

Kırıkkale İli Bahçelievler ve Fabrikalar Mahallelerinin Sıvılaşma Potansiyelinin Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Analizi

Y. Bülent SÖNMEZER, Murat ÇELİKER ve Mustafa Y. KILINÇ

Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale 71450, Türkiye
Devlet Su İşleri 9. Bölge Müdürlüğü, Elazığ, 23069, Türkiye

Gazikent Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dekanlığı, Gaziantep, Türkiye

Tel:+90 318 357 42 42/1257, Fax: +90 318 357 24 59, ybsonmezer@gmail.com, murat.celiker@dsi.gov.tr, mykilic@gazikent.edu.tr

Özet— Bu çalışmada Kırıkkale İli Bahçelievler ve Fabrikalar mahallelerinin zemin parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla yapılan sondajlarda, arazi deneyleri ve laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veri parametreleri ile yeraltı suyu seviyesi ve sıvılaşma haritaları Coğrafi Bilgi Sistemlerinde oluşturulmuştur. Bu haritalar, bu bölgedeki inşaat plan ve proje çalışmaları için önemlidir.

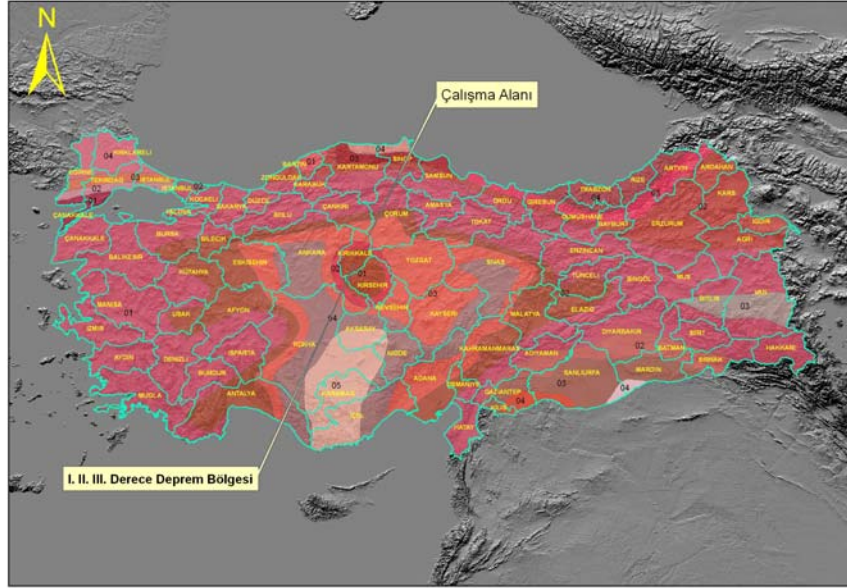
Anahtar Kelimeler: Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), Standard Penetrasyon Deneyi (SPT), Sıvılaşma

Abstract— This study aimed at determining the soil parameters in Bahçelievler and Fabrikalar neighborhoods in Kırıkkale province. Soundings, in-situ tests, and laboratory experiments were carried out for this purpose. Geographic Information Systems (GIS) maps of groundwater level, and liquefaction were established with the help of the acquired data parameters. The maps in this region are important for the construction plans and projects.

I. GİRİŞ

Bu çalışmada, Kırıkkale İli Bahçelievler ve Fabrikalar mahallelerinin zemin parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Bahçelievler mahallesinde 10, Fabrikalar mahallesinde 11 adet olmak üzere, toplam 21 adet temel sondaj verisi üzerinde ProsiVı programı kullanarak, bu bölgelerde sıvılaşma riski değerlendirilmiştir. Veri toplama çalışmaları, arazi ve laboratuvar çalışmaları şeklinde yapılmıştır. Arazi çalışmaları, statik su seviyesinin tespiti ile zemin sıklık durumunun

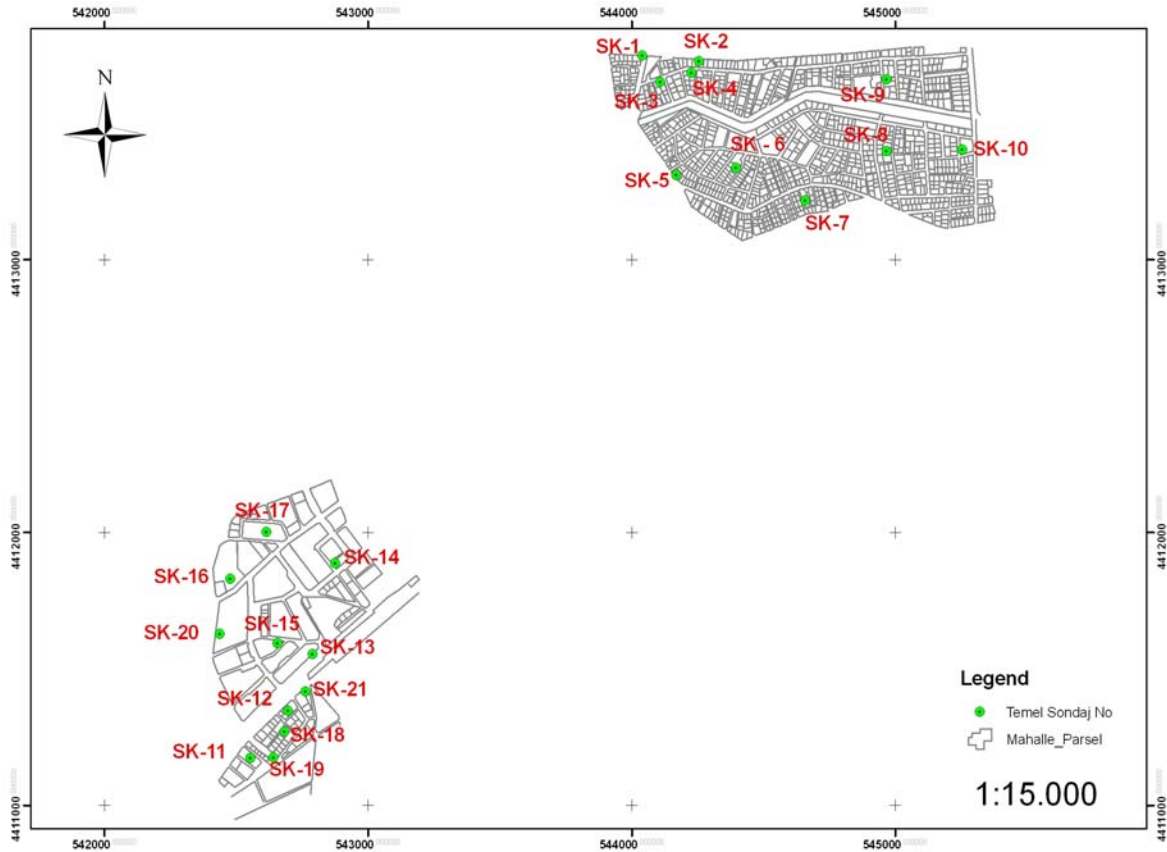
belirlenmesine yönelik Standart Penetrasyon Deneyinin (SPT) yapılması şeklinde olmuştur. Laboratuvar deneyleri kapsamında, Su Muhtevası (w), Likit Limit (LL), Plastik Limit (PL), Doğal birim hacim ağırlığı ve elek analizi deneyleri yapılmıştır. Elde edilen veri parametreleri, Coğrafi Bilgi Sistemlerinde analiz edilerek, yeraltı suyu seviyesi ve sıvılaşma haritaları oluşturulmuştur. Bu haritalar, bu bölgedeki inşaatların proje çalışmalarının yönlendirilmesinde önem arz edecektir. Çalışma materyalini oluşturan Bahçelievler ve Fabrikalar mahalleleri 1/5000 ölçekli 20 L 4c paftası içerisinde yer alır. İnceleme alanının tamamı imar planı içerisinde bulunmaktadır. Çalışma alanında heyelan, kaya düşmesi, su baskını, gibi doğal afetler gözlenmemektedir. Yapılan gözlem ve deney sonucunda elde edilen veriler, Coğrafi Bilgi sisteminde veri tabanı olarak girilmiştir. Arcgis 9.2 programı analiz araçları kullanılarak, mevcut ve geliştirilen senaryolar haritalanmıştır.



Şekil 1. Türkiye deprem bölgeleri haritası

II SONDAJ ARAŞTIRMALARI VE ARAZİ DENEYLERİ

Bölgede özel bir firma tarafından jeoteknik etüt amacı ile Bahçelievler mahallesinde 10, Fabrikalar mahallesinde 11 adet olmak üzere toplam 21 adet sondaj yapılmıştır ve şekil 2’de lokasyonları gösterilmiştir. Etüt sahasında yapılan sondajlarda, Standart Penetrasyon Deneyleri(SPT) yapılmış ve sonuçları tablo 1’de gösterilmiştir

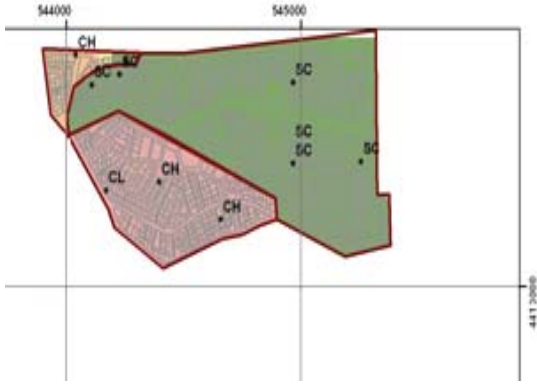


Şekil 2. Temel Sondaj Lokasyonları

SONDAJ NO	NUMUNE NO	DENEY SEVİYESİ	N-DARBE SAYISI				YERALTISU SEVİYESİ (m)	SONDAJ NO	NUMUNE NO	DENEY SEVİYESİ	N-DARBE SAYISI				YERALTISU SEVİYESİ (m)
			N1	N2	N3	N30					N1	N2	N3	N30	
SK-1	SPT1	3,00 – 3,45	3	3	7	10	2,5	SK-12	UD	4,50 – 5,00					
SK-1	UD	6,00 – 6,50	-	-	-	-		SK-12	SPT3	6,00 – 6,45	15	19	21	40	
SK-1	SPT2	8,00 – 8,45	4	6	8	14		SK-12	SPT4	7,50 – 7,95	12	14	16	30	
SK-1	SPT3	15,00 15,45	4	5	7	12		SK-12	SPT5	9,00 – 9,45	10	50	-	-	
SK-2	SPT1	4,50 – 4,95	5	5	4	9	6,5	SK-13	SPT1	1,50 – 1,95	10	13	19	32	4
SK-2	UD	7,50 – 8,00	-	-	-	-		SK-13	SPT2	3,00 – 3,45	13	17	21	38	
SK-2	SPT2	13,00 13,45	10	13	17	30		SK-13	SPT3	4,50 – 4,95	11	13	16	29	
SK-2	SPT3	18,00 18,45	15	19	23	42		SK-13	UD	5,00 – 5,50	-	-	-	-	
SK-3	SPT1	3,00 – 3,45	5	6	8	14	3,5	SK-13	SPT4	6,00 – 6,45	14	16	18	34	
SK-3	UD	4,50 – 4,95	-	-	-	-		SK-13	SPT5	7,50 – 7,95	22	23	26	49	
SK-3	SPT2	6,00 – 6,45	6	8	9	17		SK-13	SPT6	9,00 – 9,45	30	50	-	-	
SK-3	SPT3	7,50 – 7,95	5	6	7	13		SK-14	SPT1	1,50 – 1,95	10	11	13	24	4
SK-3	SPT4	9,00 – 9,45	7	8	7	15		SK-14	SPT2	3,00 – 3,45	13	15	17	32	
SK-4	SPT1	3,00 – 3,45	5	7	8	15	3,5	SK-14	SPT3	4,50 – 4,95	9	10	11	21	
SK-4	UD	4,50 – 4,95	-	-	-	-		SK-14	SPT4	6,00 – 6,45	8	9	11	20	
SK-4	SPT2	6,00 – 6,45	6	6	7	13		SK-14	SPT5	7,50 – 7,95	6	7	9	16	
SK-4	SPT3	7,50 – 7,95	8	9	10	19		SK-14	SPT6	9,00 – 9,45	12	13	15	28	
SK-4	SPT4	9,00 – 9,45	9	10	8	18		SK-15	SPT1	1,50 – 1,95	11	13	16	29	5
SK-5	UD	3,00 – 3,50	-	-	-	-	2	SK-15	SPT2	3,00 – 3,45	17	19	21	40	
SK-5	SPT1	4,50 – 4,95	5	6	6	12		SK-15	SPT3	4,50 – 4,95	30	50	-	-	
SK-5	SPT2	6,00 – 6,45	7	8	7	15		SK-15	UD	5,00 – 5,50	-	-	-	-	
SK-5	SPT2	7,50 – 7,95	9	12	10	22		SK-15	SPT4	6,00 – 6,45	30	50	-	-	
SK-5	SPT2	9,00 – 9,45	10	10	11	21		SK-15	SPT5	7,50 – 7,95	36	40	50	-	
SK-6	SPT1	3,50 – 3,95	6	9	14	23		SK-15	SPT6	9,00 – 9,45	46	50	-	-	
SK-6	UD	4,50 – 5,00	-	-	-	-		SK-16	SPT1	1,50 – 1,95	6	6	10	16	
SK-6	SPT2	6,00 – 6,45	8	8	10	18		SK-16	SPT2	3,00 – 3,45	11	13	17	30	
SK-6	SPT3	7,50 – 7,95	7	9	8	17		SK-16	SPT3	6,00 – 6,45	14	15	17	32	
SK-6	SPT4	9,00 – 9,45	6	7	7	14		SK-16	UD	7,50 – 8,00	-	-	-	-	
SK-7	SPT1	3,50 – 3,95	9	9	10	19		SK-16	SPT4	9,00 – 9,45	29	31	35	-	
SK-7	UD	4,50 – 5,00	-	-	-	-		SK-17	SPT1	1,50 – 1,95	4	7	11	18	
SK-7	SPT2	6,00 – 6,45	7	8	10	18		SK-17	SPT2	3,00 – 3,45	10	13	14	27	
SK-7	SPT3	7,50 – 7,95	11	12	15	27		SK-17	SPT3	6,00 – 6,45	12	17	21	38	
SK-7	SPT4	9,00 – 9,45	8	8	10	18		SK-17	UD	7,50 – 8,00	-	-	-	-	
SK-8	SPT1	3,00 – 3,45	5	8	9	17	2,5	SK-17	SPT4	9,00 – 9,45	20	23	23	46	
SK-8	UD	4,50 – 5,00	-	-	-	-		SK-18	SPT1	3,00 – 3,95	6	8	9	17	3
SK-8	SPT2	6,00 – 6,45	7	7	6	13		SK-18	UD	4,50 – 4,95	-	-	-	-	
SK-8	SPT3	7,50 – 7,95	9	7	8	15		SK-18	SPT2	6,00 – 6,45	5	5	6	11	
SK-8	SPT4	9,00 – 9,45	9	9	9	18		SK-18	SPT3	7,50 – 7,95	6	5	7	12	
SK-9	SPT1	3,00 – 3,45	7	9	10	19	3	SK-18	SPT4	9,00 – 9,45	7	9	9	18	
SK-9	UD	4,50 – 5,00	-	-	-	-		SK-19	SPT1	3,00 – 3,95	5	5	8	13	3
SK-9	SPT2	6,00 – 6,45	5	6	8	14		SK-19	UD	4,50 – 4,95	-	-	-	-	
SK-9	SPT3	7,50 – 7,95	6	8	10	18		SK-19	SPT2	6,00 – 6,45	5	6	7	13	
SK-9	SPT4	9,00 – 9,45	10	11	10	18		SK-19	SPT3	7,50 – 7,95	6	8	9	17	
SK-10	SPT1	3,00 – 3,45	7	9	11	20	3,2	SK-19	SPT4	9,00 – 9,45	6	8	7	15	
SK-10	UD	4,50 – 5,00	-	-	-	-		SK-20	SPT1	3,00 – 3,45	7	8	11	19	3,5
SK-10	SPT2	6,00 – 6,45	7	8	10	18		SK-20	UD	4,50 – 4,95	-	-	-	-	
SK-10	SPT3	7,50 – 7,95	8	11	12	23		SK-20	SPT2	6,00 – 6,45	6	8	9	17	
SK-10	SPT4	9,00 – 9,45	8	9	7	18		SK-20	SPT3	7,50 – 7,95	8	9	10	19	
SK-11	SPT1	1,50 – 1,95	12	19	23	42	5	SK-20	SPT4	9,00 – 9,45	8	10	11	21	3
SK-11	SPT2	3,00 – 3,45	14	18	35	-		SK-21	SPT1	3,00 – 3,45	6	10	10	20	
SK-11	UD	4,50 – 4,95	-	-	-	-		SK-21	UD	4,50 – 4,95	-	-	-	-	
SK-11	SPT3	7,50 – 7,95	30	50	-	-		SK-21	SPT2	6,00 – 6,45	7	7	9	16	
SK-11	SPT4	9,00 – 9,45	21	42	50	-		SK-21	SPT3	7,50 – 7,95	9	10	12	22	
SK-12	SPT1	1,50 – 1,95	10	12	15	27	4,5	SK-21	SPT4	9,00 – 9,45	10	10	11	21	
SK-12	SPT2	3,00 – 3,45	13	15	20	35									

Tablo 1. SPT sonuçları

Sahadan elde edilen numuneler üzerinde yapılan elek analizi sonucunda belirlenen zemin türleri, kumlu – çakıllı seviyeler (SC) ile killi seviyeler (CH,CL) şekil 3a ve 3b’de haritalanmıştır..

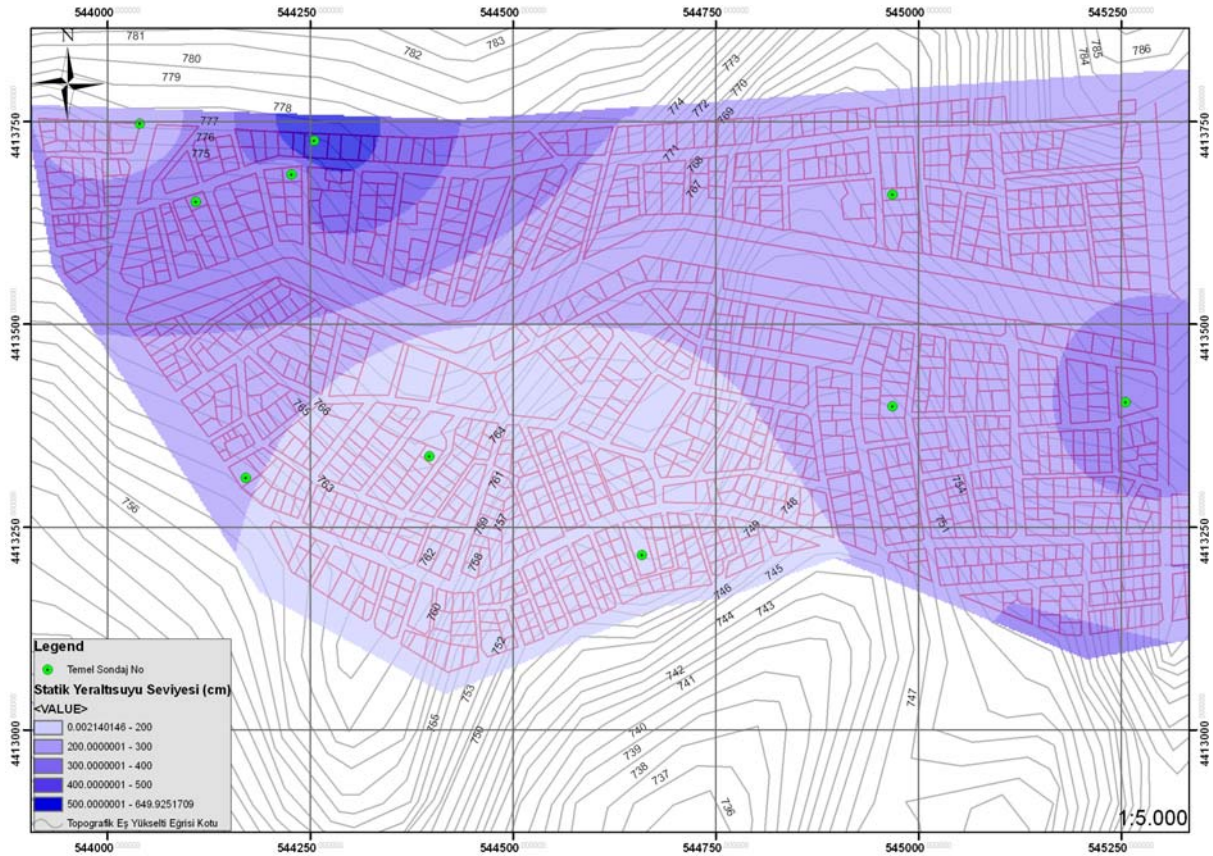


Şekil 3a. Bahçelievler mahallesi zemin cinsi

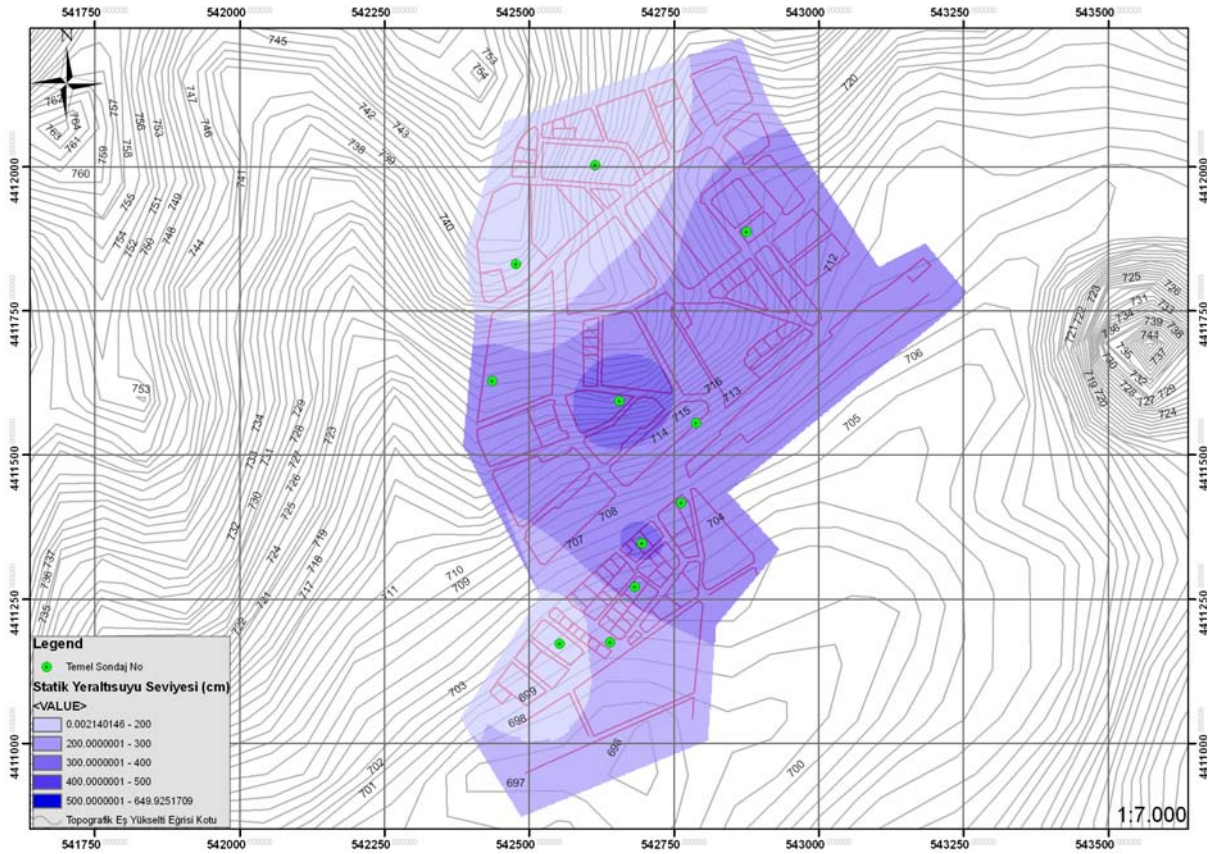
Ayrıca sahada yapılan sondajlarda yer altı su seviyesi belirlenmiş ve şekil 4a ve 4b de eş - su tablası haritaları oluşturulmuştur. Oluşturulan bu haritalar, parsel içerisinde yapılacak inşaat kazısı sırasında su derinliğini bize vermesi nedeni ile önemli bir parametre olacaktır.



Şekil 3b. Fabrikalar mahallesi zemin cinsi



Şekil 4a. Bahçelievler mahallesi eş-su tablası haritası



Şekil 4b. Fabrikalar mahallesi eş-su tablası haritası

III. DEVRİSEL GERİLME YAKLAŞIMI İLE SIVILAŞMA ANALİZİ

1960'lı ve 1970'li yıllarda H. B. Seed ve meslektaşları tarafından California üniversitesinde yapılan çalışmalar, sivilaşma olayının anlaşılmasında büyük rol oynamıştır. Bu çalışmalar genellikle sivilaşmayı tetikleyen yüklem koşullarının tespitine yönelik çalışmalardır. Sivilaşmayı tetikleyen yüklem koşulları, devirsel kayma gerilmeleri olarak tanımlanmış ve sivilaşma potansiyeli, deprem anında meydana gelen kayma gerilmelerinin devir sayısı büyüklüğü temel alınarak belirlenmiştir. Kum kaynaması, yüzey çatlakları veya yanal yayılma görülen zeminlerde sivilaşmanın oluştuğu kabul edilerek toplanan veriler, çoğunlukla düz yüzeyli ve sığ derinliklerdeki (<15 m) alüvyon ve nehir sedimentlerinden alınmıştır. Orijinal yöntem bu arazi şartları için geliştirilmiş olup, sadece bu şartlarda uygulanabilir.

Seed ve Idriss yöntemi zeminlerin sivilaşma dirençlerinin belirlenmesi için iki değişkenin hesaplanmasını veya tahmin edilmesini gerektirir bunlar;

- Zemin tabakasındaki sismik talebi ifade eden devirsel gerilme oranı, CSR(Cyclic Stres Ratio)

- Zeminin sivilaşmaya karşı direncini gösteren devirsel direnç oranı, CRR(Cylic Resistant Ratio)⁽¹⁾

A. Sivilaşma başlangıcının belirlenmesi

Sivilaşma deprem nedeniyle oluşan yüklerin, sivilaşma direncini aştığı derinliklerde oluşur. Bu ifade, bir emniyet faktörü cinsinden aşağıdaki şekilde açıklanabilir.

$$EF = CRR / CSR$$

Burada,

CSR = deprem nedeniyle oluşan devirsel gerilme oranı

CRR = devirsel direnç oranı

EF = emniyet faktörüdür.

Emniyet faktörünün 1'den küçük olduğu derinliklerde, sivilaşmanın oluştuğu kabul edilmektedir⁽²⁾.

CRR'yu hesaplamak için verilen eğriler ve denklemler sadece Magnitüd (M)=7,5 büyüklüğündeki depremler için elde edilmişlerdir. Eğrilerin ve denklemlerin farklı deprem büyüklüklerinde de kullanılabilmesi için hesaplanan CRR'ların M= 7,5 büyüklüğündeki depremlere

göre düzeltilmesi gerekmektedir. Bunun için magnitüd düzeltme faktörleri kullanılmaktadır⁽³⁾.

$$EF = (CRR / CSR) MSF$$

Burada;

MSF: Magnitüd düzeltme faktörüdür.

$$MSF = 10^{2,24} / M^{2,56}$$

Burada; M söz konusu deprem büyüklüğüdür.

$$CSR = 0,65 (a_{max} / g) (\sigma_{v0} / \sigma'_{v0}) r_d$$

a_{max} = Zemin yüzeyindeki maksimum yatay yer ivmesi(m/s²)

$$g = \text{Yerçekimi ivmesi(m/s}^2\text{)}$$

$$\sigma_{v0} = \text{Toplam Düşey zemingerilmesi(kPa)}$$

$$\sigma'_{v0} = \text{Etkin düşey zemin gerilmesi(kPa)}$$

r_d = Gerilme azaltma katsayısı Burada r_d Youd vd⁽¹⁾.

tarafından aşağıdaki eşitlikle ifade edilmiştir.

$$r_d = \frac{1,000 - 0,4113z^{0,5} + 0,04052z + 0,001753z^{1,5}}{1,000 - 0,4177z^{0,5} + 0,05729z - 0,006205z^{1,5} + 0,001210z^2}$$

Burada, z metre cinsinden derinliktir.

$$CRR = \frac{1}{34 - (N_1)_{60CS}} + \frac{(N_1)_{60CS}}{135} + \frac{50}{(10(N_1)_{60CS} + 45)^2} - \frac{1}{200}$$

$(N_1)_{60}$: SPT deneyini etkileyen tüm faktörler dikkate alınarak düzeltilmiş darbe sayısı

$$(N_1)_{60} = N C_N C_E C_B C_R C_S$$

Burada;

N:ölçülen SPT darbe sayısı

C_N :üst tabaka yükü düzeltmesi

$$C_N = 2,2 / (1,2 + \sigma'_{v0} / Pa)$$

Pa: yaklaşık 100 kPa değerindeki referans gerilme

σ'_{v0} :SPT yapılan derinlikteki düşey etkin gerilme

C_E : şahmerdan enerji oranı

$$C_E = ER / \%60$$

ER:şahmerdan enerji verim oranı(burada % 45)

C_B : kuyu çapı düzeltme katsayısı

C_B kuyu çapının standarttan (65 mm-115 mm) farklı olması halinde uygulanan düzeltme katsayısıdır (burada $C_B=1$)

C_R :tij boyuna göre 0,75-1 arasında değişen düzeltme katsayısı burada (burada 0,8)

C_S : kılıfsız numune alıcı için düzeltme katsayısı ($1,1 \leq C_S \leq 1,3$)

Bu denklem $(N_1)_{60}$ değerinin 30'dan küçük olduğu durumlar için geçerlidir. Ayrıca araştırmacılar % 5'ten fazla ince tane içeren iri taneli zeminlerde ince tane düzeltmesinin yapılmasının gerektiğini belirtmişler ve buna göre denklemlerde $(N_1)_{60}$ değeri yerine $(N_1)_{60CS}$ değerinin alınması gerektiğini bildirmişlerdir. Burada;

$(N_1)_{60CS}$:ince tane içeriğine göre düzeltilmiş SPT sayısı

$$(N_1)_{60CS} = \alpha + \beta (N_1)_{60}$$

$$\alpha = 0 \quad ; \quad \dot{I}DO \leq \% 5$$

$$\alpha = \exp(1,76 - (190 - \dot{I}DO)^2) \quad ; \quad \%5 < \dot{I}DO < \%35$$

$$\alpha = 5 \quad ; \quad \dot{I}DO \geq \%35$$

$$\beta = 1 \quad ; \quad \dot{I}DO \leq \% 5$$

$$\beta = (0,99 + (\dot{I}DO^{1,5} / 1000)) \quad ; \quad \%5 < \dot{I}DO < \%35$$

$$\beta = 1,2 \quad ; \quad \dot{I}DO \geq \%35$$

B. Sıvılaşma analizi için işlem adımları

1. $(N_1)_{60} = N C_N C_E C_B C_R C_S$ belirlenir

2. $CSR = \tau_{ort} / \sigma'_{v0} = 0,65 (a_{max} / g) (\tau_{ort} / \sigma'_{v0}) r_d$ tespit edilir.

3. $(N_1)_{60tk} = \alpha + \beta (N_1)_{60}$ belirlenir.

4. $CRR = 1 / (34 - (N_1)_{60CS}) + (N_1)_{60CS} / 135 + 50 / (10 * (N_1)_{60CS} + 45)^2 - 1 / 200$

hesaplanır.

5. $MSF = 10^{2,24} / M^{2,56}$ tespit edilir.

6. $EF = (CRR / CSR) MSF$ hesaplanır.

7. Gereken yorumlar yapılır.

$EF \leq 1$ için sıvılaşma riski vardır.

$EF > 1$ için sıvılaşma riski yoktur.

Prof. Dr. Murat MOLLAMAHMUTOĞLU ve İnş. Y. Müh. Fatih BABUÇCU⁽⁴⁾ tarafından geliştirilen PROSIVI programı kullanılarak sondaj lokasyonlarının sıvılaşma analizleri yapılmış ve Sk-

3, Sk-4, Sk-8, Sk-9, Sk-10, Sk-18, S-19, Sk-20, Sk-21 nolu temel sondajlarda sıvılaşma olacağı belirlenmiştir. Bu lokasyonlarda, 3m, 6m, ve 7,5m derinliğinde, deprem magnitüdü, 4,5,6 şiddetine göre senaryolar geliştirilerek bu metrelerdeki emniyet faktörleri(EF) belirlenmiştir (Tablo 2)

Geliştirilen senaryoya göre, tüm lokasyonlarda sıvılaşma görülmekle birlikte, 3m derinlikte magnitüd 4, 5, 6 şiddetindeki senaryolarda sk-3, sk-4, sk-10, sk-20 lokasyonlarında yeraltısu seviyesinin 3m'den daha derinde olması sebebiyle program tarafından sıvılaşma analizi yapılmamıştır. Magnitüd 4 şiddetinde 6m derinlikte geliştirilen risk senaryosu şekil 5'de.. haritalanmıştır.

Kuyu No	Derinlik (3m)	Derinlik (3m)	Derinlik (3m)	Derinlik (6m)	Derinlik (6m)	Derinlik (6m)	Derinlik (7,5m)	Derinlik (7,5m)	Derinlik (7,5m)
	Magnitüd 6	Magnitüd 5	Magnitüd 4	Magnitüd 6	Magnitüd 5	Magnitüd 4	Magnitüd 6	Magnitüd 5	Magnitüd 4
3	-	-	-	0,38	0,6	1,07	0,33	0,53	0,94
4	-	-	-	0,39	0,62	1,1	0,35	0,56	0,99
8	0,46	0,74	1,31	0,37	0,59	1,05	0,34	0,54	0,95
9	0,37	0,6	1,06	0,3	0,48	0,84	0,27	0,43	0,76
10	-	-	-	0,3	0,48	0,85	0,3	0,48	0,86
18	0,5	0,8	1,41	0,39	0,63	1,11	0,35	0,56	0,99
19	0,49	0,79	1,39	0,38	0,61	1,08	0,34	0,55	0,97
20	-	-	-	0,37	0,6	1,06	0,33	0,52	0,92
21	0,47	0,75	1,32	0,36	0,57	1,01	0,3	0,48	0,86

Tablo 2. Sıvılaşma emniyet faktörleri



Şekil 5. Sıvılaşma risk haritası

IV. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışma kapsamında Bahçelievler ve Fabrikalar mahalleri incelenmiştir. Bölge Kuvaterner yaşlı alüvyonlardan oluşmaktadır. Genel olarak nehir sedimanlarının oluşturduğu taşıma gücü oldukça sınırlı yeraltı su seviyesi yüksek zeminlerden oluşmaktadır. Yeraltı su seviyesi 2 m ile 4 m arasında değişmektedir. Yeraltı su seviyesinin yüksek olmasından dolayı yapılar bundan olumsuz etkilenecektir. Bu olumsuzluğu ortadan kaldırmak için bu bölgelerdeki tüm yapılarda yeraltı su seviyesini indirmek için önlemler alınmalı, temel çevresine mutlaka drenaj sistemi ve nem, rutubet ve donatıların korozyona uğramasını engellemek amacıyla temelde yalıtım yapılmalıdır.

Coğrafi Bilgi Sistemlerinde, yeraltısuyu seviyesi ve, sıvılaşma haritaları oluşturulmuştur. Bu haritalar, bölgenin zemin parametrelerinin yorumlanmasında önemli bir veri kaynağıdır.

Kırıkkale 1. derece deprem aktivitesine sahip olup alüvyon zeminlerden oluşan Bahçelievler ve Fabrikalar mahallerinin olası deprem esnasında deprem dalgaları altında zeminin geoteknik parametrelerinin azalacağı ve buna bağlı olarak taşıma gücünün azalacağı bilinmektedir. Bu yüzden bölgede yapılacak yapıların temel derinliği yüksek seçilmeli ve mümkünse bodrumlu yapılmalıdır

Ayrıca çalışılan bölge de magnitüd değeri 4, 5 ve 6 olarak yapılan sıvılaşma analizleri sonucunda bütün magnitüd değerlerinde özellikle magnitüd 5 ve 6 değerlerinde demir yoluna yakın bölgelerde zeminin tamamında sıvılaşması görülmüştür. Tekrarlı yükler altında sıvılaşabilen zeminlerde stabiliteyi arttırmak için zemin iyileştirilmesine gidilmeli, temele belirli bir derinlik kazandırılmalı ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinde oluşturulan haritalar dikkate alınmalıdır.. Temel ve yapı bütünlüğünün korunması açısından sürekli temellerin tekil temellerden, radye temellerin ise sürekli temellerden daha avantajlı olduğu söylenebilir.

KAYNAKLAR

1. T. L. Youd, et al. ASCE, **127**, 817(2001).
2. S. L. Kramer, Geotechnical Earthquake Engineering. Prentice-Hall Civil Engineering and Engineering Mechanics, 1996.
3. H. B. Seed and I. M. Idriss, Ground Motions and Soil Liquefaction During Earthquakes. Earthquake Engineering Research Institute, University of California, Berkeley, 1982.
4. M. Mollamahmutoğlu ve F. Babuçcu, Zeminlerde Sıvılaşma Analiz ve İyileştirme Yöntemleri, Gazi Kitabevi, Ankara, 2006.