

**T.C.**  
**BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ KULLANILARAK EDREMIT İLÇESİ**  
**CENNETAYAĞI MEVKİ (BALIKESİR) YERLEŞİM ALANINDAKİ ZEMİN JEO-**  
**MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**ESRA ARIK SAYGI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Jüri Üyeleri :** Prof. Dr. Şener CERYAN (Tez Danışmanı)  
Doç. Dr. Hakan ELÇİ  
Dr. Öğr. Üyesi Gökhan BÜYÜKKAHRAMAN

**BALIKESİR, TEMMUZ - 2021**

## ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**Coğrafi Bilgi Sistemi Kullanılarak Edremit İlçesi Cennetayağı Mevki (Balıkesir) Yerleşim Alanındaki Zemin Jeo-Mühendislik Özelliklerinin Değerlendirilmesi**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

**Esra ARIK SAYGI**

(imza)

**Bu tez çalışması Destekleyen kuruluş Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından  
2018/059 nolu proje ile desteklenmiştir.**



## ÖZET

### COĞRAFI BİLGİ SİSTEMİ KULLANILARAK EDREMİT İLÇESİ CENNETAYAĞI MEVKİ (BALIKESİR) YERLEŞİM ALANINDAKİ ZEMİN JEO- MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ESRA ARIK SAYGI

BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. ŞENER CERYAN)

BALIKESİR, TEMMUZ - 2021

Bu çalışmada Edremit Cennetayağı Mahallesi yerleşim alanındaki (Balıkesir, Türkiye) zeminin mühendislik özellikleri Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu çalışma için öncelikle Balıkesir Büyükşehir Belediyesinin arşivinden alınan mikro bölgeleme verilerinden alınan jeofizik(masw), jeofizik(mikrotremör), sondajlar ve deneylerden yararlanılmıştır. Elde ettiğimiz 54 sondaj verisinden bir veritabanı oluşturulmuş ve bu veritabanı CBS kullanılarak analiz edilmiştir. CBS aracılığıyla bölgenin eğim haritası, yeraltı su seviyesi ve yeraltı su derinlik haritaları, farklı derinlikler (3, 6, 9, 12 ve 15 m) için düzeltilmiş SPT-N değerlerinin dağılımı, P-dalga hızı ( $V_p$ ), S-dalga hızı ( $V_s$ ),  $V_p/V_s$  oranı ve zemin büyütme haritaları hazırlanmıştır. Daha sonra deprem tehlike analizi yapılmış olup, fay izi uzunluğu ve çalışma yerine mesafesini esas alan yöntemlerle senaryo deprem üretilmiştir. Bu senaryo deprem dikkate alınarak SPT-N değerlerine dayanan yöntemle alanın sıvılaşma potansiyeli haritaları oluşturulmuştur. İnceleme alanı için üretilen sıvılaşma potansiyeli indeksi haritası üretilmiştir. Bu harita incelendiğinde inceleme alanının %28.8'inde sıvılaşma gelişmeyeceği, %2.3'ünde "düşük", %8.7'sinde sıvılaşma potansiyelinin "orta", %25.2'sinde sıvılaşma potansiyelinin "yüksek", ve %35'inde sıvılaşma potansiyelinin "çok yüksek" olduğu görülmektedir.

**ANAHTAR KELİMELELER:** CBS, SPT, Jeo-Mühendislik, Sıvılaşma, Cennetyatağı Mahallesi

Bilim Kod / Kodları : 80503, 91132, 91132, 92011

Sayfa Sayısı : 12

## **ABSTRACT**

### **ASSESSMENT OF GROUND GEO-ENGINEERING FEATURES IN THE SETTLEMENT AREA OF CENNETAYAĞI (BALIKESİR) OF EDREMIT DISTRICT USING A GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM**

**MSC THESIS**

**ESRA ARIK SAYGI**

**BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE  
GEOLOGICAL ENGINEERING**

**(SUPERVISOR: PROF. DR. ŞENER CERYAN )**

**BALIKESİR, JULY - 2021**

In this study, the engineering properties of the soil in the residential area of Edremit Cennetayağı (Balıkesir, Turkey) were evaluated using GIS. For this study, geophysics(masw), geophysics(microtremor), drilling and laboratory experiment results were used from micro-zoning data obtained from the archive of Balıkesir Büyükşehir Belediyesi. A data-generated Geographic Information System was analyzed using GIS using 54 drilling data provided in the data we obtained. The results of this analysis slope maps, ground-water levels and ground-water depth maps from different depths (3, 6, 9, 12 and 15 m) corrected SPT-N values, the distribution of P-wave velocity ( $V_p$ ), S-wave velocity ( $V_s$ ),  $V_p/V_s$  ratio and magnification, ground maps were prepared. Later, earthquake hazard analysis was performed and scenario earthquake was produced by methods based on fault track length and distance from the work site. In this scenario, the liquefaction potential maps of the area were created using a method based on SPT-n values, taking into account the earthquake. A map of the liquefaction potential Index produced for the area of study was produced. When this map is examined, 28.8% of the area of review will not develop liquefaction, 2.3% "low", 8.7% "medium" liquefaction potential, 25.2% "high" liquefaction potential, and 35% appears to have a "very high" potential for liquefaction.

**KEYWORDS:** CBS, SPT, geo-engineering, liquefaction, Cennetyatağı Neighborhood

Science Code / Codes : 80503, 91132, 91132, 92011.

Page Number : 12

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>iv</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>vi</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Alanının Tanıtılması .....	1
1.1.1. Coğrafi Konum .....	1
1.1.2. Önceki Çalışmalar .....	2
<b>2. YAPILAN ÇALIŞMALAR</b> .....	<b>5</b>
2.1. Standart Penetrasyon Deneyi (SPT).....	5
2.2. Sondaj Logları Değerlendirilmesi ve Veri Tabanının Oluşturulması .....	6
2.3. Mekânsal Analizler ve Enterpolasyon Yöntemi .....	6
<b>3. BULGULAR</b> .....	<b>9</b>
3.1 Cennetyatağı Mahallesi (Edremit) ve Yakın Çevresinin Jeolojisi .....	9
3.1.1 Çamlık Metagranodiyoriti .....	9
3.1.2 Torasan Formasyonu .....	9
3.1.3 Çal Formasyonu ve Camialan Kireçtaşı .....	10
3.1.4 Bayırköy Formasyonu .....	10
3.1.5 Bilecik Formasyonu.....	10
3.1.6 Pınar Formasyonu.....	10
3.1.7 Çetmi Melanjı .....	10
3.1.8 Hallaçlar Volkaniti .....	11
3.1.9 Alüvyon .....	11
3.2 Edremit İlçesi ve yakın çevresinin Deterministik Deprem Tehlike analizi.....	11
3.3 Cennetyatağı Mahallesi ve Zeminlerinin Jeo-Mühendislik Özelliklerinin.....	13
3.3.1 Topoğrafya, Sayısal Yükseklik Modeli ve Eğim .....	13
3.3.2 Yeraltı Su Derinliği .....	15
3.3.3 Yerel Zemin Cinsi ve Yerel zemin Sınıfı .....	16
3.3.4 SPT-N değerinin değişimi .....	17
<b>4 .CENNETAYAĞI MAHALLESİNİN SIVILAŞMA POTANSİYELİ VE HARİTALARI</b> .....	<b>25</b>
4.1 Sıvılaşma Mekanizması ve Sıvılaşma Tahmin Ölçütleri.....	25
4.2 Zemin Tabakalarının Sıvılaşmaya Karşı Güvenlik Sayısı ve Sıvılaşabilirlik Olasılığı. 26	
4.3 Zemin Profilinin Sıvılaşma Potansiyeli ve Sıvılaşma Şiddeti .....	31
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b> .....	<b>35</b>
<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>37</b>

Şekil 1.1: Edremit İlçesi Cennetayağı Mevkii yer bulduru haritası.....	1
Şekil 2.1: SPT deneyinin şematik gösterimi.....	5
Şekil 2.2: Örnek olarak verilmiş sondaj loğu.....	7
Şekil 2.3: Laboratuvar deney sonuçlarına ait bir örnek.....	8
Şekil 3.1: Çalışma alanı ve çevresinin jeoloji haritası.....	9
Şekil 3.2: İnceleme alanını etkileyen faylar ve fay zonları (1: Havran-Balya Fay Zonu, 2: Balıkesir Fayı Gökçeyazı Segmenti, 3: Soma-Kırkağaç Fay Zonu, 4: Bergama Fayı, 5: Zeytinadağ Fay Zonu, 6:Evciler Fayı, 7:Bekten Fayı, 8: Yenice Gönen Fayı, 9: Sarıköy Fayı, 10: Biga-Çan Fay Zonu, 11: Pazarköy fayı 12: Edremit Fayı Altınoluk Segmenti, 13: Edremit Fayı Zeytinlik Segmenti, 14: Kestanbol Fayı.....	12
Şekil 3.3: İnceleme alanının topoğrafik haritası (a), Sayısal Yükseklik Modeli (b) ve eğim haritası (c).....	15
Şekil 3.4: Yeraltısu derinliği haritası.....	15
Şekil 3.5: İnceleme alanındaki zemin türünün mekansal dağılımı.....	16
Şekil 3.6: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde.....	17
Şekil 3.7: İnce tane oranına göre düzeltilmiş SPT-N değerlerinin farklı derinlikte mekansal.....	21
Şekil 3.8: İnce tane oranına göre düzeltilmiş SPT-N değerlerinin farklı derinlikte mekansal.....	22
Şekil 3.9: İnce tane oranına göre düzeltilmiş $(N_1)_{60}$ değerlerinin farklı derinliklerde mekansal dağılımı.....	23
Şekil 3.10: İnce tane oranına göre düzeltilmiş $(N_1)_{60}$ değerlerinin farklı derinliklerde mekansal dağılımı.....	24
Şekil 4.1: Suya doygun kumlu zeminin sıvılaşma olgusu.....	25
Şekil 4.2: Sıvılaşmaya bağlı olarak gelişen zemin deformasyonları: (a) kum kaynaması n), (b) akma yenilmesi, (c) yanal yayılma, (d) zemin salınımı gelişimi, (e) zeminin taşıma gücünü yitirmesi, (f) gömülü yapılarda sıvılaşma sonucu gelişen yükselmeye bağlı hasarlar (Ulusay, 2010; Sönmez, 2011' den değiştirilmeden).....	26
Şekil 4.3: Seed ve Idriss (1971) tarafından verilen zemin prizmasının tabanında tekrarlı gerilime oranının (CSR) hesaplanması.....	27
Şekil 4.4: Sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısının ( $F_L$ ) farklı derinliklerdeki mekansal dağılımı.....	29
Şekil 4.5: Sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısının ( $F_L$ ) farklı derinliklerdeki mekansal dağılımı.....	30
Şekil 4.6: Cennetayağı Mahallesi'nin (Edremit, Balıkesir) "Sıvılaşma Potansiyeli İndeksine "göre tanımlanmış sıvılaşma potansiyeli haritası.....	32
Şekil 4.7: Cennetayağı Mahallesi'nin (Edremit, Balıkesir) "Sıvılaşma Potansiyeli İndeksine "göre tanımlanmış sıvılaşma potansiyeli haritası.....	34

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

<b>Tablo 3.1:</b> Fay segmenti yaklaşımı ile senaryo deprem büyüklüğünü veren eşitlikteki a ve b katsayıları .....	12
<b>Tablo 3.2:</b> İnceleme alanını etkileyecek fayların (ve segmentlerinin) iz uzunluğu (SRL), söz konusu yerleşim alanına uzaklıkları ( $R_e$ ) ve oluşturabilecekleri deprem büyüklükleri ( $M_w$ ) ve en büyük yer nivmesi ( $a_{max}$ ) .....	13
<b>Tablo 3.3:</b> Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)'n göre zemin sınıflandırma tablosu.....	17
<b>Tablo 3.4:</b> SPT-N değeri ile kumlarda göreceli sıkılık arasındaki ilişki .....	18
<b>Tablo 3.5:</b> $(N_1)_{60}$ 'ın belirlenmesi için kullanılan düzeltme katsayılarının seçimi .....	19
<b>Tablo 4.1:</b> Sıvılaşma İndeksi sınıflaması .....	32
<b>Tablo 4.2:</b> Sıvılaşma Şiddeti İndeksi (LSI) Sınıflaması .....	33

## ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanması sırasında bana yol gösteren, her türlü bilgi ve desteğini benden esirgemeyen, yardımları ile çalışmalarımı yönlendiren, danışman hocam Sayın Prof. Dr. Şener CERYAN' a, içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam sürecinde desteklerini esirgemeyen, çalışmalarımın her aşamasında bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım değerli hocam Doç. Dr. Nurcihan Ceryan'a içtenlikle teşekkür ederim.

Çalışma alanının haritalama işlemleri yapılabilmesi için verileri almamda sağladığı kolaylık ve katkılarından dolayı Balıkesir Büyükşehir Belediyesi Genel Sekreter Yardımcısı Mürsel Sabancı ve Balıkesir Büyükşehir Belediyesi'nde çalışan meslektaşlarıma teşekkür ederim.

Çalışmamda yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarım Osman Samed ÖZKAN ve Ceren NERGİZLİOĞLU'na teşekkür ederim.

Hayatım boyunca hep yanımda olan, yüksek lisans çalışmalarım sırasında dualarını benden esirgemeyen canım anneme, güvenini bana sürekli hissettiren sevgili babama, çalışmalarımı destekleyen, sürekli moral veren ve her zaman yanımda olan sevgili eşime teşekkür ederim.

**Balıkesir, 2021**

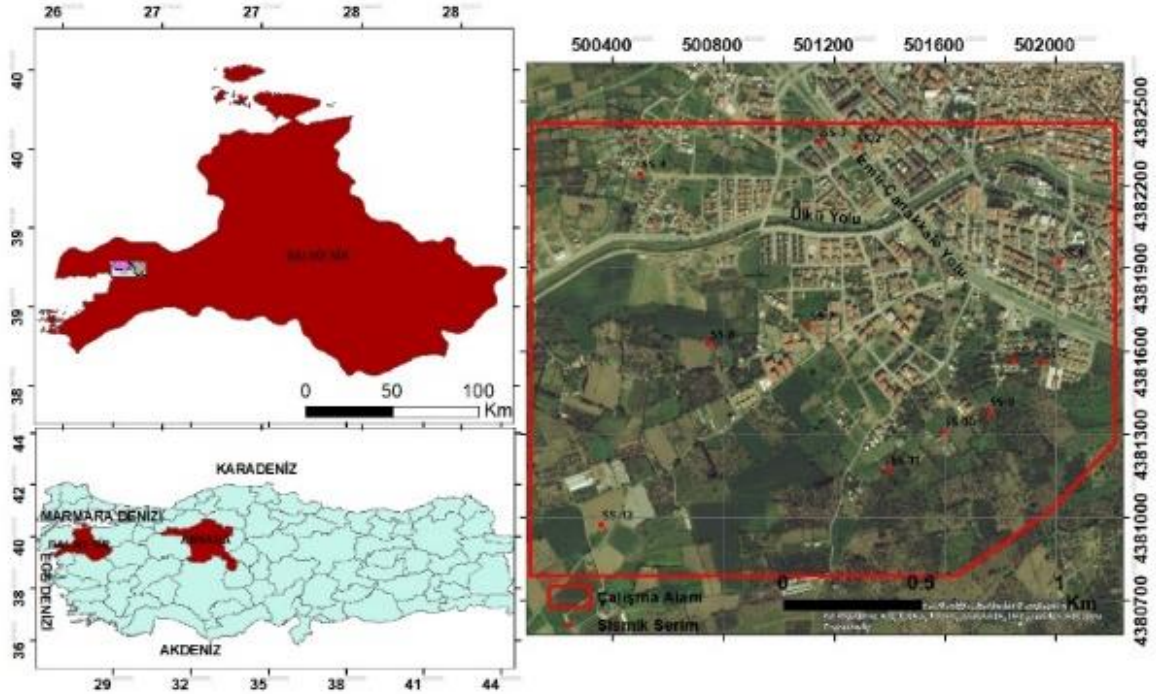
**Esra ARIK SAYGI**

# 1. GİRİŞ

## 1.1. Alanının Tanıtılması

### 1.1.1. Coğrafi Konum

Türkiye'nin kuzeybatısında, Marmara bölgesinin güney bölümünde yer alan Balıkesir İli Edremit İlçesi, Cennetayağı Mahallesi  $26^{\circ}58'30''K$  -  $27^{\circ}02'30''K$  enlemleri ile  $39^{\circ}34'30''D$  -  $39^{\circ}35'30''D$  boylamları arasında yer almaktadır. (Şekil 1.1) İlçenin çevresinde batıda ege Denizi, Ayvacık ve kuzeyinde Bayramiç ve Yenice ilçeleri, doğuda Havran ilçesi, güneyde ise Burhaniye ilçeleri ile çevrilidir.



Şekil 1.1: Edremit İlçesi Cennetayağı Mevkii yer bulduru haritası.

#### 1.1.1.1 Topoğrafya, İklim, Bitki Örtüsü ve Akarsu

Edremit ovasının etrafını çevreleyen 1767 m yüksekliğinde Kaz Dağları, 1298 m yüksekliğinde Eybek Dağları ve daha doğusunda 1460 m yüksekliğinde Musluk Dağları mevcuttur. Edremit tektonik özellikle bir ova olup Havran-Burhaniye arasında yer almaktadır. Dağlar ile deniz arasında Batı-Güney istikametinde bol suya sahip bereketli ve verimli ovalar bulunmaktadır. Edremit çevresinde bulunan çay ve dereler yazın kurak geçerken, kışları ise taşkınlar gözlenmektedir. Edremit ilçesinin başlıca çay ve dereleri; Edremit Çayı, Zeytinli Çayı, Kızılkıçılı Çayı, Mıhlı Çayı, Manastır Çayı, Şahin Deresi,

Eybek Deresi'dir. Edremit İlçesinde Akdeniz iklimi karakterleri görülmektedir. Kışları ılık ve yağışlı, yazları sıcak ve kurak geçer. En yüksek sıcaklık Temmuz ayında, en düşük sıcaklık ise Aralık ayında yaşanır.

### 1.1.2 Önceki Çalışmalar

Sönmez (2003), Sıvılaşmaya Meyilli Bir Alan İçin Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi Ve Sıvılaşma Duyarlılık Haritalamasının Değiştirilmesi (İnegöl, Türkiye), Bu çalışmada, sıvılaşma potansiyeli indeksi ve sıvılaşma potansiyeli kategorileri, sıvılaşma potansiyeli indeksine dayalı kategorilerin mevcut formları dikkate alınarak değiştirilmiştir. Düşük kategorisi çıkarılırken, ılımlı ve "sıvılaştırılmamış" kategorileri kabul edildi. Sıvılaştırılmamış sıvılaştırma potansiyeli kategorisi için en düşük değer olarak 1,2 güvenlik faktörü kabul edildi. Buna ek olarak, Marmara bölgesindeki İnegöl kasabası, bu çalışmada önerilen sıvılaşma potansiyeli kategorilerinin performansının kontrol edilmesi için vaka çalışması olmuştur.

Yalçın vd. (2008), Aksaray Şehir Merkezi İçin Sıvılaşma Şiddeti Haritası (İç Anadolu, Türkiye) Bu çalışmada, Aksaray ilinin sıvılaşma potansiyeli Sönmez ve Gökçeoğlu (2005) tarafından önerilen son prosedürle araştırılmıştır. Bu amaçla, Aksaray il merkezinin sıvılaşma duyarlılık haritası sunulmuştur. Analizde zemin tabakasının üst ve alt sınırlarının derinliği, SPT-N değerleri, ince içerik, kil içeriği ve sıvı sınırı gibi girdi parametreleri yüzeyden 20 m içerisindeki tüm tabakalar için kullanılmıştır.

Güzel (2009), Mikrobölgeleme çalışmalarında jeolojik, jeofizik, jeoteknik verilerin birlikte kullanımı (Kuzey Adana örneği) adlı çalışmada, bölgenin jeolojik, jeofizik verilerini kullanarak mikrobölgelendirme çalışması yapmayı amaçlamıştır. Bu çalışmada olasılıksal ve deterministik deprem tehlike analizi birlikte kullanılarak senaryo depreminin büyüklüğü belirlemiştir. İnceleme alanı veri çalışmalarının sonrasında zemin büyütmesi, yamaç stabilitesi ve sıvılaşma haritaları üretilmiştir. Bu haritaların birleştirilmesiyle inceleme alanının tehlike düzeylerinin belirlendiği Mikrobölgeleme haritaları hazırlanmıştır. İnceleme alanının yama. Duyarsızlıklarının olduğu heyelanlı kesimlerin yüksek tehlike düzeyinde olduğu belirlenmiştir.

Emre vd. (2012), Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) ile İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Maden Fakültesi Dekanlığınca ortaklaşa gerçekleştirilen " Biga Yarımadası'nın Genel ve Ekonomik jeolojisi" adlı araştırma projesinin sonuçlarını içeren yayının "Biga Yarımadası'nın Diri Fayları ve Deprem Potansiyeli" çalışması bölümünde,

Biga yarımadasının diri fayları araştırılmış ve deprem potansiyelleri tartışılmıştır. Haritalanan faylardan ondördünün Holosen aktivitesi belirlenerek dirilikleri kesinlik kazanmıştır. Bunlardan Yenice- Gönen fayı, Manyas fayı ve Edremit fayının batı bölümünde son yüzyılda meydana gelen depremlerde yüzey faylanması gelişmiştir. Akçapınar fayı ise potansiyel diri fay olarak tanımlanmışlardır. Yazarlar yaptıkları çalışmada, Biga bölgesinde yirmi fay haritaları, bu fayların mekanizmalarını ve aktivitelerini incelemiş yörenin sismotektoniğini açıklamada çok büyük katkılar sunmuştur.

Özkan (2015), Susurluk yerleşim alanındaki (Balıkesir, Türkiye) zemininin jeo-mühendislik özellikleri CBS kullanılarak değerlendirilmiştir. Ayrıca söz konusu yerleşim alanındaki zeminlerin sıvılaşma potansiyelini incelemiş, yamaç molozundan oluşan zeminin sıvılaşma genellikle potansiyeline sahip olmadığını, çoğunlukla kumlardan oluşan alüvyon zeminin “orta” ve “yüksek” sıvılaşma potansiyeline sahip olduğunu belirtmiştir.

Esin ve Ceryan (2015), burhaniye (balıkesir) yerleşim alanının sıvılaşma potansiyelinin değerlendirmiştir. deterministik deprek tehlike analizi yapan yazarlar, oluşturdukları deprem senaryosuna göre söz konusu alanı etkileyecek depremin  $m_w=7.2$  büyüklüğün olacağı ve bu depremin  $0.37g$  büyüklüğünde en büyük ivmesinin değeri üreteceğini belirtmişlerdir. Yazarlar söz konusu alandaki zeminlerin sıvılaşma potansiyelini youd vd. (2001) de verilen ve spt-n değerine dayanan basitleştirilmiş yöntemle araştırmışlardır. Sonuç olarak, burhaniye yerleşim alanının sıvılaşmaya karşı duyarlılığı, genellikle “Çok Yüksek” ve Yüksek olarak belirlenmiştir.

Anıl (2018), Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Aşebacı Mahallesiindeki (Kares/Balıkesir) Zeminlerin Jeo-Mühendislik Özelliklerinin Değerlendirilmesi adlı çalışmada, Yeni yerleşim alanlarının seçiminde ve mevcut yerleşim alanlarının planlamasında jeolojik ve jeoteknik çalışmalar ve bu çalışmaları esas alan mikrobölgeleme çalışmaları modern kentleşmenin ilk ve en temel aşamalarından birisidir. Bu çalışmalarda ve kent planlamasında Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) etkin bir rol almaktadır. Söz konusu alanın zemin özellikleri CBS'nin sorgulama özelliği ile değerlendirilmiştir. Bu çalışmada ilk olarak CBS teknikleri kullanarak, topoğrafik veriler, jeoteknik sondaj logları, laboratuvar deney sonuçları, yerinde deney sonuçları, yeraltısuyu seviye verileri ve jeofizik veriler için ayrı bir veri tabanı oluşturulmuştur. Daha sonra, ArcGis (V: 10.2) programıyla mekânsal analizler yapılarak bu veriler değerlendirilmiş ve bu değerlendirme sonucunda mühendislik jeolojisi haritaları (Sayısal Yükseklik Modeli, zemin kalınlığı, yeraltı su haritaları, farklı derinlikte SPT-N değeri, boyuna dalga hızı ( $V_p$ ), kayma dalgası hızı ( $V_s$ ),  $V_p/V_s$  oranı haritaları ve zemin büyütme haritaları) üretilmiştir. Son olarak olasılık yöntemiyle deprem

tehlike analizi yapılmış, fay izi uzunluğunu ve çalışma alanına uzaklığını esas alan yöntem ve seçilen azalım ilişki kullanılarak senaryo deprem oluşturulmuştur ve bu senaryo depreme dikkate alınarak SPT-N değerlerine dayanan yöntemle inceleme alanının sıvılaşma potansiyeli haritası üretilmiştir. Sonuç olarak, eğimin düşük olduğu bu alanlarda yerüstü ve yeraltı sularının drenajı sorun olabileceği, Özellikle Alüvyonun yayılım gösterdiği düzlük alanlarda derinliğinin 4.5 m'den az olması nedeniyle yeraltı suyu taşıma gücü, yapı-su etkileşimi sonucu korozyon ve sıvılaşma problemlerini oluşturabileceği gözlemlenmiştir.

Çakır (2020), Coğrafi Bilgi Sistemi Kullanılarak Yolören Mahallesi (Edremit-Balıkesir) Yerleşim Alanındaki Zeminlerin Jeo-Mühendislik Özelliklerinin Değerlendirilmesi adlı çalışmada, Edremit çalışma sahalarındaki söz konusu alanların zemin ve jeo-mühendislik özellikleri Coğrafi Bilgi Sistemleri'nin (CBS) sorgulama özelliği kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışma sırasında Edremit belediye arşivinden elde edilen bilgiler doğrultusunda bir veri tabanı oluşturulmuştur. Bu çalışmada Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak elde edilen topoğrafik veriler, laboratuvar deney sonuçları, yeraltı suyu seviyelerinin verileri, jeoteknik sondaj sonuçları ve jeofizik veriler için ayrı ayrı veri tabanları oluşturulmuştur. ArcGIS programı kullanılarak mekânsal analizler yapıp bu veriler değerlendirilmiştir. Ve bu değerlendirme sonucunda mühendislik jeolojisi haritaları (sayısal yükseklik modeli, zemin kalınlığı, SPT-N değerleri, yeraltı suyu haritaları, Vp/Vs oranı haritaları ve zemin büyütme haritaları) üretilmiştir. Son olarak ise deprem tehlike analizi yapılmış olup, fay izi uzunluğunu ve çalışma alanına olan uzaklığını esas alan yöntemlerle senaryo deprem oluşturulmuştur. Ve bu senaryo deprem dikkate alınarak SPT-N değerlerine dayanan yöntemle alanın sıvılaşma potansiyeli haritaları oluşturulmuştur.

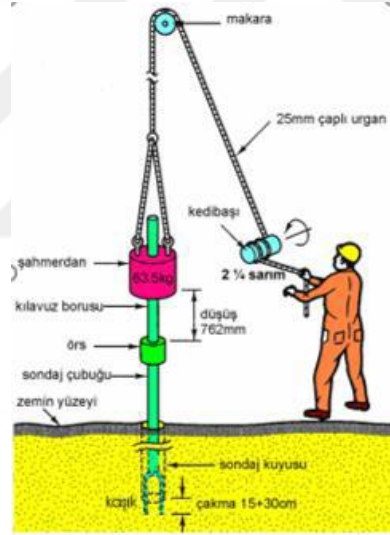
Ceryan (2020), Olası Depremde Zemin Deformasyonlarında Kaynaklanan Tahlükeler Ve Balıkesir'deki Bir Çalışma, Depremler yer kabuğunun herhangi bir noktasında belirli bir zaman periyodunda birikmiş olan enerjinin, o noktada meydana gelen bir kırılma ile ani olarak boşalması şeklinde gelişmektedir. Bu enerji boşalımı sismik dalgalarla olur. Deprem tehlikesinin iki yönü vardır; bunlarda biri mühendislik yapılarının dinamik kuvvetler tarafından etkilenmesi, diğeri ise yüzey kırığının oluşması (veya fay kripi şeklinde deformasyonun gelişmesi), sıvılaşma, yanal yayılma, zemin büyütmesi, topoğrafyadaki çökme ve yükselmeler, deniz deformasyonu ve bu deformasyondan kaynaklanan tehlikelerdir. Bu çalışmada depremin oluşturduğu zemin deformasyonları (ve ilgili tehlikeler) özetlenmiş ve ayrıca Altınoluk ile Güre (Edremit) arasındaki yerleşim alanının sıvılaşma potansiyeli ortaya konulmuştur.

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)

Standart Penetrasyon Deneyi, zemin mühendislik özelliklerinin yerinde saptabilmesine olanak sağladığı için önem kazanmıştır. Zemin araştırmalarında sondaj kuyusu içinde yapılan bu deneyle zeminin mühendislik özellikleriyle ilgili verinin yanı sıra, ayrıca taşıma gücü, sıvılaşma vd. Mühendislik analizleri için girdi parametreleri de elde edilebilmektedir.(Ulusay, 2010) Standart Penetrasyon Deneyi, kumlu zeminlerde uygulanmaktadır. Deney kil zeminde yapıldığında ise zeminin kıvamı ve drenajsız direnci konusunda bilgi sağlanır ve ayrıca zeminin indeks özelliklerinin belirlenmesine yönelik zeminden örnek sağlanabilmektedir. (Ulusay, 2010).

Deneyde; sondaj makinesi ve tijleri, çakma gereçleri, standart penotremetre (ortadan ayrılabilen örnekleme tüpü), ve yardımcı malzemeler kullanılmıştır.



Şekil 2.1: SPT deneyinin şematik gösterimi (Bol, 2016).

Deney sırasında sondajla istenilen derinliğe ulaşıldıktan sonra kuyunun dibi temizlenip, penetrasyon kaşığı sondaj çubuğuna bağlanır ve kuyuya indirilir. Tek vuruş yapılarak sistemin çukurun dibine yerleşmesi sağlanır. En üstteki sondaj çubuğu 15'er cm aralıklarla dört çizgi ile kaşığın zemine girişi izlenerek işaretlenir. 63,5 kg ağırlığındaki tokmak 76 cm yüksekten düşürülerek kaşığın her üç 15 cm penetrasyonunu sağlayarak vuruşlar kriterlerden birine varılıncaya kadar devam ettirilir. 15 cm'lik üç penetrasyondan herhangi birinde toplam N=50 vuruşun sayılması veya 30 cm ilerleme için toplamda 100 vuruşun uygulanması veya tokmağın 10 vuruşundan sonra kaşığın fark edilir bir penetrasyon

yapmaması ve kaşığın penetrasyonunun engellenmeden zemine öngörülen 3 x 15 cm = 45 cm girişi tamamlanmış olmalıdır (Bol, 2016).

Standart Penetrasyon Deneyi sonucunda ilk 15 cm penetrasyon, kaşığın oturması içindir. İkinci ve üçüncü 15 cm'lik penetrasyon toplamı "Standart Penetrasyon Direnci" olarak tanımlanır (Bol, 2016). Standart Penetrasyon Deneyi'nde zeminden alınan örnekler laboratuvarda yapılacak testlerle zeminin karakteristiklerinin belirlenmesi için ağzı kapatılabilen numune kaplarında saklanır. Zemin türüne göre uygun olan karotiyerlerin yardımıyla alınmış olan ve bozulmamış örnekler üzerinde tek veya üç eksenli basınç deneyleri yapılır (Özcan, 2012). Bu çalışmada yararlanılmış (ve kaynakçada da verilen) çalışma raporlarından alınan SPT deneyinden elde edilen tüm veriler oluşturduğumuz veri tabanına aktarılmıştır.

## **2.2.Sondaj Logları Değerlendirilmesi ve Veri Tabanının Oluşturulması**

Bu çalışmada kullanılan sondaj logları ve jeofizik verileri Balıkesir Büyük Şehir Belediyesi, Balıkesir İli, Edremit İlçesi, 4906.79 Hektarlık Alanın Mikrobölgeleme Etüt Raporu'ndan alınmıştır(Analiz Mühendislik İnşaat Sondajcılık Madencilik San. Ve Ticaret Ltd. Sti., 2017).Çalışmaya ait örnekler şekil 2.2'de sondaj lokasyonları verilmiştir. Şekil 2.3'de ise laboratuvar deneylerine ait örnek verilmiştir.CBS veri tabanında kullanılmak üzere çalışma alanı ile ilgili alınan raporlardan sondajların jeoteknik logları, laboratuvar deney sonuçları, her zemin tabakasındaki zemin türü, SPT-N darbe sayıları, sismik yöntemlerle elde edilen bilgiler, sismik yöntemlerle elde edilmiş olan tabaka kalınlıkları alınarak önce dosyalar (Excel) oluşturulup veri tabanı meydana getirilmiştir.

## **2.3. Mekânsal Analizler ve Enterpolasyon Yöntemi**

Edremit (Balıkesir) Cennetayağı Mahallesi Yerleşim alanında yer alan çalışma sahası için arazi planlamasına yönelik olarak yerel zemin koşullarını açıklayan parametrelerin bölgedeki değişimi belirlenmiş olup bu parametrelerin analizi sonucu elde edilen veri tabakalarının birleştirilerek aralarındaki ilişkiler açıklanmay çalışılmıştır.

Elde edilen tüm veriler Esri ArcGis 10.5 programının Spatial Analysis (Mekânsal Analiz) modülü kullanılarak mühendislik jeolojisi haritaları (topğrafik haritası, sayısal yükseklik modeli, eğim haritası, yeraltı derinliği haritası, yerel zemin cinsi ve yerel zemin sınıfı haritası, 3,6,9,12,15 ve 18 derinlik için (N)<sub>60</sub> değerlerinin mekânsal değişimi ve sınırlama potansiyeli haritası ) üretilmiştir.



## HİDROMETRİK ANALİZ DENEY SONUÇLARI

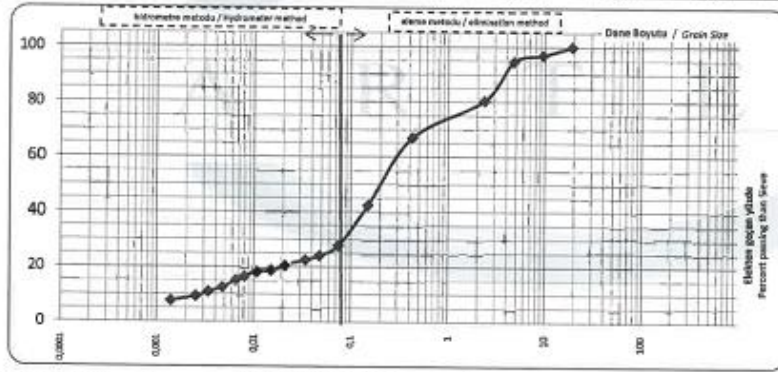
Hydrometric Analysis Test Results

Rev. no: 00 Form No:RFR-4044

Müşteri Adı : ANALİZ MÜH.İNŞ.SON.MAD.SAN.VE TİC.LTD.ŞTİ.  
Customer's Name  
Num.Alındığı Yer : BALIKESİR İLİ, EDREMİT İLÇESİ, 4906.79 HEKTARLIK ALANIN  
Project/Location  
Sondaj-Num. No : SK-627  
Boring/Sample No  
Derinlik (m) : 12,00-12,45  
Depth

Rapor No /Bak rap.no : 3477hid8  
Report no  
Num.Kabul Tarihi : 14,11,2016  
Date of Samp. Accept  
Deney Tarihi : 16,11,2016  
Date of Test  
Deney Rapor Tarihi : 18,01,2017  
Date of Test Result

Zaman / Time	Hidrometre Okuması Hydrometer Reading	Menisüs düzeltme Hd. Okuması Hydreading with Meniscus correct.	Sıcaklık Temperature	Ayırıştırma maddesi ve Sıcaklık Düzeltmesi Dispersing Agent and Temperature Correct.	Düzeltilmiş Hid. Okuması Corrected Hyd. Reading	Etkelil Derinlik Effective Depth	"K" Değeri "K" Value	Tane Çapı Grain Diameter	Toplam Geçen Total Passing
T (dk)			(°C)			(cm)		D (mm)	P (%)
1	1,019	1,0189	21	0,0041	1,0148	11,903	0,01388	0,0479	24,17
2	1,018	1,0179	21	0,0041	1,0138	12,168	0,01388	0,0342	22,53
5	1,017	1,0169	21	0,0041	1,0128	12,433	0,01388	0,0219	20,90
10	1,016	1,0159	21	0,0041	1,0118	12,698	0,01388	0,0156	19,27
20	1,016	1,0155	21	0,0041	1,0114	12,698	0,01388	0,0111	18,62
40	1,014	1,0143	20,5	0,0042	1,0101	13,095	0,01397	0,0080	16,49
60	1,014	1,0135	20,5	0,0042	1,0093	13,328	0,01397	0,0066	15,19
120	1,012	1,0119	20,5	0,0042	1,0077	13,758	0,01397	0,0047	12,57
240	1,011	1,0109	20,5	0,0042	1,0067	14,023	0,01397	0,0034	10,94
495	1,010	1,0099	20,5	0,0042	1,0057	14,288	0,01397	0,0025	9,31
1440	1,009	1,0089	20,5	0,0042	1,0047	14,553	0,01397	0,0014	7,67



Elek No Sieve No	Elek Çapı(mm) Sieve Dia	Geçen % Passing
2 1/2 in.	63	100,00
2 in.	50	100,00
1 1/2 in.	37,5	100,00
1 in.	25	100,00
3/4 in.	19	100,00
3/8 in.	9,5	95,95
No 4	4,75	94,71
No 8	2,36	80,46
No 30	0,600	66,92
No 100	0,150	42,42
No 200	0,075	27,84
D10 (mm)		0,00
D30 (mm)		0,08
D60 (mm)		0,32
Uniformluk Katsayısı Coefficient of Uniformity (Cu)		110,72
Süreklilik Katsayısı Coefficient of Curvature (Cc)		7,63

Hidrometre Tipi : Hydrometer Type	ASTM 151 H	Toplam Numune Ağırlığı Total Sample Weight (gr.)	100,0
Ayırıştırma maddesi: Dispersing Agent	(NaPO <sub>3</sub> ) <sub>6</sub>	200 No Elekten Geçen Mkt. Finer than No. 200 (gr.)	27,8
Miktarı Quantity	125 ml	Özgül Ağırlık ( ) Specific Gravity	2,58

(%) KİL / Clay	12,93
(%) SİLT / Silt	14,91

(%) KUM / Sand	66,87
(%) ÇAKIL / Gravel	5,29

- Bu deney ASTM D-422-63 standartlarına göre yapılmaktadır.  
This test is being done according to the ASTM D 422-63 standards.
- T.C.Çevre ve Şehircilik Bakanlığı logosu 12.02.2009 tarih ve 187 numaralı Laboratuvar İzin Belgesi kapsamında kullanılmaktadır.  
The logo of T.C.Ministry of Environment and Urbanization is used by the right of 187 numbered Licence for Laboratory Permission confirmed on 12.02.2009.

Deneyi Yapan

Tested By

**E.H. KOÇER**  
Jeolojik Mühendisi  
Oda Sicil No:6198

Analiz Mühendislik İnşaat Sondajcılık  
Madencilik San. ve Ticaret Ltd. Şti.  
Merkez Mah. Çarşıbaşı Caddesi Fınn Sokak  
Topcuoğlu Apt. No: 22 D:29 Avcılar / İstanbul  
Telefon: 212 590 70 70 Fax: (212) 590 70 70  
Vergi Dairesi: Avcılar Vergi No: 0680765632

Onaylayan

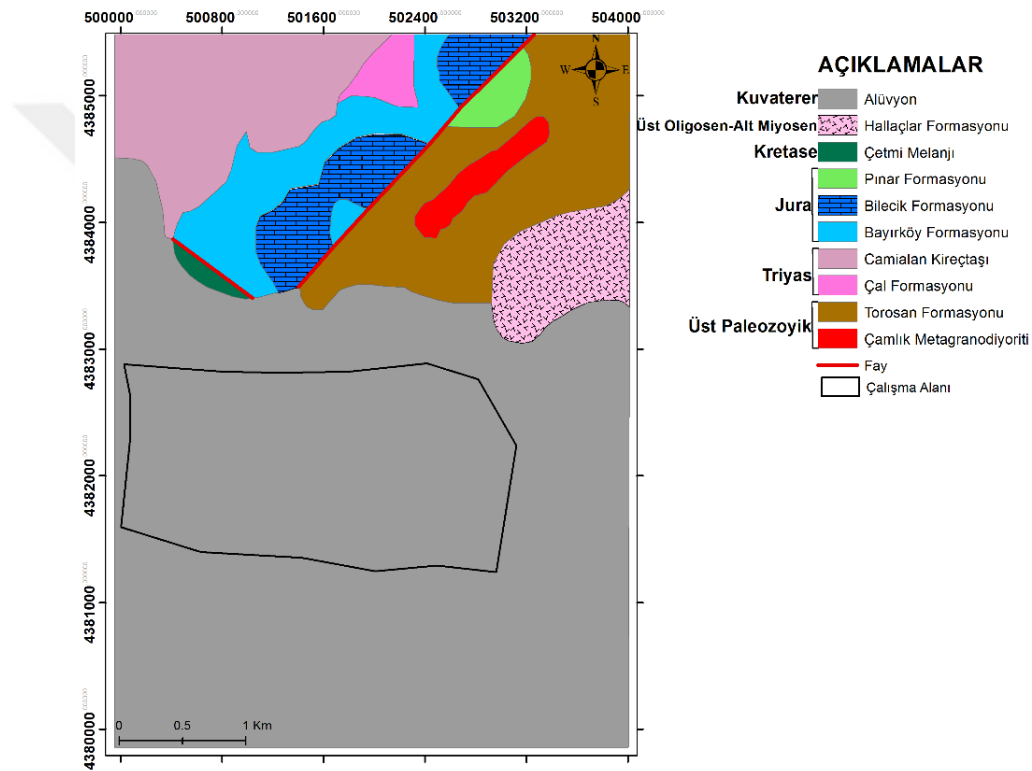
Approved By

**Denetçi Mühendis**  
**Erdem ERPARLAR**  
Jeoloji Mühendisi  
D.Belge No: 20191

### 3. BULGULAR

#### 3.1 Cennetyatağı Mahallesi (Edremit) ve Yakın Çevresinin Jeolojisi

Çalışma alanımız olan Balıkesir ili Edremit ilçesi Cennetyatağı Mahallesi ve yakın civarlarında yüzeylenen litostratigrafi birimleri en yaşlıdan gence doğru; Çamlık Matagranodiyorit (Üst Paleozoyik), Torasan Formasyonu (Üst Paleozoyik), Çal Formasyonu ve Camialan Kireçtaşı (Triyas), Bakırköy Formasyonu (Jura), Bilecik Formasyonu (Jura), Pınar Formasyonu (Jura), Çetmi Melanjı (Kretase), Hallaçlar Volkaniti (ÜstOligosen-Alt Miyosen) ve Kuvaterner oluşuğu Alüvyondur.



Şekil 3.1: Çalışma alanı ve çevresinin jeoloji haritası (MTA Balıkesir 1/100.000 İ18 Paftası Jeoloji Haritası )

#### 3.1.1 Çamlık Matagranodiyorit

Çoğunlukla yönlü dokulu, yer yer dayklarla kesilmiş, altere granitik gnays, metagranodiyorit ve metariolitlerden oluşan birim, Havranın kuzeyinde, Yenice-Kalkım'ın güneyinde ve Biga'nın güneydoğusunda yüzeylemektedir (Duru vd. 2004).

#### 3.1.2 Torasan Formasyonu

Alanın doğusunda yer alan Torasan Formasyonu Okay (1988) Karakaya kompleksi içerisinde Torasan metamorfileri olarak adlandırılmıştır. Düşük dereceli metamorfizma

geçirmiş fillat, mika-kuvars-şistlerden oluşmakta ve gri, beyaz renkli mermer bantlarından oluşmaktadır. Yaşını belirleyebilecek herhangi bir veri elde edilememiştir (Duru vd. 2009).

### **3.1.3 Çal Formasyonu ve Camialan Kireçtaşı**

Triyas yaşlı Karakaya Kompleksi içerisinde birbiriyle yer yer geçişli, çoğunluklarda tektonik dokanaklı, farklı litoloji birimlerinden oluşmaktadır. Arkozik kumtaşları ve kilitaşı ardalımalı istif Arkozik Kumtaşları, çört mercekli grovaklar Orhanlar Grovağı, yeşil renkli bazaltik kayaçlar ve tüfleri Mehmetalan formasyonu, kahve-haki renkli spilitik bazalt, aglomera ve tüflerin yoğun olduğu kesimler Çal formasyonu ve en üstte kireçtaşı seviyeleri de Camialan kireçtaşını oluşturmaktadır (Duru vd. 2004).

### **3.1.4 Bayırköy Formasyonu**

Karakaya Kompleksini uyumsuz dokanaklarla örten, karasal-sığ denizel konglomera, kumtaşı, çamurtaşı ve kireçtaşından oluşan Alt Jura yaşlı Bayırköy Formasyonu Edremit, Havran, Balya, Çan arasında Halılar, Sarnıç, Bahçecik, Samur, Kayapınar, Aşağıçavuş, Fındıklı, Çal, Terzialan, Yaykın, Danişment, Mancılık köyleri ve Gönen'in kuzeybatısında yüzeylemektedir (Sarı R. 2009).

### **3.1.5 Bilecik Formasyonu**

Sakarya Zonu içerisinde yaygın olarak yüzeyleyen Üst Jura-Alt Kretase yaşlı kireçtaşlarından oluşan Bilecik Formasyonu, Edremit-Pazarköy-Orhanlar arasında, Gönen batısında ve daha batıda Kalkım, Terzialan civarında yüzeylemektedir (Sarı 2009).

### **3.1.6 Pınar Formasyonu**

Sakarya zonunun örtü birimlerini oluşturmakta olup, Bilecik formasyonunun orta-kalın tabakalı kireçtaşlarına ve ince tabakalı (2-20 cm) mikritik kireçtaşı ve ince tabakalı kilitaşı ardalıması ile tipiktir. Birim gri, bej ve şarapi renkli, bol belemnit ve planktonik (radyolarya, foraminifer) fosilli, yer yer çört yumrulu mikritik kireçtaşları ile kireçtaşları arasındaki yeşil, pembe renkli cm ile birkaç metre kalınlıkta kilitaşı ardalımasından oluşmaktadır. Birim Balya-Kalkım yolu üzerinde Pınar Köyü civarında, Kalkım-Yukarıçavuş köyü, Gönen batısında İncirli Köyü civarında ve Edremit kuzeyinde yüzeylenmektedir (Sarı 2009).

### **3.1.7 Çetmi Melanji**

Kretase-Erken Tersiyer yaşlı Çetmi melanjinin çalışma alanındaki yayılımı 8.6 km<sup>2</sup>'dir. İlk kez Okay vd., (1990) tarafından adlandırılan Çetmi ofiyolit melanji farklı köklerdeki kayaçların tektonik dilim veya olistostrom şeklinde karışık halde bir arada bulunduğu

topluluktur. Çetmi melanjı şeyl-fillat, grovak, radyolarit, mikaşist, eklojit, spilitik bazalt ve serpantin tektonik dilimleri ile kireçtaşları olistolitlerinden oluşmaktadır. Kazdağ metamorfiteri üzerinde eğim atımlı normal faylı dokanak oluşturmaktadır (Duru vd.2009).

### **3.1.8 Hallaçlar Volkaniti**

Hallaçlar Volkaniti Siyako vd. (1989) tarafından “Doyran Volkanitleri” olarak isimlendirilmiştir. Dönmez ve diğerleri (2005) tarafından altere andezit, bazaltik andezitik lav ve piroklastiklerden oluşan kayaçlar Hallaçlar Volkaniti olarak tanımlanmıştır. Çoğu mostrası aşırı alterasyona uğramış olan Hallaçlar volkaniti Biga Yarımadası’ndaki Oligosen volkanitlerini oluşturmuş ve Erken Miyosen’e kadar etkinliğini sürdürmüştür. İçerisinde plajiyoklas, biyotit, klinopiroksen, alkali feldispat, apatit ve opak mineraller başlıca fenokristalleri oluşturmaktadır (Duru ve diğ., 2009).

### **3.1.9 Alüvyon**

Çalışma alanine Kuvaterner yaşlı tüm birimleri uyumsuzlukla örten alüvyonlar değişik oranlarda çakıl, kum, silt, ve kilde oluşmaktadır.

## **3.2 Edremit İlçesi ve yakın çevresinin Deterministik Deprem Tehlike analizi**

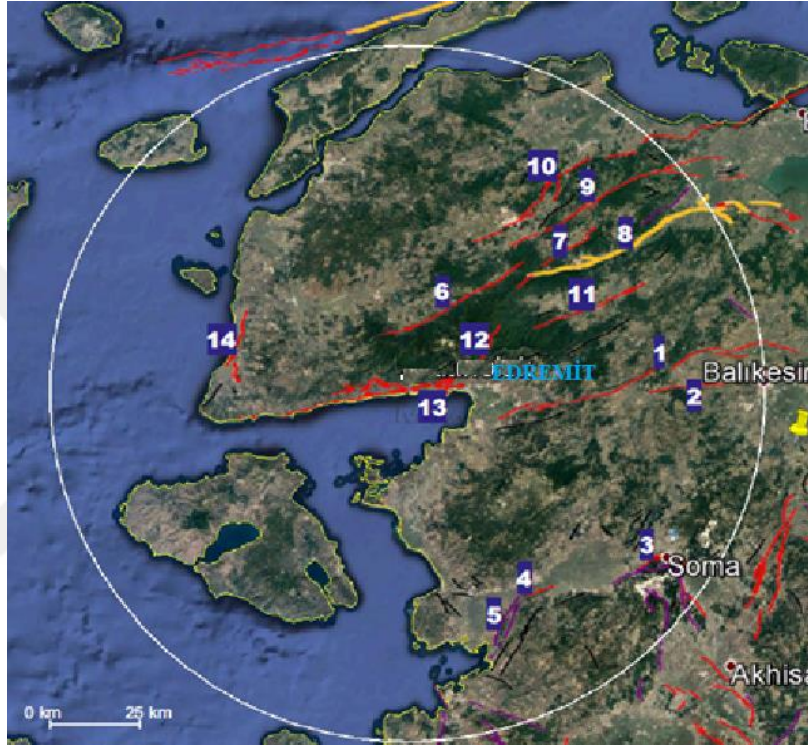
İnceleme alanını etkileyecek fay zonları ve fayları belirlemek için inceleme alanına en fazla 100km uzaklıkta olması esas alınmıştır (Şekil 3.3). Şekil 3.2’de 100 km yarıçaplı daire içinde kalan aktif fayların ve fayzonlarının özellikleri Emre vd (2012), MTA (2013) ve Sözbilir vd. (2015) çalışmalarında ayrıntılı olarak verilmektedir. Bu çalışmada da söz konusu bu üç çalışma esas alınmıştır. İnceleme alanını etkileyecek en büyük yer ivmesini elde edebilmek için olası deprem senaryoları öngörülmüştür. Bu amaç için önce MTA’nın en son 2012’ de güncellediği Türkiye diri fay haritasından yararlanılarak söz konusu alana uzaklığı en fazla 100 km olan faylar seçilmiştir (Şekil 3.2). Sonraki adımda ise Wells ve Coppersmith (1994) tarafından önerilen eşitlik (Eşitlik 1) yardımıyla söz konusu fayların üretebileceği olası depremlerin Moment büyüklüğü (Mw) değerleri hesaplanmıştır.

$$M_w = a + b \log (SRL) \quad (1)$$

Yukarıdaki eşitlikte, SRL beklenen yüzey kırığının (ya da tasarım depremini üretmesi beklenen fay segmentinin) uzunluğu (km) olup, a ve b katsayıları fayın türüne bağlıdır ve Tablo 3.1’den alınmıştır.

**Tablo 3.1:** Fay segmenti yaklaşımı ile senaryo deprem büyüklüğünü veren eşitlikteki a ve b katsayıları (Wells ve Coppersmith, 1994)

Fay Türü	a katsayısı	b katsayısı
Doğrultu atımlı fay	5.16	1.12
Normal fay	4.86	1.32
Ters fay	5.00	1.22
Tüm fay türleri	5.08	1.16



**Şekil 3.2:** İnceleme alanını etkileyen faylar ve fay zonları (1: Havran-Balya Fay Zonu, 2: Balıkesir Fayı Gökçeyazı Segmenti, 3: Soma-Kırkağaç Fay Zonu, 4: Bergama Fayı, 5: Zeytinadağ Fay Zonu, 6:Evciler Fayı, 7:Bekten Fayı, 8: Yenice Gönen Fayı, 9: Sarıköy Fayı, 10: Biga-Çan Fay Zonu, 11: Pazarköy fayı 12: Edremit Fayı Altınoluk Segmenti, 13: Edremit Fayı Zeytinlik Segmenti, 14: Kestanbol Fayı (MTA, 2013)

Senaryo depremlerin oluşturacağı en büyük yatay yer ivmesinin belirlenmesinde Ulusay vd. (2004) tarafından önerilmiş ivme azalım ilişkisi kullanılmıştır (Eşitlik 2).

$$a_{max} = 2.18e^{0.0218(33.3M_w - R_e + 7.8427S_A + 18.9282S_B)} \quad (2)$$

Yukarıdaki eşitlikte  $a_{max}$  en büyük yer ivmesi,  $M_w$  moment büyüklüğü,  $R_e$  depremin merkez üstüne olan uzaklık,  $S_A$  ve  $S_B$  yerle zemin koşullarını tanımlayan sabitlerdir. Kaya olması durumunda  $S_A = S_B = 0$ , zemin koşullarında  $S_A = 1$  ve  $S_B = 0$ , yumuşak zemin koşullarında ise  $S_A = 0$  ve  $S_B = 1$ 'dir (Ulusay vd. 2004).

İnceleme alanını etkileyecek fayların (ve segmentlerinin) iz uzunluğu (SRL), söz konusu yerleşim alanına uzaklıkları ( $R_e$ ) ve oluşturabilecekleri deprem büyüklükleri ( $M_w$ ) ve en büyük yer ivmesi ( $a_{max}$ ) Tablo 3.2’de verilmiştir.

**Tablo 3.2:** İnceleme alanını etkileyecek fayların (ve segmentlerinin) iz uzunluğu (SRL), söz konusu yerleşim alanına uzaklıkları ( $R_e$ ) ve oluşturabilecekleri deprem büyüklükleri ( $M_w$ ) ve en büyük yer ivmesi ( $a_{max}$ )

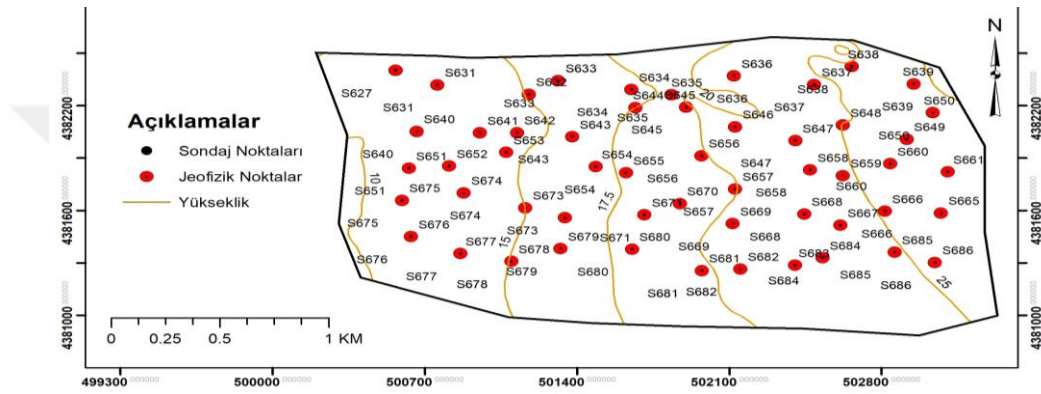
No	FAY	Segment	SRL (km)	$R_e$ (km)	$M_w$	$a_{max}$ (gal)
1	Havran-Balya Fay Zonu		85,3	26,02	7,3	251,1
2	Balıkesir Fayı	Gökçeyazı	39,2	65,79	6,9	79,4
3	Soma-Kırkağaç Fay Zonu		31,7	79,84	6,8	54,1
4	Bergama Fayı		9,3	66,35	6,2	46,3
5	Zeytindağ Fay Zonu		18,24	65,16	6,5	60,8
6	Evciler Fayı	2	46,4	15,73	7,0	251,5
7	Bekten Fayı	2	16,2	49,77	6,5	81,5
8	Yenice Gönen Fayı		88,1	45,9	7,3	164,7
9	Sarıköy Fayı	2	64,44	47,2	7,1	142,8
10	Biga-Çan Fay Zonu		59,7	41,53	7,1	157,1
11	Pazarköy Fayı	2	33,63	38,18	6,8	137,0
12	<b>Edremit Fayı</b>	<b>Altınoluk</b>	<b>62,8</b>	<b>1,1</b>	<b>7,2</b>	<b>386,5</b>
13	Edremit Fayı	Zeytinli	29,1	3,6	6,78	270,3
14	Kestanbol Fayı		22,1	48,62	6,6	93,3

Yapılan deterministik deprem tehlike analizine göre inceleme alanında görülebilecek en büyük yer ivmesi 3,865g düzeyinde olup, bu yer ivmesine inceleme alanından yaklaşık 1 km uzaktaki Edremit Fay Zonu’na bağlı Altınoluk segmentinden kaynaklanacak  $M_w=7.2$  büyüklüğündeki depremin neden olacağı görülmüştür.

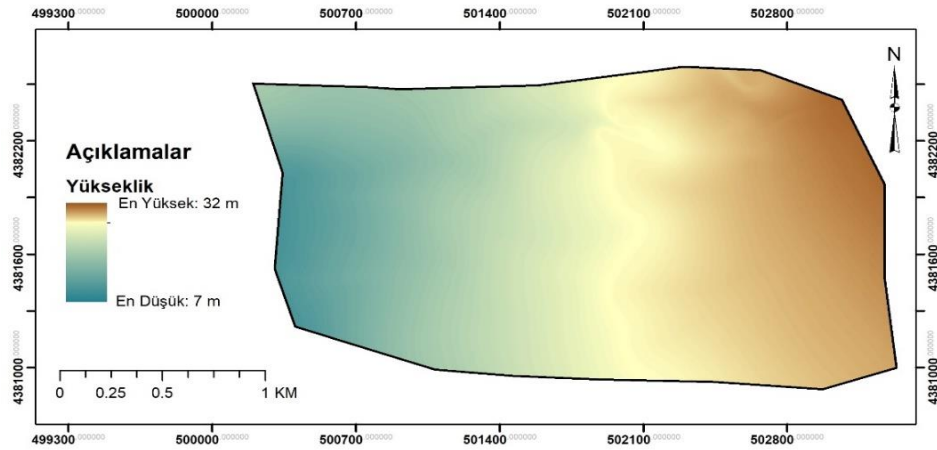
### 3.3 Cennetyatağı Mahallesi ve Zeminlerinin Jeo-Mühendislik Özelliklerinin

#### 3.3.1 Topoğrafya, Sayısal Yükseklik Modeli ve Eğim

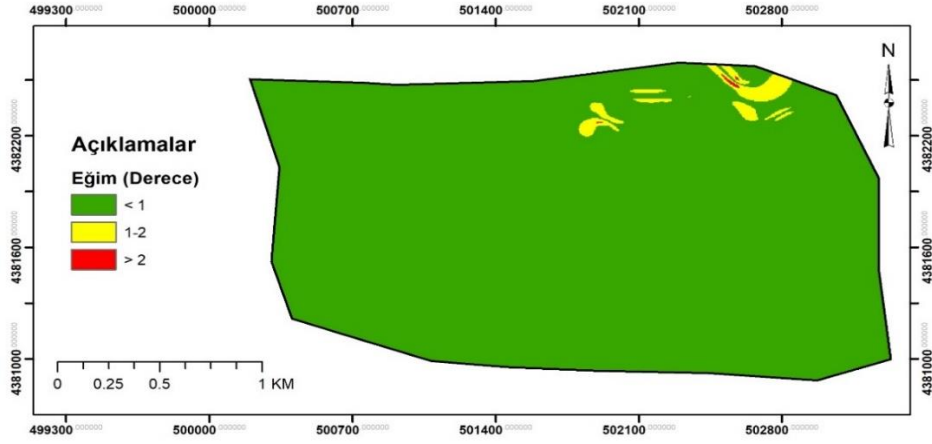
Yerleşim alanlarında yer seçimi ve yerleşim yerlerinin gelişiminde en önemli etkenlerin başında topoğrafik özellikler; topoğrafik yükseklik ve yüksekliklerin dağılımı, eğim ve bakım gelmektedir. Bu nedenle Mühendislik Fakültesi Laboratuvarında kurulu olan ArcGIS (Ver:10.2) kullanılarak inceleme alanının topoğrafik haritası önceki 1/1000 ölçekli haritadan yeniden üretilmiş, nu topoğrafik haritadan da Sayısal Yükseklik Modeli oluşturulmuş olup ayrıca eğim haritası hazırlanmıştır (Şekil 3.4). İnceleme alanının yüksekliği en düşük 7 m iken en fazla 32 m olup, yükseklik inceleme alanının batısından doğusuna doğru düzenli olarak artmaktadır. İnceleme alanının yaklaşık tamamında eğim 2 dereceden düşüktür (Şekil 3.4a,b,c)



(a)



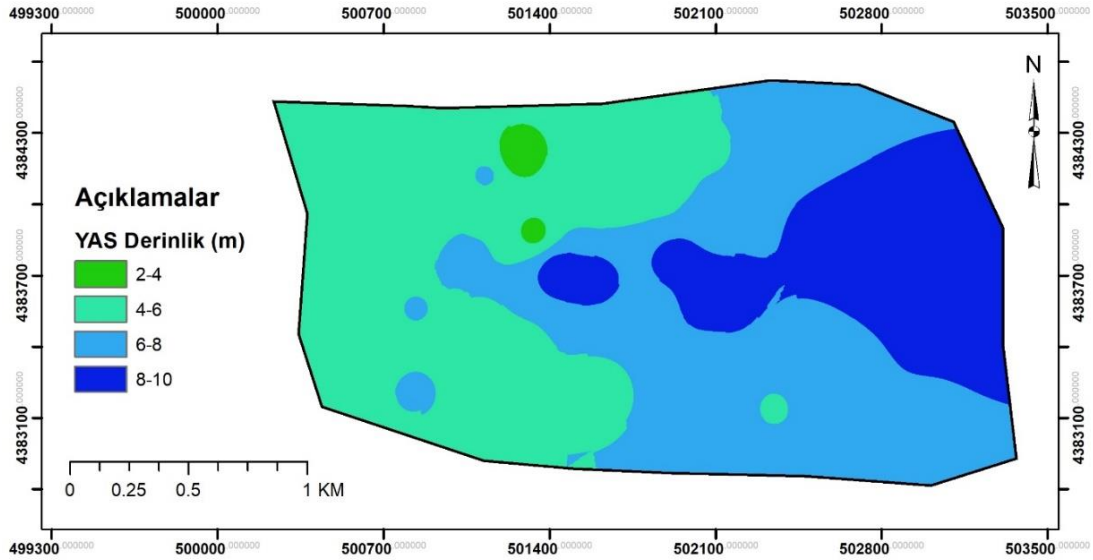
(b)



**Şekil 3.3:** İnceleme alanının topoğrafik haritası (a), Sayısal Yükseklik Modeli (b) ve eğim haritası (c)

### 3.3.2 Yeraltı Su Derinliği

Kentsel yerleşimin yeraltı suyuna etkisi, özellikle kirlenme, su rezervinin azalması, akiferlerde sızma ve depolamanın azalması şeklinde olurken yeraltı suyunun yüksek olduğu kumlu zeminlerde sıvılaşmanın gelişimi, siltli zeminlerde ise toprakta buz mercleklerinin oluşumu gözlenirken, yeraltı suyu aynı zamanda yeraltı suyunun temas ettiği donatılara olumsuz etkisi vardır. İnceleme alanının yeraltı suyu derinliğinin mekânsal dağılımı Şekil 3.4’de verilmiştir.

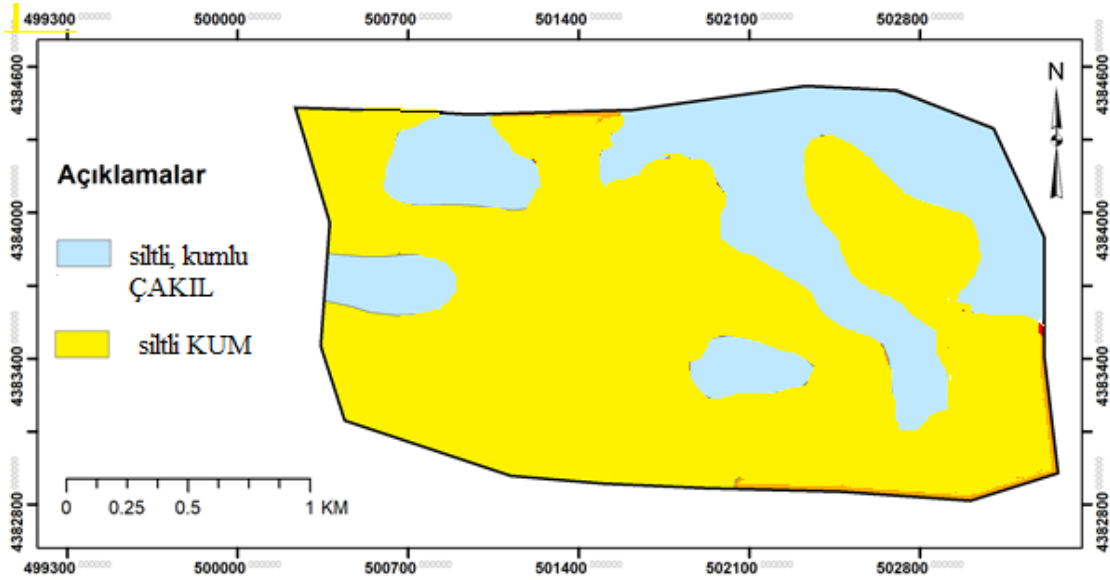


**Şekil 3.4:** Yeraltı su derinliği haritası

Şekil 3.5’de YAS derinliğinin batıdan doğuya doğru arttığı, inceleme alanının %26’sında YAS derinliği 8-10 m arasında, %33’ünde 6-8m arasında, %38’inde 4-6m arasında iken %3’ünde ise 4 m. den düşüktür.

### 3.3.3 Yerel Zemin Cinsi ve Yerel zemin Sınıfı

Balıkesir Büyükşehir Belediyesi tarafından 2017’de tamamlanan, inceleme alanını da kapsayan Edremit ve yakın çevresinin mikrobölgelendirme raporundan (Analiz LTD 2017) alınan laboratuvar sonuçlarına göre inceleme alanında başlıca 2 tür zemin ayırtlanmıştır. Bunlar siltli, kumlu çakıl ve esas olarak siltli kumdur (Şekil 3.5).

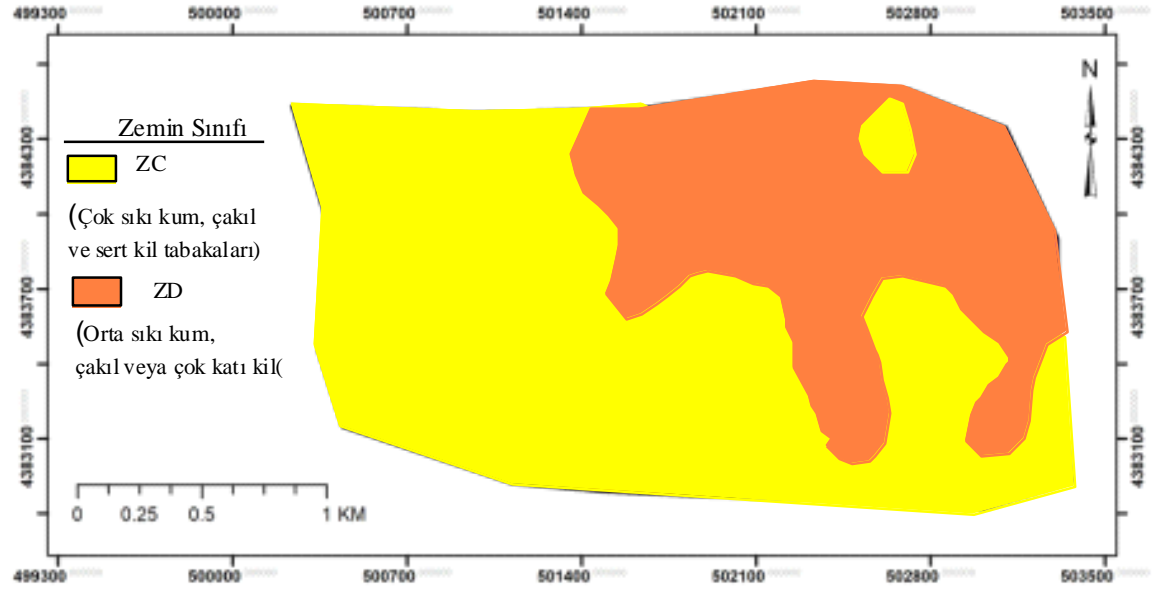


**Şekil 3.5:** İnceleme alanındaki zemin türünün mekansal dağılımı

01.03.2018 tarihinde yayımlanan ve 01.01.2019 tarihinde yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (TBDY) zemin sınıflandırma kriterleri ve yerel zemin sınıfları verilmektedir (Tablo 3.3)

**Tablo 3.3:** Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)'n göre zemin sınıflandırma tablosu

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Ust 30 m. ortalama		
		(Vs) <sub>30</sub>	(N <sub>60</sub> ) <sub>30</sub>	(C <sub>u</sub> ) <sub>30</sub>
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 (cu < 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 (sıvılaştırılabilir 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 3.6:** Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (TBDY).

### 3.3.4 SPT-N değerinin değişimi

Mühendislikte temel tasarım ölçütlerinin yerinde belirlenmesi amacıyla sıklıkla kullanılan Standart Proktor Deneyi ekonomik ve hızlı şekilde zemin parametrelerinin

doğrudan arazide belirlenmesi avantajlarına sahiptir. Bu deneyde son 30 cm için bulunan N değeri ile kumların ve kumlu siltlerin sıklığı, içsel sürtünme açısı, birim hacim ağırlığı tahmininde kullanılmaktadır (Tablo 3.4). SPT-N değerinin zeminin söz konusu özelliklerini tahmin etmedeki başarısı nedeniyle taşıma gücü ve sıvılaşma hesabında kullanılmaktadır.

**Tablo 3.4:** SPT-N değeri ile kumlarda göreceli sıklık arasındaki ilişki (Sivrikaya ve Toğrol 2009).

Sınıflama	(Terzaghi ve Peck 1967)	Göreceli Sıklık $D_{r}$ (%)			
	(1: $N_{60}$ , 2: $N_{160}$ )	Meyerhof (1956) <sup>1</sup>	Bowles (1968) <sup>1</sup>	Duncan ve Buchinani(1976) <sup>2</sup>	Mitchell ve Katti(1981) <sup>2</sup>
Çok gevşek	<4	<20	<15	<15	<15
Gevşek	4-10	20-40	15-30	13-35	15-35
Orta sıkı	10-30	40-60	35-65	35-65	35-65
Sıkı	30-50	60-80	65-85	65-85	65-85
Çok sıkı	>50	>80	85-100	85-100	85-100

İnceleme alanındaki zeminlerde arazide son 30 cm için elde edilen SPT-N değerleri Youd vd. (2001)'de verilen bağıntı ile (Eşitlikler 4 ve 5) düzeltilerek ( $N$ )<sub>60</sub> değeri ve bu değerde üst tabaka yükü düzeltme katsayısı ile düzeltilerek ( $N$ )<sub>160</sub> değerleri hesaplanmıştır. ( $N$ )<sub>60</sub>'ın belirlenmesi için kullanılan düzeltme katsayılarının seçimi Tablo 3.5'de verilmiştir.

$$(N)_{60} = SPT - N(C_E C_B C_R C_S) \quad (4)$$

$(N_1)_{60} = (N)_{60}(C_N)$	(5)
------------------------------	-----

Yukarıdaki eşitliklerde, SPT-N : Son 30 cm için ölçülen SPT darbe sayısı,  $C_N$  : Üst tabaka yükü düzeltme katsayısı,  $C_E$  : Enerji oranı düzeltme katsayısı,  $C_B$  : Kuyu çapı düzeltme katsayısı,  $C_R$  : Tij boy düzeltme katsayısı ve  $C_S$  : Numune alma metodu düzeltme katsayısıdır

Örtü yükü düzeltme katsayısı,  $C_N$  Idriss ve Boulanger (2003, 2008) tarafından verilen eşitlikle tanımlanmıştır (Eşitlik 6). Eşitlikte verilen ( $N$ )<sub>60,CS</sub> değeri ince tane oranına göre düzeltilmiş ( $N$ )<sub>60</sub> değeridir

$$C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma'_v}\right)^m \leq 1.7, \quad m = 0.784 - 0.0768\sqrt{(N_1)_{60CS}} \quad (6)$$

$P_a=100\text{Kpa}$  veya  $1\text{atm}$

**Tablo 3.5:**  $(N_1)_{60}$ 'ın belirlenmesi için kullanılan düzeltme katsayılarının seçimi (Youd vd., 2001).

<b>Faktör</b>	<b>Ekipman Değişkeni</b>	<b>Sembol</b>	<b>Düzeltilme</b>
Enerji Oranı	1-Donut Türü Çekiç	$C_E$	0.5 - 1.0
	2-Safety Türü Çekiç		0.7 - 1.2
	3-Automatic-Trip Donut-Türü Çekiç		0.8 - 1.3
Kuyu Çapı	1-65 mm ile 115 mm	$C_B$	1.00
	2-150 mm		1.05
	3-200 mm		1.15
Tij Uzunluğu	1-3m ile 4m	$C_R$	0.75
	2-4m ile 6m		0.85
	3-6m ile 10m		0.95
	4-10m ile 30m		1.00
	5- >30m		>1.00

<b>Faktör</b>	<b>Ekipman Değişkeni</b>	<b>Sembol</b>	<b>Düzeltilme</b>
Enerji Oranı	1-Donut Türü Çekiç	$C_E$	0.5 - 1.0
	2-Safety Türü Çekiç		0.7 - 1.2
	3-Automatic-Trip Donut-Türü Çekiç		0.8 - 1.3
Kuyu Çapı	1-65 mm ile 115 mm	$C_B$	1.00
	2-150 mm		1.05
	3-200 mm		1.15
Tij Uzunluğu	1-3m ile 4m	$C_R$	0.75
	2-4m ile 6m		0.85
	3-6m ile 10m		0.95
	4-10m ile 30m		1.00
	5- >30m		>1.00

İnceleme alanındaki zeminlerin 3, 6, 9, 12, 15, ve 18 m. derinlik için  $(N)_{60}$  değerlerinin mekânsal dağılımı Şekil 3.7'de verilmiştir. SPT-N değeri ile kumlarda göreceli sıklık arasındaki ilişki Tablo 3.4'de verilmiş olup inceleme alanındaki zeminin göreceli sıklığa göre sınıflandırılmasında

Terzaghi ve Peck (1967) sınıflaması esas alındığında, çalışma alanında 3 m derinlikte zeminlerin %97'si "Sıkı", yaklaşık %2'si "Orta sıkı" durumdadır. 6 m. derinlikte zeminlerin %1,9'u "Çok Gevşek", %49.4'ü "Gevşek", %25.4'ü "Orta sıkı", % 23.3'ü "Sıkı", %0.1'i "Çok sıkı" durumda, 9m derinlikteki zeminlerin %4.6'sı "Çok Gevşek", %23.6'sı "Gevşek", %36.6 'sı "Orta sıkı", % 35'i "Sıkı", %0.1'i "Çok sıkı" durumda, 12 m derinlikteki

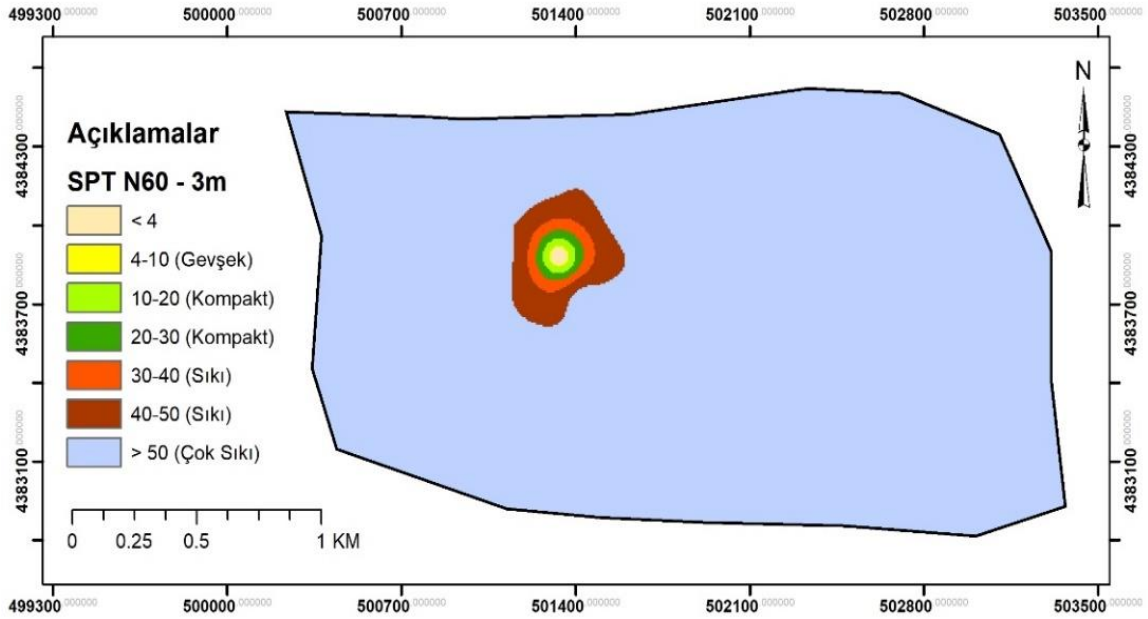
zeminlerin %0.9'u "Çok Gevşek", %27.7'si "Gevşek", %35.9 'u "Orta sıkı", % 35.6'sı "Sıkı" durumda, 15 m derinlikteki zeminlerin %0.5'si "Çok Gevşek", %24.5'i "Gevşek", %35.7 'si "Orta sıkı", % 39.2'i "Sıkı" durumda ve 18 m derinlikteki zeminlerin %16.9'u "Gevşek", %41.2'si "Orta sıkı", % 41.9'u "Sıkı" durumda oldukları görülmüştür.

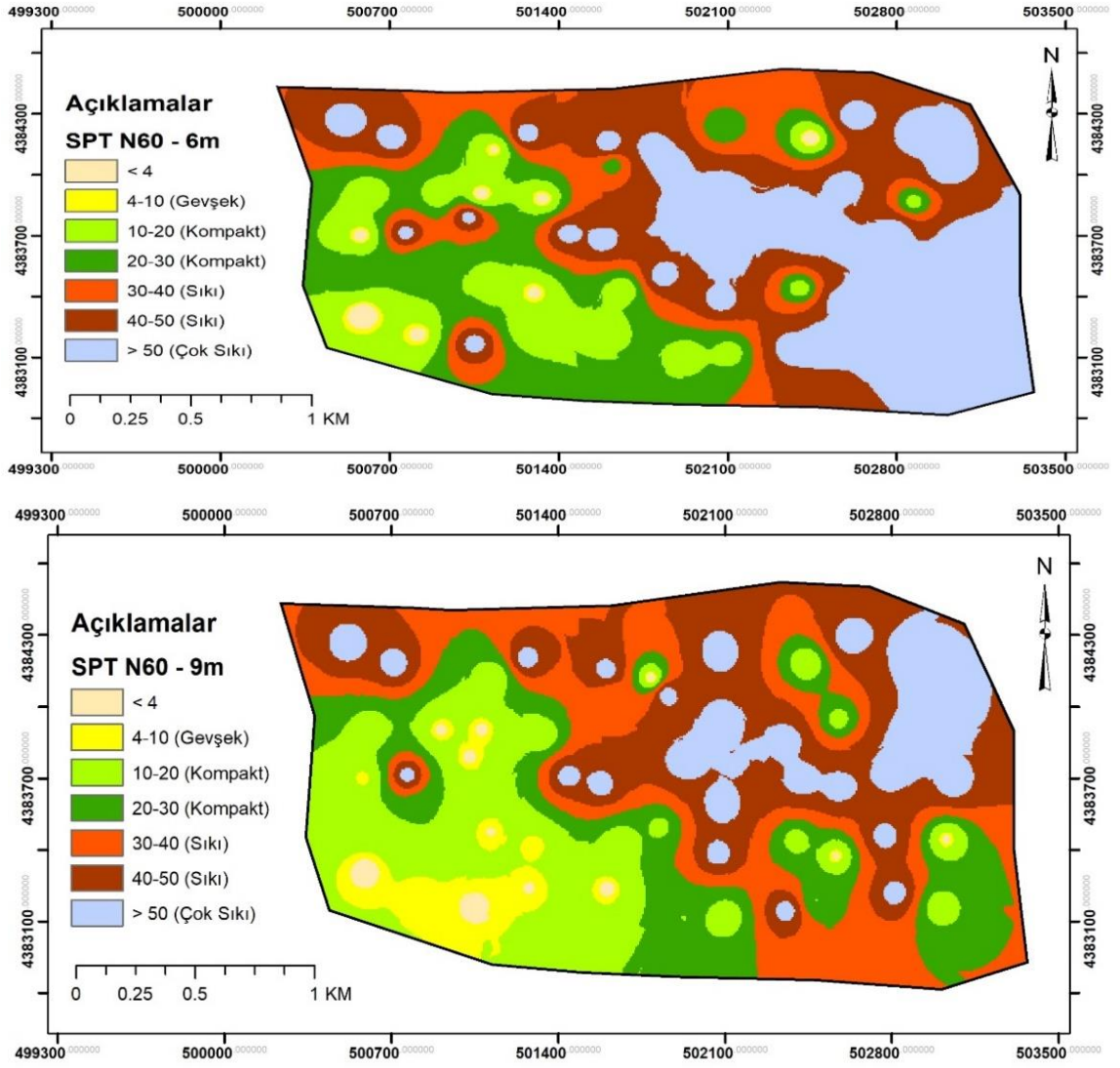
Düzeltilmiş SPT-N değerinin  $(N_1)_{60}$  zeminin ince tane oranı (FC) dikkate alınarak yeniden hesaplanması; ince tane oranına göre  $(N_1)_{60,CS}$  değerinin bulunması için Idriss ve Boulanger (2004, 2008) tarafından verilmiş aşağıdaki eşitlik uygulanmıştır (Eşitlik 7).

$$(N_1)_{60cs} = (N_1)_{60} + \Delta(N_1)_{60} \quad (7a)$$

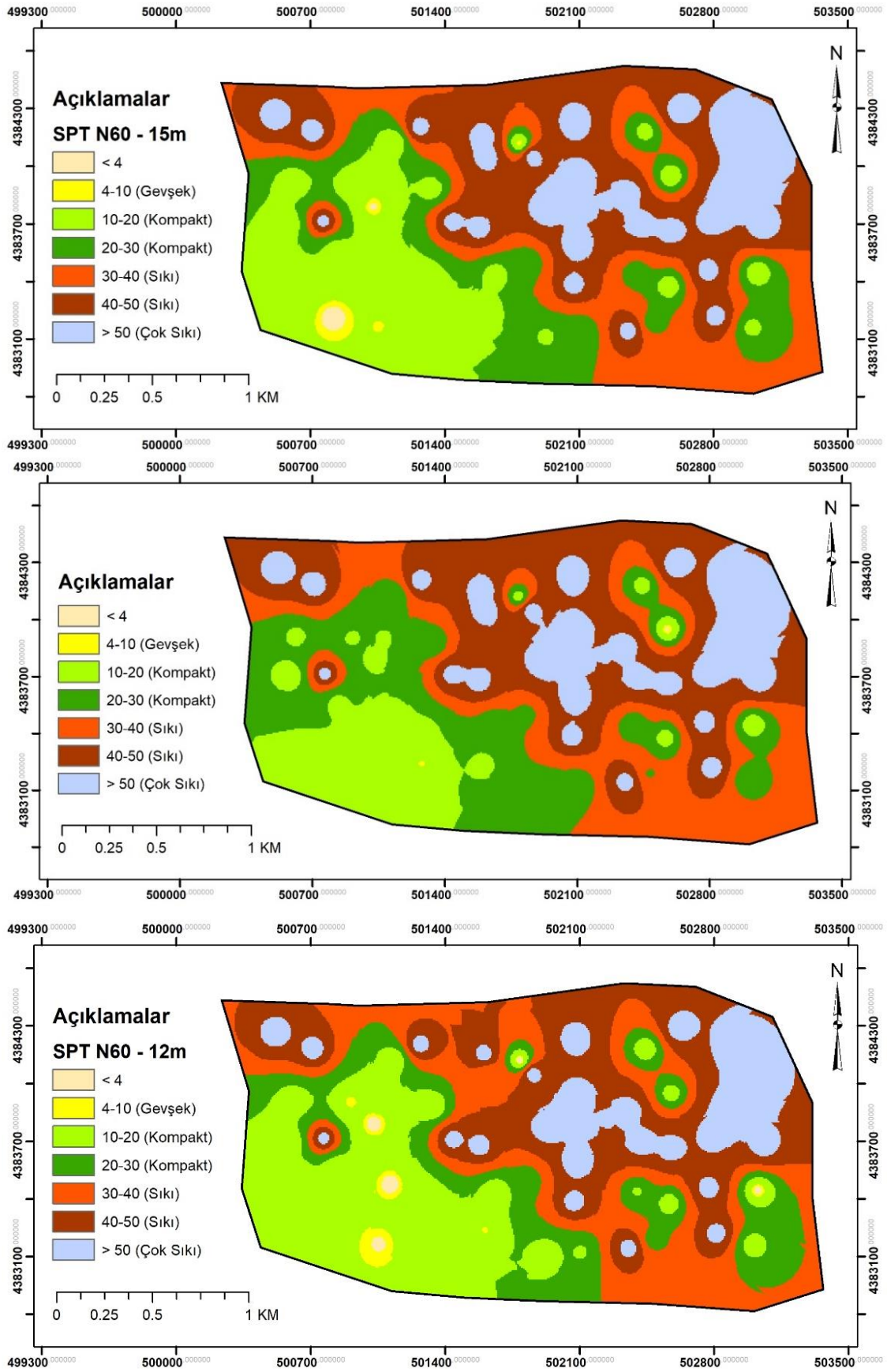
$$\Delta(N_1)_{60} = \exp \left[ 1.63 + \frac{9.7}{FC+0.01} - \left( \frac{15.7}{FC+0.01} \right)^2 \right] \quad (7b)$$

İnceleme alanındaki zeminlerin 3, 6, 9, 12, 15, ve 18 m. derinlik için  $(N_1)_{60,CS}$  değerlerinin mekânsal dağılımı Şekil 3.9'de verilmiştir. Farklı derinliklerde,  $(N_1)_{60,CS}$  değerlerinin mekânsal dağılımı  $(N_1)_{60}$  değerlerinin mekansal dağılımına oldukça çok benzemektedir.

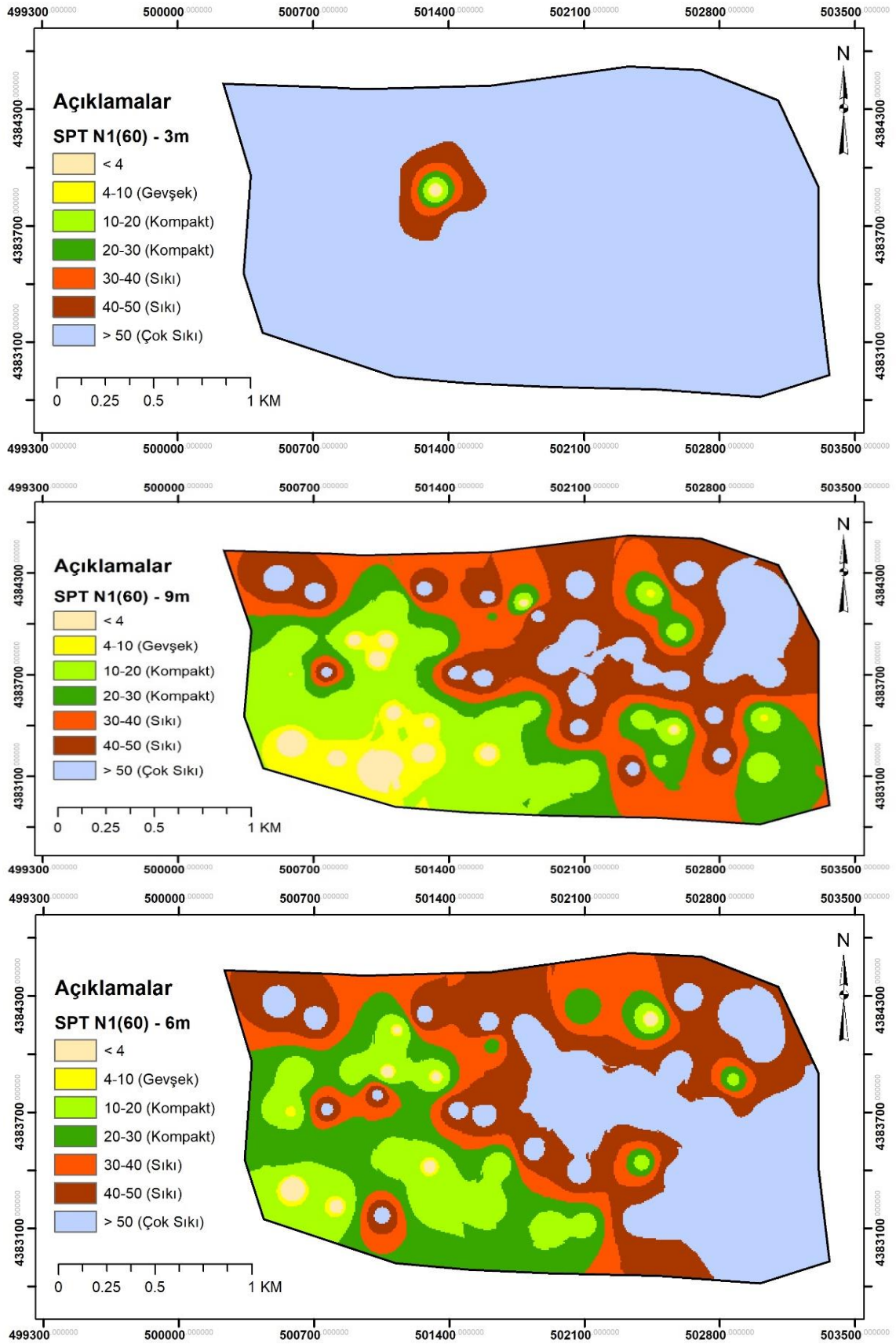




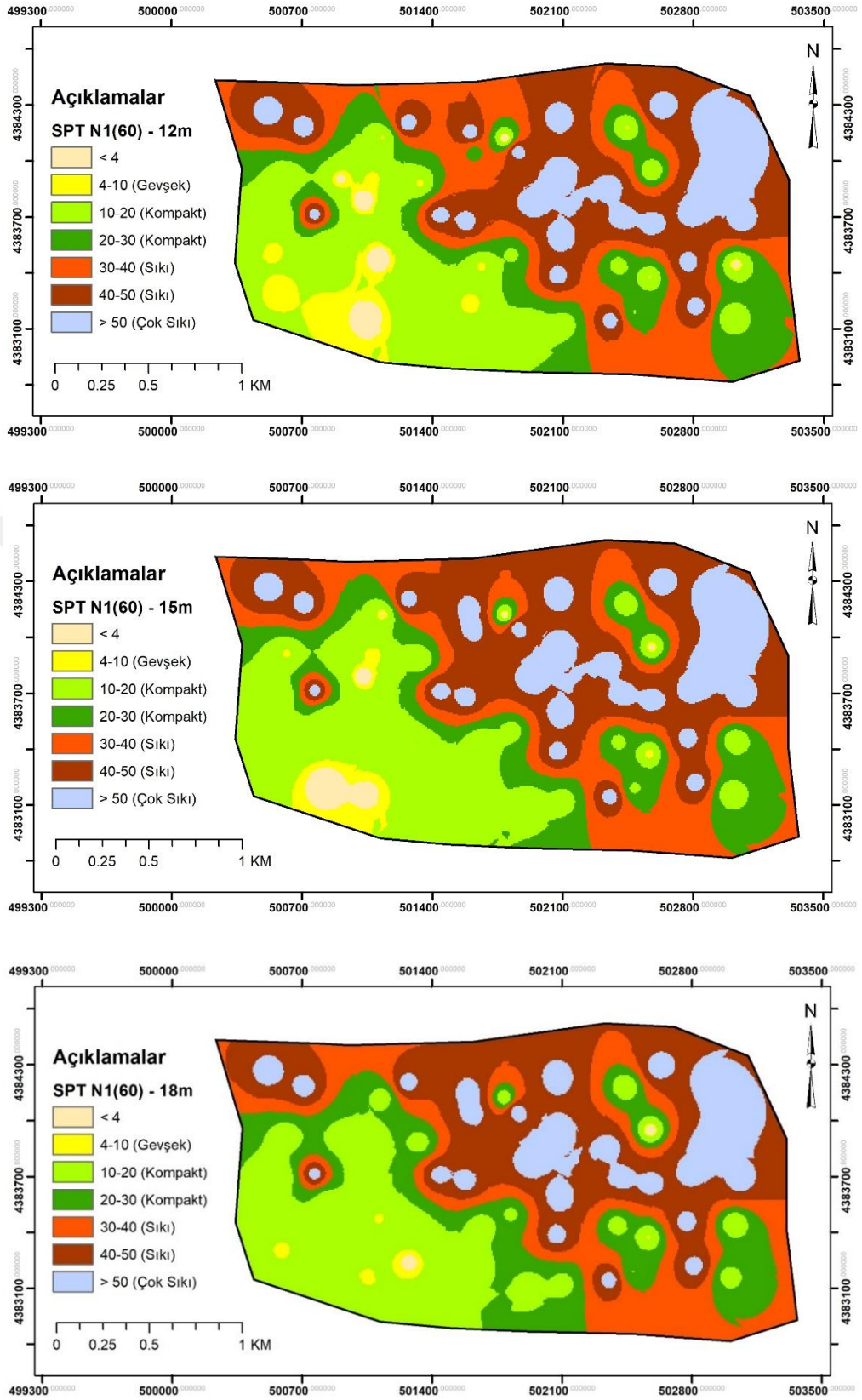
Şekil 3.7: İnce tane oranına göre düzeltilmiş SPT-N değerlerinin farklı derinlikte mekansal Değişimi



Şekil 3.8: İnce tane oranına göre düzeltilmiş SPT-N değerlerinin farklı derinlikte mekansal Değişimi



**Şekil 3.9:** İnce tane oranına göre düzeltilmiş  $(N_1)_{60}$  değerlerinin farklı derinliklerde mekansal dağılımı



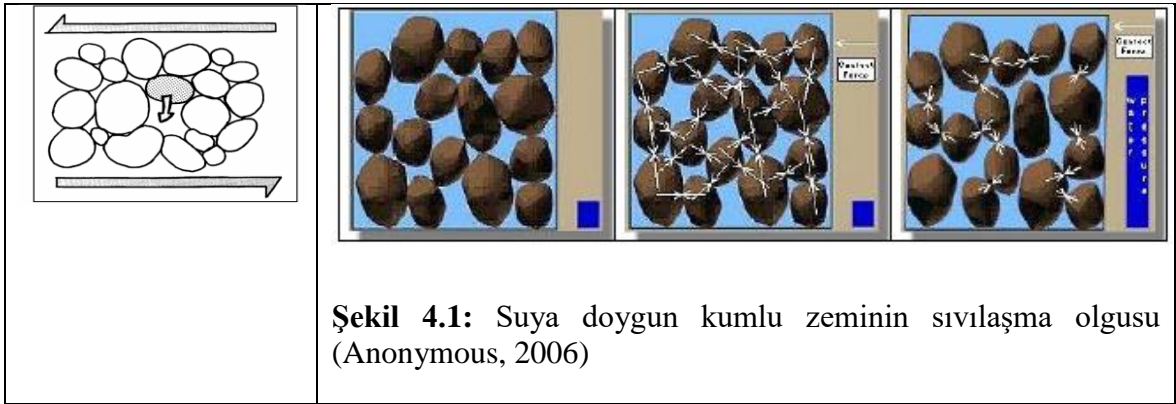
**Şekil 3.10:** İnce tane oranına göre düzeltilmiş  $(N_1)_{60}$  değerlerinin farklı derinliklerde mekansal dağılımı

## 4 .CENNETAYAĞI MAHALLESİNİN SIVILAŞMA POTANSİYELİ VE HARİTALARI

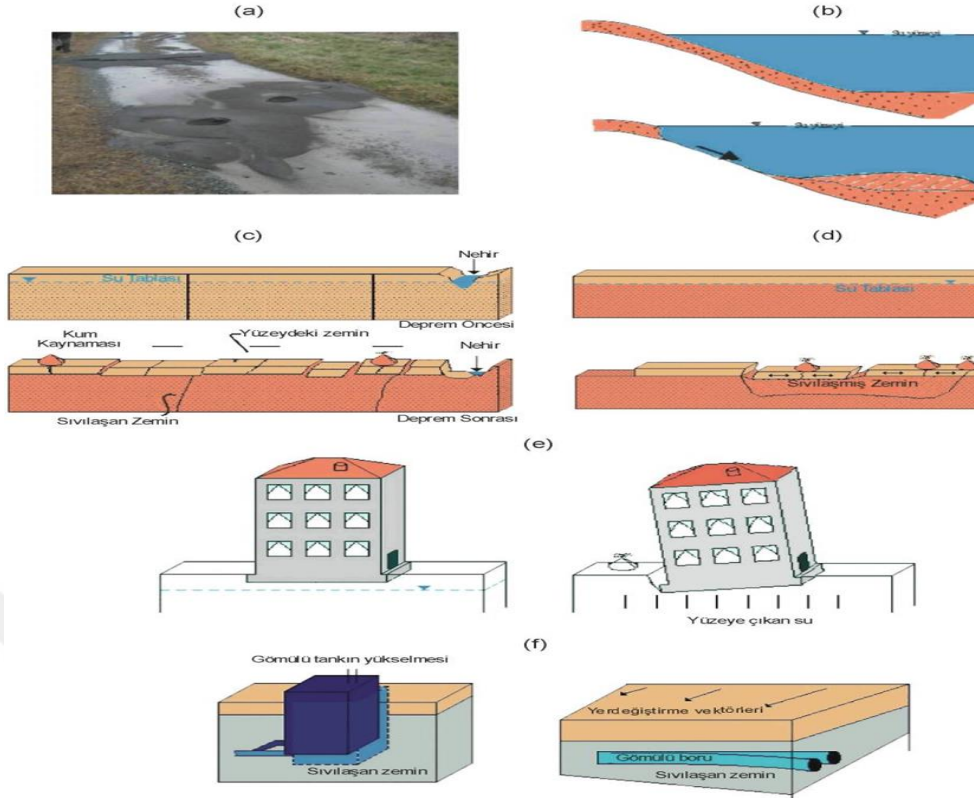
### 4.1 Sıvılaşma Mekanizması ve Sıvılaşma Tahmin Ölçütleri

Depremler sırasında hasara neden olan en önemli faktörlerden biri suya doymun gevsek ve orta sıkılıktaki ince taneli kumlu ve siltli zeminlerin sıvılaşması olayıdır. Youd ( 1984) sıvılaşmayı, “suya doymun kohezyonsuz kum ve kumlu siltlerin tekrarlı gerilmeler altında gözenek suyu basıncının artmasıyla etkin gerilmenin azalması, hatta yitilmesi sonucu makaslama dayanımının kaybedilerek zeminin bir sıvı gibi davranması” şeklinde tanımlamıştır.

Zeminin yapısını oluşturan bütün taneler birbiri ile temas halindedir (Sekil 3.3-3.4). Taneler arasındaki bu temas yüzeylerinde temas kuvvetleri mevcuttur. Taneler arasındaki boşluklarda ise hava ve su bulunmaktadır. Bu boşluklar suya doymun zeminlerde tamamen su ile dolu olmaktadır. Deprem sırasında sismik dalgalar zemin içinde yayılırken birbirine göre ters yönde etkiyen kuvvet çiftleri yaratırlar (Sekil 4.1). Deprem sırasında taneler arasında yer alan bu suyun drene olması için yeterli süre olmadığından, boşluk suyu basıncında ani bir artış meydana gelir (Şekil 4.1). Boşluk suyu basıncındaki bu ani artış zemin tanelerini bir arada tutan temas kuvvetlerini yok ederek taneleri birbirinden uzaklaştırır ve böylelikle zemin dayanımını yitirir. Bu koşullar altında gözenekli zemin, deprem öncesinde gösterdiği katı malzeme davranışı yerine, geçici olarak bir sıvı gibi davranarak yüzeye doğru hareket eder (Sekil 4.1). İşte bu durum sıvılaşma olgusu olarak tanımlanmaktadır. Sıvılaşma olayı neden oldukları zemin deformasyonları ile yapısal hasarların gelişmesine yol açarlar (Şekil 4.2).



Bir zeminde sıvılaşmanın gelişmesi ile meydana gelen zemin deformasyonları ve bunların mühendislik yapılarına etkisi Şekil 4.2 de verilmiştir.



**Şekil 4.2:** Sıvılaşmaya bağlı olarak gelişen zemin deformasyonları: (a) kum kaynaması n), (b) akma yenilmesi, (c) yanal yayılma, (d) zemin salınımı gelişimi, (e) zeminin taşıma gücünü yitirmesi, (f) gömülü yapılarda sıvılaşma sonucu gelişen yükselmeye bağlı hasarlar (Ulusay, 2010; Sönmez, 2011' den değiştirilmeden)

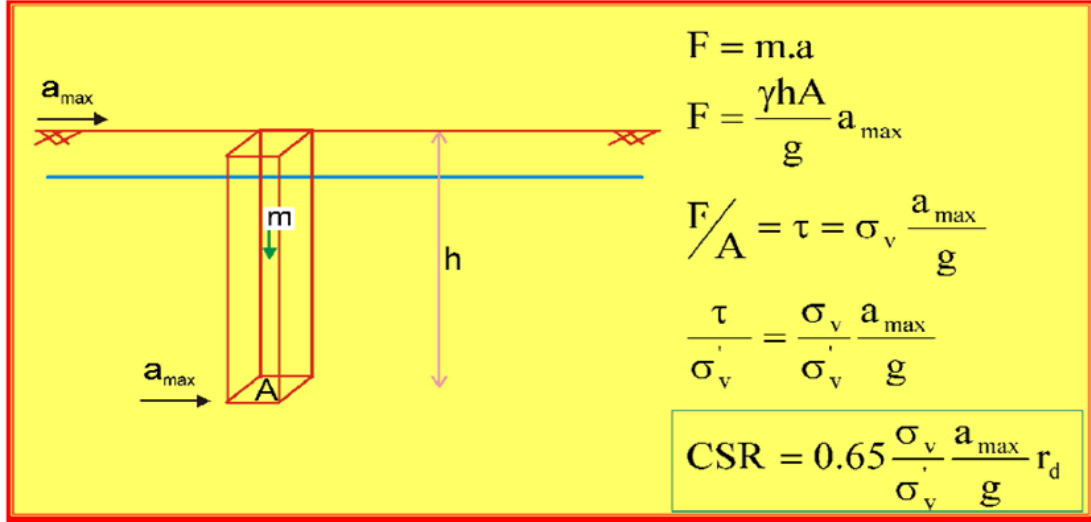
#### 4.2 Zemin Tabakalarının Sıvılaşmaya Karşı Güvenlik Sayısı ve Sıvılaşabilirlik Olasılığı

Cennetayağı Mahallesi'nde (Edremit ilçesi-Balıkesir) yayılım gösteren zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin mekânsal dağılımını belirlemek; sıvılaşma potansiyelini haritalarının üretmek için ilk önce sondajların yapıldığı zemin profilindeki her bir sıvılaşabilir katmanın sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısı (FL) ve sıvılaşma olasılığı (PL) Boulanger ve Idriss (2012)'in önerdiği yöntemle bulunmuştur. Zemin tabakalarının sıvılaşmaya karşı sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısı (FL); aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmaktadır (Eşitlik 8) (Seed and Idriss, 1971).  $F_L > 1$  ise zemin sıvılaşmazken  $F_L < 1$  ise sıvılaşma meydana gelir.

$$F_S = \left( \frac{CRR}{CSR} \right) \quad (8)$$

Burada CRR tekrarlı gerilmeye karşı dayanım oranı, CSR ise tekrarlı gerilme oranı olup Seed ve Idriss (1971) tarafından aşağıdaki eşitlikle verilmektedir (Şekil 4.4). Şekil

4.4’de  $a_{max}$  en büyük yatay yer ivmesid (gal),  $g$  cinsinden yer çekimi ivmes (gal),  $r_d$  zemin kolonunun rijitliği için düzeltme,  $m$  zemin kolonunun kütlesi,  $\gamma$  zeminin birim hacim ağırlığı  $\sigma_v$  ve  $\sigma'_v$  düşey gerilme ile efektif düşey gerilmedir.



**Şekil 4.3:** Seed ve Idriss (1971) tarafından verilen zemin prizmasının tabanında tekrarlı gerilme oranının (CSR) hesaplanması (Sönmez, 2011’den alınmıştır).

Seedve Idriss (1971’in basitleştirilmiş yöntemde verilen ilişki Idriss ve Boulanger (2004, 2008) tarafından 7.5 büyüklüğündeki deprem ve 1 atm basıncındaki efektif gerilme için ((CRR7.5, $\sigma'_v=1atm$ ) güncellenmiştir.(Eşitlik 9)

$$CSR_{7.5, \sigma'_v=1atm} = 0.65 \left( \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \right) \left( \frac{a_{max}}{g} \right) (r_d) \left( \frac{1}{MSF} \right) \left( \frac{1}{K_\sigma} \right) \quad (9)$$

Zemin rijitliği için düzeltme katsayısı ( $r_d$ ) Youd vd. (2001) tarafından verilen bağıntıyla derinliğe ( $z$ , metre) bağlı olarak aşağıdaki eşitlikle bulunmuştur (Eşitlik 10).

$$r_d = \frac{(1.00 - 0.4113z^{0.5} + 0.0452z + 0.001753z^{1.5})}{(1.000 + 0.4177z^{0.5} + 0.05729z - 0.006205z^{1.5} + 0.001210z^2)} \quad (10)$$

Eşitlik( 9)’da MSF beklenen deprem büyüklüğüne ( $M$ ) göre hesaplanan deprem büyüklüğü düzeltme faktörü olup aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Seed ve Idriss, 1971)

$$MSF = \left( \frac{10^{2.24}}{M^{2.56}} \right) \quad (11)$$

$K_\sigma$  ise örtü yükü düzeltmesidir ve aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır (Eşitlik 12) (- (Boulanger ve Idriss 2012). Eşitlik 12' de te Pa 1 atm basıncı,  $\sigma'_v$  efektif gerilme,  $(N_1)_{60cs}$  ise ince tane oranına göre yeniden hesaplanmış düzeltilmiş SPT-N değeridir.

$$K_\sigma = 1 - C_\sigma \ln \left( \frac{\sigma'_v}{P_a} \right) \leq 1.0 \quad (12a)$$

$$C_\sigma = \frac{1}{18.9 - 2.55\sqrt{(N_1)_{60cs}}} \leq 0.3 \quad (12b)$$

Mw=7.5 büyüklüğündeki deprem ve 1 atm düşey efektif gerilme için tekrarlı gerilmeye karşı dayanım oranı ( $CRR_{Mw=7.5, \sigma'_v=1 \text{ atm}}$ ) Boulanger ve Idriss (2012) tarafından verilen eşitlikle bulunmuştur (Eşitlik 13)

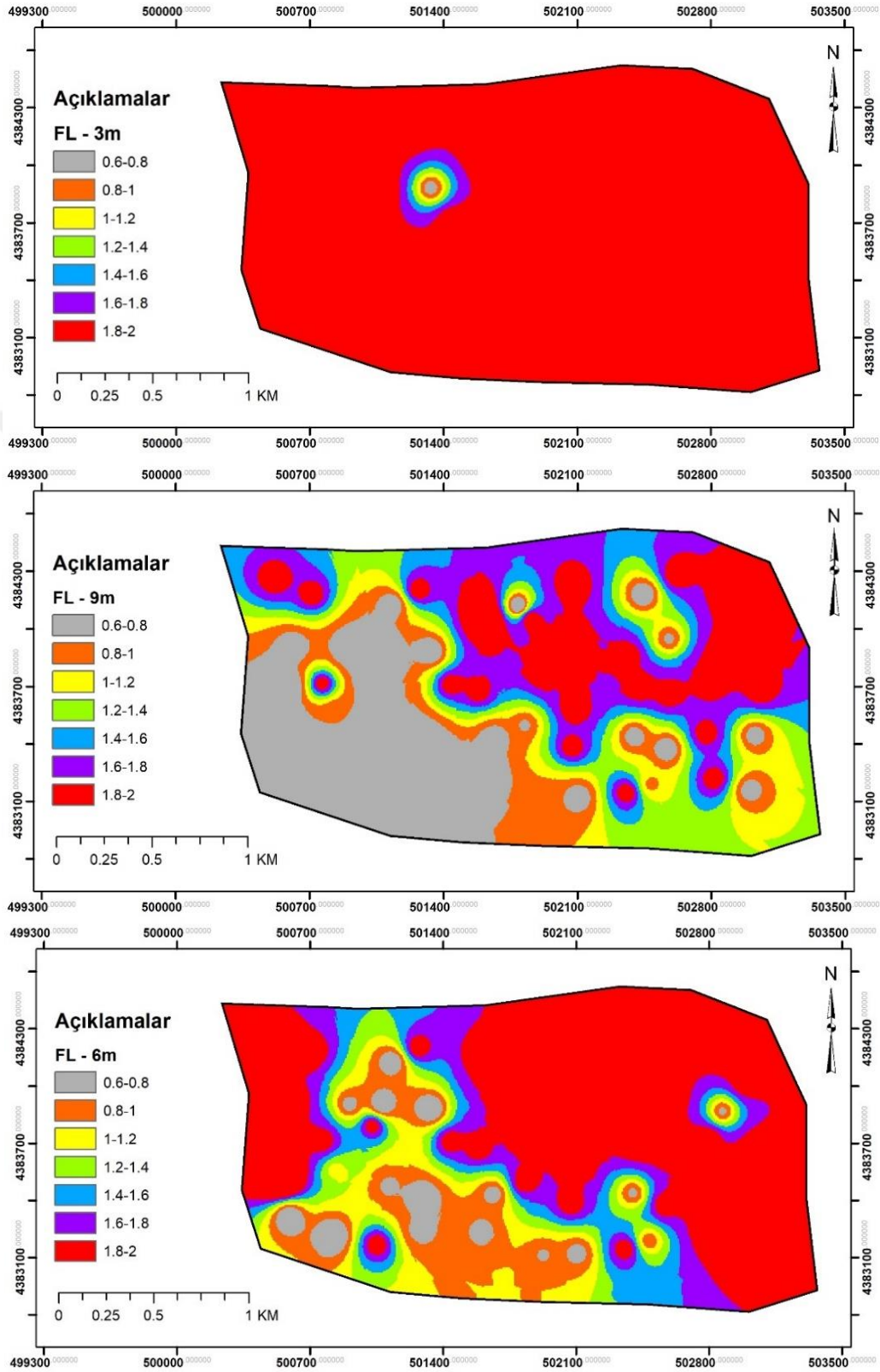
$$CRR_{Mw=7.5, \sigma'_v=1 \text{ atm}} = \exp \left[ \frac{(N_1)_{60cs}}{14.1} + \left( \frac{(N_1)_{60cs}}{126} \right)^2 - \left( \frac{(N_1)_{60cs}}{23.6} \right)^3 + \left( \frac{(N_1)_{60cs}}{25.4} \right)^4 - 2.8 \right] \quad (13)$$

İncelenen zemin tanelerinin sınıvlaşma olasılığını bulmak için de Boulanger ve Idriss (2012) tarafından verilen yöntem (Eşitlik 14) uygulanmıştır. Burada,  $\Phi$  standart kümülatif normal olasılık dağılımı göstermektedir.

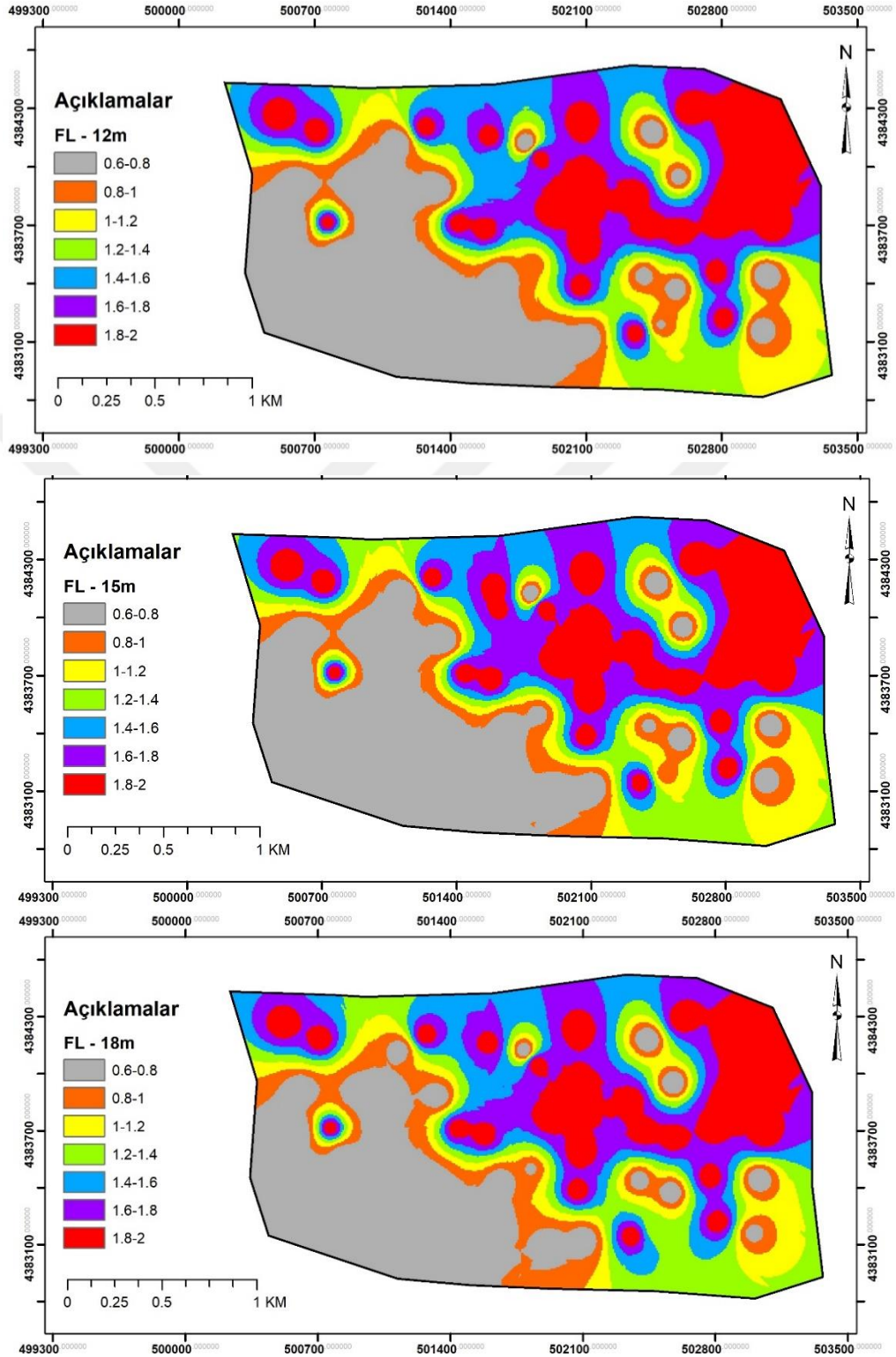
$$P_L = \Phi \left\{ - \left[ \frac{(N_1)_{60cs}}{14.1} + \left( \frac{(N_1)_{60cs}}{126} \right)^2 - \left( \frac{(N_1)_{60cs}}{23.6} \right)^3 + \left( \frac{(N_1)_{60cs}}{25.4} \right)^4 - 2.67 - \ln(CSR_{7.5, \sigma'_v=1 \text{ atm}}) \right] \right\} / 0.13 \quad (14)$$

Şekil 4.5'de sınıvlaşmaya karşı güvenlik sayısının ( $F_L$ ) farklı derinliklerdeki mekânsal dağılımı verilmiştir. 3 m derinlikte tüm alanın %98'inde  $F_L$  değeri '2 den büyük (Şekil 13), 6 m derinlikte  $F_L$  değeri tüm alanın %3.7'sinde 0.6-0.8 arasında, %11.2'sinde 0.8-1.0, %10.8'inde 1.0-1.2, %8.1'inde 1.2-1.4, %8.9'unda 1.4-1.6 arasında ve %61'inde >1.6'dır. 9 m derinlikte  $F_L$  değeri tüm alanın %38.3'ünde 0.6-0.8 arasında, %13.6'sında 0.8-1.0, %11.2'sinde 1.0-1.2, %16.5'inde 1.2-1.4, %13.3'ünde 1.4-1.6 arasında ve %45.3'ünde >1.6'dır. 12 m derinlikte  $F_L$  değeri tüm alanın %46'sında 0.6-0.8 arasında, %10.6'sında 0.8-1.0, %13'ünde 1.0-1.2, %16.5'inde 1.2-1.4, %18'inde 1.4-1.6 arasında ve %41.9'ünde >1.6'dır. 15 m derinlikte  $F_L$  değeri tüm alanın %45.9'unda 0.6-0.8 arasında, %10.5'inde 0.8-1.0, %12.4'ünde 1.0-1.2, %16.8'inde 1.2-1.4, %16.2'inde 1.4-1.6 arasında ve %41.7'sinde >1.6'dır. 18 m derinlikte ise  $F_L$  değeri tüm alanın %39.9'unda 0.6-0.8

arasında, %12'sinde 0.8-1.0, %10.4'ünde 1.0-1.2, %17.8'inde 1.2-1.4, %18.1'inde 1.4-1.6 arasında ve %41.7'sinde  $>1.6$ 'dır (Şekil 4.5).



Şekil 4.4: Sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısının ( $F_L$ ) farklı derinliklerdeki mekânsal dağılımı



Şekil 4.5: Sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısının ( $F_L$ ) farklı derinliklerdeki mekânsal dağılımı

### 4.3 Zemin Profilinin Sıvılaşma Potansiyeli ve Sıvılaşma Şiddeti

Sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısı ( $F_L$ ), bir zemin katmanının sıvılaşabileceğini veya sıvılaşmayacağını, ancak şiddet derecelerini hesaba katmadan kestirmek kullanılmaktadır. Bir zemin tabakasının sıvılaşmasının mühendislik yapılarına olası hasar üzerindeki etkisi, sıvılaştırılabilir zemin tabakasının kalınlığına, derinliğine ve sıvılaşma şiddetine bağlıdır (Iwasaki vd. 1982, Sonmez 2003).  $F_L$ 'nin bazı sınırlamalarının üstesinden gelmek için Iwasaki ve ark. (1982) sıvılaşma hasar riskini tahmin etmek için kullanılan Sıvılaşma Potansiyeli İndeksini (LI) tanımlamıştır (Eşitlikler 15).

$$\int_{z=0}^{z=20} W(z) F(z) dz \quad (15a)$$

$$z < 20 \text{ m} \quad W(z) = 10 - 0.5z \quad (15b)$$

$$z \geq 20 \text{ m} \quad W(z) = 0 \quad (15c)$$

$$FS < 1 \quad F(z) = 1 \quad (15d)$$

$$FS \geq 1 \quad F(z) = 0 \quad (15e)$$

Iwasaki vd. (1982) tarafından önerilen Sıvılaşma İndeksi ile Sıvılaşma potansiyeli olmayan ( $FL \gg 1$ ) alanlar tanımlanamamakta ve “Orta sıvılaşma potansiyeli” sınıfını içermemektedir. Bu nedenle Sönmez (2003), Iwasaki vd. (1982) tarafından önerilen yaklaşımı sınıflamasıyla birlikte aşağıdaki şekilde yeniden düzenlemiş (Eşitlik16) ve sıvılaşma potansiyelinin tanımlamasını Sıvılaşma İndeksi'ne (LPI) göre yeniden yapmıştır (Tablo 4.1)

$$L_1 = \int_{z=0}^{z=20} W(z)F(z)dz \quad (16a)$$

$$z < 20 \text{ m} \quad W(z) = 10 - 0.5z \quad (16b)$$

$$z \geq 20 \text{ m} \quad W(z) = 0 \quad (16c)$$

$$F(z) = 0 \quad F_L \geq 1.2 \quad (16d)$$

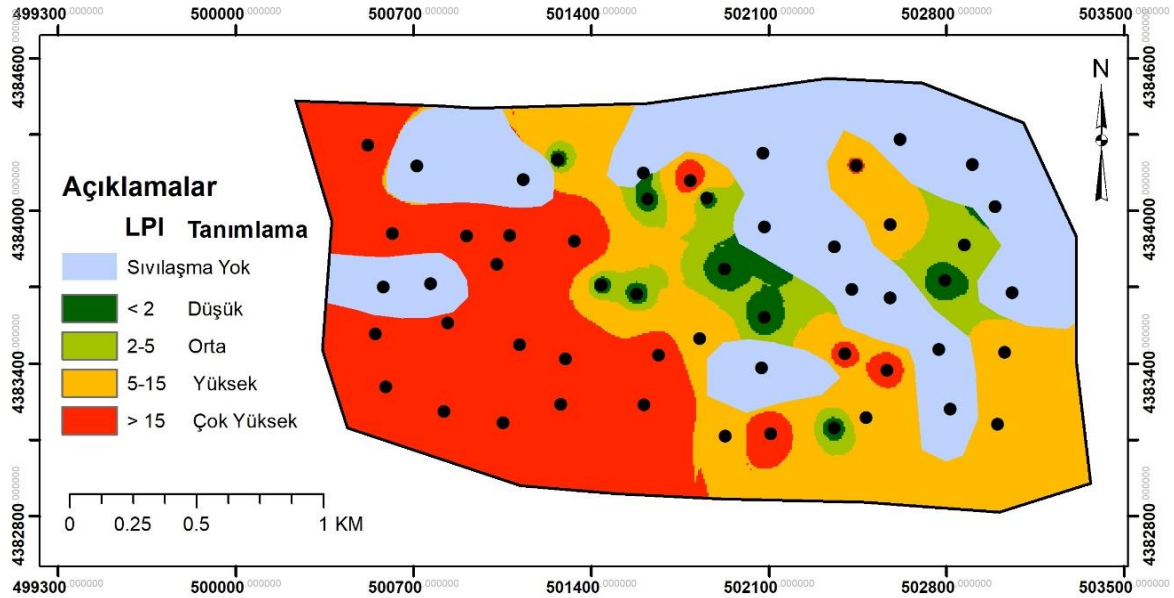
$$F(z) = 2 \times 10^6 e^{-18.427F_L} \quad 12 > F_L > 0.95 \quad (16e)$$

$$F(z) = 1 - F_L \quad F_L < 0.95 \quad (16f)$$

**Tablo 4.1:** Sıvılaşma İndeksi sınıflaması (Sönmez, 2003).

Sıvılaşma İndeksi	Tanımlama
0	Sıvılaşma yok
0-2	Düşük
2-5	Orta
5-15	Yüksek
>15	Çok Yüksek

İnceleme alanı için üretilen Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi haritası Şekil 4.6’da verilmiştir. Bu harita incelendiğinde inceleme alanının %28.8’inde sıvılaşma gelişmeyeceği, %2.3’ünde “Düşük”, %8.7’sinde sıvılaşma potansiyelinin “Orta”, %25.2’sinde sıvılaşma potansiyelinin “Yüksek”, ve %35’inde sıvılaşma potansiyelinin “Çok Yüksek” olduğu görülmektedir



**Şekil 4.6:** Cennetayağı Mahallesi (Edremit, Balıkesir) “Sıvılaşma Potansiyeli İndeksine göre tanımlanmış sıvılaşma potansiyeli haritası

Lee vd. (2003) tarafından Sıvılaşma Riski İndeksi (IR) tanımlanmıştır. Yazarlar bu tanımlamayı yaparken, Iwasaki ve arkadaşları'nın (1982) önerdiği Sıvılaşma İndeksi (LPI) bağıntısında (Eşitlik 15) yer alan sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı (FL) yerine zemin tabakalarının sıvılaşma olasılığı ( $P_L$ ) terimini koymuşlardır (Eşitlik 16)r. Bu çalışmada zemin tabakalarının sıvılaşma olasılığı ( $P_L$ ) Boulanger and Idriss (2012) tarafından verilen yöntemle (Eşitlik 13) bulunmuştur.

$$I_S = \int_{z=0}^{z=20} P_{(z)} W_{(z)} dz \quad (16a)$$

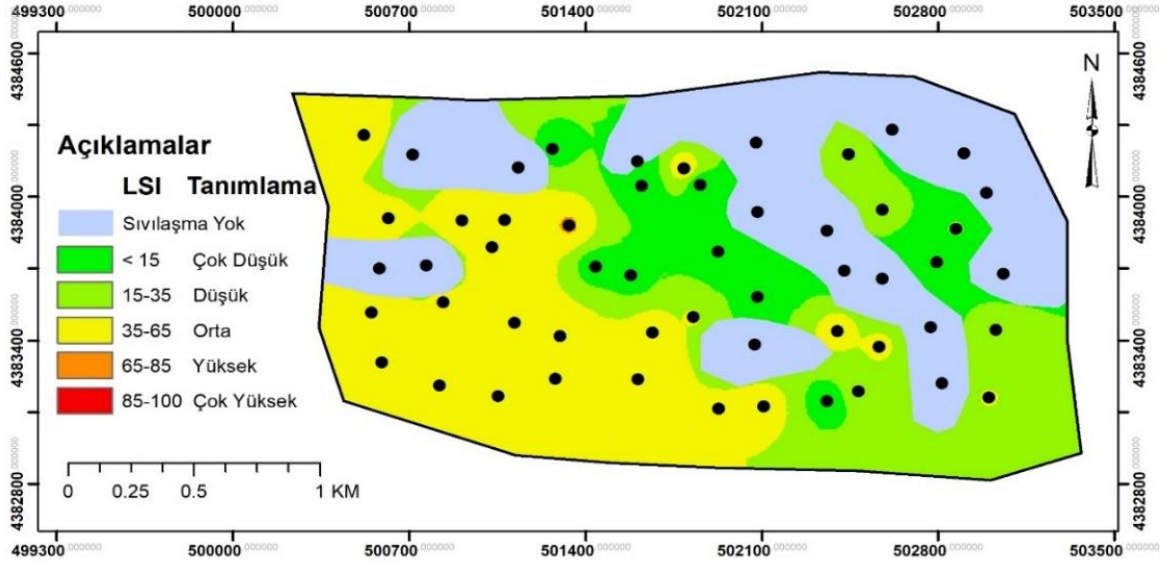
Burada  $F_L \leq 1.411$  olduğunda  $P_{(z)}$  terimi Eşitlik 13'ten bulunan  $P_L$ 'ye eşit alınmakta,  $F_L > 1.411$  olduğunda ise  $P_{(z)}=0$  alınmaktadır.

Ancak, Lee vd., (2003)'de "Sıvılaşma Riski İndeksi" (IR) değerine göre bir sınıflama bulunmamakta olup ayrıca söz konusu çalışmadaki yaklaşım "risk" kavramını tanım olarak karşılayamadığından, Sönmez ve Gökçeoğlu, (2005) tarafından "Sıvılaşma Riski İndeksi" adlanması yerine "Sıvılaşma Şiddeti İndeksi, LSI" termi kullanılmıştır. Sönmez ve Gökçeoğlu, (2005)'de Sıvılaşma Riski İndeksi" ne göre tanımlamaları Tablo 4.2'de verilmiştir.

**Tablo 4.2:** Sıvılaşma Şiddeti İndeksi (LSI) Sınıflaması (Sönmez ve Gökçeoğlu 2005)

Sıvılaşma Şiddeti İndeksi	Sıvılaşma Potansiyeli
85-100	Çok yüksek
65-85	Yüksek
35-65	Orta
15-35	Düşük
0-15	Çok düşük
0	Yok

İnceleme alanında sondaj noktalarındaki zemin profilleri için hesaplanan Sıvılaşma Şiddeti İndeksi'nin mekânsal dağılımı Şekil 4.7'de verilmiştir. Sıvılaşma Şiddeti İndeksi esas alınarak elde edilen bu haritaya göre bu çalışmada ortaya konan senaryo depreminde (olası bir depremde) inceleme alanının %28.8'inin Sıvılaşma şiddetinin sıfır olacağı, %14'ünde sınılaşmanın "Çok Düşük Şiddette gelişeceği, %21.8'nde "Füşük" şiddette sınılaşmanın görüleceği, % 35.3'ünde ise sınılaşmanın "Orta" şiddette gelişebileceği görülmektedir.



**Şekil 4.7:** Cennetyatağı Mahallesi'nin (Edremit, Balıkesir) "Sıvılaşma Potansiyeli İndeksine "göre tanımlanmış sıvılaşma potansiyeli haritası

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışma alanı olan Cennetyatağı Mahallesi de kapsayan Balıkesir ili Edremit İlçesi yerleşim alanı ve yakın çevresi Kuzey Anadolu Fay (KAF) Zonunun güney kolundaki fayların, özellikle bu faylardan biri olan Edremit Fay Zonu'nun ve ayrıca Yenice- Gönen, Edremit, Havran- Balya Fay Zonları'nın etkisi altındadır. Yeraltı su derinliği Cennetyatağı Mahallesi yerleşim alanının %26'sında 8-10 m, %33'ünde 6-8m, %38'inde 4-6m arasında ve %3'ünde de 4 m. den düşüktür. İnceleme alanındaki zeminlerin %34.5' i ZC sınıfında (Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları), %65.5'i ise ZD sınıfında (Orta sıkı kum, çakıl veya çok katı kil) olduğu belirlenmiştir. Bu durum dikkate alınarak söz konusu çalışma alanındaki zeminlerin jeolojik-jeoteknik özelliklerinin mekânsal dağılımı incelenmiş olup Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) verileri esas alınarak sıvılaşma duyarlılık haritaları üretilmiştir. Bu çalışmada kullanılan sondaj logları, jeofizik verileri ve laboratuvar sonuçları Balıkesir Büyükşehir Belediyesi Başkanlığı tarafından Analiz Mühendislik İnşaat Sondajcılık Madencilik San. Ve Ticaret Ltd. Sti'ne yaptırılan "Balıkesir İli Edremit İlçesi 4906.79 Hektarlık Alanın İmar Planına Esas Mikrobölceleme Etüt Raporu"ndan BAUN rektörlüğü ve Balıkesir Büyükşehir Belediyesi Başkanlığı arasında imzalanan işbirliği protokolu kapsamında ücretsiz olarak alınmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

1. Edremit (Balıkesir) ilçesi inceleme alanının yüksekliği en düşük 7 m iken en fazla 32m olup, yükseklik inceleme alanının batısından doğusuna doğru düzenli olarak artmaktadır. İnceleme alanının yaklaşık tamamında eğim 2° den düşüktür.

2. 3, 6, 9, 12, 15 ve 18 m derinlikleri için yapılan düzeltilmiş SPT-N değerlerini gösteren haritalar incelendiğinde, 3 m derinlikte zeminlerin %97'si "Sıkı", yaklaşık %2'si "Orta sıkı" durumdadır. 6 m. derinlikte zeminlerin %1,9'u "Çok Gevşek", %49.4'ü "Gevşek", %25.4'ü "Orta sıkı", % 23.3'ü "Sıkı", %0.1'i "Çok sıkı" durumda, 9m derinlikteki zeminlerin %4.6'sı "Çok Gevşek", %23.6'sı "Gevşek", %36.6 'sı "Orta sıkı", % 35'i "Sıkı", %0.1'i "Çok sıkı" durumda, 12 m derinlikteki zeminlerin %0.9'u "Çok Gevşek", %27.7'si "Gevşek", %35.9 'u "Orta sıkı", % 35.6'sı "Sıkı" durumda, 15 m derinlikteki zeminlerin %0.5'si "Çok Gevşek", %24.5'i "Gevşek", %35.7 'si "Orta sıkı", % 39.2'i "Sıkı" durumda ve 18 m derinlikteki zeminlerin %16.9'u "Gevşek", %41.2'si "Orta sıkı", % 41.9'u "Sıkı" durumda oldukları görülmüştür.

3. MTA' nın hazırladığı Türkiye diri fay haritasına (MTA, 2013) göre Edremit ilçesi (Balıkesir) yerleşim alanını etkileyebilecek ve en fazla 100 km uzağı esas alınmıştır.

Bunlardan Fay segmenti yaklaşımı ile Edremit ilçesi (Balıkesir) yerleşim alanına 45 km kuzeyinde yer alan Yenice- Gönen Fayı  $M_w = 7.3$ , 30 km kuzeybatısında bulunan Evciler Fayı  $M_w = 7.0$ , 1 km kuzeyinde bulunan Edremit Fay zonu  $M_w = 7.2$ , 26km doğusunda Havran-Balıkesir Fay Zonu  $M_w = 7.3$  büyüklüğünde deprem üretebileceği söylenebilir. Buna inceleme alanında görülebilecek en büyük yer ivmesi  $3,865g$  düzeyinde olup, bu yer ivmesine inceleme alanından yaklaşık 1 km uzaktaki Edremit Fay Zonu'na bağlı Altınoluk segmentinden kaynaklanacak  $M_w = 7.2$  büyüklüğündeki depremin neden olacağı görülmüştür.

4. Edremit (Balıkesir) yerleşim alanının sınılaşmaya karşı duyarlılığı Sönmez (2003) ve Lee vd. (2003) yaklaşımlarına göre sınılaşma şiddeti indeksleri hesaplanmıştır. Sınılaşma duyarlılık haritaları üretilmiştir.

5. İnceleme alanında sondaj noktalarındaki zemin profilleri için hesaplanan Sınılaşma Şiddeti İndeksi esas alınarak elde edilen bu haritaya göre bu çalışmada ortaya konan senaryo depreminde (olası bir depremde) inceleme alanının %28.8'inin Sınılaşma şiddetinin sıfır olacağı, %14'ünde sınılaşmanın "Çok Düşük Şiddette gelişeceği, %21.8'nde "Düşük" şiddette sınılaşmanın görüleceği, % 35.3'ünde ise sınılaşmanın "Orta" şiddette gelişebileceği görülmektedir.

6. Bu çalışmada üretilen çalışma alanındaki zeminlerin jeolojik-jeoteknik özelliklerinin mekansal dağılımını gösteren haritalar ve sınılaşma potansiyelini gösteren haritalar çalışma alanı için kent planlamasında altlık olarak kullanılabilir.

## KAYNAKLAR

Adatepe, F. M. (1998). Batı Anadolu Kıyılarının Tarihsel Dönem Deprem Etkinliği. *Deprem Araştırma Bülteni*, 76, 63-85.

Akdeniz E., Güney Y., Pekkan E., Avdan U, Tün M. ve Ecevitoglu B. (2011). Temel Zeminine Ait Jeo-Mühendislik Özelliklerinin Coğrafi Bilgi Sistemi Kullanılarak Değerlendirilmesi: Eskişehir İli, Güllük, Yenibağlar ve Bahçelievler Mahalleleri Örneği. *International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, Elazığ, 202-206.

Anonymous, (2006). Why does liquefaction occur? Explanation. [online], (08August,2006), <http://www.ce.washington.edu/~liquefaction/html/why/why1.html>.

Boulanger RW and Idriss IM “ Probabilistic SPT-based liquefaction triggering procedure”, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 138(10), 1185-1195, 2012.

Castro, G., Poulos, S.J., France, J.W. and Enos, J.L. (1982). Liquefaction induced by cyclic loading. *Report Submitted to the National Science Found*, Washington D.C. Ceryan Ş. Ve Güler E. (2015) Burhaniye (Balıkesir) Yerleşim Alanının Sıvılaşma Potansiyelinin Değerlendirilmesi, *Dergipark, Yerbilimleri Yıl 2015, Cilt 36, Sayı 2, 81-96*

Ceryan, Ş., Yenigün, K. G. ve Sarı R. 2011. Balıkesir kentinin gelişiminde jeolojik koşulların sağladığı olanaklar ve oluşturduğu sınırlamalar. *Balıkesir Kent Sempozyumu 2010 Bildiriler Kitabı (Editörler: Ş. Ceryan, Y. ince Güney) ISBN: 978-605-01-0106-5, EMO Yayın No: SK/2011/3, Balıkesir 2011,351-374*

Ceryan, Ş. (2020). Olası Depremde Zemin Deformasyonlarında Kaynaklanan Tahlikeler Ve Balıkesir'deki Bir Çalışma. *Balıkesir Kent Konseyi 2020 (Editörler: H. Selim, A. Erfidan, C. Atıkbay) Sertifika No: 44903, Sayfalar 25-38*

Çakır, Kübra. Coğrafi bilgi sistemi kullanılarak yolören mahallesi (Edremit-Balıkesir) yerleşim alanındaki zeminlerin jeo-mühendislik özelliklerinin değerlendirilmesi. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2020.*

Çetin Ö.K., Yunatıcı A.A., Çağlı S., Güllökar T., Aktaş R., Altınışık F., Çelik S., Arabacı M.H. ve Çekmeceli M. (2004). Bursa Şehri İçin CBS Destekli Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi Ve Sıvılaşma Risk Haritası Oluşturulması. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 479-489.*

Demir, G. (2013). Gürsu (Bursa) Yerleşim Alanındaki Temel ZeminlerinJeo-Mühendislik Özelliklerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Kullanılarak Değerlendirilmesi.

Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı*, Balıkesir.

Duru vd. (2005). Biga Yarımadasının Ekonomik ve Çevre Jeolojisi. *MTA-İTÜ ortak projesi*.

Duru, M., Pehlivan, Ş., Okay, Aral İ., Şentürk, Y ve Kar, H. (2009). Biga Yarımadası'nın Tersiyer Öncesi Jeolojisi, *MTA-İTÜ Ortak projesi, Biga Yarımadası'nın Genel ve Ekonomik Jeolojisi Raporu, s. 9-121*.

Emre, Ö. Doğan, A. ve Yıldırım, C. (2012). Biga yarım adasının Diri Fayları ve Deprem Potansiyeli, Biga Yarımadasının Genel ve Ekonomik Jeolojisi, *Özel Yayın serisi-28, 163-198, MTA, Ankara*.

Erol, O. (1983). Türkiye'nin Genç Tektonik ve Jeomorfolojik Gelişimi. *Jeomorfoloji Dergisi*, 11, 1-22.

Güzel, M. (2009). Mikrobölgeleme Çalışmalarında Jeolojik, Jeofizik, Jeoteknik Verilerin Birlikte Kullanılması (Kuzey Adana Örneği). Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı*, Adana

Idriss IM, and Boulanger RW "Semi-empirical procedures for evaluating liquefaction potential during earthquakes" Proceedings, *11th International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering, and 3rd International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, D. Doolin et al., eds., Stallion Press, 1, 32–56, 2004*

Idriss IM and Boulanger RW "Soil liquefaction during earthquakes", *Monograph MNO-12, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA, 261 pp, 2008*

Iwasaki T, Tokida K, Tatsuoka F, Watanabe S, Yasuda S, Sato H.(1982) Microzonation for soil liquefaction potential using simplified methods, *3rd International Earthquake Microzonation Conf. 1982, 1319–1330*

Iwasaki T. Arakawa T. ve Tokida K. (1984), Depremler Sırasında Zemin Sıvılaşmasını Değerlendirmek İçin Basitleştirilmiş Prosedürler. *Uluslararası Zemin Dinamiği ve Deprem Mühendisliği Dergisi Cilt 3, Sayı 1, Sayfalar 49-58*

Karanlık, S. (2006). Hatay Altinkoy Çevresinin Zemin Sıvılaşma Riskinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı*, Adana.

Lee, D.H., Ku C.,S. and Yuan H. (2003). A study of the liquefaction risk potential at Yuanlin. *Engineering Geology*, 71, 97–117.

Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü (2013),“Türkiye Diri Fayları Veri Tabanı ” (<http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx>)

Özkan, Osman Samed. Susurluk ilçe merkezi (Balıkesir) yerleşim alanı zeminlerinin jeo-mühendislik özelliklerinin CBS ile değerlendirilmesi. *Yayınlanmamış yüksek lisans tezi. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015.*

Sarı R. Ve Küçükefe Ş.(2009) Balıkesir İlinin Genel Jeolojik Özellikleri *Balıkesir'in Jeolojisi TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası yayınları 7-34*

Sarı, R., Tufan, E.A. ve Yenigün, K.G. (2010). Kentimizin heyelan, deprem ve taşkın alanları açısından irdelenmesi. *Balıkesir Kent Sempozyumu*, Balıkesir, 139- 150.

Seed, H.B. and Idriss, I.M. (1971). Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction On Potential. *J. of Geotech. Engrg. Div., ASCE, Philadelphia, 1-104.*

Sivrikaya, O. ve Toğrol, E. (2009). *Arazi deneyleri ve geoteknik tasarımda kullanımları. İstanbul, Birsen Yayınevi.*

Sönmezer, Y.B., Çeliker, M. ve Kılınç, M. Y. (2012). Kırıkkale İli Bahçelievler ve Fabrikalar Mahallelerinin Sıvılaşma Potansiyelinin Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Analizi. *International Journal of Engineering Research and Development*,

Sönmez, H. (2003). Modification to the liquefaction potential index and liquefaction susceptibility mapping for a liquefaction-prone area (Inegol-Turkey). *Environ Geology*, 44(7), 862–871.

Sönmez, H. and Gökceoglu, C. A. (2005). Liquefaction severity index suggested for engineering practice. *Environmental Geology*, 48, 81–91.

Sözbilir, H., Özkaymak, Ç., Sümer, Ö., Uzel, B., Eski, S., Tepe, Ç., Güler, T., Yaralı G., 2015a. Edremit Fay Zonu ile Havran–Balıkesir Fay Zonu’ nun jeolojik, jeomorfolojik ve paleosismolojik özellikleri. *68. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara.*

Sözbilir H., Özkaymak Ç., Sümer Ö., Uzel B., ve Eski S.(2019) Balıkesir İlinin Deprem Tehlike kaynakları ve alınması gereken önlemler. *Balıkesir'in Afet Dururmu ve Yönetimi Çalıştayı, 23-62*

Şişman, E., (2006). Fethiye Yerleşim Alanındaki Zeminlerin SPT ve Kayma Dalga Hızı Verileriyle Sıvılaşma Potansiyelinin Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.*

Tosun H., ve Orhan A. (2007). Coğrafi Bilgi Sistemi Programlarının Temel Zeminin Jeo-Mühendislik Özelliklerinin Belirlenmesinde Kullanımı: Eskişehir Örneği. *ESOGÜ Müh. Mim Fak. Dergisi, 20, (2007/2), 43-64.*

Ulusay, R., Tuncay, E., Sonmez, H. and Gokceoglu, C. (2004). An attenuation relationship based on Turkish strong motion data and iso-acceleration map of Turkey. *Engineering Geology*, 74(3-4), 265-291.

Ulusay, R. (2010). *Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler*. 5 (38), Ankara: Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını, 10-458.

Uyan, Anıl. Coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak Aşebacı mahallesindeki (Karesi/Balıkesir) zeminlerin jeo-mühendislik özelliklerinin değerlendirilmesi. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2018.

Yalçın C., Göçeoğlu C., ve Sönmez H. (2008), Aksaray Şehir Merkezi İçin Sıvılaşma Şiddeti Haritası (İç Anadolu, Türkiye), *Nat. Tehlikeler Dünya Sist. Sci.*, 8, 641-649, 2008

Youd, T. L. and Idriss, I. M. (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*, 127(4), 297-313.

Youd. T. L., 1984. Geologie Effect-Liquefactionon and Associated Ground Failure. Proeedings. *Geologie and Hydrologic Hazards Training Program Open File Report. Geological Survey. Menlo Park. California. pp. 210-232.*