

Makale Gönderim Tarihi: 20.02.2025

Yayına Kabul Tarihi: 21.04.2025

Patlatma Kaynaklı Titreşimlerin Güvenli Yönetimi: Deneysel Verilere Dayalı PPV-SD Ve Sismik Kalite Faktörü Karşılaştırması*Safe Management of Blast-Induced Vibrations: A Comparison of PPV-SD and Seismic Quality Factor Based on Experimental Data*Ozan Savaş^{1*}¹ Hacettepe Teknokent, GOA Ar-Ge Madencilik ve Çevre Teknolojileri Ltd. Şti., Ankara* Sorumlu Yazar: ozansavas@goamining.com.tr**Özet**

Son yıllarda, patlatma kaynaklı yer titreşimleri madencilik sektöründe önemli bir çevresel ve mühendislik sorunu haline gelmiştir. Kontrolsüz titreşim seviyeleri, çevredeki yapıların bütünlüğünü tehdit edebilir, şev stabilitesini bozarak heyelan riskini artırıp ciddi can ve mal kayıplarına neden olabilir. Bu nedenle, patlatmadan kaynaklanan titreşimlerin izlenmesi, doğru tahmin edilmesi ve olası risklerin en aza indirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, bir taş ocağında gerçekleştirilen pilot ve grup patlatmalarından elde edilen veriler analiz edilerek PPV-SD ve sismik kalite faktörü (Q) yöntemleri karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçları, sismik kalite faktörü yöntemi ile hesaplanan PPV değerlerinin saha ölçümleriyle daha iyi uyum sağladığını göstermektedir. PPV-SD yöntemi ise geniş veri setlerine ihtiyaç duyması nedeniyle belirli durumlarda saha ölçümlerinden önemli sapmalar göstermiştir. Elde edilen bulgular, patlatma titreşimlerinin güvenli seviyelerde tutulması için sismik kalite faktörüne dayalı modellemelerin mühendislik projelerinde daha güvenilir bir yaklaşım sunduğunu ortaya koymaktadır. PPV-SD yönteminin doğruluk seviyesinin artırılması için saha koşullarına özgü parametrelerin kalibre edilmesi gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Patlatma, patlatma kaynaklı titreşim, sismik kalite faktörü, maksimum parçacık hızı, ölçekli mesafe

Abstract

In recent years, blast-induced ground vibrations have become a significant environmental and engineering concern in the mining industry. Uncontrolled vibration levels can threaten the integrity of surrounding structures, disrupt slope stability, increase landslide risk, and cause severe loss of life and property. Therefore, monitoring, accurately predicting, and minimizing the potential risks of blast-induced vibrations are of great importance. In this study, data obtained from pilot and group blasting operations conducted in a quarry were analyzed, and the PPV-SD and seismic quality factor (Q) methods were compared. The analysis results indicate that PPV values calculated using the seismic quality factor method exhibit better agreement with field measurements. Conversely, the PPV-SD method requires a large dataset and, in certain cases, shows significant deviations from field measurements. The findings demonstrate that seismic quality factor-based modeling provides a more reliable approach for engineering projects to maintain blast-induced vibrations within safe levels. To enhance the accuracy of the PPV-SD method, calibration of parameters specific to site conditions is necessary.

Keywords: Blasting, blast-induced vibration, seismic quality factor, peak particle velocity, scaled distance

1.Giriş

Madencilik sektöründe yaygın olarak kullanılan delme ve patlatma yöntemleri, kaya kütlelerinin parçalanması ve kazı işlemlerinin verimli bir şekilde gerçekleştirilmesi açısından en ekonomik teknikler arasında yer almaktadır. Bunun yanı sıra, bu yöntemler inşaat ve altyapı projelerinde de sıkça tercih edilmektedir. Ancak, patlatma işlemleri, titreşim, gürültü ve moloz saçılması gibi çeşitli çevresel etkileri beraberinde getirmekte olup, özellikle yerleşim alanlarına yakın sahalarda bu etkilerin minimize edilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, patlatmanın çevresel ve güvenlik açısından doğurduğu olumsuz etkilerin kontrol altına alınması, sektörün karşılaştığı önemli mühendislik problemlerinden biri olarak değerlendirilmektedir.

Bir maden sahasında veya tünel, yol, altyapı gibi mühendislik projelerinde gerçekleştirilen patlatma çalışmaları, titreşimlerin çevredeki yapılarda hasara yol açması ve/veya çeşitli güvenlik endişeleri yaratması nedeniyle önemli çevresel anlaşmazlıklara sebep olmaktadır. Bu durum, patlatma kaynaklı titreşimlerin kontrol altına alınmasını zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, her ülke, patlatma sonucu indüklenen titreşimlerin yapısal hasarı en aza indirmesi amacıyla, genellikle tepe parçacık hızı (PPV) için belirli bir sınır değeri tanımlamaktadır. Bu sınır değerler, yapıların güvenliğini sağlamak ve çevresel etkileri minimize etmek adına mühendislik standartları ve yasal düzenlemeler çerçevesinde belirlenmektedir.

Türk Standartları'na göre belirlenen tepe parçacık hızı (PPV) sınırları; endüstriyel binalar için 1-10 Hz frekans aralığında 20 mm/s, 10-50 Hz'de 40 mm/s, 50-100 Hz'de 50 mm/s ve tüm frekanslar için 40 mm/s olarak belirlenmiştir. Evler, tuğla ve betonarme yapılar için bu sınırlar sırasıyla 5 mm/s, 15 mm/s, 20 mm/s ve 15 mm/s olarak tanımlanmıştır. Titreşime duyarlı yapılar, tarihi ve doğal yapılar için ise 1-10 Hz aralığında 2 mm/s, 10-50 Hz'de 8 mm/s, 50-100 Hz'de 10 mm/s ve tüm frekanslar için 8 mm/s sınır değerleri uygulanmaktadır. Bu sınır değerler, yapısal hasarın önlenmesi ve titreşim etkisinin kontrol altına alınması amacıyla frekans aralıklarına göre farklılık göstermektedir (ÇGKY, 2022).

Bu sınır değerlerin belirlenmesi ve uygulanması, patlatma kaynaklı titreşimlerin yapısal hasar riskini en aza indirmek için kritik bir mühendislik gerekliliğidir. Titreşimlerin yayılma mekanizmasını anlamak ve güvenli sınırları belirlemek amacıyla çeşitli ampirik modeller geliştirilmiş ve farklı saha koşullarında test edilmiştir. Bu bağlamda, çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilen ampirik modeller, patlatma titreşimlerinin tahmini ve yönetimi açısından önemli katkılar sağlamaktadır. Yapılan çalışmalar, farklı kayaç türleri, patlatma parametreleri ve çevresel faktörler dikkate alınarak titreşimlerin nasıl yayıldığını ortaya koymakta ve mühendislik uygulamalarına yön vermektedir.

(Kumar vd., 2016), patlatma kaynaklı zemin titreşimlerini tahmin etmek amacıyla kayaçların mekanik ve jeolojik özelliklerine dayalı zayıflatma denklemleri geliştirmiştir. Çalışmada, farklı kayaç türleri için patlatma titreşimlerinin davranışı analiz edilmiş ve bu titreşimleri tahmin etmek için çeşitli regresyon modelleri oluşturulmuştur. Araştırmacılar, saha verileri kullanarak bu modellerin doğruluğunu test etmiş ve kayaç türlerinin titreşim genlikleri üzerindeki etkisini değerlendirmiştir. Elde edilen denklemler, mühendislik uygulamalarında patlatma kaynaklı zemin titreşimlerinin kontrol edilmesi ve yapısal zararların en aza indirilmesi açısından önemli bir referans oluşturmaktadır.

Diğer bir çalışmada, (Kahrıman vd., 2006), Türkiye'deki Hisarcık Bor Açık Ocak Madeni'nde gerçekleştirilen basamak patlatmalarının çevresel etkilerini incelemiştir. Çalışmada, patlatma

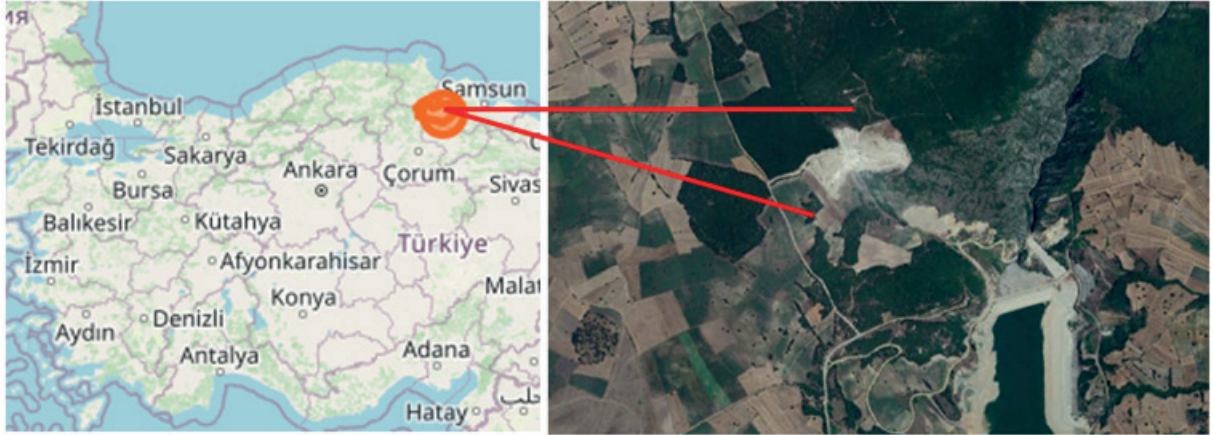
işlemlerinin neden olduğu titreşim, gürültü ve taş savrulması gibi çevresel faktörler değerlendirilmiş ve patlatma parametrelerinin bu etkiler üzerindeki rolü analiz edilmiştir. Araştırmacılar, tepe parçacık hızı (PPV) ile patlatma ölçekli mesafesi (SD) arasındaki ilişkiyi inceleyerek saha verilerine dayalı ampirik modeller geliştirmiştir. Çalışma kapsamında farklı PPV-SD ilişkileri karşılaştırılmış ve en uygun zayıflatma denklemi belirlenerek, bu modelin patlatma titreşimlerinin tahmininde nasıl kullanılabileceği ortaya konmuştur. Ayrıca, saha ölçümleri doğrultusunda, PPV değerlerinin uluslararası standartlarla kıyaslaması yapılmış ve çevresel etkilerin minimize edilmesine yönelik öneriler sunulmuştur.

Buna ek olarak, Uyar Aksoy ve Aksoy (2020) patlatma kaynaklı titreşimlerin tahmininde sismik kalite faktörü (Q) kullanımını inceleyerek, patlatma dalgalarının sönümlenme özelliklerinin belirlenmesine yönelik bir yöntem geliştirmiştir. Çalışmada, sismik kalite faktörünün, patlatma titreşimlerinin yayılma davranışını ve zayıflama denklemlerinin doğruluğunu nasıl etkilediği araştırılmıştır. Araştırmacılar, farklı saha koşullarında gerçekleştirilen ölçümler doğrultusunda PPV-SD ilişkisini analiz etmiş ve sismik kalite faktörünü içeren modellerin geleneksel zayıflatma denklemlerine kıyasla daha güvenilir sonuçlar sağlayabileceğini ortaya koymuştur.

Yukarıda belirtilen çalışmalar, patlatma kaynaklı titreşimlerin tahmini, modellenmesi ve kontrol edilmesi açısından önemli katkılar sunmaktadır. Bu çalışma kapsamında, PPV-SD yaklaşımı ile sismik kalite faktörü yaklaşımı, Türkiye'nin Samsun ili Vezirköprü ilçesi dolaylarında bulunan bir taş ocağında gerçekleştirilecek deneysel çalışmalar ile karşılaştırılacaktır. Ocağın konumu, ayrıca risk unsuru olarak belirlenen baraj bölgesi ve sulama kanalı bölgelerine karşı kontrollü patlatma tasarım parametreleri ile değerlendirilecektir.

2. Çalışma Sahası ve Jeoloji

Samsun ili, Vezirköprü ilçesinde bulunan sahaya ait yer bulduru haritası Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Çalışma sahasının konumunu gösteren yer bulduru haritası

2.1. Bölgesel Jeoloji

Orta Karadeniz Bölgesi, Kuzey Anadolu Fayı Zonu (KAFZ) içerisinde yer almakta olup, bölgenin tektonik yapısı önemli jeolojik özellikler taşımaktadır. Amasya ve çevresi, kuzeyde KAFZ'nin ana kolu ile sınırlanırken, güneyde ise Esençay-Suluova (Es-SuF) ve Ezinepazar-Sungurlu (EzSF) fay sistemleri tarafından şekillenen geniş bir deformasyon alanı içerisinde yer almaktadır. Amasya Makaslama Zonu (AMZ) olarak tanımlanan bu alan, aktif tektonik hatlarla morfolojik evrimini sürdürmektedir (Kılıçoğlu, 2020).

KAFZ'nin ana kolu, 20. yüzyılda 1939, 1942 ve 1943 yıllarında gerçekleşen büyük depremlerle tamamen kırılmıştır (Erturaç ve Tüysüz, 2011). MTA tarafından hazırlanan 1/100.000 ölçekli jeoloji haritasına göre, bölgedeki diri fay hatları doğu-batı doğrultusunda uzanarak Tepeören, Ortaköy, Taşlyük, Başlana, Boruk, Kıрма ve Öğürlü köyleri üzerinden geçmektedir. Çalışma bölgesi, Erikli fayı ve Ekinveren fayı arasında yer almakta olup, 32 km uzunluğundaki sağ yönlü doğrultu atımlı Köprübaşı segmenti üzerinde bulunmaktadır (MTA, 2013).

2.2. Çalışma Sahasındaki Litolojik Birimler

Orta Karadeniz Bölgesi, Kuzey Anadolu Fayı Zonu (KAFZ) içerisinde yer almakta olup, bölgenin tektonik yapısı önemli jeolojik özellikler taşımaktadır. Amasya ve çevresi, kuzeyde KAFZ'nin ana kolu ile sınırlanırken, güneyde ise Esençay-Suluova (Es-SuF) ve Ezinepazar-Sungurlu (EzSF) fay sistemleri tarafından şekillenen geniş bir deformasyon alanı içerisinde yer almaktadır. Amasya Makaslama Zonu (AMZ) olarak tanımlanan bu alan, aktif tektonik hatlarla morfolojik evrimini sürdürmektedir (Kılıçoğlu, 2020).

Çalışma sahasında Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından hazırlanan 1/25.000 ölçekli jeoloji haritasına göre 12 farklı litolojik birim yüzeylenmektedir (Uğuz & Sevin, 2009). Litolojik birimler, yaşlıdan gence doğru sırasıyla şu şekildedir: Neritik Kireçtaşı Formasyonu (Pmk) Gri renkli, orta-kalın, kalın tabakalı, yer yer masif görünümlü ve oolitik kireçtaşlarından oluşmaktadır. Açık gri-bej renkli, bol çatlaklı ve erime boşluklu yapıya sahiptir. Permian yaşlıdır.

Bekirli Formasyonu (TRJb-mb): Kuvars ve mikaca zengin metakumtaşı-fillat ile bazik magmatit-volkanit kökenli kırıntılı kayalardan oluşmaktadır. Triyas-Liyas yaşlıdır.

Çalarasın Formasyonu (Kç): Kırmızımsı kahverengi, siyahımsı gri ve gri renkli kumtaşı, silttaşı, şeyl, çamurtaşı ardalanması şeklinde gözlenmektedir. Kampaniyen-Maastrihtiyen yaşlıdır.

Beşpınar Formasyonu (KTpeb): Üst Kretase-Alt Eosen yaşlıdır. Altta sarımsı kahve, kirli sarı renkli, kalın tabakalı, oolitik ve foraminiferli kireçtaşları, üstte ise ince kumtaşı, silttaşı-marn ardalanması ile temsil edilmektedir.

Beynamaz Formasyonu (Temeb): Lütesiyen yaşlıdır. Bazalt ve andezit lavları, aglomera ve tüflerden oluşmaktadır.

Meryemdere Formasyonu (Teme): Lütesiyen yaşlı olup, çakıltası, kumtaşı, silttaşı, marn, çamurtaşı ardalanması ile kireçtaşlarından meydana gelmektedir. Kırmızımsı, sarı ve alaca renkli çakıltası-kumtaşı ardalanması ile başlamakta olup, üst seviyelere doğru killi ve kumlu ara düzeyler içermektedir.

Köprübaşı Formasyonu (Tomk): Volkanitlerden oluşan bu birim andezit ve andezitik bazalt bileşimindedir. Andezitler pembe, kırmızımsı boz renkte, bazaltlar ise olivinli bazalt ve ojit andezit formundadır. Oligosen-Miyosen yaşlıdır.

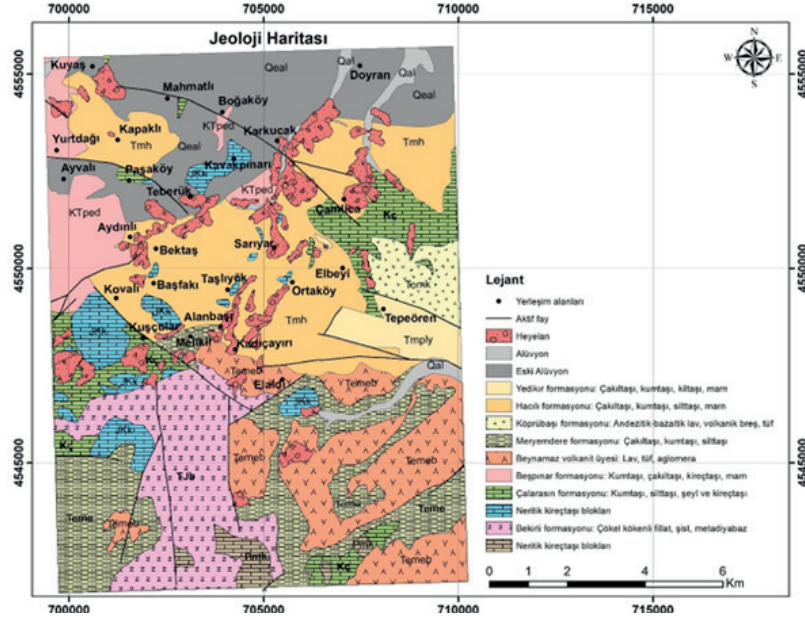
Hacılı Formasyonu (Tmh): Miyosen yaşlıdır. Çakıltası, kumtaşı, silttaşı, marn ardalanmasından meydana gelmektedir. Çakıltaları sarımsı boz, gri renkli, iyi yuvarlaklaşmış ve volkanit çakıllı olup, kötü tutturulmuş ve kalın tabakalı bir yapıya sahiptir.

Yedikır Formasyonu (Tmly): Üst Miyosen-Pliyosen yaşlıdır. Kirli beyaz, krem, sarımsı boz renklerde olup, kötü tutturulmuş çakıltası, kumtaşı, kiltası, çamurtaşı ve marn araldanmasından oluşmaktadır.

Eski Alüvyon (Qeal): Üst Pleyistosen yaşlıdır ve açık gri, bej, krem renkli, belirsiz katmanlanmalı, gevşek tutturulmuş çakıltası, kumtaşı, silttaşı ve çamurtaşı araldanımı içermektedir. Menderesli ırmak, örgülü akarsu ve taşkın ovası ortamlarında çökelmiştir.

Alüvyon (Qal): Holosen yaşlıdır. Menderesli, örgülü akarsu ve taşkın ovası çökelleri ile temsil edilen çakıl, kum, silt ve çamur birikintilerinden oluşmaktadır. Kızılırmak ve Gökırmak vadileri boyunca yüzeylenmektedir.

Çalışma bölgesinde 18 adet diri fay kırığı tespit edilmiştir. Bölge, Orta Karadeniz Bölgesi'nde beklenen olası depremler açısından risk taşımakta olup, özellikle heyelan duyarlılığı açısından önemli bir alan olarak değerlendirilmektedir (Kılıçoğlu, 2020). Şekil 2'de çalışma sahasının jeolojik haritası verilmiştir.



Şekil 2. Çalışma alanının jeoloji haritası (Kılıçoğlu, 2020'den alınmıştır)

3. Çalışma Metodu

Patlatma kaynaklı titreşimlerin modellenmesi ve çevresel etkilerinin değerlendirilmesi, mühendislik uygulamalarında kritik bir öneme sahiptir. Bu titreşimler, özellikle patlatma ölçekli mesafe (SD) ile tepe parçacık hızı (PPV) arasındaki ilişki temel alınarak modellenmektedir. PPV, patlatma kaynaklı titreşimlerin büyüklüğünü belirleyen önemli bir parametre olup, farklı saha koşullarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

Bununla birlikte, sismik kalite faktörü (Q) kayaç ortamında sismik dalgaların sönümlenme özelliklerini belirlemeye yönelik bir parametre olup, patlatma titreşimlerinin yayılma mekanizmasının daha hassas analiz edilmesine olanak tanımaktadır. PPV-SD ilişkisi ampirik denklemlerle belirlenirken, sismik kalite faktörü, kayaçların enerji sönümlenme kapasitesini ortaya koyarak daha ileri seviye bir değerlendirme imkanı sunmaktadır. Sismik Kalite Faktörü (Q) yaklaşımı, Seisblast Promax yazılımı kullanılarak değerlendirilecek ve elde edilen çıktılar analiz edilerek karşılaştırılacaktır. Bu bölümde, literatürde yapılan çalışmalar ışığında PPV-SD ve Sismik Kalite Faktörü (Q) yaklaşımlarıyla ilgili mevcut yöntemler ve ampirik modeller ele alınacaktır.

3.1. PPV-SD Yaklaşımı

Patlatma kaynaklı titreşimlerin değerlendirilmesinde en yaygın kullanılan yöntemlerden biri Tepe Parçacık Hızı (PPV) ile Patlatma Ölçekli Mesafe (SD) ilişkisi olup, bu yaklaşım patlatma titreşimlerinin tahmini ve kontrolü açısından önemli bir rol oynamaktadır. PPV, patlatma sonrası zemin hareketinin maksimum hızını ifade eder ve yapısal hasar riskinin belirlenmesi ile çevresel etkilerin yönetilmesinde kritik bir parametre olarak kullanılır (Singh ve Roy, 2004).

PPV, Gecikme başına patlatılan maksimum patlayıcı miktarı (kg) ve patlatma mesafesi (D) ile ampirik olarak belirlenen zayıflatma modelleriyle tahmin edilir. PPV-SD ilişkisi, aşağıdaki genel zayıflatma denklemi ile ifade edilmektedir (Atkinson, 1993; Singh ve Roy, 2004):

$$PPV = k \times [(SD) / (W^b)]^{-n} \quad (1)$$

Burada;

PPV = Tepe Parçacık Hızı (mm/s),

SD = Patlatma Ölçekli Mesafe (m),

W = Gecikme başına patlatılan maksimum patlayıcı miktarı (kg)

k, n ve b = Ampirik olarak belirlenen saha katsayılarıdır.

PPV-SD yaklaşımı, patlatma dalgalarının zayıflama davranışını anlamak ve saha verileri doğrultusunda hasar riskini modellemek için kullanılmaktadır. Bu yöntem, madencilik, inşaat ve altyapı projelerinde yaygın olarak uygulanmakta olup, farklı saha koşullarına göre çeşitli ampirik denklemler geliştirilmiştir.

Dünya genelinde yaygın olarak kullanılan PPV tahmin modelleri, patlatma kaynaklı titreşimlerin tahmini için geliştirilmiş ampirik bağıntılardır ve benzer prensiplere dayanmalarına rağmen farklı değişkenleri ve katsayıları içermektedir. USBM modeli, patlatma mesafesi (SD) ve patlayıcı yük miktarının (W) kareköküyle normalize edilmiş bir ölçekleme yaklaşımı kullanırken, Ambraseys-Hendron modeli patlatma yükünün küp kökü ile ölçeklendirilmiş bir zayıflatma bağıntısı sunar. Langefors-Kihlström modeli, patlayıcı yük miktarının küp kökü ve mesafenin 3/2 kuvveti arasındaki ilişkiye dayanmaktadır. Kahrıman modeli ve Indian Standard modeli, saha koşullarına özgü ampirik katsayıları içeren ve patlatma mesafesi ile patlayıcı yük miktarı arasındaki ilişkiyi saha verileriyle optimize eden yaklaşımlardır. Ghosh-Daemen modeli, diğer modellerden farklı olarak ekspansiyel bir sönümlenme terimi ekleyerek mesafenin PPV üzerindeki etkisini daha hassas bir şekilde modellemeye çalışmaktadır. Genel olarak bu modeller, patlatma yükü arttıkça ve mesafe arttıkça PPV değerinin azalacağını öngörse de, farklı coğrafi ve jeoteknik koşullar için farklı ampirik katsayılarla sahip olmaları nedeniyle saha verileriyle kalibre edilmeleri gerekmektedir.

3.2. Sismik Kalite Faktörü (Q) Yaklaşımı

Sismik kalite faktörü (Q), kayaç ortamında sismik dalgaların sönümlenme (zayıflama) özelliklerini belirlemek için kullanılan ve patlatma kaynaklı titreşimlerin tahmin edilmesinde önemli bir rol oynayan bir parametredir (Aksoy ve Aksoy, 2020). Q faktörü, yüksek değerlerde sismik dalgaların daha az sönümlendiğini, düşük değerlerde ise enerjinin daha hızlı kaybolduğunu göstermektedir (Borcherdt, 1970).

Patlatma kaynaklı titreşimlerin modellenmesi ve kontrol edilmesi sürecinde, dalga formu analizi (waveform analysis) önemli bir araç olarak kullanılmaktadır (Uyar ve Ecevitoglu, 2008). Dalga formu analizi, sismik sinyallerin frekans içeriğini ve genlik spektrumlarını inceleyerek,

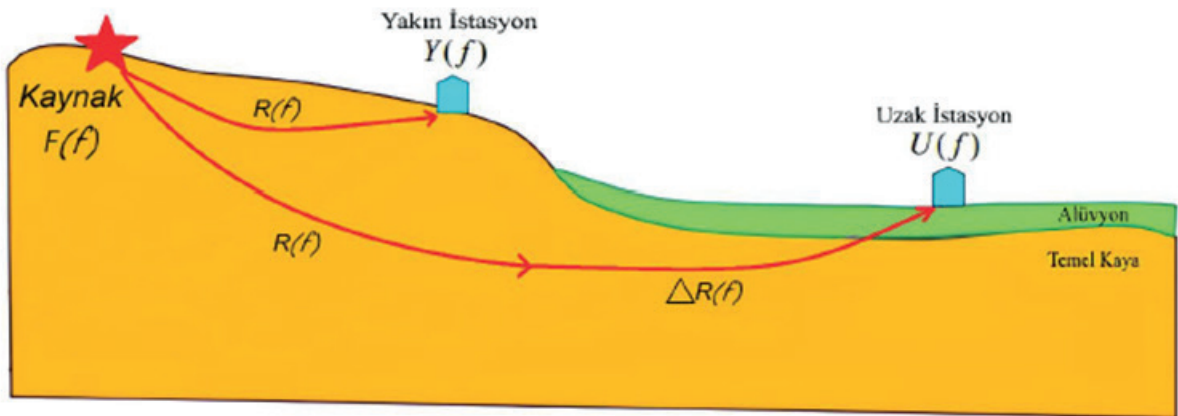
Q faktörünün belirlenmesinde kritik bir rol oynar. (Uyar ve Ecevitoglu, 2008) tarafından yapılan çalışmada, patlatma titreşimlerinin sönümlenme özelliklerinin doğru tahmin edilebilmesi için dalga formlarının detaylı analiz edilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Bu analiz, patlatma dalgalarının kontrol edilmesi ve çevresel titreşim etkilerinin minimize edilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Soğrulma olayı, patlatma kaynaklı tüm dalga fazlarında etkili olmakla birlikte, en çok patlatmalarda en tahripkar dalgalar olarak kabul edilen yüzey dalgalarının (özellikle Rayleigh dalgalarının) soğrulması üzerinde durulmaktadır. Bununla birlikte, cisim dalgalarının (P ve S dalgalarının) soğrulması da ölçülmektedir. Bu durumda, Q-faktörü hesabı için zaman analiz penceresinin, incelenen cisim veya yüzey dalgasının üzerine doğru şekilde yerleştirilmesi gerekmektedir. Q-faktörü hesabı, yakın ve uzak istasyonlardaki dalgaların yolculuk süresinin de bilinmesini gerektirir. Sismik kayıtlarda, P-dalgaları gibi cisim dalgalarının varış zamanları kolaylıkla belirlenebilirken, yüzey dalgalarının varış zamanlarını belirlemek daha zordur. Yüzey dalgaları dispersif (yani sismik hızın frekansa bağlı olarak değişmesi) olduğu için, ilk gelen yüzey dalgasına ait faz hızının ölçülmesi zordur. Ayrıca, yüzey dalgalarından önce gelen cisim dalgaları, sismik kayıtları yoğunlaştırarak yüzey dalgalarının tespitini zorlaştırabilir.

Yakın-Uzak İstasyon Spektral-Oran Yöntemi, ilk olarak (Borcherdt, 1970) tarafından Nevada bölgesinde gerçekleştirilen nükleer patlatmaların etkilerini incelemek amacıyla geliştirilmiş ve daha sonra farklı araştırmacılar tarafından genişletilmiştir (Field ve Jacob, 1993; Yalcinkaya ve Alptekin, 2005; Gök, 2011). Bu yöntem, zemin büyütme oranlarının jeolojik zemin özelliklerine bağlı olarak değiştiğini gösteren ampirik bir model olarak kullanılmaktadır.

Spektral-Oran Yöntemi, yakın ve uzak istasyonlardan alınan sismik kayıtların spektral genlik oranlarını kullanarak sismik kalite faktörü (Q) hesaplamaya olanak tanır. Yakın istasyondaki sinyallerin, uzak istasyondaki sinyallere kıyasla daha az sönümlendiği kabulüyle, dalga genliği spektrumları analiz edilerek Q faktörü elde edilir.

Şekil 3'de Yakın-uzak istasyon spektral-oran yöntemi şematik olarak gösterilmektedir. Bu yöntem, yakın ve uzak istasyonlardan alınan sismik kayıtların spektral genlik oranlarının analiz edilmesiyle sismik kalite faktörünün (Q) hesaplanmasını sağlamaktadır.



Şekil 3. Yakın-uzak istasyon spektral-oran yöntemi

Şekil 2’de $Y(f)$ ile gösterilen yakın istasyon fonksiyonu Formül 2 ile, $U(f)$ ile gösterilen uzak istasyon fonksiyonu Formül 3 ile, $\Delta R(f)$ ile gösterilen yakın istasyon/uzak istasyon spektral oran fonksiyonu Formül 4 ile verilmiştir.

$$Y(f) = F(f) \times R(f) \quad (2)$$

$$U(f) = F(f) \times R(f) \times \Delta R(f) \quad (3)$$

$$\Delta R(f) = U(f) / Y(f) \quad (4)$$

Burada,

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

Özetle, pilot patlatma veya patlatma yapılamayan bölgelerde ağırlık düşürme gibi alternatif yöntemlerle oluşturulacak yapay sismik dalgalar, iki titreşim ölçerden alınacak kayıtlarla sismik kalite faktörünün (Q) hesaplanması için yeterli olacaktır. Bu yöntem, özellikle saha koşullarının doğrudan patlatmaya izin vermediği durumlarda, Q faktörünün belirlenmesine yönelik önemli bir alternatif oluşturmaktadır.

4. Uygulama

Deneyisel çalışma, Samsun ili Vezirköprü ilçesi sınırlarında bulunan bir Taş Ocağı’nda gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında, farklı tarihlerde ocak içerisinde belirlenen farklı bölgelerde ve değişen patlayıcı miktarları ile pilot ve grup patlatmaları uygulanmıştır. Patlatmalar sırasında, titreşim ölçer cihazlar yardımıyla, çevresel risk faktörleri olarak belirlenen baraj gövdesi ve sulama kanalı güzergâhlarında titreşim ölçümleri alınmıştır.

Deneyisel süreçte, toplamda 9 farklı atım yapılmış ve bu atımlardan elde edilen titreşim verileri 4 farklı kayıt cihazı kullanılarak toplanmıştır. Bu süreç sonucunda, 26 farklı olay kaydı elde edilmiştir. Elde edilen veriler, PPV-SD ilişkisi ve Sismik Kalite Faktörü (Q) hesaplamaları için analiz edilerek değerlendirilmiştir.

Patlatmaların gerçekleştirildiği alan, risk unsuru olarak belirlenen baraj gövdesi ve sulama kanalı ile sismografların konumlarını gösteren uydu görüntüsü Şekil 4’te verilmiştir. Ancak, Şekil 4’te sunulan plan temsili olup, bazı patlatmalarda sismograf yerleri değişiklik göstermiştir. Patlatma noktalarına olan uzaklıklar detaylı olarak aşağıda verilecektir.



Şekil 4. Patlatma yapılan bölge, risk unsuru olarak belirlenen baraj gövdesi, sulama kanalı ve sismografların konumlarını gösteren uydu görüntüsü

Patlatma yapılan bölgenin sulama kanalına olan uzaklığı yaklaşık 375 metre, baraj gövdesine olan uzaklığı ise yaklaşık 1080 metredir. Ayrıca, sulama kanalı yüzeyden değil, yeryüzü seviyesinin yaklaşık 70 metre altından geçmektedir. Şekil 5'te sismografların sahada yerleştirilmesine ilişkin çekilmiş fotoğraflar sunulmaktadır.



Şekil 5. Sismografların yerleştirilmesi

Çizelge 1, Samsun ili Vezirköprü ilçesindeki taş ocağında gerçekleştirilen patlatmalara ait sismograf ölçümlerini içermektedir.

Çizelge 1. Kayıt altına alınan bazı patlatmalara ait titreşim verileri

Atım No	Sismograf	Mesafe (m)	Max. Parçacık Hızı PPV (mm/s)	Frekans f (Hz)	Gecikme Başına Toplam Şarj W (kg)	Toplam Patlayıcı Miktarı (kg)	Olay No
1	um6761	74	12,87	14,25	45	45	1
	12269	89	9,243	14,50	45	45	2
	13638	544	1,465	4,75	45	45	3
2	um6761	72	5,490	17,50	7	259	4
	12269	85	5,043	17,50	7	259	5
	13638	89	1,040	16,00	7	259	6
3	12269	101	11,50	47,25	8	304	7
	13638	465	1,024	21,25	8	304	8
4	12269	201	3,865	30,25	8	304	9
	13638	425	0,925	15,25	8	304	10
	12270	450	0,861	15,38	8	304	11
5	12269	195	6,397	34,25	8	304	12
	13638	392	1,150	20,25	8	304	13
	12270	434	1,055	12,00	8	304	14
6	12269	216	10,44	37,25	19	722	15
	13638	465	1,257	22,50	19	722	16
	12270	499	0,861	10,44	19	722	17
7	um6761	98	18,36	21,25	32,5	1202,5	18
	12269	490	1,314	18,13	32,5	1202,5	19
8	12269	90	18,43	23,38	30	765	20
	um6761	170	5,310	22,50	30	765	21
	14465	475	1,660	14,63	30	765	22
9	um6761	152	7,620	13,00	46	1702	23
	14465	560	1,420	10,88	46	1702	24
	12269	650	0,990	6,25	46	1702	25
	12270	830	1,170	7,31	46	1702	26

Çizelgede, farklı atımlara ait mesafe (SD), maksimum parçacık hızı (PPV), frekans (Hz), gecikme başına toplam şarj miktarı (kg) ve toplam patlayıcı miktarı (kg) gibi parametreler sunulmaktadır. Bu veri seti, PPV-SD modellemesi ve sismik kalite faktörü (Q) hesaplamaları için temel oluşturmakta olup, farklı mesafelerde ölçülen titreşim seviyelerini değerlendirmek amacıyla kullanılmıştır.

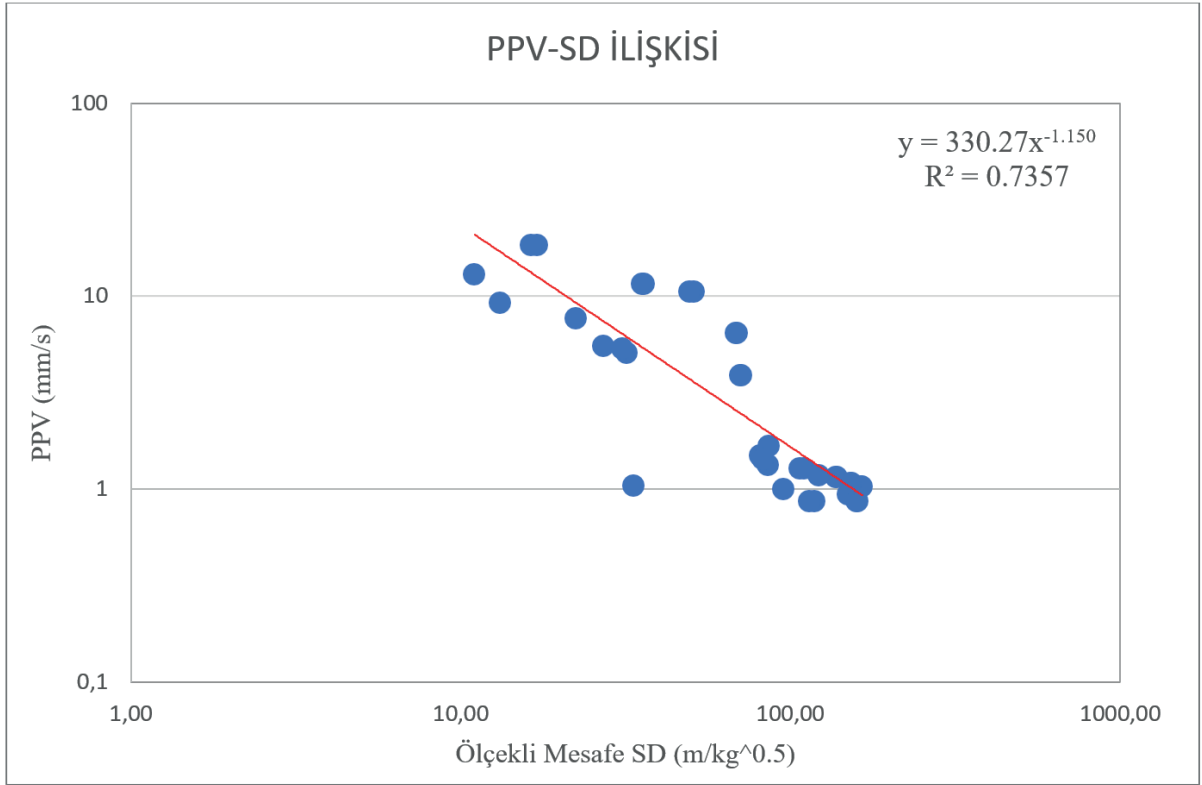
Çizelge 1’de sunulan verilerde, Atım 1 pilot patlatma olarak gerçekleştirilmiş olup, Atım 2-8 ise grup patlatmalarıdır. Pilot patlatma, sismik kalite faktörü (Q) hesabında kullanılmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu patlatma, sismik dalgaların yayılım özelliklerini belirlemek, kayaç ortamında enerji kaybını (sönümlenme) değerlendirmek ve sismik kalite faktörünü hesaplamak için gerekli olan dalga formu analizlerine veri sağlamak amacıyla uygulanmıştır.

Titreşim ölçer cihazların patlatma noktalarına olan uzaklıkları 72 m ile 830 m arasında değişmektedir. 830 m’den daha uzak mesafelere de cihaz yerleştirilmiş olmasına rağmen, bu noktalarda herhangi bir titreşim olayı kaydedilmemiştir. Bu durum, sismik dalgaların yaklaşık 800

m mesafeden sonra tamamen sönümlendiğini ve ölçülebilir seviyenin altına düştüğünü göstermektedir. Ölçülen maksimum parçacık hızı (PPV) değerleri 0,861 mm/s ile 18,43 mm/s arasında değişmektedir. Frekans değerler ise 4,75 Hz ile 47,25 Hz arasında değişmekte olup. Yüksek frekanslı titreşimler genellikle daha kısa mesafelerde tespit edilirken, daha uzak mesafelerde düşük frekanslı bileşenlerin daha baskın olduğu gözlemlenmiştir.

4.1 PPV-SD Analizi

Bu çalışmada, patlatmalardan kaynaklanan tepe parçacık hızı (PPV) ile ölçekli mesafe (SD) arasındaki ilişki deneysel veriler kullanılarak analiz edilmiştir. Elde edilen veriler log-log ölçeğinde değerlendirilmiş ve deneysel verilerden türetilen ampirik bağıntı oluşturulmuştur. Şekil 6'da PPV-SD ilişkisinin log-log ölçekli dağılımı ve regresyon modeli verilmektedir.



Şekil 6. PPV-SD ilişkisinin log-log ölçekli dağılımı ve regresyon modeli

Elde edilen ampirik model:

$$PPV = 330.27 \times SD^{-1.150} \quad (5)$$

şeklinde ifade edilmiştir.

Negatif üslü fonksiyon, mesafenin artmasıyla PPV değerlerinin azaldığını göstermektedir, bu da patlatmadan kaynaklanan sismik dalgaların uzak mesafelerde sönümlendiğini doğrulamaktadır. $R^2 = 0.7357$ değeri, modelin deneysel verileri açıklama gücünü göstermektedir. Bu değer, modelin kabul edilebilir düzeyde doğruluk sunduğunu ancak daha fazla parametreyle hassaslaştırılabileceğini ortaya koymaktadır.

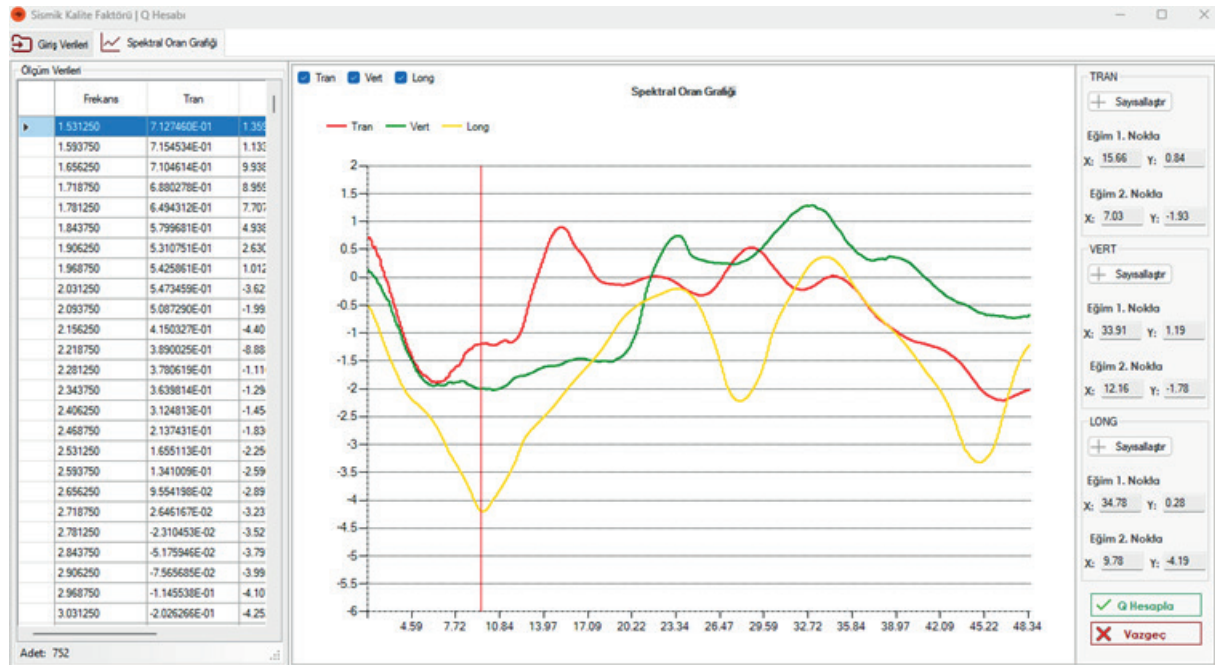
4.2 Sismik Kalite Faktörü (Q) Analizi

Pilot patlatmada, titreşim verileri yakın ve uzak mesafelerde bulunan sismograflar aracılığıyla kaydedilmiş ve bu veriler kullanılarak sismik dalgaların genlik azalımı ve frekans bağımlı zayıflama mekanizmaları analiz edilmiştir. Bu sayede, kayaç ortamında sismik enerji sönüm-

leme kapasitesini ifade eden Q faktörünün hesaplanması için gerekli olan ampirik bağıntılar ve spektral analiz yöntemleri uygulanmıştır.

Proje sahasında, patlatma kaynaklı sismik dalgaların yayılım ve sönümlenme mekanizmalarını anlamak amacıyla sismik kalite faktörü (Q) belirlenmiştir. Bu amaç doğrultusunda, pilot ve grup patlatmalarından elde edilen veriler kullanılmıştır. Çalışma kapsamında, sulama kanalı ve baraj güzergahlarında belirlenen sismograf noktaları, patlatma alanına göre aynı hat üzerinde belirli aralıklarla konumlandırılmış ve patlatma ile oluşan sismik dalgalar kaydedilmiştir.

Patlatmadan kaynaklanan sismik dalgaların genlik spektrumlarının oranının doğal logaritması alınarak, elde edilen spektral oran grafiği üzerine bir doğru parçası yerleştirilmiştir. Bu doğruyun eğimi kullanılarak Sismik Kalite Faktörü (Q) hesaplanmıştır. Böylece, patlatma sahasından sulama kanalı ve baraj güzergahlarına doğru Q faktörünün değişimi belirlenmiştir. Şekil 7, Q faktörünün belirlenmesine dair örnek bir görsel sunmaktadır.



Şekil 7. Seisblast Promax yazılımı kullanılarak elde edilen Uzan-Yakın istasyon spektral oran grafiği

Patlatmadan kaynaklanan sismik dalgaların genlik spektrumlarının oranının doğal logaritması alınarak, elde edilen spektral oran grafiği üzerine bir doğru parçası yerleştirilmiştir. Bu doğruyun eğimi kullanılarak Sismik Kalite Faktörü (Q) hesaplanmıştır. Böylece, patlatma sahasından sulama kanalı ve baraj güzergâhlarına doğru Q faktörünün değişimi belirlenmiştir. Şekil 7, Q faktörünün belirlenmesine dair örnek bir görsel sunmaktadır.

Sismik kalite faktörü yöntemi, saha verileriyle daha iyi uyum sağlasa da, kullanılan spektral oran analizinin doğruluğu ve güvenilirliği açısından ek değerlendirmeler gerekmektedir. Özellikle frekans bağımlılığı, sismik dalgaların yayılımını etkileyen kritik bir faktördür ve bu çalışmada düşük ve yüksek frekans bileşenleri ayrıştırılarak analiz edilmiştir. Ayrıca, yüzey ve cisim dalgalarının sönümlenme davranışları farklılık gösterdiğinden, spektral oran yöntemi kullanılarak her iki dalga türünün etkisi dikkate alınmış ve modelleme sürecine entegre edilmiştir.

Çizelge 2’de Samsun ili Vezirköprü ilçesinde gerçekleştirilen çalışma kapsamında hesaplanan sismik kalite faktörü (Q) değerlerini vermektedir.

Çizelge 2. Hesaplanan sismik kalite faktörü (Q) değerleri

	HATLAR	Q-BOYUNA BİLEŞEN	Q-DÜŞEY BİLEŞEN	Q-YANAL BİLEŞEN	Q-ORTALAMA
GRUP	micro-12269	1,69	1,44	2,26	1,80
	micro-13638	6,55	7,07	11,93	8,52
	12269-13638	7,37	7,72	8,47	7,85
PİLOT	micro-12269	1,76	0,99	1,28	1,34
	micro-13638	5,23	6,38	9,14	6,92
	12269-13638	6,45	7,26	7,99	7,23

Çizelge 2, farklı hatlar boyunca boyuna, düşey ve yanal bileşenler için hesaplanan Q değerlerini içermekte olup, her bileşen için elde edilen ortalama Q değerleri de sunulmuştur. Bu sonuçlar, pilot ve grup patlatmalardan elde edilen veriler kullanılarak, Seisblast Promax yazılımı yardımıyla spektral oran yöntemiyle hesaplanmıştır. Q değerleri, sismik dalgaların farklı yönlerdeki sönümlenme özelliklerini belirleyerek, bölgedeki kayaç ortamının sismik enerji absorpsiyon kapasitesini ortaya koymaktadır.

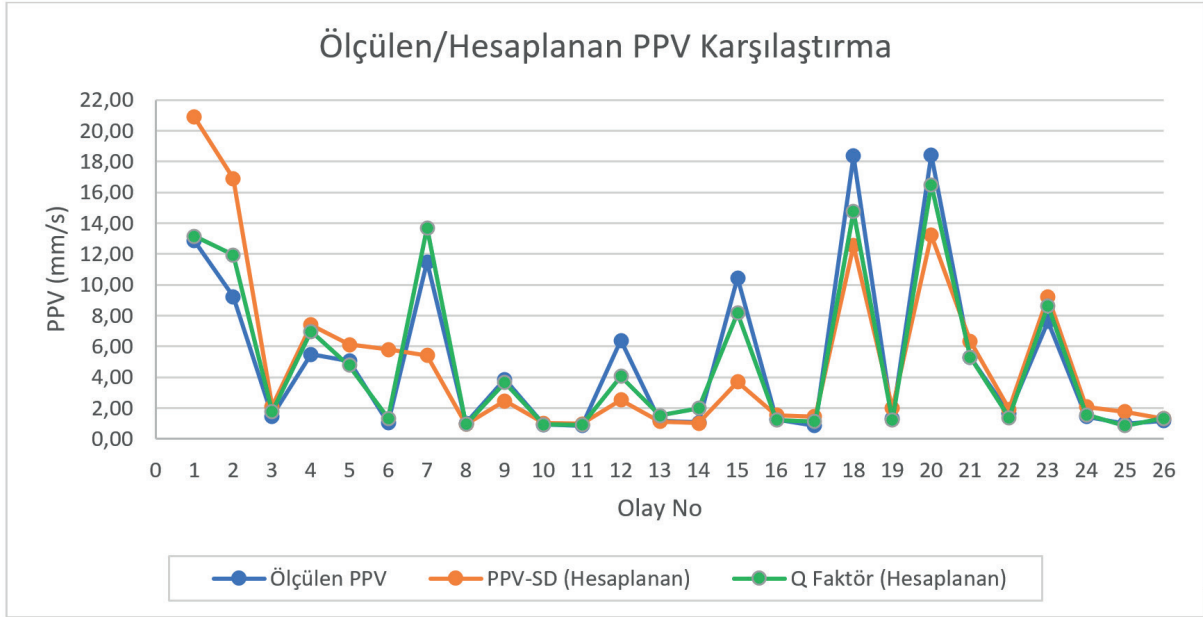
Ölçüm yapılan alanda, sismografların yerleştirildiği hatlara bağlı olarak baraj ve sulama kanalı yönleri olmak üzere iki farklı yönde ayrı ayrı Q faktör değeri belirlenmiştir. Böylece iki farklı yönde de ortamın soğurulma mekanizması incelenebilmiştir. Sulama kanalı yönündeki sismograflar incelendiğinde 3 bileşende Q değeri yaklaşık olarak 1,73 çıkmıştır. Baraj yönündeki sismograflar incelendiğinde 3 bileşende Q değeri yaklaşık olarak 6,40 çıkmıştır. Bu değerler, ölçüm yapılmayan durumlarda sismik dalgaların yaratacağı parçacık hızlarını tahmin etmekte kullanılmıştır.

Formül 4 yardımı ile patlatmalardan kaynaklı sismik dalgaların değişik mesafelerde yaratacağı parçacık hızları (PPV), bir başka deyişle titreşim hız değerleri hesaplanmıştır. Sismik kalite faktörü Q, yukarıdaki hesaplama göre sulama kanalı yönü için 1,73 baraj yönü için ise 6,40 alınmıştır. Formül 4’teki V, yüzey dalga hızı da, Seisblast Promax yazılımı (Aksoy ve Aksoy, 2023) kullanılarak, aynı hat üzerindeki iki sismograftan alınan sismik veri yardımı ile 1000-1500 m/s olarak belirlenmiştir.

4.3 Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bu bölümde, ölçülen PPV değerleri ile PPV-SD yöntemi ve sismik kalite faktörü (Q) yöntemi kullanılarak hesaplanan PPV değerleri karşılaştırılarak modelleme doğruluğu değerlendirilmiştir.

Şekil 8, farklı yöntemlerle hesaplanan PPV değerlerinin, saha ölçümleriyle kıyaslanmasını göstermektedir.



Şekil 8. PPV-SD ve Sismik Kalite Faktörü (Q) yaklaşımları ile hesaplanan PPV değerlerinin saha ölçümleriyle karşılaştırılması

Mavi çizgi (Ölçülen PPV): Sismograf cihazlarından elde edilen gerçek saha verilerini temsil etmektedir. Turuncu çizgi (PPV-SD Hesaplanan): Patlatma ölçekli mesafe (SD) bağıntısı kullanılarak hesaplanan PPV değerlerini göstermektedir. Yeşil çizgi (Q Faktörü Hesaplanan): Sismik kalite faktörü yöntemiyle hesaplanan PPV değerlerini göstermektedir.

5. Tartışma ve Sonuçlar

Bu çalışmada, Samsun ili Vezirköprü ilçesinde gerçekleştirilen patlatma çalışmalarında PPV-SD ilişkisi ve sismik kalite faktörü (Q) yöntemleri karşılaştırılarak patlatma kaynaklı titreşimlerin modellenmesi ve tahmini üzerine analizler yapılmıştır. Gerçek saha verileri, PPV-SD yöntemiyle hesaplanan değerler ve sismik kalite faktörü yöntemiyle elde edilen tahminler ile kıyaslanarak değerlendirilmiştir.

Ölçülen, PPV-SD yöntemiyle hesaplanan ve sismik kalite faktörü yöntemiyle hesaplanan PPV değerleri kıyaslandığında, sismik kalite faktörü yöntemi genel olarak saha verileriyle daha uyumlu tahminler sunmuştur. PPV-SD yöntemi, düşük ve orta ölçekli titreşimlerde belirli bir eğilim göstermiş olsa da, özellikle yüksek ve düşük PPV değerlerinde belirgin sapmalar gözlemlenmiştir. Bu farkın temel nedeni, PPV-SD yönteminin ampirik bağıntılara dayanarak geliştirilmesi ve saha koşullarına bağlı değişkenlikler karşısında hata payının artmasıdır. PPV-SD yöntemi, ölçekli mesafe (SD) parametresini temel alarak genelleştirilmiş bir zayıflatma modeli sunarken, sismik kalite faktörü yöntemi frekans bağımlı enerji sönümlenme mekanizmalarını içermesi nedeniyle saha verileriyle daha iyi uyum göstermektedir.

Elde edilen sonuçlar göstermektedir ki, sismik kalite faktörü yöntemi, saha koşullarına daha hassas bir yaklaşım sunarak, patlatma dalgalarının yayılımını daha iyi modellemektedir. Özellikle patlatma titreşimlerinin güvenli seviyelerde tutulması gereken mühendislik projelerinde, bu yöntemin daha güvenilir tahminler sunduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, PPV-SD yöntemi, geniş veri setleri ile desteklendiğinde belirli ölçüde kabul edilebilir tahminler üretebilmekte, ancak saha koşullarına adaptasyon sürecinde daha fazla veri gereksinimi doğurmaktadır.

Patlatma yapılan bölgede sulama kanalına ve baraj gövdesine olan uzaklık göz önünde bulundurulduğunda, tahmin modellerinin doğruluğu mühendislik açısından büyük önem taşımaktadır. Sismik kalite faktörü yöntemi ile hesaplanan PPV değerlerinin saha ölçümleriyle daha iyi örtüştüğü gözlemlenmiştir. Bu durum, patlatma titreşimlerinin kontrol edilmesi gereken alanlarda, özellikle baraj, sulama kanalı ve yerleşim alanlarına yakın madencilik faaliyetlerinde sismik kalite faktörü yönteminin daha güvenilir bir modelleme aracı olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak, farklı kayaç türleri ve zemin koşullarında bu yöntemlerin doğruluk seviyesinin değişebileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Kayaçların mineralojik bileşimi, yoğunluğu, çatlak durumu ve elastik özellikleri, patlatma kaynaklı sismik dalgaların yayılımını ve sönümlenmesini doğrudan etkileyen faktörlerdir.

Sonuç olarak, bu çalışma kapsamında yapılan analizler, patlatma kaynaklı titreşimlerin tahmin edilmesi sürecinde sismik kalite faktörünün saha ölçümleriyle daha iyi bir uyum sağladığını göstermektedir. PPV-SD yöntemi, saha verilerine dayalı olarak türetilen ampirik bağıntılarla kabul edilebilir sonuçlar üretse de, modelin doğruluk seviyesi artırılmak isteniyorsa saha koşullarına göre kalibre edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, patlatma titreşimlerinin çevresel etkilerini en aza indirmek ve yapısal güvenliği sağlamak adına mühendislik projelerinde frekans bağımlı enerji sönümlenme mekanizmalarını içeren modellerin kullanılması önerilmektedir.

Kaynaklar

Aksoy, G. G. U., & Aksoy, C. O. (2020). Patlatma kaynaklı titreşimlerin tahmininde sismik kalite faktörü kullanımı. *Yer Altı Kaynakları Dergisi*, 8(18), 133-145.

Ambraseys, N. R., & Hendron, A. J. (1968). Dynamic behaviour of rock masses. In *Rock Mechanics in Engineering Practice* (pp. 203-207). John Wiley & Sons.

Atkinson, B. K. (1993). *Introduction to the mechanics of rocks*. Chapman & Hall.

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

Erturaç, M. K., & Tüysüz, O. (2011). Amasya ve çevresinin depremselliği ve deterministik deprem tehlike analizi. *İTÜ Dergisi/d*, 9(3).

Field, E. H., & Jacob, K. H. (1993). The theoretical response of sedimentary layers to ambient seismic noise. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 83(2), 363-380.

Ghosh, A., & Daemen, J. J. K. (1983). A simple new blast vibration predictor. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 20(2), 101-107.

Gök, R. (2011). Seismic wave attenuation in the Anatolian region using earthquake recordings. *Geophysical Journal International*, 187(1), 557-568.

Kahrıman, A. (2004). Analysis of parameters of ground vibrations produced from bench blasting at a limestone quarry. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 24(11), 887-892.

Kahrıman, A., Ozer, U., Aksoy, M., Karadogan, A., & Tuncer, G. (2006). Environmental impacts of bench blasting at Hisarcik Boron open pit mine in Turkey. *Environmental Geology*, 50(7), 1015-1023.

Kılıçoğlu, C. (2020). Frekans oranı metodu ve Bayesyen olasılık modeli kullanılarak Samsun ili Vezirköprü ilçesinin heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi. *AKÜ Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(1), 138-154.

Kumar, R., Choudhury, D., & Bhargava, K. (2016). Determination of blast-induced ground vibration equations for rocks using mechanical and geological properties. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 8(3), 341-349. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2015.10.009>

Langefors, U., & Kihlström, B. (1963). *The Modern Technique of Rock Blasting*. John Wiley & Sons.

Maden Tetkik ve Arama (MTA). (2013). 1/1.250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası. MTA Özel Yayın Serisi-30.

Resmî Gazete. ÇGKY. (2022). Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığından: Çevresel Gürültü Kontrol Yönetmeliđi (Sayı: 32029). <https://www.resmigazete.gov.tr/>

Roy, P. P. (1993). Putting ground vibration predictions into practice. *Mining Engineering*, 45(2), 135-138.

Singh, T. N., & Roy, R. (2004). Prediction of blast-induced ground vibration using artificial neural network. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 41(5), 787-792. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2004.03.004>

Siskind, D. E., Stagg, M. S., Kopp, J. W., & Dowding, C. H. (1980). Structure response and damage produced by ground vibration from surface mine blasting. *United States Bureau of Mines Report of Investigations*, 8507.

Uguz, F. M., & Sevin, M. (2009). 1/100.000 ölçekli Sinop-F34 paftası jeoloji haritası. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi*, No: 116.

Uyar, G. G., & Ecevitoglu, B. (2008). Waveform analysis in mitigation of blast-induced vibrations. *Journal of Applied Geophysics*, 66(1), 25-30. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2008.08.004>

Yalcinkaya, E., & Alptekin, O. (2005). Site effect and its relationship to the intensity and damage observed in the June 27, 1998 Adana-Ceyhan Earthquake. *Pure and Applied Geophysics*, 162(5), 913-930.