



Killi zeminlerde Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analizi Yöntemi ile elde edilen kayma dalga hızı ile plastisite indisi ve standart penetrasyon sayısı korelasyonu

Arif Özyankı¹, Hilmi Dindar², Abdullah Ekinci^{3*}

¹ KTMMOB Yer Bilim Mühendisleri Odası, Lefkoşa, KKTC, (ORCID: 0000-0001-4322-6546), arif.ozyanki@neu.edu.tr

² Yakın Doğu Üniversitesi, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü, Lefkoşa, Mersin 10, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5348-0296), hilmi.dindar@neu.edu.tr

³ Orta Doğu Teknik Üniversitesi, KKK, İnşaat Mühendisliği Programı, Güzelyurt, Mersin 10, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6787-9983), ekincia@metu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 13 Eylül 2020 ve Kabul Tarihi 29 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.794260)

ATIF/REFERENCE: Özyankı, A., Dindar, H. & Ekinci, A. (2020). Killi zeminlerde Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analizi Yöntemi ile elde edilen kayma dalga hızı ile plastisite indisi ve standart penetrasyon sayısı korelasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 490-497.

Öz

Temel zemin mekaniği parametreleri ile karmaşık zemin modeli parametrelerinin elde edilmesi mümkündür. Kayma dalgası hızına dayalı zemin profilini belirlemek için farklı jeofizik arama teknikleri kullanılmaktadır. ÇKYDA tekniği zemin parametrelerini elde etmek için kullanılan jeofizik çalışma yöntemlerinden bir tanesidir. Yerine özgün olarak sıg yüzey altı topografya araştırmalarında hızlıca uygulanabilen doğaya tahribatsız ve çok hızlı değerlendirme imkânı sunan bu yöntem geoteknik çalışmalar için büyük bir öneme sahiptir. Çalışma kapsamında farklı noktalarda gerçekleştirilen ÇKYDA tekniği ile elde edilen kayma dalgası hızları (Vs), yine aynı noktalarda yapılan sondajlardan elde edilen SPT-N ve örselenmiş zemin numuneleri üzerinde yapılan deneylerle bulunan plastisite indisi (PI) değerleri ile karşılaştırılmıştır. Gerçekleştirilen değerlendirmeler neticesinde kayma dalgası hızları ile plastisite indisi ve SPT-N değerleri arasında bir anlamlı bir ilişki gözlenmiştir. Bu karşılaştırma sonucunda elde edilen bağıntı Plastisite indisi için %93'lük ve SPT-N değerleri için %74'lük bir benzerlik gösterdiği görülmüştür. Elde edilen korelasyon eğrileri göstermiştir ki plastik indisi ile kayma dalgası hızları arasında ters orantı varken, SPT-N değerleri arasında doğru orantı mevcuttur. Zemin mekaniği ile ilişkili her parametre birbiri ile bağlantılı olması gerektiği bilinmekle birlikte, her farklı deneyin birbirlerine göre sağladığı farklılıklar vardır. Sonuç olarak plastisite indisi ve SPT-N gibi doğal zemin üzerinde yapılan deneyler kullanılarak hem yapısal hem de zemin modellerinde kullanımı değerli kayma dalgası hızları arazi çalışmaları öncesinde öngörülebilir. Çalışma kapsamında killi zeminlerin plastisite indisi ile kayma dalgası hızı arasında gerçekleştirilen regresyon analizleri sonucunda yüksek determinasyon katsayısına sahip olduğu ve bahse konu parametreler arasında güçlü mekaniksel bağ olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: ÇKYDA, plastisite indisi, standart penetrasyon, regresyon, kayma dalgası

Correlation for Multichannel Analysis of Surface Waves determined shear wave velocity as a function of plasticity index and standard penetration test resistance for clay soils

Abstract

It is possible to obtain advance soil parameters via basic characteristic tests on soil specimens. Shear wave velocity is an important soil parameter required for advance soil models and can be determined during the field investigation of such weak and problematic soils. Various geophysical techniques have been utilized in past to determine the shear wave velocity. Among those techniques Multichannel analysis of surface waves (MASW) method is the most widely used one. Named shallow depth ground investigation technique has a great importance in geotechnical applications.

In this study, shear wave velocity measurements via MASW technique performed in various sides of North Cyprus have been correlated to the Standard penetration blow number (SPT-N) and plasticity index (PI) value obtained via undisturbed samples at same locations. Evaluation of results have revealed that there is a good correlation between simple, easy and cheap to obtain soil mechanic parameters such as plasticity index and SPT-N number to more advance and expensive to obtain parameters such as shear wave velocity via MASW. Regression factor of shear wave velocity verses plasticity index found to be as successful as 93% and Shear wave velocity verses SPT-N as 74%. It is also evidential that plasticity index and shear wave velocity has invers correlation where SPT-N verses shear wave velocity is directly correlated.

* Sorumlu Yazar: Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Kuzey Kıbrıs Kampüsü, İnşaat Mühendisliği Programı, Güzelyurt, Mersin 10, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6787-9983), ekincia@metu.edu.tr

It is essential to know that most of soil parameters are correlated to each other with various ways and it is important to highlight those differences in correlations. Therefore, it is evidential that a parameter which can be used in advance soil modelling, shear wave velocity, can be obtained via simple, fast, and cheap experiments such as characterisation and standard penetration tests. It is evidential from the results that regression analysis of shear wave velocity verses plasticity index has high regression factor where such relationship shows strong mechanical link between those parameters.

Keywords: MASW, plasticity index, standart penetration, regression, shear wave velocity.

1. Giriş

Zemin dinamik özellikleri yerinde sismik çalışmalar sonucunda elde edilen kayma dalgası hızı ile doğrudan hesaplanabilir. Kayma dalgası hızlarını (V_s) ölçmek için birçok sismik test tekniği geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden biri, Park ve diğ (1999) tarafından geliştirilen Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analizi Yöntemi'dir (ÇKYDA). ÇKYDA yöntemi, Yüzey Dalgası'nın Spektral Analizi (SASW) olarak bilinen önceki yöntemden geliştirilmiştir (Nazarian ve Stokoe, 1984). Bunun yanı sıra veri işlem sürecinde tutarlı bir şekilde düzgün bir dağılım (dispersiyon) eğrisi oluşturularak en uygun yer modeli tasarlanabilir (Park et al, 1998, 2001; Ryden et al, 2004).

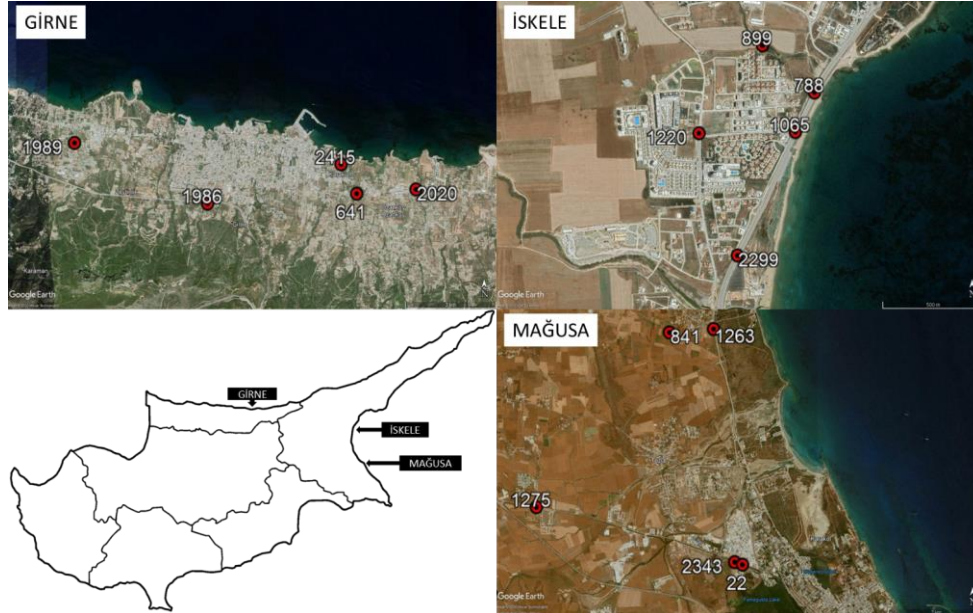
Genel bir ifade ile, yüzey altı yapısını, durumunu düşey ve yanal olarak nitelendirmek için bir boyutlu (1B) ve iki boyutlu (2B) yer modelleri üretilebilir (Xia ve diğ., 2000). Bu teknik tahribatsız ve uygulaması kolay olduğundan jeofizik mühendisleri ile uyum içerisinde geoteknik mühendisliği uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Birçok araştırmacı (Kılıç, 1995; Chrzan 1997; Boadu 2000; Kahraman 2001, Fener ve diğ, 2003) laboratuvarında kaya ve zemin özellikleri ile kayma dalgası hızı arasındaki ilişkileri araştırarak sismik kayma dalgası hızı'nın kaya ve zemin özellikleri ile yakından ilişkili olduğunu belirtmektedir.

Yerinde (in situ) ölçülen kayma dalgası hızı (V_s) değerleri, kesme ve basınç kuvvetleri'ni, boşluk oranı dağılımını, efektif sınırlı gerilmeleri (effective confining stress), gerilme geçmişi ve jeolojik yaş gibi gerçek zemin durumu parametreleri temsil edilebilir ve tam olarak yansıtır (Tezcan, 2006; Tezcan vd. 2006).

Bir diğer çalışmada sismik P dalgası hızı ile likit limit değerleri arasında, plastik limit ve plastisite indeksi ve kütle yoğunluğu arasında oldukça iyi bir korelasyon bulunduğu belirtilmektedir. Ayrıca yine bu çalışmada zeminin fiziksel özelliklerine karşı P dalgası hızının su içeriğine benzer sonuçları da elde edilmiştir. (Kurtulus, vd. 2010). Ampirik ilişkiler kullanılarak SPT-N verilerinden hesaplanan V_{s30} 'daki belirsizlikler, in situ olarak elde edilen V_{s30} ölçümleri ile ilgili belirsizlikten çok daha büyük olarak ifade edilmektedir (Brandenberg, vd. 2010).

Bu çalışmada, Kuzey Kıbrıs'ın farklı noktalarında killi ve siltli zeminlerde yapılan sondajlarda uygulanan standart penetrasyon deneyi (SPT) ile hesaplanan SPT-N değerleri ve bu numuneler üzerinde ölçülen plastisite indisi (I_p) değerleri ile bu sondaj noktalarına yakın ÇKYDA yöntemi sonucunda elde edilen V_s hızları ilişkilendirilmiş ve regresyon analizi kullanılarak tahmin denklemleri geliştirilmiştir. Çalışma sonucunda I_p değerleri ile V_s değerleri arasında ters orantılı bir ilişki gözlenirken, SPT-N değerleri ile V_s değerleri arasında doğrusal bir ilişki gözlenmiştir.



Şekil 1. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen SPT ve ÇKYDA lokasyonları

Tablo 1. Düzeltilmemiş SPT-N ve Kayma Dalgası Hızı (V_s) arasında önerilen ampirik ilişkiler (Ataee ve diğ., 2018).

No	Yazar	Ülke	Tüm Zemin Türlei	Çakıl	Kum	Kil
1	Ohba ve Toriuma (1970)	Japonya	$V_s = 85.34N_{0.31}$			
2	Shibata (1970)	Japonya			$V_s = 31.7N^{0.5}$	
3	Ohta vd.. (1972)	Japonya			$V_s = 87.2N^{0.36}$	
4	Ohsaki ve Iwasaki (1973)	Japonya	$V_s = 81.38N_{0.39}$		$V_s = 59.4N^{0.47}$	
5	Imai (1977)	Japonya	$V_s = 91N_{0.337}$		$V_s = 80.6N^{0.331}$	$V_s = 80.2N^{0.292}$
6	Ohta ve Goto (1978)	Japonya	$V_s = 85.35N_{0.348}$			
7	Seed ve Idriss (1981)	ABD	$V_s = 61N^{0.5}$			
8	Imai ve Tonouchi (1982)	Japonya	$V_s = 97N^{0.314}$			
9	Seed vd.. (1983)	ABD			$V_s = 56.4N^{0.5}$	
10	Sykora ve Stokoe (1983)	ABD			$V_s = 100.5N^{0.29}$	
11	Lee (1990)	Tayvan			$V_s = 57.4N^{0.49}$	$V_s = 114.43N^{0.31}$
12	Lee (1992)	Tayvan	$V_s = 76.2N_{0.24}$			$V_s = 138.4(N+1)^{0.242}$
13	Pitilakis vd. (1992)	Yunanistan			$V_s = 162N^{0.17}$	
14	Athanasopoulos (1995)	Yunanistan	$V_s = 107.6N_{0.36}$			$V_s = 76.55N^{0.445}$
15	Raptakis vd.(1995)	Yunanistan		$V_s = 192.4 N^{0.130}$		
16	Kanai (1966)	Japonya	$V_s = 19N^{0.6}$			
17	Iyisan (1996)	Türkiye	$V_s = 51.5N_{0.516}$			
18	Jafari et al. (1997)	Iran	$V_s = 22N^{0.85}$			
19	Kiku et al. (2001)	Japonya	$V_s = 68.3N_{0.292}$			
20	Jafari et al. (2002)	Iran				$V_s = 27N^{0.73}$
21	Hasancebi and Ulusay (2007)	Türkiye	$V_s = 90N_{0.309}$		$V_s = 90.82N^{0.319}$	$V_s = 97.89N^{0.269}$
22	Dikmen (2009)	Türkiye	$V_s = 58N^{0.39}$		$V_s = 73N^{0.33}$	$V_s = 44N^{0.48}$
23	Maheshwari et al. (2010)	Hindistan	$V_s = 95.64N_{0.301}$		$V_s = 100.53N^{0.265}$	$V_s = 89.31N^{0.358}$
24	Hafezi Moghaddaset al. (2010)	Iran	$V_s = 99N^{0.53}$		$V_s = 80N^{0.58}$	$V_s = 45N^{0.72}$
25	Chatterjee and Choudhury (2013)	Hindistan	$V_s = 78.21N_{0.38}$		$V_s = 54.82N_{0.53}$	$V_s = 77.11N^{0.39}$

killerin drenajsız kesme dayanımı ve kumların elastisite modülü gibi parametreler de dolaylı olarak belirlenebilmektedir.

Çalışma kapsamında Şekil 1' de görülen KKTC' nin problemlili zeminlere sahip Girne, İskele ve Mağusa bölgelerinde 15 farklı çalışma noktasında 45 sondaj noktası kullanılmıştır. Bahse konu noktalardan jeolojik tanımı ASTM D2487-17e1 standardına göre kil olarak belirlenmiş katmanlarda gözlemlenen ortalama düzeltilmemiş N değerleri kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneylerde ASTM D1586 / D1586M-18 standartları takip edilmiştir. Darbe sayısı (N- değeri) ile zeminlerin mühendislik özellikleri arasında mühendislik uygulamaları amaçları için ilişki kuran birçok yerel ve yaygın olarak yayınlanan uluslararası korelasyon, mevcuttur (Tablo 1).

2.2. Kıvam Limitleri

Atterberg limitleri olarak bilinen plastik limit (PL) ve likit limit (LL) değerleri zeminlerin davranışlarını tanımlamada kullanılan belli başlı elde edilmesi hızlı ve basit

2. Yöntemler

2.1. Standart penetrasyon deneyi

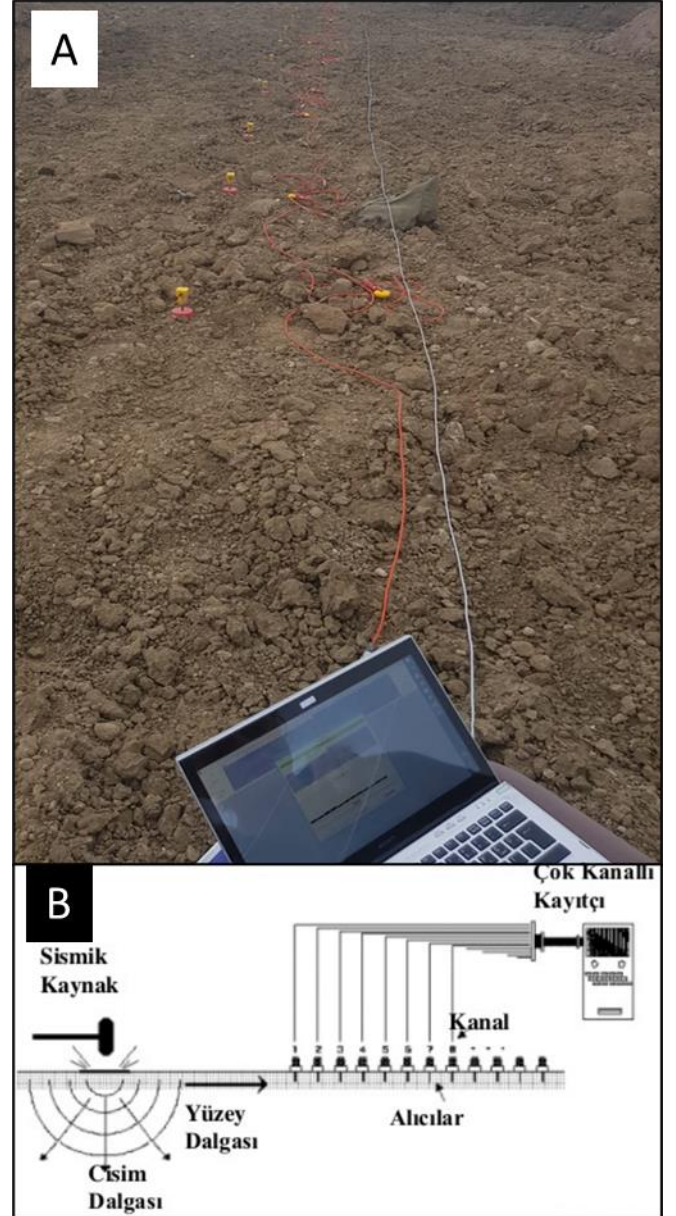
Standart penetrasyon deneyi (SPT), zeminin mühendislik özellikleri hakkında bilgi vermek için tasarlanmış sahada gerçekleştirilen ve dünya genelinde Zemin etüd çalışmalarının %80 inde kullanılan penetrasyon testidir. Özellikle kohezyonsuz zeminlerde standart ve klasik örnekleyicilerle örselenmemiş örnek almak hemen hemen olanaksız olduğu için, bu tür zeminlerin mühendislik özellikleri laboratuvar deneyleriyle belirlenememekte, dolayısıyla bu tür zeminlerde arazi deneyleri çoğu kez tercih edilmektedir. Zemin araştırmalarında sondaj kuyusu içinde yapılan zemin mühendislik özellikleri ile ilgili veri elde edilmektedir. Bunun yanı sıra, deneyde örnekleme tüpüyle alınan örselenmiş örnekler üzerinde laboratuvarda yapılan kıvam limit deneylerin sonuçları zemin tanımlaması ve sınıflamasında kullanılmaktadır. Standart Penetrasyon deneyinden elde edilen veriler ile kumların içsel sürtünme açısı,

parametrelerdendir. İnce daneli zeminler su içeriğine göre farklı davranışlar gösterir ve Atterberg limitleri zeminlerin su tutma derecelerine göre tanımlanırlar. PL zeminin plastik gibi davranmaya başladığı sınırı ve LL zemin içerisindeki su içeriğinin artması sonucu plastik durumdan likit duruma geçiş noktasını tanımlar. Ip değeri ise LL ve PL değerlerin farkı olarak tanımlanır. Atterberg limitleri taşıma kapasitesi (Chik ve diğ., 2010) ve kayma mukavemeti (Saikia ve diğ., 2017) gibi inşaat mühendisliğinde kullanılan parametreler için önemli değerlerdir. Çalışma kapsamında ASTM D4318-17e1 standartlarına göre belirlenen Ip değerleri, gerçekleştirilen standart penetrasyon deneyleri esnasında elde edilen örselenmemiş numuneler üzerinde yapılan Atterberg limit deneyleri vasıtası ile belirlenmiştir.

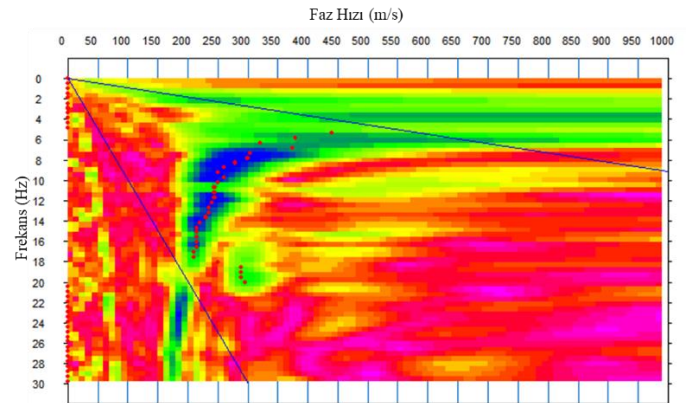
2.3. ÇKYDA Yöntemi

ÇKYDA, yüzey dalgalarından zeminlerin Kayma Dalgası Hızı'nı (V_s) hesaplamak için kullanılan çok kanallı sismik yöntemlerden biridir (Şekil 2). Yeraltı katmanlarını görüntülemek için Rayleigh dalgalarının dağıtıcı (dispersiyon) özelliklerini yani farklı faz hızlarına karşı gelen frekanslardaki temel mod kullanılır. ÇKYDA yönteminde, yüzey dalgaları balyoz gibi bir darbe kaynağı ile oluşturulur (Park ve diğ., 1999). Çalışmada düşey yönlü 4.5 Hz jeofonlu 12 kanallı Sara DOREMİ kayıtçı sistemi kullanılmıştır. Sismik dalgalar bir balyoz ile oluşturulan anlık vuruşlar ile üretilmiştir. Kayıtçı sismograf ile alınan kayıtların veri işlem aşaması üç adımdan oluşmaktadır. Birincisi çok kanallı jeofonlar ile alınan ham verinin hazırlanması, ikincisi dispersiyon eğrisinin analizi ve üçüncüsü en küçük kareler tekniği ile ters çözüm işlemidir. ÇKYDA çalışmaları toplam 17 farklı noktada yapılmıştır. Buna göre jeofon aralıkları 5 metre, offset uzunlukları $-/+15$, $-/+10$ ve $-/+5$ m olacak şekilde baş orta ve son atış dizilimi olarak her noktada toplam 3 yığma yapılarak gerçekleştirilmiştir. Buna ek olarak serim uzunluğu 60 metre ve jeofon sayısı 12 adet olarak belirlenmiştir. Bu çalışmalarda SARA DoReMi cihazı kullanılmıştır. Kayıt süresi 2 sn, örnekleme aralığı 500 Hz (2 ms) olarak ayarlanmıştır.

ÇKYD yöntemi veri değerlendirmesi, bir mühendislik standardı olan SEG-2 formatındaki sismik arazi kaydı dosyası ile başlar. İkinci adımda, tüm kayıtların, kaynak ve alıcı ayarlaması yapılır. Temel İşlem olarak ifade edilen üçüncü adımda; dispersiyon görüntüsü üzerine işaretleme yapılır ve ters çözüm işlemi gerçekleştirilir. Bu işlem sırasında amaçlanan, dispersiyon eğrisinden yararlanılarak 1 Boyutlu (1B) ortama ait tabaka parametrelerini elde etmektir (Şekil 3). Ters çözüm işlemi basit olarak, bir veya daha fazla dispersiyon eğrisinin, bir sonraki aşamadaki teorik dispersiyon eğrisi denklemleri ile ölçülen eğrinin uyumunu sağlamak ve uygun bir katman (kayma hızı, V_s) modeli bulmaktır. Genellikle hesaplanan temel mod eğrisi (M_0) olur. Yüzey dalgaları, yarı-sonsuz, homojen ve tekdüze ortamda, yüzeyden itibaren frekansa bağlı hız değişimi gösterirler. Bu hız değişiminde dalgaların farklı faz hızları ile yayılmasına dispersiyon denir (Richards ve Aki,1980).



Şekil 2. Çok-kanallı Yüzey Dalgası (ÇKYDA) veri toplama düzenekleri A) saha uygulaması, B) şematik anlatımı (Pamuk ve diğ., 2015)



Şekil 3. Arazi kayıtlarından örnek bir dispersiyon eğrisi görüntüsü ve ters çözüm işlemi.

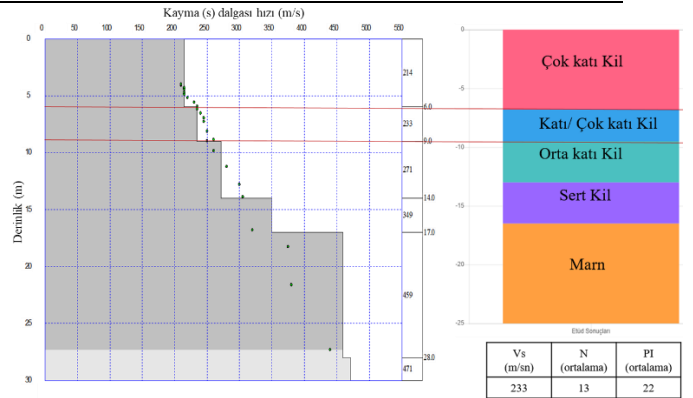
Tablo 2. Bölgelere göre çalışma yapılan noktalarından elde edilen kayma dalga hızı, ortalama darbe sayısı ve ortalama plastisite indisi.

KTMMOB IMO Sondaj No*	Sondaj Adet	Bölge	Yüzey Jeolojisi**	Vs (m/s)	N ortalama	PI ortalama
641	2	Girne	Q4a - Denizel Seki	233	13	22
1989	2	Girne	Q4a - Denizel Seki	257	56	18
2415	4	Girne	Q4a - Denizel Seki	201	19	23
1986	2	Girne	Q4a - Denizel Seki	318	54	19
2020	4	Girne	Q4a - Denizel Seki	297	17	21
2299	3	İskele	Q4b - Karasal Seki	140	12	33
788	4	İskele	Q4b - Karasal Seki	200	15	27
1065	3	İskele	Q4b - Karasal Seki	140	12	33
899	3	İskele	Q4b - Karasal Seki	178	12	33
1220	1	İskele	Q4b - Karasal Seki	147	12	30
22	4	Mağusa	Q4b - Karasal Seki	111	2	46
2343	4	Mağusa	Q4b - Karasal Seki	114	7	37
841	4	Mağusa	Q3b - Karasal Seki	450	58	12
1263	3	Mağusa	Q3b - Karasal Seki	402	43	16
1275	2	Mağusa	Q4b - Karasal Seki	145	13	30
15	45	Toplam				

* Kıbrıs Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği İnşaat Mühendisleri Odası Zemin Katman Veritabanı.

** (Hakyemez ve diğ., 2000).

Dispersiyon analizi, iki adımdan oluşur. İlk adımda, iki boyutlu (zaman ve uzay) bir dalga alanı dönüşüm yöntemi kullanılarak kodlanmış kaynak / alıcı (SR) kurulumuna sahip sismik alan kaydından dispersiyon görüntüsü oluşturulur. İkinci adımda, görüntüden bir temel mod (M0) dispersiyon eğrisi çıkarılır. Bu çıkarılan eğri, bir sonraki veri analizi adımında (ters çözüm) giriş verisi olan "ölçülen" dispersiyon eğrisi olarak adlandırılır. Katmanlı yer modeli, boyuna dalga hızı (Vp), Kayma dalga hızı (Vs) ve tabaka yoğunluğu (ρ) parametrelerini ifade eder. Bu parametreler arasında en çok kullanılan, genellikle yüzey dalgası verilerinin ters çözümünden tahmin edilen Kayma (S) dalgası hızıdır. Bunun nedeni, ters çözüm için kullanılan veri tipinin, şekli çoğunlukla yeryüzünün Vs yapısı tarafından belirlendiği temel mod (M0) dispersiyon eğrisi olmasıdır. Sonuç olarak, yüzey dalgasının veri işlemi, M0 eğrisinin oluşturulması ve daha sonra teorik M0 eğrisi ile oluşturulan (deneysel veya ölçülen) M0 eğrisinin en yakın eşleşme eğrisinden yeryüzü Vs yapısının bulunması işlemidir. Son adım olan dördüncü adımda ise yeraltındaki formasyonları temsil eden en uygun yer yapı kesitleri derinlik ve hıza bağlı olarak 1B ve 2B olarak elde edilir (Şekil 4).



Şekil 4. Hesaplanan yer kesiti ile başlangıç yer modeli örneğinin karşılaştırılması

3. Değerlendirme

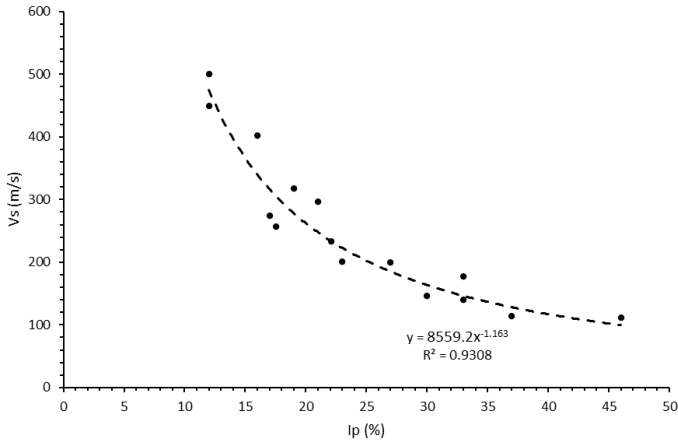
Bu çalışmada, Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) ile hesaplanan düzeltilmemiş SPT-N değerleri ve örselenmemiş numuneler vasıtası ile belirlenen Plastisite İndisi (Ip) değerleri karşılaştırılmıştır. Bununla birlikte yine çalışma kapsamında değerlendirilen sondaj noktalarına yakın istasyonlarda ÇKYDA yöntemi çalışmaları sonucunda elde edilen Vs hızları ile SPT- N ve Ip değerleri (Tablo 2) ilişkilendirilmiş ve regresyon analizi kullanılarak tahmin denklemleri geliştirilmiştir (Şekil 5 ve 6).

Şekil 5 de görüleceği üzere çalışılan Kayma dalgası hızları ile plastisite indisi arasında çok iyi yerleşen ve doğrusal olmayan regresyon eğrisi çizilebilmiştir ve bağıntı elde edilmiştir (Denklem 1).

$$V_s = 8559.2I_p^{-1.163} \quad (1)$$

Yüksek determinasyon katsayısına (R=0.93) sahiptir. Böylelikle görülmüştür ki killi zeminlerin plastisite indislerindeki düşüş kayma dalgası hızlarını artırmaktadır. Yine bilinmektedir ki düşük plastisite indisine sahip zemine genellikle silt içeriği yüksek killerden oluşmaktadır. Bu kavramda düşük plastisiteli zeminlerdeki kayma dalgasındaki artışı açıklamaktadır. Yine bilindiği üzere killi zeminlerin enerji emme kapasitelerinin yüksek oluşu gözlemlenen bağıntının doğruluğunu kanıtlamaktadır.

Geliştirilen denklemlerin doğruluğunun kanıtlanması amacı ile benzer yöntemler ancak farklı jeofizik mühendisi, jeoloji mühendisi ve farklı sahalarda elde edilen değerler kullanılarak denklem teyit edilmiştir. Kuzey Kıbrısın Girne bölgesinde yapılan bir çalışmada gözlemlenen killi katmanın I_p değeri 17.68 iken V_s değeri 327m/s olarak gözlemlenmiştir. Geliştirilen denklem kullanıldığı zaman ve elde edilen I_p değeri denkleme yerleştirildiği zaman V_s değeri 303m/s olarak korele edilmiştir. Bağıntı kurulan değer Şekil 5'e yerleştirildiği zaman geliştirilen denklemin plastisite indisleri vasıtası ile kayma dalga hızlarının korelasyonunda etkili şekilde kullanılabileceği görülmektedir.

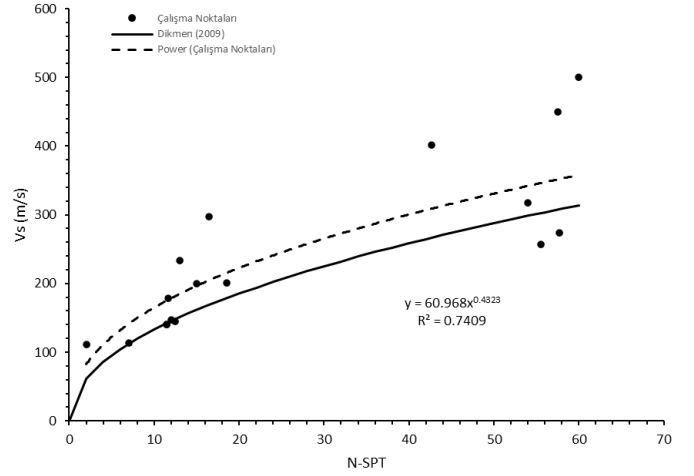


Şekil 5. Kayma Dalgası Hızı (V_s) ve Plastisite İndisi (I_p) İlişkisi

Şekil 6 de görüleceği üzere standart penetrasyon çalışmaları sonucu sahadan N-SPT değerleri ile ÇKYDA çalışmaları sonucunda elde edilen kayma dalga hızları arasında iyi yerleşen ve doğrusal olmayan regresyon eğrisi çizilmiş ve bağıntı elde edilmiştir (Denklem 2).

$$V_s = 60.97N^{0.432} \quad (2)$$

Orta derecede determinasyon katsayısına (R=0.74) sahiptir. Bahse konu saha çalışmalarındaki koşullar göz önünde bulundurulduğu zaman elde edilen determinasyon kat sayısını derecesinin elde edilen denklemin uygulanabilir olduğuna işaret etmektedir. Yine Tablo 1 de birçok farklı araştırmacı tarafından killi zeminler için elde edilen denklemler ile kıyaslama yapıldığı zaman özellikle benzer jeolojik yapıya sahip ve yakın coğrafyadan zeminler üzerinde yapılan çalışmalar sonucu elde edilen Dikmen (2009) denklemi ile bu çalışmada elde edilen denklemin yakınlık gösterdiği görülmektedir.



Şekil 6. Kayma Dalgası Hızı (V_s) ve SPT-N İlişkisi

4. Sonuç

Killi zeminlerde ÇKYDA ile elde edilen kayma dalgası hızı ile plastisite indisi ve SPT-N korelasyonu çalışmaları neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Çalışma kapsamında değerlendirilen sondaj noktalarına yakın istasyonlarda ÇKYDA yöntemi çalışmaları sonucunda elde edilen kayma dalgası hızları ile plastisite indisi ve standart penetrasyon darbe sayısı değerleri arasında denklem geliştirilmiştir. Bu kapsamda killi zeminlerin plastisite indisi ile kayma dalgası hızı arasında gerçekleştirilen regresyon analizleri sonucunda yüksek determinasyon katsayısına (R=0.93) sahip olduğu ve bahse konu parametreler arasında güçlü mekaniksel bağ olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen bağıntı basit, kolay ve hızlıdney yöntemi olan plastisite indisinin elde edilmesi neticesinde, killi zeminlerin kayma dalga hızlarının kolaylıkla elde edilebileceği görülmüştür. Bahse konu parametrenin kolaylıkla elde edilmesi gerçekleştirilecek olan geoteknik tasarımlarda tasarımcının zemin modelini oluşturmasında son derece önemli veriler elde etmesine yarayacaktır.

Çalışma kapsamında yapılan bir diğer değerlendirmede ise standart penetrasyon darbe sayısı ile kayma dalga hızları arasında iyi yerleşen ve doğrusal olmayan regresyon eğrisi çizilmiş ve buna bağlı orta derecede determinasyon katsayısına (R=0.74) sahip bağıntı elde edilmiştir.

Geoteknik alanında yapılan tüm çalışmalar disiplinler arası çalışmalar gerektirmektedir. Yapılan korelasyon çalışmaları sırasında bazı noktalarda karşılaşılan sapmalar, plastisite indisi ve SPT-N testleri sırasında yapılmış olabilecek insan kaynaklı hatalar olabileceği gibi, ÇKYDA ölçüsü sırasında yaşanan çevresel gürültülerden de kaynaklanabilir. Benzer karşılaştırmaların artırılması, her meslek disiplininin sağladığı verilerin gözden geçirilmesini ve zemin hakkında daha doğru sonuçlara ulaşılabilesini sağlamaktadır. Benzer çalışmanın kil silt yüzdelere karşılık kayma dalgası hızı arasında yapılması tavsiye edilmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi süresince gösterdikleri destek ve yardımlardan dolayı GEOTEAM Mühendislik Ltd ve CERBERUS Geophysics' deki meslektaşlarımıza çok teşekkür ederiz.

Kaynakça

- ASTM D2487-17e1. Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System); ASTM International: West Conshohocken, PA, USA, 2017.
- ASTM D1586 / D1586M-18, Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018, www.astm.org
- ASTM D4318-17e1. Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils; ASTM International: West Conshohocken, PA, USA, 2017.
- Ataee, O., Moghaddas, N. H., & Lashkaripour, G. R. (2019) Estimating shear wave velocity of soil using standard penetration test (SPT) blow counts in Mashhad city. *Journal of Earth System Science*, 128(3). doi: 10.1007/s12040-019-1077-x
- Athanasopoulos, G.A. (1995). Empirical correlations V_s -NSPT for soils of Greece: a comparative study of reliability. In: Cakmak AS, Brebbia CA, editors. *Proceedings of seventh international conference on soil dynamics and earthquake engineering*, Chania, Crete, Greece. South-ampton: Computational Mechanics Publications, 1995, pp. 19-26.
- Boadu, F.K. (2000). Predicting the transport properties of fractured rocks from seismic information: numerical experiments. *Journal of Applied Geophysics*, 44: 103–113.
- Brandenberg, S. J., Bellana, N., & Shantz, T. (2010). Shear wave velocity as function of standard penetration test resistance and vertical effective stress at California bridge sites. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 30(10), 1026-1035.
- Chatterjee, K., & Choudhury, D. (2013). Variations in shear wave velocity and soil site class in Kolkata city using regression and sensitivity analysis. *Natural hazards*, 69(3), 2057-2082.
- Chik, Z., Ariestianty, S. K., Rosyidi, S. A. P., Nayan, K. A. M., & Taha, M. (2010). Field Measurement of Dynamic Soil Properties of Tropical Meta-Sediment Residual Soils.
- Chrzan, T. (1997). The determination of rocks' mechanical properties with the use of ultrasounds. In *Mine Planning and Equipment Selection 1997: Proceedings of the 6th International Symposium*, Ostrava, Czech Republic, 3–9 September 1997. Edited by V. Strakos, V. Kebo, R. Farana, and L. Smutny. A.A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands. pp. 315–318.
- Dikmen, Ü. (2009). Statistical correlations of shear wave velocity and penetration resistance for soils. *Journal of Geophysics and Engineering*, 6(1), 61-72.
- Fener, M., Kahraman, S., Bay, Y., & Gunaydin, O. (2005). Correlations between P-wave velocity and Atterberg limits of cohesive soils. *Canadian Geotechnical Journal*, 42(2), 673–677. doi: 10.1139/t04-102.
- Hafezi Moghaddas N, Azadi A and Amanian M 2010 Assessment of shear wave velocity based on standard penetration and accuracy of the results in the range of

- Mashhad City; In: Fourteenth Conference of Iran Geophysics, Geophysical Institute (in Persian).
- Hakyemez, Y. H. (2014). Kuzey Kıbrıs'ın Temel Jeolojik Özellikleri. *TPJD Bülteni*, Cilt 26, Sayı 2, Sayfa 7-46, 2014.
- Hakyemez, Y.; Turhan, N.; Sönmez, İ.; Sümengen, M. (2000). Kuzey Kıbrıs'ın Jeolojik Özellikleri; Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü: Ankara, Türkiye; yayınlanmamış rapor.
- Hasancebi, N., Ulusay, R. (2007) Empirical correlations between shear wave velocity and penetration resistance for ground shaking assessments. *Bull Eng Geol Environ* 66(2):203–213.
- Imai, T. (1977). P- and S-wave velocities of the ground in Japan; *Proc. 9th Int. Conf. Soil Mech. and Foundn. Engg.*, Tokyo, 257–260.
- Imai, T. (1982). Correlation of N value with S-wave velocity and shear modulus.
- Iyisan R (1996). Correlations between shear wave velocity and in situ penetration test results. *Chamber of civil engineers of Turkey. Teknik Dergi* 7(2):1187–1199.
- Jafari M. K., Asghari A. and Rahmani I. (1997). Empirical correlation between shear wave velocity (V_s) and SPT-N value for south of Tehran soils *Proc. 4th Int. Conf. on Civil Engineering (Tehran, Iran)* (in Persian).
- Jafari M.K., Shafiee A., Ramzkhah A. (2002). Dynamic properties of the fine grained soils in South of Tehran. *J Seismol. Earthq Eng* 4(1):25–35.
- Kanai K (1966). Conference on cone penetrometer. The Ministry of Public Works and Settlement, Ankara, Turkey.
- Kahraman, S. (2001). Evaluation of simple methods for assessing the uniaxial compressive strength of rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 38: 981–994.
- Kıbrıs Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği İnşaat Mühendisleri Odası (Zemin Katman Veritabanı). Online: <https://www.ktimo.org/Zemin> (ziyaret tarihi 12 Eylül 2020).
- Kiku H, Yoshida N, Yasuda S, Irisawa T, Nakazawa H, Shimizu Y, Ansal A, Erkan A (2001). In situ penetration tests and soil profiling in Adapazari, Turkey. *Proceedings of the ICSMGE/TC4 satellite conference on lessons learned from recent strong earthquakes*, pp 259–265.
- Kilic, R. (1995). Geomechanical properties of the ophiolites (Cankiri/Turkey) and alteration degree of diabase. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 51: 64–69.
- Kurtulus, C., Sertcelik, F., Canbay, M. M., & Sertcelik, I. (2010). Estimation of Atterberg limits and bulk mass density of an expansive soil from P-wave velocity measurements. *Bulletin of Engineering Geology and The Environment*, 69(1), 153-154.
- Lee, S. H. H. (1990). Regression models of shear wave velocities in Taipei basin. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 13(5), 519-532.
- Lee, S. H. H. (1992). Analysis of the multicollinearity of regression equations of shear wave velocities. *Soils and foundations*, 32(1), 205-214.
- Madun, A., Ahmad Supa'at, M. E., Ahmad Tajuddin, S. A., Zainalabidin, M. H., Sani, S., & Yusof, M. F. (2016). Soil investigation using multichannel analysis of surface wave (MASW) and borehole. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(6), 3759-3763.
- Maheswari, R. U., Boominathan, A., & Dodagoudar, G. R. (2010). Seismic site classification and site period mapping

- of Chennai City using geophysical and geotechnical data. *Journal of Applied Geophysics*, 72(3), 152-168.
- Martínez-Pagán, P., Navarro, M., Pérez-Cuevas, J., Alcalá, F. J., García-Jerez, A., & Rancisco Vidal, F. (2018). Shear-wave velocity structure from MASW and SPAC methods: The case of Adra town, SE Spain. *Near Surface Geophysics*, 16(3), 356-371.
- Nazarian, S., & Stokoe, K. H. (1989). Nondestructive evaluation of pavements by surface wave method. In *Nondestructive testing of pavements and backcalculation of moduli*. ASTM International.
- Nazarian, S. And Stokoe Ii, K. H. (1984). In-situ shear wave velocity from spectral analysis of surface waves. *Proc. 8th World Conf On Earthquake Engineering*, 3, pp 31-38.
- Ohba, S., & Toriuma, I. (1970). Research on vibrational characteristics of soil deposits in Osaka, Part 2, on velocities of wave propagation and predominant periods of soil deposits. In technical meeting of Architectural Institute of Japan.
- Ohsaki, Y., & Iwasaki, R. (1973). On dynamic shear moduli and Poisson's ratios of soil deposits. *Soils and Foundations*, 13(4), 61-73.
- Ohta, H. (1972). Analysis of deformations of soils based on the theory of plasticity and its application to settlement of embankments.
- Ohta, Y., & Goto, N. (1978). Empirical shear wave velocity equations in terms of characteristic soil indexes. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 6(2), 167-187.
- Pamuk E., Doğru, F., and Dindar, H. (2015). Yüzey Dalgası Dispersiyon Verisinin Ardışık Ters Çözümü. *Yerbilimleri Dergisi*, 36(1), 1-18.
- Pamuk, E., Özdağ, Ö. C., & Akgün, M. (2019). Soil characterization of Bornova Plain (Izmir, Turkey) and its surroundings using a combined survey of MASW and ReMi methods and Nakamura's (HVSr) technique. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78(4), 3023-3035.
- Pamuk, E., Özdağ, Ö. C., Tunçel, A., Özyalın, Ş., & Akgün, M. (2018). Local site effects evaluation for Aliğa/Izmir using HVSr (Nakamura technique) and MASW methods. *Natural Hazards*, 90(2), 887-899.
- Park, C.B., R.D. Miller and J. Xia (1998), "Imaging dispersion curves of surface waves on multi-channel record": [Expanded Abstract]: *Soc. Explor. Geophys.*, pp. 1377-1380.
- Park, C.B., R.D. Miller and J. Xia (1999), "Multi-channel analysis of surface waves (MASW)", *Geophysics*, Vol.64, 3, pp. 800-808.
- Park, C.B., R.D. Miller and J. Xia (2001), "Offset and resolution of dispersion curve in multichannel analysis of surface waves (MSW)", *Proceedings of the SAGEEP 2001*, Denver, Colorado, SSM-4.
- Pitilakis, K. D., Anastasiadis, A., & Raptakis, D. (1992). Field and laboratory determination of dynamic properties of natural soil deposits. In *Proceedings of the 10th world conference on earthquake engineering* (Vol. 5, pp. 1275-1280).
- Rahman, M. Z., Kamal, A. M., & Siddiqua, S. (2018). Near-surface shear wave velocity estimation and V s 30 mapping for Dhaka City, Bangladesh. *Natural Hazards*, 92(3), 1687-1715.
- Raptakis, D. (1995). Contribution to the determination of the geometry and the dynamic properties of soil formations and their seismic response (Doctoral dissertation, Ph. D. Thesis (in Greek), Dept. of Civil Eng., Aristotle Univ. of Thessaloniki).
- Richards, P. G., & Aki, K. (1980). *Quantitative Seismology: Theory and Methods* (p. 13). Freeman.
- Ryden, N., Park, C. B., Ulriksen, P., & Miller, R. D. (2004). Multimodal Approach to Seismic Pavement Testing. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 130(6), 636-645. doi: 10.1061/(asce)1090-0241(2004)130:6(636)
- Saikia, A., Baruah, D., Das, K., Rabha, H. J., Dutta, A., Saharia, A. (2017). Predicting Compaction Characteristics of Fine-Grained Soils in Terms of Atterberg Limits. *Int. J. of Geosynth. and Ground Eng.* 3, 18. <https://doi.org/10.1007/s40891-017-0096-4>
- Seed, H. B., & Idriss, I. M. (1981). Evaluation of liquefaction potential sand deposits based on observation of performance in previous earthquakes. In *ASCE national convention (MO)* (pp. 481-544).
- Seed, H. B., Idriss, I. M. and Arango, I. (1983). Evaluation of Liquefaction Potential Using Field Performance Data. *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 109, No. GT3, pp 458-482
- Shibata, T. (1970). The relationship between the N-value and S-wave velocity in the soil layer. *Disaster Prevention Research Laboratory, Kyoto University, Kyoto, Japan*.
- Tezcan, S., Keçeli, A., Özdemir, Z. (2006). Kayma Dalgası Hızı Yardımı ile Zemin Emniyet Gerilmesi Tayini. *Şantiye (İnşaat, Makine ve Mimarlık Dergisi)*, 214, 102-105.
- Tezcan, S., Özdemir, Z. (2006). Sismik Yöntem ile Zemin Emniyet Gerilmesi Tayininde Temel Boyutları. *Şantiye (İnşaat, Makine ve Mimarlık Dergisi)*, 217,106-108
- Xia, J., Miller, R.D., Park C.B. & Ivanov, J. (2000). "Construction of 2-D vertical shear-wave velocity field by the multichannel analysis of surface wave technique",