

	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		 SAKARYA UNIVERSITY
	e-ISSN: 2147-835X		
	Dergi sayfası: http://www.saujs.sakarya.edu.tr		
	<u>Geliş/Received</u> 20-10-2017		
	<u>Kabul/Accepted</u> 25-12-2017	Doi	10.16984/saufenbilder.345461

Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analiz Yöntemi (MASW) ile Zemin Özellikleri ve Sıvılaşma Potansiyelinin Belirlenmesi: Arifiye-SAKARYA Örneği

Serdar Kayacı¹, Ali Silahtar^{*2}, Mustafa Nuri Dolmaz¹

ÖZ

Deprem esnasında zemin davranışının önceden kestirilmesi, olası bir depremde meydana gelecek can ve mal kayıplarını en aza indirmede oldukça önem arz etmektedir. 17 Ağustos 1999 İzmit (Mw=7.4) ve 12 Kasım 1999 Düzce (Mw=7.2) depremleri Adapazarı bölgesinde önemli miktarda yapı hasarına ve beraberinde çok sayıda can kaybına neden olmuştur. Özellikle İzmit depremi sonrası Adapazarı bölgesinde yapılan çalışmalar, zemin özelliklerinin etkisiyle bölgede bazı alanlarda yapısal hasarın yanında yapılarda batma ve dönme meydana geldiğini göstermiştir. Bu nedenle Adapazarı ovasında zemin özelliklerinin belirlenmesi önem kazanmıştır. MASW tekniği sığ tabakalara ait kayma dalgası hızını elde etmede geliştirilmiş bir yöntemdir. Yöntem Arifiye ilçesinin zemin özelliklerinin belirlenmesi ve olası sıvılaşma alanlarının tespitinde kullanılmıştır. Bu doğrultuda toplamda 37 noktada veri kazanımı gerçekleştirilmiş ve her bir noktanın bir boyutlu derinlik-kayma dalgası hızı belirlenmiştir. Hız bigileri dikkate alınarak 5-10-15-20-25-30 m derinlik seviyesine ait ortalama V_s kat haritaları hazırlanmıştır. Bu veriler neticesinde zemin sınıflaması ve olası sıvılaşma alanları tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Arifiye, MASW, zemin sınıflaması, sıvılaşma

Determination of Soil Properties and Liquefaction Potential by Multi-Channel Surface Wave Analysis Method (MASW): Arifiye-SAKARYA Example

ABSTRACT

Preestimation of ground behavior during an earthquake is very important in reducing the loss of life and property that will occur in a possible earthquake. 17 August 1999 Izmit (Mw = 7.4) and November 12, 1999 Düzce (Mw = 7.2) have caused significant damage to the Adapazarı region and many casualties. Especially after the Izmit earthquake, studies conducted in the Adapazarı region have shown that some areas in the region affected by structural damage, as well as the effects of soil properties, are sinking and turning. In this direction, determination of soil properties in Adapazarı rub has gained importance. The MASW technique is an improved method for obtaining the shear wave velocity of the shallow layer. The method was used to determine the soil properties of the Arifiye district and to determine possible liquefaction areas. In this direction, data acquisition was performed at 37 points in total and one dimensional depth shear wave velocity was determined for each point. Taking into consideration the speed figures, average V_s fold maps of 5-10-15-20-25-30 m depth level are prepared. At the end of this data, floor classification and possible liquefaction areas were identified.

Keywords: Arifiye, MASW, soil classification, liquefaction

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

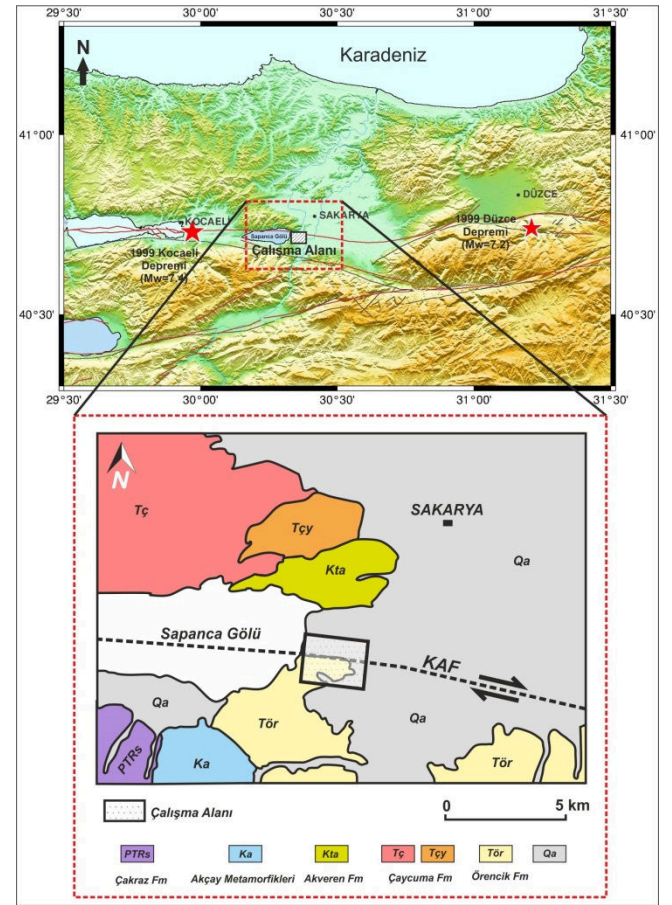
Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ülkemiz tektoniğindeki aktif unsurlardan birisidir. Bu fay zonu üzerinde farklı segmentlerde geçmişten günümüze birçok deprem aktivitesi meydana gelmiştir. 17 Ağustos 1999 İzmit ve 12 Kasım 1999 Düzce depremleri yakın geçmişte KAFZ'nun batı kenarında meydana gelmiş yıkıcı depremlerdir [1, 2]. Özellikle yaklaşık 110 km'den fazla yüzey kırığı üreten [1, 3] 1999 İzmit depremi Marmara bölgesinin oldukça büyük bir kısmını etkilemiştir. Deprem odağına çok yakın olmamasına karşın zemin özelliklerinden kaynaklı Adapazarı bölgesi bu depremde oldukça fazla yapı hasarına uğramıştır [4]. Bu doğrultuda da 20,000'den fazla can kaybı yaşanmıştır. Deprem sonrası yapılan araştırmalar basen içerisinde bazı alanlarda 5 m'ye yakın bir yer değiştirmenin olduğu [2, 3] ve zeminde meydana gelen sıvılaşmanın etkisinde [5, 6, 7, 8] yapılarda, yıkımın yanında yan yatma ve ötelenme meydana geldiği gözlenmiştir.

Adapazarı havzasının büyük bir bölümü Sakarya Nehrinin etkisinde Kuvaterner yaşlı çökellerden oluşmaktadır [9]. Komazawa vd. 2002 [10] tarafından yapılan çalışmada bu çökellerin havza içerisinde kalınlığının yer yer yaklaşık 1000-1500 metreye kadar ulaştığı tespit edilmiştir. Bu tür zeminlerde yapılacak zemin sınıflaması güvenli yapılaşma alan seçimine katkı sağlayacaktır. Ulusal ve uluslararası zemin sınıflama yönetmeliklerinde zemin sınıflaması 30 m derinliğin ortalama kayma dalgası hızı (V_{s30}) kullanılarak yapılabilmektedir. Yüzeysel dalgaları analizine dayanan MASW yöntemi yakın yüzeydeki bu bilginin elde edilmesinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [11, 12, 13, 14]. Diğer taraftan V_s bilgisinin sıvılaşma direncinin kestirimine katkı sağladığı bilinen bir gerçektir [15, 16, 17]. Literatürde MASW tekniği kullanılarak farklı zeminlerde sıvılaşma potansiyeli tespitleri yapılmıştır [18, 19, 20, 21].

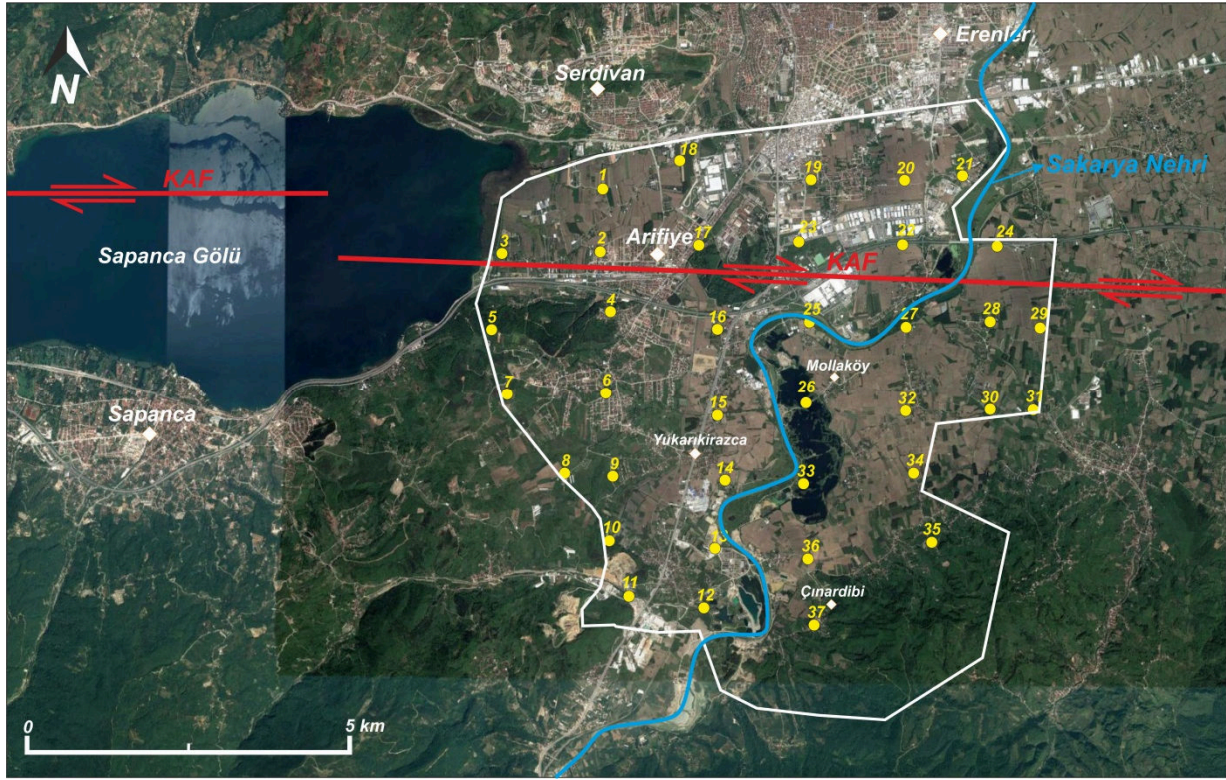
Bu çalışma kapsamında KAFZ'nun bir segmentinin yer aldığı Sakarya'nın Arifiye ilçesinin kayma dağılımı hızı ile zemin sınıflaması amaçlanmıştır. Diğer taraftan elde edilen V_s değerleri kullanılarak olası sıvılaşma alanlarının tespitine bir yaklaşım yapılmaya çalışılmıştır. Bu amaçla MASW yöntemi kullanılarak veri kazanımı yapılmış ve çalışma alanının zemin özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır.

2. ÇALIŞMA ALANI JEOLJİSİ (GEOLOGY OF THE STUDY AREA)

Çalışma alanı olan Arifiye Adapazarı ovasının güneyinde, Sapanca gölünün doğu sınırındadır. Ülkemiz tektoniğinin en önemli unsurları arasında yer alan KAFZ, çalışma alanındaki jeolojik birimleri ikiye ayırmış durumdadır (Şekil 1). Bunlardan kuvaterner yaşlı çakıllı ve siltli kum içeren alüvyon malzeme, Adapazarı bölgesinin büyük bir bölümünde gözlenmektedir. Bölgedeki bu alüvyon istif Sakarya ve Mudurnu nehirlerinin taşıdığı malzemeden oluşmuştur [5]. Havza içerisindeki sedimanlar kil, silt, kum ve çakıl aralanmaları şeklinde görülebileceği gibi bazen tek başına belirli bir seviyede yer alabilmektedir [4, 7]. KAFZ sınır olacak şekilde çalışma alanı içerisinde yer alan diğer birim pliyosen yaşlı Örencik formasyonudur (Tör). Orta ve kalın tabakalı bir yapıdaki formasyon içeriği kiltası, kumtaşı, çakıltaşı ve çamurtaşından oluşmaktadır [9].



Şekil 1. Çalışma sahasının yer bulduru haritası ve basitleştirilmiş jeoloji haritası, [9, 14]'den düzenlenmiştir (Location map of the study area and simplified geology map, modified [9, 14])



Şekil 2. MASW veri kazanım noktaları (MASW data acquisition points)

3. ÇOK KANALLI YÜZEY DALGASI ANALİZİ YÖNTEMİ (MULTI-CHANNEL SURFACE WAVE ANALYSIS METHOD)

Park vd. 1999 [22] tarafından geliştirilen MASW yöntemi, katmanlı bir zemin modelinde Rayleigh dalgasının oluşmasında baskın bir etkiye sahip S dalgasının dönüşmüş faz hızının tersinden bir boyutlu S dalga hızını elde etmede kullanılmaktadır [23]. Aktif bir sismik enerji kaynağı kullanılarak gerçekleştirilen MASW temelde üç aşamadan oluşmaktadır. Bunlar veri kazanımı, dispersiyon eğrisinin elde edilmesi ve ters çözüm işlemleridir. Veri kazanımında kullanılan ekipman esasen sismik kırılma ekipmanı ile benzerlik gösterir. Ancak yüze dalgalarını iyi kaydedebilmek için düşük frekanslı jeofonlar (4.5 Hz) tercih edilmelidir [22, 24, 25]. Veri kazanımında dikkat edilmesi gereken bir diğer husus alıcı aralığı ve ofset seçimidir. Dalga boyu ile ilgili olan bu seçimde, profil uzunluğu kayıt edilebilecek en büyük dalga boyu ile ilişkili araştırma derinliğini, jeofon aralığı ise en küçük dalga boyu ile ilişkili çözünürlüğü belirlemektedir [26]. Jeofon aralığının dx , en büyük araştırma derinliğinin Z_{max} ve ilk jeofonla son jeofon arasındaki mesafenin X olması durumunda; jeofon aralığının en büyük araştırma derinliğinin onda birinden küçük olması önerilir ($dx \leq 0.1 * Z_{max}$). Yakın alandan kaynaklı etkilerden kaçınmak için

yakın ofsetin en büyük araştırma derinliğinin yarısı olması gereklidir [27]. Toplam serim uzunluğu ise en büyük araştırma derinliğine eşit veya büyük olarak ($X \geq Z_{max}$) hesaplanmalıdır [28].

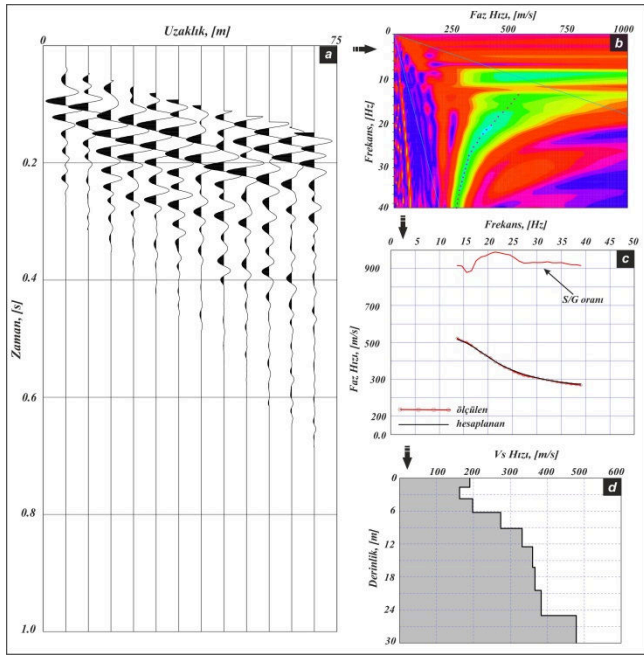
Çizgisel açılım ile zaman-uzaklık ($x-t$) ortamında kaydedilen veriye uygulanacak diğer işlem Xia vd. 1999 [24]'de tanımlandığı gibi frekans dalgasayısı dönüşümü ($f-k$) ile verinin frekans-faz hızı ($f-C_f$) ortamına aktarılmasıdır. Bu dönüşüm kaydedilen yüze dalgalarındaki frekans-faz hızı ilişkisini gözlemlemeyi mümkün kılar. Burdaki amaç faz hızının frekansla değiştiği Rayleigh dalgası dispersiyon eğrisinin elde edilmesidir. Dispersiyon eğrisi seçimi kesme dalgası hızının elde edilmesinde en önemli adımlardan biridir. Bu adımda her bir veri kazanım noktasındaki kayıtların frekans ortamındaki eğimlerinden ground roll dalgasının faz hızları hesaplanır [22, 23].

Yöntemin son aşaması Rayleigh dalgası faz hızı-frekans çiftlerinden oluşmuş dispersiyon eğrisinin ters çözüm işlemidir. S dalga hızının Rayleigh dalgası faz hızı üzerindeki baskın etkisi, ters çözüm işlemi neticesinde derinlik profiline karşılık S dalga hızının elde edilmesini sağlayacaktır. V_s bilgisinin hesaplanması dispersiyon eğrisinin belirli bir yoğunluk ve poisson değerinin tahminini gerektiren yinelemeli

ters çözüm ile hesaplanır. Bu süreci en küçük kareler yaklaşımı otomatik olarak gerçekleştirebilmektedir. En küçük kareler yaklaşımında her bir yineleme adımında bu parametrelerden yoğunluk ve poisson oranı sabit kalırken V_s bilgisi güvenilir olarak yakınsar. Ters çözüm işlemi hata oranının minimum olduğu yerde sonlandırılır [22, 24].

3.1. Veri Kazanım ve Veri İşlem (Data Acquisition and Data Processing)

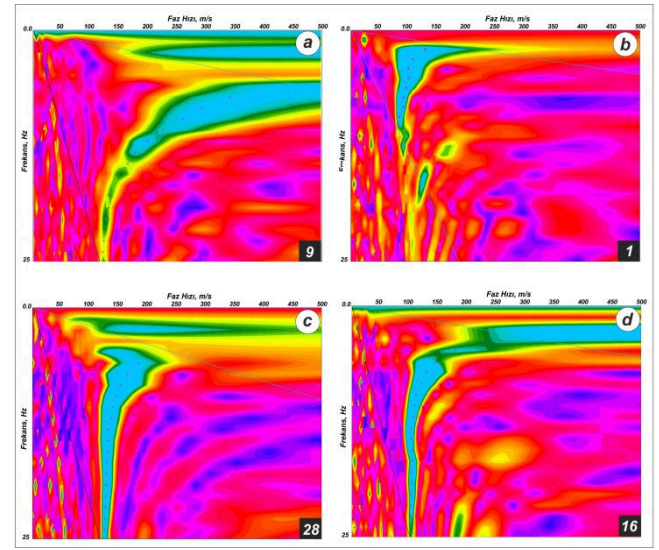
Çalışma alanında MASW veri kazanımı Arifiye ilçe sınırları içerisinde toplamda 37 noktada gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Veri kazanım esnasında sismik enerji kaynağı olarak 8 kg'lık balyoz kullanılmıştır. 12 kanallı sismik kayıtçının kullanıldığı saha çalışması sırasında jeofon aralığı 5 m, yakın ofset ise 20 m belirlenmiştir. Alıcı olarak yukarıda yöntemin teorisinde izah edildiği gibi 4.5 Hz düşey jeofonlar kullanılmıştır. Her bir ölçüm noktasında örnekleme aralığı 0,5 milisaniye, kayıt boyu 1 saniye olacak şekilde 12 adet tekrarlı ölçüm yapılarak S/G oranı güçlendirilmeye çalışılmıştır.



Şekil 3. MASW veri işlem adımları, a: ham veri, b: dispersiyon seçimi, c: ters çözüm, d: 1 boyutlu derinlik-Vs modeli (MASW data processing steps, a: raw data, b: dispersion selection, c: inversion, d: 1-D depth-Vs model)

Yukarıda belirtilen veri kazanım parametreleri kullanılarak elde edilen sismik kayıt örneği Şekil 3.a'da verilmiştir. Zaman-uzaklık ($x-t$) ortamındaki bu veri ($f-k$) dönüşümü ile faz hızı-frekans ($f-C_f$) ortamına dönüştürülmüştür (Şekil 3.b). Herbir frekans değerine karşılık gelen faz hızı

değerlerinden meydana gelen dispersiyon eğrisi seçimi, S dalgası hız yapısının doğru ve güvenilir bir şekilde elde edilmesinde son derece önemlidir [29]. Şekil 4 üzerinde farklı veri kazanım noktalarına ait dispersiyon eğrisi seçimleri görülmektedir. Zemin özellikleri neticesinde bazen düşük frekanslarda (Şekil 4.c) bazen ise yüksek frekanslarda (Şekil 4.b) meydana gelen belirsizlik dispersiyon eğrisi seçimini bu frekanslarda sınırlamıştır. Yüksek ve düşük frekanslarda gözlenen kısmi belirsizlik durumlarında ise, Rayleigh dalgası esas modu dikkate alınarak dispersiyon eğrisi seçimini yapılmıştır (Şekil 4.a ve 4.d).



Şekil 4. Farklı MASW kayıtlarına ait dispersiyon eğrisi seçimleri, a: 9, b: 1, c: 28, d: 16 numaralı veri (Selection of dispersion curves for different MASW records, data number a: 9, b: 1, c: 28, d: 16)

Dispersiyon eğrisi seçiminin ardından V_s ve tabaka kalınlığı bilgisi için ters çözüm işlemi uygulanmıştır (Şekil 3.c). Bilindiği üzere ters çözüm işlemi, derinlikle S-dalga hızının üretilmesi için her bir frekans bağımlı faz hızı eğrisine uygulanmalıdır [24]. Çalışma kapsamında MASW verilerinin ters çözümünde yinelemeli en küçük kareler yöntemi kullanılmıştır. Belirli bir başlangıç modeli kullanılarak gerçekleştirilen ters çözüm işlemi %5'den daha az hata oranları ile kesiktirilmiştir (Şekil 3.c, d).

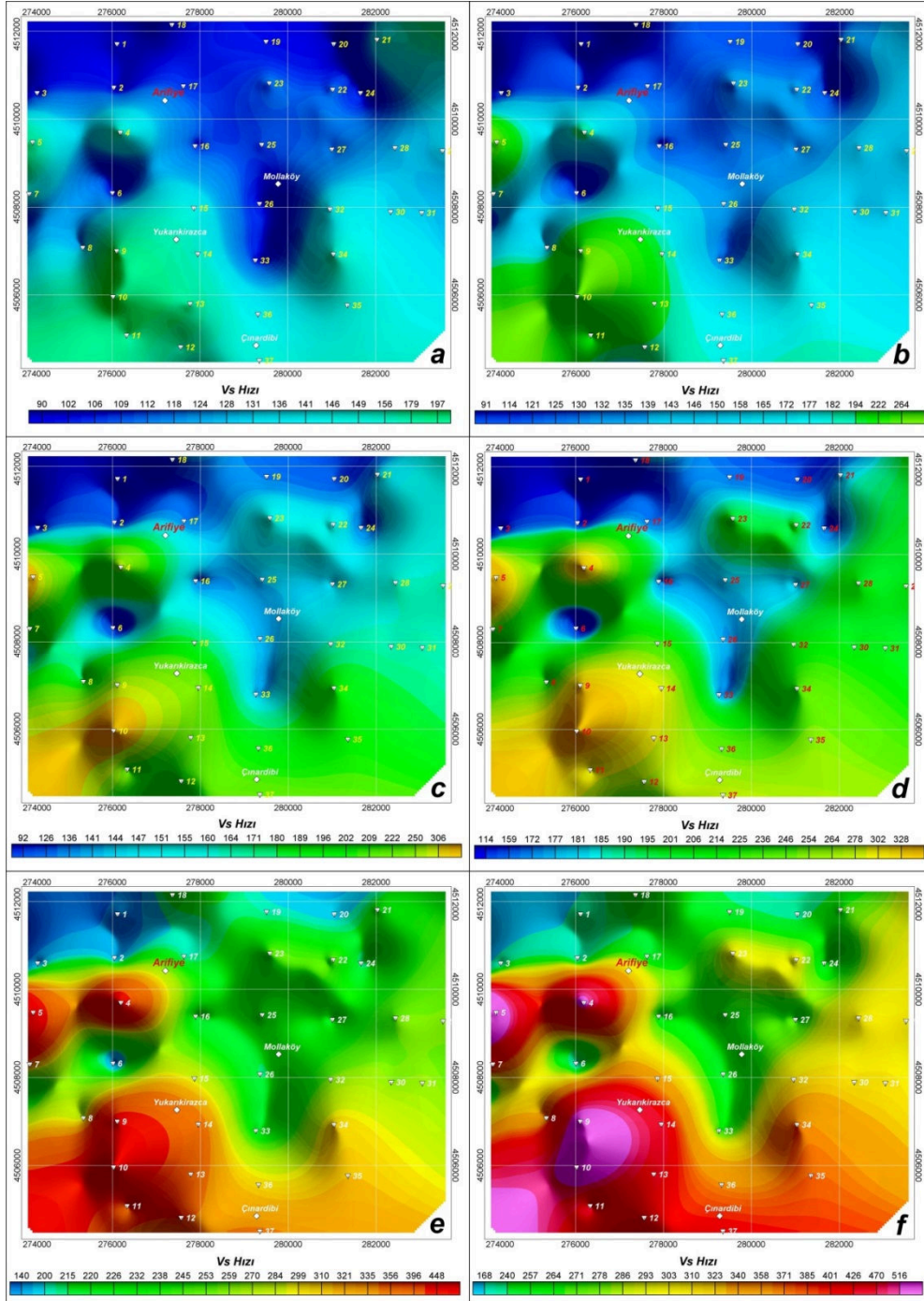
4. BULGULAR (RESULTS)

Kuvvetli yer hareketi esnasında zemin davranışının önceden belirlenmesi can ve mal kaybını en aza indirmede önemlidir. Bu bağlamda kayma dalgası hız bilgisine göre yapılan zemin sınıflama çalışmaları, deprem esnasında

hasar ve yıkıma neden olabilecek alanların tespitinde önem arz etmektedir.

Şekil 5 çalışma alanından elde edilmiş bir boyutlu MASW verilerinden elde edilmiş farklı derinlik seviyeleri için ortalama hız dağılımını göstermektedir. İlk 5 m derinliğin ortalama kayma dalgası hızının 200 m/s nin altında olduğu görülmektedir. Hızlardaki bu durum devam eden 10 ve 15 m derinlik seviyesinde çok fazla bir değişim göstermemekle birlikte, Örencik Formasyonuna karşılık gelen B-GB bölümünde ortalama hız verileri kısmi artışla 10 m’de 279 m/s,

15’de 330 m/s hıza ulaşmıştır. 20 m derinlikteki ortalama Vs dağılımı 113-341 m/sn aralığında değişmektedir. Seviye içerisinde güneyde Mollaköy sınır olacak şekilde ilk 15 m’de gözlenen düşük hız zonu kuzeye doğru yayılım göstermektedir. 25-30 m derinlik seviyesinde ortalama hız 470-549 m/s hız aralığına kadar yükseldiği gözlenmektedir. Ancak bu hız değerleri daha çok yapılaşma alanı dışında kalan tepelik ve dağlık alanları kapsamaktadır. Her iki derinlikte sadece çalışma alanının KB kesiminde Sapanca gölü sınırında çok düşük hız değerleri yer almaktadır.



Şekil 5. Farklı derinlik seviyelerine ait ortalama Vs dağılımı, a: 5m, b: 10m, c: 15m, d: 20m, e: 25m, f: 30m (The average Vs distribution of the different depth level, a: 5m, b: 10m, c: 15m, d: 20m, e: 25m, f: 30m)

Artan gözenek suyu basıncı etkin gerilmenin azalmasına ve malzemenin katıdan sıvıya geçmesine olanak sağlamaktadır. Jeoteknik ve deprem mühendisliğindeki en önemli problemlerden biri olan sıvılaşma ne yazık ki öngürülemez, ancak sıvılaşma potansiyeline sahip alanlar ayrıntılı çalışma ile tanımlanabilir [20]. V_s bilgisinin sıvılaşma direncinin tespitinde kaçınılmaz bir parametre olduğu bilinmektedir. Farklı zeminlerde yapılan araştırmalar yeraltı su seviyesi, zeminin dinamik özellikleri ve deprem büyüklükleri ile sıvılaşma direncinin değiştiğini göstermektedir [17]. Elde edilen derinlik- V_s verilerinin sıvılaşma açısından yorumlanmasında, MASW yöntemi ile sıvılaşma potansiyeli çalışmalarında [18, 20, 21] gözlemlenen 200 m/s V_s değeri sınır alınmıştır. Sıvılaşma direncinde etkili yeraltı su seviyesi inceleme alanında Örencik Formasyonunda 15 m civarında, alüvyonda 1-2 m civarında olduğu tespit edilmiştir. Buna karşılık Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) değerleri Örencik formasyonunda 15 ile refü arasında değişirken, alüvyonda 2-15 arasında değiştiği gözlenmiştir [6, 8]. Bununla birlikte, araştırmalar sıvılaşmanın 20 m'den daha büyük derinliklerde nadiren gerçekleştiğini göstermiştir [19, 21, 30].

Tablo 1. NEHRP zemin sınıflama kriterleri, Boore, 2004'ten [31] düzenlenmiştir (NEHRP site classification, (modified from [31]))

Zemin Sınıfı	Tanım	V_{s30} (m/s)
A	Sert kaya	$V_{s30} > 1500$
B	Kaya	$1500 > V_{s30} > 760$
C	Çok sert veya sert zemin	$760 > V_{s30} > 360$
D	Sert zemin (kil, kum, çakıl içerikli)	$360 > V_{s30} > 180$
E	Yumuşak zemin (killer ve kumlar)	$V_{s30} < 180$

Bu literatür verisi dikkate alınarak özellikle ilk 5-10 m V_s kat haritaları tekrar incelendiğinde, çalışma alanında büyük bir bölümde 200 m/s'den düşük hız yapısını temsil eden mavi tonları hakimdir. 15-20 m derinlikte ise bu seviye, alüvyon içerisinde Sakarya Nehri çevresi ve inceleme alanının KB sınırda yer alan Sapanca gölü devamında dağılım göstermektedir. Alüvyon birimde yer alan Arifiye merkez ve Mollaköy yerleşim alanlarını kapsayan bu düşük hız zonu, SPT sayıları (2-10) ve sığ yeraltı su seviyesi (1-2 m) ile ilişkilendirildiğinde sıvılaşma göstereceği olasıdır.

Kayma dalgası hızı ile zemin özelliklerinin belirlenmesinde zemin sınıflaması kriterleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada zemin sınıflama kriterlerinden V_{s30} (30 m derinliğin ortalama V_s hızı) verisini kullanan NEHRP (National Earthquake Hazard Reduction Programme) kriterleri tercih edilmiştir. Ulusal ve uluslararası literatürde kabul görmüş [11, 12, 31, 32] NEHRP kriterleri Tablo 1'de verilmiştir.

NEHRP zemin sınıflama kriterleri esas alınarak inceleme alanı için hazırlanmış zemin sınıflaması haritası Şekil 6'da verilmiştir. V_{s30} bilgine göre yapılan bu sınıflamada, alüvyon içerisinde kalan alanda D sınıfı hakim olmakla birlikte çok küçük bir bölümde E sınıfı yer almaktadır. Örencik formasyonuna karşılık gelen kısım ise zemin C sınıfı olarak tanımlanmıştır. Ancak Şekil 6'da D zemin sınıfı içerisinde yeşil renklendirme ile tanımlanan alanda, V_{s30} değerleri E zemin sınırına (180 m/s) oldukça yakındır. Bu durum Alüvyon alanda yüzeye yakın yeraltı su seviyesinin V_s hızı üzerindeki azaltıcı etkisi olmalıdır. Özellikle sanayi tesislerinin bulunduğu Arifiye merkezi ile Molla köy çok sağlam olmayan D türü zemin ile tanımlanmıştır. Kısmen sağlam veya sert olarak tanımlanabilecek C tipi zemin, yapılaşmanın ve yerleşimin az olduğu Yukarı Kırızca ve Çınar dibi gibi köylerin içerisinde yer aldığı bölgede tespit edilmiştir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR (CONCLUSIONS AND DISCUSSIONS)

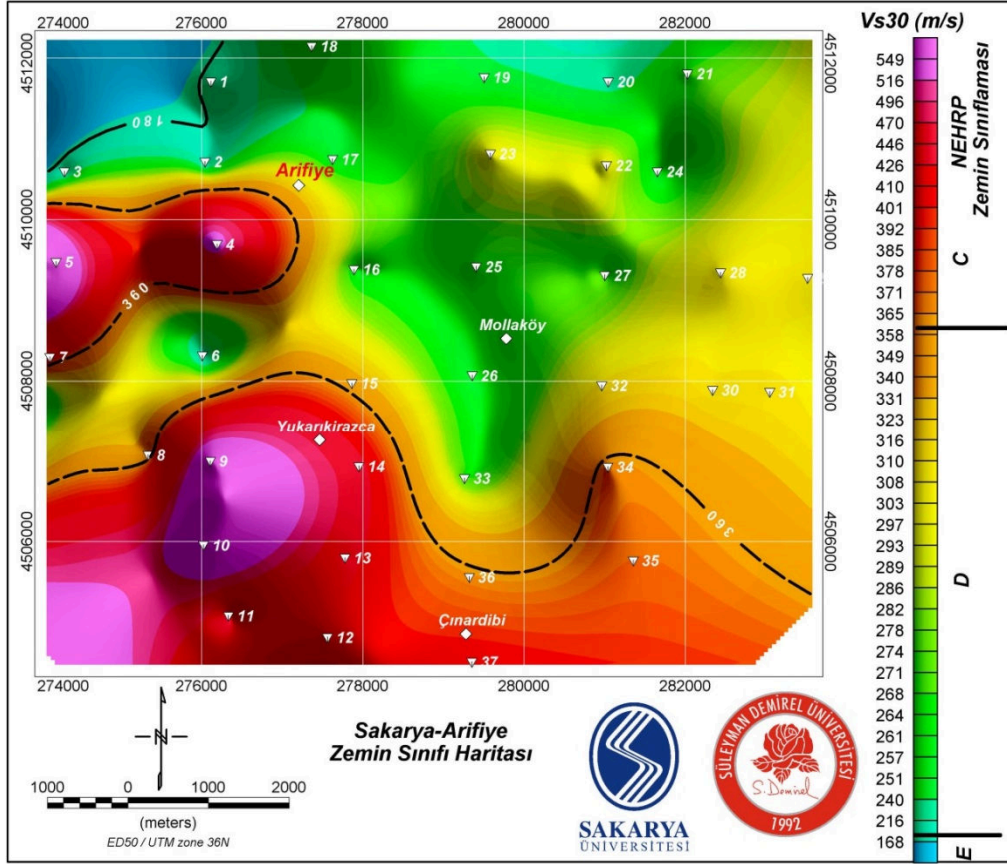
Bu çalışmada yüzey dalgası analiz yöntemlerinden MASW tekniği kullanılarak zemin sınıflaması ve potansiyel sıvılaşma varlığı tespit edilmeye çalışılmıştır. Zemin sınıflamasında gerekli V_{s30} bilgisi için zeminde 30 metre derinliğe kadar V_s bilgisinin derinlikle değişimi araştırılmıştır. Diğer taraftan elde edilen derinlik- V_s değişimi sıvılaşma potansiyeli ile ilişkilendirilmiştir.

Ortalama kayma dalgası hızının derinlikle değişimini gösteren kat haritaları üzerinde (Şekil 5), kuvaterner yaşlı alüvyon dağılımı ile pliyosen yaşlı Örencik formasyonu sınırı açıkça gözlenebilmektedir. Ayrıca inceleme alanı içerisindeki Sakarya Nehrinin hız verileri üzerindeki düşürücü etkileri bütün derinlik seviyelerinde takip edilebilmektedir. Aynı kat haritalarında 200 m/s'den daha düşük V_s dağılımının hakim olduğu Arifiye merkez ve Mollaköy mevkileri sıvılaşma riski içeren alanlar

olarak tespit edilmiştir. Çalışma alanını kapsayan [6, 8] tarafından yapılan araştırmalarda bu düşük hız zonlarında SPT değerlerinin 2-15, yeraltı su seviyesinin 1-2 m arasında değişmesi V_s 'den elde edilen bilgileri doğrular niteliktedir.

NEHRP zemin sınıflama kriterlerine göre çalışma alanında C, D ve E zemin grupları tespit edilmiştir. Endüstri tipi yapılaşmanın yoğun olduğu Arifiye

merkezi ve Mollaköy çok sağlam olmayan D türü zemin ile tanımlanmıştır. Göreceli sağlam olarak tanımlanabilecek C grubu zemin, düşük yapılaşma yoğunluğuna sahip Yukarı Kirazca ve Çınardibi köyleri mevkilerinde gözlenmiştir. Alüvyon birim içerisinde yer alan D ve E zemin grubu V_{s30} hız verileri oldukça düşüktür. V_{s30} değerlerindeki bu düşüklük yeraltı su seviyesinin düşürücü etkisi ile açıklanabilir.



Şekil 6. Çalışma alanı V_{s30} dağılımı ve NEHRP kriterlerine göre zemin sınıflaması, ters üçgen: veri kazanım noktası (V_{s30} distribution of study area and soil classification is given according to NEHRP site classification, inverted triangle: data acquisition point)

Sonuç olarak KAF gibi son derece aktif bir tektonik unsurun geçtiği çalışma alanının MASW yöntemi ile V_s bağımlı zemin özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçların güvenilir yapı tasarımına katkı sağlayıp can kaybını azaltmasının yanında sanayi tesislerinin yoğun olarak görüldüğü bölgede ekonomik açıdan son derece maliyetli sanayi ekipmanlarının da korunmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

[1] A. Barka, "The 17 august 1999 Izmit earthquake," *Science*, vol. 285, no .5435, pp. 1858-1859, 1999.

[2] R. M. Langridge, H. D. Stenner, T. E. Fumal, S. A. Christofferson, T. K. Rockwell, R.D. Hartleb, and A. A. Barka, "Geometry, slip distribution, and kinematics of surface rupture on the Sakarya fault segment during the 17 August 1999 Izmit, Turkey, earthquake," *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 92, no. 1, pp. 107-125, 2002.

[3] A. A. Barka, S. Akyüz, G. Sunal, Z. Çakır, A. Dikbaş, B. Yerli, T. Rockwell, J. Dolan, R. Hartleb, T. Dawson, T. Fumal, R. Langridge, H. Stenner, S. Christofferson, A. Tucker, R. Armijo, B. Meyer, J.B. Chabaliere, W. Lettis, W. Page, J. Bachhuber, "The surface rupture and slip distribution of the 17 August 1999

- Izmit earthquake (M 7.4), North Anatolian fault,” *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 92 no. 1, pp. 43-60, 2002.
- [4] S. Fırat, N. S. Işık, H. Arman, M. Demir, and İ. Vural, “Investigation of the soil amplification factor in the Adapazari region,” *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, vol. 75, no. 1, pp. 141-152, 2016.
- [5] R. B. Sancio, J. D. Bray, J. P. Stewart, T. L. Youd, H. T. Durgunoglu, A. Önalp, R. B. Seed, C. Christensen, M. B. Baturay, T. Karadayılar, “Correlation between ground failure and soil conditions in Adapazari, Turkey,” *Soil Dyn Earthquake Eng*, vol. 22 pp. 1093–1102, 2002.
- [6] S. Sert, A. Özocak, E. Arel, E. Bol, “Sakarya Bölgesinde Yerel Zemin Özelliklerinin Hasar Büyüklüğüne Etkisi, Arifiye-Geyve-Güneşler Örneği,” *Kocaeli Deprem Sempozyumu*, pp. 1214-1224, 2005.
- [7] Z. Kaya, A. Erken, “Adapazari zeminlerinin dinamik davranış özellikleri,” *İtüdergisi*, vol. 8, no. 5, pp. 157-168, 2009.
- [8] S. Sert, A. Özocak, and E. Bol, “GIS-based evaluation of the effect of local soil properties on the earthquake damage patterns, SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, vol. 20, no. 3, pp. 689-699, 2016.
- [9] M. M. Sarıaslan, M. E. Yurdakul, Ç. R. Osman, M. Keçer, F. Basa, K. Şentürk, “Sakarya İlinin çevre jeolojisi ve doğal kaynakları,” *MTA Raporu*, No. 10195, 1998.
- [10] M. Komazawa, H. Morikawa, K. Nakamura, J. Akamatsu, K. Nishimur, S. Sawada, A. Erken, A. Önalp, “Bedrock structure in Adapazari, Turkey: a possible cause of severe damage by the 1999 Kocaeli earthquake,” *Soil Dyn Earthq Eng*, vol. 22, pp. 829-836, 2002.
- [11] E. Zor, M. Cevher, G. Mengüç, M. Soydabaş, A. Bilgiç, E. Ayan, S. Özalaybey, “Kocaeli İlinde Zemin Sınıflaması Ve Sismik Tehlike Değerlendirme Çalışmaları,” 6. *Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, pp. 133-144, 2007.
- [12] M. A. Sandıkkaya, M. T. Yılmaz, B. S. Bakır, Ö. Yılmaz, “Site classification of Turkish national strong-motion stations,” *J Seismol*, vol. 14, pp. 543-563, 2010.
- [13] P. Martínez-Pagán, M. Navarro, J. Pérez-Cuevas, F. J. Alcalá, A. García-Jerez, and S. Sandoval-Castaño, “Shear-wave velocity based seismic microzonation of Lorca city (SE Spain) from MASW analysis,” *Near Surf Geophys*, vol.12, pp. 739-749, 2014.
- [14] A. Silahtar, E. Budakoğlu, G. Horasan, E. Yıldırım, H. S. Küyük, E. Yavuz, and D. Çaka, “Investigation of site properties in Adapazari, Turkey, using microtremors and surface waves,” *Environmental Earth Sciences*, vol.75, no. 20, pp. 1354, 2016.
- [15] O. Uyanık, “Kayma Dalga Hızına Bağlı Potansiyel Sıvılaşma Analiz Yöntemi,” Doktora Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, pp. 200, 2002.
- [16] K. Özaydın, “Zeminlerde sıvılaşma,” *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, pp. 231-255, 2007.
- [17] O. Uyanık, A. G. Taktak, “Kayma Dalga Hızı ve Etkin Titreşim Periyodundan Sıvılaşma Çözümlemesi için Yeni Bir Yöntem,” *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol.13, no. 1, pp. 74-81, 2009.
- [18] C. P. Lin, C. C. Chang, and T. S. Chang, “The use of MASW method in the assessment of soil liquefaction potential,” *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 24, no.9, pp. 689-698, 2004.
- [19] Y. U. Shizhou, M. Tamura, and H. Kouichi, “Evaluation of Liquefaction Potential in terms of surface wave method,” *In The 14th World Conference on Earthquake Engineering*, pp. 12-17, 2008.
- [20] N. Sundararajan, and T. Seshunarayana, “Liquefaction hazard assessment of earthquake prone area: a study based on shear wave velocity by multichannel analysis of surface waves (MASW),” *Geotechnical and Geological Engineering*, vol. 29, no. 3, pp. 267-275, 2011.

- [21] E. O. Shelley, V. Mussio, M. Rodríguez, and J. G. A. Chang, "Evaluation of soil liquefaction from surface analysis," *Geofísica internacional*, vol.54, no.1, pp. 95-109, 2015.
- [22] C. B. Park, R. D. Miller, J. Xia, "Multi-channel analysis of surface waves (MASW)," *Geophysics*, vol. 64, pp. 800-808, 1999.
- [23] J. Xia, R. D. Miller, and C. B. Park, "Advantages of calculating shear-wave velocity from surface waves with higher modes," *Society of Exploration Geophysicists Expanded Abstracts*, pp. 1295-1298, 2000.
- [24] J. Xia, R. D. Miller, and C. B. Park, "Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh waves," *Geophysics*, vol. 64, no. 3, pp. 691-700, 1999.
- [25] C. B. Park, R. D. Miller, and H. Miura, "Optimum field parameters of an MASW survey," *Japanese Society of Exploration Geophysics Extended Abstracts*, 2002.
- [26] Ü. Dikmen, A. T. Başokur, İ. Akkaya, M. Ö. Arısoy, "Yüzey dalgalarının çok-kanallı analizi yönteminde uygun atış mesafesinin seçimi," *Yerbilimleri Dergisi*, vol. 31, no. 1, pp. 23-32, 2009.
- [27] K. H. Stokoe, G. W. Wright, A. B. James, and M. R. Jose, "Characterization of geotechnical sites by SASW method. In: Geophysical Characterization of Sites," R.D. Woods, (ed.), *Oxford Publishers*, New Delhi. 1994.
- [28] S. Nazarian, K. H. Stokoe, and W. R. Hudson, "Use of spectral analysis of surface waves method for determination of moduli and thicknesses of pavement systems," *Transportation Research Record*, vol. 930, pp. 38-45, 1983.
- [29] M. Z. Kanbur, A. Silahtar, and C. Özsoy, "Sığ Sismik Yansıma, MASW ve ReMi Yöntemleri ile Sığ Yapıların İncelenmesi: Isparta Yerleşim Merkezi Kuzeyi Pliyo-Kuvaterner Çökel Yapı Örneği," *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol. 15, no. 3, pp. 224-232, 2011.
- [30] H. B. Seed, I. M. Idris, "Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential," *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, vol. 97, no. 9, pp. 1249-1273, 1971.
- [31] D. M. Boore, "Estimating Vs (30)(or NEHRP site classes) from shallow velocity models (depths < 30 m)," *Bulletin of the seismological society of America*, vol. 94, no. 2, pp. 591-597, 2004.
- [32] A. Silahtar, M. Z. Kanbur, "Senirkent Yerleşim Alanına ait Zemin Özelliklerinin ReMi Yöntemi İle İncelenmesi," *Uluslararası Burdur Deprem ve Çevre Sempozyumu*, pp. 69-75, 2015.