

## SİSMİK ÖLÇÜM PARAMETRELERİ İLE DENEYSEL ZEMİN PARAMETRELERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN ANALİZİ, ÖRNEK UYGULAMA

Tuncay KAP<sup>1</sup>, Ercan ÖZGAN<sup>2</sup>, M.Metin UZUNOĞLU<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Düzce Üniversitesi, Düzce Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Düzce, Türkiye

<sup>2</sup> Düzce Üniversitesi, Sanat, Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Düzce, Türkiye

<sup>3</sup> Düzce Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Bölümü, Düzce, Türkiye

tuncaykap@duzce.edu.tr

**Özet-**Düzce ilinde nüfusun büyük kısmının yaşadığı Düzce ovası ve yakın çevresinde deprem riski yüksek olup Düzce 1. derece deprem bölgesinde yer almaktadır. Düzce ovasının 1. Derece deprem bölgesinde yer almasının yanında alüvyonlu yapısı, yer altı su düzeyleri, zemin özellikleri vb. zemin parametreleri depremde yapıların hasar görmesi ya da yıkılmasına neden olabilmektedir. Bu noktada, Yapı-zemin ilişkisi açısından zeminin mühendislik özelliklerinin bilinmesi ve bu özelliklere göre yapıların projelendirilmesi zorunlu olmaktadır. Bu durum yapıların depreme dayanıklı olarak tasarlanabilmesinin de en önemli parametrelerinden birisidir. Depreme dayanıklı yapı tasarımı açısından zeminin mühendislik özelliklerinden zeminin periyodu ve taşıma gücü önemli parametreler olarak ifade edilebilir. Zemin periyodu ve yapı periyotlarının mümkün olduğunca birbirinden uzak tutulması gerektiği acı tecrübelerle de görülmüştür. Zeminin mühendislik özellikleri, arazi ve laboratuvar deneyleri ile belirlenebileceği gibi daha az maliyetli ve daha kısa sürede yapılabilen sismik analizlerle de belirlenebilmektedir. Bu çalışmada, Düzce ovasında inşa edilmiş bazı yapıların yer aldığı yapı parsellerinin deneysel mühendislik özellikleri ve bu parsellerin sismik ölçüm sonuçları 42 sondaj kuyusunun verilerine bağlı olarak incelenmiştir. Yapılan çalışmada, yapı parsellerinde açılan 42 sondaj kuyusundan elde edilen zeminin mühendislik özellikleri ile sismik ölçüm sonucunda elde edilen zeminin periyodu, taşıma gücü vb. parametreler istatistiksel olarak incelenmiştir. Sismik ölçüm sonucunda elde edilen zeminin mühendislik özellikleri ile sondaj kuyularından elde edilen numunelerin mühendislik özellikleri arasındaki ilişkiler ve bu ilişkilerin önem düzeyleri belirlenmiştir. Sismik ölçüm sonuçlarına göre, incelenen parsellerdeki zeminlerin taşıma gücü ve diğer parametreler en düşükten en yükseğe doğru sıralanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Zemin Mekaniği, Sismik Ölçüm, Zemin Deneyleri,

## **1. GİRİŞ (INTRODUCTION)**

Düzce ili  $40^{\circ} 37'$  ile  $41^{\circ} 07'$  kuzey enlemleri ve  $30^{\circ} 49'$  ile  $31^{\circ} 50'$  doğu boylamları arasında yer alan,  $2593\text{km}^2$  genişliğinde bir batı Karadeniz bölgesidir. Morfolojik açıdan bölgenin güney ve kuzeyindeki yükseltiler arasında göllerinde içinde bulunduğu basenler boyunca yaklaşık Doğu-Batı uzanımlı topografik olarak düşük eğime (0-10) sahip alanlar afet bölgesinin %20'sini oluşturmaktadır. Düzce, bulunduğu konum itibarı ile 1. derece deprem bölgesinde yer almaktadır (MTA Genel Müdürlüğü ve Ankara Üniversitesi (AU), 1999, 17 Ağustos 1999 Depremi Sonrası Düzce (Bolu) İlçesi Alternatif Yerleşim Alanlarının Jeolojik İncelenmesi, TÜBİTAK Yer Deniz Atmosfer Bilimleri ve Çevre Araştırma Grubu Raporu, 59s.). Bu nedenle yapılaşma açısından zemin etüt raporları son derece önemlidir. Düzce ilinde yapılaşma açısından yapılan zemin etütlerinde arazi ve laboratuvar çalışmaları ile birlikte sismik analizlerde yapılarak zemin etüt raporları hazırlanmaktadır. Bilindiği gibi arazi ve laboratuvarda yapılan zemin etüt deneyleri oldukça zaman alıcı, külfetli ve maliyetli olabilmekte iken sismik analizler daha kısa sürede ve daha az emek, maliyet gerektirmektedir. Zaman alan ve ekonomik açıdan oldukça masraflı olabilen laboratuvar ve arazi çalışmalarının yanında sismik metotlarda kullanılarak zemin etüdü yapılmaktadır. Bu çalışmada arazi ve laboratuvar deney sonuçları elde edilen zemin özellikleri ile sismik metotlarla belirlenen zemin özelliklerinden zeminin taşıma gücü arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Böylece sismik ölçüm sonuçları ile arazi ve laboratuvar deneyleri ile belirlenen zemin özellikleri arasındaki ilişkiler belirlenerek sadece sismik sonuçlarla arazi ve laboratuvar sonuçları tahmin edilmeye çalışılmıştır [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10].

## **2. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)**

Düzce ili  $2593\text{ km}^2$  genişliğinde bir batı Karadeniz bölgesidir. İklim olarak Karadeniz İklimi hâkimdir. Türkiye'nin en zengin bitki örtüsüne sahip yörelerinden olan bölgenin hem kuzey hem de güney mevkisi sık ormanlarla kaplıdır. Düzce civarındaki en yaşlı birim Düzce ovasının güney batısında Efteni Gölü ile Çapayakbey köyü arasında yüzeylenen Prekambriyen yaşlı metagranotoyitlerdir (PEy). Düzce Fayı, bu birimler ile Kuvaterner çökelleri arasındaki sınırı oluşturur (MTA Genel Müdürlüğü ve Ankara Üniversitesi (AU), 1999, 17 Ağustos 1999 Depremi Sonrası Düzce (Bolu) İlçesi Alternatif Yerleşim Alanlarının Jeolojik İncelenmesi, TÜBİTAK Yer Deniz Atmosfer Bilimleri ve Çevre Araştırma Grubu Raporu, 59s.). İnceleme alanının jeolojik ve jeoteknik özellikleri toplam 42 adet sondaj kuyusunda yapılan çalışmalarla belirlenmiştir. Sondaj çalışmaları sırasında alınan örneklerin tipik zemin özellikleri gösterenler üzerinde laboratuvar ortamında TS ve/veya diğer uluslar arası standartlara (ASTM ve ISRM ) uygun olarak incelenmiş ve zeminin fiziksel, mekanik ve mühendislik parametreleri belirlenmiştir. Arazi deneyleri olarak Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) yapılmış, zeminlerin likit limit, plastik limit, plastisite indisleri, su muhtevaları, yatak katsayıları, efektif tane çapları, oturma değerleri, maksimum ve minimum taşıma gücü değerleri

belirlenerek tablo haline getirilmiştir. Bu çalışmalarla birlikte inceleme alanında jeofizik çalışmalar kapsamında Sismik Kırılma Uygulaması da yapılarak zeminin mühendislik özellikleri sismik etütle de belirlenmiştir. Sismik analiz sonuçlarından sadece zeminin taşıma gücü değeri dikkate alınmış olup bu sismik ölçüm sonucu ile diğer arazi deneyleri sonucu elde edilen parametreler arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

### 3. ANALİZ SONUÇLARI (ANALYSIS RESULTS)

İncelenen Düzce ovasının zemin özellikleri arazi ve laboratuvar çalışmaları ile sismik ölçüm sonuçları tablo haline getirilmiş ve zemin etüt verilerinin tanımlayıcı istatistik değerleri belirlenmiş ve tanımlayıcı istatistikler arazi laboratuvar sonuçları (Tablo 1) ve sismik analiz sonuçları olarak aşağıda gösterilmiştir (Tablo 2).

**Tablo 1.** İncelenen zeminlerin arazi deneyleri için tanımlayıcı istatistikleri

Parametreler	N	Aralık	Min.	Max.	Toplam	Ortalama		Std. Sapma	Varyans
						Statistic	Std. Hata		
LL	68	34,30	23,70	58,00	2969,70	43,6721	1,02674	8,46674	71,686
PL	68	13,90	13,10	27,00	1454,60	21,3912	,37949	3,12939	9,793
PI	68	34,90	3,10	38,00	1512,00	22,2353	,88531	7,30041	53,296
Su muhtevası	97	34,35	2,27	36,62	1745,23	17,9921	,80126	7,89147	62,275
Yatak katsayısı	84	3603,71	583,00	4186,71	103921,54	1237,16	84,34	773,00	597537,56
SPTNort	212	993	7	1000	10950	51,65	5,052	73,562	5411,385
D10	114	23,90	,10	24,00	922,97	8,0962	,74219	7,92445	62,797
Permeabilite	115	5,76	,00	5,76	145,69	1,2668	,15906	1,70571	2,909
Oturma	53	2,35	,46	2,81	92,34	1,7423	,09484	,69046	,477
Taşıma gücü	66	9,63	,80	6,46	193,26	2,9282	,22449	1,82373	3,326

**Tablo 2.** Zeminlerin sismik analiz sonuçları için tanımlayıcı istatistikler

	Ölçülen parametreler	N	Aralık	Minimum	Maksimum	Ortalama		Std. Sapma	Varyans
						Statistic	Std. Error		
SİSMİK ANALİZ SONUÇLARI	Birim hacim ağırlık	11	,57	1,32	1,89	1,5755	,07733	,25649	,066
	Kayma modülü	13	790,00	360,00	1150,00	680,6154	73,67623	265,64341	70566,423
	Elastisite modülü	13	1909,00	989,00	2898,00	1759,3077	182,09382	656,54860	431056,064
	Poisson oranı	13	,22	,17	,39	,2915	,01702	,06135	,004
	Bulk modülü	13	1615,00	689,00	2304,00	1514,2308	139,95375	504,61044	254631,692
	Hâkim titreşim periyodu	13	,42	,33	,75	,5596	,02523	,09098	,008
	Yatak katsayısı	11	701,00	583,00	1284,00	789,6364	79,86105	264,86913	70155,655
	Zemin Tasıma gücü	13	1,41	1,89	3,30	2,7058	,10666	,38457	,148
	DENEY	Arazi deneyi zemin tasıma gücü		5,66	,80	6,46	2,7859	,19441	1,57939

Sismik analiz ve deneysel sonuçların tanımlayıcı istatistikleri yukarıda verilmiştir. Bunlardan;

- Birim hacim ağırlık;  
Belli hacimdeki zemin tanelerinin ağırlığının aynı hacimdeki +4°C' deki arı suyun ağırlığına oranı, o zeminin tane özgül ağırlığı olarak tanımlanmaktadır.
- Kayma Modülü;  
Zeminin yatay kuvvetlere karşı direncini, dayanıklılığını gösterir. Kayma modülünün; <600 kg/cm<sup>2</sup> olması gevşek; 600 kg/cm<sup>2</sup> - 3000 kg/cm<sup>2</sup> arası orta sağlam (bozmuş), 3000 kg/cm<sup>2</sup> - 10000 kg/cm<sup>2</sup> arası sağlam ve >10000 kg/cm<sup>2</sup> çok sağlam olduğunu gösterir.  
İnceleme alanında hesaplanan kayma modülünün minimum 360 ve maksimum 1150 kg/cm<sup>2</sup> olması zeminlerin gevşek ve orta sağlam arasında değiştiğini göstermektedir.
- Elastisite (Young) Modülü; zeminin dayanıklılığını, sertliğini bir başka deyişle katılığını gösterir. Elastisite modülünün; <1700 kg/cm<sup>2</sup> olması gevşek; 2000 kg/cm<sup>2</sup>-10000 kg/cm<sup>2</sup> arası orta sağlam (bozmuş), 10000 kg/cm<sup>2</sup> -30000 kg/cm<sup>2</sup> arası sağlam ve 30000 kg/cm<sup>2</sup> çok sağlam olduğunu gösterir.  
İnceleme alanında hesaplanan elastisite modülünün minimum 989 ve maksimum 2898 kg/cm<sup>2</sup> olması zeminin gevşek ve orta sağlam yapı arasında değiştiğini göstermektedir.
- Poisson Oranı;  
Zeminin gözenekliliğini ve bu gözeneklerin su ile dolu olup olmadığını, kırıklığını gösterir. Poisson oranının 0-0,25 arası olması gözeneksiz; 0,25-0,35 arası orta

derecede gözenekli olduğunu göstermektedir.

İnceleme alanında hesaplanan poisson oranının minimum 0,17 ve maksimum 0,39 olması zeminin gözeneksiz ve orta derecede gözenekli denebilecek bir yapıda olduğunu gösterir.

- Bulk Modülü;  
Sıkışmazlık modülü olarak da bilinir ve ortamın sıkışmazlığını gösterir. Porozitesi fazla olan gevşek kayalar için değeri; 50 kg/cm<sup>2</sup> iken sert kayalarda değeri; 2000 kg/cm<sup>2</sup>' yi geçer.  
İnceleme alanında, birinci tabaka minimum 689 ve maksimum 2304 kg/cm<sup>2</sup> olduğu belirlenmiştir.
- Zeminin hâkim titreşim periyodu;  
Zeminin doğal olarak titreştiği periyottur. Zemin hakim titreşim periyodu minimum 0,33 ve maksimum 0,75 olarak hesaplanmış olup statik proje aşamasında, yapı projelendirilirken rezonans olayının olmaması için yapı hakim periyodu, zemin hakim periyodundan uzaklaştırılması önerilir.
- Yatak katsayısı;  
Yatak katsayısı (K<sub>s</sub>) zemini elastik ortam kabul ederek bu ortamı temsil eden yayların esnekliğini ifade eder. Zemin üzerinde bir noktadaki basınç (q<sub>a</sub>) ile oturma (ΔH) arasındaki oran olarak tanımlanmaktadır. (K<sub>s</sub>=q<sub>a</sub>/ΔH;Uzuner,1995).  
İncelenen zeminlerde yatak katsayısı minimum 583 ve maksimum 1284 t/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir.
- Zemin taşıma gücü; Zeminin 1 cm<sup>2</sup> sinin taşıyabileceği nihai taşıma gücünü gösterir. Sertlik arttıkça taşıma gücü değeri de artar.  
İnceleme alanında sismik ölçümler sonucu belirlenen zemin taşıma gücünün minimum 1,89 ve maksimum 3,30 kg/cm<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir.

Elde edilen arazi verileri ile sismik ölçüm sonucu belirlenen zeminin taşıma gücü arasındaki ilişkilerin incelenebilmesi amacı ile korelasyon analizi yapılmış ve tüm parametreler arasındaki ilişkilerin anlamlılık düzeyleri belirlenerek tablo haline getirilmiştir (Tablo 2).

**Tablo 2.** Korelasyon analizi sonuçları

	Parametreler	SİSMİK ANALİZ SONUÇLARI								DENEYSEL
		Birim hacim ağırlık	Kayma Modülü	Elastisite Modülü	Poisson Oranı	Bulk Modülü	Hâkim titreşim periyodu	Yatak Kat sayısı	Zemin Tasıma Gücü	Arazi deneyi Taşıma gücü
SİSMİK ANALİZ SONUÇLARI	Birim hacim Ağırlık	1	,713*	,761**	,332	,879**	-,262	,749**	,302	,446
	Kayma Modülü	,713*	1	,994**	-,206	,678*	-,531	,765**	,901**	,959**
	Elastisite Modülü	,761**	,994**	1	-,111	,750**	-,470	,832**	,876**	,946*
	Poisson Oranı	,332	-,206	-,111	1	,465	,317	,282	-,452	-,152
	Bulk Modülü	,879**	,678*	,750**	,465	1	,013	,899**	,423	,564
	Hâkim titreşim periyodu	-,262	-,531	-,470	,317	,013	1	,135	-,442	-,795
	Yatak Katsayısı	,749**	,765**	,832**	,282	,899**	,135	1	,617*	,485
	Zemin Tasıma Gücü	,302	,901**	,876**	-,452	,423	-,442	,617*	1	,817
DENEYSEL	Arazi deneyi Taşıma gücü	,446	,959**	,946*	-,152	,564	-,795	,485	,817	1

Korelasyon analiz sonuçlarına arazi deneyleri sonucunda belirlenen taşıma gücü değeri ile zeminin sismik ölçümleri sonucunda elde edilen kayma modülü arasında +0,45 ile orta düzeyde, Elastisite modülü ile +0,96 ile çok yüksek düzeyde, poisson oranı ile +0,95 ile çok yüksek düzeyde Bulk modülü ile -0,15 ile negatif yönde zayıf bir ilişki olduğu, hakim titreşim periyodu ile +0,56 ile orta düzeyde bir ilişki olduğu, yatak katsayısı ile -0,79 ile negatif yönde yüksek bir ilişki olduğu, sismik ölçüm sonucu tespit edilen zeminin taşıma gücü ile arazide deneysel olarak elde edilen zeminin taşıma gücü arasında da +0,82 ile yüksek bir ilişki olduğu tespit edilmiştir.

## 5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] "Projenin Kısa Açıklaması : "su yapı.com.tr. Erişim tarihi: 27 Şubat 2015.
- [2] <sup>a b c</sup> "Büyük Melen Barajı, Hes ve Malzeme Ocakları Çed Raporu". 2009.
- [3] Uzuner B. Ali, "Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği, Derya Kitabevi, Trabzon.
- [4] R. F. Craig, "Craig's Soil Mechanics" Seventh edition, 2004.
- [5] K. Terzaghi, Soil Mechanics in Engineering Practice, Third Edition, 1996.
- [6] Öz Yapıcı Mühendislik, Zemin Etüt Raporları, Düzce.
- [7] Akkurt Mühendislik, Zemin Etüt Raporları, Düzce.

- [8] "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik", Yayın tarihi: 06.03.2007, Resmi Gazete No.:26454 Değişiklik : 03.05.2007, Resmi Gazete No.:26511
- [9] TS 1900, İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvarı Deneyleri, Türk Standartları Enstitüsü, 2006.
- [10] Özer m., Işık N.S., Orhan M, Zemin Mekaniği Laboratuvarı Deneyleri Cilt 1, 2013.