Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi
Cilt: 5, No:2, 2013 (50-60)

Electronic Journal of Map Technologies
Vol: 5, No: 2, 2013 (50-60)

TEKNOLOJİK ARAŞTIRMALAR

www.teknolojikarastirmalar.com
e-ISSN:1309-3983

Makale
(Article)

Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Sondaj Derinliğinin Sıvılaşma Analizine Etkisinin Belirlenmesi (Eskişehir Örneği)

Eren BAYRAKCI[*], Emrah PEKKAN[**], Uğur AVDAN[**], Yücel GÜNEY[**]
[*]Anadolu Üniversitesi, Müh. Fak. İnşaat Müh. Böl. 26555 Eskişehir/TÜRKİYE
[**]Anadolu Üniversitesi, Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü, 26555 Eskişehir/TÜRKİYE
eren.bayrakci@gmail.com, epekkan@anadolu.edu.tr, uavdan@anadolu.edu.tr, yguney64@gmail.com

Özet

Türkiye jeolojik konumu nedeniyle bir deprem ülkesidir. Deprem yüküne bağlı olarak gerçekleşen sıvılaşma, yapılarda ciddi hasarlara sebebiyet vermektedir. Sıvılaşma anında zeminin taşıma gücünü kaybetmesi yapılarda ani ve farklı oturmalara sebebiyet verebilmektedir. Üst yapı ne kadar sağlam olursa olsun, eğer zeminde oluşabilecek sıvılaşma problemine karşı önlem alınmamışsa, yapının hasar görmesi kaçınılmazdır. Bu durum, ülkemizde 17 Ağustos 1999 Marmara depremi sonrası Adapazarı, İzmit ve Gölcük gibi yerleşim alanlarında yaşanan önceki depremler ile tecrübe edilmiştir. Sıvılaşmaya uğrayabilecek zeminlerin deprem olmadan önce belirlenmesi ve buna göre önlem alınması deprem anında sıvılaşma nedeniyle oluşacak hasarları en aza indirir. Literatüre ve yönetmeliklere göre, sıvılaşan bir zeminin belirlenmesi için, alüvyon zeminlerde en az 20 m'lik bir sondaj derinliği boyunca analiz yapılması gerekliliği vurgulanmaktadır. Eskişehir'de 080240 nolu Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında 885 adet zemin etüt raporu incelenmiştir. İnceleme sonunda, zemin etüt raporlarının %67'sinde sıvılaşma riski olduğu belirtilmiş, ancak sondaj derinliğinin bu zemin etüt raporlarında 20 m'nin altında olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada, Eskişehir'de yapılan 87 adet sondajın verileri kullanılarak, farklı derinlikler için (5 m, 10 m, 15 m ve 20 m) sıvılaşma analizleri Seed ve Idriss (1971) tarafından ortaya konulmuş olan ve Youd vd. (2001) tarafından geliştirilen yöntem kullanılarak yapılmıştır. Çalışmada sondaj verilerinin toplanması ve sıvılaşma haritalarının oluşturulmasına yönelik bir veritabanı tasarımı yapılmış ve bütün haritalar Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ortamında haritalanmış ve analiz edilmiştir. 5 m derinlik boyunca yapılan sıvılaşma analizi sonuçlarına göre çalışma alanında çok yüksek derecede sıvılaşan hiçbir bölgeye rastlanmazken, 10 m derinlik boyunca yapılan sıvılaşma analizine göre Eskişehir üzerinde 212 359 m^2, 15 m için yapılan sıvılaşma analizine göre 512 172 m^2 ve 20 m derinlik için sıvılaşma analizine göre 659 840 m^2 alan çok yüksek derecede sıvılaşabilen özellik göstermektedir. Sonuç olarak Eskişehir şehir merkezinde yapılacak sıvılaşma analizleri için 10 metrelik sondajların yetersiz olduğu, sıvılaşma değerinin derinlik boyunca değiştiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sıvılaşma, SPT, Deprem, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Eskişehir

Determination of the Effect of Borehole Depth to the Liquefaction Analysis by Using Geographical Information Systems (Eskişehir Case)

Abstract

Turkey is an earthquake-prone region because of It's geological location. Liquefaction because of an earthquake could give serious damages on the structures. Loss of the soil bearing capacity can cause sudden and different settlements during liquefaction. If precautions haven't been taken for liquefaction problem, structures could get damage during an earthquake, no matter how the upper structure is state of art constructed. This situation was observed in several earthquakes which hit Adapazarı, İzmit and Gölcük. To determine the soil which could liquefy and take precautions according to that phenomena could reduce damages during an expected earthquake.

Bu makaleye atıf yapmak için
Bayrakcı E.[*], Pekkan E.[*],Avdan U.[*], Güney Y. [*], "Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Analiz Derinliğinin Sıvılaşma Analizine Etkisinin Belirlenmesi (Eskişehir Örneği)" Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi 2013, 5(2) 50-60

How to cite this article
Bayrakcı E., Pekkan E.*, Avdan U.*, Güney Y. *, "Determination of the Effect of Analysis Depth to the Liquefaction Analysis by Using Geographical Information Systems (Eskişehir Case)" Electronic Journal of Map Technologies, 2013, 5 (2) 50-60*

According to the literature and the regulations, liquefaction analysis should be done at least 20 m depth of boring at alluvial soil. 885 soil investigation reports of Eskişehir were investigated within the scope of Scientific Research Project (No:080240) of Anadolu University. The risk of liquefaction were indicated on 67 percent of soil investigation reports with under 20 m bore depth. In this study, liquefaction analyses for different depth level (5 m, 10 m, 15 m, and 20 m) was performed for 87 boreholes using method suggested by Seed-Idriss (1971) and updated by Youd et al. (2001). Geographical Information System (GIS) was used for analyzing and mapping of the whole data. According the result of liquefaction analysis performed through 5 m depth, very high level liquefaction was not encountered in the study area. On the other hand, liquefaction analysis performed in Eskişehir through 10 m depth, 212 359 m^2 high liquefiable areas were observed. According to the result of liquefaction analysis performed in Eskisehir through 15m depth, 512 172 m^2, very high liquefiable areas were observed. According to the result of liquefaction analysis done in Eskisehir through 20 m depth, 659 840 m^2, liquefiable at very high level areas are observed. As a result, boreholes which have at least 20 meters depth should be used for a perfect liquefaction analysis and it is also determined that the liquefaction values vary along the analysis depth for Eskişehir.

Keywords: Liquefaction, SPT, Earthquake, Geographical Information Systems, Eskişehir

1. GİRİŞ

Geoteknik deprem mühendisliğinin en önemli ve karmaşık konularından birisi sıvılaşmadır. Sıvılaşma, 29 Nisan 1964'de Alaska, Good Friday, (Mw=9.2) ve 16 Haziran 1964'de Japonya, Niigata, (MS=7.5) depremleri yaşandıktan sonra, 1965'de Arthur Cassagrande tarafından ilk kez ortaya konulmuştur. Bu depremlerde binaların birçoğunda, temel zemininin taşıma gücünü yitirmesinden dolayı, yan yatmalar, batmalar veya devrilmeler gözlemlenmiştir. Oluşan aşırı boşluk suyu basıncı nedeniyle istinat duvarlarında ötelenmeler veya devrilmeler gözlemlenmiştir. Eğimli arazilerde ise sıvılaşma kökenli akma ve yanal yayılmalara rastlanmaktadır [1].

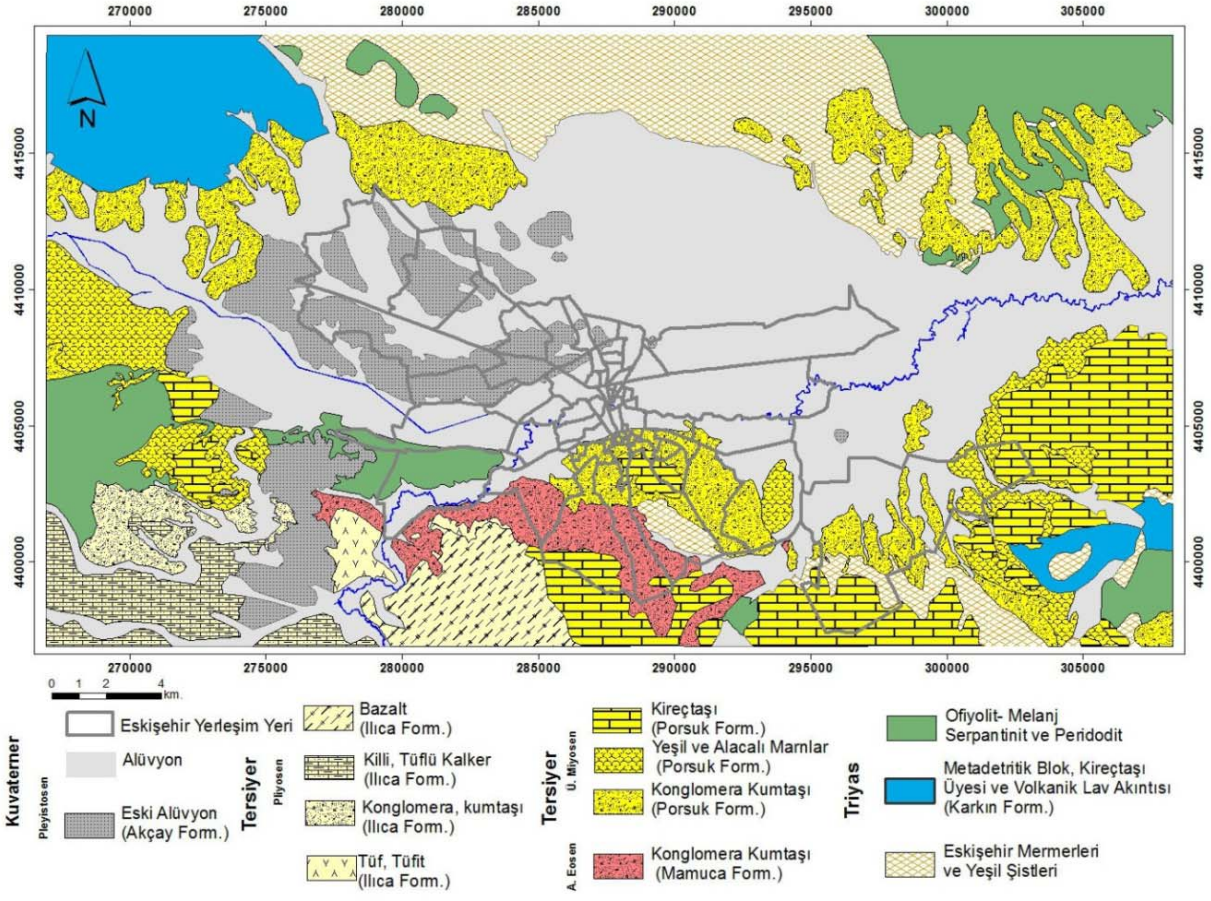
17 Ağustos 1999'da Kocaeli-Sakarya bölgesinde büyüklüğü Mw=7.4 meydana gelen deprem sırasında sıvılaşma nedeniyle köprü ayaklarında ve bina temellerinde oluşan yenilmeler büyük hasarlara sebebiyet vermiştir. Bunun yanında Adapazarı, Sapanca ve Gölcük kıyılarında meydana gelen deprem sonucunda oluşan sıvılaşma, binalarda dönmelere, ötelenmelere, oturmalara, taşıyıcı sistemde ciddi hasarlara sebebiyet vermiştir [2]. Aletsel kayıtlara göre bölgede meydana gelen en büyük deprem 20 Şubat 1956'da meydana gelen 6.4 büyüklündeki Eskişehir depremidir [3].

Deprem anında suya doygun gevşek kum ve düşük plastisiteli yumuşak siltlerde sıvılaşma oluşurken, plastik silt ve killerde depremden sonra taşıma gücü kaybı gözlemlenmektedir. Sıvılaşma, kohezyonsuz zeminlerin deprem kökenli devirsel kayma gerilmelerine maruz kalması sonucu hızlı kayma mukavemeti kaybı yaşamasıdır [1]. Eskişehir'in Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası'na göre 2. derece deprem bölgesinde olması, zemin dağılımının genel olarak siltli ve kumlu zeminlerden oluşması, yer altı su seviyesinin genel olarak yüksek olması gibi nedenlerden dolayı, deprem anında meydana gelen sıvılaşma, Eskişehir için önemli bir risk faktörü olarak görülmektedir. Buna rağmen Eskişehir'de yapılan sıvılaşma analizleri incelendiğinde genel olarak literatüre ve yönetmeliğe uygun olmadığı tespit edilmiştir. 10 Ağustos 2005'te Bayındırlık ve İskân Bakanlığı'nın yayınladığı "Zemin ve Temel Etüdü Genel Formatı"nda Sondaj Kuyuları başlığı altında, "1. ve 2. Derece deprem bölgelerinde, sıvılaşma açısından sondaj derinliği 20 m'den az olmamalıdır" ifadesi geçmektedir [4]. 080240 nolu Anadolu Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında Eskişehir kent merkezinde yapılan 885 adet parsel bazında sondaj incelenmiştir. İnceleme sonucunda, parsel bazında yapılan sondajların sıvılaşma analizi için 20 m derinlik koşulunu sağlamamalarına rağmen, %33'ünde sıvılaşmanın olmadığı, %67'sinde sıvılaşma riskinin bulunduğu görülmektedir. Bu %67'lik kısımdan ise sadece %2'sinde sıvılaşma analiz sonuçları raporlarda yer almaktadır diğer %65'lik bölümde ise sıvılaşma analizi yapılmadan sıvılaşma riski belirtilmiştir. Literatüre ve yönetmeliğe uyulmadan yapılan bu sıvılaşma analizleri, Eskişehir için oldukça önem

taşımaktadır. Bu şekilde yapılan hatalı sıvılaşma analizleriyle şehirde deprem anında oluşabilecek sıvılaşmanın şiddetini ya da sıvılaşmanın var olup olmadığını belirlemek mümkün değildir [5].
Bu çalışmadaki amaç, sondaj derinliğinin Eskişehir kent merkezi için, sıvılaşma analizi üzerindeki etkisini belirlemektir. Eskişehir kent merkezinden alınan 87 adet sondajın Seed-Idriss yöntemine göre farklı derinliklerde sıvılaşma analizleri yapılmış, Coğrafi Bilgi Sistemleri'nde işlenmiş ve haritaları çizilerek sıvılaşma analiz derinliğinin değişiminin alansal farklılıklar yarattığı gözlemlenmiştir. Ayrıca sondaj verilerinin toplanması ve sıvılaşma haritalarının oluşturulmasına yönelik bir veri tabanı tasarımı yapılmıştır.

1.1. Çalışma Alanın Jeolojisi

Sıvılaşma analizi alüvyon zeminler üzerinde yapılmaktadır. Bundan dolayı analiz yapılacak bölgenin jeolojik açıdan değerlendirilmesi gerekmektedir. Çalışma alanı olan Eskişehir ve çevresinin jeolojisi, genel olarak en yaşlı birimden en genç olan birime doğru, Karkın Formasyonu, Mamuca Formasyonu, Porsuk Formasyonu, Ilıca Formasyonu ve Akçay Formasyonu olmak üzere beş adet jeolojik formasyondan oluşmaktadır. Temel kaya birimleri ve Orta-Üst Miyosen çökelleri üzerinde uyumsuz olarak bulunan formasyon Yeni Alüvyonla örtülmektedir [6]. Yeni alüvyon; Sarısu Çayı, Porsuk Nehri ve yan kollarının getirip ovada biriktirdiği gevşek malzemelerden oluşmaktadır. Bu birim, Eskişehir kent merkezinin büyük bir kısmını kapsamaktadır (Şekil 1). Yeni Alüvyon biriminde gevşek kum ve düşük plastisiteli seviyeler bulunurken, şehir merkezinin Porsuk ve Sarısu Nehirleri kıyılarına kurulmuş olmasından dolayı bölgede de yeraltı suyu seviyesi sığdır. Sonuç olarak alüvyon biriminde bulunan suya doygun gevşek kum ve düşük plastisiteli seviyelere sahip bölgeler sıvılaşma açısından risk oluşturmaktadır.



Şekil 1. Eskişehir Jeoloji Haritası [7].

2. YÖNTEM

2.1. Sıvılaşma Analizi

Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi (LI) ilk olarak Iwasaki vd. 1978, 1982 [8,9] tarafından önerilmiş ve 63 sıvılaşabilen ve 22 sıvılaşmayan bölge için Japonya'da 1891 ve 1978 tarihleri arasında gerçekleşen 6 adet deprem kullanılarak test edilmiştir Iwasaki vd. 1978, 1982 [8,9] tarafından önerilen LI değeri Eşitlik (1)'de verilmektedir.

$$\text{LI} = \int_0^{20} F(z)\, W(z) dz \tag{1}$$

Eşitlikte, F(z) değeri önem derecesini, W(z) = 10 – 0.5 z derinliğe bağlı ağırlık fonksiyonunu ifade etmektedir. LI' ya göre Sıvılaşma Potansiyeli Sönmez 2003 [10] tarafından önerildiği gibi kullanılmaktadır (Tablo 1).

Tablo 1. Sıvılaşma Potansiyeli Dereceleri [10]

Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi (LI)	***Sıvılaşma potansiyeli***
0	Sıvılaşma yok
0 < LI ≤ 2	Düşük derecede sıvılaşır
2 < LI ≤ 5	Orta derecede sıvılaşır
5 < LI ≤ 15	Yüksek derecede sıvılaşır
15 < LI	Çok yüksek derecede sıvılaşır

Her zemin katmanında gerçekleşebilecek sıvılaşmanın ciddiyetini ifade eden F(z) (önem derecesi), sayısal bir ifade olarak Emniyet Faktörüyle (EF) açıklanabilmektedir [11].

$$F(z) = \begin{cases} EF \geq 1.2 \quad , & \text{"sıvılaşma yok"} \\ 0.95 < EF < 1.2, & F(z) = 2 * 106 * e^{-18.427\, EF} \\ EF \leq 0.95 \quad , & F(z) = 1 - EF \end{cases} \tag{2}$$

Eşitlikte (2); EF, Devirsel Direnç Oranının (DDO), Devirsel Gerilme Oranına(DGO) bölünmesiyle elde edilmektedir (EF=DDO/DGO). Fiziksel olarak, zeminde deprem sırasında oluşan maksimum kayma gerilmesinin (DGO), zemin katmanı tarafından oluşan sıvılaşmaya karşı zeminin göstermiş olduğu kayma direnci (DDO) ile ne kadar karşılayabileceğinin bir ölçüsüdür. EF eşitliği 7.5 büyüklüğüne sahip depremleri için geliştirilmiştir, bu nedenle farklı deprem büyüklükleri için [11] tarafından (Magnitüd Düzeltme Faktörü) MDF geliştirilmiştir (Eşitlik (3)).

$$EF = \frac{(DDO)_{7.5}}{(DGO)} . MDF \tag{3}$$

Eşitlikteki DGO ve DDO, Eşitlik 4 ve 5'e göre elde edilmektedir.

$$DGO = 0.65 . \frac{a_{max}}{g} . \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} . r_d \quad [11] \tag{4}$$

Bu eşitlikte verilen a_{max}, zemin yüzeyindeki maksimum yatay yer ivmesini, σ_{v0} toplam düşey gerilmeyi, σ'_{v0} efektif düşey gerilmeyi, g yer çekimi ivmesini r_d ise derinliğe bağlı gerilme azaltma katsayısını ifade etmektedir [12].

DDO değeri, M=7,5 büyüklüğündeki depremler için Eşitlik (5)'e göre hesaplanmaktadır [1]. SPT' ye bağlı DDO'nun belirlenmesi için ham SPT üzerinde bir takım düzeltmeler yapmak gerekmektedir. Bu düzeltmeler Youd vd. 2001 [13]'in önerdiği ve dünyada kabul gören düzeltilmiş SPT-N $(N_1)_{60}$'e bağlı analizlere dayanmaktadır.

$$DDO = \frac{1}{34-(N_1)_{60}} + \frac{(N_1)_{60}}{135} + \frac{50}{(10\,(N_1)_{60}+45)^2} - \frac{1}{200} \quad (5)$$

2.2. Veri Tabanı Tasarımı

Günümüz bilim ve teknoloji imkânları gün geçtikçe gelişmektedir. Bu gelişmelere paralel olarak konumsal bilgiye olan ihtiyaç ise aynı oranda artmaktadır. Ancak konumsal veriyi her kurum ve kuruluş kendi maddi imkânları ile amaca uygun, ihtiyaçları doğrultusunda toplamaktadır. Ülkemizde veri toplama ile ilgili henüz standartlar tam olarak oluşmamış hangi kurumun hangi veriyi topladığı ise net bir şekilde belirlenememiştir. Bundan dolayı bir kurum topladığı bir veriyi başka kurum veya kuruluşlar da toplamaya çalışmaktadır. Bu durum ülke ekonomisine çok büyük zarar vermekte ayrıca zamansal açıdan ise büyük kayıplara sebep olmaktadır. Bundan dolayı toplanan verilerin bir düzen içerisinde ve birbirleriyle ilişkilendirilerek toplanması gerekmektedir. Böylece toplanan veri çok hızlı bir şekilde bilgiye dönüştürülebilmektedir. Bu verilerin düzenli ve bir standartta toplanması, ancak bir veri tabanı tasarımının yapılmasıyla mümkün olmaktadır.

Veri tabanı, verilerin düzenli şekilde depolandığı bir nesnedir. Ancak, veri tabanının temel amacı verileri depolamak değildir. Veri tabanlarını, veri depolama sistemlerinden ayıran en temel özellik, veriler üzerinde çeşitli kriterlere göre sorgulama yapılabilmesi ve bu şekilde yeni bilgilerin türetilebilmesidir [14]. CBS yazılımları artık tüm veri tiplerini, geometrik nesnelerin topolojik ilişkilerini, veri tabanı ortamında saklamakta ve öznitelik verileriyle doğrudan nesnelere bağlı olarak arşivleyebilmektedir [15].

Çalışma kapsamında sıvılaşma hesabının yapılması ve bunun CBS ortamında gösterilmesi için ArcGIS (Ver:10.0) kullanılmış ayrıca sondaj veri kümesi tasarlanmıştır [16] (Şekil 2). Tasarım Visio 2010 programı kullanılarak oluşturulmuştur.

Konumsal Nesne Sınıfları (Simple feature class) **Sondaj** — Geometri *Nokta*

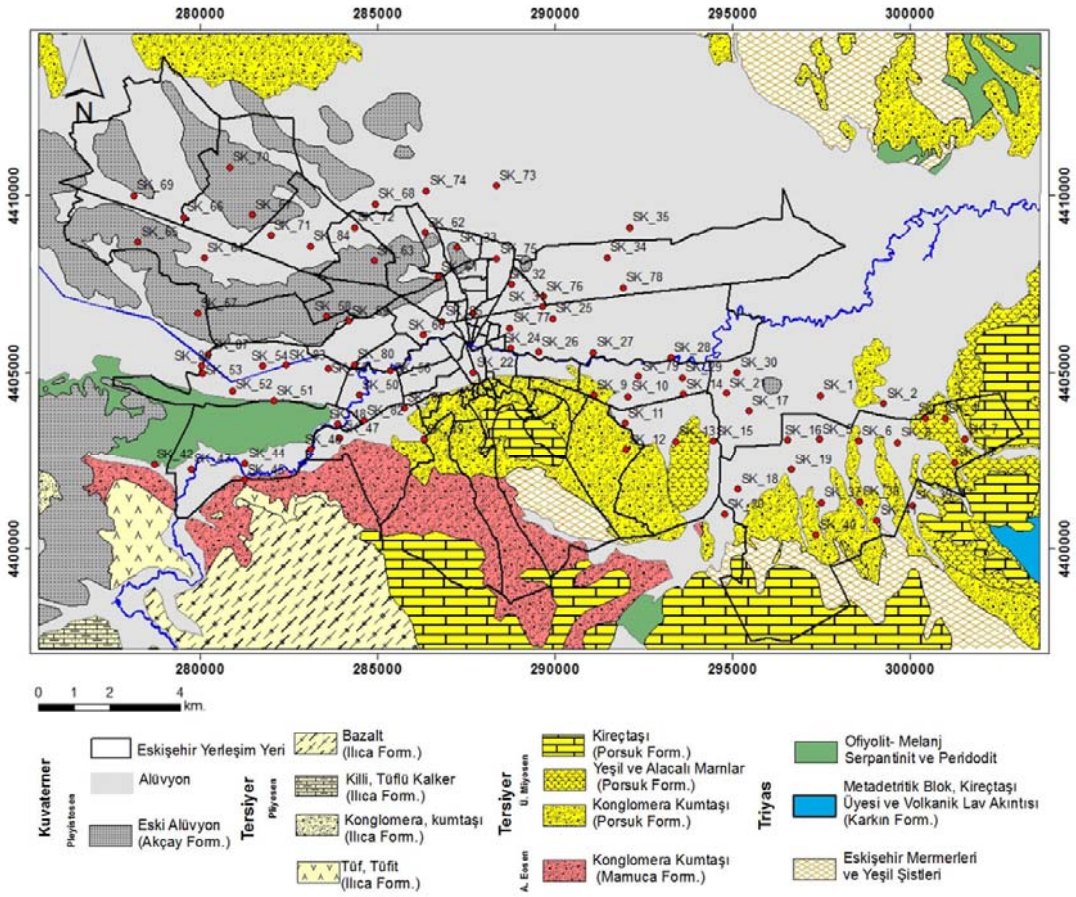
Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Prec-ision	Scale	Length
OBJECTID	OID						
Shape	Geometry	Yes					
XKoordinatı	Double	Yes			2	0	
YKoordinatı	Double	Yes			2	0	
ZKoordinatı	Double	Yes			2	0	
KuyuNo	String	Yes					5
KuyuDerinliği	Double	Yes			2	0	
YASS	Double	Yes			2	0	
ZeminSınıfı	String	Yes					2
ZeminGrubu	String	Yes					2
SPTDerinliği	Double	Yes			2	0	
SPTSayısı	Double	Yes			2	0	
YapımYılı	Date	Yes			0	0	8
AdaID	String	Yes					10
PaftaID	String	Yes					10
ParselID	String	Yes					10

Şekil 2. Tasarlanan sondaj veri kümesi [16].

3. VERİ

20 Şubat 1956 yılında Eskişehir'de meydana gelen deprem, M=6,4 büyüklüğü ile bu yüzyılın Eskişehir için en büyük depremidir [3]. Bu yüzden yapılan çalışmada, analizler yapılırken deprem büyüklüğü olarak M=6,4 kullanılmıştır. Eskişehir'in 2. deprem bölgesi olması dolayısıyla, "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik"te verilen deprem bölgelerine karşılık gelen ivme değerleri tablosundan Etkin Yer İvme Katsayısı A_0'a göre belirlenmektedir [17]. Analizler yapılırken yönetmelikten belirlenen 2. Derece deprem bölgesine karşılık gelen A_0 değeri, (a_{max} ivme değeri) 0,3 g, kullanılmıştır.

Eskişehir kent merkezinde yapılmış olan 87 adet sondajın verileri 2 ayrı projeden elde edilmiştir (Şekil 3). 72 adet sondaj verisi T.C. Başbakanlığı tarafından desteklenen "Afet Zararlarını Azaltmak İçin Mikrobölgeleme ve Hasar Risk Çalışmaları" adlı projesi kapsamında, 15 tanesi ise 080240 numaralı Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında yapılmıştır. Toplam 87 adet sondaj sıvılaşma analizleri açısından değerlendirilmiştir.



Şekil 3. Sondajların Eskişehir üzerindeki dağılımı

4. BULGULAR

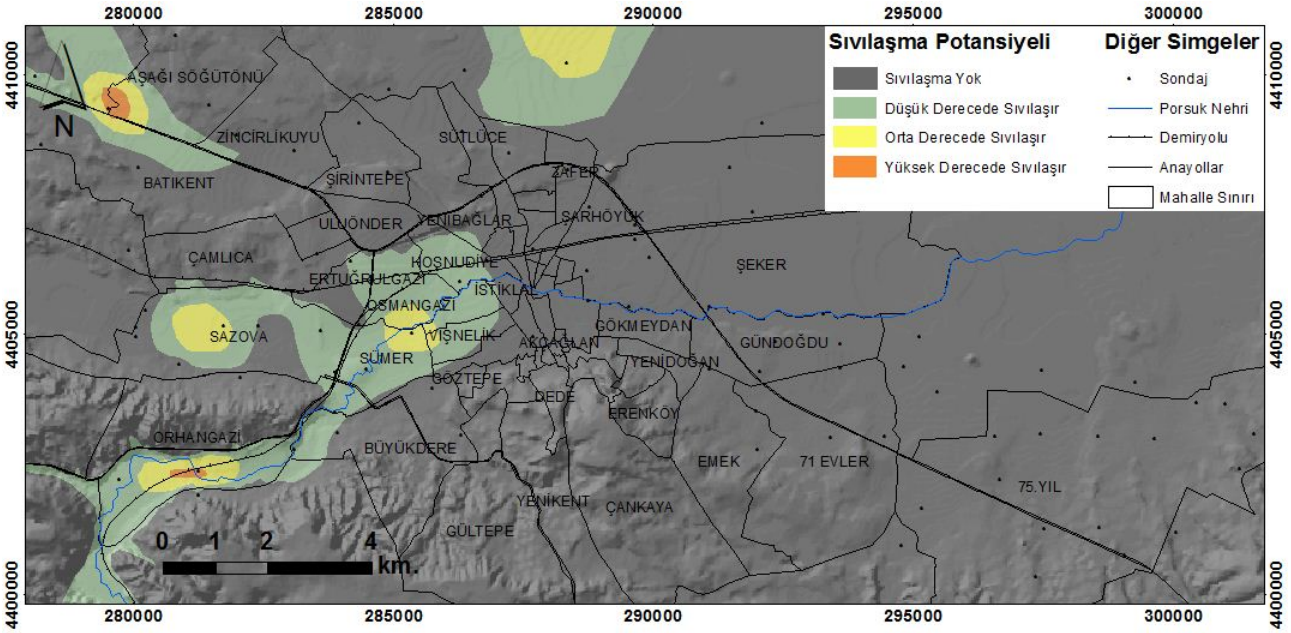
Deprem anında meydana gelen sıvılaşma, üst yapıda büyük hasarlara neden olabilecek bir zemin problemidir. Sıvılaşma kaynaklı hasarı minimuma indirgemek için, sıvılaşmanın olabileceği yerler önceden belirlenip zemin iyileştirme metotlarının uygulanması gerekmektedir. Analizler sonucunda her bir sondaj için 5, 10, 15 ve 20 m'lik derinlikler için toplam LI değerleri hesaplanmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. Sıvılaşma İndeks Değerleri

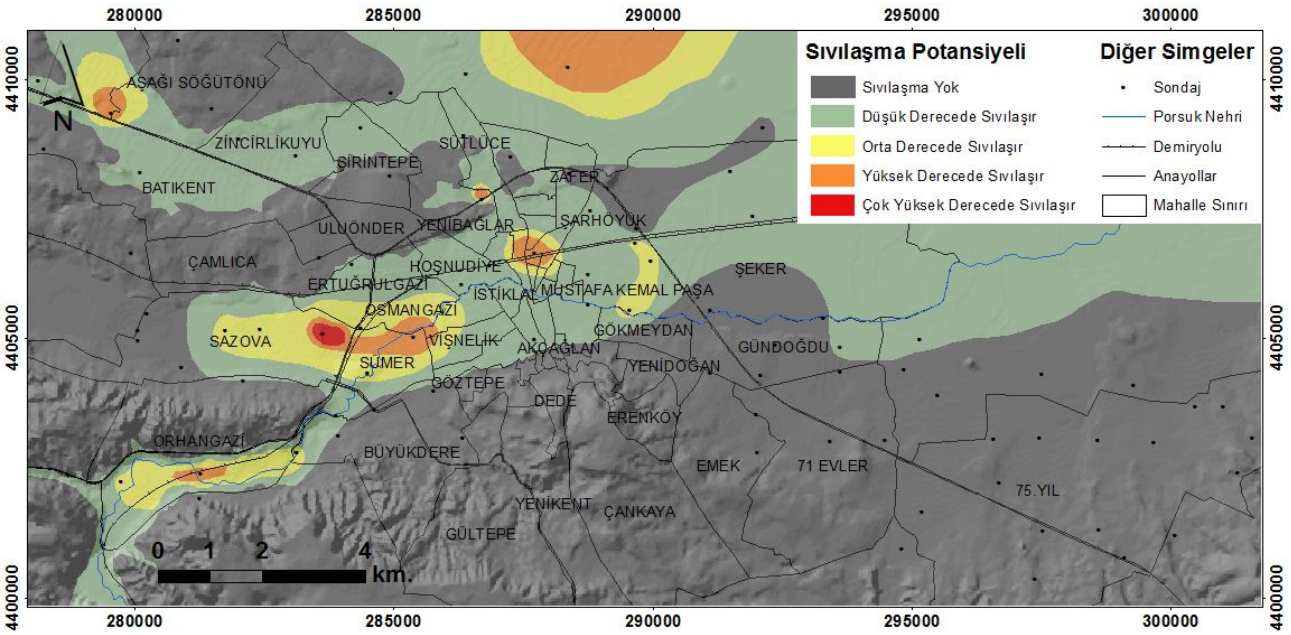
Sondaj	LI				Sondaj	LI			
	5 m	10 m	15 m	20 m		5 m	10 m	15 m	20 m
SK-1	0	0	0	0	SK-45	0	0	0	0
*SK-2	0	0.0244	0.0244	0.0244	*SK-46	1.276	2.252	2.252	2.252
SK-3	0	0	0	0	SK-47	0	0	0	0
SK-4	0	0	0	0	SK-48	1.575	1.575	1.575	1.575
*SK-5	1.546	1.568	1.595	1.595	SK-49	0	0	0	0
SK-6	0	0	0	0	*SK-50	0.137	2.558	2.558	2.558
SK-7	0	0	0	0	SK-51	0	0	0	0
SK-8	0	0	0	0	SK-52	0	0	0	0
SK-9	0	0	0	0	*SK-53	0	0	0.02	0.02
SK-10	0	0	0	0	*SK-54	4.455	4.67	7.303	7.303
SK-11	0	0	0	0	*SK-55	1.217	15.918	15.918	15.918
SK-12	0	0	0	0	*SK-56	3.862	9.195	9.195	9.195
SK-13	0	0	0	0	*SK-57	0	0	0.037	0.037
SK-14	0	0	0	0	SK-58	0	0	0	0
SK-15	0	0	0	0	SK-59	0.065	0.065	0.065	0.065
SK-16	0	0	0	0	SK-60	1.392	1.392	1.392	1.392
SK-17	0	0	0	0	*SK-61	0	9.81	12.109	12.109
SK-18	0	0	0	0	SK-62	0	0	0	0
SK-19	0	0	0	0	*SK-63	0	0.007	0.014	0.014
SK-20	0	0	0	0	SK-64	0	0	0	0
*SK-21	0	0	0.083	0.083	SK-65	0	0	0	0
*SK-22	0	0.449	0.449	0.449	*SK-66	5.044	9.971	9.971	9.971
*SK-23	0	5.973	7.232	7.232	SK-67	0	0	0	0
*SK-24	0	0.014	0.014	0.014	SK-68	0	0	0	0
*SK-25	0	2.911	2.92	2.92	*SK-69	0.118	0.225	0.225	0.225
*SK-26	0	3.504	3.504	3.504	SK-70	0	0	0	0
SK-27	0	0	0	0	*SK-71	0	1.533	1.533	1.533
*SK-28	0	0	0.254	0.254	*SK-72	0	0.964	0.964	0.964
*SK-29	0	0.859	1.889	1.889	*SK-73	2.701	9.6	9.66	9.757
*SK-30	0	0.253	0.552	0.563	*SK-74	0	1.237	2.71	3.311
*SK-31	0	3.251	3.251	3.251	*SK-75	0	0	0.309	0.309
*SK-32	0	0.734	0.734	0.734	*SK-76	0	0	0	2.579
SK-33	0	0	0	0	*SK-77	0	0.02	0.042	0.042
*SK-34	0	1.603	1.603	1.603	*SK-78	0	0.525	3.675	3.675
SK-35	0	0	0	0	*SK-79	0	0	0	0.04
SK-36	0	0	0	0	*SK-80	0	3.778	3.793	3.793
SK-37	0	0	0	0	SK-81	0	0	0	0
SK-38	0	0	0	0	SK-82	0	0	0	0
SK-39	0	0	0	0	*SK-83	0	3.385	10.799	10.799
SK-40	0	0	0	0	*SK-84	0	0.116	0.116	0.116
SK-41	0	0	0	0	*SK-85	0	0.589	3.964	3.964
SK-42	0	0	0	0	SK-86	0	0	0	0
*SK-43	1.042	3.759	3.759	3.759	*SK-87	0	0	0	0.018
*SK-44	7.801	13.54	16.642	16.642					

(Sıvılaşma analizinde derinliğe bağlı değişiklik gösteren sondajlar *'la işaretlenmiştir.)

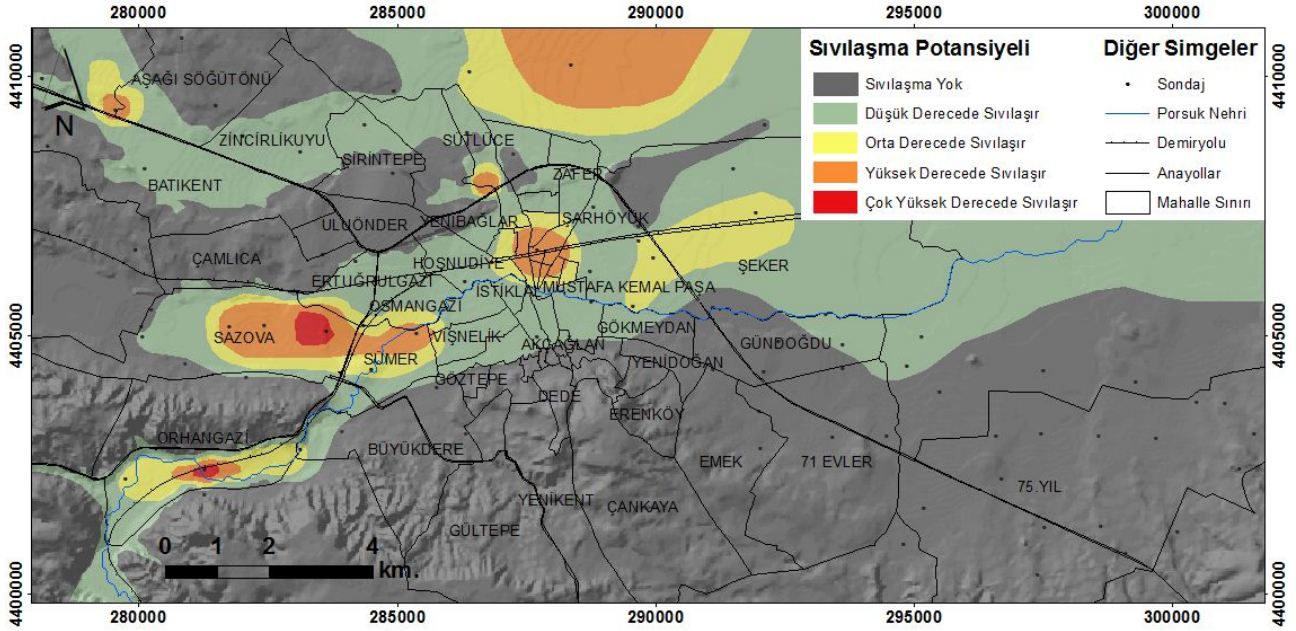
Sıvılaşma analizi için gerekli olan sondaj derinliği 20 m'dir [4]. Yapılan çalışma sonucunda 41 sondajın derinlik arttıkça sıvılaşma indeks değerinin arttığı, 38 sondajın ise sıvılaşma potansiyeli derecesinin değiştiği gözlenmektedir. Sonuç olarak; analiz derinliği arttıkça, sıvılaşan bölgelerde artış gözlenirken, sıvılaşma olmayan bölgelerin de azaldığı gözlemlenmiştir (Şekil 4-7). Bu durum yetersiz derinliğe sahip sondajlarla (parsel bazında yapılan sondajlar) yapılacak sıvılaşma analizlerinin gerçekte karşılaşılabilecek sıvılaşma derecesini belirleyemediğini göstermektedir. Eskişehir kent merkezinde parsel bazında yapılan sondajların genellikle 10 m olmasından dolayı, sıvılaşma analizleri de sadece 10 m derinlik için yapılabilmektedir. Bu çalışma kapsamında yapılan haritalardan (Şekil 4-7) görüldüğü üzere, 10 m ile 20 m için yapılan sıvılaşma analizleri arasında farklılıklar gözlenmektedir. Bu fark, bölgenin jeolojisi ile SPT değeri düşük kumlu siltli zeminlerin 10 m'den sonra da devamlılık göstermesidir. Dolayısı ile çalışma alanında derinlik arttıkça sıvılaşabilen alanlarda da artış meydana gelmektedir.



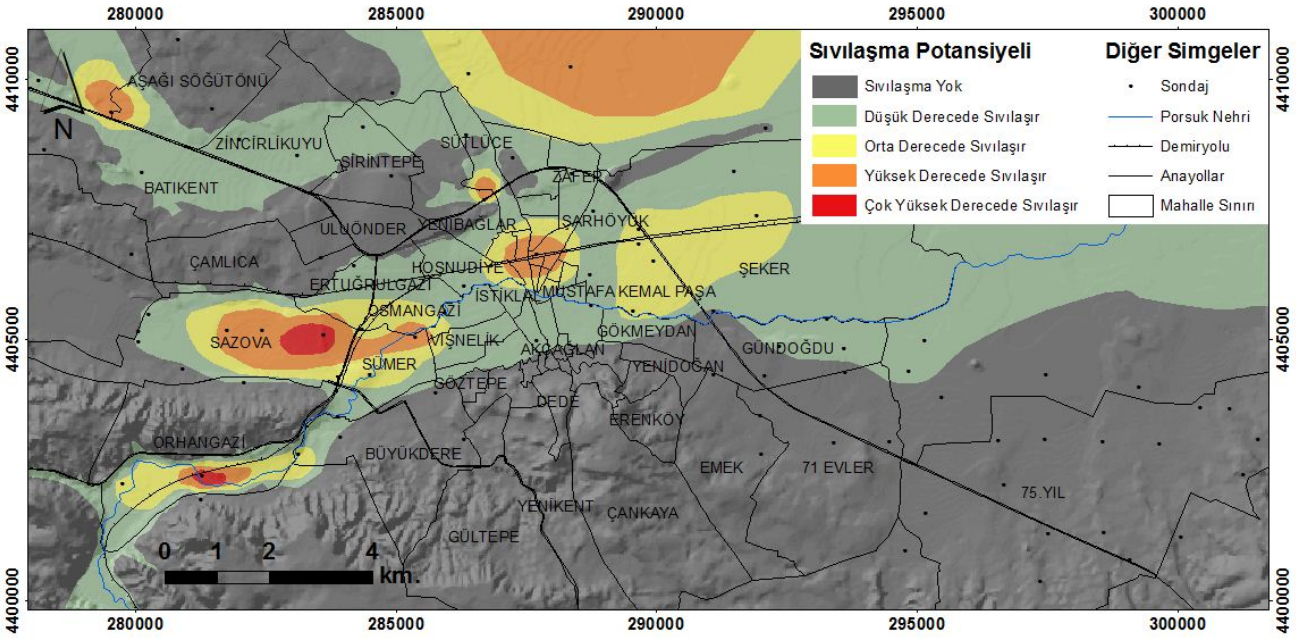
Şekil 4. 5 m Sondaj Derinliği İçin Yapılan Sıvılaşma Haritası



Şekil 5. 10 m Sondaj Derinliği İçin Yapılan Sıvılaşma Haritası



Şekil 6. 15 m Sondaj Derinliği İçin Yapılan Sıvılaşma Haritası



Şekil 7. 20 m Sondaj Derinliği İçin Yapılan Sıvılaşma Haritası

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışma sonucunda elde edilen haritaların sıvılaşma derecelerinin alansal değişimi incelenmiştir. 5 m derinlik için yapılan sıvılaşma analizinde, çok yüksek derecede sıvılaşabilen alan bulunmaz iken, 10 m derinlikte yapılan sıvılaşma analizinde 212 359 m^2, 15 m derinlik için yapılan sıvılaşma analizinde 512 172 m^2 ve 20 m derinlikte yapılan sıvılaşma analizi için ise 659 840 m^2'dir.

Sıvılaşma analizi için yapılan hesaplamaların kullanılabilmesi için, yönetmeliklerde ve literatürde de belirtildiği üzere sondaj kaya zemine ulaşmıyorsa en az 20 m derinlik için yapılması gerekmektedir. 10 m derinlik için edilen haritaya göre bazı bölgelerde sıvılaşmaya karşı zemin iyileştirmesi gerekmezken, aynı bölgeler için ise 20 m derinlik için yapılan haritada zemin iyileştirmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır

(Şekil 4-7). Eskişehir için yapılan bu çalışmada, parsel bazında yapılan 10 m'lik sondajların sıvılaşma analizi için yeterli olmadığı belirlenmiştir.

Bu çalışmada özellikle mekansal veri analizlerinde ve analiz sonuçlarının birbirleriyle karşılaştırılmasında, CBS'nin kullanılması ve sondaj veritabanı gibi veritabanlarının önemi görülmektedir. Ülkemizde özelikle afet riski altında bulunan alanlarda ve kentsel dönüşüm alanlarında bu tür analizlerin ve sondaj bilgilerinin veritabanlarında güncel bir şekilde kayıt altında olması büyük önem taşımaktadır. Benzer şekilde, Ulusal Deprem Stratejisi ve Eylem Planı 2012-2023'de "*Her yıkıcı deprem, gelecekteki depremlerin zararlarını en aza indirgemede kullanılabilecek çeşitli verileri de birlikte üretmiş, diğer bir ifadeyle doğal bir laboratuvar oluşturmuş, ancak bu veriler doğru, düzenli ve sistematik biçimde derlenip belgelenememiş ve herkesin kullanımına açık bir merkezde arşivlenememiştir. Bu nedenlerle, ulusal düzeyde bir "Deprem Bilgi Bankası"nın oluşturulması ve geliştirilmesine büyük ihtiyaç vardır"* denilmektedir. Yapılan çalışma sonucunda önerilen sondaj veri kümesi bu bilgi bankasının oluşturulmasında kullanılabilecek bir katman yapısında olduğu düşünülmektedir.

6. TEŞEKKÜRLER

Bu çalışma Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonunca kabul edilen 080240 ve 1105F095 nolu projeler kapsamında desteklenmiştir

7. KAYNAKLAR

1. Mollamahmutoğlu, M. ve Babuşcu, F., 2006. "Zeminlerde Sıvılaşma Analiz ve İyileştirme Yöntemleri", Gazi Kitapevi, Ankara.
2. Erken, A., Özay R., Kaya Z., Ülker M. B. Can., Elibol B., 2004, "Depremler Sırasında Zeminlerin Sıvılaşması ve Taşıma Gücü Kayıpları
3. Altunel, E., Barka, A., Ağustos 1998, "Eskişehir Fay Zonunun İnönü-Sultandere Arasında Neotektonik Aktivitesi", Türkiye Jeoloji Bülteni, Cilt:41, No:2, 41-52
4. T. C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Yapı İşleri Genel Müdürlüğü, 2005, "Bina ve Bina Türü Yapılar İçin Zemin ve Temel Etüdü Genel Formatı", Ankara
5. Akdeniz E., Mutlu S., Güney Y., Özdemir V., "Zemin Etüt Raporlarının Esaslara Uygunluğunun Değerlendirilmesi: Eskişehir Örneği" Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi 2012, 8(2) 26-37
6. Tokay, F. ve Altunel, E., 2005. Eskişehir fay zonunun İnönü-Dodurga çevresinde neotektonik özellikleri. MTA Dergisi 130/1-16.
7. Orhan, A., 2005, Eskişehir İl Merkezi Güney Bölümü Temel Zemin Birimlerinin Jeo-Mühendislik Özellikleri ve Coğrafi Bilgi Sisteminin Uygulanması, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir
8. Iwasaki, T., Tokida, K., Tatsuko, F., and Yasuda, S., 1978, A practical method for assessing soil liquefaction potential based on case studies at various site in Japan, in 2nd International Conference on Microzonation, San Francisco, p. 885-896.
9. Iwasaki, T., Tokida, K., Tatsuoka, F., Watanabe, S., Yasuda, S., and Sato, H., 1982, Microzonation for soil liquefaction potential using simplified methods, in Proceedings 3rd International Conference on Microzonation, Seattle, USA, p. 1319-1330.
10. Sonmez, H., 2003, Modification of the liquefaction potential index and liquefaction susceptibility mapping for a liquefaction-prone area (Inegol, Turkey): Environmental Geology, v. 44, no. 7, p. 862-871
11. Seed, H.B., Tokimatsu L.F., Harder, L.F., and Chung, R.M, 1985, Influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations: Journal of Geotechnical Engineering, v. 111, no. 12, p. 1425-1445.

12. Seed, H.B., and ldriss, I.M., 1971, Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential: Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, v. 97, p. 1249-1273.
13. Youd, T.L., Idriss, I.M., Andrus, R.D., Arango, I., Castro, G., Christian, J.T., Dobry, R., Finn, W.D.L., Harder, L.F., Hynes, M.E., Ishihara, K., Koester, J.P., Liao, S.S.C., Marcuson, W.F., Martin, G.R., Mitchell, J.K., Moriwaki, Y., Power, M.S., Robertson, .K., Seed, R.B., and Stokoe, K.H., 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, v. 127, no. 10, p. 817-833.
14. Şenel, G., H., (2010). Veritabanı Uygulamaları, Anadolu Üniversitesi Açık Öğretim Fakültesi Yayını, Eskişehir.
15. Uyguçgil, H., (2010). Harita Bilgisi ve Coğrafi Bilgi Sistemlerine Giriş, Anadolu Üniversitesi Açık Öğretim Fakültesi Yayını, Eskişehir.
16. Avdan, U., (2011). "Yerel Sismik Ağ ve Mikrobölgeleme Verilerine Dayalı Afet (Deprem) Bilgi Sistemi İçin Bir Veri Tabanı Analiz ve Tasarımı (Eskişehir İli Örneğinde)". Yıldız Teknik Üniversitesi.
17. T. C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, 2007, “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik”, Deprem Araştırma Dairesi, http://www.deprem.gov.tr.