



Sismik ve Geoteknik Parametrelerin Yapılaşmaya Etkisi: Denizli Örneği

Erdal Akyol*¹, Ali Aydın², Mutlu Alkan³, Gamze Hazer¹

¹*Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Müh. Bölümü, Denizli*
eakyol@pau.edu.tr

²*Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Müh. Bölümü, Denizli*

³*Denizli İl Özel İdaresi Genel Sekreterliği, Denizli*

Özet

Bu çalışmada Denizli kent merkezinde iş ve konut yapılarının yoğun olduğu bir alanda zeminlerin geoteknik ve bazı sismik parametrelerinin yapılaşmaya olan etkisi ortaya konulmuştur. Çalışma kapsamında standart penetrasyon testi (SPT) N darbe sayısı, kesme dalgası hızı, zemin büyütme katsayısı ve zemin hâkim titreşim periyodunun dağılımı verilerinin yapılaşmaya olan etkileri incelenmiştir. İnceleme alanının merkezi kesimleri ile kuzeyinde dinamik ve geoteknik parametre değerlerinin düşük olduğu, diğer bölgelerde ise daha yüksek olduğu görülmektedir. Yüksek zemin periyot değerlerin inceleme alanının güneybatı kesiminde yoğunlaşmasına karşın, sahanın çok büyük bir kısmında dağılımının 0.5-0.7 sn aralığında olduğu görülmektedir. Standart betonarme yapılarda kat sayısına bağlı olarak periyot esas alındığında, en yaygın zemin periyot dağılımının 4-7 katlı yapı periyodu ile çakıştığı ortaya çıkmaktadır. Bu sonuç, olası bir depremde inceleme alanındaki yapıların birçoğunun zemin ile rezonansa gireceğini göstermektedir. Depreme dayanıklı yapı tasarımı için zemin ve/veya yapının periyot değerlerinin uygun hale getirilmesi gerekir.

Anahtar Kelimeler: Büyütme katsayısı, hâkim titreşim periyodu, geoteknik, deprem, Denizli.

Effects of Seismic and Geotechnical Parameters on Construction: Denizli Case

Abstract

This study focusses on the effects of geotechnical and some seismic parameters on construction in Denizli city center where commercial and residential buildings are very dense. Standard Penetration Test (SPT) N blow number, shear wave velocity (V_s), soil amplification and dominant soil vibration period were measured. They demonstrate that the central and northern parts of the study area have lower seismic and geotechnical characteristics than the others. The most common soil period is around 0.5-0.7 s that overlaps with periods of many buildings in the area. The period of soil and/or structure should be modified for an earthquake resistant building design.

Keywords: Soil amplification, ground vibration period, geotechnics, earthquake, Denizli.

Giriş

Alp-Himalaya deprem kuşağında yer alan Türkiye’de nüfusun önemli bir kısmı aktif depremlerin bulunduğu alanlarda yaşamaktadır. Bu nedenle depremler hem sürdürülebilir kalkınma için en büyük tehdidi oluşturmakta hem de ciddi can ve mal kayıplarına neden olmaktadır. Bu risk ve tehdidi ortadan kaldırmak veya kabul edilebilir seviyeye getirmek için iyi mühendislik hizmeti almış yapıların inşa edilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda zemin büyütme katsayısı ve hâkim titreşim periyodu, dikkat çeken önemli dinamik parametreler arasında yer almaktadır.

Meydana gelen bir depremden sonra deprem odağından yayılan dalga karakteri sabit olarak kalmaz. Deprem dalgası, odağa ve yayılım ortamına ait olan özelliklerce denetlenir. Depremin oluşum mekanizması, eğer faylanma varsa fayın durumu, atım miktarı, yönü, iç merkez derinliği, depremin süresi gibi depremin odağına ait parametrelerin yanı sıra bu oluşum koşullarına bağlı olarak deprem dalgalarının yayılım yönü boyunca yer alan ortamların jeofizik özellikleri de deprem dalgalarının etkiledikleri yerlerdeki karakteristik özelliklerini belirler. Deprem dalgaları iç merkezden belirli bir açı ile ayrıldıktan sonra ilerledikleri ortamlar boyunca, çeşitli tabakalı veya tabakasız yer oluşum biçimlerini geçerler. Bu yayınımları sırasında, sismik prensipler çerçevesinde kırılmalar ve yansımalara uğrayarak seyahat ederler. Genellikle sert birimlerden göreceli olarak daha yumuşak birimlere geçen dalgaların genlikleri büyür. Zemin büyütme katsayısı olarak tanımlanan bu olgu yapıların hasar görmesindeki en önemli parametrelerden birisidir. Bu, özellikle Marmara depreminde

odak noktasına yakın olan Gölcük ve çevresindeki sıkı zeminde bulunan yerlere göre, İstanbul-Avcılar gibi daha uzakta bulunan bölgelerde büyük hasar oluşmasının en önemli nedenlerinden birisidir. Son yıllarda zemin koşullarının deprem özelliklerine etkisi konusunda çok sayıda araştırma yapılmıştır [1, 2].

Fiziksel olarak her türlü malzemenin bir salınım periyodu bulunmaktadır. Dolayısıyla yapıların ve üzerine inşa edildikleri zeminlerin de doğal salınım periyotları vardır. Mikrotremör cihazları ile yer hareketlerinin çok küçük genlikli doğal salınımları incelenerek zeminin ve yapının baskın salınım periyotları belirlenebilir. Bu değer zeminlerin sıklığı/gevşekliğine, yapılarda da kütlesine ve rijitliğine bağlı olarak değişir [3-5]. Türkiye’de yaygın kullanımda ise betonarme yapılarda her bir kat için 0.1 s değeri kabul edilmektedir. Zeminin bu doğal titreşimlerinden yararlanılarak elde edilecek parametrelere göre bölgesel olarak zemin sınıflamaları yapılmış ve Japonya bina yönetmeliğinde kullanılması yıllar önce sağlanmıştır [6]. Ülkemizdeki yapı yönetmeliğinde de bu değerler “spektrum karakteristik periyotları” olarak kullanılmaktadır. Yapı ve zeminin doğal hakim titreşim periyotlarının çakışması durumunda ise rezonans meydana gelmektedir [7].

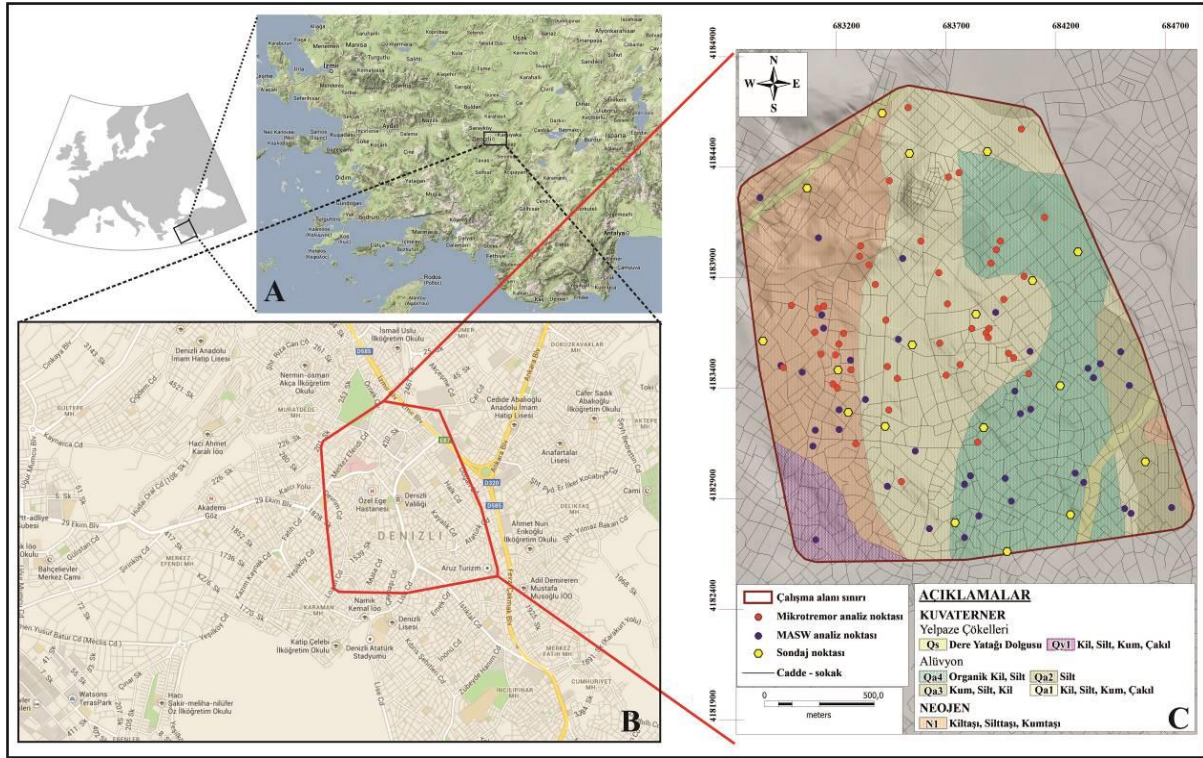
Bu çalışma kapsamında Denizli kent merkezinin bir kısmındaki zeminlerin jeoteknik parametreler ile zemin büyütme katsayısı ve hâkim titreşim periyodu arasındaki ilişki ortaya konulmuştur. Yapıların deprem sırasında hasar görmelerinin en önemli nedenlerinden birisi, üzerinde buldukları zeminlerin jeoteknik özellikleridir. Özellikle dinamik yükler altında zeminler üzerindeki yapılara oldukça büyük ivme ve deformasyon uygulanmasına neden olabilmektedir. Zemin ve üzerinde bulunan yapı aynı titreşim frekanslarına sahip ise yapıdaki titreşim çok daha fazla artarak yapıda hasar oluşmasına neden olmaktadır [8]. Bu nedenle bu özelliklerin belirlenmesi ve depreme dayanıklı yapı tasarımında dikkate alınması büyük önem taşımaktadır.

Materyal ve Yöntem

Jeolojik ve Jeoteknik Karakteristikleri

İnceleme alanı, Denizli kent merkezinde yerleşimin yoğun olduğu bir bölge olup, 15 Mayıs, Altıntop, Değirmenönü, Hacıkaplanlar, Saraylar, Sırakapılar, ve Topraklık mahallelerini kapsamaktadır. Denizli aktif faylarla çevrelenmiş bir horst-graben sistemi içerisinde ve Büyük Menderes Grabeni’nin doğu ucunda bulunmaktadır (Şekil 1 A, B). İnceleme alanı, Kuvaterner yaşlı yelpaze çökelleri ve alüvyal birimler ile Neojen karasal

çökellerden meydana gelmektedir (Şekil 1 C). Jeolojik-jeoteknik çalışmalar kapsamında 18 adet sondaj jeoteknik sondaj yapılmış ve bu sondajların 83 farklı seviyesinde SPT deneyinin yanında Atterberg limitleri ve elek analizleri yapılmıştır [9]. Alınan örneklerin tane boyu incelendiğinde killi (CL), siltli (ML), yaygın olarak kumlu (SM, SC, SL) ve nadiren çakıllı (GM) birimlerden oluştuğu gözlenmektedir.



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası

MASW ve Zemin Büyütmesi

Deprem dalgaları hiçbir zaman tek bir harmonikten oluşmaz, genelde hasar yapıcı özelliğe sahip dalga grubu 0.1 Hz ile 10 Hz arasında bileşenlere sahiptir. Yumuşak zemin tabakaları, bu farklı genlik ve frekanslardan oluşan deprem dalgalarının tümüne aynı tepkiyi vermez. Başka bir ifade ile büyütme frekans bağımlıdır, bazı frekanslar daha çok, bazı frekanslar ise daha az büyütülür. Zemin büyütme katsayısı yaygın olarak kesme dalgası hızı (V_s) kullanılarak hesaplanır. Yüzeiden itibaren 30 metrelik kısmın ortalama kesme dalgası hızı arazide Aktif Kaynaklı Çok-Kanallı Yüzey Dalgası (MASW) ölçümleri ile elde edilmiştir (Şekil 5). Veri toplamada, 1–2 ms örnekleme aralığı kullanılarak 1 s süresince veri toplanması, V_s değişiminin belirlenmesi için yeterlidir. MASW kayıtları için kullanılan WZG–12A cihazı, veri toplayan 12 adet sinyal arttırıcı ve 4.5 Hz'lik 12 adet düşey jeofondan

oluşmaktadır. Çalışmalar kapsamında 39 noktada MASW kaydı alınmıştır (Şekil 1 C). Büyütme katsayısı Midorikawa [10] tarafından önerilen ve Eşitlik 1’de verilen bağıntı kullanılarak hesaplanmıştır.

$$A = 68V_s^{-0.6}(V_1 < 1100 \text{ m/s}) \quad [\text{Eş. 1}]$$

Burada;

A: Zemindeki en büyük hız için bağıl büyütme faktörü,

Vs: 30 m derinlik içerisindeki ortalama kayma dalgası hızı (m/s).



Şekil 2. MASW ölçümlerinden bir görünüm (10) (Korkmaz, 2012).

Mikrotremör ve Hâkim Titreşim Periyodu

Yapı ve zemindeki titreşimcikler, sismometre yardımıyla hız, ivme veya yer değiştirme türünden kaydedilebilirler. Bu veriler yatay olarak iki yön ve düşey olmak üzere üç bileşene sahiptir. Mikrotremör verileri Nakamura yöntemine göre değerlendirilmiştir. Nakamura [11], mikrotremörleri yarı uzay üzerinde uzanan tek tabakalı bir ortamda yayılan Rayleigh dalgaları yaklaşımı ile açıklamıştır. Araştırmacı, yüzeydeki hareketin yatay ve düşey doğrultulardaki bileşenlerine ait genlik spektrumları ve yüzey tabakasının tabanındaki hareketin yatay ve düşey doğrultudaki bileşenlerine ait genlik spektrumları olmak üzere, Fourier frekans bölgesinde dört adet genlik spektrumu tanımlamaktadır. Buna göre mikrotremörler, derinden değil, yüzeyden ve yüzeye yakın yersel sismometreye yakın noktalardan gelen titreşimlerdir. Düşey yöndeki hareketler, yatay tabaka tarafından büyütülmez ve yüzeydeki bölgesel

titreşimlerin tabandaki harekete etkisi olmaz [12,13]. Aşağıdaki eşitliğin kullanılarak Nakamura (H/V) spektrumunun (spektral oran, SO) hesaplanması önerilmiştir.

$$SO = \frac{[KG^2(w) + DB^2(w)]^{0.5}}{UD^2(w)} \quad [Eş. 2]$$

Burada;

SO: Nakamura (H/V) spektrumu

KG(w) : K–G yönlü en büyük genlik

DB(w) : D–B yönlü en büyük genlik

UD(w) : Düşey yönlü en büyük genlik

Bu çalışmada mikrotremör ölçümleri üç bileşenli kısa periyot hız ölçer (GÜRALP SYSTEM CMG6TD–1) kullanılmıştır. Bu ölçümlerde hız kaydı alınmaktadır. Hız ölçerin frekans tepki aralığı 320µ Hz – 256µ Hz’dir. Alınan kayıtların örnekleme frekansı 100 Hz’dir. Ölçümler 47 noktada (Şekil 1 C) 30 dakika süreyle alınmış, SCREAM yazılımı ile sayısal olarak GCF formatında kaydedilmiş ve GEOPSY yazılımı ile değerlendirilmiştir.



Şekil 3. Guralp System CMG–6TD–1 sismometre.

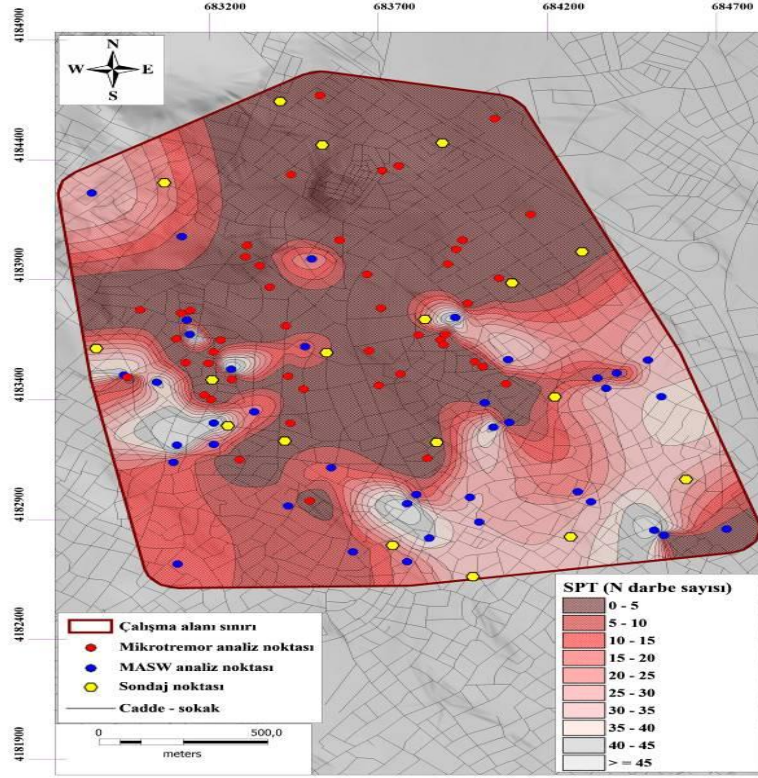
Değerlendirme

Jeoteknik çalışmalar kapsamında SPT (N) darbe sayılarının geniş bir aralıkta (3-50 arasında) değiştiği gözlenmektedir (Şekil 4). İnceleme alanının merkezi kesimleri ile kuzeyinde SPT değerleri düşüktür. Kalan bölgelerde ise refü değeri olan 50’ye varan değerler ölçülmüştür. Kesme dalgası hızlarının yaygın biçimde düşük olduğu, ancak inceleme alanının

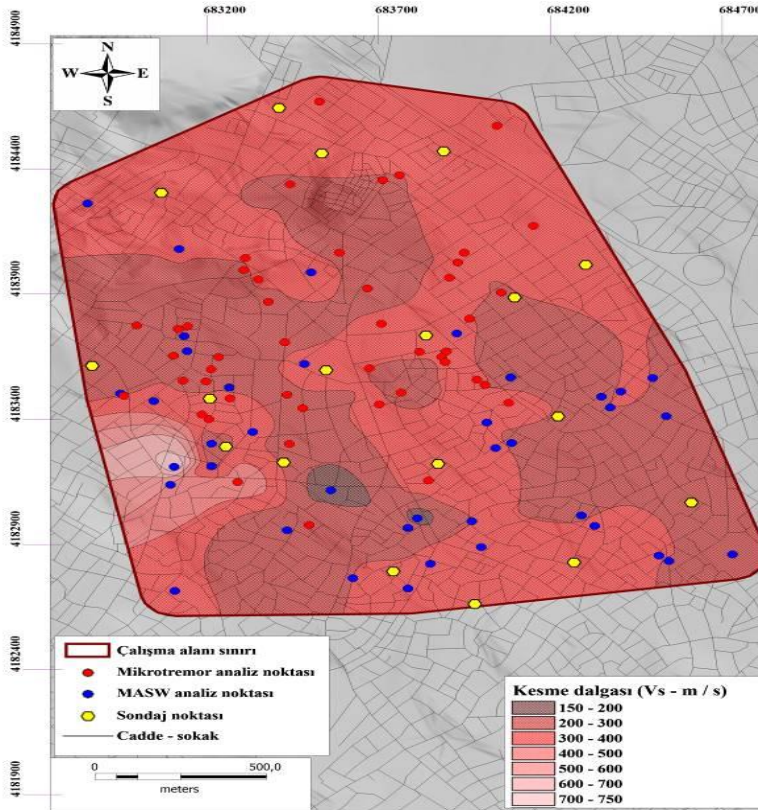
güney batısında oldukça yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir (Şekil 5). Hesaplanarak elde edilen büyütme katsayılarının dağılımı ise Şekil 6'da verilmiştir. Bu verilere göre yüksek değerlerin güneybatı ve doğuda yoğunlaştığı ortaya çıkmaktadır. Bu parametrelere göre inceleme alanının orta ve kuzey kısımlarında düşük zemin taşıma gücü ve kesme dalgası ile karşılaşılacağını göstermektedir. Dolayısıyla bu bölgelerin yerleşim açısından daha az uygun olduğunu ortaya koymaktadır.

Periyot dağılımları dikkate alındığında, yüksek periyot değerlerinin, inceleme alanının güneybatı kesiminde yoğunlaştığı izlenmektedir. Bununla birlikte, sahanın çok büyük bir kısmında zemin periyot dağılımının 0.5-0.7 sn aralığında olduğu görülmektedir (Şekil 7). Standart betonarme yapılarda kat sayısına bağlı olarak periyodun nasıl değiştiği değişik çalışmacılar tarafından sınırlamalar getirilmeye çalışılmıştır [14, 15].

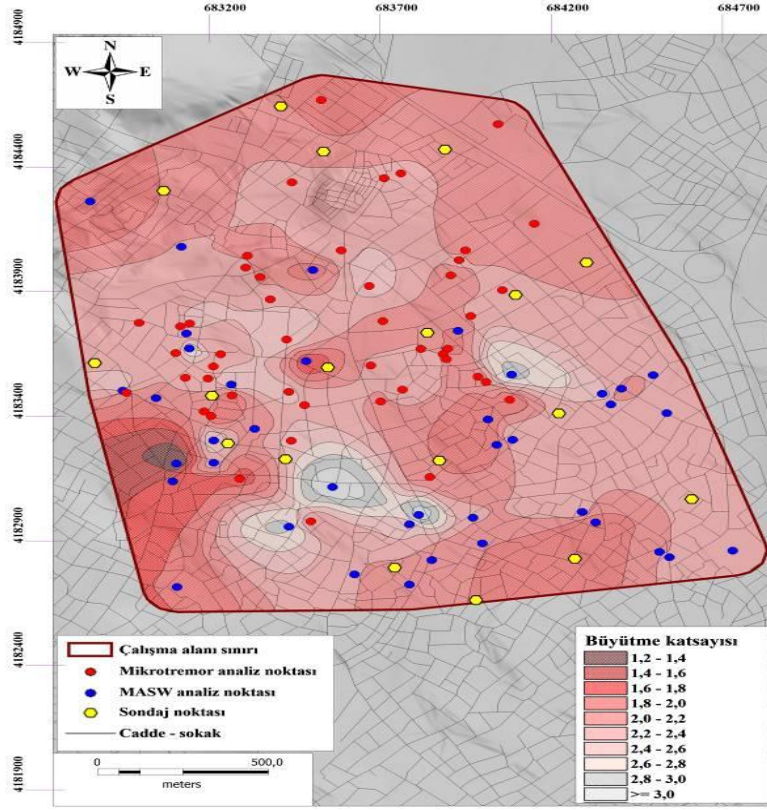
Maksimum büyütmenin görüldüğü ilk hâkim frekans, yani T_0 , aynı zamanda rezonans frekansı olarak T_a adlandırılır. Rezonans, etkileşim halindeki iki farklı titreşimin frekanslarının çakışması durumu olarak bilinmektedir. Buradan anlaşılacağı üzere zeminlerin olduğu gibi, üzerindeki yapıların da bir hâkim periyodu veya frekansı varlığından söz edilir. Yapıların hâkim periyodu, inşa edildiği malzemelerin özellikleri ve yapının boyutları tarafından kontrol edilir (15) ve çok kaba bir hesapla kat sayısının 10'a bölümü şeklinde bulunabilir. Yani 7 katlı bir bina için; bina hâkim periyodu; $7 / 10 = 0,7$ sn.'dir. Ancak alçak katlarda ise bu oran azalır ve 1 katlı bina için hâkim titreşim periyodu 0.35 sn., 2 kat için 0.40 sn., 3 kat için 0.45 sn., 4 kat için 0.50 sn. yaklaşık olarak kabul edilir. Buna göre inceleme alanındaki en yaygın zemin periyot dağılımı 4-7 katlı yapı periyodu ile çakışmaktadır. Bölgedeki yapılaşma dikkate alındığında, ana cadde kenarlarında 7 kat, diğer yerlerde ise 3-5 kat yapı izni verilmektedir. Bu veriler, olası bir depremde inceleme alanındaki yapıların birçoğunun zemin ile rezonansa gireceğini göstermektedir. Bunu önlemek için zemin ve/veya yapının periyot değerlerinin uygun hale getirilmesi yararlı olacaktır. Zeminde iyileştirme ve/veya güçlendirme yapılması, zemin rijitliğini ve periyodu değiştirmede kullanılan en yaygın yöntemdir.



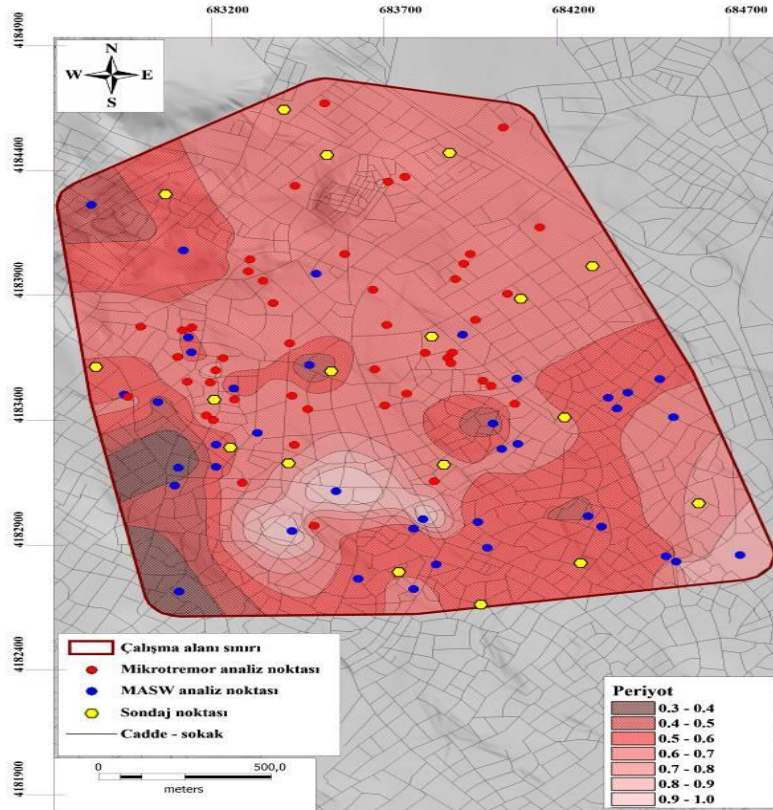
Şekil 4. SPT (N) darbe vuruşlarının dağılımı.



Şekil 5. Kesme dalgası hızlarının (Vs) dağılımı.



Şekil 6. Zemin büyütme oranlarının dağılımı.



Şekil 7. Çalışma alanının periyot haritası

Sonuçlar

Bu çalışma sismik olarak aktif olan ve horst-graben sistemi tarafından şekillendirilen Denizli kent merkezinde yapılmıştır. İnceleme alanı Kuvaterner yaşlı yelpaze çökelleri ve alüvyal birimler ile Neojen karasal çökellerden meydana gelmektedir. Çalışma kapsamında SPT (N) darbe sayısı, kesme dalgası hızı, zemin büyütme katsayısı ve zemin hâkim titreşim periyodu incelenmiştir. İnceleme alanının merkezi kesimleri ile kuzeyinde SPT değerlerinin düşük olduğu, diğer bölgelerde ise refü değerine ulaşan değerler gözlenmiştir. Kesme dalgası hızlarının yaygın biçimde düşük olduğu, ancak inceleme alanının güney batısında oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Zemin büyütme katsayılarının dağılımı ise yukarıdaki parametrelere uygun bir dağılım sunmuştur. Bu değerlere göre inceleme alanının orta ve kuzey kısımlarının düşük zemin taşıma gücüne sahip olduğu, düşük kesme dalga hızları ile karşılaşılacağı ve yerleşim açısından daha az uygun olduğu sonuçları ortaya çıkmaktadır. Yüksek zemin periyot değerleri, inceleme alanının güneybatı kesiminde yoğunlaşmasına karşın, sahanın çok büyük bir kısmında dağılımının 0.5-0.7 sn aralığında olduğu görülmektedir. Standart betonarme yapılarda kat sayısına bağlı olarak periyot esas alındığında, en yaygın zemin periyot dağılımının 4-7 katlı yapı periyodu ile çakıştığı ortaya çıkmaktadır. Bölgedeki yapılaşma dikkate alındığında, olası bir depremde inceleme alanındaki yapıların birçoğunun zemin ile rezonansa gireceğini göstermektedir. Bunu önlemek için zemin ve/veya yapının periyot değerlerinin uygun hale getirilmesi yararlı olacaktır. Zemin rijitliğini ve periyodu değiştirmede kullanılan en yaygın yöntem olarak zemin iyileştirmesi ve/veya güçlendirmesi olduğu söylenebilir.

Kaynaklar

- [1] A. M. Ansal, A. M. Lav, XXVI General Assembly of the European Seismological Commission (ESC), Abstracts, Tel-Aviv, Israel, 1998, pp.59.
- [2] A. M. Ansal, B. G. Siyahi, Proc. of the 5th SECED Conference of Seismic Design Practice, 26-17 October 1995, Chester, United Kingdom, 1995 pp. 83.
- [3] M. Ibs-von, J. Wohlenberg, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 1999, **89**, 250.
- [4] J. Delgado, C. L. Casado, J. Giner, A. Estevez, A. Cuenca, S. Molina, *Pure appl. Geophys*, 2000, **157**, 1445.
- [5] S. Parolai, P. Bormann, C. Milkereit, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 2002, **92**, 2521.
- [6] K. Kanai, *Bull. Eq. Res. Inst.* 1961, **39**, 85.

- [7] E. Yalçinkaya, Jeofizik Bülteni, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası Yayını, Ankara, 2010, p.77.
- [8] T. Coşgun, Kocaeli 2007 International Earthquake Symposium, Türkiye, 22-26 Ekim 2007, pp.37.
- [9] PAU/JEO, Denizli Belediyesi Yerleşim Alanlarının Jeolojik, Jeoteknik ve Hidrojeolojik Özellikleri, Rapor, 2002, Denizli.
- [10] S. Midorikawa, *Journal of Structural Engineering*, 1987, **33**, 43.
- [11] Y. A. Nakamura, *Q. Rep. Railway Tech. Res. Inst.* 1989, **30 (1)**, 25.
- [12] J. Lermo , F.J. Chavez-Garcia, *Bull. Seism. Soc. Am.* 1994, **84**, 1350.
- [13] K. Konno, T. Ohmachi, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 1998, **88**, 228.
- [14] K. Ergün, A. Lüle, *İMO Teknik Dergi*, 2008, 4357.
- [15] M. İnel, H. B. Özmen, H. Bilgin, *Structural Engineering and Mechanics*, 2008, **30 (5)**, 535.
- [16] E. Akyol, *Environmental Earth Sciences*, 2012, **66 (5)**, 1415.