



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Yozgat (Şefaftli) İlçesi Adalet Sarayı Temel Zemininin Sıvılaşma Potansiyelinin Araştırılması ve Zemin İyileştirilmesi: Vaka Analizi

Ali ATEŞ^{a,*}

^a Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fak., İnşaat Müh. Bölümü, Konuralp-Düzce E-mail: aliates@duzce.edu.tr

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: aliates@duzce.edu.tr

ÖZET

Bu çalışma, Yozgat ili Şefaftli ilçesinde yapılacak olan Adalet Sarayının inşa edileceği temel zemininde burada olabilecek bir deprem etkisinde sıvılaşma riskinin, saha (SPT) verileri kullanılarak belirlenmesini ve sıvılaşma olması halinde çözüm önerisini içermektedir. Bu amaçla, adalet sarayı inşaat alanında yapılan 4 adet arazi sondaj çalışmasına ait olan SPT verileri kullanılmıştır. Çalışma sahasının yaklaşık 42 km Kuzeyinden “Ezine Pazarı Fayı” geçmektedir. Ezine Pazarı Fayının yapı alanını etkileyebileceği ve en etkin ivmeyi yaratabileceği düşüncesiyle, bu çalışmaya esas alınmıştır. Toplam 135 km uzunluğundaki bu fayın, muhtemel bir depremde 1/3’ünün kırılması kabul edilerek, moment magnitüdü 6,2 ve Türkiye’deki fayların deprem davranışlarını öngörmek için geliştirilen deprem atenuasyon eşitliği kullanılarak 0,2g büyüklüğünde yatay deprem ivmesi meydana gelebileceği baz alınarak ve SPT verileri kullanılarak sıvılaşma analizi yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, Şefaftli ilçesinde Adalet Sarayı inşaatının planlandığı alanda yüksek dereceli sıvılaşma olabileceği ortaya konulmuştur. Burada olabilecek sıvılaşma riskine karşı jet grout klon yapılması önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sıvılaşma potansiyeli, Şefaftli (Yozgat), zemin iyileştirilmesi

Investigation of Liquefaction Potential of Soils of Court Building in Şefaftli District (Yozgat) and Propose of Remedy

ABSTRACT

This study implicates the determination of the liquefaction phenomenon for the Court building area using SPT (Standard Penetration Test) field data under the effect of the expected earthquake in Yozgat region. For this purpose, four data of SPT were assessed. Ezine Pazarı Fault has a length of 135 km and approximately passes through in a distance of 42 km in the North of Şefaftli District. It was considered to affect the study area and create the effective peak horizontal acceleration due to earthquake. For the future earthquake, it was calculated the moment magnitude as $MW=6.2$, supposing that Ezine Pazarı Fault could be cracked 1/3 of the total length.

Using local attenuation relationships, developed for Turkey, a peak ground acceleration of 0.2g was found for the study site. According to the these parameters, the liquefaction analysis was carried out using the SPT data and four locations were determined as highly liquefiable site. Following this phase, Jet grouting clomn was proposed to prevent the liquifaction for this study area.

Keywords: Standard penetration test, Şefaati (Yozgat), liquefaction risk

I. GİRİŞ

DEPREMLER esnasında alüvyon zeminlerin ve genç çökellerin yapısı etkilenmektedir. Zemine gelen kayma makaslama dalgaları zeminin direncini etkilemektedir. Yeraltı seviyesinin yüksek olduğu doymuş zeminler, makaslama dalgası etkisinde taşıma gücünü kaybetmektedir. Bu olay sıvılaşma şeklinde açıklanmaktadır. Burada zeminin tane yapısı, yaşı depremin büyüklüğü, odak noktasına olan uzaklığı da sıvılaşmaya etki eden faktörler arasındadır.

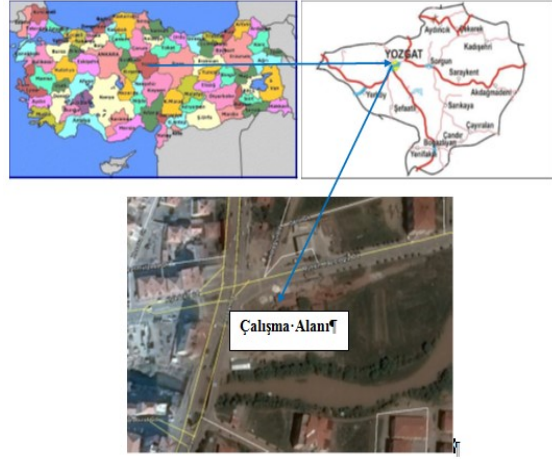
Bu çalışmada Yozgat ili Şefaati ilçesinde yapılması planlanan adalet sarayı inşaat alanında kaydedilen SPT verileri kullanılmak suretiyle bu inşaat alanının sıvılaşabilirliği araştırılmıştır. Bu bölge Türkiye Deprem Bölgeleri haritasına göre ikinci derecede deprem riski taşımaktadır. Ve ilçe aktif faylar tarafından kesilmektedir, ayrıca alüvyon bir zemin ortamda bulunması nedeniyle deprem riski taşımaktadır. Çalışma alanında yüzeyden itibaren yaklaşık 1 m civarında bitkisel toprak bulunmaktadır. Bunun altında kalınlığı 7-8 m değişen siltli kil kum alüvyon tabakası mevcuttur. Bundan dolayı proje aşamasında zemin yapı etkileşimi ve depreme bağlı sıvılaşma analizleri yapılmıştır. Sıvılaşma analizinin sonuçlarına göre iyileştirme önerisinde bulunulmuştur.

II. MALZEME ve YÖNTEM

A. MATERYAL

A.1. ÇALIŞMA ALANININ TANIMLANMASI

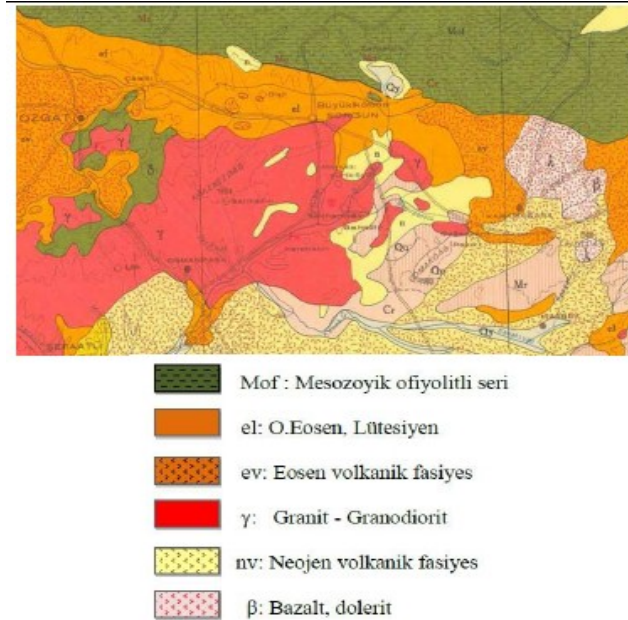
Çalışma alanı Yozgat iline bağlı Şefaati ilçesinde sınırları içerisinde, 564 ada 13 parselde yer almaktadır. Çalışma alanında planlanan Adalet Sarayı inşaatı 1064 m² olup Bodrum+Zemin+1 Kat olarak projelendirilmiştir. Çalışma alanı aşağıda gösterilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma Sahasının Konum Haritası

A.2. YAPISAL JEOLJİ VE TEKTONİK

Çalışma sahası, Kırşehir Kristalen Masifi (KKM) ile Kuzey Anadolu Dağlarının (Anatolid ve Pontidlerin) arasındadır (Şekil 2). Çalışma sahasında birkaç şaryaj ile fay mevcuttur. Bu tektonik özellikler, inceleme alanının kuzeyinde Üst Kretase- Alt Eosen üzerine ve güneybatıda Lütésiyen ve kısmen daha eski formasyonlar ile Oligo-Miyosen üzerindeki istiflerde gözlenmektedir. Bu hareketler, Lütésiyen'den sonraki Oligosen paroksizması ile ilgilidirler. İtilme, daima kuzeyden güneye doğru olmuştur. Gerek metamorfik kristalen masifler (KKM), gerekse Kretase ve Eosen formasyonları birçok orojenik hareketlere maruz kalmıştır [1,2,3,4].



Şekil 2. Çalışma alanının 1/100000 ölçekli jeoloji haritası [5]

A.3. SAHA ÇALIŞMALARI

Şefaati ilçesinde inşaat alanında yapılan sondajlar, temel zeminin katman ve yapısal formasyon özelliklerini, düşey ve yatay doğrultudaki yapısal ve jeolojik katman değişimlerini ve yer altı suyu seviyesi ile mühendislik özellikleri gibi bilgileri elde etmek amacıyla yapılmıştır. Arazide sondaj kuyusu açılması burgulu yöntemle gerçekleştirilmiştir. Arazi kuyu çalışmaları ile ilgili görüntüler Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 3. Arazide SPT Deneyi Sondaj Çalışması

B. ARAZİ VERİLERİ

Çalışma alanında, sıvılaşma analizleri hesaplarının yapılması ve çalışma alanının temel zemin özelliklerini belirlemek amacı ile 2 adet 15 m., 1 adet 20m. ve 1 adet 10m. derinliğinde toplam 4 adet sondaj kaydı gerçekleştirilmiş ve SPT (Standard Penetrasyon Test) verileri bu çalışmada kullanılmıştır. Sondaj çalışmaları gerçekleştirilirken; ilerleme yönünde, her 1.50 m de SPT değerleri kaydedilmiş ve örselenmiş örnekler elde edilmiştir. Alınan örnekler üzerinde zemin özelliklerini belirlemeye yönelik gerekli deneylerin yapılması amacıyla laboratuvara gönderilmiştir. İnşaat alanında hakim olan zemini temsil eden örnekler üzerinde zeminlerin geoteknik, fiziksel ve mühendislik özelliklerini tanımlamak amacıyla deneyler yapılmıştır. Bu amaçla bu proje için hesaplanan N_{60} değeri Tablo 1 ve arazide sondaj çalışmaları Şekil 4’de verilmiştir.

Tablo 1. SPT Kuyu Derinlikleri ve Sayıları

Sondaj Kuyusu Adı	Numune Tipi	Derinlik	0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N_{30}	N_{60}
SK-1	SPT	1,50-1,95	2	3	3	6	6
SK-1	SPT	3,50-3,95	3	3	3	6	4
SK-1	SPT	5,50-5,95	4	2	3	5	4
SK-1	SPT	7,50-7,95	3	6	6	12	8

SK-1	SPT	9,00-9,45	6	5	5	10	6
SK-1	SPT	11,00-11,45	4	5	6	11	7
SK-1	SPT	13,00-13,45	5	5	7	12	7
SK-1	SPT	14,50-14,95	6	8	8	16	9
SK-2	SPT	1,50-1,95	2	2	3	5	5
SK-2	SPT	3,50-3,95	2	3	3	6	4
SK-2	SPT	5,50-5,95	3	4	4	8	6
SK-2	SPT	7,50-7,95	4	5	7	12	8
SK-2	SPT	9,00-9,45	5	5	5	10	6
SK-2	SPT	11,00-11,45	5	6	7	13	8
SK-2	SPT	13,00-13,45	8	7	5	12	7
SK-2	SPT	14,50-14,95	6	8	6	14	8
SK-3	SPT	1,50-1,95	2	3	4	7	7
SK-3	SPT	3,50-3,95	3	3	5	8	6
SK-3	SPT	5,50-5,95	4	4	4	8	6
SK-3	SPT	7,50-7,95	3	2	5	7	5
SK-4	SPT	9,00-9,45	3	4	5	9	6
SK-4	SPT	1,50-1,95	3	3	4	7	7
SK-4	SPT	3,50-3,95	7	7	8	15	11
SK-4	SPT	5,50-5,95	3	4	5	9	6
SK-4	SPT	7,50-7,95	4	3	3	6	4
SK-4	SPT	9,00-9,45	5	5	7	12	8
SK-4	SPT	11,00-11,45	8	9	8	17	10
SK-4	SPT	13,00-13,45	7	6	8	14	8
SK-4	SPT	14,50-14,95	5	7	9	16	10
SK-4	SPT	16,00-16,45	7	5	5	10	8
SK-4	SPT	17,50-17,95	8	6	6	12	9
SK-4	SPT	19,00-19,45	8	10	10	20	9

B.1. ZEMİN KESİTİ

Çalışma alanında elde edilen sondaj verilerine göre zemin profil; (SK: sondaj kuyusu), SK-1 yer yüzeyden itibaren 0-0,50m. seviyelerine kadar dolgu, 0,50-5,00m arasında siltli kum ve az çakıl, 5,00m.-15,00m. arasında düzgün tane dağılımlı kum ve az silt ve az çakıl, SK-2 yüzey seviyesinden itibaren 0-0,50m. derinliğe kadar dolgu, 0,50-3,50m arasında Siltli kum ve az çakıl, 3,50m.-15,00m. arasında iyi ve düzgün tane dağılımlı kum ve az silt ve az çakıl, SK-3 yüzey seviyesinden itibaren 0-0,50m. derinliğe kadar dolgu, 0,50-6,00m arasında düzgün tane dağılımlı kum ve az silt ve az çakıl, 6,00m.-10,00m. arasında siltli kum ve az çakıl, SK-4 yer yüzeyinden itibaren 0-0,50m. derinliğe kadar dolgu, 0,50-5,00m arasında siltli kum ve az çakıl, 5,00m.-20,00m. arasında düzgün tane dağılımlı kum ve az silt ve az çakıl olduğu gözlenmiştir.

B.2. YER ALTI SULARI

Çalışma alanında, yeraltı suyu yaz ve kış aylarında mevsimsel olarak dalgalanmaktadır. İnşaat alanında yapılan sondajlarda ve kuyu ölçümlerinde 2,50 m seviyelerinde yer altı suyu gözlenmiştir.

B.3. SIVILAŞMA ANALİZİNDE KULLANILAN PROGRAMLAR

Bu çalışmada, sıvılaşma riskinin araştırılmasında araziden alınan SPT verilerinin sıvılaşma riski hesaplamalarında, Liq IT V.4.7.3 Geologismiki adıyla bilinen [6] program kullanılmıştır.

C.YÖNTEM

Bu çalışmada araziden elde edilen SPT verileri esas alınarak, sıvılaşma riskinin ortaya konulabilmesi için Seed ve Idriss [7] tarafından önerilen sıvılaşma yöntemine göre analizler yapılmıştır. Buradan elde edilen sonuçlara göre, Şefaatli (Yozgat) ilçesinde, Adalet sarayının yapılacağı alanda sıvılaşma riski araştırılmıştır. Burada olması muhtemel görülen depremlerin etkisinde sıvılaşmaya bağlı gelişebilecek hasarların önlenmesine yönelik zemin iyileştirilmesi konusunda önerilerde bulunulmuştur.

C.1. SIVILAŞMA POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİNDEKİ KRİTERLER

Çalışma alanından elde edilen SPT verileri ile sıvılaşma analizlerini yapabilmek için sıvılaşma dirençlerinin tanımlanması, iki değişkenin tahmin edilmesini gerektirmektedir, bunlar;

- Zemin tabakasındaki sismik talebi ifade eden devirsel gerilme oranı (DGO),
- Zeminin sıvılaşmaya karşı direncini gösteren devirsel direnç oranı (DDO).

Deprem kuvvetlerinin oluşturduğu kayma dalgalarının yatay gücünü karakterize eden (DGO)'nın, zeminin kayma makaslama kuvvetlerine karşı koyma direncini karakterize eden (DDO)'a oranı ise o zeminin sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısını vermektedir (Eş. 1).

$$GK = \frac{DDO}{DGO} \quad (1)$$

Burada yapılan sıvılaşma analizi sonunda güvenlik faktörünün 1'den küçük olması durumunda çalışma alanının sıvılaşma riski taşıdığını, güvenlik faktörünün 1'den büyük olması ise o bölgenin sıvılaşma riski taşımadığını ortaya koymaktadır.

C.2. DEVİRSEL GERİLME ORANININ (DGO) BULUNMASI

Bu çalışmada sismik kuvvet etkisinde zemin katmanlarında oluşması beklenen devirsel gerilme oranı aşağıda verilen Eş.2'den bulunabilmektedir [7].

$$DGO = 0,65 \left\{ \frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}} \right\} = 0,65 \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \left(\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \right) r_d \quad (2)$$

Eşitlikteki parametreler; (a_{max}) deprem tarafından oluşturulan ve yüzeyde etkiyen en büyük yatay yer ivmesini, (σ_{vo}) toplam düşey gerilmeyi (kN/m²), (σ'_{vo}) efektif düşey gerilmeyi (kN/m²), (g) yerçekimi ivmesini (m/s²), (τ_{ave}) ortalama devirsel gerilme dayanımını (kN/m²), (r_d) gerilme azaltma katsayısını ifade temsil etmektedir.

Efektif Gerilme azaltma katsayısı, Liao ve Whitman [8]'a göre aşağıdaki şekilde bulunabilmektedir;

$$r_d = 1 - 0,00765z, \quad z \leq 9,15m \quad (3a)$$

$$r_d = 1,174 - 0,0267z, \quad 9,15m < z \leq 23m \quad (3b)$$

Burada; (z) metre cinsinden derinliktir.

C.3. DEVİRSEL DİRENÇ ORANININ (DDO) BULUNMASI

Şehatli ilçesinde yapılması planlanan Adalet sarayı inşaat alanında SPT verileri ile depreme bağlı oluşan kayma dalgalarının etkisinde sıvılaşma direncinin belirlenmesi amacıyla Youd vd. [9] aşağıda verilen eşitliği (Eş. 4) önermişlerdir;

$$DDO_{7,5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60}} + \frac{(N_1)_{60}}{135} + \frac{50}{(10(N_1)_{60} + 45)^2} - \frac{1}{200} \quad (4)$$

Parametreler;

Sıvılaşma analizinde kullanılan düzeltilmiş SPT-N değerleri $(N_1)_{60}$ Youd vd. [9], Seed vd. [10] tarafından bazı öğelerin geliştirilerek ince tane oranının sıvılaşmaya karşı direncine etkisini de dikkate alarak aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

$$(N_1)_{60tk} = \alpha + \beta(N_1)_{60} \quad (5)$$

Burada, α , β ince tane oranı düzeltme katsayılarıdır ve aşağıdaki eşitliklerde verilmiştir.

$$\alpha = 0 \quad ; \quad \dot{I}TO \leq \%5 \quad (6)$$

$$\alpha = \exp\left[1,76 - \left(\frac{190}{\dot{I}TO^2}\right)\right] \quad ; \quad \%5 < \dot{I}TO < \%35 \quad (7)$$

$$\alpha = 5,0 \quad ; \quad \dot{I}TO \geq \%35 \quad (8)$$

$$\beta = 1,0 \quad ; \quad \dot{I}TO \leq \%5 \quad (9)$$

$$\beta = \left[0,99 + \left(\frac{\dot{I}TO^{1,5}}{1000}\right)\right] \quad ; \quad \%5 < \dot{I}TO < \%35 \quad (10)$$

$$\beta = 1.2 \quad ; \quad \dot{I}TO \geq \%35 \quad (11)$$

Burada, İTO: ince tane oranını ifade eder.

C.4. DEPREM PARAMETRELERİNİN HESAPLANMASI

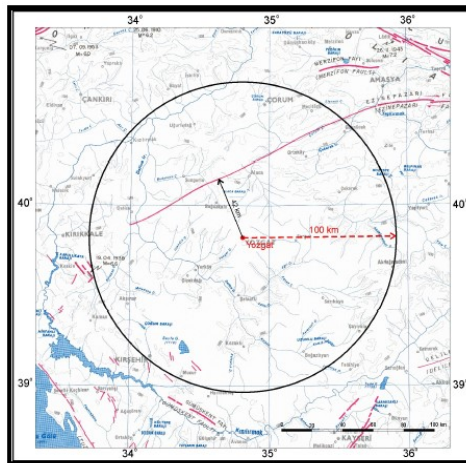
Bu çalışmada sıvılaşma riskininin oluşup oluşmayacağına anlaşılması amacıyla ve sismik tasarım parametrelerinin bulunmasına yönelik, çalışma alanını kuşatan 100 km yarıçapında bir çember çizilerek, içinde kalan ve çalışma alanını etkileyebileceği beklenen etkin sismik kaynaklara dik çizilerek bu sismik kaynakların çalışma noktasına olan en kısa mesafeleri kilometre (km) cinsinden ölçülmüştür (Şekil 4) [11]. Buradaki amaç yatay deprem ivmesinin bulunmasıdır. Çalışma alanında en yüksek ivme oluşturması tahmin edilen Ezinepazarı Fayı, Mark [12] yöntemine göre beklenen bir depremde 1/3'nün kırılabilirliği yaklaşımıyla, tasarım sismik moment büyüklüğü, Wells ve Coopersmith [13] tarafından önerilen eşitlik kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir.

$$M_w = 4,86 + 1,32 \log L \quad (12)$$

Burada Fay uzunluğunun, 1/3'nün kırılması durumunda, "Moment Büyüklüğü" 6.8 olarak bulunmuştur. Bu konuda tarihsel kayıtlara bakıldığında 30 Temmuz 1940 yılında 00:12:15'te Yozgat-Sarıkaya merkezli magnitudü 6.2 büyüklüğünde bir depremin olduğu kayıtlarda mevcuttur. Depremde 12 köy hasar görmüş, 300 kişi hayatını kaybetmiş ve 360 kişi de yaralanmıştır. Burada önerilen deterministik yöntemden bulunan sonuçların tarihi kayıtlarla da uyduğu görülmektedir. Bu çalışmada maksimum yatay deprem ivmesinin büyüklüğü Ulusay vd. [14] tarafından önerilen Eş.13 kullanılarak bulunabilmektedir.

$$PGA = 2,18e^{0,0218(33,3M_w - Re + 7,8427 S_A + 18,9282 S_B)} \quad (13)$$

Burada bulunan parametreler; yumuşak zeminler için SA=0, SB=1 alınır, Re yerleşim alanından ilgili fay zonuna en yakın dikey mesafedir, Mw Deprem büyüklüğüdür. Bu durumda, depremin meydana getirebileceği "yatay deprem ivmesi" 0,196g olarak bulunmuştur.



Şekil 4. Çalışma Alanında 100 Km Çember İçinde Bulunan Sismik Kaynaklar [11]

III. BULGULAR ve TARTIŞMA

A. BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

A.1. SIVILAŞMA ANALİZİ VE SIVILAŞMA POTANSİYELİ İNDEKSİNİN BULUNMASI

Burada etkin olan Ezine Pazarı fayının beklenen bir depremde 1/3'ünün kırılacağı beklentisine göre, moment magnitüdü M=6.5 büyüklüğünde bir depremin meydana gelmesi durumunda sıvılaşma riski Liq IT V. 4.7.3 [6] Geologismiki yazılımı kullanılarak incelenmiştir.

Sıvılaşma konusunda güvenlik faktörünü baz alan çalışmalarda, sıvılaşma riski güvenlik faktörüne göre değerlendirilmektedir. Bu durum, Iwasaki vd. [15] tarafından güvenlik faktörünün de içinde olduğu "sıvılaşma potansiyeli indeksi" adı verilen bir yöntem önerilmiştir. Iwasaki vd. [15] sıvılaşma indeksinin hesaplanması için aşağıdaki eşitlikleri (Eş. 17 ve Eş. 18a-Eş. 18d) önermiştir.

$$LI = \int_0^{20} F(z)W(z)dz \quad (14)$$

$$FL < 1,0 \text{ için; } F(z) = 1 - FL \quad (14a)$$

$$FL \geq 1,0 \text{ için; } F(z) = 0 \quad (14b)$$

$$z < 20 \text{ için; } W(z) = 10 - 0,5z \quad (14c)$$

$$z > 20 \text{ için; } W(z) = 0 \quad (14d)$$

Burada; (LI) sıvılaşma indeksi, (z) yüzeyden zemin tabakasının orta noktasına olan derinlik (m), (FL) sıvılaşmaya karşı güvenlik faktörüdür.

Zeminlerin sıvılaşma riskinin derecelendirilmesinde Iwasaki vd. [15]'e göre hesaplanan sıvılaşma indeksleri Tablo 4'deki gibi değerlendirilmiştir.

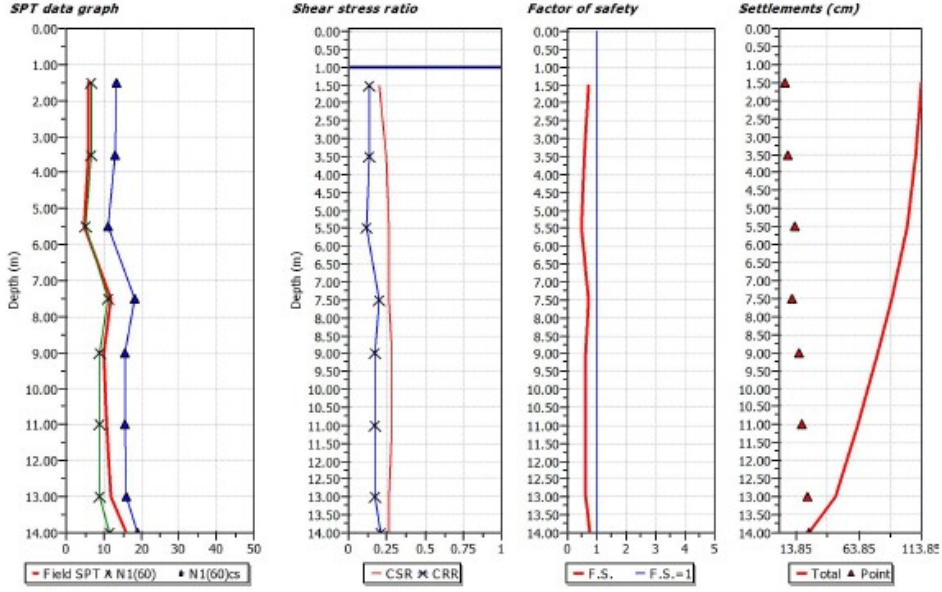
Tablo 4. Sıvılaşma risk dereceleri [15]

Sıvılaşma İndeksi (LI)	Sıvılaşma Potansiyeli
0	Çok az
0 < LI < 5	Az
5 < LI < 15	Yüksek
15 > LI	Çok yüksek

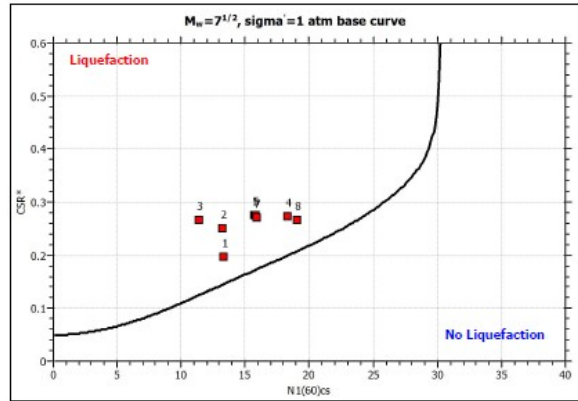
Burada sıvılaşma potansiyeli indisleri hesaplanmıştır. Bulunan indeksler yukarıda verilen (Tablo 4) sınır değerleri ile karşılaştırılarak ilgili lokasyonlar sıvılaşma derecelerine göre gruplandırılmıştır.

Bu çalışmada Şefaati ilçesi Adalet Sarayı İnşaat temeli zemini için SK-1 ve SK-4 kuyularının verileri Liq IT V.4.7.3 [6] programı kullanılarak sıvılaşma analizleri ayrı ayrı yapılmıştır. Ancak örnek olarak SK-1 ve SK-4 kuyularının sıvılaşma analiz grafikleri burada verilmiştir.

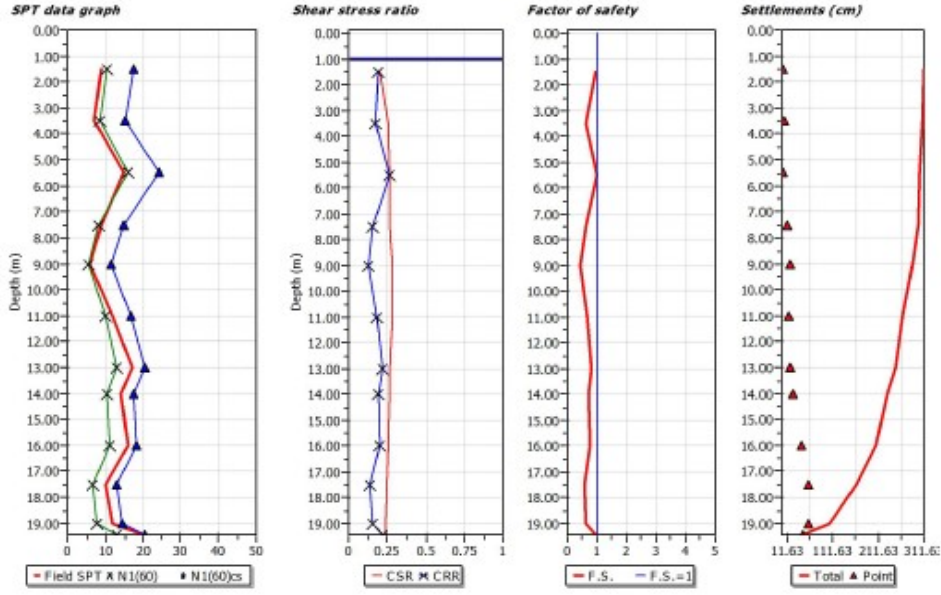
Bu çalışma sonuçlarına göre; SK-1 kuyusunda güvenlik sayısı(FS) 1,5 m–15 metreler arasında $FS < 1$ olması nedeniyle sıvılaşma potansiyeli taşımaktadır (Şekil 5a, Şekil 5b). Aynı şekilde SK-4 kuyusunda da güvenlik sayısı (FS) 2.5 m–15 metreler arasında $FS < 1$ olması nedeniyle sıvılaşma potansiyeli taşıdığı görülmektedir. (Şekil 6a, Şekil 6b).



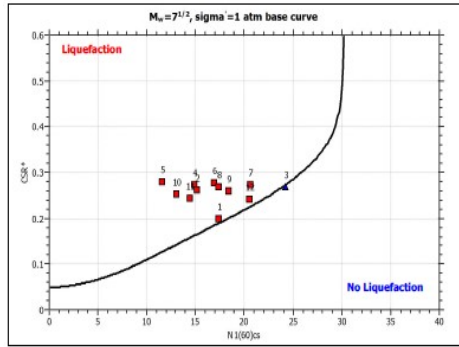
Şekil 5. (a) SK-1 Kuyusu Analiz Sonuçları



Şekil 5. (b) SK-1 Kuyusu Analiz Sonuçları



Şekil 6. (a) SK-4 Kuyusu Analiz Sonuçları



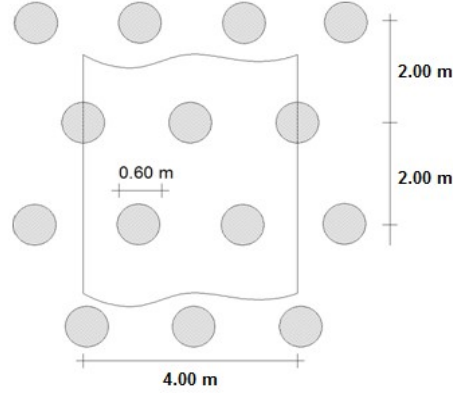
Şekil 6. (b) SK-4 Kuyusu Analiz Sonuçları

B. İYİLEŞTİRME

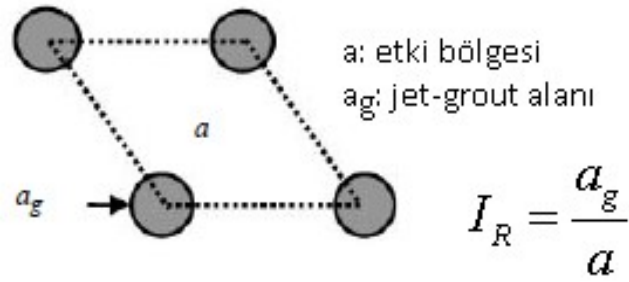
Burada yapılan sıvılaşıma ile ilgili değerlendirmeler sonucunda yapılması düşünülen Şefaati Adalet Sarayı bina temelinde zemin iyileştirme yapılması zorunlu görülmektedir. Bu konuda jet-grout yöntemi, zemin taşıma gücünün artırılması ve oturmaların azaltılması, sıvılaşımanın önlenmesi amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde, silindirik şekilli ve yüksek modüllü kolonlar, zeminlerin önce özel delgi makinası ile delinmesi ve bunu takiben yüksek basınç etkisinde 400-500 bar altında çimento ve çeşitli bağlayıcılar karıştırılarak (polimer) zemine enjekte edildikten sonra zeminin yerinde parçalanarak karıştırılması ve kullanılan özel tij ve monitörün belirli bir hızla döndürülerek yukarı çekilmesi suretiyle yerinde teşkil edilmektedir [16]. Bu yöntem yüksek modüllü kolon olarak bilinmektedir.

Bu çalışma kapsamında önerilen iyileştirme yöntemi olarak, kolon yüklerini taşıyacak olan şerit veya plak temel altlarında iki doğrultuda 2 m aralıkla 60 cm çapında ve temel alt kotundan itibaren mevcut zemin yüzeyinden 21 metre derinliğe kadar jet kolonların oluşturulmasından ibarettir (Şekil 9). Buna

göre ortaya çıkan kompozit kolonun drenajsız kayma direnci Eşitlik 19'a göre tasarlanarak, ilk durumda kabul edilen 55 kPa'dan 118 kPa'ya yükseldiği görülmüştür [17] (Şekil 7,8).



Şekil 7. Şerit Temel Altına Yapılacak Jet-Grout Kolon Planı



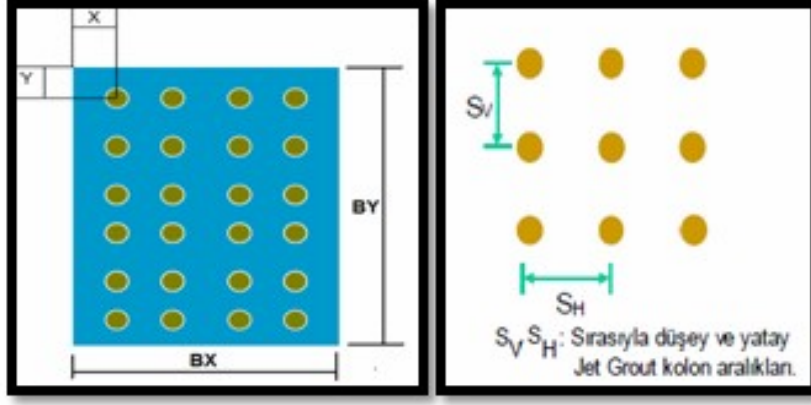
Şekil 8. İyileştirme Alan Oranı

B.1.JETGROUT YAPIMI

Jetgrout kolonlar arasındaki ara mesafelerin iki yönde S_H ve S_V olması halinde (Şekil 10);

$$A = S_H S_V \quad (19)$$

Yukarıdaki eşitlik yardımıyla bulunur [18]. Şekil 11, Şekil 12'de yapım şekilleri ve uygulaması gösterilmiştir.



Şekil 10. Jetgrout Kolon Aralıkları ve Mesafeleri

Zeminin taşıdığı kayma gerilmesinin τ_s , oluşan toplam kayma gerilmesine, τ olan oranı, S_R ;

$$S_R = \left(\frac{\tau_s}{\tau} \right) = \left(\frac{1}{G_r} \right) \left[\frac{1}{a_r + \frac{1}{G_r}(1 - a_r)} \right] \quad (20)$$

bağıntısı ile bulunur.

Bu bağıntıda,

G_r : Modül oranı olarak tarif edilmekte olup;

$$G_r = \frac{G_{jg}}{G_s} \quad (21)$$

verilmiştir. Zemin iyileştirilmesinden sonra kolon taşıma gücü ise aşağıdaki eşitlik yardımıyla bulunur.

$$\sigma_{ult} = \frac{P_{ult} + A_{jg} + \sigma_{em}(A_1 - A_{jg})}{A_1} \quad (22)$$

Buradaki parametreler;

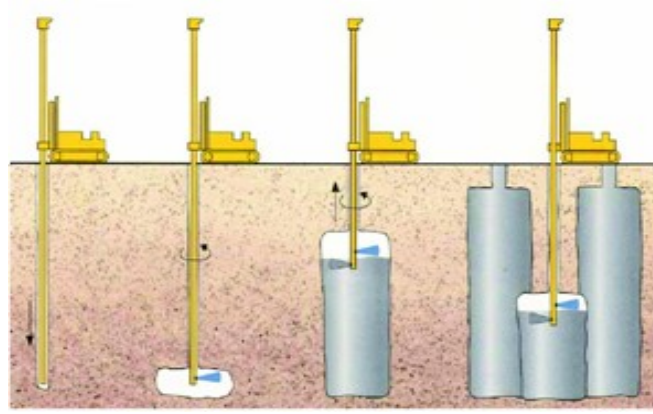
P_{ult} (t/m²)= : Jetgrout Kolonun Taşıma Gücü

A_{jg} : Jetgrout Kolonun Alanı

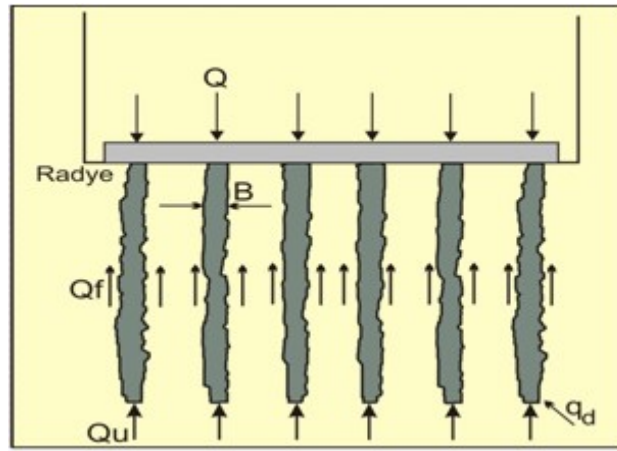
σ_{em} (t/m²): İyileştirme Öncesi Zemin Emn. Gerilmesi

A_1 (m²): ($S_h \cdot S_v$): Her Bir Jet Grout Kolon. Düşen Alan Miktarı

σ_{ult} (t/m²)= İyileştirme Sonrası Zemin Emniyet Gerilmesi



Şekil 11. Jet Grout Uygulama Örneği



Şekil 12. Jet Grouting Radye Temel Örneği

IV. SONUÇ

Bu çalışmada, Yozgat ili Şefaati ilçesi Adalet Sarayı inşaat alanındaki zeminin standart penetrasyon deneyi (SPT) ile sıvılaşma riskinin olup olmadığı araştırılmıştır. Sismik kaynak olarak Ezine Pazarı Fayı tespit edilmiştir. Bu fay zonu kaynağının üretmesi beklenen tasarım parametreleri; “maksimum yatay deprem ivmesi 0,210g ve moment magnitudü 6,5”, olarak hesaplanmıştır. Çalışma alanında yer altı su seviyesinin yüksek olması ve ayrıca zemin yapısının alüvyon olması dikkate alınarak yerel sismik tasarım parametrelerine göre sıvılaşma analizi yapılmıştır. Analiz sonunda Şefaati Adalet Sarayının yapılacağı temel alanı zemininin yüksek seviyeli sıvılaşma riski taşıdığı ortaya konulmuştur.

Çalışma alanının deprem etkisi altında olduğu göz önüne alınırsa sıvılaşmaya bağlı oturmalar kaçınılmazdır. Bu oturmaların yapılara zarar verebilecek düzeyde olması nedeniyle, tasarlanan yapının temel zemininin iyileştirilmesi gereklidir. Deprem sırasında yanal zemin direncinin çok azalacağı dikkate alınarak, yanal yatak katsayısında da çok ciddi bir azalma olabileceği hatırlanmalı ve yukarıda önerilen jet grouting yöntemi ile temel zemininde iyileştirilme düşünülmelidir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışmada arazide yaptığı çalışmalarıyla bu makalenin hazırlanmasında yapmış olduğu katkılarından dolayı Özel Proje Jeoteknik Ltd. Şti. sahibi Efdal ÖZDEMİR'e teşekkür ederim.

V. KAYNAKLAR

- [1] M.C. Göncüoğlu, G.M.V. Toprak, I. Kuşçu, A. Erler, E. Olgun Orta Anadolu Masifinin Batı kesiminin jeolojisi Bölüm 1: Güney Kesim. ODTÜ- TPAO Proj. Rep., (1991) 140.
- [2] M. C. Göncüoğlu, K. Dirik, A. Erler, K. Yalınz, Orta Anadolu Masifinin Sivas Baseni ile ilişkisi. ODTÜ-TPAO Proj. Rep., (1994) 135.
- [3] N. Görür, O. Tüysüz, A. M. C. Sengör *International Geology Review* **40** (1998) 831-850.
- [4] İ. Ketin, Yozgat Bölgesinin jeolojisi ve Orta Anadolu Masifi'nin tektonik durumu, *TJK Bülteni*, (1995) 1-28.
- [5] M.T.A Genel Müdürlüğü ve Ankara Üniversitesi (A.U), 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.
- [6] Geologismiki, Sıvılaşma Analizi Yazılımı, www.geologismiki.gr (2006).
- [7] H.B. Seed, I.M. Idriss *Journal of Soil Mechanics & Foundations Div.* **97(9)** (1971) 1249-1273.
- [8] S.S.C. Liao, R.V. Whitman *Journal Of Geotechnical Engineering* **112 (3)** (1986) 373-377.
- [9] T.L. Youd, I. M. Idriss, R.D. Andrus, I. Arango, G. Castro, J.T. Christian, R. Dobry, W. D. Liam Finn, L.F. Harder Jr., M.E. Hynes, K. Ishihara, J.P. Koester, S.S. C. Liao, W.F. Marcuson, G.R. Martin, J.K. Mitchell, Y. Moriwaki, M.S. Power, P.K. Robertson, R.B. Seed, K.H. Stokoe *ASCE* **127(10)** (2001) 1817-832.
- [10] H.B. Seed, K. Tokimatsu, L.F. Harder, R.M. Chung *ASCE* **111(12)** (1985) 1425-1445.
- [11] Şaroğlu F, Emre, Ö, Kuşçu İ. Türkiye Diri Fay Haritası, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, (1992).
- [12] R. K. Mark *Geology* **5** (1977) 464-466.
- [13] D.L. Wells, K.J. *Coppersmith Bulletin of the seismological Society of America* **4** (1998) 974-1002.
- [14] R. Ulusay, E. Tuncay, H. Sonmez, C. Gokceoglu *Engineering Geology* **74** (2004) 265-291.
- [15] T.K. Iwasak, K. Tokida, F. Tatsuoka, S. Watanabe, S. Yasuda, H. Sato, *Microzonation for soil liquefaction potential using simplified methods*, **Proceedings of the 13th International Conf. On Microzonation**, Seattle-USA, (1982) 1319-1330.
- [16] H.T. Durgunoğlu *Yüksek Modüllü Kolonların Temel Mühendisliğinde Kullanımı*, **Zemin Mekanigi ve Temel Mühendisligi Onuncu Ulusal Kongresi**, (2004) 39-52.
- [17] H.J. Liao, S.F. Su, W.L. Chen *Journal of the Chinese Institute of Engineers* **29 (1)** (2006) 13-21.
- [18] R.D. Borchardt, C.M. Wentworth, A. Janssen, T.E. Fumal, R.K. Mark, J. Gibbs *Methodology for Predictive GIS Mapping of Special Study Zones for Strong Ground Shaking in the San Francisco Bay Region*, **4th International Conference On Seismic Zonation** (1991) 545-552.