

Şehir İçi Tünel İnşaatlarındaki Kazılarda Patlatma Tasarımı ve Titreşim Modellemesi

Kerim KÜÇÜK*¹, C.Okay AKSOY¹

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Müh. Bölümü, 35390, İzmir

(Alınış / Received: 13.07.2017, Kabul / Accepted: 16.08.2017,
Online Yayınlanma / Published Online: 20.09.2017)

Anahtar Kelimeler

Tünel Kazısı,
Patlatma Tasarımı,
Titreşim,
Modelleme,

Özet: Günümüzde şehir içi ulaşımı rahatlatmaya yönelik yapılan tünel inşaatlarındaki kazı yöntemleri, tünelin uzunluğu, tünel güzergâhının geçtiği jeolojik birimler...vb. parametrelere göre belirlenmektedir. Çift tüp olarak yaklaşık 1645 m uzunlukta açılan Konak Tünellerinde Yeni Avusturya Tünel Açma (NATM) yöntemi uygulanmış olup, tünel güzergâhı Yeşildere caddesi girişinden itibaren başlayıp, 2. Kadriye mahallesi, 1. Kadriye mahallesini takiben Namık Kemal mahallesinden sonra Eğitim Diş Hastanesi ile Etnoğrafya Müzesi arasında son bulmaktadır. Bu çalışmada, İzmir Konak tünelleri inşaatında, patlatmalı kazı sırasında arzu edilen teknik sonuçların ekonomik ve emniyetli limitlerde kalması, patlatmadan kaynaklanan titreşim ve hava şoku gibi çevresel problemlerin en aza indirilmesine izin veren bir yaklaşımla patlatma ön tasarımı yapılmıştır.

Blasting Design and Vibration Modelling in Urban Tunnel Excavations

Keywords

Tunnel Excavation,
Blasting Design,
Vibration,
Modelling,

Abstract: Today, tunnels constructions designed to relieve inner city transportation and tunnel excavation methods determined by the length of the tunnel, the geological units through the tunnel route, etc.

The New Austrian Tunneling (NATM) method has been applied in Konak Tunnels, which is opened as a double tube in a length of approximately 1645 m. The tunnel route starts from the entrance of Yeşildere Caddesi and after the 2nd Kadriye neighborhood, 1st Kadriye district, Namık Kemal district and then between Education Dental Hospital and Etnography Museum End.

In this study, preliminary Blasting design was carried out in İzmir Konak tunnels with an approach that allowed the technical results to remain at economical and safe limits during the explosive excavation, minimizing environmental problems such as vibration and air pollution caused by detonation.

*Sorumlu Yazar: kerim.kucuk@deu.edu.tr

1. GİRİŞ

Günümüzde yol, baraj, tünel, madencilik, inşaat, alt yapı vb. gibi kazı gerektiren mühendislik projelerinde sıklıkla uygulanan patlatma; kaya kütesini patlayıcı yardımı ile kontrollü bir şekilde parçalama işlemidir. Patlatmalı kazı hızlı ve ekonomik bir yöntem olmasına rağmen, yerleşim yerlerinin yakınlığında yapılan kontrolsüz patlatmalar bazen çevresel problemlere (hava şoku, gürültü, titreşim, kaya fırlaması, psikolojik rahatsızlıklar...vb.) neden olabilmektedir.

Patlatma kaynaklı sarsıntuların çevre yerleşim yerlerine olan etkilerinin belirlenmesi ve minimize edilmesinde alışlagelmiş yöntem, sismografla en yüksek parçacık hızlarının belirlenmesi, patlatma ile ölçüm alınan yer arasındaki güzergah için arazi katsayılarının saptanması, sarsıntının yayılma kuralını belirleyen ampirik formülün bulunması ve bu formül kullanılarak yapılan patlatmalar için mesafeye bağlı olarak bir seferde güvenle ateşlenebilecek en yüksek patlayıcı madde miktarlarının saptanmasıdır [1-14]

Ekonomik ve emniyetli bir patlatma tasarımı ile patlatma kaynaklı çevresel problemlerini minimuma indirmek mümkündür. Optimum bir patlatma tasarımının temel şartı kaya, patlayıcı, delik geometrisi ve patlatma sonucundan beklentilerin toplu halde tasarıma dahil edilmesidir. Günümüzde patlatma kaynaklı sorunların çevre yerleşim yerlerine olan etkilerinin belirlenmesi ve minimize edilmesinde uygulanan en yaygın yöntem, sismografla en yüksek parçacık hızlarının ölçülmesi, patlatma ile ölçüm alınan yer arasındaki güzergah için arazi katsayılarının belirlenmesi, sarsıntının yayılma kuralını belirleyen ampirik formülün bulunması ve bu formül kullanılarak belirli bir parçacık hızı değeri için mesafeye bağlı olarak herhangi bir gecikme aralığında

kullanılabilecek en fazla patlayıcı madde miktarını önceden belirlemek ve kontrollü patlatmalar gerçekleştirmektir. [1-15]

Elde edilen ampirik formül sayesinde patlatmaların tamamının izlenmesine (titreşim ve gürültü ölçümü alınması vb.) gerek kalmayabilir. Ancak üretilen ampirik formüller bir yaklaşım sağlamakla birlikte, belirli bir mesafe ve patlayıcı madde kullanımı için arazide ne kadar titreşim oluşacağına yönelik her zaman %100 doğruluk sağlamaz. Ayrıca bu ampirik formüllerin büyük çoğunluğu arazinin jeolojik yapısına bağlı olarak değişen frekansı göz önüne almamaktadır. Bu nedenle özellikle hassas yerlerde (yapı birimlerine çok yakın yerler, heyelan riski bulunan yerler vb.) yapılan kazı çalışmalarda patlatma kaynaklı çevresel sorunları minimize etmenin/azaltmanın en doğru yolu, patlatma tasarımı ve çevresel etkileri konusunda uzman kişilerce patlatmaların tamamının izlenmesi ve gerektiğinde patlatma tasarımında değişiklikler yapılarak kazı çalışmalarının emniyetli ve ekonomik bir şekilde tamamlanmasına katkı sağlanmasıdır.

Bu çalışmanın amacı, İzmir Konak tünelleri inşaatında, patlatmalı kazı sırasında istenilen teknik sonuçların ekonomik ve emniyetli limitlerde kalması, patlatmadan kaynaklanan titreşim ve hava şoku gibi çevresel problemlerin en aza indirilmesine izin veren bir yaklaşımla patlatma ön tasarımı yapılmasıdır.

2. TÜNEL PATLATMALARI VE HASAR KRİTERLERİ

Tünel patlatmaları, basamak patlatmalarına kıyasla daha karmaşık bir işlemdir. Başlangıçtaki kırılmayı karşılayabilecek tek serbest yüzey tünel yüzeyidir. Tünel patlatmalarında alanın sınırlı ve dar olması nedeniyle, delik çapları küçülmekte ve basamak

patlatmasına kıyasla oldukça yüksek spesifik yük oluşmaktadır.

Teknolojik gelişmelere ve nüfus artışına paralel olarak trafik ve ulaşım sorununu çözmek vb. amaçlarla özellikle büyük şehirlerde tünel yapımı giderek artmaktadır. Patlatmalı kazı yönteminin uygulandığı tünel kazılarında özellikle yerleşim birimlerine yakın mesafelerde bazı çevresel problemlerle (titreşim ve gürültü kaynaklı şikayetler, yapısal hasar oluşumu vb) karşılaşmaktadır. Ekonomik ve emniyetli bir patlatma, aynı zamanda bu tür sorunları en aza indiren bir patlatmadır. Bu durum, ancak doğru bir patlatma tasarımı ve çevresel etkilerinin izlenmesi ile gerçekleştirilebilir.

Patlatma kaynaklı titreşimlerin yüzey yapılarına etkisi bir çok araştırmacı tarafından araştırılmıştır [24, 25, 26, 27, 28, 29, 31]. Tünel patlatmalarında, aşırı açılmaların, tünel çevresinde kırılma ve çatlama önlenmesi, tünel kazı arınına yakın olarak yerleştirilen saplama ve püskürtme betonun patlatma sonucu oluşan titreşimlerden zarar görmemesi için her bir kaya sınıfında farklı patlatma paterni ve delik şarjları kullanılmaktadır [32]

Yeraltı tünel patlatmalarında aşırı açılmayı önlemek için;

1. Çevre deliklerinde delik aralıklarının azaltılması,
 2. Çevre deliklerinde şarj miktarlarının azaltılması
 3. İnfilaklı fitilin (80 gr/m'lik) doğrudan uygulanması,
 4. Çevre deliklerinin daha küçük çaptaki kapsüle duyarlı patlayıcılarla şarj edilmesi,
 5. Çevre deliklerinin bir dolu bir boş şarj edilmesi,
- gibi bazı özel uygulamalar bulunmaktadır.

2.1. Patlayıcı Seçimi

Tünel patlatmalarında Tünel patlatmalarında son 15 yıldır, emülsiyon patlayıcılar, nitrogliserin esaslı patlayıcıların yerini almıştır. Ayrıca son zamanlarda harç tipi, ve emülsiyon tipi patlayıcıların da kullanılmaya başlandığı görülmektedir.

Tünel patlatmalarında delikler, özellikle kesme bölgesinde birbirine çok yakın delinmektedir. Gerekli önlemler alınmadığı takdirde;

- Birbirine yakın deliklerde bir önceki sırada patlayan delik, bir sonraki sırada patlatması gereken deliği, sirayet patlaması yolu ile ateşleyebilmektedir. Bu da roundun gecikme paterni bozulduğu için kötü sonuç alınmasına yol açmaktadır.
- Birbirine yakın deliklerde bir önceki sırada patlayan delik, bir sonraki sırada patlatması gereken delikteki patlayıcı maddeyi (özellikle toz patlayıcı ise) sıkıştırarak yoğunluğunun artmasına, patlamaya duyarlılığının azalmasına yol açmakta dolayısı ile bazı delikler patlamamakta ve yine patern bozulmaktadır.
- Kesme bölgesinde deliklerin çok yakın olması ve milisaniye aralıklar kullanılması nedeni ile, gereğinden kuvvetli veya yüksek konsantrasyonda patlayıcı madde kullanılır ise, kesme bölgesindeki kaya yapısında kilitlenme meydana gelmektedir.

Tüm bu olayların önüne geçebilmek için, öncelikle gereğinden kuvvetli patlayıcı madde kullanılmaması gerekmektedir.

2.2. Delik Boyu ve Delik Çapı

Pratikte bir tünelde, kesit genişliğinin 2/3 ünden fazla ilerleme hedeflenmemesi gerekmektedir. Çevreye verilen sarsıntı açısından bir sınırlandırma söz konusu ise, yine patlayıcı maddeyi azaltmak amacı ile,

ilerleme miktarı kısa tutulmalıdır. Bazı zayıf kaya yapılarında, kayacın taşıma kapasitesi düşük olabilmekte ve ilerleme boyunun buna göre saptanması hayati önem taşımaktadır.

Tünel kesiti bilindikten, özgül şarj saptandıktan sonra geriye kalan iş, patlayıcı maddenin aynada geometrik olarak dağıtılmasıdır. Bunu belirleyen parametre delik çapıdır. Küçülen delik çapı ile maliyet düşmekte, büyüyen delik çapı ile maliyet artmaktadır.

Büyük tünel projelerinde delik çapının saptanmasında bazı parametreler rol oynar. Piyasada mevcut dinamit kartuş çapı gözetilmelidir. Tapalar ile kartuşları delik içinde sıkılama işlemi hem önerilen bir yol değildir, hem de işçilik bakımından kayıplara neden olabilen bir şekildir. Yine ülkemizde görülen bir handikap da kartuşların kağıdıdır. Batı ülkelerinde, ufak dinamit kartuşların, büyük çaplı deliklere istenen yoğunlukta doldurabilmek için şarj cihazları kullanılmaktadır. Bu cihazların delik içine giren nozulun uç kısmında bıçaklar vardır. Buradan hızla geçen kartuşun kağıda kesilir ve delik dibine vurduğunda şişerek deliği tamamına yakın doldurur. Ama yerli üretim üzerindeki kağıt buna olanak vermemiştir. Yüksek tempolu projelerde en gerçekçi çözüm, mevcut kartuş çapına göre delik çapı seçilmesidir [33].

Tünel kesitinin büyük olmasına karşın, çevreye verilen sarsıntının sınırlandırılması, tünel duvarına minimum zarar verilmesi gerektiğinde, şarj yoğunluğunun, dolayısı ile delik çapının küçük tutulması gerekmektedir.

2.3. Titreşim Ölçütleri

Patlatma ile çevreye verilen olumsuzlukların en önemlisi yer titreşimleridir. Yer titreşimleri depreme benzer etkiler yapmaktadır. Dolayısı ile oluşan yapı hasarları benzerlik göstermektedirler. Patlatma ile oluşan

titreşimler, taşıdıkları enerji düzeyinde hasara neden olmaktadır.

Titreşimlerin enerji düzeyleri; parçacık yer değiştirmesi (mm), parçacık hızı (mm/s), parçacık ivmesi (mm/s^2) ve dalga frekansı (Hz) parametreleri ile ölçülmeye çalışılmaktadır. Patlatmalardan kaynaklanan yer titreşimleri kısa süreli (gelip-geçici) ve düzensiz yer hareketleridir. Zemindeki bir parçacığın hareket hızına parçacık hızı (titreşim hızı) denir. Parçacık hızı sıfırdan başlar, en yüksek değerine ulaşır ve giderek sönümlenir. Şu halde yer titreşimi incelemelerinde en önemli özelliklerden biri en yüksek parçacık hızıdır. Çünkü en yüksek hız değeri ne kadar büyük ise yapı ya da zemin de o denli yüksek şiddette sarsılır. Frekans (f) ise, zemindeki bir parçacığın 1 saniyede kaç kez (devir/saniye) titreştiğini gösterir. Frekans, Hertz (Hz) birimi ile ifade edilir. Yer titreşiminin frekansı da en az parçacık hızı kadar önemlidir.

Yer titreşimlerinin frekans özellikleri başlıca iki unsurdan etkilenirler. Bunlar jeoloji ve gecikmeli ateşlemelerde gecikme aralığıdır [4]. Sürekli şikayetlerin çoğunda, parçacık hızı Amerikan standartlarına göre hasar verme eşik değeri olan 12.5 mm/s [2] değerinin çok altında olduğu ve hiçbir hasarın meydana gelmediği durumlarda dahi ciddi titreşim hissedildiği yönündeki his ve endişeler tamamen düşük frekans özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Çünkü düşük frekanslı dalgaları insanlar kolayca hissedebilirler. Frekans yüksek olduğunda ise, insanların bunları algılaması çok zordur ve bu nedenle fazla endişeye kapılmazlar. Ayrıca 10 Hz değerinin altındaki frekanslar zeminde büyük yer değişimleri ve yüksek düzeyli birim deformasyonlar yarattığı için hasar olasılığını da artırır.

Binalara verilen hasarda, sarsıntıların taşıdığı enerji düzeyinin yanı sıra binaların yapı tekniği, boyutları ve

üzerine oturdukları zemin özellikleri de etkin olmaktadır [2] Bu nedenlerle sarsıntıya bağlı hasar etütlerinde çok kapsamlı çalışmak gerekmektedir.

2.4. Hasar sınıflandırması

2.4.1. A.B.D. Madencilik Dairesi Sınıflandırması

A.B.D. Madencilik Dairesi'nin geliştirdiği sınıflamada "Eşik Hasar", "Hafif Hasar" ve "Esaslı Hasar" olmak üzere üç hasar sınıfı tanımlanır [2]. Boya ve sıvada kılcal çatlakların olduğu "eşik hasar" sadece görünüm bozucu niteliktedir. Sıva düşmesi, çatlakların 3 mm' ye kadar genişlemesi şeklinde görülen "hafif hasar" göreceli olarak daha fazla rahatsız edici olmasına rağmen yapıların dayanımını ve yapı elemanlarının yük taşıma kabiliyetlerini etkilemez. Duvarlarda geniş çatlaklar, duvar ve bacalardan taş, tuğla düşmesi sonucu yapıda kalıcı deformasyonlar oluşturan ve yapıyı zayıflatan tek hasar türü ise "esaslı hasar" sınıfıdır. Çizelge 1'de yapılarda hasar yaratmayacak emniyetli sarsıntı düzeyleri yapı türlerine göre verilmiştir [34].

Çizelge 1. Emniyetli yer sarsıntısı düzeyleri ([34])

Yapı Türü	Yer sarsıntısı en yüksek parçacık hızı (mm/s)	
	Düşük frekans (<40 Hz)	Yüksek frekans (>40 Hz)
Modern Evler	19.0	50.8
Eski Yapılar (Ahşap Elemanlı)	12.7	50.8

Çizelge 1'de verilen sınır değerler A.B.D.'deki yerinde ölçüm ve gözlemlerde eşik hasar olduğu gözlenen düzeylerden daha düşük seçilmiştir. Bu değerler yüzeysel çatlak oluşum olasılığının en fazla %5 olabileceğini kabul eder. Diğer bir deyişle yüzeysel çatlak oluşmamasını %95 oranında garanti eder.

2.4.2. Türk Hasar Sınıflandırma Kriterleri

Batılı ülkelerde, hasar oluşmaması için zeminde izin verilen titreşim hızı sınır değerleri, ilgili ülke tüzüklerinde verilmektedir. Ülkemizde ise bu konuda Avrupa Birliği tarafından yayınlanmış bulunan, 25/6/2002 tarih, 2002/49/EC sayılı Çevresel Gürültünün Yönetimi ve Değerlendirilmesi Direktifine paralel olarak hazırlanmış olan bir yönetmelik, 01 Temmuz 2005 tarihinde 25862 sayılı Resmi Gazetede yayınlanarak yürürlüğe konulmuş bulunmaktadır.

Türk yönetmeliği "Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği (ÇGDYY) başlığını taşımakta olup, ülkemizde ilk kez titreşim konusunda bir düzenleme içermektedir.

ÇGDYY Madde 29'da çevresel titreşim esas ve kriterleri belirtilmiş olup, söz konusu Madde 29 aşağıda aynen verilmiştir:

"Yerleşim alanlarında çevresel kaynaklar için titreşim kriterleri

Madde 29- Çeşitli titreşim kaynaklarının neden olacağı çevresel titreşimin kontrol altına alınmasına ilişkin esaslar aşağıda belirtilmiştir:

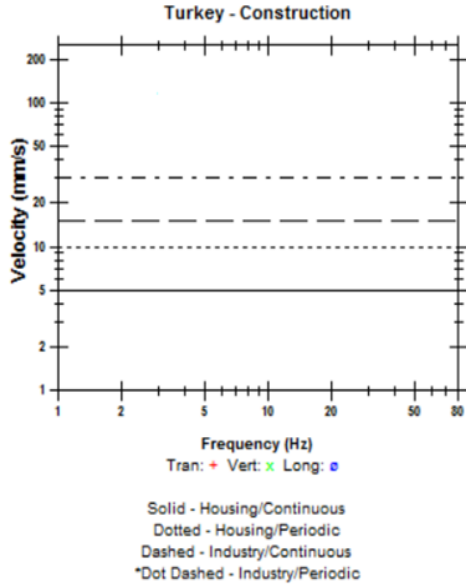
a) Maden ve taş ocakları ile benzer faaliyette bulunan alanlardaki patlatmaların çevredeki yapılara zarar vermemesi için, en yakındaki yapının dışında, zeminde ölçülecek titreşim düzeyi Tablo-9 da verilen değeri geçemez (Çizelge 6). Ölçümler üç yönde yapılır ve bunlardan en yüksek olanı alınır. Titreşimler 1/3 oktav bantlarında tepe değeri olarak ölçülür.

Çizelge 2. ÇGDYY Madde 29'da Tablo-9: Maden ve Taş Ocakları ile Benzeri Alanlarda Patlama Nedeniyle Oluşacak Titreşimlerin En Yakın Yapının Dışında Yaratacağı Zemin Titreşimlerinin İzin Verilen En Yüksek Değerleri [35]

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

(1 Hz - 4 Hz arasında 5mm/s'den 19mm/s'ye; 10Hz - 30Hz arasında 19mm/s'den 50mm/s'ye logaritmik çizilen grafikte doğrusal olarak yükselmektedir)

Türk hasar sınıflandırma kriterlerinden, İnşaat Sektörüne uygun olan grafik Şekil 1'de gösterilmektedir.



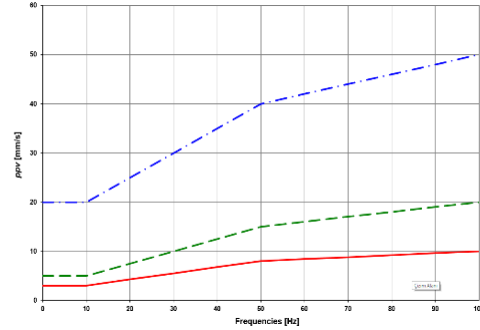
Şekil 1. Türk Hasar sınıflandırma grafiği (İnşaat sektörüne özel)

Şekil 1'den görüleceği üzere, sürekli siyah çizgi mesken yapıları etkileyebilecek sürekli titreşimler söz konusu olduğunda dikkate alınması gereken limit çizgidir. Hemen üzerindeki noktali çizgi, mesken yapılar periyodik olarak titreşime maruz kaldığında dikkate alınacaktır. Kesikli ve noktali kesikli çizgiler ise sırasıyla endüstriyel yapılara verilecek sürekli ve periyodik

titreşimler söz konusu olduğunda dikkate alınacaktır.

2.4.3. Alman DIN4150 Normu

Hasar sınıflandırma kriterleri arasında Alman DIN4150 [36] normu en hassas olanıdır. Alman DIN normu, patlatma kaynaklı titreşimlerin, yapılara hasar vermemesi için izin verilen limit değerlerini, parçacık hızı-frekansa göre 3 farklı renkte oluşturduğu eğrilerin altında kalacak şekilde göstermektedir. Kırmızı çizgi, tarihi eserler sınıfındaki yapılar için izin verilebilecek genliklerin altında kalması gereken eğriyi; yeşil, betonarme yapılar için, mavi ise çok sağlam endüstriyel ve sanayi yapılar için izin verilebilecek genliklerin altında kalması gereken eğriyi göstermektedir. Şekil 2'den de görüleceği üzere, frekans arttıkça izin verilen genlik değerleri yükselmektedir. Çizelge 3, Alman DIN 4150 normuna göre, yapı tiplerine ve frekansa göre izin verilen parçacık hızlarını göstermektedir.



Şekil 2. Alman DIN4150 Hasar Kriteri

Çizelge 3. Alman DIN 4150 normuna göre, yapı tiplerine ve frekansa göre izin verilen parçacık hızları

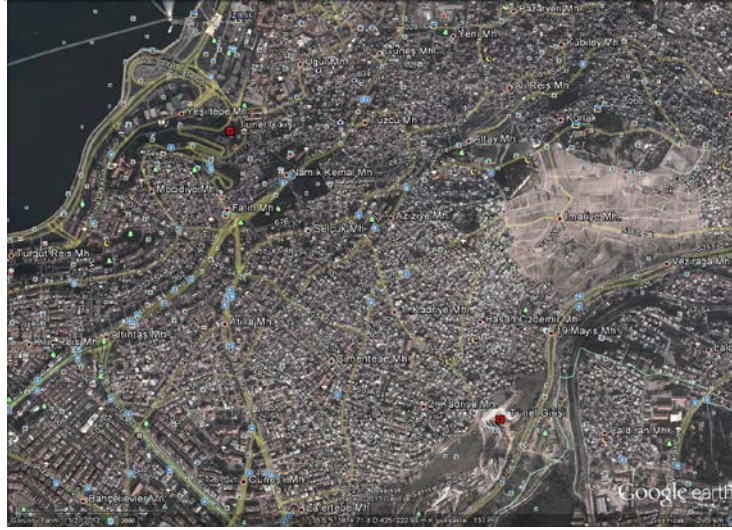
Sınıf	Yapı Tipi	Titreşim hızları (ppv) referans değerleri			
		Yapılara gelen titreşimlerin frekans değerleri			
		1-10 Hz	10-50 Hz	50-100 Hz*	Tüm frekanslar
1	Ticari ve endüstriyel, sanayi yapıları	20	20-40	40-50	40
2	Yerleşim yerlerindeki oturan binalar	5	5-15	15-20	15
3	Tarihi eser gibi özel koruma altına alınması gereken hassas yapılar	3	3-8	8-10	8

* 100 Hz'den yüksek frekanslar, 100 Hz için izin verilen en düşük değere adapte edilebilir.

3. ÇALIŞMA SAHASI

Çalışma sahası, İzmir ilinde, Yeşildere caddesinden başlayarak Konak Bahribaba Parkına kadar çift tüp olarak planlanan, Yeşildere caddesi girişinden itibaren Eğitim Diş Hastanesi ile Etnoğrafya Müzesi arasında son bulan Konak Tünelleridir. Yaklaşık 3290 m uzunluğundaki tünel, çift tüp olarak tasarlanmıştır. Tünel girişi taban kotu 4.0

metre tünel çıkışı taban kotu ise 48,0 metre olup tünel eğimi yaklaşık % 2.7'dir. Tünel tabanının geçki eksenine boyunca en derin yeri KM 1+600'da yüzeyden yaklaşık 110 m'dir. Tünel geçkisi boyunca yüzeyde çok yoğun yerleşim alanları bulunmaktadır. Tünel giriş ve çıkışlarının lokasyonları Şekil 3'de verilmektedir.



Şekil 3. Tünel giriş ve çıkış lokasyonlarını gösteren google earth görüntüsü

3.1. Genel Jeoloji

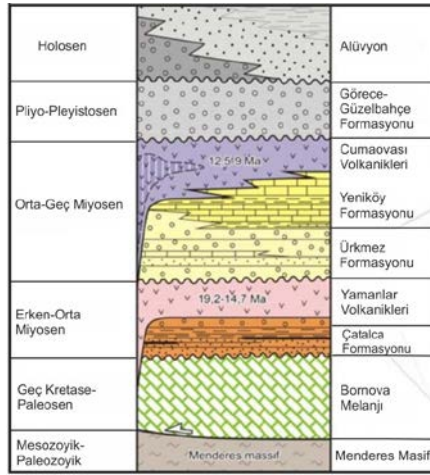
Çalışma alanı ve çevresi genel anlamda Anadolu-Toros Bloğunun bir parçası olarak yorumlanan ve Menderes Masifi'nin kuzeybatısında bulunan Bornova Fliş Zonu içinde yer almaktadır [16, 17, 18]. Bornova Fliş Zonu, Paleozoyik ve Erken Tersiyer zaman aralığında Gondwana ve Avrasya (Laurasia) arasında yer alan Tetis Okyanusu'nun (Tethys Ocean) kenetlenme zonu (İzmir-Ankara-Erzincan Kenetlenme Zonu) ile Menderes Masifi arasında bulunmaktadır.

Çalışma alanını İzmir-Ankara-Erzincan boyunca geçmişte etkin olan tektonik hareketlerin ve dalma-batma zonlarının ürünleri olan kayaçlar oluşturmaktadır. Çalışma alanı, Bornova Fliş Zonu

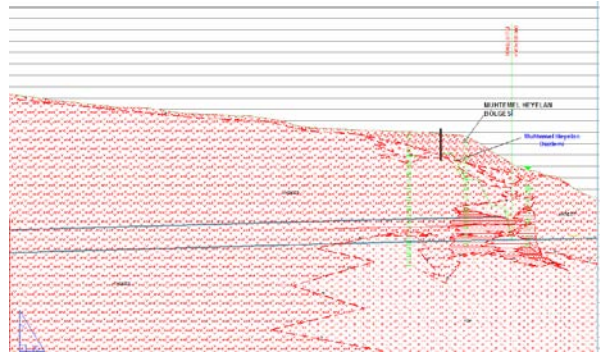
üzerinde yer alan Neojen yaşlı tortul kayaçlar ve volkanikler içindedir. Melanjın matriksinden daha yaşlı kireçtaşı mega-olistolitleri Bornova Melanjı'nın matriksi içinde gelişigüzel bir düzen içinde bulunurlar. Bahsedilen kireçtaşları, Altındağ ve yöresinde ışıklar kireçtaşı olarak bilinir [19]. Karmaşığın içerisindeki çakıltaşları kahverengimsi siyah renkli, orta-kalın katmanlı, kumtaşı ve kireçtaşı çakıllarından oluşan, ara madde veya tane destekli bir dokuya sahip olup, orta dayanımlıdır. Bornova Karmaşığı çökeliminin hemen sonrasında gelişen tektonizmanın etkisiyle şiddetli deforme olmuş ve ilksel yapısını kaybetmiştir [20]. Neojen yaşlı gösel tortullar Bornova Melanjı'nın üzerine aşıl uyumsuz olarak gelir (Şekil 4). Yamanlar

volkanitleri de mevcut birimleri uyumsuz olarak örter. Kuvaterner yaşlı alüvyon alanda mevcut tüm birimleri uyumsuz olarak üstler [21]. Tünel geçkisi ve yakın yöresinde Miyosen yaşlı volkanik kayalar ile bunlarla eş yaşlı çökelen tortu) kayalar bulunmaktadır. Volkanik kayalar genellikle tuf, aglomera ve andezitler ile simgelenirken değişken ayrışma dereceleri ile yüzleler sunmaktadırlar. Tortul kayalar ise genellikle taşlaşma (lithification) sürecinin başında olan, kıltaşı, kumtaşı, çakıltaşı ve silttaşı ile simgelenirler. Yapılan saha çalışmaları sonucunda, tünelin Yeşildere caddesi girişinden itibaren yaklaşık 55 m boyunca çamurtaşı, kumtaşı, çakıltaşı ardalanması şeklinde devam eden tünel jeolojisi, bu

metrelerden sonra 80. metrelerde tavanda andezit, taban kısmında tuf birimiyle devam etmekte olup, 150. metrelerden itibaren tamamen andezit içerisinde devam etmekte olduğu görülmüştür. Tünel, Yeşildere caddesi girişinin 150. metresinden itibaren yaklaşık 1250. metreye kadar tamamen andezit birimi içerisinde devam etmekte, 1250. metreden sonra çakıltaşı, kıltaşı, silttaşı, kumtaşı ardalanması ile devam etmektedir. Şekil 5’de verilen jeolojik kesitte Yeşildere Caddesi portal girişinin üst kısmında görülen “Yapay Dolgu” Muhtemel Riskli Heyelan Bölgesi, Yapay Dolgu ile Andezit biriminin kesişme yüzeyi ise “Riskli Heyelan Düzlemi” olarak belirlenmiştir [23].



Şekil 4. İzmir körfezi için genelleştirilmiş dikme kesit [22]



Şekil 5. Yeşildere Caddesi girişinden itibaren gözlenen jeolojik birimler

3.2. Jeoteknik Çalışmalar

3.2.1. Q Sınıflama Sistemi

Tünel giriş portalı ve yakın çevresinde açılan sondajlara göre tünel kotunda Alt Tortul Seri'nin çoğunlukla kumtaşı ve kıltaşı birimi kesilmektedir. Tünel üzerindeki örtü kalınlığının 100 metreler civarında olduğu bölgelerden tünel çıkışına kadar olan aralıkta andezitik kütlelerin tünel kotunda kesileceği belirlenmiştir. Tünel çıkış portalı ise çoğunlukla tuf, andezit ve bu birimlerle geçişli olan Üst Tortul Seri'nin kumtaşı, kıltaşı ve çakıltaşı birimlerinden oluşmaktadır [23].

Laboratuvar deney sonuçları, tünel kaya sınıflaması ve tünel destek tasarımı çalışmalarının sonuçları genelleştirilmiş biçimi ile Çizelge 4'de verilmektedir.

3.2.2. RMR Kaya Sınıflaması

Bilindiği üzere tünel tasarımlarında Q ve RMR görgül kaya sınıflamaları birbirlerini bütünler biçimde birlikte kullanılmaktadır. RMR kaya sınıflaması değerlendirmeleri Çizelge 5'de verilmektedir.

Çizelge 6'da ise, RMR kaya sınıflamasına göre kayaçların kütle özellikleri ve önerilen destek sistemleri verilmektedir.

Bu sınıflamaya ek olarak, sayısal çözümlerinde kullanılmak üzere GSI kaya sınıflamasından da yararlanılmıştır. Yapılan GSI değerlendirmeleri tünel tasarım parametreleri ile aynı çizelgede belirtilmiştir [23].

3.2.3. Q-RMR-NATM Destek Önerilerinin Denetimi

Söz konusu Jeoteknik raporda, Sayısal çözümlerinde kullanılması önerilen kayaçların jeoteknik parametreleri GSI kaya sınıflaması ile RocLab programı kullanılarak sağlanmış ve sonuçlar Çizelge 7'de verilmiştir.

Çizelge 7'de verilen RMR ve GSI değerleri, bu kaya sınıflamaları ile yapılan özgün değerlendirmelerden elde edilen değerlerdir.

Çizelge 4. Proje Q değerleri [23]

İncelenen Kesit	RQD ⁽³⁾ (%)	J _n	J _r	J _a	J _w	SRF	H ⁽²⁾ (m)	UCS* (MPa)	Q
T-Pa ⁽¹⁾	10	12	1.5	4	0.66	5.0	35	10	0.04
T-50a	25	6	2	4	0.66	5.0	50	15	0.28
T-75a	10	6	0.5	4	0.66	2.5	75	15	0.06
T-100a	10	6	0.5	4	0.66	2.5	100	15	0.06
T-110a	10	6	0.5	4	0.66	2.5	110	15	0.06
T-110b	80	9	3	2	1.00	1.0	110	45	13.3
T-100b	50	9	3	2	1.00	1.0	100	45	8.30
T-75b	50	9	3	2	1.00	2.5	75	40	3.33
T-50b	10	6	1.5	4	0.66	5.0	50	10	0.08
T-Pb	10	12	2	4	0.66	5.0	35	10	0.06

(1) P: Portal, T: Tünel, a: Tünel giriş portalı tarafı, b: Tünel çıkış portalı tarafını simgelemektedir.

(2) H: Yeraltı kazısı üzerindeki tabaka kalınlığı

(3) RQD değerleri, örtü kalınlığına göre belirlenen tünel aralıklarındaki sondajlarda tünel kotunun 10 m aşağısı ve yukarısını kapsayan kesimi değerlendirilerek seçilmiştir.

*: Laboratuvar deney sonuçları değerlendirilerek seçilen değerlerdir.

Çizelge 5. Projeye ait RMR değerleri [23]

İncelenen Kesit	RMR parametre puanları (ratings)					RMR
	UCS	RQD	Süreksizlik aralığı	Su koşulları	Süreksizliklerin durumları	
T-Pa	1.0	3.0	5.0	4.0	17.5	30.5
T-50a	1.0	3.0	5.0	4.0	17.5	30.5
T-75a	2.0	3.0	5.0	4.0	17.5	31.5
T-100a	2.0	3.0	5.0	4.0	17.5	31.5
T-110a	2.0	3.0	5.0	4.0	17.5	31.5
T-110b	4.0	8.0	8.0	12.5	19.0	51.5
T-100b	4.0	8.0	8.0	10	17.5	47.5
T-75b	4.0	8.0	8.0	8.5	15.5	44.0
T-50b	1.0	3.0	5.0	4.0	17.5	30.5
T-Pb	1.0	3.0	5.0	4.0	17.5	30.5

Çizelge 6. RMR kaya sınıflamasına göre kayaçların kütle özellikleri ve önerilen destek sistemleri [23]

RMR Aralığı		64 < RMR < 85	55 < RMR < 85	45 < RMR < 55	25 < RMR < 45
RMR		-	-	47.5 - 51.5	30.5-31.5-44.0
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (Mpa)		-	-	40, 45	5, 40
Kohezyon c (Mpa)		-	-	0.25	0.15
İçsel Sürtünme Açısı (ϕ)		-	-	30	20
Kazılabilecek En Büyük Açıklık (m)		-	-	6.62	3.46-5.91
Duraylılık Süresi		-	-	12,5 saat	1 saat- 7,8 saat
Desteksiz Kazılabilecek En Büyük Açıklık (m)		-	-	1.85	1.0-1.62
	Tavan	Gerektiğinde 5 cm püskürtme beton+ Noktasal bulon ($\phi 20$ L=3m)	5-10 cm püskürtme beton+ Sistematiik Bulon ($\phi 20$ L=4m aralık 1.5-2m)+ Hasır çelik	5-10 cm püskürtme beton+ Sistematiik Bulon ($\phi 20$ L=4m aralık 1.5-2m)+ Hasır çelik	10-15 cm püskürtme beton+ Sistematiik bulon ($\phi 20$ L= 4-5m aralık 1-1.5 m)+ Hasır çelik+ Gerektiğinde 1.5m aralıklı çelik destek
	Duvar	Destek Gerekmez	3 cm püskürtme beton	3 cm püskürtme beton	10-15 cm püskürtme beton+ Sistematiik bulon ($\phi 20$ L= 4-5m aralık 1-1.5 m)+ Hasır çelik+ Gerektiğinde 1.5 m aralıklı çelik destek

Çizelge 7. Tünel tasarım parametreleri [23]

İncelenen Kesit	PORTAL KESİMİ		TÜNEL KESİMİ							
	T-Pa	T-Pb	T-60b	T-75b	T-100b	T-110b	T-110a	T-100a	T-75a	T-50a
RMR	30.5	30.5	30.5	43.5	47.5	51.5	31.5	31.5	31.5	30.5
GSI	25	25	25	50	50	65	30	30	30	30
Q	0.04	0.06	0.08	3.33	8.30	13.3	0.06	0.06	0.06	0.28
Q Aralığı	0.01<Q< 0.1	0.01<Q< 0.1	0.01<Q< 0.1	1<Q<4	4<Q<10	10<Q<40	0.01<Q< 0.1	0.01<Q< 0.1	0.01<Q< 0.1	0.1<Q<1
E (Mpa)	180	180	180	1272	1388	3065	366	366	366	366
Poisson Ö. v	0.30	0.30	0.30	0.25	0.20	0.20	0.30	0.30	0.30	0.30
TEBD, σ_c (MPa)	10.00	10.0	10.0	40.00	45.00	45.00	15.0	15.0	15.0	15.0
Örselenme Etmeni, D*	0.00	0.00	0.00	0.20	0.20	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00
(γ) (MN/m ³)	0.022	0.022	0.022	0.024	0.024	0.024	0.022	0.022	0.022	0.022
c (MPa)	0.092	0.092	0.116	0.505	0.628	0.959	0.250	0.235	0.196	0.152
İçsel Sürt. Açısı	39.0	39.0	36.70	58.00	54.50	57.74	35.64	36.37	38.57	41.66
MR veya (Eİ) (MPa)	300.00	300.00	300.00	(5500)	(6000)	(6000)	300.00	300.00	300.00	300.00
mi	12.00	12.00	12.00	25.00	25.00	25.00	12.00	12.00	12.00	12.00
mb	0.824	0.824	0.824	3.438	3.438	6.234	0.985	0.985	0.985	0.985
si	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
s	0.0002	0.0002	0.0002	0.0028	0.0026	0.0155	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004
a	0.531	0.531	0.531	0.508	0.508	0.502	0.522	0.522	0.522	0.522
Etkin Kaya Yüksekliği, h (m)	35.00	35.00	50.00	75.00	100.00	110.00	110.00	100.00	75.00	50.00
Önerilen Destek Sınıfı	VI	vi	VI	IV	III	II	VI	VI	VI	V

4. ÇALIŞMA KAPSAMINDA UYGULANMASI ÖNGÖRÜLEN PATLATMA PATERNİ

Bu çalışmada, Konak Tünelleri için, patlatmalı kazı sırasında arzu edilen teknik sonuçların ekonomik ve emniyetli limitlerde, patlatmadan kaynaklanan titreşim ve hava şoku gibi çevresel problemlerin en aza indirilmesine ve dolayısıyla çevre yapılarında bir hasara neden olmayacak, aynı zamanda olası heyelan bölgesinde var olan hareketlerin artmasına izin vermeyecek bir yaklaşımla ön tasarımı yapılmaya çalışılmıştır. İlk oluşturulan patlatma paterninde orta çekme ve kazı

deliklerinin bazılarında gecikme başına 9 kg patlayıcı düştüğü belirlenmiştir.

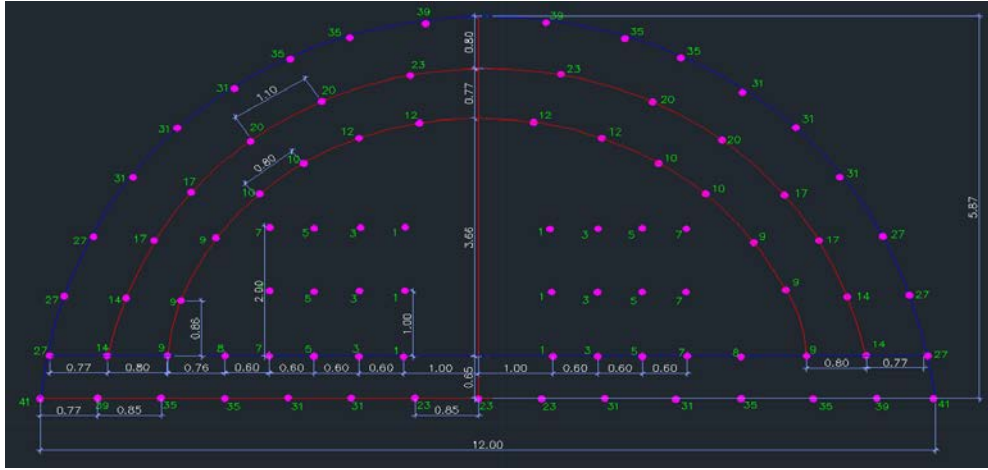
Çalışma sahasının konumu, civar yapılar ve daha önceki imalatlardan hasar görmüş olan binaların ve tünelin Yeşildere giriş portalının bulunduğu bölgedeki olası heyelanın hareketinde bir artışın olabileceği ihtimali nedeniyle orta çekmenin, 6 delikli olarak planlanması ve gecikme başına 6 kg patlayıcı kullanılmasının daha doğru olacağı tespit edilmiştir. Burada amaç, tünelin bulunduğu yerin yukarıda bahsedilen özellikleri nedeniyle tam bir kazı yapılamasa bile, tünel aynasındaki kaya

kütlesinin örselenmesini sağlamak ve dolayısıyla makineli kazıdaki güçlükleri bir miktar azaltabilmektir.

Şekil 6'da görüldüğü üzere, 46 m² tünel üst yarısı için 87 adet delik planlanmıştır. Bunlardan 26 adeti çektirme için planlanan, diğer delikler kazı ve çevre delikleridir. Bu deliklerin 14 adeti 1. pergel, 14 adeti 2. pergel, 18 adeti 3. pergel, 13 adeti taban ve 2 adeti taban köşe deliği olarak planlanmıştır. Bu deliklerin özellikleri Çizelge 8'de verilmektedir. Oluşturulan bu paternde

gecikme başına en fazla 6 kg patlayıcı planlanmıştır.

Delik uzunluğu 1,8 m olacak şekilde yapılacak imalat sonrası toplamda 69 m³ kaya kütlesinin parçalanması planlanmıştır. Toplamda 75,9 kg patlayıcı ile 69 m³'lük bir kaya kütlesinin örseleneceği düşünüldüğünde özgül şarj oranı 1,1 kg/m³ olarak hesaplanmıştır. Deliklerden orta çekme delikleri 60 derece, tarama delikleri 90 derece ve çevre delikleri dışa doğru 3 derecelik bir açı ile planlanmıştır.



Şekil 6. Tünelde belirlenen patlatma paterni

Çizelge 8. Tasarımı yapılan patlatmaya yönelik 1 atımdaki patlayıcı madde tüketimi (üst yarı)

Delgi Yeri	Gecikme No	Delik Sayısı (Adet)	Delik Boyu (m)	Delişe Şarjlanan Kartuş (adet/delik)	Bir Kartuşun Ağırlığı (kg)	Delik Başına Şarj (kg/delik)	Toplam Şarj (kg)	Toplam Delik Boyu (m)
Kesme	1	6	1,8	2	0,5	1	6	10,8
Kesme	3	6	1,8	2	0,5	1	6	10,8
Kesme	5	6	1,8	2	0,5	1	6	10,8
Kesme	7	6	1,8	2	0,5	1	6	10,8
Kesme	8	2	1,8	3	0,5	1,5	3	3,6
Üretim	9	6	1,8	2	0,5	1	6	10,8
Üretim	10	4	1,8	2	0,5	1	4	7,2
Üretim	12	4	1,8	2	0,5	1	4	7,2
Üretim	14	4	1,8	2	0,5	1	4	7,2
Üretim	17	4	1,8	2	0,5	1	4	7,2
Üretim	20	4	1,8	2	0,5	1	4	7,2

Çizelge 8 (Devamı). Tasarımı yapılan patlatmada 1 atımdaki patlayıcı tüketimi (üst yarı)

Üretim	23	2	1.8	2	0.5	1	2	3.6
Tavan	27	2	1.8	2	0.5	1	2	3.6
Tavan	27	4	1.8	1	0.15	0.15	0.6	7.2
Tavan	31	6	1.8	1	0.15	0.15	0.9	10.8
Tavan	35	4	1.8	1	0.15	0.15	0.6	7.2
Tavan	39	2	1.8	1	0.15	0.15	0.3	3.6
Taban	23	3	1.8	3	0.5	1.5	4.5	5.4
Taban	31	4	1.8	3	0.5	1.5	6	7.2
Taban	35	4	1.8	3	0.5	1.5	6	7.2
Taban	39	2	1.8	3	0.5	1.5	3	3.6
Taban köşe	41	2	1.8	3	0.5	1.5	3	3.6
Toplam		87					75.9	149.4

4.1. Veri Analizi Ve Değerlendirmeler

Patlatma tasarımında belirlenen delik geometrileri, patlayıcı miktarları, gecikmeler...vb. parametreler önceki tecrübeler ve yapılmış çalışmalara göre oluşturulmuştur. Belirlenen tasarım parametreleri, Seisblast programına [37] girilerek patlatma modellemesi yapılmıştır.

Yapılan modellemede, patlatma yapılan lokasyon ile etkilenebileceği düşünülen yerleşim alanı arasındaki mesafeler 90 ve 170 metre olarak alınmıştır. Buna göre modelleme sonucunda elde edilen maksimum titreşim hızları, ve frekansları hesaplanmıştır (Çizelge 9). Patlatma tasarım değerlerinin modellemesinden elde edilen sonuçlar, Türk-İnşaat Sektörüne göre uyarlanmış hasar kriter çizelgesi ve hassas Alman DIN 4150 normuna göre değerlendirilmiştir.

Çizelge 9. Modelleme sonucunda patlatma kaynaklı oluşabilecek titreşim değerleri

R (m)	Maksimum Oluşabilecek Titreşim Hızı ve Frekansı		
	Yanal	Düşey	Boyuna
170	1.230 mm/s 19 Hz	0.788 mm/s 34 Hz	0.560 mm/s 15.25 Hz
90	2.491 mm/s 21 Hz	2.483 mm/s 22 Hz	5.714 mm/s 21 Hz

R: Patlatma yapılan yer ile sismograf arasındaki mesafe - Yanal, Düşey, Boyuna: Sismik dalganın 3 bileşenidir.

Çizelge 9 incelendiğinde, düşey yönde oluşan maksimum parçacık hızlarının nispeten daha düşük olduğu gözlenmiştir. Yapılan ölçüm çalışmalarının çok büyük çoğunluğu tünel patlatmalarında sarsıntının en fazla hissedildiği yerin, tünel aynasının üstünde düşey yönde bulunan yerleşim birimlerinin olduğu yerler olduğunu göstermiştir.

Şekil 7 ve 8, sırasıyla Türk ve Alman standartlarına göre, modellemeye göre patlatmadan kaynaklanabilecek dalgaların 170 metre ve 90 metredeki ölçülen titreşim hızlarının frekansa bağlı olarak durumunu göstermektedir. Şekil 7 ve 8'de görüleceği üzere, titreşim genliklerinin yüksek frekanslara göre değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır ki bu da, izin verilen titreşim hızlarının daha yüksek olmasına sebebiyet vermektedir.

Yapılan patlatma tasarımı ve Seisblast programındaki modellemede, her iki standarda göre de, titreşim hızları, endüstriyel-inşaat yapılarına göre değerlendirildiğinde, izin verilen limit değerler altında kalmaktadır.

Şekil 7'de görüldüğü üzere, yapılacak patlatmada ölçülmesi muhtemel titreşim

değerleri, noktalı-kesikli çizginin altında kalmaktadır (periyodik olarak inşaat/endüstriyel yapılara verilen titreşimlerin değerlendirileceği sınır çizgi). Ancak Türk -Endüstriyel/İnşaat yapıları için hazırlanmış bu standartta, titreşim hızlarının tüm frekanslar için aynı değerlendirildiği görülmektedir. Üstelik kesikli-noktalı çizgi esas alındığında, izin verilebilen titreşim hızları 30 mm/s'nin üzerinde olacaktır.

Her ne kadar modellemede yapılan patlatma, Türk standartlarına göre bu izin verilen maksimum değerinin çok çok altında titreşimlere sebep olsa da, literatüre göre en hassas ve güvenilir hasar kriter skalası olan Alman DIN4150 normuna göre de değerlendirme yapılması uygun görülmüştür.

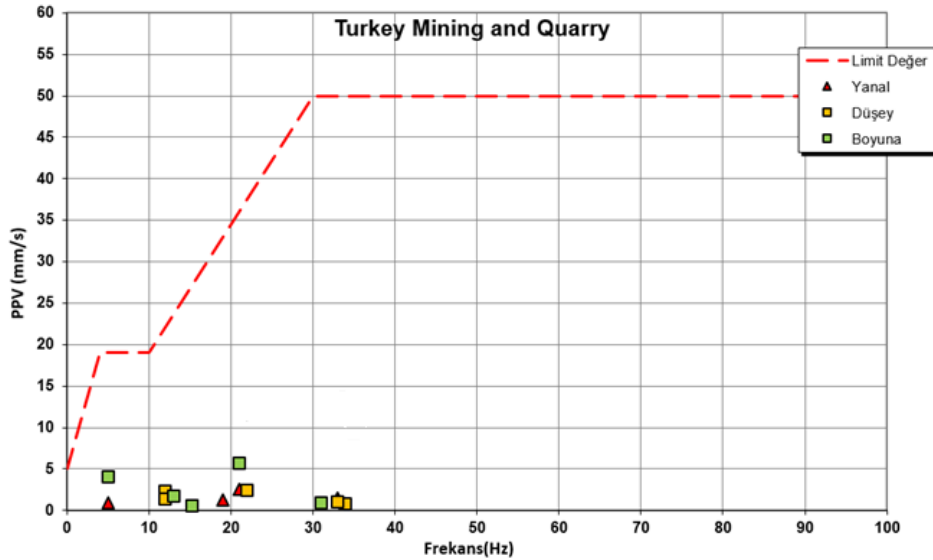
Şekil 8 incelendiğinde, modellenen patlatmadan kaynaklanacak dalgaların frekans içeriğinin 5-35 Hz arasında değişeceği ve verilerin hasar verme limitlerinin altında olacağı görülmektedir

(En üst eğri, endüstriyel/inşaat yapıları için oluşturulduğundan dolayı, bu eğri esas alınmıştır).

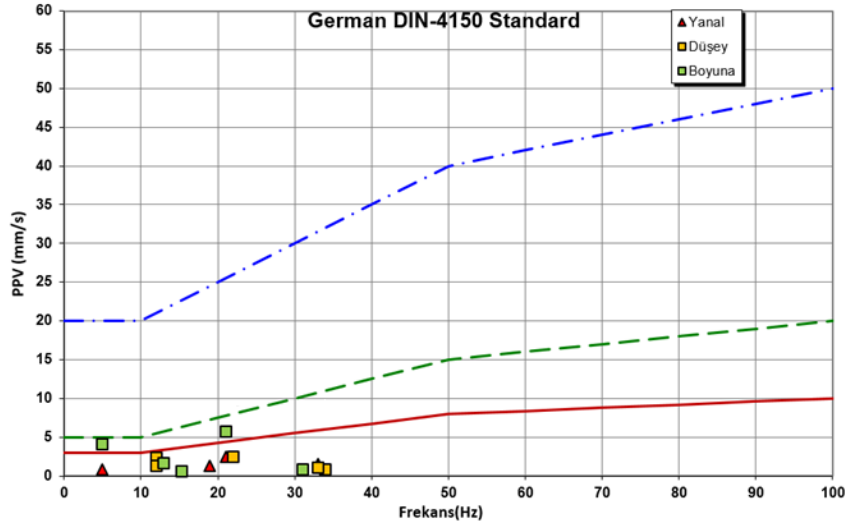
Cihazların konulacağı noktaların titreşime maruz kalma süreleri de, en az titreşim genlikleri ve frekansları kadar önemlidir.

Veriler incelendiğinde, 170 metrede ve 90 metrede kaydedilecek titreşim sürelerinin, yapılan tasarım ve modelleme neticesinde 1.5 saniyeyi geçmeyeceği görülmüştür. Titreşime maruz kalma süresinin en fazla 2 saniye civarında olacağı belirlenmiş olup, bu özelliklerdeki titreşimlerin yapılara hasar vermediği bilinmektedir.

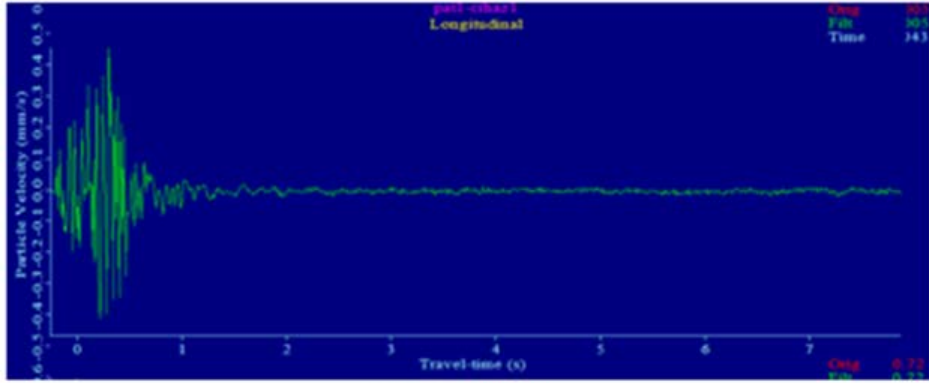
Şekil 9, modellemeye göre belirlenen, yapılacak patlatmadan kaynaklanacak titreşimlerin 170 metre mesafede ölçülebilecek sürelerini göstermekte olup, sonuçta oluşabilecek titreşim sürelerinin 1.5-2 saniyeyi geçmeyeceği görülmektedir.



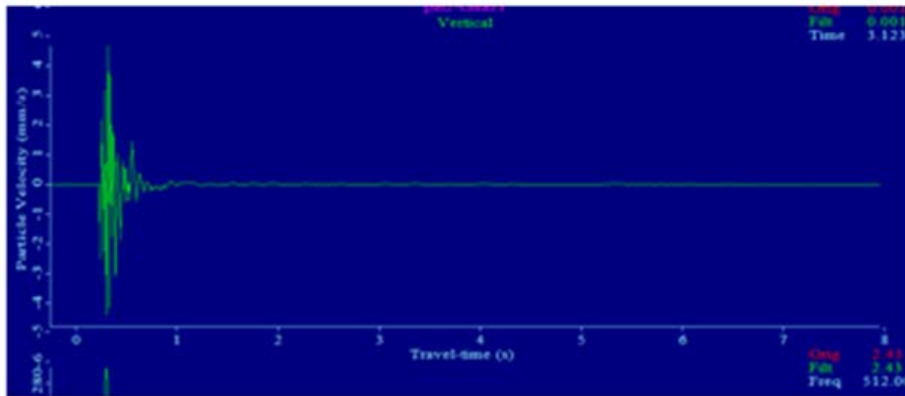
Şekil 7. Modellemeye göre patlatmadan kaynaklanacak titreşimlerin frekansa bağlı olarak Türk İnşaat sektörüne göre düzenlenmiş skalaya göre değerlendirildiği standart



Şekil 8. Modellemeye göre patlatmadan kaynaklanacak titreşimlerin frekansa bağlı olarak, Alman DIN4150'ye göre düzenlenmiş skala ile değerlendirildiği standart



(a) Patlatma (170 m)



(b) Patlatma (90 m)

Şekil 9. Modellemeye göre belirlenen patlatma kaynaklı oluşabilecek titreşim süreleri

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Söz konusu tünelde yapılacak patlatmaların çevre yapılarına olabilecek titreşim etkisi, titreşim ölçümleri sonucu alınan veriler ışığında ilgili standartlar çerçevesinde değerlendirilmiştir.

Belirlenen patlatma tasarım parametreleri ve patlatma modellemesi sonucunda elde edilen veriler ışığında, patlatmadan kaynaklanabilecek olası titreşimler, Türk-İnşaat Sektörüne göre uyarlanmış hasar kriter çizelgesi ve hassas Alman DIN 4150 normuna göre değerlendirilmiştir. Her iki standarda göre de, titreşim hızları, endüstriyel-inşaat yapılarına göre değerlendirildiğinde, izin verilen limit değerler altında kalmaktadır.

Modellemeye göre, 170 m ve 90 m mesafeye konulacak cihazların titreşime maruz kalma süreleri de, en az titreşim genlikleri ve frekansları kadar önemlidir.

Bu sebeple, elde edilen veriler, titreşime maruz kalma süreleri açısından da incelenmiştir. Modellemede, 170 metre ve 90 metre mesafelerde kaydedilebilecek titreşim sürelerinin 1.5 saniyeyi geçmeyeceği görülmüştür. Yapıları uzun süreli titreşime maruz bırakıp hasar vermemek adına, titreşime maruz kalma süresinin 2 saniyeyi geçmemesine dikkat edilmesi gerekliliği literatüre göre de bilindiği için, bu tasarım ve modellemede belirlenen titreşime maruz kalma süresi makul olarak değerlendirilmiştir.

Şekil 6 ve Çizelge 7'de hazırlanan patlatma tasarımı parametrelerine uygun şekilde yapılacak atımların oluşturacağı titreşim hızları ve frekanslarının (Seisblast programı yardımıyla hesaplanan) izin verilen limit değerler içerisinde kalmasına karşın, yerleşim birimlerinin yakınlığı ve heyelan oluşum riski göz önüne alındığında, ilk tünel

patlatmalarından itibaren atımlara eşlik edilerek patlatma tasarımı ve çevresel

etkileri konusunda uzman kişilerce titreşim ölçümlerinin alınması, gerekmesi durumunda hazırlanan patlatma tasarımının güncellenmesi, çalışmanın sağlıklı ve güvenli bir şekilde tamamlanabilmesi açısından önem arz etmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Bollinger, G.A. 1971. Blast Vibration Analysis. Southern Illinois University Press: 132, Carbondale and Edwardsville, DOI: 10.1093/gji/ 63.3.799a
- [2] Siskind, D.E., Stagg, M.S., Kopp, J.W., Dowding, C.H. 1980. Structure response and damage produced by ground vibrations from surface mine blasting. USBM RI 8507: 77, Boston.
- [3] 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. Proceeding Book: 69-89 1982, New Orleans.
- [4] Dowding, C.H. 1985. Blast Vibration Monitoring and Control. Prentice-Hall, Inc.: 297, Englewood Cliffs, NJ.
- [5] 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, Boston.
- [6] Anderson, Douglas, 1993. Blast monitoring: regulations, methods and control techniques. Comprehensive Rock Engineering, Vol. 4, pp. 95-110. Editor-in-Chief John Hudson. Pergamon Press Ltd. DOI: 10.1016/B978-0-08-042067-7.50011-8
- [7] Persson, P.A., Holmberg, R., Lee, J. 1994. Rock Blasting and

- Explosives Engineering. CRC Press, Inc.:367, New York. ISBN 9780849389788
- [8] Muller, B. 1997. Adapting blasting technologies to the characteristics of rock masses in order to improve blasting results and reduce blasting vibrations. *Fragblast* 1: 361-378. DOI: 10.1080/13855149709408403
- [9] Muller, B., Hohlfeld, T.h. 1997. New possibility of reducing blasting vibrations with an improved prognosis. *Fragblast* 1: 379-392.
- [10] Hoshino, T., Mogi, G., Shaoquan, K. 2000. Optimum delay interval design in delay blasting. *Fragblast - International Journal of Blasting and Fragmentation* 4:139-148.
- [11] Siskind, D.E. 2000. *Vibrations from Blasting*. International Society of Explosives Engineers: 120 pages, New York.
- [12] 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), 91-107. DOI: 10.1076/frag.5.1.91.3316
- [13] Tripathy, G. and Gupta, I.D. 2002. Prediction of ground vibrations due to construction blasts in different types of rock. *Rock Mechanics and Rock Engineering* 35 (3): 195-204. DOI:10.1016/j.jrmge.2015.10.007
- [14] 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. DOI:10.1080/13855140412331336160
- [15] Kahrman, A., İşlek, A., Erol, A.K., Sefer, İ., (2008), İstanbul Sarıyer-Çayırbaşı Karayolu Tünel İnşaatı Patlatmalı Kazı Ön Tasarımı, T.C. Okan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
- [16] Şengör, A.M.C., (1984) The Cimmeride orogenic system and the tectonics of Eurasia *Geol. Soc. Am. Spec. Paper*, No 195 82 pp
- [17] Okay, A.I., Tüysüz O. (1999) Tethyan sutures of northern Turkey İTÜ Eurasian Institute of Earth Sciences And Maden Faculty Geological Department
- [18] Okay, A.I Satır M., Maluski, H. Siyako, M., Monie, P., Metzger, R. and Akyüz S. (1996) Palen- and Neo-Tethyan events in northwest Turkey Geological and geochronological constraints. In: A Yin and M Harrison (Eds), *Tectonics of Asia*. Cambridge University Press: 420-441
- [19] Özer, S., İrttem, O, (1982), Işıklar-Altındağ (Bornova-İzmir) alanı Üst Kretase kireçtaşlarının jeolojik konumu, stratigrafisi ve fasiyes özellikleri, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 25/1, 41-47.
- [20] Erdoğan, B. (1990). İzmir-Ankara Zonu'nun İzmir ile Seferihisar Arasındaki Bölgede Stratigrafik Özellikleri ve Tektonik Evrimi: TPJP Bülteni. c. 2/1-Aralık, 1990. s.1-20.
- [21] Gürler, M., (2015), "İzmir Metropol Alanında Mühendislik Ana Kayasının Jeofizik Çalışmalarla Araştırılması", D.E.Ü. FBE Doktora Tezi
- [22] Uzel, B., Sözbilir, H., Özkaymak, Ç., Kaymakçı, N., ve Langeris, C. G., 2012. İzmir Körfezi'nin Jeolojik Evrimi, Batı Anadolu. Ali Koçyigit Çalıştay Bildiri Özleri Kitapçığı s. 30. 25-26 Haziran ODTÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara.
- [23] Konak Tüneli ve Bağlantı Yolu Tünel Jeolojik-Jeoteknik Etüt Raporu (2012)
- [24] Ak, H., İphar, M., Yavuz, M. and Konuk, A. (2009), Evaluation of

- ground vibration effect of blasting operations in a magnesite mine. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. Vol.29, 669-676. DOI:10.1016/j.soildyn.2008.07.003
- [25] Zhang, Y.H., Lin, J.H., Williams, F.W., Li, Q.S. (2006), Wave passage effect of seismic ground motions on the response of multiply supported structures, *Struct. Eng. Mech.*, 20(6), 655
- [26] W.M. Ewing, W.S. Jardetzky, F. Press. *Elastic waves in layered media*. Mc Graw-Hill Book Co. New York. 1957.
- [27] Constantopoulos, I.V., Wessem, V.Y. and Verbrugge, J.C. (2012), Vertical response spectra for an impact on ground surface, *Eartq. Struct.* 3 (3-4), 435-455. DOI:10.12989/eas.2012.3.3_4.435
- [28] Mahmoud, S. (2014), Blast load induced response and the associated damage of buildings considering SSI, *Earthq. Struct.*, 7(3), 231-252, DOI: 10.12989/eas.2014.7.3.349
- [29] Öncü, M.E., Yon, B., Akkoyun, O. and Taskiran, T. (2015), Investigation of blast-induced ground vibration effects on rural buildings, *Struct. Eng. Mech.*, 54(3), 545 DOI:10.12989/sem.2015.54.3.545
- [30] Xuelong L., Enyuan W., Zhonghui L., Xiaofei B., Liang C., Junjun F., Nan L., (2016), Blasting wave pattern recognition based on Hilbert-Huang transform *Geomechanics and Engineering*, Vol. 11, No. 5, 607-624 DOI : 10.12989/gae.2016.11.5.607
- [31] Uyar G.G Babayigit E. (2016), Guided wave formation in coal mines and associated effects to buildings *Structural Engineering and Mechanics*, Vol. 60, No. 6 (2016) 923-937 DOI: 10.12989/sem.2016.60.6.923
- [32] Kılıç, A. ve Anıl, M., 2000. Tarsus Ayrımı-Adana-Gaziantep Otoyolu T2 (Ayran) Tünelinde Kaya Sınıflarına Bağlı Kazı ve Tahkimat Uygulamaları, *Madencilik Dergisi*. Cilt. 39, Sayı. 2, s. 3-10.
- [33] Dağçimen, A. (2006), Patlatma Tasarımı İçin Geliştirilen Bir Bilgisayar Programı, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi
- [34] David E. Siskind, Steven V. Crum, and Matthew N. Plis (1993) RI 9455 Blast Vibrations and other Potential Causes of Damage in Homes near a Large Surface Coal Mine in Indiana
- [35] ÇGYDD, 2005, "2002/49/EC sayılı Çevresel Gürültünün Yönetimi ve Değerlendirilmesi Direktifine paralel olarak hazırlanmış olan bir yönetmelik".
- [36] DIN 4150-3, (1999) Structural vibration-Effects of vibration on structures. Deutsches Institut für Normung e. V. Document Number: din 4150-3
- [37] Aldaş, G.G.U., Ecevitoglu, B. (2007), "Methodology for Minimizing Blast-Induced Vibrations (TPI. 2007/03459)