

## Patlatma Kaynaklı Yer Hareketi İçin Bilgisayar Yazılımının Geliştirilmesi<sup>†</sup>

Olgun Köksal<sup>1\*</sup>, Zeki Karaca<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Öğr. Gör., OMÜ Kavak MYO, Samsun, Turkey

<sup>2</sup>Doç. Dr., OMÜ İnşaat Müh. Bölümü, Samsun, Turkey

\*([olgun.koksal@omu.edu.tr](mailto:olgun.koksal@omu.edu.tr))

**Özet** – Bu çalışmada, patlatma kaynaklı oluşan yer hareketlerinin (hava etkili ve direkt etkili) yapılar üzerindeki dinamik etkilerini incelemek için, hesaplarda kullanılacak olan yer hareketi ivme değerleri rastgele yöntem ile tahmini olarak elde edilmektedir. Patlatma etkili yer hareketinin modellenmesinde, patlatma kaynağına olan uzaklığa ve patlatma şarj ağırlığına bağlı olarak elde edilen pik ivme değerinden ve patlatma basıncının zaman zarf eğrisinden yararlanılmaktadır. Patlatma kaynaklı yer hareketi modelinin oluşturulması için stasyonere olmayan rastgele işlem yeterli bir yöntem olarak sunulmaktadır. Patlatma kaynaklı yer hareketini temsilen, yer hareketi ivme değerlerinin tahmin edilebilmesi için BlastGM (Artificial Generation of Blast Induced Ground Motion) adlı bir yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılım sayesinde patlatmanın kaynağına olan uzaklığa ve patlatma gücüne bağlı olarak yapay ivme değerleri oluşturulabilmektedir. Ayrıca bu yazılımda, patlatma kaynaklı yer hareketine ait, hız-zaman, yer değiştirme-zaman, patlatma basıncı-zaman grafikleri elde edilmektedir. Yapıların yakınında meydana gelen patlatmaların, çok etkili ani yer hareketlerine neden olduğu üretilen ivme değerlerinin incelenmesi ile görülmektedir.

**Anahtar Kelimeler** – Patlatma, Patlatma Etkili Yer Hareketi, Rastgele İşlem, Zarf Fonksiyonu, Pik İvme

**Abstract** – This study intended to obtain ground motion acceleration values due to blast-induced ground motions (air-induced and direct-induced) estimated by a random method. In order to model blast-induced ground motion, firstly, peak acceleration of ground motion acceleration and the time envelope curve function for the blast pressure were obtained from distance of the explosion center and the explosion charge weight and then blast-induced acceleration time history were established by using these factors. Non-stationary random process is presented as an appropriate method to be created blast induced ground motion model. As a representative of blast induced ground motion, the software named BlastGM (Artificial Generation of Blast induced Ground Motion) was developed by authors to predict ground motion acceleration values. Artificial acceleration values generated from the software depend on the charge weight and distance from the source of the explosion. Moreover, velocity-time, displacement-time and air blast pressure-time graphics of blast-induced ground motion are artificially obtained. According to the examination of synthetically generated acceleration values, it can be concluded that the explosions cause significant effective ground movements.

**Keywords** – Blast, Blast Induced Ground Motion, Random Process, Envelope Function, Peak Acceleration.

### I. GİRİŞ

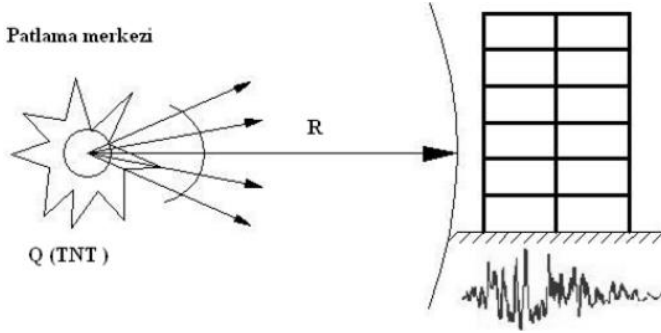
Karayolu tüneli, baraj inşaatı gibi patlatma işlemlerinin sık sık yapıldığı inşaat mühendisliği uygulamalarında, madencilik sektöründe, çalışma sahasına yakın yerleşim yerlerinde bulunan yapılar patlatma işleminin ortaya çıkardığı enerjiden etkilenmektedir. Yer yüzeyinde veya yer yüzeyi yakınında bir patlatma gerçekleştiğinde ortaya çıkan enerjinin bir kısmı serbest hava yoluyla bir kısmı da direkt yer boyunca iletilir. Hava yoluyla iletilen enerji hava etkili yer sarsıntısını oluştururken, direkt yer boyunca iletilen enerji de direkt etkili yer sarsıntısını oluşturur [3].

Patlatma sırasında havada oluşan basınç yere bir gerilme uygulayarak hava etkili yer sarsıntısı oluşur. Yerdeki gerilmenin büyüklük ve süresi, yer ortamına ve hava basıncının özelliğine bağlıdır. Genellikle, hava etkili yer hareketi aşağıya doğrudur. Hava etkili yer hareketleri, yer

yüzeyinde en büyüktür ve derinlikle azalır. Bununla birlikte, sığ su tabakası, sığ kaya zemin arayüzeyi veya diğer süreksizliklerin bulunması normal azalış süresini değiştirir [3]. Direkt etkili yer hareketi, yer tabakaları boyunca doğrudan iletilen patlatma enerjisinin sonucudur. Direkt etkili yer hareketi, hava etkili yer hareketinden daha uzun sürer ve dalga biçimi sinüzoidaldir. Patlatma işlemi gerçekleştiğinde, yer yüzeyinde bir noktadaki net yer sarsıntısı, hava etkili ve direkt etkili yer sarsıntısının birleşimidir [3].

Ülkemizde ve dünyada birçok alanda teknolojinin de gelişmesiyle birlikte patlatma işlemi yapılmaktadır. Patlatma etkili oluşacak yer sarsıntılarının mevcut inşa edilmiş yapılara etkisi de büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle dünya literatüründe patlatma etkili yer hareketi çalışmalarının hızla devam etmesi nedeniyle bu çalışma önem taşımaktadır ([4,6,7,8,9,12,14]).

<sup>†</sup> This is an extended version of a conference paper (ISMSIT2017).



Şekil 1. Patlatma merkezi, TNT patlayıcısı ve patlatma merkezine R uzaklığındaki yapı.

## II. YÖNTEM

### A. Patlatma Etkili Yer Hareketinin Modellenmesi

Patlatma etkili yer hareketinin modellenmesinde, patlatma kaynağına olan uzaklığa ve patlatma şarj ağırlığına bağlı olarak elde edilen pik ivme değerinden ve patlatma basıncının zaman zarf eğrisinden yararlanılmaktadır[6]. Patlatma kaynaklı yer hareketi modelinin oluşturulması için stasyonier olmayan rastgele işlem yeterli bir yöntem olarak sunulmaktadır [7]. Patlatma kaynaklı yer hareketini temsilen, yer hareketi ivme değerlerinin tahmin edilebilmesi için BlastGM (Artificial Generation of Blast induced Ground Motion) adlı bir yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılım sayesinde patlatmanın kaynağına olan uzaklığa ve patlatma gücüne bağlı olarak yapay ivme değerleri oluşturulabilmektedir. Patlatma etkili yer hareketinin modellenmesi için önceden yapılmış arazi deneylerinden elde edilen pik ivmelerin ampirik formüllerinden yararlanılmıştır.

### B. Hava Etkili Yer Hareketi

Hava etkili yer hareketi için zamana bağlı ivme kayıtlarının üretilebilmesi için aşağıdaki denklemle elde edilen maksimum yatay ivme gereklidir.

$$A_H = \frac{100.P_{so}}{\rho.C_p.g} \quad (g) \quad (1)$$

Bu denklemde,  $P_{so}$ =patlatma basıncının en büyük değeri (psi),  $A_H$  = Yer yüzeyinin maksimum yatay ivmesi (g),  $g$  = Yerçekimi sabiti (32.2 ft/sn<sup>2</sup>) ile gösterilmektedir.

(1) formülünde yer alan  $\rho$ , zeminin kütle yoğunluğu Tablo-1'de ve  $C_p$ , zeminin sismik dalga hızı Tablo-2'de zemin türüne göre verilmektedir[3].

Table 1. Tipik zeminler ve kayalar için kütle yoğunlukları

Malzeme	Kütle yoğunluğu, $\rho$ (lb-sn <sup>3</sup> )/in <sup>3</sup>
Gevşek, kuru kum	1.42E-04
Gevşek, doymun kum	1.79E-04
Sıkı, kuru kum	1.65E-04
Sıkı, doymun kum	2.02E-04
Kuru kil	1.12E-04
Doymun kil	1.65E-04
Kuru, kumlu silt	1.57E-04
Doymun, kumlu silt	1.95E-04
Bazalt	2.56E-04
Granit	2.47E-04
Kalker	2.25E-04
Kumtaşı	2.10E-04
Killi şist	2.17E-04

Beton	2.25E-04
-------	----------

Table 2. Tipik zeminler ve kayalar için kütle yoğunlukları

Malzeme	Sismik Hız(inc/sn)
Gevşek ve kuru zeminler	7200-39600
Kil ve yaş zeminler	30000-75600
İri ve sıkıştırılmış zemin	36000-102000
Kumtaşı ve çimentolu zeminler	36000-168000
Killi şist ve kireçli kil	72000-210000
Kireçtaşı-tebeşir	84000-252000
Metamorfik kayalar	120000-252000
Volkanik kayalar	120000-270000
Sağlam plutonik kayalar	156000-300000
Çatlak granit	9600-180000
Ayrışmış kayalar	24000-120000

### C. Direkt Etkili Yer Hareketi

Direk etkili yer hareketini temsilen zaman ivme kayıtlarının üretilebilmesi için (2) nolu denklem

$$PPA = 3.979R^{-1.45}Q^{1.07} \quad (g) \quad (2)$$

olarak verilmektedir. Burada, R, Patlatma merkezinden uzaklığı (m), Q,TNT patlatma yükü ağırlığını (kg),  $g=9.81$  m/s<sup>2</sup>, yerçekimi ivmesini göstermektedir.

Görüldüğü gibi patlayıcı yoğunluğuna, patlatma merkezi uzaklığına ve zemin özelliğine bağlı olarak hava etkili ve direkt etkili yer hareketlerinin maksimum ivmeleri hesaplanabilmektedir. Yapıların dinamik analizinde ise, yer hareketini temsilen ivmenin zamana bağlı değerlerinin bilinmesi gereklidir. Bu çalışmada patlatmanın dinamik etkilerinin her zaman deneysel olarak belirlenemediği durumlarda dikkate alınabilecek ivme-zaman değerleri geliştirilen yazılım ile elde edilecektir.

Patlatma kaynaklı yer hareketinin modellenmesinde stasyonier olmayan rastgele işlem yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde, yer hareketi ivme değerleri, deterministik şekil fonksiyonu (zaman yoğunluk zarf fonksiyonu)  $p(t)$  ve stasyonier işlem,  $w(t)$  parametreleri kullanılarak hesap edilmektedir [2,10]. Patlatma kaynaklı stasyonier olmayan yer hareketi [1] tarafından da (3) denklemiyle ifade edilmiştir.

$$a_b(t) = p(t)w(t) \quad (3)$$

Şekil fonksiyonu deprem mühendisliğinde zamanlama bakımından sismik yer titreşiminin durağan (stasyonier) olmayan özelliğini belirlemede kullanılmaktadır. (3) nolu denklem için şekil fonksiyonu Hilbert dönüşümünden elde edilmektedir [11]. Aynı şekilde bu şekil fonksiyonu patlatma hareketlerinin zarfını exponansiyel tipte şekil fonksiyonu olarak en iyi modelleyebilmektedir. Bu fonksiyon [6];

$$p(t) = \begin{cases} 0, & t \leq 0, \\ mte^{-nt^2} & t > 0, \end{cases} \quad (4)$$

biçimindedir. m ve n yer hareketinin durağan olmayan özelliğine bağlı parametrelerdir. e doğal logaritmadır, m ve n parametreleri  $t_p$  ile belirlenmektedir.  $t_p$ ,  $t_a$ 'dan ivmenin maksimum değerine ulaşması için geçen süredir [6].

Yapılan deneylerden şarj merkezinden R uzaklığı ile yer yüzeyindeki bir noktada dalganın varış zamanı [6],

$$t_a = 0.91R^{1.03}Q^{-0.02} / c_s \quad (7)$$

ile basitçe tahmin edilebilmektedir.  $c_s$  granit zeminin P dalga hızıdır.

$t_p$  tahmin edilen zaman için ampirik bağıntı [6],

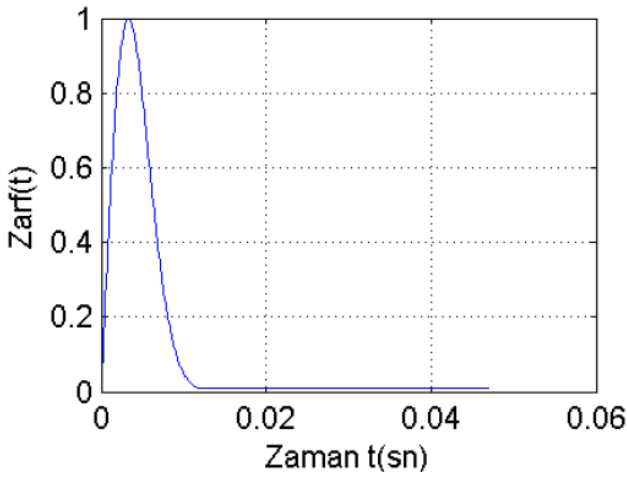
$$t_p = 5.1 \times 10^{-4} Q^{0.27} (R/Q^{1/3})^{0.81} = 5.1 \times 10^{-4} R^{0.81} \text{ (s)} \quad (8)$$

olarak elde edilmektedir. Görüldüğü gibi,  $t_p$  yalnızca R uzaklığına bağlıdır.

Yer dalgasının süresi, yapısal etkiye tesir eden çok önemli bir parametredir. Bu çalışmada, sarsıntı dalgası süresi  $t_d$ ,

$$t_d = t - t_a \quad (9)$$

olarak tanımlanmaktadır. Şekil 2’de patlatmaya ait tipik bir zaman zarf fonksiyonu gösterilmektedir.



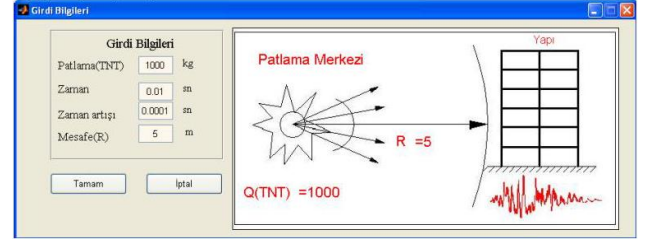
Şekil 2. Patlatma yer hareketinin tipik bir zaman zarf fonksiyonu.

#### D. BlastGM Yazılımıyla Yapay İvmelerin Üretilmesi

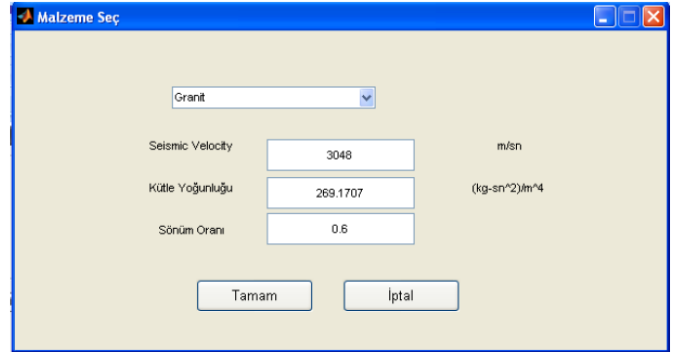
Fortran dilinde deprem ivmelerinin probabilistik olarak tahmin edilmesi için hazırlanan yazılım [10], patlatma etkili yer hareketi için MATLAB programlama dilinde geliştirilmiştir. Geliştirilen yazılım en büyük ivme değerine ulaşana kadar döngü yapmakta ve bu ivmeye göre zamana bağlı sonuçları elde etmektedir. BlastGM yazılımında bilgi girişleri, analiz seçenekleri ve sonuçların gösterilmesi açılır menü sistemi ile son derece kolay hale getirilerek istenen amaca ulaşılması sağlanmıştır. Sayısal sonuçlar Excel programına aktarılmakta ve ivme-zaman, hız-zaman, yerdeğiştirme-zaman, basınç-zaman grafikleri de çizdirilebilmektedir. Yazılım Türkçe, İngilizce dillerinde kullanılabilir. Birim sistemi olarak SI birim sistemi ve Amerikan birim sistemi tercih edilebilmektedir. Geliştirilen yazılıma ait bilgi girişi, analiz ve sonuç kısımlarına ait ekran görüntüleri Şekil 3-7’de görüldüğü gibidir.

$$t_p = \sqrt{1/2n} \quad (5)$$

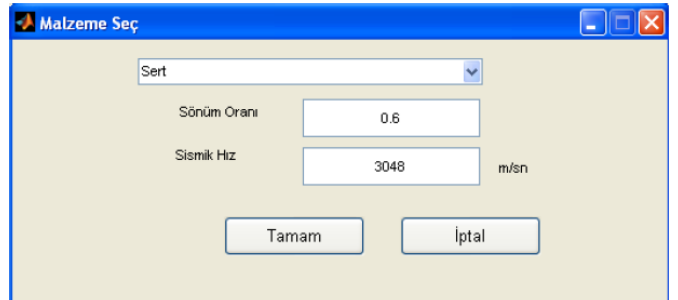
$$m = \sqrt{2ne} \quad (6)$$



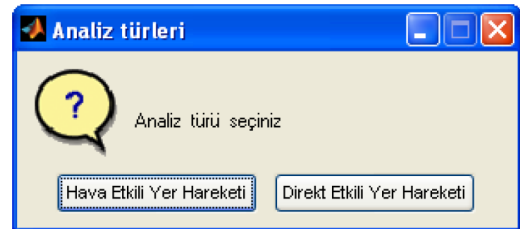
Şekil 3. BlastGM yazılımının girdi ekranı.



Şekil 4. Hava etkili yer hareketi için zemin bilgisi girdi ekranı.



Şekil 5. Direkt etkili yer hareketi için zemin bilgisi girdi ekranı.



Şekil 6. Analiz türünün seçildiği ekran.

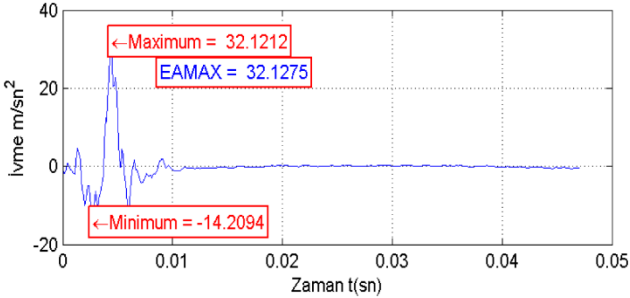
	A	B	C
1	Proje Adı	1000kg_5m	
2	Girdi Bilgileri		
3			
4	Patlama(TNT)	1000 kg	
5	Zaman	0.01 sn	
6	Zaman artışı	0.0001 sn	
7	Mesafe(R)	5 m	
8	eamax	625.5578 g	
9	Analiz	Direkt Etkili Yer Hareketi	
10			
11	Malzeme Özellikleri		
12	Sönüm Oranı	0.6	
13	Sismik Hız	3048 m/sn	
14	Zemin cinsi	Firm	
15	Çıktı Bilgileri		
16			
17	Maksimum İvme	6133.97 m/sn <sup>2</sup>	
18	Maksimum Hız	2.0584 m/sn	
19	Maksimum Yerdeğiştirme	0.0012331 m	

Şekil 7. Girdi ve çıktı bilgilerinin gösterildiği ekran.

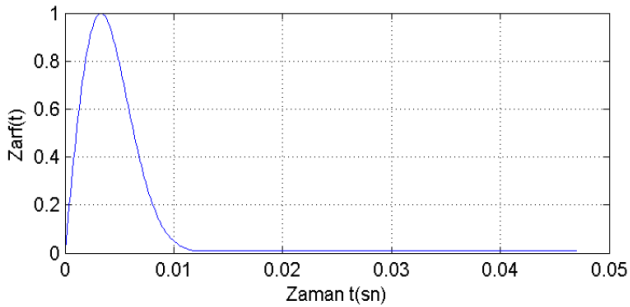
### III. SAYISAL UYGULAMALAR

Patlatma kaynaklı yer hareketlerinin yatay pik ivme değerleri ampirik formüllerden BlastGM yazılımı ile elde edilmektedir. Pik ivme değeri en büyük değer alınarak, şekil fonksiyonu yardımıyla rastgele işlem yöntemi kullanılarak zamana bağlı ivme grafikleri elde edilmektedir. 100kg patlayıcı yoğunluğu ile 10 m uzaklık için zamana bağlı ivme değerleri yazılımla çizdirilmiştir (Şekil 8,9,10,11). Yapılan deneysel çalışmalar kaya zemin için olduğundan malzeme olarak granit zemin dikkate alınmıştır.

#### A. Hava Etkili Yer Hareketi Sonuçları

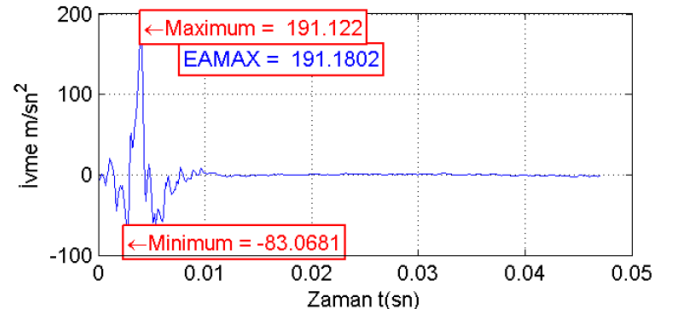


Şekil 8. 100kg patlayıcı ile 10m uzaklıkta oluşan yatay ivme-zaman değişimi

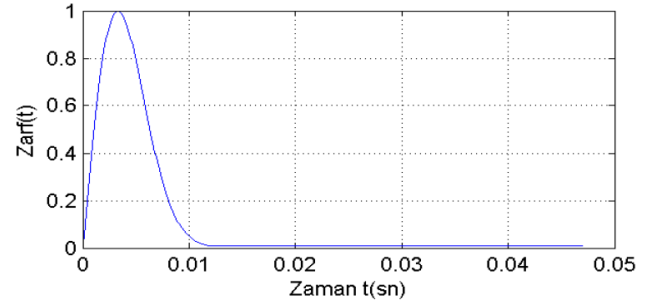


Şekil 9. 100kg patlayıcı ile 10m uzaklıkta oluşan patlatma yer hareketinin zarf fonksiyonu

#### B. Direkt Etkili Yer Hareketi Sonuçları



Şekil 10. 100kg patlayıcı ile 10m uzaklıkta oluşan yatay ivme-zaman değişimi



Şekil 11. 100kg patlayıcı ile 10m uzaklıkta oluşan patlatma yer hareketinin zarf fonksiyonu

### IV. SONUÇLAR

Yer yüzeyinde veya yer yüzeyine yakın bölgelerde meydana gelen patlatma enerjisi iki türlü yer sarsıntısı oluşturmaktadır. Bunlar hava etkili ve direkt etkili yer sarsıntısıdır. Patlatma merkezine yakın yapılarda bu iki sarsıntının etkisi görülmektedir. Bu çalışmada, her iki hareket için elde edilmiş ampirik ivme formüllerinden yararlanarak, yer hareketlerinin zamana bağlı ivme kayıtları rastgele yöntemle MATLAB programlama dilinde geliştirilen yazılım ile oluşturulmaktadır. Yapıların yakınına meydana gelen patlatmaların, çok etkili ani yer hareketlerine neden olduğu üretilen ivme değerlerinin incelenmesi ile görülmektedir. Sonuçlar Excel programında ve grafiklerde incelenebilmektedir. BlastGM yazılımı ile yapılara etkiyecek patlatma etkili yer hareketi kuvvetlerinin dinamik analizi kolaylıkla yapılabilmektedir.

### KAYNAKLAR

- [1] Amin, M., Ang, A.H.S., A non-stationary stochastic model of earthquake motion., J. Eng. Mech. Div. 94(2), 559–583,1968.
- [2] Jennings, P.C., Housner, G.W.ve Tsai, N.C., Simulated earthquake motions for design purpose, In: Proc. 4th World Conference on Earthquake Engineering, Santiago, Chile, 1, 145–160, 1969.
- [3] Unified Facilities Criteria (Ufc), Structures To Resist The Effects Of Accidental Explosions, 2008.
- [4] Lu, Y. ve Wang, Z., Characterization of structural effects from above-ground explosion using coupled numerical simulation, Computers & Structures 84(28), 1729-1742,2006.
- [5] Wu C. ve Hao H., Numerical simulation of structural response and damage to simultaneous ground shock and airblast loads, International Journal of Impact Engineering 34(3), 556–572,2007.
- [6] Wu C.ve Hao H., Modeling of simultaneous ground shock and airblast pressure on nearby structures from surface explosions, International Journal of Impact Engineering 31(6), 699-717,2005.
- [7] Wu, C., Hao, H., Lu, Y.ve Sun, S., Numerical simulation of structural responses on a sand layer to blast induced ground excitation, Computers & Structures 82 (9-10), 799-814.,2004.
- [8] Ma, H. J., Quek, S. T., Ang K. K., Soil–structure interaction effect from blast-induced horizontal and vertical ground vibration, Engineering Structures 26(12), 1661-1675.,2004.

- [9] Singh, P.K. ve Roy, M.P., Damage to surface structures due to blast vibration, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 47(6), 949-961,2010.
- [10] P. Ruiz and J. Penzien,PSEQN - Artificial generation of earthquake accelerograms, *Earthquake Engineering Research Center, Report No EERC 69-3,University of California, Berkeley, California, 1969.*
- [11] Kanasevich ER,Time sequence analysis in geophysics, *The University of Alberta Press; Edmonton, Alberta, Canada,1981.*
- [12] Özmen H.,Patlatma kaynaklı yer hareketinin modellenmesi ve yapı üzerindeki etkilerinin incelenmesi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon,2006.*
- [13] MATLAB. The MathWorks, Natick, MA,2012. [14] Köksal O. Patlatma kaynaklı yer hareketi etkisindeki ayaklı çelik su depolarının dinamik analizi, *Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun,2013*