

ESKİŞEHİR İLİNDE YAPI TEMEL KAZILARINDA SIVILAŞMA İZLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Ali KAYABAŞI ^{1*}

¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Eskişehir,
ORCID No : <https://orcid.org/0000-0001-6460-0628>

Anahtar Kelimeler	Öz
Eskişehir Deprem Sıvılaşma Kapak zemin Yüzey deformasyonu	<i>Bu çalışmanın amacı, Eskişehir ilinde geçmiş depremlerde sıvılaşmanın varlığını araştırmaktır. Bu kapsamda Eskibağlar, Yenibağlar, Vişnelik, Sümer ve Şarhöyük mahallelerindeki temel kazılarında inceleme yapılmıştır. Şarhöyük ve Vişnelik mahallelerindeki temel kazılarında bulunan kum mercikleri dışında belirgin kum sokulumu ve benzeri oluşumlar diğer kazılarda bulunamamıştır. Depremde oluşacak sıvılaşma nedeniyle temel kazılarında yüzey deformasyonu oluşabilirliği de araştırılmıştır. 0.33g ve 0.48g ivmelerini oluşturacak deprem senaryoları değerlendirilmiştir. 0.33g ivme ile oluşacak bir deprem senaryosunda Şarhöyük ve Sümer mahallelerin temel kazılarında sıvılaşma belirlenmemiştir. Yenibağlar, Eskibağlar ve Vişnelik mahallelerindeki temel kazılarında sıvılaşabilir seviyeler belirlenmiştir. 0.48g ivmeli deprem senaryosunda tüm temel kazı sahalarında sıvılaşan seviyeler belirlenmiştir. Bu seviyelerin kalınlıklarının 0.33g deprem senaryosuna göre arttığı görülmüştür. Sıvılaşma Şiddeti İndeksi-Kapak zemin Kalınlığı (m) abağına göre 0.33g deprem senaryosuna göre Yenibağlar mahallesinde deformasyon izi yüzeyde beklenmemektedir. Eskibağlar ve Vişnelik mahallelerinde ise sıvılaşma beklenmemektedir. 0.48g depremi senaryosuna göre Vişnelik ve Yenibağlar mahallelerinde yüzeyde sıvılaşma deformasyonu beklenmektedir. Şarhöyük ve Eskibağlar mahallelerinde yüzeyde sıvılaşma izi beklenmezken, Sümer mahallesinde sıvılaşma beklenmemektedir.</i>

INVESTIGATION OF LIQUEFACTION TRACES IN BUILDING FOUNDATION EXCAVATIONS IN ESKİŞEHİR CITY

Keywords	Abstract
Eskişehir Earthquake Liquefaction Cap soil Surface deformation	<i>The aim of this study is to investigate the existence of liquefaction in past earthquakes in Eskişehir city. In this context, the presence of liquefaction was investigated in the foundation excavations in Eskibağlar, Yenibağlar, Vişnelik, Sümer and Şarhöyük neighborhoods. No obvious sand intrusions or similar formations were found in foundation excavations except for the sand lenses found in the Şarhöyük and Vişnelik neighborhoods foundation excavations. The possibility of surface deformation during liquefaction at foundation was also investigated. Earthquake scenarios that would produce acceleration of 0.33g and 0.48g were evaluated. Liquefaction could not be detected in the foundation excavations of Şarhöyük and Sümer neighborhoods with an 0.33g earthquake scenario. Liquefiable levels were determined in yenibağlar, Eskibağlar and Vişnelik neighborhood foundaton excavations. Liquefiable levels were determined in all foundation excavation sites with the 0.48g earthquake scenario. It was observed that the thickness of these levels increased compared to the 0.33g earthquake scenario. With the 0.33g earthquake scenario, no trace of deformation is expected on the surface in Yenibağlar neighborhood, according to the Liquefaction Severity Index-Cap Soil Thickness Chart. Liquefaction is not expected in Eskibağlar and Vişnelik neighborhoods. According to the 0.48q earthquake scenario, liquefaction deformation is expected on the surface of Vişnelik and Yenibağlar neighborhoods. While no trace of liquefaction is expected on the surface in Şarhöyük and Eskibağlar neighborhoods, no liquefaction is expected in the Sümer neighborhood.</i>

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi

Kabul Tarihi

: 12.12.2023

: 29.04.2024

Research Article

Submission Date

Accepted Date

: 12.12.2023

: 29.04.2024

* Sorumlu yazar: akayabasi@ogu.edu.tr
<https://doi.org/10.31796/ogummf.1403782>



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Giriş

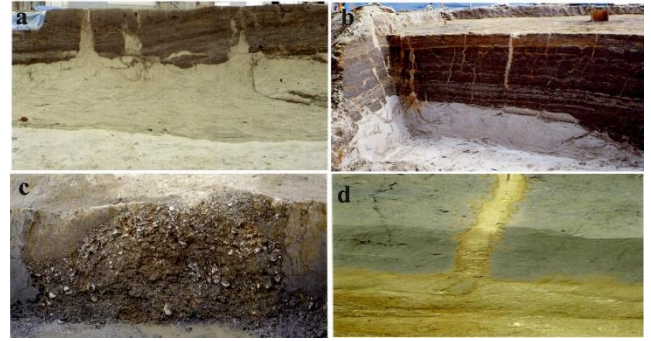
Deprem esnasında, suya doymuş, kohezyonsuz suya doymuş zeminlerin kesme dayanımını kaybetmesine sıvılaşma adı verilmiştir. 1930'lu yıllarda Casagrande (1933) ve Mogami ve Kubo (1953) sıvılaşma ifadesini ilk kullananlardır. 27 Mart 1964 tarihli, 9.2 Mw Alaska depremi ve 16 Haziran 1964 tarihli, 7.5 Mw büyüklüğündeki Niigata (Japonya) depremi sırasında oluşan sıvılaşma doğa olayı yer bilimcilerin ve jeoteknikçilerin araştırma konularından biri olmuştur. Ülkemizde ilk defa Erzincan depreminde (13 Mart 1992, Mw=6.8) sıvılaşmanın varlığı fark edilmiştir. 1995 Dinar; 1999 Adana-Ceyhan; 1999 Kocaeli, 1999 Düzce, 2002 Çay-Eber; 2011 Van ve 2023 Kahramanmaraş depremlerinde sıvılaşmanın yıkıcı özelliği yaygın olarak gözlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında Eskişehir ilinde 5 adet temel kazısında eski sıvılaşma izlerinin varlığı araştırılmıştır. Planlanan yapılar için açılan sondaj verileri ve yapılan SPT deneyi sonuçları ile SPT örnekleriyle indeks deneyleri, tane dağılım analizleri ve Atterberg deneyleri gerçekleştirilmiştir. Seed ve Idriss (1982); Seed, Tokimatsu, Harder ve Chung., (1985); Youd ve diğ. (2001) tarafından önerilen sıvılaşma analizi yöntemleri kullanılarak, analizler yapılmıştır. Sıvılaşmanın yüzeydeki hasarını tahmin edebilmek için Ishihara (1985) de bir abak önermiştir. Bu abak örtü kalınlığını, sıvılaşabilir seviye kalınlığı ve deprem büyüklüğünü değerlendirmektedir. Sönmez ve Gökçeoğlu (2005) aynı şekilde sıvılaşmayan örtü kalınlığı ile sıvılaşan seviye kalınlığı, en büyük yatay ivme arasındaki ilişkileri incelemiş ve abak önermiştir. Bu çalışmada Ishihara (1985) ve Sönmez ve Gökçeoğlu (2005) abaklarının değerlendirilmesiyle sondaj yerlerinde iki farklı deprem senaryosu ile olası yüzey deformasyonlarının oluşabilirliği incelenmiştir.

1.1. Kazı Alanlarında Sıvılaşma İzlerinin Aranması

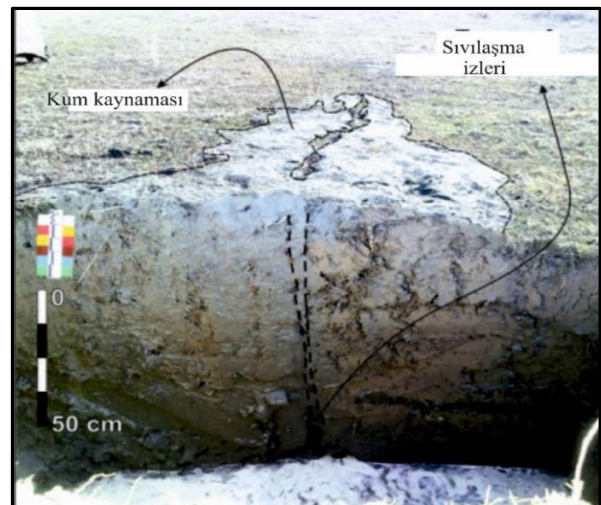
Kum fişkırmaları, yanıl yayılma ve yanıl yayılma çatlakları uzaktan algılama yöntemleri ile tespit edilebilmektedir. Bununla birlikte bu türlü büyük ölçekli sıvılaşma izleri insan aktiviteleri, erozyon, bitki örtüsü gibi etkenlerle izlenemez duruma gelebilir. Yapı temel kazılarında, arkeolojik araştırmalarda veya her türlü kazı işlerinde sıvılaşma izleriyle de karşılaşılabilir. Paleodepremlerde oluşmuş sıvılaşma yapılarına Japonya'daki arkeolojik araştırmalarda çok karşılaşılmaktadır. Kanaori, Kawakami, Yairi, ve Hattori., (1993). Orta Japonya alüvyon düzlüklerinde kazılan 55 arkeolojik bölgede sıvılaşma ve akıntı olaylarını çalışmıştır. En dikkat çekici yapılar yüzeye doğru tane boyunun küçüldüğü kum ve çakıl sokulumlarıdır. Şekil 1' de Osaga, Shiga ve Kyoto eyaletlerinde yapılan kazılarda bulunan sıvılaşma yapıları görülmektedir. Sıvılaşmanın sadece kumlarda değil çakıl boyundaki tanelerde de oluştuğu

görülmektedir. Bazı arkeolojik eserlerin kumla birlikte taşındığı ve sürüklendiği de görülmüştür (Kanaori ve diğ., (1993)). Arkeolojik yaş tayinleri bu sıvılaşma yapılarının üç dönemde olduğunu belirlemiştir. İlk dönem M.Ö 1000 civarında, ikinci dönem MS 0-500 yıllarında ve MS 1500 yıllarında oluştuğu belirlenmiştir.



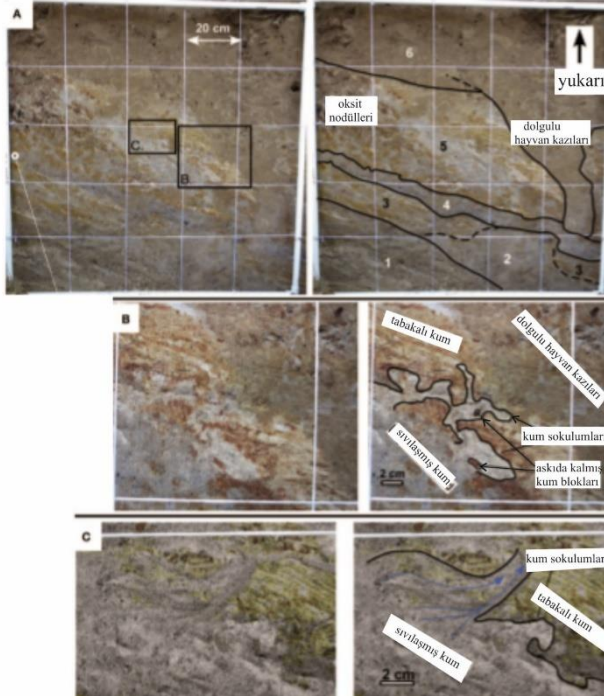
Şekil 1. a) Osaka Eyaletindeki Nishisanso ve Yakumo Higashi Kazılarında Sıvılaşma İzleri b) Osaka Eyaletindeki Nishikonoike Kalıntılarındaki Sıvılaşma İzleri c) Shiga Eyaletindeki Yao Kalıntılarındaki Sıvılaşma İzleri. Sıvılaşma, Maksimum Çakıl Çapı 10 cm Olan Çakılarda Meydana gelmiştir (Bunun Yayoi Döneminin Ortasında Meydana Gelmiş Olması Kuvvetle Muhtemeldir) d) Kyoto Eyaleti Tsugava Nehir Yatağında Kum Sokulumu (Kanaori ve diğ., 1993).

Akin, Ozvan, Akin ve Topal., (2013) 23 Ekim 2011 de Mw 7.2 olarak gerçekleşen Van (Türkiye) depremini incelemişlerdir. Sıvılaşmanın yüzeye yakın 4m derinlikte olan bir zon içinde olduğunu belirlemişlerdir. Şekil 2'de yüzeyde ve düşeyde sıvılaşmış zemin izleri görülmektedir. Yüzeydeki izler zaman içinde silinse bile düşeydeki izler burada sıvılaşmanın gerçekleştiğini ifade etmektedir.

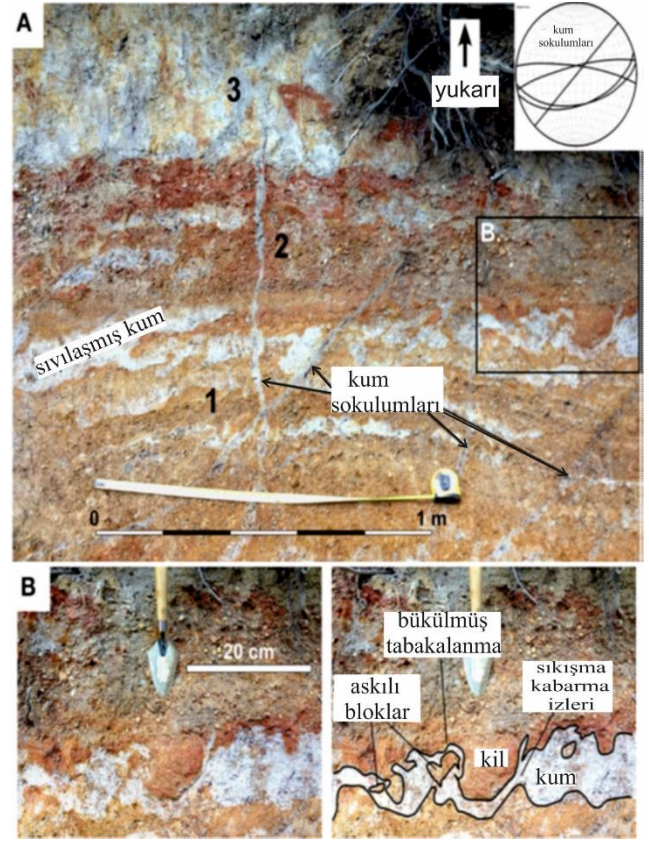


Şekil 2. 23 Ekim 2011 de Mw 7.2 Olarak Gerçekleşen Van (Türkiye) Depreminde Sıvılaşma Görünümü (Akin ve diğ., 2013).

Cox, Christopher, Yanjun ve Shanon., (2014)'de Güneydoğu Arkansas (ABD) deki büyük ölçekli kum fıskırmaları alanlarını metrik ölçekte ayrıntılı olarak incelemiştir. Saline nehri taraçaları ve taşkın alanında Saline fayı üzerinde gerçekleşmiş kıvrımlı kum tabakalanmaları, kırıntılı sokulumlar, askılı kum blokları, su kaçış olukları gibi küçük ölçekli sıvılaşma izlerini belirlemişlerdir (Şekil 3 ve 4). Daha önceden haritalanmış olan büyük ölçekli sıvılaşma izlerinin $M>6.5$ büyüklüğünde bir depreme ait olduğu düşünülürken, metrik boyuttaki sıvılaşma izlerinden bölgede tek bir depremde oluşan sıvılaşma olmadığı ve sıvılaşmanın önce belirlenen alandan daha geniş bir alanda gerçekleştiği belirlenmiştir. En uzak sıvılaşma ve deprem büyüklüğü karşılaştırma görgül eşitliklerinden depremin $M>6.3$ den büyük olabileceği sonucuna varılmıştır.



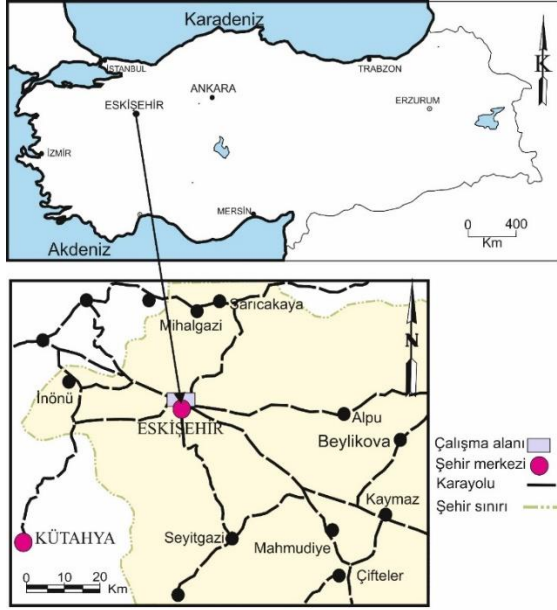
Şekil 3. A, B ve C Simgeli Görüntülerin Üzerindeki Birimlerin Sınırları Çizilerek, Aynı Görüntüler Solda Tekrar Verilmiştir. Ayrıntılı İncelendiğinde Sıvılaşan Kum Seviyesinin Sıvılaşmayan Kum Seviyesinin İçerisinde Dayk Benzeri Sokulumlar Oluşturduğu Görülmektedir (Cox ve diğ., 2014)



Şekil 4. Üst Birimlere Geçiş Yapmış Kum Sokulumları, Kum Seviyesi İçinde Askıda Kalmış Kil Blokları, Burulmuş Tabakalanma Görünümleri Önceden Olmuş ve Yüzeyde Belirti Vermemiş Sıvılaşma İzleri Belirlenmiştir (Cox ve diğ., 2014).

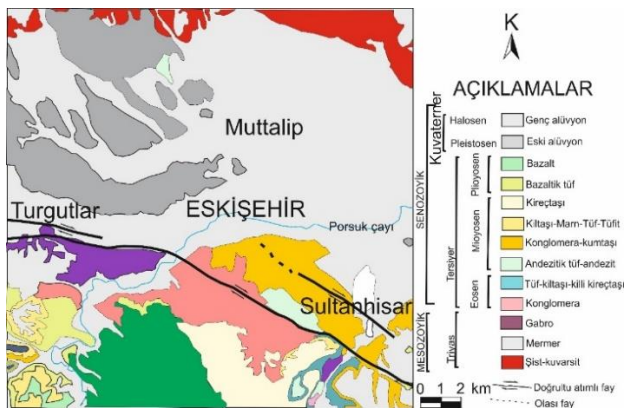
1.2. Çalışma Alanı Jeolojik ve Tektonik Yapısı

Çalışma alanı Eskişehir'in Tepebaşı ilçesi olup, İç Anadolu bölgesinin batısında 36 UTM zonunun N440900-440400 ve E282000-290000 koordinatları arasında, 1/25000 ölçekli Eskişehir İ25 a4 ve İ24 b3 topoğrafik paftalarında yer alır (Şekil 5). Çalışma alanında topoğrafik eğim %0-10 arasındadır. İl merkezi deniz seviyesinden 800 m yükseklik de olup, güneybatı ve kuzeydoğu yönlü 1200 m yüksekliğe ulaşan sırtlar ile çevrilmiştir. Şehrin batısında birleşen Sarısu ve Porsuk Çayları, şehir yerleşiminin yer aldığı geniş bir alüvyal düzlük alanı oluşturmaktadır.



Şekil 5. Çalışma Alanı Yer Bulduru Haritası.

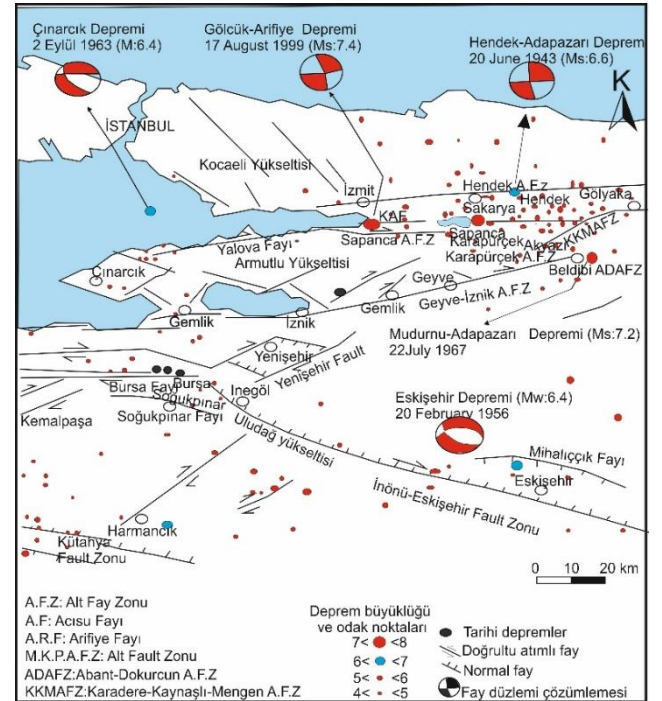
Bölgede daha önce yapılan ,tüm çalışmaların tamamına yakını Gözler, Cevher, Ergül ve Asutay., (1996) tarafından yapılan jeoloji haritaları projesi sonuçlarını temel almaktadır. Bu çalışmada da Gözler ve diğ., (1996) tarafından verilen jeolojik harita esas alınmış ve yaşlıdan gence doğru bölgenin jeolojisi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır. Bölge, Triyas-Tersiyer yaş aralığını temsil eden metamorfik, volkanik ve sedimanter kayalar ile Kuvaterner yaşlı alüvyonlardan oluşmaktadır (Şekil 6). En genç birim Pleistosen yaşlı gevsek tutturulmuş kum, çakıl ve kil taşlarından oluşan eski alüvyon ve Holosen yaşlı kil, silt ve kum dan oluşan yeni alüvyon birimidir. Çalışmanın temel konusunu oluşturan alüvyon, tabandan tavana doğru kum, çakıl, kumlu düşük plastisiteli silt-kil, yüksek plastisiteli kil, kumlu, killi-silt ve bitkisel toprak şeklinde ayrılmıştır. Eskişehir ovası'nda yeraltı suyu seviyesi bölgenin en yağışlı dönemi olan Nisan-Mayıs aylarına genel olarak 1.0-8.0 m arasında değişmektedir, Temmuz-Ağustos aylarında ise, yeraltı suyu seviyesi 3-10 m arasında değişmektedir.



Şekil 6. Eskişehir Bölgesi Jeoloji Haritası (Gözler ve diğ., 1996'dan Değiştirilerek Alınmıştır).

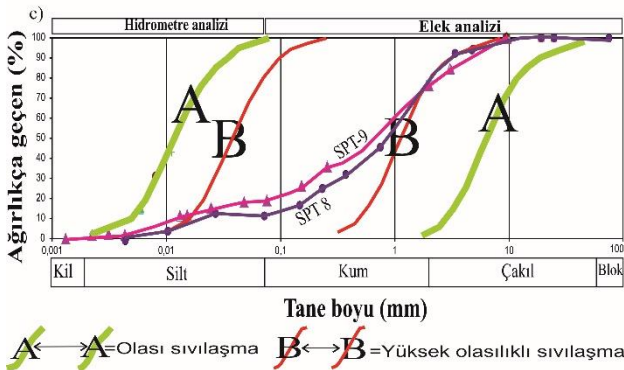
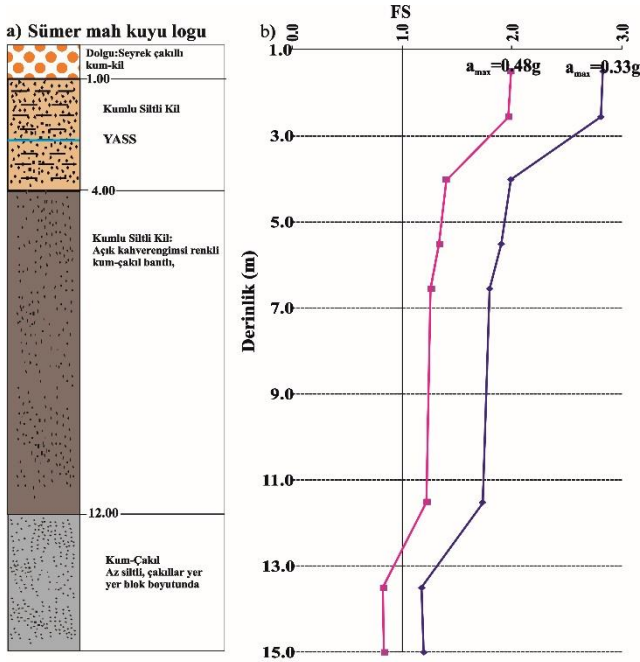
Eskişehir'den geçen İnönü Eskişehir Fay zone pek çok araştırmanın konusu olmuştur (Altunel ve Barka, 1998; Ocakoğlu, 2007; Ocakoğlu ve Açıkalm, 2009; Ocakoğlu ve Açıkalm, 2010; Seyitoğlu ve diğ., 2015).

Ayday ve diğ.(2001) ve Koyuncu (2001) Eskişehir ve çevresindeki tektonik hatları dikkate alarak, 5 adet riskli deprem kaynağı belirlemiştir (Şekil 7). Bu riskli kaynaklardan ikisi, Kuzey Anadolu Fay zonudur (KAF). Yakın zamanda bu fay zonunda 1999 yılında Kocaeli depremi (Ms 7.4), 1999 yılında Düzce depremi (Ms 7.2) ve 1967 yılında Mudurnu Adapazarı depremi (7.2) gerçekleşmiştir. İnönü-Eskişehir Fay zone (1956 yılında 6.4 Mw bir deprem oluşturmuştur). Eskişehir'den 56 Km batıdaki Kütahya-Simav Fay zone da risk oluşturmaktadır.



Şekil 7. Eskişehir Bölgesi Sismotektonik Haritası (Doyuran, Koçyiğit, Yazıcıgil, Karahanoğlu, Toprak, Topal ve Yılmaz (2000)'den Değiştirilerek Alınmıştır).

Bu deprem risk zonlarının oluşturacağı en büyük yatay ivme ise Aydan ve diğ. (1996) nın önerdiği görgül eşitlik ile İnönü-Eskişehir Fay zonunun 323 Gal değeri ile en büyük yatay ivmeyi oluşturma olasılığı hesaplanmıştır (Kayabaşı ve Gökceoğlu, 2018). 40 km uzunluğundaki Çukurhisar-Sultandere fayının (Seyitoğlu ve diğ., 2015) tek seferde kırılması durumunda 6.94 Mw deprem oluşturabileceği ve depremin yumuşak zeminde $a_{max}=0,48$ g değerine ulaşabilecek ivme oluşturabileceği hesaplanmıştır (Kayabaşı ve Gökceoğlu, 2018).



Şekil 10. Sümer Mahallesi Samimiyet Sokak a) Temel Araştırma Kuyu Logu b) Derinlik-Sıvılaşma Grafiği c) Sıvılaşan Seviyelerin Tane Boyu Dağılım Eğrileri.

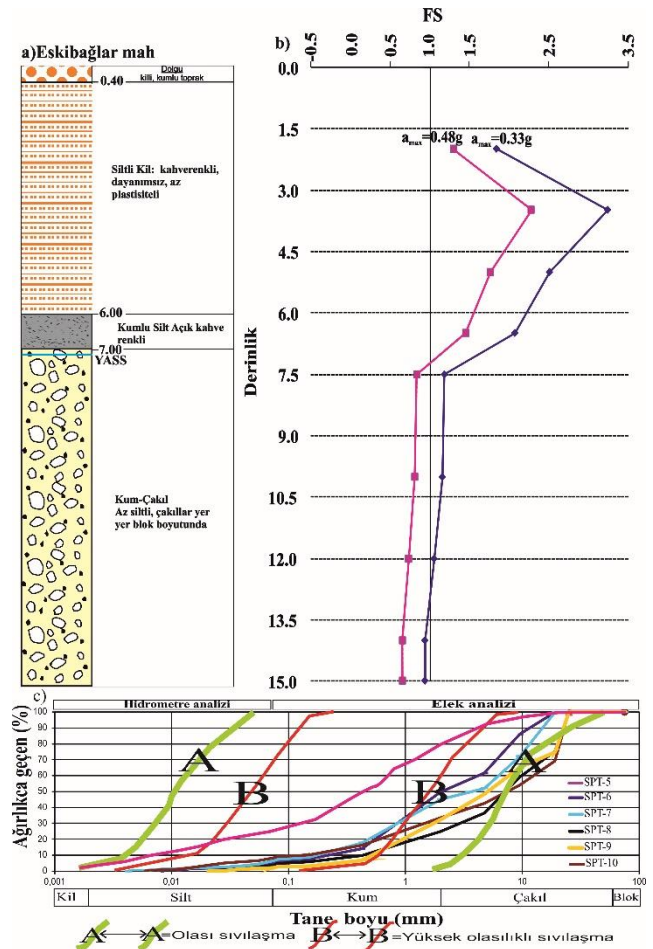
2.1.2 Temel Kazısı (Eskibağlar Mahallesi)

Eskibağlar mahallesi, Gerez Sokakta (36S287029,82D 4406698,15K) açılan yapı temel kazısının derinliği 2 m, eni 24 m boyu 64 m'dir (Şekil 11). Kalınlığı 1.10 m olan dolgu onun altında 90 cm kalınlığında ıslak, kuruma çatlakları az, aşağıya doğru ıslaklığı artan, rengi koyu kahverengi olan siltli kil yer almaktadır. Yapı temel kazısında bulunan sondaj deliğine şerit metre bırakılarak yeraltı suyu 4.5 m olarak ölçülmüştür.



Şekil 11. Eskibağlar Mahallesi Gerez Sokak Temel Kazısından Bir Görünüm.

Bu temel kazısında 15 m sondaj açılmıştır. Yapılan sıvılaşma analizi sonucunda derinlik-güvenlik katsayısı grafiği Şekil 12'de verilmiştir. Sondaj kuyusunda yapılan SPT deneyleri ve alınan örneklerden yapılan laboratuvar deneyleri sonuçları ile sıvılaşma analizi yapılmıştır. $a_{max}=0,48$ ivme oluşturacak depremin gerçekleşmesi durumunda, 7.5 m-15.0 m arasında sıvılaşma riski tespit edilmiştir. $a_{max}=0,33$ durumunda bu temelde sıvılaşma riski 10.0 m sonrası sıvılaşma riski vardır.



Şekil 12. Eskibağlar Mahallesi Gerez Sokak a) Temel Araştırma Kuyu Logu b) Derinlik-Sıvılaşma Grafiği c) Sıvılaşan Seviyelerin Tane Boyu Dağılım Eğrileri.

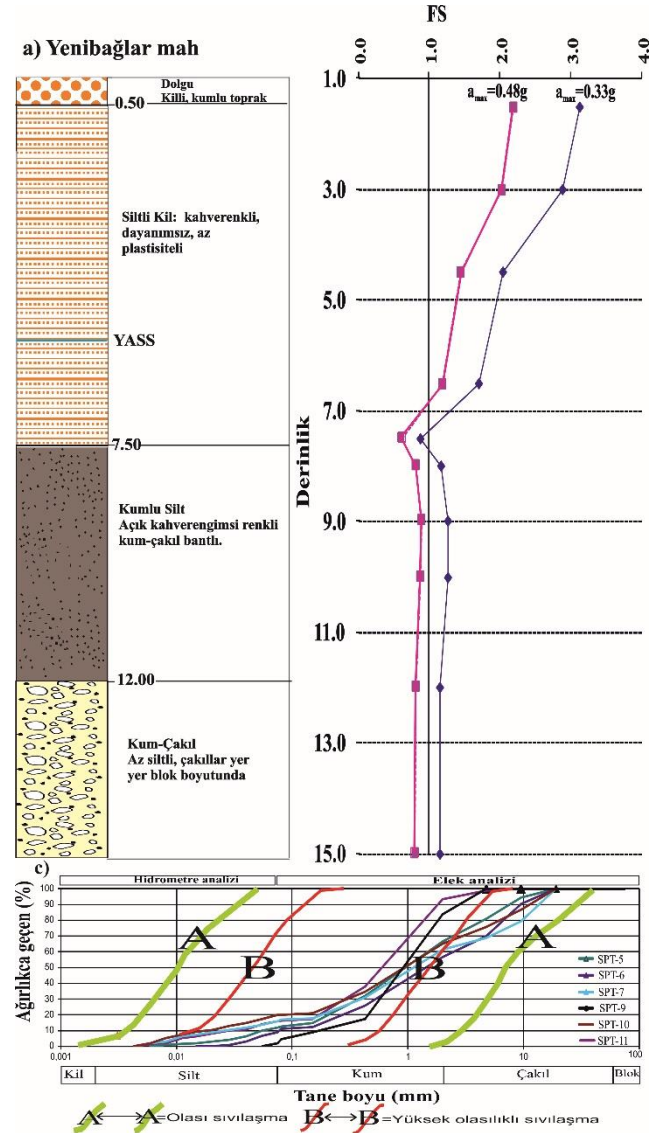
2.1.3 Temel Kazısı (Yenibağlar Mahallesi)

Yenibağlar Mahallesi Erözlü Sokak (36S 286667.43D 4406734,48K) yapı temel kazısının derinliği 3.5 m eni 21 m boyu 62 m'dir (Şekil 13). Temel kazısında yüzeyden sonra istifin 25 cm kalınlığında dolgu, dolgunun altında kalınlığı 1.5 m kuruma çatlağı aşağıya doğru artan ve rengi açık kahverengi olan siltli kil, siltli kilin altında kalınlığı 65 cm, nemli, rengi koyu kahverengi olan kumlu silt ve 1.10m kalınlığında ki siltli kil yer almaktadır.



Şekil 13. Yenibağlar Mahallesi Erözlü Sokak Temel Kazısından Bir Görünüm.

Bu temel kazısında 15 m sondaj açılmıştır. Yeraltısuyu 5.20 m'dedir. 0.50 m dolgu sonrası 7.50 m derinliğe kadar düşük plastisiteli, düşük dayanımlı siltli kil yer almaktadır. Siltli kil seviyesinin altında 12.0 m derinliğe kadar kum-çakıl bantlı kumlu silt seviyesinden sonra kum-çakıl seviyeleri kesilmiştir. Yapılan sıvılaşma analizi sonucunda derinlik-güvenlik katsayısı grafiği Şekil 14'de verilmiştir. $a_{max}=0,48$ ivme oluşuracak depremin gerçekleşmesi durumunda, 7.0 m den sonraki seviyelerde sıvılaşma riski tespit edilmiştir. $a_{max}=0,33$ durumunda bu temelde sıvılaşma riski 7.0-8.0 m arasında sıvılaşma riski vardır.



Şekil 14. Yenibağlar Mahallesi Erözlü Sokak a) Temel Araştırma Kuyu Logu b) Derinlik- Sıvılaşma Grafiği c) Sıvılaşan Seviyelerin Tane Boyu Dağılım Eğrileri.

2.1.4 Temel Kazısı (Vişnelik Mahallesi)

Vişnelik mahallesi, Özveren Sokak (36S285725,60D 4404913,14K) yapı temel kazısı derinliği 2m, eni 21m, boyu 45m'dir (Şekil 15). Temel kazısı 2 m kalınlıkta nemli, kahverenkli siltli kilden oluşmaktadır.



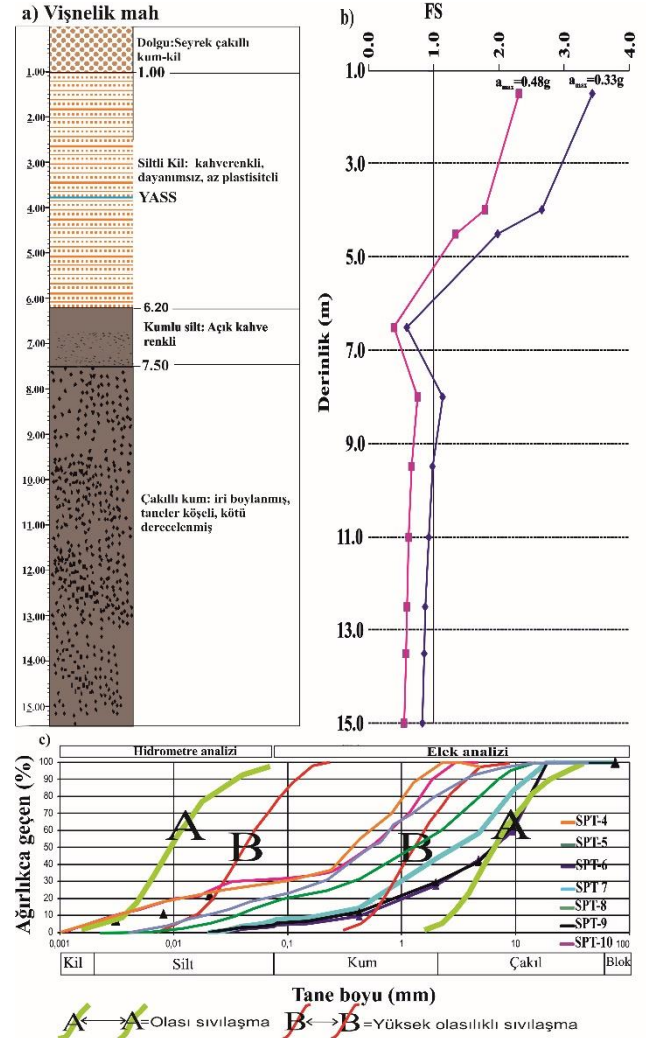
Şekil 15. Vişnelik Mahallesi Özveren Sokak Temel Kazısından Bir Görünüm.

Siltli kil içerisinde yuvarlak ve yarı yuvarlak çapları 1-3 cm arasında küçük çakıllar yer almaktadır. Siltli kilin içerisinde geçmiş yıllara ait sivilaşma izleri olarak değerlendirildiğimiz boyutları 10 cm'yi geçmeyen ve ince çakıl mercikleri görülmüştür (Şekil 16).



Şekil 16. Kum ve Çakıl Mercikleri

Temel kazısında 15 m sondaj açılmıştır. Yeraltısuyu 3.9 m'de karşılaşılmıştır. Sondajda yapılan SPT deneyi ve alınan örneklerden yapılan laboratuvar deneyi verileri ile sivilaşma analizi yapılmıştır. Yapılan sivilaşma analizi sonucunda derinlik-güvenlik katsayısı grafiği Şekil 17'de verilmiştir. $a_{max}=0.48g$ ivme oluşturacak depremin gerçekleşmesi durumunda sivilaşma 5.0 m den sonrası için muhtemel sivilaşma beklenmelidir. $a_{max}=0.33g$ ivme oluşturacak deprem durumunda 6.0-7.5 m arası ve 9.5 m sonrasında muhtemel sivilaşma oluşabilecektir.



Şekil 17. Vişnelik Mahallesi, Özveren Sokak a) Temel Araştırma Kuyu Logu b) Derinlik-Sivilaşma Grafiği c) Sivilaşan Seviyelerin Tane Boyu Dağılım Eğrileri.

2.1.5. Temel Kazısı (Şarhöyük Mahallesi)

Şarhöyük Mahallesi Adaçal Sokak (36S284411,95D 44044942,25K) yapı temel kazısı derinliği 4m eni 18m boyu 42m'dir (Şekil 18). Temel kazısında yüzeyden itibaren kalınlığı 1.60m, taneleri belirgin olmayan, dayanımsız, elle dağılan, kuru, rengi açık kahverengi olan siltli kil gözlenmiştir. Siltli kil altında kalınlığı 37 cm, çakılları yuvarlak-yarı yuvarlak ortalama 1cm çapda, yaklaşık %30 çakıl %70 kum, gevşek, tabakalı çakıllı kum seviyesi yer almaktadır.



Şekil 18. Şarhöyük Mahallesi Adaçal Sokak

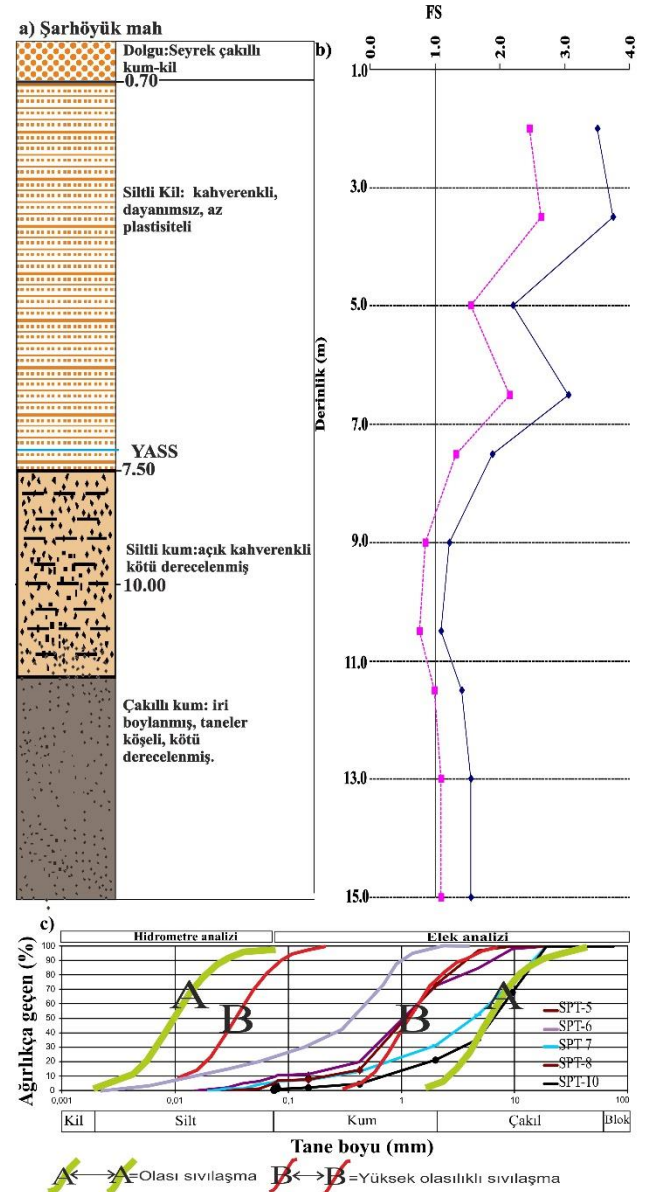
Temel kazısının en altındaki siltli kil seviyesi ise üstteki siltli kil seviyesine göre kil oranı fazla, dayanımlı, daha koyu renklidir. Siltli kilin içerisinde geçmiş yıllara ait sivilaşma izleri veya sedimantasyon olarak düşünülen 5 cm'yi geçmeyen merceksi çakıllı kumlar yer almaktadır (Şekil 19).



Şekil 19. Şarhöyük Mahallesi Adaçal Sokak Yapı Temel Kazısında Çakıl-Kum Mercekleri.

Temel kazısında 15 m sondaj açılmıştır. Yeraltısuuna 7.2 m'de girilmiştir. 0.7 m dolgu sonrasında 7.5 m derinliğe kadar dayanımsız, düşük plastisiteli siltli kil seviyesi kesilmiştir. Siltli kil seviyesinin altında killi siltli kum 11.0 m'den sonra çakıllı kum birimine dönüşmüştür (Şekil 20 a). Yapılan sivilaşma analizi sonucunda derinlik-güvenlik katsayısı grafiği Şekil 20b'de verilmiştir. $a_{max}=0,48g$ ivme oluşturacak depremin gerçekleşmesi durumunda sivilaşma 6.5 m-7.0 m ile 8.5 m-11.5 m arası için muhtemel sivilaşma

beklenmelidir. $a_{max}=0,33g$ ivme oluşturacak deprem durumunda 6.5-7.0 m arasında muhtemel sivilaşma riski vardır.



Şekil 20. Şarhöyük Mahallesi Adaçal Sokak a) Temel Araştırma Kuyu Logu b) Derinlik-Sivilaşma Grafiği c) Sivilaşan Seviyelerin Tane Boyu Dağılım Eğrileri.

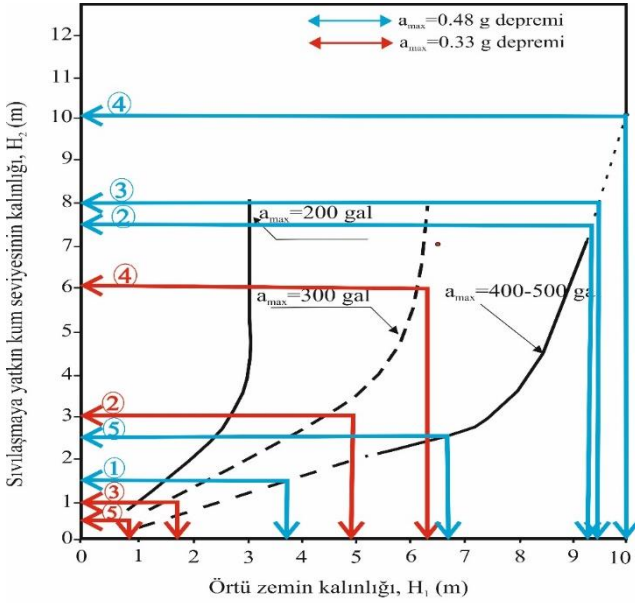
3. Temel Kazılarında Yüzey Deformasyonu Varlığının Değerlendirilmesi

Tablo 1'de temel kazı yerlerinde oluşabilecek sivilaşma seviyeleri verilmiştir. 0.33g deprem senaryosunda sivilaşan seviyelerin kalınlığının 0.48g deprem senaryosunda arttığı görülmektedir.

Temel kazılarından sivilaşmanın yüzey deformasyonu oluşturup, oluşturmayacağı Ishihara (1985) grafiği ile değerlendirilmiştir (Şekil 21).

Tablo 1. Yapı Temel Kazılarında Sıvılaştırılabilir Seviyeler

Temel kazı lokasyonu	SPT verileriyle (m) (0.33g depremi)	SPT verileriyle (m) (0.48g depremi)
Sümer Mahallesi	Sıvılaşma yok	(13.50-15.00)
Eskibağlar Mahallesi	(12.00-15.00)	(7.50-15.00)
Yeniabağlar Mahallesi	(7.00-8.00)	(7.00-15.00)
Vişnelik Mahallesi	(6.00-7.50)-(9.50-15.00)	(5.00-15.00)
Şarhöyük Mahallesi	Sıvılaşma yok	(8.50-11.50)



Şekil 21. Ishihara (1985) Abaşının İle Temel Kazılarına Uygulanması.

1 no'lu temel kazısının olduğu Sümer mahallesi incelemesinde $a_{max}=0.33$ g deprem senaryosunda sıvılaşma oluşmamaktadır. Aynı temel kazısında $a_{max}=0.48$ g gerçekleşmesi durumunda 13.5 m-15.0 m arasında sıvılaşma oluşabileceği belirlenmiştir. Ishihara(1985) grafiğine bakıldığında 1.5 m lik sıvılaşan bir seviyenin yüzey deformasyonu oluşturmaması için en az 3.75 m kalınlıktan az örtü tabakası olması gerekmektedir. 1 nolu temel kazısında ise örtü tabakası 13.5 m. dir. Sonuçta bu temel kazısında $a_{max}=0.48$ g deprem senaryosu gerçekleşmesi durumunda yüzey deformasyonu oluşmayacaktır.

2 no'lu temel kazısının olduğu Eskibağlar mahallesi incelemesinde $a_{max}=0.33$ g deprem senaryosunda 12.0 m-15.0 m ler arasında sıvılaşma oluşmaktadır. Yüzey deformasyonu oluşması için 5 m den az örtü tabakası olmalıdır. Örtü tabakasının kalınlığı 12 m olduğu için yüzey deformasyonu beklenmemektedir. Aynı temel kazısında $a_{max}=0.48$ g gerçekleşmesi durumunda 7.5 m-15.0 m arasında sıvılaşma oluşabileceği belirlenmiştir. Ishihara(1985) grafiğine bakıldığında 7.5 m lik sıvılaşan bir seviyenin yüzey deformasyonu oluşturmaması için en az 9.25 m kalınlıktan az örtü tabakası olması gerekmektedir. 2 nolu temel kazısında ise örtü tabakası

7.5 m dir. Sonuçta bu temel kazısında $a_{max}=0.48$ g deprem senaryosu gerçekleşmesi durumunda yüzey deformasyonu oluşacaktır.

3 no'lu temel kazısının olduğu Yeniabağlar mahallesi incelemesinde $a_{max}=0.33$ g deprem senaryosunda 7.0 m-8.0 m ler arasında sıvılaşma oluşmaktadır. Yüzey deformasyonu oluşması için 1.8 m den az örtü tabakası olmalıdır. Örtü tabakasının kalınlığı 7 m olduğu için yüzey deformasyonu beklenmemektedir. Aynı temel kazısında $a_{max}=0.48$ g gerçekleşmesi durumunda 7.0 m-15.0 m arasında sıvılaşma oluşabileceği belirlenmiştir. Ishihara (1985) grafiğine bakıldığında 8.0 m lik sıvılaşan bir seviyenin yüzey deformasyonu oluşturmaması için en az 9.5 m kalınlıktan az örtü tabakası olması gerekmektedir. 3 nolu temel kazısında ise örtü tabakası 7.0 m dir. Sonuçta bu temel kazısında $a_{max}=0.48$ g deprem senaryosu gerçekleşmesi durumunda yüzey deformasyonu oluşacaktır.

4 nolu temel kazısı Vişnelik mahallesi kazısıdır. Bu temel kazısında $a_{max}=0.33$ g durumunda 6-7,5 m arasında ve 9.5-15.0 m arasında sıvılaşabilir seviyeler belirlenmiştir. Ishihara (1985) abağına göre 6 m'lik sıvılaşabilir zeminin yüzey deformasyonu oluşturabilmesi için yaklaşık 6.2 m kalınlığından az örtü zemini gereklidir. Gerçekde ise sıvılaşabilir ilk 1.5 m üzerinde 6 m örtü zemini vardır. Ishihara (1985) abağı iki ayrı sıvılaşabilir zemine cevap vermemektedir. Bu deprem senaryosu ile yüzey deformasyonu beklenmemelidir. $a_{max}=0.48$ g durumunda ise 5.0 m-15.0 m arasında sıvılaşma eğilimli zemin belirlenmiştir. Ishihara (1985) grafiğine göre 10 m sıvılaşabilir zemin üzerinde yaklaşık 10 m kalınlığında sıvılaşabilir örtü tabakası olması durumunda yüzey deformasyonu beklenmemelidir. Gerçekde ise 5 m kalınlıkta örtü seviyesi vardır. Bu durumda 4 nolu temel kazısında $a_{max}=0.48$ g depremi gerçekleşmesi durumunda yüzey deformasyonu gerçekleşecektir.

5 nolu temel kazısı Şarhöyük mahallesi kazısıdır. Bu temel kazısında $a_{max}=0.33$ g deprem senaryosunda 6.5 m-7.0 m arasında sıvılaşma oluşacaktır. Yüzey deformasyonu beklenmemektedir. Aynı temel kazısında $a_{max}=0.48$ g gerçekleşmesi durumunda 6.5 m-7.0 m ve 8.5m-11.5 m arasında sıvılaşma oluşabileceği belirlenmiştir. Ishihara (1985) abağı iki farklı seviyede sıvılaşma olması durumunda yüzey deformasyonu olup olmayacağına cevap vermemektedir. İki sıvılaşabilir seviyenin toplam kalınlığı 3.0 m olarak alınıp, tek seviye olarak kabul edilmesi durumunda, ilk sıvılaşan seviyenin üzerinde 6.5 m örtü vardır. Yüzey deformasyonu olmaması için yaklaşık 8.0 m örtü tabakası olması gerekmektedir. Sonuçta bu kabullenme ile temel kazısında $a_{max}=0.48$ g deprem senaryosu gerçekleşmesi durumunda yüzey deformasyonu oluşabilecektir. Çizelge 2'de Ishihara yöntemi ile yapılan analizler özetlenmiştir.

Tablo 2. Ishihara (1985) Abağına Göre Temel Kazılarında Yüzey Deformasyonu Tahmini.

Temel kazısı	$a_{max}= 0.33g$		$a_{max}= 0.48g$	
	Kapak zemin kalınlığı (m)	Yüzey deformasyonu	Kapak zemin kalınlığı (m)	Yüzey deformasyonu
Sümer ^a Mahallesi	-	yok	13.50	yok
Eskibağlar Mahallesi	12.00	yok	7.50	var
Yenibağlar Mahallesi	7.00	yok	7.00	var
Vişnelik Mahallesi	6.50	yok	5.00	var
Şarhöyük ² Mahallesi	6.50	yok	6.50	var

^aIshihara yöntemi 10 m'den derine uygulanamaz

^bTekrarlayan sivilaşan ve sivilaşmayan seviyelerin analizinde Ishihara yöntemi uygulanamaz

Güvenlik katsayısı FS'ye bağlı olarak yapılan sivilaşma hesaplamalarına ilave olarak sivilaşma indeksi (Is) (Iwasaki, Tokida, Tatsuoka, Watanabe, Yasudo ve Sato, 1982; Sönmez 2003); Sivilaşma olasılığı (P_L) (Chen ve Juang, 2000; Juang, Yuan, Lee, ve Ku., 2003; Lee, Ku ve Yuan., 2003) ve sivilaşma şiddeti indeksi (Ls) (Sönmez ve Gökçeoğlu, 2005) geliştirilmiştir. Tablo 3 de sivilaşma indeksi sınıflaması, Tablo 4 de sivilaşma olasılığına bağlı sınıflandırma ve Tablo 5 de sivilaşma şiddeti indeksi sınıflandırması verilmiştir. Tablo 6 da ise temel kazı alanlarında belirlenen Is, P_L ve Ls değerleri verilmiştir. 0.33g deprem senaryosunda Sümer Mah. ve Şarhöyük Mah. Sivilaşma beklenmemektedir. Yenibağlar ve Eskibağlar Mahallelerinde L_1 sınıfı "Düşük", "Orta" iken Vişnelik Mahallesinde "Yüksek" L_1 değeri belirlenmiştir (Tablo 3). P_L değerine göre her üç mahallede "Sivilaşmaya yatkın" olarak belirlenmiştir (Tablo 4). LSI değerine göre ise Yenibağlar ve Eskibağlar Mahallelerinde LSI sınıfı "Düşük", "Orta" iken Vişnelik Mahallesinde "Yüksek" LSI değeri belirlenmiştir (Tablo 5).

$a_{max}=0.48g$ deprem senaryosuna göre temel kazı alanlarının tamamında sivilaşma beklenmektedir. L_1 değeri Vişnelik mahallesinde "Çok yüksek" Eskibağlar ve Yenibağlar mahallelerinde "Yüksek", Sümer ve Şarhöyük mahallelerinde "Düşük" olarak belirlenmiştir (Tablo 3). P_L değerlerine göre Şarhöyük ve Sümer mahalleleri "Orta", Eskibağlar mahallesi "Yüksek" ve Vişnelik, Yenibağlar mahalleleri "Hemen hemen kesin sivilaşır" sınıflaması içindedir (Tablo 4). LSI değerlerine göre Sümer ve Şarhöyük mahalleleri "Düşük", Yenibağlar, Eskibağlar ve Vişnelik mahalleleri "Orta" olarak sınıflandırılmıştır (Tablo 5).

Tablo 3. Sivilaşma İndeksi Sınıflandırması (Sönmez, 2003)

Sivilaşma indeksi (L_1)	Sınıflandırma
0	Sivilaşma yok ($FL \geq 1.2$)
$0 < L_1 \leq 2$	Düşük
$2 < L_1 \leq 5$	Orta
$5 < L_1 \leq 15$	Yüksek
$L_1 \geq 15$	Çok yüksek

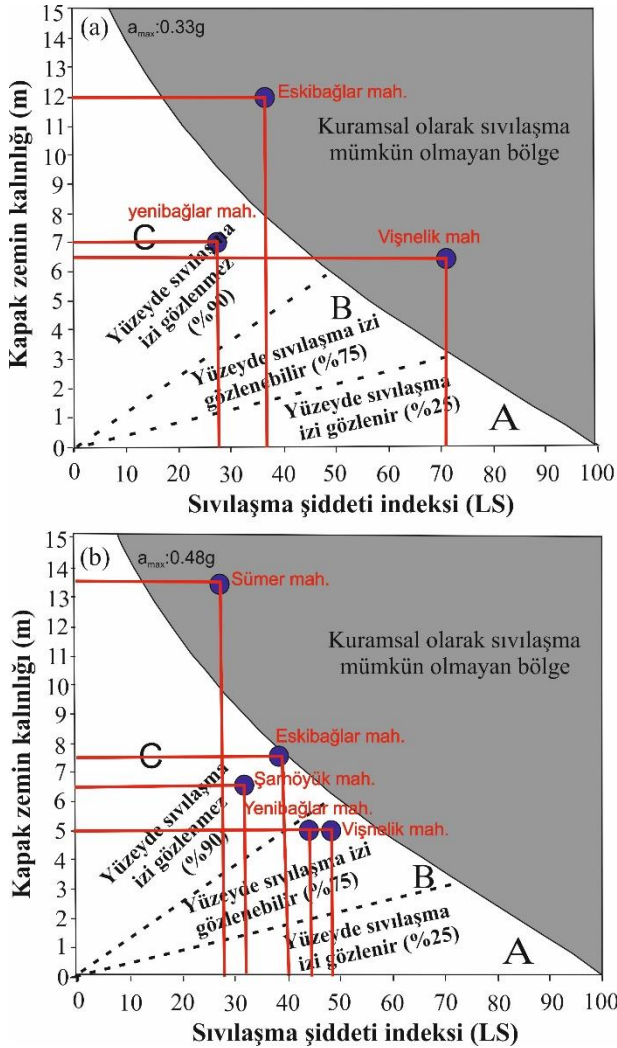
Tablo 4. Chen ve Juang (2000) Tarafından Önerilen Sivilaşma Olasılığına Bağlı Olarak Sivilaşabilirliği Tanımlamaları.

Olasılık (P_L) aralığı	Tanımlama	Güvenlik katsayısı (FL) aralığı
$0.85 \leq P_L < 1$	Hemen hemen kesinlikle sivilaşır	$0.653 \geq FL > 0.000$
$0.65 \leq P_L < 0.85$	Sivilaşmaya yatkın	$0.837 \geq FL > 0.637$
$0.35 \leq P_L < 0.65$	Sivilaşabilir/Sivilaşmaz	$1.102 \geq FL > 0.837$
$0.15 \leq P_L < 0.35$	Sivilaşmamaya yatkın	$1.411 \geq FL > 1.102$
$0.00 \leq P_L < 0.15$	Hemen hemen kesinlikle sivilaşmaz	$\infty \geq FL > 1.411$

Tablo 5. Sonmez ve Gökçeoğlu (2005) Tarafından Önerilen Sivilaşma Şiddeti İndeksi Sınıflaması.

LSI aralığı	Tanımlama
$85 \leq LSI < 100$	Çok yüksek
$65 \leq LSI < 85$	Yüksek
$35 \leq LSI < 65$	Orta
$15 \leq LSI < 35$	Düşük
$0 < LSI < 15$	Çok düşük
$LSI = 0$	Sivilaşmaz

Sönmez ve Gökçeoğlu (2005) çalışmalarında sivilaşmanın yer yüzeyindeki etkilerini tahmin etmek için bir abak önermiştir. Arazi gözlemlerine göre abak A zonu (%90), B zonu (%75) ve C zonu (%25) olarak 3 zona ayrılmış ve hiç vaka gerçekleşmeyen zon ise sınırlanmıştır. Şekil 22 a ve 22 b'de SPT verileriyle 0.33g ve 0.48g ivmeli deprem senaryolarında yer yüzeyinde sivilaşmanın deformasyonun tahmini görülmektedir. 0.33g deprem senaryosunda Sümer mahallesi ve Şarhöyük mahallesinde sivilaşma gerçekleşmeyecektir. Yenibağlar mahallesinde 0.33g deprem senaryosunda sivilaşma deformasyon izi yüzeyde beklenmemektedir. Eskibağlar ve Vişnelik mahallelerinde ise sivilaşma beklenmemektedir (Şekil 22a). 0.48g depremi senaryosuna göre Vişnelik ve Yenibağlar mahallelerinde yüzeyde sivilaşma deformasyonu beklenmemektedir. Şarhöyük ve Eskibağlar mahallelerinde yüzeyde sivilaşma deformasyonu beklenmezken, Sümer mahallesinde sivilaşma beklenmemektedir.



Şekil 22. Sivilaşmanın Yüzeydeki Varlığını Tahmin Eden Abakla Bu Çalışmanın Değerlendirilmesi (Sönmez ve Gökçeoğlu, 2005) (a) SPT Verileriyle $a_{max}=0.33g$ Depremi Senaryosu (b) SPT Verileriyle $a_{max}=0.48g$ Depremi Senaryosu.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, Eskişehir ili sınırlarında 5 adet farklı derinliklerde açılmış temel kazılarında eski sivilaşma varlığı araştırılmıştır. Şarhöyük ve Vişnelik mahallelerindeki temel kazılarında bulunan çok küçük sivilaşma emareleri (kum merccekleri) dışında belirgin kum sokulumu ve benzeri oluşumlar diğer kazılarda bulunamamıştır.

Temel kazılarında araştırma amaçlı açılan sondaj verileri ve laboratuvar deneyleri sonuçları ile sivilaşma analizleri ve yüzey deformasyon ihtimalleri araştırılmıştır. Temel kazılarında yeraltısuyu 2 m ile 7 m derinlikler arasında değişmektedir. Açılan sondajlarda ve temel kazılarında yüzeyden itibaren siltli kil, killi siltli kum, siltli kum zeminler, 9 m veya 10 m'den sonra sıkı çakıllı litolojiye dönüşmektedir. Sondaj kuyularında SPT deneyleri yapılmıştır. SPT örneklerinden zemin index deneyleri yapılmıştır.

Sivilaşma analizleri 1956 yılında oluşmuş 6.4 Mw büyüklüğünde gerçekleşen depremin oluşturduğu $a_{max}=0,33g$ ivme değeri ile Eskişehir ili içerisinde geçen yaklaşık 40 km uzunluğundaki Çukurhisar-Sultandere fayının tek seferde kırılabilmesi ve $a_{max}=0,48g$ ivme oluşturabileceği deprem senaryoları ile gerçekleştirilmiştir. 0.33g ivme ile oluşacak bir deprem senaryosunda Şarhöyük ve Sümer mahallelerinde sivilaşma belirlenmemiştir. Yenibağlar ve Eskibağlar Mahallelerinde sivilaşabilir tek seviye belirlenirken, Vişnelik mahallesinde birbirinden bağımsız iki farklı sivilaşabilir seviye belirlenmiştir. 0.48g ivme ile oluşacak deprem senaryosunda tüm temel kazı sahalarında sivilaşan seviyeler belirlenmiş ve bu seviyelerin kalınlıklarının 0.33g deprem senaryosuna göre arttığı görülmüştür.

Ishihara (1985) grafiğine göre 0.33g deprem senaryosunda Eskibağlar, Yenibağlar ve Vişnelik mahallelerinde yüzey deformasyonu oluşmayacaktır. 0.48g deprem senaryosunda ise Sümer Mahallesi temel kazısı hariç diğer temel kazısı alanlarında yüzey deformasyonu beklenmektedir.

Sönmez ve Gökçeoğlu (2005)'nin Sivilaşma Şiddeti İndeksi-Kapak zemin Kalınlığı (m) abağına göre 0.33g deprem senaryosunda, Yenibağlar Mahallesi deforme izi yüzeyde beklenmemektedir. Eskibağlar ve Vişnelik mahallelerinde ise sivilaşma beklenmemektedir (Şekil 22a). 0.48g depremi senaryosuna göre Vişnelik ve Yenibağlar mahallelerinde yüzeyde sivilaşma deformasyonu beklenmektedir. Şarhöyük ve Eskibağlar mahallelerinde yüzeyde sivilaşma izi beklenmezken, Sümer mahallesinde sivilaşma beklenmemektedir.

Bu çalışmada incelemeye alınan 5 ayrı temel kazısında geçmişte oluşmuş sivilaşma belirti izleriyle karşılaşmamıştır. Geçmiş depremlerde sivilaşma gerçekleşmemiştir sonucunu ifade etmek için bu çalışma çok yetersizdir. Yapılan tüm kazılar incelenmelidir. Çukurhisar-Sultandere arasında yaklaşık 40 km uzunluğundaki fayın ayrıntılı çalışılması gerekmektedir. Fayın aktivitesi, tek seferde kırılma olasılığı, tekrarlama aralığı ve Eskişehir'e oluşturabileceği risk belirlenmelidir. Alüvyon çökelimleri üzerinde yer alan Eskişehir ili yerleşim alanı için ayrıntılı mikrobölgeleme çalışmalarına öncelik verilmelidir.

Teşekkür

Bu çalışma Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 2015-669 "Eskişehir Kenti Tepebaşı İlçesinde sivilaşma riski varlığının analizi ve Menard presiyometre deneyinin sivilaşma analizlerinde kullanılabilirliğinin araştırılması" projesi kapsamında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenmiştir.

Araştırmacıların Katkısı

Makale tek yazarlıdır.

Çıkar Çatışması

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Akin, M., Ozvan, A., Akin, M. K., & Topal, T. (2013). Evaluation of liquefaction in Karasu River floodplain after the October 23, 2011, Van (Turkey) earthquake. *Natural hazards*, 69, 1551-1575. DOI: 10.1007/s11069-013-0763-2

Altunel, E. ve Barka, A. (1997). "Eskişehir fay zonunun deprensellik aktivitesi bu zon üzerinde meydana gelen depremlere ait yüzey kırıklarının belirlenmesi ve değerlendirilmesi". Eskişehir Osmangazi Üniversitesi araştırma fonu projesi no:96/24

Aydan, Ö., Sezaki, M. & Yazar, M. (1996). The seismic character of Turkish Earthquakes. 11th World Conference of Earthquake Engineering Accapulco, Mexico, CD-2, 1025.

Ayday, C., Altan, M., Nefeslioğlu A.H., Cangür, A., Yeral, S. ve Tün, M. (2011). "Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Eskişehir Yerleşim Yerinin yerleşim amaçlı jeoloji ve jeoteknik etüt raporu", Anadolu Üniversitesi Uydu ve Uzay Bilimleri Araştırma Enstitüsü, Eskişehir.

Chen, C.J. & Juang, C.H. (2000). Calibration of SPT- and CPT-based liquefaction evaluation methods. In: Mayne, P.W., Hryciw, R. (Eds.), Innovations and Applications in Geotechnical site Characterization. Vol. 97. Geotechnical Special Publication, ASCE, Reston, pp. 49-64.

Cox, R.T, Christopher, D., Yanjun, H. & Shanon, A.M. (2014). Use of small scale liquefaction features to asses paleoseismicity: an example from the saline river fault zone, Southeast Arkansas. *Frontiers in earth science*, Vol:2:31, USA. <https://doi.org/10.3389/feart.2014.00031>

Doyuran, V., Koçyigit, A., Yazıcıgil, H., Karahanoğlu, N., Toprak, V., Topal, T. ve Yılmaz, K. K. (2000). Yenişehir Belediyesi Yerleşim Alanı Jeolojik/Jeoteknik İncelemesi. *METU Project*, 99-03.

Gözler, M.Z., Cevher, F., Ergül, E. ve Asutay, H.J. (1996). Orta Sakarya ve güneyinin jeolojisi, MTA Rapor No: 9973, 87 s., Ankara.

Ishihara, K. (1985). Stability of natural deposits during earthquakes. Proceedings of the 11th Internatioanal Conference on Soil mechanics and Foundation

Engineering, San Fransisco, CA, A.A. Balkema, Rotterdam vol. 1, 321-376.

Iwasaki, T., Tokida, K., Tatsuoka, F., Watanabe, S., Yasuda, S. & Sato, H. (1982). Microzonation for soil liquefaction potential using simplified methods. In: Proceedings of the 3rd International Conference on Microzonation, Seattle. vol. 3. pp. 1319-1330

Juang, C.H., Yuan, H., Lee, Der-Her. & Ku, C.S. (2002). Assessing CPT-based methods for liquefaction evaluation with emphasis on the cases from the Chi-Chi, Taiwan, earthquake. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 22, 241-258. [https://doi.org/10.1016/S0267-7261\(02\)00013-1](https://doi.org/10.1016/S0267-7261(02)00013-1)

Kanaori, Y., Kawakami, S. I., Yairi, K. & Hattori, T. (1993). Liquefaction and flowage at archaeological sites in the inner belt of central Japan: tectonic and hazard implications. *Engineering Geology*, 35(1-2), 65-80. [https://doi.org/10.1016/0013-7952\(93\)90070-S](https://doi.org/10.1016/0013-7952(93)90070-S)

Kayabasi, A. & Gokceoglu, C. (2018). Liquefaction potential assessment of a region using different techniques (Tepebasi, Eskişehir, Turkey). *Engineering geology*, 246, 139-161. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2018.09.029>

Koyuncu, N.P. (2001). "Eskişehir il merkezindeki birimlerin jeo-mühendislik özelliklerinin değerlendirilmesi ve mühendislik jeolojisi haritalarının hazırlanması", Yüksek Mühendislik Tezi. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.

Lee, Der-Her., Ku, C.S. & Yuan, H. (2003). A study of the liquefaction risk potential at Yuanlin, Taiwan. *Engineering Geology* 71 (1-2), 97-117. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(03\)00128-5](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(03)00128-5)

Port Harbour Research Institute, 1997, Handbook of Liquefaction Remediation of Reclaimed Land, A.A. Balkema, Rotterdam, 312 p.

Seed, H. B. & Idriss, I. M. (1982). Ground motion and soil liquefaction during earthquakes, *Earthquake Engineering Research Insititute Monograph Series*, 134 p.

Seed, H.B., Tokimatsu, L.F., Harder, M. & Chung, R.M. (1985). Influence of SPT procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluations, *Jornal of Geotechnical Engineering*, 111, 12, pp. 1425-1445. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1985\)111:12\(1425\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1985)111:12(1425))

Seed, HB., Woodward, R.J. & Lundgren, R. (1964). Fundamental Aspects of the Atterberg Limits. *J Soil Mech Found Div, ASCE*,90(SM6):75-105

- Seyitoğlu, G., Ecevitoglu, G.B., Kaypak, B., Güney, Y., Tün, M., Esat, K., Avdan, U., Temel, A., Çabuk, A., Telsiz, S. & Uyar Adlaş, G.G. (2015). "Determining the main strand of the Eskişehir strike-slip faultzone using subsidiary structures and seismicity: a hypothesis tested by seismic reflection studies" *Turkish J Earth Sci.* 24: 1-20. doi:10.3906/yer-1406-5. <http://dx.doi.org/10.3906/yer-1406-5>
- Sonmez, H. (2003). Modification to the liquefaction potential index and liquefaction susceptibility mapping for a liquefaction-prone area (Inegol-Turkey). *Environ. Geol.* 44 (7), 862-871. <https://doi.org/10.1007/s00254-003-0831-0>
- Sönmez, H. & Gökçeoğlu, C. (2005) "A liquefaction severity index suggested for engineering practice", *Environmental Geology*, 48, 81-91. <https://doi.org/10.1007/s00254-005-1263-9>
- Ocakoğlu, F. (2007). A re-evaluation of the Eskişehir Fault Zone as a recent extensional structure in NW Turkey. *J. Asian Earth Sci.* 31, 91-103. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2007.05.002>
- Ocakoğlu, F. & Açıklın, S. (2009). Late Pleistocene fault induced uplift and consequent fluvial response in Eskişehir Fault Zone NW Anatolia. *Z. Geomorphol.* 53 (1), 121-136. <https://doi.org/10.1127/0372-8854/2009/0053-0121>
- Ocakoğlu, F. & Açıklın, S. (2010). "Field evidences of secondary surface ruptures occurred during the 20 February 1956 Eskişehir earthquake in the NW Anatolia" *J. Earth Syst. Sci.* 119, No. 6, pp. 841-851. <https://doi.org/10.1007/s12040-010-0057-y>
- Wasti, Y. ve Ergun, U. (1985). Zeminlerin Şişme Davranışı, Dolgu Barajlar Yönünden Zemin Mekaniği Semineri, DSİ Genel Müdürlüğü TAK Dairesi Başkanlığı, Sayfa 11:1-17. ADANA
- Youd, T.L., Idriss, I.M., Andrus, R.D., Arango, I., Castro, G., Christian, J.T., Dobry, R., Finn, W.D.L., Harder, L.F., Hynes, M.E., Ishihara, K., Koester, J.P., Liao, S.S.C., Marcuson, W.F., Martin, G.R., Mitchell, J.K., Moriwaki, Y., Power, M.S., Robertson, P.K., Seed, R.B. & Stokoe, K.H. (2001). Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluations of liquefaction resistance of soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering ASCE* 127:(10), 817-833. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2001\)127:10\(817\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2001)127:10(817))