



## 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Uyarınca Bir İnceleme Alanının Zemin Etüdü Açısından İncelenmesi

*Ground Investigation Study on a Sample Field According to Turkish Earthquake Code 2018*

İsmail Emrah Kılıç<sup>1</sup>, Zehra Nil Taylan Kutlu<sup>1</sup>, Ozan Emir Özcan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Maltepe Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup>Maltepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

### Öz

Bu çalışma 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerinin zemin etüdü ve sınıflandırması açısından örnek bir alan üzerinde uygulamalı kıyaslanması için yapılmış ilk çalışmalardan biri olması açısından önem arz etmektedir.

İnceleme alanı olarak İstanbul ili, Maltepe ilçesi, Altıntepe mahallesi seçilmiştir. 01.01.2019 tarihinde yürürlüğe giren Türkiye bina deprem yönetmeliği 2018 (TBDY)'e göre zemin sınıflandırılması yapılmış, şişme ve sıvılaşma problemleri değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında öncelikle zemin sınıflandırması açısından Türkiye Deprem Yönetmeliği 2007 (TDY) ve TBDY 2018 yönetmeliklerinin mukayesesi yapılmıştır. Sahadan alınan zemin etüt verileri doğrultusunda TDY 2007'de bulunmayan şişme ve sıvılaşma analizleri, 2018 Türkiye bina deprem yönetmeliğinde yayınlanan metoda uygun olarak yapılmıştır. Şişme analizlerinde birkaç lokasyonda yüksek şişme potansiyeline rastlanılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda inceleme alanı KB-GD doğrultusunda dere kenarı ve sahil bölgesinde zemin sıvılaşması riski tespit edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında inceleme alanı için iki ayrı yönetmelikten elde edilen sonuçlar mukayese edildiği zaman olası zemin problemlerinin risklerini (sıvılaşma, şişme, şev stabilitesi) belirleme, bu riskleri zemin sınıflandırmasına yansıtma ve gerekli önlemlerin alınmasını sağlama açısından TDBY 2018 yönetmeliği ile daha gerçekçi ve detaylı analiz ve yöntemlerin yürürlüğe girdiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018, Türkiye Deprem Yönetmeliği 2007, Zemin sıvılaşması, Zemin sınıflandırması, Zemin şişmesi

### Abstract

The scope of the presented paper can be considered as a case study to be set as an example for the application and comparison of two recent Turkish Earthquake Codes 2007 and 2018 in terms of soil investigation (site characterization) and soil classification performed on a particular test field.

The investigation site subject to the particular study is located in Altıntepe neighborhood, in Maltepe, Istanbul. The soil classification and evaluation of swelling and liquefaction problems were performed at the site based on the TBEC-2018 which is valid since 01.01.2019. Within the paper, the TBEC-2007 and TBEC-2018 were first compared for their soil classification. Since the swelling and liquefaction potential analysis were not been addressed in TBEC-2007, the characteristic swelling and liquefaction analysis for the site were performed following the specific methodology given in TBEC-2018 using the data obtained from site investigation. The analysis results showed considerably high swelling potential at several locations and also showed liquefaction risk at the riparian areas and the shoreline towards the NW-SE direction of the investigation site.

As per the emphasis has been given to examination of convenience and comparison of earthquake codes to analyze the risks of potential soil problems (as liquefaction, swelling and slope stability), and to take notice of these risks in site specific soil classification by taking necessary measures, the TBEC-2018 is considered to be more comprehensive with realistic and detailed analysis and methods.

**Keywords:** Turkish Earthquake Code 2018, Turkish Earthquake Code 2007, Soil Liquefaction, Soil Classification, Soil swell

\*Sorumlu yazarın e-posta adresi: [emrahkilig@maltepe.edu.tr](mailto:emrahkilig@maltepe.edu.tr)

İsmail Emrah Kılıç [orcid.org/0000-0002-6514-2224](https://orcid.org/0000-0002-6514-2224)

Zehra Nil Taylan Kutlu [orcid.org/0000-0003-4813-588X](https://orcid.org/0000-0003-4813-588X)

Ozan Emir Özcan [orcid.org/0000-0001-5420-7128](https://orcid.org/0000-0001-5420-7128)

## 1. Giriş

Tüm dünyada olduğu gibi depremler, ülkemizde çok ciddi can ve mal kayıplarına yol açmıştır. Depremi ne zaman olacağını ve kaç şiddetinde olacağını bilebilmek günümüz şartlarında ne yazık ki mümkün değildir. Depremlerin getirdiği hasarların, can ve mal kayıplarının deprem mühendisleri tarafından incelendiğinde yerel zemin koşullarını doğru tespit edilmesinin de çok önemli bir rolü olduğu saptanmıştır. Depremi getirdiği yıkıcı etkileri önlemek ancak yerel zemin koşullarının doğru saptanması, gerekli durumlarda mevcut zeminin yapı yapmaya uygun hale getirilmesi ve bu zeminler üzerine dayanıklı yapılar yapılması ile mümkündür.

Ülkemizdeki deprem yönetmeliği 1940 yılından günümüze kadar 9 kez güncellenmeye uğramıştır (Alyamaç ve Erdoğan, 2005). 1975 ve 1998 yılında yayınlanan afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmeliklerinde dönemin şartlarına bağlı olarak bu problemlerin hiçbirinden söz edilmemiş fakat 1975 yılında yayınlanan yönetmelikte ilk kez tasarım elastik spektrumu yer almış ve zemin etkisi zemin hâkim titreşim periyodunun bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Spektral analiz yöntemi Deprem mühendisliğinde zaman ve tanım aralığı temel alınca uzun hesaplar gerektirmesi nedeniyle günümüzde halen lineer analizde kullanılan yöntemdir. 2018 yılında yayınlanan Türkiye deprem yönetmeliğinde elastik tasarım spektrumunun elde edilebilmesi için sismik tehlike analizleri kullanılmıştır ve 2007 yönetmeliğine göre daha gerçekçi spektrumlar elde edilmiştir (Keskin ve Bozdoğan, 2018). Bu nedenle depremlerin üst yapılar üzerinde zararlarını, can ve mal kayıplarını en aza indirmek için zemin koşullarını belirleyerek zemin sınıflarını tanımlamak için ülkemizde ve dünyada tasarım elastik spektrumları kullanılarak deprem yönetmelikleri yayınlanmıştır (Halaç, 2016).

Bu çalışma kapsamında nüfus ve deprem risk faktörleri gözetilerek bir inceleme alanı seçilmiştir. Bu inceleme alanına ait olarak toplanan zemin etüdü raporlarından elde edilen jeolojik, jeofizik ve jeoteknik verilerden faydalanılmış ve zeminde yaşanması, olası olan sıvılaşma, şişme problemlerini ve zemin sınıfı tayinlerini 2007 ve 2018 yılında yayınlanan Türkiye bina deprem yönetmelikleri üzerinde mukayeseli olarak değerlendirilmiştir. Deprem yönetmelikleri üzerinde olan farklılıklar ve yeni eklenen zemin sınıfları üzerinde kıyaslamalar yapılmıştır.

## 2. Gereç ve Yöntem

Zemin etüdü, yapı zemin ilişkisini irdeleyerek yapılacak olan

mühendislik yapısının güvenli bir şekilde yapılabilmesi için zeminin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi için yapılan çalışmalardır (Karakuş, 2009). Zemin etüdünün amacı yapı inşaatı başlamadan önce inceleme alanı için gerekli parametreleri vermektir. Söz konusu bu parametreler zemin veya kaya biriminin durumu, kayanın kırıklı çatlaklı olup olmadığı, zeminin ihtiva ettiği su içeriği, kıvam durumları, kohezyonu, yer altı su durumu, yapı temelin için taşıma gücü, oturma sıvılaşma ve şişme durumları, şev analizleri olarak özetlenebilir (Yaldız, 2013).

### 2.1. Zemin Sıvılaşması

Depremler sırasında oluşan sismik tehlikelerin en önemlilerinden birisi zemin sıvılaşmasıdır. Zemin sıvılaşması sonucu yapılarda çok büyük hasarlar meydana gelmektedir. Deprem etkisiyle meydana gelen titreşimler ile zemindeki boşluk suyu basıncında artış meydana gelmekte ve zemin suya doymun gevşek granüller yapıdaysa bu durumda zeminde deformasyonlar oluşmaktadır. Sıvılaşma sığ temeller üzerinde inşa edilen yapılarda batma, yan dönme, çökme gibi hareketler meydana gelirken, yer altındaki yapıların yüzeye çıkması veya heyelan tarzı afetlerin yaşanmasına neden olmaktadır (Taylan vd., 2007). Kumlardaki sıvılaşma probleminin hassasiyetini hesaplamak için ilk olarak Seed ve Idriss, 1971 yılında hesaplama yöntemleri geliştirmiştir. Bu hesaplama yöntemleri günümüze kadar sürekli güncellenerek devam etmiştir. Kumların sıvılaşma hassasiyeti tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de önemli bir yer bulmuş ve 2018 yılında yayımlanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY)'nde yerini almıştır. Bu yöntemde zeminin tekrarlı kayma direnç oranı (KDO) depremden kaynaklanan tekrarlı kayma gerilme oranı (KGO) ile kıyaslanmaktadır.

$$KGO = 0.65 \times 0.4S_{DS} \times \sigma_{vo} \times r_d \quad (1)$$

Burada;

$\sigma_{vo}$  = Toplam düşey gerilme

$r_d$  = Gerilme azaltma katsayısı

$r_d = 1.0 - 0.00765z$  ( $z \leq 9.15$  metre için) ( $z$ : derinlik)

$r_d = 1.174 - 0.0267z$  ( $9.15m \leq z \leq 23$  metre için) ( $z$ : derinlik) (2)

Burada ki PGA değeri en büyük yatay yer ivmesi değeri olup koordinatlarla inceleme sahasındaki beklenen değeri sismik tehlike haritası değerlerine göre belirler. Bu haritaya Acil ve afet yönetimi başkanlığı (AFAD) kurumuna ait internet sayfası üzerinden ulaşılabilir.

Zeminlerin tekrarlı direnç oranının (KDO) bulunulması için araziden örselenmemiş numuneler alarak, bu numuneler üzerinde tekrarlı üç eksenli, tekrarlı tek eksenli ve tekrarlı burulma deneyleri yapılabilir. Fakat bu deneyleri yapmak için araziden örselenmemiş numune alabilmek gereklidir bu da hem zaman hem de maliyet açısından zordur. Tekrarlı direnç oranının (KDO) bulunabilmesi için standart penetrasyon deneyine dayalı sıvılaşma oranının kullanımı daha çok tercih edilen bir durumdur. Sondaj ile elde edilen standart penetrasyon değeri (SPT) arazide ölçülen darbe sayısı (SPT-N), örtü basıncı, tij boyu, sondaj kuyusu çapı, yer altı suyu, sondaj tüpü gibi birçok değere bağlıdır. Bu nedenle SPT'ye bağlı sıvılaşma analizi yaparken bu değerlerin düzeltilmesi gerekmektedir.

İnce dane oranı (FC) %5'ten az olan temiz kumlar ( $FC \leq 5$ ) için  $M_w = 7.5$  büyüklüğündeki depremler için sıvılaşmanın gerçekleştiği bölgeleri gösteren ve ayıran eğri, kum eğrisi olarak tanımlamak ve tekrarlı direnç oranını (KDO) Eşitlik (3)'de gösterildiği şekilde tanımlanmaktadır;

$$KDO = (KDO_{7.5}) \times (C_M) \times (\sigma'_{vo}) \quad (3)$$

$$KDO_{7.5} = \frac{1}{(34 - (N_1)_{60f})} + \frac{(N_1)_{60f}}{135} + \frac{50}{(10 \times (N_1)_{60f} + 45)^2} - \frac{1}{200} \quad (4)$$

$$C_M = \frac{10^{2.24}}{M_w^{2.56}} \quad (5)$$

Zemin içerisindeki ince dane oranının artması zeminin tekrarlı kayma direncinin artmasına neden olmaktadır. 100 kPa örtü basıncı ve  $M_w = 7.5$  büyüklüğündeki deprem için, ince dane oranının %5 olması durumunda Standart Penetrasyon deneyi düzeltmeleri yapılarak temiz eşdeğer kum eğrisi değerlerine dönüştürülür. Burada  $\alpha$  ve  $\beta$  değerleri aşağıdaki eşitliklerle açıklanmıştır.

$$(N_1)_{60f} = \alpha + \beta \times (N_1)_{60} \quad (6)$$

$$\alpha = \begin{cases} 0 & ; FC \leq \%5 \\ e^{[1.76 - (190/FC^2)]} & ; \%5 < FC \leq \%35 \\ 5 & ; FC \geq \%35 \end{cases} \quad (7)$$

$$\beta = \begin{cases} 1 & ; FC \leq \%5 \\ 0.99 + (FC^{1.5}/1000) & ; \%5 < FC \leq \%35 \\ 1.2 & ; FC \geq \%35 \end{cases} \quad (8)$$

Sıvılaşmaya karşı güvenlik durumu Eşitlik (9)'da tanımlanmıştır. Güvenlik faktörünün (GF) 1.1'den az olması durumu sıvılaşma hassasiyetini ifade etmektedir (TBDY, 2018).

$$GF = \frac{KDO}{KGO} \quad (9)$$

## 2.2. Zemin Şişme Potansiyeli

Bünyelerine su aldıkça şişen ve bünyelerindeki suyu bırakınca büzüşen killer doğada mevcuttur. Bu tür zeminler üzerine inşa edilmiş yapılarda, çatlama, kabarma ve maalesef çökme durumları yaşanmaktadır. Şişme durumu bünyesine su alan kilin hacimce büyümesidir. Yer altı su seviyesi tablası altındaki killerde oldukça yüksek derecede şişme potansiyeli görülmektedir (Avşar, 2007). Şişme potansiyeli kil türü minerallerin türüyle ilişkili olduğundan dolayı birçok araştırmacı şişme davranışını bulmada kıvam limitleriyle aralarında bir ilişki kurmaya çalışmış ve araştırmalarını bu yönde yapmışlardır (Yılmaz ve Karacan, 1998).

Seed vd. 1962 yılında şişme davranışı için aşağıdaki eşitliği (Eşitlik (10)) ortaya koymuşlardır.

$$S = 60 \times 0.000036 \times (PI)^{2.44} \quad (10)$$

**Çizelge 1.** Şişme derecesi (Seed vd. 1962).

Ortalama Plastite İndeksi (PI)	Şişme Derecesi
%0-15	Düşük
%15-24	Orta
%24-46	Yüksek
%46	Çok yüksek

## 2.3. Zemin Sınıflandırmaları

Mühendislik tasarımlarında hem güvenilir hem de ekonomik yapı tasarlayabilmek, zemin açısından oluşabilecek tüm problemleri önceden bilmek ve gerekli mühendislik önlemlerini almak için zeminin fiziksel ve mekaniksel özellikleri hakkında yeteri kadar güvenilir bilgileri edinmek gerekmektedir. Yeni inşa edilecek yapıların yanı sıra oluşabilecek can ve mal kaybına neden olan doğal afetlere karşı önlemler alabilmek de gereklidir. Tüm bu sebeplerden dolayı zeminin yapısını iyi bilinmesi ve sıvılaşma, şişme, heyelan, deprem gibi problemler için önlem alınması gerekmektedir. Zemin sınıflandırmaları yapılırken jeolojik bulgular (sondaj), jeofizik test yöntemleri ile saha ve laboratuvar ve saha testlerinden elde edilen veriler birlikte değerlendirilmelidir. Zemin sınıflandırma kriterleri ve yerel zemin sınıfları 01.03.2018 tarihinde yayınlanan ve 01.01.2019 tarihinde yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (TBDY) yeniden tanımlanmıştır. Acil ve afet yönetimi başkanlığı (AFAD)'nın internet sitesinde

seçilen bölgenin koordinatlarıyla yerel etki katsayıları, deprem pik yatay ve düşey yer ivmesi, spektral ivme katsayıları, yer ivmesi hızları da görülebilmektedir. Depreme dayanıklı mühendislik yapıları inşa ederken seçilen bölgenin coğrafi koordinatlarıyla tasarım yapılması daha güvenilir bir hale getirilmiştir. Çizelge 2'de verildiği üzere zemin sınıflandırma tablosunda SPT,  $C_u$  ve  $(V_s)_{30}$  hızlarına göre sınıflandırma yoluna gidilmiş ve jeofizik çalışmalarından olan sismik kırılma yöntemiyle zemin sınıflarının yeni şeklini belirlemiştir.

#### 2.4. İnceleme Alanı

Bu çalışma kapsamında 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerinin zemin etüdü ve sınıflandırması açısından mukayesesi bir örnek inceleme alanı özelinde yapılmıştır. Seçilen bu inceleme alanı hem sıvılaşma hem de şişme problemi potansiyeli taşıyan, İstanbul'da yapılaşmanın ve nüfusun yoğun olduğu Altın-tepe mahallesinde, yaklaşık olarak 30.000 kişi yaşamakta ve konut fiyatları ortalama olarak 2019 yılı itibarıyla 400.000 Türk Lirası değerinde satılmaktadır. Ayrıca Altın-tepe mahallesi olası depremde riskli bir bölgede yer almaktadır.

Örnek inceleme alanı İstanbul ili, Maltepe ilçesi, Altın-tepe mahallesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Marmara denizi ile D-100 kara yolu arasında kalan inceleme alanına her

türlü kara nakil vasıtası ile ulaşmak mümkündür. İnceleme alanında eğimli alanlar mevcut olup eğim oranı %5-60 arasındadır. İnceleme alanı Marmara iklim tipinde yer almaktadır. İstanbul ili 41 derece kuzey enlemi, 29 derece doğu boylamında yer alır.

İnceleme alanı  $40^{\circ} 57' 13.9536''$  ve  $29^{\circ} 6' 16.0416''$  GPS koordinatlarında yer almaktadır. İnceleme alanının zemin sınıflandırmalarını yapmak, şişme ve sıvılaşma problemlerini belirlemek için toplam 52 lokasyonda yapılmış olan zemin etüdü çalışmalarının verisi değerlendirilmiş olup bu etüt çalışmaları toplamda 141 adet sondaj kuyusu, 7 adet araştırma çukuru ve 23 adet sismik kırılma çalışmasını içermektedir (Şekil 1).

#### 2.5. Yatay Elastik Spektrumlar

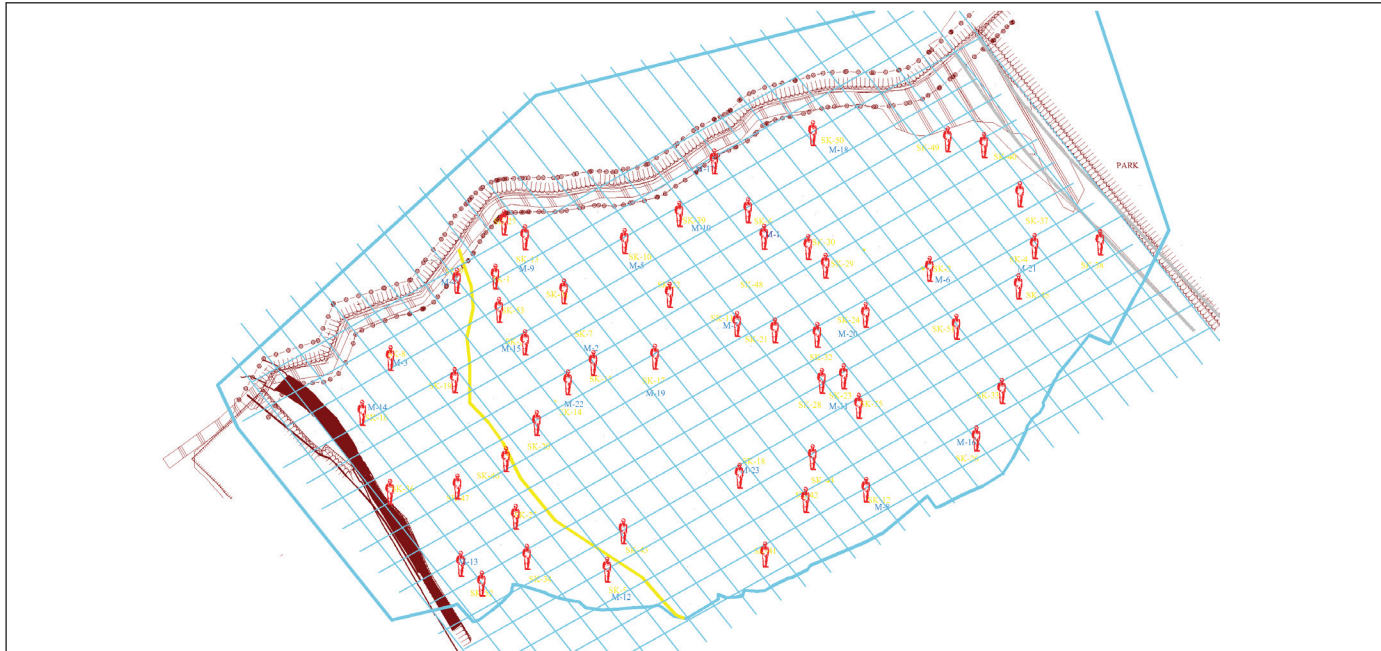
2007 yılında yayımlanan Türkiye Deprem Yönetmeliği (TDY2007) uyarınca deprem yüklerinin belirlenmesi için esas alınacak olan Spektral İvme Katsayısı,  $A(T)$ , Eşitlik (11) ile verilmiştir. %5 sönüm oranı için tanımlanan Elastik İvme Spektrumu'nun ordinatı olan Elastik Spektral İvme,  $S_{ae}(T)$ , Spektral İvme Katsayısı,  $A(T)$  ile yerçekimi ivmesi,  $(g)$ 'nin çarpımına karşı gelmektedir.

$$A(T) = A_0 I S(T) \quad (11)$$

$$S_{ae}(T) = A(T) g \quad (12)$$

Çizelge 2. Zemin sınıflandırma tablosu (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018).

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		$(V_s)_{30}$ [m/s]	$(N_{60})_{30}$ [darbe/30 cm]	$(C_u)_{30}$ [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500	-	-
ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar	760 – 1500	-	-
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360 – 760	> 50	> 250
ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180 – 360	15 – 50	70 – 250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \% 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ( $c_u < 25$ kPa) içeren profiller	< 180	< 15	< 70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaşabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli ( $PI > 50$ ) killer, 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killer.			



Şekil 1. İnceleme alanı üzerindeki sondaj ve sismik kırılma test konumları.

Çizelge 3. Zemin sınıflandırma tablosu (Türkiye Deprem Yönetmeliği, 2007).

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin grupları ve en üst zemin tabakası sınıfı
Z1	(A) grubu zeminler $h_1 \leq 15$ m olan (B) grubu zeminler
Z2	$h_1 > 15$ m olan (B) grubu zeminler $h_1 \leq 15$ m olan (C) grubu zeminler
Z3	$15 \text{ m} < h_1 \leq 50$ m olan (C) grubu zeminler $h_1 \leq 10$ m olan (D) grubu zeminler
Z4	$h_1 > 50$ m olan (C) grubu zeminler $h_1 > 10$ m olan (D) grubu zeminler

Eşitlik (11) ve (12)'de yer alan Etkin Yer İvmesi Katsayısı,  $A_0$ , deprem bölgesine göre Çizelge 4'te tanımlanmıştır.

Çizelge 4. Etkin yer ivmesi katsayısı.

Deprem Bölgesi	$A_0$
1	0.40
2	0.30
3	0.20
4	0.10

Spektrum Katsayısı,  $S(T)$ , yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyodu  $T$ 'ye bağlı olarak Eşitlik (13), (14) ve (15) ile hesaplanacaktır.

$$S(T) = 1 + 1.5 \left( \frac{T}{T_A} \right) \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (13)$$

$$S(T) = 2.5 \quad (T_A < T \leq T_B) \quad (14)$$

$$S(T) = 2.5 \left( \frac{T_B}{T} \right)^{0.8} \quad (T_B < T) \quad (15)$$

Eşitlik (12)'deki Spektrum Karakteristik Periyotları,  $T_A$  ve  $T_B$ , Çizelge 3'te verilen yerel zemin sınıflarına bağlı olarak Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5. Spektrum karakteristik periyotları.

Yerel Zemin Sınıfı	$T_A$ (sn)	$T_B$ (sn)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

2018 yılında yayımlanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY2018) hükümlerince dört farklı deprem yer hareketi düzeyi için deprem verileri, "Türkiye Deprem Tehlikesi Haritası (TDTH)" verileri baz alınarak depremsellik

parametreleri elde edilmeye çalışılmıştır (<https://tdth.afad.gov.tr/>). Bu bölümde elde edilen parametrelerin simgeleri ve tanımlamaları aşağıda özet bir şekilde verilmiştir.

PGA : En büyük yer ivmesi (g)

$S_s$  : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (boyutsuz)

$S_1$  : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı (boyutsuz)

$F_s$  : Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı

$F_1$  : 1.0 saniye periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı

$S_{DS}$  : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (boyutsuz)

$S_{D1}$  : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı (boyutsuz)

$S_{ac(T)}$  : Yatay elastik tasarım spektral ivmesi (g)

$T$  : Doğal titreşim periyodu (sn)

$T_A, T_B$  : Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu (sn)

$T_L$  : Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu (sn)

$$S_{ac}(T) = [0.4 + 0.6 \left( \frac{T}{T_A} \right)] \times S_{DS} \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad 1. \text{ Durum} \quad (16)$$

$$S_{ac}(T) = S_{DS} \quad (T_A \leq T \leq T_B) \quad 2. \text{ Durum} \quad (17)$$

$$S_{ac}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \quad (T_B \leq T \leq T_L) \quad 3. \text{ Durum} \quad (18)$$

$$S_{ac}(T) = S_{D1} \times \frac{T_L}{T^2} \quad (T_L \leq T) \quad 4. \text{ Durum} \quad (19)$$

Burada  $T_A$  ve  $T_B$  yatay tasarım spektrumu köşe periyotları olarak tanımlanmış olup  $S_{DS}$  ve  $S_{D1}$ 'e bağlı olarak bulunur.

$$T_A = 0.2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (20)$$

$$S_{DS} = S_s \times F_s \quad S_{D1} = S_1 \times F_1 \text{ olarak hesaplanır.} \quad (21)$$

$S_s, S_1, F_s, F_1$  değerleri Çizelge 6 ve Çizelge 7'ye göre alınacaktır.

**Çizelge 6.** Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları (TBDY, 2018).

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı $F_s$					
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s = 1.25$	$S_s \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	Sahaya Özel Zemin Davranış Analizi Yapılacaktır					

**Çizelge 7.** 1 Sn. periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları (TBDY, 2018).

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı $F_1$					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	Sahaya Özel Zemin Davranış Analizi Yapılacaktır					



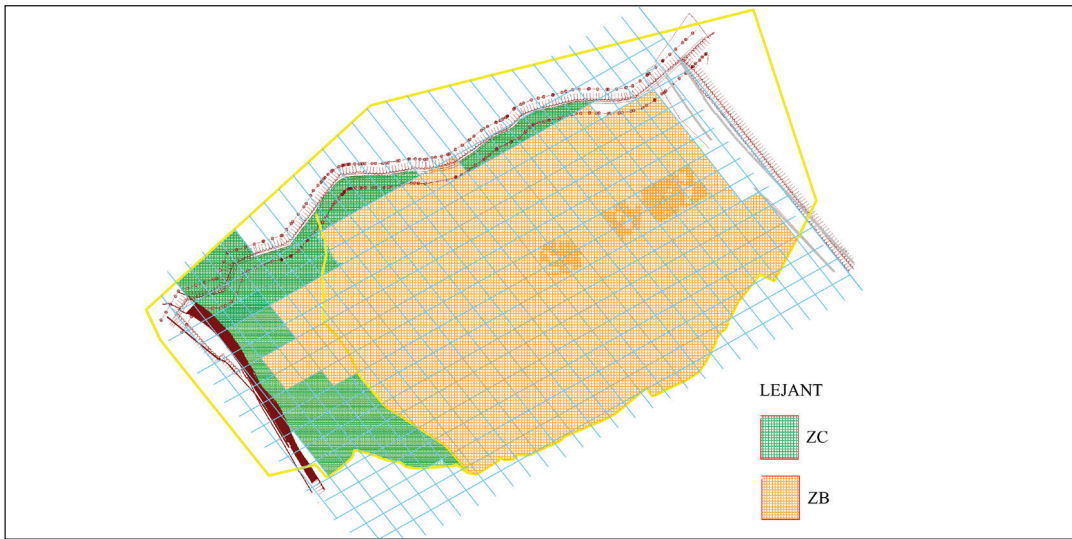
İnceleme alanı üzerinde yapılan çalışmalarda Marmara denizi kenarında kalan bölgeler ile Bostancı deresi kısmında kalan bölgelerde zemin sıvılaşma riski tespit edilmiştir. İnceleme alanının KB doğrultusunda kalan bölgelerde bulunan alüvyon tabakaları 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde belirtilen hesap yöntemine göre yüksek derecede sıvılaşma riski tespit edilmiştir. İnceleme alanı üzerinde sıvılaşma riski olan bölge oranı %16'dır (Şekil 6).

Yine inceleme alanı içinde yapılan çalışmalarda inceleme alanında orta-yüksek şişme potansiyeli olduğu belirlenmiştir. İnceleme alanı üzerinde yapılan çalışmalarda KD bölgesi ile Bostancı deresi kısmında kalan bölgede zemin şişme

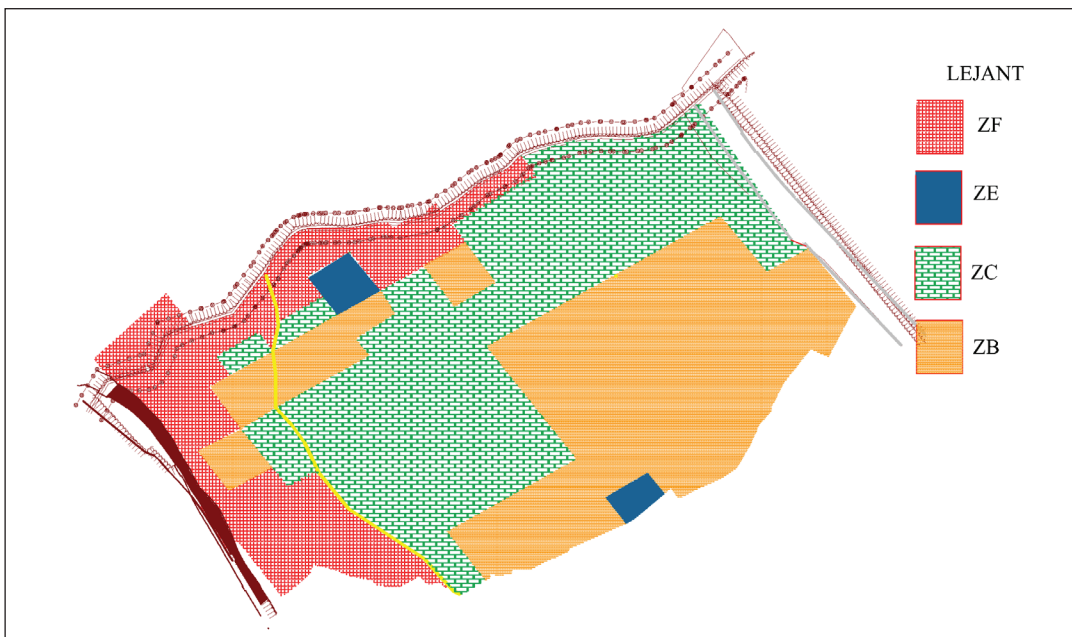
problemine rastlanılmıştır. İnceleme alanı üzerinde şişme potansiyeli olan bölge oranı %5'dir (Şekil 7).

2007 Türkiye Deprem Yönetmeliğine göre inceleme alanı KB-GD doğrultusunda ki riskli olan alüvyonel bölgeler sıvılaşma ve şişme analizi yapılmadığı için, bu problemler irdelenmemiş ve zemin sınıfı Z2 olarak belirlenmiştir.

TBDY 2018'e göre yapılan değerlendirmelerde şişme ve sıvılaşma problemleri için genel açıklama ve formüller açıkça belirtilmiştir. TBDY 2018'e göre inceleme alanı üzerinde yapılan sıvılaşma ve şişme analizlerinde KB doğrultusu ve dere kenarında kalan bölgeler özel önlem alınması gereken bölümler sınıfına girmiş olup önlem almadan mühendislik



**Şekil 4.** İnceleme alanının TDY 2007'ye göre oluşturulan zemin sınıfı haritası.



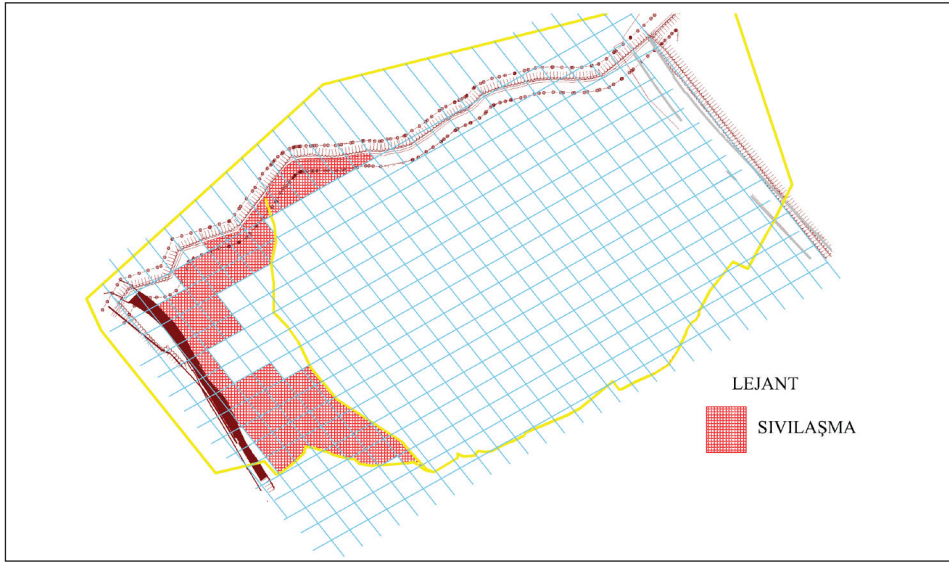
**Şekil 5.** İnceleme alanının TBDY 2018'e göre oluşturulan zemin sınıfı haritası.



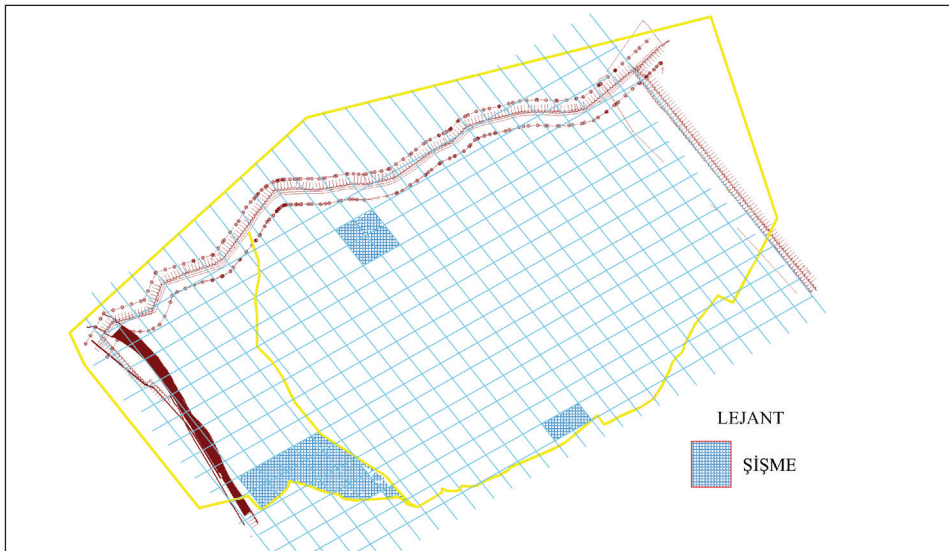
yapısı yapılmaması şartı getirilmiştir. İnceleme alanında yer altı su seviyesinin 4 ile 6 metre arasında derinliği sahip olmasından dolayı, yapılacak olan mühendislik yapılarının temeline etki edeceği göz önüne alındığında sıvılaşma ve şişme problemleri bu yapılar için tehlike arz etmektedir. Bu sebeple inşaat başlamadan önce zemin etüt çalışmalarıyla zeminin şişme ve sıvılaşma problemleri ortaya çıkarılmalı ve problemin olduğu yerlere özel önlem olarak çalışılmaya başlanmalıdır.

Deprem esaslı tasarımın en temel kriteri tasarım spektrumlarının oluşturulması ve spektral ivmelerin yapı için doğru olarak seçilmesidir. Tasarım spektrumlarının oluşturulmasında TDY 2007'deki kullanılan parametreler etkin yer ivme katsayısı (deprem bölgesi), bina önem katsayısı ve

yerel zemin sınıfı olarak belirtilmektedir. TBDY 2018'de ise dört farklı deprem yer hareketi düzeyi için deprem verileri yenilenen Türkiye Deprem Haritaları ile tanımlanmıştır. Bu haritalardan ilgili deprem düzeyi için AFAD'a ait internet sitesinden harita spektral ivme katsayılarına koordinat bazında erişilebilmektedir. Bu ivme katsayılarından ise yerel zemin sınıfları vasıtası ile belirlenen yerel zemin etki katsayıları kullanılarak ilgili tasarım spektrumları elde edilmektedir. Konu ile ilgili olarak yönetmeliklerden alınan detaylı yöntemler ve eşitlikler Bölüm 2.5'te tarif edilmektedir. Bu yöntemler ışığında çalışma kapsamındaki örnek saha için hem eski hem yeni yönetmelik için yatay elastik tasarım spektrumları çıkarılmıştır. TDY 2007 uyarınca hazırlanan tasarım spektrumunda (Şekil 8) 1. derece deprem bölgesi



**Şekil 6.** İnceleme alanının TBDY 2018'e göre oluşturulan sıvılaşma risk haritası.



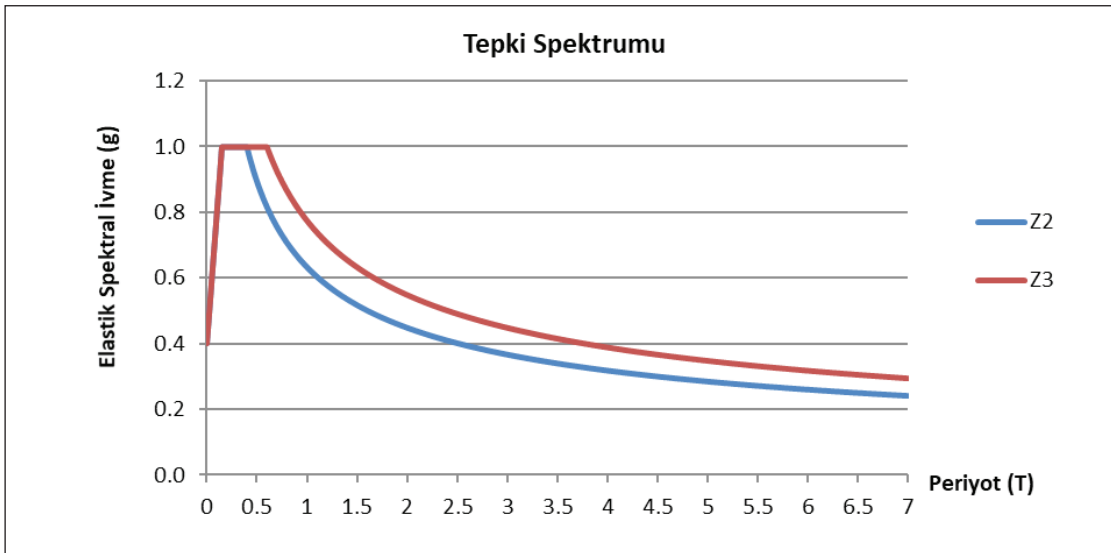
**Şekil 7.** İnceleme alanının TBDY 2018'e göre oluşturulan şişme potansiyeli haritası.

için sahada eski yönetmeliğe göre belirlenen iki zemin sınıfı Z2 ve Z3 kullanılmıştır. TBDY 2018 uyarınca hazırlanan tasarım spektrumunda ise (Şekil 9) çalışma alanında baskın olarak gözlenen ZB ve ZC zemin sınıfları için ilgili zemin sınıfı alanında olabilecek en yüksek harita spektral ivme katsayısı, tekrarlanma periyodu (475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi (DD2) için bulunmuş ve bu değere göre iki zemin sınıfı içinde tasarım spektrumları elde edilmiştir. Örnek sahada sıvılaşma ve şişme potansiyel riski taşıyan alanlar için yerel zemin sınıfı olarak ZF belirlenmiş olup yönetmelik gereği bu yerel zemin sınıfındaki alanlarda saha-ya özel zemin davranış analizi yapılması istenmektedir.

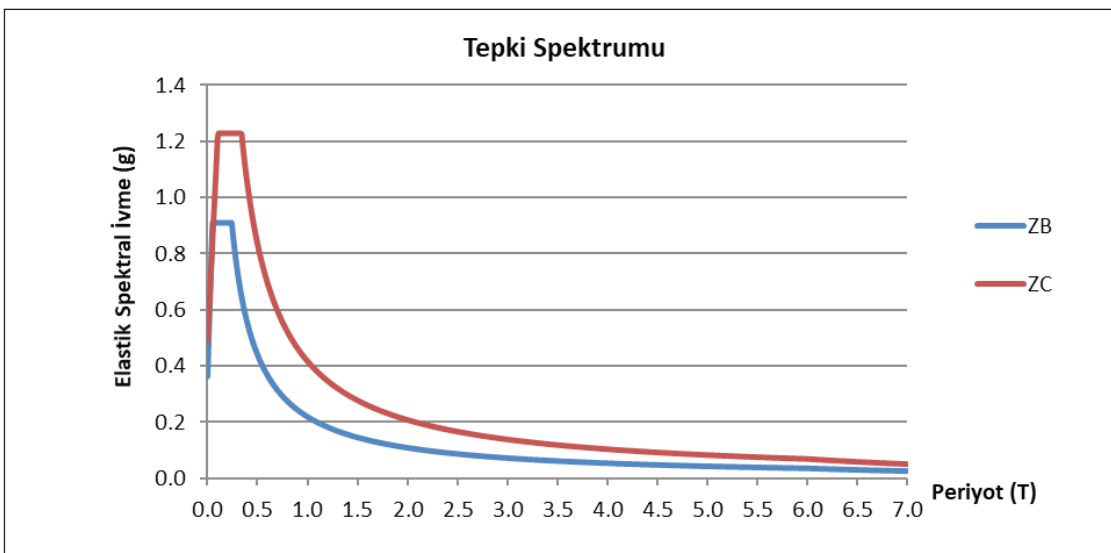
#### 4. Tartışma

Bu çalışma 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerinin zemin etüdü ve sınıflandırması açısından örnek bir alan üzerinde uygulamalı kıyaslanması için yapılmış ilk çalışmalardan biri olması açısından önem arz etmektedir.

Altın-tepe mahallesi üzerinde yaptığımız çalışmalarda alüvyonel birim içeren bölgeler belirlenmiştir. Alüvyonel birimler inceleme sahasının belirli bir bölümünü kaplamıştır. Yapılan sondaj çalışmalarından alınan numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda, ince tane oranı %20 ile %35 arasında değişmektedir. Zemin sınıfları (SM) Siltli kum olarak belirlenmiş doğal su içeriği %15 ile %19 arasındadır. İnceleme sahasında ortalama 3 metre ile 20 metre arasındaki



Şekil 8. TDY 2007 uyarınca hazırlanmış yatay elastik tasarım spektrumu.



Şekil 9. TBDY 2018 uyarınca hazırlanmış yatay elastik tasarım spektrumu.

derinliklerden elde edilen güvenlik faktörü değeri ortalama olarak 0,90 olup 1'den küçüktür ve bu sebeple inceleme sahasında sıvılaşma riski çok yüksektir. Daha çok relatif sıklığı gevşek olarak tanımlanan kumlu ve kumlu silt/siltli kum zemin tiplerinde görülmesi beklenen sıvılaşma problemi alüvyonel formasyona sahip birçok inceleme sahasında da görülmektedir. Literatür de jeolojik ve jeoteknik özellikleri bu çalışmadaki inceleme sahasıyla benzerlik gösteren inceleme alanlarıyla mukayeseler yapılmış ve benzer zemin sıvılaşma problemlerinin bu sahalarda da görüldüğü tespit edilmiştir. Bu çalışmalarla ilgili detaylı analiz ve bulgular aşağıda verilmiştir. İnceleme sahaları üzerinde yapılan çalışmalarda alüvyonel birimlerin yapıları, zemin sınıfları ve ince tane oranları benzerlik göstermektedir.

Arifiye Adapazarı ovasının güneyinde, Sapanca gölünün doğu sınırında olan inceleme alanında, kuvaterner yaşlı çakıllı ve siltli kum içeren alüvyon malzeme, Adapazarı bölgesinin büyük bir bölümünde gözlenmiştir. Bölgedeki bu alüvyon istif Sakarya ve Mudurnu nehirlerinin taşıdığı malzemeden oluşmuştur. Çalışma alanında MASW veri kazanımı Arifiye ilçe sınırları içerisinde toplamda 37 noktada gerçekleştirilmiştir. MASW yöntemi ile sıvılaşma potansiyeli çalışmalarında gözlemlenen 200 m/s Vs değeri sınır alınmıştır. Sıvılaşma direncinde etkili yeraltı su seviyesi inceleme alanında Örencik Formasyonunda 15 m civarında, alüvyonda 1-2 m civarında olduğu tespit edilmiştir (Kayacı vd., 2018).

Hatay ili, Altıncöy çevresinde yapılan mühendislik çalışmaları neticesinde, inceleme alanında hâkim birimin kuvaterner yaşlı alüvyonel zemin birimleri olduğunu saptanmıştır. Kuvaterner yaşlı alüvyonel birimler, inceleme alanının tamamını kaplamıştır. Yapılan sondaj çalışmalarından alınan numuneler üzerinde yapılan granülometrik analiz çalışmalarında alüvyonel birim içerisinde kum ve silt oranı %13,60 ile %48,74 arasında değişmektedir. Zemin sınıfı (SM) Siltli kum, doğal su içeriği %10,94 ile %19,70 arasındadır. İlgili inceleme alanı bu özellikleriyle bu çalışmada bahsi geçen çalışma alanına oldukça benzemektedir. İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarında 6,00 m, 7,50 m, 9,50 m, 10,50 m derinliklerden elde edilen güvenlik faktörü değerleri 0,11 ile 0,77 arasında olup 1'den küçüktür. Bu durum inceleme alanında bulunan alüvyonel tabakasında sıvılaşma riskinin yüksek olduğunu göstermiştir (Karanlık ve Çetin, 2006).

Düzce ili, Camikebir mahallesi yapılan mühendislik çalışmaları neticesinde, inceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarından alınan verilerde inceleme alanını alüvyonel birimler kapsamaktadır. Yapılan sondajlardan alınan

örnekler üzerinde yapılan deneylere göre zemin sınıfları yukarıdan aşağıya doğru; az kumlu siltli kil, siltli kil kum, siltli iri kumlu kil çakıl, iri kum çakıl serileri geçmektedir. Yapılan çalışmalarda alüvyonel birimler üzerinde aşırı derecede sıvılaşma potansiyeli olduğu belirlenmiştir (Ateş, 2014).

Çokal Vadisinde (Kuzeybatı Türkiye) yapılan incelemelerde halen çökeliğini sürdürmekte olan alüvyonel çökellerin sıvılaşma potansiyeli değerlendirilmiştir. Vadideki yeraltı suyu seviyesi, kuru dönemlerde yüzeyden 4m derinliktedir. Yağışlı mevsimlerde ise, yeraltı suyu yüzeylenmektedir. Araştırmada; Çokal vadisindeki alüvyon çökellerde sıvılaşma olayının oluşması için var olması gereken koşullar değerlendirilmiş ve zeminlerin sıvılaşabilir zeminler olduğu ortaya konmuştur (Ündül ve Gürpınar, 2003).

Düzce ilinin kent merkezinde yapılan çalışmalarda deprem yüzey kırığına 5-10 km uzaklıkta olan kent merkezi, Düzce ovasını oluşturan gevşek alüvyon zemin üzerindedir. Bu yoğunluk zonları olasılıkla yeraltı suyu seviyesi yüksek olan eski akarsu kanal dolgularının oluşturduğu zeminlerdir. Düzce'deki hasarın yerel zemin özelliklerinin belirleyici etkisi olmuştur (Ateş vd., 2013). Düzce'de deprem sonrası sıvılaşmaların yüzeye etkisine yönelik herhangi bir belirti gözlenmemesine karşın, bazı binalarda toplam veya kısmi sıvılaşmaya bağlı olarak oturmalar olduğu gözlenmiştir (Erdik, 2001). Güney ve güneydoğu kesimlerinde sıvılaşma potansiyelinin yüksek-çok yüksek olduğu belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, inceleme alanının kuzeyine doğru gidildikçe sıvılaşma potansiyeli azalsa da, LPI ve LSI yöntemlerine göre bu bölgelerin bazı kesimlerinde halen düşük-orta sıvılaşma potansiyeli olduğu görülmektedir (Akın, 2019).

Bu çalışma kapsamındaki inceleme sahası ile literatürde bahsi geçen ve yukarıda detayları verilen diğer çalışmalarda gözlenmiş olan, alüvyonel zeminlerde, zeminin sıvılaşma potansiyelinin çok yüksek olmasından dolayı, alüvyonel zeminler üzerine zemin ıslahı yapılmadan kati süratle mühendislik yapılarının inşa edilmemesi gerekmektedir.

Altıntepe mahallesi üzerinde yaptığımız çalışmalarda Seed vd. (1962) tarafından hazırlanan kıvam limitleri formülüyle w/LL bağıntısı kullanılarak zeminlerin şişme potansiyelleri incelenmiştir. Yapılan incelemelerde plastite indislerinin yüksek olmasından dolayı, kırıklı kayaların ve Sultanbeyli formasyonuna ait killerin bulunduğu bölgelerde yüksek derecede şişme derecesine rastlanılmıştır.

Literatürde kohezyonlu zeminlerin şişme potansiyeli ile ilgili yapılmış çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalar,

zeminlerin farklı özelliklerinden yararlanarak şişme potansiyeli hakkında doğru ve güvenilir yaklaşımlar yapmayı hedeflemektedir. Avcılar-Esenyurt arasında yapılan sondaj çalışmalarıyla iki bölge arasında kalan birimlerin şişme potansiyelleri değerlendirilmiştir. Şişme potansiyeli İstanbul, Avcılar-Esenyurt arasında yüzeylenen ve dane çapı 40 no.'lu elek (0.425 mm)'ten küçük olan kısımları içeren litolojik birimler için hesaplanmıştır. Yapılan çalışmalarda Herhangi bir  $P_i(x_i, y_i)$  koordinatında kohezyonlu zeminlerin şişme potansiyelinin olası % değeri ise Vijayvergiya ve Ghazzaly (1973) tarafından önerilen ve zeminin doğal su içeriği ile likit limit değerine bağlı olarak tanımlanan grafiksel bir ilişkiden yararlanarak belirlenebilmiştir. Bu grafik ile litolojik birimlerde beklenen hacmen olası şişme değeri, w-LL ilişkisine bağlı olarak elle belirleneceğinden kesin değer olmayıp yaklaşık bir değer olacaktır. İnceleme alanı kapsamındaki Küçükçekmece gölüne bakan yamaçlarda ve Marmara denizi kıyılarında yüzeylenmiş ayrık kırıntılı kayaçların bulunduğu alanların şişme açısından sınır ve kritik değerde olduğunu göstermiştir (Bozkurtoğlu vd., 2014). Şişme potansiyeli incelemesi için çalışmamızdaki inceleme alanı ile ilgili makaledeki inceleme alanı benzerlik gösterse de farklı analiz yöntemleri kullanılmış olup şişme potansiyeli açısından yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Şişen zeminler yapılar için büyük sorunlar teşkil etmektedir ve mutlaka zeminin ıslah edilerek şişme probleminin ortadan kaldırılması gerekmektedir. Bu ıslah yöntemleri; kimyasal katkı maddelerin kullanılması, temeller ve döşemeler inşa edilmesi, ön ıslatma yapılarak sıkıştırma kontrolü ile zeminin iyileştirilmesi ve su içeriğinin korunması şeklinde özetlenebilir (Demir, 2010).

Bu çalışma kapsamında inceleme alanı için iki ayrı yönetmelikten elde edilen sonuçlar mukayese edildiği zaman olası zemin problemlerinin risklerini (sıvılaşma, şişme) belirleme, bu riskleri zemin sınıflandırmasına yansıtma ve gerekli önlemlerin alınmasını sağlama açısından TDBY 2018 yönetmeliği ile daha gerçekçi ve detaylı analiz ve yöntemlerin yürürlüğe girdiği görülmüştür.

Deprem yol açtığı etkilerden olan sıvılaşma ve şişme problemlerini incelemek ve önlemler almak için yöntemler belirlenmiş ve problem olan sahalara özel önlem alınmasını gerekli kılınmıştır.

Örnek inceleme alanı üzerinde, TDY 2007'de sıvılaşma ve şişme problemleri ile ilgili net analizler mevcut olmadığından dolayı TDY 2007'ye ait yapılan mühendislik yapılarının birçoğunda özel önlem alınması gerekmeden

inşaatlar yapılmıştır. Bu sebepten dolayı inceleme alanında olan yüksek şişme ve sıvılaşma problemlerinin yapılarda hasarlar meydana getirmesi muhtemeldir.

İnceleme alanında yapılacak olan mühendislik yapılarında imalatlara geçilmeden önce zemin araştırmalarının titizlikle yapılması ve uzman mühendisler tarafından dikkatle değerlendirilmesi gereklidir. Araştırma sahalarda zemin etüdü yapılırken yeterli ve gerekli sayıda sondaj yapılarak zeminin bütün özellikleri belirlenmelidir. Hazırlanan zemin raporların mühendislik yapı temellerinin oturacağı ve gerilmelerin meydana geleceği derinlikleri tanımlayacak şekilde yapılması gerekmektedir.

## 5. Kaynaklar

- Afet ve Acil Durum Başkanlığı, 1975.** Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Ankara.
- Afet ve Acil Durum Başkanlığı, 2007.** Türkiye Deprem Yönetmeliği, *Resmi Gazete*, Sayı; 30364, Ankara.
- Afet ve Acil Durum Başkanlığı, 2018.** Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, *Resmi Gazete*, Sayı; 30364 Ankara.
- Akın, MK. 2019.** Düzce Kent Merkezi Zeminlerinin Sıvılaşma Potansiyelinin Değerlendirilmesi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi / Journal of Geological Engineering*, 43: 39-56, Doi: 10.24232/jmd.572465.
- Alyamaç, KE., Erdoğan, AS. 2005.** Geçmişten Günümüze Afet Yönetmelikleri ve Uygulamada Karşılaşılan Tasarım Hataları. *Deprem Sempozyumu*, 23-25 Mart 2005, Kocaeli.
- Ateş, A., Toprak, B., Yeşil, B., 2013.** Düzce ilinde yapı hasarlarının zemin büyütmeye özellikleri ve yapı rezonans uyumu ile ilgisinin araştırılması. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, Cilt 2, Sayı 3, s. 76-86.
- Ateş, A. 2014.** Düzce İli Camikebir Mahallesi Kentsel Dönüşüm Alanı Zeminlerinin Sıvılaşma Potansiyelinin Arazi Deneyle İle Araştırılması. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2: 112-127.
- Avşar, E. 2007.** Kilde Şişme Anizotropisinin Araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Hacettepe Üniversitesi, 88 s.
- Bozkurtoğlu, E., Şans, G., Eyüboğlu, R. 2015.** Kohezyonlu Zeminlerin Şişme Potansiyeli İçin Bir Yaklaşım: Avcılar-Esenyurt Örneği. *Pamukkale Üniversitesi Müh. Bilim Dergisi*, 21(6), s. 270-275. Doi: 10.5505/pajes.2014.36025.
- Demir, S., Kılıç, M. 2010.** Şişen Zeminlerin Tanımlanması ve Zemin İyileştirme Yöntemleri. *GOÜ. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 27(1), s. 95-104.
- Erdik, M. 2001.** Report on 1999 Kocaeli And Düzce (Turkey) Earthquakes. *Structural Control for Civil and Infrastructure Engineering*, pp. 149- 186.

- Halaç, B. 2016.** Deprem Yönetmeliklerindeki Zemin Sınıflandırma Kriterlerinin Zemin Büyütme Açısından İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, 68s.
- Karakuş, K. 2009.** Plana Esas Jeolojik Jeoteknik Etüt Çalışmaları ve Yasal Mevzuat. *Jeoloji Mühendisleri Odası*, Jeoloji Yayını No:104, Ankara, 978-9944-89-695- 5.
- Karanlık S., Çetin H. 2006.** Hatay Altinköy Çevresinin Zemin Sıvılaşma Riskinin Belirlenmesi. *Ç.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü*, Cilt 15-3.
- Kayacı, S., Silahtar, A., Dolmaz, MN. 2018.** Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analiz Yöntemi (MASW) ile Zemin Özellikleri ve Sıvılaşma Potansiyelinin Belirlenmesi: Arifiye-SAKARYA Örneği. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22 (2), s. 450-458. Doi, 10.16984/saufenbilder.345461.
- Keskin, E., Bozdoğan, KB. 2018.** 2007 ve 2018 Deprem Yönetmeliklerinin Kırklareli İli Özelinde Değerlendirilmesi. *Kırklareli University Journal of Engineering and Science*, 4-1: 74-90.
- Seed, HB., Woodward, RJ., Jr., Lundgren, R. 1962.** Prediction of swelling potential for compacted clays. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, American Society of Civil Engineers*, Vol., 88, No. SM3: 53-87.
- Seed, HB., Idriss, IM., 1971.** Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential, *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 97, pp. 1249-1273.
- Taylan, ZN., Uysal, H., Lav, MA., Erken, A. 2007.** Sıvılaşma Ve Taşıma Gücü Kaybı Sonucu Oluşan Oturmaları Kapsayan Vaka Analizi. *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, 16-20 Ekim 2007, İstanbul.
- Ündül, Ö., Gürpınar, O. 2003.** Çokal Vadisindeki (Gelibolu) Alüvyal Zeminlerin Sıvılaşma Potansiyeli. *İstanbul Üniversitesi Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi*, C.16 S.1, ss. 67-80.
- Vijayvergiya, VN., Ghazzaly, OI., 1973.** Prediction of swelling potential for natural clays. Proceedings of 3rd International Conference Expansive Soils, Vol.1, pp. 227-236.
- Yaldız, Ö. 2013.** Killi Zeminlerde Şişme Basıncının Basit İndeks Parametreleriyle Tayini. *Yüksek Lisans Tezi*, Ankara Üniversitesi, 84 s.
- Yılmaz, I., Karacan, E. 1998.** Zeminlerin Şişme Özellikleri, *Jeoloji Mühendisliği*, Sayı 52: 17-26.