

Mavikent-Isparta Örneğinde Sismik Mikrobölgeleme Çalışmaları için Yerel Zemin Koşullarının Belirlenmesi

Ömür ÇİMEN^{1*}, Osman UYANIK², Emin ELMASDERE¹,
Kasım Armağan KORKMAZ¹, Sıddıka Nilay KESKİN¹

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü / ISPARTA

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü / ISPARTA

Alınış tarihi:05.08.2009, Kabul tarihi:14.01.2010

Özet: Sismik mikrobölgeleme çalışmaları, bir bölgede olabilecek deprem özellikleri ve olabilirliği göz önüne alınarak zemin tabakalarının davranışını ve yapıları etkileyecek deprem kuvvetlerinin inceleme bölgesi içindeki değişimini göstermektedir. Bu çalışmada, Isparta şehir merkezinin batı kısmında yer alan Mavikent yerleşim bölgesinin sismik mikrobölgeleme için geoteknik açıdan değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Toplam 17 farklı noktada sismik kırılma, 12 noktada dinamik sonda (DPT) deneyleri yapılmıştır. 4 metre derinliğinde 9 araştırma çukuru açılmıştır. Araştırma çukurlarından alınan numuneler üzerinde laboratuvar deneyleri yapılarak, zeminin fiziksel ve indeks özellikleri belirlenmiştir. Arazi deney sonuçlarından yararlanılarak, zemin doğal titreşim periyodu, zeminin deprem büyütmesi, farklı derinliklerdeki kayma dalgası hızlarının yer aldığı sismik mikro bölgeleme ve dinamik sonda darbe sayıları haritaları hazırlanmıştır. Çalışma alanının genelinde yüzeye yakın derinliklerde kayma dalgası hızı 200 m/s'den ve dinamik sonda darbe sayıları 10'dan küçük olarak elde edilmiştir. Kayma dalga hızı ile dinamik sonda darbe sayısı haritalarının birbiriyle uyumlu olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Isparta Mavikent, Sismik Kırılma, Dinamik Sonda Deneyi (DPT), Sismik Mikrobölgeleme

Investigation of Local Soil Conditions for Seismic Microzonation in Mavikent-Isparta Region

Abstract: Seismic microzonation studies show the behavior of soil layers and change of earthquake forces affecting buildings in a designated region considering the earthquake profile and possibilities. In the current study, geo-profile and soil conditions for seismic microzonation in Mavikent district located at the west part of Isparta, Turkey were investigated. Seismic refraction tests and dynamic probing tests (DPT) were carried out for 17 and 12 different locations, respectively. 4 m-depth investigation pits were excavated in 9 different locations. The physical properties and index features of subsurface were determined performing laboratory tests on the samples taken out from pits. According to field study results, seismic microzonation and dynamic probing test result maps showing soil natural period, soil amplification factor and shear waves in different depths were prepared. In the analysis results, shear wave velocity and dynamic probing test numbers were found less than 200m/s and 10 respectively. Shear wave velocity values fit with dynamic probing test result maps.

Keywords: Isparta Mavikent, Seismic Refraction, Dynamic Probing Test (DPT), Seismic Microzonation

Giriş

Sismik mikrobölgeleme, bir bölgede meydana gelebilecek deprem özellikleri dikkate alınarak zemin tabakalarının nasıl bir davranış göstereceklerinin ve yapıları etkileyecek deprem kuvvetlerinin inceleme bölgesi içinde nasıl bir değişim göstereceğinin belirlenmesidir (Ansal vd., 2001; 2003). Sismik mikrobölgeleme çalışmaları, yerel zemin koşullarını dikkate alarak sismik tehlikelerin belirlenmesinde etkin olarak kullanılmaktadır (Finn, 1991). Sismik mikrobölgeleme çalışmalarında, deprem hasarlarını en aza indirebilmek için düzenli arazi kullanımının sağlanması hedeflenmektedir. Sismik mikrobölgeleme ile deprem etkilerini, jeolojik, sismolojik ve geoteknik koşullara göre değerlendirerek ekonomik, sosyal ve teknik yönden uyumlu ve kullanılabilir bölgelerin geliştirilmesi hedeflenmektedir (Sheriff, 1982).

Sismik mikrobölgeleme çalışmaları üç aşamada düşünülebilir: İlk olarak inceleme bölgesi ve yakın civarında etkili olabilecek sismik kaynak bölgeleri kapsamlı bir şekilde tanımlanmalı, ikinci aşamada

inceleme bölgesinde jeolojik yapı ve geoteknik arazi koşulları araştırılmalıdır. Son aşamada ise ilk iki aşamada elde edilen bütün bulgular kullanılarak yapılan analizler sonucunda sismik mikrobölgeleme haritaları elde edilmektedir (Ansal vd., 2002).

Zemin özellikleri, katmanların kalınlığına, çeşidine ve özelliklerine bağlı olarak değişiklik gösterir. Bunun yanında, zemin kendi içinde de yer yer özellik değiştirebilir. Bu yüzden zemin doğal titreşim periyotları ve zemin büyütmesi gibi dinamik davranış özelliklerinin bir noktadan bir noktaya değişimlerinin belirlenmesi, depreme dayanıklı yapı tasarımında önemlidir (Ansal, 1994). Zemin büyütmesi; ana kaya derinliği, zemin tabakalarının kalınlığı, dinamik özellikleri, zemin tabakalarının yanal düzensizliği ve topoğrafik özellikler gibi yerel zemin koşullarından etkilenmektedir (Hazal ve İyisan, 2004).

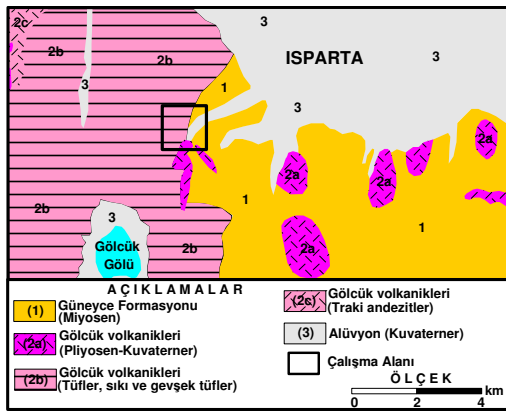
Tekrarlı yüklerin etkisinde kalan zemin tabakalarının davranışı, temel görevi yaptıkları üst yapılar açısından

önemlidir. Tekrarlı yüklemeye sonucu zemin taşıma gücündeki azalmaların ve meydana gelebilecek oturmalara önceden belirlenmesi gerekir (Ansal vd., 1995). Deprem dalgaları, zemin tabakaları içinden geçerken özelliklerinin değişmesinin yanı sıra zemin tabakalarının özelliklerini de etkileyerek, mukavemet kaybına da sebep olabilmektedirler. Bölgedeki zemin tabakalaşması ve bu tabakaları oluşturan zeminlerin tekrarlı gerilmeler altındaki özelliklerinin tanımlanması da bölgedeki deprem tasarım özelliklerini belirlerken en önemli aşamalardandır (Ansal, 1998a, b). Yurdumuzda son yıllarda çok sayıda sismik mikrobölgeleme çalışması yapılmıştır (Ansal vd., 2001; Ansal, 2002; Kurtuluş vd., 2003, Ansal vd., 2003; Kılıç vd., 2004; Orhan, 2005; Ceyhan, 2004; Ansal, 2005; Karabulut, 2005; Yağcı, 2005; Ansal vd., 2005a,b; Uyanık vd., 2006; Durmuş, 2006; Gümü, 2006; Kılıç vd., 2006a,b; Güllü vd., 2006; Ansal vd., 2007; İnce, 2007a,b; İnce vd., 2008).

Isparta için sismik mikrobölgeleme çalışmalarının ilk aşamasını oluşturacak yerel zemin koşullarının belirlenmesi amacıyla Mavikent yerleşim bölgesi seçilmiştir. Isparta yakınlarındaki önemli fayların varlığı, yapılaşmada deprem etkilerinin hassasiyetle dikkate alınmasını zorunlu kılmaktadır. Bu çalışmada Mavikent yerleşim bölgesinde zeminin özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, 17 farklı noktada sismik kırılma, 12 noktada dinamik sonda (DPT) deneyleri yapılmış ve 4 metre derinliğinde 9 araştırma çukuru açılmıştır. Farklı derinlikler için kayma (enine) dalgası hızı haritaları ve dinamik sonda darbe sayıları haritaları hazırlanmıştır. Çalışma alanı için zemin doğal titreşim periyodu ve zeminin depremi büyüme haritaları elde edilmiştir.

Çalışma Alanı ve Jeolojisi

Çalışma alanı, Akdeniz Bölgesi Göller yöresinde yer alan Isparta ili sınırlarının batısında kalmaktadır. Çalışma alanının konumu ve jeolojik yapısı Şekil 1'de verilmektedir. Şekil 1'den görüldüğü gibi çalışma alanı ve civarı yaşlıdan gence doğru, Güneyce formasyonu, Gölcük volkanikleri ve Alüvyon yer almaktadır.



Şekil 1. İnceleme sahası ve çevresinin jeoloji haritası (Gutnic vd., 1979)'dan uyarlanmıştır.

Güneyce Formasyonu

Birim filiş karakteri görünümü kırıntılı çökellerden meydana gelir. Bu birim, Dere Mahallesi çevresinde gözlenir. İstif içerisinde kumtaşı, kiltası araldanması yaygın olup yer yer konglomera, marn düzeyleri de görülür. İstifin kalınlığının 500 m civarında olduğu, Ağlasun civarlarında ise 1500 m kalınlığa ulaştığı belirtilmektedir (Yaçınkaya vd., 1986). Formasyonun tabanında İmrezi kireçtaşı ya da Yazır formasyonu olarak adlandırılan resifal kireçtaşları yer alır. Fosil kapsamı ile istifin Miyosen yaşlı olabileceği ve açık deniz içerisinde çökeldiği belirtilmektedir (Görmüş ve Özkul, 1995).

Gölcük Volkanikleri

Volkaniklerin stratigrafik konumu itibarıyla Plio-Kuvaterner yaşlı olduğu belirtilmiştir (Görmüş ve Özkul, 1995). Son yıllardaki araştırmalar yakın bir jeoloji tarihine kadar volkaniklerin etkin olduğunu göstermektedir (Platevoet vd., 2008). Volkanikler karasal ortamın ürünleridir (Kazancı ve Karaman, 1988). Gölsel bir alana yayıldığı düşünülen volkaniklerin Akdağ-Isparta arasında ve Isparta-Antalya kara yolu çevresinde alt birimlerle olan dokanak ilişkileri de açıkça karasal ortamı işaret eder (Görmüş ve Özkul, 1995; Platevoet vd., 2008). Volkanitler içindeki volkanoklastikler ile volkanitler geniş bir alanda gözlenir (Şekil 1).

Trakiandezitik volkanizmaya ait piroklastik ürünler ve pomza taşları Gölcük kraterinin çevresindeki yükseltelerin üzerine yerleşmiştir. Pomza taşları özellikle Gölcük kraterinin kuzeyinde (Isparta'ya doğru) geniş bir sahaya yayılmışlardır. Piroklastik ürünlerin en önemli kısmını pomza taşları oluşturmaktadır. Pomza taşları ile araldanmalı tüf ve tüfler yer almaktadır. Alt volkanotortul birim, pomza taşları ve üst volkanotortul birime ait malzemeler büyük ölçüde trakiandezitik volkanizma tarafından sağlanmıştır (Gedikoğlu vd., 1988; Kuşçu ve Gedikoğlu, 1990).

Alüvyon

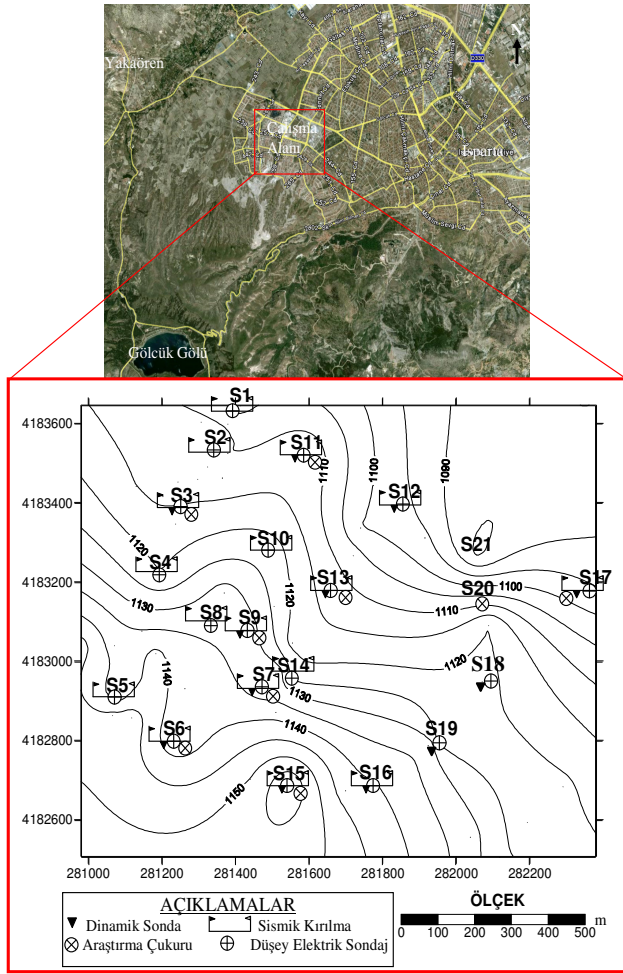
Rüzgar, sel gibi güncel etkilerle oluşan tüm temel kayaların ayrışmasıyla ova ya da eteklerde biriken bu çökeller henüz taşlaşmamış, gevşek kum, çakıl, kil boyutlarındaki malzemeler içeren birimdir. İnceleme alanında kalınlığı 15-20 m'ye ulaşır.

Pomza Taşlarının Özellikleri

Pomza taşlarının doğal birim hacim ağırlığı 7 kN/m³ ile 11.5 kN/m³ arasında değişmektedir. Pomza taşları mikroskobik olarak gri, beyazımsı gri veya sarımsı gri renktedir. Kayaç bol gözenekli olup gözeneklerin boyutları çok inceden 1-2 cm'ye kadar ulaşmaktadır. Seyrek mika pulcukları, feldspat tanecikleri çıplak gözle seçilebilmektedir. Mikroskobik incelemeye göre camsı maddeden oluştuğu anlaşılmaktadır. Camsı madde içerisinde gözeneklerin bolluğu izlenmektedir. İnceleme alanındaki pomza tabakaları Karakaya pomzası olarak adlandırılmaktadır (Gündüz vd., 1998).

Materyal ve Yöntem

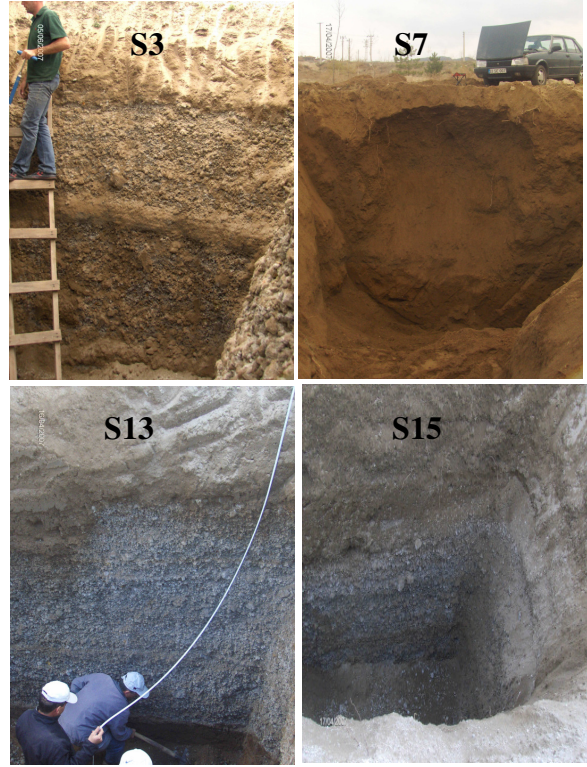
Bu çalışmada Isparta ili Mavikent yerleşim bölgesinin sismik mikrobölgeleme çalışmalarının yapılması ve yerel zemin koşullarının belirlenebilmesi amacı ile 4 m derinliğindeki zemini tanımlamak için araştırma çukurları açılmış ve daha derin tabakalar hakkında (20-30 m) bilgi toplayabilmek için 12 adet dinamik sonda deneyi ve 17 adet sismik kırılma ölçümleri yapılmıştır. Çalışma alanının konumu ve deney yapılan noktaların dağılımı Şekil 2’de görülmektedir.



Şekil 2. Ölçüm Noktaları Lokasyon Haritası (Elmasdere, 2008’den düzenlenmiştir)

Araştırma çukurlarından alınan örselenmiş ve örselenmemiş numuneler üzerinde sınıflandırma deneyleri yapılarak, doğal su muhtevası, doğal ve dane birim hacim ağırlık değerleri belirlenmiştir. Çalışma kapsamında 9 araştırma çukuru açılmış, bu araştırma çukurlarından örnek olarak 4 araştırma çukurunda çekilen resimler Şekil 3’de verilmiştir.

Çalışma bölgesinde yeraltı zemininin sismik özelliklerini saptamak amacıyla profil uzunluğu 60 m olan 17 profilde çift taraflı atışla sismik enine ve boyuna dalga hızlarının ölçümü yapılmıştır. Bu profillerde jeofon arası 5 m ve ofset 2.5 m seçilmiştir. Boyuna dalgalar elde edilirken düşey jeofonlar, enine dalgalar elde edilirken yatay jeofonlar kullanılmıştır.



Şekil 3. S3, S7, S13 ve S15 Araştırma Çukurlarının Zemin Profilleri (Elmasdere, 2008)

Boyuna (P) ve enine (S) dalga hızlarının duyarlı hesaplanmasını sağlamak amacıyla sinyal biriktirme özelliği bulunan Geometrics Smartseis modeli 12 kanallı ve sinyal büyütme sismik cihazı kullanılmıştır. Enerji kaynağı olarak, P dalgası için balyoz ile koni, S dalgası için 180 cm x 20 cm x 30 cm boyutlarında bir kalas ve balyoz kullanılmıştır. S dalgasını düzgün elde edebilmek için kaynak olarak kullanılan kalas ile zemin arasında teması sağlamak amacı ile kalasın üzerine ağırlık olarak traktör çıkarılmıştır. Kullanılan enerji kaynakları ile oluşturulan P ve S dalgaları, yeraltı katmanları içerisinde yayılarak doğrudan ve kırılarak gelen dalgaların ilk kırılma varış zamanları uzaklığa bağlı olarak grafiklenmiş ve Seisimager Programında (Geometrics, 2003) değerlendirilerek boyuna ve enine (kayma) dalgası hızları belirlenmiştir.

Dinamik sonda deneyleri ile 35.7 mm çapındaki konik uç, 20 kg ağırlığındaki tokmağın 50 cm yükseklikten düşmesi ile zemine çakılmıştır. Tijin her 10 cm ilerlemesi için gerekli darbe sayısı, N_{10} olarak kaydedilmiştir. Dinamik sonda ile ilerleme derinlikleri yüzeyden 3.5 m ile 14 m arasında değişmektedir. 1 m boyundaki tijler ilerleme sağlandıkça vidalarla birbirine bağlanmaktadır.

Araştırma çukurlarından alınan zemin numuneleri üzerinde laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Bu kapsamda, doğal su muhtevası, doğal birim hacim ağırlık değerleri belirlenmiştir. Pknometre deneyleri yapılarak dane birim hacim ağırlıkları tespit edilmiştir. Elek analizi ve kıvam limitleri deneyleri yapılarak Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma sistemine göre zemin sınıfları belirlenmiştir. Pomza tabakalarının elek analizleri yapılarak dane boyutu dağılımları elde edilmiştir.

Bulgular

İnceleme alanında yer alan pomzanın konumunu (Pomza, kum, silt araldanmasını) ortaya çıkarmak ve yeraltı yapısının derinliklerine göre sıklık dereceleri farklı bölgelerin belirlenmesi amacıyla sığ derinlikler için sismik enine (kayma) dalga hız haritaları yapılmıştır. Buna ek olarak, sismik hızlardan hesaplanan zeminin deprem hasarını büyütme haritası, zemin doğal titreşim periyodu haritası ve dinamik sonda deneylerinden elde edilen uç direnç değerlerine bağlı haritalar hazırlanmıştır.

Arazi deney sonuçlarının değerlendirilmesi

Yapılan sismik incelemeler sonucunda zeminin iki ayrı sıklıkta tabakalardan oluştuğu ortaya konulmuştur. Bunlar, gevşek ve nispeten sıkışmış tabakalar olarak ayrılmış ve incelenmiştir. Üstte yer alan gevşek sıklıktaki tabakanın kalınlığı 2-10 m arasında ve kayma (V_s) dalga hızları 148 m/s ile 251 m/s arasında değişmektedir. Bu tabakanın ortalama V_s hızı 190 m/s olarak belirlenmiştir. Aynı tabakanın boyuna (V_p) dalga hızları 297 m/s ile 461 m/s arasında olup, ortalama V_p hızı 314 m/s olarak bulunmuştur. Dinamik sonda deney sonuçlarına göre; gevşek tabakada yer alan kumlu siltli tabakaların N_{10} değeri 10' dan küçük, pomza tabakalarının N_{10} değeri ise 10-25 arasındadır.

Gevşek sıklıkta olan tabakanın altında bulunan nispeten sıkışmış tabakanın kalınlığı 10-20 m. arasında değişmektedir. Bu tabakanın V_s 'i 234 m/s ile 354 m/s arasında değişmektedir. Ortalama V_s 268 m/s olarak belirlenmiştir. V_p değeri ise 394 m/s ile 836 m/s arasında değişmek olup ortalama V_p 503 m/s olarak bulunmuştur. Çalışma alanında yapılan sismik ölçülerden elde edilen sismik hızlardan, üstte bulunan gevşek sıklıktaki zemin için ortalama yoğunluk $\gamma = 16.5 \text{ kN/m}^3$ ve bu tabakanın altında olan nispeten sıkışmış tabakanın ortalama yoğunluğu $\gamma = 16.9 \text{ kN/m}^3$ olarak bulunmuştur. Dinamik sonda deney sonuçlarına göre; nispeten sıkı tabakada yer alan kumlu siltli tabakaların N_{10} değeri 10-15, pomza tabakalarının N_{10} değeri ise 20-35 arasındadır.

Laboratuvar deney sonuçlarının değerlendirilmesi

Pomza tabakalarının doğal su muhtevaları %12-35, doğal birim hacim ağırlıkları ise $7.8-11.6 \text{ kN/m}^3$ arasında değişmektedir. Pomza tabakalarının ortalama dane çapının 0.9-25 mm arasında, efektif dane çapının 0.01-5 mm arasında değiştiği tespit edilmiştir. Pomza tabakalarının dane birim hacim ağırlığı $10.4-18.5 \text{ kN/m}^3$ arasında değişmektedir (Çizelge 1).

Siltli kum tabakalarının doğal su muhtevaları %10-25, doğal birim hacim ağırlıkları ise $15.0-17.6 \text{ kN/m}^3$ olarak elde edilmiştir. Siltli kum tabakalarının ortalama dane çapı 0.15-1.5 mm arasında, efektif dane çapı 0.005-0.06 mm arasında ve dane birim hacim ağırlığı da $25.8-26.9 \text{ kN/m}^3$ arasında değişmektedir (Çizelge 1).

Kayma Dalga Hızı ve Dinamik Penetrasyon Darbe Sayıları Haritaları

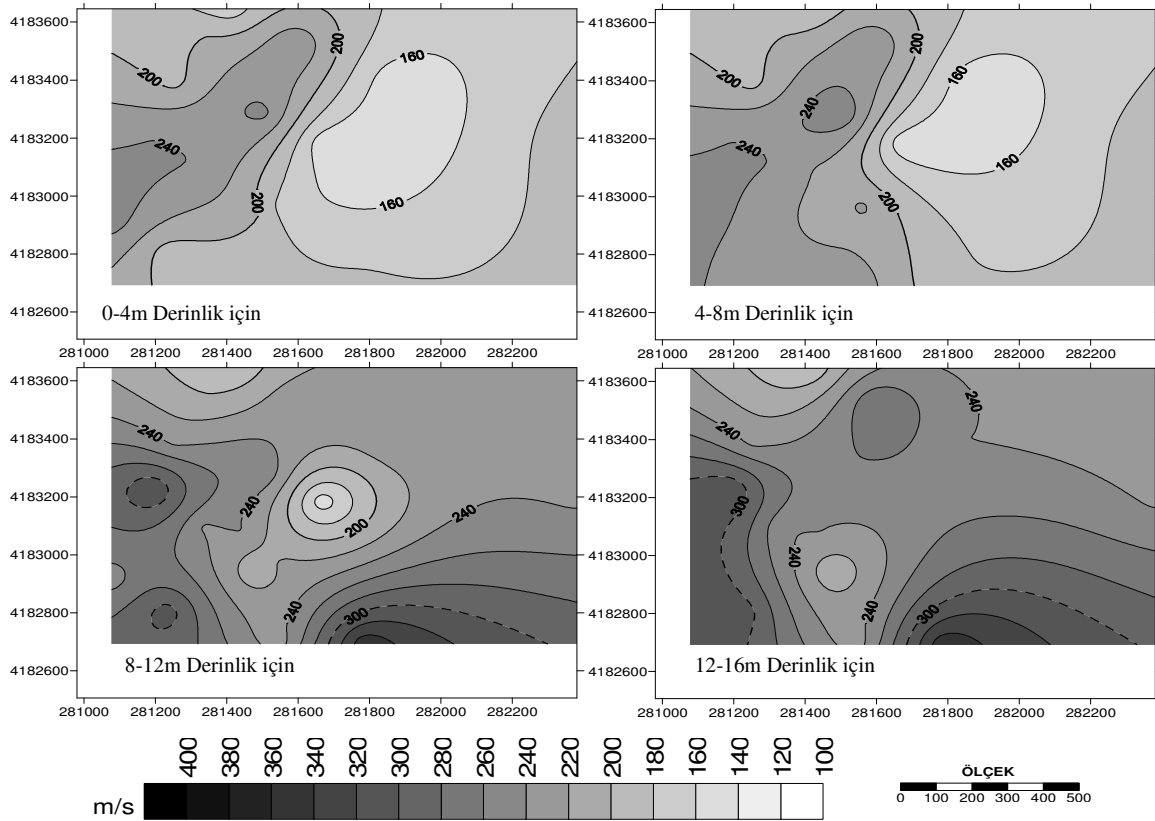
Mavikent yerleşim bölgesindeki araştırma alanında yapılan çalışmalardan elde edilen sismik enine dalga hızlarından (V_s) yararlanılarak inceleme bölgesindeki çeşitli derinlik kademelerindeki zeminden elde edilen ortalama V_s değerlerine göre hazırlanan sismik enine (kayma) dalga hızı haritaları Şekil 4'de verilmektedir.

0-4 m derinlik için Şekil 4'de verilen sismik kayma dalga hızı haritasına göre kayma dalga hızları 140 m/s-240 m/s arasındadır. NEHRP (1997) ve Türkiye Deprem Yönetmeliği (1998) şartlarına göre kayma dalga hızı 200m/s'den küçük olan zeminler çok zayıf dayanımlı zeminlerdir. Bu seviyeye yerleştirilecek temellerde taşıma gücü ve oturma kriterleri daha detaylı incelenmelidir. Şekil 4'de verilen hız dağılım haritasında, 4-8 m derinlikleri arasındaki sismik kayma dalga hızının (V_s) 200-250 m/s arasında kalan alanların zayıf dayanımlı zeminlerden ve 8-12 m derinlikleri arasındaki sismik kayma dalga hızının 240-300 m/s arasında değiştiği alanlarda orta dayanıma yakın zeminlerden oluştuğu görülmektedir. 12-16 m derinlik için Şekil 4'de verilen sismik kayma dalga hızı haritasına göre önceki haritalardan farklı olarak bu haritada $V_s=320-340 \text{ m/s}$ civarındaki hızlar az da olsa görülmektedir. Bu hızlar haritada gösterilen araştırma bölgesinin güneydoğusuna ve güneybatısına rastlamaktadır. Bu kısımlar orta dayanıma sahip zeminlerin yerlerini belirtmektedir (Türkiye Deprem Yönetmeliği, 1998). Derinlik arttıkça ortalama kayma dalga hızının arttığı, dolayısıyla zemin tabakalarının sıklığının ve dayanımının arttığı görülmektedir.

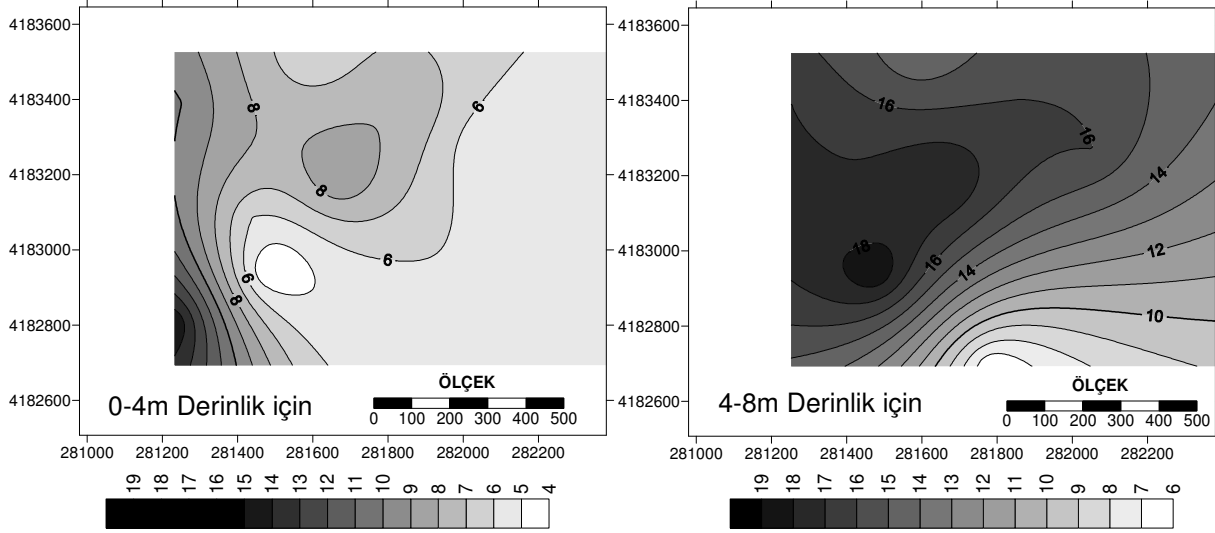
Mavikent yerleşim bölgesindeki araştırma alanında yapılan dinamik sonda deney sonuçları değerlendirilerek 0-4 m ve 4-8 m derinlikler için ortalama darbe sayıları belirlenmiş ve haritalanmıştır (Şekil 5). 0-4 m derinlik için ortalama N_{10} değerleri 4-16, 4-8 m derinlik için ortalama N_{10} değerleri 6-19 arasında değişmektedir. Şekil 4'deki 0-4 m ve 4-8 m derinlik için V_s haritaları ile Şekil 5'deki aynı derinliklere ait ortalama N_{10} haritalarının uyumlu olduğu görülmektedir.

Çizelge 1. Laboratuvar deney sonuçları (Elmasdere, 2008)

Numune No	Yüzeiden Derinlik (m)	Çakıl (%)	Kum (%)	Silt+ Kil (%)	D ₁₀ (mm)	D ₅₀ (mm)	γ_n (kN/m ³)	W _n (%)	γ_s (kN/m ³)	Zemin Cinsi
S3	1.50	-	-	-	0.075	0.90	9.2	14	11.0	Pomza
S3	2.00	-	-	-	5.00	18.00	8.5	24	10.4	Pomza
S3	3.50	-	-	-	3.00	15.00	11.6	28	11.2	Pomza
S6	1.00	16	61	23	0.02	1.50	15.0	10	26.4	SM
S6	1.50	-	-	-	0.01	1.20	11.2	14	18.0	Pomza
S6	2.00	-	-	-	0.04	1.00	12.0	12	18.5	Pomza
S6	2.50	-	-	-	5.00	25.00	9.0	18	17.0	Pomza
S6	3.50	-	-	-	0.09	1.00	9.8	12	16.7	Pomza
S6	3.70	-	-	-	0.3	7.50	8.3	19	10.5	Pomza
S7	2.50	13	66	21	0.003	0.3	16.4	14	26.8	SM
S7	2.80	21	75	4	0.15	1.2	15.6	10	26.5	SP
S7	3.50	12	8	80	0.002	0.2	16.2	18	26.4	ML
S9	3.50	13	74	13	0.004	0.28	16.6	20	26.5	SM
S9	3.80	12	62	26	0.06	0.50	15.3	13	26.0	SM
S12	2.00	18	68	14	0.05	0.50	14.7	7	26.9	SM
S12	3.50	14	60	26	0.006	0.35	16.4	5	26.2	SM
S12	5.15	8	56	36	0.003	0.15	13.3	15	26.0	SM
S13	1.15	15	62	23	0.02	0.35	14.8	16	25.8	SM
S13	2.50	-	-	-	3.00	20.00	7.8	25	12.2	Pomza
S13	3.70	7	55	38	0.0005	0.20	14.9	18	26.7	SM
S15	2.00	18	66	16	0.045	0.40	15.8	13	26.5	SM
S15	4.50	-	-	-	4.00	25.00	8.6	35	12.3	Pomza
S17	2.00	9	56	35	0.0015	0.18	17.6	25	25.4	SM
S17	4.00	-	-	-	4.00	18.00	8.4	32	12.5	Pomza
S20	3.30	17	73	10	0.06	0.70	16.3	10	26.7	SP-SM
S20	4.50	12	62	26	0.005	0.30	15.4	12	26.3	SM



Şekil 4. Farklı Derinlikler için Kayma Dalga Hız (V_s) Haritaları



Şekil 5. Farklı Derinlikler için Ortalama Dinamik Sonda Darbe Sayısı (N_{10}) Haritaları

Zemin Doğal Titreşim Periyodu ve Zeminin Deprem Hasarını Büyütme Haritası

Depremler esnasında zeminin doğal titreşim periyotlarının mikrotremor ve mikro-sismik titreşimlerden elde edilen doğal titreşim periyotları ile çok benzer olduğu belirtilmiştir (Kanai, 1965; Uyanık, 2002). Bu durumda mikro sismik çalışmalarla elde edilen zemin doğal titreşim periyotları ile depremin zeminde oluşturacağı doğal periyotlar hakkında önceden bilgi edinilebilir. Yukarıda açıklanan sonuçlardan hareketle zemin doğal titreşim periyodu (T_0) genel olarak,

$$T_0 = 4H/V_s(30) \quad (1)$$

bağıntısından elde edilebilir (Kanai, 1965). Burada, $V_s(30)$ 30 m derinlik içerisindeki ortalama kayma dalga hızı (m/s) ve H (m) tabaka kalınlığıdır.

Araştırma bölgesi için hazırlanan zemin doğal titreşim periyodu haritası Surfer programı (Golden Software inc., 2002) kullanılarak çizilmiştir. Bu harita Şekil 6a'da verilmektedir. Zemin doğal titreşim periyodu genel olarak 0.42-0.67s arasında değişmektedir.

Zemin tabakalarının yüzey kesimlerinde elde edilen kayma dalgası hızının, deprem anında zeminlerde oluşabilecek zemin büyütme (hasar şiddet artım) seviyelerinin belirlenmesi açısından oldukça önemli bir zemin özelliği olduğu bilinmektedir (Anonim, 1993; Anonim, 1999; Uyanık vd., 2006).

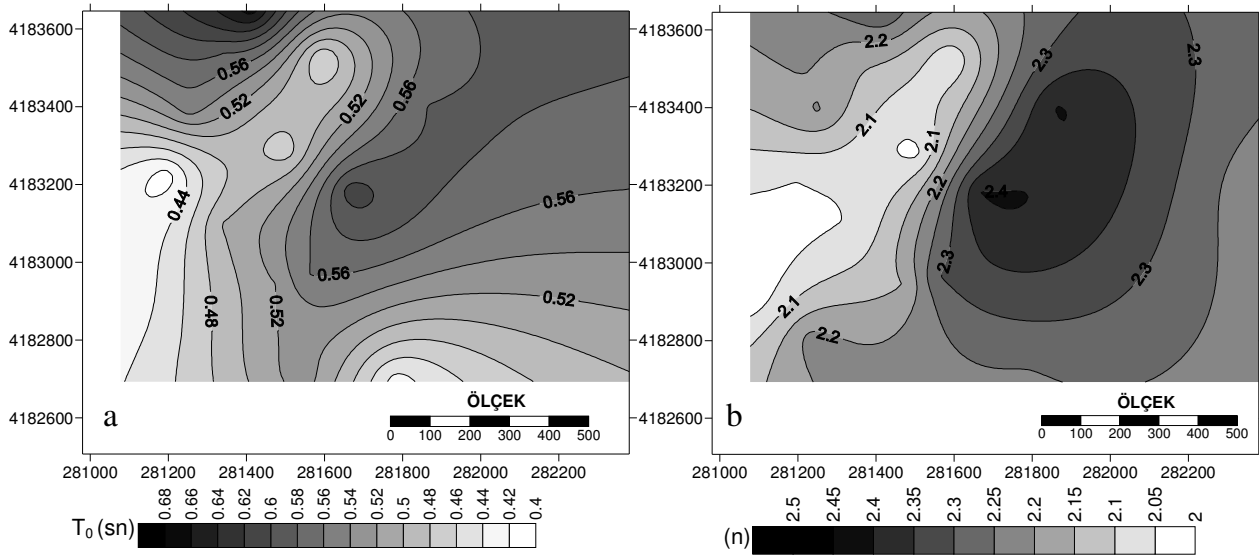
Literatürde konu ile ilgili farklı hesaplamalar önerilmiştir (Medvedev, 1965; Borcherdt ve Gibbs, 1976; Shima, 1978; Midorikawa, 1987; Borcherdt vd., 1991; İyisan ve Ansal, 1998).

Deprem bölgelerinde yapılan çok sayıda araştırmalar neticesinde, yüzeydeki bazı zemin cinslerinin deprem şiddetini ve dolayısıyla yapıdaki hasarı artırdığı tespit edilmiş ve zeminler relatif şiddet artışlarına göre sınıflandırılmıştır (Medvedev, 1965). Bu çalışmada, Medvedev (1965), tarafından önerilen, zeminlerin sismik empedansı ile şiddet artış değerleri arasında aşağıda verilen logaritmik bağıntı kullanılarak zemin büyütmesi elde edilmiştir.

$$n = 1,67 \log \left[\frac{V_{s0} \cdot \gamma_0}{V_{s2} \cdot \gamma_2} \right] \quad (2)$$

Bu ifadede 1.67 sabit katsayısı zemin cinsleri içerisinde en çok rastlanan zemin cinsindeki şiddet artışı değerlerinin ortalamasıdır. γ_0 ve V_{s0} ana kayaya ait değerler ($\gamma_0=27 \text{ kN/m}^3$, $V_{s0}=2500\text{m/s}$) γ_2 ve V_{s2} birinci tabakanın değerleridir (Uyanık vd., 2006).

Mavikent bölgesindeki araştırma alanında yapılan sismik çalışmalardan yararlanılarak elde edilen sonuçlara göre inceleme bölgesi için hazırlanan zemin büyütme haritası Şekil 6b'de verilmektedir. Zeminin büyütme (hasar şiddet artım) değeri Medvedev (1965) bağıntısı ile sismik empedanstan yararlanılarak hesaplanmıştır. Haritaya hakim olan zemin büyütme değerleri 2-2.4 arasındadır.



Şekil 6. a) Zemin Doğal Titreşim Periyodu (T_0) ve b) Zemin Hasar Şiddet Artım (n) Haritaları

Sonuçlar

Yapılan çalışmalar sonucunda, bölgenin zemin profilinin siltli kum ve pomza tabakalarının farklı kalınlıklarda yerleşmesi ile oluştuğu ve pomza tabakalarının dinamik sonda darbe sayılarının (N_{10}) 10-27 arasında değiştiği, siltli kum tabakalarında ise bu değerlerin 10'dan küçük olduğu belirlenmiştir. Kayma dalgası haritalarından ise derinlere inildikçe kayma dalgası hızlarının arttığı tespit edilmiştir. 0-4 m derinlik için elde edilen kayma dalgası haritasına göre; S7, S12, S13, S14, S16, S20 ve S21 ile gösterilen deney noktalarının kayma dalgası hızı 200 m/s'den az olan alanda kaldığı belirlenmiştir. Bu alanlar zayıf dayanımlı zeminler olarak belirlenmiştir.

Zemin doğal titreşim periyodu 0.4-0.67 s arasında elde edilmiştir. Zemin hasar şiddet haritasında hakim olan sismik şiddet artışı değerleri 2-2.4 değerleri arasında belirlenmiştir. Elde edilen bu değerlerin parsel bazında çalışmalara yön vereceği ancak parsel bazında çalışmalardan elde edilecek olan sonuçların projelendirmede kullanılması gerekliliği unutulmamalıdır.

Yapılan bu çalışmada inceleme alanının zemin özelliklerinin ve yerel zemin koşullarının belirlenmesi ile deprem senaryosu çalışmalarının ilk aşaması gerçekleştirilmiştir. Bu açıdan yerleşim alanları hızla genişleyen Isparta bölgesinde bu çalışmanın ileriye yönelik araştırmalara yön vereceği düşünülmektedir.

Kaynaklar

- Ansal A. 2002, Seismic Microzonation Methodology, Proc. of 12th European Conf. On Earthquake Engineering, Paper No. 830, London, UK.
- Ansal A. 2005, İstanbul'da Mikrobölgeleme, 3. İstanbul ve Deprem Sempozyumu, 58-72.

Ansal, A.M., İyisan, R., Güllü, H. 2001. Microtremor Measurements for the Microzonation of Dinar. Pure and Applied Geophysics, 158, 2525-2541.

Ansal, A., Erdik, M., Kurtuluş, A., Erken, A., Şeşetyan, K., Biyahı, B. 2002, Part D. State-of-art report review of current literature on seismic microzonation, Project MERM Microzonation for Earthquake Risk Mitigation, Kandili Observatory and Earthquake Research Institute, Bogazici University, İstanbul, Turkey.

Ansal, A., Springman, S., Studer, J., Demirbaş, E., Önalp, A., Erdik, M., Giardini, D., Şeşetyan, K., Demircioğlu, M., Akman, H., Fah, D., Christen, A., Laue, J., Buchheister, J., Çetin, Ö., Siyahi, B., Fahjan, Y., Gülkan, P., Bakır, S., Lestuzzi, P., Elmas, M., Köksal, D., Gökçe, O. 2003, Adapazarı ve Gölcük İçin Mikrobölgeleme Çalışmaları, Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 1-14.

Ansal A., Erdik, M., Eyidoğan, H., Özaydın, K., Yıldırım, M., Siyahi, B. 2005a, Mikrobölgeleme Rapor ve Haritalarının Yapılması İçin Özel Teknik Şartname, İstanbul Büyükşehir Belediyesi.

Ansal, A., Özaydın, K., Erdik, M., Yıldırım, Y., Kılıç, H., Adatepe, Ş., Özener, P.T., Tonaroglu, M., Şeşetyan, K., Demircioğlu, M. 2005b, Seismic Microzonation For Urban Planning and Vulnerability Assessment, Proceedings of the International Symposium of Earthquake Eng. (ISEE 2005), Awaji Island, Kobe, Japonya.

Ansal, A., Tönük, G., Kurtuluş, A. 2007, Yersarsıntısı Şiddetine Göre Mikrobölgeleme ve Sismik Tehlike Senaryoları, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 139-156.

- Anonim, 1993. Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards. ISSMFE, the Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineers, Tokyo.
- Anonim, 1999. İzmir Deprem Senaryosu <http://www.izmir.bel.tr/izmirdeprem/izmirrapor.htm>. (Erişim tarihi: 02/01/2008)
- Ansal, A. 1994. Effects of Geotechnical Factors and Behaviour of Soil Layers During Earthquakes. State-of-the-Art Lecture, Proc. of 10th European Conference on Earthquake Engineering, Wien, Austria, 1, 467-476.
- Ansal, A.M., Yıldırım, H., Erken, A. 1995. Cyclic Stress-Strain-Pore Pressure Behaviour of Soils. Proc. of Int. Symposium on 70 Years of Soil Mechanics, İstanbul, 2, 43-71.
- Ansal, A. 1998a. the Effect of Local Soil Conditions in Earthquake Characteristics. Proc. Int. Sem. On Natural Disaster Reduction for Roads in Mediterranean Countries, İstanbul, 221-226.
- Ansal, A. 1998b. Variability of Source and Site Factors in Seismic Microzonation Studies. Proc. Japan-UK Risk Forum, Workshop on Implications of Recent Earthquakes on Seismic Risk, Tokyo Inst. of Technology, 37-45.
- Borcherdt, R.D. ve Gibbs, J.F. 1976. Effect of Local Geological Conditions in the San Francisco Bay Region on Ground Motions and the Intensities of the 1906 Earthquake. Bull. Seism. Soc. Am., 66, 467-500.
- Borcherdt, R.D., Watworth, C.M., Janssen, A., Fumal, T., Gibbs, J.F. 1991. Methodology for Predictive GIS Mapping of Special Study Zones for Strong Ground Shaking in the San Francisco Bay Region. Proc. 4th Inter. Conf. On Seismic Zonation, 3, 545-552.
- Ceyhan, U. 2004. Büyükçekmece İlçesinde Kayma Dalgası Hızı Kullanılarak Mikrobölgeleme Çalışmaları. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 160 s, İstanbul.
- Durmuş, E. 2006. Konak (İzmir) İlçesi Zeminlerinin Geoteknik Özellikleri ve Davranış Analizleri. Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 120 s, Manisa.
- Elmasdere, E. 2008, Isparta Mavikent Yerleşim Bölgesinin Sismik Mikrobölgelemesi ve Değerlendirilmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 108s.
- Finn, W.D.L. 1991. Geotechnical Engineering Aspect of Microzonation. Proc. Fourth International Conference on Seismic Zonation, Vol. 1, pp. 199-259.
- Gedikoğlu, A., Kuşçu, M., Türker, F. 1988. Gölçük Yöresi Pomza Yataklarının Ekonomik Özellikleri. Akdeniz Üniversitesi Isparta Mühendislik Fakültesi Dergisi, 4, 432-449.
- Geometrics, 2003, SeisImager/2D Refraction Modeling, Processing and Interpretation Software. 2190 Fortune Drive, San Jose, California 95131 USA (computer program manual).
- Golden Software inc. 2002, Surfer (R) version 8.0, Golden Software inc., 809 14th Street CO 80401-1866 USA (computer program manual).
- Görmüş, M., ve Özkul, M., 1995. Gönen-Atabey (Isparta) ve Ağlasun (Burdur) Arasındaki Bölgenin Stratigrafisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 1, 43-64.
- Gutnic, M., Monod, O., Poisson, A., Dumont, J.F. 1979. Geologie Des Taurides Occidentales (Turquie). Mem. Soc. Geol. France, 112-137.
- Güllü, H., Ansal, A., İyisan, R. 2006, Gaziantep Bölgesi için Coğrafi Bilgi Sistemi ile Sismik Tehlike Modeli, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği, Onbirinci Ulusal Kongresi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Gümüş, S. 2006. Jeofizik Yöntemlerle Avcılar Bölgesinin Zemin Özelliklerinin İncelenmesi. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 225 s, İstanbul.
- Gündüz, L., Sarıışık, A., Tozaçan, B., Davraz, M., Uğur, İ., Çankıran, O.1998. Pomza Teknolojisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Mimarlık Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, Cilt-1, 285s, Isparta.
- Hazal, E., İyisan, R. 2004. Yerel Zemin Koşullarının Zemin Büyütmesine Etki; Bir ve İki Boyutlu Davranış. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi, İTÜ, İstanbul, 343-352.
- İnce, G.Ç. 2007a, Tarihi Yarımada (İstanbul)'nın Sıvılaşma ve Şev Stabilitesi Potansiyeli, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 155-161.
- İnce, G.Ç. 2007b, Tarihi Yarımada (İstanbul)'nın Yerel Zemin Koşullarının Büyütme Özellikleri ile Jeolojik-Geoteknik Yapısının Karşılaştırılması, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 163-172.
- İnce, G.Ç. Yıldırım, M., Özaydın, K., Özener, P.T. 2008, Seismic Microzonation of the Historic Peninsula of İstanbul, Bull. Eng. Geol. Environ., 67, 41-51.
- İyisan, R. ve Ansal, A.M. 1998. Yerel Zemin Koşullarının Mikrotremör ile Belirlenmesi. 7.

- Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Kongresi, 2, 542-551, İstanbul.
- Kanai, K. 1965. Semi Empirical Formula for the Seismic Characteristic of the Ground. Bull. Earthq. Res. Ins., Vol.35, Part 2.
- Karabulut, S. 2005. Büyükçekmece İlçesinde Mikrotremor Verileriyle Mikrobölgeleme Çalışmaları. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 75 s, İstanbul.
- Kazancı, N., Karaman, M.E. 1988.Gölcük (Isparta) Pliyosen Volkanoklastiklerinin Sedimanter Özellikleri ve Depolanma Mekanizmaları, Akdeniz Üniversitesi Isparta Mühendislik Fakültesi Dergisi, 4, 16-35.
- Kılıç, H., Adatepe, Ş., Özener, P.T., Yıldırım, M., Özaydın, K. 2004. Küçükçekmece-Sefaköy Bölgelerinin Yamaç Kayması Tehlikesine Göre Sismik Mikro-Bölgeleme. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi, İTÜ, İstanbul, 517-526.
- Kılıç, H., Özener, P.T., Ansal, A., Yıldırım, M., Özaydın, K., Adatepe, Ş. 2006a. Microzonation of Zeytinburnu region with respect to soil amplification: A case study, Engineering Geology, 86, 238-255.
- Kılıç, H., Demir, H., Özener, P.T., Yıldırım, M., 2006b, Küçükçekmece-Halkalı yerleşim bölgesinin zemin büyütmelerine göre mikrobölgeleme, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği, Onbirinci Ulusal Kongresi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Kurtuluş, C., Bozkurt, A., Aşçı, M. 2003. Kocaeli-İzmit İlçesi Bahçecik Beldesi ve Civarının Yermühendislik Özelliklerinin Jeolojik Gözlemler, Jeofizik Ölçümler ve Jeoteknik Deneylerle Belirlenmesi. Kocaeli 2003 Deprem Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 417-427.
- Kuşçu, M. Ve Gedikoğlu, A. 1990. Isparta Gölcük Yöresi Pomza Yataklarının Jeolojik Konumu. Jeoloji Mühendisliği, 37, 69-78.
- Medvedev, S.V. 1965. Engineering Seismology, Israel Program for Scientific Translations. IPST Catalogue No:13 Jerusalem, 1965.
- Midorikawa, S. 1987. Prediction of Isoseismal Map in Kanto Plain due to Hypothetical Earthquake. Journal of Structural Dynamics, 33B, 43-48.
- NEHRP, 1997. Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Building and Other Structures, FEMA-303, Prepared by the Building Seismic Council for the Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.
- Orhan, A. 2005. Eskişehir İl Merkezi Güney Bölümü Temel Zemin Birimlerinin Jeo-Mühendislik Özellikleri ve Coğrafi Bilgi Sisteminin Uygulanması. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 125s, Eskişehir.
- Platevoet, B., Scaillet, S., Guillou, H., Blamart, D., Nomade, S., Massault, M., Poisson, A., Elitok, O., Özgür, N., Yağmurlu, F., Yılmaz, K. 2008. Peistocene Eruptive Chronology of the Golcuk Volcano, Isparta Angle, Turkey. Quaternaire, 19 (2), 147-156.
- Sheriff, R.E. 1982. Structural Interpretation of Seismic Data. American Association of Petroleum Geologists, 73 p., Tulsa.
- Shima, E. 1978. Seismic Microzoning Map of Tokyo. Proc. Second Inter. Conf. On Microzonation, (1), 433-443.
- Türkiye Deprem Yönetmeliği, 1998. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü.
- Uyanık, O. 2002., Kayma Dalga Hızına Bağlı Potansiyel Sıvılaşma Analiz Yöntemi, Doktora Tezi, DEU. Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 200s.
- Uyanık, O., Türker, E., İsmailov, T. 2006. Sığ Sismik Mikro-Bölgeleme ve Burdur/Türkiye Örneği. Ekolojiya və Su Təsərrüfatı Elmi-Texniki və istehsalat Jurnalı, No:1, Memarlıq və İnşaat Universitesi Su Təsərrüfatı və Mühəndis Kommunikasiya Sistemləri Fakültesi, Azərbaycan.
- Yağcı, B. 2005. Mikrobölgeleme Metodolojileri ve Balıkesir İçin Bir Uygulama. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 207 s, Balıkesir.
- Yalçınkaya, S., Ergin, A., Afşar, Ö.P., Taner, K. 1986. Batı Torosların Jeolojisi Isparta Projesi Raporu. MTA Genel Müdürlüğü Raporları (yayınlanmamış), Ankara.