

# ZEMİNLERİN BASINÇ VE KESME MUKAVEMETLERİNİN SİSMİK HIZLARDAN TAHMİNİ

## THE ESTIMATION OF COMPRESSIVE AND SHEAR STRENGTHS OF SOILS FROM SEISMIC VELOCITIES

**Osman UYANIK<sup>1</sup>, Veysel ÇEKMEN<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>SDÜ MMF Jeofizik Mühendisliği Bölümü Isparta. uyanik@mmf.sdu.edu.tr

Yayına Geliş (Received): 11.01.10, Yayına Kabul (Accepted): 21.05.10

**ÖZ :** Bu çalışmada, zeminlerin basınç ve kesme mukavemetlerini belirlemek için yerinde proctor penetrometre ile kanatlı kesme deneyi ve zeminin dinamik özelliklerini belirlemek için de sismik karşıt kuyu yöntemi kullanılmıştır. Kuyu içi sismik çalışmaların yapıldığı yerlerde kanatlı kesme ve proctor penetrometre deneyleri de uygulanmıştır. Kanatlı kesme ve proctor penetrometre deneylerinden belirlenen kesme ve basınç mukavemeti ile karşıt kuyu tekniğinden bulunan sismik hızlar arasında çok parametrelili deneysel ilişkiler belirlenmiştir. Bu çalışma yerinde sismik hızlara bağlı kum ve kil yoğunluklu zeminlerin yerinde basınç ve kesme direncini tahmin etmeyi önermektedir. Sonuçlar önerilen deneysel ilişkinin yerinde basınç ve kesme dirençlerini iyi derecede tahmin ettiğini gösterir.

**Anahtar Kelimeler:** Basınç mukavemeti, kesme mukavemeti, zemin, sismik hızlar, deneysel ilişki

**ABSTRACT :** In this study, in-situ proctor penetrometer and vane experiments were used to determine the pressure and shear strengths and in-situ seismic cross-hole experiments were used to determine the dynamic properties of soil. Vane and proctor penetrometer experiments were also performed where seismic cross-hole studies were carried out. Multi-parameter experimental relationships were determined from the compressive strength and shear strength which were found from proctor penetrometer and vane, and seismic velocities obtained from seismic cross-hole studies. This study suggests that the pressure and shear strengths of sand and clay predominance soils from in-situ seismic velocities can be estimated. The results show that estimation of pressure and shear strengths by using experimental relationship equations proposed is fairly at good levels.

**Key Words:** Compressive strength, shear strength, soil, seismic velocities, experimental relationship

### GİRİŞ

Bir deprem esnasında, zeminde meydana gelen titreşimler, mühendislik yapı yüklerinin iletildiği zeminlerde büyük deformasyonlar yapabilir. Bu durum, zeminin dinamik ve stabilite özelliğinin bilinmemesinden kaynaklanır. Zeminin dinamik ve stabilite özelliği doğrudan doğruya ortamın kesme (makaslama, kayma) direnci ile ilgilidir. Kesme direncinin ilk incelemesi Coulomb (1776) tarafından yapılmış ve zeminin kesme direncinin tek parametre ile temsil edilmesi ilkesi getirilmiştir. Daha sonra Mohr

(1900) Coulomb'un yaklaşımından çok farklı bir formülasyon geliştirmiştir. Her iki teoremin göz önüne almadığı efektif gerilme ilkesi Terzaghi (1943) tarafından geliştirilince konu esasta üç araştırmacının çalışmalarının birleşimi olarak geoteknikde uygulama bulmuştur.

Geoteknik problemlerin çözümünde jeofizik çalışmaların büyük katkısı vardır. Örneğin; Schulze (1943) zemin emniyet gerilmesini belirlemede, doğal zemin koşullarını mutlak olarak ve hiçbir şekilde örselemeyen, sismik dalga hızları tekniği ile elde edilen

sonuçlar, esas itibarı ile “örselenmemiş” diye adlandırılan zemin numunelerine ait sondaj verilerini ve laboratuvar deneylerini kullanan geoteknik metodların sonuçlarından daha gerçekçi olduğunu belirtmektedir (Tezcan ve diğ., 2008). Coates (1970) boyuna dalga hızı ile zeminin serbest basınç mukavemetini belirlemiştir. Hardin ve Black (1968) ve Hardin ve Drnevich (1972) deneysel çalışmaları sonucunda kesme dalga hızı ile zemin boşluk oranı ve zemin kesme direnci arasında önemli bağıntılar geliştirmişlerdir. Ohkuba ve Terasaki (1976) su muhtevası, serbest basınç mukavemeti ve elastisite modülü arasında ilişkiler belirlemiştir. Geoteknik mühendisliğinde jeofizik yöntemlerin kullanımı birçok araştırmacı tarafından çalışılmıştır (örneğin: Imai ve Yoshimura, 1976; Tahtam, 1982; Willkens ve diğ., 1984; Phillips ve diğ., 1989; Keçeli, 1990; Uyanık, 1991; Jongmans, 1992; Sully ve Campanella, 1995; Pyrak-Nolte ve diğ., 1996; Uyanık, 1999; Türker, 2004; Tezcan ve diğ., 2006; Ulugergerli ve Uyanık, 2007; Uyanık ve Türker, 2007; Uyanık ve Ulugergerli, 2008 ve Tezcan ve diğ., 2008).

Kesme ve basınç direnci, araziden numune alınarak laboratuvarlarda yapılan deneyler sonucunda belirlenebilir. Ancak, araziden örselenmemiş numune almak oldukça zordur. Zeminden alınan örnek numune laboratuvara götürülürken örselenebilir, bu da deney sonunda zeminin gerçek mekanik özelliğini yansıtmaz (Türker, 1991). Ek olarak kesme ve basınç dirençlerini arazide belirleyecek teknikler de vardır. Hartge ve Bechmann (2004) zeminde meydana gelen sıkışma durumunu hesaplamak için basit bir yöntem olan konik sonda uçlu bir penetrometre kullanmayı önermiş ve penetrasyon verilerinden zeminde gerilme durumu ile ilgili olarak oluşan kuvvetleri belirlemek için uygun olduğu sonucuna varmışlardır. Bachmann ve diğ., (2006) Güney Şili’de volkanik bir bölgede yapmış oldukları çalışma ile, derinliğe bağlı olarak zeminde penetrasyon direnci ile kanatlı kesici verilerini kıyaslayarak bu iki metodun güvenilirliğini ispatlamışlardır. Whalley ve diğ., (2004) doymamış tarımsal zeminlerde, zeminin içine doğru gelişen bitki köklerinin oluşturduğu efektif gerilmeyi kullanarak zemin dayanımını penetrometre deneyi ile ölçmüşlerdir. Bu çalışmanın sonucu olarak sıkıştırılabilir zeminlerde, efektif gerilme ve gerilme dayanımı ile penetrometre basıncı arasında zemin tipinden bağımsız ortak bir ilişki olduğunu belirlemiştir. Cha ve Gye (2007) kesme dayanımı hesaplamalarında yerinde yapılan deneylerin oldukça etkili olduğunu göstermişlerdir. Yerinde ölçülen kesme dalgası hızı, laboratuvarında bulunan zemin kesme mukavemeti parametrelerinden çok daha etkin ve güvenilir olarak gerçek zemin özelliklerini temsil eder (Tezcan ve diğ., 2006). Bu durumda yerinde çalışmalardan biri olan sismik karşıt kuyu çalışmaları yüzeyden derine doğru boyuna ve enine dalga hız değişiminin daha doğru belirlenmesi amacı ile birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır (Örneğin; Gilbert ve diğ., 1972; Fitterman, 1994; Fratta ve diğ., 2002;

Wadhwa ve diğ., 2005; Wang ve Rao, 2006 ve Çekmen, 2009). Karşıt kuyu yöntemi ile sismik dalgalar belirli bir ortam içinde seyahat ettiği zaman, daha sağlıklı ve daha kesin hız hesapları yapmamızı sağlar (Wadhwa ve diğ., 2005).

Bu çalışmada, araştırma çukurları içerisinde yüzeyden derine doğru 12 adet 100 Hz’lik jeofonlar toprağa sabitlenmiştir. Jeofonların 3 m uzağından tam karşılarına gelecek şekilde derine doğru 12 adet sismik boyuna ve enine kaynaklar oluşturulmuştur. Jeofon-kaynak arası 3 m’lik yatay mesafede kanatlı kesici ve proctor penetrometre deneyleri uygulanmıştır. Bu yatay mesafeden örselenmiş numuneler alınarak laboratuvarında zemin sınıflaması yapılmıştır. Yerinde ve laboratuvarında yapılan deneylerden elde edilen parametreler ile sismik hızlar arasında ilişkiler belirlenmiştir.

## MATERYAL VE METOD

**Kanatlı Kesme (Veyn) Deneyi:** Bu deney, killi zeminlerin, drenajsız koşullarda, kesme direncini ölçmek için, laboratuvarında veya arazide yapılan bir deneydir. Cihaz (sonda) birbirine dik olarak birleştirilmiş 4 metal plakadan oluşur. Laboratuvar sondasının çap ve yüksekliği 1-2 cm, arazi sondasının çap ve yüksekliği ise 10-20 cm kadardır. Laboratuvar sondası için, örnek alıcı içinde örselenmemiş zemin veya düzlenmiş zemin yüzüne gerek vardır. Sonda zemine batırılır, sonra döndürme momenti uygulanır ve zemin, bir silindirin alt, üst ve yan yüzleri boyunca kesilir. Arazide deney yapmak için açılmış bir sondaj deliğine ihtiyaç vardır veya çakmalı tiplerde; sonda koruyucunun içinde zemine çakılır ve bir miktar sürülür sonra döndürme kuvveti uygulanır ve zemin kesilir. Kesme anında uygulanan döndürme momenti, bir ölçme düzeni ile ölçülür. Döndürme momentini ölçmek için genellikle, döndürmeye karşı doğrusal ve elastik davranan kalibre edilmiş yaylar kullanılır. Döndürme devam ettikçe yayın burulmasını ölçen skala değeri (SD) artar. Bu değerdeki artış kanatlı kesici zemini kesinceye ve kolayca dönmeye başlayıncaya kadar devam eder. Zemin kesilince yayın burkulması durur ve bunu ölçen SD okunur. Bu SD, farklı çaptaki kanatlı kesiciler için farklı şekilde hesaplanır. SD, küçük boy kanatlı kesici için 0.2, orta boy kanatlı kesici için 0.1, büyük boy kanatlı kesici için ise 0.05 ile çarpılarak, kesme mukavemeti ( $\tau$ ) ( $\text{kgf/cm}^2$ ) bulunur. Kil zeminde kesme mukavemeti ( $\tau$ ), kohezyona ( $c$ ) eşittir. Eşitlik 1’de, KKB: kanatlı kesici boyudur.

$$\tau = SD \text{ KKB} \quad (1)$$

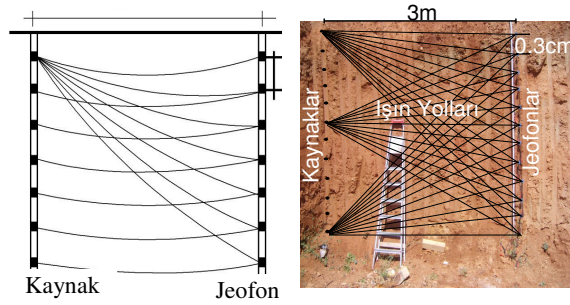
**Proctor Penetrometresi:** Proctor penetrometresi, zeminin yumuşaklığına ve sertliğine bağlı değişik çapta uçlara sahiptir. Yumuşak zeminlerde geniş çaplı uç, katı ve sert zeminlerde dar çaplı uç kullanılır. Deney yapılırken penetrometrenin ucu zemine yavaş yüklenerek 1 cm sokulur ve skala değeri (SD) okunur. Bundan yararlanarak tek eksenli basınç mukavemeti

( $q_u$ ) hesaplanır. Eşitlik 2’de, A penetrometre ucunun kesit alanıdır ( $\text{cm}^2$ ). Killi zeminler için kohezyon ( $c$ ) ve kesme mukavemeti ( $\tau$ ) eşitlik 3 kullanılarak bulunur.

$$q_u = 0.07 (SD) / A \quad (2)$$

$$c = \tau = q_u / 2 \quad (3)$$

**Sismik Karşıt-Kuyu:** Sismik karşıt-kuyu tekniği, bir veya daha fazla birbirine yakın kuyular içinde belirli derinliklerde kaydedilen boyuna (P) ve enine (S) ortalama dalga hızlarını kapsamaktadır. Kuyu içinde bilinen bir seviyede P ve S dalgalarının seyahat zamanları ölçülerek P ve S dalga hızları hesaplanır (Wadhwa, ve diğ., 2005). Bu yöntemi uygulamak için aralarında belirli bir uzaklık olan iki veya daha fazla sondaj kuyusu aynı derinliğe kadar açılır (Stokoe ve Woods, 1972). Bir kuyunun tabanına jeofon (alıcı), diğer kuyunun tabanına da bir darbe tiji yerleştirilir. Bu tijin alt ucunda manşon, üst ucunda da çekiçle vurmaya imkan veren bir plaka bulunur. Bu plaka üzerine vurularak elde edilen P ve S dalgaları cihaz tarafından kaydedilir. Darbeler tij üzerine vurularak elde edildiği için okunan zamanlar üzerinde ufak bir zaman düzeltmesi yapmak gereklidir. Bu ölçüm yapıldıktan sonra kuyular istenilen kota kadar derinleştirilerek ölçüler tekrarlanır (Büyükköse, 1983). Karşıt Kuyu sismik tekniğinde dalga yayılımı Şekil 1’de gösterilmiştir.



**Şekil 1:** Karşıt kuyu tekniğinde dalga yayılımı (Çekmen, 2009’dan düzenlenmiştir).

**Figure 1:** The wave propagated in cross-hole technique (modified after Çekmen, 2009).

Şekil 1’de araştırılan bölge, jeofon ile kaynak arasındaki alandır. Karşıt kuyu ile oluşturulan sismik dalgalar sağlıklı ve kesin ölçümler yapmamızı sağlar. Karşıt kuyu tekniğinin başka bir avantajı da; yüzeyde yapılan kırılma çalışmalarında görülmeyen, gizli kalan düşük hız tabakalarını net bir şekilde görebilme ve tanımlayabilmemizi sağlamasıdır. Bu yüzden; (a) zeminlere ve kayalara yapılan nükleer reaktörler ve barajlar gibi büyük yapıların daha güvenli değerlendirilmesi için, depremlerin meydana getirdiği gerilme dalga yayılımının dinamik analizinde, (b) temellerin dinamik analizinde, (c) zemin-yapı etkileşim problemlerinin dinamik analizinde, karşıt kuyu tekniği kullanılarak P ve S dalga hızları değerlendirilir. Ayrıca karşıt-kuyu tekniği zeminin derinliklerindeki kırıklı-çatlaklı zonları ve boşlukları belirlememize yardımcı olur (Wadhwa ve diğ., 2005).

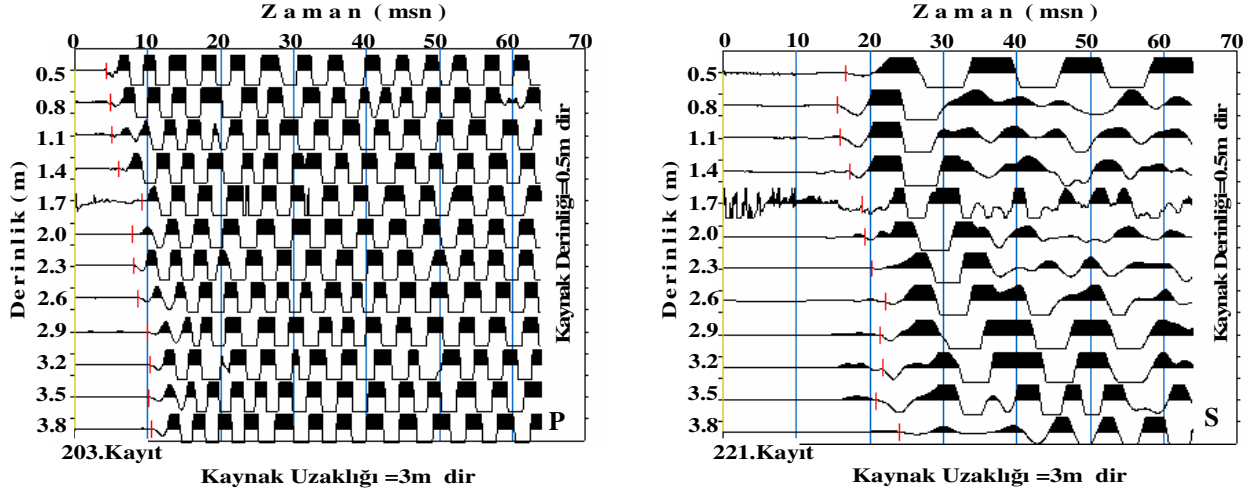
## ARAZİDE YAPILAN ÇALIŞMALAR VE SONUÇLARI

Bu çalışmada; Isparta, Yalvaç ve Ağlasun bölgelerinde, zeminin basınç ve kesme mukavemeti değerleri ile sismik hızlar arasındaki ilişkileri belirlemek amacıyla 11 ayrı araştırma çukuru açılmıştır. Önce, araştırma çukuru içerisinde karşıt kuyu çalışması için 12 adet 100 Hz’lik alıcılar derine doğru 0.3-0.4 m. aralığında dizilmiştir. Tam alıcıların karşısında yatay uzaklığı 3 m. olan 12 adet P ve S kaynakları oluşturulmuştur. Sonra, tüm alıcı-kaynak arası yatay mesafede en az 10 adet kanatlı kesici ve proctor penetrometre deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerin skala değerlerinin (SD) ortalaması alınarak kanatlı kesici ve proctor penetrometresinin SD değerleri belirlenmiştir. Karşıt kuyu, kanatlı kesici ve proctor penetrometre çalışmalarının yapıldığı bazı araştırma çukurları Şekil 2 ve karşıt kuyu tekniği ile elde edilen sismik sinyaller ve ilk varış zamanları işaretlenmiş olarak Şekil 3’te görülmektedir.



**Şekil 2:** Yalvaç (a), Isparta (b ve c) ve Ağlasun (d) bölgelerinde açılan araştırma çukurları (Çekmen, 2009’dan düzenlenmiştir).

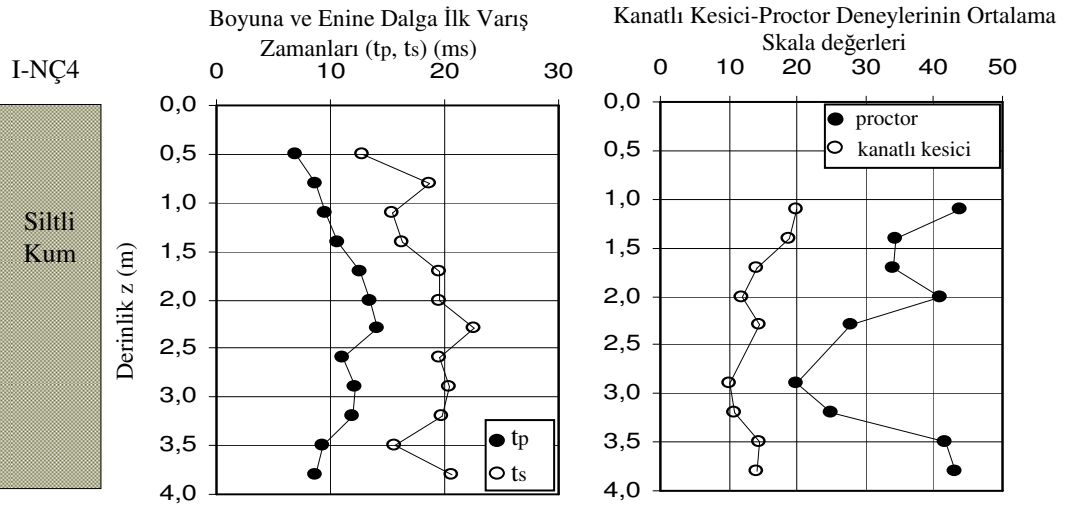
**Figure 2:** The open pits excavated in sites of Yalvaç (a), Isparta (b and c) and Ağlasun (d) (modified after Çekmen, 2009).



**Şekil 3:** NÇ-4’de ait karşıt-kuyu sismiği ile elde edilen sismik izler (P: boyuna dalga ve S: enine dalga sinyallerini gösterir) (Çekmen, 2009’dan düzenlenmiştir).

**Figure 3:** Seismic signals determined cross-hole technique performed in NÇ-4 (P: compressional wave, S: shear wave) (modified after Çekmen, 2009).

NÇ-4’de ait sismik P ve S dalga varış zamanlarının değerleri ile kanatlı kesici ve proctor penetrometre deneylerinin skala değerleri Şekil 4’te verilmiştir.

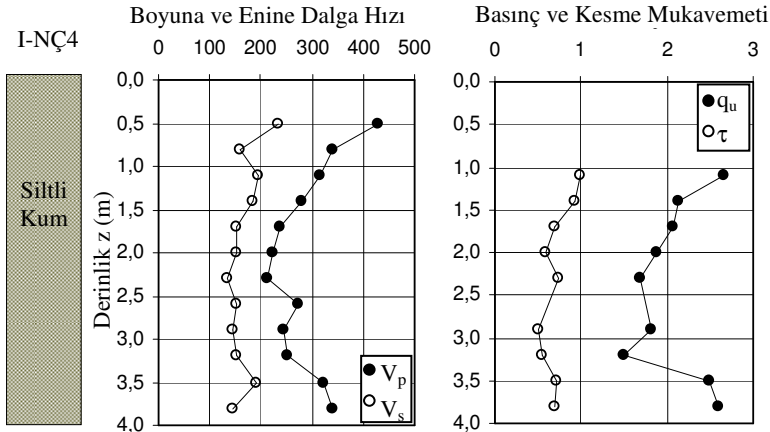


**Şekil 4:** Boyuna ve enine dalgaların ilk varış zaman değerlerinin ve kanatlı kesici-proctor deneylerinin ortalama skala değerlerinin derinlikle değişimleri (Çekmen, 2009’dan düzenlenmiştir).

**Figure 4:** The variations with depth of the first break values of compressional (P) - and shear (S) -waves, the average scale values of vane and proctor experiments (modified after Çekmen, 2009).

Araştırma çukurları içerisinde yapılan sismik çalışmalardan P- ve S-dalga hızları elde edilmiştir. Bu çalışmada her kaynağın karşısına düşen jeofonlar arası mesafe için bulunan P- ve S-dalga hızları ve Kaynak-

jeofon arası yatay uzaklıkta yapılan kanatlı kesici ve proctor penetrometre deneylerinden belirlenen kesme ve basınç direnç parametreleri kullanılmıştır (Şekil 5) (Tablo 1).



**Şekil 5:** Boyuna (P)- ve enine (S)-dalga hızları ile basınç ( $q_u$ ) ve kesme ( $\tau$ ) mukavemetlerinin derinliğe bağlı değişimi (Çekmen, 2009'dan düzenlenmiştir).

**Figure 5:** The variations with depth of the values of compressional (P) - and shear (S) -wave velocities, and compressive and shear strengths (modified after Çekmen, 2009).

**Tablo 1:** Araştırma çukurları içerisinde karşıt-kuyu, proctor penetrometresi ve kanatlı kesici deney sonuçları (Çekmen, 2009'dan düzenlenmiştir).

**Table 1:** The results of cross-hole, proctor penetration and vane experiments (modified after Çekmen, 2009).

Nokta No	ZT	Z m	$V_p$ m/s	$V_s$ m/s	PS	VS	$q_u$ kgf/cm <sup>2</sup>	$\tau$ kgf/cm <sup>2</sup>	Nokta No	ZT	Z m	$V_p$ m/s	$V_s$ m/s	PS	VS	$q_u$ kgf/cm <sup>2</sup>	$\tau$ kgf/cm <sup>2</sup>
I-NC1	SM	0.45	294	190	23.2	25.1	2.51	1.26	Y-NC1	ML	1.25	564	320	55	59.5	5.97	2.97
I-NC1	SM	0.8	312	214	20.3	20	2.2	1	Y-NC1	ML	1.5	590	335	60	65	6.51	3.25
I-NC1	SM	1.15	285	180	21.2	23	2.3	1.15	Y-NC1	SM	1.75	530	310	45	36.3	4.88	1.81
I-NC1	SM	1.5	275	182	19.7	21.2	2.14	1.06	Y-NC1	SM	2	520	300	47.5	44	5.16	2.2
I-NC1	SM	1.85	267	173	23.3	15.8	2.53	0.79	Y-NC1	SM	2.25	545	315	48	45	5.21	2.25
I-NC1	SM	2.2	280	186	25.4	20	2.76	1	Y-NC1	SM	2.5	537	310	47	42	5.1	2.1
I-NC1	SM	2.55	317	221	42.8	22.4	2.8	1.12	Y-NC1	SM	2.75	550	320	44.2	40	4.8	2
I-NC1	ML	2.9	340	207	22.5	24	3.04	1.2	Y-NC1	SM	3	555	326	48	43	5.21	2.15
I-NC1	ML	3.25	348	214	25.8	27	4.64	1.35	Y-NC1	GC	3.25	610	342	61	54	6.62	2.7
I-NC1	ML	3.6	335	222	28	30	3.26	1.5	Y-NC1	ML	3.5	550	321	50.3	53	5.46	2.65
I-NC1	ML	3.95	345	227	88.7	44.8	4.65	1.7	Y-NC1	SM	3.75	560	330	35	33	3.8	1.65
I-NC2	SM	1.4	312	211	26.2	26.8	2.84	1.34	Y-NC1	SM	4	545	318	33.2	30	3.6	1.5
I-NC2	SM	1.7	291	181	31.2	24.9	3.39	1.25	Y-NC2	SC	0.45	540	310	50	49	5.43	2.45
I-NC3	ML	0.8	298	180	24	18	2.6	0.9	Y-NC2	ML	0.7	575	330	62	67	6.73	3.35
I-NC3	ML	1	312	194	22.8	20	2.47	1	Y-NC2	SM	0.95	542	318	45.4	46	4.93	2.3
I-NC4	SM	1.1	316	195	44	20	2.66	1	Y-NC2	SM	1.2	520	300	35	36	3.8	1.8
I-NC4	SM	1.4	280	185	34.5	18.7	2.14	0.94	Y-NC2	ML	1.45	570	336	60	64	6.51	3.2
I-NC4	SM	1.7	237	153	34.2	14	2.06	0.7	Y-NC2	ML	1.7	610	350	66	70	7.16	3.5
I-NC4	SM	2	222	153	41	12	1.87	0.6	Y-NC2	SM	1.95	560	321	44.5	44	4.83	2.2
I-NC4	SM	2.3	211	133	28	14.5	1.69	0.73	Y-NC2	SM	2.2	550	322	35	34	3.8	1.7
I-NC4	SM	2.9	245	147	20	10	1.81	0.5	Y-NC2	SM	2.45	540	320	38.4	35	4.17	1.75
I-NC4	SM	3.2	251	151	25	11	1.51	0.55	Y-NC2	GC	2.7	620	356	60	64	6.51	3.2
I-NC4	SM	3.5	321	191	41.5	14.4	2.5	0.72	Y-NC2	GC	2.95	600	345	61	65.5	6.62	3.2
I-NC4	SM	3.8	341	145	43.1	14	2.6	0.7	Y-NC2	SM	3.2	525	305	40.5	43	4.4	2.15
I-NC5	SM	1	394	252	31.2	33.7	3.39	1.69	A-NC1	SM	0.1	350	155	32.5	30	3.53	1.5
I-NC5	SM	1.3	536	329	21	21.8	4.26	1.8	A-NC1	SM	0.3	355	150	30	31	3.26	1.55
I-NC5	SM	1.6	397	254	19.1	20	3.2	1.3	A-NC1	SM	0.5	352	153	31	33	3.36	1.65
I-NC5	SM	1.9	358	215	42.6	46.2	3.3	1.5	A-NC1	ML	0.7	392	188	48.2	39	5.23	1.95
I-NC6	SM	0.8	257	164	27	24.4	2.93	1.22	A-NC1	SM	0.9	345	170	36	37	3.91	1.85
I-NC6	SM	1.2	240	163	21.9	22	2.38	1.1	A-NC1	SM	1.1	290	160	31	32	3.36	1.6
I-NC6	SM	1.6	279	186	33.1	18.8	3.59	0.94	A-NC1	SM	1.3	365	190	47.3	36	5.13	1.8
I-NC6	SM	2	223	154	27.2	29.2	2.95	1.46	A-NC1	SM	1.5	356	163	33	35	3.58	1.75
I-NC6	SM	2.4	214	144	24	25.7	2.6	1.29	A-NC1	SM	1.7	310	153	28	29	3.04	1.45
I-NC7	ML	0.9	277	188	16.4	11.4	1.78	0.57	A-NC1	SM	1.9	314	151	25	25	2.71	1.25
I-NC7	ML	1.3	309	203	16.6	15	1.8	0.75	A-NC1	SM	2.1	384	176	30.5	27	3.31	1.35
I-NC7	ML	2.1	248	169	26.4	12.8	1.59	0.64	A-NC1	SM	2.3	318	150	25	23	2.71	1.15
I-NC7	ML	2.5	248	166	25.6	13.9	1.54	0.7									
I-NC7	ML	2.9	232	143	19.5	17.5	2.12	0.88									
I-NC7	SM	3.3	235	160	21.4	23.1	2.32	1.16									
I-NC7	ML	3.7	250	143	19.8	18.8	2.15	0.94									
I-NC7	ML	4.1	291	182	21.3	20.4	2.31	1.02									
I-NC7	ML	4.5	400	270	22.5	24.1	2.44	1.21									
I-NC8	SM	0.7	235	160	31	33	2.3	1.1									
I-NC8	SM	3.4	300	188	38.7	42	2.4	1.2									
I-NC8	SM	3.7	400	235	43.1	45	3.5	1.5									

ZT: Zemin Türü  
 $V_p$ : Boyuna Dalga Hızı  
 PS: Proctor Skala  
 $q_u$ : Düşey Basınç

Z: Derinlik  
 $V_s$ : Enine Dalga Hızı  
 VS: Vane Skala  
 $\tau$ : Kesme Mukavemeti

SM: Siltli Kum

ML: İnorganik silt ve çok ince kumlar

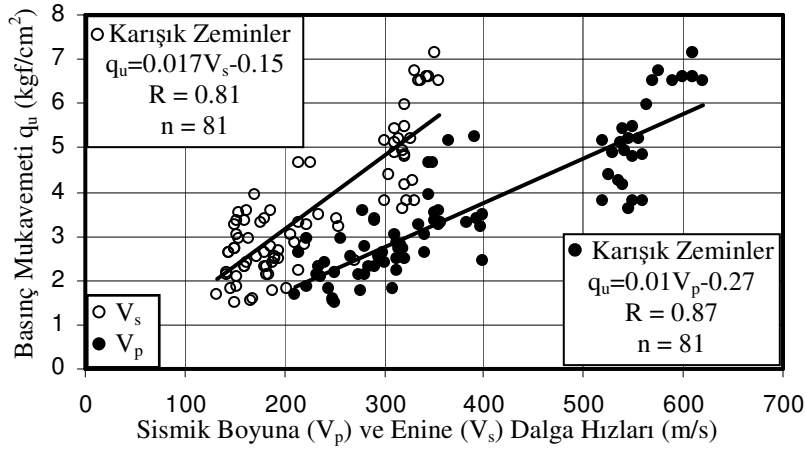
GC: Killi Çakıl

SC: Killi Kum

### SİSMİK HIZLAR İLE BASINÇ VE KESME MUKAVEMETLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLENDİRMELER

Sismik hızlar ile basınç ve kesme mukavemeti arasındaki ilişkiler Şekil 6 ve 9'da gösterilir. Şekil 6'da, karışık zeminlerin (killi, kumlu zemin), en fazla 4m derinliğe kadar elde edilen kuyu içi sismik hızları ile aynı derinliklerde uygulanan Proctor penetrometre deneyinden bulunan basınç mukavemeti arasında

ilişkiler görülmektedir. İlişkiler irdelendiğinde doğrusallık vardır. Bu doğrusal ilişkiler, boyuna dalga hızı ( $V_p$ ) 200-650 m/s, enine dalga hızı ( $V_s$ ) 120-380 m/s ve düşey basınç 1-7.5  $\text{kgf/cm}^2$  arasındaki veriler için doğrudur. Doğrusal ilişkilerin matematiksel ifadeleri şekil 6 içinde verilmiştir. Şekil 6'da boyuna ve enine dalga hızları arttıkça basınç mukavemeti de artmaktadır. Sismik hızların ve basınç mukavemetinin artması zeminin sağlamlaşması olarak yorumlanır.

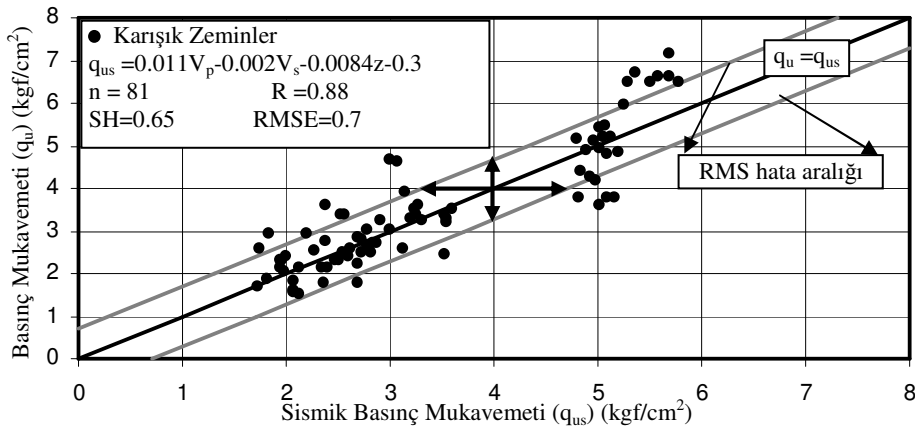


**Şekil 6:** Karışık (killi, kumlu) zeminlerin sismik boyuna ve enine dalga hızları ile basınç mukavemeti arasındaki ilişkiler.

**Figure 6:** Relationships between seismic compressional and shear wave velocities, and compressive strength of mixed (clayey, sandy) soils.

Sismik hızlar, derinlik ve basınç mukavemet parametreleri arasında matematiksel bir ilişki belirleyebilmek için doğrusal olmayan ilişki çözümlenmesi paket programı kullanılmıştır. Sismik hızlara ve derinliğe bağlı basınç mukavemeti Şekil 7 içinde verilen matematiksel ifade ile belirlenebilir. Bu matematiksel ifadeden hesaplanan sismik basınç

mukavemeti ( $q_{us}$ ) ile ölçülen basınç mukavemeti ( $q_u$ ) arasındaki ilişki Şekil 7'de sunulmuştur. Bu ilişkinin standart hatası (SH) 0.65, karesel ortalama değer (RMS) hatası 0.7 ve ilişki katsayısı %88 olarak belirlenmiştir. Verilerin %71 RMS hata aralığı içerisinde iken %29 bu aralığın dışındadır.

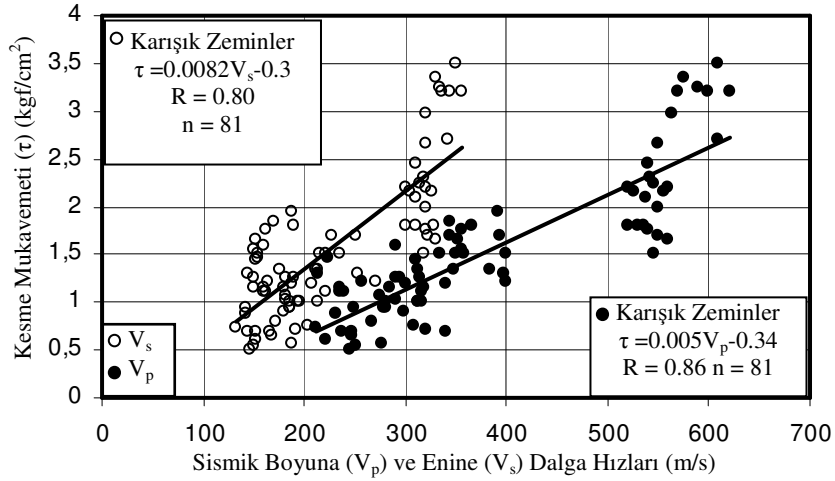


**Şekil 7:** Karışık zeminlerin sismik boyuna ve enine dalga hızlarından hesaplanan sismik basınç mukavemeti ile ölçülen basınç mukavemeti arasındaki ilişki.

**Figure 7:** Relationship between seismic compressive strength ( $q_{us}$ ) calculated from seismic compressional and shear wave velocities, and compressive strength ( $q_u$ ) measured of mixed (clayey, sandy) soils.

Şekil 8'de karışık zeminlerin kuyu içi sismik hızları ile kesme mukavemeti değerleri arasında ilişkiler görülmektedir. Şekil 8 irdelendiğinde doğrusallık vardır. Bu doğrusal ilişkiler, boyuna dalga hızı ( $V_p$ ) 200-650

m/s, enine dalga hızı ( $V_s$ ) 120-360 m/s ve kesme mukavemeti 0.5-3.5 kgf/cm<sup>2</sup> aralığındaki veriler için doğrudur.

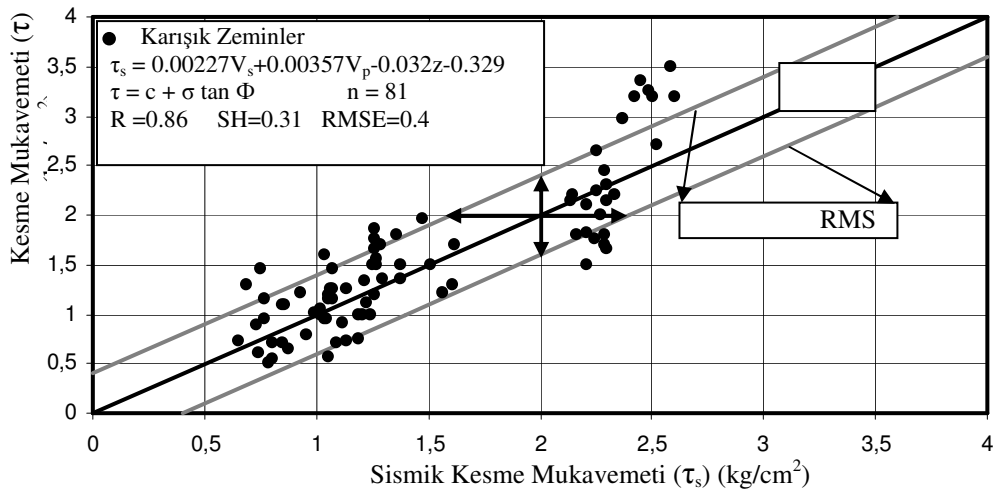


**Şekil 8:** Karışık (kumlu, killi) zeminlerin sismik boyuna ve enine dalga hızları ile kesme mukavemeti arasındaki ilişkiler

**Figure 8:** Relationships between seismic compressional and shear wave velocities, and shear strength of mixed (clayey, sandy) soils.

Kesme mukavemeti, sismik hızlara ve derinliğe bağlı matematiksel ifade ve bu matematiksel ifadeden hesaplanan sismik kesme mukavemeti ( $\tau_s$ ) ile ölçülen kesme mukavemeti ( $\tau$ ) arasındaki ilişki Şekil 9'da verilmiştir. Bu ilişkinin standart hatası (SH) 0.31, RMS hatası 0.4 ve ilişki katsayısı %86 olarak belirlenmiştir. Verilerin %75 RMS hata aralığı içerisinde iken %25 bu aralığın dışındadır.

Karışık zeminlerdeki deneysel ilişki ve uyum düzeyi birlikte düşünüldüğünde basınç ve kesme mukavemetlerinin sismik hızlardan belirlenmesi mümkün olduğu görülmektedir. Ancak; bilinmelidir ki, deneysel ilişkiler verilen sınırlar aralığında kullanılmalıdır. Bu deneysel ilişkilerin katsayıları yeni eklenecek veriler ile değişebilir.



**Şekil 9:** Karışık (killi, kumlu) zeminlerin sismik boyuna ve enine dalga hızlarından hesaplanan sismik kesme mukavemeti ile ölçülen kesme mukavemeti arasındaki ilişki.

**Figure 9:** Relationship between seismic shear strength calculated from seismic compressional and shear wave velocities, and shear strength measured of mixed (clayey, sandy) soils.

## SONUÇLAR

Basınç ve kesme mukavemetleri ile sismik boyuna ve enine dalga hızları arasında doğrusal ilişkiler bulunmuştur. Bu doğrusal ilişkiler, boyuna dalga hızı 200-650 m/s, enine dalga hızı 120-380 m/s, basınç mukavemeti 1-7.5 kgf/cm<sup>2</sup> ve kesme mukavemeti 0.5-3.5 kgf/cm<sup>2</sup> arasındaki veriler için doğrudur. Ayrıca, basınç ve kesme mukavemetleri ile sismik hızlar ve derinlik arasında, çok parametrelili doğrusal olmayan deneysel ilişkiler de kurulmuştur.

Bu çalışma, yerinde deneyler sonucunda belirlenen basınç ve kesme mukavemetleri ile sismik hızlar ve derinlik arasında kurulan çok parametrelili ilişkilerin matematiksel ifadelerinin kullanılması önerilmektedir. Ancak; bu öneri, derinliği en fazla 4 m'ye kadar elde edilen boyuna ve enine dalga hızları sırasıyla 200-650 m/s 100-400 m/s aralığındaki veriler için kullanılmalıdır.

Yüzeye yakın derinlikler için basınç ve kesme mukavemetlerinin sismik hızlar ile belirlenmesi, zemin mekaniği problemlerinin çözümünde hem zaman hem de ekonomik fayda sağlayacaktır.

Bu çalışma geoteknikte, yeni yapılacak bilimsel çalışmalara bir veri deposu oluşturmaktadır ve yerinde Proctor penetrometre, kanatlı kesici ve sismik karşıt kuyu çalışmalarından elde edilen parametreler arasındaki ilişkilendirmeler ile yapılan ilk çalışmadır.

## SUMMARY

In this study, vane, proctor penetration and cross-hole experiments were performed in the 11 observation-holes to determine the relationships between seismic velocities, compressive and shear strength values of soils in Yalvaç, Ağlasun and Isparta sites. In cross-hole experiments, 12 geophones with the 100 Hz frequency were located with the spacing intervals of 0.3-0.4 m through depth. Shot points of compressional (P) and shear (S) waves sources were at the across of the receivers with the 3 m distances. At least 10 vane and proctor penetrometer experiments were performed between each source-receiver spaces. Scale values of vane and proctor penetrometer were utilized to calculate average scale values of these experiments. Some observation-holes in which cross-hole, vane and proctor penetrometer experiments were applied were indicated in figure 2. Seismic signals obtained from cross-hole study and first break times picked on these signals were also indicated in figure 3. The typical values of seismic P- and S-wave arrival times obtained from NÇ-4 observation-hole were presented in figure 4. P- and S-wave velocities were calculated from seismic cross-hole studies performed in observation-holes. In this study, P- and S-wave velocities calculated for distance source-receiver spacing were used (Figure 5 and Table 1). Shear and compressive strength parameters found from vane and proctor penetrometer experiments which were

performed in horizontal distance source-receiver spacing were calculated from equations 1 and 2 (Figure 5 and Table 1).

Figure 6 shows the relationships between seismic velocities and compressive strength, and figure 8 shows the relationship between seismic velocities and shear strength for clay and sand dominant soils. These relationships are linear in the case that P- and S-wave velocities and also of compressive and shear strengths increase. The increases in the values of seismic velocities, compressive and shear strengths denote the consolidation of the soil.

Figure 7 presents the relationship between seismic velocities, depth and compressive strength parameters and shows statistical results and multi-parameter equations. However, figure 9 presents relationships between seismic velocities, depth and shear strength parameters and shows statistical results and multi-parameter equations. In the figure 7, 71% of data are in the range root mean square (RMS) error, but 29% of data are at the out of this range. In the figure 9, 75% of data are at the range of RMS error, but 25% of data are at the out of this range.

This study proposes the estimation of compressive and shear strengths of the clay and sand dominant soils by using seismic velocities. The results showed that proposed experimental relationship equations are very successful in estimating in-situ compressive and shear strengths. For shallow depths, the determination of the compressive and shear strengths from seismic velocities will cause the time saving and economic advantages in solving the soil mechanics problems.

## TEŞEKKÜR

Yazarlar, makale hakkındaki değerli eleştirilerinden dolayı editör ve hakemlere teşekkür ederler. Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri 1625-YL-08 no'lu proje ile desteklenen yüksek lisans çalışmasından oluşturulmuştur.

## DEĞİNİLEN KAYNAKLAR

- Bachmann, J., Contreras, K., Hartge, K.H., and MacDonald, R., 2006,** Comparison of soil strength data obtained in-situ with penetrometer and with vane shear test, Soil and Tillage Research, 87, 112-118.
- Büyükköse, N., 1983,** Sondaj kuyularında uygulanan sismik direk dalga yöntemleri, EİEİ, Ankara.
- Cha, M., and Gye, C., 2007,** Shear strength estimation of sandy soils using shear wave velocity, Geotechnical Testing Journal, 30 (6), 484-495.



- Coates, D.F., 1970**, Rock Mechanics Principles: Mines Branch Monographs, No. 874.
- Coulomb, C.A., 1776**, Essai sur une application de regles des mazimis and minimis Farchitecture, Mem.Acad.Ro pres divers Savants, 7 s. 38 Paris.
- Çekmen, V., 2009**, Kayma direnç parametrelerinin sismik hızlar ile belirlenmesi, S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, s. 101. Isparta.
- Fitterman, D.V., 1994**, Fundamentals of seismic tomography. SEG, Geophysical Monograph Series Number:6 ISBN 0-931830-56-7, USA.
- Fratta, D., and Santamarina, J.C., 2002**, Shear wave propagation in jointed rock-state of stress, Géotechnique. 52 (7), 495-505.
- Gilbert, P., 1972**, Iterative methods for the three-dimensional reconstruction of an object from projections, J.Keor.Birl., 36, 105-117
- Hardin, B.O., and Black, W.L., 1968**, Vibration modulus of normally consolidated clays, Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, 94 (SM2), 353-369.
- Hardin, B.O., and Drnevich, V.P., 1972**, Shear modulus and damping in soils, Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division ASCE, 98 (SM7), 667-692.
- Hartge, K.H., and Bachmann, J., 2004**, In situ evaluation of the soil consolidation state by using penetration resistance data, J. Plant Nutr. Soil Sci. 167, 304-308.
- Imai, T., and Yoshimura, M., 1976**, The relation of mechanical properties of soils to P- and S-Wave velocities for soil ground in Japan, Urana Research Institute, OYO Corporation.
- Jongmans, D., 1992**, The application of seismic methods for dynamic characterization of soils. Bulletin of International Association of Engineering Geology, 46, 63-69.
- Keçeli, A.D., 1990**, Zemin emniyet gerilmesinin sismik metodlar ile tayini, Jeofizik Dergisi, 4, 83-92 Ankara.
- Mohr, O., 1900**, Die Elastizitategrenze and Bruch eines materials.
- Ohkuba, T., and Terasaki, A., 1976**, Physical property and seismic wave velocity of rocks, OYO Corporation, Japan.
- Phillips, D.E., Han, D.H., and Zoback, M.D., 1989**, Empirical relationships among seismic velocity, effective pressure, porosity, and clay content in sandstone, Geophysics, 54 (1) 82-89.
- Pyrak-Nolte, L.J., Roy, S., and Mullenbach, B.I., 1996**, Interface waves propagated along a fracture. Journal of Applied Geophysics, 35: 79-87.
- Schulze, W.E. 1943**. "Grundbau", Deutche Forschungsgesellschaft für Bodenmechanik, 7<sup>th</sup> ed., B.G. Taubner Publishers, Leipzig, Germany. Also available: ,Technical University of İstanbul, Issue 48, No DK624-15, Uçler Printing House, İstanbul, Türkiye.
- Stokoe, K.H., and Woods, R.D., 1972**, In-situ shear wave velocity by cross-hole method. Soil Mechanics and Foundation Division, 98, May.
- Sully, J.P., and Campanella, R.G., 1995**, Evaluation of in-situ anisotropy from cross-hole and down-hole shear wave velocity measurements, Geotechnique, 45 (2), 267-282.
- Tahtam, R.H., 1982**, Vp/Vs and lithology, Geophysics, 47, 336-344.
- Terzaghi, K., 1943**, Theoretical Soil Mechanics, Wiley New York.
- Tezcan, S.S., Özdemir, Z., and Keçeli, A., 2006**, Allowable bearing capacity of shallow foundations based on shear wave velocity, Journal of Geotechnical and Geological Engineering, Netherlands, 24, 203-218.
- Tezcan, S.S., Keçeli, A. ve Özdemir, Z., 2008**, Zemin ve kayalarda emniyet gerilmesinin sismik yöntem ile belirlenmesi, Şantiye Dergisi Sayı:244 s. 122-125.
- Türker, E., 1991**, Kayaçların kohezyon ve içsel sürtünme açılarının sismik hızlar yardımı ile saptanması, AÜ. Isparta Müh. Fak. Dergisi Jeoloji Müh. Seksiyonu 11 Sayı 6, Isparta.
- Türker, E., 2004**, Computation of ground bearing capacity from shear wave velocity, In: Bergman, D. and Inan, E. (Ed.), Proceedings, Tenth International Symposium on Continuous Models and Discrete Systems 10: Kluwer, Netherlands, 173-180.
- Ulugergerli E.U., and Uyanık, O., 2007**, Statistical correlations between seismic wave velocities and SPT blow counts and the relative density of soils, Journal of Testing and Evaluation, 35 (2), 187-191.
- Uyanık, O., 1991**, Kaya mekaniği ve jeofizik laboratuvar parametrelerinin ilişkilendirme açısından önemi. (Lisans Tezi), D.E.U. Müh. Mim. Fak. Jeofizik Müh. Böl. Bornova-İzmir.
- Uyanık, O., 1999**, Kayaçlarda sismik hızlar ve kayma direncinin incelenmesi, 52. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiriler Kitabı, 10-12 Mayıs, Ankara.
- Uyanık, O. ve Türker, A.E., 2007**, Fethiye-Eşen II HES şalt ve santral sahasındaki potansiyel heyelanının yerteknik özellikleri ve yorumu, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11,1, s: 84-90, Isparta.
- Uyanık, O., and Ulugergerli, E.U., 2008**, Quality control of compacted grounds using seismic velocities, Near Surface Geophysics, 6 (5), 299-306.
- Wadhwa, R.S., Ghosh, N., Chaudhari, M.S., Rao, C.H.S., and Mukhopadhyay, R., 2005**, Pre- and post-excavation cross-hole seismic and geotomographic studies for a nuclear power project, Journal India Geophysics Union, 9 (2), 137-146.

- Wang, Y.H., and Rao Y., 2006**, Cross-hole seismic waveform tomography-1.Strategy for real data application, *Geophysical Journal International*, 166, 1224-1236.
- Whalley, W.R., Leeds-Harrison, P.B., Clark, L.J., and Gowing, D.J.G., 2004**, Use of effective stress to predict the penetrometer resistance of unsaturated agricultural soils, *Soil and Tillage Research*, 84 (2005), 18-27.
- Willkens, R., Simmons G., and Caruso, L., 1984**, The ratio  $V_p/V_s$  as a discriminant of composition for siliceous limestones. *Geophysics*, 49 (11), 1850-1860.