

Patlatma Kaynaklı Titreşimlerin Tahmininde Sismik Kalite Faktörü Kullanımı

Usage of Seismic Quality Factor in Prediction of Blast Induced Vibrations

Güzin Gülsev Uyar Aksoy^{1*}, Cemalettin Okay Aksoy²

¹Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara,

²Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir

*Sorumlu yazar: gulsevaksoy@hacettepe.edu.tr

Özet

Bilindiği gibi, patlatma kaynaklı titreşimlerin ölçülmesinde sismograflar kullanılır. Her patlatmadan sismografla ölçüm alınamayan durumlarda, patlatma kaynaklı titreşimleri tahmin etmek için 1960'lı yıllarda geliştirilen ve günümüzde halen yaygın olarak kullanılan PPV (en yüksek parçacık titreşim hızı)- SD (ölçekli mesafe) kuramı kullanılmaktadır. Patlayıcı miktarını kısıtlama temelli, en yüksek parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkilerinin belirlendiği klasik yaklaşımla, 1960'lı yılların bilgi ve teknolojisi ile titreşimlerin en aza indirilmesinde başarılı sonuçlar elde edilirken; günümüzde özellikle yakın yerleşim yerleri ve maden sahasındaki şevlerde titreşimi en aza indirme konusunda yetersiz kalmaktadır. Bunun sebebi, bu formülün titreşim minimizasyonunda en önemli parametre olan "frekans" içeriğinin olmaması; dalga hızı ve soğrulma parametrelerini içermemesi; en az 30 patlatma verisi ile elde edilen görgül bir formüle dayanması ve formasyon değiştiği zaman geçerliliğini tamamen kaybetmesi ve formülü yenilemek için tekrar en az 30 patlatma verisine ihtiyaç duyması; sadece patlayıcı madde kısıtlamasına dayalı olması ve en önemlisi, patlatma grubuna yakın mesafelerde (şevlerin bulunduğu 50-100m mesafelerde), tabiatın doğrusal olmayan davranışları hakim olduğu için, görgül formülle hesap edilen titreşim hızlarının doğru olamamasıdır. Bu olumsuzluklardan dolayı, patlatma kaynaklı titreşimleri tahmin etmek için yeni bir yöntem önerilmektedir: Sismik Kalite Faktörü, Q, Yardımı İle Patlatma Kaynaklı Sismik Enerji Hesaplanması. Önerilen ilişkiler bir formül değil yöntemdir. Çünkü patlatma kaynaklı titreşimlerin hesaplanmasında verilerin elde ediliş ve işleniş yolunu da göstermektedir. Bu yöntemle tahmin edilen patlatma kaynaklı parçacık hızları, sahada sismograflarla kaydedilen gerçek patlatma kaynaklı titreşim hızları ile karşılaştırılmış ve sonuçlar biribiri ile oldukça uyumlu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Patlatma, patlatma kaynaklı titreşim, sismik kalite faktörü

Abstract

It is known that, seismographs are used to measure blast vibrations. PPV (peak particle velocity)-SD (scaled distance) theory, which was developed in the 1960s and is still widely used today, is used to estimate blast-induced vibrations in cases where measurements cannot be taken by seismograph for every blasts. While the classical approach in which the highest particle velocity-scale distance relations are determined based on restricting the amount of explosives, successful results are obtained in minimizing the vibrations with the knowledge and technology of the 1960s; today, it is insufficient to minimize vibration, especially in nearby settlements and slopes in the mines. The reason for this is that there is no "frequency" content, which is the

most important parameter in the vibration minimization of this formula; not include wave velocity and absorption parameters; it is based on an empirical formula obtained with at least 30 blasting data and when the formation changes, it loses its validity completely and needs at least 30 blasting data again to renew the formula; it is based only on explosive restriction, and most importantly, the distances to the blasting group (at 50-100m distances with slopes), because the nonlinear behavior of nature prevails, the velocity calculated by the empirical formula cannot be correct. Due to these disadvantages, a new method is proposed to estimate blast-induced vibrations: Seismic Quality Factor, Q , Calculation of Blast-Induced Seismic Energy. The proposed relationships are methods, not a formula. Because it also shows the way of obtaining and processing the data in the calculation of vibrations caused by blasting. The blast-induced particle velocities estimated by this method were compared with the actual blast-induced vibration rates recorded by seismographs in the field and the results were found to be quite compatible with each other.

Keywords: Blasting, blast induced vibration, seismic quality factor

1. Giriş

Patlatma kaynaklı oluşan titreşimlerin en aza indirilmesinde, patlayıcı miktarını kısıtlama temelli, en yüksek parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkilerinin belirlendiği klasik yaklaşım, 1960 yıllardan günümüze dek yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. 1960'lı yılların bilgi ve teknolojisi ile titreşimlerin en aza indirilmesinde başarılı sonuçlar elde edilen bu yaklaşım, günümüzde yerleşim yerlerine çok yakın yapılan patlatmalarda, karmaşık jeolojik yapıların el vermediği durumlarda tatminkar sonuçlar vermemektedir. Bu da, yapılan çalışmalara rağmen patlatma titreşimlerinden şikayetlerin devam etmesinden anlaşılmaktadır. Bu yaklaşım, günümüz bilgi ve teknolojisi ile çözümlenebilecek olan bazı olumsuzluklar içermektedir. Bu olumsuzluklar şöyle sıralanabilir:

- i) Klasik yöntemde değerlendirmeler, yalnızca en büyük parçacık hızına (PPV) dayandırılmakta; dalga biçimi, frekans içeriği ve titreşim süreci dikkate alınmamaktadır.
- ii) Patlayıcı miktarına kısıt getirilmekte, işletmenin madencilik faaliyetleri yavaşlamaktadır.
- iii) Görgül formülün geçerli olduğu güzergah değiştiğinde, yeniden arazi katsayılarını belirlemek üzere en az 30 verinin elde edileceği patlatmaların yenilenmesi gerekmektedir.
- iv) Patlatma kaynaklı dalgaların yayılma mekanizmalarını etkileyen bazı fiziksel ve jeolojik olaylar karşısında klasik yöntem yetersiz kalmaktadır. Bunlardan biri, kömür damarı gibi, kendisinden daha yüksek sismik hıza sahip katmanlar arasında yer alan yapılar içerisinde ilerleyen patlatma titreşimlerinin, kömür damarı içerisinde kanal dalgaları haline dönüşmeleri ve çok uzak mesafelere iletilebilmeleridir. Bir diğeri, patlatma titreşim analizlerinde zemin büyütmesinin temel kaya etkileşimi ile ilişkisidir. Başka bir olay, patlatmaya çok yakın (ilk 100m) mesafelerde patlatma titreşimlerinin doğrusal olmayan davranış sergilemesinden kaynaklı, bu mesafelerdeki hedeflerin korunmasında klasik yöntemin yine zayıf kalmasıdır.

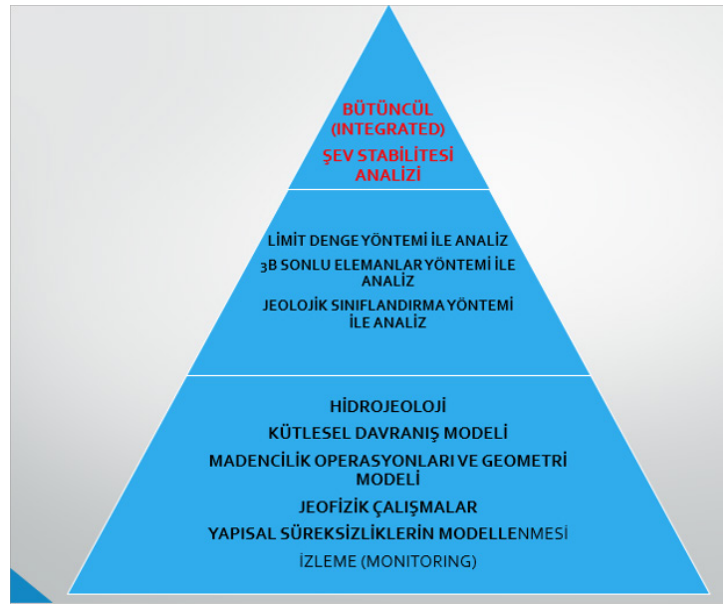
Bu olumsuzlukları içeren klasik yöntemin alternatifi olarak, patlatma kaynaklı oluşan titreşimlerin en uygun gecikmelerle hedef noktada söndürülmesi prensibine dayanan; sadece PPV'nin değil, frekans, süre parametrelerinin de göz önüne alındığı yöntemler bulunmaktadır (Uyar ve Ecevitoglu, 2008). Ancak, çevre yerleşim yerlerine ve en çok da maden sahasındaki şevlere verilecek titreşimlerin, sürekli ölçüm yapılamayan durumlarda tahmin edilmesi amaçlı, klasik

yöntemin getirdiği olumsuzlukları içermeyen, sismik kalite faktörüne bağlı olarak bu çalışmada geliştirilen yöntem, oldukça pratik çözüm sunmaktadır.

Gerçekten de, madenlerde yapılan patlatmalar, kontrol edilmezlerse kendi şev duraylılıklarına büyük zarar verebilirler. Madenlerde sürdürülebilir, güvenli ve ekonomik madencilik koşullarının oluşturulmasına dair en önemli çalışmalardan biri şev duraylılığının sağlanmasıdır.

Şev duraylılığı analizleri ve sürdürülebilir madencilik faaliyetlerini bir piramid olarak düşünersek, bütüncül şev stabilitesi analizi 1) limit denge yöntemi, 3B sonlu elemanlar yöntemi, jeolojik sınıflandırma yöntemi ile sistemi tanıma; 2) hidrojeoloji, kütleli davranış modeli, madencilik operasyonları ve geometri modelinin oluşturulması, jeofizik çalışmalar, yapısal süreksizliklerin modellenmesi ve izleme çalışmalarından oluşmaktadır. Patlatmaların kontrollü hale getirilmesi ve patlatma kaynaklı sismik dalgaların sürekli izlenmesi de bu piramidin önemli bir parçasıdır (Şekil 1).

Çünkü patlatmaların yaratacağı deplasman hareketi ve sismik hareketlilik, şev duraylılığını etkileyen oldukça önemli dinamik parametrelerdir. Her gün delme-patlatma yapılan bir madende şevlerin maruz kalacağı titreşim etkisi, duraylılık analizlerine dinamik olarak katılmalıdır. Bu sebeple, patlatma kaynaklı oluşacak titreşimlerin, değişen formasyon ve jeolojik yapı için, her zaman ölçülemeyen değerlerini tahmin edebilmek amaçlı, klasik PPV-SD yönteminin olumsuzlarını bertaraf eden ve izleyen bölümde ayrıntıları verilen, sismik kalite faktörüne bağlı olarak patlatma titreşimlerini tahmin etme yöntemi geliştirilmiştir.



Şekil 1 Bütüncül şev stabilitesi analizinin parçaları

2 Sismik Kalite Faktörü Yardımıyla Patlatma Kaynaklı Titreşimlerin Tahmin Edilmesi Yöntemi

Sismik Kalite Faktörü Q , 1940 yılından beri bilinen (Ricker, 1940) ve deprem-zemin ilişkisi hakkında önemli bilgiler sağlayan bir parametredir. Q -Faktörü, deprem dalgalarının kat ettiği zeminlerin ne kadar soğurgan oldukları hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. Q -Faktörünün düşük olduğu zeminlerde, deprem dalgaları, elastik enerjilerinin bir bölümünü, plastik deformasyon şeklinde kat ettikleri zemine bırakırlar. Bu kadar önemli bilgiler verebilme potansiyeli-

ne sahip olmasına rağmen, ölçümündeki zorluklar nedeniyle popülerlik kazanmamıştır.

Patlatmalar depremlerle aynı sismik dalgaları üretirler. Patlatmaların yarattığı sismik etkilerin kayaçlarla ilişkisi Q faktörü kullanılarak yorumlanabilir. Normalde, Q ölçümleri zor olmakla beraber, patlatma titreşimlerini ölçtüğümüz düzenekle, Q hesaplamaları yapmak mümkündür.

Aynı hat üzerine yerleştirilen sismograflardan elde edilen sismik dalgaların mesafeyle soğrulması prensibinden yararlanarak ortamın soğrulma faktörü ve yüzey dalga hızlarını ölçerek sismik kalite faktörü hesaplanabilir. Böylece, bölgesel Q değişim haritası hazırlanabilir.

Q-Faktörünün düşük olduğu ortamlarda, patlatma kaynaklı dalgalar, elastik enerjilerinin bir bölümünü, plastik deformasyon şeklinde kat ettikleri ortama bırakırlar. Patlatma kaynaklı dalgalar geçerken, ortamda, denge konumları civarında titreşen parçacıklar, dalgalar geçtikten sonra tekrar eski denge konumlarına geri dönerlerse (elastik davranış), az bir tahribat olacaktır. Bu tür ortamlar yüksek Q-Faktörü değerlerine sahiptirler. Q-Faktörünün ölçülmesindeki zorluk, hesaplamaların frekans ortamında yapılması gerektiğine dayanmasıdır. Patlatmalarda beklenen kayaç davranışını ifade eden yer tepkisi, aletsel kayıtlardan (sismograf) elde edebiliriz. Bu amaçla, patlatma ile aynı hat üzerine, yakın ve uzak istasyon olarak adlandırdığımız en az iki noktaya yerleştirilen sismograflardan elde edilen patlatma kaynaklı titreşim kayıtlarının genlik spektrumlarının oranının doğal logaritması alınır. Elde edilen eğri üzerine bir doğru parçası yerleştirilir. Bu doğru parçasının eğiminden Sismik Kalite Faktörü Q hesaplanır. Elde edilen eğrinin gürültü olması, eğri üzerinde bir ön yumuşatma işlemi yapılmasını gerektirmektedir.

2.1. Patlatma Kaynaklı Dalga Fazları ve Q-faktörü

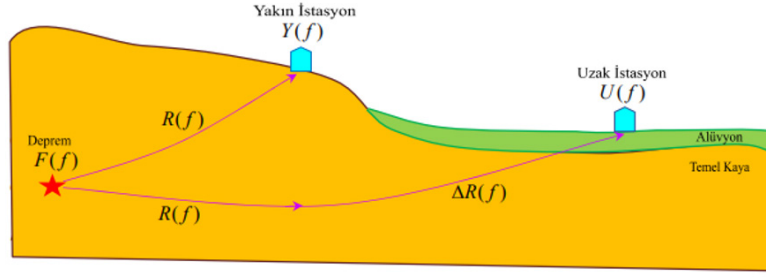
Soğrulma olayı tüm patlatma kaynaklı dalga fazlarında etkili olmaktadır. Biz genelde, patlatmalardaki en tahripkar dalgalar olan, yüzey dalgalarının (özellikle Rayleigh dalgalarının) soğrulması üzerinde durmaktayız. Cisim dalgalarının soğrulması da ölçülmektedir. Bu durumda zaman analiz penceresinin, ilgili cisim dalgası üzerine yerleştirilmesi gerekir. Q-Faktörü hesabı, yakın ve uzak istasyonlardaki yolculuk süresinin de bilinmesini gerektirmektedir.

Sismik kayıtlarda, cisim dalgalarının (özellikle P-fazının) varış zamanlarını ölçmek kolay olduğu halde, yüzey dalgalarının varış zamanlarını belirlemek zordur. Yüzey dalgaları dispersif (sismik hızın frekans bağımlı olması) oldukları için ilk gelen yüzey dalgasına ait faz hızının ölçülmesi zordur. Bir başka zorluk da, yüzey dalgalarından önce gelen cisim dalgalarının sismik kayıtları kalabalıklaştırarak, yüzey dalgalarına ait varış zamanı okumalarını güçleştirmesidir.

2.1.1 Yakın –Uzak İstasyon Spektral-Oran Yöntemi

Yakın-Uzak İstasyon Spektral-Oran Yöntemi (Şekil 2), ilk olarak Borchardt tarafından Nevada bölgesinde nükleer patlatmaları kullanarak, San Francisco Körfezi yakınlarındaki 37 farklı noktadaki büyütme değerlerinin belirlenmesinde, Standart Spektral Oran (SSR) yöntemi ismiyle kullanılmıştır (Borchardt, 1970).

Zemin büyütme oranlarının, jeolojik zemin özelliklerine bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir. Bu yöntem daha sonraki yıllarda farklı bölgelerde farklı araştırmacılar tarafından kullanılmıştır (Field and Jacob, 1993, Yalcinkaya and Alptekin, 2005, Gök, 2011).



Şekil 2. Yakın-uzak istasyon spektral-oran yöntemi

Şekil 2’de $Y(f)$ ile gösterilen yakın istasyon fonksiyonu Formül 1 ile, $U(f)$ ile gösterilen uzak istasyon fonksiyonu Formül 2 ile, $\Delta R(f)$ ile gösterilen yakın istasyon/uzak istasyon spektral oran fonksiyonu Formül 3 ile verilmiştir.

$$Y(f) = F(f) R(f) \quad (1)$$

$$U(f) = F(f) R(f) \Delta R(f) \quad (2)$$

$$\Delta R(f) = \frac{U(f)}{Y(f)} \quad (3)$$

f	: Frekans
$F(f)$: Deprem kaynak fonksiyonu
$Y(f)$: Yakın istasyon fonksiyonu
$U(f)$: Uzak istasyon fonksiyonu
$R(f)$: Deprem ile yakın istasyon arasındaki yol fonksiyonu
$\Delta R(f)$: Yakın istasyon ile uzak istasyon arasındaki yol farkı

Sismik Q (sismik kalite faktörü) hesaplanmasında, sismik hızın da bilinmesi gereklidir. Tahmini bir hız verip Q değerinin hesaplanması da mümkündür ama bu çalışmada, hız bilinmezliğini çözmek için Sismik Q ile Hız arasında bir deneysel formül önerilmiştir.

Aşağıdaki bölümde bu formülün çıkarılışı anlatılmaya çalışılmıştır:

X	Yolculuk mesafesi (m)
V	Hız (m/s)
Q	Sismik kalite faktörü
a	Eğim (s)
f	Frekans (Hz)
$Y(f)$	Yakın istasyon fonksiyonu
$U(f)$	Uzak istasyon fonksiyonu

Soğrulma denklemi

$$U(f) = Y(f) e^{-\frac{\pi x}{QV}f} = Y(f) e^{-af} \quad (4)$$

olarak verilir. Burada eğim

$$a = \frac{\pi x}{QV} \quad (5)$$

şeklinde tanımlanır. Yakın ve Uzak istasyon fonksiyonları oranının doğal logaritmasından

$$\text{Ln} \frac{Y(f)}{U(f)} = \frac{\pi x}{QV} f = af \quad (6)$$

bulunur. Buradan:

$$Q = \frac{\pi x}{aV} \quad (7)$$

elde edilir. Waters (1981) deneysel formülünden

$$Q = 10^{-6} V^2 \quad (V: ft/s) \quad Q = 10^{-6} \left(\frac{V}{0.3048} \right)^2 \quad (V: m/s) \quad V = 304.8 \sqrt{Q}$$

$$Q = \frac{\pi x}{aV} = \frac{\pi x}{a 304.8 \sqrt{Q}} \quad Q^2 = \left(\frac{\pi x}{a 304.8} \right)^2 \frac{1}{Q} \quad Q^3 = \left(\frac{\pi x}{a 304.8} \right)^2$$

$$Q = \left(\frac{\pi x}{a 304.8} \right)^{2/3} = \left(\frac{\pi}{304.8} \right)^{2/3} \left(\frac{x}{a} \right)^{2/3}$$

$$Q = 0.04736 \left(\frac{x}{a} \right)^{2/3} \quad (8)$$

bulunur.

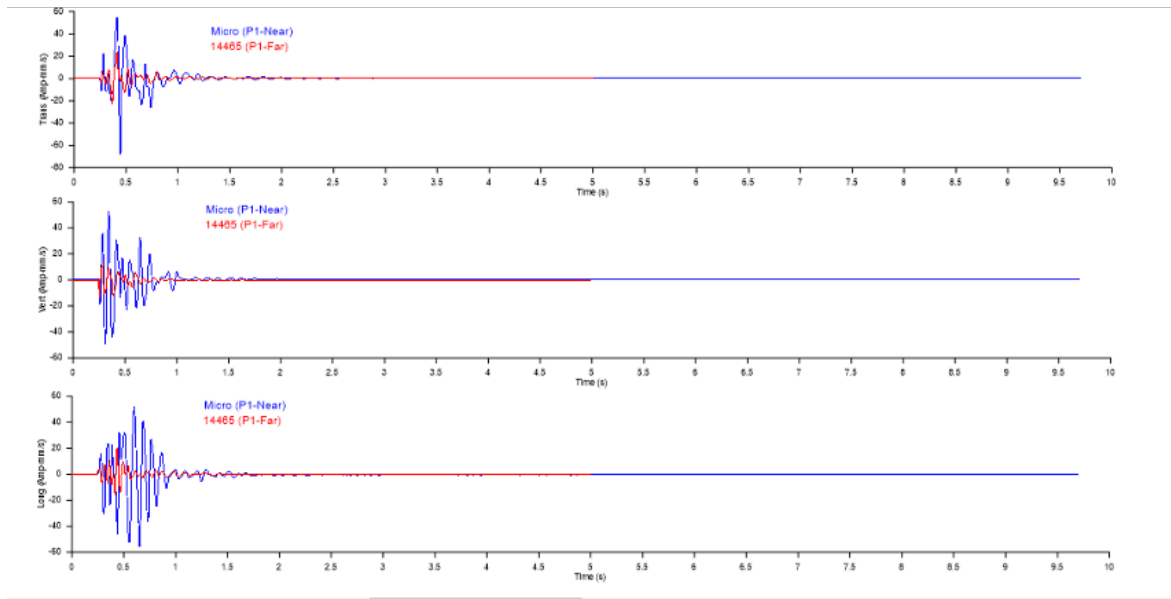
2.1.2 Sismik Kalite Faktörü (Q)'nün Hesaplanmasına Dair Bir Uygulama

Söz konusu uygulama TKİ Çan Linyitleri İşletmesi Ocağında yapılmıştır. Şekil 3'de kömürde yapılan Patlatma (P1) ve patlatma ile aynı hat üzerine konumlandırılmış sismograflar (sismik kayıt ölçer) Micro ve 14465 görülmektedir.

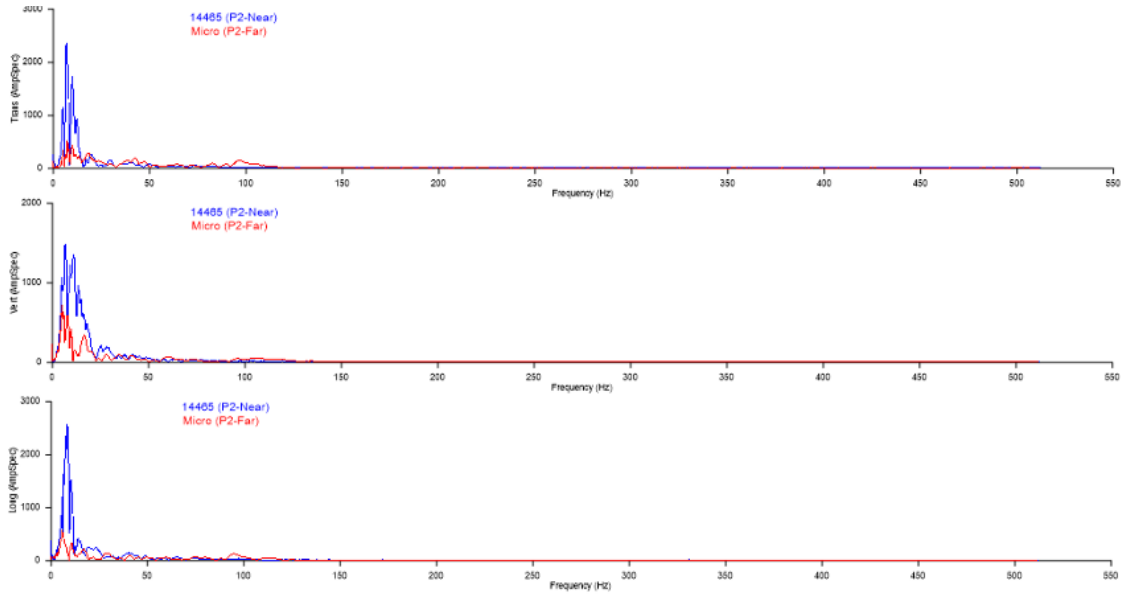


Şekil 3. Sismik Kalite Faktörü, Q, ölçüm düzeneği

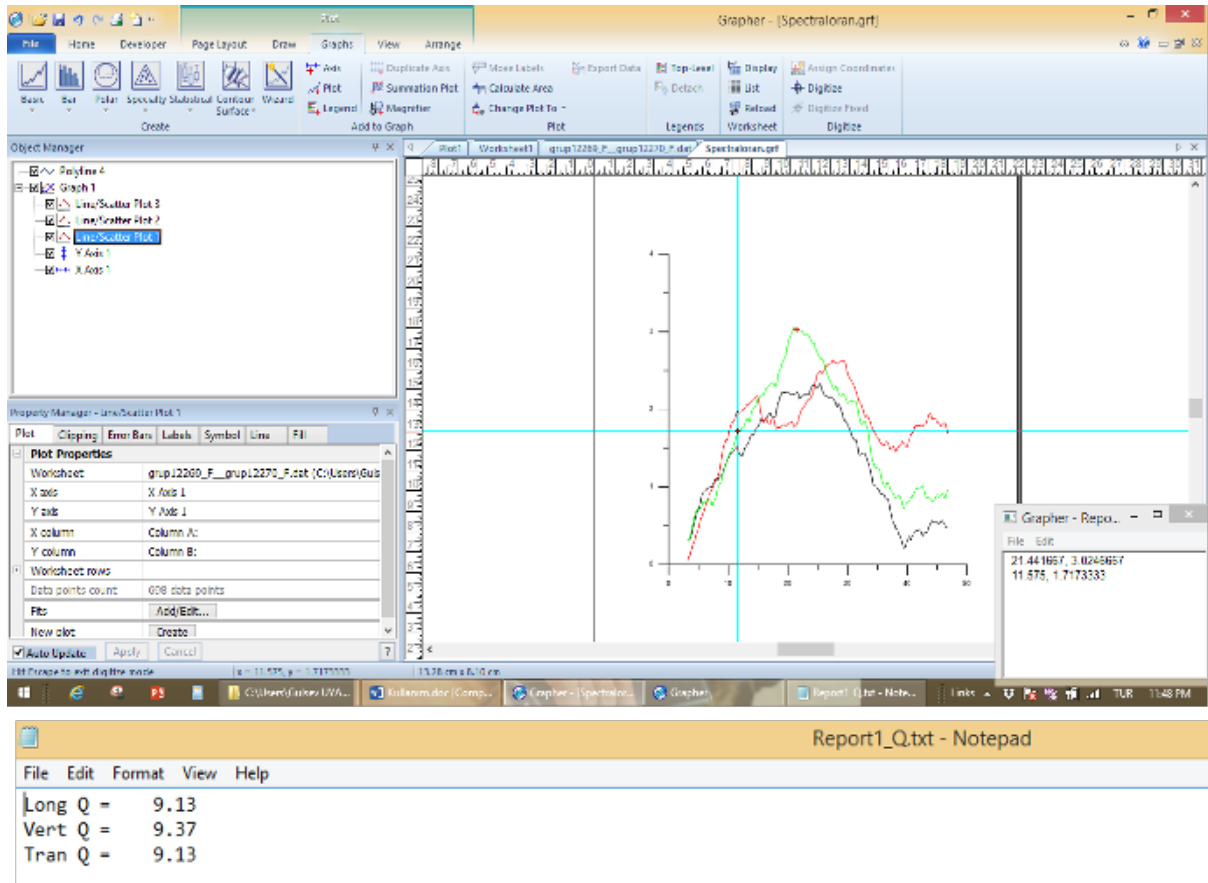
Şekil 4 ve 5, sırasıyla yakın (Micro-mavi) ve uzak (14465-kırmızı) istasyonda kaydedilen sismik genliklerin zamana ve frekansa bağlı değişimini göstermektedir. Şekil 6 , uzak ve yakın istasyondan alınan sismik dalgaların spektral oranlarının eğiminden hesaplanan Q değerlerini göstermektedir.



Şekil 4. Patlatma-1: 3 bileşende Uzak-Yakın sismograf genlik zaman grafiği

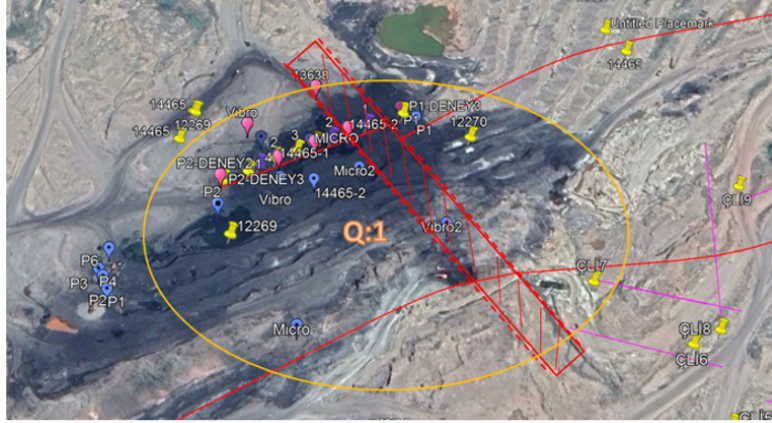


Şekil 5. Patlatma-1: 3 bileşende Uzak-Yakın sismograf genlik frekans grafiği

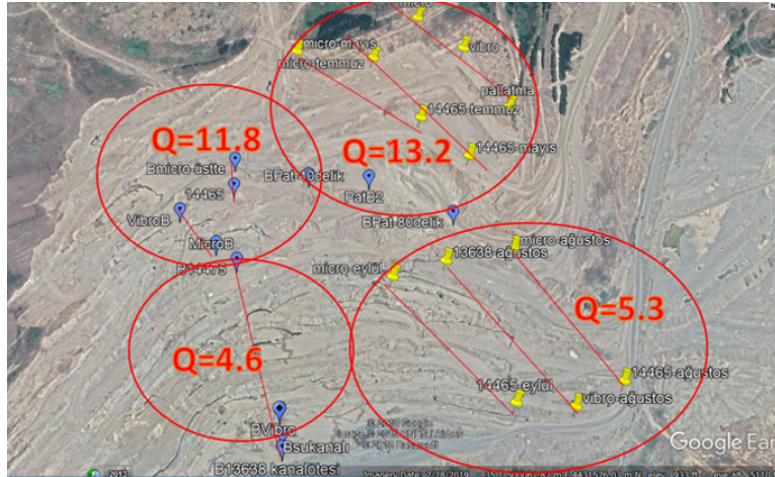


Şekil 6. Uzak-Yakın istasyon spektral oran grafiği ve 3 bileşende hesaplanan Q değerleri

Çan linyit sahasında kömürde yapılan patlatmalar (A sahası) ile yapılan Q hesaplamaları, dekapaj yapılan B sahasındaki patlatmalarla tekrarlanmış ve B sahasında da Q hesaplamaları benzer deney düzeneği ve hesapları ile yapılmıştır. Şekil 7 ve 8, A ve B sahasında, bölgesel Q değişimlerini göstermektedir.



Şekil 7. A sahasında (kömürde) bölgesel Q değeri



Şekil 8. B sahasında (dekapajda) bölgesel Q değerleri

Şekil 7 ve 8, kömürde ve dekapajda yapılan patlatmalarla etkilenen Q farklılığını göstermektedir. Ayrıca, Şekil 8'de Q değerlerinin kuzey ve güney bölümde neredeyse yarı yarıya değişmesi, bu bölgelerde yapılacak patlatmaların tasarımında değişiklik yapılmasının maliyet, titreşim ve dolaşısıyla şev stabilitesi açısından olumlu etkiler yaratacağını göstermektedir. Q değerinin 10-15 bandında olduğu bölgede yapılacak patlatmalar ile, daha düşük olan yerlerde yapılacak patlatmalarda tasarımlarda kaya faktörünü (rock factor) değiştirerek olumlu değişiklikler yapılabilir.

Q-Faktörü değerinin düşük olması, içinde yol aldığı zeminin anelastik özelliklerinin önemini vurgular. Bu anelastik özellikler kaya türlerine bağlı olduğu kadar, fay ve ezilme zonlarını, yeraltı su seviyesinin yüksekliğini, ortamdaki çatlak-kırık ve heyelan durumunu, zeminin sıvılaşma potansiyelini, alüvyal ve bataklık zeminlerini, insan yapısı dolgu ve atık alanlarını gösterebilir.

Bölgesel olarak hesaplanan Q değerleri ve yine aynı ölçüm düzeneği ile hesaplanan patlatma kaynaklı oluşan dalga hızları kullanılarak, jeofizik biliminde kullanılan soğrulma formüllerine

benzer bir formül geliştirilmiş ve mesafeye bağlı değişen patlatma kaynaklı titreşim hızları tahmin edilmiştir. Q değerinin hesaplanması ile yukarıda bahsedildiği üzere dalganın geçtiği jeolojik formasyonların özellikleri, zaman ve frekans parametreleri formülün içine girmiş ve hesaplanan titreşim hızları bu parametrelerin bir fonksiyonu olarak hesaplanmış olacaktır. Bu durumda, hesaplanan titreşim hızları (PPV), maden sahasında Q değerine bağlı bir fonksiyon olacaktır.

Ölçüm yapılan alanda, 3 bileşende Q değeri yaklaşık 9 çıkmıştır. Bu değer, ölçüm yapılmayan durumlarda sismik dalgaların yaratacağı parçacık hızlarını tahmin etmekte kullanılabilir. Patlatma kaynaklı sismik dalgaların yayılacağı kayaçların sismik kalite faktörü, yüzey dalgalarının kayaçlarda ilerleme hızı, kaynakta oluşan sismik dalga frekansı ve mesafeye bağlı olarak aşağıdaki formül geliştirilmiştir.

$$PPV = \frac{e^{-\frac{\pi}{QV}fR}}{R^{1/2}} \quad (9)$$

Bu formülde;

PPV: Titreşim, En yüksek tanecik hızı (peak particle velocity)

Q: Sismik kalite faktörü

V: Patlatma kaynaklı oluşan yüzey dalgalarının kayaçta ilerleme hızı, m/s

f: Sismik dalga frekansı

R: Patlatma yeri ile, titreşimin en aza indirilmesi hedeflenen yer arasındaki mesafe, m

Formül 9 yardımı ile patlatmalardan kaynaklı sismik dalgaların değişik mesafelerde yaratacağı parçacık hızları (PPV), bir başka deyişle titreşimler hesaplanarak Çizelge 1'de gösterilmiştir. Formül 9'daki sismik kalite faktörü Q, , değeri , yukarıdaki hesaplama göre 9.11 alınmıştır. Formül 9'daki V, yüzey dalga hızı da, yine tarafımda geliştirilen Seisblast yazılımı kullanılarak, aynı hat üzerindeki iki sismografdan alınan sismik veri yardımı ile 600 m/s olarak belirlenmiştir.

Frekans ise, 100 m mesafe için verilerin genelinde görülen sismik dalgaların ortalama hakim frekansı olan 24 Hz alınmıştır. Bundan sonraki mesafelerde, yüzey dalgaları dispersif özellik gösterdiği için, yani frekans hızı bağlı değiştiği için ve giderek düşük frekanslar görülmeye başladığı için, sırasıyla 20, 15, 12 ve 10 Hz alınmıştır.

Çizelge 1. Çan linyit İşletmesinde B sahası patlatmalarından kaynaklanan titreşimlerin mesafeyle değişimi

Patlatmaya olan mesafe, m	Parçacık hızı, mm/s
100	12,327
200	2,159
300	1,139
400	0,759
500	0.570

Sismik kalite faktörü hakim frekanslar , yüzey dalga hızları yardımı ile hesaplanan titreşimlerin, 20 Eylül 2019 grup patlatmasında aynı mesafelerde (100 m, 200 m) ölçülen PVS (peak vektör sum, vektörel toplam bileşke) titreşim değerleri ile uyumlu olduğu görülebilir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Çan linyit İşletmesinde B sahasında patlatmalardan kaynaklanan titreşimlerin Q Faktörü ile hesaplanan ve 20 Eylül 2019 tarihindeki grup patlatmasından ölçülen değerleri

Patlatmaya olan mesafe, m	Parçacık hızı (ölçülen), mm/s	Parçacık hızı (Q faktörü ile hesaplanan), mm/s
100	12,07 (sismograf 14465)	12,327
200	2,338 (sismograf 12270)	2,159

3.Tartışma ve Sonuç

Geliştirilen formülün halihazırda kullanılan formüle göre avantajları şöyle sıralanabilir: Patlayıcı miktarını kısıtlama temelli, en yüksek parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkilerinin belirlendiği klasik yaklaşım, 1960'lı yıllardan günümüze dek yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. 1960'lı yılların bilgi ve teknolojisi ile titreşimlerin en aza indirilmesinde başarılı sonuçlar elde edilen bu yaklaşım, günümüzde özellikle yakın yerleşim yerleri ve maden sahasındaki şevlerde titreşimi en aza indirme konusunda yetersiz kalmaktadır (Uyar GG ve Aksoy CO, 2019). Bunun sebebi, bu formülün titreşim minimizasyonunda en önemli parametre olan “frekans” içeriğinin olmaması; dalga hızı ve soğrulma parametrelerini içermemesi; en az 30 patlatma verisi ile elde edilen görgül bir formüle dayanması ve formasyon değiştiği zaman geçerliliğini tamamen kaybetmesi ve formülü yenilemek için tekrar en az 30 patlatma verisine ihtiyaç duyması; sadece patlayıcı madde kısıtlamasına dayalı olması ve en önemlisi, patlatma grubuna yakın mesafelerde (şevlerin bulunduğu 50-100m mesafelerde), tabiatın doğrusal olmayan davranışları hakim olduğu için (Uyar GG, 2017; Uyar GG 2010; Uyar GG 2010; Uyar ve Ecevitoglu, 2008), görgül formülle hesap edilen titreşim hızlarının doğru olamamasıdır (bu formül, tabiatın artık doğrusal davranış göstermeye başladığı uzak mesafelerde doğru titreşim tahmini yapmaktadır).

Yeni önerilen formülde ise, bir patlatmadan kaynaklı, aynı hat üzerindeki iki-üç sismografdan alınacak sismik verinin analizi ile sismik dalgaların soğrulma ve sönümlenme özelliği, frekans içeriği, oluşacak yüzey dalgalarının hızları dikkate alınacak olup, patlatmaya yakın mesafede alınabilecek iki sismik veri sayesinde yakın mesafede de titreşim hızları doğru tahmin edilebilecektir. Halihazırda uygulanan formülün aksine, değişen formasyonda tekrarlanacak sadece bir tek pilot delik (önceki formülde grup patlatması yapılmak zorunda) patlatma ve iki-üç sismografa ihtiyaç duymaktadır. Kömür sahasından alınan verilerle geliştirilen formül, metalik maden sahaları ve taş ocaklarında da uygulanarak geliştirilecektir. Patlatma kaynaklı dalgaların yayılma mekanizmalarını etkileyen bazı fiziksel ve jeolojik olaylar karşısında halihazırda uygulanan yöntem yetersiz kalmaktadır. Bunlardan biri, kömür damarı gibi, kendisinden daha yüksek sismik hıza sahip katmanlar arasında yer alan yapılar içerisinde ilerleyen patlatma titreşimlerinin, kömür damarı içerisinde kanal dalgaları haline dönüşmeleri ve çok uzak mesafelere iletilebilmeleridir (Uyar GG ve Babayigit E., 2016). Bir diğeri, patlatma titreşim analizlerinde zemin büyütmesinin temel kaya etkileşimi ile ilişkisidir (Can A.Z., 2008). Bunun gibi fiziksel ve jeolojik olaylar karşısında formülün cevabı araştırılacak ve metalik ve metalik olmayan sahalar, kömür ve taş ocakları için formülde bu sahalara özel sabitler eklenecektir.

Diğer titreşim hızı tahmin formüllerinde sahaya özel en az 30 grup patlatma (grup patlatmaları en az 40-50 delikten oluşur) verisi gerekirken, önerdiğimiz yöntemde sadece kaynak olarak sismik sinyal oluşturacak bir tek pilot delik patlatması ve iki sismograf yeterlidir (Hatta patlatma izinleri alınmamış sahalarda, işletme yeni açılırken, sadece kaynak olarak ağırlık düşürme, yere ağır cisimle vurma bile olabilir (Uyar GG, 2016).

Bu makalede, normalde jeofizik yöntemlerle hesabı zor ve zaman alıcı olan Sismik Kalite Faktörü (Q)'nün; patlatma kaynaklı yüzey dalga hızlarının ve frekansın birarada kullanıldığı yeni bir ölçüm ve hesaplama yöntemi önerilmiştir. Sahada uygulanabilirliği çok kolay olan bu yöntem sayesinde hem çevre yerleşim yerlerine verilecek titreşim etkileri mesafeye bağlı olarak kolaylıkla tahmin edilebilecek, hem de şev duraylılığı analizlerinin, gerçek dinamik etkileri yansıtan bir şekilde yapılabilmesi ve böylece güvenli madencilik koşullarının yerine getirilmesi gerçekleştirilecektir.

Teşekkür

Bu çalışmada, TKİ Çan Linyit İşletmesi Şev Duraylılığı Ve Sürdürülebilir Madencilik Faaliyetlerinin Sağlanması Projesi Kapsamında Patlatmalı Kazı Faaliyetlerinin yürütüldüğü Çan Linyit sahasında yapılan patlatma verileri kullanılmıştır. Bu sebeple, yazarlar, TKİ Çan Linyitleri yönetimine teşekkürlerini sunarlar.

Kaynaklar

AKSOY, G.G.U., “TKİ-ÇLİ Çan Linyitleri İşletmesi Açık Ocağında Sürdürülebilir Güvenli Madencilik Sisteminin Oluşturulmasına Yönelik AR-GE Projesi-Patlatma kısmı”, Kasım 2018-Kasım 2019.

UYAR G.G., 2017,“ Patlatma Kaynaklı Titreşimlerin Çevreye Olan Etkilerinin En Aza İndirilmesi Çalışmalarında Kullanılan Hasar Kriter Tabloları Üzerine Bir Yorum”, Uluslararası Madencilik ve Çevre Sempozyumu, ISME 2017.

UYAR GG., 2017, “Delme-Patlatma”, Temel Madencilik Bilgileri, Kitap Bölümü, Bölüm 3, sayfa138-247.

UYAR AKSOY G.G., BABAYİĞİT E., 2016, “Guided wave formation in coal mines and associated effects to buildings”, Structural Engineering and Mechanics, An International Journal, Vol. 60 No.5, 923-937.

UYAR AKSOY GG., GÜNGÖR, NO, 2016,“ Investigation of the effects of blast induced vibrations and channel wave formation to the slope stability of a surface coal mine”, International Black Sea Mining and Tunneling Symposium, Trabzon, 2-4 November.

UYAR G.G, AKSOY C.O., 2015, “Patlatma kaynaklı titreşim analizlerinde en yüksek parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisini esas alan yaklaşımının olumsuzlukları” VIII. Delme-Patlatma Sempozyumu

UYAR AKSOY G.G., 2010, “Investigation of blast design parameters from the point of seismic signals”, International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment, Vol. 24. Issue 1, pp.80-90.

G.G.UYAR AKSOY, 2010, “Explosive charge mass and peak particle velocity (PPV)-frequency relation in mining blast”, *Journal of Geophysics and Engineering*. Vol. 7, p. 223-231.

GG UYAR AKSOY, ECEVİTOĞLU B., 2008. Waveform analysis in mitigation of blast-induced vibrations. *Journal of Applied Geophysics*, 66:25-30.

CAN A., 2008, “Patlatma Kaynaklı sismik dalga-temel-kaya etkileşimi”, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

GÜZİN GÜLSEV UYAR, GALİP BERKAN ECEVİTOĞLU, “ Patlatma kaynaklı titreşimlerin en aza indirilmesini sağlayan yöntem” TPE. 2007/03459)

E., YALCINKAYA AND O., ALPTEKİN, 2005,“ Site effect and its relationship to the intensity and damage observed in the June 27, 1998 Adana-Ceyhan Earthquake”, *Pure and applied geophysics* Vol 162, Issue 5, 99913-930.

WATERS K. H., 1981, “Reflection seismology: A tool for Energy Resource Exploration” Wiley, 453 pages.

R.D. BORCHERDT, 1970, “ Effects of local geology on ground motion near San Francisco Bay”, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 60(1), p. 35-44.

RICKER N., 1943, “Further developments in the wavelet theory of seismogram structure”, *Bulletin of Seismology. Soc. Am.* 33:197-228.