

Mikrotremor Yöntemi ile Yerel Zemin Özelliklerinin Belirlenmesi: Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Evliya Çelebi Yerleşkesi Örneği

*¹Hatice Durmuş

*¹*Kütahya Dumlupınar University Engineering Faculty Department of Geological Engineering, KÜTAHYA, TÜRKİYE*

Özet

Depremlere bağlı zararların azaltılmasında zeminin dinamik özelliklerinin ve yer etkisinin belirlenmesi önemli rol oynamaktadır. Zemin dinamik özelliklerini belirlemek için kullanılan yöntemlerden biri de mikrotremorların ölçülmesidir. Artan öğrenci sayılarına bağlı olarak sürekli yeni yapılaşma ihtiyacı doğan Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Evliya Çelebi Yerleşkesinde yerel zemin özelliklerini belirlemek amacıyla 36 noktada mikrotremor ölçümleri yapılmıştır. Kayıtlar Nakamura tarafından geliştirilen H/V Spektral Oran yöntemi ile değerlendirilmiş ve her bir ölçü noktası için hakim frekans, hakim periyod ve büyütme değerleri elde edilmiştir. Oluşturulan hakim periyod ve büyütme haritaları çalışma alanının jeoteknik koşulları dikkate alınarak yorumlanmıştır. Buna göre kuzeybatı ve orta kısımlarının düşük hakim periyot ve büyütme değerleri ile kaya özelliği gösterdiği ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Baskın frekans, baskın periyot, büyütme, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, mikrotremor, Nakamura H/V spektral oran

Determination of Site Properties with the Microtremor Method at the Kütahya Dumlupınar University Evliya Celebi Campus

Abstract

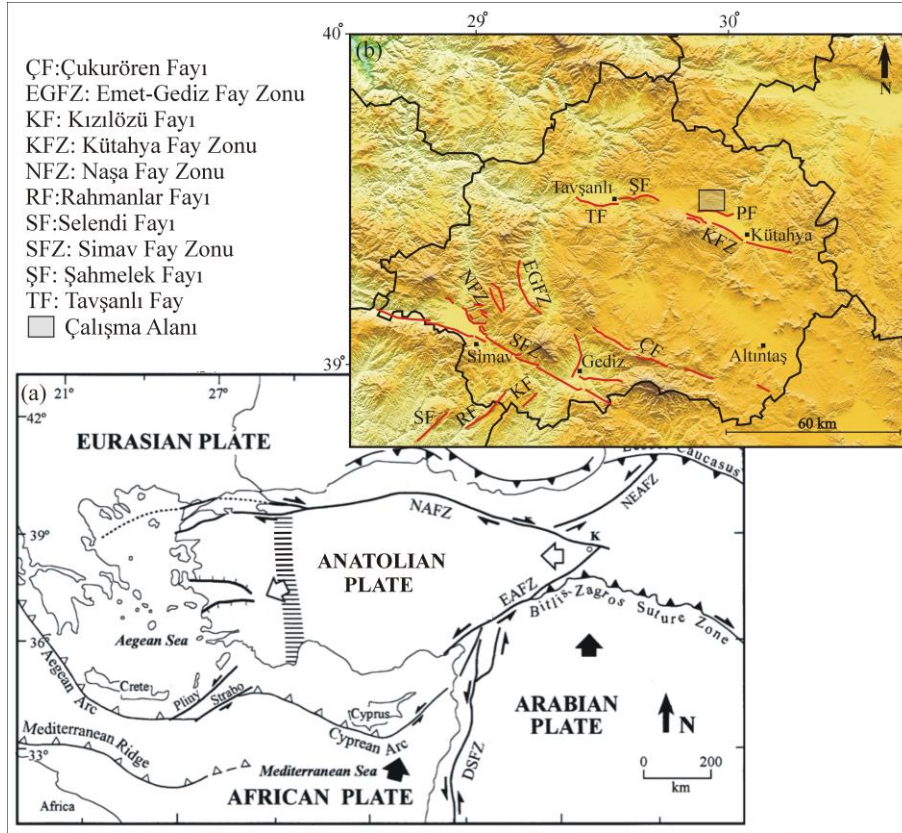
Determining the soil's dynamic properties and site effects plays an important role in reducing earthquake damage. One of the methods used to determine soil's dynamic properties is the measurement of microtremors. Microtremor measurements were made at 36 points to detect the local soil properties in Kütahya Dumlupınar University Evliya Çelebi Campus, which constantly needs new construction due to the increasing number of students. The recordings were evaluated using the H/V Spectral Ratio method developed by Nakamura, and the predominant frequency, predominant period and amplification values were obtained for each measurement point. The predominant period and amplification maps were interpreted considering the geotechnical conditions of the study area. Accordingly, it has been revealed that the northwest and middle parts show rock properties with low predominant period and amplification values.

Key words: Kütahya Dumlupınar University, amplification, microtremor, Nakamura H/V spectral ratio, predominant frequency, predominant period, amplification

1. Giriş

Türkiye'deki ana tektonik yapılar Afrika ve Arabistan plakalarının durağan Avrasya plakasına göre kuzeye doğru hareket etmesi sonucunda oluşmuştur (Şekil 1a). Arap ve Anadolu plakalarının çarpışması ile önce doğu daha sonra da tüm Anadolu sıkışıp kalınlaşmış, sıkışmanın kıta kabuğunun karşılamayacağı bir seviyeye ulaşmasının ardından Anadolu, Kuzey Anadolu Fayı ve Doğu Anadolu Fayı boyunca batıya doğru hareket etmeye başlamıştır. Batı Anadolu'daki sismik aktiviteyi oluşturan ve bölgesel deformasyonun şekillenmesini sağlayan ana unsurlarda biri batıya doğru bu hareket diğeri ise Afrika plakasının kuzeye doğru Avrasya plakası altına dalması ile gelişen Akdeniz'deki Helenik-Kıbrıs dalma-batma zonlarının slab rollback ve yay arkası genişlemesi (back-arc extension) etkisidir (Şekil 1a) [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Genişlemeli tektonik rejimin etkisi ile tüm batı Anadolu'da olduğu gibi Kütahya ve yakın çevresinde de önemli tektonik unsurlar gelişmiştir. Bunlar, şehrin kuzeydoğusunda Tavşanlı Fayı (TF), Şahmelek Fayı (ŞF), Parmakören Fayı (PF) ve Kütahya Fay Zonu (KFZ) fayları ile güneybatısında Emet-Gediz Fay Zonu (EGFZ), Çukurören Fayı (ÇF), Simav Fay Zonu (SFZ), Selendi Fayı (SF), Kızılözü Fayı ve Rahmanlar Fayıdır (RF) (Şekil 1b).

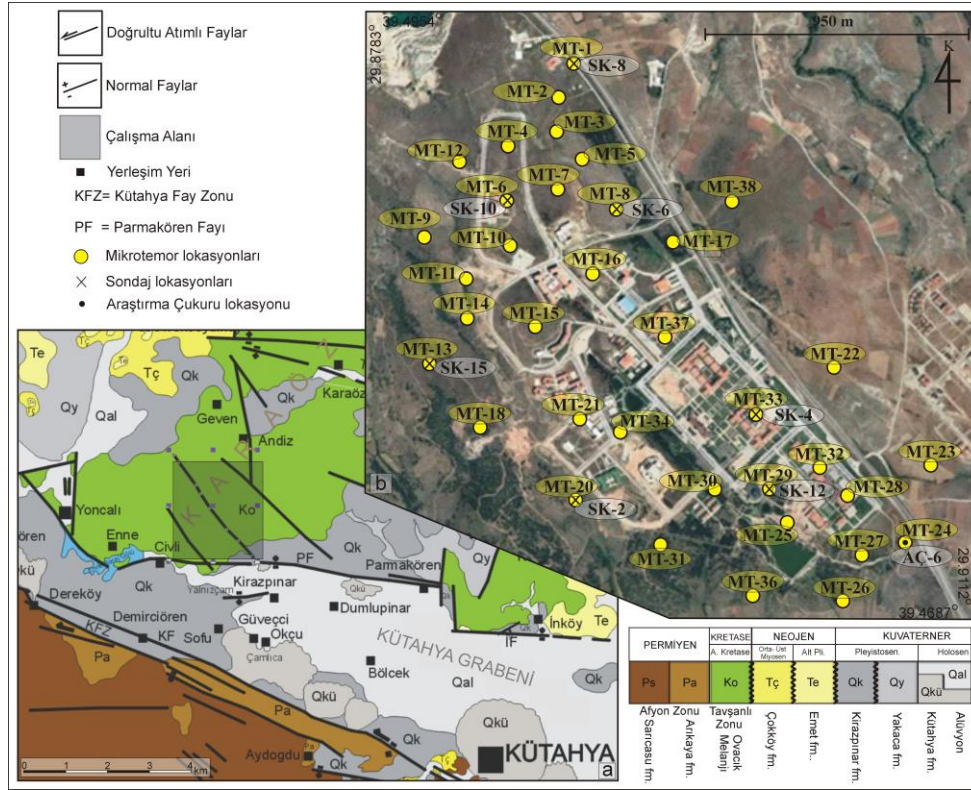


Şekil 1. a) Türkiye'nin basitleştirilmiş tektonik haritası [7]. b) Kütahya ve yakın çevresinin ana yapısal unsurlarını gösteren harita. Taralı dikdörtgen çalışma alanını göstermektedir.

Yapılaşmanın yoğun ve deprem tehlikesinin yüksek olduğu alanlarda zemin özelliklerinin bilinmesi depremden kaynaklanan etkilerin belirlenmesinde büyük önem taşımaktadır. Dinamik kuvvetlerin etkisi altında zeminin nasıl davranış göstereceğinin belirlenmesi deprem sonrasında oluşacak hasarın azaltılabilmesine katkı sağlamaktadır. Her geçen yıl artan öğrenci sayısı nedeniyle yapı stoğu bakımından sürekli genişleyen Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Evliya Çelebi yerleşkesi, çevresinde deprem üretme potansiyeli bulunan faylar nedeniyle deprem tehlikesi yüksek bir lokasyonda bulunmaktadır. Bu bağlamda yerleşke alanı için yerel zemin özelliklerinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla 36 noktada mikrotremor ölçümleri yapılmış ve yerleşkeye ait baskın periyot ve büyüme haritaları elde edilmiştir.

2. Jeoloji ve Tektonik Özellikler

Kütahya ve çevresindeki temel kayaları, tabanda şistler ve onun üzerinde uyumlu olarak bulunan mermerler ile temsil edilir. Bunların üzerinde de tektonik dokanakla Neotetis'in kuzey kolu olan İzmir-Ankara Okyanusu'nun kapanma sürecine dair farklı aşamaların kayıtlarını taşıyan, yeşilist ve mavişist zonu metamorfitletlerin bulunduğu ofiyolitik kayalar yüzeyletir [8, 9]. Çalışma alanı, Kütahya il merkezinin yaklaşık 10 km kuzeybatısında Ovacık Melanjına (Ko) ait birimlerden oluşan Tavşanlı zonu içerisinde yer alır (Fig 2a).



Şekil 2. a) Çalışma alanı ve yakın çevresinin jeolojik haritası [9], b) çalışma alanı içerisinde mikrotremor noktalarının mekansal dağılımı ve daha önce yapılmış çalışmaya ait sondaj yerleri.

Ovacık Melanjı, mavişist blokları ve ofiyolitik kayaç parçaları içeren, çoğunlukla düzensiz dağılmış istif görüntüsü sunan bir karmaşık olarak tanımlanmıştır [9, 10]. Çalışma alanının hemen güneyinde Parmakören fayı (PF) ve Kütahya Fay Zonu (KFZ) yer almaktadır (Fig 2a).

3. HVSR (Nakamura) Metodu

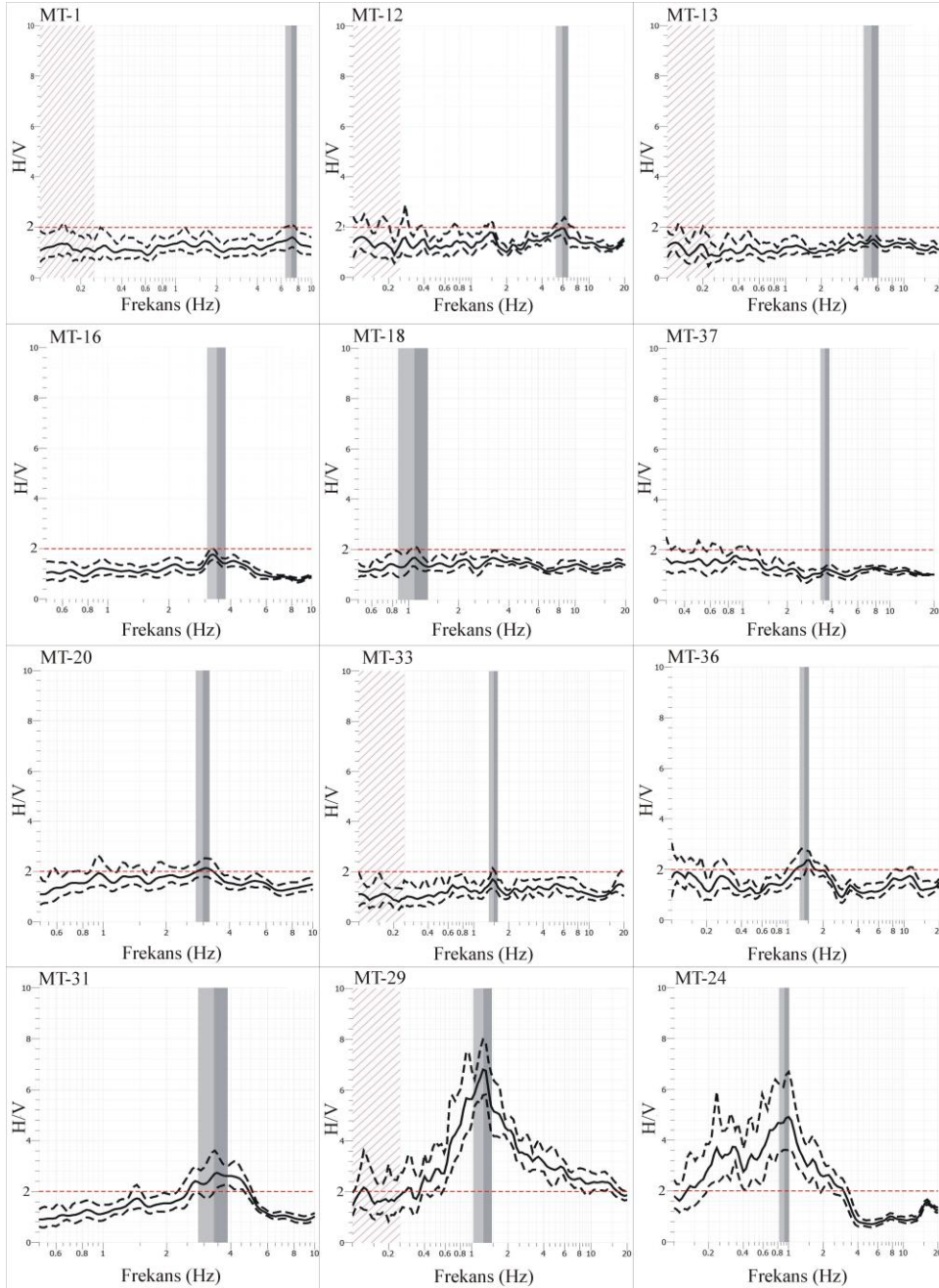
Mikrotremorlar, yüksek büyütme sismograflar tarafından kayıt edilen genlikleri yaklaşık 0.1-1 mikron ve periyotları 0.05 ile 2 sn arasında değişen deprem ve patlatmalar dışındaki sürekli yer titreşimleridir. Mikrotremorların kaynağının cisim ve yüzey dalgaları olduğu yönünde farklı görüşler bulunmasına rağmen [11, 12, 13] genel kanı yüzey dalgası olduğu yönündedir. Deprem dalgalarında olduğu gibi arazide ölçülen bir gürültünün spektrumu, gürültüye neden olan kaynağın özellikleri ile ölçüm yapılan zeminin özelliklerinin toplamından oluşmaktadır. Mikrotremorların spektral analizleri yapılarak elde edilen zemin transfer fonksiyonu ile zemin karakterize edilebilmektedir. Zemin transfer fonksiyonunun belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan tekniklerden biri Nakamura (Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio-HVSR) yöntemidir. Yöntem, ortamın gürültü kayıtları kullanılarak yatay ve düşey bileşenler arasındaki spektral oran ile transfer fonksiyonunun elde edilmesine dayanır. Birçok araştırmacı yaptıkları çalışmalarda H/V gürültü oranının temel rezonans frekansı ve büyütme değerlerini belirlemek için nasıl kullanılabileceğini göstermiştir [14, 15, 16, 17, 18]. Mikrotremor HVSR tekniği genel olarak sert ana kaya veya daha sert çökellerin yumuşak çökeller tarafından örtüldüğü alanlarda etkili sonuçlar vermektedir [19]. Zemin dinamik özellikleri hakkında bilgi sağlayan bu yöntem, sadece üç bileşen bir istasyon tarafından kayıt edilen gürültü gerektirdiğinden uygulaması kolay, hızlı ve ekonomiktir. Yöntem, ayrıca depremselliğin düşük olduğu veya hiç olmadığı alanlarda uygulanabilmesi nedeniyle de ilgi çekmiştir.

Çalışma alanının Nakamura HVSR yöntemine ile zemin özelliklerinin belirlenmesi amacıyla 36 noktada SESAME kriterleri [20] (Site Effects Assessment Using Ambient Excitations) dikkate alınarak mikrotremor ölçümleri yapılmıştır (Şekil 2b). Çalışma alanı gündüz saatleri öğrenci hareketliliği ve trafik açısından oldukça yoğun olduğundan ölçümler yoğunluğun azaldığı akşam saatlerinde alınmıştır. Güralp 6TD genişbant hız ölçer kullanılarak alınan veriler (ortam gürültüsünün üç bileşen kaydı) Scream 4.5 programı ile sayısal olarak kaydedilmiştir. Kayıtların alınması sürecinde veri kalitesi bilgisayar üzerinde sürekli gözlenmiş, kayıt uzunluğu gürültü içeriğine bağlı olarak en az 30 dk. olacak şekilde uygulanmıştır. Veri işlem için GEOPSY yazılımı kullanılmıştır [21].

3. Bulgular

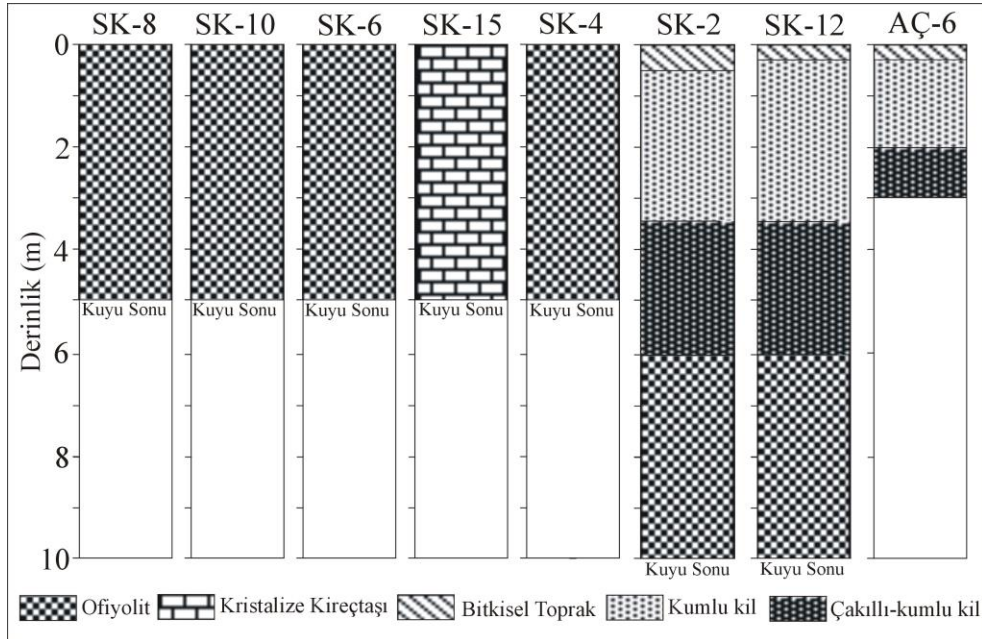
Zemin baskın frekansı, zemin baskın periyodu ve büyütme değerleri bir zeminin sağlamlığı veya sıklığı hakkında bilgi vermektedir. Periyot ve büyütme değerleri zeminin sağlamlığı ile ters orantılı iken frekans değeri doğru orantılıdır. Zemin baskın frekansı ve büyütme değerleri H/V

eğrisinden, baskın periyot değeri ise baskın frekansın tersi hesaplanarak elde edilmektedir. H/V eğrisinde en büyük genlikli pikin frekans ekseninde karşılık geldiği değer hâkim frekans, düşey ekseninde max. genlik değeri ise büyütme vermektedir. Buna göre çalışma alanının yerel zemin özelliklerini belirlemek amacıyla 36 noktada alınan Mikrotremor gürültü kayıtları HVSR yöntemi ile değerlendirilerek H/V eğrileri elde edilmiş ve çalışma alanına ait baskın periyot ve büyütme değerleri elde edilmiştir.



Şekil 3. Çalışma alanında seçilen bazı mikrotremor ölçü noktalarına ait H/V eğrileri

Şekil 3’de çalışma alanı için seçilen bazı ölçü noktalarına ait H/V eğrileri gösterilmiştir. Ölçü noktaları belirlenirken, çalışma alanının kuzeybatısından güneydoğusuna doğru H/V eğrilerindeki yerel zemin koşullarına bağlı değişimleri ortaya koyacak şekilde olmasına ve jeoteknik sonuçlarla karşılaştırma yapabilmek için daha önce yapılmış sondaj kuyularının bulunduğu alanlarda olmasına dikkat edilmiştir. Şekil 3 incelendiğinde çalışma alanının orta ve kuzeybatısında yer alan ölçüm noktalarına (MT-1, MT12, MT-13, MT-16, MT18, MT-37, MT-20, MT33) ait H/V eğrilerinin genel olarak 2’nin altında düz bir eğri özelliği gösterdiği, güneydoğusunda bulunan ölçüm noktalarına (MT-36, MT31, MT-29, MT-24) ait H/V eğrilerinin ise keskin olmamakla birlikte yüksek frekanslarda bir doruk verdiği dikkati çekmektedir. [20] H/V eğrilerinin düz özellik göstermesinin nedenini üç farklı durum ile açıklamıştır. Bunlardan birincisi kayıtların derinlikle keskin bir hız değişiminin olmadığı alüvyon bir zemin üzerinde alındığı durumdur. Bu gibi durumlarda büyütme değeri bölgedeki deprem kayıtlarından ya da diğer jeofizik yöntemlerden yararlanılarak belirlenebilmektedir. İkincisi kayıtların iyi bir referans noktası sayılabilecek ayrışmamış ya da az ayrışmış bir kaya üzerinde alındığı durumdur. Üçüncü ise yeterli gürültü kaynağının olmaması durumudur. [20] düz bir eğri gösteren H/V spektral oranlarının, kaya ortamların özelliği olduğunu ve belirgin bir H/V pikinin zemin ile anakaya arasında yüksek empedans farkı olan alanlarda elde edileceğini vurgulamıştır. Buna göre çalışma alanının orta ve kuzeybatısında düz H/V eğrisi elde edilmesinin nedenini belirlemek amacıyla jeolojik birim ile ilişki kurulmaya çalışılmıştır. Bu amaçla daha önce çalışma alanında yapılmış olan sondaj ve araştırma çukurlarına ait bulgular incelenmiştir. Şekil 4, çalışma alanını temsil edecek şekilde bazı sondaj ve araştırma çukuru sonuçlarını göstermektedir.



Şekil 4. Çalışma alanını temsilen seçilen sondajların stratigrafisi.

Mikrotremor ölçü noktaları belirlenirken çalışma alanının tümünü kapsayacak şekilde olmasına ve korelasyon yapabilmek amacıyla bazılarının sondaj ve araştırma çukuru lokasyonlarında alınmasına dikkate edilmiştir. Buna göre MT-1, MT-6, MT-8, MT-13, MT-33, MT-20, MT-29 ve MT-24 mikrotremor kayıtları sırasıyla SK-8, SK-10, SK-6, SK-15, SK-4, SK-2, SK-12 ve AÇ-6 kuyularının bulunduğu lokasyonlarda alınmıştır (Şekil 2b). Çalışma alanının orta kısmından kuzeybatısına doğru uzanan alanda açılmış olan SK-8, SK10, SK-6 ve SK-4 sondaj kuyularına ait loglar incelendiğinde yüzeyden 5 metre derinliğe kadar ofiyolit kaya birim görülmektedir (Şekil 4). Çalışma alanının hemen hemen batısında yer alan SK-15 sondaj kuyusu ise 5 metre derinliğe kadar kısmen mermerleşmiş kristalize kireçtaşını kesmiştir (Şekil 4). Buna göre sondaj kuyularından elde edilen sonuçlar, çalışma alanının orta kısmından kuzeybatısına kadar uzanan alan için ana kaya değerlendirilmesinin yapılmasına olanak sağlamıştır. Sondaj kuyuları ile aynı noktada alınan ve temsili seçilen MT-1, MT-6, MT-8, MT-13 ve MT-33 mikrotremor sonuçlarında olduğu gibi çalışma alanının bu kısmında bulunan tüm kayıtlarda düz H/V spektral oranları elde edilmesi kayıtların keskin empedans farkının olmadığı kaya üzerinde alınmış olduğunu ortaya koymaktadır.

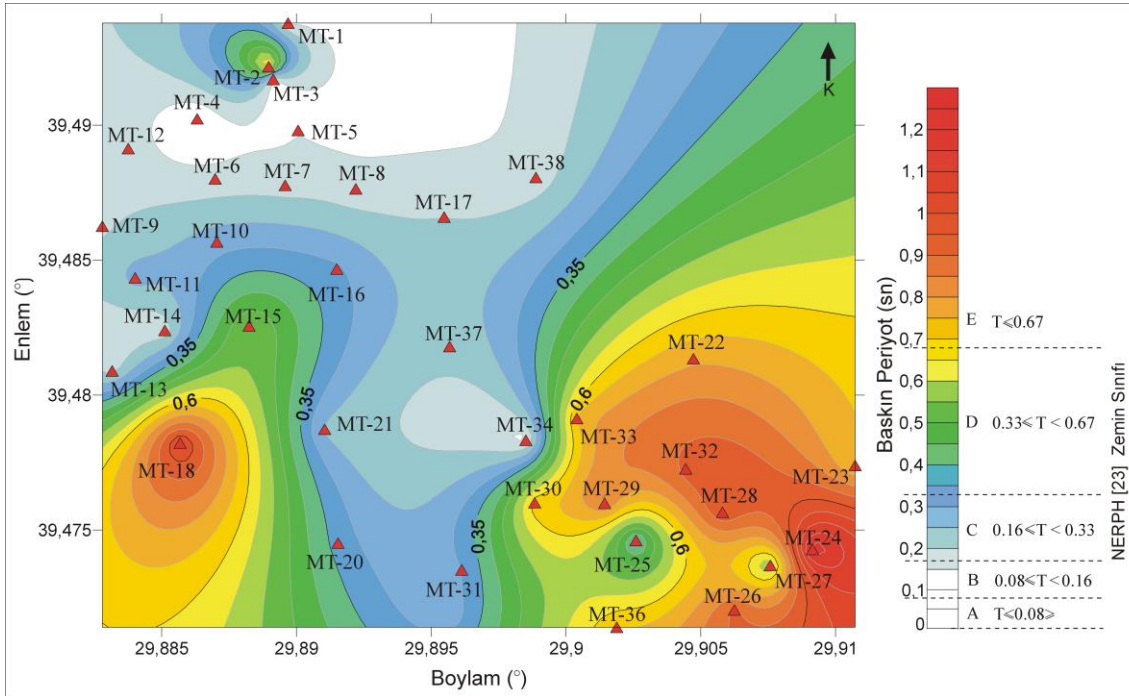
SK-2, SK-12 ve AÇ-6 ise çalışma alanının güneydoğusunda yer almaktadır (Şekil 2b). Bu sondaj kuyularının bulunduğu lokasyonlarda sırasıyla MT-20, MT-29 ve MT-24 mikrotremor kayıtları alınmıştır. Şekil 4'de verilen loglar incelendiğinde SK-2 ve SK-12 sondaj kuyularında yaklaşık 50 cm'lik ince bir bitkisel toprak altında yaklaşık 3 metre derinliğe kadar kumlu kil sonrasında 6 m derinliğe kadar çakıllı-kumlu kil ve 6 metreden sonra ofiyolit birime geçilmiştir. AÇ-6 ise 3 metre derinliğe kadar açılmış ve bu derinliğe kadar kat edilen birimler SK-2 ve SK-12 ile benzerlik göstermiştir. Bu kısma denk gelen temsili mikrotremor kayıtları MT-20, MT-29 ve MT24 belirgin bir doruk vermemesine rağmen yüksek frekanslara denk gelen bir pik göstermiştir. [20], H/V eğrilerinde düşük frekanslarda gözlenen keskin pikin derinlerdeki keskin bir hız değişiminden, yüksek frekanslarda gözlenen keskin pikin ise sığda keskin bir hız değişiminden kaynaklanacağını vurgulamıştır. Buna göre çalışma alanının güneydoğu kısmına denk gelen mikrotremor ölçü noktalarına ait H/V eğrilerinin yüksek frekanslarda belirgin olmayan bir pik göstermesinin nedeni sığda keskin bir hız değişiminin olmaması olarak gösterilmiştir. Şekil 4'de verilen sondaj ve araştırma çukuru sonuçları elde edilen bulguları desteklemektedir.

Düz H/V eğrisi elde edilmesinin mikrotremor kayıtlarının kaya ortam üzerinde alınmasından kaynaklandığı belirlenmesine rağmen [20] tarafından belirtilen yetersiz gürültü kaynağı olasılığı da ayrıca değerlendirilmiştir. Bu amaçla farklı iki ölçüm noktasında (MT-6 ve MT-37) öğrenci hareketliliği ve araç trafiğinin daha yoğun olduğu gündüz saatlerinde kayıtlar yinelenmiş ve her iki durumda da elde edilen H/V eğrilerinde belirgin bir fark gözlenmemiştir. Tüm bu bilgiler ışığında her bir mikrotremor noktasına ait H/V eğrilerinden baskın frekans, baskın periyod ve büyütme değerleri belirlenmiş (Tablo 1) ve bu parametrelere ait mekansal değişim haritaları oluşturulmuştur (Şekil 5 ve 6). Buna göre çalışma alanına ait baskın frekans değerleri 0.81 Hz ile 9.67 Hz aralığında,

baskın periyot değerleri 0.1 sn ile 1.09 sn aralığında ve büyütme değerleri 1.11 ile 4.21 aralığında değişmektedir.

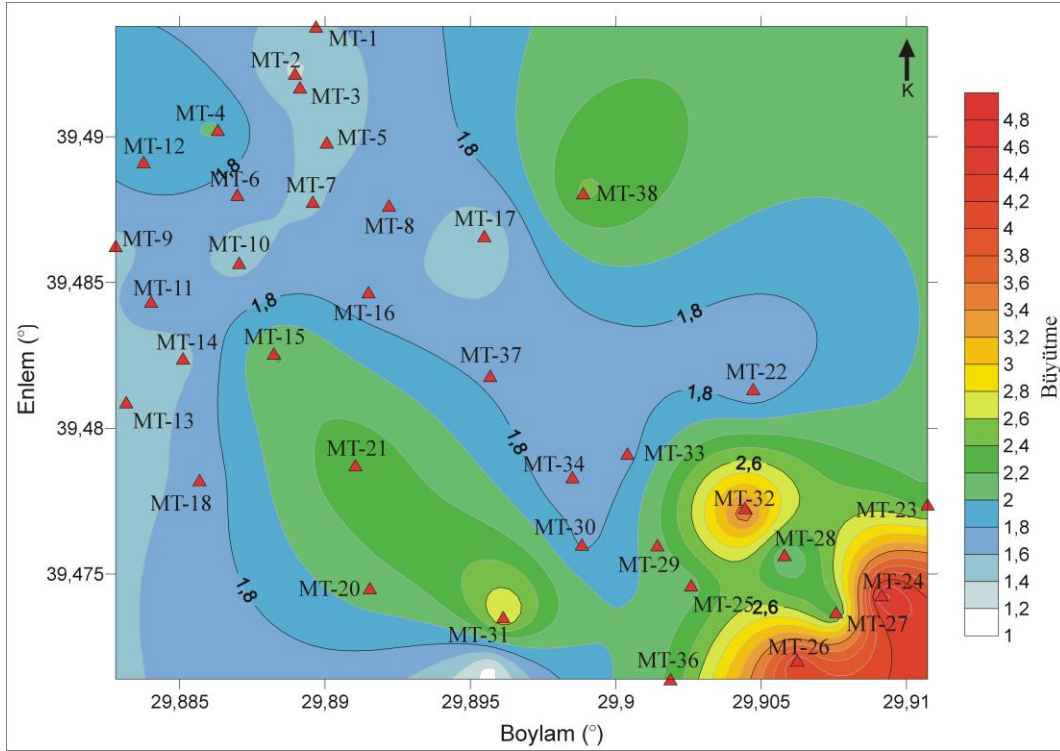
Tablo 1. Mikrotremor ölçü noktalarına ait zemin baskın frekans, baskın periyod ve büyütme değerleri

Ölçüm Noktası	Baskın Frekans (Hz)	Baskın Periyodu (sn)	Büyütme	Ölçüm Noktası	Baskın Frekans (Hz)	Baskın Periyodu (sn)	Büyütme
MT1	7.22	0.14	1.59	MT20	3.07	0.33	2.11
MT2	1.58	0.63	1.32	MT21	4.24	0.24	2.33
MT3	7.62	0.13	1.54	MT22	1.45	0.69	1.62
MT4	9.67	0.10	2.03	MT23	1.53	0.65	2.25
MT5	6.73	0.15	1.52	MT24	0.91	1.09	4.70
MT6	5.84	0.17	1.68	MT25	3.09	0.33	2.11
MT7	5.59	0.18	1.58	MT26	1.23	0.81	4.21
MT8	5.85	0.17	1.81	MT27	2.01	0.49	2.17
MT9	5.30	0.19	1.54	MT28	1.17	0.85	1.99
MT10	3.61	0.28	1.53	MT29	1.31	0,76	7.00
MT11	3.68	0.27	1.70	MT30	1.58	0.63	1.77
MT12	6.00	0.17	1.94	MT31	3.26	0.30	2.87
MT13	5.54	0.18	1.49	MT32	1.24	0.81	3.61
MT14	5.98	0.17	1.53	MT33	1.50	0.66	1.73
MT15	2.02	0.50	2.23	MT34	7.87	0.13	1.62
MT16	3.26	0.31	1.65	MT36	1.53	0.65	2.24
MT17	5.11	0.20	1.41	MT37	3.63	0.27	1.11
MT18	1.09	0.91	1.67	MT38	5.62	0.17	2.45



Şekil 5. Çalışma alanının baskın periyot haritası.

Şekil 5’de baskın periyot değerlendirildiğinde çalışma alanının kuzeydoğusu ile orta kesimlerinde 0.1 sn ile 0.33 sn arasında değişen değerleriyle düşük, güneydoğusunda ise 1.09 sn değerlerine ulaşan yüksek baskın periyot değerleri dikkati çekmektedir. Ayrıca çalışma alanının güneyinde MT18 ölçü nokrasında da nispeten yüksek periyot değeri gözlenmiştir. Çalışma alanının güneydoğusundaki yüksek periyot değerleri, bu alanın nispeten zayıf kaya birimlere veya toprak tabakasına sahip olduğunu göstermektedir. Çalışma alanının orta ve kuzeybatısında mostra veren ve sondaj verileriyle de desteklenen kaya biriminin varlığı nedeniyle periyot değerleri azalmaktadır (Şekil 5). Nakamura yöntemine göre yer hareketi büyütmesinin hesaplanmasında tartışmalar olmasına rağmen Şekil 6’da HVSR tepe değerleri (genlik) kullanılarak büyütme değerlendirilmiştir. Buna göre çalışma alanının güneydoğusunda nispeten yüksek büyütme değerleri gözlenmiştir. Yapılaşmanın yoğun olduğu orta ve kuzeybatı kesimlerine doğru genlik değerleri azalmıştır. Bölgesel jeoloji ve morfoloji incelendiğinde elde edilen sonuçların jeolojik yapı ile uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 6. Çalışma alanının büyütme haritası.

4. Tartışma

Çalışma alanının orta ve kuzeybatısında Nakamura HVSR tekniği ile elde edilen H/V eğrileri, genliği 2'nin altında düz bir eğri özelliği gösterirken güneydoğusunda yüksek frekanslarda nispeten belirgin bir doruk göstermiştir. [20] düz H/V eğrisinden elde edilen baskın frekans ve büyütme değerleri ile yorumlamaya gidilmesinin güvenilir olmayacağını belirtilmiştir. Nakamura yöntemi

HVSR tepe frekansının, sedimanın temel frekansını yansıttığı yaygın olarak kabul edilmesine rağmen birçok araştırmacı gerçek zemin büyütmesinin HVSR tepelerinin büyütmelerinden tahmin edilemediğini vurgulamıştır [20, 24, 25]. Ayrıca [26], genliğin esas olarak ana kaya ile empedans kontrastına bağlı olduğunu ve HVSR tepe noktasından elde edilen değerlerin zemin büyütmesi olarak kullanılamayacağını vurgulamıştır. Buna göre çalışma alanının orta ve kuzeybatı kesimindeki ölçü noktalarında elde edilen düz H/V eğrileri herhangi bir frekansta baskın bir pik göstermediğinden ortamın zemin özelliklerini yansıtacak sağlıklı baskın periyot ve genlik değerleri elde edilememiştir. Bu noktada elde edilen mikrotremor sonuçları ile bölgenin jeolojik ve morfolojik özellikleri beraber değerlendirilerek sonuca gidilmesi daha doğru sonuçlar elde edilmesine olanak sağlamıştır. Daha önce yapılmış olan sondaj ve araştırma çukuru sonuçları çalışma alanının orta ve kuzeybatı kesiminde yüzeyde mostra veren, güneydoğusunda ise nispeten daha derinde ofiyolit kaya birimin varlığını ortaya koymaktadır. Bu durum çalışma alanında genel olarak düz H/V eğrisi elde edilmesinin nedeninin ölçümlerin derinlikle değişen keskin bir hız değişiminin olmadığı referans ana kaya üzerinde alınmasından kaynaklandığını desteklemektedir. Ayrıca elde edilen baskın periyot ve büyütme haritaları da hem jeoteknik sonuçlar ile hem de bölgenin jeolojisi ile oldukça uyumlu sonuçlar vermiştir.

Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Evliya Çelebi yerleşkesinde 36 noktada Mikrotremor ölçümleri yapılarak kampüs alanının yerel zemin özellikleri belirlenmiştir. Mikrotremor HVSR yöntemi kullanılarak elde edilen baskın periyot ve büyütme haritaları daha önce çalışma alanı için yapılmış jeoteknik çalışmaya ait sonuçlarla ve bölgenin jeolojisi ile uyumludur. HVSR ölçümleri, çalışma alanının özellikle fakülte binalarının yoğun olduğu orta ve kuzeybatı kısımlarında düşük baskın periyot değerlerine sahip olduğunu göstermiştir. Aynı alanda büyütme değerleri de düşüktür. Bu alanda nispeten düşük periyot ve büyütme değerleri gözlenmesi bu alanın kaya yani sağlam zeminden oluştuğuna işaret etmektedir. Çalışma alanının güneydoğusunda ise nispeten yüksek periyot ve büyütme değerleri gözlenmiştir. Yüksek büyütme değerine sahip bir bölgenin kesinlikle zayıf bir yapıda olduğunu söylemek doğru değildir. Kesinlik taşıyan bir yoruma ulaşabilmek için diğer jeofizik yöntemlerden elde edilen veriler ile birlikte ortak bir değerlendirme yapmak gerekmektedir.

Acknowledgements

Bu çalışma Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimi tarafından desteklenmiştir. (Proje No: 2016-04)

References

- [1] McKenzie, D. Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophys. J. Int.* 1972; 30 (2), 109-185.
- [2] Dewey, J.F., Şengör, A.M.C. Aegean and surrounding regions. Complex multiplate and continuum tectonics in a convergent zone. *Geol. Soc. Am. Bull.* 1979; 90, 84–92.
- [3] Jackson, J.A., McKenzie, D. Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt between eastern Turkey and Pakistan. *Geophys. J. R. Astron. Soc.* 1984; 77, 185–264.
- [4] Taymaz, T., Jackson, J., Westaway, R. Earthquake mechanisms in the Hellenic trench near Crete. *Geophys. J. Int.* 1990; 102, 695–731.
- [5] Le Pichon, X., Chamot-Rooke, N., Lallemand, S., Noomen, R., Veis, G. Geodetic determination of the kinematics of central Greece with respect to Europe: implications for eastern Mediterranean tectonics. *J. Geophys. Res.* 1995; 100, 675–690.
- [6] Armijo, R., Meyer, B., Hubert-Ferrari, A., Barka, A.A. Westward propagation of North Anatolian Fault into the Northern Aegean: timing and kinematics. *Geology* 1999; 7, 267–270.
- [7] Bozkurt, E. Neotectonics of Turkey-a synthesis. *Geodin. Acta* 14, 2001; 3-30. doi: 10.1016/S0985-3111(01)01066-X.
- [8] Kalafatçıoğlu, A. Balıkesir Kütahya arasındaki bölgenin jeolojisi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 1964; Sayı 9/1-2, Sayfa 46-62.
- [9] Özbüran, M., Gürer, Ö.F. Late Cenozoic polyphase deformation and basin development, Kütahya region, western Turkey. *International Geology Review*, 2012; 54:12, 1401-1418, DOI: 10.1080/00206814.2011.644108
- [10] Koçyiğit, A. ve Bozkurt, E. Kütahya-Tavşanlı Çöküntü Alanının Neotektonik Özellikleri. 1997; TUBİTAK Proje No: YDABÇAG
- [11] Aki, K. Space and Time Spectra of stationary stochastic wave with special reference to microtremors. *Bulletin of Earthquake Res. Inst., Un. of Tokyo*, 1957; (35), 415-457.
- [12] Nakamura, Y. A method for dynamic characteristics estimation of sub-surface using microtremor on the ground surface. *Quarterly Report of Railway Technical Research Institute* 1989; 30, 25–33
- [13] Kanai, K., Tanaka, T. On Microtremors VIII, *Bulletin of Earthquake Res. Inst., Un. of Tokyo*, 1961; (39), 97- 114.
- [14] Ohmachi, T., Nakamura, Y. and Toshinawa, T. Ground Motion Characteristics in the San Francisco Bay Area detected by Microtremor Measurements. *Proc. 2nd. Int. Conf. on Recent Adv. In Geot. Earth. Eng. And Soil Dyn.*, 11-15 March, St. Louis, Missouri: 1991; 1643-1648.

- [15] Lermo, J. and Chavez-Garcia, F. Are microtremors useful in site response evaluation. *Bull. seism. Soc. Am.*, 1994; 84, 1350–1364. rd,
- [16] Chatelain, J.-L., Guillier, B., Cara, F., Duval, A.-M., Atakan, K., Bard, P.-Y. The WP02 SESAME team., Evaluation of the influence of experimental conditions on H/V results from ambient noise recordings. *Journal of Earthquake Engineering*, 2008; 6 (1), 33–74.
- [17] Guillier, B., Atakan, K., Chatelain, J.-L., Havskov, J., Ohrnberger, M., Cara, F., Duval, A. M., Zacharopoulos, S., Teves-Costa, P. The SESAME Team, Influence of instruments on the H/V spectral ratios of ambient vibrations. *Journal of Earthquake Engineering*, 2008; 6 (1), 3–31.
- [18] Lachet, C., Bard, P.-Y. Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitations of the Nakamura's technique. *Journal of Physics of the Earth*, 1994; 42, 377–397.
- [19] Büyüksaraç, A., Bektaş, O., Yılmaz, H., Arısoy, M.O. Preliminary seismic microzonation of Sivas city Turkey using microtremor and refraction microtremor ReMi measurements. *J. Seismol.* 2013; 17, 425–435.
- [20] SESAME, 2004. Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations: measurements, processing and interpretation SESAME European Research Project P12-Deliverable. D23.12. [ftp://ftp.geo.uib.no/pub/seismo/Software/Sesame/Userguidelines/Sesame-HV-UserGuide lines.doc](ftp://ftp.geo.uib.no/pub/seismo/Software/Sesame/Userguidelines/Sesame-HV-UserGuide%20lines.doc).
- [21] GEOPSY, 1997. Geophysical signal database for noise array processing. www.geopsy.org Erişim Mayıs 2021.
- [22] Konno, K. & Ohmachi, T. Ground-motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremor. *Bull. seism. Soc. Am.* 1998; 88, 228–241.
- [23] NEHRP, 1997. Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures. FEMA-303, Prepared by the Building Seismic Safety Council for the Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.
- [24] Bard, P. Y. Microtremor measurements: a tool for site effects estimations? *Proceedings of the Second International Symposium on the effects of Surface Geology on Seismic Motion*, 1998; 3, pp. 1251–1279. Yokohama, Japan.
- [25] Gosar, A., Stoper, R., Roser, J. Comparative test of active and passive multichannel analysis of surface waves (MASW) methods and microtremor HVSR method. *RMZ Material and Geo-environment*. 2008; 55 (1), 41–66.
- [26] Gosar, A., Roser, J. Microtremor study of site effects and soil-structure resonance in the city of Ljubljana (central Slovenia). *Bulletin of Earthquake Engineering*, 2010; 8, 571–592.