

KÖMÜR DAMARI İÇİ PATLATMA KAYNAKLI KANAL DALGALARININ İNCELENMESİ

Investigation of Blast-Induced In-Seam Channel Waves

Ezel BABAYİĞİT (*)
Güzin Gülsev UYAR ALDAŞ (**)

ÖZET

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 kayalar ile kıyaslandığında düşük sismik hız ve yoğunluğa sahip olan kömür damarı içerisinde gelişen kanal dalgalarıdır. Kanal dalgaları damar kalınlığına bağlı olarak uzun mesafeler katedebilir ve oluşturdukları titreşimlerin etkisi ise normalden birkaç kat daha fazladır. 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 kayalara göre düşük sismik hız ve yoğunluğa sahip damarlarda gelişebilen kanal dalgalarının, titreşimleri genel beklentinin aksine çok uzak mesafelere taşıyabileceğine dikkat çekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Basamak patlatmaları, kanal dalgaları, yönlendirilmiş dalgalar, sönen dalgalar

ABSTRACT

Blasting in coal or cover excavation 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, are several times higher 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.

Keywords: Bench blasts, channel waves, quided waves, evanescent wave

(*) Jeoloji Mühendisi, Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Genel Müdürlüğü, ANKARA

(**) Yrd. Doç. Dr. Ankara Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü, ANKARA

1.GİRİŞ

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 (kırılma açısının 90° olması durumunda geliş açısı kritik açı olarak adlandırılır) ötesinde tam yansımaya uğrayarak kanalize olurlar (Ravindra ve Cerveny, 1971). Kritik açı altında sızma fazı oluşur. Bir nokta kaynaktan yayılan sismik enerji, bu şekildeki 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 (Shreff ve Geldart 1982). Bu dalga hızları frekansa bağlı olarak değiştiğinden dispersif özelliktedirler ve yayılım boyunca şekil değiştirirler. Kanal dalgaları uygun şartlarda 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 dalgalarının kullanımı araştırmacılar tarafından çeşitli şekillerde incelenmiştir. Krey (1963), Mason vd. (1980), Buchanan vd. (1981), Gürbüz (1986), Findlay vd. (1991), Greenhalgh vd. (1992), Hatherly vd. (1987), Essen vd. (2007), ve Yang vd. (2009) yaptıkları çalışmalar ile damar içerisindeki fayların kanal dalgaları yardımıyla bulunabileceğini göstermişlerdir. Gritto (1992, 2000, 2003), Wang (2005), Yancey (2006) karstik boşlukların belirlenmesinde kanal dalgalarını kullanmışlardır. Haberland vd. (2003), Igel vd. (2002), Fohrmann vd. (2004) gibi araştırmacılar düşük hızlı birimlerin ve fay

zonlarının araştırılmasında kanal dalgalarından faydalanmışlardır. Dobroka (2001), Parra vd. (2002), Essen vd. (2005), Lou ve Crampin (1991a), Lou ve Crampin (1991b) kanal dalgaları kullanılarak karmaşık yeraltı yapıları ve rezervuar karakterlerinin belirlenmesi konularında çalışmışlardır. Buchanan vd. (1983) Li vd. (1995), Liu vd. (2000) ise kanal dalgalarında absorpsiyon, dispersiyon ve anizotropi gibi özellikleri incelemişlerdir.

Patlatma kaynaklı titreşimlerin çevre yerleşim birimlerine olan hasarlarının en aza indirilmesi konularında pek çok araştırmacı çalışmıştır (Bollinger, 1971; Anderson vd. 1982; Dowding, 1985; Siskind vd., 1989; Anderson,1993; Persson vd., 1994; Muller, 1997; Muller ve Hohlfeld, 1997; Hoshino vd., 2000; Chen ve Huang, 2001; Tripathy ve Gupta, 2002; Tuncer vd. 2003, Adhikari vd., 2004, Kahrman vd. 2006, Aldaş ve Ecevitoğlu, 2008, Erten vd. 2009). Bu araştırmacılardan Aldas ve Ecevitoğlu,(2008) haricindekilerin tamamı, patlatma titreşimlerini azaltmada alışlagelmiş yöntemleri (sahaya özgü titreşim yayılımı denklemini bulma) uygulamıştır. Aldas ve Ecevitoğlu, (2008), patlatma kaynaklı oluşan titreşimlerin en aza indirilmesinde yeni bir metodoloji geliştirmiş ve patentini almıştır (Aldas ve Ecevitoğlu, 2011). Metodoloji, patlatma kaynaklı titreşimleri en aza indirebilmek için, alışlagelmiş yöntemden farklı olarak, yüzey dalgalarının bastırılması prensibine dayanır. Yeni yöntem sadece sismik dalga ile ilgilenir ve sismik dalgaların birbirleriyle yıkıcı girişimlerini sağlayacak en uygun gecikmelerin verilmesini hedefler. Yöntemin en can alıcı noktası, pilot patlatmaya ait sismik sinyalin kullanılarak grup patlatmaya ait sismik sinyalin modellenmesidir. Pilot sinyal, ilerlediği hat boyunca karmaşık jeolojiyi de üzerinde barındırdığı için, grup patlatmanın modellenmesinde herhangi bir varsayıma ve jeolojik modellemeye gereksinim duyulmaz.

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 direkt ve yüzey dalgalarının yaratacağı etkilerin yanı sıra, kömür damarında oluşan kanal dalgalarının ve kaybolan dalga etkilerinin de araştırılması gerekmektedir.

Bu çalışmada, kömür madenciliği yapılan sahaların etrafındaki yerleşim yerlerinin altında bulunan kömür tabakalarında, maden ocaklarındaki patlatmalar sonucunda yayılan dalgaların, kanal dalgaları olduğu öne sürülmüş ve bu dalgaların nasıl davranacağını anlamak amacıyla modelleme yapılmıştır. Arazi verileri ile model sonuçlarının örtüşmesi, değişik modelleri temsil eden yapılarda (farklı kömür kalınlıkları, farklı örtü tabakası kalınlığı gibi) patlatma kaynaklı dalgaların nasıl davranacağını önceden kestirebilmek anlamında umut vermiştir.

Arazi çalışmaları 27 Ağustos 2010 tarihinde, Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Yeniköy Linyitleri İşletmesi Müdürlüğü'nün Hüsamlar Ocağında, Hüsamlar köyünün altına doğru devam eden kömür damarı üzerinde yapılan 2 grup patlatma ile gerçekleştirilmiş ve oluşan titreşimler ocak ve köy içerisine yerleştirilen 5 adet üç bileşenli sismik kayıt cihazı ile kaydedilmiştir.

2.KURAMSAL GELİŞME

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 kayalar arasındaki dar bir bölgeden yansımakta, fay düzleminde yansıyan enerjinin oranı çok düşük olmaktadır.

Krey (1963), kömür ve komşu kayaların fiziksel özellikleri üzerinde bir süre çalıştıktan sonra, kömürün, düşük hız ve yoğunluğa sahip olmasından dolayı; en azından, kömür ve kaya parçacıklarının kömüre paralel ve ışın yönüne dik olarak hareket ettiği Love tipi dalgalar için bir dalga kılavuzu gibi davrandığının farkına varmıştır. Krey (1963)'e göre bu tür yönlendirilmiş dalgalar en büyük genliklerine kömür damarı içerisinde sahip olurlar. Yan kayalarda ise genlikler kömürden uzaklaştıkça üstel olarak

azalır. Yüksek frekanslarda bu azalma daha hızlıdır.

Kömür damarı içerisinde gelişen başka bir dalga tipi de Rayleigh dalgalarıdır. Bu durumda kömür ve kaya parçacıkları damara ve dalga cephesine dik bir düzlemde hareket ederler. Bu dalgalar dispersiyon ve genliklerin üstel olarak azalması bakımından Love dalgaları ile benzer niteliklere sahiptir. Fakat Rayleigh türünün asıl yönlendirilmiş dalgaları, yani komşu kayalar içerisinde enerjisini kalıcı olarak kaybetmeyen sızıntısız modlar, yalnızca, komşu kayaların S dalga hızı kömürün genişleme hızını aştığında oluşabilir, ancak bu şart her zaman sağlanmaz.

2.1 Kanal Dalgaları ve Sönen Dalgaların Oluşum Mekanizmaları

Kanal dalgaları, altında veya üstünde yüksek sismik hızı sahip tabaka olan bir düşük sismik hızlı tabaka içinde oluşan dalgalardır. Düşük sismik hızlı tabaka tam yansıma izin verir. Bir başka deyişle, düşük sismik hızlı tabakada, üst ve alttaki yüksek sismik hızlı tabakalara göre kritik açı oluşur. Kritik açı ve onun ötesinde enerji hapsedilir. Kritik açı öncesinde ise sızıntı modu oluşur. Kanal dalgalarının oluştuğu düşük sismik hızlı tabaka su borusuna benzetilebilir: sızıntı modunda su borusu su kaçırarak ve uzaklara kadar suyu götüremeyecektir. Fakat kritik açı ötesinde, su borusuna benzetdiğimiz düşük sismik hızlı tabaka enerjiyi uzaklara götürebilmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken husus, dalgaların, su borusunda olduğu gibi madde iletilişim hareketi değil, mekanik hareket olmasıdır. Su, boru içinde madde olarak iletilmediği için, boru sağlamsa borunun dışına çıkamayacaktır. Oysa ki, düşük sismik hız tabakasına sahip kömür, mekanik hareketten dolayı dalgaya rehberlik eder fakat dalgayı tamamen içerisine hapsedemez. Bu sebepten de, sönen dalgalar (evanescence waves) oluşur. Literatürde "evanescence waves" olarak bilinen bu tür dalgalar, Türkçeye "sönen dalgalar olarak" kazandırılmıştır. Ancak buradaki anlamı, dalganın genliğinin giderek azalması, sönmesi değildir; dalgaya rehberlik eden kanal dışına sızarak iletilmesi anlamı taşımaktadır. Literatürde "sızan dalgalar: leakage waves" ile karıştırılmaması için "sönen dalgalar" adı verilmiştir.

Altından kömür damarı geçen yerleşim yerlerinde, patlatma noktasından çok uzakta

olmalarına rağmen, titreşim etkilerinin görülmesi, sönen dalgalar yüzündendir. Düşük sismik hızı sahip kömür damarı, patlatma kaynaklı titreşimlere rehberlik ederek onları uzak mesafelere dek, genliklerinde pek azalma olmadan taşıyabilmektedir. Kömür damarı, su borusu gibi olsaydı, bu iletim sırasında, yukarıya sızıntı yapmayacak ve kömür damarı üzerindeki yerleşim yeri etkilenmeyecektir. Ancak dalgalar mekanik harekete sahip oldukları için, kömür damarı içerisinde seyahat ederken, sönen dalgalar biçiminde yukarıya doğru sızarak, üstteki yerleşim yerlerini tehdit etmeye devam edecektir.

Bu çalışmanın uygulama alanı olan TKİ YLİ Hüsamlar ocağında da düşük sismik hızlı kömür tabakası, patlatma ile oluşan dalgalara rehberlik etmekte, dalgaları uzaklara, Hüsamlar Köyüne kadar götürmektedir. Dalga bir titreşim hareketi olduğundan, yani madde olmadığından, kömür tabakası dalgayı içine hapsedememekte ve bu yüzden Hüsamlar köyüne sönen dalgalar gelmektedir. Özetle, patlatma noktalarından uzak mesafede olmasına rağmen Hüsamlar Köyünde patlatma kaynaklı titreşimlerden rahatsız olunmasının sebebi, düşük sismik hızlı kömür tabakasında, dalgaları uzaklara kadar götüren, rehberlik eden kanal dalgalarının oluşması ve bunların kanal içine hapsolmayıp, sönen dalgalar biçiminde yukarıdaki Hüsamlar Köyünü etkilemesidir.

Teoriye göre, yüzey dalgaları ara yüzeyde sıkışır ama pratikte yüzey dalgaları da derinlere doğru nüfuz ederler. Kanal dalgaları da mutlaka kanalın dışına bir miktar çıkacaklardır. İşte bu çıkma mekanizması sönen dalgalar ile açıklanmaktadır. Kanalın içinde ise (bizim çalışmamızda kömür damarı) şöyle bir mekanizma vardır:

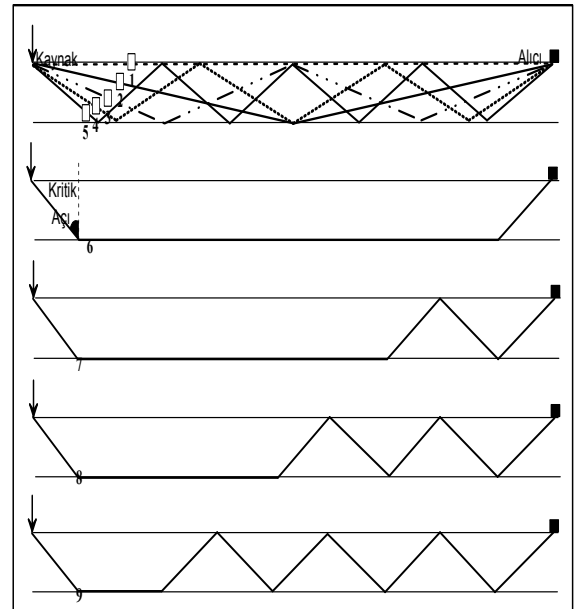
Tabaka arasına sıkışmış kömür damarı, elastik dalga yayılımı açısından genelde düşük sismik hız kanalı oluşturur (Greenhalgh vd., 1992). Eğer kömür damarının ortasında bir patlatma yapılırsa, elastik dalgalar kömür içerisinde tüm yönlerde yayınırlar. Kömür damarının tavan ve tabanında kömür-kaya arayüzeyi ile karşılaşınca, enerjinin bir kısmı bu arayüzeyde P ve S dalgası olarak kırılırlar ve kaya ortamında kendilerine ait hızlarla yayılırlar. Bu dalgalar, kömür-kaya arayüzeyinde kırıldıkları için kömürdeki boşluklardan etkilenmezler. Fakat bunlar ikinci etkilerden etkilenirler: ara yüzeyden kırılmanın yanı sıra, dalgalar değişik açı ve farklı

faz hızlarında kömür içine geri yansır ve yapıcı girişim oluştururlar. Yaratılan girişim sistemi 2 boyutlu kanal dalgası yayılımıdır ve bu yayılım sırasında çevre kayaya enerji yayılmaz. Yayılım 2 boyutlu olduğu için, kanal dalgaları için kömür damarlarında uzun iletim mesafeleri (2km) rapor edilmiştir (Greenhalgh vd., 1992).

Şekil 1 ve 2'de, sırasıyla, kömürün üstünde yapılan patlatma (tavan vuruşu) ve kömürün altından yapılan patlatmadan (taban vuruşundan) yansıma ve kırılmaların nasıl türediği görülmektedir.

Bu çalışmada yapılan patlatma kömürün üstünde olduğu için, tavan vuruşuna örnektir. Patlatmayla beraber her yöne ışın çıkmaktadır. Şekil 1'de kritik açı ve ötesinde oluşan 5 adet ışın çizdirilmiştir. Ayrıca 1 numara ile gösterilen de direk dalgadır. Direk giden dalga kısa zamanda gitmektedir. Dolayısıyla mesafe azaldığı için daha erken gelir. Uzun dalga boyları, bu direk giden dalga boylarıdır. Fakat kısa dalga boyları kırılırlar, tabaka içerisinde çarparak gittikleri için yol uzar. Bir başka deyişle, kısa dalga boyları, yüksek frekanslar, daha geç gelir. Buna normal dispersiyon denir.

Kırılma dalgaları da bir düşük sismik hızlı tabakada, sınırlı sayıda tekrarlı yansıma yaratır. Şekil 1'de, 6 numarada hiç tekrarlı yansıma yok, 7'de 1, 8' de 2 ve 9' da 3 adet tekrarlı yansıma üremiştir (kırılma dalgasından).



Şekil 1. Kömürün üstünde yapılan patlatmadan (tavan vuruşu) türeyen dalgalar.

dalgadır. Dispersiyon ve soğrulma frekans seçici olaylar olduğu için, bu işleci frekans ortamında yapmak gerekmektedir.

$e^{-\alpha(\omega)x}$ frekans bağımlı soğrulma terimidir. α , soğrulma katsayısıdır. α , frekansa ve kat edilen mesafeye, x , bağlıdır.

$e^{-\alpha(\omega)x}$, soğrulmanın gerçel kısmıdır. Eğer soğrulma fonksiyonu sadece gerçel olursa, nedenselliğini yitirir. Dalga soğrilmaya uğrayınca gevşer, ve dalganın ön kısmı negatif zamana gider. Bir dalganın, teorik olarak beklendiği zamanda gelmesi gerekir. Beklendiği zamandan önce gelirse nedensellik prensibi bozulur. Fonksiyonu tekrar nedensel yapmak için fonksiyona faz kısmını eklemek gerekir. Soğrilmayı nedensel yapan kısım:

$e^{-iH\left[\ln e^{-\alpha(\omega)x}\right]}$ dır. Burada H : Hilbert dönüşümüdür.
 i : sanal kısım

Yüzey dalgalarının normal dispersiyon bölümü:

$$e^{-i\omega \frac{x}{v(\omega)}}$$

ω : açısal frekans, v : hız

Bir sinyali zamanda ötelemek, frekans ortamında onu $w(a)$, "a" zaman olmak üzere çarpmak demektir. Bir fiziksel parametrenin frekans bağımlı olmasına dispersiyon denir. Buradaki fiziksel parametre, hızdır. O halde hızın frekans bağımlı olmasına dispersiyon denir. O halde burada hız, v , frekansın fonksiyonu olduğu için $v(\omega)$ 'dir. Böylece $F(\omega)$ 'ya hem nedenselli soğrulma, hem de dispersiyon ilave edilmiştir. Sonraki adım dispersiyonu bir model formüle bağlamaktır:

$$v(\omega) = v_0 \frac{\omega + b}{\omega + b \frac{v_0}{v_\infty}} \quad (2)$$

Dispersiyon modelleme formülü.

ω : açısal frekans, v_∞ : sonsuzdaki hız, v_0 : sıfır frekansındaki hız, b : dispersif faktör

α kendi terimi içerisinde yazılır:

$$-\alpha(\omega)x = -\frac{\omega}{2Qv(\omega)}x \quad (3)$$

x : kat edilen mesafe, Q : sismik kalite faktörü.

$\alpha(\omega)$ frekansla doğru orantılı, Q ve v ile ters orantılıdır. Hızın zamanda kendisi de frekans bağımlıdır. Dispersiyon model formülü soğrulma içine yazılarak formüller tekrar düzenlenmiştir:

$$-\alpha(\omega)x = -\frac{\omega}{2Qv(\omega)}x = -\frac{x}{2Qv_0} \frac{\omega \left(\omega + b \frac{v_0}{v_\infty} \right)}{\omega + b} \quad (4)$$

Soğrilmayı nedensel yapan kısım:

$$H\left[\ln e^{-\alpha(\omega)x}\right] = H\left[-\frac{\omega}{2Qv(\omega)}x\right] \quad (5)$$

$$= -\frac{x}{2Qv_0} H\left[\frac{\omega \left(\omega + b \frac{v_0}{v_\infty} \right)}{\omega + b}\right]$$

Formülleri tekrar düzenlenmiştir:

$$-\omega \frac{x}{v(\omega)} = -\frac{x}{v_0} \frac{\omega \left(\omega + b \frac{v_0}{v_\infty} \right)}{\omega + b} \quad (6)$$

$$\beta(\omega) = \frac{\omega \left(\omega + b \frac{v_0}{v_\infty} \right)}{\omega + b} \quad \gamma(\omega) = \frac{\beta(\omega)}{2Q}$$

$$G(\omega) = F(\omega) e^{-\frac{x}{v_0}\gamma(\omega)} e^{-i\frac{x}{v_0}H[\gamma(\omega)]} e^{-i\frac{x}{v_0}\beta(\omega)} \quad (7)$$

$$G(\omega) = F(\omega) e^{-\frac{x}{v_0}\{\gamma(\omega) + i\{H[\gamma(\omega)] + \beta(\omega)\}\}} \quad (8)$$

elde edilir.

Kanal Dalgalarında Dispersiyon:

$$t = \frac{x}{v_1 \sin \theta} \quad (9)$$

θ : geliş açısı
 $x/\sin\theta$: dalganın gittiği yol

θ , frekansa bağlıdır. Çünkü her frekans, farklı θ değeri verir. Açı yüksek frekanslarda daha dike yakın, düşük frekanslarda daha yataya yakındır. Burada x/v zamandır ama x , kanal içindeki ışının geliş açısına da bağlıdır.

$$v(f) = \frac{x}{t} = v_1 \sin \theta(f) \quad (10)$$

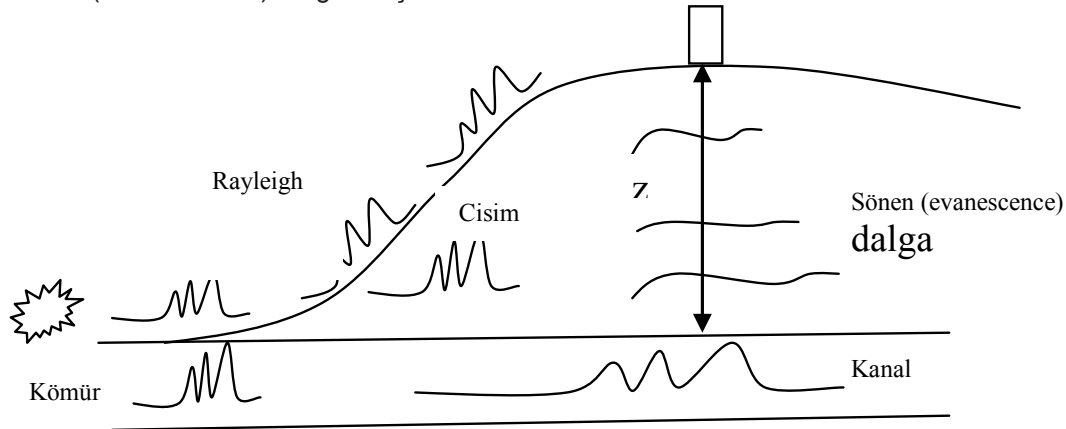
Açı 90 derece olursa ışın dik gelir, sıfır olursa sonsuza gider. Açı bu sebeple frekansa bağlanmıştır. Çünkü her dalga boyu farklı açıda gelir. O halde, normal dispersiyon için, frekans bağımlı aşağıdaki lineer formül yazılabilir.

$$\theta(f) = \frac{\theta_a - \theta_i}{f_a - f_i}(f_a - f) + \theta_i \quad (11)$$

θ_i : en küçük frekansa bağlı açı,
 θ_a : en büyük frekansa bağlı açı
 f_a : en büyük frekans,
 f_i : en küçük frekans

Böylece açı frekans bağımlı yapılmıştır. Bu denklem lineer interpolasyon denklemidir, $ax+b$.

Sönen (Evanescence) Dalga Oluşumu:



Şekil 3. Patlatma ile oluşan dalga fazları, z : örtü tabakası kalınlığıdır.

Elde bir başlangıç, bir en küçük, bir en büyük frekans vardır. En küçük ve en büyük frekanslara denk gelen açılar bellidir.

Eğer frekansı lineer değiştirilirse, açı da lineer değişecektir. Böylece, hangi frekansa hangi açının denk gelmesi gerektiği bu lineer formül ile bulunur. Yani frekansla geliş açısı arasında lineer bir ilişki kurulmuştur.

Aşağıdaki formüllerde de maksimum ve minimum açılar verilmiştir.

$$\alpha_a = \tan^{-1} \frac{x_a}{2h} \quad \alpha_i = \sin^{-1} \frac{v_1}{v_2} \quad (12)$$

$$-\alpha(\omega)x = -\frac{\omega}{2Qv(\omega)}x = -\frac{x}{2Qv_0} \frac{\omega \left(\omega + b \frac{v_0}{v_\infty} \right)}{\omega + b}$$

$x(a)$ maksimum uzaklık, h : tabaka kalınlığı

En küçük açı, kritik açının kendisidir. O halde, başlangıç açısı olan kritik açı, hız oranlarına bağlıdır. Bitiş açısı ise, geometriye (ofset ve kalınlık) bağlıdır. Özetlemek gerekirse, kanal dalgalarının dispersiyonu geliş açısına bağlıdır. Geliş açısı da lineer bir şekilde frekansa bağlıdır.

Kanal dalgaları kömür içinde madde gibi tutulamazlar. Kömür dışına sızma yaparlar. Köye titreşim olarak gelen de bu sönen (evanescence) dalgalarıdır. Olay yine frekans seçicidir. Aşağıda sönen dalga oluşum formülü verilmiştir:

$$A(\omega) = A_0(\omega) e^{-\frac{\omega}{v}(z \sinh \theta + i x \cosh \theta)} \quad (13)$$

Sönen dalgalar soğrulma gibidir.

Soğrulma $e^{(-w/2Qv)x}$ dir.

Burada, $e^{-\frac{w}{v}}$ vardır.

Q ise yoktur. Q'nun yerine tabaka kalınlığı, z ve $\sinh\theta$, geliş açısı ve bir de kompleks kısım, $ix\cosh\theta$ vardır. x, kat edilen mesafedir.

$$e^{-\frac{\omega}{v}(z\sinh\theta + ix\cosh\theta)}$$

Sönen dalgalarda tabaka kalınlığı, z ve geliş açısı çok önemlidir. Geliş açısı sıfır olursa, dışarıya hiç sızma olmadığını gösterir. Ama 90 derece olursa, tam sızma olur. Dışarıya sızma olayı yüksek frekanslarda çok daha hızlı, sönme yüksektir. Düşük frekanslarda ise sönme olayı daha azdır.

Hız arttıkça, soğrulmada olduğu gibi, sönen dalga etkisi azalır. Hız azaldıkça, sönen dalga etkisi artar. Frekans arttıkça sönen dalga etkisi artar. Örtü tabakası kalınlığı, z, de sönen dalgaları etkiler. Z küçüldüğünde sönen dalga artar.

Kanal dalgaları kömür içinde ilerlerken değişik açılarda kömür sınırlarına çarpar. Yüksek frekanslar dike yakın çarpınca sönen dalga olayından en az etkilenir. Fakat w, açısal frekans, yüzünden sönümlenmek zorunda kalır. Düşük frekanslar w'dan etkilenmezler ama onları da geliş açısı etkiler. Bu çalışmada hazırlanan modelleme programı, patlatma ile birlikte oluşan direk dalgalar, Rayleigh dalgaları ve kanal dalgalarını inceler. Geometrik yayılma, dispersiyon, nedenselli soğrulma, kanal içinde hem kırılma, hem yansımaların bütün fazları ayrı ayrı üretilebilir. Model, lineer teoriye göre çalışır. Yani direk dalga, kırılma, yansıma fazları ayrı ayrı birbirinden bağımsız olarak üretilmiş ve hepsinin etkisini görmek için toplanmıştır.

3.ÇALIŞMA ALANI

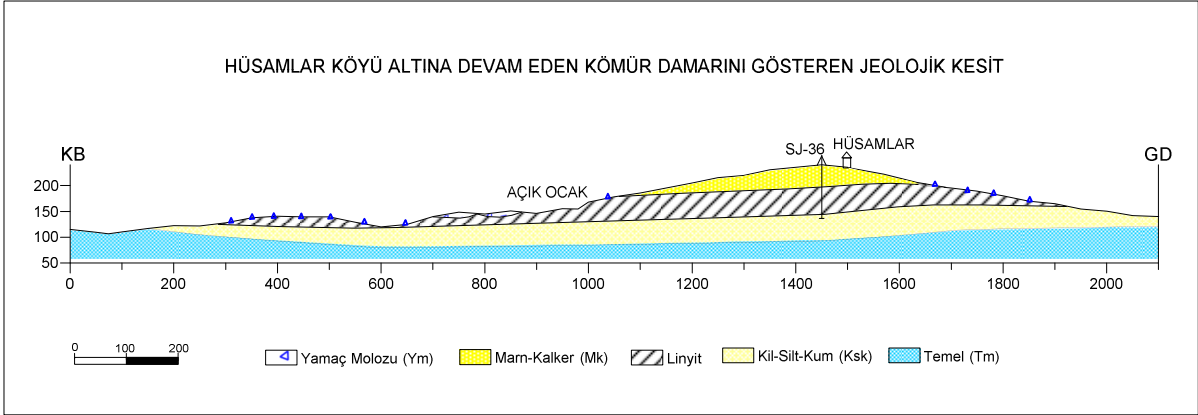
Çalışma alanı Muğla ili Milas ilçesi sınırları içerisinde bulunmaktadır. Hüsamlar köyünün Milas ilçesine uzaklığı yaklaşık 50 km dir. Bu alanda topoğrafya 100 ile 300 m arasında değişmektedir. Bölgede temel kayalar Paleozoyik yaşlı metamorfik şistlerle Mesozoyik yaşlı kristalize kireçtaşlarından oluşmaktadır (Yığıtel, 1981).

Neojen çökelleri: Denizel kökenli çökeller, Taban serisi (Ks-Turgut Formasyonu), Kömür Horizonu, Marn-Kireçtaşı Serisi (Mk-Sekköy Formasyonu)'nden, Neojen sonrası çökeller ise Yamaç Molozları, heyelanlar ve alüvyonlardan oluşmaktadır. Denizel kökenli çökellerin içerdiği fosillerden dolayı Alt Miyosen yaşında ve denizel fasiyeste olduğu bilinmektedir. Altta kum ve siltler bazen de konglomeralar, üzerinde ise genellikle gri-beyaz renkli, yer yer kumlu yapıda kireçtaşları (M) vardır. Bu birim yer yer kumlu ve genellikle iri taneli bir yapı gösterir. Genelde tabakalanma yoktur. Taban serisi (Ks) "Turgut Formasyonu": Kil, silt, kum ve çakıllardan ibaret olan bu birim Hüsamlar sektörünün batısında ve güneyinde mavimsi gri renkte görülür. Tabakalanma olduğunda ise nispeten kalın katmanlıdır.

Kömür horizonu, tabanda Ks (kil-silt-kum), tavanda Mk (marn-kireçtaşı) arasında bulunur. Horizon içinde marn, killi marn ara kesimleri oldukça fazladır. Tabana doğru gidildikçe killi ve siltli arakesmeler çoğalır. Hüsamlar linyit sahasında ortalama Kömür horizonu kalınlığı 40.00 metre, ortalama kömür kalınlığı 18.00 metre olup kömür Alt Miyosen yaşındadır.

Marn-kireçtaşı serisi (Mk) "Sekköy Formasyonu", Kömür horizonunun hemen üzerinde mavimsi gri renkli bazen kalın bazen ince tabakalı marnlar bulunmaktadır. Bu marnlar daha üst seviyelerde beyaz-gri renkte görülür. Marnlar üzerine, yer yer ince katmanlı ve çok çatlaklı kireçtaşları gelmektedir. Marn ve kireçtaşları arasında yanal ve düşey yönlerde geçişler vardır.

Hüsamlar sektörünün kuzeyinde eski heyelanlar, batısında ve güneybatısında ise yamaç molozları, toprak örtü ve alüvyonlar görülmektedir.



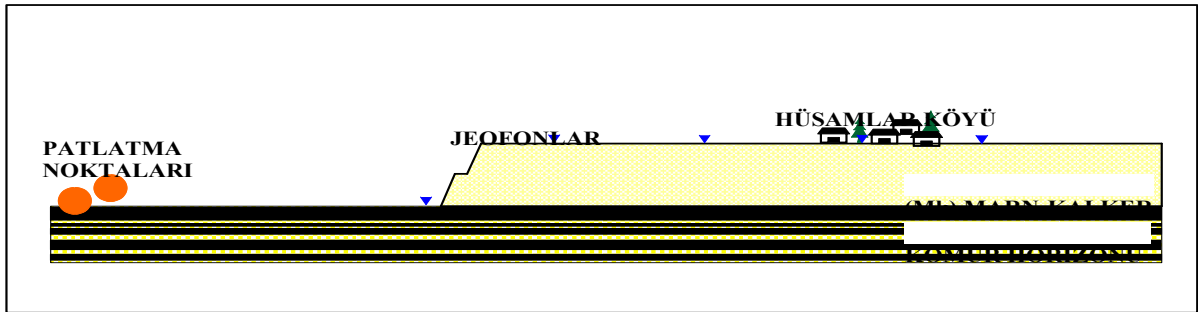
Şekil 4. Hüsamlar Köyü ve açık ocaktan geçen jeolojik kesit (Yiğitel, 1981).

4.PATLATMA GEOMETRİSİ

27 Ağustos 2010 tarihinde Hüsamlar köyünün altına doğru devam eden kömür damarı üzerinde 2 grup patlatma yapılmıştır. 1. grup patlatmada 30 delik 2. grup patlatmada ise 20 delik kullanılmıştır. Her iki patlatmada da delikler çift sıra halinde delinmiştir. Delik başına 0.5 kg dinamit, 50 kg Anfo ve 1 adet kapsül kullanılmıştır. Deliklerin boyu 7 m, çapı ise 13 cm dir. Basamak yükseklikleri de 7 metredir. Dilim kalınlığı

değişmekle birlikte 3-3.5m; delikler arası mesafe de 3 metredir. Sıklıama 3 m' dir. Gecikmeler delik içinde 500 ms, delikler arasında ise 25 ms'dir.

Gecikme başına düşen patlayıcı miktarı 100 kg'dır. Yapılan çalışmada, halihazırda uygulanan patlatma paternine göre oluşan titreşimlerin kanal dalgasına dönüşme özellikleri incelendiği için, işletmenin uyguladığı paterne karışılmamıştır.



Şekil 5. Patlatma noktaları, jeofonlar ve Hüsamlar Köyünün konumu (ölçeksiz).

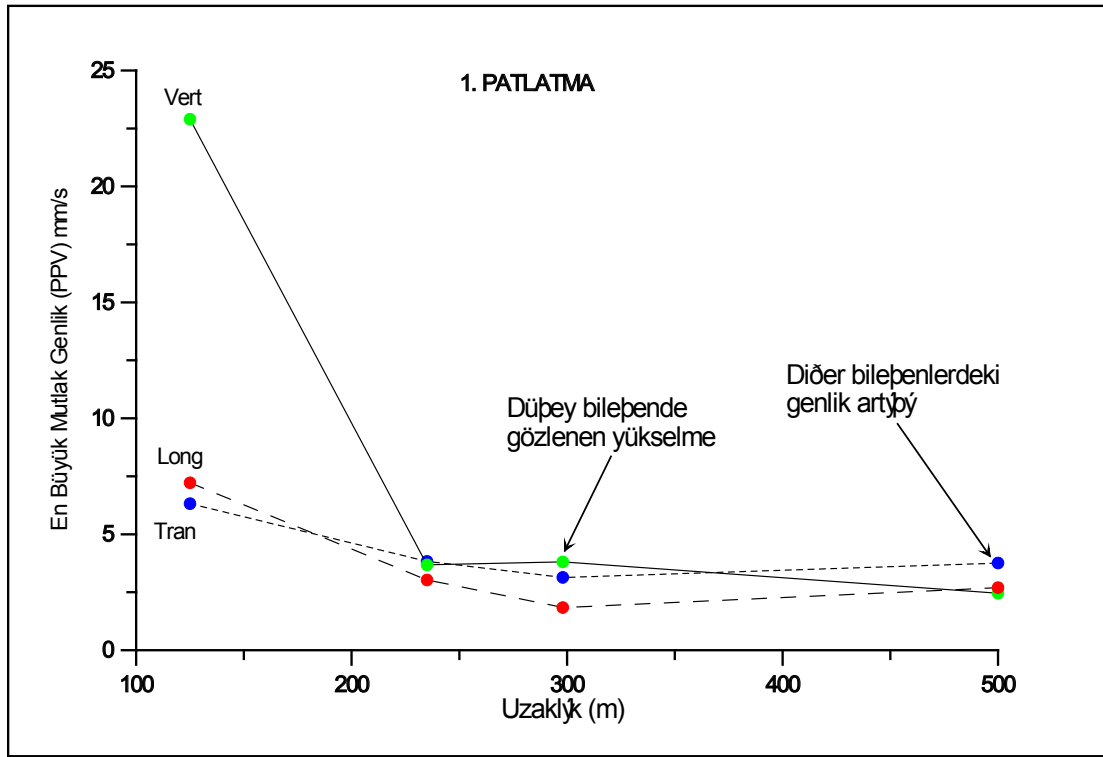
Çizelge 1. Patlatma noktaları ve jeofonların koordinatları.

	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 (Kayıt Alınamadı)	583402	4103260	225
5. Jeofon	583456	4103173	225

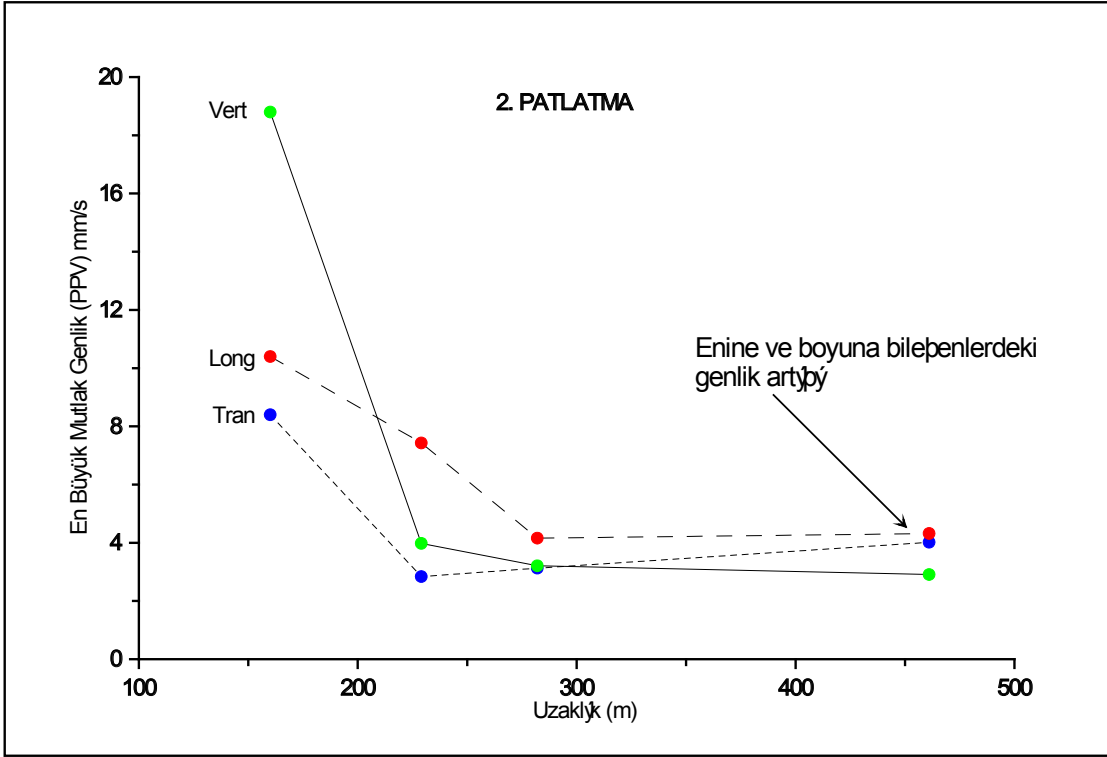
5.ARAZİ DENEYİ VE MODELLEME

Arazi çalışmasında iki grup patlatma yapılmıştır. İlk grupta 30 delik patlatılmıştır. 4 jeofondan elde edilen, enine, boyuna ve düşey bileşenlerdeki en yüksek parçacık hızları Şekil 6'da görülmektedir. Burada düşey bileşenlerin oluşturduğu eğride 300. metredeki genlik artışı dikkat çekmektedir. 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.

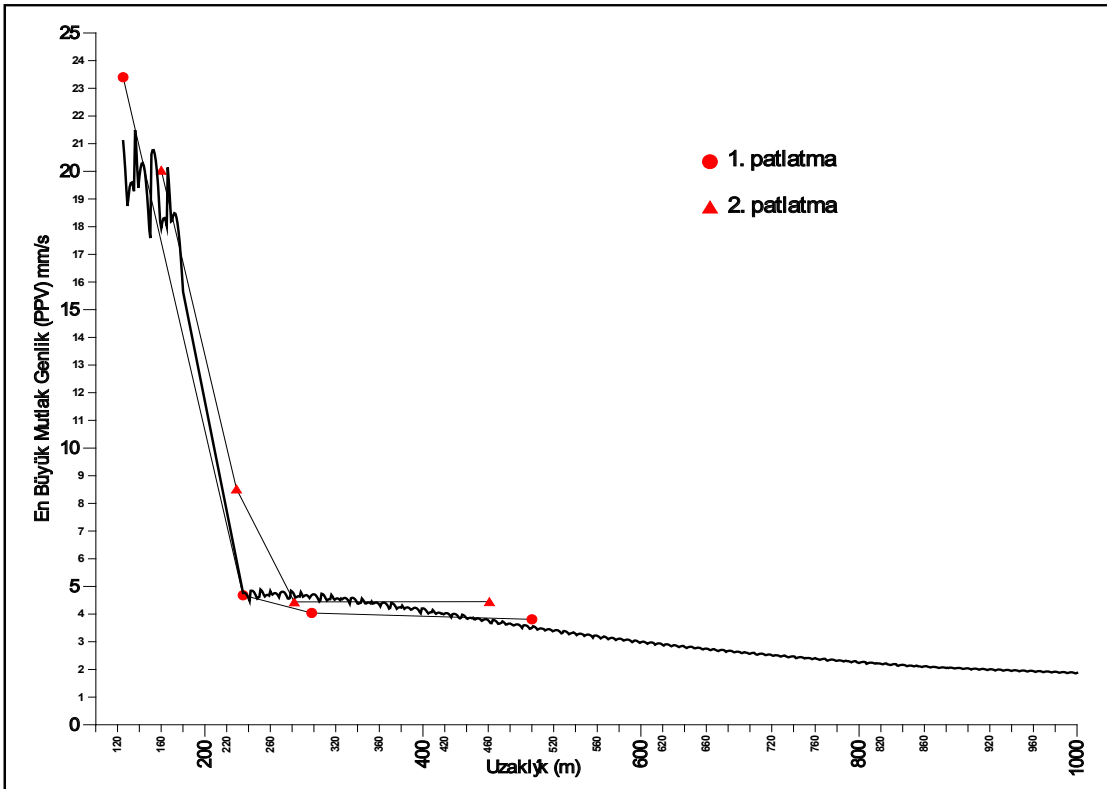
İkinci grup patlatmada ise 20 delik patlatılmış olup 4 jeofondan kaydedilen titreşimlere ait genliklerin enine, boyuna ve düşey bileşen değerleri, Şekil 7'de gösterilmektedir. Boyuna bileşenin uzaklık ekseninin yaklaşık 230. metresine kadar olan bölümünde gözlenen düşük eğim, yani genliklerdeki azalmanın 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. 1.grup patlatma sonucunda, enine, boyuna ve düşey bileşenlerdeki en yüksek parçacık hızlarının uzaklıkla değişimi.



Şekil 7. 2.grup patlatma sonucunda, enine, boyuna ve düşey bileşenlerdeki en yüksek parçacık hızlarının uzaklıkla değişimi.

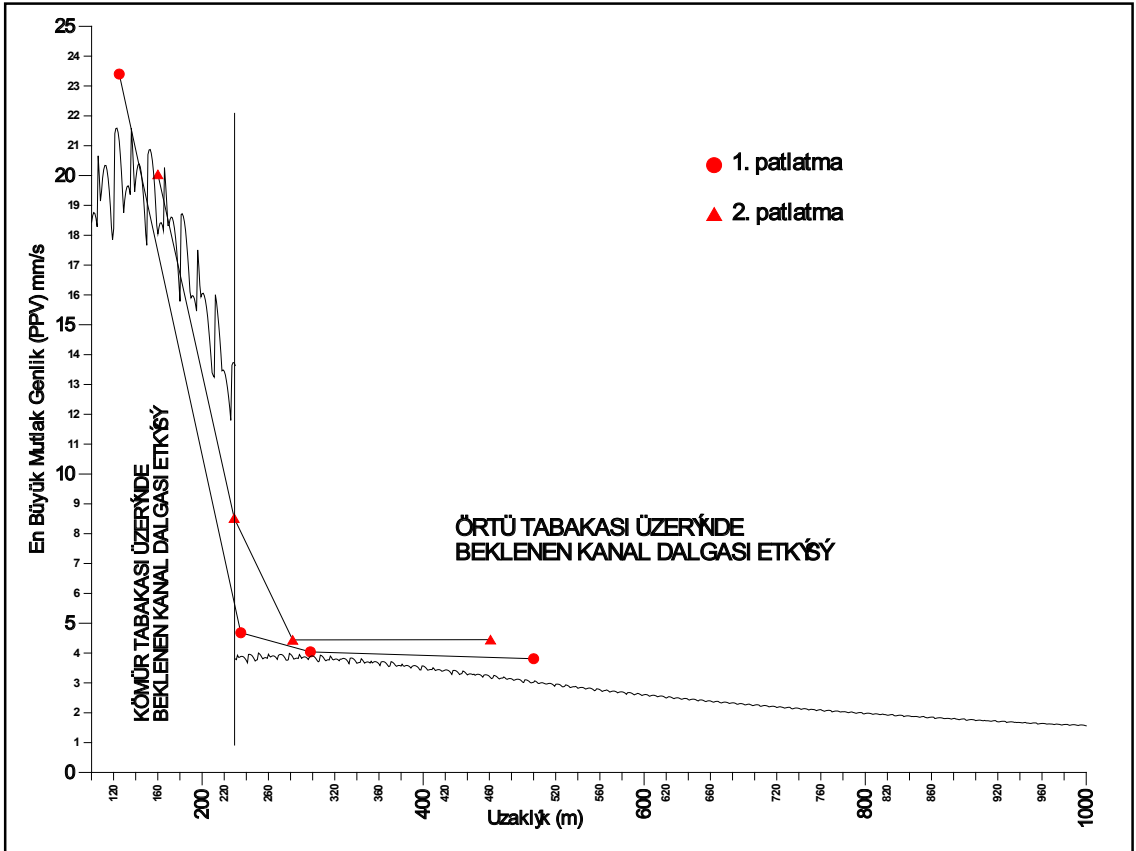


Şekil 8. Patlatmalar sonucunda elde edilen en yüksek parçacık hızları ve model programından elde edilen eğri

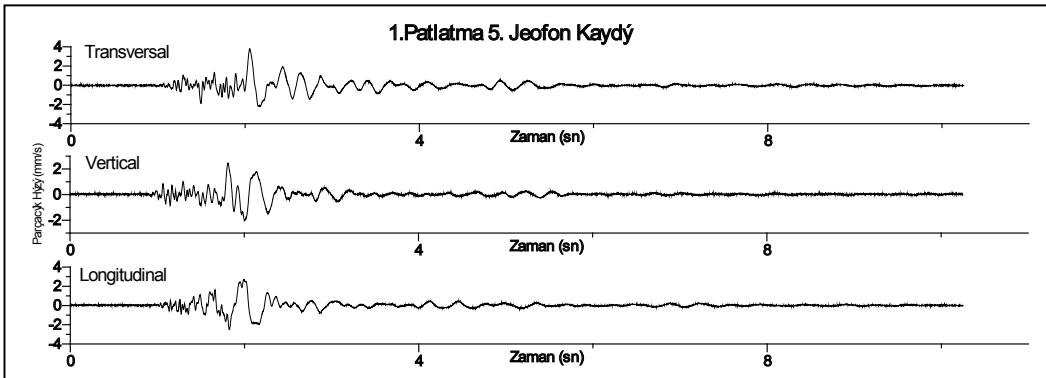
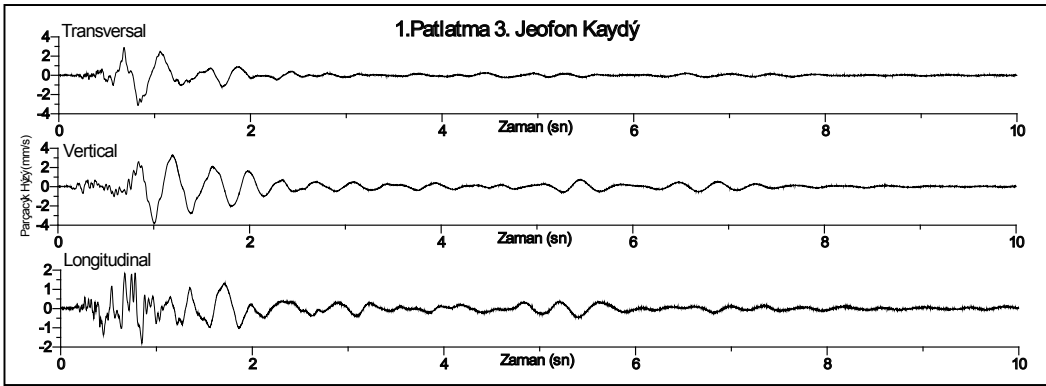
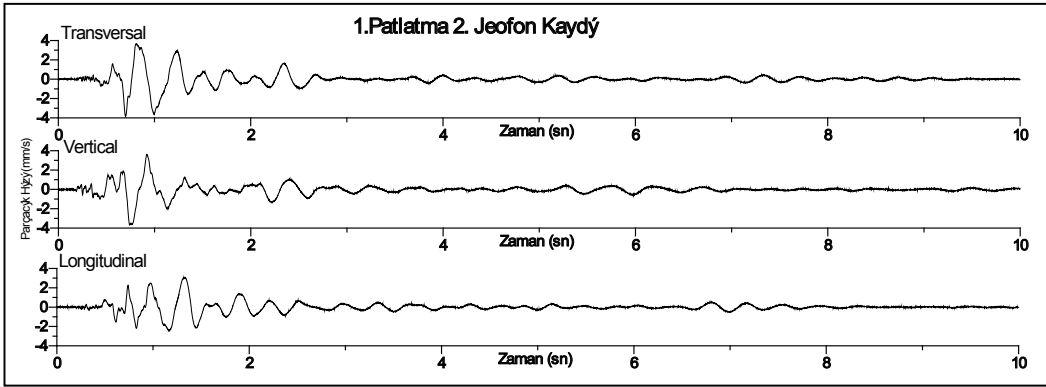
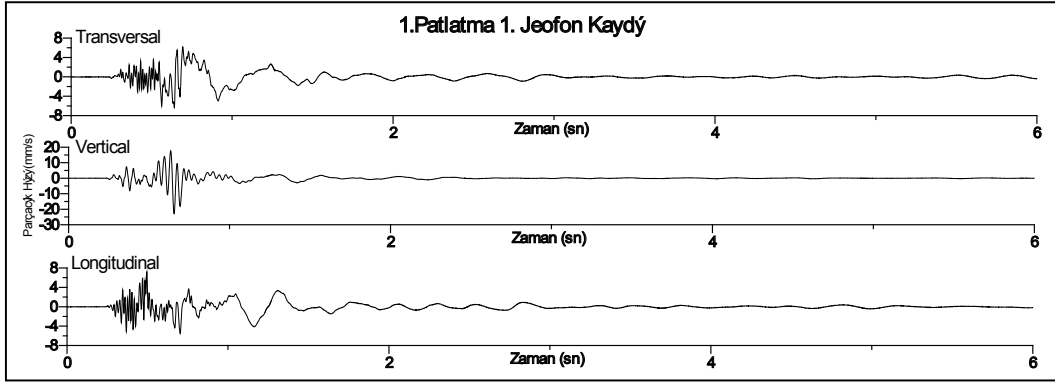
Şekil 8'de Nokta semboller 1. patlatma sonucu, üçgen semboller ise 2. patlatma sonucu istasyonlarda oluşan en yüksek parçacık hızlarını göstermektedir. Eğri ise model programı kullanılarak elde edilmesi beklenen toplam genlikleri (direk dalgalar, yüzey dalgaları, yansıyan ve kırılan kanal dalgaları toplamı) temsil etmektedir. Model programı çalıştırılırken Şekil 5'de gösterilen arazi durumu dikkate alınarak, giriş parametreleri düzenlenmiştir. Şekil 5'de görüleceği gibi 1. jeofon kömür tabakası üzerinde yer almakta diğer jeofonlar ise yaklaşık 40 m'lik örtü tabakasının üzerindedir. Bu yüzden model program 1. jeofon için ve diğer jeofonlar için ayrı ayrı çalıştırılmış ve elde edilen genlikler patlatma noktasına olan uzaklıklarına göre uygun şekilde birleştirilmiştir. Şekil 8'de, her iki patlatma sonucunda elde edilen en yüksek parçacık hızlarının, model programı ile hesaplanan eğri ile örtüştüğü görülmektedir.

Şekil 9, model programı kullanılarak elde edilen ve beklenen toplam genlikleri gösteren Şekil 8'deki eğrideki kanal dalgası etkisini (yansıma ve kırılma toplamı) göstermektedir. Şekil 9'da sürekli düşey çizginin solunda kalan eğri, model programı ile hesaplanmış olup, bu durumda arazideki gerçek duruma uygun olarak örtü tabakasının olmadığı varsayılmış ve program giriş parametreleri ona göre düzenlenmiştir. Buradan, kanal dalgası etkisinin örtü kalınlığının az olduğu yerlerde daha fazla olacağı anlaşılmaktadır. Düşey çizginin sağ tarafında kalan eğri ise örtü tabakasının olması durumunda beklenen kanal dalgası etkisini temsil etmektedir.

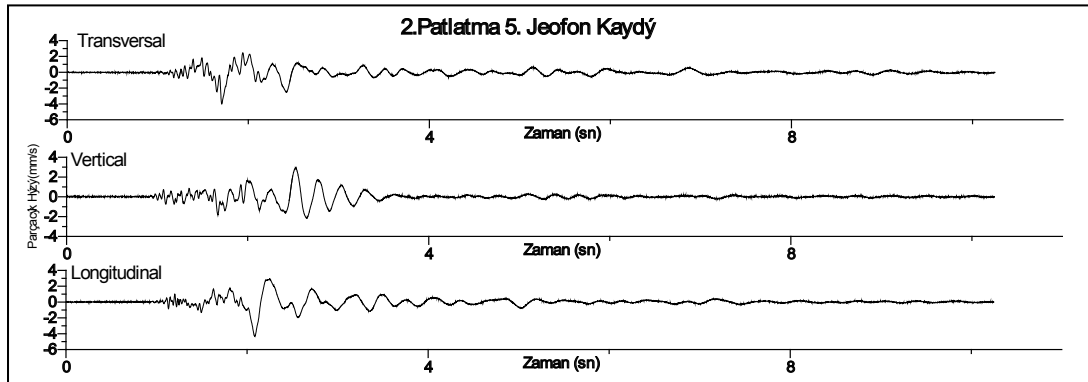
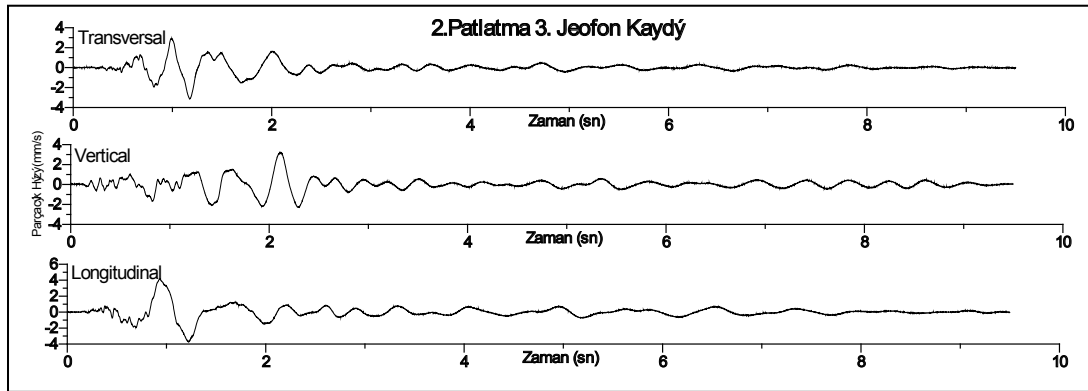
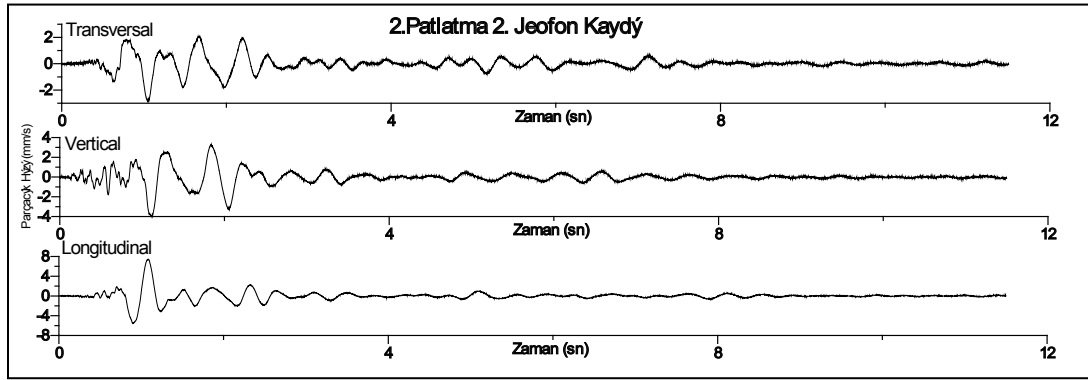
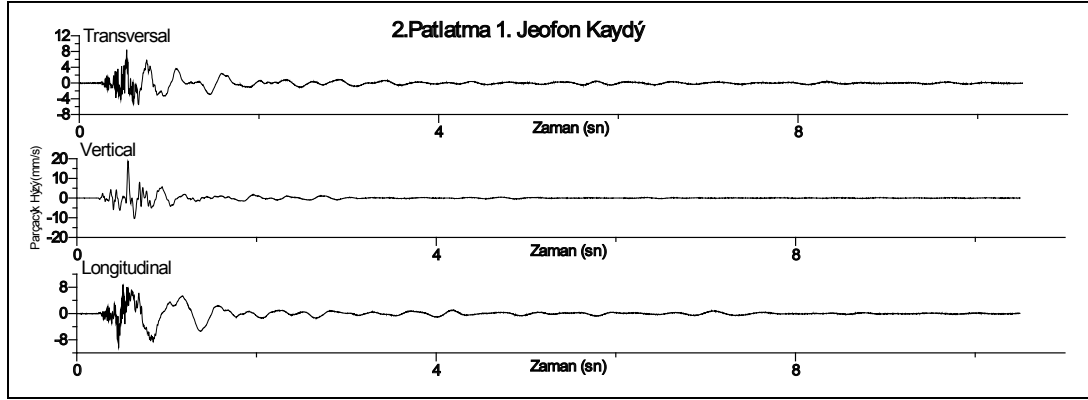
Arazi çalışması sırasında elde edilen jeofon kayıtları Şekil 10 ve 11'de verilmiştir.



Şekil 9. Patlatmalar sonucunda elde edilen en yüksek parçacık hızları ve model programından hesaplanan toplam kanal dalgası etkisi.



Şekil 10. 1.grup patlatma sonucu oluşan titreşimlerin enine (transversal), boyuna (longitudinal) ve düşey (vertical) bileşenleri.



Şekil 11. 2.grup patlatma sonucu oluşan titreşimlerin enine (transversal), boyuna (longitudinal) ve dikey (vertical) bileşenleri.

SONUÇLAR

Bu çalışmada, alışlagelmiş olarak yürütülen patlatma titreşim analizlerine yeni bir bakış açısı katmak hedeflenmiştir. Makalede anlatılmaya çalışılan, kömür damarının kanal görevi görmesi ve kanal dalgası üretmesi durumu gibi özel durumlarda, patlatma titreşimlerinin beklenildiğinin aksine mesafeyle azalan bir yönelim göstermeyebileceği, hatta, mesafeyle artabileceğine dikkat çekmektir. Bu sebeple, durumu anlamaya çalışmak için modeller üretilmiş ve sahadaki arazi sonuçları ile örtüştüğü görülünce umutlanılmıştır. Çünkü kanal dalgası üreme ihtimali olan bölgelerde (kömür damarı gibi) modeli uygulayarak, 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, yeni metodoloji ile (Aldaş ve Ecevitoglu, 2011), 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, halihazırda kullanılan yöntemler iyileştirilmeye çalışılmıştır.

Yapılan 1.grup patlatma sonucunda, kanal dalgası etkisi, patlatma noktasına 300 m uzaklıktaki jeofon ile kaydedilen sinyalin düşey bileşenindeki genlik artışı ile tespit edilmiştir.

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 noktasına yaklaşık 230 m uzaklıktaki jeofon ile kaydedilen sinyalin boyuna bileşeninde ve 500 m uzaklıktaki jeofon kaydının enine bileşeninde kanal dalgası etkisi gözlenmiştir.

Kurulan modelin arazi verileri ile örtüşmesi, modelin, patlatma titreşimlerini azaltma çalışmalarında en azından, ön bilgi (titreşim genliklerinin nerelerde tekrar artmaya veya azalmamaya başladığı bilgisi) olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Bu sonuçlar, kömür damarı içerisindeki sismik dalga yayılımının tekdüze bir uzaklıkla azalım ilişkisi olmadığını göstermektedir. Uzaklıkla üstel 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.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, katkılarından dolayı, Prof.Dr.Berkan Ecevitoglu ve Yrd.Doç.Dr.Bülent Kaypak'a, MTA Genel Müdürlüğünden Jeofizik Yüksek Mühendisi Aslı Zeynep Can'a ve TKİ Yeniköy Linyitleri İşletmesi Müdürlüğünden Maden Mühendisi Metin Kaçan'a teşekkürlerini sunarlar.

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. ve Ecevitoglu, B. (2011). Patlatma kaynaklı titreşimlerin en aza indirilmesini sağlayan yöntem. *İncelemeli Patent. Patent No: TR 2007 03459 B*.

Aldaş, G.G.U., Ecevitoglu, B. (2008). Waveform analysis in mitigation of blast-induced vibrations. *Journal of Applied Geophysics*, Vol.66 p. 25-30.

Anderson, D.A., 1993. In: Hudson, J.A. (Ed.), *Blast Monitoring: Regulations, Methods and Control Techniques*. *Comprehensive Rock*

- Engineering, vol. 4. Pergamon Press, pp. 95–110.
- 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.
- Bollinger, G.A., (1971): Blast Vibration Analysis. Southern Illinois University Press. 132 pages.
- 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., Jackson, P. J. and Davis, R. 1983. Attenuation and anisotropy of channel waves in coal seams. Geophysics. Cilt 18 (2); 133-147.
- 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.
- Dobróka, 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.
- Erten O., Konak G., Kızıl M., Onur A., Karakuş D. 2009. Analysis of quarry-blast induced ground vibrations to mitigate their adverse effects on nearby structure. International Journal of Mining and Mineral Engineering. Vol. 1 Number 4., pp.313-326.
- 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.
- 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.
- Findlay, M.J., Goult, N.R. and Kragh, J.E. 1991. The crosshole seismic reflection method in opencast coal exploration. First 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., 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.
- Gritto R. And Dresen L. (1992): Seismic modelling of seam waves excited by energy transmission into a seam, Geophysical Prospecting, Vol. 40, pp. 671-699.
- Gritto R. And Majer E.L., (2000): Seismic mapping of surface cavities, conference proceedings of the annual symposium on the application of geophysics to engineering and environmental problems (SAGEEP), Arlington, V.A., pp.1215-1244.
- Gritto, R. 2003. Subsurface void detection using seismic tomographic imaging. Lawrence Berkeley National Laboratory: Lawrence Berkeley National Laboratory. Retrieved from: <http://escholarship.org/uc/item/10b3g07v>
- 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. 1987. Coal seam mapping by analysis of direct channel wave arrivals. Geoprospection, 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.

- 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.
- Kahrman A., Özer U., Aksoy M., Karadoğan A., Tuncer G. 2006. Environmental impacts of bench blasting at Hisarcık Boron open pit mine in Turkey”, *Environmental Geology*, pp. 1015-1023.
- Krey, T.C. 1963. Channel waves as a tool of applied geophysics in coal mining. *Geophysics*, Cilt 28 (5); 701-714.
- Lavergne, M. 1989. *Seismic Methods*. TECHNIP, 172 sayfa, Paris.
- 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 Boer, 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.
- 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 Cerveny V., (1971): *Theory of seismic head waves*. Univ. of Toronto Press, pp. 312.
- Sheriff R. ve Geldart L.P., (1982): *Exploration seismology*, Vol.1, Cambridge Univ. Press, pp.253.
- 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.
- 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.
- Tuncer G. Kahrman A., Özdemir K., Güven S. Farhatoğlu A., Gezbul S. 2003. The damage risk evaluation of ground vibration induced by blasting in Naipli Quarry. 3rd Scientific Conference, SGEM 2003.
- 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.