Maden Tetkik ve Arama Dergisi

http://dergi.mta.gov.tr



Gevşek karasal birimlerin (Kaliş) mikrotremör ölçümleri ile zemin hakim titreşim periyot hesaplamaları

Determination of predominant site period of loose terestrial units (Caliche) by microtremor measurements

Kıvanç ZORLU[a]*

[a]*Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Çiftlikköy Kampüsü, Mersin. orcid.org/0000-0002-2086-7379.*

Araştırma Makalesi

Anahtar Kelimeler:
Adana, mikrotremor, deprem, kaliş, Nakamura yöntemi.

ÖZ

Kurak-Yarı kurak iklim bölgelerinde gözlenen kaliş türü birimler; düşey yönde zonlanma gösteren, karasal kalsiyum karbonat birimler olarak bilinmektedir. Kaliş profilinin en üstünde zayıf kaya niteliğindeki sert kaliş, onun altında ise gevşek zemin karakterindeki yumuşak kaliş profili yer almaktadır. Kalişler, çoğunlukla doygun olmayan zonlarda, toprak, kaya ve bozunmuş malzemenin yer değiştirme ve/veya çimentolanmasına işaret ederler. Çalışma alanı Adana ilinin doğusunda yer alan kaliş birimlerini kapsamaktadır. Bölgede oldukça geniş bir yayılım gösteren Kuvaterner yaşlı kaliş, özellikle eğimin düşük olduğu, bölgelerde bulunmaktadır. Adana Havzasındaki paleosolik kalişler, karbonatça zengin yüzey sularıyla birlikte, süzülme, kapilarite ve ayrışma olaylarını takiben, önce sedimantolojik daha sonra da pedolojik bir mekanizma sonucu oluşmuşlardır. Adana ili I. ve II. derece deprem bölgesinde yer almakta olup, tarihsel ve aletsel dönemlerde pek çok depreme sahne olmuştur. Özellikle 1998 Adana depremi sırasında en büyük yapısal hasarın kaliş profili üzerinde yer alan binalarda meydana geldiği gözlenmiş olup, buna kaliş profilinin düşey yönde sergilediği litolojik değişimin neden olduğu düşünülmektedir. Bu çalışma ile sert kaliş ve yumuşak kaliş sınırındaki ve litolojik değişikliklerin olduğu sınırlardaki göreceli zemin büyütmesi ve yatay-düşey spektral oranı (H/V) inceleniştir. Bu amaçla, sert kaliş ve yumuşak kaliş arasındaki H/V farkının ortaya konabilmesi için, sert kaliş üzerinde ve sert kalişin olmadığı, profilin doğrudan yumuşak kaliş ile başladığı lokasyonlarda 24 adet mikrotremor ölçümü yürütülmüş ve H/V farkı ortaya konmuştur.

Geliş Tarihi: 27.02.2017
Kabul Tarihi: 14.09.2017

Keywords:
Adana, microtremor, earthquake, caliche, Nakamura method.

ABSTRACT

The caliche profiles that have been observed in arid-semi arid climate regions can be described as terrestrial formations which are vertical succession and composed predominantly of calcium carbonate. At the top of the caliche profile, there is hard pan leyer as a weak rock and soft pan layer characterized by loose soil is existed. Caliche is formed by the displacement and/or cementation of soil, rock, and weathered material, and is usually found in unsaturated zones. In the study area, consist of caliche units located in Adana. It is noteworthy that the caliches of Quaternary is widely crop out throughout the region, exhibited a flat topography in the region locate at this unit. The paleosolic deposits in the Adana Basin, which is characterized by climate oscillations in the Pleistocene and surface waters rich in carbonate, following draining, capillarity and weathering, initially formed as a result of sedimentological and followed by pedological processes. Adana is located in the I. and II. degree seismic zone, where many earthquakes have been observed in historical and instrumental periods. It was found that the greatest structural damage sustained by the earthquakes that occurred in Adana especially in 1998, was seen in the buildings located on caliche ; it is believed that the damage caused to the buildings located on chalice can be attributed to the of morphologically distinct layers or horizons. This study determines the sediment amplification characteristics and horizontal to vertical spectral ratio (H/V) within the borders. Accordingly, to demonstrate H/V between the hard pan and the soft pan horizon of the caliche, 24 microtremor measurements were performed on locations with soft pan, on locations with no hard pan, and on locations where the profile directly begins with the soft pan.

* *Başvurulacak yazar: Kıvanç ZORLU, kivancgeo@mersin.edu.tr*
http://dx.doi.org/10.19076/mta.330732

1. Giriş

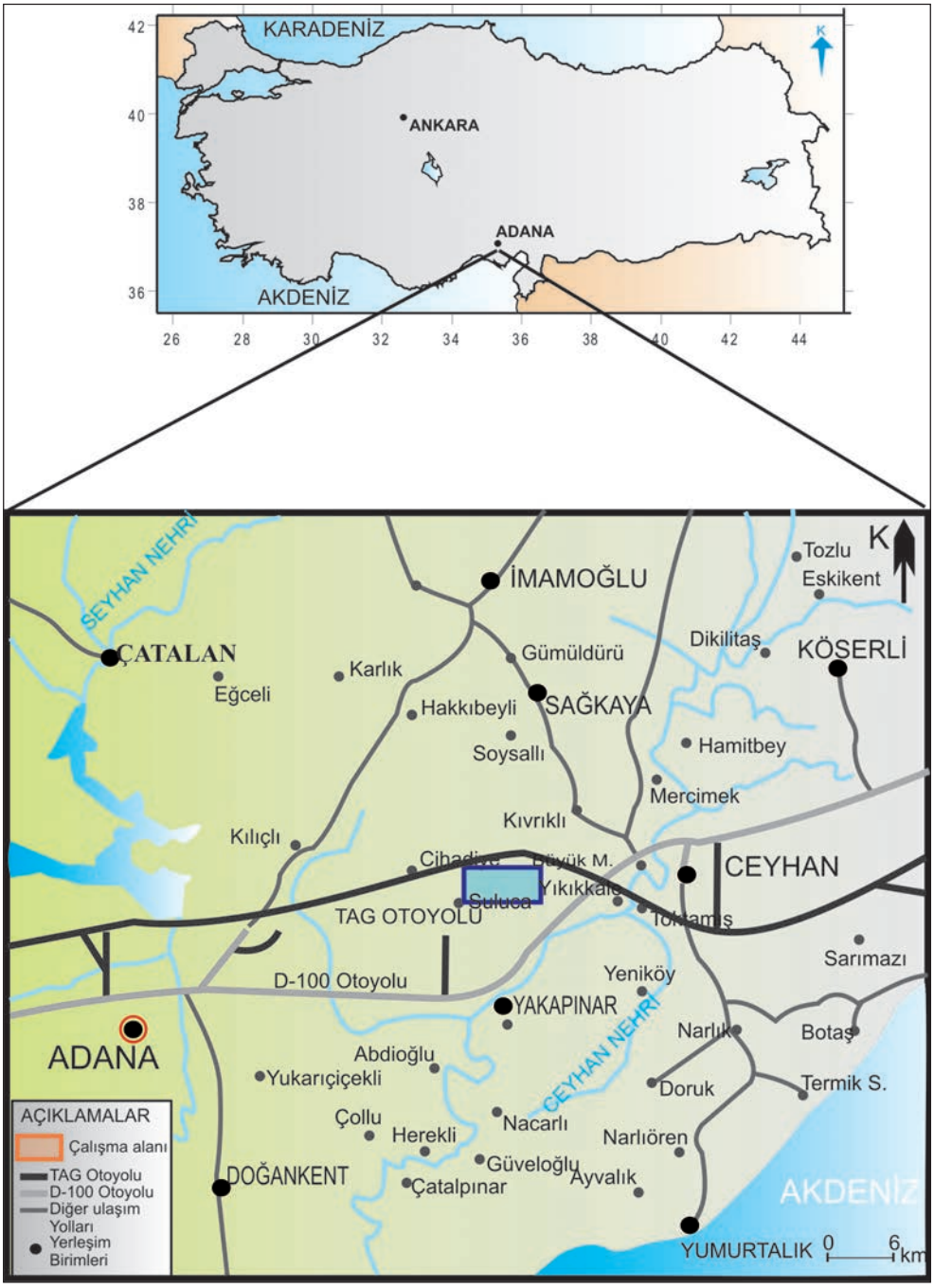
Depremler sırasında hasar oranın artması, binanın yapısal özelliklerinin yanı sıra, üzerine yapıldıkları zeminin litolojik özellikleri ile doğrudan ilişkilidir. Kaya veya toprak zeminlerin deprem sırasındaki davranışları farklı olmakla birlikte, toprak zeminlerde depremin etkileri daha fazla gözlenmektedir. Terzaghi ve Peck (1967)'e göre, sert topraklar, tek eksenli sıkışma dayanım 400 kPa'lı aşan malzemelerdir. Clayton ve Serratrice (1977), sert toprak ve zayıf kaya olarak adlandırılan malzemelerin, toprak ve kaya arasındaki sınırda yer aldığını belirtmişlerdir. Bu araştırmacılara göre; sert toprak ve zayıf kayaların dayanımları çeşitli laboratuvar deneyleri ile belirlenmekle birlikte, bu iki malzeme arasındaki tanımlamalarda halen bir belirsizlik söz konusudur. Daha önceki yıllarda, bu tür malzemelerin mühendislik özellikleri göz ardı edilirken, günümüzde hızla artan yapılaşma ile birlikte yaşanan mühendislik sorunları nedeniyle, bu malzemelerin özellikleri daha ayrıntılı incelenmeye başlanmıştır (Clayton ve Serratrice, 1977). Sert topraklar ve zayıf kayaların sınıflamasına ilişkin en önemli çalışmalardan biri Johsonston ve Novello (1993)'ya aittir. Bu tür malzemeler, yumuşak kil ve gevşek kumdan sert kayaya uzanan geniş bir yelpazenin ortasında bulunmaktadır. Buna göre; zayıf kayaların tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri 0.5 MPa ile 25 MPa arasında değişmektedir. Araştırmacılar, tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerleri 0.5 MPa'dan küçük olan malzemeleri "toprak" ve 25 MPa'dan büyük olan malzemeleri ise "sert kaya" olarak tanımlamışlardır. Kaliş türü zeminler, zayıf kayadan, gevşek yapılı kumlu, siltli, killi toprak zemine kadar geçiş gösteren bir profil sergilemektedir. Çalışma alanındaki kaliş profiline ait seviyeler; Ulusal Deprem Tehlikesini Azaltma Programı (National Earthquake Hazard Reduction Programme, NEHRP) tarafından C (yumuşak kaya) ve E (yumuşak zemin) sınıfı zemin olarak kabul edilebilir. NEHRP'ye göre bu sınıfların S-dalga hızı değerleri (V_{s30} m/sn) sırasıyla > 1500 m/sn ve >180 m/sn'dir. Kaliş profiline ait seviyeler, Eurocode 8 zemin sınıflama kriterine göre ise, A (kaya ve yüzeyde en az 5m zayıf malzeme içeren kaya ya da jeolojik formasyon) ve D (gevşekten ortaya düşük kohezyonlu zemin katmanları veya hakim olarak yumuşaktan katıya kohezif zemin) zemin kapsamında değerlendirilebilir. Bu sınıflama sistemine göre S-dalga hızları sırasıyla <800 m/sn ve >180 m/sn'dir. (Halaç, 2016).

Goudie ve Pye (1983), tarafından düşey yönde zonlanma gösteren ve yatay veya yataya yakın konumda bulunan, kalsiyum karbonatın baskın olduğu karasal bir oluşum olarak tanımlanan kaliş, gevşek durumdan oldukça sıkılaşmış durumlara geçiş gösterir. Kalişler, çoğunlukla doygun olmayan zonlarda, toprak, kaya ve bozunmuş malzemenin yer değiştirme ve/veya çimentolanmasına işaret ederler. Mekanik ve yapısal özellikleri dikkate alındığında kaliş türü birimler, çökebilir topraklar (çökme potansiyeline sahip topraklar) olarak adlandırılabilir (Popescu, 1986; Rollins vd., 1993; Zorlu ve Kasapoğlu, 2009). Literatürde, çökme potansiyeline sahip toprakların daha çok; artık granitik malzemeler, tüfler, alüvyon yelpazeleri, lösler ve karbonatlı kayaçların olduğu belirtilmiştir (Rogers, 1995). Bu tür topraklar genellikle çok az miktarda kil içeren, silt ve ince kum tane boyundaki malzemelerdir. Kil içeriğinin %10 ile %20 arasında olması çökmenin oluşması bakımından idealdir. Kil miktarının bu oranları aşması durumunda, malzeme tipik plastik kil davranışı sergilemekte ve çökme mekanizması oluşmamaktadır. Çok az miktardaki kil içeriği ve parçacıklar arasındaki bağın yetersiz olması, çökme için gerekli olan duraysız yapıyı sağlamaktadır (Steven, 1998). Çökebilir topraklar; sabit gerilim altında, doygun duruma geçtiklerinde çok büyük hacimsel değişime (hacimde azalma) uğramaları ile karakterize edilir. Bu tür malzemeler, kuru durumda yüksek bir dayanım sergilemekle birlikte, çok düşük yoğunluğa, gözenekli bir yapıya ve ıslanmaları halinde dayanımlarını kaybetme özelliğine sahip malzemelerdir.

Bu çalışma kapsamında, I. ve II. derece deprem bölgeleri içerisinde kalan Adana ve yakın çevresinde yüzeylenen ve 27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan depreminde, üzerinde bulunan binaların hasar gördüğü (Aydan vd., 1998), kalişin bazı dinamik özelliklerinin değerlendirilmesi amaçlanmış ve bu amaç doğrultusunda mikrotremor çalışmaları yapılmıştır. Mikrotremor ölçümleriyle zemin hakim titreşim periyodu ve bunun göreceli zemin büyütmesine olan etkisi değerlendirilmiştir.

2. Çalışma Bölgesinin Jeolojisi

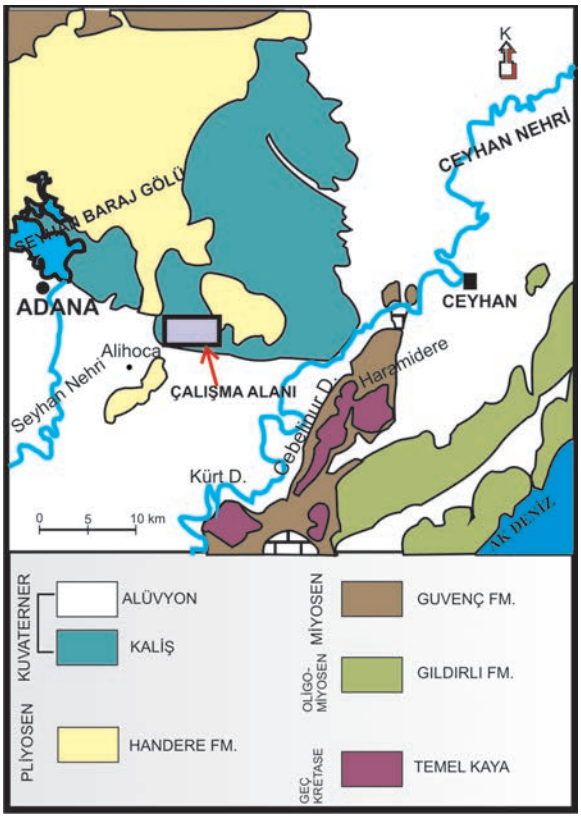
Çalışma alanı, Doğu Akdeniz Bölgesi'nde, Adana ili ve Ceyhan ilçesi arasında kalan bölgede yer almaktadır (Şekil 1). Türkiye'de kentleşme sürecinin en hızlı olduğu yerleşimlerden biri olan Adana, Akdeniz Bölgesi'nin ticaret ve sanayi bakımından en önemli merkezidir. İnceleme alanında genel olarak, Geç Kretase, Oligo-Miyosen, Miyosen, Pliyosen ve Kuvaterner yaşlı kayaçlar ile yine aynı yaştaki kalişler yer almaktadır (Şekil 2).



Şekil 1- Çalışma alanının yer bulduru haritası.

Üst Kretase: Şekil 2'de verilen basitleştirilmiş jeoloji haritasından da görüldüğü gibi Üst Kretase yaşlı kayaçlar inceleme alanının yakın çevresinde yer alan Haramidağ, Cebel-i Nur Dağı ve Kürt Dağı boyunca büyük bloklar halinde gözlenmektedir. Volkanosedimanter özelliğe sahip bu birim; manganezli kireçtaşı içeren tüf, volkanik kumtaşı, killi kireçtaşı ve aglomeralarla temsil edilmektedir. Topoğrafik açıdan yüksek eğimli alanlarda gözlenen Üst Kretase yaşlı kayaçların dokanağı genellikle tektoniktir. Bloklar halinde gözlenen birimde, kireçtaşları bol çatlaklı, kırılgan bir yapıya sahiptir (Kozlu, 1987).

Oligo-Miyosen: Oligo-Miyosen yaşlı birim, olistostromal karaktere sahip olup farklı blokların bir araya gelmesinden oluşmuştur. Birimin matriksi, türbitlerden oluşma bol planktonik fosilli ve kırıntılı



Şekil 2- Çalışma alanının jeolojik haritası.

bir yapıya sahiptir. Genelde olistostrom çakıltaşlarıyla kuşatılmış irili ufaklı bloklar, istifin değişik seviyelerinde dağınık halde bulunurlar. Orta derecede eğimli topoğrafik alanlarda gözlenen birim, çevredeki değişik sedimanter ve ofiyolitik kayaçların aşınması ve daha sonra akarsularla taşınarak, dar ve uzun bir havzada hızlı bir şekilde çökelmesiyle oluşmuştur (Kozlu, 1987).

Miyosen: Miyosen yaşlı birimlerden, Güvenç formasyonu inceleme alanının kuzeybatı kesimlerinde Alihoca Köyü yakınlarında gözlenmektedir. Orta-kalın tabakalı ve yer yer çapraz tabakalanma gösteren Güvenç formasyonu, Yetiş (1987)'in bulgularına göre Burdigaliyen-Serravaliyen zaman aralığında çökelmiştir. Gri renkli çakıltaşı ve kumtaşından oluşan birim, yüksek eğimli topoğrafyaya sahip alanlarda gözlenir. İnceleme alanında, yüzeylenmeyen, Karaisalı, Köpekli, Cingöz ve Kuzgun formasyonları da bölgenin stratigrafik istifinde yer alan Miyosen yaşlı birimlerdendir (Kozlu, 1987).

Pliyosen: İnceleme alanında Pliyosen yaşlı birimler Handere formasyonu olarak adlandırılmıştır. Handere formasyonu Adana ve Misis'in kuzeyinde ve genellikle orta derecede eğimli topoğrafyaya sahip bölgelerde yüzeylenmektedir. Başlıca; kumtaşı, silttaşı, marn, çamurtaşı ve çakıllı kumtaşlarından oluşan bu formasyon genellikle açık kahverengi ve açık gri olup, toplam kalınlığı yaklaşık 700 m civarındadır (Yetiş, 1987). Orta kalınlıkta tabakalanmaya sahip olan formasyonun içerdiği birimlerde yer yer çapraz tabakalanma gözlenir. Bu birimler, Toros Dağları'nın orojenezi sonrasındaki aşınma evresinde yüksek yerlerdeki birimlerin aşınarak taşınması ve daha sonra düşük kotlarda çökelmesiyle oluşmuştur. Bu sedimanter istifte çakıltaşları oldukça yaygındır. Handere formasyonunun üst dokanağı Adana Havzası'nda yaygın olarak gözlenen kaliş ve yer yer genç alüvyonlarla örtülmüştür.

Kuvaterner: Kuvaterner yaşlı çökeller kaliş ve alüvyon istiflerden oluşmaktadır. Adana-Ceyhan arasındaki bölgede oldukça geniş bir yayılım gösteren Kuvaterner yaşlı kalişin özellikle eğimin düşük olduğu, yerleşim bölgelerinde bulunduğu dikkat çekmektedir. Sözü edilen bölgede, kalişler yaklaşık 400 km^2'lik alansal bir yayılıma sahiptir. Bu açıdan değerlendirildiğinde, bölgede kalişlerin önemli bir alansal yayılıma sahip olduğu görülmektedir. 400 km^2'lik alana yayılan kalişlerin oluşturduğu topoğrafyanın alansal olarak %81'i eğimin 10°'den az olduğu yerlerde gözlenirken, % 16'sı 10°-20°, %3'ü ise 20°'den daha yüksek eğimli alanlarda gözlenmektedir. Adana Organize Sanayinin üzerinde bulunduğu alan ise; genelde 10°'den daha düşük eğimli topoğrafyaya sahip olup, tümüyle kalişlerden oluşmaktadır

Adana Havzasındaki paleosolik kalişler, Pleyistosen'deki iklim salınımları ve karbonatça zengin yüzey sularıyla birlikte, süzülme, kapilarite ve ayrışma olaylarını takiben, önce sedimantolojik daha sonra da pedolojik bir mekanizma sonucu oluşan kalişlerinin yaşı ise, Kuvaterner olarak kabul edilmektedir (Şenol, 1989).

Kaliş oluşumundaki en önemli unsurlardan biri olan temel kaya, bu bölge için Pliyosen yaşlı Handere formasyonudur. Temel kayanın litolojik özelliklerindeki farklılıklar, oluşan kaliş profilinde de, lokal ölçekte değişimlere neden olabilmektedir (Şenol, 1989).

Çalışma alanında yer alan kalişler, yumuşak kaya niteliğindeki sert kaliş ve toprak zemin niteliğindeki (çakıllı-kumlu ve siltli killi seviyelerden oluşan) yumuşak kalişin oluşturduğu bir profil sunmaktadır. Söz konusu seviyeler, bölgenin genelinde kısa

mesafelerde değişimler göstermekte, bazı yerlerde seviyelerden bazıları ya hiç gözlenmemekte ya da kalınlıkları çok değişken olmaktadır.

Alüvyon: Çalışma alanında, Adana ve Misis-Andırın havzalarını oluşturan eski alüvyonlar ile dere boylarında gözlenen genç alüvyonlar yer almaktadır. Eski alüvyonlar genellikle bitkisel toprak ile örtülü bulunmaktadır. Yeni alüvyonlar ise, akarsular boyunca gelişmiş olup, genellikle kötü boylanmış, çimentolanmış çakıl, kum ve silt ve kil tane boyundadır.

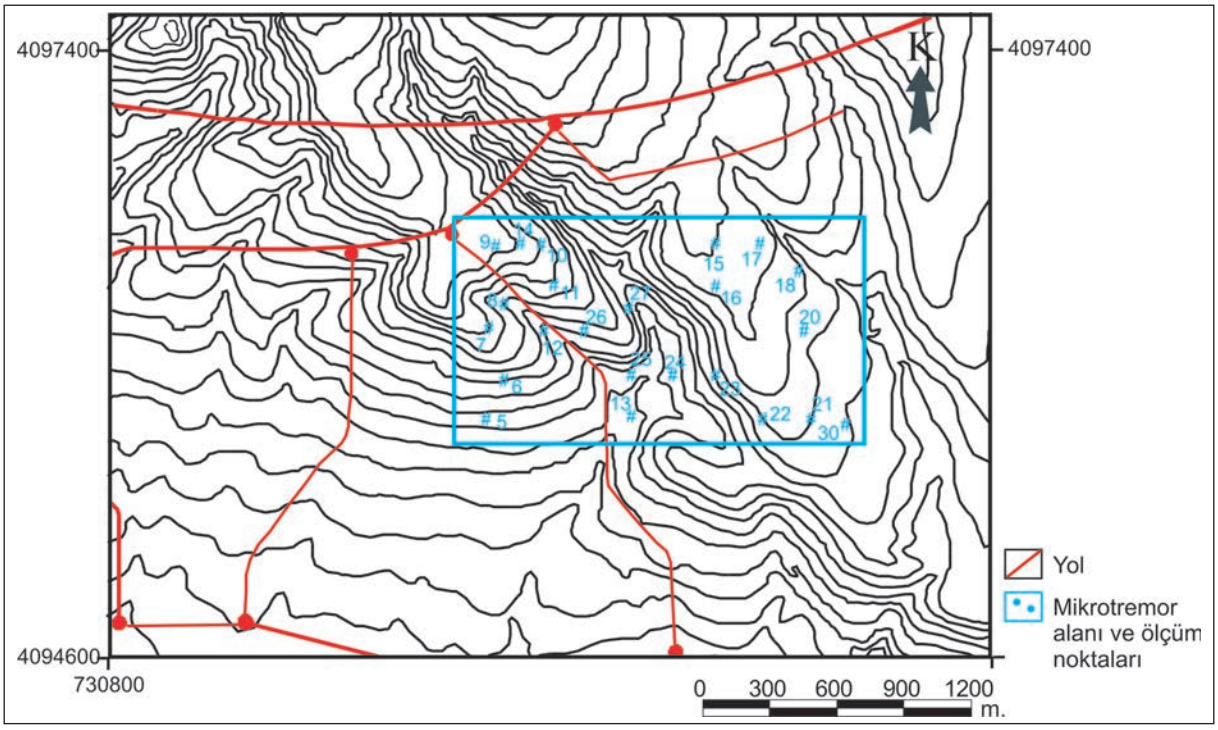
3. Kaliş Profilinin Zemin Hakim Titreşim Periyodunun Belirlenmesi ve Göreceli Zemin Büyütmesi Etkisinin İncelenmesi

Çalışmanın amacı doğrultusunda, Adana ili ve Ceyhan ilçesi gözlenen kalişlerin zemin hakim titreşim periyodu ile zemin büyütmelerinin belirlenmesi için 24 adet mikrotremor (mikro titreşimcik) kaydı alınmıştır (Şekil 3). Mikrotremor kayıtlarının yorumlanmasında Nakamura (1989) yöntemi kullanılmıştır. Çalışma alanının genelinde yapılan mikrotremor ölçümlerinin yanı sıra, 1998 Adana-Ceyhan depremi sırasında bu alanda hasar gören yapıların çevresinde de ölçümler alınmıştır. Sert kaliş ve yumuşak kaliş arasındaki büyütme farkının ortaya konabilmesi amacıyla ise, sert kaliş üzerinde ve sert kalişin olmadığı, profilin doğrudan yumuşak kaliş ile başladığı yerlerde alınan kayıtlara, Geleneksel Spektral oranlar ve Nakamura (1989), teknikleri uygulanarak, sert kalişin göreceli zemin büyütmesine olan etkisi araştırılmıştır.

3.1. Mikrotremor Ölçüm Yöntemleri

Mikrotremor; okyanusal, atmosferik ya da yapay kaynaklardan (trafik, endüstriyel makinalar) ortaya çıkan, her zaman ve her yerde oluşabilen düşük genlikli (1-10 mikron) salınımlardır. Mikrotremorlar, bilinen sismik dalga tiplerinden ikisinin (S, P, yüzey dalgası vb.), ya da birkaçının bileşimi olabilirler (Udwadia ve Trifunac 1973).

Depremlerde yapının üzerinde bulunduğu zeminin titreşmesi, diğer bir deyişle sallanması durumunda mühendislik yapısı da titreşime maruz kalmaktadır. Mühendislik yapısı ile üzerinde bulunduğu zeminin periyotlarının birbirine yakın olması halinde, bir rezonans oluşmakta ve buna bağlı olarak da hasar beklenenden fazla olmaktadır. Günümüzde meydana gelen depremlerden sonra yapılan incelemelerde, yapı-zemin rezonans etkisinin hasarı arttırıcı bir etkisi olduğu gözlenmiştir (Wenk vd., 1998). Wenk vd. (1998), 1998 Adana-Ceyhan depremi sonrası, hasar gören 65 binada yaptıkları çalışmada en çok hasar gören binaların, en fazla beş ile yedi katlı



Şekil 3- Zemin hakim titreşim periyodu ve göreceli zemin büyütmesini belirlemek amacıyla yapılan mikrotremor ölçümlerine ait lokasyonlar.

oldukları ve bina frekanslarının 1.5-2 Hz arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Buna ek olarak, Çelebi (1998) de Ceyhan istasyonu ivme kaydını esas alarak Nakamura yöntemi kullanmış ve elde ettiği transfer fonksiyonunun 1-1.5 Hz de pik yaptığını belirtmiştir.

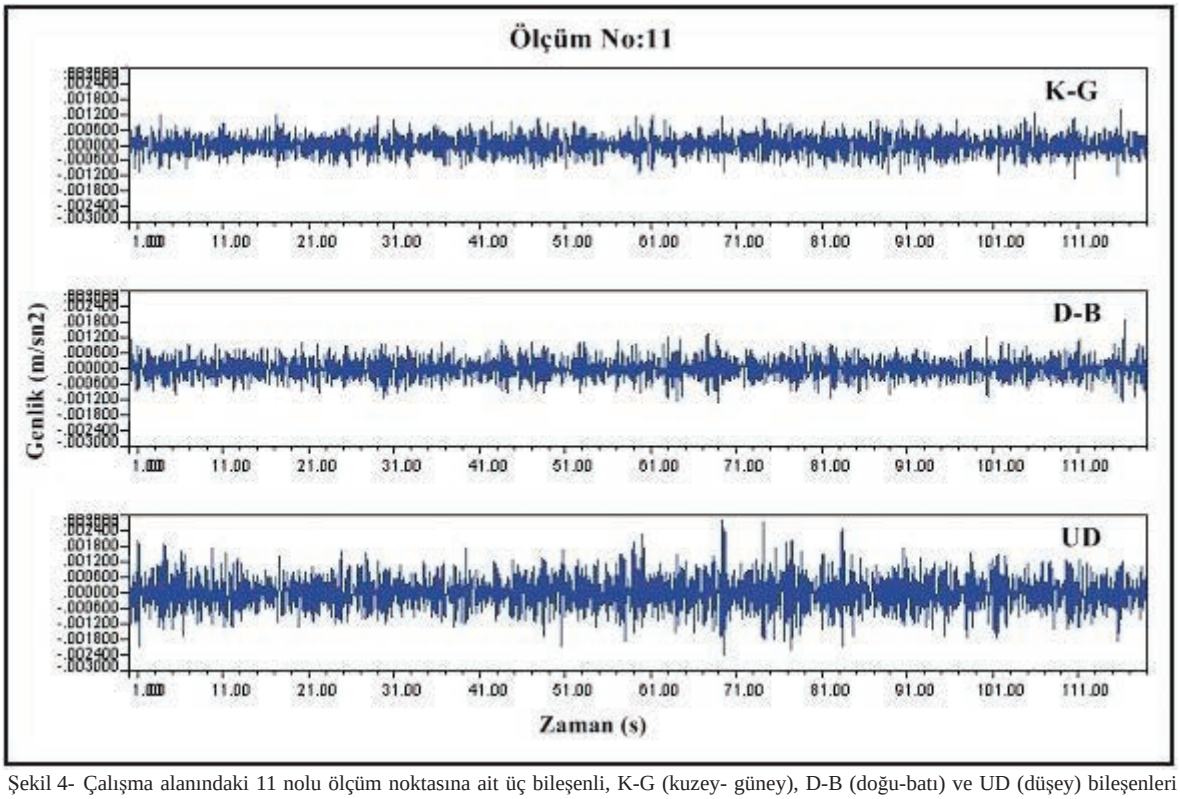
3.2. Kullanılan Yöntemler ve Verilerin İşlenmesi

Çalışma kapsamında yürütülen mikrotremor ölçümlerinde, Akashi marka JEP-6A3 model, 3 bileşenli ve frekans bandı 0.2-20 Hz arasında düz olan algılayıcılar kullanılmıştır. Bu algılayıcılar ile kaydedilen ivme verileri, Datamark LS-8000WD model bir veri kayıtçısında depolanmıştır. Mikrotremor kayıtlarının alınacağı lokasyonlar, çalışma alanının büyüklüğü de dikkate alınarak, karelaj sistemi uygulanarak belirlenmiş olup, binaya veya yola denk gelen noktalarda ise noktaya yakın kesimlerde ölçümler alınmıştır. Ölçümler 3 dakikalık kayıtlar halinde alınmıştır. Alınan mikrotremor kayıtları, sıfır ekseninden kayma (off-set) düzeltmesi ve 1-10 Hz band geçişli Butterworth tipi filtre uygulaması yapılarak çizdirilmiştir (Şekil 4).

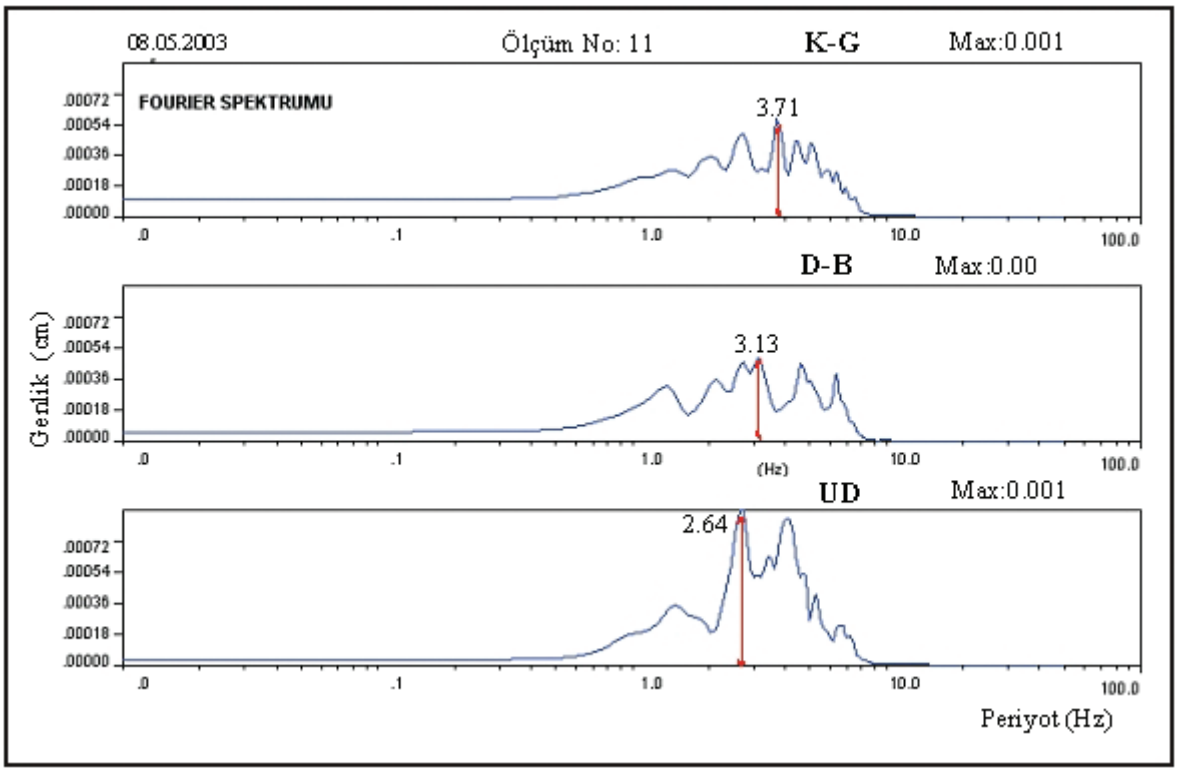
Bir sonraki aşamada, her bir bileşenin frekans ortamında Fourier genlik spektrumları (Şekil 5) elde edilmiş olup, bu spekturumların elde edilmesinde, 0.4 band aralıklı Parzen pencere uygulaması yapılmıştır. Mikrotremor kayıtları yukarıdaki işlemlerden geçirilerek değerlendirmeye hazır hale getirildikten sonra Nakamura spektrumu ve Geleneksel Spektral Oran yöntemi uygulanmıştır.

3.3. Geleneksel Spektral Oranlar Tekniği

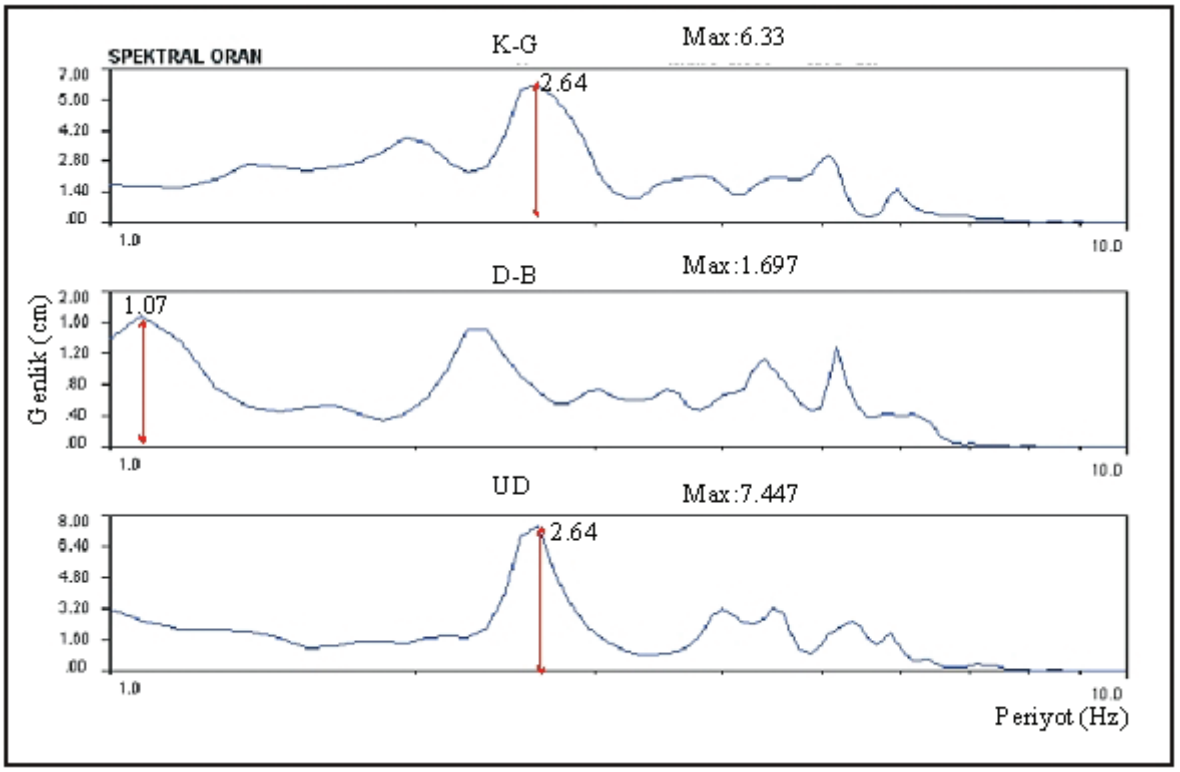
Bu yöntemde, mikrotremor kaydından elde edilen verilerin değerlendirileceği yerdeki spektrumlar, belirli bir referans noktasından elde edilen spektruma oranlanır. Bu tekniği uygulamak üzere kayda, sıfır ekseninden kayma (off-set) düzeltmesi ve 1-10 Hz band geçişli Butterworth tip filtre uygulaması yapılmıştır. Daha sonra, frekans ortamında her bir bileşenin spektrumları elde edilmiştir. Sert kaliş ve yumuşak kaliş için elde edilen spektrumlar, bileşenlerine göre genlik ortamında oranlanmış, kaynak ve yol etkisi giderilerek tekrar hesaplanmıştır. Ayrıca 0.5 Hz band genişliğine sahip Parzen penceresi ile spektrum düzlemesi (smoothing) yapılmıştır (Şekil 6 ve 7).



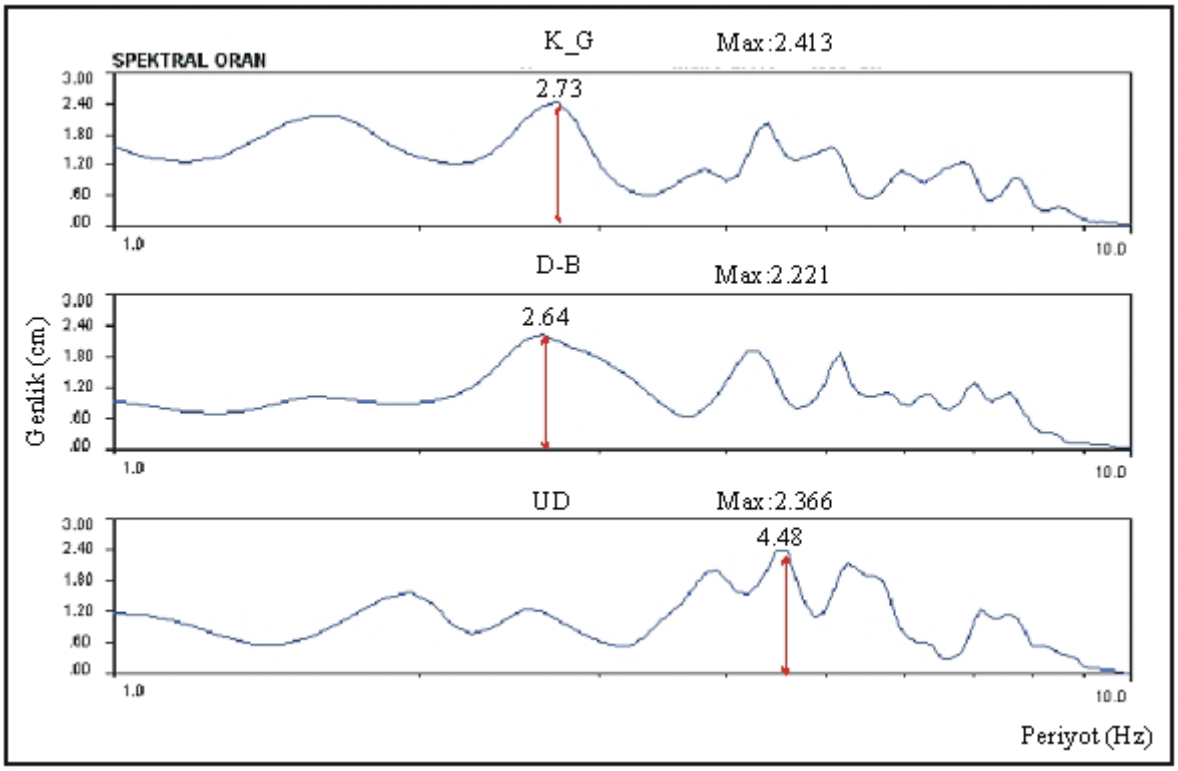
Şekil 4- Çalışma alanındaki 11 nolu ölçüm noktasına ait üç bileşenli, K-G (kuzey- güney), D-B (doğu-batı) ve UD (düşey) bileşenleri gösteren 3 dakikalık mikrotremor kaydı.



Şekil 5- Çalışma alanındaki 11. ölçüm noktasına ait üç bileşenli K-G (kuzey-güney), D-B (doğu-batı) ve UD (düşey bileşen) mikrotremor kaydının Fourier genlik spektrumları.



Şekil 6- Çakıllı-bloklu seviye ile sert kaliş seviyesi üzerinde elde edilen kayıtların "Geleneksel Spektral Oranlar Tekniği" kullanılarak hesaplanan spektrumları ve bu spektrumlardan elde edilen sert kalişe göre yumuşak kaliş seviyesinde (iri taneli seviyesi) oluşan genlik ve büyütme farkı.



Şekil 7- Sert kaliş ile siltli, kumlu seviye üzerinde elde edilen kayıtların "Geleneksel Spektral Oranlar Tekniği" kullanılarak hesaplanan spektrumları ve bu spektrumlardan elde edilen sert kalişe göre yumuşak kaliş seviyesinde (ince taneli seviye) oluşan zemin genlik ve büyütme farkı.

3.4. Nakamura Yöntemi

Nakamura yöntemi (Nakamura, 1989), mikrotremor ölçümleri ve yatay ve düşey spektrumların (H/V) oranlanması esasına dayanmaktadır. Yapay titreşim kaynakları çoğunlukla düşey hareketlerde hakimdirler ve Rayleigh dalgalarına neden olurlar. Düşey bileşende Rayleigh dalgalarının etkisi açıkça görülmektedir. Bu nedenle, Rayleigh dalgaları mikrotremorların gürültüsü olarak varsayılırlar ve etkileri giderilmeye çalışılır.

Kullanılan yöntemde, gürültü olarak kabul edilen Rayleigh dalgalarının etkisi en aza indirilmiştir. Bu nedenle çalışmalar, trafik gürültüsünün veya dışarıdan yapay olarak yansıyacak gürültülerin ölçümleri etkilememeleri için sabahın erken saatleri olan 02:00-04:00 saatleri arasında yapılmıştır.

Buna ek olarak, temel kaya ve bunun üzerindeki kaliş profilinde yapılan sürekli ölçümlerde, H/V oranları farklılık göstermektedir. Yapılan çalışmada mikrotremor ölçümlerinden elde edilen zaman verisinin Fourier genlik spektrumları alınarak, frekans ortamında her bir bileşenin spektrumları ayrı ayrı elde edilmiştir. Daha sonraki aşamada, yatay spektrumlar, her bir frekans aralığı için düşey spektrumlara oranlanmış olup bu işlem sırasında Eş.1 kullanılmıştır. H/V hesaplamaları GEODAS Data Acquisition System 1.14 kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca yatay bileşen genliğinin geometrik ortalaması düşey bileşene oranlanmış, 0.5 Hz bant genişliğine sahip Parzen penceresi ile de spektrum düzlemesi yapılmıştır (Şekil 8).

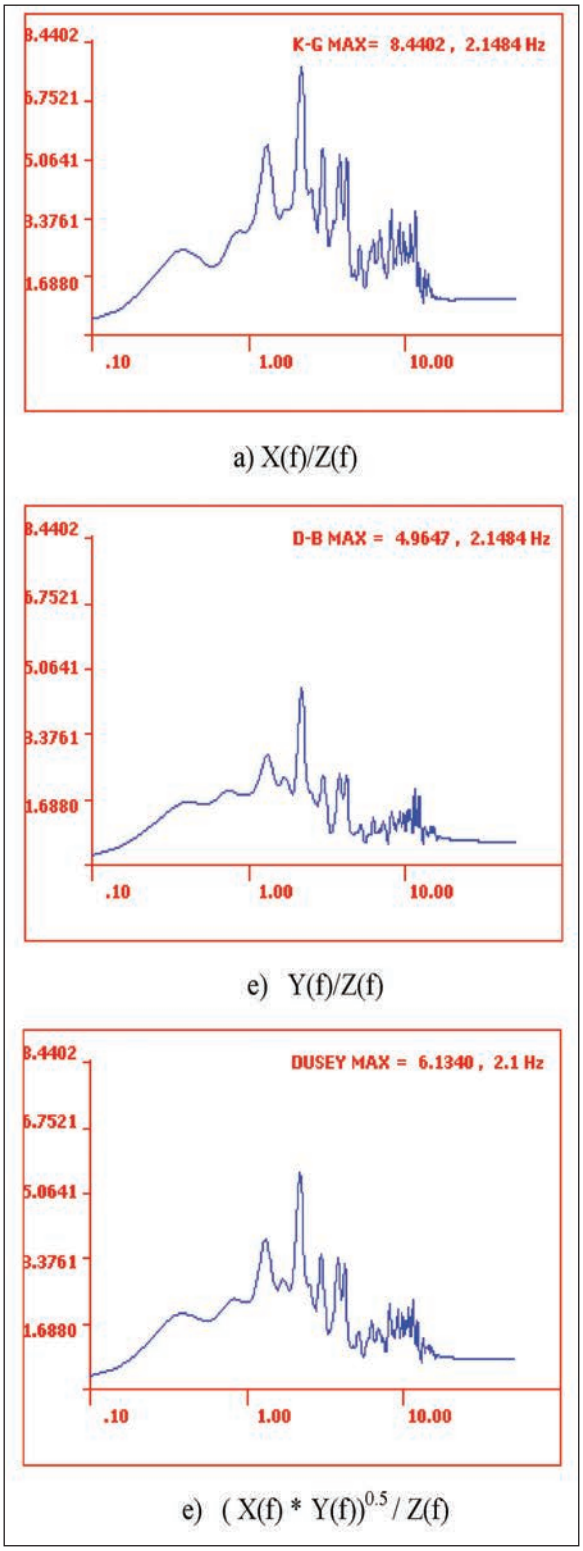
$$H/V = \sqrt{S_{NS}{}^2 + S_{EW}{}^2} / S_{UD} \quad (1)$$

H/V : Yatay ve düşey spektrum oranı

S_{NS} : Kuzey-güney bileşeni

S_{EW} : Doğu-batı bileşeni

S_{UD} : Düşey bileşen



Şekil 8- Mikrotremor kaydının Nakamura (1989) tekniği ile elde edilen tipik H/V spektrumları (Yatay eksen: Periyot, Düşey eksen: Genlik).

3.5. Verilerin Değerlendirilmesi ve Sonuçlar

Sert kaliş ve yumuşak kaliş seviyelerinin göreceli göreceli zemin büyütmesi üzerindeki etkisinin araştırıldığı bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

a) Yapılan mikrotremor ölçümlerinden elde edilen verilerin Fourier spektrumlarına bakıldığında, bir tek hakim moddan bahsetmek mümkün olamamaktadır. Elde edilen spekrtumların geneline bakıldığında ise bu durum açıkça gözlenmektedir.

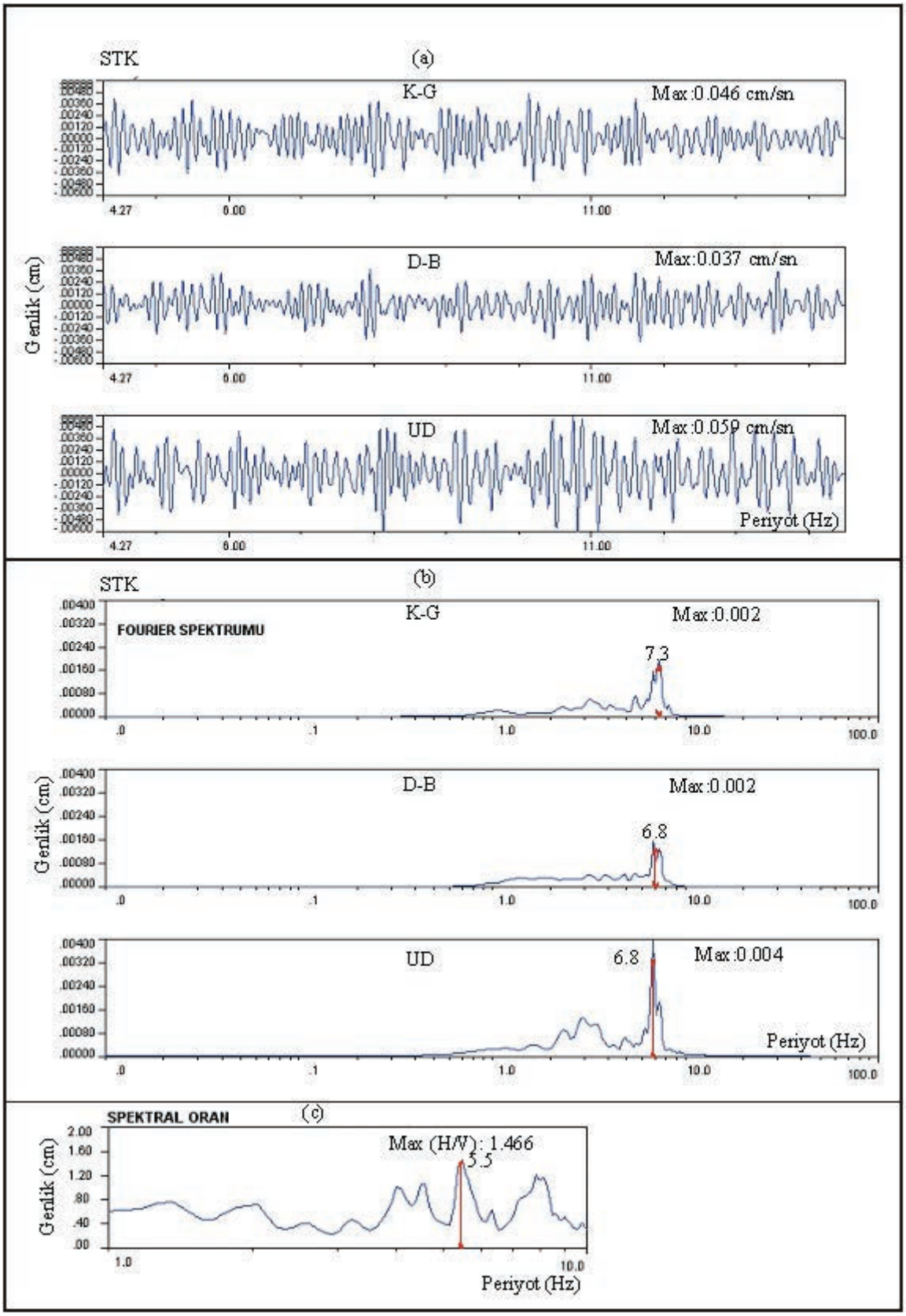
b) Hakim olarak gözlenen üç moddan, diğer bir deyişle, üç frekans aralığından söz etmek mümkündür. Spektrumlarda birinci mod olarak, 5-7 Hz aralığında (0.2-0.1s periyot) sert kaliş etkisi, ikinci mod olarak, yumuşak kaliş seviyelerinden; 2-3 Hz aralığında (0.5-0.3 s periyot) çakıllı-bloklu seviye ve siltli-kumlu seviyenin etkisi ve son olarak da 1-2 Hz aralığında (0.9-0.5 s periyot) en altta bulunan ve saha genelinde gözlenemeyen killi birimin etkisi gözlenmektedir.

c) Sert kaliş üzerinde alınan ölçünün Fourier spektrumundan zemin hakim periyodu yaklaşık 7 Hz (0.14 s) olarak belirlenmektedir (Şekil 9b). Nakamura spektrumu alındığında ise, bu hakim genliğin 5.5 Hz (0.18 s) olduğu ve 1.5 kat göreceli zemin büyütmesi verdiği görülmektedir (Şekil 9c).

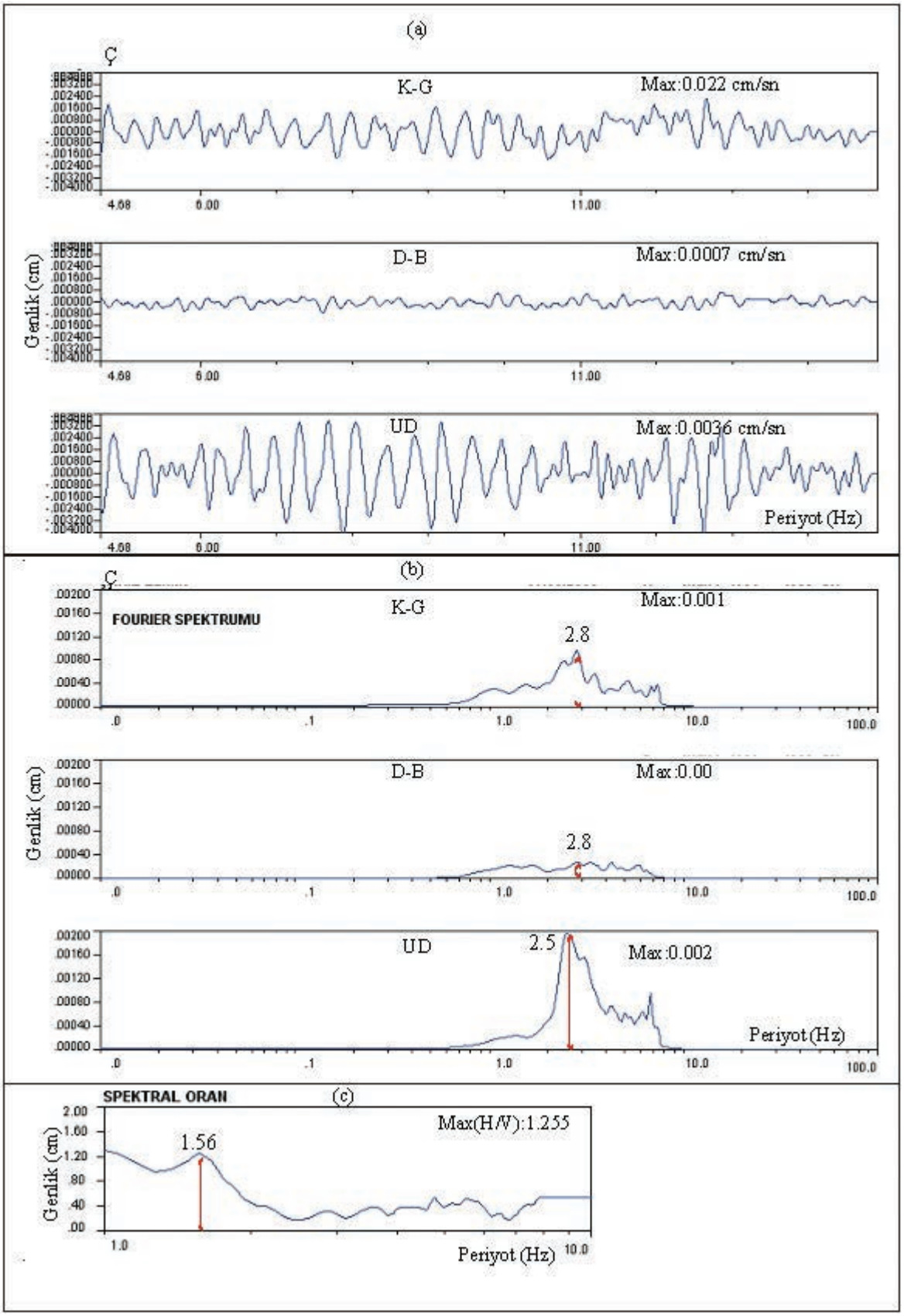
d) Sert kaliş seviyesinin bulunmadığı, ya da kaldırılmış olduğu yerlerde, yüzeyde bulunan çakıllı-bloklu seviyenin üzerinde alınan ölçüm incelendiğinde ise, Nakamura spektrumunda 2.8 Hz (0.37 s) zemin hakim periyodunda (Şekil 10b), 1.25 kat göreceli zemin büyütmesi verdiği görülmektedir (Şekil 10c).

e) Sert kaliş ve yumuşak kalişin çakıllı-bloklu seviyesinin olmadığı, profilin siltli-kumlu seviyesi üzerinde alınan ölçümlerin ise, 1.75 Hz (0.57 s) zemin hakim periyodu ve 1.8 kat büyütme verdiği görülmektedir (Şekil 11c).

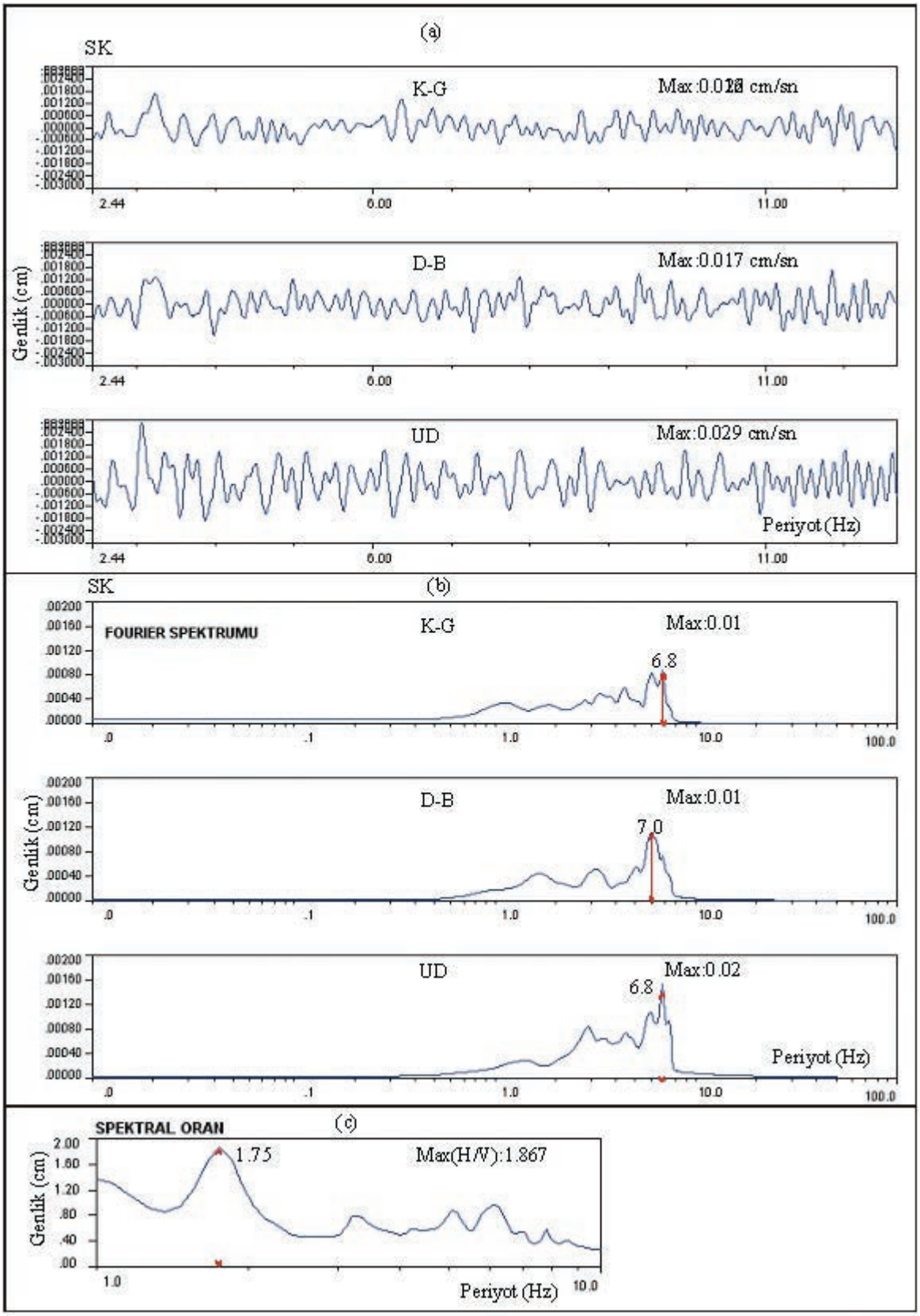
f) Geleneksel Spektral Oranlar yöntemi sert kaliş ve yumuşak kaliş seviyelerine uygulandığında, yumuşak kalişin çakıllı-bloklu seviyesinde, sert kalişe göre 1.79 Hz'de (0.56 s) 6-7 kat göreceli zemin büyütmesi oluşturduğu gözlenmektedir. Buna karşılık, siltli-kumlu seviye, sert kalişe



Şekil 9- Sert kaliş üzerinde alınan kaydın Fourier spektrumu ve Nakamura (1989) yöntemi ile elde edilen H/V spektrumu.



Şekil 10- Yumuşak kaliş (çakıllı-bloklu seviye) üzerinde alınan kaydın Fourier spektrumu ve Nakamura (1989) yöntemi ile elde edilen H/V spektrumu.



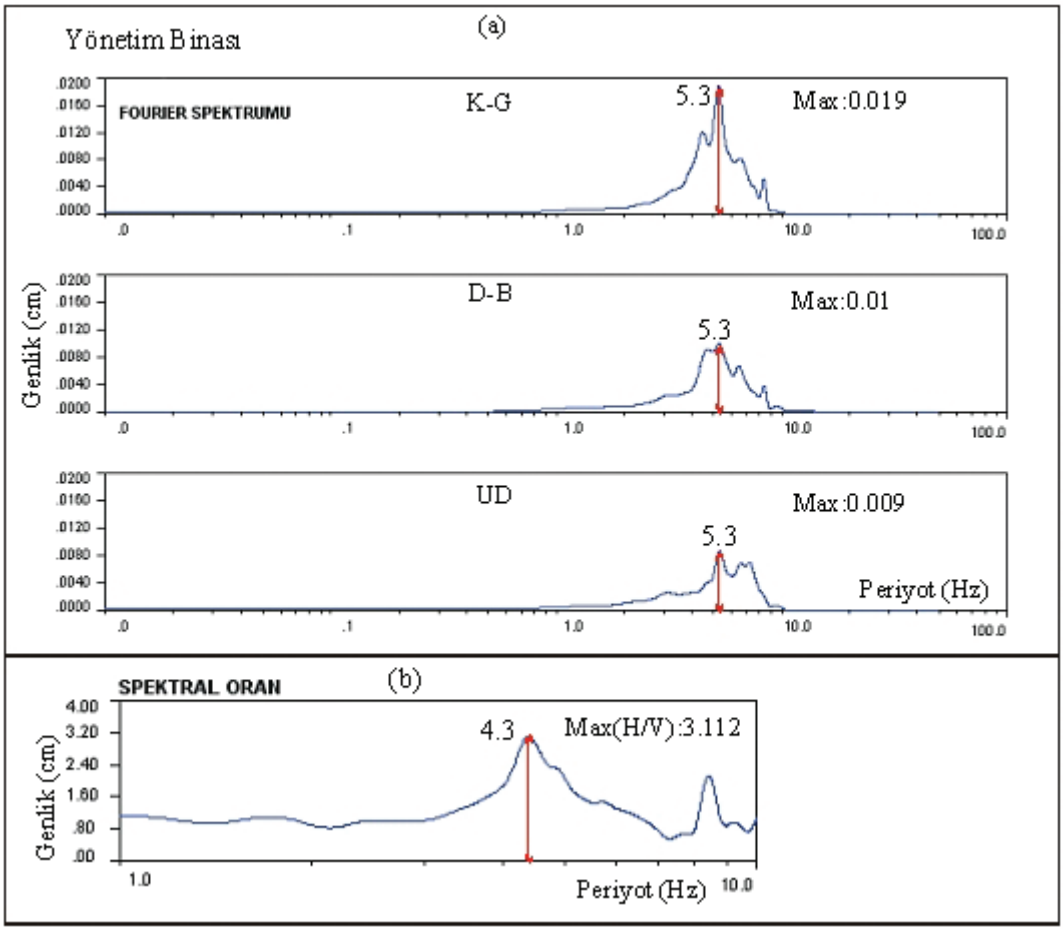
Şekil 11- Yumuşak kaliş (siltli-kumlu seviye) üzerinde alınan kaydın Fourier spektrumu ve Nakamura (1989) tekniği ile elde edilen H/V spektrumu.

göre 2.5 Hz (0.4 s) periyotta 2.4 kat maksimum büyütme oluşturmaktadır.

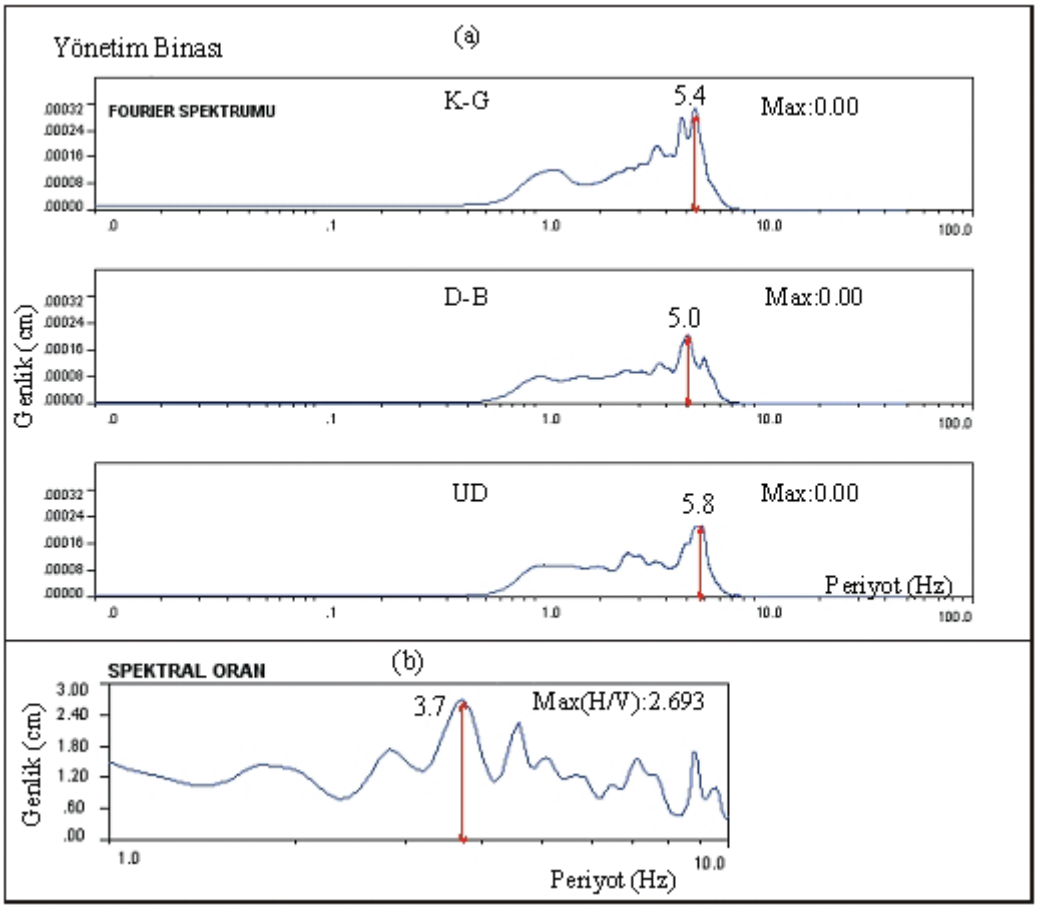
Bu veriler, sert kaliş ve yumuşak kalişin çakıllı-bloklu seviyesi ile siltli-kumlu seviyelerinin aynı anda bulunduğu bir yarmadan alınmış olup, her üç kaydın da aynı kaynağın etkisinde olduğunu söylemek mümkündür. Dolayısıyla, büyütmelerdeki ve periyotlardaki değişim jeolojik birimlerdeki değişimden kaynaklanmaktadır.

Nakamura spektrumuna göre, Geleneksel Spekral Oran yöntemiyle belirlenen zeminlerin periyot değerleri aynı aralıkta kalmasına rağmen, büyütme değerleri arasındaki fark sert kalişin yüksek geçişli bir filtre gibi davranması ve dolayısıyla kendi doğal periyodundaki (10-4 Hz) genlikleri büyütüp diğerlerini bastırmasının doğal bir sonucudur. Benzer şekilde, yumuşak kalişin çakıllı-bloklu ve siltli-kumlu seviyeleri de kendi hakim periyot aralıklarındaki (3.3-1.6 Hz) sinyalleri büyütme eğilimindedir. Sonuç olarak, sert kalişteki spektrum ile diğerleri oranlandığında, aynı frekas değeri için oran büyüyeceğinden, büyütmeler de farklı olacaktır. Buna ek olarak, çakıllı-bloklu seviyenin periyodu ve büyütme değeri siltli-kumlu seviyeden daha büyüktür ve çakıllı-bloklu seviye üzerine yapılacak yüksek katlı veya yüksek periyotlu yapılar açısından üzerinde durulması gereken bir konudur.

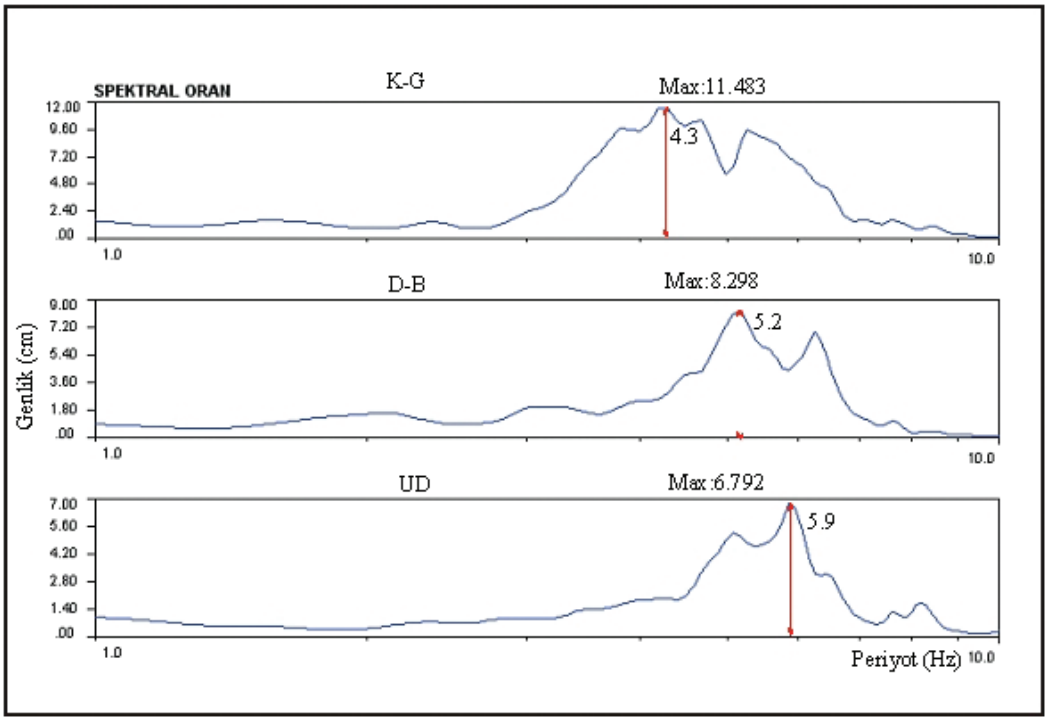
Adana - Ceyhan depreminde ağır hasar gören Organize Sanayi Yönetim binasının ön ve arka bahçesinde de iki adet mikrotremor ölçümü yapılmıştır. Ön bahçede alınan birinci kaydın Nakamura Spektrumuna bakıldığında (Şekil 12) 0.23 s (4.3 Hz) zemin periyodunda 3.1 kat, ikinci kayıt ise 0.27s'de (0.37 Hz) 2.7 kat göreceli zemin büyütmesi verdiği görülmektedir (Şekil 13).Yönetim binasının bulunduğu yerdeki yumuşak kaliş ile sert kaliş üzerinde alınan bir ölçü referans kabul edilip Geleneksel Spektral Oran Tekniği uygulandığında, şekil 14'te görüldüğü gibi, K-G yönünde 0.23 s'de



Şekil 12- Adana Organize Sanayi Bölgesi Yönetim binasının bahçesinde alınan ilk kayıt (K-G yönü binanın uzun eksenine paralel).



Şekil 13- Adana Organize Sanayi Bölgesi Yönetim binasının bahçesinde alınan ikinci kayıt (K-G yönü binanın uzun eksenine paralel).



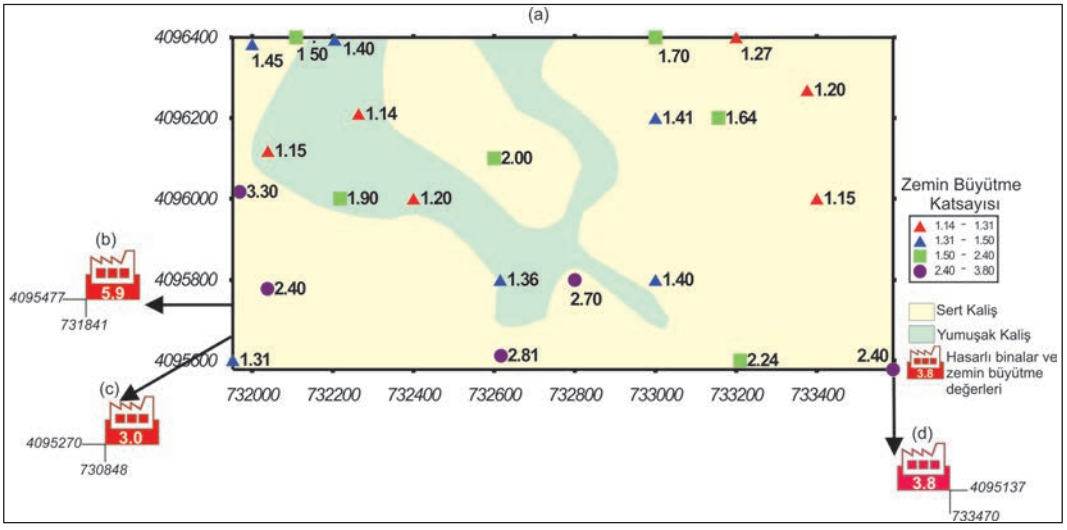
Şekil 14- Hasarlı yönetim binası zemini olan yumuşak kaliş seviyesinin sert kaliş seviyesine göre, Geleneksel Spektral Oran tekniği uygulandığında oluşan büyütmeler.

(4.3 Hz) 11 kat, D-B yönünde 0.2 s'de (5.2 Hz) periyotta 8 kat, düşeyde ise 0.17s'de (5.9 Hz) 6.7 kat büyütme vermektedir. Bu sonuçlar, yönetim binasının zemininin 0.23-0.3 s (4.3-3.3 Hz) hakim periyot aralığında ortalama 3 kat büyütme verdiğini göstermektedir. Bayülke (1978)'in Türkiye'deki yapılar için önerdiği Eş. 2'deki yaklaşıma göre, yönetim binasının 3 katlı betonarme bir bina olduğu ve yaklaşık 0.2-0.3 s (5-3.3 Hz) periyodu olduğu kabul edilirse, zeminle aynı periyod aralığında kaldığı anlaşılmaktadır. Oluşan hasar da büyük bir olasılıkla yapının zeminle rezonansa girmesinin bir sonucudur.

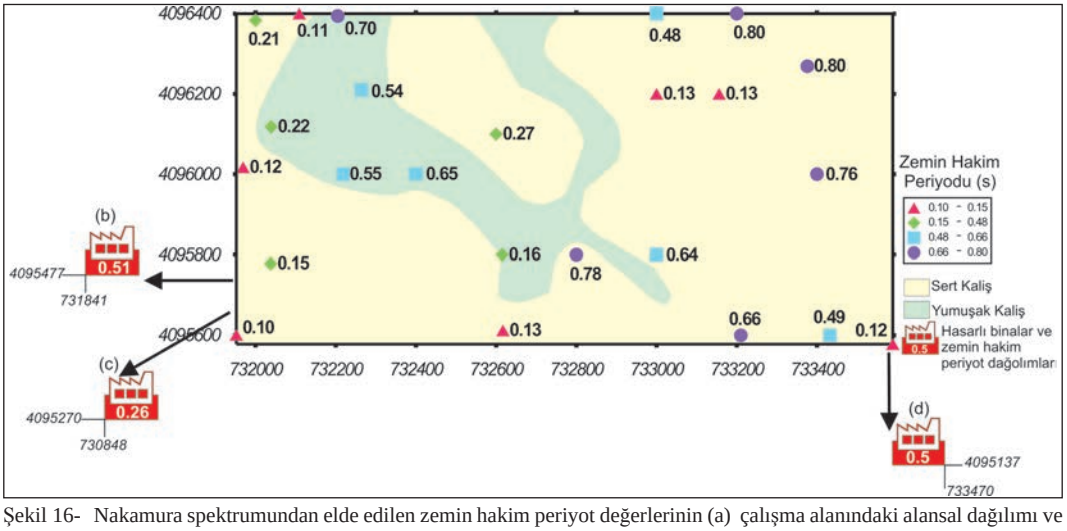
$$T_a = 0.1 \times N \quad (2)$$

Burada; T_a, bina periyodu (s) ve N, binanın kat sayısı'dır.

Ölçüm yapılan noktalara ait koordinatlar, zemin hakim periyotları ve göreceli zemin büyütmesi değerleri çizelge 1'de sunulmuştur. Bu verilerin Nakamura spekturmlarından elde edilen zemin hakim periyodu ve bu periyotlardaki zemin büyütmelerinin alansal yayılımı ise şekil 15 ve şekil 16'daki haritalarda gösterilmiştir. Ölçüm alınamayan noktalardaki değerlerin tahmininde, yeterli sayıda ölçüm noktasının bulunmaması nedeniyle yanlışlıklar olacağı düşünülerek, zon haritası oluşturulmamış ve değerlerin noktasal olarak verilmesi daha uygun görülmüştür.



Şekil 15- Nakamura spektrumundan elde edilen göreceli zemin büyütmesi değerlerinin (a) çalışma alanındaki alansal dağılımı ve (b, c, d) ölçüm alanının dışında kalan bazı hasarlı binaların üzerinde bulundukları zeminlerin büyütme değerleri.



Şekil 16- Nakamura spektrumundan elde edilen zemin hakim periyot değerlerinin (a) çalışma alanındaki alansal dağılımı ve (b, c, d) ölçüm alanının dışında kalan bazı hasarlı binaların üzerinde bulundukları zeminlerin hakimperiyotları.

Çizelge 1- Zemin hakim periyodu ve bu periyotlardaki zemin büyütmelerinin için oluşturulan haritalarda kullanılan veriler ve koordinatları.

Ölçüm Noktası	Zemin Türü	Boylam	Enlem	Büyütme	Hakim Periyot (sn)
1	STK	731952	4095601	1.3	0.1
2	STK	732038	4095778	2.4	0.2
3	STK	731969	4096017	3.3	0.1
4	STK	732039	4096118	1.2	0.2
5	STK	732000	4096383	1.5	0.2
6	YK	732205	4096394	1.4	0.7
7	Ç	732264	4096210	1.1	0.5
8	Ç	732218	4096000	1.9	0.6
9	STK	732617	4095612	2.8	0.1
10	STK	732109	4096400	1.5	0.1
11	T.Ö (STK)	733000	4096400	1.7	0.5
12	T. Ö (STK)	733000	4096200	1.4	0.1
13	T. Ö (STK)	733200	4096400	1.3	0.8
14	T.Ö (STK)	733376	4096269	1.2	0.8
15	STK	733156	4096200	1.6	0.1
16	T.Ö (STK)	733400	4096000	1.2	0.8
17	STK	733432	4095600	3.8	0.5
18	STK	733210	4095600	2.2	0.7
19	STK	733000	4095800	1.4	0.6
20	STK	732800	4095800	2.7	0.8
21	YK	732615	4095800	1.4	0.2
22	Ç	732400	4096000	1.2	0.7
23	STK	732600	4096100	2.0	0.3
24	STK	733589	4095578	2.4	0.1

STK: Sert kaliş; YK: Yumuşak kaliş; TÖ: Toprak örtü; Ç: Çakıllı-bloklu seviye

Çalışma alanında gerçekleştirilen mikrotremor ölçümlerinin yanı sıra, 1998 Adana-Ceyhan depreminde ağır hasar gören ve yönetim binasının da aralarında bulunduğu, hasarlı binaların yanlarında da ölçümler alınmış ve bu kesimlerdeki zeminlerin de, zemin hakim periyodu ile bu periyotlardaki zemin büyütmelerinin değerleri belirlenmiştir. Ağır hasarlı binalar yaklaşık 3 ile 4 katlı betonarme binalar olup, bina periyodu ile zemin periyodu aynı aralıkta kalmakta ve hasarlar, yapının zeminle rezonansa girmesi sonucu oluşmaktadır. Mikrotremor ölçümleri için seçilen alanın dışında kalan hasarlı binalar ve bunların zemin hakim periyotları ve bu periyotlardaki zemin büyütme değerleri, bina koordinatları ile birlikte şekil 15 ve 16'da gösterilmiştir.

Sonuç olarak, elde edilen haritalardan, zemin hakim periyotlarının, 0.1-0.8 s arasında ve zemin büyütmelerinin 1.14-3.8 kat arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Sert kaliş üzerinde alınan ölçümlerin göreceli zemin büyütmesi değerlerinin, yumuşak kalişe ait seviyelerde alınandan daha yüksek değerlere sahip olması, sert kalişin göreceli zemin büyütmesini arttırıcı yönde etki yaptığını göstermektedir. Sert kalişteki büyütmenin nedeni olarak, sert kaliş ile alttaki süreksizlikler (kaliş profilinin kendi içindeki farklı seviyeler arasındaki geçişler) arasındaki tekrarlı yansımalar ve dalga saçılımları nedeniyle, dalga genliklerinin girişimi gösterilebilir. Dalga fazları üst üste binerek genlikleri artmakta ve tekrar yüzeye ulaşmaktadır ki bu da, büyütmenin asıl nedeni olarak düşünülmektedir.

Değinilen Belgeler

Aydan, Ö., Ulusay, R., Kumsar, H., Sönmez, H., Tuncay, E. 1998. A site investigation of Adana-Ceyhan Earthquake of June 27, 1998. Turkish Earthquake Foundation. TDV/DR006-30 131p.

Bayülke, N. 1978. Tuğla yığla yapıların depremdeki davranışı. Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni, 6 (22), 26-41.

Clayton, C. R. I., Serratrice, J. F. 1977. The mechanical properties and behaviour of hard soils ad soft rocks. Proceedings of Geotechnical Engineering of Hard Soils - Soft Rocks Symposium, Athens, Greece,

Çelebi, M. 1998. The Adana-Ceyhan Earthquake of June 27, 1998, Learning From Earthquakes. EERI Special Earthquake Report, Earthquake Engineering Research Institute Newsletter, 32, (9) 1-5

Goudie, P. A., Pye, K. 1983. Chemical sediments and geomorphology, Academic Press, London, 93-131.

Halaç, B. 2016. Deprem yönetmeliklerindeki zemin sınıflandırma kriterlerinin zemin büyütme açısından incelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 100s.

Johsonston, I. W., Novello, E. A. 1993. Soft rock in the geotechnical spectrum, Proceedings of Geotechnical Engineering of Hard Soils - Soft Rocks Symposium Under the Auspices of the ISSMFE, Athens, Greece, 1, 177-183.

Kozlu, H. 1987. Misis-Andırın dolaylarının stratigrafisi ve yapısal evrimi, Türkiye 7. Petrol Kongresi Bildiriler Kitabı, 104-117.

Nakamura, Y. 1989. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, Quaterly Report of RTRI, Railway Technical Research Institue (RTRI) , 30, 1, 25-33.

Popescu, M. E. 1986. A comparision between the behaviour of swelling and collapsing soils. Eng. Geo. , 23, 145-163.

Rogers, C. D. F. 1995. Types and distribution of collapsible soils, in: Derbyshire, E., Dijkstra, T. and Smalley, I. (eds), "Genesis and properties of collapsible soils", 1-17., NATO Ası Series, Kluwer Academic Publisher, Netherlands.

Rollins, K. M., Rollins, R. L., Smith, T. D., Beckwith, G. H. 1993. Identification and characterization of collapsible gravels, Journal of Geotechnical Engineering, 120, 3, 528-542.

Steven, L. 1998. Evaluation design and mitigation of project sites in collapsible soils areas in Western Colorado. Project Report 45 p. (yayımlanmamış).

Şenol, M. 1989. Adana-Balcalı/Çatalan Bölgesinin Genç Tersiyer-Kuvaterner İstifinin Lito-Pedolojik ve Sedimantolojik İncelemesi. Doktora Tezi, Ç.Ü Fen Bilimleri Ens., 128s. (yayımlanmamış).

Terzaghi, K., Peck, B.R. 1967. Soil Mechanics in Engineering Practice. John Willey and Sons Inc., 729 p.

Udwadia, F., E. Trifunac, M.D. 1973. Comparison of earthquake and mircrotremor ground motions in El Centro, California. Bull. Seism. Soc. Am., 63, 1227-1253.

Wenk, T., Lacave, C., Peter, K. 1998. The Adana-Ceyhan earthquake of June 27, 1998. Swiss Society for Earthquake Engineering and Structural Dynamics (report), 1-47.

Yetiş, C. 1987. Adana kuzeyinin jeolojisi ve şehir merkezinin bazı temel sorunlarıa ilişik gözlemler. Çukurova Üniversitesi, Müh-Mim. Fak. Dergisi, 115-123.

Zorlu K., Kasapoğlu, K.E. 2009. Determination of geomechanical properties and collapse potential of a caliche by in-situ and laboratory tests, Environmental Geology, 56 (7), 1449-1459.