

Standard Penetrasyon Deneyi (SPT) ile Aksaray İli Altinkaya Kasabası İlköğretim Okulunda Hasar Tespiti Çalışmalarının Yapılmasında Vaka Analizi

Tekin YEKEN¹, Ali ATEŞ², Ernam ÖZTÜRK³, Burak YEŞİL^{4,*}

¹ Kocaeli Üniversitesi, Hereke Ömer İsmet Uzunyol MYO, Yapı Bölümü-Kocaeli

² Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fak., İnşaat Müh. Bölümü, Konuralp-Düzce

³ Düzce Üniversitesi Yapı İşleri Dairesi Başkanlığı, Konuralp-Düzce

⁴ Düzce Üniversitesi, Düzce MYO İnşaat Teknolojisi Bölümü, Merkez-Düzce

Özet

Bu çalışma, Aksaray ili Altinkaya Kasabası ilköğretim binasında gelişen hasarların nedenlerini araştırmak ve olası bir deprem etkisinde oluşabilecek hasarların önceden tahmin ve tespitine yönelik yapılan çalışma kapsamında elde edilen SPT verileri kullanılarak binada oluşan hasar tespitine yönelik vaka analizi yapılmıştır. Bu amaçla, yapı köşelerinde yapılan 3 adet sondaj çalışmasına ait olan SPT verileri kullanılmıştır. Çalışma alanından yaklaşık 19 km yakınından geçen “Tuz Gölü Fay Zonu” yer almaktadır. Bu fay zonunun yapı alanını etkileyebileceği ve en büyük ivmeyi yaratabileceği varsayılarak, araştırmaya esas alınmıştır. Toplam 180 km uzunluğundaki bu fay zonunun, olası bir depremde 1/3'nün kırılması tahmin edilerek, moment magnitudü 7.2 ve normal atımlı faylar ve Türkiye için geliştirilen deprem atenasyon eşitliği kullanılarak 0,4g büyüklüğünde yatay deprem ivmesi oluşabileceği hesaplanmış ve SPT verileri kullanılarak sivilaşma analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre ilköğretim inşaatı yapılacak alanda 3 nolu sondaj kuyusu ve çevresinde düşük dereceli sivilaşma riskinin bulunduğu ortaya konulmuştur. Ve okul inşaatında oluşan hasarların nedeni araştırılmıştır. Araştırmalar sonunda binada oluşan hasar ve çatlakların nedeninin sivilaşmaya bağlı oturmalar olduğu kanaatine varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: SPT, sivilaşma hasarı, Aksaray,

* Burak YEŞİL, burakyesil@duzce.edu.tr, Tel: (380) 524 00 99/7133.

Standard Penetration Test (SPT) and the Town of Aksaray Altinkaya Conducting Study on Damage Assessment in the Primary School Case Study

Abstract

This study includes the investigating of the causes the crack developing in the structure of the elementary school building in Aksaray Altinkaya district. In this scope, the SPT-N (Standard Penetration Test) data obtained from the field Works were used for analysing phenomena to foresee the cracks and damages to be occurred due to soil liquefaction under the effect of the probable earthquake effect. For this reason, 3 location data were evaluated applying at the corner of the building. In this area,

Tuz Lake Fault Zone was a length of 180 km in length and approximately passes through in a distance of 19 km in the around the study area (Altinkaya District). It was predicated to affect the region and create the biggest peak horizontal acceleration due to earthquake. In a probable earthquake effect, it was calculated an earthquake of moment magnitude as $MW=7.2$, considering that Tuz Lake Fault Zone may be cracked 1/3 of the total length. Using attenuation relationships developed for Turkey a peak ground acceleration of 0.4g was calculated for the study site. According to the these results, the liquefaction analysis was performed using the 3 location SPT-N data and one location (LK.3) was determined as the low degree liquefiable. The causes of damages of the school were investigated. In the result, it was concluded that the causes of damages and cracks were created due to settlement occurred liquefaction.

Keywords: *Standard penetration test, Aksaray, liquefaction damage*

1. Giriş

Depremler esnasında yatay kesme kuvvetlerinin etkisinde suya doymun zemin tabakalarında çevrimli yüklemeler altında oluşan boşluk suyu basıncı artışları zeminde katı fazdan sıvı faza dönüşerek adeta bir sıvı gibi davranmaya zorlanarak sıvılaşıma durumunun ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Zeminlerin sıvılaşılabirliği tane boyutu ve dağılımı yanında, jeolojik yaşı ve çökelme koşulları, başlangıç sıklık derecesine bağlı hacim değişim potansiyeli ve su geçirgenliği gibi özellikleri yanında depremin büyüklüğü, süresi uzaklığı gibi sismik faktörlere bağlıdır [1]. Zemindeki yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın olmasıyla birlikte zeminin gevşek şartlarda tutturulmuş olması, alivyonal olması zeminin sıvılaşıması için etkili olan koşullardandır. Sıvılaşıma olayı, pek çok depremde gelişmesine karşın ülkemizde, 1992 Erzincan depremiyle dikkate alınmaya başlanmış, 1999 Marmara depreminde meydana gelen sıvılaşıma olayları ile bu olgunun önemi tüm kesimlerin ilgisini çekmektedir.

Bu çalışmada, Aksaray Altinkaya kasabasında bulunan ilköğretim okulu binasında gelişen çatlakların neden oluştuğunu ortaya koymak ve olası bir deprem etkisinde oluşabilecek hasarların önceden tahmin ve tespitine yönelik yapılan çalışma kapsamında elde edilen SPT verileri ile belirli bir derinlikte oluşabilecek sıvılaşıma riski Iwasaki vd. [2] kriterleri esas alınarak araştırılmıştır.

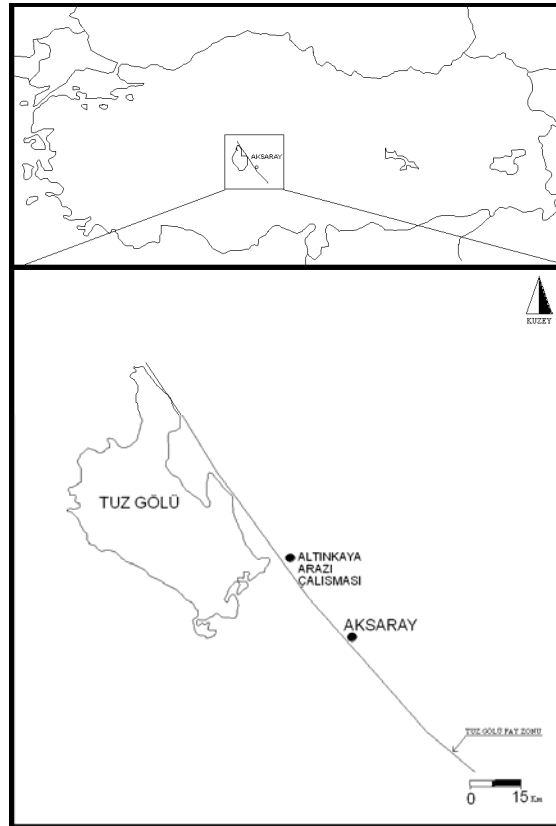
2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Bu çalışmada, Çökebilin zeminler ile ilgili problem Aksaray ili Altinkaya Kasabası ilköğretim okulunda görülmüştür. Bodrum +2 kat olarak inşa edilen okul binası tamamlandıktan bir yıl sonra öğretime açılmış, kullanıma alındıktan hemen sonra okulun bilhassa güney duvarlarında çatlamlar görülmüş daha sonra bu çatlaklar daha da ilerleyerek binanın diğer kısımlarını etkilemiş birkaç ay sonra okul kullanılamaz hale gelmiştir. Aksaray valiliği ve Selçuk üniversitesi işbirliği ile konunun araştırılması ve oluşan hasarlarının nedenlerinin belirlenmesi amacıyla, konu ile ilgili olarak oluşturulan teknik heyet, proje üzerinde ve inşaat mahallinde araştırmalar yapmış, hasar nedenini belirlemek ve sonuçlarını değerlendirmek üzere zemin ve üst yapı ile ilgili bazı araştırmalar yapılmıştır. Elde edilen tüm sonuçlardan yüksek lisans tez çalışması olarak faydalanılmıştır [3].

2.1.1. Çalışma alanının tanımlanması

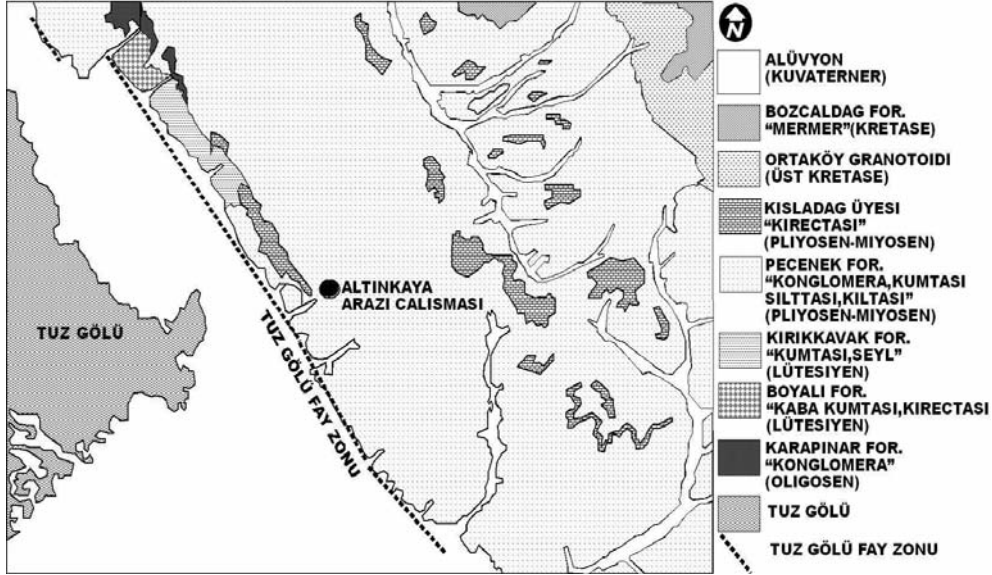
Çalışma alanın Coğrafik tanımı; İç Anadolu Bölgesinde Tuz Gölü'nün güney doğusunda yer alan Aksaray ili'dir.(Şekil 1.1). Çalışma alanı çok fazla engebeli olmayıp rakımı 980 m'dir. Çalışma alanının yakınında en önemli yükseltiyi, 3268 m ile sönmüş bir volkanik dağ olan Hasandağı oluşturur. Çalışma alanının; analitik koordinat tanımlanması yapılırken Aksaray ili ve çevresinin sismik risk analizi için değerlendirilmesi ve daha çok episantr verilere ulaşmak amacıyla, çalışma konusu için önemli olan Tuz Gölü Fay Zonunun uzunluğu dikkate alınarak yapılmıştır. Bu baz alınan koordinat tanımlanması (32.6-35)K ve (37.6-39.49)D arasında kalan bölgedir [3].



Şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru haritası [3].

2.1.2. Çalışma alanının jeolojisi

Çalışma alanında Peçenek formasyonu hakimdir. İlk kez uygun ve Iwasaki diğ. (1982) [2] tarafından adlandırılmıştır. Formasyon, çakıltaşı, teknesel çapraz tabakalı, gevşek tutturulmuş, orta ince tabakalı kumtaşı, marn ve yer yer tüfit ara düzeyleri ile miltasından oluşmaktadır. Peçenek formasyonu, Peçenek vadisinin Alt Pliyosen’de düşey faylanma ile havza halinde dönüşmesi ve bu havzaya masife ait malzemenin taşınıp doldurulmasıyla oluşmuştur. Birimin kalınlığı 150 metredir. Tabanda Oligosen yaşlı birimlere uyumsuzdur. Peçenek formasyonunun yaşı üst Miyosen-Pliyosen’dir [4].



Şekil 2. Jeoloji haritası [4].

2.1.3. Arazi deneyleri

Sondaj çalışmaları esnasında; ilerlemeye paralel olarak, her 1.50 m de bir olmak üzere 26 adet SPT (Standart Penetrasyon Testi) kaydedilmiş ve örselenmiş örnekler alınmıştır. SPT, esas olarak yerinde yapılan bir dinamik kesme deneyidir. Kesme direnci daneli zeminlerde zeminin izafi sıklığına, kohezyonlu zeminlerde ise zeminin mukavemet parametrelerine bağlıdır. Bu sebeple penetrasyon deneyi sonuçları ile taşıma gücü arasında gerçeğe uygun bir ilişki kurulabildiği gibi diğer mühendislik hesaplamalarında da kullanılmaktadır. SPT deneyleri sırasında alınan örselenmiş örnekler 2” dış çaplı ve 13/8” iç çaplı yarık numune alıcı ile alınmıştır. Alınan numuneler doğal özelliklerini kaybetmemesi için iç içe geçmiş iki ayrı naylon torba içine konmuş, etiketlenmiş ve ağızları hava almayacak şekilde sıkıca bağlanmıştır. Bu aşamadan sonra zemin mühendislik özelliklerini araştırmak amacıyla laboratuara yollanmıştır.

2.1.4. Sondaj çalışmaları

Çalışma alanında yapılan sondajlar temel zeminlerinin litolojik özelliklerini, düşey ve yanal doğrultudaki değişimlerini ve yer altı suyu durumu ile mühendislik parametreleri gibi bilgileri belirleme amacıyla yapılmıştır. Sondaj ilerlemesi burgulu yöntemle yapılmış ve çalışmalara ait görüntüler Şekil 3’de verilmiştir.

Üç ayrı noktada SK1, SK2 ve SK3 yapılan sondajlardan alınan örselenmiş ve örselenmemiş zemin örnekleri üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri ile zeminin endeks özellikleri belirlenmiştir. Bina temelinde aşırı oturmaların görüldüğü güneybatı duvarı

yakınlarında açılan SK1 ve SK2'den alınan zemin örneklerinden, bu dar bölgede zemin profilinin birbirinden oldukça farklı olduğu görülmüştür. SK1 az çakıllı ince kum, silt-kil karışımı tabakalardan, SK2 taş, çakıl ağırlıklı, kum, silt-kil karışımı tabakalardan SK3 ise taş, çakıl ağırlıklı kumlu siltli kil'den oluştuğu görülmüştür.



Şekil 3. Araziye SPT deneyine ait sondaj çalışması.

2.1.5. Arazi verileri ve hasar gözlemleri

Bu çalışmada sıvılaşma potansiyeli hesaplarının analizi ve zeminlerin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi amacı ile 2 adet 16 m 1 adet 14 m derinliğinde toplam 3 adet sondaj kuyusu açılarak (Standard Penetrasyon Test) verileri kaydedilmiştir (Şekil 4). Araziye zemin sondaj çalışmaları yapılırken; ilerlemeye paralel olarak, her 1.50 m de SPT deneyi yapılmış ve örselenmiş örnekler alınmıştır.

Üç ayrı noktada SK1, SK2 ve SK3 yapılan sondajlardan alınan örselenmiş ve örselenmemiş zemin örnekleri üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri ile zeminin indeks özellikleri belirlenmiştir. Bina temelinde aşırı oturmaların görüldüğü güneybatı duvarı yakınlarında açılan SK1 ve SK2'den alınan zemin örneklerinden bu dar bölgede zemin profilinin birbirinden oldukça farklı olduğu görülmüştür. SK1 az çakıllı ince kum, silt-kil karışımı tabakalardan, SK2 taş, çakıl ağırlıklı, kum, silt-kil karışımı tabakalardan SK3 ise taş, çakıl ağırlıklı kumlu siltli kil'den oluştuğu görülmüştür.

Köşe noktasından 3 m. derinliğinde ve daha aşağı katmanlarda zeminin çökme potansiyeline sahip az çakıllı siltli killi ince kumlu bantlardan oluştuğu görülmektedir. Zeminin doğal birim hacim ağırlığını ve çökme potansiyelini belirlemek amacıyla çeşitli derinliklerden örselenmemiş numuneler alınmıştır. Araziye alınan örnekler üzerinde zeminlerin mühendislik özelliklerini belirlemek amacıyla gerekli deneyler yapılmak üzere laboratuvara gönderilmiştir.

Çalışma alanında yapılan incelemede, ana girişe göre binanın sol yarısında bilhassa güney batı köşesinde 0.6m ye ulaşan aşırı oturmalar gözlenmiştir (Şekil 4). Temellerdeki farklı oturmalar üst yapıyı da olumsuz yönde etkilemiş ve binada ağır hasara neden olmuştur. Taşıyıcı sistemdeki aşırı deformasyonlar betonarme elemanlarda ve bölme duvarlarında ileri derecede çatlaklar meydana gelmesine yol açmıştır (Şekil 5). Yörede kanalizasyon şebekesi bulunmadığından bina atık suları binanın güney batı köşesinde 10 m yakınındaki taban sızdırmalı foseptik çukuruna iletilmektedir (Şekil 6). Bina temellerinin oturduğu zeminin profilini ve indeks özelliklerini belirlemek amacı ile

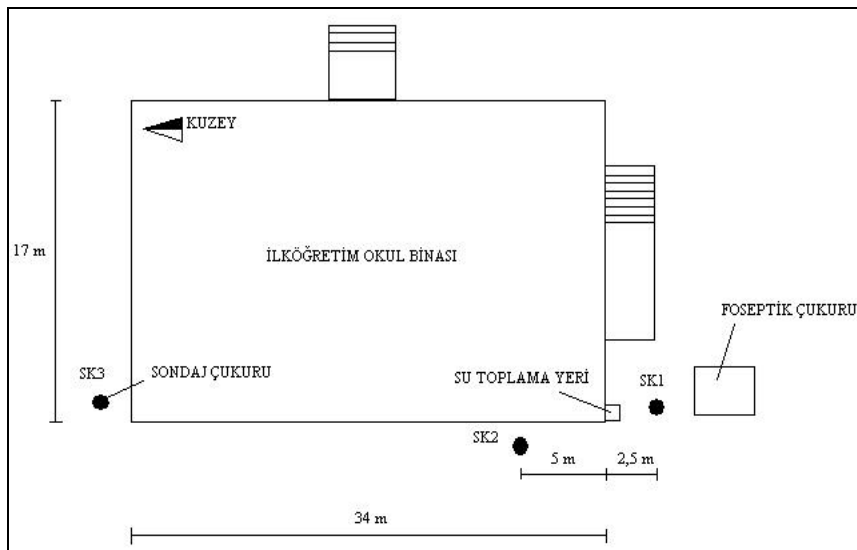
derinlikleri 20 m ulaşan üç adet sondaj yapılmış. ve zeminden örselenmiş ve örselenmemiş örnekler alınmış SPT değerleri kaydedilmiştir (Şekil 7) [3].



Şekil 4. Okul binasında gözlenen çatlak ve oturmalar [3].



Şekil 5. Okul binasında gözlenen çatlak ve oturmaların farklı görünüşü [3].



Şekil 6. Okul çevresinde yapılan sondaj kuyusunun yeri ve foseptik bağlantısı [3].

0.0 m	SK3	0.0 m	SK2	0.0 m	SK1
-3	TEMEL	-3	TEMEL	-3	TEMEL
17	N=40	11	N=35	1	N=10
-5	N=50	-4	N=50	-4,5	N=13
18	N=50	12		2	N=8
-7	N=50	-9	N=50	-6,5	3
19	N=40	13	N=12	-7,5	4
-9		-9,5	N=50	-8	N=6
20	N=35	14		5	N=10
	N=33	-12		-11	N=12
-12		-12		-11,5	6
21	N=50	15	N=50	-12	7
-15		-16		-13	8
22	N=50	16		-14	9
-16					N=21
23	(SPT) Sayı			10	N=38
					(SPT) Sayı

Şekil 7. Arazi sondaj SPT-N verileri [3].

2.1.6. Yer altı suyu durumu

Bir bölgede sıvılaşma potansiyelinin olabilmesi için, gereken olan önemli parametrelerden birisi de, yer altı suyunun yüzeyden itibaren takriben 0-15 m arasında bulunmasıdır. Çalışma alanında yer altı suyu, durumuna gelince, yeraltı suyu yaz ve kış aylarında mevsimsel olarak değişmektedir. Genel olarak Aksaray ilinin merkezi yerleşim bölgelerinde açılan 22 adet zemin sondajından elde edilen sonuçlara göre su seviyesi 2,5 m ile 9 m arasında değişen derinliklerde bulunmaktadır. Bir genellemeyle ifade etmek gerekirse ortalama 5,5 m’de bulunmaktadır.

2.2. Metot

Bu çalışma kapsamında çalışma alanından elde edilen SPT verileri esas alınarak, Seed ve Idriss [6] sıvılaşma analiz yöntemine göre sıvılaşma analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda elde edilen sonuçlara göre, Aksaray (Altınkaya) bölgesinde, ilköğretim binasında gelişen hasarların sıvılaşma potansiyelinin varlığına bağlı olup olmadığı araştırılmıştır.

2.2.1. Sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesindeki kriterler

Zeminlerin sıvılaşma riskine karşı dirençlerinin belirlenmesi, iki değişkenin hesaplanmasını veya tahmin edilmesini gerektirmektedir, bunlar;

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

Deprem gücünü karakterize eden DGO’nun, zeminin direncini karakterize eden DDO’ya oranı ise o zeminin sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısını vermektedir (Eş. 1).

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

Güvenlik faktörünün 1'den küçük olması o bölgenin sıvılaşma riski taşıdığını, güvenlik faktörünün 1'den büyük olması ise o bölgenin sıvılaşma riski taşımadığını göstermektedir.

2.2.1.1. Seed ve Idriss (1971) tarafından geliştirilen “basitleştirilmiş” yöntemle göre devirsel gerilme oranının (DGO) bulunması

Bu yöntemle göre deprem esnasında zemin tabakasında oluşacak devirsel gerilme oranı aşağıda verilen Eş.2'den hesaplanabilmektedir [6].

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

Burada; (a_{max}) deprem tarafından oluşturulan ve yüzeyde etkiyen en büyük yatay yer ivmesini, (σ_{vo}) toplam düşey gerilmeyi (kN/m^2), (σ'_{vo}) efektif düşey gerilmeyi (kN/m^2), (g) yerçekimi ivmesini (m/s^2), (τ_{av}) ortalama devirsel gerilme dayanımını (kN/m^2), (r_d) gerilme azaltma katsayısını ifade etmektedir.

Efektif gerilme azaltma katsayısı, Liao ve Whitman [7]'a göre aşağıdaki şekilde belirlenebilir;

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

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

Burada; (z) metre cinsinden derinliktir.

2.2.1.2. Youd vd. (2001)'e göre devirsel direnç oranının (DDO) bulunması

Bu yöntemde standard penetrasyon test (SPT) verileri ile sıvılaşma direncinin belirlenmesinde Youd vd. [8] aşağıda verilen eşitliği (Eş. 4) önermiştir;

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

Burada, Sıvılaşma analizinde kullanılan düzeltilmiş SPT-N değerleri ($(N_1)_{60}$) Youd vd. [8], Seed vd. [9] tarafından bazı kısımları modifiye edilerek ince tane oranının sıvılaşma direncine etkisini de göz önünde bulundurarak aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

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

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

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

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

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

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

$$\beta = \left[0.99 + \left(\frac{ITO^{1.5}}{1000} \right) \right] \quad ; \%5 < ITO < \%35 \quad (10)$$

$$\beta = 1.2 \quad ; ITO \geq \%35 \quad (11)$$

3. Arazi ve Laboratuvar Çalışmalarının Değerlendirilmesi

3.1. Zeminlerin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi

Çalışma alanında yapılan temel sondajlarından UD numuneleri alınarak zemin numunesinin jeomekanik özelliklerini ve taşıma gücünü belirlemeye yönelik üç eksenli basınç deneyi, elek analizi, doğal su içeriği, doğal birim hacim ağırlık, atterberg limitleri ve konsolidasyon deneyleri yapılmıştır (Tablo 1-Tablo 2).

Tablo 1. Zeminlerin index-fiziksel özelliklerini gösterir laboratuvar deney sonuçları.

Derinlik	Geçen Yüzdesi		Atterberg limitleri			Sınıfı	Yaş Birim Hacim Ağırlığı (γs)	Doğal Birim Hacim Ağırlığı (γn)	Su Muhtevası (ωn)	Kuru Birim Hacim Ağırlığı (γnk)
	4.75mm*	0.075*	LL	PL	Ip					
m	%	%	%	%	%		kN/m3	kN/m3	%	kN/m3
4	95	35	40	21	19	SC	26.5	18	14	15.76
5	90	15	35	18	17	SC	26.7	16.9	13	14.95
7	80	13	34	19	15	SC	26.3	16.95	13.5	14.94

Tablo 2. Araziden alınan zeminlerin çökme indeksi.

Derinlik	Doygunluk Derecesi (Sr)	Porozite (n)	Boşluk Oranı (e0)	Başlangıç Boşluk Oranı (e1)	Son Boşluk oranı (e2)	Çökme Potansiyeli
m	%	%	%	%	%	%
4	54.5	40.5	68	57.3	50.2	4.2
5	44.1	44	78.6	69.5	61	4.76
7	46.72	43.2	76	70.2	63.4	3.86

3.2. Deprem tasarım parametrelerinin hesaplanması

Çalışma alanı ve yakın çevresini etkileyecek aktif diri faylar, Tuzgölü'nün doğusunda yer alan ve yaklaşık 180 km uzunluğunda olan Tuz Gölü Fay Zonunun genel doğrultusu KB-GD 'dur. Anadolu'nun önemli yapısal unsurlarından biri olarak değerlendirilen Tuzgölü Fayı sağ yönlü doğrultu atımlı bir karakter göstermektedir. Tuzgölü fayının Hasandağı'nın doğusundan geçerek Bor yakınlarına kadar devam ettiği sonucuna varılmıştır.[10].

1983 tarihinde meydana gelen depremde hasar gören Kulu ve Bala ilçeleri arasında kalan köylerin dağılımı (Köşker, Karahamzalı, Aktaş, Abdülgediği köyleri) , bu fayın uzanımına karşılık gelmektedir. Ayrıca Şereflikoçhisar ve Aksaray'da geçmişte

$$PGA = 2.18e^{0.0218(33.3M_w - R_e + 7.8427S_A + 18.9282S_B)} \quad (13)$$

Burada; yumuşak zeminler için SA=0, SB=1 alınır, Re yerleşim alanından ilgili fay zonuna en yakın dikey mesafedir, Mw: Deprem büyüklüğüdür. Buna göre, tasarım depreminin meydana getirebileceği “Yatay deprem ivmesi” 0,4g olarak hesaplanmıştır.

3.3. Sıvılaşma analizi ve sıvılaşma potansiyeli indeksinin belirlenmesi

Çalışma alanında, bu bölgede bulunan ve etkin olan 180 km uzunluğundaki Tuz gölü Fay Zonunun olası bir depremde 1/3'nün kırılacağı tahmin edilen senaryo depremine göre, moment magnitudü M=7.2 büyüklüğünde beklenen bir depreme tehlikesine göre sıvılaşma potansiyeli ve sıvılaşmaya bağlı yapı hasarı Liq IT V. 4.7.3 [5] Geologismiki yazılımı kullanılarak araştırılmıştır.

Ancak güvenlik faktörü, geniş ve derin alanlar için göreceli bir değerlendirme olup sıvılaşma potansiyeli açısından yalnız başına yeterli değildir. Bu durum göz önünde bulundurularak, Iwasaki vd. [2] tarafından güvenlik faktörünü de içerecek şekilde “sıvılaşma potansiyeli indeksi” adı verilen bir parametre önerilmiştir. Iwasaki vd. [2] sıvılaşma indeksinin hesaplanması için aşağıdaki eşitlikleri (Eş. 14 ve Eş. 14a-Eş. 14d) önermiştir.

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

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

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

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

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

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

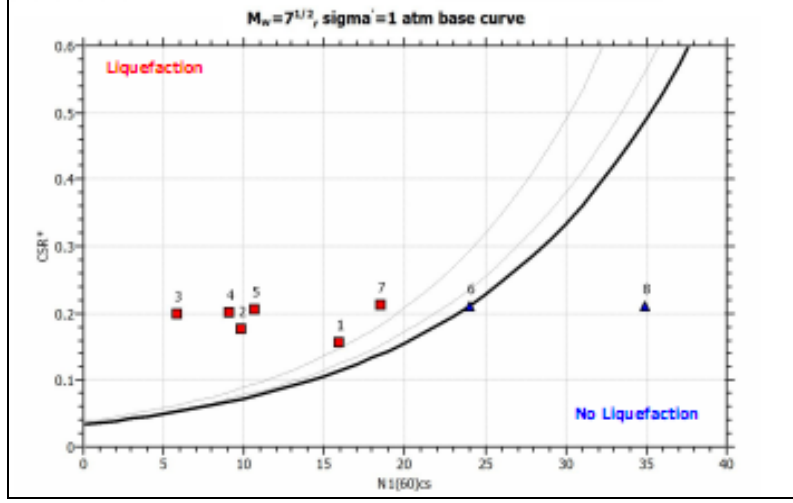
Zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin derecelendirilmesinde Iwasaki vd. [2]'e göre hesaplanan sıvılaşma indeksleri Tablo3'deki gibi sınıflandırılabilir.

Sıvılaşma analiz sonuçlarına göre elde edilen güvenlik katsayıları, Iwasaki vd. [2] yöntemine göre Eşitlik 14 kullanılarak sıvılaşma indeksleri bulunmuş ve analize dâhil edilmiştir. Buradan bulunan indeksler yukarıda verilen (Tablo 3) sınır değerleri ile karşılaştırılarak ilgili lokasyonlar sıvılaşma derecelerine göre gruplandırılmış ve sonuca varılmıştır.

Tablo 3. Sıvılaşma potansiyeli indeksine (LI) göre sıvılaşma risk dereceleri [2].

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

Bu çalışmada 3 adet sondaj kuyusu açılmıştır, SK-1-SK-3 kuyuları için Liq IT V.4.7.3 [5] programı kullanılarak sıvılaşma analizleri ayrı ayrı yapılmıştır. SK-3 kuyusunda güvenlik faktörü gittikçe azalmıştır. $FS < 1$ olması nedeniyle SK-3 lokasyonu sıvılaşma potansiyeli taşımaktadır (Şekil 7).



Şekil 9 (a). Seed ve Idriss (1971) yöntemine Göre SK-3 kuyusu analiz sonuçları.

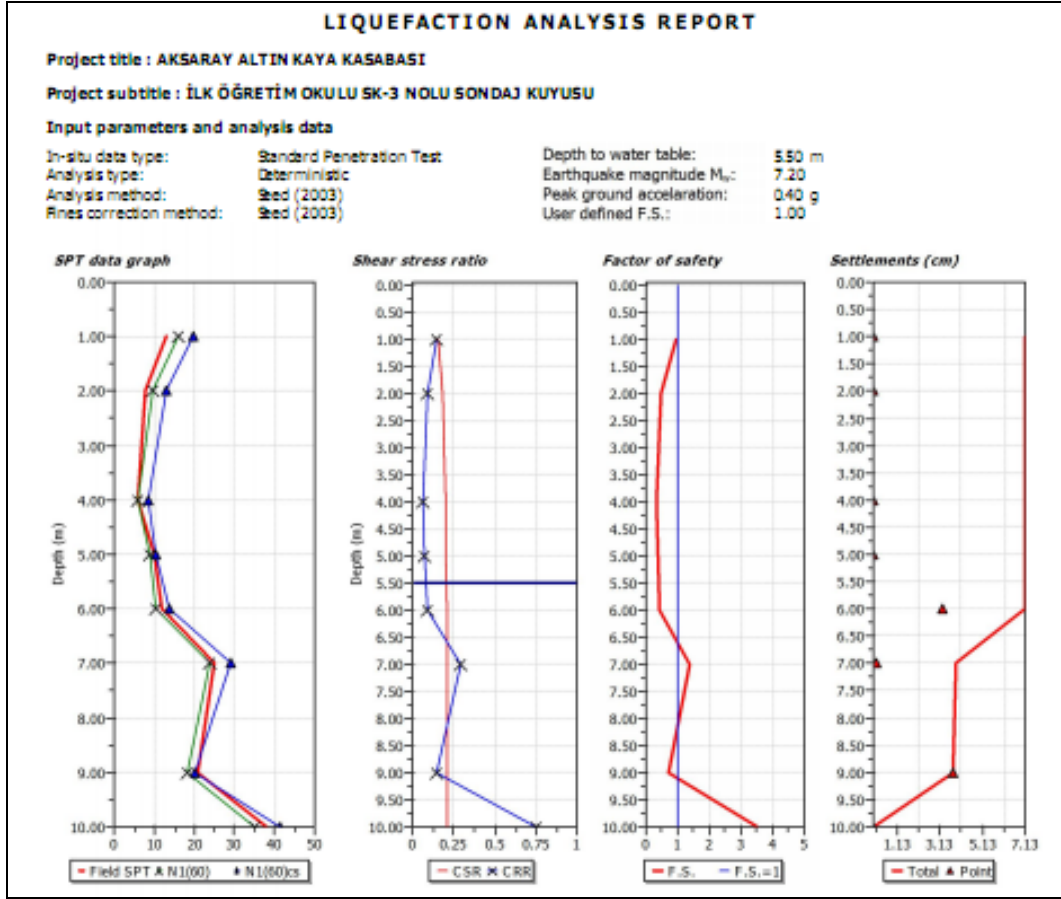
Deprem magnitüd büyüklüğü 7,2 ve yatay deprem ivmesinin 0,4g şartlarında bir depremin olması durumunda, Yukarıdaki şekillere bakıldığında (Şekil 9a, Şekil 9b) SK-3 nolu lokasyonun ve çevresinin düşük düzeyde sıvılaşma riski taşıdığı görülmektedir.

4. Sonuç ve Öneriler

Aksaray ili Altınsaray kasabası ilk öğretim okulu binasında güneybatı köşesinin 10 m uzağındaki taban sızdırmalı fosseptikten kuyusundan sızan sular, SK3 civarında etkili olmuş, lös zemin yapısındaki kum, silt-kil bantlarının oturmasına (çökmesine) neden olmuştur.

Çökmenin oluştuğu SK3 sondaj kuyusu zemin profilinden de görüldüğü gibi, temellerin oturduğu anlaşılmaktadır. İlköğretim okul binasının zemininde yapılan karotlu sondaj çalışmasında elde edilen numunelerin SPT değerleri kaydedilmiş, sıvılaşma ve oturma analizleri yapılmıştır. Aynı zamanda, bu nokta (SK-3) arazi gözlemleri ile incelenmiş ve oturduğu saptanmıştır. Ve deneysel olarak aynı noktanın yapılan analizler sonucunda da sıvılaşığı ve çöktüğü (oturduğu) tespit edilmiştir ($PLI=28.18$, $\Delta H=7.13$ cm).

Ayrıca laboratuarda yapılan deneysel çalışmalar sonucunda ise oturma miktarı (çökme) 12.8 cm olarak hesaplanmıştır. Bu çalışma sonucunda çalışma alanında yapılan her iki çalışmanın (arazide gözlemsel ve laboratuvar) birbiri ile uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır. Altınsaray ilköğretim okul binasında gelişen hasarın sıvılaşmaya bağlı oluştuğu kanaatine varılmıştır.



Şekil 9 (b). Seed ve Idriss (1971) yöntemine Göre SK-3 kuyusu analiz sonuçları.

Kaynaklar

- [1]. Özaydın K, Zeminlerde sıvılaşma. Altıncı Ulusal Depem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 2007, 231-255.
- [2]. Iwasaki T, K., Tokida K. Tatsuoka, Watanabe, S., Yasuda, S., and Sato, H., Microzonation for soil liquefaction potential using simplified methods, Proceedings of the 13th International Conf. On Microzonation, Seattle, USA vol. 3, 1319-1330, 1982.
- [3]. Öztürk E., Aksaray ve Civarının Sismik Risk Alanlarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi. Niğde Üniversitesi Niğde (2005) 102
- [4]. Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, 2007.
- [5]. İnternet: LiqIT 4.7.3 Geologismiki (2006), Sıvılaşma Analizi Yazılımı” www.geologismiki.gr (2006).
- [6]. Seed H.B, Idriss I.M. Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. **Journal of Geotechnical Engineering**, ASCE, 1971, 97(9), 1249-1273.
- [7]. Liao S.S.C. Whitman R.V. Overburden Correction Factors For SPT In Sand. **Journal of Geotechnical Engineering**, ASCE, 1986, 112 (3): 373-377.
- [8]. Youd T.L et al. 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, 2001, Vol.127, No.10, pp.817-832.

- [9]. Seed H.B, Tokimatsu K, Harder L.F, Chung R.M. The influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations. **Journal of Geotechnical Engineering**, ASCE, 1985, Vol.111, No:12, pp.1425-1445.
- [10]. Türkiye Petrol Jeologları Derneği., Haymana-Tuzgölü-Ulukışla Basenleri Uygulamalı Çalışma . Workshop .(2000) 1-26.
- [11]. Şaroğlu F, Emre, Ö, Kuşçu İ. Türkiye Diri Fay Haritası, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, 1992.
- [12]. Mark R. K. Application Of Linear Statistical Model Of Earthquake Magnitude Versus Fault Length In Estimating Maximum Expectable Earthquakes. **Geology**, 1977, 5: 464- 466.
- [13]. Wells D.L., K.J. Coppersmith, New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. **Bulletin of the Seismological Society of America**, 1984, 4, 974-1002.
- [14]. Ulusay R, Tuncay E, Sonmez H, Gokceoglu C. An attenuation relationship based on Turkish strong motion data and iso-acceleration map of Turkey. **Engineering Geology**. 2004, 74: 265–291.