

FARKLI ZEMİN PROFİLLERİNDE PATLATMA TİTREŞİMLERİNİN SAHA TEPKİ ANALİZİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF BLAST VIBRATIONS ON SITE RESPONSE ANALYSIS IN DIFFERENT SOIL PROFILES

Gülnisa ÖZKAN¹, Kaveh DEGHANIAN², Ali KAHRİMAN³

ÖZET

Eski zamanlardan bu yana farklı amaçlarla kullanılan patlayıcı maddeler zamanla inşaat sektöründe de kullanılmaya başlanmıştır. Yapıya kısa süreli ve birden bire etkiyen patlatma yükü dinamik bir yükür. Yapılan patlatmalarda yersarsıntısı (titreşim) ve gürültü, binaları yapısal olarak etkilerken şikayetler oluşturur. Bu etkileri minimuma indirmek için yönetmelikler parçacık hızı ve frekansını kısıtlamışlardır. Bu çalışmada patlatma titreşimlerinin zemin üzerindeki etkisi nonlineer (lineer olmayan) yöntemle basınca bağlı MKZ (Dependent Modified Kondner Zelasko) formülasyonu ile DeepSoil v7.0 programında yapılmıştır. Saha üzerinde uygulanan patlatma kaynaklı titreşimlerin titreşim ölçer cihazla ölçüldükten sonra hız-zaman değerleri yönetmeliğe uygun olarak alınmıştır. Farklı zemin profillerinin etkisini görmek amacıyla 3 adet zemin kullanılmıştır. Bu zeminlerden biri sert katmanları arasında yumuşak tabaka barındıran teorik zemin ve iki tanesi gerçek sahadan alınan sondaj verilerine göre oluşturulmuş zemindir. Sonuç olarak, derinliğe bağlı pik ivme, maksimum gerilme ve şekil değiştirme değişimleri incelenmiştir. Yumuşak zemin katmanlarında belirtilen parametrelerin değişiminin yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Patlatma Titreşimi, Saha Tepki Analizi, Nonlineer Analiz, Gerilme, Yer Değişirme

ABSTRACT

Explosives used for different purposes since ancient times have started to be used in the construction sector over time. The blasting load, which is short-term and suddenly acting on the structure, is a dynamic load. In the blastings, shaking (vibration) and noise structurally affect buildings, creating complaints. To minimise these effects, regulations have restricted particle speed and frequency. In this study, the effect of blasting vibrations on the ground was made in the DeepSoil v7.0 program with the pressure-dependent MKZ (Dependent Modified Kondner Zelasko) formulation by nonlinear method. After the blasting-induced vibrations applied on the field were measured with the vibration metre device, the acceleration-time values were taken in accordance with the regulation. 3 floors were used to see the effect of different floor profiles. One of these floors is the theoretical ground with a soft layer between the hard layers and two of them are the ground created according to the drilling data obtained from the real field. As a result, peak acceleration, maximum stress and deformation changes due to depth were examined. It was observed that the change of the parameters specified in the soft ground layers was high.

Keywords: Blasting Vibration, Site Response Analysis, Nonlinear Analysis, Stress, Strain

¹ İnşaat Mühendisi, İstanbul Aydın Üniversitesi, gulnisaozkan8@gmail.com (Sorumlu Yazar)

² Dr. Öğr. Üyesi, İstanbul Aydın Üniversitesi, kavehdeghanian@aydin.edu.tr

³ Prof. Dr., İstanbul Okan Üniversitesi, ali.kahriman@okan.edu.tr

1. GİRİŞ

Yapıların mukavemeti inşaat mühendisliğindeki en önemli konuların başında gelmektedir. Yapılar buldukları ortama göre aniden etkileyen ve kısa süreli şekil değiştirmeye sebep olan birçok dinamik yüke maruz kalmaktadır. Sürekli gelişen nüfusla paralel olarak şehirleşme ve ulaşım ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Bu doğrultuda büyük ölçekli projelerde zemin yapısına bağlı olarak patlatmaya gereksinim olmaktadır (Karakaş vd., 2015). Eski zamanlarda daha çok askeri ve savunma amaçlı olarak kullanılan patlayıcı malzemeler inşaatlarda kaya kazılarında kullanılmaya başlamıştır. Gelişen teknolojiyle birlikte patlayıcı malzemelerin üretimi ucuzlamış, kullanım teknolojisi sınırlı olan makinalı kazı gibi konvansiyonel yöntemlere göre maliyet ve süre açısından daha avantajlı bulunduğu yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır (Kahrıman,1995). Patlayıcı maddenin şiddet ve yerine göre değişen patlatma yükü deterministik bir yüküdür. Patlayıcı maddelerin kullanımı sırasında bir delikte bulunan patlayıcı maddenin patlatılması sonucu büyük bir enerji ortaya çıkar. Bu büyük enerjinin çok az bir kısmı kaya parçalanması ve ötelenmek için kullanılırken geriye kalan sönümlenmemiş enerji yersarsıntısı, gürültü, aşırı kırılma ve geri çatlaklar gibi etkileri oluşturmaktadır (Hagan, 1973). Bu nedenle patlatmalı kazı çalışmalarında kaya fırlaması, toz emisyonu, yer sarsıntısı ve gürültü gibi farklı olumsuzluklar bulunmaktadır. Patlatmadan kaynaklanan yer sarsıntılarını kısa süreli ve düzensiz zemin hareketi meydana getirir. Sıfırdan başlayarak en yüksek değerine ulaşmış giderek sönümlenen bu zemin hareketlerindeki en önemli unsur yapının sarsılma şiddetini etkileyen en yüksek parçacık hızıdır (PPV). PPV değeri önemli bir hasar göstergesi olduğundan yer sarsıntısını patlatma tasarımı, deliklerin düzeni, patlayıcı madde miktarı, ateşleme yönü ve aralığı etkilemektedir. Kaya veya zemin ortamının özelliklerinden de etkilenen yer sarsıntısının frekansı ve arazi katsayıları da hasar oluşup oluşmaması konusunda önemlidir. Çoğu zaman yerleşim birimlerine yakın olduklarından yersarsıntısı ve gürültü çevre sorunlarına yol açmaktadır. Can ve mal güvenliği, psikolojik sorunlar da göz önünde tutularak patlatma sırasında bu tür sorunların engellenmesi veya tehlike sınırlarının altında tutulması dikkate alınmalıdır. İyi bir patlatmadan beklenen en önemli özellik çevresel etkiler açısından emniyetli olmasıdır (Kahrıman,1995). Patlatma kaynaklı titreşimler sebebiyle oluşan hasarların USBM tarafından hazırlanan "Hasar Sınıflandırma Tablosu"nda sadece görünüm bozucu nitelikte olan eşik hasarda olması önemlidir. Günümüzde şehir içlerinde yaygın hale gelen patlatmalı kazı çalışmalarında yer sarsıntısı ve gürültü sebebiyle şikâyetler oluşurken binaları yapısal olarak da etkilediğinden T.C. Çevre, Şehircilik ve İklimlendirme Bakanlığı tarafından hazırlanan yönetmelikler uygulanmaktadır. Yapılan patlatmalarda bina türlerine ve frekanslara göre değişen PPV değerlerinin geçilmemesi gerekmektedir.

2. MALZEME VE METHOD

2.1. Patlatma Verilerinin Alınması

Patlatma faaliyetlerinde, patlatma anında ölçüm alınmaktadır. Yapılan patlatmalı kazı anında bu titreşim ölçer cihazlar sismik olarak yayılan patlatma dalgalarını yatay, düşey ve dikey olarak üç boyutta kaydederken cihazda bulunan mikrofon ile ortaya çıkan gürültüyü ölçer. Ölçümler sonucunda veriler bilgisayarlara aktarılarak hız ve ivme kayıtları alınır. Bu çalışmada patlatmalı temel kazısı yapılan bir sahada ölçümler yapılmış ve bu ölçüm değerlerinden sınır değerlere en yakın olan veriler patlatma verisi olarak kullanılmıştır. Yönetmelikte belirtilen beton binalar ve endüstriyel binalar işlevlerine göre sınıflandırılır: Beton yapılar şehirlerde yer alır ve endüstriyel binaların sadece endüstriyel fonksiyonlara sahip olduğu varsayılır. Çalışma için seçilen patlatma verileri, frekanslara göre sınır değerlerde seçilmiştir. Analizler sonucu oluşturulan grafiklerde "evler, tuğla ve beton gibi dayanıklı yapılar" için b1 1-10 Hz, b2 10-50 Hz ve b3 50 Hz üstündeki frekanslardaki sınır değerleri; "endüstriyel yapılar" için e1 1-10 Hz, e2 10-50 Hz ve e3 50 Hz üstündeki frekanslardaki sınır değerleri ifade etmektedir.

2.2. Zeminlerin Seçilmesi

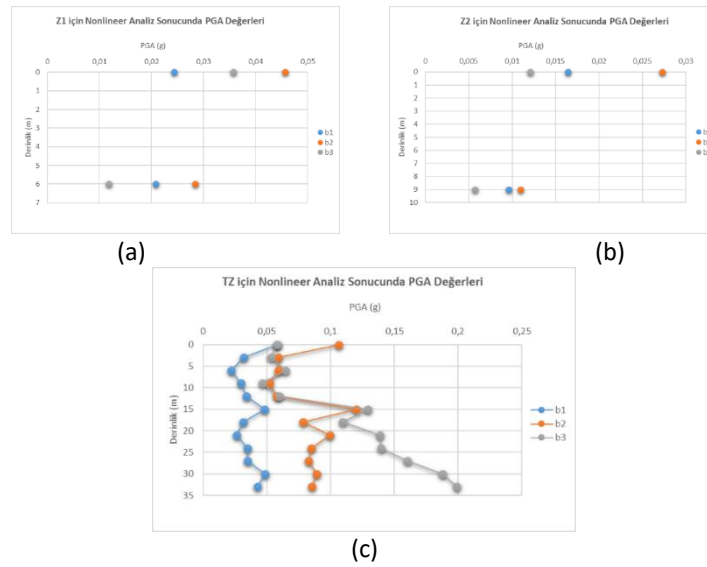
Bu çalışmada, araziden elde edilen sondaj verileri kullanılarak 2 adet, denklem kullanılarak 1 adet olmak üzere toplamda 3 adet zemin profili tanımlanmıştır. Zemin profilleri patlatma veri kayıtlarına tabi tutulmuştur. Zeminlerin patlatma kaynaklı oluşan dinamik yükleri altındaki davranış analizi, nonlineer yöntemle basınca bağlı MKZ (Dependent Modified Kondner Zelasko) formülasyonu ile tek boyutlu olarak DeepSoil v7.0 programında yapılmıştır (Hashash vd., 2020). 6 farklı patlatma verisi kullanılarak toplam 12 adet nonlineer

analiz yapılmıştır. Zemin 1(Z1) ve Zemin 2 (Z2) patlatma yapılan sahadaki “Yüzey Dalgalarının Çok Kanallı Analizinden (MASW)” alınmıştır (Özçelik ve Zan, 2020). Teorik Zemin (TZ) ise Dehghanian ve Yılmaz'dan alınan (Dehghanian, 2016) d derinliği ifade etmek üzere $V_s = 120 \times (1+d)^{0.32}$ formülü ile oluşturulmuştur. Z1 ve Z2 iki tabakadan, TZ 13 tabakadan oluşmaktadır. TZ'de iki sert katman arasına yumuşak zeminlerin etkisini inceleyebilmek için yumuşak zemin yerleştirilmiştir. Kayma gerilmeleri ve kayma şekil değiştirmeleri oluşturan dinamik yüklemeler zemin davranışını etkilemektedir. Oluşan deformasyonlar doğrusal olmayan davranışına neden olarak yapı temellerini destekleyen zemin davranışı oluşabilecek yapısal hasarı etkileyebilmektedir. Saha tepki analizleri yapılırken nonlineer analizlerde dinamik zemin parametreleri olarak kayma dalgası hızı değerlerinin yanında rijitlik ve sönüm oranı azalım eğrileri kullanılmaktadır. Analizlerde yumuşak zemin katmanı için Vucetic and Dobry, diğer katmanlarda ise Seed and Idriss (Orta Limit) kullanılmıştır.

3. ANALİZLER VE SONUÇ

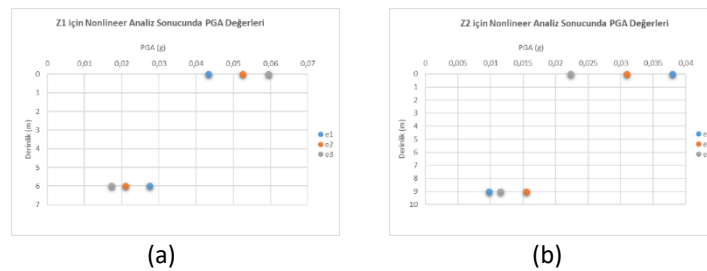
3.1. Tepe (Pik) Yer İvmesi

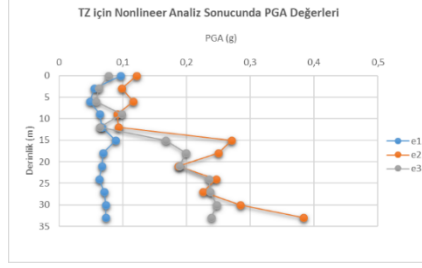
Yer sarsıntısı anında meydana gelen en büyük yer ivmesine tepe (pik) ivme (PGA) denir. Şekil 1a, 1b ve 1c'de sırasıyla sondaj zeminleri Z1, Z2 ve Teorik zemin TZ için evler, tuğla ve beton gibi dayanıklı yapılar sınır değerlerdeki patlatma yüklerinin etkisi altında PGA değişimini göstermektedir.



Şekil 1. Evler, tuğla ve beton gibi dayanıklı yapıların sınır değerlerindeki patlatma yükleri etkisi altında (a) Z1 için, (b) Z2 için, (c) TZ için PGA Değerlerinin Değişimi

Şekil 2a, 2b ve 2c'de sırasıyla sondaj zeminleri Z1, Z2 ve Teorik zemin TZ için endüstriyel yapılar sınır değerlerdeki patlatma yüklerinin etkisi altında PGA değişimini göstermektedir.





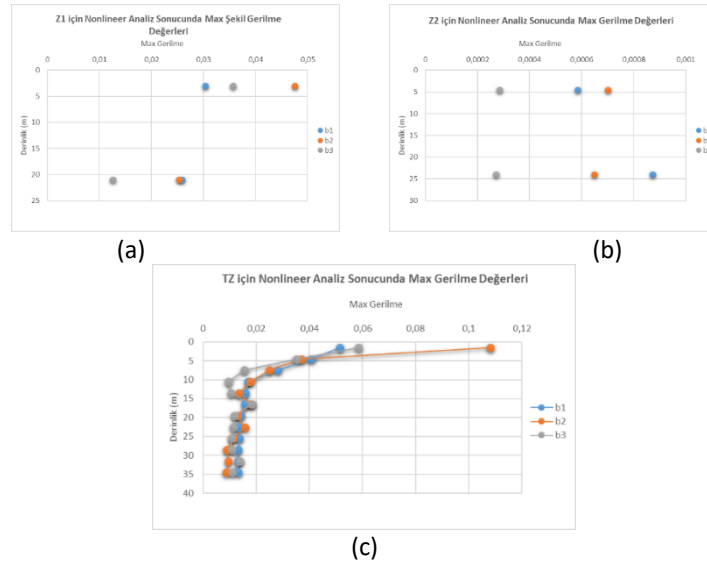
(c)

Şekil 2. Endüstriyel yapıların sınır değerlerindeki patlatma yükleri etkisi altında (a) Z1 için, (b) Z2 için, (c) TZ için PGA Değerlerinin Değişimi

PGA grafikleri incelendiğinde tüm zeminlerde uygulanan iki bina türü için sınır değerlerdeki bütün patlatma verilerine ait etkilerin altında, yüzeyde en yüksek değere sahip olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı sonucuna ulaşılmaktadır. Sondaj zeminleri olan 2 katmanlı Z1 ve Z2 zemininde derinlik arttıkça PGA azalırken Teorik zemin olan TZ zemininde 15 m derinlikte ani bir artış söz konusudur. Bunun sebebi TZ'de 15 m derinlikte bulunan yumuşak zemindir ve büyütme (Amplifikasyon) görünmektedir.

3.2. Maksimum Gerilme

Şekil 3a, 3b ve 3c'de sırasıyla sondaj zeminleri Z1, Z2 ve Teorik zemin TZ için evler, tuğla ve beton gibi dayanıklı yapılar sınır değerlerdeki patlatma yüklerinin etkisi altında maksimum gerilme değişimini göstermektedir.



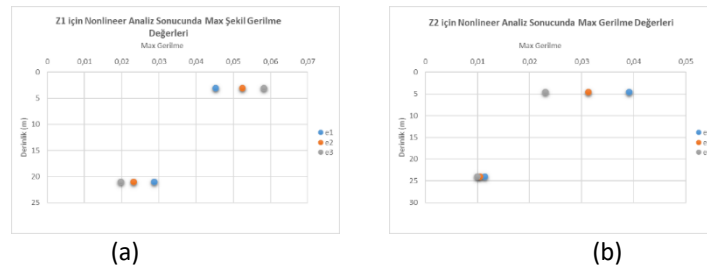
(a)

(b)

(c)

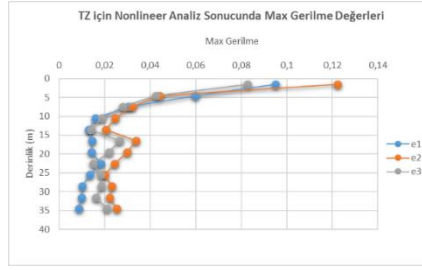
Şekil 3. Evler, tuğla ve beton gibi dayanıklı yapıların sınır değerlerindeki patlatma yükleri etkisi altında (a) Z1 için, (b) Z2 için, (c) TZ için Maksimum Gerilme Değerlerinin Değişimi

Şekil 4a, 4b ve 4c'de sırasıyla sondaj zeminleri Z1, Z2 ve Teorik zemin TZ için endüstriyel yapılar sınır değerlerdeki patlatma yüklerinin etkisi altında maksimum gerilme değişimini göstermektedir.



(a)

(b)



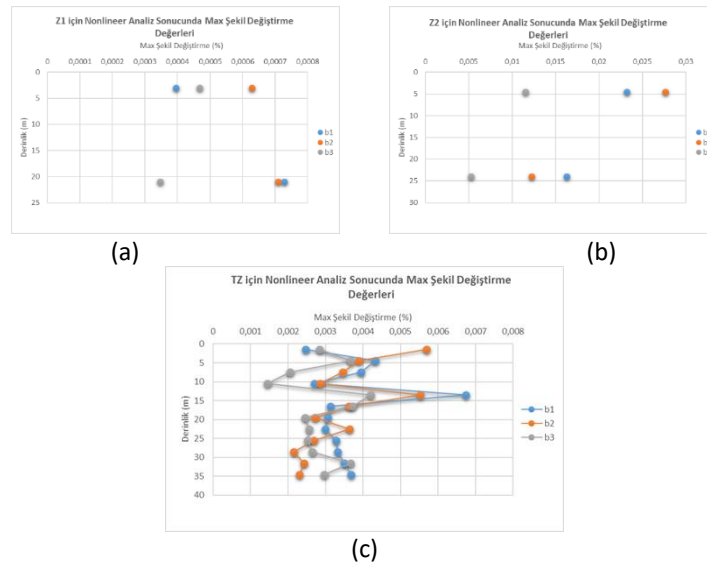
(c)

Şekil 4. Endüstriyel yapıların sınır değerlerindeki patlatma yükleri etkisi altında (a) Z1 için, (b) Z2 için, (c) TZ için Maksimum Gerilme Değerlerinin Değişimi

Grafiklere göre tüm zeminler ve patlatma verilerinde zeminin yüzeyinde maksimum gerilme değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azalarak birbirine yaklaşmaktadır. TZ zemininde 15 m derinlikte iki sert katman arasında bulunan yumuşak zeminden kaynaklanan ani bir artış vardır. Z2 zeminine etkiyen b1 verisindeki gerilme artışının sebebi kayma gerilmesinin artmasıyla alakalıdır.

3.2. Maksimum Yer Değiştirme

Şekil 5a, 5b ve 5c'de sırasıyla sondaj zeminleri Z1, Z2 ve Teorik zemin TZ için evler, tuğla ve beton gibi dayanıklı yapılar sınır değerlerdeki patlatma yüklerinin etkisi altında maksimum yer değiştirmelerin değişimini göstermektedir.



(a)

(b)

(c)

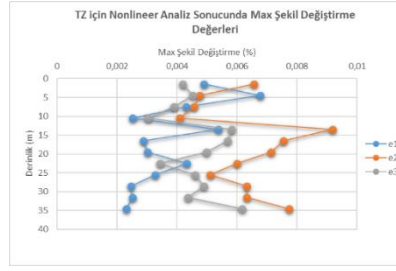
Şekil 5. Evler, tuğla ve beton gibi dayanıklı yapıların sınır değerlerindeki patlatma yükleri etkisi altında (a) Z1 için, (b) Z2 için, (c) TZ için Maksimum Yer Değiştirme Değerlerinin Değişimi

Şekil 6a, 6b ve 6c'de sırasıyla sondaj zeminleri Z1, Z2 ve Teorik zemin TZ için endüstriyel yapılar sınır değerlerdeki patlatma yüklerinin etkisi altında maksimum yer değiştirmelerin değişimini göstermektedir.



(a)

(b)



(c)

Şekil 6. Endüstriyel yapıların sınır değerlerindeki patlatma yükleri etkisi altında (a) Z1 için, (b) Z2 için, (c) TZ için Maksimum Yer Değiştirme Değerlerinin Değişimi

Grafikler incelendiğinde yer değiştirme değerlerinin yüzeyde maksimumken, zeminin sertliği ve derinliği arttıkça azaldığı gözlemlenmiştir. TZ'de 15 m derinlikteki iki sert katman arasında bulunan yumuşak katmanda ise ani bir artış görülmektedir. Maksimum gerilme ve şekil değiştirme grafiklerinde TZ'de bulunan diğer artışların sebebi ise patlatma verisinin periyodu ile zeminin hakim periyodunun aynı olmasıdır. Böylece saha tepki analizlerinin sonuçlarına göre yumuşak zemin katmanlarının patlatma dalgalarının doğal frekansını etkilediği ortaya çıkmıştır.

Çalışmada kullanılan tüm ölçümler bir sahada yapılmış ve patlatma bölgelerindeki en yakın yapılarının temellerinin yanından (zeminden) ölçüm alınmıştır. Ölçüm sonuçlarına göre seçilen patlatma verileri yönetmeliğe göre sınır değerlerde seçilmiştir. İki yapı türü için farklı frekanslarda zemine etkileyen patlatma yüklerinin etkisi altında PGA, Maksimum Gerilme ve Maksimum Yer Değiştirme değerlerinin zemin yüzeyinde en yüksek değerde olması ile zeminin sertliğinin ve derinliğinin arttıkça azalması tüm zeminlerin ortak sonucudur. Ancak TZ'de iki sert katman arasında bulunan yumuşak zemindeki ani artışlar mevcuttur. Ani artışların asıl sebebi ise yumuşak zeminlerin büyütme etkisinin yüksek olmasıdır. Bu ani artışların sebebi ise yumuşak zeminlerin büyütme etkisinin yüksek olmasıdır. Tüm saha tepki analizleri incelendiğinde yumuşak zemin katmanlarının ana kayayla olan sismik empedanstan dolayı patlatma dalgasındaki doğal frekanslarının yükselmesi nedeniyle önemli ani artışlara sebep olduğu ortaya çıkmıştır. Bu ani artışlar hasar düzeyini etkileyeceğinden göz ardı edilmemesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Karakaş, E., Kahrıman A., Çeltikçi, A. ve Bağdatlı, S. (2015), "Türkiye'deki Patlayıcı Mevzuatının İncelenmesi", 8. Delme – Patlatma Sempozyumu, İstanbul, 19 – 20 Kasım 2015.
- Hagan, T.N. (1973), "Rock Breakage by Explosives", Int. Proc. Of the National Symposium on Rock Fragmentation, Adelaide, 1-17.
- Dehghanian, K. (2016), "A Semi-empirical method for estimation of maximum seismic shear strain in imperforated ground excited by vertically propagating shear waves", Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi.
- Çevre, Şehircilik ve İklimlendirme Bakanlığı (2022), "Çevresel Gürültü Kontrol Yönetmeliği", Resmi Gazete, no.32029
- Hashash, Y.M.A., Musgrove, M.I., Harmon, J.A., İlhan, O., Xing, G., Numanoglu, O., Groholski, D.R., Phillips, C.A. ve Park, D. (2020), "DeepSoil v7.0 User Manual".
- Kahrıman, A. (1995), "Sivas Ulaş Yöresi Sölestit Cevheri ve Yankayaçları için Optimum Patlatma Koşullarının Araştırılması ve Kayaç Özellikleri ile İlişkilendirilmesi", Doktora Tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi.
- Iskind D E, Stagg M S, Kopp J W and Dowding C H 1980 Structure response and damage produced by ground vibration from surface mine blasting United States.
- Seed H B, and Idriss I M 1970 Soil moduli and damping factors for dynamic response analyses [Report No. EERC 70-10].
- Vucetic, M. Ve Dobry, R. (1991) "Effect of soil plasticity on cyclic response", Journal of Geotechnical Engineering, 89-107.
- Özçelik, M.T. ve Zan, M.O. (2022) "Üsküdar Kentsel Dönüşüm Projesi Zemin ve Temel Etüdü Raporu".