



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Standard Penetrasyon Deneyi (SPT) ile Düzce ili Darıncı Mahallesi Zemininin Sıvılaşma Potansiyelinin Araştırılması

Ali ATEŞ^a, Burak YEŞİL^{b,*}

^a Düzce Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Müh. Bölümü Konuralp-Düzce, TÜRKİYE

^b Düzce Üniversitesi Düzce MYO İnşaat Teknolojisi Bölümü Merkez-Düzce, TÜRKİYE

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

ÖZET

Bu çalışma, Düzce ili Darıncı Mahallesi yerleşim alanında yapılması planlanan iki katlı yapı alanında mevcut olan alüvyal zeminlerin olası bir deprem etkisinde sıvılaşma potansiyelinin, arazi Standart Penetrasyon Testi (SPT) verileri kullanılarak belirlenmesini içermektedir. Bu amaçla, yapı oturma alanında yapılan 1 adet sondaj çalışmasına ait olan SPT verileri kullanılmıştır. Yerleşim merkezinin yaklaşık 7 km Güneyinde “Düzce Fay Zonu” yer almaktadır. Bu fay zonunun yapı alanını etkileyebileceği ve en büyük ivmeyi yaratabileceği varsayılarak, araştırmaya esas alınmıştır. Toplam 75 km uzunluğundaki bu fay zonunun, olası bir depremde 1/3’sinin kırılması tahmin edilerek, moment magnitudü 7,2 ve Türkiye’deki faylar için geliştirilen deprem atenuasyon eşitliği kullanılarak 0,51 g büyüklüğünde yatay deprem ivmesi oluşabileceği hesaplanmış ve SPT verileri kullanılarak sıvılaşma analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, Darıncı Mahallesinde planlanan iki katlı yapı alanının yüksek dereceli sıvılaşma riski taşıdığı ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: SPT, sıvılaşma riski, Düzce

Investigation of Liquefaction Potential Using Standard Penetration Test of Soils in Düzce Darıncı Region

ABSTRACT

This study includes the determination of the liquefaction potential developed for the residential area and for the two storey building which planned covered by alluvial deposits using SPT (Standard Penetration Test) data under the effect of the probable earthquake in Düzce Center named Darıncı Street. For this reason, one data were evaluated. Düzce Fault Zone was a length of 75 km in length and approximately passes through in a distance of 7 km in the South of Düzce 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 Düzce Fault Zone may be cracked 1/3 of the total length. Using attenuation relationships, developed for Turkey, a peak ground acceleration of 0.51g was calculated for the study site. According to the these results, the liquefaction analysis was performed using the SPT data and area which planned for two storey structure was found as highly liquefiable.

Keywords: Standard penetration test, liquefaction risk, Düzce

I. GİRİŞ

DEPREMLER esnasında suya doymuş zemin tabakalarında çevrimli yüklemeler altında oluşan boşluk suyu basıncı artışları zeminde katı fazdan sıvı faza dönüşme olarak nitelendirilebilecek sıvılaşma durumunun ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Zeminlerin sıvılaşabilirliği tane boyutu ve dağılımı yanında, jeolojik yaşı ve çökelme koşulları, başlangıç sıkılık 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 olması, zeminin sıvılaşması için etkili olan koşullardandır. Sıvılaşma olayı, pek çok depremde gelişmesine karşın ülkemizde, 1992 Erzincan depremiyle dikkate alınmaya başlanmış, 1999 Marmara depreminde meydana gelen sıvılaşma olayları ile bu olgunun önemi tüm kesimlerin ilgisini çekmektedir.

Bu çalışmada, Düzce ilinde inşası planlanan bir yapı için zemininin jeolojik ve jeoteknik özelliklerini ortaya koymak ve olası bir depreme karşı dayanıklılığının tespitine yönelik yapılan çalışma kapsamında elde edilen SPT verileri kullanılmıştır. İnşası planlanan yapı alanında alüvyal zeminlerin sıvılaşma riski değerlendirilmiştir. Bu amaçla, bölgenin jeolojisinden, depremselliğinden, olası deprem odaklarının uzaklığı ile oluşturacakları yer ivmesi ilişkilerinden, zemine ait granülometri değerlerinden ve SPT verilerinden yararlanılarak sıvılaşma analizleri yapılmış ve Iwasaki vd. [2] kriterleri baz alınarak sıvılaşma potansiyeli araştırılmıştır.

II. MATERYAL ve METOT

A. MATERYAL

A1. Çalışma Alanının Tanımlanması

Bu çalışma; Düzce ili, Merkez ilçesi, Darıcı Mahallesi, G26A19D1A-1B Pafta, 945 Parsel, 3000 m²'lik alanda yapılacak olan en fazla 250,00 m² taban alanlı zemin+2 katlı konut inşaatı için geoteknik zemin parametrelerinin ve sıvılaşma riskinin belirlenmesi amacıyla hazırlanmıştır. Çalışma alanında 1 adet sondaj çalışması yapılmıştır. Çalışma alanı, Düzce ili, Merkez İlçesi, Darıcı Mahallesinde yer almaktadır ve çevresinde 1-2 katlı binalar mevcut bulunmaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanının yer buldurur görünüşü

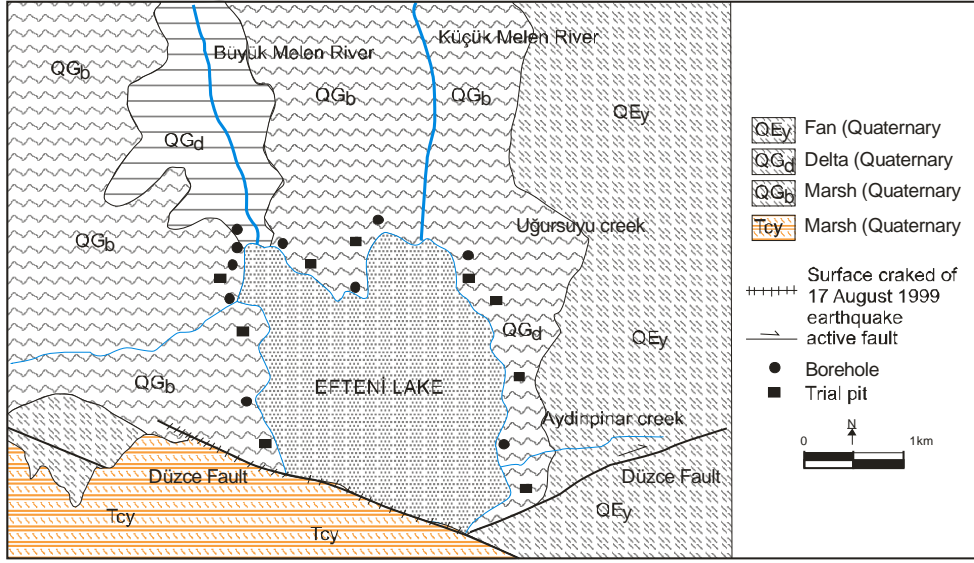
Çalışma alanı Batı Karadeniz bölgesinde İstanbul ile Ankara illerinin arasında kalmaktadır. İklim olarak Karadeniz iklimi hâkimdir. Türkiye'nin en zengin bitki örtüsüne sahip yörelerinden olan bölgenin hem kuzey hem de güney mevkisi sık ormanlarla kaplıdır. Morfolojik açıdan bölgenin güney ve kuzeyindeki yükseltiler arasında göllerinde içinde bulunduğu basenler boyunca yaklaşık Doğu-Batı uzanımlı topografik olarak düşük eğimlere sahip düzlükler yer almaktadır. Bölgede Adapazarı-Bolu arasında düşük eğime (% 0-10) sahip alanlar afet bölgesinin % 20'sini oluşturmaktadır.

A2. Çalışma Alanının Jeolojisi

Düzce ili ve yakın çevresindeki en yaşlı birim Prekambriyen yaşlı (Pey) birim olup çalışma alanının güney-batısında yer alan Efteni Gölünün güney-doğusundaki Kuvaterner yaşlı tortul birimler ile dokanak halindeki Düzce Fayının güney kısmında mostra verirler. Ayrıca Düzce ilinin kuzey-batısında yer alan Çilimli fayının kuzey ve kuzeybatısında da bu birime ait mostralara rastlanmaktadır. Genel anlamda fazlaca altere olmuş ve yer yer şistosite gösteren granit, granodiyorit karakteristiğindedir. Bu birim bazı kaynaklarda Yedigöller Formasyonu adı ile de anılmaktadır. Kocatöngel Formasyonu (Oko) Düzce İlinin kuzey-batısında mostra vermekte olup Erken Ordovisiyen yaşlıdır. Koyu gri yeşil renklere, orta-kalın tabakalı yer yer laminalı silt taşı ve şeyllerden oluşur. Kumtaşları kalın tabakalı olup ara tabakalı yüzeylerini oluşturur ve çoğunlukla silis çimentoludur. Şeyl tabakalarında silişleşme yaygındır. Kurtköy Formasyonu (Ok) Kocatöngel Formasyonu gibi Erken Ordovisiyen yaşlıdır. Çalışma alanının kuzey-doğusunda ve güney-doğusunda küçük dar alanlarda mostra verirler. Kırmızı, mor ve alaca renkli olan bu birimin bu civardaki litolojisi seyrek konglomera ara seviyeleri içeren kumtaşları olup; orta kaba taneli yer yer silis çimentoludur (Şekil 2). Ereğli Formasyonu (Ode) çalışma alanının kuzey-batı ve güney-doğusunda sınırlı alanlarda mostra vermekte olup kumtaşı-şeyl-kireçtaşı ardalanmasından oluşmaktadır. Yer yer fazla silisleşmenin görüldüğü alanlarda silisli şeyl

özelliğini kazanır. Alt seviyelerde gri, siyah, yeşil renklerde ve ince orta tabakalı iken üst seviyelerde yeşil renkli şeyllere dönüşür. Yapılan çalışmalara göre sığ denizel kökenli oluşuklar olup Ordovisiyen-Alt Devoniyen yaştaadır. Yılanlı Formasyonu (DCy) Genç Devoniyen-Erken Karbonifer yaşta olup çalışma alanının kuzey-batı ve kuzey-doğusunda sınırlı alanlarda gözlemek mümkündür. Bu birim Dolomitik kireçtaşı ve Dolomitten ibaret olup koyu gri, yer yer beyaz renklidir. Permien-Triyas yaşlı Çakraz formasyonuna (Ptkç) ait mostralara çalışma alanının kuzey-doğusunda rastlamak mümkündür. Bu birim büyük olasılıkla karasal bir ortam ürünü olup morumsu kırmızımsı renkte, orta-sıkı tutturulmuş çakıltaşı-kumtaşı-çamurtaşı ardalamasından ibarettir. Çamurtaşları ince-orta tabakalıdır. Genel anlamda heyelan tehlikesi taşımayan sağlam zemin niteliğindedir. Yemişliçay Formasyonu (Ky) volkanik kumtaşı, kıltaşı, aglomera, andezit-bazaltik lav, tüfit ve mikritik kireçtaşları şeklinde karışık bir litolojiye sahip olup; Kretase-paleosen yaşlı ve çalışma alanının kuzey-doğu ucunda sınırlı alanda mostra verir. Alt seviyelerde gri-yeşil, sarı-kahve renkli, ince-orta tabakalı volkanik kumtaşları çoğunlukla olup yer yer kıltaşı, aglomera, tuf ve tüfit ile bölünürler. Orta ve üst seviyelerde kırmızı-pembe renkli mikritik kireçtaşları çoğalarak istife katılırlar. Genel anlamda bakıldığında bu istif volkanatortul bir istiftir. Çalışma alanının güney-doğu, kuzey-doğu ve kuzey-batısında mostra veren Akveren formasyonu Geç Kretase-Paleosen yaşlıdır (Kta). Alt seviyelerde kumtaşı, çakıltaşı ve kırıntılı kireçtaşı tabakaları üst seviyelere doğru kumtaşı ara seviyeleri içeren killi kireçtaşı, marna dönüşür. Alterasyon nedeniyle sarı, beyaz, yeşil bazı yerler kırmızı renktedir. Genel anlamda üst seviyelerde masif görünümündedirler. Yer yer fazlaca kıvrımlı bölgelerde kumtaşı ve marn ardalanmalı seviyelerde düzlemsel kaymalar görülebilir. Kireçtaşları ise erime boşlukları içerir. Çalışma alanının geniş bir bölümünde yüzeylenen Çaycuma Formasyonu (Tç) kumtaşı-konglomera-marn-tüfit ardalanmalı olup Erken-Orta Eosen yaştaadır. Kumtaşlarının tutturulması bazı yerlerde iyi bazı yerlerde ise zayıftır. Mevcut ardalanmanın düzenli olmadığı ve kumtaşı, marn veya volkanitlerin çoğunlukta olduğu gözlenmektedir. Bazı bölgelerde volkanitler aglomera, lav, tuf, tüfit olarak görülür ve geniş örtü niteliği taşırlar. Kolay altere olmaları ve aşınmaları nedeniyle derin vadilerin oluşmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla kütle hareketleri açısından zayıf bir birim olarak değerlendirilebilir. Yığılca Üyesi (Tçy) çalışma alanının batı, güney-batı ve kuzey-doğusunda mostra verir ve Erken-Orta Eosen yaştaadır. Çaycuma Formasyonu içindeki bazı bölgelerde tamamı ile volkanitlere dönüşür. Bu birim volkanik kumtaşı, tuf-tüfit, andezit-bazaltik lavlar ve volkanik breşlerden oluşmakta olup rengi koyu gri-kahverengimsi griden açık yeşile kadar değişmektedir. Olumsuz yüzey alterasyonuna rağmen sağlam zemin karakteristiğindedir. İçinde yer aldığı Çaycuma Formasyonunun alt seviyeleri ile yanal geçişlidir. Erken Kuaterner yaşlı Karapürçek Formasyonu (PIQk) çalışma alanının doğusunda dar bir alanda mostra verir. Zayıf tutturulmuş çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı, şeklinde gözlenirler. Çakıl taşları yer yer breşik ve merceksi seviyeler halinde, kumtaşı-çamurtaşı genel anlamda hâkim tortullardır. Rengi kaynak kayalara ve kısmen alterasyona bağlı olarak sarımsı kırmızı, açık kahverengi ve alacalıdır (Şekil 2) [3].

Düzce havzasını dolduran tümü kırıntılı çökellerin depolanma yerine bakmaksızın çakıl- kum-silt ve killerden oluştuğu gözlenmektedir. Havza kenarlarında çok az miktardaki döküntü veya yamaç molozunun dışında alüvyal ve gölsel alanlarda depolanmış oldukları dikkat çekmektedir. Havza kenarlarındaki temel kayaların aşırı alterasyona uğraması ve mevsimlik akarsuların bile çok miktarda tortul taşınmasına, yelpazelerin hızla büyümesine imkân vermiştir. Düzce havzasındaki tortul tabaka kalınlığının yaklaşık 260-400m olabileceği yapılan jeofizik araştırmalardan anlaşılmaktadır [3].



Şekil 2. Jeoloji haritası

A.3. Arazi Çalışması

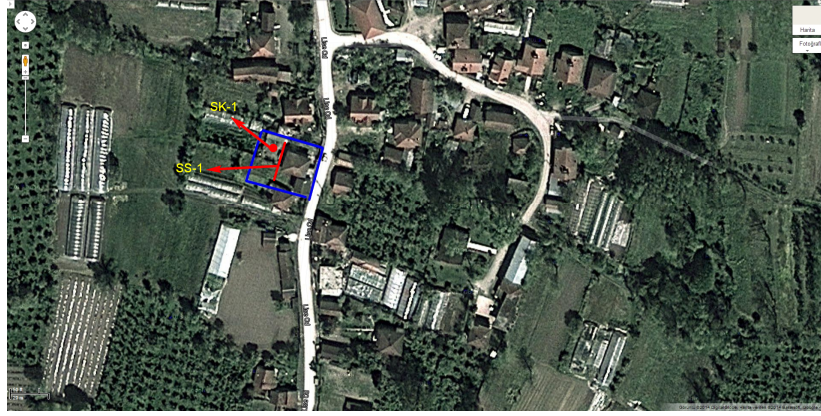
Düzce ili, Merkez İlçesi, Darıncı Mahallesi hudutlarında bulunan lokasyon haritasında görüldüğü gibi SK1 noktasında 1 adet sondaj çalışması yapılmıştır. Sondaj kuyularından örselenmiş (SPT) numuneleri ve UD numunesi alınmıştır. Numune alınırken doğallığın bozulmamasına dikkat edilmiş ve özenle laboratuarlara taşınmıştır. Laboratuvar deneyleri TSE standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Sondaj esnasında ilerlemeye paralel olarak, her 1.50 m de bir SPT yapılmıştır. SPT, zemin sondajlarında yerinde yapılan bir deneydir. Deney, 45 cm uzunluğunda ve 2" çaplı bir borunun, 75 cm yükseklikten düşen, 63.5 kg ağırlığındaki bir şahmerdanla çakılması esasına dayanır. 45 cm'lik uzunluk, 15'er cm'lik üç bölüme ayrılmakta ve üç ayrı aşamada darbe sayısı belirlenmektedir. Genelde 1,5 m aralıklarla yapılan bu deneye göre, zeminin sıklığı ve kıvam özellikleri ilk 15 cm'lik sondaj tablasındaki örselenmeden dolayı değerlendirmelerde dikkate alınmaz.

A.3.1. Sondaj Çalışmaları

Bu çalışma kapsamında 1 adet sondaj çalışması yapılmıştır. Sondaj çalışmaları, kamyon üzerine monteli, rotary sistem ile çalışan sondaj makinesi, üç kişilik ekipman denetiminde yürütülmüştür. Sondajlardan örselenmiş SPT numuneleri ve örselenmemiş UD numunesi 1,50-2,00 m'de ve 3,00-3,50 m'de alınmıştır. Sondaj çalışmaları sırasında yer altı suyu (YAS) seviyesi ölçümleri yapılmıştır.

Çalışma alanında ilgili lokasyonda da belirtildiği gibi SK1 noktasında toplam 20,00m derinlikte temel sondaj çalışmaları yapılmıştır. Yapılan SK1 sondajında 2,00-3,50 m arasında siltli kil, 2,00-6,00 m arasında kumlu siltli kil, 6,00-7,50 m arasında siltli kum, 7,50-9,00 m arasında çakıllı kum, 9,00-10,50 m arasında siltli kum, 10,50-13,50 m arasında çakıllı kum, 13,50-16,50 m arasında kumlu siltli kil, 16,50-20,00 m arasında çakıllı kumlu silt birimleri geçilmiştir.

Çalışma alanında yapılan sondajlar temel zeminlerinin litolojik özelliklerini, düşey ve yanal doğrultudaki değişimlerini ve yer altı suyu durumu ile mühendislik parametreleri gibi bilgileri belirleme amacına yönelik yapılmıştır. Sondaj ilerlemesi burgulu yöntemle yapılmıştır [4]. Sondaj çalışmalarına ait sondaj yerleri Şekil 3'de görüntüler ise Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 3. Sondaj kuyuları vaziyet planı



Şekil 4. Arazide SPT deneyine ait sondaj çalışması

SPT-N sayılarının temel tasarım çalışmalarında kullanılmasında derinlik ve yer altı suyunun etkilerine karşın düzeltmeler yapılması söz konusudur. Aşağıda N değerlerinin gerekli düzeltme işlemleri ve düzeltilmiş N değerlerine göre zeminin jeoteknik değerlendirmeleri sunulmuştur (Tablo 1).

Tablo 1. Arazide yapılan SPT-N verileri

SONDAJ NO	ÖRNEK NO	DERİNLİK		DARBE SAYISI			NF	YASS	YOĞUNLUK	Etketif Gerilme	Örtü Yüklü Düzeltme Faktörü	YASS Sonrası Düzeltme	Enerji Düzeltme Fak.	Tij Düzeltme Fak.	Numune Alıcı Fak.	Kuyu Çapı Fak.	DÜZELTİLMİŞ SPT DARBE SAYISI
		h1	h2	İlerleme Derinliği													
		m'den	m'ye	15	30	45	m	kN/m ³	kN/m ²	CN (kPa)	N'F	n1	n2	n3	n4	N' 60	
SK1	SPT-1	2,00	2,45	3	3	4	7	0,50	20,88	27,0	1,425	7	0,75	0,75	1,00	1,00	6
SK1	SPT-2	3,50	3,95	4	4	3	7	0,50	20,97	44,0	1,262	7	0,75	0,75	1,00	1,00	5
SK1	SPT-3	4,50	4,95	10	10	9	19	0,50	20,97	55,1	1,186	17	0,75	0,75	1,00	1,00	11
SK1	SPT-4	6,00	6,45	16	13	13	26	0,50	20,97	71,9	1,098	21	0,75	0,75	1,00	1,00	13
SK1	SPT-5	7,50	7,95	18	10	8	18	0,50	20,97	88,6	1,028	17	0,75	0,75	1,00	1,00	10
SK1	SPT-6	9,00	9,45	12	11	11	22	0,50	20,97	105,3	0,970	19	0,75	0,75	1,00	1,00	10
SK1	SPT-7	10,50	10,95	25	16	20	36	0,50	20,97	122,1	0,921	26	0,75	0,75	1,00	1,00	13
SK1	SPT-8	13,50	13,95	9	9	18	27	0,50	20,97	155,6	0,840	21	0,75	0,75	1,00	1,00	10
SK1	SPT-9	16,50	16,95	50	50	50	100	0,50	20,97	189,0	0,774	58	0,75	0,75	1,00	1,00	25

A.3.2. Zeminlerin Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

Sondaj çalışmaları sırasında alınan SPT örneklerinin üzerinde laboratuvar deneyleri uygulanmış ve zeminin fiziksel, mekanik ve mühendislik parametreleri verilmiştir (Tablo 2-3).

Tablo 2. Zemin Numunelerinin Tane Boyu Dağılımları ve Zemin Sınıflaması

Kuyu No:	Derinlik (m)	Silt – Kil%	Çakıl%	Kum%	Zemin Tipi
SK1	1,50-2,00	30,37	27,41	42,22	SC
SK1	2,00-2,45	55,25	15,75	29	CL
SK1	3,00-3,50	29,34	39,85	30,81	GC
SK1	3,50-3,95	53,59	9,36	37,05	CL
SK1	4,50-4,95	34,08	20,15	45,77	SC
SK1	7,50-7,95	22,95	32,09	44,96	SM
SK1	10,50-10,95	10,47	33,76	55,77	SM
SK1	13,50-13,95	49,84	10,59	39,57	GM
SK1	16,50-16,95	31,92	13,47	54,61	SC

Tablo 3. Zemin Numunelerinin, Su İçerikleri, Atterberg Limitleri ve Kıvamılık İndeksleri

Kuyu No	Derinlik (m)	W _n % (Su İçeriği)	LL% (Likit Limit)	PL% (Plastik Limit)	PI% (Plastisite İndeksi)	I _c % (Kıvamlık İndeksi)
SK1	1,50-2,00	15,56	35,00	19,00	16,00	1,22
SK1	2,00-2,45	13	38,00	18,00	20,00	1,25
SK1	3,00-3,50	15,5	33,00	18,00	15,00	1,17
SK1	3,50-3,95	10,36	36,00	20,00	16,00	1,60
SK1	4,50-4,95	11,44	35,00	19,00	16,00	1,47
SK1	7,50-7,95	7,46	0,00	0,00	NP	---
SK1	10,50-10,95	7,26	0,00	0,00	NP	---
SK1	13,50-13,95	4,56	35,00	16,00	19,00	1,60
SK1	16,50-16,95	7,38	37,00	18,00	19,00	1,56

A.3.3. Yeraltı Suyu Durumu

Sıvılaşmanın oluşması için yeraltı suyunun yüzeye yakın olması gerekir. Bu derinlik genellikle 0 ile 10 m arasında değişmektedir. Ender olmakla birlikte, su tablasının derinliğinin 20 m civarında olduğu yerlerde de sınırlı miktarda sıvılaşmanın meydana geldiği bilinmektedir. Çalışma alanında su seviyesine 0,50 m’de rastlanılmıştır.

B. 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, Düzce yerleşkesinde tasarlanan özel yapı için sıvılaşma potansiyelinin varlığı araştırılmıştır. Bu analizler sonucunda elde edilen sonuçlara göre ilgili yapının inşaatı amacıyla alanın depremden kaynaklanacak olan sıvılaşmaya bağlı oluşacak riski ortaya konulmuştur.

B.1. Sıvılaşma Potansiyelinin Belirlenmesindeki Kriterler

Analiz sonuçlarını esas alarak zeminlerin sıvılaşma dirençlerinin belirlenmesi, iki değişkenin hesaplanması veya tahmin edilmesini gerektirmektedir. Bunlar;

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

Depremi 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.

B.1.1. Seed ve Idriss (1971) Tarafından Geliştirilen "Basitleştirilmiş" Yönteme Göre Devirsel Gerilme Oranının (DGO) Bulunması

Bu yönteme 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_{ave}) 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;

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

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

Burada; (z) metre cinsinden derinliktir.

B.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.

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

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

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

$$\alpha = \exp[1.76 - (\frac{190}{\dot{I}TO^2})] \quad ; \quad \%5 < \dot{I}TO < \%35 \quad (7)$$

$$\alpha = 5.0 \quad ; \quad \dot{I}TO \geq \%35 \quad (8)$$

$$\beta = 1.0 \quad ; \quad \dot{I}TO \leq \%5 \quad (9)$$

$$\beta = [0.99 + (\frac{\dot{I}TO^{1.5}}{1000})] \quad ; \quad \%5 < \dot{I}TO < \%35 \quad (10)$$

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

III. ARAZİ VE LABORATUAR ÇALIŞMALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

A. DEPREM TASARIM PARAMETRELERİNİN HESAPLANMASI

Deprem tasarım parametrelerinin bulunması için, çalışma alanını çevreleyen 100 km yarıçapında bir daire çizilerek, daire içinde kalan ve çalışma alanını etkileyebileceği düşünülen aktif sismik kaynaklara dik çizilerek bu sismik kaynakların çalışma sahasına en kısa mesafeleri kilometre (74 km) cinsinden ölçülmüştür (Şekil 5) [10]. Buradaki amaç bu bölgede olması beklenen depremin üreteceği etkin yatay deprem ivmesinin bulunarak ve zeminin, bulunacak ivmeyi büyütme etkisinin incelenmesidir. Çalışma sahasında en yüksek ivme yaratabilecek olan Düzce fay zonu, Mark [11] yaklaşımına göre olası bir depremde 1/3'nün kırılabilceği yaklaşımıyla, tasarım depreminin moment büyüklüğü, Wells ve Coopersmith [12]'in eşitliği kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir.

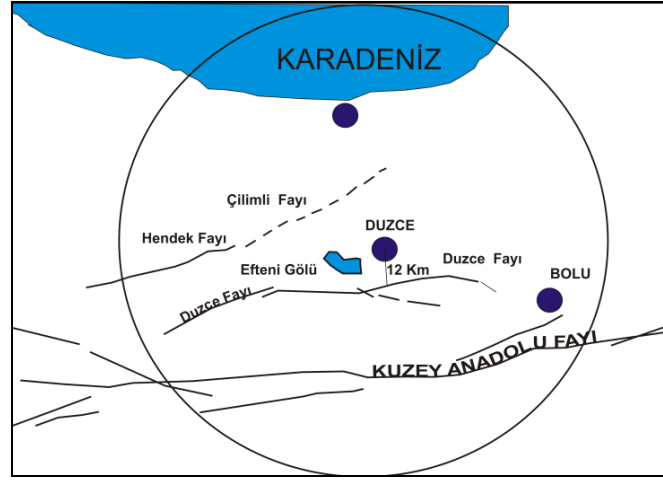
$$M_w = 4.86 + 1.32 \log L \quad (12)$$

Bu yaklaşıma göre Fay uzunluğunun, 1/3'nün kırılması durumunda, "Moment Büyüklüğü" 7.2 olarak hesaplanmıştır.

Kayada maksimum yatay ivmenin büyüklüğü Ulusay vd. [13] tarafından önerilen Eş.13 kullanılarak bulunabilmektedir.

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

Burada; yumuşak zeminler için $S_A=0$, $S_B=1$ alınır, R_e yerleşim alanından ilgili fay zonuna en yakın dikey mesafedir, M_w deprem büyüklüğüdür. Buna göre, tasarım depreminin meydana getirebileceği “yatay deprem ivmesi” 0,51 g olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5. Çalışma sahasına 100 km çap içinde bulunan sismik kaynakların belirlenmesi [10]

B. SIVILAŞMA ANALİZİ ve SIVILAŞMA POTANSİYELİ İNDEKSİNİN BELİRLENMESİ

Çalışma alanında, bu bölgede bulunan ve etkin olan Düzce Fay Zonun olası bir depremde bu fayın 1/3'nin kırılacağı tahmin edilen senaryo depremine göre, moment magnitüdü $M=7,2$ büyüklüğünde beklenen bir depreme göre sıvılaşma potansiyeli LiqIT V.4.7.3 [5] Geologismiki yazılımı kullanılarak araştırılmıştır.

Ancak güvenlik faktörü, geniş ve derin alanlar için göreceli bir değerlendirme yapılmasına ve sıvılaşma potansiyeli açısından sıvılaşma haritalarının hazırlanmasına doğrudan imkân vermemektedir. 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 (Eř. 14 ve Eř. 14a-d) 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.

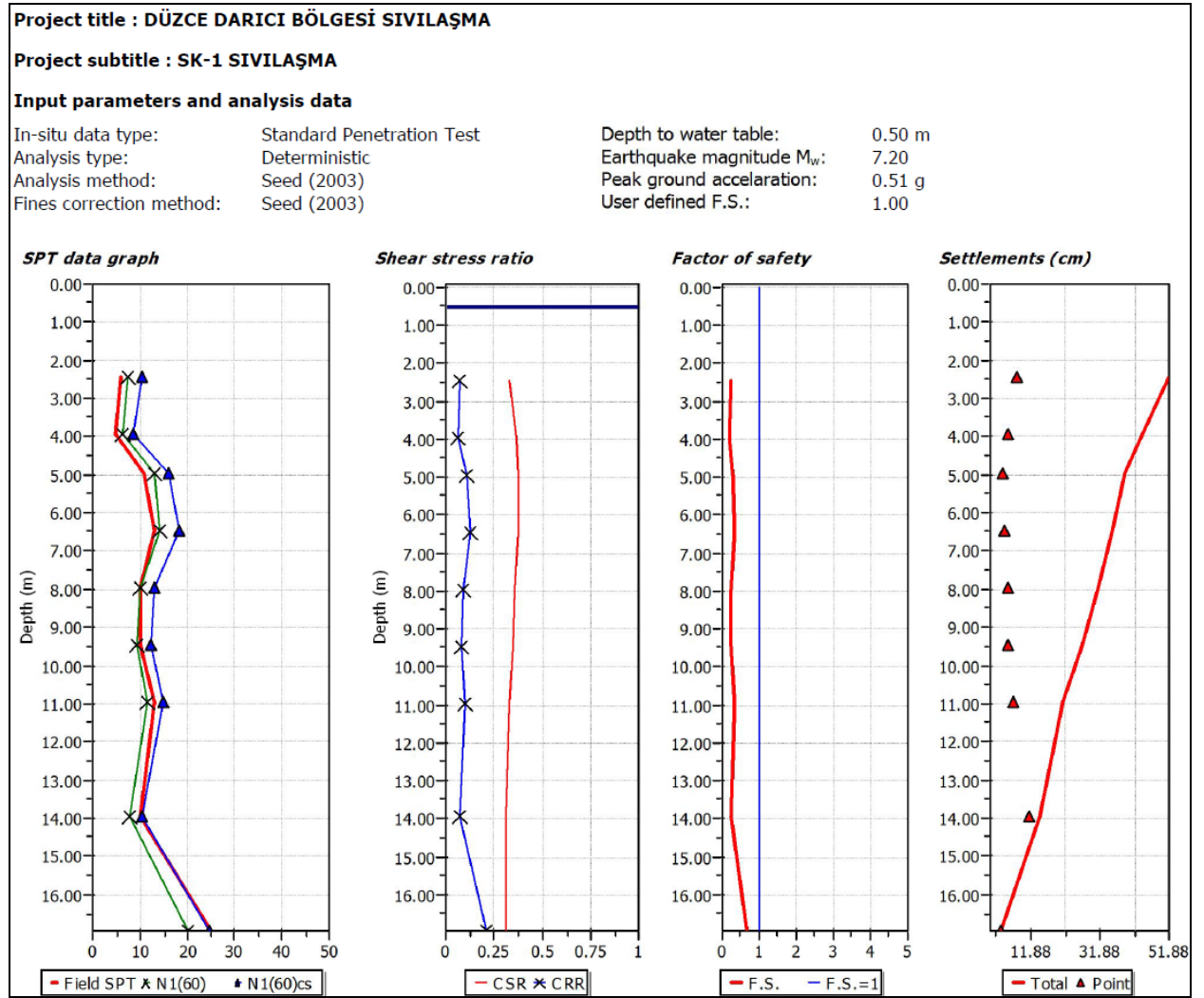
Zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin derecelendirilmesinde Iwasaki vd. [2]'e göre hesaplanan sıvılaşma indeksleri Tablo 4'deki gibi sınıflandırılabilir.

Tablo 4. Sıvılaşma potansiyeli indeksine (LI) göre sıvılaşma risk dereceleri [2]

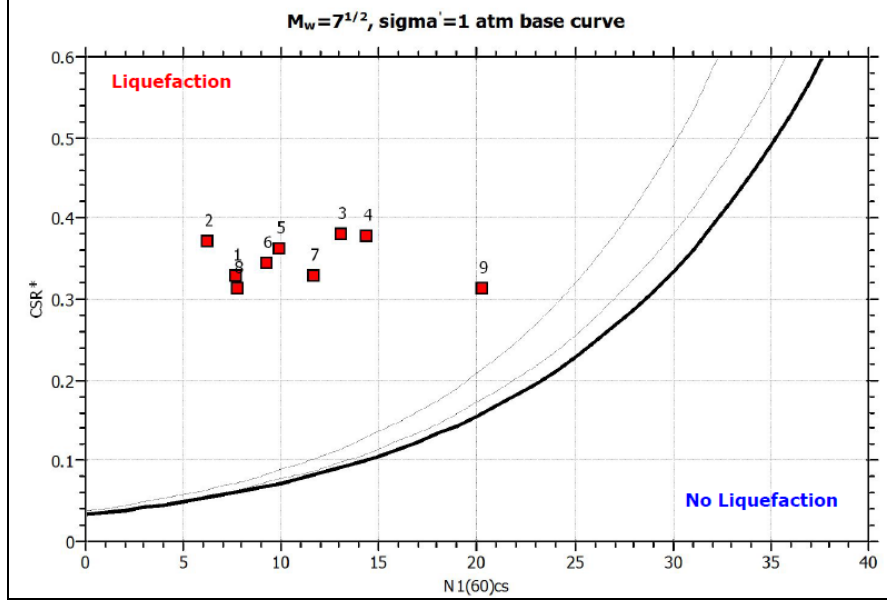
Sıvılaşma İndeksi (LI)	Sıvılaşma Potansiyeli
0	Çok az
0<LI<5	Az
5<LI<15	Yüksek
15>LI	Çok yüksek

Sıvılaşma analiz sonuçlarına göre elde edilen güvenlik katsayıları, Iwasaki vd. [2] yöntemine göre sıvılaşma indeksleri bulunmuş ve analize dâhil edilmiştir. Buradan bulunan indeksler yukarıda verilen (Tablo 4) sınır değerleri ile karşılaştırılarak ilgili lokasyonlar sıvılaşma derecelerine göre gruplandırılmış ve sonuca varılmıştır.

Bu çalışmada SK1 kuyusu için Liq IT V.4.7.3 [2006] programı kullanılarak sıvılaşma analizleri yapılmıştır. SK1 kuyusunda güvenlik sayısı (FS) 1,8-20 metreler arasında FS<1 olması nedeniyle sıvılaşma potansiyeli taşımaktadır (Şekil 6a).



Şekil 6 (a). Seed ve Idriss (1971) yöntemine göre SK1 kuyusu analiz sonuçları



Şekil 6 (b). Seed ve Idriss (1971) yöntemine göre SK1 kuyusu analiz sonuçları

Sonuç olarak; deprem magnitüd büyüklüğü 7,2 ve yatay deprem ivmesinin 0,51 g şartlarında bir depremin olması durumunda, Yukarıdaki şekillere bakıldığında (Şekil 6a-b) 1 nolu lokasyonların yüksek düzeyde sıvılaşma riski taşıdığı görülmektedir.

IV. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Düzce ili Darırcı Mahallesi yerleşim alanında yapılması planlanan tek katlı özel mülkiyete ait olan yapının yapılacağı alandaki zeminlerin standart penetrasyon deneyi (SPT) ile sıvılaşma potansiyeli araştırılmıştır. Deprem kaynağı olarak Düzce Fay Zonu tespit edilmiş ve bu fay zonunun üretmesi beklenen tasarım parametreleri; “maksimum yatay deprem ivmesi 0,51 g ve moment magnitüdü 7,2”, olarak hesaplanmıştır. Bu alanda yer altı su seviyesinin de yüksek olması ve buna ilaveten zemin yapısının alüvyon olduğu dikkate alınarak hesaplanan deprem parametrelerine göre sıvılaşma analizi yapılmıştır. Analiz sonunda SK1 noktasında yüksek dereceli sıvılaşma riski taşıdığı ortaya konulmuştur.

Bu bölgenin deprem etkisinde olduğu düşünülürse sıvılaşmadan doğacak oturmaların dikkate alınması gerekeceği göz ardı edilmemelidir. Bu oturmaların yapılara zarar verebilecek olması nedeniyle, tasarlanan yapıların temel zemininin iyileştirilmesi gereklidir. Deprem sırasında zeminin yanal direncinin azalacağı dikkate alınarak, yanal yatak katsayısının da çok ciddi bir azalma olması gerekeceği hatırlanmalı, ancak yapının tek katlı olduğu düşünülürse enjeksiyon gibi daha uygun ve ekonomik çözümler geliştirilebilir.

TEŞEKKÜR: Çalışmadaki katkılarından dolayı Ömer Burak, Ahmet Çakar ve Mehmet Saygı ile Düzce Belediyesine teşekkür ederiz.

V. KAYNAKLAR

- [1] Özyayın, K., (2007), “Zeminlerde sıvılaşma”, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 231-255, İstanbul.
- [2] Iwasaki T, K., Tokida K. Tatsuoka, Watanabe, S., Yasuda, S., and Sato, H., (1982), “Microzonation for soil liquefaction potential using simplified methods”, Proceedings of the 13th International Conf. on Microzonation, Seattle, USA vol. 3, 1319-1330.
- [3] Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı, (2007), MTA Genel Müdürlüğü, Ankara
- [4] Ateş A, Özdemir A. (2007), “Denizcilik Müsteşarlığı İzmir, İzmit, Mersin-İskenderun bölgeleri Gemi Trafik Hizmetleri Merkezi (GTHM) ve Trafik Gözetleme İstasyonu (TGİ) Projelerinin Zemin Etütleri”, Ankara
- [5] İnternet: LiqİT 4.7.3 Geologismiki (2014), “Sıvılaşma Analizi Yazılımı” www.geologismiki.gr
- [6] Seed H.B, Idriss I.M., (1971). “Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential” Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 97(9), 1249-1273.
- [7] Liao S.S.C. ad Whitman R.V. (1986). Overburden Correction Factors for SPT in Sand. Journal Of Geotechnical Engineering, ASCE, 112 (3): 373-377.
- [8] Youd T.L et al., (2001), “Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of Soils”, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol.127, No.10, pp.817-832
- [9] Seed H.B, Tokimatsu K, Harder L.F, and Chung R.M, (1985), “The influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations”, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.111, No:12, pp.1425-1445.
- [10] Şaroğlu F, Emre, Ö, Kuşçu İ., (1992), “Türkiye Diri Fay Haritası”, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara
- [11] Mark R. K., (1977), “Application Of Linear Statistical Model Of Earthquake Magnitude Versus Fault Length In Estimating Maximum Expectable Earthquakes”, Geology, 1977, 5: 464- 466.
- [12] Wells D.L. and K.J. Coppersmith, (1984), “New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement”, Bull, Seismol, Soc, America, 4, 974-1002
- [13] Ulusay R, and Tuncay E, and Sönmez H, and Gokceoglu C., (2004), “An attenuation relationship based on Turkish strong motion data and iso-acceleration map of Turkey”, Engineering Geology, 74: 265–291.