

K.K.T.C. LEFKO İLÇESİNDE YAPILAN MİKROTREMOR ÇALIŞMALARI

Hilmi Dindar¹, Mustafa Akgün², Cavit Atalar³, Özkan Cevdet Özdağ¹, Yaprak Bektaş², Aykut Tunçel², Özer Akdemir²

¹ *Doktora Öğrencisi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir*

² *Profesör, Jeofizik Müh. Dr., Öğr. Gör. Dr., Jeofizik Müh. Blm., Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir*

³ *Profesör, İnşaat Müh. Blm., Yakın Doğu Üniversitesi, K.K.T.C.*

Email: cevdet.ozdag@deu.edu.tr

ÖZET:

Alp-Himalaya deprem kuşağında ilçesi yer alan KKTC Lefkoşa bölgesi için depremlerin kaynağını Kıbrıs Yayıolu turur. Kıbrıs Yayı, Kıbrıs'ın batı ve güneyinde deniz içerisinde uzanarak Afrika ile Avrasya Litosferik Levhaları arasında tektonik sınır olmaktadır. Tarihsel bilgilere göre Kıbrıs Adası Genelinde Milattan Önce (MÖ) 26 ile Milattan Sonra (MS) 1900 yılları arasında, Mercalli ölçeğinden uyarlanmış olan, en az 8 iddetindeki 16 yıkıcı depremin meydana gelmiştir. Bafra ehirli MÖ 15 yılında meydana gelen deprem sonucunda yerle bir olmuştur. Ayrıca, MS 76, 332 ve 342 yıllarında meydana gelen depremlerde de Bafra, Salamis ve Kition ehirleri de ağırlı derecede etkilenmiştir. Sonuç olarak KKTC deprem riski yüksek bir konuma sahiptir ve deprem zemin yapısı ortak etkileşiminin tanımlanması için ayrıntılı çalışmalar yapılması gerekmektedir. Bu kapsamda KKTC Lefkoşa ilçesi sınırları içinde yaklaşık 100 noktada broadband özellikte ve en az 30 dk. kayıt uzunluğuna sahip tek nokta mikrotremor kayıtları alınmıştır. Düşük frekanslardaki genlik frekans değerlerini de izlemek için, ortalama 81 sn. uzunluğunda zaman pencereleri kullanılarak veri değerlendirilmeleri yapılmış ve Quasi Transfer Spektrumlarından (QTS) her bir ölçüm noktası için maksimum genlik ve frekans değerleri tanımlanmıştır. Ayrıca, USGS çalışmalarından elde edilmiş Vs30 hız değerleri ile QTS pik genlik periyot değerleri arasında karşılaştırmalar yapılarak ölçüm noktalarındaki zemin kalınlığı hakkında ön bilgi sağlanmıştır. Bu çalışmalarına göre, pik periyot değerinin 1 sn. den büyük olduğu ve Vs30 hız değerlerinin de 760 m/sn. den küçük olduğu alanlarda zemin kalınlığının 30 m. den daha kalınlık beklenmesi için bu alanlarda depreme dayanıklı yapı tasarımı için elastik tasarım spektrumlarının çalışılmasına uygun yapılması önerilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Lefkoşa, Mikrotremor, Quasi, Pik Genlik, Pik Periyot, Vs30

1. GİRİŞ

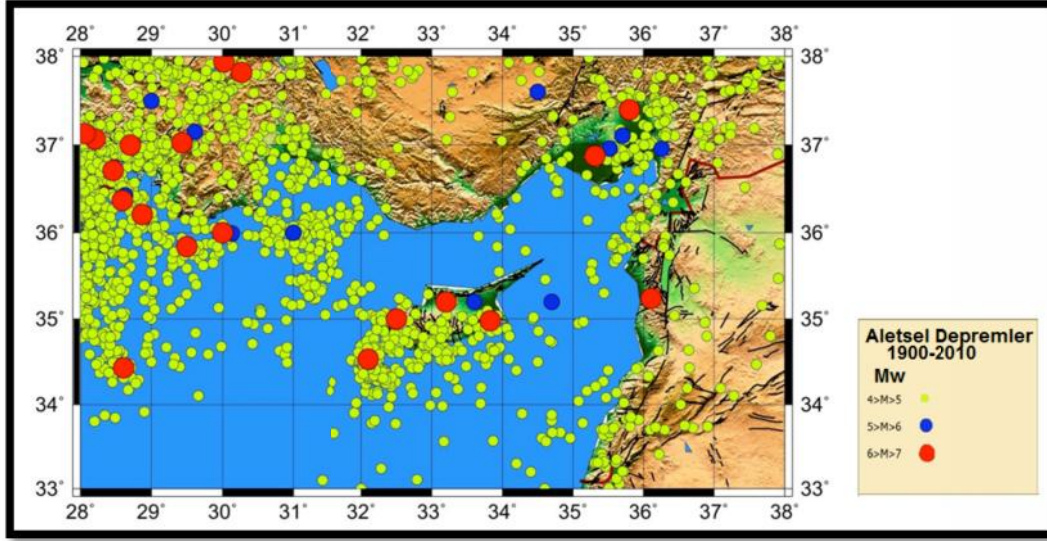
Kıbrıs Adası'nın oluşum süreci, Afrika Levhası'nın Avrasya Levhası'nın altına dalmasıyla başlamış ve bu jeolojik olayı da Trodos Ofiyoliti'nin oluşumu ile bu Ofiyolit kütesinin saat ibresinin aksi yönünde 90° dönüşü sonucu ana okyanusal kabuktan ayrılması takip etmiştir. Bu ofiyolit kütesinin güney ve batı bölümü yaklaşık 230 ile 75 milyon yıl arasında derin kayaçlarla kenetlenerek Mamonya Zonunu oluşturmuştur. Daha sonra ve geçmi 75 ile 10 milyon yıllar arasında Tektonik aktivite kısmen yavaşlamış ve bunun sonucunda da karbonat çökelişi ile beraber çökelti havzaları giderek sırasıyla Arak Efkâra ve Pahnâ Formasyon'larını oluşturmuştur. Miyosen sonunda Tetis Okyanusu kapanması ile Kalavason Formasyonu tanımlayan evaporitler oluşmuştur. Akdeniz'in Atlantik Okyanusu ile yeniden bağlantı kurması sonucunda deniz seviyesi yükselerek Lefkoşa ve Atalasa Formasyonlarına ait marn ve kalkarenitlerle temsil edilen yeni çökeller oluşmuştur. Yaklaşık 2 milyon yıl önceki son tektonik evrede, Kıbrıs'ın bulunduğu alanda meydana gelen ani yükselme sonucunda Trodos ve Girne Dağları bugün bulduklarından daha fazla yükseltiye ulaşımlardır. Bu ani yükselme olayı ile beraber söz konusu dönemdeki iklim koşullarına bağlı olarak gelişen sürekli yağışlar sonucunda bu dağlarda yaygın bir şekilde aşınmalar başlamıştır. Bu aşınmalarla beraber özellikle Trodos Dağları'ndan çok miktarda kırıntılı materyal çöktüğü havzalar içerisinde toplanmıştır. Bu kırıntılı çökeller geniş vadiler ve Mesarya Ovası'nda çökelti olarak Pleistosen yaşlı örgütlü akarsu çökellerini tanımlayan Fanglomera'yı meydana getirmiştir.

Kıbrıs, Dünya'daki depremlerin yaklaşık %15'inin meydana geldiği Alp-Himalaya deprem kuşağında yer alır. Kıbrıs'taki depremlerin oluşmasına yol açtığı düşünülen "Kıbrıs Yayı" Kıbrıs'ın yer aldığı bölgede, Afrika ile Avrasya Litosferik Levhaları arasındaki tektonik sınırı oluşturmaktadır. Bu "Yay" Kıbrıs'ın batı ve güneyinde deniz içerisinde yer alır. Depremlerin pek çoğunun bu yay üzerinde ortaya çıkması bu yay boyunca tektonik hareketlerin oluşumunu ve bunun da depremlere yol açtığını göstermektedir.

Tarihsel kaynaklar ve arkeolojik bulgular, geçmişte oluşan şiddetli depremlerin Kıbrıs'ı sarstığını ve çok sayıda deprem sonucunda şehirlerin tahrip olduğunu gösterir. Tarihsel bilgilere göre Kıbrıs'ta Milattan Önce (MÖ) 26 ile Milattan Sonra (MS) 1900 yılları arasında, Mercalli ölçeğinden uyarlanmış olan, en az 8 şiddetindeki 16 yıkıcı depremin meydana geldiğini gösterir. Bafra şehri MÖ 15 yılında meydana gelen deprem sonucunda yerle bir olmuş; MS 76 yılında meydana gelen depremde ise Bafra yanında Salamis ve Kition şehirleri de depremden yıkılmıştır. Salamis ve Bafra MS 332 ve 342 yıllarında meydana gelen depremlerle yeniden tahrip olmuşlardır.

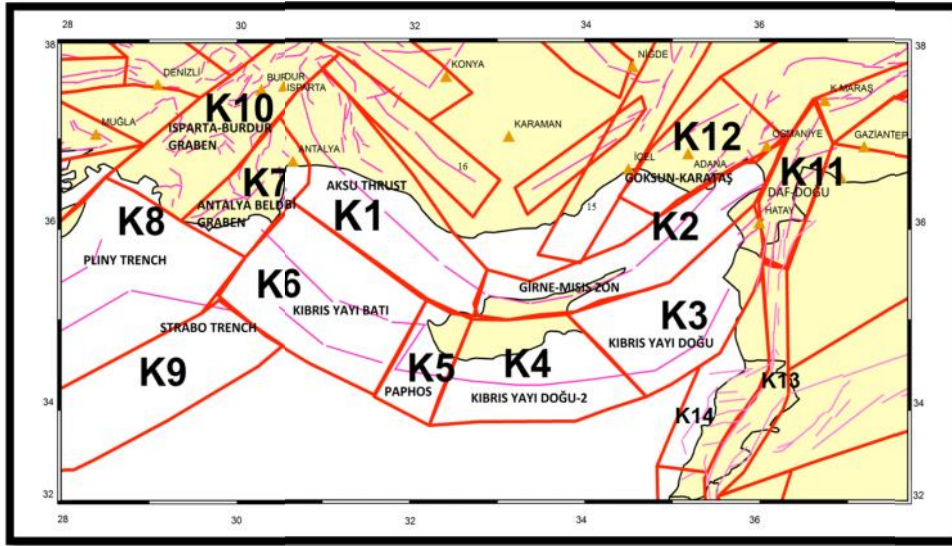
Kıbrıs'a komşu ülkelerdeki deprem kayıt istasyonlarının devreye girdiği 1896 yılından beri Kıbrıs'ı da içine alan bölgedeki depremler hakkında bilgiler kaydedilmeye başlamıştır. 1980 yılı ortalarından itibaren Adanın gerek güneyinde gerekse kuzeyinde kurulan deprem kayıt istasyonlarıyla Kıbrıs'ın depremselliği hakkında daha doğru bilgilerin elde edilmesi mümkün olmuştur. 1896 – 2004 yılları arasındaki dönemde deprem odaklarının, Kıbrıs'ın üzerine karışık geldiği 400'den fazla deprem meydana gelmiş ve bu depremler Adanın belli bölgeleri yanında çevre ülkelerde de hissedilmiştir. Bu depremlerden 14 tanesi hasara yol açmış ve meydana gelen depremlerden yaralananlar oluşmuştur. Bu depremlerden en şiddetli olanları 1941, 1953, 1995, 1996 ve 1999 yıllarında meydana gelen depremlerdir.

Tarihsel ve günümüze yakın dönemlerde meydana gelen depremler üzerindeki değerlendirmeler, depremlerin oluşumu ve bunların zaman içindeki dağılımının düzenli olmadığını göstermektedir. Sık sık tekrarlanan depremleri sismik aktivitenin durulduğu dönemler takip etmektedir. 1995 – 1999 yılları arasında sismik aktivitede artış gözlenmiştir. Bu depremler güçlü - çok güçlü depremler olup deprem büyüklüğü Rihter ölçeğine göre 5.6 ile 6.5 arasında değişmektedir. Kıbrıs sismik yönden hareketli bir bölgede yer aldığından bütün ada depremden etkilenebilecek konumdadır. Ancak Kıbrıs'ın depremler yönünden en aktif kesimi Bafra tan Limasol'a oradan da Larnaka ve Mesaşa'ya uzanan kıyı erididir (ekil 1).



ekil 1. Do u Akdeniz Bölgesi'nin Kıbrıs ve Civar Bölgelerindeki Deprem Tehlikesinin Tespit Edilmesi adlı Tübitak projesi kapsamında hazırlanan homojen kataloga göre tarihsel dönem depremselliği (Yalçın 2013 den alınmıştır).

Çalışma alanını oluşturan Lefko a Bölgesi ve yakın çevresi Yalçın vd. (2013) çalışmasına göre sismik zon olarak Girne Misis ile Kıbrıs Yayı doğusunda yer almaktadır (ekil 2).



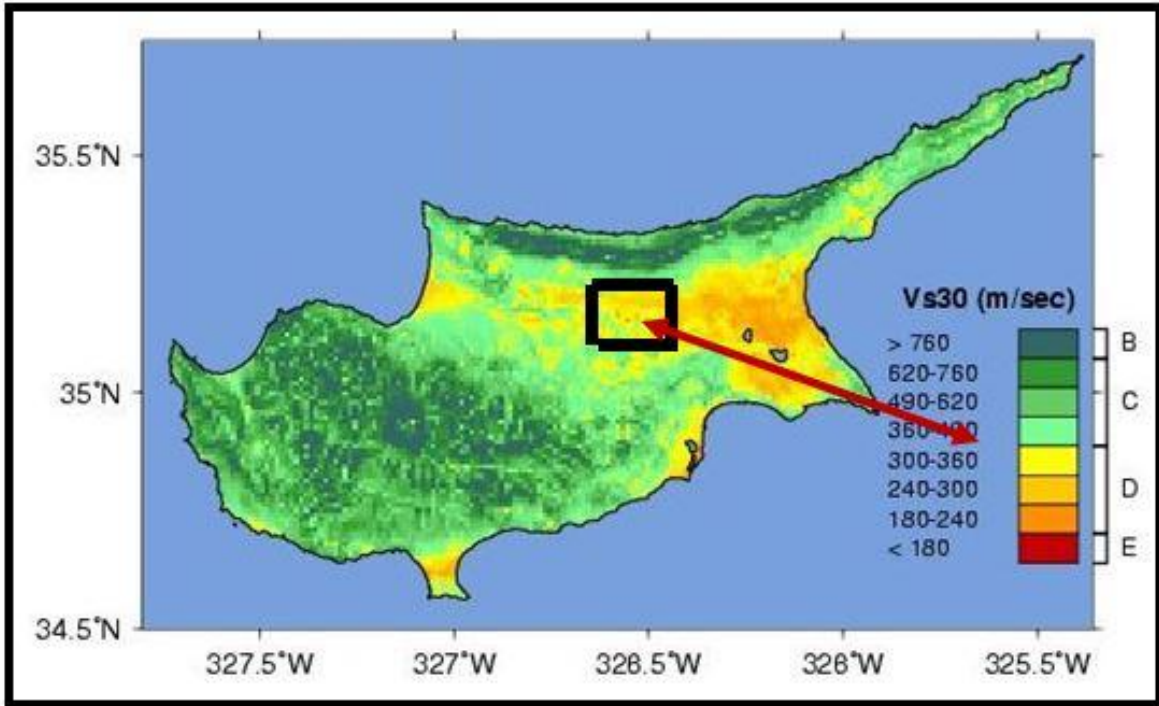
ekil 2. Kıbrıs ve Çevresi için Tanımlanan Sismik Zonlar (Yalçın ve Diğeri, 2013). Lefko a Zeminleri K4 ve K2 ile Tanımlı Sismik Zonlar içinde Kalmaktadır.

Bu çalışmada, Nakamura (1989) çalışmasında tanımlanan Quasi Transfer Spektrumu'ndan elde edilen maksimum genlik ve frekans değerleri ile ivme, hız ve yer deşirmeye duyarlı spektral bölgeler arasındaki ilişkiler tanımlanmıştır (Tunçsal, vd., 2007). Ayrıca, (USGS) Vs30 hız değerleri ile Quasi Transfer Spektrumlarının pik periyot değerleri arasındaki ilişkiyi tanımlayan yapılarak zemin kalınlığı hakkında ön kestirim yapılmıştır (Akgün vd. 2013.a ve b). Pik periyot değerinin 1 sn. den büyük olduğu ve Vs30 hız değerlerinin de 760 m/sn. den küçük olduğu alanlarda zemin 30 m. den daha kalın beklenmesi için bu alanlarda elastik tasarım spektrumlarının çalışmaya alanına özgün yapılması gerektiği önerilmiştir. Bu kavramdan hareketle Lefko a bölgesinde kurulu olan **SM-03** kuvvetli yer hareketi istasyonunda elde edilen zemin profili derinliğinin düşük

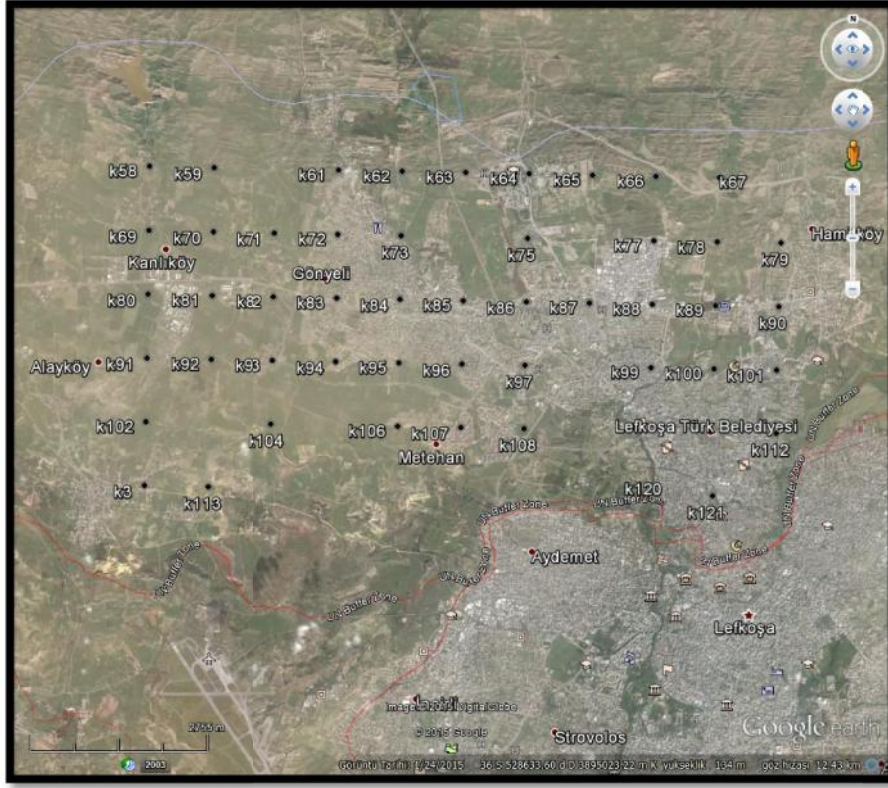
frekanslarda beklenecek olan pik periyot değerlerini temsil edip etmediğini geniş bant hız ölçer sismometreler ile mikrotremor ölçümleri yapılarak araştırılacaktır. Bu çalışmada tırma yapılırken eş zamanlı olarak kuvvetli yer hareketi istasyonlarından ve istasyon noktasında hızölçerler kullanılarak elde edilen sismogramlar değerlendirilmiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

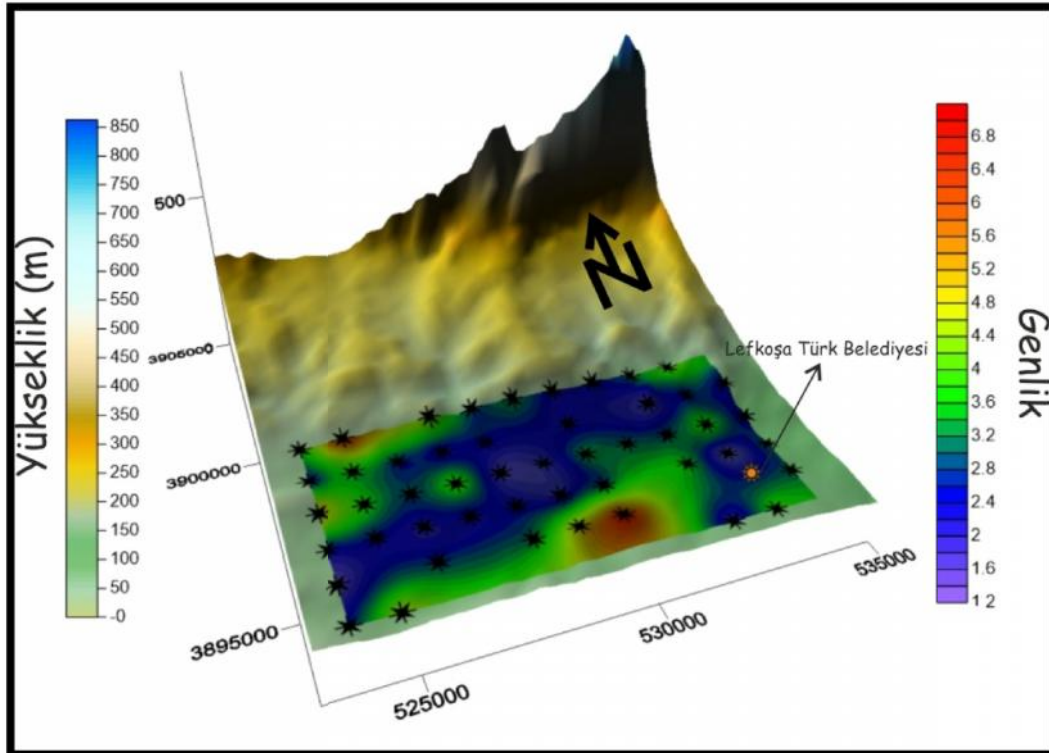
İlk amaçta; USGS verilerinde Kıbrıs Bölgesi için V_{s30} hız haritası elde edilmiştir (ekil 3). Kıbrıs Bölgesi genelinde V_s Hız değerleri zemin özelliğini göstermektedir ($V_s < 760$ m/sn). Daha sonra Lefkoşa Bölgesi için seçilen bir pilot bölgede mikrotremor tek istasyon yöntemi ile 49 noktada mikrotremor ölçümleri yapılmıştır (ekil 4). Nakamura (1989) yaklaşımı elde edilen Quasi Transfer Spektrumlarından çalışmaya alanına ait pik genlik periyot ile ivme, hız ve yer deprem tirmeye duyarlı spektral bölgeleri tanımlayacak haritalar oluşturulmuştur (ekil 5-7). Periyot değerleri genel olarak 1 sn ile 5 sn. arasında değişim gösteriyor. Bunun anlamı bölge genelinde periyot değerleri 1 sn. den daha büyüktür. Teves vd. (1996) yaklaşımına göre bu periyot değerleri 30 m. den daha kalın bir zemin olduğunu desteklemektedir.



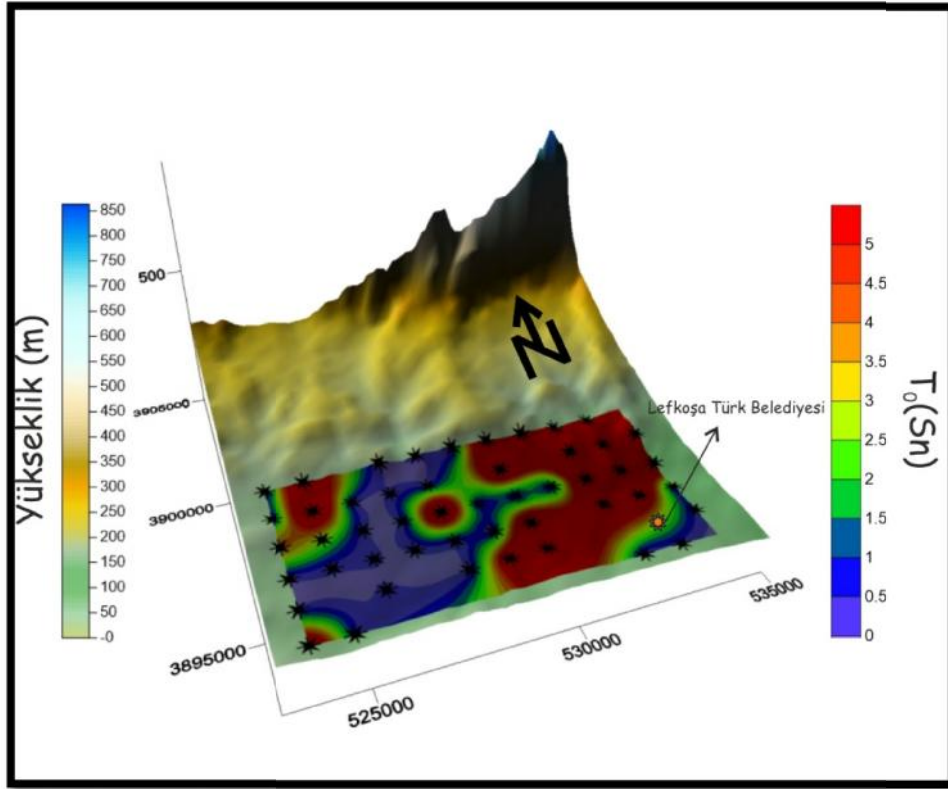
ekil 3. USGS verilerinden elde edilen V_{s30} hız değerleri. Hız değerleri Lefkoşa civarında ortalama 360 m/sn. Bu değer $V_s < 760$ m/sn. olduğu için zemin tanımına giriyor (www.usgs.gov).



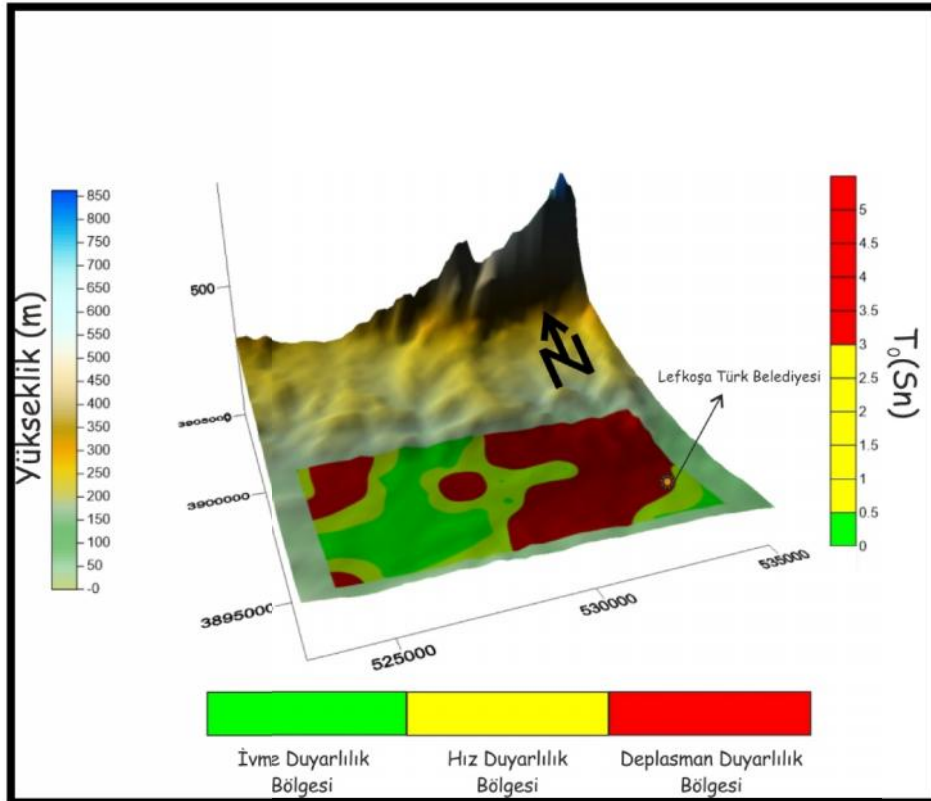
ekil 4. Mikrotremor Çalı ma Noktaları.



ekil 5. Lefko a Zeminleri Pik Genlik Da ılım Haritası. Pik Genlik De erleri Genelde 2-5 De erleri Arasında De i im Gösteriyor.



ekil 6. Lefkoşa Zeminlerinde Saptanan Pik Genlik Periyot Dağılım Haritası.

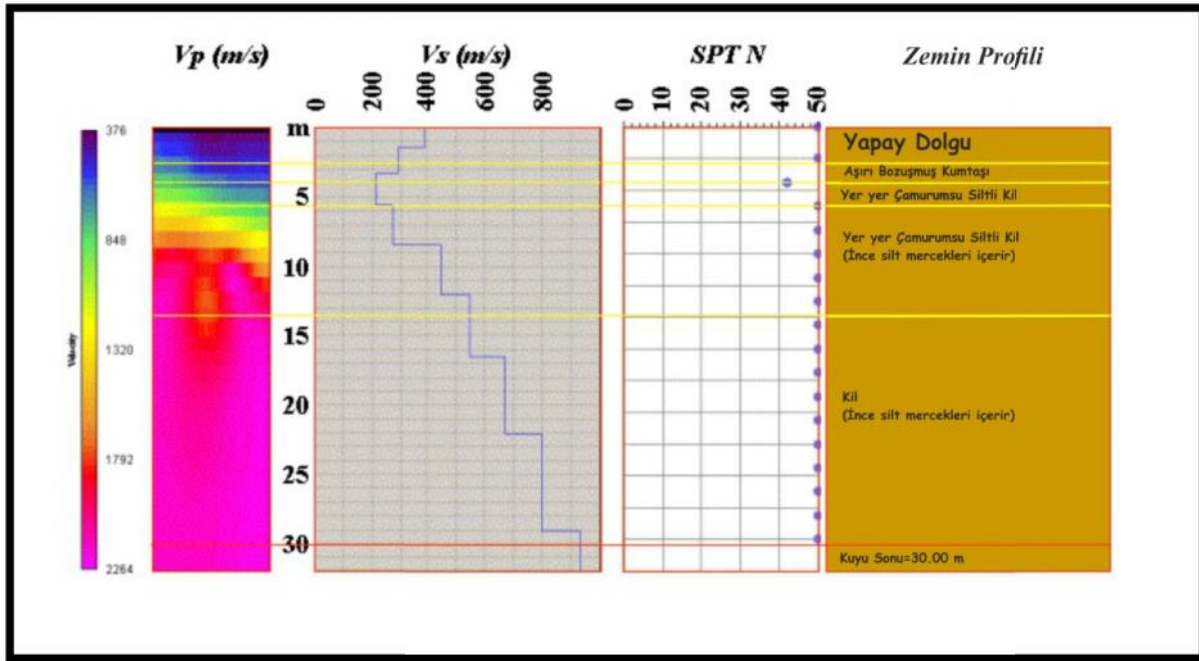


ekil 7. Pik Genlik Periyot Değerleri Kullanılarak Tanımlanan Periyot Duyarlı Spektral Bölgeler.

KYH kayıtları ile Broad Band (Geni band) kayıtlarından elde edilen Quasi Transfer Spektrumlarındaki pik genlik frekans ayrımlılığını karşılamak için örnek olarak AFAD tarafından SM-03 KYH istasyonu zemininde çalınan yapılmıştır. stasyon kurulurken yapılmış olan zemin ara tırmalarına göre Vs Hız değerleri ile SPT değerleri ortalama 20 m. derinlikten sonra mühendislik ana kayası ($V_s > 750$ m/sn) özelliğini göstermektedir (ekil 8).

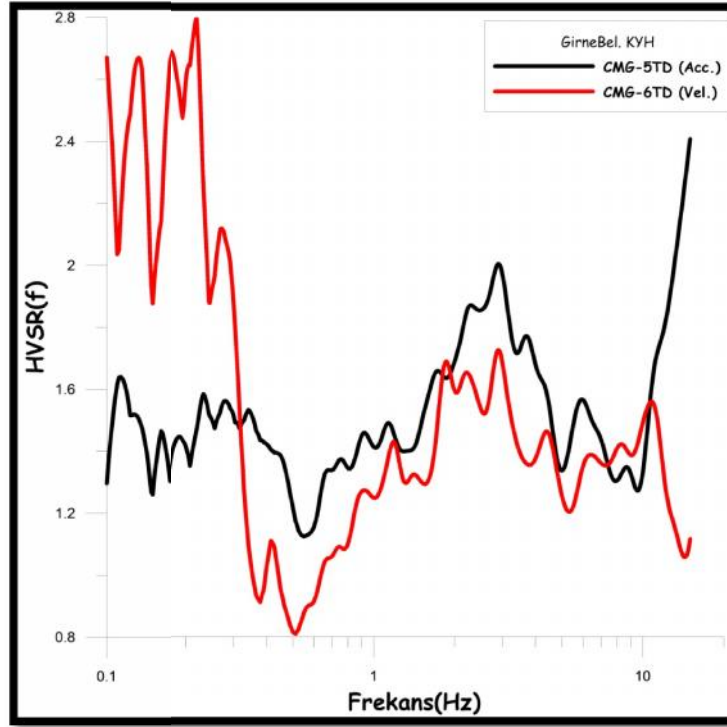
Bunun anlamı Vs30 hız değerlerine göre ortalama 25 m. derinlikten sonra zemin mühendislik ana kayası özelliğini göstermektedir. Zemin dinamiğini tanımlarken yapılan genel kabullere göre mühendislik ana kayası içinde zemin deformasyon özelliğinin elastik sınırlar içinde kaldığı kabul edilir. Ancak zemin sondajlarına göre jeolojik olarak, ortalama 15-30 m. arasında yer alan ortam kil birimi olarak tanımlanmaktadır. Kil birimi su içeriğine bağlı olarak farklı Vs hız değerleri göstermektedir. stasyon zeminini araştırılması yaz aylarında yapılmış ve yer altı su seviyesi 25-30 m. den daha düşükse bu kil birimi mühendislik ana kayası özelliğini gösterebilir. Buna karşın mevsimsel olarak yer altı suyu seviyesi yükselirse bu kil birimi zemin özelliğini taşıyabilir. Bu nedenle Nakamura (1997) çalışmasında önerildiği gibi bu tür ortamlarda mevsimsel değişimlerin etkisini sürekli olarak izlemek için gözlem istasyonlarının kurulması gerekir.

SM-03 KYH istasyonunda kayıt edilen verilere eş zamanlı olarak yapılan broad band gürültü ölçümlerinden Nakamura (1989) yaklaşımı ile elde edilen Quasi Transfer Spektrumları ekil 9'da görülmektedir. ekilden görüldüğü gibi 0.5 Hz. den yüksek frekans değerlerinde genlik değişimlerinde uyum gözlenirken düşük frekans değerlerinde uyum gözlenmemektedir. KYH istasyon kayıtlarından elde edilen Quasi Transfer Spektrumu pik genliği 2 Hz. olarak gözlenirken geniş band kayıtlarda pik genlik frekans değeri 0.1 – 0.3 Hz. değerleri arasında izlenmektedir. Bunun anlamı KYH kayıtları zemin ivme duyarlı spektral periyot bölgesinde tanımlarken geniş bant kayıtlar yer deşirmeye duyarlı spektral periyot bölgesinde tanımlanmaktadır.



ekil 8. SM-03 stasyon Zeminine Ait V_p , V_s , SPT ve Zemin Tanımları.

SM-03 KYH istasyonunda eş zamanlı olarak yapılan gürültü ölçümlerinden Nakamura (1989) yaklaşımı ile elde edilen Quasi Transfer Spektrumları ekil 9'da görülmektedir.



ekil 9. SM-03 KYH stasyonu Quasi Transfer Fonksiyonları

3. SONUÇLAR VE TARTI MA

KKTC Lefko a ilçesi zeminlerinde deprem sırasında olu acak deprem zemin yapı ortak davranı nda, zeminin nasıl bir tepki verece i konusunda Nakamura (1989) ve (1997) yakla ımları temel alınarak çalı malar yapılmı tır. Mikrotremor tek nokta ölçümlerinden elde edilen Quasi Transfer Spektrumlar ve www.usgs.gov çalı malarından sa lanan Vs30 hız da ılım haritası ile SM03 KYH hareketi istasyonunda tanımlanmı zemin profili ve e zamanlı olarak elde edilmi KYH ve broad band sismogramlarının ortak de erlendirilmesi sonucunda a a ıdaki sonuçlar elde edilmi tir.

- Çalı ma alanı genelinde pik periyot de erleri genel olarak 1 Sn le 5 Sn. arasında de i im göstermektedir. Bunun Anlamı Bölge Genelinde Periyot De erleri 1 sn. den büyüktür. Teves vd. (1996) yakla ımına göre bu periyot de erleri 30 M. den kalın bir zemin oldu unu desteklemektedir.
- Bu sonuca göre pik periyot de erinin 1 sn. den büyük oldu u alanlarda yerinde elastik tasarım spektrum hazırlanması önerilir.
- Mikrotremor ölçüm sonuçlarından elde edilen zemin hakim titre im periyotlarının alanın do usunda yüksek de erler alan kısımlarında zemin kalınlı ı di er kısımlara göre daha fazladır.
- SM-03 KYH istasyonunda elde edilen Quasi Transfer yüksek frekans de erlerinde genlik de i imlerinde uyum gözlenirken, dü ük frekans de erlerinde uyum gözlenmemektedir.
- KYH istasyon kayıtların elde edilen Quasi Transfer Spektrumu pik genli i 2 Hz. olarak gözlenirken geni bant kayıtlarda pik genlik frekans de eri 0.1 – 0.3 Hz. de erleri arasında izlenmektedir.
- Bunun anlamı KYH kayıtları zemini ivme duyarlı spektral periyot bölgesinde tanımlarken geni bant kayıtlar yer de i tirmeye duyarlı spektral periyot bölgesinde tanımlamaktadır.
- Bu nedenle mühendislik ana kayası tanımlı yapılrken özellikle kil gibi su tutma özelli i yüksek olan birimlerde Nakamura (1997) çalı masında önerildi i gibi mevsimsel de i imlerin etkisini sürekli olarak izlemek için gözlem istasyonlarının kurulması gerekir.

KAYNAKLAR

Akgün, M., Gönenç, T., Pamukçu, O., Özyalın, . ve Özda , Ö.C. (2013a). Mühendislik ana kayasının belirlenmesine yönelik jeofizik yöntemlerin bütünlük yorumu: zmir yeni kent merkezi uygulamaları, *Jeofizik Dergisi*, doi 13.b02 jeofizik-1304-12

Akgün, M., Gönenç, T., Pamukçu, O. ve Özyalın, . (2013b). Investigation of the relationship between ground and engineering bedrock at northern part of the Gulf of zmir by borehole data supported geophysical Works, *Journal of Earth System Science*, 123, 545-564.

Nakamura, Y., (1989), Nakamura Y 1989 A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface Q. Rep. Railw. Tech. Res. Inst. 30 25–33

Nakamura, Y., (1997), Seismic Vulnerability Indices For Ground And Structures Using Microtremor. World Congress on Railway Research, Florence, Nov. 1997.

Teves-Costa P L, Matias L and Bard P Y 1996 Seismic behaviour estimation of thin alluvium layers using microtremor recordings Soil Dyn. Earthq. Eng. 15 201–9

Tu sal, Ü.M., Kara, F. ., Ta kın, B., Sezen, A., vd., (2007), Türkiye Deprem Kayıtları Kullanılarak Hedef Yerde i tirmelerin Hesabı için ki Ampirik Formül. *Altuncu Ulusal Deprem Mühendisli i Konferansı, 16-20 Ekim 2007, stanbul*

Yalçın H., Gülen, L., Ça nan, Z., Kalafat, D., (2013). Do u Akdeniz Ve Kıbrıs Bölgesinin Deprem Tehlike Analizleri, 2. Türkiye Deprem Mühendisli i ve Sismoloji Konferansı 25-27 Eylül 2013 – MKÜ – HATAY