü (Sıkıştırılabilirlik Modülü - K) ise, hidrostatik basınç altındaki kübik bir elemana uygulanan P basıncının hacim değişme oranına ($\Delta V/V$) bölünmesi ile bulunabilir (Eşitlik 4.1.3).

$$K = \frac{P}{\Delta V/V} \quad (4.1.3)$$

Benzer şekilde *Makaslama Modülü (μ)* de, makaslama gerilmesinin (τ) ortaya çıkan makaslama deformasyonuna oranı ile bulunur (Eşitlik 4.1.4).

$$\mu = \frac{\tau}{\tan\theta} \quad (4.1.4)$$

Sismik dalgalar deprem veya patlatma gibi sismik bir kaynaktan dışı doğru ilerleyen elastik gerilme enerjisi paketleridir. Sismik araştırmalar için uygun olan kaynaklar tipik olarak geniş frekans aralığına sahip ve titreşim olarak bilinen kısa süreli dalga izleri üretirler. Kaynağa yakın olan yerler dışında, sismik titreşimin geçişi sırasında oluşan deformasyonlar önemsiz derecede olup ortamın elastik olduğu varsayılabilir. Bu varsayım ile sismik titreşimin ilerleme hızı, içinden geçtikleri malzemenin yoğunluğu ve elastik özellikleri yardımıyla belirlenebilir. Sismik dalgalar cisim dalgaları ve yüzey dalgaları olmak üzere iki gruba ayrılır (Kearey ve Brooks 1991).

Elastik bir katı içerisinde iki tip cisim dalgası yayılabilir. P dalgaları ortamda, dalga ilerleme yönündeki tek eksenli basınç ve çekme gerilmeleri oluşturarak yayılır. Bir P dalgası etkisinde hareket eden parçacık dalga ilerleme yönündeki sabit bir noktaya göre salınır (Kearey ve Brooks 1991).

S dalgaları, dalga ilerleme yönüne dik olan makaslama gerilmeleri oluşturarak yayılırlar. Tekil parçacıklar dalga yayılımına dik bir düzlem üzerindeki sabit bir noktaya göre salınım gösterirler (Kearey ve Brooks 1991).

Herhangi bir madde içerisinde ilerleyen bir cisim dalgasının hızı o maddeye özgü elastik özellikler ve yoğunluğa bağlı olarak elde edilebilir. Buradan bir cisim dalgasının P dalga hızı:

$$V_P = \left[\frac{K+4/3\mu}{\rho} \right]^{1/2}, \quad (4.1.5)$$

makaslama gerilmesini içeren S dalga hızı ise:

$$V_S = \left[\frac{\mu}{\rho} \right]^{1/2} \quad (4.1.6)$$

olarak verilebilir. Burada ρ , malzemenin yoğunluğudur.

Bu eşitliklerden P dalgalarının aynı ortamdaki S dalgalarından her zaman daha hızlı hareket ettikleri görülebilir. Herhangi bir madde içerisindeki V_P/V_S oranı, bu maddenin *Poisson Oranı* (ν) ile belirlenebilir.

$$V_P/V_S = \left[\frac{2(1-\nu)}{(1-2\nu)} \right]^{1/2} \quad (4.1.7)$$

Sınırlandırılmış elastik bir katı materyal içerisinde, yüzey dalgaları olarak adlandırılan ve sınırlar boyunca ilerleyen sismik dalgalar oluşur.

Rayleigh dalgaları serbest bir yüzey boyunca veya farklı iki katı madde sınırında arayüze dik bir düzlem üzerindeki eliptik hareket ve ilerleme yönündeki bir hareketin birleşiminden oluşur. Rayleigh dalgalarının genlikleri yüzeyden itibaren üstel olarak azalır. İlerleme hızları ise ortamın S dalga hızından daha düşüktür ve homojen bir yarı sonsuz ortamda dispersif değildirler (Knopoff 1983).

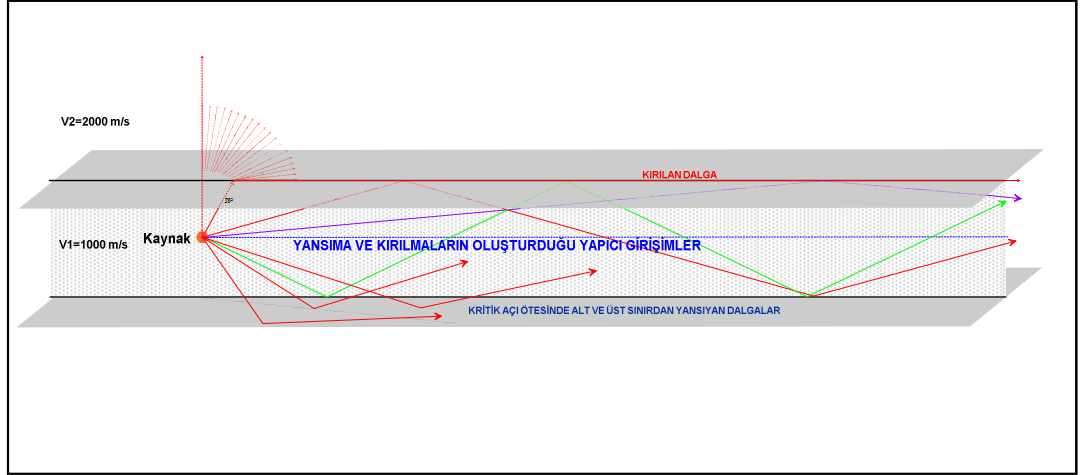
Tabakalı bir katı içerisindeki ikinci tip yüzey dalgaları Love Dalgaları olarak adlandırılır ve yüzey tabakasının S dalga hızı, altındaki tabakaninkinden daha düşükse ortaya çıkarlar. Love dalgaları, parçacıkların serbest yüzeye paralel ve dalga ilerleme yönüne dik olarak hareket ettiği polarize olmuş S dalgalarıdır. Love dalgalarının hızları yüzey tabakasının ve altındaki tabakaların S dalga hızlarının arasında bir değerdir ve farklı frekansların farklı hızlarda hareket etmesinden dolayı ilerleme süresince dalga şekli değişir, yani dispersif özellik gösterirler (Kearey ve Brooks 1991).

4.2. Kanal Dalgaları ve Sönen Dalgaların Oluşum Mekanizmaları

Kanal dalgaları, altında ve üstünde yüksek sismik hızlı tabakalar bulunan düşük sismik hızlı bir tabaka içinde oluşan dalgalardır. Bu durum düşük sismik hızlı tabaka içerisinde tam yansımaların oluşmasına izin verecektir. Bir başka deyişle, düşük sismik hızlı tabakada, üst ve alttaki yüksek sismik hızlı tabakalara göre kritik açı oluşur ve kritik açı ötesinde gelen dalgalar ile enerji düşük sismik hızlı tabakada hapsolür. Kritik açı öncesinde ise sızıntı modu oluşur.

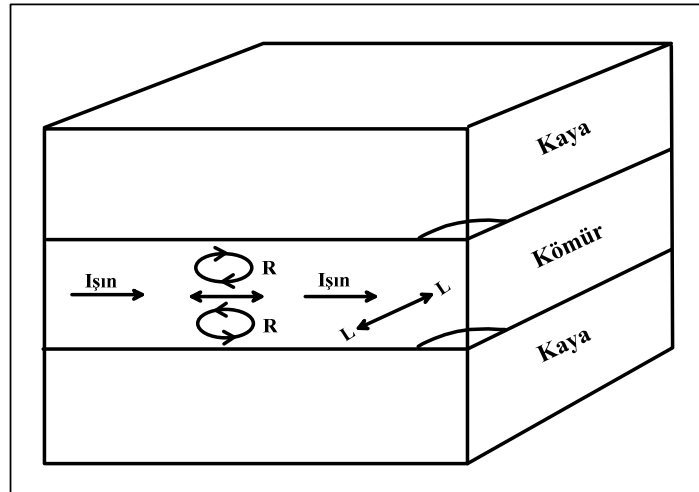
Genel olarak kömür damarları, altındaki ve üstündeki tabakalardan daha düşük sismik hız ve yoğunluğa sahiptir. Bu nedenle patlatmalar ile ortaya çıkan sismik dalgalara rehberlik ederler ve titreşim etkisini uzak mesafelere taşırlar. Bir kömür ocağı çevresinde bulunan ve altından kömür damarı geçen bir yerleşim yerinde gözlenen titreşimlerin oluşumu iki mekanizmanın birlikte çalışması ile açıklanabilir.

İlk olarak kömür damarı içerisinde gelişen tekrarlı yansımaların yapıcı girişimleri ile dalga enerjisi uzak mesafelere taşınır (Şekil 4.1). Eğer kömür damarının ortasında bir patlatma yapılırsa, elastik dalgalar kömür içerisinde tüm yönlerde yayınırlar. Işınlr kömür damarının tavan ve tabanında kömür-kaya ara yüzeyi ile karşılaşınca, bu ara yüzeyde P ve S dalgası olarak kırılırlar ve kaya ortamında kendilerine ait hızlarla yayınırlar. Bu dalgalar, kömür-kaya ara yüzeyinde kırıldıkları için kömürdeki boşluklardan etkilenmezler. Fakat bunlar ikincil etkilerden (kömür damarındaki süreksizlikler) etkilenirler.



Şekil 4.1 Altta ve üstte göreceli olarak yüksek sismik hızlı tabakalar bulunan düşük sismik hızlı bir tabaka içerisinde oluşan kanal dalgaları.

Bunun yanı sıra, dalgalar kritik açı ötesinde değişik açı ve farklı faz hızlarında kömür içine geri yansılar ve yapıcı girişimler oluştururlar. Yaratılan girişim sistemi iki boyutlu kanal dalgası yayılımıdır. Yayılım iki boyutlu olduğundan, kanal dalgaları için kömür damarlarında uzun iletim mesafeleri (2 km) rapor edilmiştir (Greenhalgh vd. 1992). Şekil 4.2, Love ve Rayleigh tipi kanal dalgalarındaki parçacık hareketlerini göstermektedir.

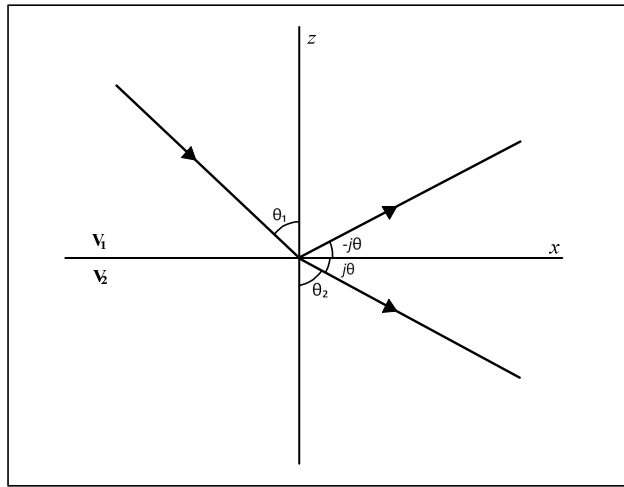


Şekil 4.2 Love ve Rayleigh tipi kanal dalgalarındaki parçacık hareketleri (Krey 1976) .

Bu dalgaların örtü tabakasını geçerek yerleşim yerlerine (yüzeye) ulaşması ise sönen dalgalar (evanescent waves) olgusu ile açıklanabilir. Sönen dalgalar olarak çevrilen bu olgu literatürde “evanescent waves” olarak geçmektedir ve kelime olarak geçici, gözden kaybolan anlamını taşımaktadır. Bu şekilde açıklanan sönen dalgaların öncelikle ne olduğunun ve sönümlenmesi gerekirken titreşimleri nasıl yüzeye taşıdığına anlaşılması gerekir.

Teorik olarak kritik açı ötesinde tam yansıma uğrayan bir dalga enerjisinden diğer tabakaya geçiş olmadığı varsayılır. Oysa bu durumda bile diğer tabakaya bir miktar enerji geçişi olur ve bu enerji tabaka içerisinde sönen dalgalar (evanescent waves) olarak yayılır.

Şekil 4.3 incelenirse; V_2 , V_1 'den küçük olduğunda θ_2 de θ_1 'den küçük olur. Ancak V_2 , V_1 'den büyükse ve $\theta_1 = \sin^{-1}(V_1/V_2)$ olduğunda θ_2 90° 'ye ulaşır. θ_1 'in bu değeri için kırılan ışın ara yüzeyde hareket eder. $\theta_2=90^\circ$ olması durumunda geliş açısı kritik açıdır. Kritik açıdan daha büyük geliş açıları için (gerçek değerli açılar kullanılarak) Snell yasasının sağlanması mümkün değildir ve bu durumda tam yansıma meydana gelir. Bu durum enerjinin %100'ünün yansıdığı anlamına gelmez, dönüşmüş S dalgaları ve sönen (evanescent) dalgalar oluşur (Sheriff ve Geldart 1982).



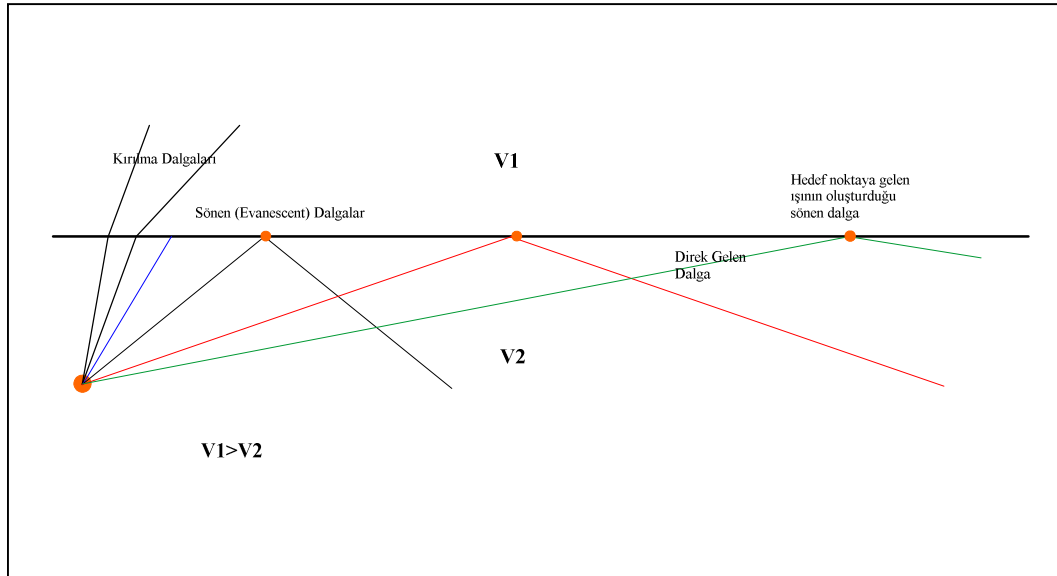
Şekil 4.3 Yansıma ve kırılmanın sanal açıları (Sheriff ve Geldart 1982) .

Sheriff ve Geldart (1982), sönen dalgaların genliklerinin hesaplanmasında;

$$A(\omega) = A_0(\omega) e^{-\frac{\omega}{v(w)}(z \sinh\theta + i x \cosh\theta)} \quad (4.2.1)$$

bağıntısının kullanılabileceğini göstermişlerdir. Burada z derinlik, θ geliş açısı, ω açısal frekans, v sismik hız, x ise mesafedir. Derinlik azaldıkça sönen dalga etkisi artmakta, geliş açısının artması ile ise azalmaktadır.

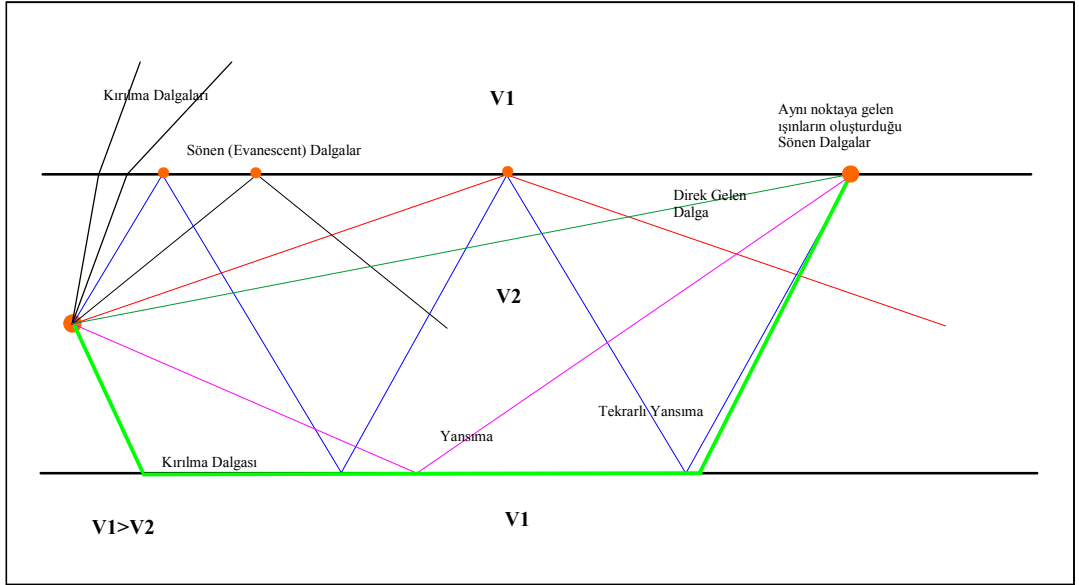
Şekil 4.3'de θ negatif alınırsa, 4.2.1. bağıntısının sağ tarafında bulunan exponansiyelin işaretinde değişiklik olur. Bu durumda sönen dalgalar ara yüzeyin her iki tarafında da oluşur ve genlikleri ara yüzeyden uzaklaştıkça azalır. Soğrulma, $\sinh\theta$ ile orantılıdır, bu durumda soğrulma en büyük değerine $\theta_1 = \pi/2$ olduğunda ulaşır. Kritik açının aşıldığı durumlarda Snell yasasının sağlanabilmesi için sanal açılara girilmesi, yansıma katsayısının kompleks olacağı ve faz kaymasının ortaya çıkacağı anlamındadır (Sheriff ve Geldart 1982).



Şekil 4.4 Düşük-yüksek sismik hızlara sahip iki tabakanın ara yüzeyinde oluşan sönen dalgalar.

Kömür tabakası içerisinde de böyle bir durum söz konusudur ve tam yansımaya uğrayan her ışın ara yüzeyde çarptığı her noktada sönen dalgalar oluşturur.

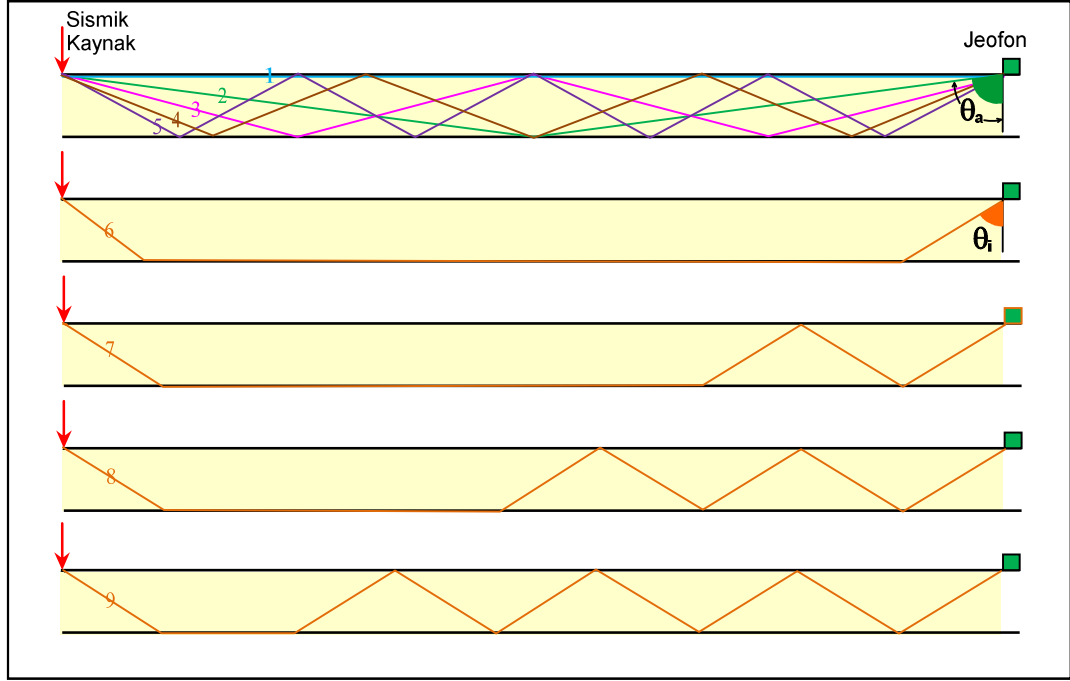
Eğer kömür damarının kalınlığı kanal niteliği taşıyabilecek durumdaysa (yani tekrarlı yansımalara izin verebilecek kalınlıkta ise) bu ışınlar alt ve üst tabaka sınırlarından yansıyacak ve tekrarlı yansımalar oluşturacaktır. Böylece tek bir ara yüzeyde oluşan sönen dalgaların genlikleri hızla azalırken (Şekil 4.4), iki ara yüzeyden yansıyan ve tekrarlı yansımalarla farklı ama titreşim süresi çakışan zaman dilimlerinde aynı noktaya denk gelen (Şekil 4.5) yansımaların oluşturduğu sönen dalgaların genlikleri toplanacak ve örtü kalınlığına bağlı olarak titreşimlerin yüzeye kadar ulaşmasına imkan verecektir.



Şekil 4.5 Kanal özelliği gösteren düşük sismik hızlı tabaka ara yüzeylerinde oluşan sönen dalgalar.

Şekil 4.6'de düşük hızlı bir tabakanın tavanında bulunan bir kaynaktan, yeşil kare simge ile gösterilen hedef noktasına gelebilecek tüm ışınlar çizilmiştir. Her ışının alıcıya geliş açısı ve zamanı farklıdır. Bu nedenle hedefte farklı sürelerde ve farklı titreşim gücü ile etkili olurlar.

Sönen dalgalar dispersif özellik gösterirler ve bu nedenle hızları frekans bağımlıdır. Eşitlik 4.2.1’de kullanılan hız frekans bağımlı hızdır. Alt ve üst etken frekansları (en küçük ve en büyük frekans) bilinen bir birim içerisinde sönen dalgaların frekans bağımlı hızları geliş açılarına göre hesaplanabilir.



Şekil 4.6 Kömür damarı tavanında yapılan patlatma (tavan vuruşu) sonucu oluşan dalgalar.

Bu nedenle öncelikle her frekansın geliş açısının bilinmesi gerekir.

$$\theta(f) = \frac{\theta_a - \theta_i}{f_a - f_i} (f_a - f) + \theta_i \quad (4.2.2)$$

Eşitlik (4.2.2), bir lineer interpolasyon denklemidir ve geliş açısını frekansa bağlamaktadır. Burada θ_a en büyük frekansa bağlı açı, θ_i en küçük frekansa bağlı açı, f_a en büyük frekans, f_i ise en küçük frekanstır.

Sönen dalga oluşturabilecek ışın minimum kritik açı (i_c) ile gelebilir, bu nedenle en küçük açı:

$$\theta_i = i_c = \sin^{-1} \frac{V_1}{V_2} \quad (4.2.3)$$

olarak yazılabilir. Bir noktada sönen dalga oluşturabilecek ışının geliş açısının en büyük değerini ise bu noktanın kaynağa göre konumu belirler. Kömür damarının üst sınırında bulunan bir kaynaktan çıkan ışının, yine damarın üst sınırındaki bir noktaya kritik açı ötesinde (alt sınırdan yansıtılarak) gelebileceği en büyük açı Eşitlik (4.2.4) ile hesaplanabilir.

$$\theta_a = \tan^{-1} \frac{x_a}{2h} \quad (4.2.4)$$

Burada x_a , kaynak ve hedef nokta arasındaki yatay mesafe, h ise tabaka kalınlığıdır. Buradan yola çıkılarak her frekans bileşeninin kaynaktan hedef noktasına kadar kat ettikleri mesafeler için seyahat zamanları Eşitlik (4.2.5) ile hesaplanabilir.

$$t = \frac{x}{V_1 \sin \theta} \quad (4.2.5)$$

Frekans bağımlı hız da

$$V(f) = \frac{x}{t} = V_1 \sin \theta(f) \quad (4.2.6)$$

olarak ifade edilebilir.

Bu şekilde her frekans bileşeni için hesaplanan geliş açıları ve frekans bağımlı hızlar Eşitlik (4.2.1)'de kullanılarak sönen dalgaların genlikleri hesaplanabilir.

Bu çalışmada kullanılan modelleme programı, patlatma ile oluşan direk dalgalar, yüzey dalgaları ve kanal dalgalarını incelemektedir. Dispersiyon ve nedenselli soğrulma etkilerinde, kanal içerisinde hem kırılma hem de yansımalar ayrı ayrı üretilebilmektedir. Model lineer teoriye göre çalışmaktadır, yani olaylar tek tek üretilip toplanmaktadır.

Bu çalışmanın uygulama alanı olan TKİ YLİ Hüsamlar ocağında da düşük hızlı kömür tabakası, patlatma ile oluşan dalgalara rehberlik etmekte ve Hüsamlar Köyüne kadar götürmektedir. Patlatma noktalarından uzak mesafede olmasına rağmen Hüsamlar Köyünde patlatma kaynaklı titreşimlerden rahatsız olunmasının sebebi, düşük sismik hızlı kömür tabakasında oluşan kanal dalgaları ile yansımalar ve kırılmalardan oluşan tekrarlı yansımaların oluşturduğu sönen dalgalardır.

Bu çalışmada, kırılma ve yansıma dalgaları ve bunlardan oluşan tekrarlı yansımalar, kanal içindeki girişim olayını anlayabilmek için incelenmiştir. Bu incelemede, tabaka kalınlığı, mesafe, dalga hızları, dispersiyon faktörü ve kullanılan kaynağın (patlatma) frekans içeriği, girişim paternini oluşturmaktadır.

4.3. Kanal Dalgalarında Soğrulma ve Dispersiyon

Dalga hareketine eşlik eden elastik enerji, dalganın içinde hareket ettiği ortam tarafından kademeli olarak soğrulur ve en sonunda ısıya dönüşür. Bu süreç soğrulma olarak adlandırılır ve sonunda dalga hareketinin tamamen kaybolmasına neden olur. Kayalardaki elastik dalgalar için soğrulma ile ortaya çıkan bu enerji kaybı uzaklık ile üstel olarak ilişkilidir (Telford vd. 1991).

$F(\omega)$ genliğindeki bir sinyalin x uzaklıktaki genliği

$$G(\omega) = F(\omega)e^{-\alpha(\omega)x} \quad (4.3.1)$$

olarak yazılabilir. Burada α soğrulma katsayısını temsil etmektedir. Deneysel kanıtlar soğrulma katsayısının frekans bağımlı olduğunu göstermektedir (Telford vd. 1991). Bu yüzden soğrulma katsayısı $\alpha(\omega)$ olarak ifade edilmiştir.

Soğrulma katsayısı ortamın sismik kalite faktörü (Q) ile sismik dalganın frekans (ω) ve hızına ($V(\omega)$) bağlıdır.

$$\alpha(\omega) = \frac{\omega}{2QV(\omega)} \quad (4.3.2)$$

Frekans bağımlı soğrulma katsayısı Eşitlik (4.3.2)'deki gibi ifade edilebilir.

$e^{-\alpha(\omega)x}$ terimi soğrulmanın gerçel kısmıdır. Nedensellik ilkesi gereği bir dalganın beklendiği zamanda gelmesi gerekir. Bu nedenle fonksiyona faz kısmının eklenmesi gerekir. Böylece soğrulma fonksiyonu

$$G(\omega) = \underbrace{F(\omega)}_{\text{Genlik}} e^{-\alpha(\omega)x} e^{iH[\ln e^{-\alpha(\omega)x}]} \quad (4.3.3)$$

Faz

şekline dönüşür ve Eşitlik (4.3.3) nedenselli soğrulmayı temsil eder. Burada H Hilbert Dönüşümünü ifade etmektedir.

Bir sinyal Fourier analizi ile bileşenlerine ayrılırsa bir frekans spektrumu elde edilir. Eğer tüm frekans bileşenleri için hız değişmiyorsa sinyal şekli seyahat süresince aynı kalır ve bu durumda grup hızı ve faz hızı aynı olacaktır. Ama hız frekans ile birlikte değişiyorsa sinyal seyahat süresince şekil değiştirecek ve faz ve grup hızı birbirinden farklı olacaktır, bu durumda ortam dispersiftir (Telford vd. 1991). Yüksek frekanslı bileşenlerin düşük, düşük frekanslı bileşenlerin yüksek hızda hareket etmesi sonucunda normal dispersiyon, tersi durumda ise ters dispersiyon gözlenir. Etrafındaki kayalara göre düşük hızlı bir kanal olarak davranan kömür tabakaları da dispersif ortamlardır ve bu durumun sismik dalgalar üzerindeki etkisi normal dispersiyon şeklinde görülür.

$F(\omega)$ giriş sinyali olmak üzere x uzaklıkta dispersiyon sonucunda oluşan çıkış sinyali,

$$G(\omega) = F(\omega)e^{-i\omega\frac{x}{V(\omega)}} \quad (4.3.4)$$

olarak ifade edilebilir. Burada $V(\omega)$ frekans bağımlı hızdır. Açısız frekans (ω), sonsuz frekans hızı (v_∞), sıfır frekans hızı (v_0) ve dispersif faktör (b) kullanılarak dispersiyon model bağıntısı,

$$V(\omega) = V_0 \frac{\omega + b}{\omega + b\frac{V_0}{V_\infty}} \quad (4.3.5)$$

olarak yazılabilir.

Bir kömür damarı içerisinde yapılan patlatma ile ortaya çıkan sismik dalgaları incelerken soğrulma ile birlikte dispersiyonunda göz önünde bulundurulması gerekir. Bu nedenle bu dalgaların genliklerinin hesaplanmasında kullanılan bağıntı hem soğrulma hem de dispersiyon terimlerini içermelidir.

$$G(\omega) = F(\omega) \underbrace{e^{-\alpha(\omega)x}}_{\text{Nedenselli Soğrulma}} \underbrace{e^{iH[\ln e^{-\alpha(\omega)x}]}}_{\text{Dispersiyon}} e^{-i\omega\frac{x}{v(\omega)}} \quad (4.3.6)$$

Eşitlik (4.3.6) kanal içerisinde gelişen sismik dalganın genliğinin hesaplanmasında kullanılan bağıntıdır.

Burada $e^{-\alpha(\omega)x}$ terimi soğrulma, $e^{iH[\ln e^{-\alpha(\omega)x}]}$ soğrulumaya nedensellik veren terim, $e^{-i\omega\frac{x}{v(\omega)}}$ ise dispersiyon terimidir.

Eşitlik (4.3.6), soğrulma ve dispersiyon terimleri içerisinde frekans bağımlı hızı içermektedir. Dispersiyon model bağıntısı bu terimler içerisindeki yerlerine yazılarak bağıntı yeniden düzenlenebilir. Soğrulma terimi için,

$$-\alpha(\omega)x = -\frac{\omega}{2QV(\omega)}x = -\frac{x}{2QV(\omega)}\frac{\omega\left(\omega+b\frac{V_0}{V_\infty}\right)}{\omega+b} \quad (4.3.7)$$

yazılabilir. Benzer şekilde soğurulmayı nedensel yapan terim içerisinde soğurulma katsayısı aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$H[\ln e^{-\alpha(\omega)x}] = H\left[-\frac{\omega}{2QV(\omega)}x\right] = -\frac{x}{2QV_0}H\left[\frac{\omega\left(\omega+b\frac{V_0}{V_\infty}\right)}{\omega+b}\right] \quad (4.3.8)$$

Dispersiyon hız modeli, dispersiyon terimi içerisinde aşağıdaki gibi yazılarak

$$-\omega\frac{x}{V(\omega)} = -\frac{x}{v_0}\frac{\omega\left(\omega+b\frac{V_0}{V_\infty}\right)}{\omega+b} \quad (4.3.9)$$

Eşitlik (4.3.9) elde edilir.

Bağıntıları daha sade hale getirebilmek için,

$$\beta(\omega) = \frac{\omega\left(\omega+b\frac{V_0}{V_\infty}\right)}{\omega+b} \quad (4.3.10)$$

$$\gamma(\omega) = \frac{\beta(\omega)}{2Q} \quad (4.3.11)$$

şeklinde tanımlanabilir. Böylece eşitlik,

$$G(\omega) = F(\omega)e^{-\frac{x}{V_0}\gamma(\omega)}e^{-i\frac{x}{V_0}H[\gamma(\omega)]}e^{-i\frac{x}{V_0}\beta(\omega)} \quad (4.3.12)$$

halini alır ve

$$G(\omega) = F(\omega)e^{\frac{x}{v_0}(\gamma(\omega)+i\{H[\gamma(\omega)]+\beta(\omega)\})} \quad (4.3.13)$$

olarak yazılabilir.

Eşitlik (4.3.13) kanal içerisinde gelişen sismik dalgaların genliklerinin hesaplanmasında kullanılan bağıntıdır.

5. MODEL ÇALIŞMALARI

Kanal dalgaları modelleme çalışmalarında kullanılan Fortran dilinde yazılmış program, yüzey dalgaları, direk dalgalar, yansıyan ve kırılan kanal dalgalarını ayrı ayrı veya seçime göre tümünü modelleyebilen bir programdır. Bu program, “Patlatmaların doğrusal olmayan davranışlarının patlatma verimliliğine etkilerinin araştırılması” adlı TÜBİTAK projesi çalışmaları kapsamında Prof.Dr. Berkan ECEVİTOĞLU tarafından geliştirilmiştir.

Program, iki yüksek hızlı tabaka arasındaki (bu çalışmada yüksek hızlı tabakalar marn-kalker'dir) düşük hızlı bir tabakanın (kömür damarı) tavanında yapılan patlatma sonucunda oluşan direk, yüzey ve kanal dalgalarının yüzeyde bulunan istasyonlarda oluşturduğu titreşimleri incelemektedir.

Giriş parametresi olarak, tabakaların kalınlıklarını, sismik kalite faktörlerini, dispersif faktörü, tabakaların sismik hızlarını, sıfır ve sonsuz frekans hızlarını, etken frekansları, sismik iz süresi, sayısı ve istasyon aralığı gibi parametreleri kullanmaktadır.

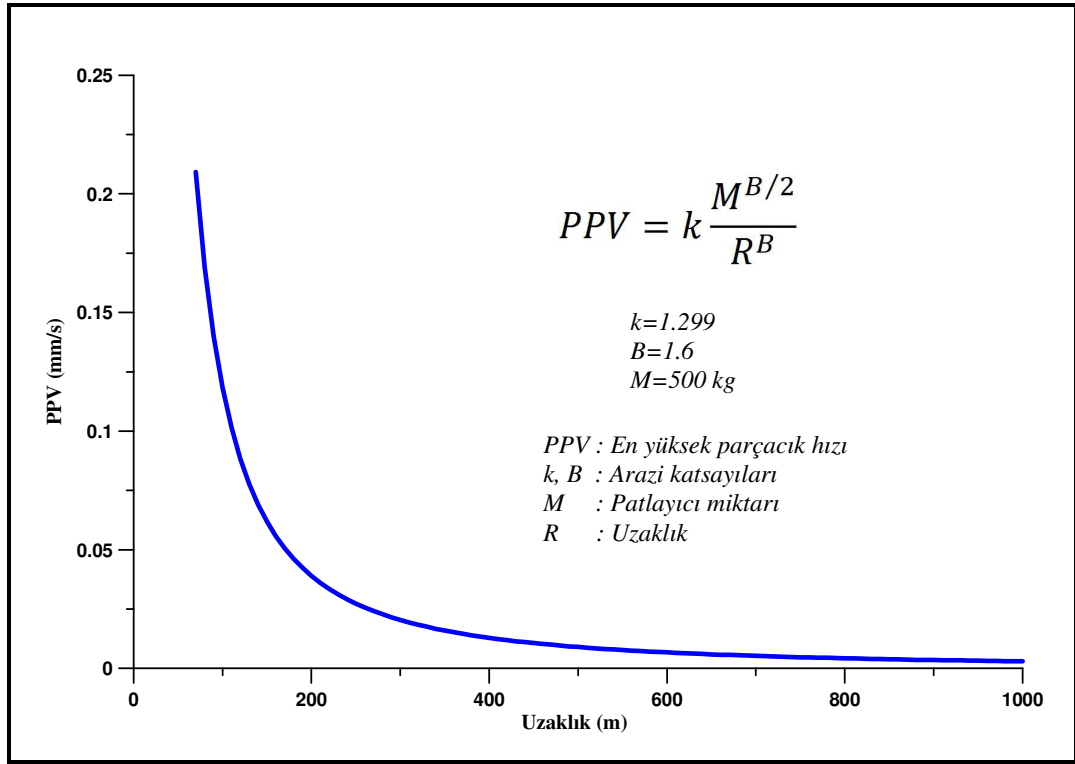
Program düz çözüm ilkesine göre çalışmaktadır. Girilen istasyon sayısı kadar, her istasyon için başlangıçta seçilen her olay, frekans ortamında tek tek üretilmekte ve toplanmaktadır. Model çalışmaları farklı kömür ve örtü tabakası kalınlıkları ve farklı sismik özellikler için ayrı ayrı denenmiştir. Model parametreleri değiştirilerek,

- i) kanal dalgalarının belirgin olarak oluştuğu
- ii) kanal dalgalarının gözlenemediği ya da çok az gözlendiği
- iii) farklı tabaka kalınlıklardaki etkisini gösteren 5 model denenmiştir.

Model programında giriş sinyali olarak 1 mm/s genlikli simetrik ricker dalgacığı kullanılmaktadır. Bu yüzden model çalışmalarının arazi çalışmaları ile karşılaştırılmasında oluşan genliklerden çok eğri karakterleri ve genliklerdeki artışların kaynaktan uzaklığı değerlendirilmiştir.

5.1 Model 1

Madencilik faaliyetleri sırasında gerçekleştirilen patlatmaların titreşim etkisi, uzaklık, arazi katsayıları ve patlayıcı miktarını parametre olarak kullanan ve belirli mesafelerdeki en yüksek parçacık hızını hesaplayan görgül bağıntı (Şekil 5.1) yardımı ile incelenir. Bu bağıntı kullanılarak mesafeye göre oluşan parçacık hızları Şekil 5.1’de örnek olarak gösterilmektedir. Buradan anlaşılacağı gibi parçacık hızları uzaklıkla birlikte üstel olarak azalmaktadır.



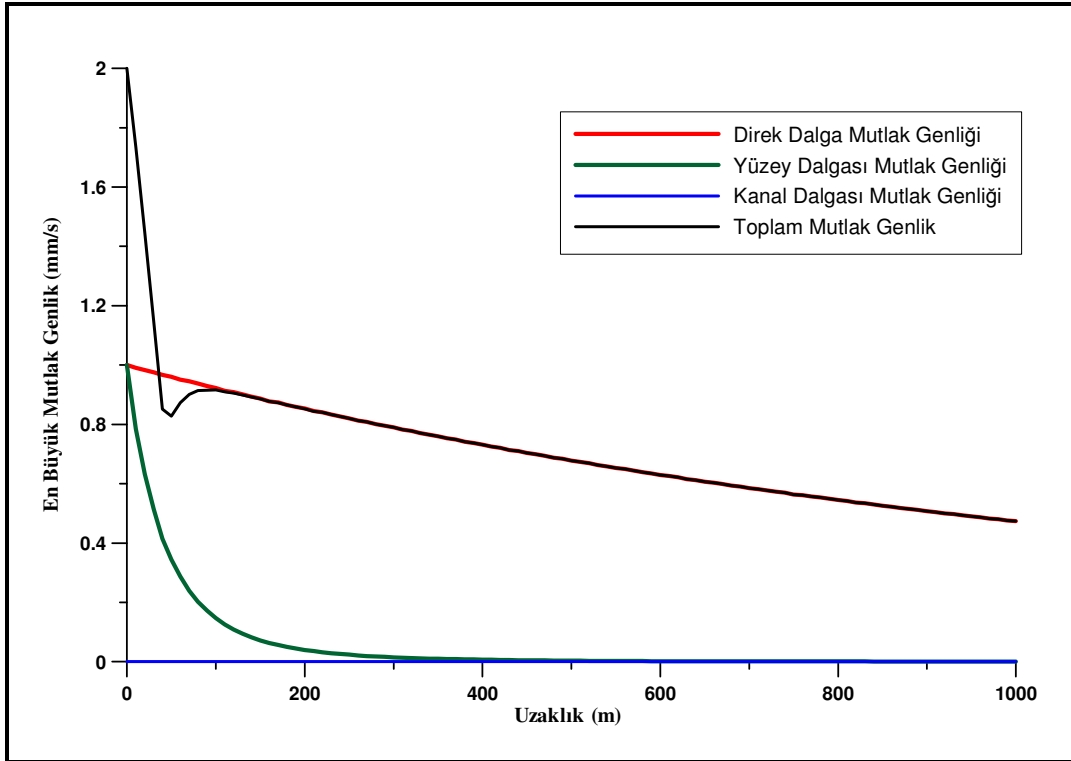
Şekil 5.1 Patlatma ile oluşan en büyük mutlak genliklerin uzaklıkla ilişkisini gösteren grafik.

Bu modelde amaç, kanal özelliği gösteren bir kömür tabakasının olmadığı varsayılarak, modelleme programının ürettiği parçacık hızı değerlerinin uzaklıkla birlikte, yukarıda bahsedildiği gibi üstel olarak azalacağını göstermektir.

Model, tekrarlı yansımalara izin verecek düşük hızlı bir tabaka (kömür damarı) içermediği için Şekil 5.2’de kanal dalgalarını temsil eden mavi çizgi uzaklık eksenini ile çakışmaktadır, kanal dalgaları oluşmamaktadır. Bu modelde sadece yüzey dalgaları ve direk dalgalar oluşmaktadır ve genlikleri ise uzaklık ile azalmaktadır.

Çizelge 5.1 1.Modelde kullanılan parametreler.

Model Parametreleri	Model 1
Kömürün hızı (m/s)	2000
Kömürün sismik kalite faktörü	-
Kömürün kalınlığı (m)	0
Üst (ve alt) tabakanın hızı (m/s)	3000
Üst tabakanın sismik kalite faktörü	5
Üst tabakanın kalınlığı (m)	50



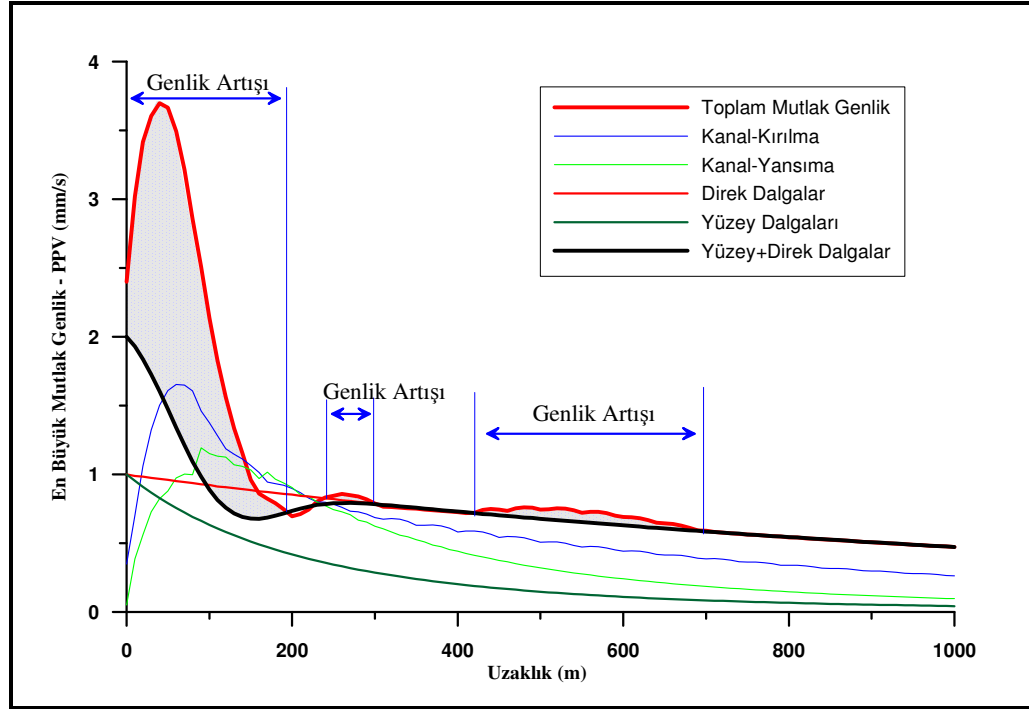
Şekil 5.2 50 m örtü tabakası altında kömür olmadığı durumda oluşan direk, yüzey ve toplam dalgaların en büyük mutlak genlikleri.

5.2 Model 2

Bu modelde 50 m örtü tabakası altında 5 m kalınlığında kömür tabakası olduğu varsayılarak modelleme programı çalıştırılmış ve oluşan yansıma ve kırılma kaynaklı kanal dalgaları, yüzey dalgaları ve direk dalgaların genlikleri Şekil 5.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.2 2.Modelde kullanılan parametreler.

Model Parametreleri	Model 2 (Şekil 1)	Model 2 (Şekil 2)
Kömürün hızı (m/s)	2000	1000
Kömürün sismik kalite faktörü	2	20
Kömürün kalınlığı (m)	5	5
Üst (ve alt) tabakanın hızı (m/s)	3000	2000
Üst tabakanın sismik kalite faktörü	5	45
Üst tabakanın kalınlığı (m)	50	50

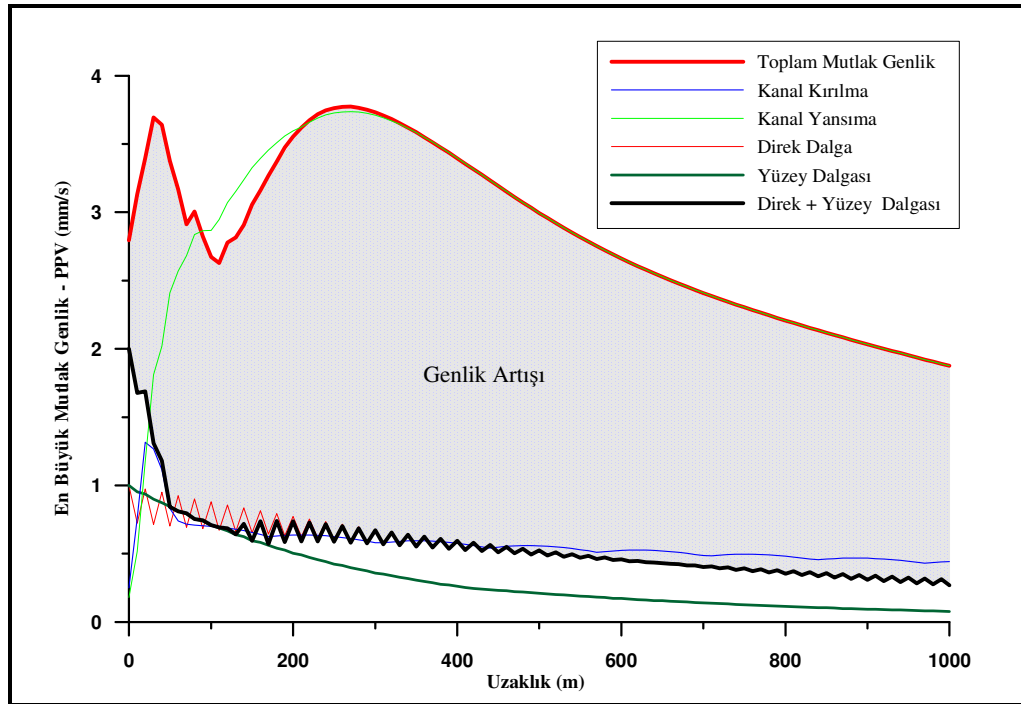


Şekil 5.3 50 m örtü tabakası altında bulunan 5 m kalınlığındaki kömür tabakasının tavanında yapılan patlatma modeli sonucunda oluşan en büyük mutlak genlikler.

Şekil 5.3’de sarı çizgi toplam genlikleri, siyah çizgi ise kömür tabakasının olmadığı durumda oluşacak direk ve yüzey dalgalarının toplam genliklerini temsil etmektedir. Kırmızı çizgi ile gösterilen direk dalga ve koyu yeşil çizgi ile gösterilen yüzey dalgası genliklerinin uzaklıkla birlikte hızla azaldığı görülmektedir. Bu durumda genliklerin artmasına neden olan mavi ve açık yeşil eğrilerle gösterilenler, yansıma ve kırılma kaynaklı kanal dalgalarıdır.

Yüzey ve direk dalga genlikleri toplamını temsil eden siyah eğri ile toplam genlikleri temsil eden sarı eğri arasında kalan bölgeler genlik artışının gözleneceği uzaklıkları göstermektedir.

Şekil 5.4’de tabaka sismik hızları kömür için 1000 m/s, örtü tabakası için 2000 m/s olarak değiştirilmiş ayrıca etken frekanslar ve sismik kalite faktörleri gibi giriş parametreleri arttırılmıştır.



Şekil 5.4 50 m örtü, 5 m kömür, örtü hızı 2000 m/s, kömür hızı 1000m/s olan patlatma modeli sonucunda oluşan en büyük mutlak genlikler.

Bu durumda yine toplam genlikleri temsil eden sarı eğri ile sadece yüzey ve direk dalgaların genliklerini temsil eden siyah eğri arasında kalan alanın öncekinden daha büyük olduğu görülmektedir. Burada kanal dalgalarının tüm mesafelerde etkili olduğu ve en fazla 300. m civarında genlikleri yükselttiği söylenebilir. Bunun sebebi tabaka kalınlıkları ve bu tabakaların sismik hızlarıdır. Bu değerlerdeki değişiklikler, genliklerde görülen artışların en fazla olduğu mesafeyi etkileyecektir.

5.3 Model 3

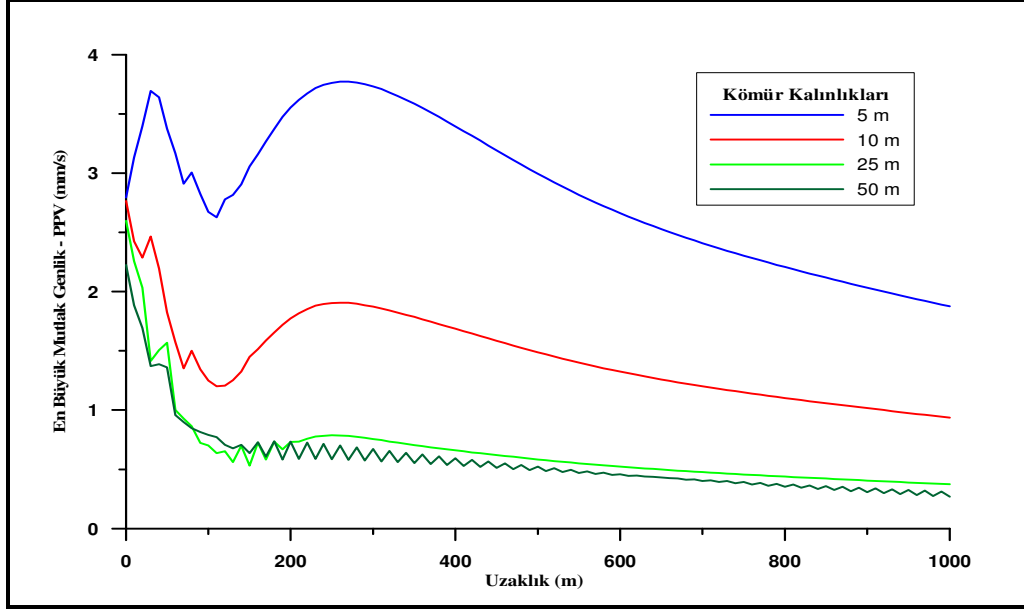
Bu modelde amaç değişen kömür tabakası kalınlıkları kullanılarak oluşacak genlikleri incelemektir.

Örtü tabakası kalınlığı 50 m'dir ve modelleme programı, kalınlığı 1 m ile 50 m arasında değişen kömür tabakaları için ayrı ayrı denenmiştir. Oluşan genlikler uzaklığa göre Şekil 5.5'de ve kömür tabakası kalınlığına göre Şekil 5.6'da gösterilmektedir.

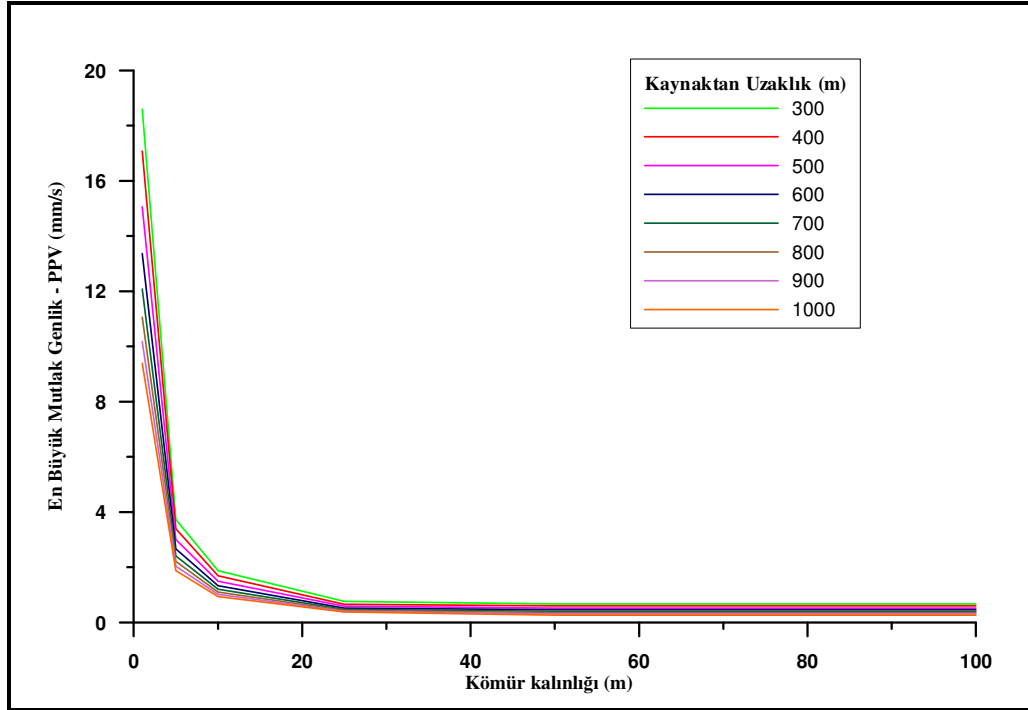
Şekil 5.5 ve Şekil 5.6 birlikte değerlendirildiğinde kömür tabakası kalınlığının düşük olmasının kanal olma özelliğini arttırdığı ve oluşan genlikleri yükselttiği sonucuna varılabilir. Benzer şekilde 50 m örtü tabakası altında 50 m kömür tabakası olması durumunda Şekil 5.5'de yeşil eğri ile temsil edilen eğrideki gibi titreşim etkisinin kanal dalgalarından çok direk ve yüzey dalgalarının etkisiyle oluşacağı görülebilir.

Çizelge 5.3 3.Modelde kullanılan parametreler.

Model Parametreleri	Model 3
Kömürün hızı (m/s)	1000
Kömürün sismik kalite faktörü	20
Kömürün kalınlığı (m)	5-10-25-50
Üst (ve alt) tabakanın hızı (m/s)	2000
Üst tabakanın sismik kalite faktörü	45
Üst tabakanın kalınlığı (m)	50



Şekil 5.5 50 m örtü tabakası altında değişen kalınlıklarda kömür tabakasının tavanında yapılan patlatma modeli sonucunda oluşan en büyük mutlak genlikler.



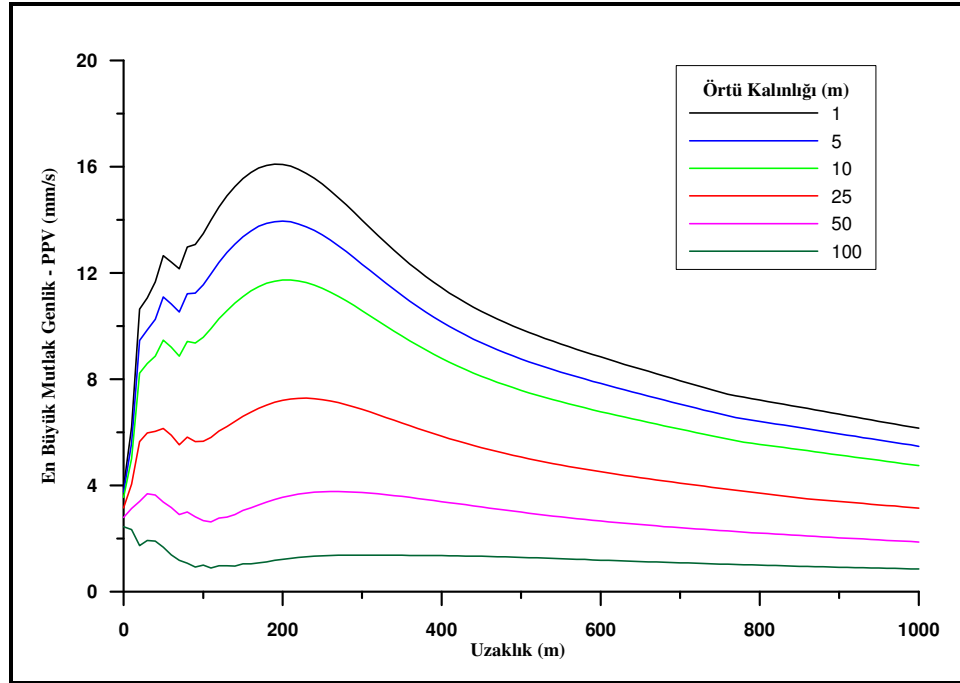
Şekil 5.6 Değişen kalınlıklardaki kömür tavanında yapılan patlatma modeli sonucunda oluşan PPV-Kömür kalınlığı grafiği.

5.4 Model 4

Bu modelde önceki modele benzer olarak 5 m kömür tabakası üzerinde değişen örtü tabakası kalınlıkları kullanılarak oluşacak genlikleri incelemektir. Modelleme programı, kalınlığı 1 m ile 100 m arasında değişen örtü tabakaları için ayrı ayrı denenmiştir. Oluşan genlikler uzaklığa göre Şekil 5.7’de ve örtü tabakası kalınlığına göre Şekil 5.8’de gösterilmektedir.

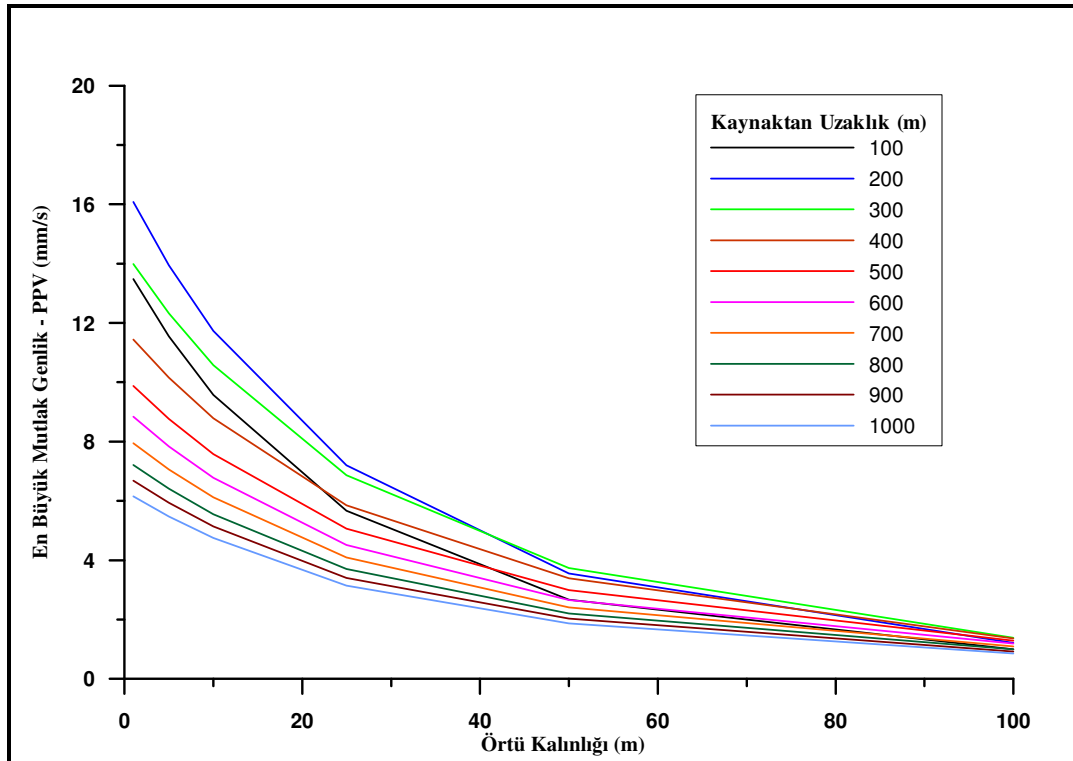
Çizelge 5.4 4.Modelde kullanılan parametreler.

Model Parametreleri	Model 4
Kömürün hızı (m/s)	1000
Kömürün sismik kalite faktörü	20
Kömürün kalınlığı (m)	5
Üst (ve alt) tabakanın hızı (m/s)	2000
Üst tabakanın sismik kalite faktörü	45
Üst tabakanın kalınlığı (m)	1-5-10-25-50-100



Şekil 5.7 5 m kömür tabakası üzerinde değişen kalınlıklardaki örtü tabakaları için yapılan patlatma modeli sonucunda oluşan en büyük mutlak genlikler.

En yüksek parçacık hızı değerleri örtü tabakasının en az olduğu durumlarda ortaya çıkmaktadır. Şekil 5.7’de 1 m’lik örtü tabakası olması halinde oluşacak genlikleri temsil etmekte olan siyah eğri, 200. m civarında yaklaşık 16 mm/s ile en yüksek değerine ulaşmaktadır. 100 metrelik örtü tabakası olması durumunda oluşacak genlikleri temsil eden yeşil eğride de 250-400 metreleri arasında genlik artışı gözlenmektedir, ancak bu artış diğer örtü kalınlıklarını temsil eden eğrilerle kıyaslandığında oldukça azdır.



Şekil 5.8 Değişen kalınlıklardaki örtü tabakaları için yapılan patlatma modeli sonucunda oluşan PPV-Örtü kalınlığı grafiği.

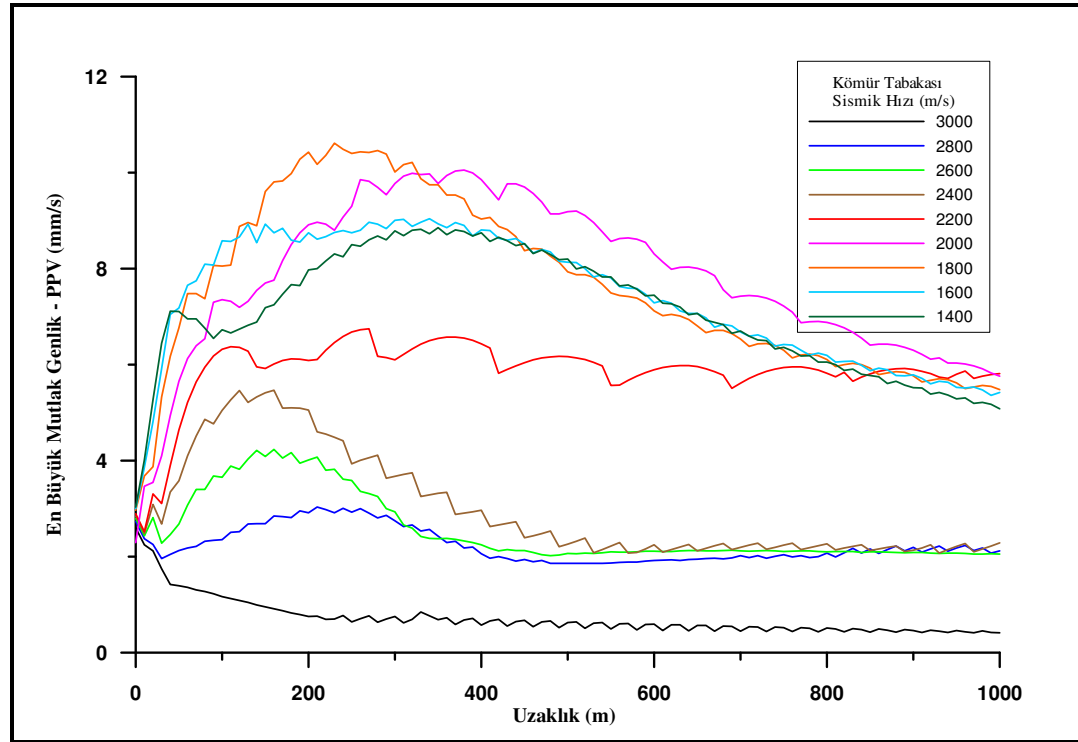
5.5 Model 5

Bu modelde örtü tabakasının sismik hızı 3000 m/s olarak kabul edilmiş ve kanal özelliği gösteren tabakanın sismik hızı değiştirilerek modelleme programının oluşturduğu genlikler incelenmiştir. Bu çalışmada düşük hızlı tabaka kömür tabakasıdır ve kömür için literatürde tanımlanan sismik hızlar 1800–2800 m/s arasında değişmektedir. Bu

nedenle modelleme programında kömür tabakası sismik hızı 1400-3000 m/s arasında değişen değerlerde girilerek oluşan genlikler incelenmiştir. Sismik hızın değişmesi ile birlikte diğer fiziksel özellikler de değişmektedir ancak model çalışmasında bu göz ardı edilerek kömür ve örtü tabakası arasındaki hız farkının etkisi incelenmiştir.

Çizelge 5.5 Modelde kullanılan parametreler.

Model Parametreleri	Model 5
Kömürün hızı (m/s)	1400- (200 artışla) -3000
Kömürün sismik kalite faktörü	20
Kömürün kalınlığı (m)	5
Üst (ve alt) tabakanın hızı (m/s)	2000
Üst tabakanın sismik kalite faktörü	45
Üst tabakanın kalınlığı (m)	50



Şekil 5.9 3000 m/s sismik hıza sahip örtü tabakası altında bulunan 5 m kalınlığındaki kömür tabakasının değişen hız değerleri sonucunda oluşan genlikler.

Oluşan genlikler Şekil 5.9'da gösterilmektedir. Hız farkının az olduğu durumlarda oluşan genliklerin daha düşük, tersi durumda ise daha yüksek olduğu görülebilir. Eğrilerdeki en yüksek değerlerin de hız farkına, dolayısıyla değişen kritik açıya bağlı olarak farklı yatay mesafelerde oluştuğu gözlenmektedir.

6.2. Jeofonlar

Arazi çalışmalarında kullanılan jeofon ve kayıtçının teknik özellikleri Çizelge 6.1'de verilmiştir. Şekil 6.2, kayıtçı, 3-bileşenli jeofon ve mikrofonu göstermektedir.

Çizelge 6.1 Arazi çalışmalarında kullanılan jeofonların teknik özellikleri.

Genel Özellikler	Minimate Plus
Kanallar	Mikrofon ve üç bileşenli jeofon veya kullanıcı yapılandırılmalı 4 kanal
<i>Titreşim İzleme</i>	
Aralık	254 mm/s'ye kadar
Çözünürlük	0.127 mm/s veya 0.0159 mm/s
Doğruluk	+/-5% veya 0.5 mm/s, hangisi daha büyükse, 4-125 Hz aralığında
Enerji Aktarım Yoğunluğu	2.13 g/cc
Frekans Aralığı	1-250 Hz arası
<i>Dalga Biçimi Kaydı</i>	
Kayıt Şekli	Manuel, tek atış, sürekli
Sisimik Tetik	0.125 - 254 mm/s
Örnekleme Oranı	1024 - 16384 S/s her kanal için (kayıt zamanına bağımlı), yükseltilmiş yazılımla tek kanal için 65536 S/s
Kayıt Durdurma Biçimi	Standart kayıt zamanı, Instantel AutoRecord record stop mode
Kayıt Zamanı	1 - 100 saniye (1 saniyelik adımlarla programlanabilir) veya 500 saniye artı 0.25 saniye ön-tetik
AutoRecord Zamanı	Otomatik pencere 1 - 9 saniyeden programlanabilir. Olaylar otomatik pencere süresince ve tetik (trigger) seviyesinin altında kalana kadar veya hafıza dolana kadar kaydedilir.
Çevrim Zamanı	Olay süresince kesintisiz kayıt.
<i>Depolama Kapasitesi</i>	
Tüm Dalga Biçimi Olayları	örnekleme oranı 1024 S/s için 300 bir saniye olay
Olay Özetleri	1750 (uygun hafıza güncellemesi ile 8750)
<i>Histogram Kaydı</i>	
Kayıt Biçimleri	Histogram ve Instantel Histogram Combo
Kayıt Aralıkları	2, 5 veya 15 saniye; 1, 5 veya 15 dakika
Depolama Kapasitesi	5 saniye aralık ayarı ile 3 günde veya 15 dakika aralık ayarı ile 102 günde 46656
<i>Fiziksel Özellikleri</i>	
Boyutları	81 x 91 x 160 mm
Ağırlık	1.4 kg
Batarya	210 saat devamlı izleme kapasiteli, şarj edilebilir 6 V sealed jel hücreli
Yardımcı giriş-çıkışlar	Harici tetikleme, uzaktan alarm, GPS'ten koordinat alma
<i>Çevresel</i>	
LCD çalışma sıcaklığı	-10 - +50 derece arası
Cihaz çalışma sıcaklığı	-20 - +60 derece arası
Uzak İletişim	Telefon, GSM, RF, uydu, kısa menzilli modemler ve ethernet aygıtları ile uyumlu. Instantel Auto Call Home özelliği yardımıyla, olayları oluştukları anda otomatik olarak aktarır.
Ek Özellikler	Ekran başlatma-durdurma zamanlayıcısı



Şekil 6.2. Patlatma titreşimlerini kaydetmek için kullanılan kayıtçı, 3-bileşenli jeofon ve mikrofon sistemi

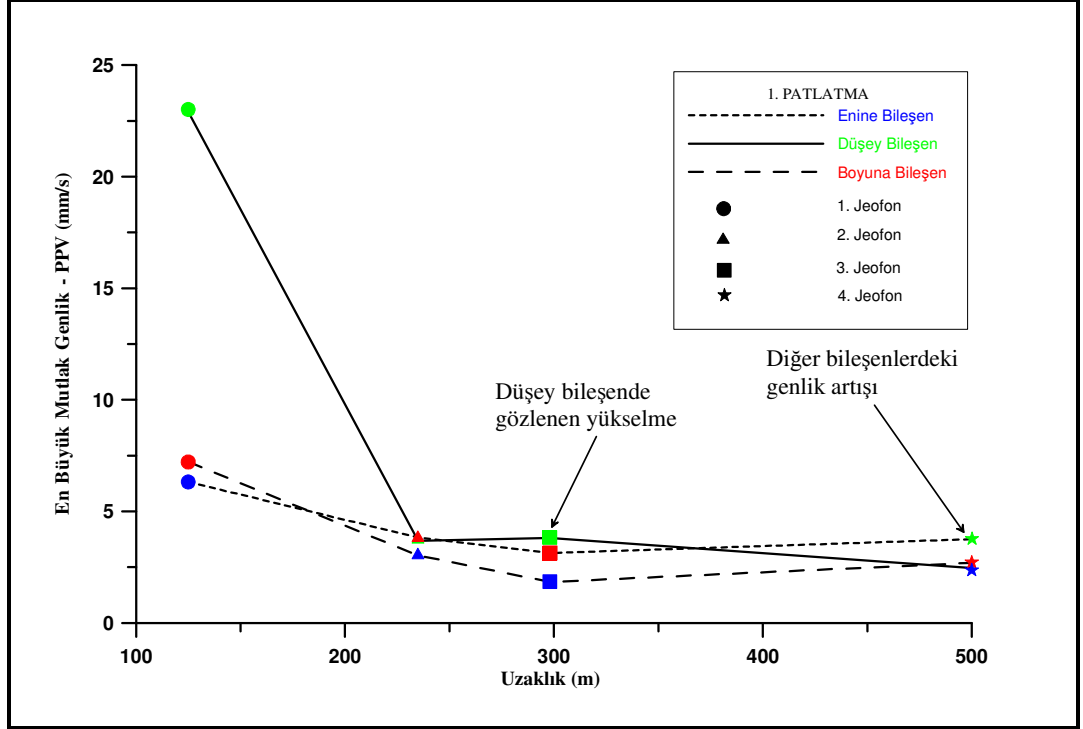
Patlatma noktaları ve jeofonların koordinatları Çizelge 6.2’de verilmiştir. İlk jeofon kömür tabakası üzerinde, yani ocak içinde diğerleri ise Hüsamlar köyü ve yakın civarına yerleştirilmiştir.

Çizelge 6.2 Patlatma noktaları ve jeofonların koordinatları.

	Y	X	Z
1.Patlatma Noktası	583248	4103628	165
2.Patlatma Noktası	583363	4103625	165
1. Jeofon	583259	4103503	180
2. Jeofon	583314	4103402	225
3. Jeofon	583341	4103344	225
4. Jeofon	583456	4103173	225

6.3 Arazi Çalışması

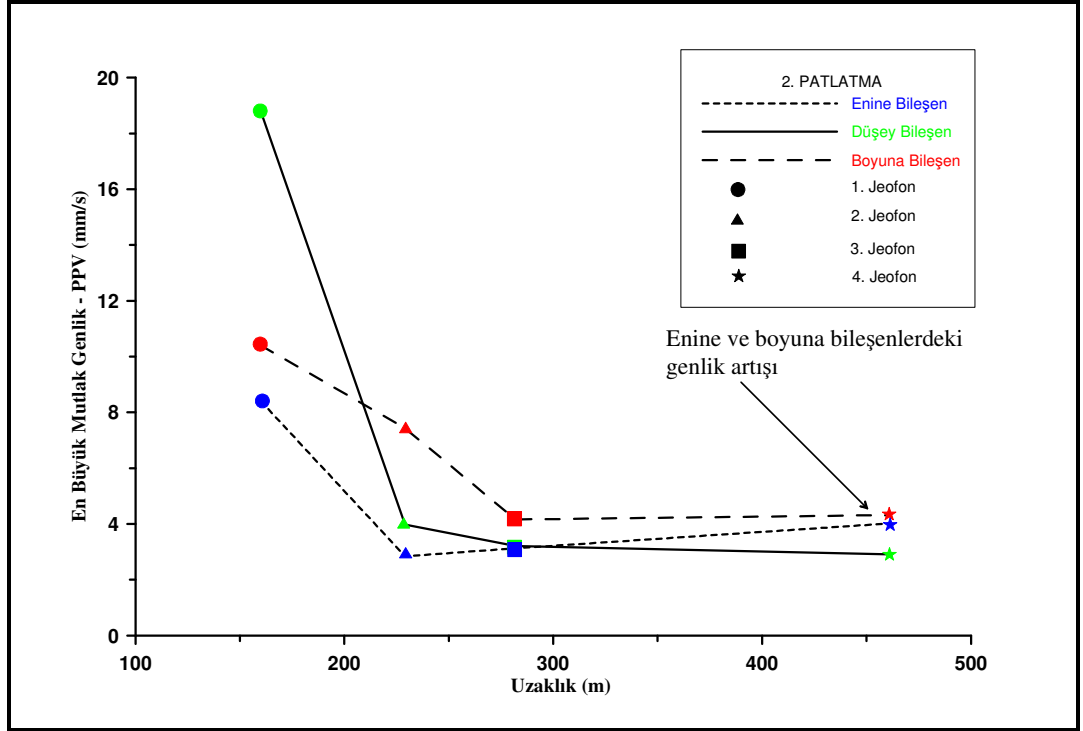
Arazi çalışmasında iki grup patlatma yapılmıştır. İlk grupta 30 delik patlatılmıştır. Dört jeofondan elde edilen, enine, boyuna ve düşey bileşenlerdeki en yüksek parçacık hızları Şekil 6.3’te görülmektedir.



Şekil 6.3 1.grup patlatma sonucu oluşan titreşimlerin enine, boyuna ve düşey bileşenleri.

Burada düşey bileşenlerin oluşturduğu eğride 300. metredeki genlik artışı dikkat çekmektedir. Bu durum, model sonuçları ile de örtüşmektedir. Bu yükselmenin, kömür içerisinde oluşan kanal dalgası etkisine bağlı olduğu düşünülmektedir. Uzaklık ekseninin sonlarına doğru, enine ve boyuna bileşenlerdeki yükselme eğilimi, kanal dalgalarının bu bileşenlerde de etkili olduğunu düşündürmektedir.

İlk jeofonun ocak içerisinde ve kömür üzerinde olması kaydedilen genliklerin yüksek olmasına neden olmuştur. Sonraki jeofonlar köy içerisinde ve civarındadır, ayrıca kömürden sonra yaklaşık 45 metrelik örtü tabakasının üzerinde yer almaktadır.



Şekil 6.4 2. grup patlatma sonucu oluşan titreşimlerin enine, boyuna ve düşey bileşenleri.

İkinci grup patlatmada ise 20 delik patlatılmış olup kaydedilen titreşimlere ait genliklerin enine, boyuna ve düşey bileşen değerleri Şekil 6.4'te gösterilmektedir. Boyuna bileşenin uzaklık ekseninin yaklaşık 230. metresine kadar olan bölümünde gözlenen düşük eğim, yani genliklerdeki azalmanın bu noktadan sonraki azalma hızına göre yavaşlığı, kanal dalgası etkisi olarak yorumlanmaktadır. Yine enine bileşende, uzaklık ekseninin sonlarına doğru gözlenen genlik artışı da kanal dalgası etkisi olarak değerlendirilmektedir (Şekil 6.4).

SONUÇLAR

Bu çalışmada amaç, alışlagelmiş olarak yürütülen patlatma titreşim analizlerine yeni bir bakış açısı getirmektir. Çalışmada kömür damarının, altında ve üstünde göreceli olarak yüksek sismik hıza sahip tabakalar bulunması halinde kanal görevi görmesi ve kanal dalgası üretmesi durumu gibi özel durumlarda, patlatma titreşimlerinin beklenildiğinin aksine mesafeyle azalan bir davranış göstermeyebileceği, hatta, mesafeyle artabileceğine dikkat çekilmektedir.

Kömür damarları gibi kanal dalgası üretme ihtimali olan yapılarda model çalışmaları yardımıyla, yapılacak patlatmalarda, dalgaların nasıl bir yayılım mekanizması izleyeceğini önceden kestirmek, titreşimleri azaltma çalışmalarında çok önem taşıyacaktır. Titreşimlerin kanal içinde hangi mesafelerde tekrar arttığını görmek ve bu bölgeyi hedef seçerek, alışlagelmiş PPV-SD bağıntılarının uygulandığı yöntemle ya da, Aldaş ve Ecevitoğlu, (2008) tarafından geliştirilen yeni metodoloji ile, titreşimleri bu bölgede azaltmak mümkün olabilecektir. Bu çalışma, titreşimleri azaltma çalışmalarına bir ön bilgi sunmaktadır.

Çalışma kapsamında, Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Yeniköy Linyitleri İşletmesi Müdürlüğünün Hüsamlar Ocağında, Hüsamlar köyünün altına doğru devam eden kömür damarı üzerinde 2 grup patlatma yapılmış ve oluşan titreşimler ocak ve köy içerisine yerleştirilen 4 adet üç bileşenli sismik kayıt cihazı ile kaydedilmiştir.

Çalışmada kullanılan modeller, kanal dalgası teorisi üzerine kurulmuştur. Arazi ölçümlerine dayanan görgül yaklaşımlara bağlı değildir. Kurulan modeller, 2 adet arazi verisi ile test edilmiştir. Teorisi yıllar önce kanıtlanmış olan kanal dalgalarının, patlatma titreşimleri üzerine etkisi gösterilmeye çalışılarak, hali hazırda kullanılan yöntemler iyileştirilmeye çalışılmıştır.

Çalışmada 5 model denenmiştir. Her bir modelden elde edilen bilgiler ışığında varılan sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

Model 1: Kanal özelliği gösteren, tekrarlı yansımalara izin verecek düşük hızlı bir tabaka (kömür damarı) olmadığı durumda, modelleme programının ürettiği parçacık hızı değerlerinin uzaklıkla birlikte, üstel olarak azaldığı görölmektedir.

Model 2: Bu aşamada, 50 m örtü tabakası altında bulunan 5 m kalınlığındaki kömür tabakasının tavanında yapılan patlatma modellenmiştir. Model, Hüsamlar ocağındaki kömürün ve örtü tabakasının durumunu modellemektedir. Başka bir deyişle, bölgede yapılan arazi çalışması sırasındaki patlatma sonucu oluşacak sismik dalgaların kanal içindeki yayılımını gösteren modeldir. Model ve gerçek patlatma sonuçları göstermektedir ki kanal dalgaları tüm mesafelerde etkilidir; en fazla da, 300. m civarında genliklerini yükseltmektedir.

Model 3: Bu modelde, örtü tabakası kalınlığı sabit tutularak (50m), 1-50m arasında değişen kömür tabakası kalınlıklarının, genlikler üzerindeki etkisi incelenmiştir. Kömür tabakası kalınlığının düşük olmasının kanal olma özelliğini arttırdığı ve oluşan genlikleri yükselttiği sonucuna varılmıştır. 50 m kömür tabakası olması durumunda ise, titreşim etkisinin kanal dalgalarından çok, direk ve yüzey dalgalarının etkisiyle oluşacağı görölmüştür.

Model 4: Bu modelde, kömür tabakası kalınlığı sabit tutularak (5m), 1-100m arasında değişen örtü tabakası kalınlıklarının, genlikler üzerindeki etkisi incelenmiştir. En yüksek parçacık hızı değerlerinin, örtü tabakasının en az olduğu durumlarda ortaya çıktığı görölmüştür. 100 metrelik örtü tabakası olması durumunda oluşacak genlik artışları, diğer örtü kalınlıklarının yarattığı genlik artışlarına nazaran daha azdır.

Model 5: Bu modelde, kömür tabakası sismik hızı 1400-3000 m/s arasında değişen değerlerde girilerek, oluşan genlikler incelenmiştir. Kömür ve örtü tabakası arasındaki hız farkının az olduğu durumlarda oluşan genliklerin daha düşük, tersi durumda ise daha yüksek olduğu görölmüştür.

Arazi alışmaları sırasında yapılan 1.grup patlatma sonucunda, kanal dalgası etkisi, patlatma noktasına 300 m uzaklıktaki jeofon ile kaydedilen sinyalin dūřey bileşenindeki genlik artışı ile tespit edilmiştir. Bu durum, model 2’de de öngörülmüştür.

Yine 1.grup patlatmada, patlatma noktasına 500 m uzaklıktaki jeofonda kaydedilen sinyalin enine ve boyuna bileşenlerindeki artış eğilimi de kanal dalgası etkisi olarak değerlendirilmektedir.

2.grup patlatma sonucunda elde edilen değerlerde ise, patlatma notasına yaklaşık 230 m uzaklıktaki jeofon ile kaydedilen sinyalin boyuna bileşeninde ve 500 m uzaklıktaki jeofon kaydının enine bileşeninde kanal dalgası etkisi gözlenmiştir.

Bu sonuçlar, kömür damarı içerisindeki sismik dalga yayınımının tekdüze bir uzaklıkla azalım ilişkisi olmadığını göstermektedir. Uzaklıkla stel olarak azalması gereken genliklerin, kömür damarı içerisinde gelişen yapıcı girişimler nedeni ile bazı noktalarda yükselmeler gösterdiği ve bundan dolayı patlatmalardan kaynaklanan titreşim etkisini arttırdığı belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Adhikari, G.R., Theresraj, A.I., Venkatesh, S., Balachander, R., Gupta, R.N. 2004. Ground vibration due to blasting in limestone quarries. *Fragblast – International Journal of Blasting and Fragmentation*, 8(2); 85–94.
- Aldaş, G.G.U, Ecevitoglu, B. 2008. Waveform analysis in mitigation of blast-vibration. *Journal of Applied Geophysics*, 66; 25-30.
- Anderson, D.A. Winzer, S.R., Ritter, A.P., 1982. Blast design for optimizing fragmentation while controlling frequency of ground vibration. *Proceedings of the 8th Conference on Explosives and Blasting Technique*, New Orleans; pp. 69–89.
- Anderson, D.A. 1993. Blast Monitoring: Regulations, Methods and Control Techniques. In: Hudson, J.A. (Ed.), *Comprehensive Rock Engineering*, volume 4, Pergamon Press, pp. 95–110.
- Blair, D.P. 2004. Charge Weight Scaling Laws and The Superposition of Blast Vibration Waves. *Fragblast*, 8(4), 221-239.
- Bollinger, G.A. 1971. *Blast Vibration Analysis*. Southern Illinois University Press. 132 p.,USA.
- Bohlen, T. 2002. Parallel 3-D viscoelastic finite difference seismic modelling. *Computers & Geoscience*, 28; 887–899.
- Buchanan, D.J., Mason, I.M., Davis, R. 1980. The coal cutter as a seismic source in channel wave exploration. *National Coal Board Mining Research and Development Establishment, Burton-On Trent, Volume GE-18(4)*; 318-320.
- Buchanan, D. J., Davis, R., Jackson, P. J. and Taylor, P. M. 1981. Fault location by channel wave seismology in United Kingdom coal seams. *Geophysics*, Cilt 46 (7); 994- 1002.
- Buchanan, D.J., 1986. The scattering of SH-channel waves by a fault in a coal seam. *Geophysical Prospecting*, 34(3); 343–365.
- Buchanan, D. J., Jackson, P. J. and Davis, R. 1983. Attenuation and anisotropy of channel waves in coal seams. *Geophysics*, Cilt 18 (2); 133-147.
- Buchanan, D.J., Davis, R., Jackson, P. J. and Taylor, P. M. 1990. Fault detection in coal by channel wave seismology: some case histories. *Geophysical Prospecting*, Volume 38(6); pages 607–620.

- Chen, G., Huang, S. 2001. Analysis of ground vibrations caused by open pit production blasts: a case study. *Fragblast – International Journal of Blasting and Fragmentation*, 5 (1), 1–2, 91-107.
- Dobroka, M. 1987. Love seam-waves in a horizontally inhomogeneous three-layered medium. *Geophysical Prospecting*, 35; 502-516.
- Dobroka, M. 1988. On the absorption-dispersion characteristics of channel waves propagating in coal seams of varying thickness. *Geophysical prospecting* 36; 318-331.
- Dobroka, M. 2001. The investigation of laterally varying geological structures by means of guided wave inversion technique. *Geosciences, Cilt 59*; 5-22.
- Dowding, C.H. 1985. *Blast Vibration Monitoring and Control*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ.
- Essen, K., Misiek, R. and Friederich, W. 2005 Seismic reconnaissance beyond the faces of an advancing coal mine roadway. 11th European meeting of environmental and engineering geophysics, EAGE, Palermo, Italy.
- Essen, K., Bohlen, T., Friederich, W. & Meier, T. 2007. Modelling of Rayleigh-type seam waves in disturbed coal seams and around a coal mine roadway. *Geophys. J. Int.*, 170; 511-526.
- Engin, H. 1999. Muğla-Yatağan linyitlerinin jeolojisi ve jeokimyası. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 114 s, İstanbul (yayımlanmamış).
- Feddock, J.E., Gresham, C.T., Willis, M., Imhof, M.G., Yancey, D., Naumann, H.E., McClure, M.G., 2006. *Geophysical Void Detection Demonstration Project*. Inc. ve Virginia Tech, 64 sayfa, USA.
- Findlay, M.J., Goult, N.R. and Kragh, J.E. 1991. The crosshole seismic reflection method in opencast coal exploration. *First 1 Break*. Cilt 9 (11); 509-514.
- Fohrmann, M., Igel, H., Jahnke, G. and Ben-Zion, Y. 2004. Guided Waves from Sources Outside Faults: An Indication for Shallow Fault Zone Structure. *Pure Appl. Geophys.*, 161; 2125–2137.
- Greenhalgh, S.A. and King, D.W. 1981. Dispersive characteristics of Love-type channel waves in Australian coal seams. *Bulletin of the Australian Society of Exploration Geophysicists*, 12(2); 20 – 28.
- Greenhalgh, S.A., Cao, S., Mason, I.M. and Pant, D.R. 1992. Fault Proximity Surveys in Coal using Guided Seismic Waves Numerical Modelling *Pageoph*, Cilt 139 (2); 215-239.

- Greenhalgh, S.A., Zhou, B., Pant, D.R., Green, A., 2007. Numerical study of seismic scattering and waveguide excitation in faulted coal seams. *Geophysical Prospecting*, Vol. 55 (2); 185-198.
- Gritto R. And Dresen L. 1992. Seismic modelling of seam waves excited by energy transmission into a seam, *Geophysical Prospecting*, Vol. 40; 671-699.
- Gritto, R. 2003. Subsurface void detection using seismic tomographic imaging. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley.
- Gochioco, L. M., Rodriguez, R., Ruv, F. 2008. Employing the underground in-seam seismic method to detect old abandoned mines and improve mine safety. *The Leading Edge*, Cilt 27(1); 88-97.
- Google Maps/Earth Additional Terms of Service, Web sitesi. <http://maps.google.com/> Erişim Tarihi: 25.06.2012.
- Goulty, N.R., Thatcher, J.S., Findlay, M.J., Kragh, J.E., Jackson, P.D., 1990. Experimental investigation of crosshole seismic techniques for shallow coal exploration. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, Vol. 23(3); 217-228.
- Gürbüz, C. 1986. Damar içi sismik yöntemle kömür damarı içi süreksizliklerin aranması. *Madencilik*, Cilt 15 (3); 31-36.
- Haberland, C., Agnon, A., El-Kelani, R., Maercklin, N., Qabbani, I., Rumpker, G., Ryberg, T., Scherbaum, F., Weber, M. 2003. Modeling of seismic guided waves at the Dead Sea Transform. *Journal of Geophysical Research*, 108, B7, 2342.
- Hatherly, P.J., Hornby, P. and Irwin, P.F. 2003. Coal seam mapping by analysis of direct channel wave arrivals. *Geoexploration*, Cilt 24 (4-5); 421-427.
- Hoshino, T., Mogi, G., Shaoquan, K. 2000. Optimum delay interval design in delay blasting. *Fragblast – International Journal of Blasting and Fragmentation*, 4; 139–148.
- Hui, Z., Shang-Xu, W., Guo-Fa, L., and Jin-Song, S. 2010. Analysis of complicated structure seismic wave fields. *Applied Geophysics*, Cilt 7 (2); 185 – 192.
- Igel, H., Jahnke, G. and Ben-zion, Y. 2002. Numerical Simulation of Fault Zone Guided Waves: Accuracy and 3-D Effects. *Pure and Applied Geophysics*, 159; 2067–2083.
- Kahrıman, A. 1999. Maden ve taşocaklarında kaya patlatma tekniği. Açık maden ve taş ocaklarında kaya patlatma teknolojisi eğitim semineri, Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı.

- Kahriman, 2004. Analysis of parameters of ground vibration produced from bench blasting at a limestone quarry. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. Cilt. 24; 887-892.
- Kearey, P. and Brooks, M. 1991. *An Introduction to Geophysical Exploration*, 2nd ed.: Blackwell Scientific Publications. 254 p. Oxford.
- Khandelwal M. ve Singh T.N., 2007. Evaluation of Blast-Induced Ground-Vibration Predictors. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. Cilt27(2); 116-125.
- Knopoff, L. 1983 The thickness of the lithosphere from the dispersion of surface waves. *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 74; 55-81.
- Krey, T.C. 1963. Channel waves as a tool of applied geophysics in coal mining. *Geophysics*, Cilt 28 (5); 701-714.
- Krey, T.C. 1976. In seam seismic exploration techniques. *Coal Exploration Proceedings of the first International Coal Exploration Symposium*; 227-255.
- Lavergne, M. 1989. *Seismic Methods*. TECHNIP, 172 sayfa, Paris.
- Lines, L.R., Kelly, K.R., and Queen, J. 1992. Channel waves in cross-borehole data. *Geophysics*, Cilt 57 (2); 334-342.
- Li, X.P., Schott, W. and Rüter, H. 1995. Frequency-dependent Q-estimation of Love-type channel waves and the application of Gkorrection to seismograms. *Geophysics*. Cilt 60 (6); 1773-1789.
- Liu, E., Queen, J.H., Cox, V.D., 2000. Anisotropy and attenuation of crosshole channel waves from the Antrim Shale gas play, Michigan Basin. *Journal of Applied Geophysics*, Cilt 44; 47-61.
- Lou, M. & Crampin, S. 1991a. Dispersion of guided waves in thin anisotropic waveguides. *Geophys. J. Int.*, 107; 545-555.
- Lou, M. and Crampin, S. 1991b. *Seismic Guided Wave Propagation in Cracked Thin-Layer Sedimentary Reservoirs and Its Potential Application in EOR Monitoring by Crosshole Surveys*. 61st Annual International SEG Meeting, Houston, Texas
- Mason, I. M., Buchanan, D. J. and Booer, A. K. 1980. Channel wave mapping of coal seams in the United Kingdom. *Geophysics*, Cilt 45 (7); 1131-1143.
- Muller, B., 1997. Adapting blasting technologies to the characteristics of rock masses in order to improve blasting results and reduce blasting vibrations. *Fragblast*, 1; 61-378.

- Muller, B., Hohlfeld, T.h., 1997. New possibility of reducing blasting vibrations with an improved prognosis. *Fragblast*, 1; 379–392.
- Oppenheim, A.V. and Schafer, R.W. 1975. *Digital Signal Processing*. Prentice Hall: 585 p., London.
- Pant, D.R., Greenhalgh S.A., and Cao S. 1992. Fault-scattered seismic guided waves in a shallow coal seam. *Exploration Geophysics*, 23(2); 267 – 272
- Parra, J.O., Hackert, C.L., Gorodyz, A.W. and Korneev, V. 2002. Detection of guided waves between gas wells for reservoir characterization. *Geophysics*, Cilt. 67 (1); 38–49.
- Persson, P.A., Holmberg, R., Lee, J., 1994. *Rock Blasting and Explosives Engineering*. CRC Press, Inc., pp. 365–367.
- Ravindra R. ve Cervený V. 1971: *Theory of seismic head waves*. Univ. of Toronto Press, p. 312.
- Sheriff R. ve Geldart L.P. 1982: *Exploration seismology*, Vol.1, Cambridge Univ. Press, 253 p.
- Singh, S.K. and Pacheco, J. 1998. Seismic channel waves in the accretionary prism of the Middle America Trench. *Geophysical Research Letters*, Cilt 25 (1); 101-104.
- Singh P.K. and Roy M.P., 2010. Damage to Surface Structure Due to Blast Vibrations. *International Journal of Rock Mechanics and Rock Engineering*, Cilt. 47; 949-961.
- Siskind, D.E., Stagg, M.S., Kopp, J.W., and Dowding, C.H., 1980, 'Structure response and damage produced by ground vibrations from surface blasting', RI 8507, U.S. Bureau of Mines, Washington, D.C.
- Siskind, D.E., Crum, S.V., Otterness, R.E., Kopp, J.W., 1989. Comparative study of blasting vibrations from Indiana surface coal mine. USBM RI 9226 41 pages.
- Siskind, D.E., 2000, 'Vibrations from Blasting'. *International Society of Explosives Engineers*, p. 120, Cleveland, OH.
- Telford, W.M., Geldart, L.P. and Sheriff, R.E. 1991. *Applied Geophysics*, 2nd edn. Cambridge University Press, 770 sayfa, New York.
- Tripathy, G., Gupta, I.D., 2002. Prediction of ground vibrations due to construction blasts in different types of rock, rock mech. *Rock Engineering* 35 (3); 195–204.
- Wang, H. 2005. Two-dimensional FEM modeling of seismic wave propagation in coal seam EGEE 520 Fall 2005 semester paper.

- Yancey, D.J. 2006. Analysis and Application of Coal Seam Seismic Waves for detection of Abandoned Mines. Master Thesis, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Yang, Z., Ge, M. and Wang, S. 2009. Characteristics of transmitting channel wave in a coal seam. Mining Science and Technology (China), Cilt 19 (3); 331-336.
- Yiğitel, İ. 1981. Muğla-Milas Kömürlü Neojeni Hüsamlar Sektörü Jeoloji Raporu, MTA Raporu, Ankara.

EKLER

EK 1 – 1.Patlatma 1. Jeofon kaydı

EK 2 – 1.Patlatma 2. Jeofon kaydı

EK 3 – 1.Patlatma 3. Jeofon kaydı

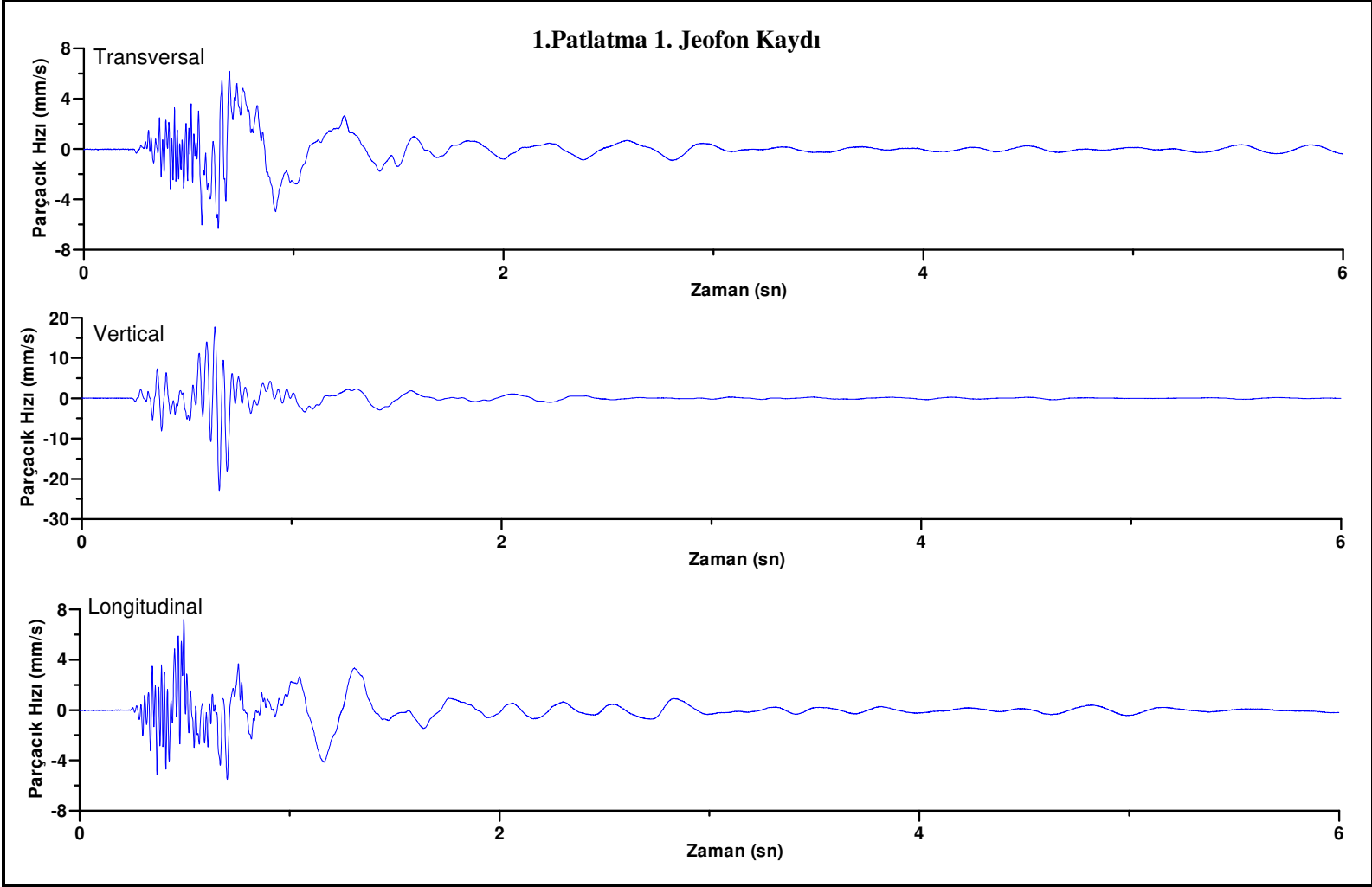
EK 4 – 1.Patlatma 4. Jeofon kaydı

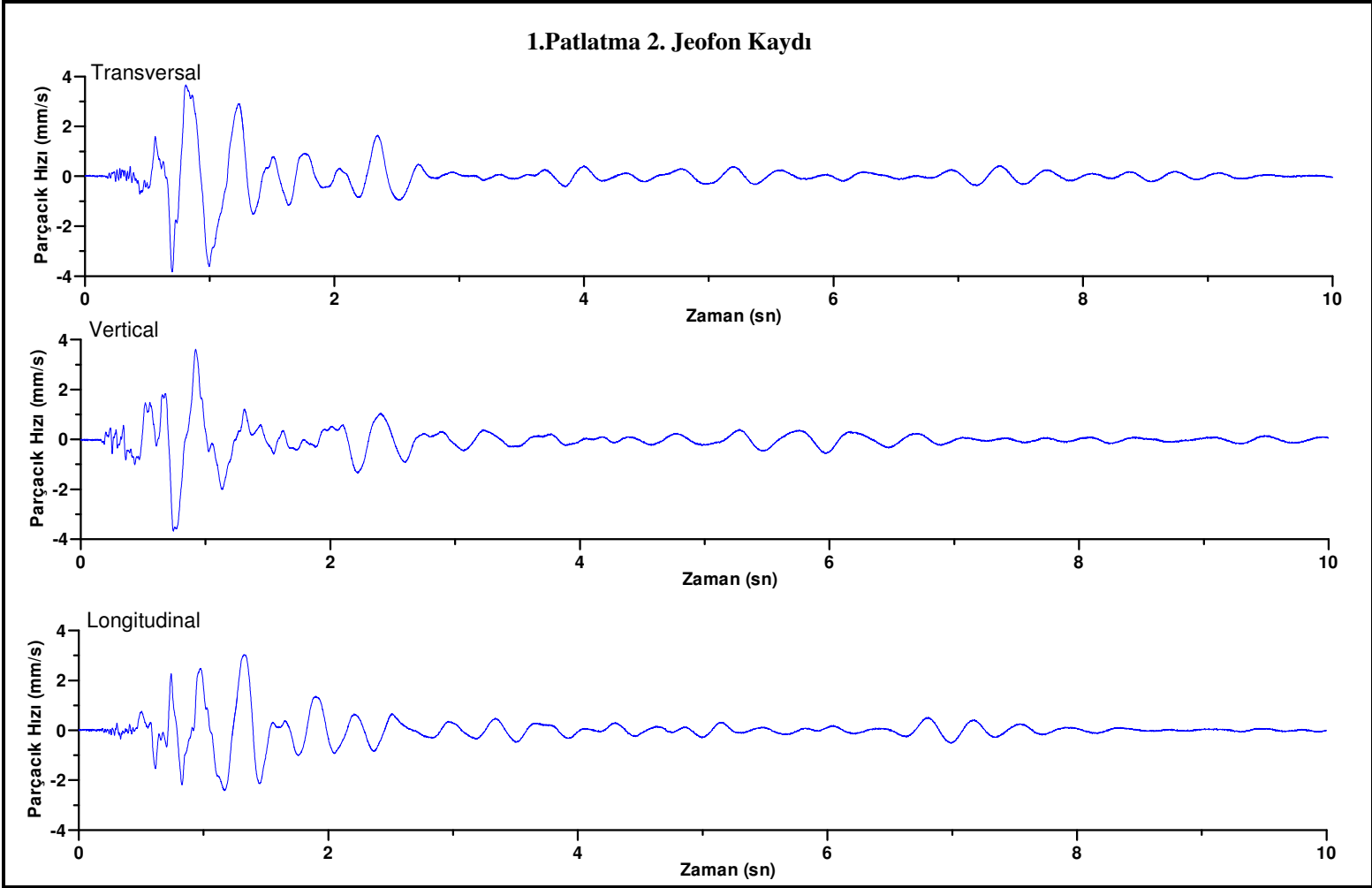
EK 5 – 2. Patlatma 1. Jeofon kaydı

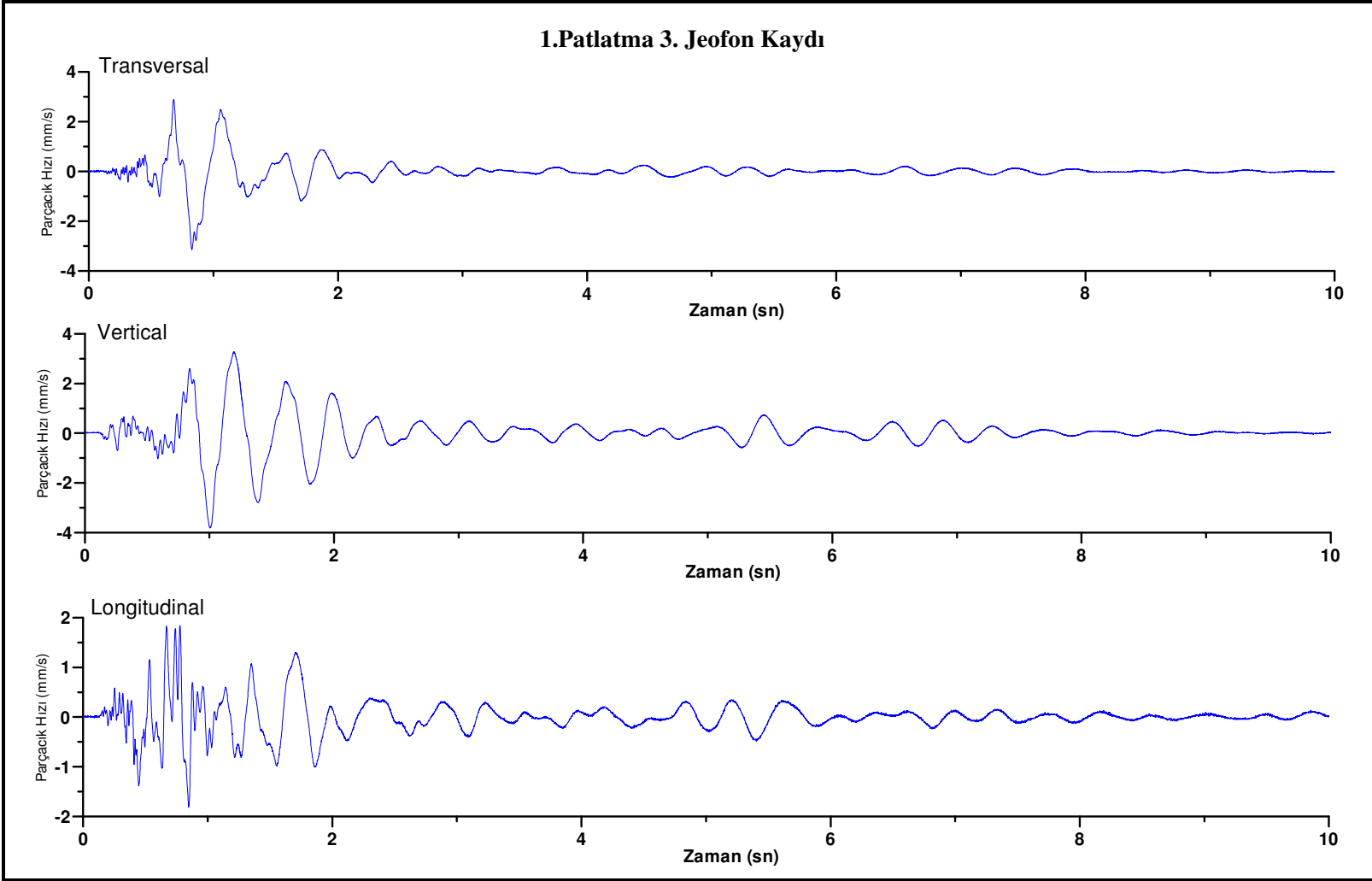
EK 6 – 2. Patlatma 2. Jeofon kaydı

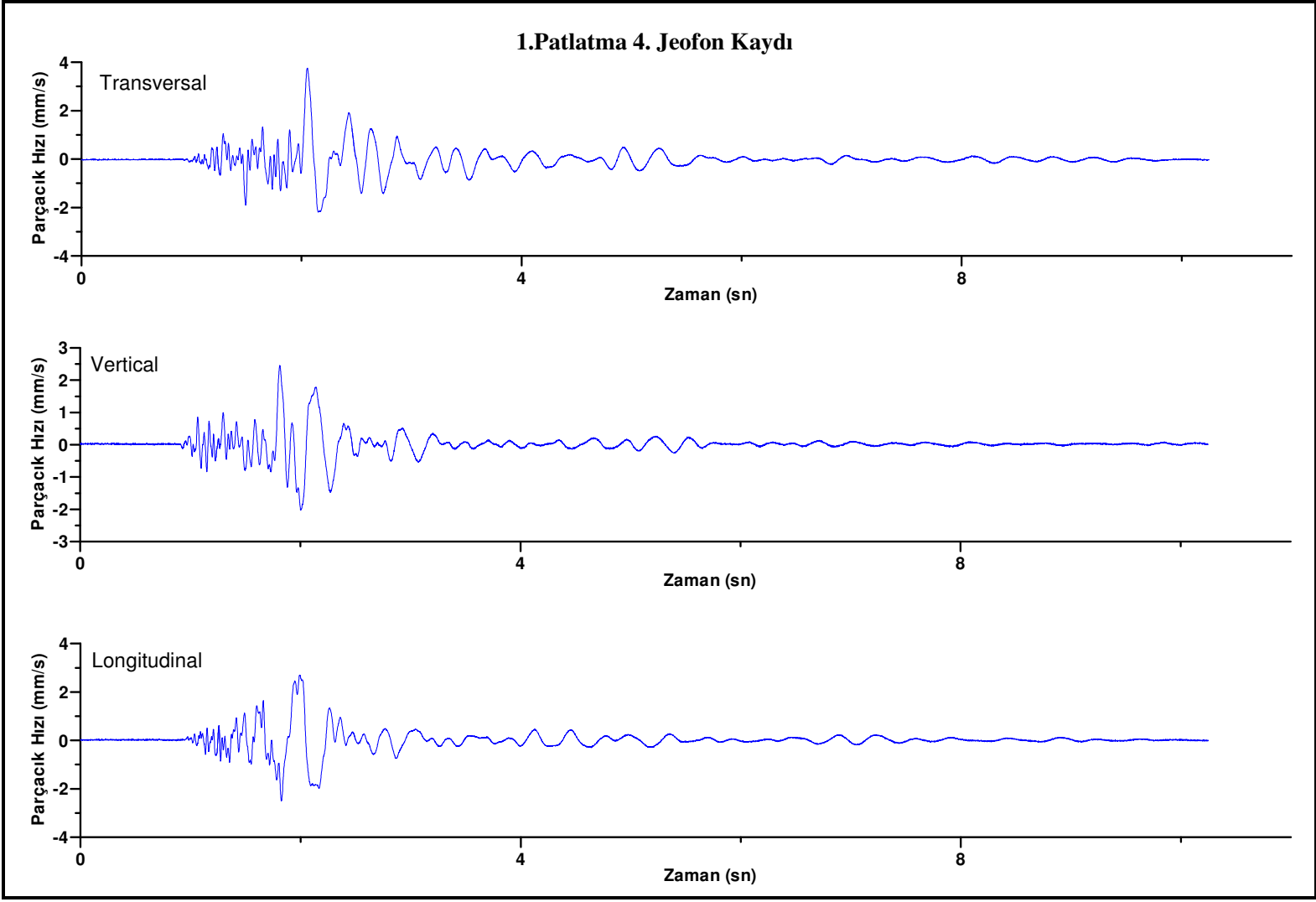
EK 7 – 2. Patlatma 3. Jeofon kaydı

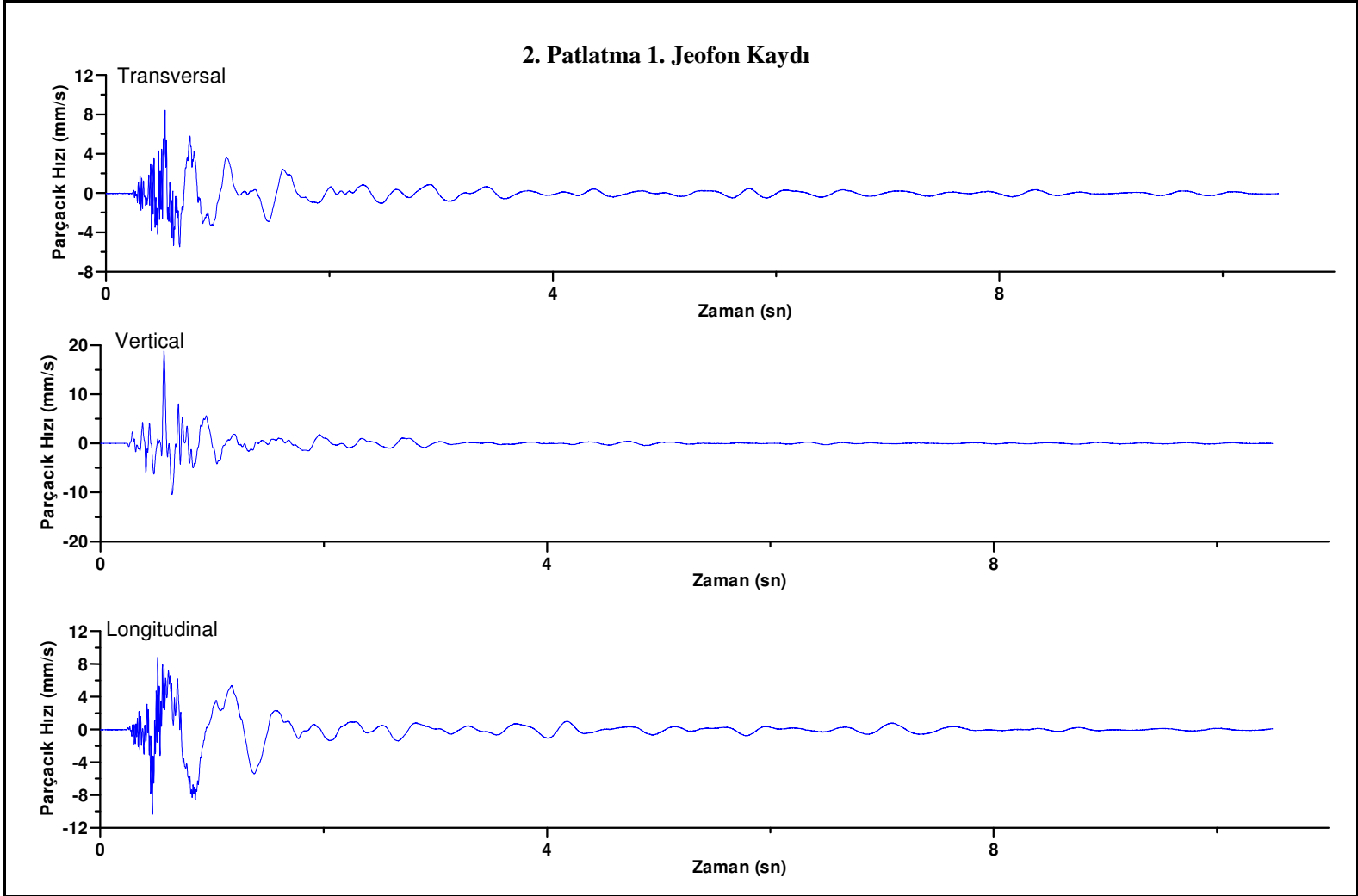
EK 8 – 2. Patlatma 4. Jeofon kaydı

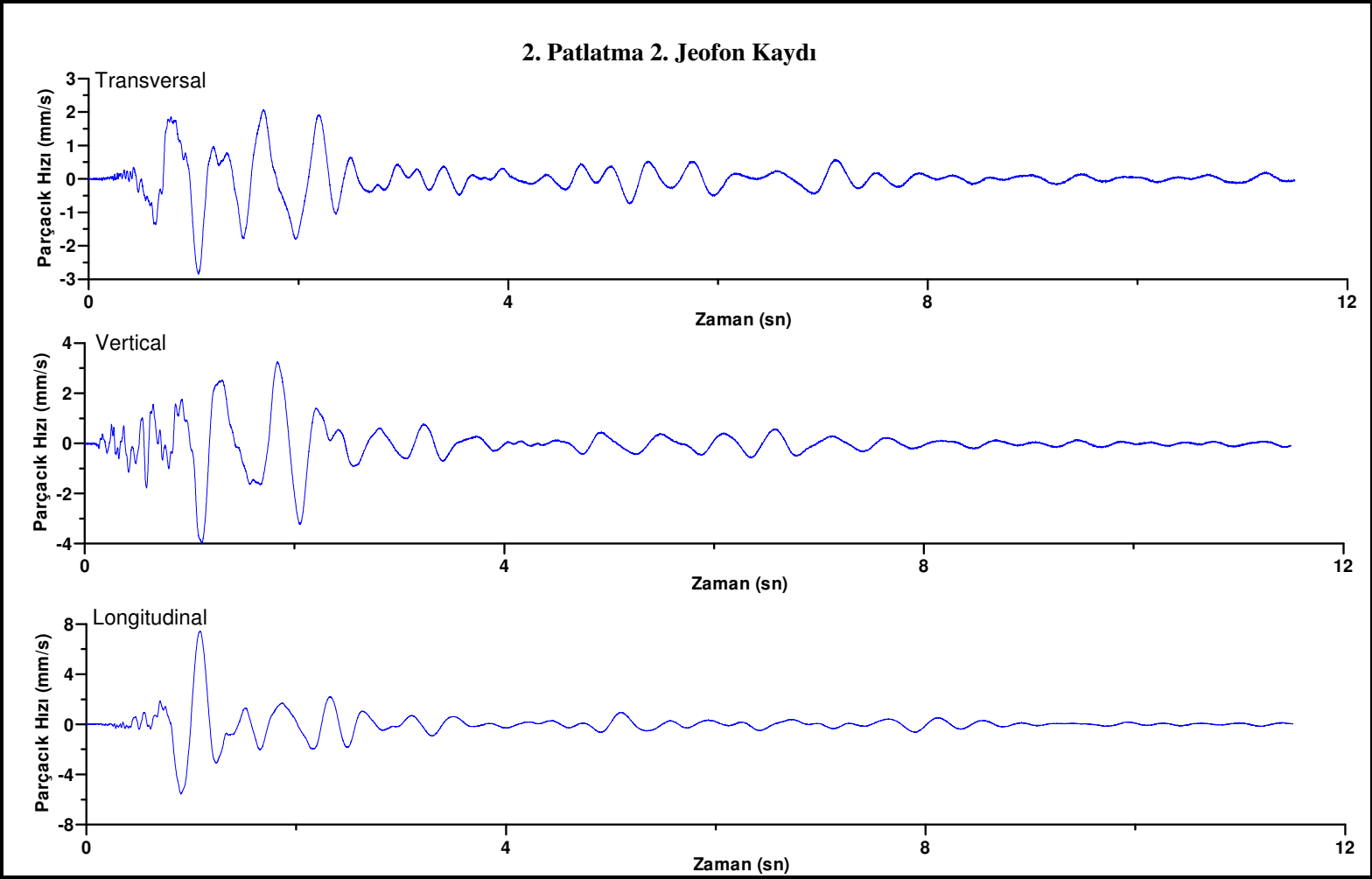


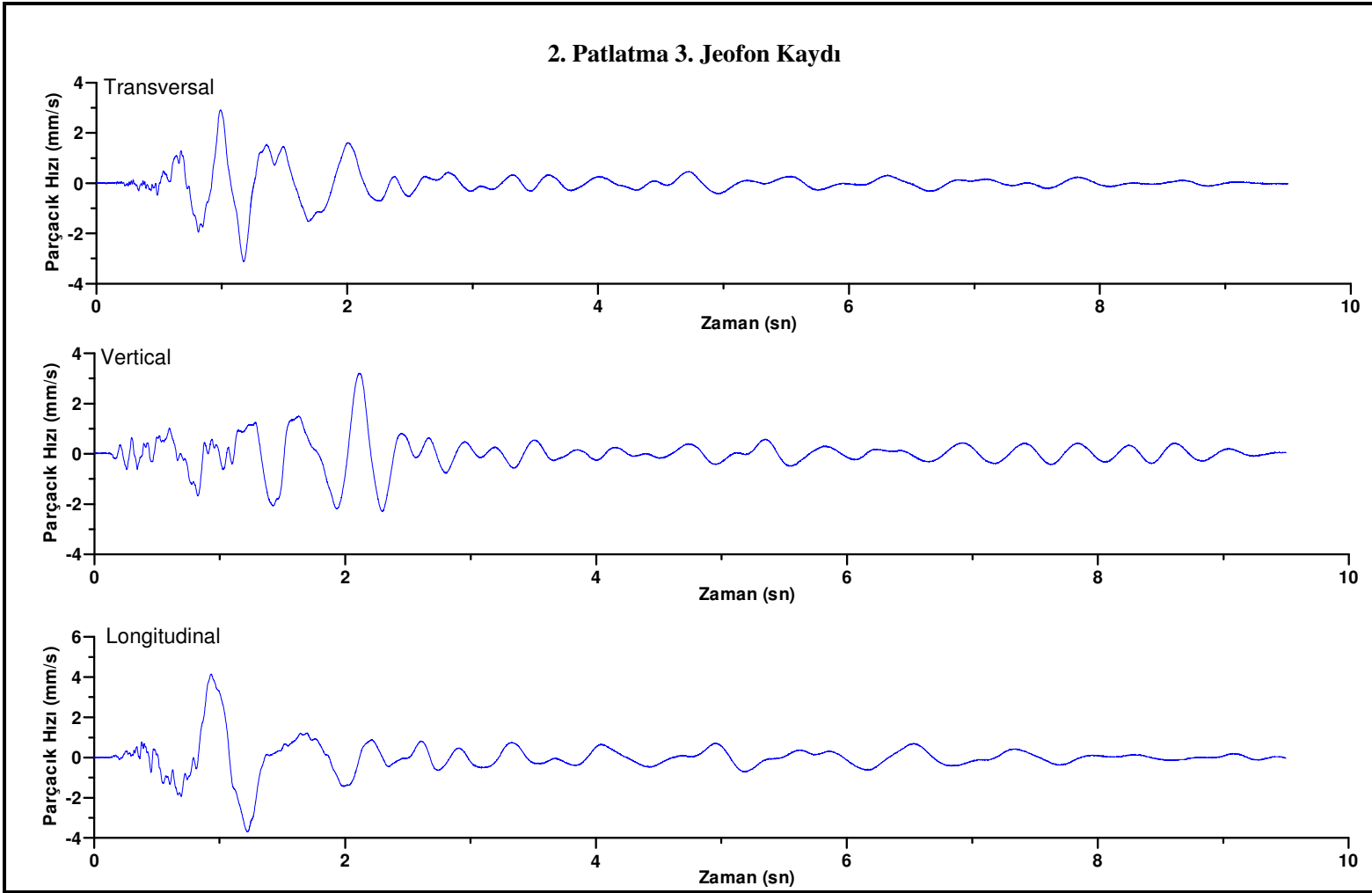


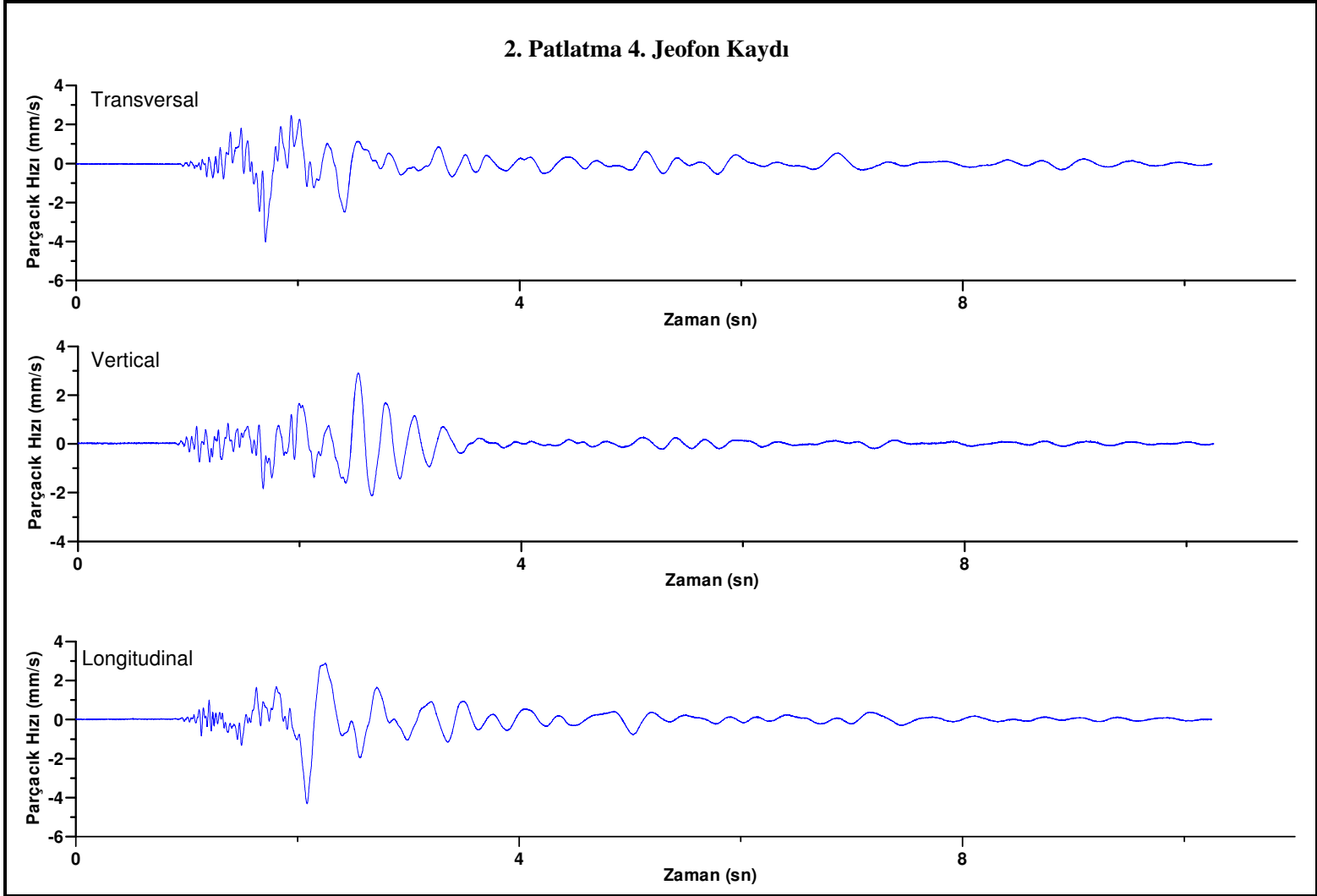












ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ezel BABAYİĞİT

Doğum Yeri : Adana

Doğum Tarihi : 28.09.1977

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Mehmet Kemal Tuncel Lisesi, Adana, 1994

Lisans : Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Jeoloji
Mühendisliği Bölümü, 1999

Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik
Mühendisliği Anabilim Dalı, 2012

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Genel Müdürlüğü, Etüt-Proje ve Tesis Daire
Başkanlığı, 2006 –

Muğla Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar İşletmeni, 2004-2006

Yayınları (SCI ve diğer)

Babayiğit, E., Aldaş, G.G.U., 2011. Kömür damarı içi patlatma kaynaklı kanal dalgalarının incelenmesi. Madencilik, Cilt 50(4); 3-19.

Bildiriler

Aldaş, G.G.U., Ecevitoglu, B., Kaypak, B., Can, A., **Babayiğit, E.**, 2011. Modelling of Non-Linear behavior of rock blasts. 22nd World Mining Congress & Expo, (sözlü), Proceeding Book Vol. II.; p. 449-456.

Aldaş, G.G.U., Ecevitoglu, B., Kaypak, B., Can, A., Toprak, B., **Babayiğit E.**, Ergüder, İ., Kaçan, M., 2011. Partition of plastic/elastic energy in mine blasts. Proceedings of the 22nd International Mining Congress of Turkey,(sözlü); p. 117-126.

Ecevitoglu, B., Aldaş, G.G.U., Kaypak, B., Atik, S., Çiçek İ., Can, A.Z., **Babayiğit, E.**, Ergüder, İ., Akerdem, S., Özer, O., Kart, E., Diler, A., Varkıvaç, B., Afşar, E., Işık, M.C., 2010. Geological evolution of salt caunities. 19. uluslararası jeofizik kongresi, genişletilmiş özet (sözlü) 23-26 kasım 2010.

Aldaş, G.G.U., Ecevitoğlu, B., Toprak, B., Kaypak, B., **Babayiğit E.**, Erguder, İ., Boztaş, S., 2010. Patlatmalarda yüksek hızlı video kamera ve sismometrelerin eş zamanlı kullanılması. VI. Delme-Patlatma Sempozyumu Bildiriler Kitabı, s. 169-180.

Babayiğit E., Aldaş, G.G.U., Ecevitoğlu, B., 2010. Maden patlatmalarında kütle/frekans ilişkisi. Türkiye 17. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, 257-263

Erguder, İ., **Babayiğit E.**, 2010. Kaunos antik kenti liman agorası ve tuzlası özdirenç uygulamaları. 3. Yer Elektrik Çalıştayı, Bildiri Özleri Kitabı, s.5.

Erguder, İ., **Babayiğit E.**, 2009. TKİ sahalarında karşılaşılan gömülü kültür varlıkları ve arkeojeofizik çalışmalar. Dumlupınar Üniversitesi 2. Arkeoloji Sempozyumu, Bildiri Özetleri Kitabı; s. 15.

Erguder, İ., Sucu, A., **Babayiğit E.**, 2008. TKİ sahalarında karşılaşılan gömülü kültür varlıkları ve arkeojeofizik çalışmalar. Yüzele Yakın Yapıların Belirlenmesinde Jeofizik ve Uzaktan Algılama Sempozyumu, Genişletilmiş Özetler Kitabı; s. 100-103.

Proje

Aldaş, G.G.U., **Babayiğit E.**, Erguder, İ., Üzüçok, B., “Patlatmaların doğrusal olmayan davranışlarının patlatma verimliliğine etkilerinin araştırılması”, *TÜBİTAK Proje No: 108M359. 2008/2010.* Araştırmacı.

Atik, S., İleri, Ö., Çiçek, İ., Aldaş, G., Ecevitoğlu, B., Kaypak, B., Can, A.S., Ergüder, İ., **Babayiğit, E.** “Kaunos tuzlası-sal caunitis. jeofizik destekli arkeolojik araştırmalar”. *TÜBİTAK Proje No: 108K126. 2008/2010.* Araştırmacı.