

ZEMİNLERDE SIVILAŞMA ANALİZ VE İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Prof. Dr. Murat MOLLAMAHMUTOĞLU
Gazi Üniversitesi-Mühendislik Fakültesi-İnş. Müh. Böl.

İnş. Y. Müh. Fatih BABUÇCU
AFRY Austria GmbH Ankara Şubesi

© Copyright 2021

Bu kitabın, basım, yayın ve satış hakları Akademisyen Kitabevi A.Ş.'ne aittir. Anılan kuruluşun izni alınmadan kitabın tümü ya da bölümleri mekanik, elektronik, fotokopi, manyetik kağıt ve/veya başka yöntemlerle çoğaltılamaz, basılamaz, dağıtılamaz. Tablo, şekil ve grafikler izin alınmadan, ticari amaçlı kullanılamaz. Bu kitap T.C. Kültür Bakanlığı bandrolü ile satılmaktadır.

ISBN

978-625-7679-87-9

Kitap Adı

Zeminlerde Sıvılaşma Analiz ve İyileştirme Yöntemleri

Yazarlar

Prof. Dr. Murat MOLLAMAHMUTOĞLU

ORCID iD: 0000-0002-7074-1520

İnş. Y. Müh. Fatih BABUÇCU

ORCID iD: 0000-0002-3964-2487

Yayın Koordinatörü

Yasin Dilmen

Sayfa ve Kapak Tasarımı

Akademisyen Dizgi Ünitesi

Yayıncı Sertifika No

47518

Baskı ve Cilt

Bizim Dijital Matbaacılık

Bisac Code

TEC009000

GENEL DAĞITIM

Akademisyen Kitabevi A.Ş.

Halk Sokak 5 / A

Yenişehir / Ankara

Tel: 0312 431 16 33

siparis@akademisyen.com

www.akademisyen.com

*Bu kitabın hazırlanması sürecinde bize sabır gösteren,
özveriyle destekleyen ve teşvik eden tüm aile fertlerimize*

ARMAĞAN OLSUN

***...mühendislik uygulamasında,
zeminle olan güçlükler
hemen hemen yalnızca zeminlerin kendisinden değil
fakat
boşluklarında içerilen sudan dolaydır.
Hiç su olmayan
gezegende zemin mekaniğine ihtiyaç olmazdı.***

Karl Terzaghi, 1939

ÖNSÖZ

"Hiçbir Yapı üzerine inşa edildiği zeminden daha sağlam değildir."

Depremi, yapılar üzerinde neden olduğu hasarın, yerel zemin koşulları ile önemli ölçüde etkilendiği artık kaçınılmaz bir gerçektir. Ya deprem karakteristikleri yerel zemin koşulları ile değişkenmekte ya da deprem yerel zeminlerin özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir. En olumsuz biçimde etkilenen zemin koşulu, suya doymun kumlardır. Bu zeminler, deprem anında sıvılaşarak, dayanımlarını kaybetmekte ve çok farklı ve önemli hasarlara yol açmaktadır. Bazı kaynaklarda, statik şartlarda da sıvılaşma olabileceğinden bahsedilmiş olsa da, bu kitapta yalnızca sismik şartlar altında oluşan sıvılaşma dikkate alınmıştır.

Zeminlerde sıvılaşma tüm yönleriyle ele alınmış, olabildiğince yalın ve basit bir dil kullanılmıştır. Ayrıca, sıvılaşma potansiyelini değerlendirme ve sıvılaşma kökenli hasarların bertaraf edilmesi için uygulanabilecek iyileştirme yöntemleri pratik olarak ele alınmıştır. Sıvılaşma analizlerinin hızlı ve etkin bir biçimde yürütölmesini sağlamak amacıyla alanında büyük bir ihtiyacı karşılayacağına inandığımız, kullanım kolaylığı olan, bir bilgisayar programı yazılarak, bu kitapla birlikte Geoteknik Mühendisliği alanında faaliyet gösteren meslektaşlarımıza hediye olarak

sunulmuştur. Daha önce yazılan bu programımızı gözden geçiren ve modifiye eden, Yüksek Lisans öğrencim İnş. Müh. Mehmet Emin Binici'ye teşekkür ederiz.

Kitabımızın birinci baskısının tükenmesi nedeniyle, ikinci baskı için ilgili güncel literatür gözden geçirilerek, yine pratik uygulama sınırları içinde kalınacak şekilde, düzeltme ve ilaveler yapılmıştır.

Kitabımıza ilgi gösteren, geri dönüşümleri ile bize destek veren ve tekrar basılması için ısrar ve teşvikte bulunan kıymetli öğrencilerimize, meslektaşlarımıza ve arkadaşlarımıza teşekkür ederiz.

Prof. Dr. Murat Mollamahmutoğlu
Mart 2021

İÇİNDEKİLER

Önsöz	v
--------------------	----------

Bölüm I

1.1. Giriş.....	1
-----------------	---

Bölüm II

2.1. Sıvılaşmanın Tanımı.....	3
2.2. Sıvılaşma Olgusu (Fiziksel Süreç)	3

Bölüm III

3.1. Sıvılaşma Türleri	7
3.1.1. Akma Türü Sıvılaşma	7
3.1.2. Yanal Yayılma	10
3.2. Yorum	11

Bölüm IV

4.1. Sıvılaşma Kökenli Hasar Tipleri	13
4.1.1. Kum Kaynaması.....	13
4.1.2. Akma Göçmesi	16
4.1.3. Yanal Yayılma	19
4.1.4. İstinat Yapısı Yenilmesi	21
4.1.5. Taşıma Gücü Kaybı.....	24
4.1.6. Gömülü Yapı Yüzeylenmesi.....	28

Bölüm V

5.1. Sıvılaşmaya Etki Eden Faktörler.....	31
5.1.1. Deprem Şiddeti ve Süresi.....	31
5.1.2. Yeraltı Su Seviyesi	34
5.1.3. Zemin Tipi	35
5.1.4. Zeminin Rölatif Sıkılığı	38
5.1.5. Tane Boyu Dağılımı	40
5.1.6. Yerleştirme Ve Çökelme Ortamı.....	41
5.1.7. Drenaj Şartları	41
5.1.8. Çevre Basınçları.....	42
5.1.9. Tane Şekli.....	42
5.1.10. Yaş ve Çimentolanma	43
5.1.11. Tarihçe	45
5.1.12. Statik Kesme Gerilmesi.....	45

Bölüm VI

6.1. Sıvılaşma Potansiyelinin Analizinde Kullanılan Laboratuvar ve Arazi Deneyleri.....	49
6.1.1. Laboratuvar Deneyleri ve Sıvılaşma Analizi.....	49
6.1.1.1. Devirsel Üç Eksenli Basınç Deneyi.....	51
6.1.1.2. Devirsel Basit Kesme Kutusu Deneyi	51
6.1.2. Arazi Deneyleri ve Sıvılaşma Analizi.....	52
6.1.2.1. Standart Penetrasyon Deneyi	53
6.1.2.2. Konik Penetrasyon Deneyi.....	59
6.1.2.3. Kesme Dalgası Hızı Deneyi.....	61
6.2. Tartışma	62

Bölüm VII

7.1. Sıvılaşma Potansiyeli Analiz Yöntemleri	67
7.1.1. Devirsel Gerilme Yaklaşımı (Deterministik Yöntem) ..	68
7.1.2. Deprem Yüklerinin Tanımlanması	69
7.1.2.1. Seed ve Idriss (1971)	70
7.1.2.2. Tokimatsu ve Yoshimi (1983)	75
7.1.2.3. Iwasaki vd. (1981)	76

7.1.3. Sıvılaşma Direncinin Tanımlanması	77
7.1.3.1. SPT Verilerine Göre Sıvılaşma Potansiyeli Analizi .77	
7.1.3.2. CPT Verilerine Göre Sıvılaşma Potansiyeli Analizi .87	
7.1.3.3. Kesme Dalgası Hızından Devirsel Direnç Oranı.....97	
7.1.4. Sıvılaşma Başlangıcının Belirlenmesi.....103	
7.1.4.1. Üst Tabaka Yüğü Düzeltme Faktörü108	
7.1.4.2. Statik Kesme Gerilmesi Düzeltme Faktörü109	
7.2. Yorumlar.....110	
7.3. Analiz Prosedürü115	
7.4. Analiz Örnekleri116	

Bölüm VIII

8.1. Sıvılaşma Kökenli Hasarları Azaltma Yöntemleri.....119	
8.1.1. Zemin İyileştirme Yöntemleri.....122	
8.1.1.1. Sıkılaştırma Yöntemleri.....125	
8.1.1.2. Katılaştırma156	
8.1.1.3. Takviye Etme170	
8.1.1.4. Drenaj172	
8.1.1.5. Kaldırma ve Değıştirme175	
8.1.2. İyileştirmenin Alansal Sınırı176	
8.1.3. Zemin İyileştirme Etkinliğinin Değıerlendirmesi177	
8.1.3.1. Laboratuvar Deney Teknikleri177	
8.1.3.2. Arazi Deney Teknikleri.....178	
8.1.4. Yöntem Seçimi ve Karşılaştırma179	

Bölüm IX

9.1. Bilgisayar Yazılımı183	
9.1.1. Genel183	
9.1.1.1. Program Hakkında183	
9.1.2. Programın Çalıştırılması185	
9.1.2.1. Kullanıcı Ara Yüzleri185	
9.1.2.2. Veri Girişı186	
9.1.3. Hesap Teorisi192	
9.1.3.1. Devirsel Gerilme Oranının Hesaplanması.....193	

9.1.3.2. Devirsel Direnç Oranının Hesaplanması.....	195
9.1.4. Emniyet Faktörü	207
9.1.5 Sıvılaşma Sonucu Oturma	210
9.1.5.2 Yoshimine vd. (2006)	210
9.2. Analiz Örnekleri	214

Bölüm X

10.1. Rapor Hazırlama	217
10.1.1. Giriş.....	219
10.1.1.1. Amaç	220
10.1.1.2. Sahanın Tanımı.....	220
10.1.2. Sahanın Jeolojisi ve Depremselliği	221
10.1.2.1. Jeoloji	221
10.1.2.2. Depremsellik.....	221
10.1.3. Geoteknik Deprem Mühendisliği	222
10.1.4. Sonuçlar	223
10.1.4.1. Temel Tasarım Parametreleri	224
10.1.4.2. Temel Oturması	224
10.1.4.3. Döşeme Plakları.....	225
10.1.4.5. Sahanın Drenajı.....	226
10.1.4.6. Sismik Tasarım Parametreleri	227
10.1.4.7. Genel Öneriler	228
10.1.5. Kapanış	229

EK A	231
-------------------	------------

EK B	253
-------------------	------------

EK C	265
-------------------	------------

İNDEKS.....	289
--------------------	------------

Sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesi ile ilgili ilk detaylı çalışma 1970'li yıllarda yapılmıştır. Son 40 yılda ise, sıvılaşma ile ilgili birçok arazi ve laboratuvar araştırmaları yapılmış, konu hakkında kafa karıştırmaya kadar varan farklı terimler ve analiz yöntemleri geliştirilmiştir. Bu durumun giderilmesi amacıyla, NCEER (1996) ve NCEER/NSF (National Center for Earthquake Engineering Research)/(National Science Foundation) (1998) tarafından yapılan çalışmalarda, sıvılaşma konusunda anlaşılabilir ve olabildiğince ortak terminoloji ve yöntemler ortaya konulmaya çalışılmıştır. Özellikle analiz yöntemleri, elde edilen yeni veriler ışığında tekrar gözden geçirilerek, modifiye edilmiştir.

KAYNAKLAR

Mollamahmutoğlu, M., Kayabali, K., Beyaz T., and Kolay, E. (2003) "Liquefaction-related building damage in Adapazari during the Turkey earthquake of August 17, 1999" Engineering Geology, 67, 297-307

Devirsel mobilitenin özel bir durumu da, düz yüzeyli zemin sıvılaşmasıdır. Düz yüzeyli zeminlerde, yanal deformasyonları engelleyecek statik kesme gerilmelerinin bulunmayışı, dinamik kuvvetlere maruz kalan zeminlerde yer salınımı olarak bilinen büyük, düzensiz hareketler oluşmasına neden olur. Yer salınımı sonucu ise, zeminde aşırı boşluk suyu basıncı üretilir. Bu salınım sonucu oluşan aşırı boşluk suyu basıncının sönmelenme ihtiyacı, zemin içindeki suyun yukarı yönde hareket etmesine neden olur. Eğer boşluk suyu, yeteri kadar hızlı hareket ederse, zemindeki çatlaklar arasından yüzeye kum taneleri taşınabilir. Bu kum taneleri kum tepcikleri veya kum kaynaması şeklinde birikir. Hidrolik denge için gerekli süreye bağlı olarak, deformasyonlar deprem sona erdikten sonra da görülebilirler. Aşırı düşey oturmalar ve kum kaynaması oluşumu, düz yüzeyli zemin sıvılaşmasının karakteristik belirtileridir.

3.2. Yorum

Sıvılaşma olayının oluşum mekanizması göz önüne alındığında görülmektedir ki akma türü sıvılaşmada, zemin tanecikleri, arasındaki temas kuvvetlerini ifade eden efektif gerilme değeri sıfıra eşitlenmektedir ($\sigma_{v0}'=0$). Yanal yayılmada ise, tanecikler arasındaki temas kuvvetleri azalmakta fakat tamamen yok olmamaktadır ($\sigma_{v0}'>0$).

Bu tespit göz önüne alınarak, kitabın yazarları, akma türü sıvılaşma için tam sıvılaşma, yanal yayılma için ise kısmi sıvılaşma ifadelerini kullanmayı önermektedir.

KAYNAKLAR

Kramer, S.L. (1996) "Geotechnical Earthquake Engineering", 653 pages, Prentice-Hall Civil Engineering and Engineering Mechanics Series.

KAYNAKLAR

- Yılmaz, Y., and Mollamahmutoğlu, M. (2009). "Characterization of Liquefaction Susceptibility of Sands by Means of Extreme Void Ratios and/or Void Ratio Range" *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 135(12): 1986-1990
- Yılmaz, Y., Mollamahmutoğlu, M., Özaydın, V., Kayabalı, K. (2008). "Experimental investigation of the effect of grading characteristics on the liquefaction resistance of various graded sands." *Engineering Geology* 100(3-4):91-100.
- Boulanger, R.W., and Idriss, I. M. (2006). "Liquefaction susceptibility criteria for silts and clays", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 132(11),1413-426.
- Seed, R.B., Cetin, K.O, Moss, R.E.S., Kammerer, A.M., Wu, J., Pestana, J.M., Riemer, M.F., Sancio, R.B., Bray, J.D., Kayen, R.E., Faris. A. (2003). "Recent advances in soil liquefaction engineering: A unified and consistent framework." EERC-2003-06, Earthquake Engineering Research Institute, Berkeley, Calif,
- Day, R.W. (2002). Çevirenler Mollamahmutoğlu, M. ve Kayabalı K. (2004). "Geoteknik Deprem Mühendisliği El Kitabı" Gazi Kitabevi, Fersa Matbaası, McGraw-Hill El Kitapları
- Division of Mines and Geology (1997). "Guidelines for Evaluating and Mitigating Seismic Hazards in California", Special Publication 117. Department of Conservation, Division of Mines and Geology, California.
- Ishihara, K. (1985). "Stability of Natural Deposits During Earthquakes." *Proceedings of the Eleventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, vol. I. San Francisco, pp. 321-376.
- Ishihara, K. (1993). "Liquefaction and Flow Failure During Earthquakes." *Geotechnique*, vol. 43, no. 3, London, England, pp. 351-415.
- Ishihara, K., Sodekawa, M., and Tanaka, Y. (1978). "Effects of Overconsolidation on Liquefaction Characteristics of Sands Containing Fines." *Dynamic Geotechnical Testing*, ASTM Special Technical Publication 654, ASTM, Philadelphia, pp. 246-264.
- Handbook on liquefaction Remediation on Reclaimed Land (1997). Port and Harbour Research Institute, Ministry of Transport, Japan, Rotterdam, P.241.
- Poulos, S. J., Castro, G., and France, J. W. (1985). "Liquefaction Evaluation Procedure." *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, vol. 111, no. 6, pp. 772-792.
- Seed, R. B. (1991). *Liquefaction Manual. Course Notes for CE 275: Geotechnical Earthquake Engineering*, College of Engineering, University of California, Berkeley.
- Seed, H.B. and Idriss I.M. (1971). "Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential." *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Divisions*, ASCE, Vol.107, No.SM9, pp.1249-1274.

- Seed, H. B., and Idriss, I. M. (1982). "Ground Motions and Soil Liquefaction During Earthquakes". Earthquake Engineering Research Institute, University of California, Berkeley.
- Seed, H. B., Mori, K., and Chan, C. K. (1975). "Influence of Seismic History on the Liquefaction Characteristics of Sands." Report EERC 75-25. Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.
- Seed, H. B., Idriss, I. M., and Arango, I. (1983). "Evaluation of Liquefaction Potential Using Field Performance Data." *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, vol. 109, no. 3, pp. 458-482.
- Yeats, R. S., Sieh, K., and Allen, C. R. (1997). *The Geology of Earthquakes*. Oxford University Press, New York.
- Yoshimi, Y., Tokimatsu, K., and Hasaka, Y. (1989). "Evaluation of liquefaction resistance of clean sands based on high-quality undisturbed samples". *Soils and Foundations*, vol. 29, no.1, pp. 93-104.
- Youd, T. L., and Gilstrap, S. D. (1999). "Liquefaction and Deformation of Silty and Fine-Grained Soils." *Earthquake Geotechnical Engineering*, 2nd 3rd., Balkema, Rotterdam, pp. 1013-1020.

KAYNAKLAR

- Idriss, I. M., and Boulanger, R. W. (2008). "Soil liquefaction during earthquakes." Monograph MNO-12, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA, 261 pp.
- Kayen, R.E., Mitchell, J.K., Seed, R.B., Lodge, A., Nishio, S., and Coutinho, R. (1992). "Evaluation of SPT-, CPT-, and shear wave-based methods for liquefaction potential assessment using Loma Prieta data", Proceedings, 4th US - Japan Workshop on Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Countermeasures for Soil Liquefaction, Vol. 1, pp. 177-204
- Kovacs, W. D., and Salomone, L. A. (1982). "SPT hammer energy measurement", Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 108, No. GT4, pp. 599-620.
- Kramer, S. L. (1996). Geotechnical Earthquake Engineering, 653 pages, Prentice-Hall Civil Engineering and Engineering Mechanics Series.
- Liao, S.S.C. and Whitman, R.V. (1986a). "Overburden correction factors for SPT in sand", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.112, No. 3, pp. 373-377.
- Meyerhof, G.G. (1957). Discussion: Proceedings, 4th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol.3, pp.110.
- Palacios, A. (1977). "The theory and measurement of energy transfer during SPT test sampling", Ph. D. Dissertation, University of Florida.
- Robertson, P. K., Woeller, D. J., and Finn, W. D. (1992). "Seismic cone penetration test for evaluating liquefaction potential under cyclic loading," Canadian Geotechnical Journal, Ottawa Vol. 29, pp. 686-695.
- Robertson, P.K., and Wride, C.E. (1998). "Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test", Canadian Geotechnical Journal, Ottawa, Vol. 35, No. 3, pp. 442-459.
- Schmertmann, J. H. (1976). "Predicting the qc / N ratio-interpreting the dynamics of the standard penetration test", University of Florida Report to the Department of Transportation, Florida.
- Schmertmann, J. H. (1977). "Use the SPT to measure dynamic properties?- Yes, But.....!", Proceedings, American Society For Testing and Materials Symposium on Dynamic Field and Laboratory Testing of Soil and Rock, Denver.
- Seed, H.B. and Idriss, I.M. (1971). "Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential", Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol., 107, No. SM9, pp. 1249-1274.
- Seed, H.B. and Idriss, I.M. (1982). "Ground Motions and Soil Liquefaction During Earthquakes", Earthquake Engineering Research Institute, Berkeley, California, 134 pp.
- Seed, H.B., Tokimatsu, K., Harder, L.F. and Chung, R.M. (1985). "Influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations", Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 111, No.12, pp.1425-1445.

- Skempton, A.K. (1986). "Standard penetration test procedures and the effects in sands of overburden pressure", relative density, particle size, aging, and overconsolidation., *Geotechnique*, London, Vol. 36, No. 3, pp. 425-447.
- Stokoe, K.H., II, Lee, S.H.H., and Knox, D. P. (1985). "Shear moduli measurements under true triaxial stresses," *Advances in the art of testing under cyclic conditions*, ASCE, New York, pp. 166-185.
- Sykora, D. W. (1987). "Creation of a data base os seismic shear wave velocities for correlation analysis," *Geotech. Lab. Misc. Paper GL-87-26*, U.S. Army Engineering Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss.
- Tokimatsu, K., and Yoshimi, Y. (1983). "Emprical correlation of soil liquefaction based on SPT-N value and fines content", *Soils and Foundations*, Vol. 23, No. 4, pp. 56-74.
- Whitman, R.V. (1971). "Resistance of soil to liquefaction and settlement", *Soils and Foundations*, Vol. 11, No. 4, pp. 59-68.
- Youd, T.L. et al. (2001). "Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report From The 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, Vol.127, No. 10, pp. 817-832.

KAYNAKLAR

- Boulanger, R. W., and Idriss, I. M., and (2014). "CPT and SPT-based liquefaction triggering procedures." Report UCD/CGM-14/01, Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Davis, CA, 134 pp.
- Idriss, I. M., and Boulanger, R. W. (2008). "Soil liquefaction during earthquakes." Monograph MNO-12, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA, 261 pp.
- Cetin, K. O., Seed, R. B., Der Kiureghian, A., Tokimatsu, K., Harder, L. F., Kayen, R. E., and Moss, R. E. S. (2004). Standard penetration test-based probabilistic and deterministic assessment of seismic soil liquefaction potential, J. Geotechnical and Geoenvironmental Eng., ASCE 130(12), 1314-340.
- Vaid, Y. P., Stedman, J. D. & Sivathayalan, S. (2001). Confining stress and static shear effects in cyclic liquefaction. Can. Geotech. J. 38, No. 3, 580-591.
- Andrus, R. D., and Stokoe, K. H. (2000). "Liquefaction Resistance of Soils from Shear Wave Velocity." Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, vol. 126, no. 11, pp. 1015-1025.
- Andrus R D, Stokoe K H, Juang C H. (2004) "Guide for Shear-Wave-Based Liquefaction Potential Evaluation", Earthquake Spectra.
- Day, R.W. (2002). Çevirenler Mollamahmutoğlu, M. ve Kayabalı K. (2004). "Geoteknik Deprem Mühendisliği El Kitabı" Gazi Kitabevi, Fersa Matbaası, McGraw-Hill El Kitapları
- De Alba, P., Seed, H.B., and Chan, C.K. (1976). "Sand liquefaction in large-scale simple shear tests" Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 102, No.GT9, pp.909-927.
- Gilstrap, S.D. and Youd, T.L. (1998). "CPT based liquefaction resistance analyses using case histories." Technical Report CEG-90-01, Department of Civil and Environmental Engineering, Birmingham Young University, Provo, Utah.
- Hynes, ME and Olsen, RS. (1999). "Influence of confining stress on liquefaction resistance" In: Proc. Int. Workshop on Phys. and Mech. of Soil Liquefaction, Balkema, Rotterdam, p. 145-52.
- Idriss, I. M., (1990). "Response of soft soil sites during earthquakes" Proceedings, H. Bolton Seed Memorial Symposium, Vol.2, BiTech Publishers, Ltd, Vancouver, B.C. Canada, p. 273 - 290.
- Idriss, I.M. (1995). Seed Memorial Lecture, University of California at Berkeley (I.M. Idriss, personal communication to T.L. Youd, 1997)
- Iwasaki, T., et al. (1978b). "A practical method for assessing soil liquefaction potential based on case studies at various sites in Japan" Proc. 2nd International Conference on Microzonation, San Francisco, Vol.2, pp. 885-896.
- Iwasaki, T., Tokida, K., Tatsuoka, F. (1981) "Soil liquefaction potential evaluation with use of the simplified procedure" Proceedings, International Conference of Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, Vol. 1, pp. 209-214.
- Kramer, S. L. (1996). Geotechnical Earthquake Engineering. Prentice-Hall Civil Engineering and Engineering Mechanics.
- Liao, S.S.C. and Whitman, R.V. (1986), "Overburden correction factors for SPT in sand." Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.112, No.3, pp.373-377.
- Meyerhof, G.G., (1957) Discussion: Proceedings 4th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol.3, pp.110.

- Robertson, P.K. (1990). "Soil classification using CPT" Canadian Geotechnical Journal, Ottawa, Vol. 27. No. 1, pp. 151-158.
- Robertson, P. K., Woeller, D. J., and Finn, W. D. L. (1992). "Seismic Cone Penetration Test for Evaluating Liquefaction Potential Under Cyclic Loading." Canadian Geotechnical Journal, Ottawa, vol. 29, pp. 686-695.
- Robertson, P.K. and Fear, C.E. (1995). "Liquefaction of sands and its evaluation" Proceedings, 1st Conference on Earthquake Geotechnical Engineering
- Robertson, P.K. and Wride, C.E. (1998). "Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test." Can. Geotechnical Journal. Ottawa, Vol.35, No.3, pp.442-459.
- Seed, H. B. (1979a). "Soil Liquefaction and Cyclic Mobility Evaluation for Level Ground During Earthquakes." Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, vol. 105, no. GT2, pp. 201-255.
- Seed, H. B., and Idriss, I. M. (1982). "Ground Motions and Soil Liquefaction During Earthquakes." Earthquake Engineering Research Institute, University of California, Berkeley.
- Seed, H.B. and Idriss I.M. (1971). "Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential." Journal of the Soil Mechanics and Foundation Divisions, ASCE, Vol.107, No.SM9, pp.1249-1274.
- Seed, H.B., Tokimatsu, K., Harder, L.F., and Chung, R.M. (1985). "The influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations" Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.111, No.12, pp.1425-1445.
- Seed, R.B., (1996) "Recent advances in evaluation and mitigation of liquefaction hazards" Ground Stabilization and Seismic Mitigation, Theory and Practice, Portland, Oregon.
- Seed, H.B. and De Alba, P. (1986). "Use of SPT and CPT tests for evaluating the liquefaction resistance of soils" Proceedings, Insitu '86, ASCE
- Suzuki, Y., Koyamada, K., and Tokimatsu, K. (1997) "Prediction of liquefaction resistance based on CPT tip resistance and sleeve friction" Proceedings XIV International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Hamburg, Germany, pp. 603-606.
- Sykora, D. W. (1987). "Creation of a Data Base of Seismic Shear Wave Velocities for Correlation Analysis." Geotechnical Laboratory Miscellaneous Paper GL-87-26. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Tokimatsu, K. and Yoshimi, Y. (1983). "Empirical correlation for soil liquefaction based on SPT-N values and fines content." Soils and Foundations, Vol.23, No.4, pp.56-74.
- Woods, R. D., ed. (1994). Geophysical Characterization of Sites. Balkema, Rotterdam, The Netherlands.
- Youd, T.L. et al. (2001). "Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report From The 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils" Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol.127, No.10, pp.817-832.

4. Materyal elde edilebilirliği. Örneğin, katkı maddesi
5. Beceri ve uygun ekipman elde edilebilirliği
6. Çevresel faktörler (su kirliliği), bitişik yapılar ve yararlı her türlü şey üzerindeki etkileri.
7. Mevcut süre.
8. Maliyet.

Bu bölümde tanımlanan yöntemler, karşılaştırmalı olarak Ek B, Çizelge B.1’de özetlenmiştir. Bu çizelge, herhangi bir yöntemin detayına girmeden, diğerlerine kıyasla daha hızlı değerlendirme ve yöntem seçimi imkanı sağlayacaktır.

Ayrıca, yöntem seçiminin, daha da güvenli bir biçimde yapılmasına yardımcı olacak, daha önce sivilaşmaya karşı duyarlı zeminlerde uygulanmış, yaygın kullanımlı bazı yöntemlerin kullanım alanları, deprem sonrası performansları ve ilgili özellikleri Çizelge B.2 ve B.3’de sunulmuştur.

KAYNAKLAR

- Mollamahmutoğlu, M. and Avcı, E. (2018), “ Dynamic compaction experience in alluvial soils of Carsamba (Turkey), Maejo international journal of science and technology 12(3):206-220.
- Yasuda, S. (2007). Remediation Methods Against Liquefaction which can be Applied to Existing Structures. Earthquake Geotechnical Engineering, pp. 385–406.
- American Society of Civil Engineers: Committee on Deep Foundations, Practical Guidelines for the selection, Design and Installation of Piles, American Society of Civil Engineers, 1984.
- Boulanger, DP, Hashish, Y and Schmidt, B, [1997]. “Drainage Capacity of Stone Columns or Gravel Drains for Mitigating Liquefaction”, 2 nd Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics Conference, Seattle, Vol. I, 678-690.
- Broms, B. (1991), “Deep compaction of granular soil”, in H.Y. Fang, ed., Foundation Engineering Handbook, 2nd ed., Van Nostrand Reinhold, New York, pp. 814-832.
- Brown, R.E. (1977), “Vibroflotation compaction of cohesionless soils”, Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 103,No.GT-12, pp. 1437-1451.
- Brown, D.R. and Warner, J. (1973), Compaction Grouting, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 99, No. SM-8, paper 9908,

- pp.589-601.
- Brown, R.E. and Glenn, A.J.(1976), "Vibroflotation and terra-probe comparison", *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*; 102, No. GT-10, pp.1059-1072.
- Dobson, T. and Slocum, B. (1982). "Deep Densification of Granular Fills", The 2nd Geotechnical Conference and Exhibit on Design Construction, Las Vegas, April, pp. 26-28.
- Ivanov, P.L. (1967). "Compaction of Non-Cohesive Soils by Explosions" Izdatel 'Stvo Literaturny Po Stroitel 'Stvu, Leningrad. Published for the U.S. Dept. of the Interior Bureau of Reclamation and National Science Foundation, Washington, D.C. by the Indian National Scientific Documentation Centre, New Delhi, TT 70-57221, 1972, 211 pp.
- Karol, R.H. (1983), *Chemical Grouting*, 327 pages, M.Dekker
- Kramer, S.L. (1996) *Geotechnical Earthquake Engineering*, 653 pages, Prentice-Hall Civil Engineering and Engineering Mechanics Series.
- Kishida, H. (1967) "Ultimate bearing capacity of piles driven into loose sand", *Soils and Foundation*, 7, No.3, pp. 20-29.
- Leonards, G.A., Cutter, W.A., and Holtz, R.D. (1980) "Dynamic compaction of granular soils", *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, Vol.106, No. GT-1, pp. 35-44
- Massarsch, K. R. (1985) "Deep compaction of sand using vibratory probes", *Proceedings of the Third International Geotechnical Seminar, Soil Improvement methods*, Singapore, pp. 9-17.
- Mayne, P.W., Jones, J.S., and Dumas, J.C. (1984) "Ground response to dynamic compaction", *Journal of Geotechnical Engineering*, 110, No.6, pp. 757-774
- Mitchell, J.K. (1981). "Soil Improvement-State-of-the Art Report", *Proceedings of the Tenth International Conference on Soil Mechanics & Foundation Engineering*, Stockholm.
- Mitchell J.K., Baxter C.D.P., Munson T.C. (1995). "Performance of Improved Ground During Earthquakes", *Soil Improvement for Earthquake Hazard Mitigation*, ASCE, 145 pp., Geotechnical Special Publication No. 49
- Seed, HB, and Booker, JR [1977]. "Stabilization of Potentially Liquefiable Sand Deposits Using Gravel Drains," *J. Geotechnical Engrg. Div., ASCE*, 103(GT7), 757-768.
- Mollamahmutoğlu, M. (1995), "A review of some of the properties of Geoseal MQ-5 and silicate-Hardener 600B grouts, *Ground Engineering*", London, pp. 44-48.
- Avcı, E., and Mollamahmutoğlu, M. (2018). "Syneresis dependent shear strength parameters of sodium silicate grouted sands" *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 52 (1), pp. 99-109.
- Mollamahmutoğlu, M., Avcı, E., Tomaç, S. K., and Köse, D.A. (2017). "Performance of Novel Chemical Grout in Treating Sands" *ASCE Journal of Materials in Civil Engineering*, Volume 29, Issue 10, 04017164.
- Mollamahmutoğlu, M. (2003) *Treatment of Medium to Coarse Grained Sands by Fine-Grained Portland Cement as an Alternative Grouting Material to Silicate-ester Grouts*, ASTM, Volume 25, Number 1, pp.1 - 6.
- Mollamahmutoğlu, M., and Avcı, E. (2015). "Effectiveness of Microfine Portland Cement Grouting on the Strength and Permeability of Medium to Fine Sands" *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, Vol. 59, No 3, pp. 319-326.
- Mollamahmutoğlu, M., and Avcı, E. (2015). "Ultrafine Portland cement grouting performance with or without additives" *KSCE Journal of Civil Engineering*, Volume 19, *Issue 7*, pp 2041-2050

- Peck, R.B., Hanson, W.E., and Thornbur (n, T.H. (1974) *Foundation Engineering*, 2nd ed., Wiley, New York
- Robinsky, E.I. and Morrison, D.E. (1964) "Sand displacement and compaction around model friction piles", *Canadian Geotechnical Journal*, 1, No.2, p.81.
- Saito, A. (1977) "Characteristics of penetration resistance of a reclaimed sandy deposit and their change through vibratory compaction", *Soils and Foundation*, (17), 4, pp. 32-43
- Salley, J. R., Foreman, B., Baker, W. H., and Henry, J.F. (1987) "Compaction grouting test programme Pinopolis West Dam", *Soil Improvement-A Ten Year Update*, ASCE, Geotechnical Special Publication, No. 12, pp.245-269.
- Stilley, A.N. (1982) "Compaction Grouting for Foundation Stabilization", *Proceedings, ASCE Specialty Conference on Grouting in Geotechnical Engineering*, New Orleans, Louisiana, pp. 923-937.
- Solymar, Z. V. and Reed, D.J. (1986) "A comparison of foundation compaction techniques", *Canadian Geotechnical Journal*, 23, No.3, pp. 271-280.
- Thorburn, S. (1975) "Building structures supported by stabilized ground", *Geotechnique*, (25), 1, pp. 83-94.
- Vesic, A.S. (1977) "Design of Pile Foundations", *Transportation Research Board*, NRC, Washington, D.C., pp. 44-47.
- Youd, T. L., and Gilstrap, S. D. (1999) "Liquefaction and Deformation of Silty and Fine-Grained Soils." *Earthquake Geotechnical Engineering*, 2d 3d., Balkema, Rotterdam, pp. 1013-1020.

KAYNAKLAR

- Andrus, R, D,, Stokoe, K, H,, & Hsein Juang, C, (2004), Guide for shear-wave-based liquefaction potential evaluation, *Earthquake Spectra*, 20(2), 285-308,
- Babuçu, F, (2002), "Zeminlerde sıvılaşma potansiyelinin ve sıvılaşma sonucu oturma'nın SPT ve CPT verilerine dayalı analiz yöntemleri üzerine bilgisayar yazılımı" Yüksek Lisans Tezi, G.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü,
- Boulanger, R, W, (2003), Relating K_a to relative state parameter index, *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, 129(8), 770-773,
- Boulanger, R, W,, & Idriss, I, M, (2014), CPT and SPT based liquefaction triggering procedures, Report No, UCD/CGM,-14,1,
- Jamiolkowski, M,, LO PRESTI, D, C,, & Garizio, G, (2001), Correlation between relative density and cone resistance for silica sands (pp, 55-63), *Institute fur Grundbau und Bodenmechanik*; TUW,
- Mayne, P, W, (2007), NCHRP synthesis 368, Cone Penetration Testing, A synthesis of highway practice, Washington, D,C,: Transportation research board,
- Seed, H, B,, & Idriss, I, M, (1971), Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential, *Journal of Soil Mechanics & Foundations Div*,
- Robertson, P, K, (2009), Performance based earthquake design using the CPT, *Proc, IS-Tokyo*, 3-20,
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (T,C, Resmi Gazete, 18 Mart 2018, sayı: 30364)
- Yoshimine, M,, Nishizaki, H,, Amano, K,, & Hosono, Y, (2006), Flow deformation of liquefied sand under constant shear load and its application to analysis of flow slide of infinite slope, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 26(2-4), 253-264,
- Yi, F,, 2009b, Procedure to Evaluate Seismic Settlement in Dry Sand Based on Shear Wave Velocity, Manuscript submitted to The 9th U,S, National and 10th Canadian Conference on Earthquake Engineering (9USN/10CCEE), Toronto, Canada, July 25-29, 2010,

10.1.5. KAPANIŞ

Bu geoteknik inceleme, geoteknik mühendislerinin ve jeologların, bu veya benzer diğer sahalarda, benzer şartlarda, normal olarak sergilediği dikkat derecesi ve yetenek kullanılarak hazırlanmıştır. Bu raporda ortaya konulan sonuçlar ve profesyonel tavsiyeler konusunda, doğrudan veya dolaylı hiç bir garanti verilmemektedir.

Derlenen ve test edilen numunelerin ve yapılan gözlemlerin, tüm sahayı temsil ettiği düşünülmektedir. Ancak, jeoloji ve zemin şartları, iki kuyu ve yüzey mostraları arasında, önemli ölçüde değişiklik gösterebilir. Çok sayıda uygulamada olduğu gibi, kazı sırasında karşılaşılan şartlar, ön bulgularla farklılık sunabilir. Böyle bir durumla karşılaşılması halinde, değiştiği gözlenen şartlar, geoteknik mühendisi tarafından değerlendirilmeli ve tasarımlar gözden geçirilmeli veya alternatif tasarımlar önerilmelidir.

KAYNAKLAR

- Blake, T. F. (2000b). EQSEARCH Computer Program, Version 3.00. Computer Program for Estimation of Peak Acceleration from California Earthquake Catalogs. Thousand Oaks, CA.
- Day R. (2002) "Geotechnical Earthquake Engineering", 653 pages, Prentice-Hall Civil Engineering and Engineering Mechanics Series.
- Division of Mines and Geology (1997). "Guidelines for Evaluating and Mitigating Seismic Hazards in California", Special Publication 117. Department of Conservation, Division of Mines and Geology, California.
- Uniform Building Code (1997). International Conference of Building Officials, three volumes, Whittier, CA.