

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



**COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ KULLANILARAK BURHANIYE
(BALIKESİR) YERLEŞİM ALANININ SIVILAŞMA
DUYARLILIK HARİTASININ OLUŞTURULMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜLER ESİN

BALIKESİR, HAZİRAN - 2015

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



**COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ KULLANILARAK BURHANIYE
(BALIKESİR) YERLEŞİM ALANININ SIVILAŞMA
DUYARLILIK HARİTASININ OLUŞTURULMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜLER ESİN

BALIKESİR, HAZİRAN - 2015

KABUL VE ONAY SAYFASI

Güler ESİN tarafından hazırlanan “**COGRAFI BİLGİ SİSTEMİ KULLANILARAK BURHANİYE(BALIKESİR) YERLESİM ALANININ SIVILAŞMA DUYARLILIK HARİTASININ OLUSTURULMASI**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 05.06.2015 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Doç. Dr. Şener CERYAN

Üye
Prof. Dr. Harun SÖNMEZ

Üye
Yrd. Doç. Dr. E. Abdullah TUFAN



Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez BAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Doç. Dr. Necati ÖZDEMİR

.....

ÖZET

**COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ KULLANILARAK BURHANIYE
(BALIKESİR) YERLEŞİM ALANININ SIVILAŞMA DUYARLILIK
HARİTASININ OLUŞTURULMASI
YÜKSEKLİSANS TEZİ
GÜLER ESİN
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. ŞENER CERYAN
BALIKESİR, HAZİRAN - 2015**

Bu çalışmanın amacı, Türkiye’de birinci derecede deprem bölgesinde yer alan Balıkesir ili, Burhaniye ilçesi yerleşim alanında, senaryo bir deprem sonucundaki sivilaşma potansiyelini araştırmaktır. Bunun için, öncelikle sivilaşma davranışının mekanizması, sivilaşmaya etki eden faktörler, sivilaşmanın yol açtığı zemin yenilme durumları ve yapılar üzerindeki etkilerine özetle değinilerek sivilaşma potansiyelinin değerlendirilmesine yönelik arazide elde edilen SPT (N) deney sonuçlarından yararlanan sivilaşma analiz yöntemleri açıklanmıştır. Ayrıca Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tanıtılmış ve kullanımı hakkında bilgi verilmiştir.

Çalışma sırasında, Burhaniye belediye arşivinden sağlanan arazi ve arazi ve deney sonuçları içeren jeoteknik etüt raporları, arazi ve laboratuvar deney sonuçları kullanılmıştır. Söz konusu raporlardan sağlanan 97 sondaj verisi kullanılarak bir veri tabanı oluşturulmuş ve bu veriler Coğrafi Bilgi sistemi ile analiz edilmiştir. Bu analizler kullanılarak eğim haritası, yeraltı suyu seviyesi ve yeraltı su derinlik haritaları, farklı derinlikler (3, 6, 9, 12 ve 15m) için düzeltilmiş SPT-N değerlerinin dağılımı haritaları hazırlanmıştır.

Son olarak iki farklı yöntem kullanarak, Burhaniye yerleşim alanının sivilaşmaya karşı duyarlılık haritaları oluşturulmuştur. Bu analizlerde, $M_w=7.2$ ve en büyük yer ivmesinin $0.37g$ ye eşit olduğu deprem senaryosu dikkate alınmıştır. Sonuç olarak, Burhaniye yerleşim alanının sivilaşmaya karşı duyarlılığı, genellikle “Çok Yüksek” ve Yüksek olarak belirlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: CBS, alüvyon, SPT-N, sivilaşma, Burhaniye (Balıkesir)

ABSTRACT

CREATING LIQUEFACTION SUSCEPTIBILITY MAP OF BURHANIYE (BALIKESİR) WITH USING GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM

MSC THESIS

GÜLER ESİN

BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

GEOLOGICAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. ŞENER CERYAN

BALIKESİR, JUNE 2015

The purpose of this thesis is to find out the liquefaction susceptibility of Burhaniye settlement area, Balıkesir which has a first rank in classification of the earthquake plan in Turkey, in case of an possible earthquake scenario. For this, primarily liquefaction mechanism, the factors which are effected the liquefaction, renewal condition of soil which are results of liquefaction and effects on the structure were summarized. In addition, Geographic Information Systems (GIS) was introduced and information of usage of GIS were given.

During the study, The whole data were evaluated according to liquefaction analyses which developed depend on standart penetration test (SPT N_{160}). During the study, geotechnical reports including field and laboratory test data from Burhaniye municipal archives were used. A database was created by using 97 borehole data from the said reports and these data were analyzed by using Geographical Information System. Slope map, map of the underground water level maps, the depth of underground water maps, SPT-N value corrected distribution maps for different depths which are 3, 6, 9, 12 and 15 m. were prepared using these analysis.

Finally, liquefaction Susceptibility map of Burhaniye settlement area maps were created using two methods. In these analysis, earthquake scenario of $M_w=7.2$ and maximum ground acceleration=0.37 g taken into account. As a result, it is obtained that liquefaction Susceptibility of the Burhaniye settlement area are, usually, high and very high

KEYWORDS: GIS, alluvial, analyst, SPT-N, liquefaction, Burhaniye (Balıkesir)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	viii
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
3. GENEL BİLGİLER	8
3.1 İnceleme Alanının Tanıtılması	8
3.2 Coğrafi Bilgi Sistemleri.....	9
3.2.1 Coğrafi Bilgi Sistemleri Bileşenleri	11
3.2.2 Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Çalışma Yöntemi	12
3.2.3 İnterpolasyon Yöntemi.....	13
3.2.4 Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanıldığı Alanlar ve Sağladığı Kolaylıklar	15
3.3 Zemin Sıvılaşması	15
3.3.1 Sıvılaşmanın Tanımı ve Mekanizması	15
3.3.2 Sıvılaşmaya Etki Eden Faktörler.....	20
3.3.2.1 Zemin Özelliklerinin Sıvılaşmaya Etkisi.....	20
3.3.2.2 Jeolojik Şartların Sıvılaşmaya Etkisi	24
3.3.2.3 Yer Hareketlerinin Sıvılaşmaya Etkisi	24
3.3.3 Sıvılaşma Analizi	26
3.3.3.1 Sıvılaşma Değerlendirme Ölçütleri	26
3.3.3.2 SPT Deneyi Esas Alınarak Zemin Tabakalarının Sıvılaşmaya Karşı Güvenlik Sayısının (Fs) Bulunması	29
3.3.3.3 Zemin Profili İçin Sıvılaşma Potansiyelinin Bulunuşu	34
4. GENEL JEOLJİ	38
4.1 Giriş.....	38
4.1.1 Stratigrafi.....	40
4.1.1.1 Çamoba Formasyonu (Üst Permiyen)	40
4.1.1.1.1 Çaldağ Kireçtaşı Üyesi (Üst Permiyen).....	40
4.1.1.2 Kınık Formasyonu (Alt Triyas)	41
4.1.1.3 Soma Formasyonu (Üst Miyosen- Pliyosen).....	41
4.1.1.4 Alüvyon (Kuvaterner)	41
4.1.2 Burhaniye (Balıkesir) Çevresinin Yapısal Jeolojisi ve Deprensellik.....	41
4.1.2.1 Faylar	44
5. ÇALIŞMA YÖNTEMİ	52
5.1 Veri Tabanının Oluşturulması	52
5.1.1 Giriş.....	52
5.1.2 Veri Tabanında Kullanılan Zemin Özellikleri	54
5.2 Arazi Deneyleri	55
5.2.1 Standart Penetrasyon Testi (SPT)	55
5.3 Laboratuvar Deneyleri.....	58

6. BURHANIYE (BALIKESİR) YERLEŞİM ALANININ SIVILAŞMA POTANSİYELİ	61
6.1 Giriş	61
6.2 Jeolojik Ölçütler	61
6.3 Zeminlerin Tane Dağılımı ve İnce Malzeme İçeriği ve Kıvam Limitleri	66
6.4 SPT ve SPT-N ile Zeminlerin Göreceli Sıkılığının Tahmini	69
6.5 Burhaniye Sıvılaşma Potansiyeli Haritalarının Oluşturulması ve Yorumlanması	76
6.5.1 Giriş	76
6.5.2 Zemin Tabakalarının Sıvılaşma Karşı Güvenlik Sayısının Bulunması	77
6.5.3 Sıvılaşma İndeksinin Bulunması ve Sıvılaşma Potansiyeli Haritaları	83
7. SONUÇ ve ÖNERİLER	88
8. KAYNAKLAR	92

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 : İnceleme alanının yer bulduru haritası	8
Şekil 3.2: Jeoteknik mühendisliğinde kullanılan olası coğrafi bilgi sistemi tabakaları (Seven, 2008' den alınmıştır).	9
Şekil 3.3: Vektör veri tipleri (ESRI,2010).	12
Şekil 3.4: Coğrafi Verilerin Raster Veri Üzerinde Görünüşü (ESRI, 2010).	13
Şekil 3.5: İnterpolasyon Yöntemi Inverse Distance Weighted (IDW) metodu (ESRI, 2008).	14
Şekil 3.6: a) Suya doygun kumlu zeminin sıvılaşma olgusu (Atak ve ark., 2003). b) Zemin tanelerindeki su basıncı azaldıkça bağlantı kuvveti artışı (Anonymous,2006).	17
Şekil 3.7: Sıvılaşmaya bağlı olarak gelişen zemin deformasyonları (Sönmez 2011): (a) kum kaynaması n), (b) akma yenilmesi, (c) yanıl yayılma, (d) zemin salınımı gelişimi, (e) zeminin taşıma gücünü yitirmesi, (f) gömülü yapılarda sıvılaşma sonucu gelişen yükselmeye bağlı hasarlar (Sönmez, 2011' den değiştirilmeden alınmıştır).	19
Şekil 3.8: SPT değerleri ve amax değerleri (Iwasaki, 1984).	22
Şekil 3.9: Sıvılaşma zemin kompozisyonu ilişkisi (Port ve Harbour Research Institute of Japan, 1997; Ulusay, 2010'dan alınmıştır).	23
Şekil 3.10: Zemin kolonunun tabanında tekrarlı gerilim oranının (CSR) hesaplanması (Sönmez, 2011).	30
Şekil 3.11: Sıvılaşma İndeksi'nde güvenlik katsayısı bileşeninde yapılan yeniden düzenleme (Sönmez 2003).	36
Şekil 4.1: İnceleme alanı ve yakın çevresinin stratigrafik kolon kesiti (Akgün, 2007).	38
Şekil 4.2: İnceleme alanının (Burhaniye) genel jeoloji haritası (İçöz vd. 2000' den yararlanılarak).	39
Şekil 4.3: Anadolu levhasının batıya kayışının mekanizması(Atabey, 2000; Sarı vd., 2010' dan alınmıştır).	42
Şekil 4.4: Balıkesir ili ve Biga Yarımadasının tektonik haritası (Şaroğlu vd., 1987, 1992, Emre vd., 2002-2004; Sarı vd., 2010).....	44
Şekil 5.1: İnceleme alanındaki sondaj lokasyonları.....	53
Şekil 5.2: Veri tabanının oluşturulması	55
Şekil 5.3: İnceleme alanına ait örnek sondaj logu (Burhaniye Belediyesi Arşivi).	56
Şekil 5.4: SPT deneyinin yapılışının şematik gösterimi (Özçep, 2006).	58
Şekil 5.5: İnceleme alanına ait elek analizi (Burhaniye Belediye Arşivi).	59
Şekil 5.6: İnceleme alanına ait örnek laboratuvar özet raporu (Burhaniye Belediye Arşivi).	60
Şekil 6.1: İnceleme alanının eşyüksekti haritası.....	62
Şekil 6.2: İnceleme alanının eğim haritası	63
Şekil 6.3: İnceleme alanının yeraltı su seviye kotu haritası.....	64
Şekil 6.4: İnceleme alanının yeraltı su seviye haritası	65
Şekil 6.5: Burhaniye ilçesi yerleşim alanında alüvyonlardan alınmış seçilmiş örneklerin dane dağılım eğrileri (sıvılaşma potansiyelini	

değerlendirilirken kullanılan dane dağılım eğrileri Ulusay 2010'dan alınmıştır).....	66
Şekil 6.6: Ortalama tane çapına göre sıvılaşma güçlüğü oranı (Ulusay 2010'dan alınmıştır).....	67
Şekil 6.7: SPT-N değerlerinin 3m derinlikte değişim haritası.....	71
Şekil 6.8: SPT-N değerlerinin 3m derinlikte değişim haritası.....	72
Şekil 6.9: SPT-N değerlerinin 9m derinlikte değişim haritası.....	73
Şekil 6.10: SPT-N değerlerinin 12m derinlikte değişim haritası.....	74
Şekil 6.11: SPT-N değerlerinin 15m derinlikte değişim haritası.....	75
Şekil 6.12: Zemin tabakalarının sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısının bulunması için NovoLiq (Ver: 2.53) programına veri girilmesi.....	77
Şekil 6.13: NovoLiq (Ver: 2.53) programının çıktıları; 75.nolu sondaj için SPT-N değeri, gerilme azaltma faktörü (rd), efektif ve toplam düşey gerilmelerin, tekrarlı dayanım oranı (CRR) ve tekrarlı gerilim oranının (CSR) derinliğe bağlı değişimi.....	78
Şekil 6.14: NovoLiq (Ver: 2.53) programının çıktıları ;(75). nolu sondaj için sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı ve sıvılaşma olasılığının derinliğe bağlı değişimi.	79
Şekil 6.15: Burhaniye ilçesi yerleşim alanını etkileyebilecek diri faylar (MTA, 2012).....	82
Şekil 6.16: Burhaniye (Balıkesir) ilçesinin Sönmez (2003) yaklaşımına göre düzenlenen sıvılaşma duyarlılık haritası.....	85
Şekil 6.17: Burhaniye (Balıkesir) ilçesinin Lee (2003) yaklaşımına göre düzenlenen sıvılaşma duyarlılık haritası.....	86

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 3.1: Göreceli sıklığa göre zemin sınıflaması (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006).	21
Tablo 3.2: Deprem sırasında sıvılaşabilecek zeminlerin tahmini hassaslıkları (Youd ve Hoose (1977; Youd ve Perkins, 1978).....	25
Tablo 3.3: Deprem karakteristikleri Modifiye Mercalli Şiddet derecesi arasındaki ilişkiler (Yeats vd., 1997; Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006' dan alınmıştır).	26
Tablo 3.4: (N1)60'ın belirlenmesi için kullanılan düzeltme katsayılarının seçimi (Youd vd., 2001; Sönmez, 2011).	32
Tablo 3.5: Iwasaki vd. (1982) tarafından önerilen Sıvılaşma İndeksi (LI) sınıflaması (Sönmez, 2011).	34
Tablo 3.6: Sönmez (2003) tarafından önerilen Sıvılaşma İndeksi sınıflaması (Sönmez, 2011).	35
Tablo 3.7: Sönmez ve Gökçeoğlu (2005) tarafından önerilen Sıvılaşma Şideti İndeksi sınıflaması	37
Tablo 6.1: Burhaniye ilçesi yerleşim alanında alüvyonlardan alınmış seçilmiş örneklerin indeks özellikleri (Burhaniye Belediye Arşivi).	68
Tablo 6.1: (devam)	69
Tablo 6.2: Düzeltilmiş SPT-N değerleri ile zeminlerin göreceli sıklık dereceleri (Sivrikaya ve Toğrol 2009)	70
Tablo 6.3: Fay segmenti yaklaşımı ile senaryo deprem büyüklüğünü veren eşitlikteki a ve b katsayıları (Ulusay 2010'dan alınmıştır).	81
Tablo 6.4: Burhaniye ilçesi (Balıkesir) yerleşim alanı yakınındaki aktif faylara göre olası senaryo deprem büyüklükleri ve oluşturacakları yatay en büyük (max.) ivme değerleri.....	82

ÖNSÖZ

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

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

Veri tabanının oluşturulması için gerekli kaynakları kullanmamızı sağlayan özellikle DSİ 25. Bölge Jeoteknik Hizmetler ve YASS Şube Müdürü Jeoloji Mühendisi Mehmet Emin AYDIN' a ve Burhaniye Belediyesi ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Bu araştırmanın gerçekleştirilmesi ve değerlendirilmesinde katkı ve desteklerinin gördüğüm Balıkesir Jeoloji Mühendisleri Odası Başkanı Jeoloji Mühendisi Sayın Kemal Gökçay YENİGÜN' e teşekkür ederim.

Çalışmamda yardımlarını esirgemeyen arkadaşım Osman Samed ÖZKAN' a teşekkür ederim.

Bu tezin hazırlanması sırasında ve her ihtiyacım olduğunda daima yanımda olan, arkadaşım Halime KOÇ' a içtenlikle teşekkür ederim.

Hayatım boyunca hep yanımda olan, yüksek lisans çalışmalarım sırasında büyük özverilerde bulunarak, çalışmalarımı destekleyen sevgili aileme teşekkür ederim.

Güler ESİN
Balıkesir, 2015

1. GİRİŞ

En büyük can ve mal kaybına yol açan deprem tehlikelerine karşı güvenlik kavramı iki yönlü bir unsura sahiptir; birincisi potansiyel yıkıcı dinamik kuvvetlere karşı yapı güvenliği, ikincisi ise yapı yerinin dinamik (deprem) kuvvetler etkisindeki davranışdır. Depremler nedeniyle oluşan tehlikeyi azaltmak ve deprem yükleri altındaki yapıların güvenliğini sağlamak için, dinamik etkiler altındaki suya doymun kumlu ve siltli zeminlerde oluşan sıvılaşma davranışını bilmek yerleşim amaçlı çalışmalarda önem kazanmaktadır Sıvılaşma olayının insan hayatına ve ekonomiye olan olumsuz etkilerinden dolayı bu konuda yapılan araştırmalar günden güne artmakta ve gittikçe önem kazanmaktadır.

Birinci derecede deprem kuşağı içerisinde yer alan Burhaniye ilçesinde, özellikle kıyı bölgelerde, sıvılaşma olayı büyük önem taşımakta olup, yörede yapılacak yapılaşmalarda zemin etüt raporlarının hazırlanması esnasında sıvılaşma riskinin belirlenmesi çok büyük önem taşımaktadır. Burhaniye (Balıkesir) ilçesi yerleşim alanı Kuvaterner yaşlı alüvyon üzerine kurulmuş olup yeraltı su seviyesinin derinliği genellikle 5 m den azdır. Bu bölge Kuzey Anadolu Fay Zonu' nun güney kısmında yer almakta olup genel olarak bölge, kuzeyden Kuzey Anadolu Fay Zonu' nun (KAFZ) ve güneyden Ege Graben Sisteminin etkisi altındadır. Diğer bir deyişle yöre KAFZ ile Ege'nin açılma rejimi arasında bir geçiş zonu özelliği taşımaktadır. Burhaniye (Balıkesir) ilçesi yerleşim alanının bu jeolojik, hidrojeolojik ve tektonik özelliklerine sahip olması nedeniyle olası kuvvetli yer hareketleri sırasında sıvılaşma tehlikesi altında olduğu görülmektedir.

Burhaniye yerleşim alanındaki alüvyon; genellikle kumlu bir yapıya sahip olup aralarda ve çakıllı, killi ve siltli seviyeler ile bunların kombinasyonlarından oluşmaktadır. Bu çalışmada, Burhaniye ilçesi (Balıkesir) yerleşim alanındaki zemin jeolojik jeomorfolojik özellikleri, zeminin tane dağılımı, sıklığı ve kıvam durumu belirlenerek bunların konumsal dağılımı incelenmiştir. Ayrıca, söz konusu yerleşim alanında yersel jeolojik koşullarla ilgili olarak sıvılaşmaya yol açabilecek yatay yer ivmesinin kritik değeri ve deprem magnitüdü elde edilerek ve deprem kaynak

büyükükleriyle alüvyon katmanlarının sıvılaşmaya duyarlılığı belirlenmeye çalışılmıştır.

Bu alışmada, Burhaniye Belediyesi arşivi jeoteknik sondajlardan alınan veriler (öncelikli sondaj verilerinden elde edilen Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) değerleri) ESRI ArcGIS (Ver. 10.2.1) programı yardımıyla sayısal ortama aktararak çalışma alanına ait veritabanı oluşturulmuştur. Youd vd. (2001)'ne göre (Novalig Ver. 2.53' den yararlanılarak) sıvılaşma analizi yapılarak sıvılaşma potansiyeli indekslerinin Sönmez (2003) ve Lee vd. (2003) olmak üzere her iki yaklaşıma göre hesaplanmasıyla sıvılaşma duyarlılık haritaları oluşturulmuştur.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Demir (2013), Gürsu (Bursa) yerleşim alanında temel zeminlerin Jeo-Mühendislik özelliklerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak değerlendirilmesi adlı çalışmasında, 131 adet zemin etüd raporlarından yararlanarak elde edilen Jeolojik-Jeofizik- Jeoteknik veriler ile veri tabanı oluşturmuştur. Bu veriler Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yazılımı kullanılarak temel zemin özelliklerinin değişimini ortaya çıkarmak ve söz konusu alan için arazi kullanımına yönelik hızlı, ekonomik, güvenilir ve uygulanabilir kararların alınmasında yararlanabilmek amacıyla Jeo - Mühendislik haritaları (Eşyüksekti, eğim, bitkisel toprak derinliği, yeraltı su seviyesi, yeraltı su kotu, Birleştirilmiş Zemin Sınıflamasına göre zemin türü, Standart Penetrasyon Deneyi (SPT), enine dalga hızı (Vs), boyuna dalga hızı (Vp) ve sismik hız oranı (Vp/Vs)) üretilmiştir.

Sönmezer vd. (2012), Kırıkkale ili Bahçelievler ve Fabrikalar mahallelerinin sıvılaşma potansiyelinin Coğrafi Bilgi Sistemlerinde analizi adlı çalışmada, Kırıkkale İli Bahçelievler ve Fabrikalar mahallelerinin zemin parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Bahçelievler mahallesinde 10, Fabrikalar mahallesinde 11 adet olmak üzere, toplam 21 adet temel sondaj verisi üzerinde ProSıvı programı kullanarak, bu bölgelerde sıvılaşma riski değerlendirilmiştir. Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) ve laboratuvar deneyleri kapsamında elde edilen veri parametreleri (statik su seviyesi, zemin sıkılık durumu, su muhtevası (w), likit limit (LL), plastik limit (PL), doğal birim hacim ağırlığı, elek analizi deneyleri), Coğrafi Bilgi Sistemlerinde analiz edilerek, yeraltı suyu seviyesi ve sıvılaşma haritaları oluşturulmuştur.

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. Bölgede yirmi fay (Edincik, Sinekçi, Manyas, Yenice-Gönen, Sarıköy, Bekten, Evciler, Gündoğan, Kestanbol, Pazarköy, Edremit,

Çan-Biga, Havran-Balya ve Balıkesir fayları) haritalanmış ve aktiviteleri açısından deprem yüzey kırığı, diri fay, potansiyel diri fay ve çizgisellik olmak üzere dört alt sınıfa ayrılmıştır. 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.

Akdeniz vd. (2011), Eskişehir ili, Güllük, Yenibağlar ve Bahçelievler Mahalleleri zeminlerine ait jeo-mühendislik özelliklerini coğrafi bilgi sistemi (CBS) yazılımını kullanarak değerlendirmişlerdir. Söz konusu çalışma alanında zeminin 3 boyutlu modellemesini yapılmış ve arazi kullanım haritalarını elde etmişlerdir.

Sarı vd. (2010), Kentimizin heyelan, deprem ve taşkın alanları açısından irdelenmesi adlı çalışmayla, Balıkesir ilinin potansiyel deprenselliği, heyelan ve taşkın alanların belirlenmesi ile oluşabilecek doğal afetlerde karşılaşılabilecek problemlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Balıkesir ili ve Biga Yarımadası'nın aktif tektoniği ve deprenselliği açıklamış, Balıkesir ili ve civarında deprem, heyelan ve taşkın gibi doğa olaylarıyla ilgili olarak alınması gereken önlemler anlatılmıştır.

Güzel (2009), Mikrobölgeleme çalışmalarında jeolojik, jeofizik, jeoteknik verilerin birlikte kullanımı (Kuzey Adana örneği) adlı doktora çalışmasında, Kuzey Adana'da belirli bir bölgenin jeolojik, jeofizik, jeoteknik verilerinin bütünleşik olarak kullanılarak mikrobölgelendirilmesini amaçlamıştır. Bu çalışmada olasılıksal ve deterministik deprem tehlike analizi birlikte kullanılarak proje depreminin büyüklüğü belirlemiştir. İnceleme alanının mikrobölgeleme ölçütlerinden zemin büyütmesi, yamaç stabilitesi ve sıvılaşma tehlikesi haritalamıştır. Bu ölçütlerin birleştirilmesiyle oluşturulan, inceleme alanı mikrobölgeleme haritasında tehlike düzeylerinin (A: Yüksek tehlike, B: Orta tehlike, C: Düşük tehlike/tehlikesiz) belirlendiği mikrobölgeleme haritası hazırlamıştır. Yazar inceleme alanı mikrobölgeleme haritasında yamaç duraysızlıklarının olduğu heyelanlı kesimlerin yüksek tehlike düzeyinde olduğunu belirtmiştir.

Elmasdere (2008), Isparta Mavikent Yerleşim Bölgesinin Sismik Mikrobölgelemesi ve Değerlendirilmesi adlı çalışmasında söz konusu alanı jeoteknik açıdan değerlendirerek mikrobölgeleme çalışması yapmıştır. Mikrobölgelendirme

çalışması, dalga hızı haritaları, zemin hakim titreşim periyodu ve zemin büyütme haritalarını esas alınarak yapılmıştır. Ayrıca mikrobölgelendirmede deprem senaryosu çalışmalarının dan da yararlanmışır.

Kıyak vd. (2008), Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak Adapazarı ilinin mikro zemin parametre haritalarının hazırlanması adlı çalışmasında, CBS yazılımını kullanarak bulanık mantık (Fuzzy Logic) yöntemiyle; SPT, zemin emniyet gerilmesi, tabaka kalınlığı ve sismik haritaları üretmiştir.

Seven (2008), Eskişehir ili Tepebaşı Bölgesinin Temel Zemini Özelliklerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında incelenmesi adlı tez çalışmasında, Tepebaşı Belediyesi İmar Müdürlüğü arşivindeki zemin etüt raporlarındaki 461 adet sondajdan elde ettiği verileri kullanarak CBS ortamında mesafenin tersi yöntemiyle (MT) temel zemin, darbe dağılımı, temel zemini taşıma gücü, yeraltı suyu ve sıvılaşma haritalarını üretmiştir. Sıvılaşma risk haritalarını, SPT deneyi sonucu elde edilen SPT-N değerleri kullanıldığı Seed ve Idriss (1971) tarafından önerilen yaklaşıma göre hazırlamıştır.

Karaca (2007), Fethiye yerleşim alanı zeminlerinin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi ve jeoteknik haritaların Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak hazırlanması adlı çalışmasında, Fethiye ve çevresindeki zeminlerin mühendislik özelliklerini belirleyerek mühendislik jeolojisi haritaları (eğim, yeraltı suyunun yüzeyden derinliğini, yeraltı suyu seviye, titreşim periyodu, zemin deprem büyütmesi ve elastik dalgaların zemin tabakalarındaki hızlarını gösteren haritalar) ve Youd vd. (2001)'ne göre sıvılaşma analizi yaparak sıvılaşma potansiyeli haritasını üretmiştir. Karanlık (2007), bu haritaları esas alarak çalışma alanını yerleşime uygunluk açısından da değerlendirmiştir.

Kıncal vd. (2007), tarafından yapılan çalışmada, Armutalanı beldesi yerleşim alanının jeoloji haritaları arazi çalışmalarıyla hazırlandıktan sonra sondaj ve jeofizik verilerini, laboratuvar deney sonuçlarını, taşıma gücü değerlerini ve zemin sıvılaşma analiz sonuçlarını sayısal harita formatında veri tabanına eklemişlerdir. Bu veriler, CBS ortamında birbirleriyle ilişkilendirilerek arazi kullanım haritalarını oluşturmuşlardır. Çalışmada üst üste çakıştırma (overlay) analiz metodu kullanarak bölgenin arazi kullanım haritalarını üretmişlerdir.

Tosun vd. (2007), Eskişehir yerleşim alanında temel zemin özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yaptıkları çalışmalarında jeo-mühendislik haritaları üretmişlerdir. Söz konusu çalışmada, serbest basınç dayanım haritaları ve SPT haritaları üretilmiştir. Eskişehir yerleşim alanı için geliştirilmiş bir jeo-mühendislik model esasında ön bilgi amaçlı olarak haritaları ve kesitleri hazırlamışlardır.

Çobanoğlu vd. (2006), Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) kullanılarak Adana ili yerleşim alanının hidrojeolojik özellikleri ve su kalitesinin değerlendirilmesi çalışmasında, inceleme alanında temel hidrojeolojik bilgileri içeren bir veri tabanı hazırlayarak bu veritabanından eş yeraltı suyu derinlik, eş PH ve hidrojeokimyasal haritaları üretmişlerdir.

Karavul vd. (2006), Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak iki farklı yaklaşımla Adapazarı kenti SPT (Standart Penetrasyon Testi) haritalarının oluşturulması adlı çalışmada; Adapazarı şehir merkezinde halihazırda bulunan sondajlardaki SPT değerleri ile veri tabanı oluşturulmuş ve iki farklı yaklaşımla ve Naturel Neighbour (Doğal Komşuluk) modelleme yöntemi kullanılarak SPT haritaları üretmişlerdir.

Karanlık (2006), Hatay Altınkoy çevresinin zemin sıvılaşma riskinin belirlenmesi tezinde, elde edilen SPT sonuçları, sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesinde kullanılan yer ivmesi, derinlik - SPT değerleri arasındaki ilişkileri veren abaklar yardımıyla değerlendirmiştir. Ayrıca, inceleme alanı zeminlerine ilişkin yapılan arazi ve laboratuvar deneyleri ile belirlenen veriler, (zemin sınıfı, su içeriği, yeraltı su seviyesi vb.) çalışma alanının önemli oranda sıvılaşma riski taşıdığını göstermiştir. Yazar Hatay Altınkoy çevresinin sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesinde Seed ve Idriss (1971), Seed ve ark (1985) ve Youd ve ark. (2001) tarafından modifiye edilmiş yöntemi kullanmıştır.

Şişman (2006), Fethiye yerleşim alanındaki zeminlerin SPT ve kayma dalga hızı verileriyle sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesi tezinde, Muğla ili Fethiye ilçesi yerleşim alanında senaryo bir deprem sonucundaki sıvılaşma potansiyelini araştırmıştır. SPT-N darbe sayısı ve kayma dalga hızını ölçerek sıvılaşma analizi yapmış, sıvılaşma şiddeti risk indeksine göre sıvılaşma potansiyeli haritaları hazırlamıştır.

Karavul vd. (2005), Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak Adapazarı zeminin sıklık durumunun haritalanması adlı çalışmalarında , Adapazarı merkezi için Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yazılımı kullanılarak elastisite modülü, poisson oranı, dalga hızı ve kayma modülü haritalarını hazırlamışlardır.

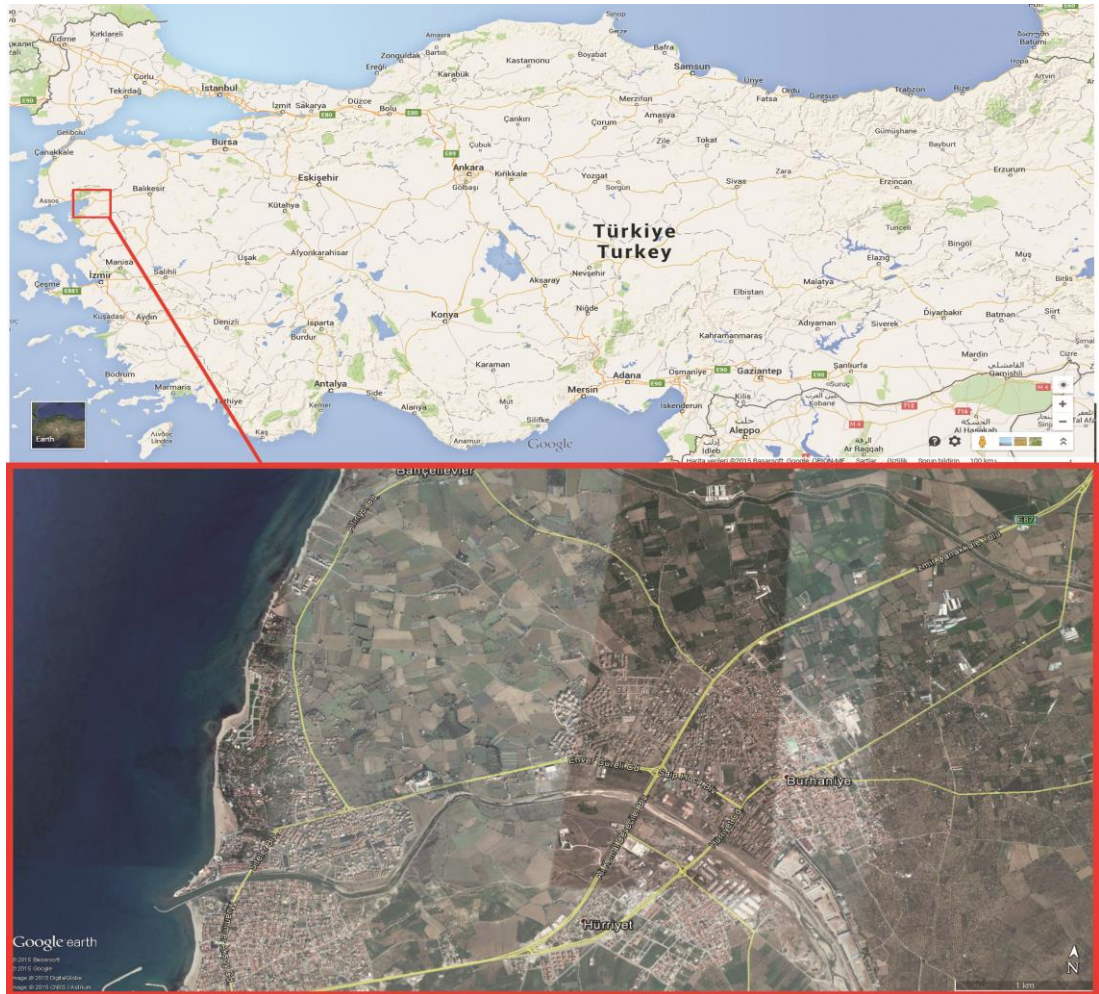
Çetin vd. (2004), Bursa ili için olasılıksal sismik tehlike analizi çalışmasında en büyük yer ivmesi ve spektral ivme haritaları üretilmiştir. Ayrıca SPT verileri kullanılarak sismik sıvılaşma analizi yapılmış ve sıvılaşma riski yüksek bölgelerin haritaları oluşturulmuştur. Bu çalışmaya göre maximum zemin ivmesi 0,36 g-0,38 g arasında, zemin için spektral ivme dağılımı 0,7-0,75 olup sıvılaşma şiddeti indeksi (LSI) değeri dağılımı 0-0,35 bulunmuştur.

Bargu vd. (2000) Gürsu (Bursa) alanının Jeolojik-Jeoteknik Araştırma Raporu' nda 25 noktada sondaj kuyusu ve 10 noktada araştırma çukuru açarak söz konusu alandaki zemin özelliklerinin derine ve yanal doğrultudaki değişimleri incelemişlerdir. Ayrıca, yazarlar çalışmalarında sismik kırılma ve elektrik öz direnç yöntemlerinden de yararlanmışlardır. Gürsu yerleşim alanının Japon Karayolları Şartnamesine göre sıvılaşma analizini yapan yazarlar, söz konusu alanın tümünde sıvılaşma tehlikesinin büyük olduğunu belirtmişlerdir.

3. GENEL BİLGİLER

3.1 İnceleme Alanının Tanıtılması

Türkiye' nin kuzeybatısında, Marmara bölgesinin güneydoğusunda yer alan Balıkesir ili $40^{\circ}40'$ ve $39^{\circ}8'$ Kuzey enlemleriyle, $29^{\circ}1'$ ve $26^{\circ}46'$ Doğu boylamları arasında yer almaktadır. Balıkesir ili 18 ilçeden oluşmaktadır. Burhaniye ilçesi, Türkiye'nin batı kıyısında Balıkesir İl sınırları içerisinde bulunan bir ilçe merkezidir. $39^{\circ}31'$ Kuzey enlemleri ve $26^{\circ}50'$ doğu boylamları arasında olup ilçenin güney batısında Gömeç, Ayvalık, kuzey batısında Güre, Altınoluk ve kuzey doğusunda ise Edremit ilçeleri ile çevrilidir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: İnceleme alanının yer bulduru haritası

Çalışma alanı (Burhaniye), Balıkesir-Burhaniye yolu üzerinde Balıkesir il merkezinin güneybatısında ve yaklaşık 95 km uzaklıkta yer alan Burhaniye ilçesi yerleşim alanını kapsamaktadır. Bölgeye ulaşım, İzmir – Çanakkale karayoluyla veya direk Balıkesir – Burhaniye karayoluyla sağlanmaktadır.

Deniz seviyesinden fazla 10 m yükseklikte yer almaktadır. Genel olarak düzlükte yer alarak batı kesimden doğuya doğru hafif bir eğime sahiptir. Bu eğimin genellikle 0° - 5° arasında olup en yüksek değeri 15° olarak görülmektedir.

İnceleme alanında Akdeniz iklimi hüküm sürmektedir. Yağışlar genellikle yağmur şeklinde olmaktadır. Kar yağışı zaman zaman kış aylarında gözlenmektedir. Meteoroloji İstasyonlarından alınan verilere göre yıllık yağış ortalaması 322-773 mm arasında değişmekte olup, en yağışlı aylar Kasım, Aralık, Ocak, Şubat aylarıdır. Ayrıca yıllık sıcaklık ortalama 13.5 - 15.9° C olup en yüksek sıcaklık Ağustos, en düşük sıcaklık Ocak ayında gözlenmektedir. İnceleme alanında zeytincilik yapılmaktadır (İçöz vd., 2000).

Burhaniye ilçesi yer altı suyu bakımından çok zengindir. İlçenin içme ve kullanım suyu mevcut kuyulardan sağlanmaktadır.

İnceleme alanını nüfusunun %73 'ü ilçe merkezinde ve kalan % 27 si kırsal kesimde olmak üzere 43211 nüfusu vardır. Okuryazarlığın %99 olduğu ilçede 20 ilköğretim, 6 orta öğretim, 1 yükseköğretim kurumu mevcuttur. Sosyal alt yapı olarak 1 adet kapalı spor salonu, 1 adet halk kütüphanesi, 1 adet kadın kültür evi ve 1 adet resim heykel atölyesi mevcuttur (Erden ve Gökmen, 2012). Toplam 45000 hektardan oluşan arazi varlığının % 53 ü tarım arazisi olup, bakiyesi çayır, ormanlık veya dağlık arazi durumundadır (Erden ve Gökmen, 2012).

3.2 Coğrafi Bilgi Sistemleri

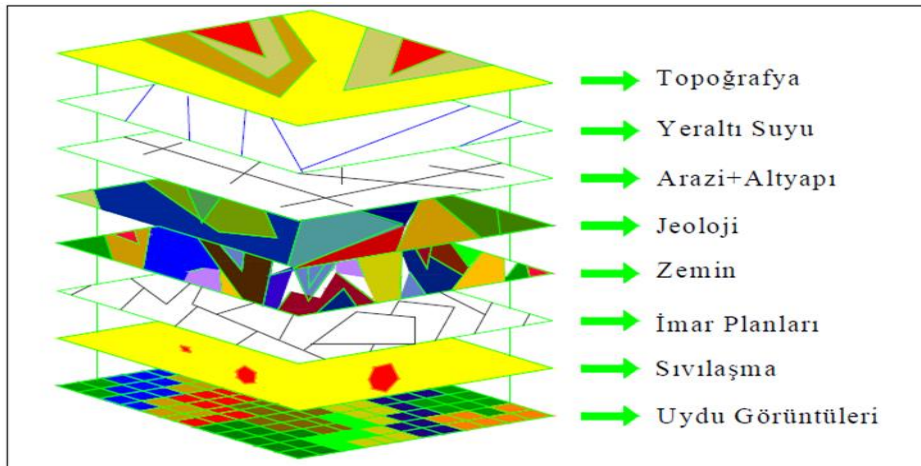
Coğrafi Bilgi Sistemleri (Geographical Information Systems, GIS) karmaşık planlama ve yönetim sorunlarının çözülebilmesi için tasarlanan; mekândaki konumu belirlenmiş verilerin kapsanması, yönetimi, işlenmesi, analiz edilmesi, modellenmesi ve görüntülenebilmesi işlemlerini kapsayan donanım, yazılım ve yöntemler

sistemidir”. Daha basit bir ifade ile “dünya üzerindeki bölgeleri tarif eden, verileri saklayan ve kullanan bilgisayar sistemi” olarak da tanımlanabilir (ESRI, 2008).

Konumsal bilgi sistemleri içerisinde yer alan bilgiler, yalnızca konumsal olarak ifade edilen bilgileri içermeyip, bu konumsal bilgileri veya sembolojileri açıklayan öznitelik bilgiler yine (Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) olarak tanımlanır (Küpçü, 2005).

CBS, yeryüzü şekillerini ve yeryüzünde gelişen olayları haritaya dönüştürmek ve bunları analiz etmek için gerekli olan bilgisayar destekli araçlardan oluşan bir sistem olarak algılanmaktadır. CBS teknolojisi ortak veri tabanlarını birleştirme özelliğine sahiptir. Örneğin, haritaların sağladığı görsel ve coğrafi analiz getirileri sorgulama ve istatistiksel analizler olarak kullanıcıya sunulur. Bu özelliği bakımından, CBS diğer bilgi sistemlerinden farklıdır. Bunun bir sonucu olarak, CBS, hizmet alanındaki olayların tanımlanmasında ve ileriye donuk tahminlerde bulunarak stratejik planların yapılmasında kamu özel sektör tarafından oldukça yoğun bir şekilde kullanılmaktadır (Yomralıoğlu, 2002).

Jeoloji Mühendisliğinde CBS kullanılarak yapılan analizler ve elde edilen haritalar, çalışma alanlarındaki zeminin yapı ve davranışının değerlendirilerek bu alanlarda gerekli önlemlerin alınmasında oldukça etkili rol oynamaktadır. CBS yardımı ile oluşturulabilecek örnek haritalar Şekil 3.2 'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2: Jeoteknik mühendisliğinde kullanılan olası coğrafi bilgi sistemi tabakaları (Seven, 2008’ den alınmıştır).

3.2.1 Coğrafi Bilgi Sistemleri Bileşenleri

Bir sistemin, bir uygulamanın ya da herhangi bir çalışmanın ayakta kalabilmesi ve işleyebilmesi için bazı gereksinimlere ihtiyaç vardır (ESRI,2010). Coğrafi Bilgi Sistemlerinin de işleyebilmesi ve sağladığı avantajlardan en üst düzeyde yararlanılabilmesi için bazı gereksinimlere, bileşenlere ya da elemanlara ihtiyaç duyulmaktadır:

Veri (Data): Coğrafi Bilgi Sistemlerinde veri olmadan işlem yapmak imkânsızdır. Çünkü veri bir bakıma bu sistemin özüdür ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinin de vazgeçilmez bileşenlerindedir (ESRI,2010).

Yazılım (Software): Coğrafi Bilgi Sistemlerinin vazgeçilmez bileşenlerinden olan veri bu sistemin işleyebilmesi için yeterli değildir. Verilerin işlenebileceği ve analiz edilebileceği bir yazılıma ihtiyaç vardır. Bu ihtiyaçtan ötürü Coğrafi Bilgi Sistemlerinde vazgeçilemeyen bir eleman ya da bileşen de yazılımdır (ESRI,2010).

Yöntem (Method): Coğrafi Bilgi Sistemlerinde yapılacak ve birbirinden farklı olan çalışmalarda başarılı işlemler gerçekleştirilmesi sağlıklı yöntemlerin tespiti ile gerçekleşir. Belirlenecek olan bu yöntem ya da yöntemlerin de çok iyi tasarlanması ve planlaması gerekir ki, gerek kişisel gerek kurumsal bazda istenilen ürünler ortaya çıkarılabilsin (ESRI,2010).

Donanım (Hardware): Coğrafi Bilgi Sistemleri bugün çok farklı donanıma sahip bilgisayarlarda çalışabilmektedir. Ancak Coğrafi Bilgi Sistemlerinin ilgili yazılımından maksimum performans elde etmek için bilgisayar donanımının da yüksek kalitede olması gerekmektedir (ESRI,2010).

İnsanlar (People): Coğrafi Bilgi Sistemlerinde yukarıda adı geçen bileşenler her ne kadar bu sistem içerisinde vazgeçilemeyen elemanlar olsalar da insan olmadan bir bütün oluşturamazlar. Çünkü CBS karar-destek sistemi olması itibarıyla insan odaklıdır. İnsanlar problemlerin çözümünde karar verici ve sistem geliştirici olarak yapılan çalışmalara yönelik plan hazırlarlar. Bu nedenle, Coğrafi Bilgi Sistemlerinin işleyebilmesi için bu konuda yetişmiş yönetici ve personellere ihtiyaç vardır (ESRI,2010).

3.2.2 Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Çalışma Yöntemi

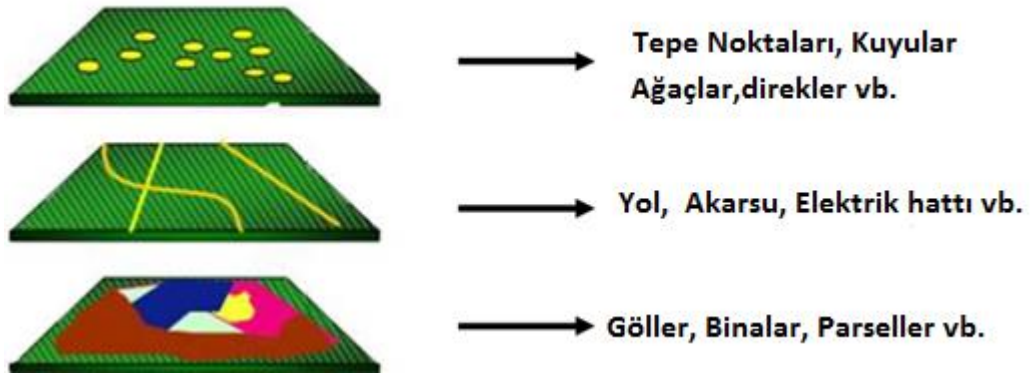
Coğrafi Bilgi Sistemlerinde veri yapısı vektör ve raster olmak üzere şekilde ele alınmaktadır.

Vektör Veri; belirli koordinat (x,y) değerleri ile depolanan verilerdir. Belirli bir koordinata sahip olan vektör veriler “nokta, çizgi, alan” veriler olmak üzere 3’e ayrılır (ESRI, 2010).

a-Noktasal (Point) Veri: Tek bir (x,y) koordinat çifti ile temsil edilen verilerdir. Bu tür vektör veriler şekli ve sınırları çok küçük olan birimlerin tanımlanmasında kullanılırlar. Örneğin; tepe noktaları (zirve), elektrik direkleri, kuyular, ağaçlar, vb.

b-Çizgisel (Line) Veri: Birbirini izleyen bir dizi (x,y) koordinat serisi şeklinde sistemde depolanan verilerdir. Bir dizi halinde birbirini izleyen ve alan olarak gösterilemeyen birimler için kullanılırlar. Örneğin; yol, akarsu, elektrik hattı, vb.

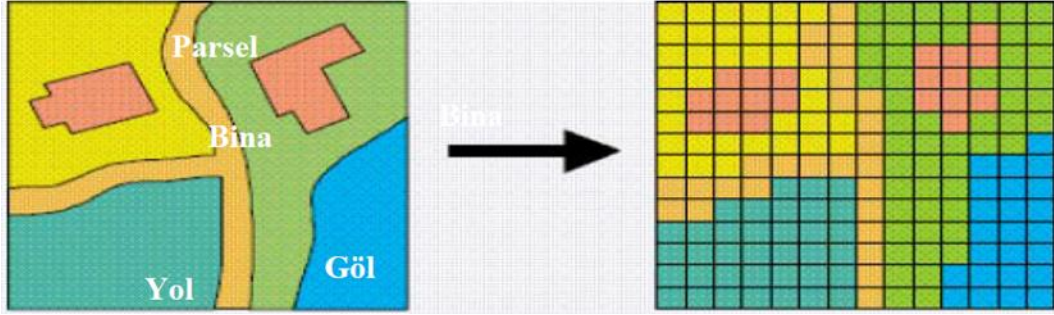
c-Alansal (Polygon) Veri: Başlangıç ve bitiş noktalarında aynı koordinata (x,y) sahip olan ve bir dizi koordinatlar ile sistemde depolanan verilerdir. Örneğin; parseller, binalar, göller, yerleşim sınırları, orman alanı, arazi kullanımı, vb. (Şekil 3.3).



Şekil 3.3: Vektör veri tipleri (ESRI, 2010).

Raster Veri; Hürelere (pixel) bağlı olarak temsil edilen verilerdir. Raster veri, birbirine komşu grid yapıdaki hücrelerin bir araya gelmesi ile oluşurlar. Çekilen fotoğrafların, taranan haritaların ya da paftaların sisteme aktarılması ve vektör verilerden dönüşüm (convert) işlemleri sonucu ile elde edilirler. Raster veriler vektör verilere oranla daha fazla veri depolama kapasitesine sahiptirler. Bazı konumsal analizler (En uygun yer analizi, maliyet analizi,vb.) raster verilerde daha kolaydır

(Şekil 3.4). Ancak verilerin hassasiyeti raster verilerde hücre boyutuyla (pixel size) orantılı olduğu için hassas çalışmalarda veri kayıplarına neden olabilir (ESRI, 2010).



Şekil 3.4: Coğrafi Verilerin Raster Veri Üzerinde Görünüşü (ESRI, 2010).

Coğrafi Bilgi Sistemlerinde veri toplamadan veri üretmeye, veri depolamadan görüntülemeye kadar birçok fonksiyon vardır. Ancak Coğrafi Bilgi Sistemleri fonksiyonlarını genel başlıklar altında toplamak gerekirse; “veri toplama teknikleri, veri depolama, veri görüntüleme, sorgulama, analiz ve çıktı” şeklinde başlıklar karşımıza çıkar (ESRI, 2010).

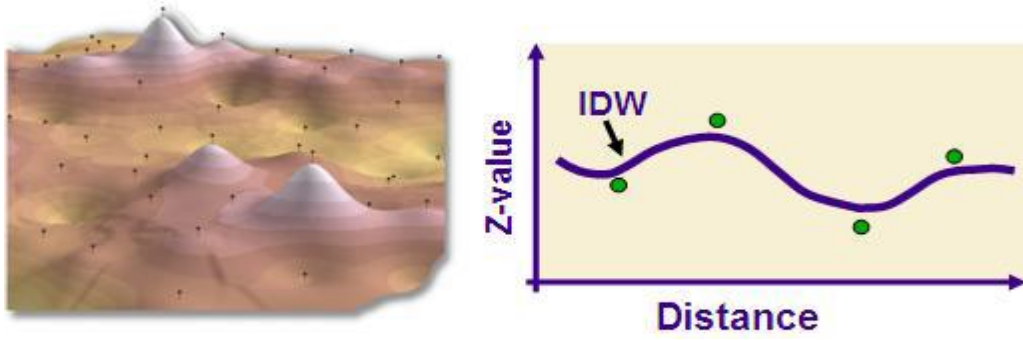
3.2.3 İnterpolasyon Yöntemi

Çalışma sahasındaki her bir noktaya ilişkin veri toplamak hem kolay değildir hem de maliyetlidir. Böyle bir durumda çalışma sahası içindeki stratejik noktalardan örnekler seçilir. İnterpolasyon, böyle bir durumda geriye kalan noktalara ilişkin tahmini değerleri kullanan bir algoritmadır. İnterpolasyon yöntemi; yükseklik ve kimyasal yoğunluk gibi bilinmeyen coğrafik nokta değerlerinin tahmini için kullanılır. Bu işlemde mekânsal olarak dağılmış cisimlerin mekânsal olarak birbirleriyle ilişkili olduğu varsayılır (ESRI, 2014).

İnterpolasyon araçları, örnek noktalardan sürekli yüzey oluşturmayı sağlar ve bu yöntemin uygulanması için iki tane yaklaşım bulunmaktadır. Bu çalışmada sınıflama analizi ve sınıflama duyarlılık haritalarının yapılmasında deterministik metod olarak bilinen ve sadece matematiksel fonksiyonlarla hesaplama yapan yaklaşımı olan Inverse Distance Weighted (IDW) yöntemi kullanılmaktadır.

Inverse Distance Weighted (IDW) yöntemi; her bir hücrenin civarındaki örnek veri noktalarının ortalama değerleri vasıtasıyla, hücre değerlerini tahmin eden

bir interpolasyon metodudur. Adından da anlaşılacağı gibi belirli bir lokasyon hakkında veri tahmini yapabilmek için o lokasyona yakın olan noktaların tahmin hesaplamasında daha ağırlıklı rol alması ve daha uzak olan noktaların ise daha az etkili olması ilkesine dayanan bir tekniktir (ESRI, 2014) (Şekil 3.5).



Şekil 3.5: İnterpolasyon Yöntemi Inverse Distance Weighted (IDW) metodu (ESRI, 2008).

Bu çalışmada sıvılaşma potansiyeli haritala oluşturulurken interpolasyon yöntemi olarak “uzaklığın karesi yöntemi” seçilmiştir. Bu yöntemde sondajın olmadığı bir lokasyonda (nuktada) sıvılaşma potansiyeli değeri tahmin edilirken o potansiyel değeri kullanılmıştır. Kullanılan yöntem tahmin yapılan noktayı çevreleyen sondaj noktalarındaki değerlerin ağırlıklı ortalamasına dayanmaktadır. Değeri bilinmeyen noktayı çevreleyen sondaj noktalarındaki değerlerin ağırlıkları (W_i) , değeri bilinen sondaj noktalarının ilgili noktadan olan uzaklıklarının (D_i) karelerinin toplamının tersidir.

$$IL_a = \frac{\sum_i (P_i W_i)}{\sum_i (W_i)} \quad (3.1)$$

Herhangi bir a noktasındaki sıvılaşma potansiyeli değeridir. D ve W değerleri ise aşağıdaki bağıntılarla bulunmaktadır.

$$D^2 = x^2 + y^2 \quad (3.1a)$$

$$W = \frac{1}{D^2} = \frac{1}{\Delta x^2 + \Delta y^2} \quad (3.1b)$$

3.2.4 Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanıldığı Alanlar ve Sağladığı Kolaylıklar

Coğrafi Bilgi Sistemleri, coğrafi verilerin söz konusu olduğu her alanda uygulanabilir bir yapı sunmaktadır. Coğrafyanın ve dolayısıyla coğrafi verinin kapsamının ne kadar geniş olduğu düşünülecek olursa, CBS uygulama alanlarının da o denli uzun bir liste olarak karşımıza çıkacağı sonucuna varılır (ESRI, 2010).

Coğrafi Bilgi Sistemlerinin çeşitli kullanım alanları vardır. Bu alanlar; çevre yönetimi, doğal kaynak yönetimi, mülkiyet-idari yönetim, bayındırlık hizmetleri, eğitim, sağlık yönetimi, belediye faaliyetleri, ulaşım planlaması, turizm, orman ve tarım, ticaret ve sanayi, savunma ve güvenlik olarak sıralanabilmektedir.

CBS, kullanıcılara sağladığı kolaylıklar; bilgiler kolayca güncelleştirilerek bir amaç doğrultusunda kısa zamanda bilgiye dönüştürülebilir, daha az insan ve işlem ile kolaylık sağlar ve istenilen analiz sonuçları elde edilebilir. Yapılan hatalar kısa bir zamanda ve kolay bir şekilde düzeltilebilir, sistem içerisinde kayıtlı sayısal harita ve görüntülere, onlara ait grafik verilere kolaylıkla erişim sağlanır, aynı alana ait birden fazla katman aynı ortamda kullanılabilir ve verileri sorgulayarak analiz yapma olanağı vs. olarak sıralanabilmektedir.

Yukarıda sayılan bu kolaylıklar sonucunda CBS pek çok kullanıcı tarafından, farklı alan ve konularda çalışma alanı bulabilmektedir.

3.3 Zemin Sıvılaşması

3.3.1 Sıvılaşmanın Tanımı ve Mekanizması

Depremler sırasında hasara neden olan en önemli faktörlerden biri suya doymun gevsek ve orta sıkılıktaki ince taneli kumlu ve siltli zeminlerin sıvılaşması olayıdır. Genel olarak zemin sıvılaşması, yük uygulanması sırasında zeminde aşırı boşluk suyu basıncı üretilmesi nedeniyle zeminin kesme mukavemetinde meydana gelen ani düşme olarak tanımlanabilir (Castro vd., 1982).

Zeminde meydana gelen bu büyük mukavemet kaybını ilk kez Hazen (1920) sıvılaştırılabilir (liquefiable) davranış olarak tanımlarken, sıvılaştırma (liquefaction) teriminin bilimsel literatürde ilk kez Terzaghi (1925) tarafından kullanıldığını görmekteyiz. Terzaghi (1925)'e göre "sıvılaştırma, suya doymuş zeminin çökmesi sırasında zemini oluşturan katı parçacıkların ağırlığının zemini çevreleyen suya aktarılması durumunda meydana gelebilir. Bu olay sonucunda zeminin herhangi bir derinliğinde hidrostatik su basıncı yükselerek, büyüklüğü suya batan zeminin birim ağırlığına yaklaşır" (Castro, 1969).

Zemin sıvılaştırmasına ilişkin literatürde yer alan tanımlamalardan bazıları aşağıda sunulmuştur.

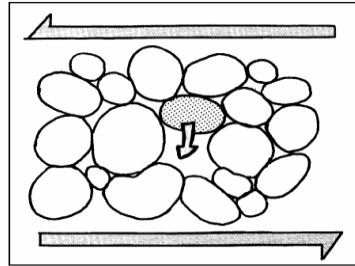
- Mogami ve Kubo (1953), statik ve dinamik yüklere bağlı olarak gelişen her türlü zemin deformasyonunu zemin sıvılaştırması olarak tanımlamaktadır (Kramer 1996).

- Youd (1984;) ise sıvılaştırmayı, "suya doymuş 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.

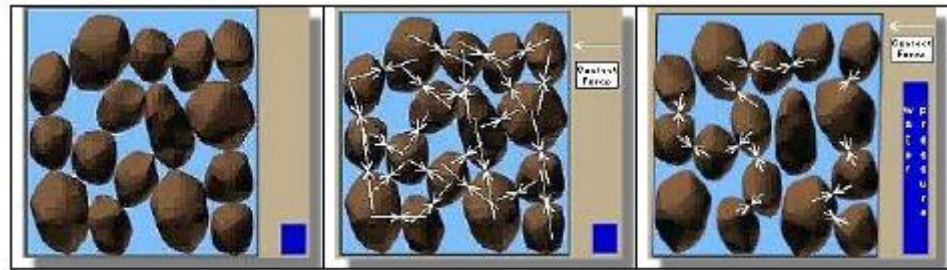
Genel anlamıyla, suya doymuş kohezyonsuz (veya düşük kohezyonlu) zeminlerin tekrarlı veya statik gerilmeler altında önemli düzeyde deformasyonların gelişmesi veya makaslama dayanımını yitirmesi sıvılaştırma olarak tanımlanabilir.

Zeminde sıvılaştırmaya neden olan hareketler, sismik dalgalar ve özellikle de makaslama dalgalarıdır (Youd, 1992). Bu dalgalar suya doymuş taneli tabakalardan geçerken oluşturdukları aşırı su basıncı ile tanecikli yapıyı bozar ve zeminin dayanımını yitirmesine neden olurlar (Şekil 3.6a). Zemindeki sıvılaştırma davranışının daha iyi anlaşılabilmesi için depremden önceki zemin koşullarının iyi bilinmesi ve anlaşılması gereklidir. Zeminin yapısını oluşturan bütün taneler birbiri ile temas halindedir (Şekil 3.6a ve Şekil 3.6b). Taneler arasındaki bu temas yüzeylerinde temas kuvvetleri mevcuttur. Taneler arasındaki boşluklarda ise hava ve su bulunmaktadır. Bu boşluklar suya doymuş zeminlerde tamamen su ile dolu olmaktadır. İşte bu boşluklar arasındaki suyun taneler üzerine uyguladığı

basınca boşluk suyu basıncı denmektedir. Deprem sırasında sismik dalgalar zemin içinde yayılırken birbirine göre ters yönde etkiyen kuvvet çiftleri yaratırlar (Sekil 3.6 b). Bu durum, suya doymun ve kohezyonsuz zeminlerde zemin tanelerinin yer değiştirmesine neden olur. Bu sırada taneler arasındaki temas yüzeyleri azalır. Böylece taneler arasındaki mevcut temas kuvvetleri, bir başka ifadeyle zemin iskeleti tarafından taşınan yükler (zeminin kendi ağırlığı ve üzerindeki yapı yükleri) taneleri çevreleyen suya aktarılır (Karanlık, 2006). Deprem sırasında taneler arasında yer alan bu suyun drene olması için yeterli süre olmadığından, zemin sismik dalgalar öncesindeki denge durumuna kavuşmadan taneler arasındaki temas yüzeyleri yeniden oluşmadan) boşluk suyu basıncında ani bir artış meydana gelir (Sekil 3.6b). 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 3.6b). İşte bu durum sıvılaşma olgusu olarak tanımlanmaktadır (Karanlık, 2006).



Şekil 3.6a: Suya doymun kumlu zeminin sıvılaşma olgusu (Atak ve ark., 2003).



Şekil 3.6b: Zemin tanelerindeki su basıncı azaldıkça bağlantı kuvveti artışı (Anonymous, 2006).

Sıvılaşma olayı neden oldukları zemin deformasyonları ile yapısal hasarların gelişmesine yol açarlar. Sıvılaşmaya bağlı zemin deformasyonları aşağıda gruplanarak sunulmuştur.

Kum kaynaması: Deprem sırasında zemin taneleri üzerindeki efektif gerilme azalır ve sıfır veya negatif değerler alır. Bu durumda zemin mekaniğinde hızlı koşul (quick condition) olarak tanımlanan olay meydana gelir. Zemin taneleri arasındaki boşluk suyu yüzeye doğru hareket eder ve beraberinde zemin tanelerini de yüzeye doğru taşır. Eğer zemin taneleri ile birlikte yüzeye ulaşabilirse kum kaynamaları ve sonrasında kum konileri şeklinde gözlenir (Şekil 3.7a) (Youd, 1984).

Akma yenilmesi (Kıyı altı heyelanı): Şekil 3.7b' de görüldüğü üzere, kıyılarıdaki yapısal unsurların altındaki zeminle birlikte sürüklenmesi ile gözlenen bu zemin deformasyonu, 30'den yüksek eğime sahip ortamlardaki suya doygun gevşek kum ve siltli zeminlerde gözlenir (Youd, 1984).

Yanal yayılma: Genellikle 30'den az (bazı tanımlamalarda 50-60 gibi değerlerde görülebilmektedir) eğimli kıyı, ve nehir gibi serbest yüzeye yakın yerlerde sıvılaşan zemin üzerindeki sıvılaşmayan örtü zeminin bloklara ayrılarak sürüklenmesi şeklinde tanımlanır (Şekil 3.7c). Bununla birlikte serbest yüzeyin olmadığı koşullarda da yanal yayılma gözlenebilir. 1964 Niigata (Japonya) depreminde 5 ila 10 metre arasında değişen yanal yayılmalar tespit edilmiştir (Youd, 1984).

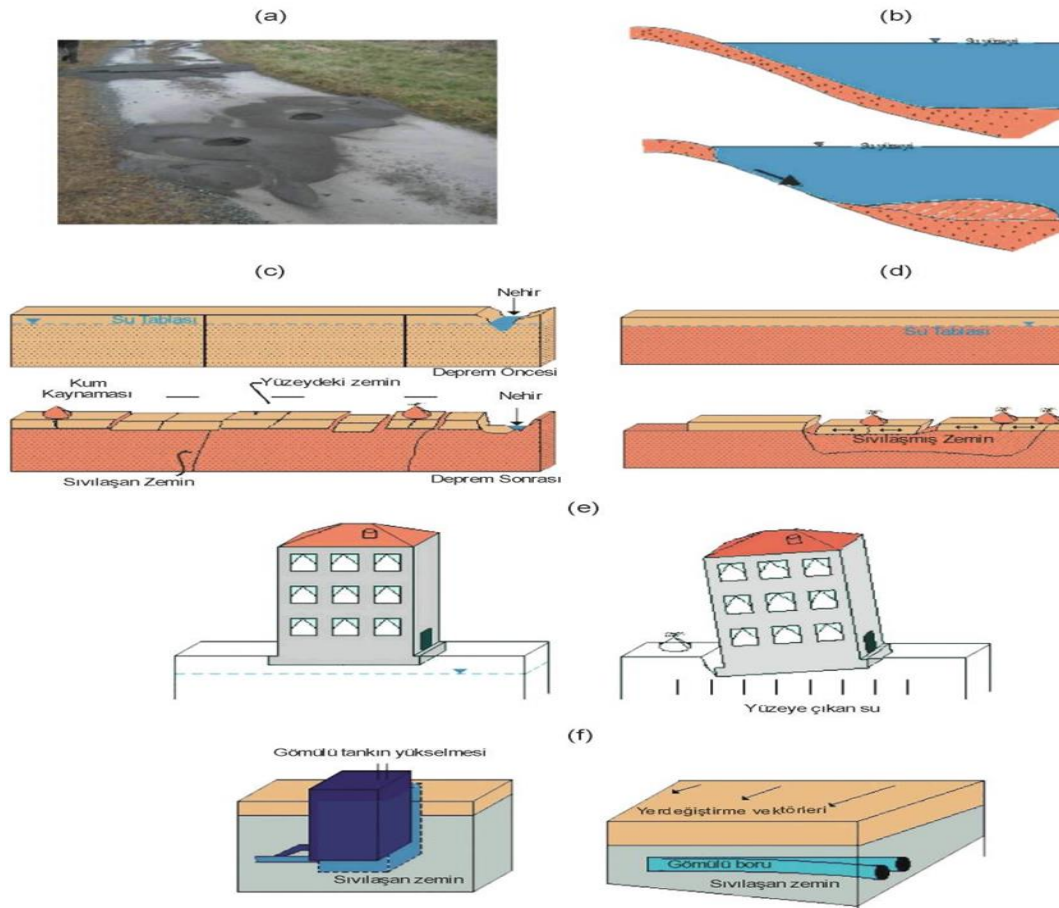
Zemin salınımı: Topoğrafik düzlüklerin (eğimin hemen hemen olmadığı) altındaki zeminlerde sıvılaşan zeminin üzerindeki sıvılaşmayan zeminin bloklara ayrılarak farklı yönlere (ileri-geri) hareketi ile gelişen zemin deformasyonudur (Şekil 3.7d) (Youd, 1984).

Zeminin taşıma gücünü yitirmesi: Sıvılaşma olayı sırasında tanımında da yer aldığı üzere makaslama dayanımı hızla azalır ve sonucunda yapı temellerinin altındaki seviyelerin taşıma gücünün yitirilmesine neden olabilmektedir (Şekil 3.7e) (Youd, 1984).

Gömülü hafif yapıların (boru, tank vb.) yükselmesi: Negatif gözenek suyu basıncı ile yüzeye doğru ilerleyen boşluk suyu bünyesinde zemin tanelerini taşıyabildiği gibi varsa hafif yapısal unsurları da yüzeye taşıyabilir (Şekil 3.7f).

Zemin oturması: Gevşek zeminlerde statik ve tekrarlı yükler altında zemin daha sıkılaşıma eğiliminde olur. Bu ise zeminde önemli düzeyde oturmalar (düşey deformasyonlar) yaratabilir (Youd, 1984).

Sıvılaşma sonucunda zeminde oluşabilecek deformasyonun miktarı, materyalin gevşekliğine, derinliğine, kalınlığına ve sıvılaştıran tabakanın zeminde kapsadığı alana, zeminin eğimine, bina ve diğer yapılar nedeniyle zemine uygulanan yükün dağılımına bağlı olmaktadır (CDMG, 1992).



Şekil 3.7: 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, 2000; Sönmez, 2011' den değiştirilmeden alınmıştır.).

3.3.2 Sıvılaşmaya Etki Eden Faktörler

Sıvılaşma olayının gerçekleşmesinde etkili olan birçok faktör bulunmaktadır. Bir zeminin sıvılaşmaya karşı duyarlılığında veya sıvılaşma potansiyelinin derecelenmesinde rol oynayan başlıca faktörler, diğer bir ifadeyle sıvılaşma için gerekli ölçütler; jeolojik şartlar, zemin özellikleri ile deprem büyüklüğü ve süresidir (Youd, 1984). Sıvılaşma potansiyelini belirleyebilmek için sıvılaşmayı başlatan bu ölçütler beraber analiz edilmelidir. Zemin sıvılaşmasına etki eden bu faktörler aşağıda ayrıntılarıyla verilmiştir.

3.3.2.1 Zemin Özelliklerinin Sıvılaşmaya Etkisi

Zemin Tipi; Sıvılaşmaya duyarlı zemin türleri; plastik olmayan (kohezyonsuz) zeminlerdir. Kohezyonsuz zeminlerin sıvılaşmaya karşı en az dirençten en çok dirence kadar olan sıralaması kabaca; temiz kumlar, plastik olmayan siltli kumlar, plastik olmayan siltler ve çakıllar olarak verilebilir (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006).

Seed vd. (1983) laboratuvar deneyi ve arazi performansına dayalı olarak, kohezyonlu zeminlerin büyük çoğunluğunun depremler esnasında sıvılaşmayacağını belirtmiştir. Başlangıçta Seed ve Idriss (1982) tarafından açıklanan ve sonradan Youd ve Gilstrap (1999) tarafından pekiştirilen kriterler kullanılarak, ince taneli zeminler (plastik siltlerin) sıvılaşması için aşağıdaki üç kriterin tamamının karşılanması gerekmektedir.

- 0.005 mm'den daha ince partiküllerin zemindeki kuru ağırlıkça yüzdesi 15'den daha az olmalıdır (yani, 0.005 mm den geçen yüzde < 15).
- Likit limit değeri 35' den küçük olmalıdır (yani, $LL < 35$).
- Zeminin su muhtevası (w) likit limitin 0.9' undan daha büyük olmalıdır (yani, $w > 0.9(LL)$)

İnce taneli zemin bu üç kriteri karşılamadığı durumda, zeminin genellikle sıvılaşmaya duyarlı olmadığı düşünülür (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006).

Zeminin Göreceli Sıklığı (Dr) ; Göreceli Sıklık taneler arasındaki bağın kuvvetini ifade eder (Tablo 3.1). Daneler arası bağın kuvvetli olmaması ($DR < \%75$), gevsek-orta sıkı durumdaki zeminlerin deprem etkisiyle titreşim sıkışmasına neden olur. Zeminin göreceli sıklığı % 75'den küçükse sıvılaşma oluşabilir (Wang and Law, 1994).

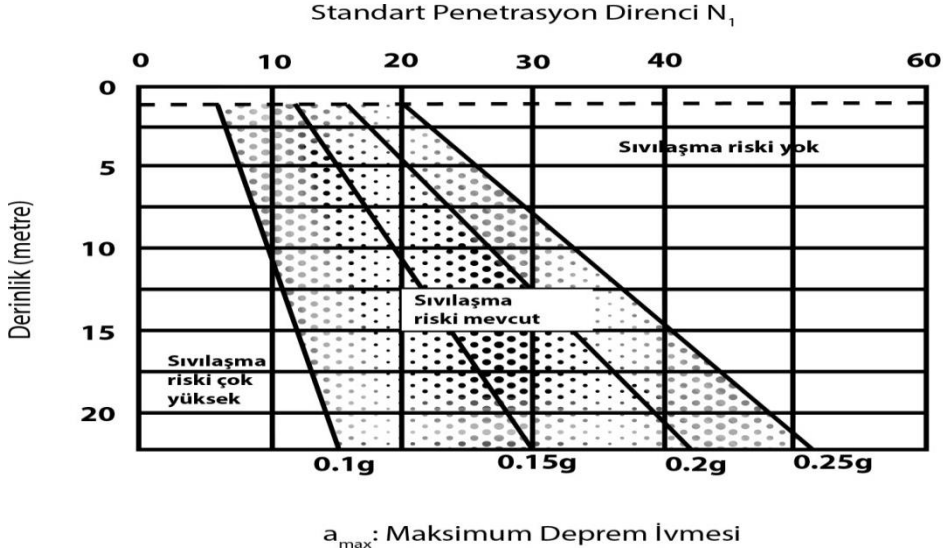
Tablo 3.1: Göreceli sıklığa göre zemin sınıflaması (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006' dan alınmıştır).

Relatif Sıklık (Dr)	Açıklama
0-15	Çok Gevsek
15-35	Gevsek
35-65	Orta Sıkı
65-85	Sıkı
85-100	Çok Sıkı

İnce Tane Oranı ve Plastisite; İnce dane içeren kumların sıvılaşması, ince dane içermeyen kumlara göre daha fazla olduğu gözlenmiştir. İnce dane yüzdesi ($< \%10$ ise), ince danelerin plastisite indisi ($PI < 10$) sıvılaşma olasılığı yüksektir. İnce taneli zeminlerde sıvılaşma duyarlılığında dane boyutundan çok plastisite önemlidir. Arazide sıvılaşma olasılığının belirlenmesinde kullanılan çalışmalarda SPT darbe sayısı veya konik penetrasyon testi (CPT) ölçümlerine dayanan yöntemlerde zeminin ince tane oranı mutlaka dikkate alınmalıdır (Tatsuoka ve ark., 1980). İnce taneli materyalin siltli ya da killi olması, daha da önemlisi plastik veya plastik olmayan özellik göstermesi durumunda zemin çevrimsel mukavemetinde tutarlı farklılıklar olduğu gerçeği birçok araştırmacı tarafından kabul görmüştür (Polito, 1999). Bu konuda yapılan çalışmaların büyük çoğunluğunda zeminde plastik ince tane olması durumunda zeminin sıvılaşmasının arttığı bildirilmektedir.

Standart Penetrasyon Değerleri; Sıvılaşma potansiyeli SPT verileri kullanılarak belirlenebilmektedir. Zemin sıklığı açısından, SPT sayısı yüzeye yakın yerlerde $N < 10$ ve 20 m derinlikte $N < 20$ olan özellikle düşük göreceli sıklıktaki kumlu yerler, sıvılaşabilir uygun ortamları oluşturur (Seven, 2008).

Sıvılaşma potansiyelini belirlemek için, suya doygun ayrık taneli zemin için SPT değeri ve maksimum ivmeden yararlanılmıştır (Iwasaki, 1984). Bu korelasyon Şekil 3.8’de görülmektedir.

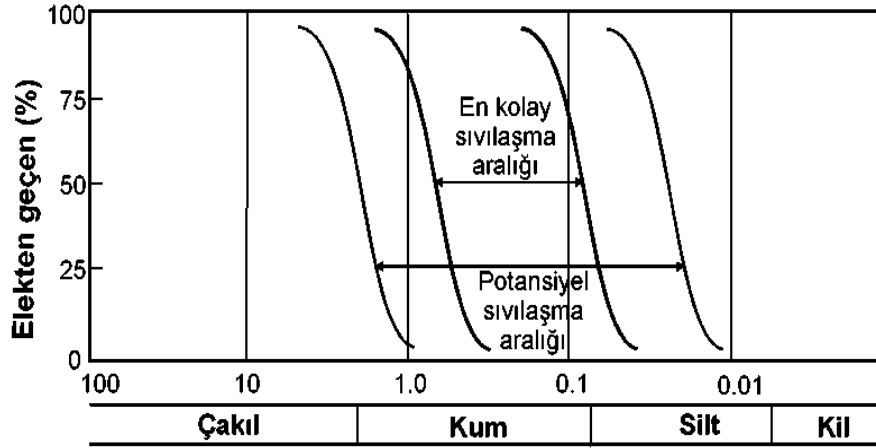


Şekil 3.8: SPT değerleri ve amax değerleri (Iwasaki, 1984).

Tane Şekli ve Yapısı; Zeminin tane şeklide sıvılaşma potansiyelini etkileyebilir. Örneğin yuvarlak taneli zeminler, köşeli zemin tanelerinden daha kolay sıkışma eğilimindedir. Dolayısıyla yuvarlak zemin partikülleri için bir zemin, sıvılaşmaya karşı köşeli zemin partikülleri içeren bir zeminden daha duyarlıdır (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006).

Tane Boyu; Üniform derecelenmiş plastik olmayan zeminler, iyi derecelenmiş zeminlere göre daha fazla sıvılaşma duyarlılığına sahiptirler. Bunun sebebi iyi derecelenmiş zeminlerde büyük taneler arasını doldurabilecek küçük tanelerin varlığıdır. İyi derecelenmiş zeminler de bu durum deprem esnasında boşluk suyu basıncının aşırı artışına engel olarak, zeminin hacimsel büzülmesinin azalmasına neden olmaktadır (Şekil 3.9).

Bugüne kadar meydana gelmiş depremlerde, kötü derecelenmiş zeminlerin, iyi derecelenmiş zeminlere göre, boşluk oranlarının çok yüksek olması nedeni ile sıvılaşma açısından daha hassas oldukları görülmüştür (Ishihara, 1985). Temiz kumlar ve siltli-kumlu zeminler, üniform zeminler ve yuvarlaklaşmış taneler içeren zeminler sıvılaşmaya karşı daha duyarlıdırlar.



Şekil 3.9: Sıvılaşma zemin kompozisyonu ilişkisi (Port ve Harbour Research Institute of Japan, 1997; Ulusay, 2010'dan alınmıştır).

Zeminin Drenaj Koşulları; Özellikle çevrimsel yüklemelerde, zemin içerisinde dağılmasına izin verilen boşluk suyu basıncı hızı sıvılaşmanın olup en önemli faktörlerden biridir (Wong ve ark., 1974). Aşırı boşluk suyu basıncının hızlı sönümlenmesi durumunda zemin sıvılaşmayabilir. Böylece, çok yüksek geçirimli çakıl drenler veya çakıl tabakalara bitişik zeminlerde sıvılaşma potansiyeli azalır (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006).

Yer altı su seviyesi ve sıvılaşabilir zemin derinliği; Sıvılaşma için en elverişli koşullar, yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın olduğu zaman ortaya çıkar. Yeraltı su seviyesinin üzerinde yer olan ve suya doymun olmayan zeminlerin sıvılaşması söz konusu değildir (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006). Sıvılaşma olayının gözlemlendiği çoğu bölgelerde yer altı su seviyesi derinliği 3 m'den daha az olup, sadece birkaç olayda 3-4 m arasında değişmektedir. Yer altı su seviyesinin 5 m'nin üzerinde olduğu bölgelerde sıvılaşma olayı gözlenmemiştir (Wang ve Law, 1994).

Sıvılaşma oluşumu efektif düşey gerilme tarafından kontrol edilmektedir. Günümüze değin meydana gelen sıvılaşma olayları incelendiğinde 15 m'nin altındaki derinliklerde rapor edilmiş bir sıvılaşma olayı gerçekleşmemiştir (Derinöz, 2004). Bu durum, bu derinlikte meydana gelen sıvılaşma olayı etkilerinin yüzeye ulaşmadığını ya da belirli bir derinliğin altında sıvılaşma meydana gelmediğini göstermektedir.

3.3.2.2 Jeolojik Şartların Sıvılaşmaya Etkisi

Sıvılaşma her zeminde ve her koşulda meydana gelen bir davranış biçimi olmayıp, belirli jeolojik ortamlarda ve hidrojeolojik koşullar altında gerçekleşir. Tablo 3.2'den de görüldüğü üzere genç ve gevsek çökeller sıvılaşma için en uygun ortamlardır. Holosen yaşlı (10 000 yıldan daha genç) delta, akarsu, taşkın ovası ve kıyı ortamlarındaki çökeltme süreçleri sonucunda birikmiş çökeller sıvılaşmaya karşı son derece duyarlıdır (Strahler, 1974; Forbes, 1985; Bradshaw ve ark., 1989; Coates, 1990; Erinç 2000).

Sıvılaşma hassaslığı zemin biriminin jeoteknik özellikleri ve topoğrafik durumu ile yakından ilişkilidir. Bölgedeki mevcut depremsellikten bağımsızdır. Sıvılaşma hassaslığına etki eden faktörler; çökeltme koşulları, birimin yaşı, jeolojik geçmişi, yer altı suyu derinliği, tane çapı dağılımı, yoğunluğu, derinliği ve eğimidir (Siyahi ve ark., 2003).

3.3.2.3 Yer Hareketlerinin Sıvılaşmaya Etkisi

Zeminin hacimsel büzülmesine ve aşırı boşluk suyu basıncının gelişmesine neden olan kayma deformasyonlarını, yer hareketinin ivme ve sarsıntı süresi gibi özellikleri belirler. Sıvılaşmanın en yaygın nedeni, deprem anında açığa çıkan sismik enerjidir. Deprem şiddeti ve sarsıntı süresi artarken, sıvılaşma için potansiyel de artmaktadır. Yüksek büyüklükteki depremler, hem büyük yer ivmesi hem de daha uzun süreli yer sarsıntı üretir (Tablo 3.3) (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006).

Zeminin hacimsel büzülmesine ve aşırı boşluk suyu basıncının gelişmesine neden olan kayma deformasyonlarını, yer hareketinin ivme ve sarsıntı süresi gibi özellikleri belirler. Sıvılaşmanın en yaygın nedeni, deprem anında açığa çıkan sismik enerjidir. Deprem şiddeti ve sarsıntı süresi artarken, sıvılaşma için potansiyel de artmaktadır. Yüksek büyüklükteki depremler, hem büyük yer ivmesi hem de daha uzun süreli yer sarsıntı üretir (Tablo 3.3) (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006).

Tablo 3.2: Deprem sırasında sıvılaşabilecek zeminlerin tahmini hassaslıkları (Youd ve Hoose (1977; Youd ve Perkins, 1978).

Zemin Tipi	Zemindeki kohezyonsuz bileşenin genel dağılımı	Zeminlerin Doymun Olduklarında Yaşlarına Göre Sıvılaşma Duyarlılıkları			
		>500 yıl	Holosen	Pleistosen	Pleistosen öncesi
a-)Kıtasal Bölge					
Nehir Yatağı	Bölgesel Değişken	Çok Yüksek	Yüksek	Düşük	Çok Düşük
Sel ovaları	Bölgesel Değişken	Yüksek	Orta	Düşük	Çok Düşük
Alüvyon ova ve yelpazesi	Yaygın	Orta	Düşük	Düşük	Çok Düşük
Deniz taraçası ve ovası	Yaygın	-	Düşük	-	Çok Düşük
Delta ve delta yelpazası	Yaygın	Yüksek	Orta	Düşük	Çok Düşük
Gölsel	Değişken	Yüksek	Orta	Düşük	Çok Düşük
Kolüvyon	Değişken	Yüksek	Orta	Düşük	Çok Düşük
Talus	Yaygın	-	Düşük	-	Çok Düşük
Kum Tepecikleri	Yaygın	Yüksek	Orta	Düşük	Çok Düşük
Lös	Değişken	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Bilinmiyor
Buzul etkisi	Değişken	Düşük	Düşük	Çok Düşük	Çok Düşük
Tüf	Seyrek	Düşük	Düşük	Çok Düşük	Çok Düşük
Tempra	Yaygın	Yüksek	Yüksek	? ?	
Yerinde oluşan zemin	Seyrek	Düşük	Düşük	Çok Düşük	Çok Düşük
Sebka	Bölgesel Değişken	Yüksek	Orta	Düşük	Çok Düşük
b-)Kıyusal Bölge					
Delta	Yaygın	Çok Yüksek	Yüksek	Düşük	Çok Düşük
Esturin	Bölgesel Değişken	Yüksek	Orta	Düşük	Çok Düşük
Kumsal yüksek dalga enerjisi	Yaygın	Orta	Düşük	Çok Düşük	Çok Düşük
Kumsal düşük dalga enerjisi	Yaygın	Yüksek	Orta	Düşük	Çok Düşük
Gölsel	Bölgesel Değişken	Yüksek	Orta	Düşük	Çok Düşük
Sahil	Bölgesel Değişken	Yüksek	Orta	Düşük	Çok Düşük
c-)Yapay					
Sıkıştırılmamış Bölge	Değişken	Çok Düşük	-	-	-
Sıkıştırılmış Bölge	Değişken	Düşük	-	-	-

Belirli bir çevre basıncında, sıvılaşma mukavemeti zemin relatif sıklığına bağlı olarak artmakta olup, sabit bir zemin sıklığında ise sıvılaşma mukavemeti artan çevre basıncına bağlı olarak artmaktadır (Kramer, 1996). Zemin çevre basıncı

ne kadar yüksek olursa sıvılaşma potansiyeli de o denli artmakta olup, zeminin sıvılaşması için daha küçük miktarda bir sarsıntı yeterli olmaktadır.

Sıvılaşma olayının başlangıç enerjisi yer hareketleri tarafından sağlandığından, deprem odaklarının, sıvılaşma riski incelen bölgelere olan uzaklıkları da önemlidir (Ündül ve Gürpınar, 2003).

Tablo 3.3: Deprem karakteristikleri Modifiye Mercalli Şiddet derecesi arasındaki ilişkiler (Yeats vd., 1997; Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006' dan alınmıştır).

<i>Yerel Büyüklük (M_L)</i>	<i>Fay yırtılması yakınındaki tipik maks yatay yer ivmesi (a_{maks})</i>	<i>Fay yırtılması yakınındaki tipik deprem süresi</i>	<i>Fay yırtılması yakınındaki tipik Modifiye Mercalli Şiddet derecesi</i>
≥ 2	-	-	I-II
3	-	-	III
4	-	-	IV-V
5	0.09g	2s	VI-VII
6	0.22g	12s	VII-VIII
7	0.37g	24s	IX-X
≥ 8	≥0.50g	≥34s	XI-XII

3.3.3 Sıvılaşma Analizi

3.3.3.1 Sıvılaşma Değerlendirme Ölçütleri

Zemin sıvılaşma analizlerinde ilk yapılması gereken, zemin profilinde sıvılaşabilecek zemin tabakalarının bulunup bulunmadığının belirlenmesidir. Sıvılaşma potansiyelinin olabileceği zemin koşullarını belirlemek amacıyla arazideki zemin koşulları incelenir, arazi ve laboratuvar deneylerinden yararlanır.

Jeofizik verilere göre yapılan hesaplamalarda genellikle depremin oluşturacağı ivme üzerine yoğunlaşmıştır. Jeoteknik verilere dayalı hesaplamalarda ise genelde dane boyutları ve içsel gerilmeler esas alınmıştır. Arazi deneyleri sonuçlarına göre yapılan sıvılaşma analizinde, deprem sırasında sıvılaşmaya karşı koyacak çevrimli kayma gerilmesi ve deprem sırasında zemin tabakasına etkiyecek çevrimli (tekrarlı) kayma gerilmeleri hesaplanır. Kohezyonsuz zeminlerde, gerilme oranının dayanım oranını aştığı durumda sıvılaşma gerçekleşir.

Sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi çok genel bir değerlendirmeden (1.derece) ayrıntılı değerlendirmeye (3. derece) kadar olmak üzere, 3 aşamada ele alınabilir (Ulusay 2010). Ulusay (2010), TCEGE (Technical Committee for Earthquake Geotechnical Engineering, 1999)'a dayanarak, bu aşamalar için izlenecek yöntemleri önermektedir.

1. aşama değerlendirme yöntemleri:

Bu değerlendirme yöntemi, çok genel kavramları içermekte olup, jeolojik ve/veya jeomorfolojik ölçütleri esas alır. Bu aşamada amaç; sıvılaşmaya karşı duyarlı ve duyarsız olabilecek alanları jeolojik ve/veya jeomorfolojik özelliklere göre ayırtlayarak, daha ayrıntılı şekilde incelenmesi gereken bölgeleri belirlemektir. Ayrıca bu haritalarda, geçmişte sıvılaşmanın meydana geldiği yerler varsa, bunlar da gösterilebilirse değerlendirme açısından daha yararlı olur (Ulusay, 2010). Bunun yanı sıra, mevcut kayıtlardan yapılan değerlendirmeye göre incelenen alanın deprem aktivitesi biliniyorsa, tahmin edilen depremin büyüklüğünden ve inceleme alanının deprem kaynağına olan uzaklığından yola çıkılarak, sıvılaşmaya maruz kalma olasılığı olan yerler tahmin edilebilir (Ulusay, 2010).

2. aşama değerlendirme yöntemleri:

1. aşama değerlendirme yönteminde esas alınan jeolojik ve/veya jeomorfolojik ölçütler ile zemin özellikleri arasında doğrudan ve tek bir ilişki olmadığı için, 1. aşama kapsamında hazırlanmış sıvılaşma potansiyeli haritaları yeterli olamamakta ve tanımlayıcı bilgi sağlayamamaktadır. Bu nedenle 2. aşama değerlendirmelerde,

(a) Jeomorfolojik ve jeolojik özelliklerin ayrıntılı olarak tanımlanması için hava fotoğraflarından yararlanılması,

(b) Sıvılaşmaya karşı duyarlı birimlerin arazi çalışmalarıyla ayırtlanıp gruplandırılması,

(c) Herhangi bir taşkından kısa süre sonra çekilmiş hava fotoğrafları değerlendirilerek taşkın alanlarının ve sediman birikiminin belirlenmesi ve

(d) geçmişteki depremlerde meydana gelmiş sıvılaşmalar hakkında yerel halktan bilgi toplanması (Ulusay, 2010).

Bu hususların yanı sıra, aşağıda verilen jeolojik ve jeomorfolojik ölçütlerin 2. aşama kapsamında kullanılması da önerilmektedir (Ulusay, 2010).

Sıvılaşma olayının her hangi bir yerde gelişip gelişmeyeceğinin değerlendirilmesine yönelik ölçütleri 4 grup altında toplamak mümkündür (Ulusay, 2010). Bu ölçütler;

-Jeolojik Ölçütler: Genç (Holosen) yaşlı zeminlerde taneler arasındaki çimentolanma (bağlanma) derecesinin daha düşük olması nedeniyle bu zeminler sıvılaşmaya karşı daha duyarlıdır.

-Jeomorfolojik Ölçütler: Aşağıdaki jeomorfolojik unsurlar sıvılaşmanın gözlenebileceği alanlar olarak sıralanabilir (Iwasaki vd., 1982). a.) Güncel ve eski akarsu yatakları ve ovalar, b)Yelpazeler, kum barları, taşkın düzlükleri, plaj ve diğer düzlükler ve c)Eğimli topoğrafyalar (tepe ve dağlık alanlar)

-Zemin kompozisyonu: Temiz kumlar ve siltli-kumlu zeminler, kötü derecelenmiş zeminler ve yuvarlaklaşmış taneler içeren zeminler sıvılaşmaya karşı daha duyarlıdır.

-Ampirik sıvılaşma analizi ölçütleri: Zeminin dayanımının bir ölçütü olan tekrarlı dayanım oranı (CRR) ile depremin o noktadaki tekrarlı gerilim oranına (CSR) bölünmesi ile elde edilen güvenlik katsayısına bağlı olarak yapılan bir değerlendirme yaklaşımıdır.

3. aşama değerlendirme yöntemleri (sıvılaşma analizleri):

Yukarıda belirtilen iki aşama ve bunların kapsadığı yöntemler sadece jeolojik ve jeomorfolojik koşulları esas almakta olup, depremin ve zeminin özelliklerini göz ardı etmektedir. Dolayısıyla bu yöntemler; sıvılaşmanın ayrıntılı şekilde değerlendirilmesi, ayrıca tasarım yapılması ve zemin iyileştirme çalışmalarına yön verilmesi gibi konularda yetersiz kalmaktadır (Ulusay, 2010). Bu nedenle, sıvılaşma potansiyelinin zeminin ve depremin özelliklerinin birlikte dikkate alındığı görgül çözümlene teknikleriyle veya dinamik laboratuvar deney sonuçlarının kullanıldığı analizlere göre değerlendirilmesi en sağlıklı yöntemdir. Bu yöntemler başlıca, arazide gözlenen zemin davranışı ile değişik indeks deneyler arasındaki

karşılaştırmalara dayanan görgül ilişkiler ve örselenmemiş örnekler üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri olmak üzere aşağıdaki gibi gruplandırılır (Ulusay, 2010).

(a) Arazi penetrasyon deneylerinin verisini esas alan görgül yöntemler:

- Standart penetrasyon deneyinin (SPT) verisi esas alınarak tekrarlı gerilme oranının belirlendiği yöntemler,

- Konik penetrasyon deneyinin (CPT) verisi esas alınarak tekrarlı gerilme oranının belirlendiği yöntemler.

(b) Makaslama dalga hızı esas alınarak tekrarlı gerilme oranının belirlendiği yöntem

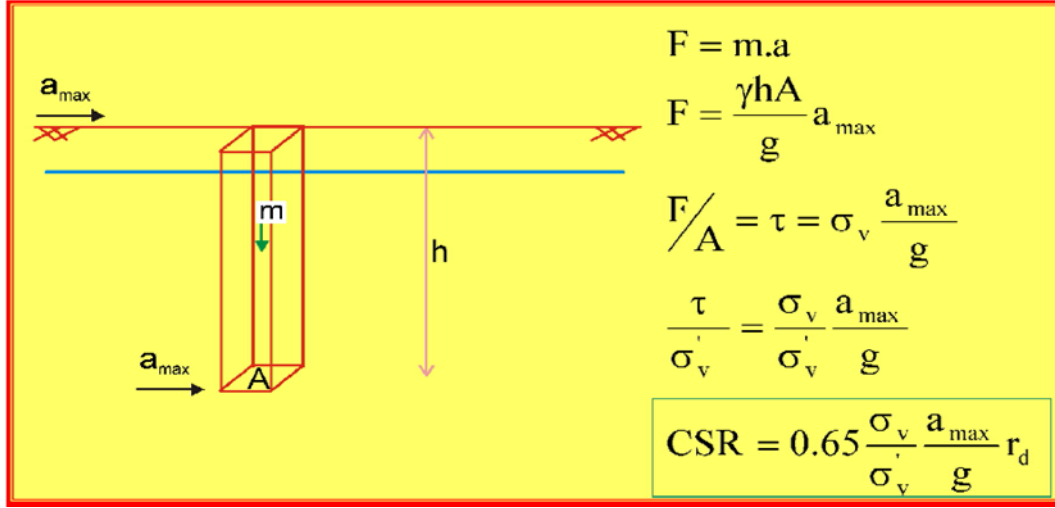
(c) Çakıllı malzemeler için Becker penetrasyon deneyinin (BPT) verisi esas alınarak tekrarlı gerilme oranının belirlendiği yöntem.

(d) Laboratuvarda örselenmemiş örnekler üzerinde yapılan dinamik üç eksenli deney yöntemi.

3.3.3.2 SPT Deneyi Esas Alınarak Zemin Tabakalarının Sıvılaşmaya Karşı Güvenlik Sayısının (F_s) Bulunması

Verilerinin kolay elde edilişi, daha önceki depremlerde elde edilmiş verilerden hazırlanan veritabanının olması ve bu verilerin oluşabilecek yeni depremlerle korelasyonunun iyi olması nedeni ile sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesinde SPT çok kullanılan bir arazi deneyi olarak önemli bir yer kazanmıştır (Youd vd., 2001). Çalışılan bölgenin sıvılaşma potansiyelinin belirlenip değerlendirilebilmesi için, SPT deneyi sonuçları ve bu sonuçlara göre hesaplanan düzeltilmiş SPT değerleri, birim hacim ağırlık, yer altı su seviyesi ve bölgede tahmin edilen deprem büyüklüğü bilinmelidir. Sıvılaşma olasılığının hesaplanabilmesi ya da tahmini için tekrarlı gerilme oranı ve tekrarlı direnç oranı hesaplanmalıdır.

Tekrarlı Gerilim Oranı (CSR): Depremin analizi yapılan noktada oluşturacağı tekrarlı gerilim oranı (CSR), Seed ve Idriss (1971) tarafından önerildiği şekliyle, bir zemin kolonunun kütlelerinin tabanındaki alana etkiyen deprem ivmesi ile çarpımı şeklinde ifade edilen ($F=m.a$) eşitliği esas alınarak Şekil 3.10 'deki gibi hesaplanır.



Şekil 3.10: Zemin kolonunun tabanında tekrarlı gerilim oranının (CSR) hesaplanması (Sönmez, 2011'den alınmıştır).

Yukarıdaki şekilde a_{\max} gal cinsinden maksimum yatay yer ivmesidir. r_d zemin kolonunun sonsuz rijit olmamasından kaynaklanan bir düzeltmedir. m : zemin kolonunun kütlesi, γ : zeminin birim hacim ağırlığı, g ise gal cinsinden yer çekimi ivmesidir. σ_v ve σ'_v ise sırasıyla düşey gerilme ile efektif düşey gerilmedir.

Zemin kolunu sonsuz rijit bir malzeme olmadığından, buna ilişkin düzeltme r_d parametresi ile yapılmaktadır. a_{\max} 'ın deprem sürecince etkiyen anlık en yüksek değer olmasından kaynaklanan bir indirgeme ise 0.65 katsayısı kullanılarak yapılmaktadır (Seed ve Idriss, 1971).

Youd vd. (2001) r_d için ortalama değerini aşağıdaki eşitlikle de belirlenebileceğini ifade etmişlerdir. Burada z metre cinsinden derinliktir.

$$r_d = \frac{(1.00 - 0.4113z^{0.5} + 0.0452z + 0.001753z^{1.5})}{(1.000 + 0.4177z^{0.5} + 0.05729z - 0.006205z^{1.5} + 0.001210z^2)} \quad (3.2)$$

Tekrarlı Dayanım Oranı (CRR): Tekrarlı dayanım oranı (CRR), en basit tanımıyla zeminin sıvılaşmaya karşı dayanımının bir ifadesidir. Tekrarlı dayanım oranı Standart Penetrasyon Testi (SPT), Konik Penetrasyon Testi (CPT), Backer Penetrasyon Testi (BPT) veya makaslama dalgası hızı (V_s) gibi bazı arazi deneyleri ile belirlenebildiği gibi, özel koşullarda ve özel yöntemlerle alınmış örselenmemiş örnekler üzerinde yapılacak dinamik üç eksenli deneysel çalışmalar ile de belirlenebilmektedir (Youd vd., 2001). Literatürde bazı araştırmacıların (Seed ve

DeAlba, 1986; Tokimatsu ve Yoshimi, 1983) benzer ilişkiler ile tanımladığı CRR ile SPT-N arasındaki ilişki için Youd vd. (2001)'de verildiği gibi kullanımı önerilmektedir. Temiz kumlar (İTO<%5) için Mw=7.5. büyüklüğündeki bir deprem de (N₁)60 (düzeltilmiş SPT-N) değeri ile CRR'nin belirlenmesi ve ince tane oranı (İTO, #200 elek altına geçen malzeme miktarı) dikkate alınarak bir düzeltmenin yapılması şeklinde yaklaşım özetlenebilir. (N₁)60cs değerinin 30'dan büyük olması durumunda zeminin sıvılaşamayacak derecede sıkı olduğu kabul edilmektedir. Hesaplamalarda pratik değerinin artması için aşağıdaki eşitliklerin kullanılması önerilmiştir (Youd vd., 2001).

$$CRR_{7.5} = \frac{1}{34 - (N_1)60cs} + \frac{(N_1)60cs}{135} + \frac{50}{[10(N_1)60cs + 45]^2} - \frac{1}{200} \quad (3.3)$$

İnce tane oranı (İTO) için düzeltme:

Burada α ve β aşağıdaki bağıntılardan elde edilen değişkenlerdir (Youd vd., 2011).

$$(N_1)60cs = \alpha + \beta (N_1)60 \quad (3.4)$$

$$\alpha = 0 \quad \text{İTO} \leq \%5 \quad (3.4a)$$

$$\alpha = \exp \left[1.76 - \left(\frac{190}{\text{İTO}^2} \right) \right] \quad \%5 < \text{İTO} \leq \%35 \quad (3.4b)$$

$$\alpha = 5.0 \quad \text{İTO} > \%35 \quad (3.4c)$$

$$\beta = 1 \quad \text{İTO} \leq \%5 \quad (3.4d)$$

$$\beta = \left[0.99 + \frac{\text{İTO}^{1.5}}{1000} \right] \quad \%5 < \text{İTO} \leq 35 \quad (3.4e)$$

$$\beta = 1.2 \quad \text{İTO} > \%35 \quad (3.4f)$$

SPT-N değerindeki diğer düzeltmeler ise Tablo 3.4 'deki gibi uygulanır ve (N₁)60 aşağıdaki gibi hesaplanır (Eşitlik 3.5) (Youd vd., 2001).

$$(N_1)60 = SPT - (C_N C_E C_B C_R C_S) \quad (3.5)$$

N : 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

C_S : Numune alma metodu düzeltme katsayısı

Standart Penetrasyon deneyi ait diğer bilgiler ve hesaplanması bölüm 5.2.1' de verilmiştir.

Tablo 3.4: (N1)60'nın belirlenmesi için kullanılan düzeltme katsayılarının seçimi (Youd vd., 2001).

Faktör	Ekipman Değişkeni	Sembol	Düzeltilme
Örtü Yükü Basıncı (Overburden pressure)		C_N	$C_N = (P_a / \sigma'_v)^{0.5}$ $C_N \leq 2.00$ $P_a = 100 \text{Kpa}$ veya 1atm
Enerji Oranı	1-Donut Türü Çekiç 2-Safety Türü Çekiç 3-Automatic-Trip Donut- Türü Çekiç	C_E	0.5 - 1.0 0.7 - 1.2 0.8 - 1.3
Kuyu Çapı	1-65 mm ile 115 mm 2-150 mm 3-200 mm	C_B	1.00 1.05 1.15
Tij Uzunluğu	1-3m ile 4m 2-4m ile 6m 3-6m ile 10m 4-10m ile 30m 5- >30m	C_R	0.75 0.85 0.95 1.00 >1.00

Seed ve Idriss (1971) tarafından önerilen tekrarlı gerilme oranı yöntemiyle güvenlik sayısı olan F_s ; bilinen bir zeminde sıvılaşmanın başlayabilmesi için gerekli olan tekrarlı kayma gerilmesinin, büyüklüğü bilinen bir depremin aynı zeminde meydana getireceği ortalama kayma gerilmesine oranıyla ifade edilmekte ve aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmaktadır (Seed and Idriss, 1971).

$$F_s = \left(\frac{CSR}{CRR} \right) \quad (3.6)$$

$F_s > 1$ ise sıvılaşma olasılığı yok.

$F_s < 1$ ise sıvılaşma olasılığı var.

Ancak tasarımda 1 gibi kritik bir güvenlik katsayısı dikkate alınmaz, mühendislik yorumu da dikkate alınır. Güvenlik sayısı değerinin 1 olması durumu denge sayılsa bile bunlar yalnız teorik değerler olarak kalmaktadır. Bir başka deyişle Güvenlik sayısı 1 den büyük olan bir zemin tabakası bir deprem sırasında sıvılaşabilir (Seed and Idriss, 1971).

Çevrimli direnç oranı (CRR) hesabı için geliştirilen yukarıdaki yöntemlerde, $M=7.5$ büyüklüğündeki depremler için denklemler oluşturulmuştur. Farklı deprem büyüklükleri için düzeltme faktörü (MSF) kullanılmaktadır (Seed and Idriss, 1982).

$$MSF = \left(\frac{10^{2.24}}{M^{2.56}} \right) \quad (\text{Seed and Idriss, 1971}) \quad (3.7)$$

$$F_s = \left(\frac{CRR}{CSR} \right) \times MSF \quad (\text{Seed and Idriss, 1971}) \quad (3.8)$$

MSF; Deprem büyüklüğü düzeltme faktörü,

M; Deprem büyüklüğü' dür.

Sıvılaşma analizlerinden her bir zemin tabakası için bulunan güvenlik sayıları sıvılaşma potansiyelinin bulunmasında tek başlarına yeterli değildir. Sıvılaşma hassasiyeti ayrıca farklı zemin formasyonlarının kalınlığına ve yüzeyden olan derinliklerine de bağlıdır (Sönmez ve Gökçeoğlu, 2005). Sıvılaşma potansiyeli haritalarının oluşturulmasında her bir (sondaj) lokasyonu için sıvılaşma potansiyelini (olasılığını veya değerini) gösterecek tek bir değere ihtiyaç vardır. Bu nedenlerle bir zemin profilinin tümü için sıvılaşma potansiyelini ifade edecek tek bir değer elde edilmesini sağlayacak değişik yöntemler geliştirilmiştir. Bunlara örnek olarak Iwasaki vd. (1982), Chen ve Juang (2000), Juang vd. (2003), Sönmez (2003,2005) çalışmaları gösterilebilir.

3.3.3.3 Zemin Profili İçin Sıvılaşma Potansiyelinin Bulunuşu

Sıvılaşmanın şiddeti, zemin seviyesinin kalınlığına, yüzeyden derinliğine, güvenlik katsayısına bağlıdır. Iwasaki vd. (1982) bu üç etkiyi birlikte içeren Sıvılaşma İndeksi (LI) adıyla literatürde yer alan, sondaj lokasyonu için yüzeyden 20 m derinliğe kadar sıvılaşmanın şiddetinin değerlendirilmesine yönelik eşitlikleri aşağıda sunulan bir yaklaşım önermiştir.

$$\int_{z=0}^{z=20} W(z) F(z) dz \quad (3.9)$$

$$z < 20 \text{ m} \quad W(z) = 10 - 0.5z \quad (3.9a)$$

$$z \geq 20 \text{ m} \quad W(z) = 0 \quad (3.9b)$$

$$FS < 1 \quad F(z) = 1 \quad (3.9c)$$

$$FS \geq 1 \quad F(z) = 0 \quad (3.9d)$$

Burada; IL; Sıvılaşma indeksi, z; tabaka orta noktasının derinliği, W; Sıvılaşma potansiyeli azaltma faktörü, FS; Güvenlik sayısı' dır.

Iwasaki (1982) yöntemiyle sıvılaşma analizinde, bölüm 3.3.3.2'de anlatılan yöntemle göre hesaplanan güvenlik sayıları kullanılmıştır. Iwasaki vd.(1982) tarafından önerilen yukarıdaki yaklaşım ile elde edilen Sıvılaşma İndeksi (LI) değeri aşağıdaki sınıflama kullanılarak yorumlanmaktadır (Tablo 3.5).

Tablo 3.5: Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi' ne göre sıvılaşma risk dereceleri (LI) (Iwasaki vd., 1982).

Sıvılaşma İndeksi (LI)	Sıvılaşma Potansiyeli
0	Çok Düşük
0-5	Düşük
5-15	Yüksek
>15	Çok Yüksek

Bu çalışmada inceleme alanındaki zemin tabakalarının sıvılaşma potansiyelinin hesaplanmasında Youd vd. (2001)' de verilen işlem sırası izlenmiştir. Aynı zamanda sıvılaşmanın zemin profili boyunca değerlendirilmesi için Iwasaki vd. (1982) tarafından önerilen yaklaşımı yeniden düzenleyerek geliştirilen Sönmez (2003) ve Lee vd. (2003) yöntemleri kullanılmıştır.

Iwasaki vd. (1982) tarafından önerilen Sıvılaşma İndeksinin iki önemli sınırlaması bulunmaktadır.

- i. Sıvılaşma potansiyeli olmayan ($FL \gg 1$) alanlar ayırtlanamaz
- ii. Orta sıvılaşma potansiyeli tanımlamada yer almıyor.

Bu iki sınırlamayı aşmak için Sönmez (2003), Iwasaki vd. (1982) tarafından önerilen yaklaşımı sınıflamasıyla birlikte aşağıdaki şekilde yeniden düzenlemiştir (Tablo 3.6). Bu yeniden düzenlenen yaklaşımda, yüzeyden 20 m derinliğe kadar tüm seviyelerde $FL > 1.2$ 'den büyük olması koşulunda sondaj lokasyonu için Sıvılaşma İndeksi $LI=0$ olmakta ve yeni sınıflamaya göre "Sıvılaşma yok" tanımı yapılmaktadır (Şekil 3.11). Ayrıca, "orta" tanımı da yapılan yeni düzenleme ile sınıflamaya dahil edilmiştir (Sönmez, 2003).

$$L_1 = \int_{z=0}^{z=20} W(z)F(z)dz \quad (3.10)$$

$$z < 20 \text{ m} \quad W(z) = 10 - 0.5z \quad (3.10a)$$

$$z \geq 20 \text{ m} \quad W(z) = 0 \quad (3.10b)$$

$$F(z) = 0 \quad F_L \geq 1.2 \quad (3.10c)$$

$$F(z) = 2 \times 10^6 e^{-18.427F_L} \quad 12 > F_L > 0.95 \quad (3.10d)$$

$$F(z) = 1 - F_L \quad F_L < 0.95 \quad (3.10e)$$

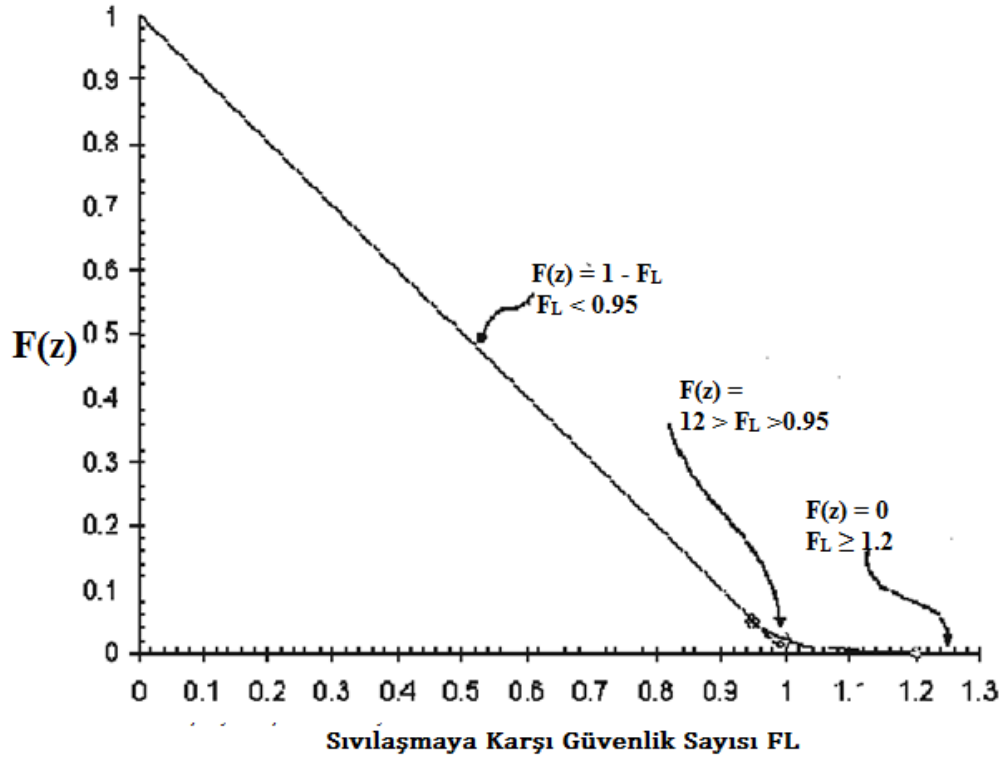
Tablo 3.6: Sıvılaşma İndeksi sınıflaması (Sönmez, 2003).

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

Teorik olarak güvenlik katsayısının 1.0'dan büyük değeri duraylılığı (sıvılaşma yok) ifade etmektedir. Ancak, örneğin deprem öncesinde 1.1 olarak hesaplanan güvenlik katsayısına sahip zemin seviyesinin hesaplama yönteminin ampirik olması ve girdi

parametrelerindeki belirsizliklerden dolayı deprem sırasında sıvılaştığını gözlemlemek olasıdır (Sönmez, 2003). Güvenlik katsayısının daha büyük olması durumunda da, örneğin $FL=1.32$, sıvılaşmanın gelişmesi söz konusu olabilir. Burada söylenebilecek en önemli tespit güvelik katsayısı daha yüksek olan seviyenin sıvılaşmaya karşı daha dirençli olabileceğidir (Sönmez, 2003). Bu nedenle, güvenlik katsayısına bağlı olarak sıvılaşabilirlik olasılık teorisi ile ifade edilmelidir. Böyle bir yaklaşımda artan güvenlik katsayısı değeri sıvılaşma olasılığının azaldığına işaret eder (Sönmez, 2003).

Sönmez (2003) tarafından önerilen yeni düzenlemelerdeki en büyük sınırlama “Sıvılaşma Yok” tanımı için ön görülen $FL > 1.2$ sınır değerindedir. Bu değerin sıvılaşma olayının gelişemeyeceğini ifade etmekte yeterli olup olmayacağı ne yazık ki tartışmaya açıktır (Sönmez ve Gökçeoğlu, 2005).



Şekil 3.11: Sıvılaşma İndeksi'nde güvenlik katsayısı bileşeninde yapılan yeniden düzenleme (Sönmez 2003).

Iwasaki vd. (1982) tarafından önerilen Sıvılaşma İndeksi (LI) eşitliğindeki güvenlik katsayısının yer aldığı bileşen PL ile yer değiştirilerek Lee vd. (2003) tarafından Sıvılaşma Riski İndeksi (IR) olarak tanımlanmıştır (Sönmez ve Gökçeoğlu, 2005)..

$$I_R = \int_{Z=0}^{Z=20} P_L W(z) dz \quad (3.11)$$

Ancak, Lee vd., (2003) tarafından verilen yaklaşımda IR değerinin yorumlanmasına yönelik bir sınıflama yer almamaktadır. Bununla birlikte, bu yaklaşım risk kavramını tanım olarak karşılayamadığından, daha sonrasında yukarıdaki eşitlikte “Sıvılaşma riski İndeksi” yerine Sönmez ve Gökçeoğlu, (2005) tarafından verilen “Sıvılaşma Şiddeti İndeksi, IS” terminolojik olarak tercih edilmiştir (Sönmez ve Gökçeoğlu, 2005).

$$I_S = \int_{Z=0}^{Z=20} P_L W(z) dz \quad (3.12)$$

$$P_L = \frac{1}{1+(F_L/0.95)^{4.5}} \quad (F_L \leq 1.411) \quad (3.12a)$$

$$P_L = 0 \quad (F_L > 1.411) \quad (3.12b)$$

Sönmez ve Gökçeoğlu (2005) tarafından önerilen Sıvılaşma Şiddeti İndeksi sınıflaması Tablo 3.7 'de verilmiştir.

Tablo 3.7: Sıvılaşma Şiddeti İndeksi (IS) Sınıflaması (Sönmez ve Gökçeoğlu, (2005)

Sıvılaşma Şiddeti İndeksi (I_S)	Tanımlama
$85 \leq I_S < 100$	Çok yüksek
$65 \leq I_S < 85$	Yüksek
$35 \leq I_S < 65$	Orta
$15 \leq I_S < 35$	Düşük
$0 < I_S < 15$	Çok düşük
$I_S = 0$	Sıvılaşma yok

4. GENEL JEOLJİ

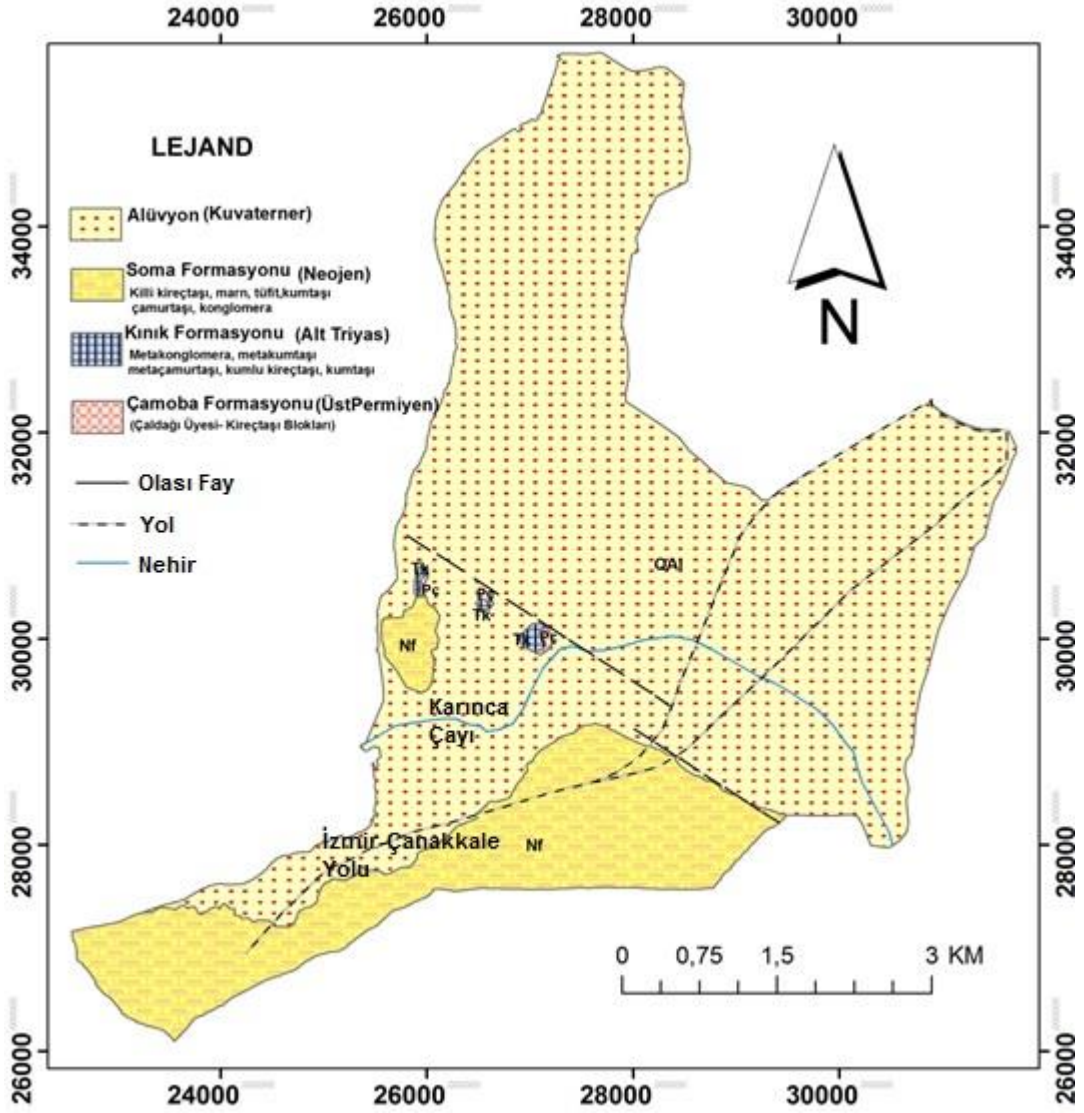
4.1 Giriş

Çalışma alanının temelini oluşturan Kınık Formasyonu olarak adlandırılan (Akyürek, 1989), metakonglomera, metakumtaşı, metaçamurtaşı, kumlu kireçtaşı, kumtaşından oluşan ve içinde Permiyen yaşlı Çaldağ Kireçtaşı üyesine ait değişik boyutlarda bloklar içeren birimdir.

Sistem	Seri	Formasyon	Litoloji	Tanımlama
Kuvaterner		Güncel Tortullar		Güncel kıyı ve akarsu sedimanları
Tersiyer	Üst Miyosen-Pliyosen	Rahmanlar		Andezitik volkanizma ürünü aglomera
		Soma		Gösel kireçtaşı, marn, kil ve silttaşı, tuf ve kumtaşı
		Yuntdağ		Andezit, bazaltik andezit, bazalt, tuf, silisifiye tuf, trakiandezit, trakit, dasit ve riylit içeren volkanik seri
Triyas	Alt Triyas	Balıca		Orta-kötü boylanmış andezit, bazalt, riylit, riadasit, trakiandezit çakılları içeren konglomera
		Kınık		Metaçamurtaşı, meta-kumtaşı, metavolkanitten oluşan metamorfik seri
Permiyen	Üst Permiyen	Çamoba Fms		Gri renkli, sert, yer yer kristalize, orta tabakalanmalı, bol fosil içeren kireçtaşı
		Çaldağ Uy.		

Şekil 4.1: İnceleme alanı ve yakın çevresinin stratigrafik kolon kesiti (Akgün, 2007' den değiştirilerek).

Daha üstte killi kireçtaşı, marn, silttaşı, tüfit, kumtaşı, konglomera, ardalanması ve bu kaya türlerinin bir veya birkaçının baskın olduğu kaya türlerinden oluşan Soma Formasyonu yer alır. Bu birimlerin aşınması ve taşınmasıyla oluşmuş alüvyon en üstte yer alıp tüm birimleri uyumsuz olarak üstlenmektedir. Çalışma alanına ait jeoloji haritası ve bu alanın genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti Şekil 4.1 ve Şekil 4.2' de verilmiştir.



Şekil 4.2: İnceleme alanının (Burhaniye) genel jeoloji haritası (İçöz vd. 2000' den yararlanılarak).

4.1.1 Stratigrafi

İnceleme alanı Balıkesir (Burhaniye) ilçesi ve yakın civarında yaşlıdan gence doğru aşağıdaki litostratigrafi birimleri yüzeylenmektedir (Şekil 4.1).

4.1.1.1 Çamoba Formasyonu (Üst Permiyen)

Bergama Kozak bölgesinde Çamoba köyünde Üst Permiyen Yaşlı kırıntılı ve kireçtaşlarından oluşan birbiriyle düşey ve yanal geçişli Çamoba Formasyonu olarak adlandırılan birim alttan üste doğru;

1. Hacıyusuf kumtaşı üyesi; çakıltaşı, kumlu kireçtaşı, kumtaşı,
2. Kırtaş kireçtaşı üyesi; oolitli ve pizolitli kireçtaşı,
3. Çaldağ Kireçtaşı üyesi; gri renkli kireçtaşı,
4. Şekerağa miltaşı üyesi; bordo, kırmızı renkli miltaşı, silttaşı ve
5. Kocakaya kireçtaşı üyesi; beyaz renkli kireçtaşı

üyelerinden oluşur (Akyürek ve Soysal, 1983). Ancak çalışma alanında bu formasyonun Üst Permiyen yaşlı Çaldağ Kireçtaşı üyesi bloklar halinde gözlenmektedir.

4.1.1.1.1 Çaldağ Kireçtaşı Üyesi (Üst Permiyen)

Çalışma alanında Ören Tepe' nin kuzeyinde, Küçük Tepe ve Koca Tepe mevkiinde gözlenir. Kireçtaşı gri-siyah renkli, orta-kalın katmanlı, yer yer rekristalizedir. Dayanımı yüksek ve az ayrıışmıştır. Kınık formasyonu içerisinde blok konumundadır. Bu olay Küçük Tepe mevkiinde enjeksiyonlar ve çamurtaşı ceplerinden anlaşılmaktadır. Bu birime MTA 1989' a göre Üst Permiyen yaşı verilmiştir (Akyürek, 1989; İçöz vd., 2000).

4.1.1.2 Kınık Formasyonu (Alt Triyas)

Bu birim inceleme alanındaki Kocatepe, Küçüktepe ve Örentepe mevkiilerinde yayılım gösterir. Bu formasyon ilksel halini korumuş metakonglomera, metakumtaşı, metaçamurtaşı, kumlu kireçtaşı, kumtaşından oluşur. İçinde Permiyen yaşlı Çaldağ kireçtaşı üyesine ait değişik boyutlarda bloklar bulunur. Kınık formasyonu sarı, boz, kahverengi ve gri renkli, ince-orta katmanlı ve kıvrımlıdır (Akyürek, 1989; İçöz vd., 2000).

Kınık formasyonu fosilce çok fakirdir. Çalışma alanının dışında kumlu kireçtaşı bantlarında bulunmuş olan *Meandrospira cf. Pusilla* fosili ile birimin yaşı Alt Triyas olarak belirlenmiştir (Akyürek, 1989; İçöz vd., 2000).

4.1.1.3 Soma Formasyonu (Üst Miyosen- Pliyosen)

Birim çalışma alanının güneyinde ve Ören Tepe 'de küçük bir yüzlekte gözlenmektedir. Killi kireçtaşı, marn, tüfit, kumtaşı, çamurtaşı, konglomera ardalanmasından oluşur. Soma formasyonu genellikle beyaz, sarı, grimsi renkte ve ince-orta katmanlıdır. Yatay ve yataya yakın katmanlanma sunup, konumu K70D\15KB, K56D\8KB, K75D\20KB şeklindedir. Birim en iyi Taylıeli köyü civarında izlenmektedir. Birimin sıkışma nedeniyle kazandığı ondülasyonlu yapı karakteristiktir. Killi karbonatlı düzeyleri bazen laminalıdır. Bu formasyon içinde bulunan saz ve yaprak fosillerine dayanarak birimin gösel veya sığ denizel bir ortamda çökeldiği anlaşılır.

Ayrıca birim içerisinde gözlenen *Miocyprideis sp.*, *Candona meglecta* fosillerine dayanarak birimin yaşı Üst Miyosen- Pliyosen olarak saptanmıştır (Akyürek, 1989; İçöz vd., 2000).

4.1.1.4 Alüvyon (Kuvaterner)

Çalışma alanında Kuvaterner yaşındaki tortul oluşumlar Holosen devrine ait eski ve yeni alüvyonları ile birikinti konileridir. Ovanın büyük bir kısmını meydana getiren alüvyonlar çeşitli irilikte blok, çakıl, kum, silt ve kilden meydana gelmiştir.

Çalışma alanının büyük bir bölümünde kumlu, siltli, killi tabakalar halinde gözlenmektedir. Batıda denize yakın kesimlerde kil hakimdir. Burhaniye Havran çayının taşıyıp getirdiği malzeme ve Karınca deresinin taşkın sahası arasında yer almaktadır. Alüvyonu oluşturan bileşenler mermer, kuvarsit, yeşilist, gri kireçtaşı, granit, kumtaşı, yeşil-kırmızı andezit çakıllarıdır. Burhaniye ilçe merkezinden, sahil kesimine doğru alüvyonun tane boyu küçülmektedir (İçöz vd., 2000).

4.1.2 Burhaniye (Balıkesir) Çevresinin Yapısal Jeolojisi ve Depremsellik

Türkiye, Alp-Himalaya tektonik kuşağında yer almaktadır. Yörenin tektonik yapısının şekillenmesinde Avrasya, Afrika, Arap, Ege, Ege-Anadolu ve Karadeniz levhaları arasındaki göreceli hareketler etkili olmuştur (Şekil 4.3). Afrika ve Arap levhalarının Avrasya levhasına göre kuzeye doğru hareket etmesi, Anadolu levhalarının batıya hareket etmesine neden olmaktadır. Balıkesir Ovası ve yakın çevresini de içine alan Batı Anadolu, Afrika levhasının Girit adasının güneyinde Ege ile Anadolu levhalarının altına dalması sonucu NNE-SSW yönlü çekme ve gerilmeye uğramıştır (Adatepe, 1998). Kuzeybatı Anadolu Bölgesi, bu iki sistemin etkisi altında tektonik olarak etkin bir alanda yer almaktadır (Tağıl, 2004).



Şekil 4.3: Anadolu levhasının batıya kayışının mekanizması (Atabey, 2000; Sarı vd., 2010' dan alınmıştır).

Balıkesir ve çevresinin aktif tektoniği ve depremselliğinde, Kuzey Anadolu fayı büyük etkiye sahiptir. Bu fay sistemi, Üst Miyosen'den itibaren belirmeye

başlamış; tam gelişimini Pliyosen ve Kuvaterner' de göstermiştir (Erol, 1983). Bu fay sistemi, Erzincan doğusundan (Karlıova) başlamakta Bolu ve Abant'a kadar Karadeniz kıyılarına paralel olarak uzanmaktadır.

KAF sistemi, Mudurnu vadisi batısında iki büyük kola ayrılmaktadır. Kuzey kol Sapanca, İzmit ve Marmara denizi içinden geçmektedir. Güney kol ise Yenişehir, Bursa Ovası-Apolyont ve Manyas gölleri altından geçerek Biga yarımadasında Gönen ve Yenice arasından Ege denizine doğru devam etmektedir. Bu kol, zaman zaman aktif duruma geçmektedir (Ketin, 1960). Bazı araştırmacılar İznik, Gemlik, Bandırma, Biga ve Çan'dan geçen orta kolun varlığını ileri sürmektedir (Barka ve Kandisky-Code, 1988). KAF'ın Marmara Bölgesi'ndeki güney kolu ve kabul edilen orta kolu inceleme alanının kuzey sınırını oluşturmaktadır. Bu sisteme bağlı veya bağımsız olarak birçok küçük faylar gözlenmektedir.

Balıkesir Ovası ve yakın çevresi, kuzeyindeki Yenice-Gönen Fay Zonu dışında, Balıkesir-Afyon-Konya arasında batıdan uzanan Akhisar Fay Zonunun etkisi altında da bulunmaktadır. (Koçyiğit, 2002). Bu fay zonu, doğuda Konya'dan başlamakta batıda Savaştepe'ye kadar uzanmaktadır. Balıkesir Ovası ve yakın çevresinde büyük fay sistemleri yer almamaktadır. Ancak kuzey, batı ve güneyden büyük fay sistemleri ile sınırlandırılmaktadır (Şekil 4.4). Genel olarak bölge, kuzeyden Kuzey Anadolu Fay Zonunun (KAFZ) ve güneyden Ege Graben Sisteminin etkisi altındadır. Diğer bir deyişle yöre KAFZ ile Ege'nin açılma rejimi arasında bir geçiş zonu özelliği taşımaktadır. Şöyle ki kuzeydeki KAFZ'nuna ait olan Yenice-Gönen fayı, doğrultu atımlı fay çözümleri veren depremler üretmektedir. Buna karşılık batısı ve güneyi, Ege çöküntü sistemlerinin etkisi altında normal atım karakterli depremler üretmektedir. Ege çöküntü sistemlerinden Edremit çöküntüsü, Bakırçay çöküntüsü ve Simav çöküntüsü yöreyi kuzeybatıdan, batıdan ve güneyden sınırlamaktadır. Bu bütün içinde Ayvalık, İvrindi, Soma, Savaştepe ve Bigadiç'te bu sistemlere bağlı olarak depremler meydana gelmektedir. Edremit çöküntüsü, Kuzey Anadolu fayı ile Batı Anadolu'nun çekme rejimi etkisi altında bulunmaktadır (Demirtaş ve Yılmaz, 1996; Demirtaş ve Erkmen, 2000) Diğer yandan Bakırçay çöküntüsü, Çandarlı'dan Soma'ya kadar uzanan 80 km uzunluğunda bir sistemdir (Demirtaş ve Yılmaz, 1996). Simav çöküntüsü ise Simav çayı boyunca yaklaşık 100 km uzunluğundadır (Demirtaş ve Yılmaz, 1996).

İnceleme alanına güneybatıdaki Savaştepe ile güneydoğudaki Sındırgı-Bigadiç çevresi, son yıllarda hissedilir depremlere sahne olmaları nedeniyle, yörede büyük öneme sahiptirler. Bunlardan Savaştepe’de 1999-2001 arasında gerçekleşen depremler yöre halkı üzerinde korkutucu etki bırakmış olmakla birlikte bu dönemdeki depremlerin büyüklüğü 5.5’i geçmemiştir. 24-31 Temmuz 1999’da $M \leq 4.5$ olan 176 adet deprem gerçekleşmiştir. Aynı alanda 14 Mayıs-24 Haziran 2001 tarihleri arasında $M \leq 5.0$ olan 164 adet deprem gerçekleşmiştir. Bazı araştırmacılara göre Savaştepe’de gerçekleşen depremler deprem fırtınası olarak kabul edilmiştir (Kalafat ve Pınar, 1997). Fakat Demirtaş vd. (2002, 2003) yapmış oldukları çalışmalarda söz konusu depremlerin fırtına karakterinde olmadığını ortaya koymuşlardır. 07-18 Haziran 2003 tarihleri arasında Sındırgı-Bigadiç arasında ise magnitüdüleri 2.5 ile 3.8 arasında değişen 35 deprem meydana gelmiştir. Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı tarafından bu çevrede meydana gelen depremlerin de deprem fırtınası karakterinde olmadığı rapor edilmiştir (Demirtaş vd., 2003).

4.1.2.1 Faylar

Burhaniye ilçesi (Balıkesir) yerleşim alanının yakınındaki ve inceleme alanını etkileyebilecek fay zonları Şekil 4.4 de görülmektedir.



Şekil 4.4: Balıkesir ili ve Biga Yarımadasının tektonik haritası (Şaroğlu vd., 1987, 1992, Emre vd., 2002-2004; Sarı vd., 2010)

Bu bölümde inceleme alanı ve çevresinde yer alan faylarla ilgili bilgi vermek amacıyla Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü ve İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi tarafından ortak gerçekleştirilmiş “ Biga Yarımadasının Genel ve Ekonomik Jeolojisi ” adlı projesinin derlenmesiyle oluşturulan kitabın “ Biga Yarımadasının Diri Fayları ve Deprem Potansiyeli ” bölümü ve Balıkesir Kent Sempozyumu Sarı vd; (2010) tarafından yazılan “Kentimizin Heyelan, Deprem ve Taşkın Alanları Açısından” İrdelenmesi bölümünden yararlanmıştır. Burhaniye ilçesi (Balıkesir) yerleşim alanının en fazla 100 km uzağındaki faylar ve özellikleri aşağıda verilmiştir.

Ayrıca bu çalışmada Burhaniye yerleşim alanı çevresinin 100 km kadar çevresinde yer alan fay zonları işaretlenip numaralandırılarak, fay segmenti yaklaşımı çerçevesinde senaryo depremin büyüklüğü (Mw) cinsinden tahmini amacıyla Wells ve Coppersmith (1994) tarafından önerilen şekliyle yapılarak bölüm 6.5’ de ayrıntılı olarak anlatılmıştır (bkz. Tablo 6.3 ve Tablo 6.4). Burhaniye yerleşim alanını etkileyebilecek bu faylar aşağıda verilmiştir.

- **Havran - Balıkesir Fay Zonu**

Biga yarımadası güneydoğusunda Balıkesir il sınırları içinde, Edremit Körfezi ile Kepsut arasında uzanan sağ yönlü doğrultu atımlı aktif fay sistemidir. Bu fay zonu, Türkiye Diri Fay Haritası’ nda olasılı diri olarak tanımlanmıştır. (Şaroğlu vd; 1987, 1992). Toplam uzunluğu 120 km’ yi bulur. Havran – Balıkesir arasında KD-GB uzanımlı olan fay sistemi, tepe noktası Balıkesir il merkezi kuzeyinde yer alan, güneye doğru geniş bir büklüm yapar ve büklüm doğusunda KB-GD doğrultusunu kazanır. Söz konusu büklümü oluşturan faylar sağ yönlü doğrultu atımlı faylardır (Emre vd., 2012).

Fay zonu Havran- Balya ve Balıkesir fayı olmak üzere iki fay altında incelenmiştir. Bu iki fay İvrindi- Balıkesir arasında ortalama 7-10 km genişlikte birbirine paralel uzanır. Birbirinden ayrı faylar olmalarına karşın Kuzeybatı Anadolu’ nun güncel tektonik yapısı ve kinematığının açıklanmasında önemli bir yeri olan ana büklümlerden birini meydana getirmeleri nedeniyle bu faylar için Havran - Balıkesir Fay zonu adlanması kullanılmıştır. Bu fay zonu, aşağıda Havran- Balya fayı ve Balıkesir fayı olmak üzere iki alt bölümde ele alınmıştır (Emre vd., 2012).

Havran-Balya fayı; Balıkesir ilinin Havran ve Balya ilçe merkezleri arasında uzanan faydır. K65°D genel doğrultuludur ve 90 km uzunluktadır. Birbirini sağ yönde aralı- aşmalı sekmelerle izleyen dört alt segmente ayrılır. Tarihsel ve aletsel dönem kayıtlarında Havran-Balya fayında büyük depremler geliştiğine ilişkin bilgiler mevcut değildir. Jeomorfolojik veriler fayın Holosen' de yüzey yırtılmasıyla sonuçlanmış büyük depremlere kaynaklık ettiğini gösterir. Faya ilişkin paleosismolojik veri yoktur. Fay bölgede yıkıcı büyüklükte deprem oluşturma potansiyeline sahip bir tektonik yapı olarak değerlendirilmiştir (Emre vd., 2012).

Balıkesir Fayı; İvrindi- Kepsut ilçeleri arasında D-B genel doğrultusunda güneye doğru iç bükey olarak uzanır. Toplam 65 km uzunlukta sağ yönlü doğrultu atımlı bir faydır. Balıkesir kent merkezi yakın kuzeyinde güneye iç bükey yaptığı büküm ile karakteristiktir. Bu büküm Balıkesir fayını batı ve doğu olmak üzere iki segmente ayırır. Balıkesir fayının yaşı ve toplam atımı hakkında kesin veri yoktur. Fay tarafından kesilen Kuvaterner öncesi yaşlı en genç birim Miyosen yaşlıdır. Fayın oluşturduğu bükümün güneyinde gelişmiş olan Balıkesir havzasında Kuvaterner' den daha yaşlı çökellere rastlanmamıştır. Bu verilere göre fayın Pliyosen yaşlı olduğu söylenebilmektedir. Balıkesir il yerleşkesine çok yakın oluşu nedeniyle fayın deprem tehlikesinin anlaşılması için yapılabilecek olan paleosismolojik araştırmalar önem taşımaktadır (Emre vd., 2012).

- **Edremit Fay Zonu**

Biga yarımadası güneyinde Edremit Körfezi ile Kazdağ yükselimi arasında yer alır. Emre Doğan (2010) birbirine paralel çok sayıda faydan oluşması nedeniyle Edremit fay zonu adlaması kullanılmıştır. Edremit fay zonunun su altındaki bölümü dahil toplam 90 km uzunluktadır Behramkale-Kalkım arasında karada haritalanan bölümü ise 60 km uzunluktadır (Emre vd., 2012).

Edremit fay zonu, karadaki geometrisi ve niteliğindeki değişimler dikkate alınarak Altınoluk ve Zeytinli olmak üzere iki ana segmente ayrılır. 60 km uzunluktaki Altınoluk segmenti K80D° genel doğrultuda uzanan düşük açılı bir normal fay ve bunun tavan bloğunda gelişmiş, zonal yapı sunan sentetik ve antitetik faylardan oluşur. KD-GB genel gidişli Zeytinli segmenti ise yaklaşık 15 km uzunluktadır. Çizgisel gidişli tek bir faydan oluşan bu segment sağ yönlü doğrultulu atım bileşenli verev bir fay özelliği sergiler (Emre vd., 2012).

- **Çan-Biga Fay Zonu**

Çanakkale ilinin Çan ve Biga ilçe merkezleri arasında uzanır. Fayın adlanması Şaroğlu vd. (1987,1992) tarafından yapılmıştır. Biga Yarımadası'nı KD-GB yönünde dilimleyen diri fay kuşağının en batısında yer alır. Çan Biga fay zonu sağ yönlü doğrultu atımlıdır. Birbirini sol yönde sekmelerle izleyen alt faylardan oluşur. K45°D genel doğrultuludur ve toplam 41 km uzunluktadır. Fay zonu Biga ve Çan olmak üzere iki alt geometrik segmente ayrılır. Biga segmenti fayın kuzey bölümünü meydana getirir.vAbdiağa Köyü ile Dikmen tepe arasında K55oD doğrultulu olan bu segmentin uzunluğu 15 km' dir. Çan segmenti toplam 24 km uzunluktadır ve sol yönde aralı- aşmalı iki alt parçadan oluşur (Emre vd., 2012).

Çan- Biga fay zonu Miyosen- Pliyosen yaşlı kaya birimlerini yan yana getirmiştir. Bölgesel jeomorfolojiye göre değerlendirildiğinde fayın oluşum yaşının Biga Yarımadası'ndaki diğer diri faylar gibi Pliyosen veya daha genç olduğu yorumu yapılabilir. Biga segmenti boyunca izlenen jeolojik ve jeomorfolojik ötelemeler faydaki toplam atımın 2 km olduğunu göstermektedir (Emre vd., 2012).

- **Yenice-Gönen Fay Zonu**

Gönen doğusundaki Tütüncü ile Yenice ilçesi güneybatısı arasında toplam 67 km uzunluğunda olup, K65°D genel doğrultuludur (Emre vd., 2002-2004; Sarı vd., 2012). 1953 Yenice-Gönen depremiyle fayın diriliği kanıtlanmıştır. Yenice-Gönen depreminde gelişmiş yüzey kırıkları Ketin ve Roesli (1953) tarafından haritalanmış ve sağ yönlü doğrultu atımlı fay olduğu belirlenmiştir (Emre vd., 2012; Sarı vd., 2012).

Magnitüdü 7.2 olan, 1953 yılı Yenice-Gönen depremiyle oluşmuş yüzey kırıkları Yenice-Gönen arasında ilk defa Herece (1985) tarafından detaylı haritalanarak Yenice-Gönen Fayı olarak adlandırılmıştır. Türkiye Diri Fay Haritası'nda ise Yenice-Gönen-Şevketiye arasında yaklaşık 70 km uzunluğunda diri fay olarak gösterilmiştir (Şekil 4.4) (Şaroğlu ve diğ. 1987, 1992; Sarı vd., 2010).

Emre ve diğerleri (2002-2004, rapor hazırlanıyor) güneybatıdan kuzeydoğuya doğru Sazak, Çakır, Gaybular ve Muratlar segmentlerine ayırmışlardır. Bu fay; Duru ve diğerleri (2007) tarafından hazırlanan 1/100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji haritaları

Balıkesir-İ18 paftasında ise sağ yanal atımlı diri fay olarak tanımlanmıştır (Sarı vd., 2010).

- **Soma-Kırkağaç-Gölcük-Yöresi Diri Fayları**

Soma-Akhisar-Bigadiç arasında genel doğrultuları KKD-GGB yönünde ve 40 km genişliğindeki bir zon içerisinde bir birlerine paralel uzanan faylar gözlenmektedir (Şaroğlu ve diğerleri, 1987; Sarı vd., 2010) (Şekil 4.4). 15.11.1943 tarihli Bigadiç depremine ait eş hasar eğrileri Gölcük Fay zonu doğrultusunda uzanmaları bu fay zonunun diri olduğunu güçlendirmektedir (Şaroğlu ve diğerleri, 1987; Sarı vd., 2010). Ayrıca fay zonu üzerinde yoğun bir sismik aktivite gözlenmektedir (Sezer, 2007; Sarı vd., 2010).

- **Bekten Fayı**

Çanakkale il sınırları içerisinde Yenice ilçe merkezinin kuzeyinde yer alan bu fay, Sofular ile Sazak köyleri arasında uzanır. 19 km uzunlukta, K50D doğrultulu olan diri bir faydır. İki büyük doğrultu atımlı fay sistemi olan Sarıköy ve Yenice-Gönen fayları arasında kalır ve kabaca bunlara paralel uzanmaktadır (Emre vd., 2012). Bekten fayının atımına ilişkin veri toplanamamıştır. Taze fay sarplıkları Bekten fayı üzerinde Holosen' de yüzey yırtılmasıyla sonuçlanmış depremler meydana geldiğini göstermektedir. Fayın tarihsel ve aletsel dönem deprenselliğine ilişkin kayıtlar yoktur (Emre vd., 2012).

- **Pazarköy Fayı**

Pazarköy fayı Balıkesir kuzeybatısında yer alan sağ yönlü doğrultu atımlı bir faydır. En yakınında olan Yenice- Gönen fayına kabaca paraleldir. Toplam 42 km uzunlukta olan fay K65° D doğrultuludur. Türkiye Diri Fay Haritası (Şaroğlu vd., 1992)' nda fayın sadece 26 km uzunluktaki bölümü haritalanmıştır. Pazarköy fayı Kocacay tarafından akaçlanan ve birbirine bir boğazla bağlanan Kalkım ve Pazarköy ovaları güneyinde, Karaaydın ve Araovacık köyleri arasında uzanır ve tek parça halindedir (Emre vd., 2012).

Jeolojik ve jeomorfolojik verilere göre Pazarköy fayının Holosen aktivitesi kesindir. Ancak fay üzerinde büyük depremler meydana geldiğine ilişkin tarihsel ve aletsel dönem kayıtları yoktur (Emre vd., 2012).

- Sarıköy Fayı

Sarıköy-Çan arasında K45°D genel doğrultulu ve 60 km uzunluğundadır (Şaroğlu ve diğerleri, 1987, 1992; Sarı vd., 2010). Herece (1985) tarafından Sarıköy-İnova, Türkiye Diri fay Haritası'nda (Şaroğlu vd.; 1987, 1992) ise Sarıköy fayı olarak adlanmıştır (MTA, 2012; Emre vd.). Emre vd. (2012) tarafından yapılan çalışmalarda ise Sarıköy doğusunda Bostancı ve Çan doğusundaki Terzialan köyleri arasında toplam 66 km uzunluğunda ve K60D genel doğrultulu olarak haritalanmıştır. Ayrıca; Sarıköy fayı İnova çek-ayır havzası ile birbirinden ayrılan Tahtalı ve Asmalı segmentlerine ayrılmıştır (Emre ve diğerleri; Sarı vd., 2010). Fay, Duru ve diğerleri (2007) tarafından hazırlanan 1/100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji haritaları Bandırma-H18 paftasında sağ yanal atımlı diri fay olarak tanımlanmıştır (Şekil 4.4) (Sarı vd., 2010).

Sarıköy fayının oluşum yaşı için yorumlanabilecek jeolojik veri toplanamamıştır. Ancak bölgesel jeomorfoloji ve neotektonik gelişim değerlendirdiğinde fayın Pliyosen\ Geç Pliyosen yaşlı olduğu söylenmektedir. Güvenilir jeolojik verilere göre Sarıköy fayındaki toplam sağ yönlü doğrultulu atım miktarı ortalama 11.7 km dir. Sarıköy fayı 66 km lik uzunluğu ile Biga yarımadasında yıkıcı büyük deprem üretme potansiyeli olan fayların en önemlisidir. Ancak fay üzerinde tarihsel dönemde gelişmiş depremlerle ilgili kesin kayıtlar yoktur ve aletsel dönemde de fayda yüzey yırtılması gelişmiş deprem oluşmamıştır (Emre vd., 2012).

- Sinekçi Fayı

Türkiye Diri Fay Haritası'nda Edincik-Çifteçeşmeler fay zonu içerisinde değerlendirmiştir. (Şaroğlu vd. 1987, 1992; Emre vd., 2012). Emre vd. (2012) tarafından yapılan çalışmalarda ise Edincik-Çifteçeşmeler fay zonunun Gönen çayı batısında kalan kesimi Sinekçi fayı olarak adlandırılmıştır (Sarı vd., 2010). Sinekçi fayı, toplam 26 km uzunluğunda olup, D-B genel doğrultulu ve sağ yönlü doğrultu atım bileşenli diri bir ters faydır. Akçay ve diğerleri (2008) tarafından hazırlanan 1/100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji haritaları Bandırma-H19 paftasında sağ yanal atımlı diri fay ve Sinekçi Fayı olarak tanımlanmıştır (Şekil 4.4) (Sarı vd., 2010).

Kuvaterner birimleri kesmesi, güncel jeomorfolojide izlenen çizgisel gidişi, belirgin fay sarplıkları ve fay dikliklerinin Pliyo-Kuvaterner' de gelişmiş antedant vadilerle yarılmış olması Sinekçi fayının diri fay olduğunu göstermektedir. Fayın kayma hızı ve tarihsel dönem deprenselliği üzerine bulgular mevcut değildir (Emre vd., 2012).

- Evciler Fayı

Evciler fayı Çanakkale il sınırları içinde yer alan Kazdağ yükselimini kuzeyden sınırlandıran sağ yönlü doğrultu atımlı diri bir faydır. Evciler fayı Yenice-Gönen fayının güneybatı devamında uzanır. Evciler batısındaki Çömlekdere vadisi ile Eskiayla köyü arasında toplam 46 km uzunluktadır. Doğrusal gidişli olan fay $K60^{\circ}D$ uzanımlıdır. Bayramiç formasyonu çökelişi esnasında Evciler fayının var olduğu ve fayın Pliyosen yaşlı olduğu kabul edilebilir.

Evciler fayı 1953 depremine kaynaklık eden Yenice- Gönen fayının güneybatı devamında yer alır. İki fay arasında 4 km genişlik ve 6 km uzunlukta açılmalı bir sıçrama ile birbirinden ayrılır.1953 depreminin Evciler fayı üzerine gerilim transfer etmiş olması muhtemeldir. Ayrıca Kazdağ kütlesini güneyden sınırlayan Edremit fay üzerinde 1944 yılında yırtılması ile sonuçlanan bir deprem olmuştur. Bu özellikler dikkate alındığında Evciler fayının deprem potansiyeli yüksek olan faylardan biri olarak görülmektedir.

- Gündoğan Fayı

Balıkesir il sınırları içerisinde Gönen-Sarıköy arasında yer alan fay Emre vd., (2011) tarafından adlandırılmıştır. Fay Gönen ve Sarıköy ovalarını D-B doğrultusunda ikiye böler. Sarıköy ovasını morfolojik olarak güneyden sınırlandıran fay batıda Hafızhüseyinbey ve Manyas gölü yakınında Ilıcak köyleri arasında 24 km uzunluktadır. Batı ucundan Sarıköy fayından sağ yönde sekme ile ayrılan bir kol şeklinde başlar (Emre vd., 2012).

Gündoğan fayı, bölgesel geometrisinde Sarıköy fayından ayrılarak Manyas fayı doğrultusunda uzanan bir yapıdır. Bu geometrisi dikkate alındığında fayın Sarıköy ile Manyas fayları arasında bir büklüm meydana getirdiği söylenebilir. Doğu bölümünde güney bloğu aşağıda olan normal eğim atım bileşenli sağ yönlü

doğrultulu atımlı fay niteliğindedir.1953 ve 1964 depremlerinde fayda yüzey kırığı gelişip gelişmediği yönünde bilgi mevcut değildir (Emre vd., 2012).

- **Kestanbol Fayı**

Biga Yarımadası' nın Ege Denizi ile olan batı kıyısı boyunca K-G doğrultusunda uzanan fay Kestanbol fayı olarak adlandırılmıştır (Emre vd., 2012). Fay, kuzeydeki Kestanbol kaplıcasından başlar güneye doğru İskele ve Tuzla' dan geçerek Aşağıçamoba' ya kadar uzanmaktadır .25 km uzunluğunda olan fay iki parçadan oluşur. 14 km uzunluğunda kuzeydeki parça K10°D doğrultuludur ve Kösedere Köyü ile Kestanbol kaplıcası arasında yer alır.K20°B doğrultulu güneydeki parça ise 6 km uzunluktadır ve kavisli bir gidiş sunmaktadır (Emre vd., 2012).

Jeolojik ve jeomorfolojik veriler Kestanbol fayının Holosen aktivitesini belgelemektedir. Fayın üzerinde büyük depremlere ilişkin tarihsel ve aletsel kayıtlar bulunmamaktadır. Ancak yüzey bulguları Holosen' de fay üzerinde yüzey yırtılmasıyla gelişen büyük depremlerin oluştuğuna işaret etmektedir (Emre vd., 2012).

- **Akçapınar Fayı**

K50°D doğrultulu Akçapınar fayı 18 km uzunluktadır. İki geometrik bölümden oluşan fay, Yenice- Gönen ile Gündoğan fayları arasında yer alır ve bu faylara çapraz uzanır (Emre vd., 2012). Güney bölümü 9 km uzunluktadır ve Kocatepe vadisine yerleşmiştir. Kuzey bölümü ise 8 km uzunluktadır ve Atıcıoba-Akçapınar-Babayaka arasında uzanır. Holosen aktivitesini gösteren yeterli veri bulunamadığından bu fay potansiyel diri fay olarak nitelendirilmektedir (Emre vd., 2012).

5. ÇALIŞMA YÖNTEMİ

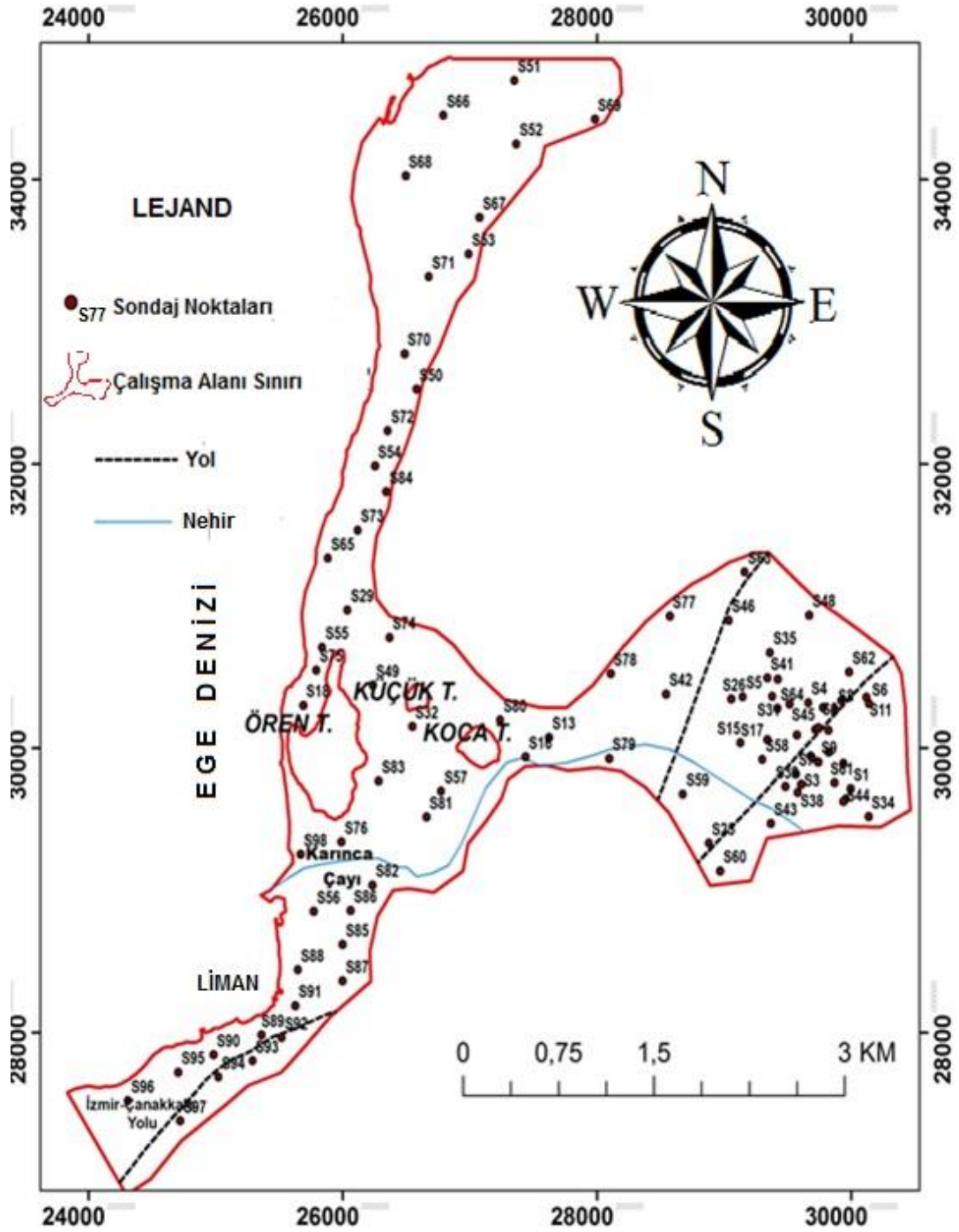
5.1 Veri Tabanının Oluşturulması

5.1.1 Giriş

CBS de harita üzerindeki bilgiler grafiksel olarak ifade edilebildiğinden konuma dayalı grafik ve grafik olmayan nitelikleri açıklayan bilgilerin bir bütün içinde aynı sistemde toplanıp analiz edilmesi gereği CBS' nin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bilgilerin tek tek bir sistem içerisinde toplanıp, depolanması, modellenerek analiz edilmesi, eldeki bilgilere hızlı ve güvenli bir ulaşım sağlaması açısından CBS' nin önemi büyüktür (Küpçü, 2005).

Bu çalışmada BAÜ-Mühendislik\Mimarlık Fakültesi CBS laboratuvar imkanlarından yararlanılarak haritaların üretilmesinde Esri ArcGIS (Ver. 10.2.1) programı kullanılmıştır.

Çalışma alanında alüvyon zeminlerde yapılan 97 adet sondajın verileri Burhaniye belediye arşivinden alınarak kullanılmıştır. Bu sondaj lokasyonları Şekil 5.1' de verilmiştir. Bu sondajlara ait sondaj loglarından elde edilen veriler, sondaj noktaları, yeraltı su seviyesi gibi veriler sayısal ortama aktarılarak çalışma alanına ait veri tabanı oluşturulmuştur. Daha sonra bu veriler kullanılarak CBS tabanlı Esri ArcGIS (Ver. 10.2.1) yardımıyla mühendislik jeolojisi haritaları oluşturulmuş, Burhaniye (Balıkesir) ilçesi yerleşim alanı için sıvılaşma analizi yapılmış ve sıvılaşma duyarlılık haritaları hazırlanmıştır. Bu bölümde veri tabanının oluşturulmasında kullanılan zemin özellikleri ve SPT deneyi ayrıntılı olarak anlatılmıştır.



Şekil 5.1: İnceleme alanındaki sondaj lokasyonları

5.1.2 Veri Tabanında Kullanılan Zemin Özellikleri

Çalışma alanına ait sözel ve sayılar bilgileri, bir bütün içerisinde korelasyonun sağlanması amacıyla bir araya toplanmıştır. İncelenmiş olan 97 adet zemin etüt raporlarından elde edilen sözel ve sayısal bilgiler, rapor tarihi, rapor ve parsel numarası, sondaj kuyuları, sondajların x ve y koordinatları, tabaka kalınlıkları, SPT-N darbe sayıları, zemin litolojileri, çakıl, kum ve kil+silt yüzdesi, likit ve plastik limit değeri, su muhtevası değeri, yer altı suyu seviyesi, zeminin doyumluk derecesi, bitkisel toprak kalınlığı, zemin grubu, zemin sınıfı, ivme spektrumu karakteristik peryotları (Ta-Tb), emniyetli taşıma gücü, oturma miktarı, yatak katsayısı, varsa yapıda bodrum varlığı, varsa yapının kat sayısı, parselin alanı, varsa yapının niteliği, temelin tipi, temelin alanı ve varsa binada bulunan kişi sayısı bilgileri veri tabanını oluşturmaktadır. Bu veriler belli bir düzende ve daha kullanışlı bir şekilde olması için öncelikle Ms-Excel programına kaydedilerek düzenlenmiştir (Şekil 5.2). Ms-Excel programındaki bu bilgiler de Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) programlarından Esri ArcGIS (versiyon 10.2.1) programına aktararak veri tabanı dosyaları oluşturulmuştur. Veri tabanına eklenen, şekil 5.3’de inceleme alanında yapılmış olan bir sondaja ait örnek bir sondaj logu bulunmaktadır.

Çalışma alanı olan Burhaniye (Balıkesir) ilçesinin yerleşim yeri eşyüksekti haritası CBS programı kullanılarak sayısallaştırılmış ve topoğrafya haritası oluşturulmuştur. Aynı zamanda bu harita çalışmamızın atlık haritası olarak kullanılmıştır. Balıkesir ilindeki Devlet Su İşleri Bölge Müdürlüğünden alınan inceleme alanına ait hidrojeoloji haritaları ve zemin etüt raporlarındaki sondaj loglarında ölçülmüş olan yeraltı su seviye değerleri birlikte değerlendirilerek sayısallaştırılmış ve çalışma alanı için hidrojeoloji haritası oluşturulmuştur. Dijital olarak üretilen bir diğer katmanda ilçeye ait mahalleleri gösteren haritadır. Bunlara ek olarak temsili yollar ve birkaç bina bu veri katmanlarına eklenmek için ayrıca sayısallaştırılmıştır.

1	rapor no	rapor tar	Pafta	Ada	Pafta no	Şirket	SK	x	y	z	tbküst	tbkalt	tbk	N	(H) zem.sınıf	%kıl	%kum	kıl+silt%	D50		
2	1	2013	28 29-R	779	1	ARZEM	SK-1	29995	29715		0	0,5	0,00-0,50	11	*	9	87	(kıl+silt) 4	0,6		
3							SK-1				0,51	1	0,50-1,00	11	*						
4							SK-1				1,01	1,5	1,00-1,50	18	SW						
5							SK-1				1,51	2	1,50-2,00	18	SW	LL%	PL%	PI%	W%	doygunluk%	
6							SK-1				2,01	2,5	2,00-2,50	19	SW	NP	NP	NP	10,2	13,6	
7							SK-1				2,51	3	2,50-3,00	17	SW						
8							SK-1				3,01	3,5	3,00-3,50	16	SW						
9							SK-1				3,51	4	3,50-4,00	16	SW	dep. Ta[sn,dep.Tb[sn]	(Ao)[gal]	Binaönkat.	YSSderin (m)		
10							SK-1				4,01	4,5	4,00-4,50	16	SW	0,2	0,9	0,4	1	9,1	
11							SK-1				4,51	5	4,50-5,00	18	SW						
12							SK-1				5,01	5,5	5,00-5,50	17	SW						
13							SK-1				5,51	6	5,50-6,00	17	SW	bittopkalır	zem grb	zem sınıf	ko yat.kat(t)m:	H1 oturma (m)	
14							SK-1				6,01	6,5	6,00-6,50	18	SW	1	C	Z4	1256	0,0283m	
15							SK-1				6,51	7	6,50-7,00	17	SW						
16							SK-1				7,01	7,5	7,00-7,50	17	SW						
17							SK-1				7,51	8	7,50-8,00	18	SW	Bodrum	Alan(m2)	Nitelik	temel tipi	temel derin(m)	temel alan(m2)
18							SK-1				8,01	8,5	8,00-8,50	18	SW	var	5965,58	Konut	radye_jeneral	2,5	2386,23
19							SK-1				8,51	9	8,50-9,00	18	SW						
20							SK-1				9,01	9,5	9,00-9,50	20	SW						
21							SK-1				9,51	10	9,50-10,00	20	SW						
22							SK-1				10,01	10,5	10,00-10,50	19	SW						
23							SK-1				10,51	11	10,50-11,00	21	SW						
24							SK-1				11,01	11,5	11,00-11,50	21	SW						
25							SK-1				11,51	12	11,50-12,00	21	SW						
26							SK-1				12,01	12,5	12,00-12,50	22	SW						
27							SK-1				12,51	13	12,50-13,00	22	SW						
28							SK-1				13,01	13,5	13,00-13,50	22	SW						
29							SK-1				13,51	14	13,50-14,00	23	SW						
30							SK-1				14,01	14,5	14,00-14,50	23	SW						

Şekil 5.2: Veri tabanının oluşturulması

Şekil 5.2’ de kolonlarda yer alan söz konusu zeminlere ait veriler ; tbküst, tbkalt ve tbk: kolonlarındaki kalınlıkları, N: Standart Penetrasyon deneyi direnç sayısı, ltj.:zemin sınıfları, LL: likit limit, PL: plastik limit, PI: plastisite indisi, D₅₀: ortalama çap, W: su içeriği, Ta-Tb: ivme spektrumu karakteristik peryotları, I: bina önem katsayısı, Ao: yer ivme katsayısı, H1: oturma, yss: yeraltı suyu derinliği, ks: zemin yatak katsayısı, bitkisel toprak kalınlığı, temel derinliği, temel tipi ve alanıdır.

5.2 Arazi Deneyleri

5.2.1 Standart Penetrasyon Testi (SPT)

Standart Penetrasyon testi temel olarak yerinde yapılan bir dinamik kesme deneyidir (Özçep, 2006). Deney; 63,5 kg ağırlığındaki bir Şahmerdanın, 760 mm’ lik bir yükseklikten tijlerin üzerindeki örsün üzerine serbest şekilde bırakılması sonucu standart bir örnek alıcının (ayrılabilen tüpün) zemine 300 mm girmesi için gereken darbe sayısının belirlenmesi şeklinde yapılır (Ulusay, 2010). Her penetrasyon deneyi sonucu tüpten numune alınır (Şekil 5.4).

Aşırı yüksek olarak ölçülen SPT-Narazi değeri, zeminin özelliklerinin ve taşıma gücünün güvenli olmayan tahminlerine sebep olmaktadır. Aşırı düşük olarak ölçülen SPT-Narazi değeri ise, ekonomik olmayan aşırı güvenli sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle SPT-N arazi değerlerine çeşitli düzeltmeler uygulanmaktadır;

ARZEM JEOTEKNİK				TEMEL SONDAJ LOGU				SOIL BORING LOG				Sayfa No : 1/1	
JEOLOJİK - JEOTEKNİK ARAŞTIRMA				Projeye Adı: abuzer erdoğan 28 29 s PAFTA 28 PARSEL									
İl: BALIKESİR		Kuyu Derinliği: 15,00m		Numune alıcısının		Muhafaza Borusunun		Sondaj No: SK -2					
Yeri: kocacami MAH BURRA		Yer altı Suyu Durumu: 9,10m		Diş Çap		İç Çap		Logu Hazırlayan: ARDA ERDEN					
Baş Tarihi: 10.03.2013		Torkmak Ağ		Torkmak Ağ		Düşüş Yük		Düşüş Yük		Sondör			
Bitiş Tarihi: 10.03.2013		Koordinat - X		Koordinat - Y									
Sondaj Metodu: Rotary													
Zemin		Numune		SPT		SPT Grafiği		Zemin Sınıfı		Zemin Cinsi			
Derinlik (m)		Profil		No		N/30 cm		Cap Pent. q _c kg/cm ²		KAROT		ROD %	
		0 - 15 cm		15 - 30 cm		30 - 45 cm		10 20 30 40 50		TCR %			
1													
2	1.50-2.00	UD	SPT 1	1	1	1	1						
3	3.00-3.45		SPT 2	6	7	8							
4	4.50-5.00		SPT 3	8	8	9							
5	6.00-6.50		SPT 4	9	9	10							
6	7.50-8.00		SPT 5	9	11	11							
7													
8													
9													
10	10.00-10.45												
11													
12													
13	13.50-13.95												
14													
15	15.00-15.45												
				KAYA NİTELİĞİ- ROD(%)		AYRISMA DERECESESİ W		ÇATLAK SIKLIĞI (1/m-1)					
İnce taneli (Kohzyonlu)		İri taneli (Kohzyonlu)		0-25 Çok Zayıf		W1 Taze Ayrışmamış		< 1		Masa			
N : 0-2 Çok yumuşak		N : 0-4 Çok gevsek		25-50 Zayıf		W2 Az Ayrışmış		1-3		Az çatlaklı - Kırıktı			
N : 3-4 Yumuşak		N : 5-8 Orta Sıkı		50-75 Orta		W3 Orta derecede Ayr.		3-10		Kırıktı			
N : 5-8 Orta Kırı		N : 9-13 Sıkı		75-90 İyi		W4 Ayrışmış		10-50		Çok Çatlaklı - Kırıktı			
N : 9-13 Kırı		N : 14-30 Çok Sıkı		90-100 Çok İyi		W5 Tamamen Ayrışmış		> 50		Parçalanmış			
N : 14-30 Çok Kırı		N : >30 Çok Sıkı											

Şekil 5.3: İnceleme alanına ait örnek sondaj logu (Burhaniye Belediyesi Arşivi).

Derin seviyelerde tıjlerin ağırlığı sonda ucunun zemine batmasını etkilemektedir. Bu nedenlerle elde edilen N değerlerine derinlik düzeltmesi (C_N) aşağıdaki bağıntıyla yapılmaktadır.

$$N'' = C_N * N' \quad (5.1)$$

$$C_N = 0.77 \text{ Log}_{10}[2000 / P'] \quad P' = \text{efektif düşey örtü basıncıdır.} \quad (5.1a)$$

Daha kullanılabilir, faydalı ve karşılaştırılabilir sonuçlar elde etmek için uygulanan düzeltmeler şunlardır; C_N jeolojik yük düzeltmesi, C_E enerji düzeltmesi, C_B sondaj çapı düzeltmesi, C_S numune alıcı kılıf düzeltmesi, C_A çakma başlığı düzeltmesi, C_{BF} tokmak vuruş sıklığı düzeltmesi, C_C tokmak yastığı düzeltmesi.

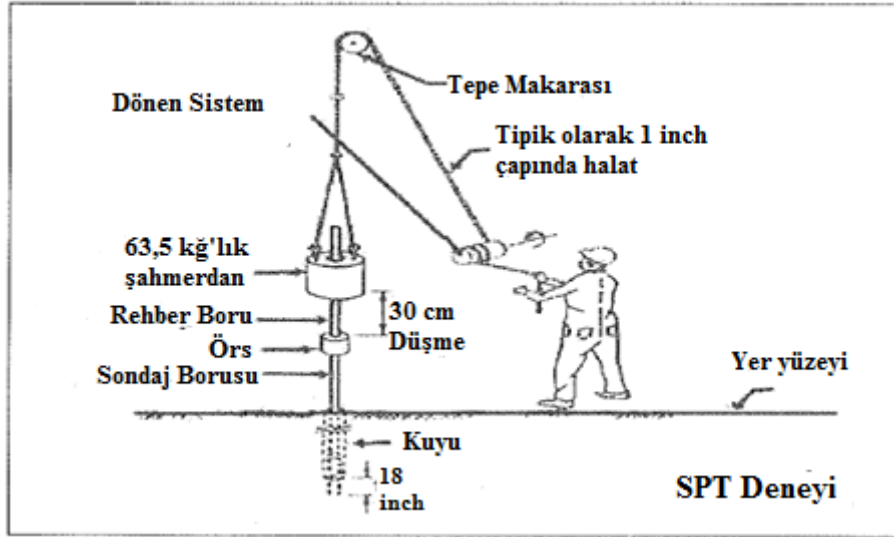
Ölçülen vuruş sayıları (SPT- N_{arazi}), N_{60} veya $N_{1(60)}$ şeklinde normalize edilebilir. N_{60} veya $N_{1(60)}$ için en genel formül aşağıda verilmiştir.

$$N_{60} = (C_E C_R C_B C_S C_A C_{BF} C_C) N_{\text{arazi}} \quad (5.2)$$

$$N_{1(60)} = (C_N) N_{(60)} \quad (5.2a)$$

Zeminlerin özelliklerinin arazide belirlenmesi amacı ile yaygın şekilde kullanılan, basit ve ekonomik deneylerden biri olan SPT en yaygın olarak kumlu zeminlerde uygulanmaktadır. Bu deneyde elde edilen sonuçlar zeminin sıklılığını ya da yoğunluğunu veya dayanımının bir göstergesi olmaktadır. Deneyin kil zeminde yapılması halinde, zeminin dayanımı hakkında bilgi edinilmekte, ayrıca tanımlama amaçlı deneyler için örnek sağlanabilmektedir (Ulusay, 2010).

Bu çalışmada incelenmiş olan zemin etüt raporları içerisindeki sondaj loglarında belirtilen kuyuların, koordinatları öncelikli olarak veri tabanına kaydedilmiştir. Sondaj loglarında belirtilen SPT-N darbe sayıları ve zemin sınıfları da veri tabanına aktarılmıştır.



Şekil 5.4: SPT deneyinin yapılışının şematik gösterimi (Özçep, 2006).

5.3 Laboratuvar Deneyleri

Depremler sırasında meydana gelebilecek yapısal hasarlar üzerinde yerel zemin koşullarının etkisi büyüktür. Bu nedenle zeminlerin tekrarlı yükler altındaki davranışları ile deprem sonrası statik mukavemetlerinin belirlenmesi gereklidir. Zeminlerin deprem sırasındaki ve deprem sonrasındaki gerilme – şekil değiştirme davranışlarını laboratuvarında çeşitli deneylerle belirlemek olanaklıdır.

Özellikle suya doymun kumlu zeminlerin tekrarlı yükler altındaki sıvılaşma potansiyelleri ve sıvılaşma sonrası davranışları laboratuvarında dinamik basit kesme deneyi (Finn ve ark., 1970; Seed ve Peacock, 1971), dinamik üç eksenli kesme deneyi (Seed ve Lee, 1966) ve dinamik burulmalı kesme deneyi (Yoshimi ve Ohoka, 1973, Ishibashi ve Sherif, 1974), sarsma tablası (Das, 1993) gibi dinamik deney sistemleriyle incelenabilmektedir (Karanlık, 2006).

Bu çalışmada zemin etüt raporları içerisinde bulunan laboratuvar deney sonuçları incelenmiştir. Belirli derinliklerde yapılmış SPT testlerinden alınan numunelere, laboratuvarında mühendislik deneylerine tabi yapılmıştır ve şekil 5.5' ve 5.6' de inceleme alanına ait örnek laboratuvar sonuç raporu ve elek analizi deney sonucu verilmiştir. Laboratuvar verilerinden; su muhtevası, birim hacim ağırlıklar, elek analizi, atterberg limitleri deney sonuçları veri tabanını oluşturmuştur ve varsa

GEOMP JEOTEKNİK ZEMİN VE YAPI LABORATUVAR
HİZMETLERİ İNŞAAT MİMARLIK MÜHENDİSLİK SANAYİ VE
TİCARET LİMİTED ŞİRKETİ

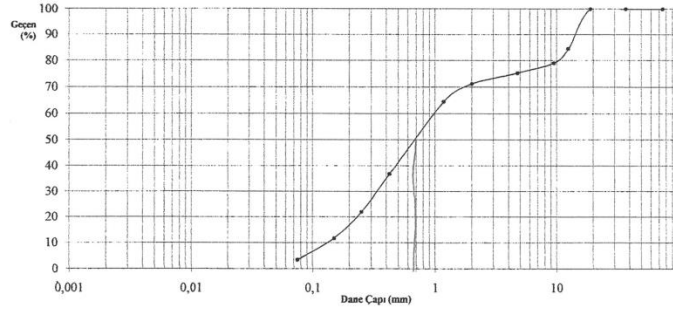
Barbaros Mahallesi Troya Caddesi Ceyhan Sokak 1/3 ÇANAKKALE
Telefon: 0286 215 00 33 Faks: 0286 215 00 34
e-mail: geomptechnik@hotmail.com



ISLAK ELEK ANALİZİ (TS 1900-1)							
Yüklenici	ARZEM MÜHENDİSLİK & MÜŞ.			B/İlçe	BALKESİR / BURHANIYE	Lab. Kabul Tarihi	11.03.2013
Proje Adı	REMZİ DEMİR - ABUZER ERDOĞAN	Kayı No	SK 1	Pafta	28 29 R	Rapor No	4090842
Laboratuvar No	304	Derinlik (m)	3,00-3,50	Ada	149	Rapor Tarihi	19.03.2013
Sayfa No	1/1	Numune No	GJN6797	Parsel	96	Deney Tarihi	14.03.2013

TOPLAM NÜMUNE AĞIRLIĞI	105,58
------------------------	--------

Elek No	Elek Açıklığı (mm)	Elekte Kalan Ağırlık (g)	Elekten Geçen (%)
3"	75,00	0,00	100
1 1/2 "	37,50	0,00	100
3/4 "	19,00	0,00	100
1/2 "	12,50	16,36	85
3/8 "	9,50	5,71	79
No.4	4,75	3,92	75
No.10	2,000	4,40	71
No.16	1,180	6,99	65
No.40	0,425	29,22	37
No.60	0,250	15,83	22
No.100	0,150	10,73	12
No.200	0,075	8,75	3



KİL	Ince	Orta	İn	Ince	Orta	İn	Ince	Orta	İn	BLOK
	SILT			KUM			ÇAKIL			

Su içeriği %	Çakıl %	Kum %	Kil+Silt %	D ₁₀	D ₃₀	D ₆₀	C _u	C _r
13	25	72	3	0,133	0,343	1,045	7,84	0,85
Zemin Sınıfı (USCS)		SW	İyi Derecelenmiş Kum ve Az Çakıl					
Zemin Sınıfı (TS 1500)		SW	Düzgün Dane Dağılımlı Kum ve Az Çakıl					

DENEYİ YAPAN F. İSKENDERHAN OĞ Jeoloji Mühendisi Sicil No: 18.816	DENEYİ ONAYLAYAN Sezal MİRİÇ Jeoloji Yüksek Mühendisi Denetçi Belge No.: 41331
--	---

*Bu deney sonuç formu laboratuvarın izni olmadan kimsen kopyalanamaz, değiştirilemez.
*Bu deney sonuçları yalnızca test edilen örnek için geçerlidir.
*Numune alma şekli ve yeri müşteri beyanındır.
*Laboratuvarımız, Çevre ve Şehircilik Bakanlığının 06/07/2011 tarihli ve 304 sayılı Laboratuvar İzin Belgesine sahiptir.

Şekil 5.6: İnceleme alanına ait örnek laboratuvar özet raporu (Burhaniye Belediye Arşivi).

6. BURHANIYE (BALIKESİR) YERLEŞİM ALANININ SIVILAŞMA POTANSİYELİ

6.1 Giriş

Burhaniye (Balıkesir) ilçesinin genelde kumlu ve zayıf bir zemin yapısına sahip olması, yeraltı suyu derinliğinin yüzeye yakın olması ve 1. derece deprem bölgesinde yer alması gibi nedenlerden dolayı sivilaşma potansiyeli açısından değerlendirilmesini önemli kılmaktadır. Sivilaşma duyarlılık haritaları özellikle deprem esnasında zeminin davranışıyla ilgili tahminlerde bulunabilmek, zeminde olası problemleri belirleyebilmek, bina-zemin etkileşimini irdeleyebilmek, zamanında önlem alabilmek, zamandan tasarrufu sağlamak ve tüm bunlarla birlikte özellikle uygun yerleşim yerlerinin seçiminde kullanılmak amacıyla oluşturulmaktadır.

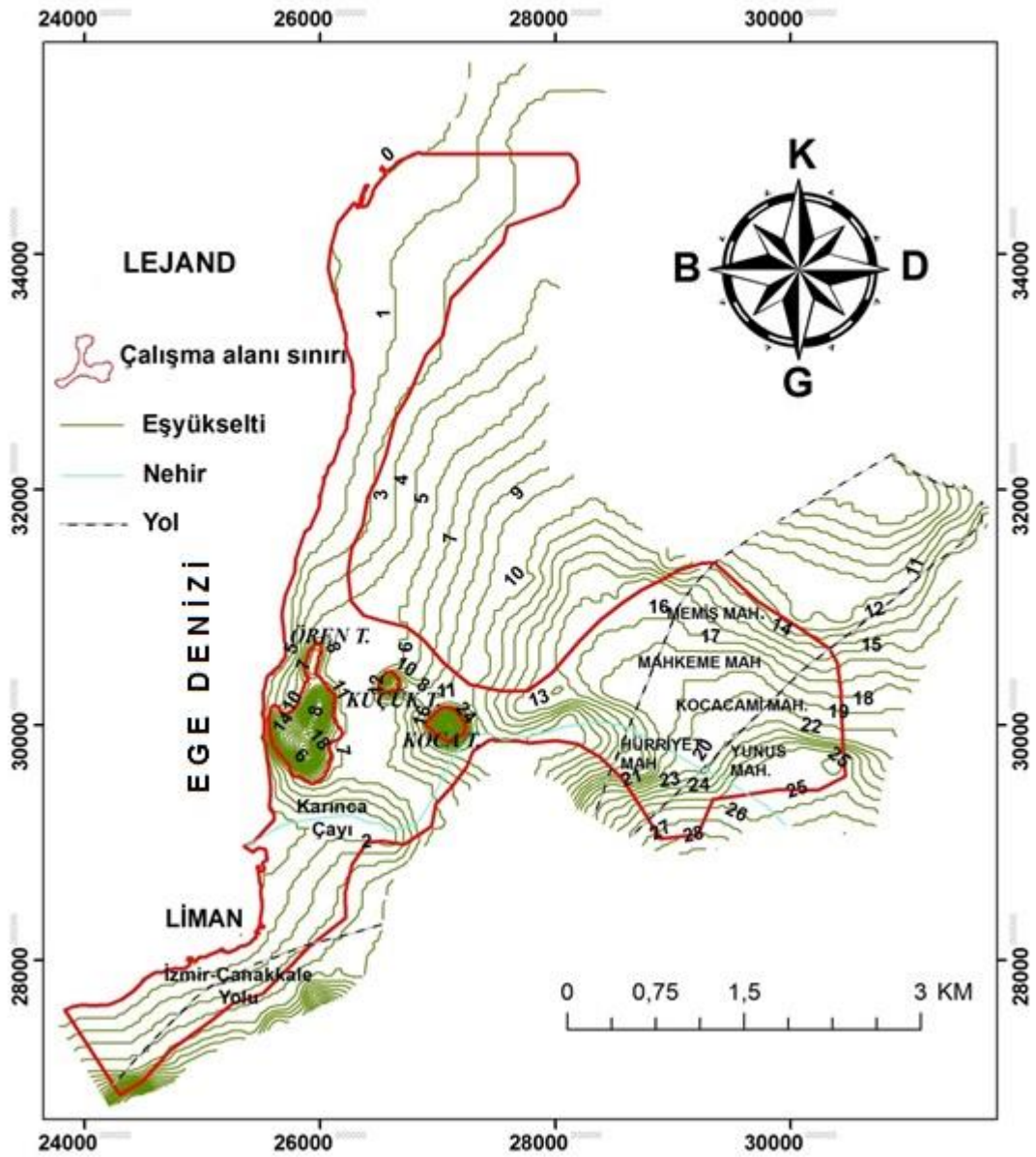
Burhaniye (Balıkesir) ilçesi belediyesi ve özel firmalardan alınan zemin etüt raporlarına göre oluşturulan veritabanı kullanılarak, Burhaniye ilçesi (Balıkesir) yerleşim alanı için: Eşyüksekti, eğim, yeraltı su seviye kotu, yeraltı su derinliği haritaları ve 3 m, 6 m v, 9 m, 12 m ve 15 m derinlik için, SPT-N değeri, ve sivilaşma duyarlılık haritaları üretilmiştir.

6.2 Jeolojik Ölçütler

İnceleme alanının sivilaşma potansiyelinin genel sivilaşma ölçütlerinden; jeolojik ve zemin kompozisyonu açısından değerlendirilmiştir.

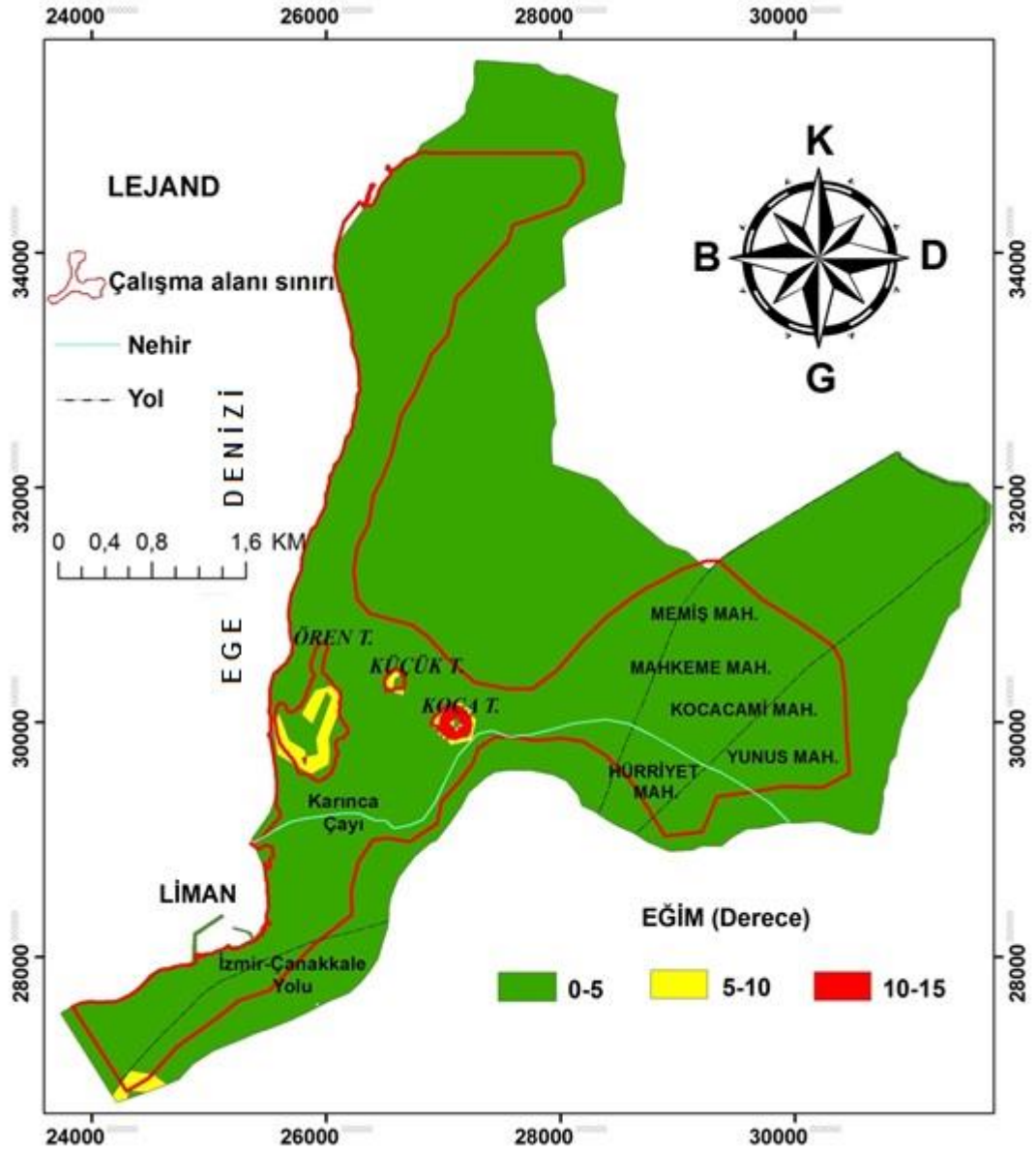
Bir arazinin jeolojik, morfolojik ve fizyolojik yapısı hakkında bilgi sağlayan topoğrafya ve eğim haritaları, aynı zamanda yerleşilebilirlik açısından da bilgi vermektedir. Topoğrafya ve eğim haritalarının bir diğer özelliği de temel harita olarak kullanılabilir olmasıdır. CBS ortamında, topoğrafya ve eğim haritaları kullanılarak farklı özellikte birçok harita üretilebilmektedir.

Burhaniye (Balıkesir) ilçesi yerleşim alanında yükseklik kıyı kesimlerden güneye doğru artmakta 25 m' ye ulaşmaktadır. İnceleme alanının Ören Tepe' nin kuzeyinde ve sahil boyunca uzanan alanda yükseklikler 1-3 m arasında, Karınca derenin güneyinde, Liman bölgesinde kapsayan ve sahil boyunca dar bir şerit halinde uzana kısmında 1-4 m arasında olup çalışma alanının geriye kalan kısmında Ören Tepe-Koca Tepe Memiş Mahallesi, Hürriyet Mahallesi ve Koca cami Mahallesi arasında kalan alanda) yükseklik sahilinden doğuya doğru 1 m den 25 m'ye kadar çıkmaktadır (Şekil 6.1).



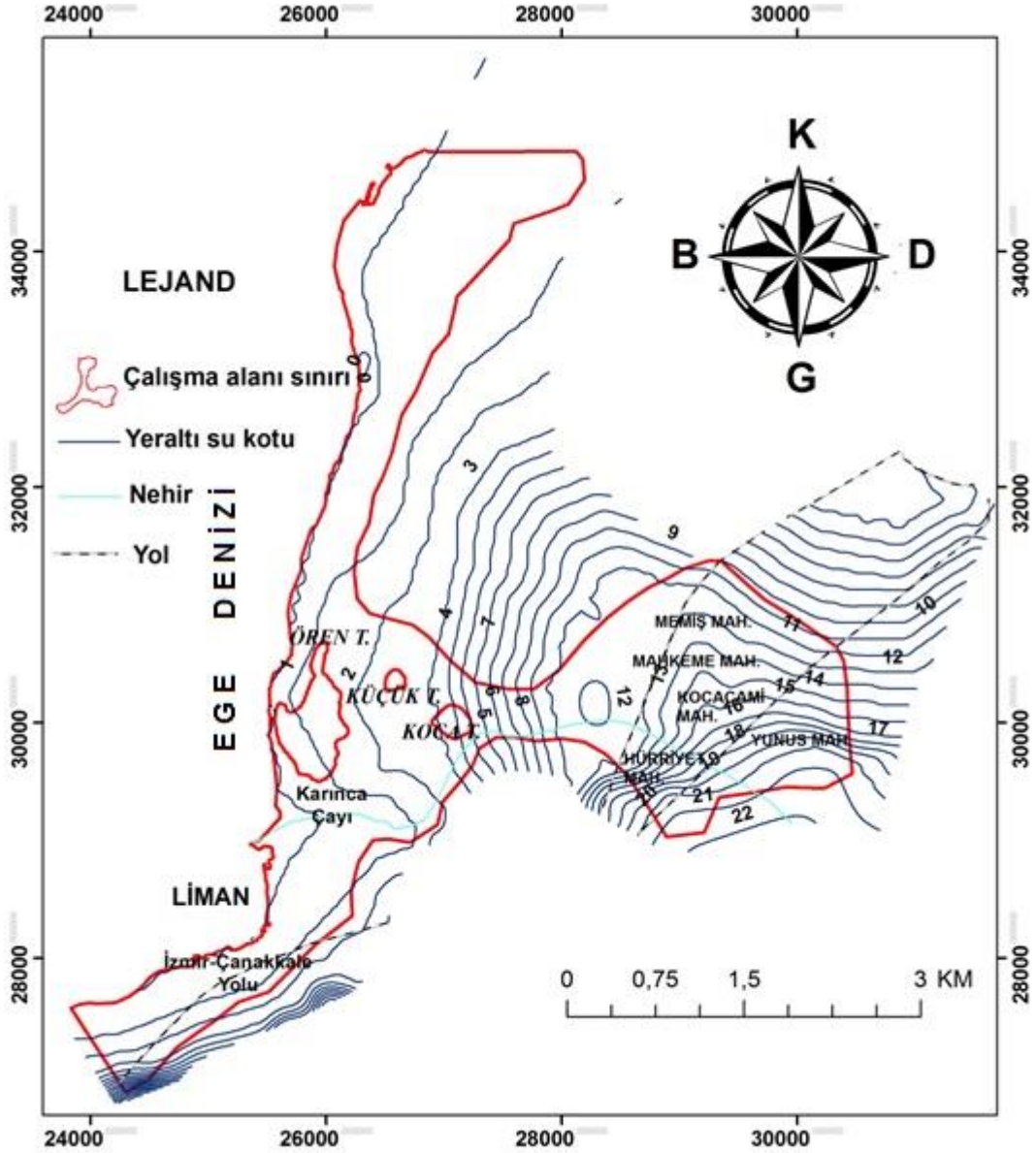
Şekil 6.1: İnceleme alanının eşyüksekti haritası

İnceleme alanında alüvyonun yayılım gösterdiği alanlarda; Ören Tepe'nin kuzeyinde ve sahil boyunca uzanan alanda ve Karınca derenin güneyinde, Liman bölgesini de kapsayan ve sahil boyunca dar bir şerit halinde uzana kısmında ve inceleme alanının doğusunda yer alan Memiş Mahallesi, Hürriyet Mahallesi ve Koca cami Mahheleri arasında kalan alanda eğim 5 dereceden küçüktür. Soma ve Kınık formasyonunun yüzeylendiği Ören Tepe, Küçük Tepe ve Koca Tepenin bulunduğu alanda eğimler 5-15 derece arasındadır (Şekil 6.2).



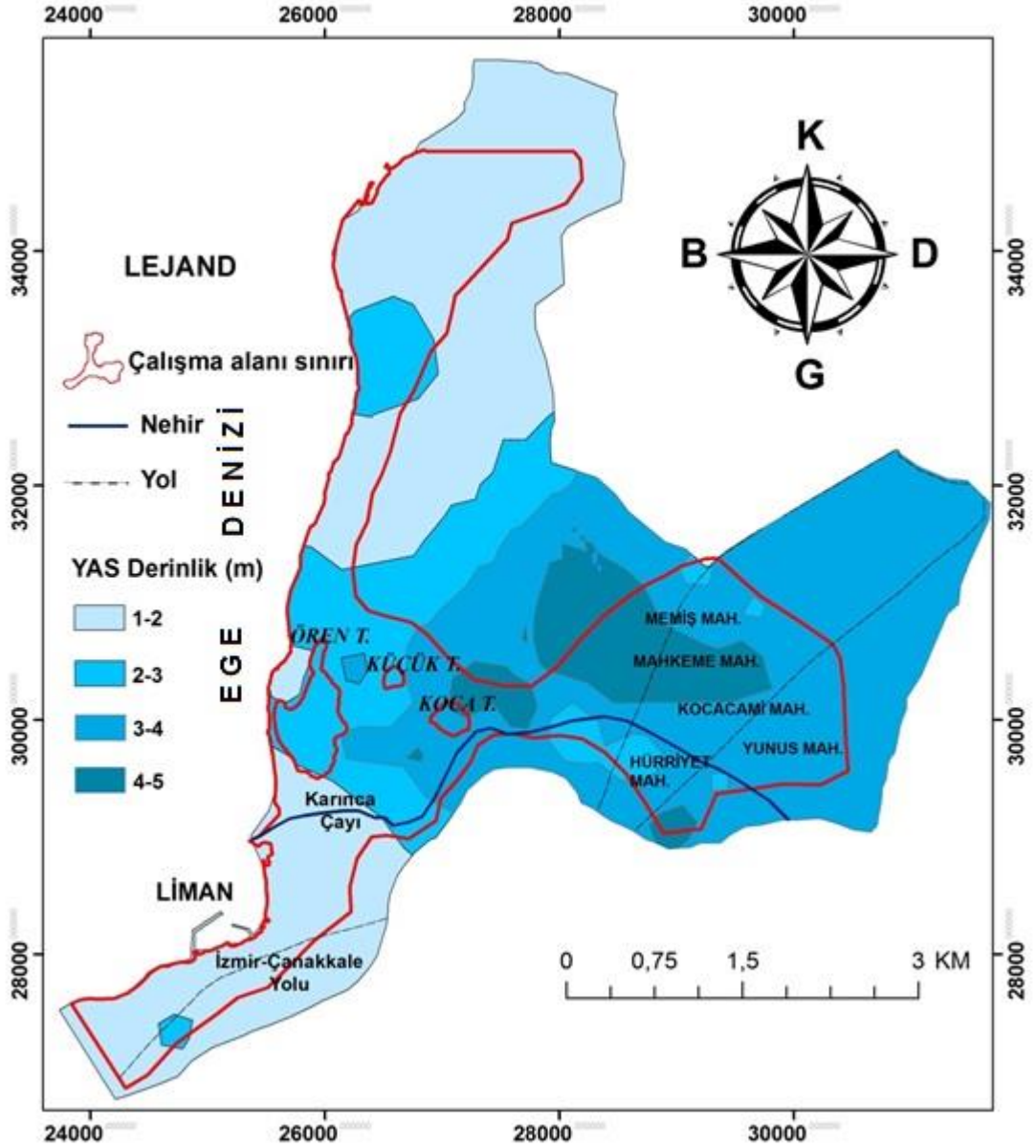
Şekil 6.2: İnceleme alanının eğim haritası

Yeraltı suyu durumu zeminlerin sıvılaşma potansiyelini etkileyen önemli faktörlerdendir. Çalışma kapsamında Balıkesir ilindeki Devlet Su İşleri Bölge Müdürlüğünden alınan inceleme alanına ait hidrojeoloji haritaları ve zemin etüt raporlarındaki sondaj loglarında ölçülmüş olan yeraltı su seviye değerleri birlikte değerlendirilerek yeraltı suyu seviye kot haritası ve yüzeyden itibaren yeraltı su seviyesi derinlik haritası oluşturulmuştur (Şekil 6.3 ve Şekil 6.4).



Şekil 6.3: İnceleme alanının yeraltı su seviye kotu haritası

İnceleme alanının güneyinde yeraltı su yüzeyi topografik yüzeye yaklaşık paralel olup yüksekliği sahilinden doğuya doğru düzenli olarak artmakta ve 12m ye ulaşmaktadır (Şekil 6.3).

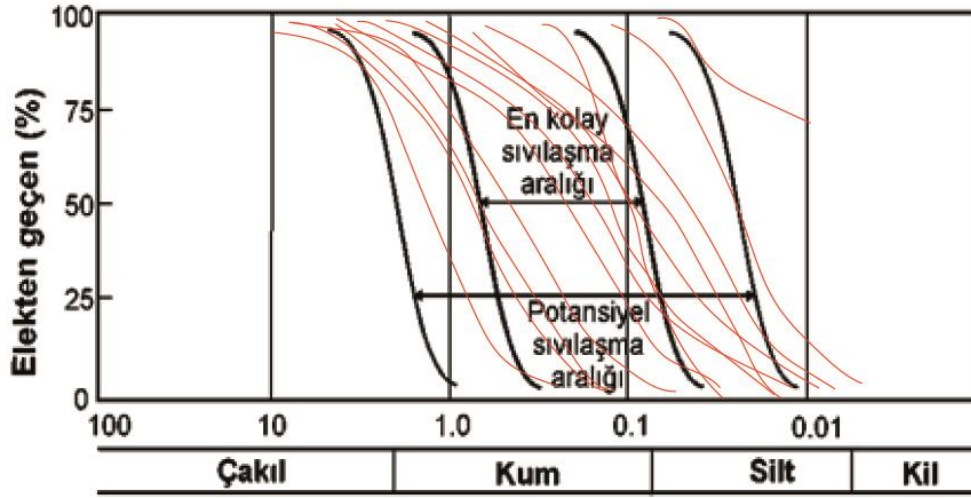


Şekil 6.4: İnceleme alanının yeraltı su seviyesi haritası

İnceleme alanının Karınca derenin güneyinde Liman bölgesini de kapsayan ve sahil boyunca dar bir şerit halinde uzana kısmında büyük çoğunlukla yeraltı su derinliği 2 m'den küçüktür. İnceleme alanının kuzeyinde ve Sahilde kalan kısmında Ören Tepe-Küçük Tepe nin yer aldığı ve bu tepelerden yaklaşık 1 km kuzeye doğru olan alanda yine bu tepelerden kuzeye doğru yaklaşık 2 ile 3 km uzaklıkları arasında kalan alanda YASS derinliği 2-3 iken alan geriye kalan alanlarda 2 mden düşüktür. İnceleme alanının doğu kısmında ise Koca tepenin hemen kuzeyindeki alanda, Memiş ve Mahkeme Mahallelerinin bulunduğu alanda YASS derinliği 4-5 m arasında iken diğer kısımlarında 3-4 m arasındadır. Söz konusu alanda yükseklik sahilden doğuya doğru 1 m den 25 m'ye kadar çıkmaktadır (Şekil 6.4).

6.3 Zeminlerin Tane Dağılımı ve İnce Malzeme İçeriği ve Kıvam Limitleri

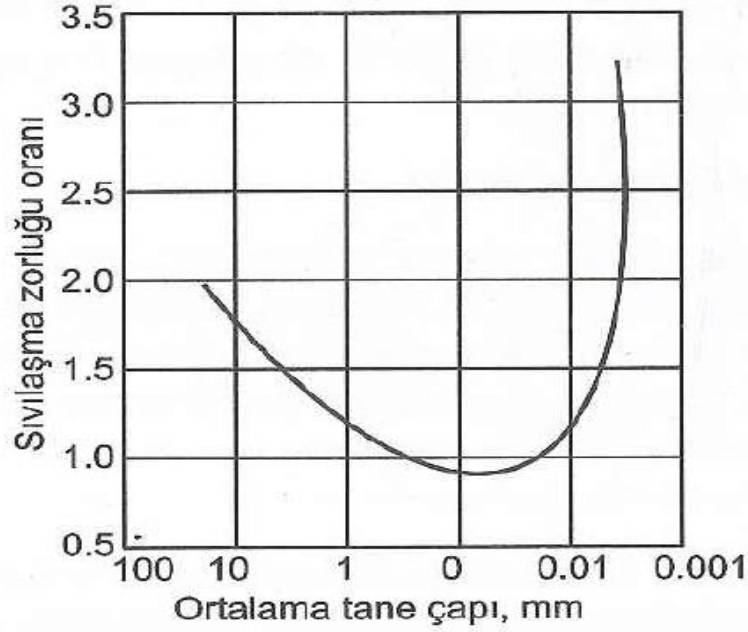
Burhaniye (Balıkesir) ilçesi jeolojik-jeoteknik etüt ve zemin etüt raporlarında incelenen sondaj loğlarındaki verilere göre, çökeller zaman ve mekan içinde incelendiğinde, inceleme alanındaki kıyı ve iç kesimleri arasında fazla farklılık olmadığı görülmüştür. Buna göre istifte çoğunlukla kumlu olup, siltli, killi ve yer yer de çakıllı seviyelerin bulunduğu anlaşılmıştır (Şekil 6.5 ve Tablo 6.1).



Şekil 6.5: Burhaniye ilçesi yerleşim alanında alüvyonlardan alınmış seçilmiş örneklerin dane dağılım eğrileri (sıvılaşma potansiyelini değerlendirilirken kullanılan dane dağılım eğrileri Ulusay 2010'dan alınmıştır).

Şekil 6.5' de verilen söz konusu tane dağılım eğrileri, inceleme alanındaki zeminlerin çoğunlukla kum, siltli kum ve çakıllı kum olduğunu ve dane dağılımını dikkate aldığımda “kolay sıvılaşabilir” nitelikte olduğu görülmektedir.

Ortalama tane çapını esas alan “sıvılaşma gücü”nü ifade eden kritere göre (Şekil 6.6) en kolay sıvılaşabilen kumların ortalama tane çapı 0.5 ile 0.06 mm arasındadır. Ortalama çapı 1 ile 0.1 arasındaki kumlu zeminlerde de sıvılaşma potansiyeli vardır (Ulusay 2010'dan alınmıştır). İnceleme alanındaki zeminler çoğunlukla kumlu olup bunların ortalama dane çapı 0.05 ile 1 mm arasında değişmektedir.



Şekil 6.6: Ortalama tane çapına göre sıvılaşma güçlüğü oranı (Ulusay 2010'dan alınmıştır).

Kil içeren zeminlerin sıvılaşma potansiyeline sahip olduklarına ilişkin en iyi gözlemlenen örnek 7.2 büyüklüğünde Kobe (Japonya) depremidir (Sönmez, 2011). Bu nedenle, kil içeren zeminlerin tümüyle sıvılaşmayacağı şeklinde bir genellenmenin yapılması mümkün gözükmemektedir. Literatürde kil içeriği ve türünün zeminin sıvılaşabilirliği üzerine kabul gören ve uygulama pratiğinde kullanılan iki yaklaşım bulunmaktadır (Sönmez 2011). Biri Çin kriteri olarak bilinen (Wang; 1979) yaklaşım olup, diğeri ise bunun kil tane boyunun 0.002 mm alınarak yeniden düzenlenmiş şekli olan ve Andrews ve Martin (2000) tarafından önerilen kriterdir (Sönmez 2011).

Çin kriteri:

- Kil içeriği (0.005 m) < % 15
- Likit limit < % 35
- Doğal su içeriği > Likit limit x 0.9

Andrews ve Martin (2000):

- Kil içeriği (0.002 m) < 10 %
- Likit limit < % 32

Her iki ölçütte de yukarıdaki kriterlerin sağlanması durumunda zemin sıvılaştırılabilir olarak tanımlanırken, ölçütlerden birinin sağlanması durumunda dinamik üç eksenli gibi ileri araştırmaların yapılması önerilmektedir. Sıvılaştırmaya yatkınlığın ifadesi olan kriterlerin (kil içeriği ve LL) hiç birinin sağlanmaması durumunda ise zeminin sıvılaştırmayacağı belirtilmektedir. İnceleme alanındaki siltli killi kumların Likit limitleri %22,9 ile %34 arasında değişmekte olup su içerikleri ise %14 ile %22 arasındadır (Tablo 6.1). Bu durum dikkate alındığında inceleme alanındaki siltli kumlarda da sıvılaştırma beklenmelidir.

Tablo 6.1: Burhaniye ilçesi yerleşim alanında alüvyonlardan alınmış seçilmiş örneklerin indeks özellikleri (Burhaniye Belediye Arşivi).

Zemin Sınıfı	Wn (%)	Çakıl (%)	Kum (%)	Silt+ Kil (%)	D50 (mm)	WL	WP	IP
SW	10,2	9	87	4	0,6	-	-	-
SP	10,34	7	89	4	0,6	-	-	-
SW	8,39	12	85	3	0,77	-	-	-
GW	-	52	44	4	8	-	-	-
SP	1,95	21	78	1	0,5	-	-	-
SW	1,59	29	69	3	1,28	-	-	-
SW	12,59	25	72	3	0,7	-	-	-
SW	0,92	34	64	1	0,9	-	-	-
SP	0,44	10	87	3	0,5	-	-	-
SP	1,18	21	77	2	0,9	-	-	-
MH	17	5,6	29,3	65,1	0,023	33,5	34	15
GW	-	52	44	4	7	-	-	-
SP	6,35	4	94	2	0,66	-	-	-
SW	10,2	9	87	4	0,7	-	-	-
SW	3,28	30	67	3	0,8	-	-	-
SP	0,63	1	96	3	0,5	-	-	-
SP	28,64	0	97	3	0,54	-	-	-
SW	10,13	26	70	4	0,8	-	-	-
SP	9,59	23	73	4	0,44	-	-	-
SC	16,71	25,38	28,51	46,11	0,2	20,7	15,4	5,3
SM	15,24	31	53	16	0,26	-	-	-
SM	14,33	11	66	43	0,4	22,9	19,6	3,3

Tablo 6.1: (devam)

Zemin Sınıfı	Wn (%)	Çakıl (%)	Kum (%)	Silt+ Kil (%)	D50 (mm)	WL	WP	IP
SP	2,76	18	80	2	0,9	-	-	-
SM-SC	22,2	2,56	64,23	33,21	0,18	-	-	-
SW	3,32	32	63	5	0,7	-	-	-
SP	6,6	2	95	3	0,52	-	-	-
SP	11,55	0	98	2	0,5	-	-	-
SP	9,87	9	88	3	0,54	-	-	-
SP	10,34	7	89	4	0,5	-	-	-
SW	10,64	17	79	4	0,8	-	-	-

6.4 SPT ve SPT-N ile Zeminlerin Göreceli Sıklığının Tahmini

Zemin davranışının tahmininde kullanılan farklı arazi deney metotları içerisinde SPT, en yaygın olanıdır. Çağdaş zemin incelemelerinde, hemen hemen bütün durumlarda, sondaj loğları standart kaşığın zemine son 30 cm çakılma mukavemetini ölçen SPT-N değerleri ile birlikte verilmektedir. Bu sebepten zemin davranışını tahmin etmek isteyen mühendis, söz konusu arazi üzerindeki SPT-N verilerinin neredeyse tamamına ulaşma imkânına sahiptir (Sivrikaya ve Toğrol 2009)

SPT, kumların mühendislik özelliklerini belirlemede kullanılan en yararlı deney türüdür. Bununla beraber, silt ve killerin mühendislik özelliklerinin tahmininde de kullanılmaktadır. Örselenmemiş numune almanın zorluğu yüzünden SPT ve CPT gibi arazi deneyleri, ayrık daneli zeminlerin özelliklerini tahmin etmede yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. SPT, kumlar ve siltler için arazideki efektif kayma içsel sürtünme açısını ve izafi sıklığı (D_r) belirlemede (Tablo 6.2) sıkça kullanılmaktadır. Ayrıca SPT, ayrık daneli zeminlerin sıvılaşma potansiyelini, sığ ve derin temellerin taşıma gücünü ve oturmalarını tahmin etmede kullanılmaktadır. Hem oturma hem de taşıma gücü doğrudan SPT direncine bağlı olarak tahmin edilebilmektedir (Sivrikaya ve Toğrol 2009). Killi zeminlerde ise SPT-N'in düzeltilmiş değeri ile killi zeminlerin kıvamı ve serbest basınç dayanımı arasında ile anlamlı ilişkiler kurulabilmektedir (Sivrikaya ve Toğrol 2009).

Tablo 6.2: Düzeltilmiş SPT-N değerleri ile zeminlerin göreceli sıklık dereceleri (Sivrikaya ve Toğrol 2009)

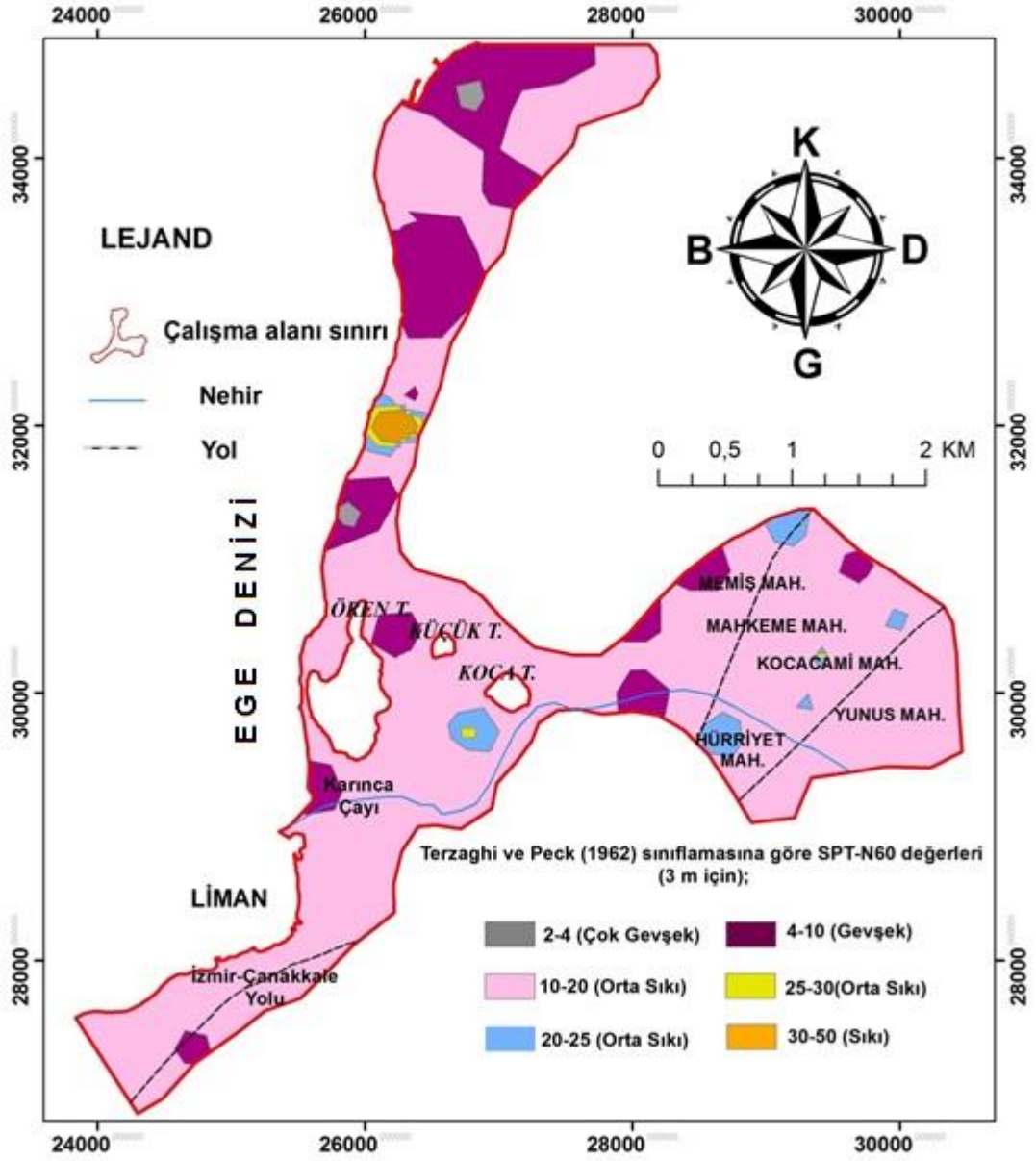
Dane yerleşim Durumu	N ₆₀ Terzaghi ve Peck (1962)	İzafi (Göreceli) Sıklık Dr %			
		Meyerhof (1956)	Bowles (1968)	Duncan ve Buchiagni (1976)	Mitchel ve Kati (1981)
Çok gevşek	<4	<20	<15	<15	<15
Gevşek	4-10	20-40	15-35	15-35	15-35
Orta sıkı	10-30	40-60	35-65	35-65	35-65
Sıkı	30-50	60-80	65-85	65-85	65-85
Çok sıkı	>50	>80	85-100	85-100	85-100

Aynı zamanda SPT, kaba danelerin sıvılaşma potansiyelinin tahmin edilmesinde çeşitli yöntemlerle yapılan stabilizasyonun veya doğal zeminin kompaksiyonun kontrolünde kullanılmaktadır (Sönmez 2011'den alınmıştır). Bu çalışmada, inceleme alanının sıvılaşma potansiyelinin hesaplanmasında Youd vd. (2001)'de verilen prosedür izlenmiştir. SPT-N değerindeki diğer düzetmeler ise bölüm 3.3.2.2 Tablo 3.4' deki gibi uygulanır ve (N₁)₆₀ yukarıda verilen (3.5) eşitliği ile hesaplanmaktadır.

İnceleme alanındaki alüvyon zeminlerin düzeltilmiş SPT-N değerleri CBS ortamında değerlendirilerek 3, 6 ve 9, 12 ve 15 m derinlikte söz konusu değerlerin değişimini gösteren haritalar üretilmiştir. Haritalar, Standart penetrasyon direnci ve izafi sıklık arasındaki ilişkileri tanımlayan Terzaghi ve Peck (1967) sınıflamasına göre (Tablo 6.2) değerlendirildiğinde;

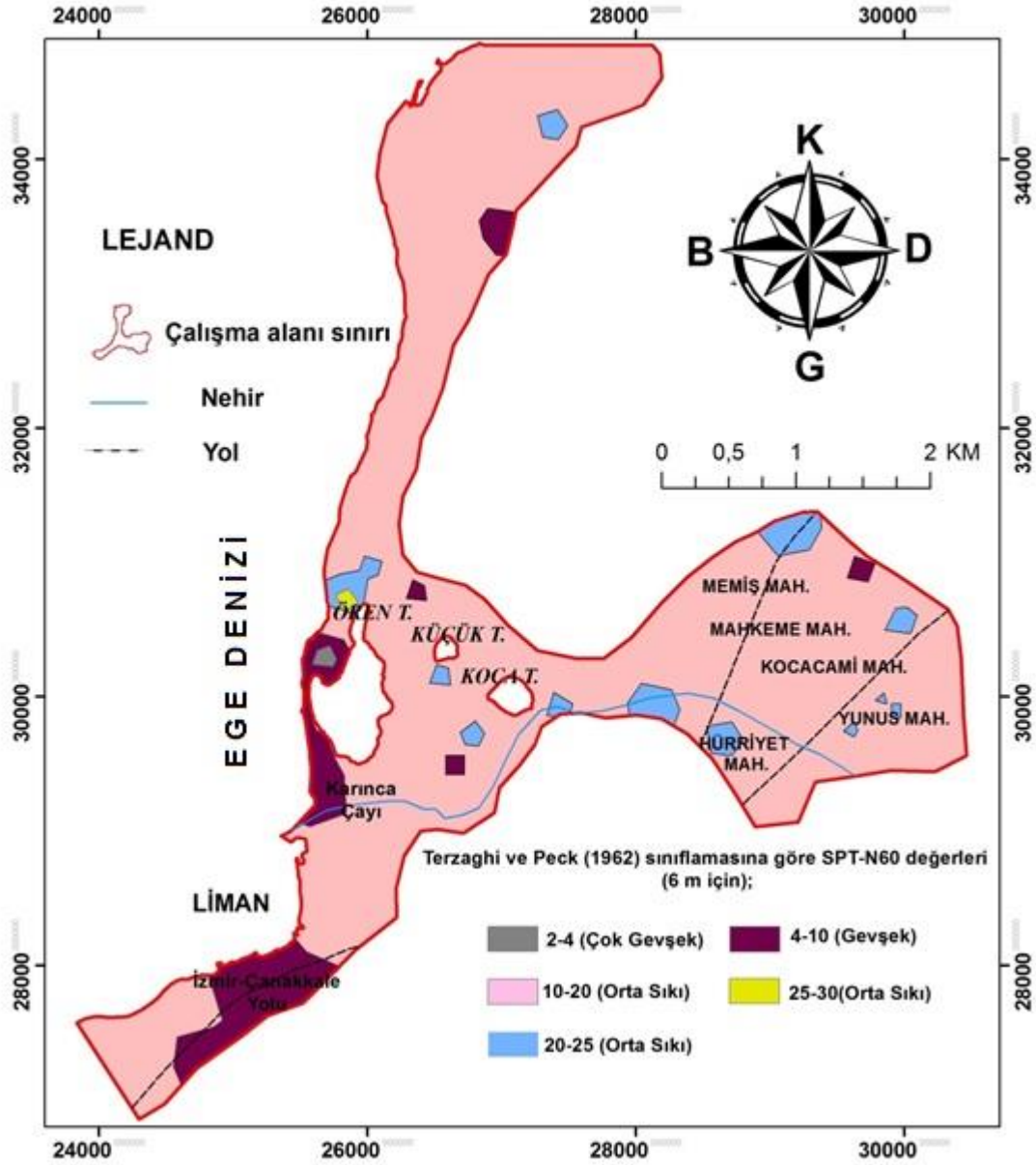
3m derinlik için üretilen haritada, inceleme alanının kıyı kesimlerinde yer alan zeminlerde düzeltilmiş SPT-N değeri 10-20 arasında olup genelde orta sıkı durumdadır. Fakat kıyı kesiminin kuzeyinde yer alan zeminler de yer yer 4-10 gevşek durumdadır. Orta kısımlarda yer alan zeminler 10-20 arasında olup ortma sıkı durumdadır (Şekil 6.7).

6 m derinlik için üretilen haritada, inceleme alanının kıyı kesiminin de özellikle güneyinde Limanın bulunduğu kısımlarda zeminler 4-10 gevşek durumdadır. Orta kısımlarda yer alan zeminler 10-20 orta sıkı durumdadır (Şekil 6.8).



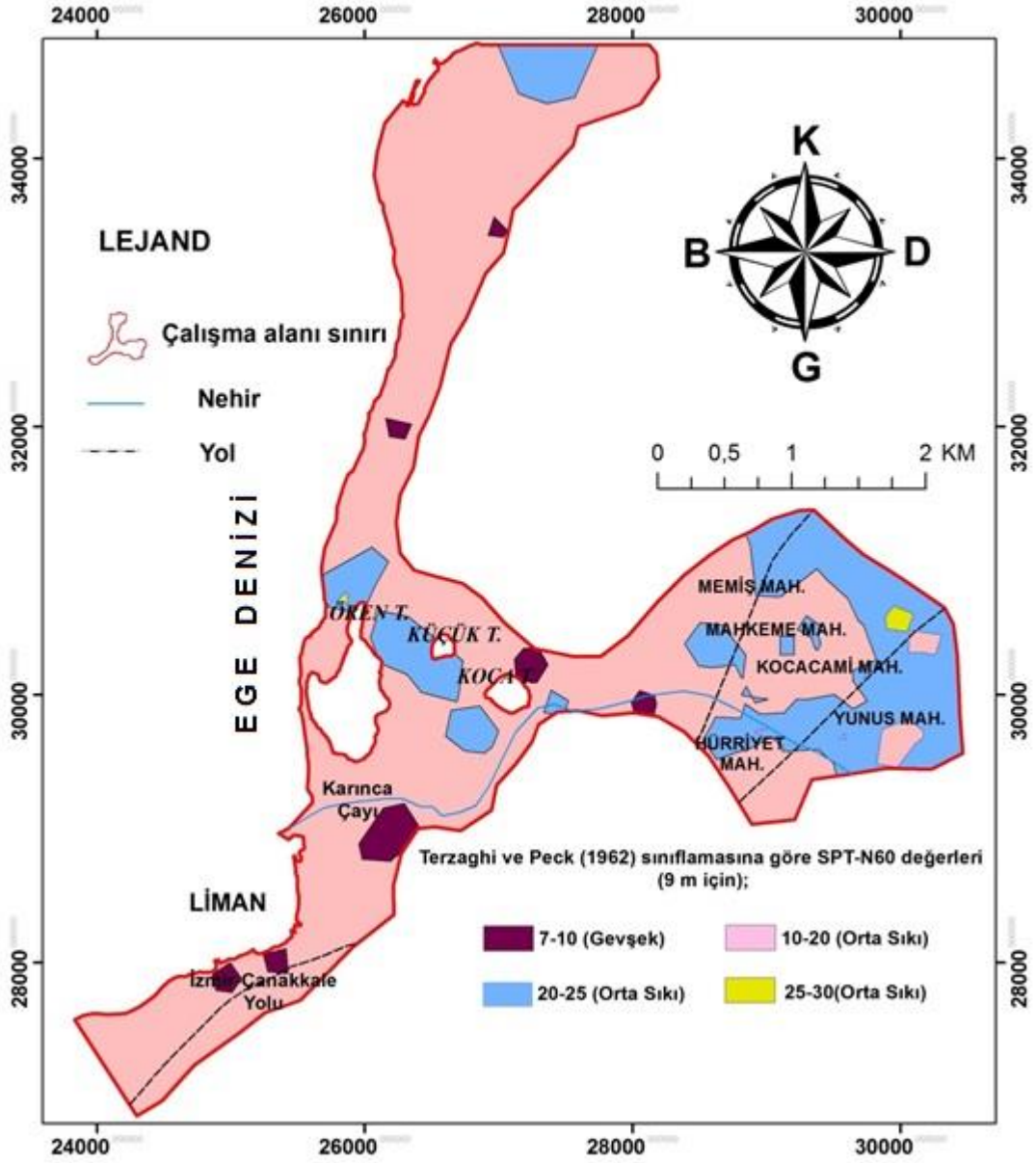
Şekil 6.7: SPT-N değerlerinin 3m derinlikte değişim haritası

6 m derinlik için üretilen haritada, inceleme alanının kıyı kesiminin de özellikle güneyinde Limanın bulunduğu kısımlarda zeminler 4-10 gevşek durumdadır. Orta kısımlarda yer alan zeminler 10-20 orta sıkı durumdadır (Şekil 6.8).

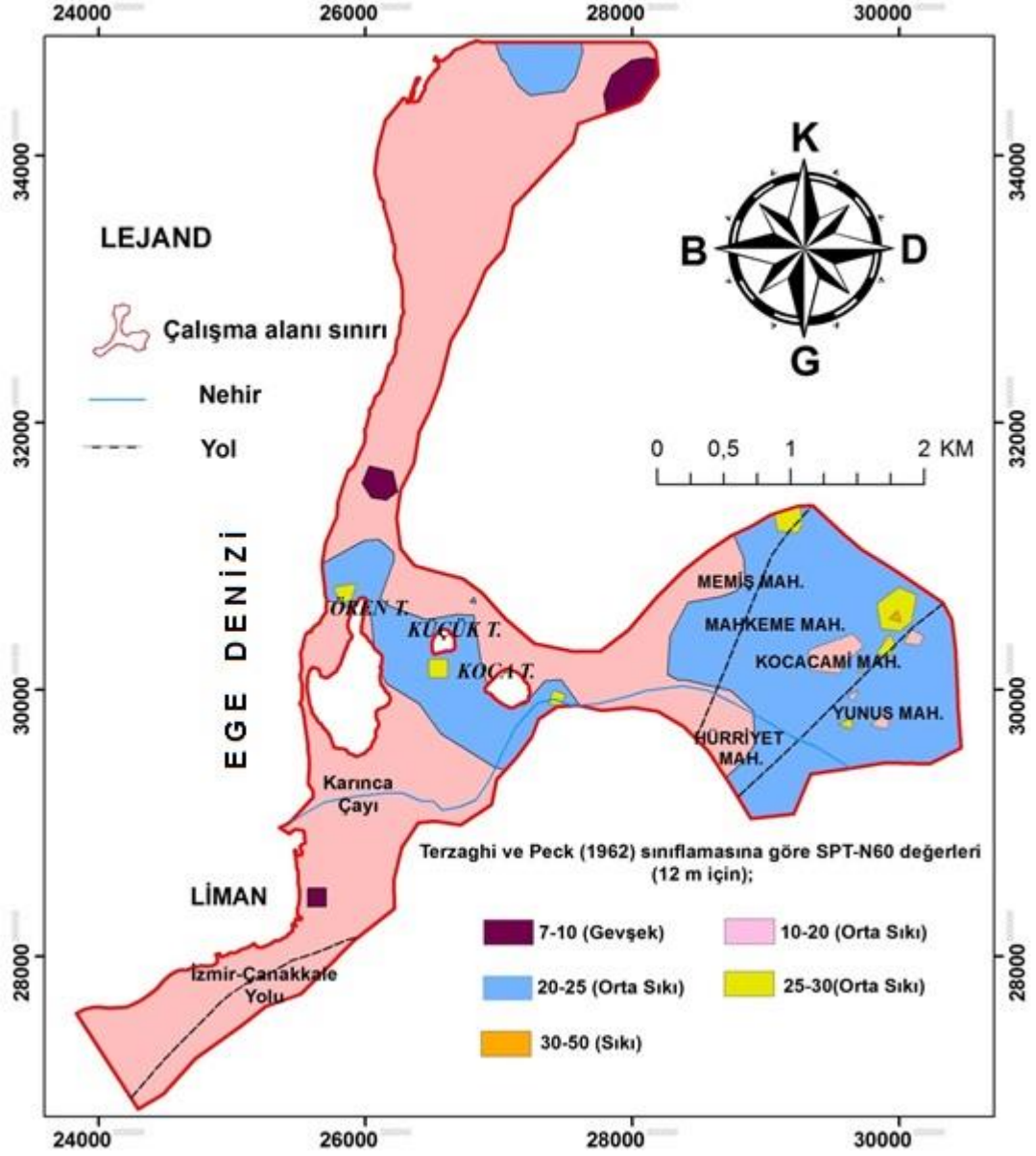


Şekil 6.8: SPT-N değerlerinin 6m derinlikte değişim haritası

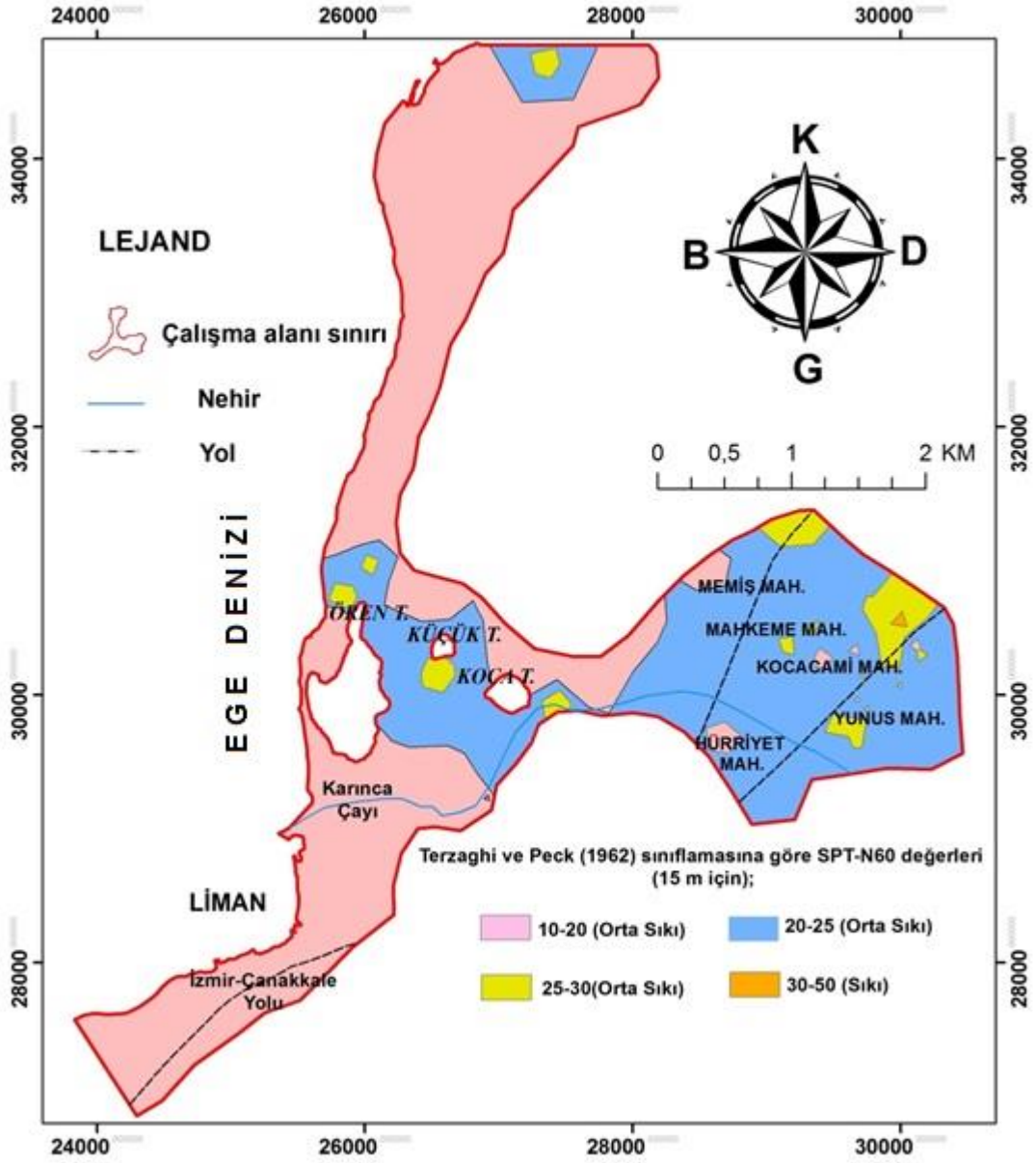
9, 12 ve 15 m derinlikleri için üretilen haritalarda, SPT-N₆₀ değerleri inceleme alanının kıyı ve orta kısımlarında yer alan zeminler 10-20 orta sıkı durumdadır. İnceleme alanının doğusunda yer alan zeminler 20-25 orta sıkı durumdadır (Şekil 6.9, 6.10 ve 6.11). SPT-N değerlerinin değişimini veren haritalar incelendiğinde, batıdan doğuya doğru bir zonlanmanın olduğu söylenebilir. Sonuç olarak genelde söz konusu alanın zeminlerinin kıyı kesimlerde 'gevşek' orta ve iç kısımlara gidildikçe 'orta sıkı' duruma geçtiği görülmektedir.



Şekil 6.9: SPT-N değerlerinin 9m derinlikte değişim haritası



Şekil 6.10: SPT-N değerlerinin 12m derinlikte değişim haritası



Şekil 6.11: SPT-N değerlerinin 15m derinlikte değişim haritası

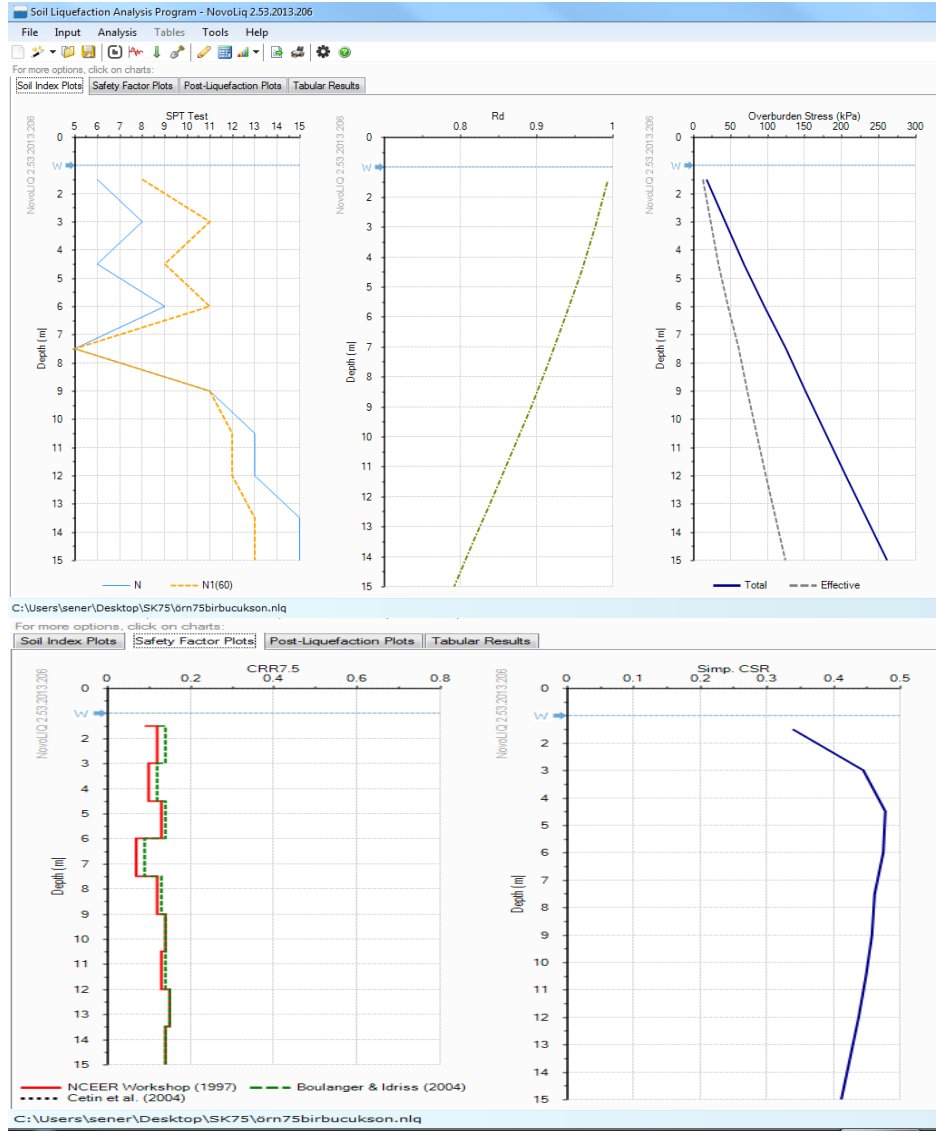
6.5 Burhaniye Sıvılaşma Potansiyeli Haritalarının Oluşturulması ve Yorumlanması

6.5.1 Giriş

Burhaniye (Balıkesir) ilçesi yerleşim alanı jeolojik, jeomorfolojik ve zemin kompozisyonu ölçütleri önceki bölümlerde sıvılaşma potansiyelini tanımlamak amacıyla değerlendirilmiştir. Yapılan bu değerlendirmelere göre söz konusu alandaki zeminlerin sıvılaşmaya karşı duyarlılıkları incelenmiştir.

Deprem sırasında gelişen zemin sıvılaşması çeşitli tür ve büyüklükteki yapılarda taşıma gücü kaybı, oturma, yanal akma gibi çeşitli zemin deformasyonları sonucunda hasarlar meydana getirmektedir. Bu hasarların gelişmesi can ve mal kayıplarına neden olabilmektedir. Bu tehlikenin azaltılabilmesi ve riskin yönetilebilmesi için sismik mikrobölgeleme haritalarının oluşturulması gerekmektedir. Mikrobölgeleme çalışmaları, jeolojik, jeofizik, jeoteknik çalışmalarla, yerleşime açılacak alanlarda, afet tehlikelerini, yerleşime açılmış alanlarda ise afet risklerini, yerel ölçekte, kullanılabilir, haritalara işleyerek, güvenli, yeni yerleşim alanları oluşturmak ve mevcut yerleşim alanlarında afet durumunda zarar azaltma amaçlı uygulamaların planlanmasını sağlamak amacıyla, yapılan çalışmalar olarak açıklanabilir. Mikrobölgeleme çalışmalarının en önemlisi de sıvılaşma duyarlılık haritalarının hazırlanmasıdır. Bu durum göz önüne alınarak Burhaniye (Balıkesir) ilçesi yerleşim alanında sıvılaşma duyarlılık haritaları oluşturulmuştur. Söz konusu çalışma da sıvılaşma duyarlılık haritaları oluşturabilmek için zemin tabakalarına göre hesaplanan güvenlik sayısı (F_s) değerlerini kullanarak, tüm zemin profili boyunca sıvılaşma indeksini bulmaya yönelik bir yol izlenmiştir. Zeminin sıvılaşma potansiyelinin tüm profil için hesaplanması için ise Iwasaki vd. (1982) tarafından önerilen yaklaşımı yeniden düzenleyerek geliştirilen Sönmez (2003) ve Lee vd. (2003) yöntemleri kullanılmıştır. Her sondaj profili için sıvılaşma indeksleri hesaplanıp veri tabanına eklendikten sonra, ArcGIS (Ver: 10.2.1) programı İnterpolasyon (IDW) yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Bu yaklaşımların esas aldığı sınıflamalara göre sıvılaşma potansiyeli haritaları üretilmiştir.

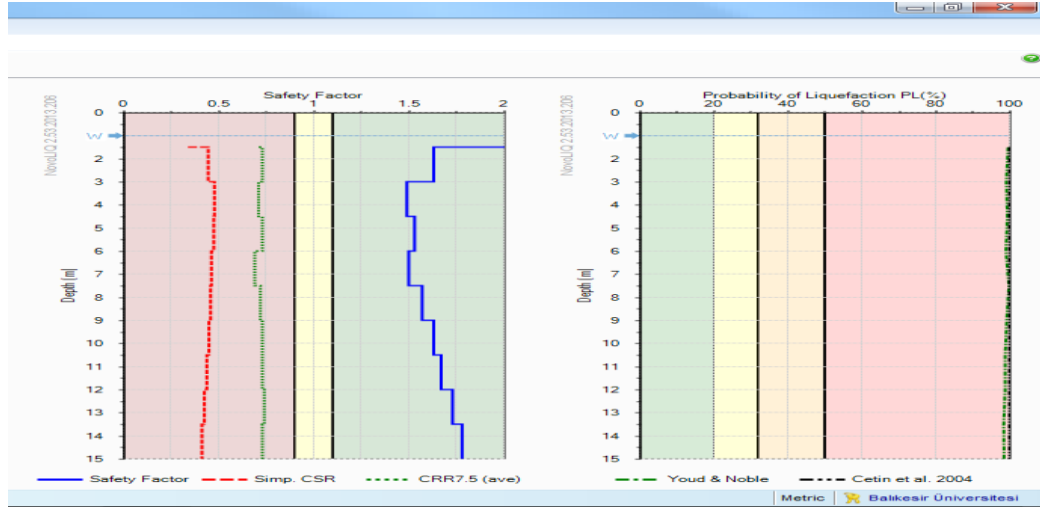
faktörü (MSF) ile çarpılarak sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı (FL) elde edilir (Sönmez 2011).



Şekil 6.13: NovoLiq (Ver: 2.53) programının çıktıları; 75.nolu sondaj için SPT-N değeri, gerilme azaltma faktörü (rd), efektif ve toplam düşey gerilmelerin, tekrarlı dayanım oranı (CRR) ve tekrarlı gerilim oranının (CSR) derinliğe bağlı değişimi

Bu çalışmada, inceleme alanının sıvılaşma duyarlılığının hesaplanmasında Youd vd. (2001)'de verilen prosedür izlenmiştir. Zemin tabakalarının sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısı yukarıda verilen (3.6)'da verilen bağıntıda görüldüğü gibi tekrarlı gerilim oranı (CSR) ve tekrarlı dayanım oranı (CRR)'nin hesaplanmasıyla elde edilmiştir. İncelenen zeminlerin sıvılaşma potansiyelini SPT kullanılarak belirlenmesinde kullanılan bu yaklaşım Mw=7.5 büyüklüğündeki depremi karakterize eder. Bu nedenle tasarım depremi için güvenlik katsayısının

belirlenmesinde (CRR/CSR) oranı büyüklük ölçek faktörü (MSF) ile çarpılmasıyla güvenlik sayısı (F_s) hesaplanmıştır (bkz. Eşitlik 3.8).



Şekil 6.14: NovoLiq (Ver: 2.53) programının çıktıları ;(75). nolu sondaj için sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı ve sıvılaşma olasılığının derinliğe bağlı değişimi.

Tekrarlı dayanım oranı CRR ile SPT-N arasındaki ilişkisi için ise Youd vd. (2001)'de verilen prosedür kullanılmıştır.. Temiz kumlar ($I_{TO} < 5\%$) için $M_w = 7.5$ büyüklüğündeki bir deprem de $(N_1)_{60}$ (düzeltilmiş SPT-N) değeri ile CRR'nin belirlenmesi için bölüm 3.3.3.2 de verilen (3.3) eşitlikten yararlanılmıştır. İnce tane oranı (I_{TO} , #200 elek altına geçen malzeme miktarı) dikkate alınarak yapılan düzeltmeler ise (3.4)' de verilen eşitliklere göre yapılmıştır. SPT-N değerindeki diğer düzeltmeler Tablo 3.4 'deki gibi uygulanır ve eşitlik (3.5) yardımıyla hesaplanmıştır.

Depremin analizi yapılan noktada oluşturacağı tekrarlı gerilim oranı (CSR), Seed ve Idriss (1971) tarafından önerildiği şekliyle, bir zemin kolonunun kütlelerinin tabanındaki alana etkiyen deprem ivmesi ile çarpımı şeklinde ifade edilen ($F = m \cdot a$) eşitliği esas alınarak bölüm 3.3.3.2' de verilen Şekil 3.10'daki gibi hesaplanmaktadır. Şekil 3.10'da a_{max} gal cinsinden maksimum yatay yer ivmesidir. r_d zemin kolonunun sonsuz rijit olmamasından kaynaklanan bir düzeltmedir. M zemin kolonunun kütlesi, γ : zeminin birim hacim ağırlığı, g ise gal cinsinden yer çekimi ivmesidir. σ_v ve σ'_v ise sırasıyla toplam gerilme ile efektif gerilmedir. Zemin kolunu sonsuz rijit bir

malzeme olmayıp, buna ilişkin düzetme r_d parametresi ile yapılırken, a_{max} 'ın deprem sürecince etkiyen anlık en yüksek değer olmasından kaynaklanan bir indirgeme ise 0.65 katsayısı kullanılarak yapılmaktadır (Sönmez 2011). r_d parametresi gerilme azaltma faktörü olup derinliğe bağlı değişmektedir. Bu çalışmada r_d değişkeninin ortalama değerini Youd vd (2001) tarafından verilen (3.2) eşitliği yardımıyla hesaplanmaktadır. Burada z değişkeni metre cinsinden derinliği göstermektedir. a_{max} parametresi ise jeoteknik çözümlenelerde tekrarlı yer hareketinin ölçüsü zeminde olup etkiyen en büyük yatay ivmeyi ifade eder. Bu kavram "en büyük yatay yer ivmesi-PGHA olarak da anılır.

Depremlerin çoğunda yatay yöndeki ivme düşey yöndeki ivmeden daha büyük olduğu için, bu tür durumlarda en büyük yatay yer ivmesi "en büyük yer ivmesi-PGA" haline dönüşür. PGA, herhangi bir depremde ivmeölçerler tarafından kaydedilen en büyük ivmenin dalga boyudur. Depremler sırasında ivme, kuvvetli yer hareketi kayıt istasyonlarına yerleştirilmiş ivme ölçerler yardımıyla kaydedilir (Ulusay 2010). Türkiye deprem bölgeleri haritasında gösterilen bölgeler için Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 1999)'te yer çekimi (g) cinsinden ivme değerleri 0.1 ile 0.4 g arasında değişmektedir.

İvme tahmininde en çok kullanılan yöntem ise, azalım ilişkileridir. İvme azalım ilişkileri aletsel dönemde meydana gelmiş ve ivme kayıtları da alınmış depremlere ait yukarıdaki paragrafta belirtilen deprem parametreleri de gözetilerek, farklı ülkelerde ve farklı araştırmacılarca derlenmiş veri tabanları kullanılarak yapılan istatistiksel analizler sonucunda ivmenin tahmini amacıyla geliştirilmiş eşitliklerdir (Ulusay 2010). Azalım ilişkileri kullanılarak yer hareketlerinin tahmin edilmesinde en fazla gereksinim duyulan parametreler; deprem büyüklüğü (M), fay türü, incelenen alan ile deprem kaynağı arasındaki uzaklık (R) ve zemin sınıfı, ya da zeminin kaya ve yumuşak veya sıkı zemin olması gibi yerel zemin koşullarıdır (Ulusay 2010). Bu çalışmada Ulusay vd. (2004) tarafından önerilmiş olan ve aşağıda verilen ivme azalım ilişkisi kullanılmıştır (Tablo 6.4.).

$$a_{max} = 2.18e^{0.0218(33.3M_w - R_e + 7.8427S_A + 18.9282S_B)} \quad (6.1)$$

Burada amax en büyük yer ivmesi, Mw moment büyüklüğü, SA ve SB yerle zemin koşullarını tanımlayan sabitlerdir. Kaya olması durumunda SA = SB =0, zemin koşullarında SA =1 ve SB=0, yumuşak zemin koşullarında ise SA =0 ve SB =1 dir

Bu çalışmada, fay segmenti yaklaşımı çerçevesinde senaryo depremin büyüklüğünün moment büyüklüğü (Mw) cinsinden tahmini amacıyla Wells ve Coppersmith (1994) tarafından önerilen aşağıdaki eşitlik önerilmiştir.

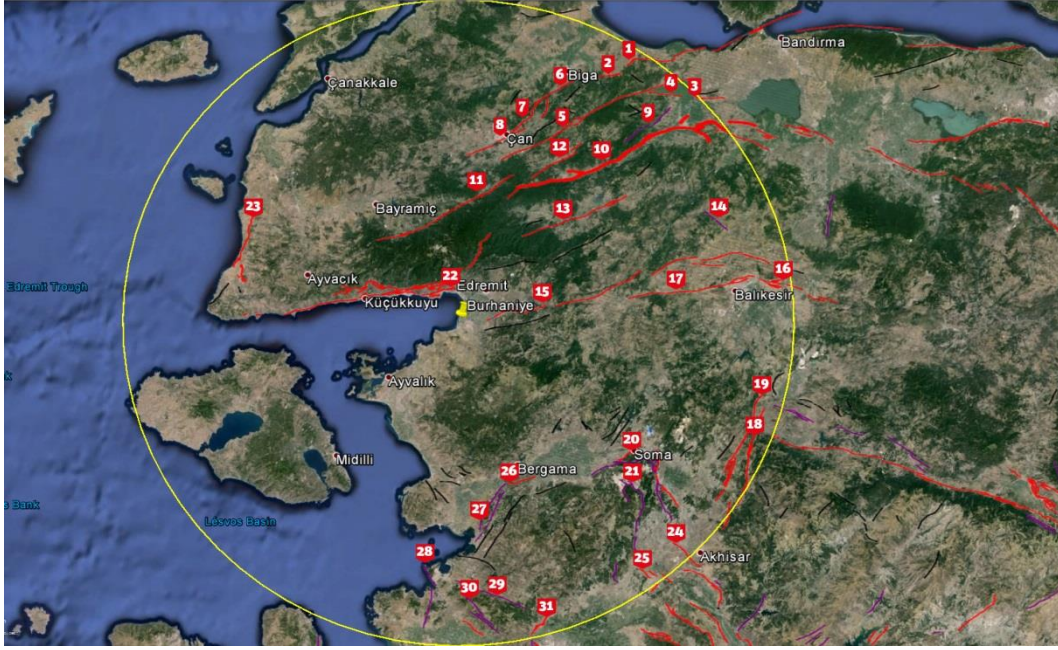
$$M_w = a + b \log (SRL) \quad (6.2)$$

Burada; SRL beklenen yüzey kırığının (ya da tasarım depremini üretmesi beklenen fay segmentinin) uzunluğu (km) olup, a ve b katsayıları fayın türüne göre Tablo 6.3'den alınmıştır.

Tablo 6.3: Fay segmenti yaklaşımı ile senaryo deprem büyüklüğünü veren eşitlikteki a ve b katsayıları (Ulusay 2010'dan alınmıştır).

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

MTA'nın hazırladığı Türkiye diri fay haritasına göre (MTA, 2013), Burhaniye (Balıkesir) ilçesi yerleşim alanının en fazla 100 km uzağındaki faylar, Şekil 6.15' de verilmiştir. Tablo' 6.4 da ise yerleşim alanını etkileyebilecek bu faylara ait fay izi uzunluğu, inceleme alanına olan uzaklık, Ulusay vd. (2004) tarafından önerilmiş olan ivme azalım ilişkisi kullanılarak (6.1) bağıntısıyla hesaplanan en büyük yatay ivme (amax) ve Wells ve Coppersmith (1994) tarafından önerilen eşitlik (6.2) yardımıyla bulunan Moment büyüklüğü M(w) değerleri verilmektedir.



Şekil 6.15: Burhaniye ilçesi yerleşim alanını etkileyebilecek diri faylar
(<http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx>)

Tablo 6.4: Burhaniye ilçesi (Balıkesir) yerleşim alanı yakınındaki aktif faylara göre olası senaryo deprem büyüklükleri ve oluşturacakları yatay en büyük (max.) ivme değerleri

No	Senaryo Deprem	Segment Adı	Fay izi	Burhaniyeye olan	Moment	En büyük
			uzunluğu (km)	uzaklık(km)	Büyüklüğü (Mw)	yatay ivme (gal)
1	SİNEKÇİ FAYI	2	15,7	93,4	6,4	31,1
2	SİNEKÇİ FAYI	3	9,4	84,6	6,2	31,2
3	GÜNDOĞAN FAYI	1	10,9	98,8	6,2	24
4	GÜNDOĞAN FAYI	2	12,5	90,4	6,3	30,5
5	SARIKÖY FAYI	yok	66,6	51,6	7,1	131
6	BİGA-ÇAN FAY ZONU	Biga Segmenti	15,3	70,9	6,4	50,3
7	BİGA-ÇAN FAY ZONU	Yuvalar Segmenti	14,2	59,4	6,4	63
8	BİGA-ÇAN FAY ZONU	Çan Segmenti	19,9	51,5	6,5	84,5
9	Akçapınar Fayı	yok	18,4	73,9	6,5	50,3
10	YENİCE-GÖNEN FAYI	yok	88,1	40,4	7,3	185,7
11	Evciler Fayı	yok	46,4	30,7	7	181,1
12	Bekten Fayı	yok	16,2	49,2	6,4	82,4
13	Pazarköy Fayı	yok	34,5	32,5	6,8	156,4
14	Şamlı Fayı	yok	9,3	80,6	6	34
15	HAVRAN-BALYA FAY ZONU		85,3	8	7,3	372
16	BALIKESİR FAYI	Kepsut Segmenti	27,3	90,3	6,7	40,7
17	BALIKESİR FAYI	Gökçeyazı Segmenti	39,2	51,1	6,9	109,3
18	Gelenbe Fay ZONU	Doğu Segmenti	35,5	94,8	6,8	40,6
19	Gelenbe Fay ZONU	Batı Segmenti	36,5	93	6,8	42,7
20	Soma-Kırkağaç Fay Zonu	yok	31,7	64,3	6,8	75,8
21	Soma-Kırkağaç Fay Zonu	yok	39,3	61,3	6,9	87,5
22	Edremit Fay Zonu	yok	71,7	10,5	7,2	330
23	Kestanbol Fayı	yok	21,8	64,2	6,6	66,3
24	Gediz Graben Fay Sistemi	Akhisar Fayı	11,9	93,3	6,3	28,1
25	Gediz Graben Fay Sistemi	tafa Kemal Paşa Fay	4,9	92,8	5,8	20,5
26	Bergama Fayı	yok	9,3	52,4	6	62,8
27	Zeytindağ Fay Zonu	1	17,3	51,1	6,5	81,1
28	Yenifoça Fayı	yok	21	75,1	6,6	51,5
29	Güzelhisar Fayı	yok	23	79,2	6,6	48,7
30	Menemen Fay Zonu	yok	8	91,4	6,1	25,4
31	Gediz Graben Fay Sistemi	Muradiye Fayı	7,8	93,4	6,1	24

Burhaniye ilçesi (Balıkesir) yerleşim alanı için düşünülen senaryo depremlerine göre en büyük yer ivmesi inceleme alanının 8 km batısında yer alan Havran-Balya- Balıkesir Fayı Zonunun oluşturacağı $M_w=7.3$ büyüklüğündeki deprem için elde edilmiş olup, bu değer yaklaşık 0.372g seviyesindedir (Tablo 6.4).

Sıvılaşma analizlerinden bulunan güvenlik sayıları sıvılaşma potansiyelinin bulunmasında tek baslarına yeterli değildir. Daha gerçekçi yaklaşımlarda bulunabilmek ve sıvılaşma risk haritaları hazırlayabilmek için hesaplanan güvenlik sayısı değerlerini kullanarak zemin tabakalarına göre, bir zemin profilinin sıvılaşma indeksini bulmaya yönelik bir yol izlenmesi gerekmektedir.

6.5.3 Sıvılaşma İndeksinin Bulunması ve Sıvılaşma Potansiyeli Haritaları

Sıvılaşma analizlerinden bulunan güvenlik sayıları sıvılaşma potansiyelinin bulunmasında tek baslarına yeterli değildir. Daha gerçekçi yaklaşımlarda bulunabilmek ve sıvılaşma risk haritaları hazırlayabilmek için hesaplanan güvenlik sayısı değerlerini kullanarak zemin tabakalarına göre, bir zemin profilinin sıvılaşma indeksini bulmaya yönelik bir yol izlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle zeminin sıvılaşma potansiyelinin tüm profil için hesaplanması için ise Iwasaki vd. (1982) tarafından önerilen yaklaşımı yeniden düzenleyerek geliştirilen Sönmez (2003) ve Lee vd. (2003) yöntemleri kullanılmıştır.

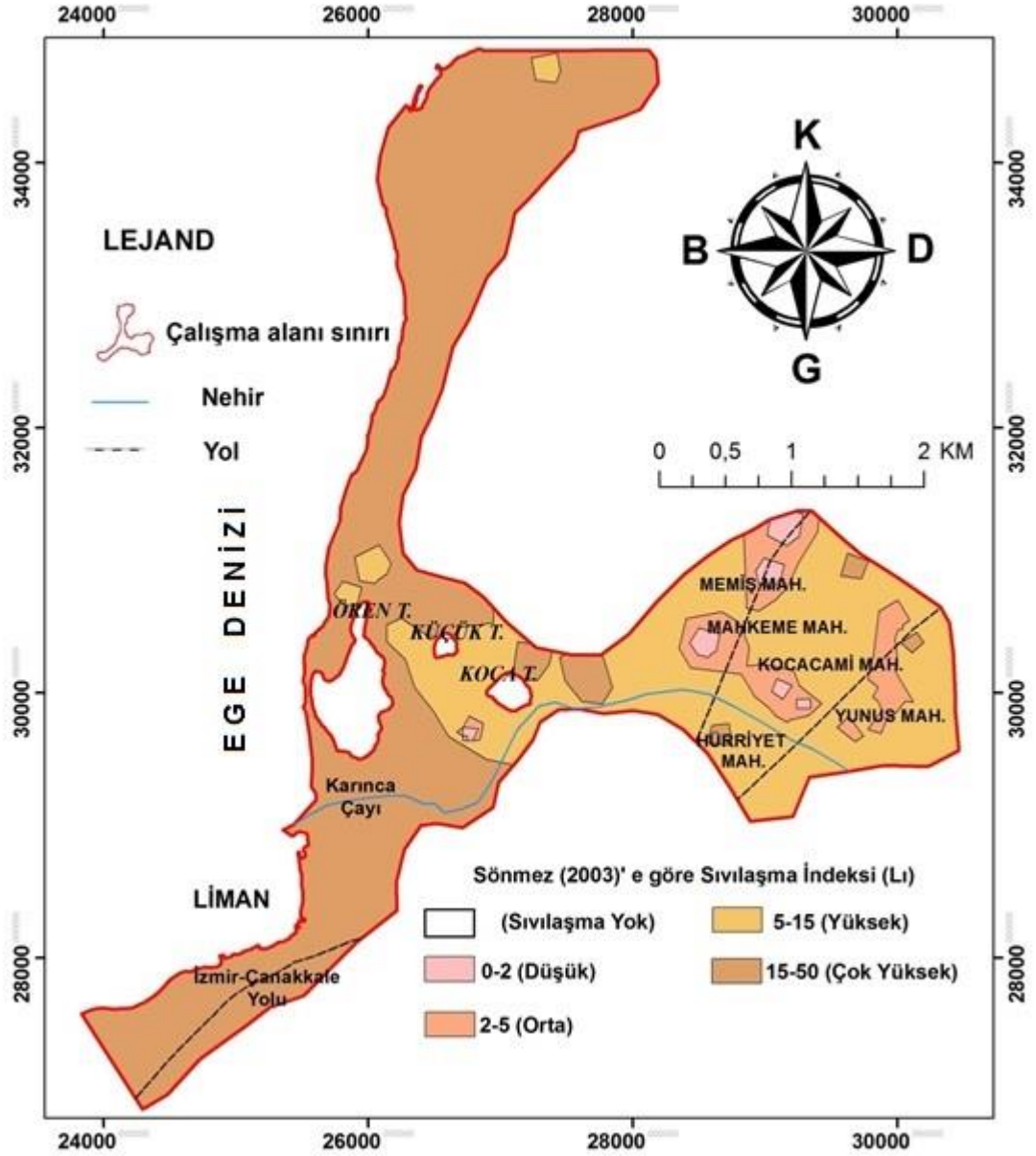
Sıvılaşma şiddeti indekslerinin bulunması, bu indekslere göre sıvılaşma potansiyeli haritalarının oluşturulmasında yapılan hesap adımları ve inceleme alanının sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesi aşağıda verilmektedir.

1. Adım: Sıvılaşma analizi yapabilmek için; zemin dağılımının belirli bir deprem kuvvetine ne kadar süre ile direnebileceğinin bilinmesi gerekmektedir. Bunun için Şekil 3.10' da verilen bağıntı kullanılarak bölüm 6.5.2' de bulunan senaryo deprem yaklaşımı için CSR değerleri hesaplanmıştır. (rd) derinlik düzeltme değerlerinin bulunmasında ve (3.2)' de verilen bağıntı kullanılmıştır.

2. Adım Sıvılaşma güvenlik sayısını (F_s) bulabilmek için gerekli parametrelerden biride CRR değerleridir. CRR' nin hesaplanmasında Youd vd. (2001)' de verildiği yaklaşıma göre (3.3) ve (3.4) de verilen eşitliklerden yararlanılmıştır.
3. Adım: İkinci adımda bulunan degerlerin büyüklük ölçek faktörü (MSF) ile çarpılmasıyla (bkz. Esitlik 3.8) kullanılarak sıvılaşmaya karşı güvenlik sayıları (F_s) hesaplanmıştır. Her sondaj profili için sıvılaşmaya karşı güvenlik sayılarının bulunması için Novalig (Ver: 2.53) programından yararlanılmıştır.
4. Adım: En son adımda ise bulunan güvenlik sayıları degerleri; bölüm 3.3.3.2' de anlatılan Sönmez(2003) ve Lee vd. (2003) yaklaşımlarına göre verilen (3.10), (3.11) ve (3.12) eşitliklerinden yararlanılarak sıvılaşma şiddeti indeksleri hesaplanmıştır. Tablo 3.6 ve Tablo 3.7' de verilen sınıflamalara göre ArcGis (Ver: 10.2.1) programı İnterpolasyon yöntemi, IDW metodu kullanılarak sıvılaşma duyarlılık haritaları üretilmiştir.

Burhaniye (Balıkesir) yerleşim alanının sıvılaşmaya karşı duyarlılığı Sönmez (2003) ve Lee(2003) yöntemlerinden her ikisine göre de hesaplanan Sıvılaşma İndekslerine göre belirlenmiş olup Şekil 6.16 ve 6.17' de verilmiştir.

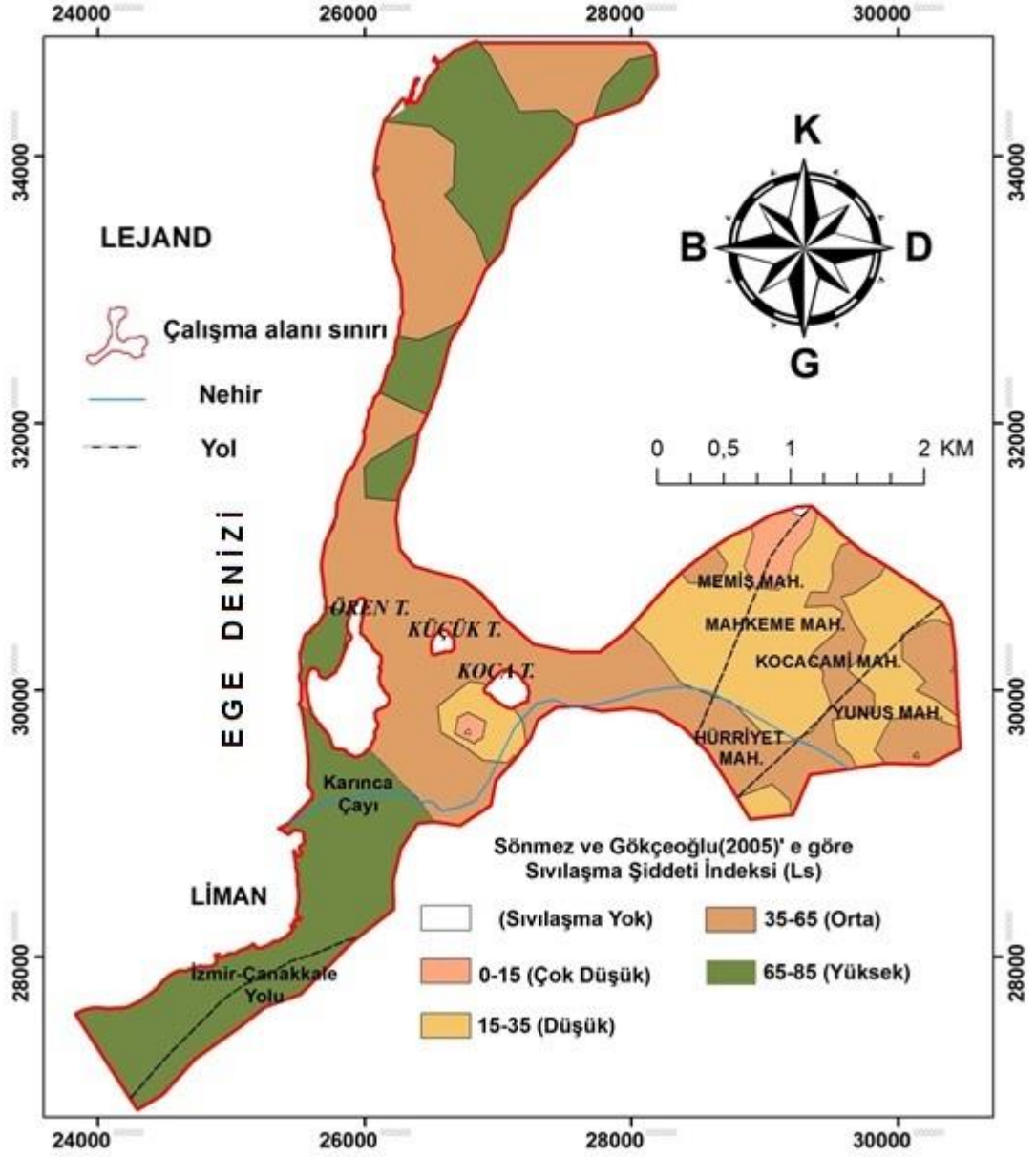
Sönmez (2003) yöntemine göre hesaplanan Sıvılaşma İndeksi ve sınıflaması kullanılarak hazırlanmıştır. Şekil 6.16 incelendiğinde inceleme alanının kıyıda orta ve iç kesimlere doğru (doğu'ya doğru) sıvılaşmaya karşı duyarlılık açısından bir zonlanmanın olduğu, doğuya doğru sıvılaşma şiddeti indeksinin azaldığını, kıyı boyunca "Çok Yüksek" sıvılaşma şiddeti değerinin orta kesimlere gidildikçe "Yüksek" şiddete orta kesimlerden doğuya doğru devam ettikçe yine "Yüksek" ve yer yer de "Orta" ve "Düşük" sıvılaşma şiddeti değerine düştüğü görülmektedir (Şekil 6.16). Sönmez (2003) yöntemi esas alınarak (Eşitlik 3.10, Tablo 3.6) üretilen sıvılaşmaya karşı duyarlılık haritası incelendiğinde inceleme alanının yaklaşık %48'i "çok yüksek", %42'i "yüksek", %7'i "orta" ve %3'ü düşük sıvılaşma şiddetine sahiptir.



Şekil 6.16: Burhaniye (Balıkesir) ilçesinin Sönmez (2003) yaklaşımına göre düzenlenen sıvılaşma duyarlılık haritası

Lee(2003) yöntemine göre sıvılaşmaya karşı duyarlılık haritası oluşturulurken Lee(2003) esas alınarak bulunan Sıvılaşma İndeksi değerleri 3.12' Sönmez Gökçeoğlu (2005) sınıflaması (Eşitlik 3.12, Tablo 3.7) esas alınarak sınıflanılmıştır (Şekil 6.17). Bu haritada, Ören Tepe'nin sahile bakan kısmında (batısında) ve güneyinde yer alan (Limanında bulunduğu) ve sahil boyunca uzanan alanın sıvılaşmaya karşı duyarlılığı” Yüksek “iken Ören Tepe'nin kuzeyinde yer alan vesahil boyunca uzanan sahil kısmında sıvılaşmaya karşı “Yüksek” ve “Orta” alanlar yaklaşık eşit miktarda görülmektedir. İnceleme alanının doğusunda kalan alanların Kocatepe güneyinde kalan yaklaşık 0.5 km

2 lik alan ve İzmir Çanakkale karayolunun geçtiği ve bu yolun KB ve GD’ sında yer alan kısımları (Kocacami, Mahkeme ve Memiş Mahalleleri) sivilaşmaya karşı duyarlılıkları “Düşük” iken diğer kısımlarının sivilaşmaya karşı duyarlılıkları “Orta” ve “Yüksektir”.



Şekil 6.17: Burhaniye (Balıkesir) ilçesinin Lee (2003) yaklaşımı, Sönmez ve Gökçeoğlu (2005) sınıflamasına göre düzenlenen sivilaşma duyarlılık haritası

Burhaniye (Balıkesir) ilçesi yerleşim alanı için üretilen sıvılaşmaya karşı duyarlılık haritaları birlikte değerlendirildiğinde her iki haritanın birbiriyle uyumlu olduğu görülmektedir. Bu haritalar incelendiğinde kıyıda orta ve iç kesimlere doğru sıvılaşma riskinin azaldığı sonucuna ulaşılmaktadır. Çalışma alanında kıyı boyunca çok yüksek ve yüksek değere sahip alanlar bulunmaktayken kıyıda iç kesimlere doğru bu değerin düşerek yüksek ve orta değerlerde yer yer de düşük değere sahip alanların varlığı gözlenmektedir.

7. SONUÇ ve ÖNERİLER

Balıkesir (Burhaniye) ilçesi yerleşim alanı, Balıkesir' in güneyinde Balıkesir-Burhaniye karayolu üzerinde ve yaklaşık 95 km uzaklıkta yer almaktadır. İnceleme alanında alüvyonların hakim olduğu ve bölgede genellikle kumlu birimlerin bulunduğu görülmekte olup yeraltı su derinliği genelde 2 m' den azdır. Bu bölge Kuzey Anadolu Fay (KAF) Zonu' nun kuzey kısmında yer almakta olup KAF ile Ege' nin açılma rejiminin arasında bir geçiş zonu özelliği taşımaktadır. Bölge aynı zamanda Yenice- Gönen, Edremit, Havran- Balya Fay Zonlar' ının etkisi altındadır. Söz konusu yerleşim alanının bu jeolojik, hidrojeolojik ve tektonik özelliklerine sahip olması nedeniyle olası kuvvetli yer hareketleri sırasında sıvılaşma tehlikesi altında olduğu görülmektedir. Bu çalışmada, söz konusu alanın Burhaniye Belediyesi tarafından yaptırılmış jeoteknik sondajlar, yerinde yapılmış standart penetrasyon deneyi (SPT) verileri esas alınarak sıvılaşma duyarlılık haritaları üretilmiştir.

Burhaniye (Balıkesir) ilçesi yerleşim alanında topoğrafik yükselti kıyı kesimlerden güneye doğru artmakta 25 m' ye ulaşmaktadır. Eğim çoğunlukta 5° den az olup, bölgede bulunan Örentepe, Küçüktepe, Kocatepe mevkiilerinde artarak 5°-15° arasındadır.

İnceleme alanında bitkisel toprak kalınlığı en fazla 100 cm' dir.

İnceleme alanının yeraltı su yüzeyi topoğrafik yüzeye yaklaşık paralel olup yüksekliği sahilden doğuya doğru düzenli artmakta ve 12 m' ye ulaşmaktadır. Yeraltı su derinliği ise 1-5 m arasında olup çoğunlukla 2 m' den küçüktür ve 5 m' yi geçmemektedir.

Burhaniye belediyesinden sağlanan raporlardaki sondaj loğlarında yer alan verilere göre söz konusu zeminlerin çoğunlukla değişik kalınlıktaki tabakalar halinde kum, siltli kum, çakıllı kumdan meydana geldiği ve tane dağılımı dikkate alındığında 'kolay sıvılaşabilir' olduğu görülmektedir.

3, 6, 9, 12 ve 15 m derinlikleri için yapılan düzeltilmiş SPT-N değerlerini gösteren haritalar incelendiğinde, batıdan doğuya doğru bir zonlanmanın olduğu görülmektedir. SPT-N değerleri söz konusu alanın zeminlerinin kıyı kesimlerinde

gevşek, orta ve iç kesimlere gidildikçe orta sıkı duruma geçtiği görülmektedir. 3m derinlik için üretilen haritada, inceleme alanının kıyı kesimlerinde yer alan zeminlerde düzeltilmiş SPT-N değeri 10-20 arasında olup genelde orta sıkı, kıyı kesiminin kuzeyinde yer alan zeminler de yer yer 4-10 gevşek, orta kısımlarda yer alan zeminler 10-20 arasında olup orta sıkı durumdadır. 6 m derinlik için üretilen haritada, inceleme alanının kıyı kesiminin de özellikle güneyinde Limanın bulunduğu kısımlarda zeminler 4-10 gevşek, orta kısımlarda yer alan zeminler 10-20 orta sıkı durumdadır. 9, 12 ve 15 m derinlikleri için üretilen haritalarda, SPT-N60 değerleri inceleme alanının kıyı ve orta kısımlarında yer alan zeminler 10-20 orta sıkı durumdadır. İnceleme alanının doğusunda yer alan zeminler 20-25 orta sıkı durumdadır.

MTA' nın hazırladığı Türkiye diri fay haritasına (MTA, 2013) göre Burhaniye ilçesi (Balıkesir) yerleşim alanını etkileyebilecek ve en fazla 100 km uzağındaki 31 adet fay zonu belirlenmiştir. Bunlardan Fay segmenti yaklaşımı ile Burhaniye ilçesi (Balıkesir) yerleşim alanına 40 km kuzeybatısında yer alan Yenice-Gönen Fayı $M_w = 7.3$, 30 km kuzeyinde bulunan Evciler Fayı $M_w = 7.0$, 10 km kuzeyinde bulunan Edremit Fay zonu $M_w = 7.2$, 8 km batısında Havran-Balıkesir Fay Zonu $M_w = 7.3$ büyüklüğünde deprem üretebileceği söylenebilir. Bu senaryo depremlerine göre en büyük yer ivmesi inceleme alanının 8 km batısında yer alan Havran-Balya Fay Zonu' nun oluşturacağı $M_w = 7.3$ büyüklüğündeki deprem için elde edilmiş olup, bu değer 0.372 g seviyesindedir.

Burhaniye (Balıkesir) yerleşim alanının sıvılaşmaya karşı duyarlılığı Sönmez (2003) ve Lee vd. (2003) yaklaşımlarına göre sıvılaşma şiddeti indeksleri hesaplanmıştır. Sıvılaşma duyarlılık haritaları üretilmiştir.

Sönmez (2003) yöntemine göre hesaplanan Sıvılaşma İndeksi ve sınıflamasına göre oluşturulan harita incelendiğinde inceleme alanının kıyıdan orta ve iç kesimlere doğru (doğu'ya doğru) sıvılaşmaya karşı duyarlılık açısından bir zonlanmanın olduğu, doğuya doğru sıvılaşma şiddeti indeksinin azaldığını, kıyı boyunca "Çok Yüksek" sıvılaşma şiddeti değerinin orta kesimlere gidildikçe "Yüksek" şiddete orta kesimlerden doğuya doğru devam ettikçe yine "Yüksek" ve yer yer de "Orta" ve "Düşük" sıvılaşma şiddeti değerine düştüğü görülmektedir.

İnceleme alanının yaklaşık %48'i "çok yüksek", %42'i "yüksek", %7'i "orta" ve %3'ü düşük sivilaşma şiddetine sahip olduğu görülmektedir.

Lee(2003) yöntemine göre sivilaşmaya karşı duyarlılık haritası incelendiğinde Ören Tepe'nin sahile bakan kısmında (batısında) ve güneyinde yer alan (Limanında bulunduğu) ve sahil boyumca uzanan alanın sivilaşmaya karşı duyarlılığı "Yüksek" iken Ören Tepe'nin kuzeyinde yer alan ve sahil boyunca uzanan sahil kısmında sivilaşmaya karşı "Yüksek" ve "Orta" alanlar yaklaşık eşit miktarda görülmektedir. İnceleme alanının doğusunda kalan alanların Kocatepe güneyinde kalan yaklaşık 0.5 km 2 lik alan ve İzmir Çanakkale karayolunun geçtiği ve bu yolun KB ve GD' sunda yer alan kısımları (Kocacami, Mahkeme ve Memiş Mahalleleri) sivilaşmaya karşı duyarlılıkları "Düşük" iken diğer kısımlarının sivilaşmaya karşı duyarlılıkları "Orta" ve "Yüksek" olduğu görülmektedir. Her iki yönteme göre de üretilen sivilaşmaya karşı duyarlılık haritaları birlikte değerlendirildiğinde her iki haritanın birbiriyle uyumlu olduğu görülmektedir. Bu haritalar incelendiğinde kıyıda orta ve iç kesimlere doğru sivilaşma riskinin azaldığı sonucuna ulaşılmaktadır. Çalışma alanında kıyı boyunca çok yüksek ve yüksek değere sahip alanlar bulunmaktayken kıyıda iç kesimlere doğru bu değerin düşerek yüksek ve orta değerlerde yer yer de düşük değere sahip alanların varlığı gözlenmektedir.

Burhaniye (Balıkesir) yerleşim alanı için sismik mikrobölgelendirme haritası yapılmalıdır. Bu sismik mikrobölgelendirme haritasında her bir sivilaşmaya karşı duyarlılık bölgesine, özellikle de yüksek ve çok yüksek duyarlı olan bölgelerdeki bina stoğunun (yapıların) depremdeki davranışlarının, hasar görülebilirlik oranlarının ayrıca binadaki yaşayan kişi ve binanın değeri gibi risk analizinde kullanılacak verilerin belirlenmesi gerekir. Bu belirlemeden sonra olası deprem senaryolarına göre can ve mal kaybını azaltacak önlemlerinde yer aldığı bir afet programının hazırlanması gerekmektedir. Tüm bu çalışmaların I. Derece Deprem Bölgesinde yer alan Balıkesir ili büyükşehir sınırları içerisinde kalan tüm alanlar için yapılması gerekmektedir.

Burhaniye (Balıkesir) mevcut yerleşim alanındaki arazilerin yeniden değerlendirilmesinde, arazi kullanım kararları verilirken bu çalışmada ortaya konan sıvılaşmaya karşı duyarlılık haritası temel teşkil edebilir ve yerleşimin genişletilmesi için yeni alanlar açılmak istendiğinde bu yeni alanlar içinde sıvılaşmaya karşı duyarlılık haritası oluşturulması gerekmektedir. Çalışma alanında genellikle kumlu siltli birimlerin bulunduğu görülmekte ve bu kısımlar deprem sırasında yüksek sıvılaşma potansiyeline sahip alanlar olmaktadır. Bu açıdan bu tür zeminler üzerine inşaa edilecek yapıların tasarımında sıvılaşmaya bağlı olarak meydana gelebilecek zararların en aza indirilebilmesi, sıvılaşma sırasında olası hasarların can ve mal kayıplarının azaltılmasını için, bu zeminlerde yapı inşasından kaçınılması, sıvılaşmaya duyarlı zeminlerde uygun temel seçimi ve zemin iyileştirme şeklinde yöntemler ilgili disiplinlerdeki uzmanların görüşü alınarak uygulanmalıdır.

8. KAYNAKLAR

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

Akçay, E.A., Dönmez, M., Ilgar, A., Duru, M., Pehlivan, Ş. (2008). 1/100.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji haritaları Bandırma-H19 Paftası, *M.T.A. Genel Müd. Yayınları*, 103, 1-26.

Akdeniz E., Güney Y., Pekkan E., Avdan U, Tün M. ve Ecevitoğlu 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.

Akgün, A. (2007). Ayvalık ve Yakın Çevresinin Erozyon ve Heyelan Duyarlılığının Coğrafi Bilgi sistemleri Tabanlı İncelenmesi. Doktora Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.

Akyürek, B. (1989). 1:100.000 Ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Ayvalık G 3 Paftası. *M.T.A. Genel Müd. Yayınları*, 97(9), 1249-1273.

Akyürek, B. ve Soysal, Y., (1983). Biga Yarımadası Güneyinin (Savaştepe-Kırkağaç-Bergama-Ayvalık) Temel Jeoloji Özellikleri. *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Dergisi*, 95 (96), 1-12.

Andrews, D.C.A. and Martin, G.R. (2000). Criteria for Liqefaction of Silty Soils. *Proceedings of the 12 th World Conference on Cortquake Enginerring*, Auckland, New Zealand, 1-7.

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

Atabey, E. (2000). *Deprem*. 34, Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayınları Eğitim Serisi, 23-46.

Atak, V.O., Aksu, O., Önder, M., Aydan, Ö. ve Toz, G. (2003). Zeminlerde Sıvılaşmaya ve Faylanmaya Bağlı Yer Değiştirmelerin Yön ve Büyüklüklerinin Fotogrametrik Yöntemlerle Belirlenmesi. *Küçükçekmece ve Yakın Çevresi Teknik Kongresi*, İstanbul, 1-5.

Bargu S., Osmaşahin Ğ. ve Öztoprak S. (2000). İstanbul Üniversitesi Araştırma ve Yardım Vakfı Eğitim Faliyetleri İşletmesi. *Gürsu (Bursa) Alanının Jeolojik ve Jeoteknik Araştırma Raporu*.

Barka, A. ve Kandisky-Code, K. (1988). Strike-Slip Fault Geometry in Turkey and Its Influence on Earthquake Activitiy. *Tectonics*, 7, 663-684.

California Division of Mines and Geology (CDMG), (1992). *Draft Guideline Liquefaction hazard zones*, Sacramento: California Division of Mines and Geology Publication.

Castro, G. (1969). Liquefaction of Sands. Ph.D. Thesis, *Harvard University, Pierce Hall*, Cambridge.

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.

Çetin Ö.K., Yunatıcı A.A., Çağlı S., Güلكokar T., Aktaş R., Altınışik 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.

Coates, D.R. (1990). Geomorphic controls of groundwater hydrology in: Groundwater Geomorphology. (eds: Charles and G. Higgins), *The Role of Subsurface Water in Earth-Surface Process and Landforms*, Geological Society of America, 252, New York, 341-349.

Çobanoğlu, G., Bozdağ G., Kumsar H. ve Çobanoğlu D. (2006). Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) Kullanılarak Adana İli Yerleşim Alanının Hidrojeolojik Özellikleri ve Su Kalitesinin Değerlendirilmesi. *Bilgi Teknolojileri Kongresi IV. Akademik Bilişim 2006 Bildiriler Kitabı*, Denizli, 544-549.

Das, B.M. (1993). *Principles of Soil Dynamics*. Boston: PWS-Kent Publication, 397-447.

Demir, G. (2013). Gürsu (Bursa) Yerleşim Alanındaki Temel Zeminlerin Jeo-Mühendislik Özelliklerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Kullanılarak Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı*, Balıkesir.

Demirtaş, R. ve Erkmen, C. (2000). *Deprem ve Jeoloji*. 52, Ankara: Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, 322-390.

Demirtaş, R. ve Yılmaz, R. (1996). *Türkiye'nin Sismotektoniği*. Ankara: Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.

Demirtaş, R., Erkmen, C., Yaman, M., Tepeuğur, E., Eravcı, B., Yanık, K., Baran, B. ve Çolakoğlu, Z. (2003). 17-18 Haziran 2003 Sındırgı-Bigadiç Depremleri Deprem Fırtınası mı?, *Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi Sismoloji Şube Müdürlüğü, Deprem Raporları*. Rapor No:023.

Derinöz, N. (2004). *Hakkari Barajı ve HES projesi zemin sıvılaşma riskinin belirlenmesi*. 431, Ankara: TMH – Türkiye Mühendislik Haberleri, 33-38.

Elmasdere E. (2008). Isparta Mavikent Yerleşim Bölgesinin Sismik Mikrobölgelemesi ve Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, Isparta.

Emre, Ö., Doğan, A. ve Yıldırım, C. (2012). Biga Yarımadasının Diri Fayları ve Deprem Potansiyeli. (eds: E. Yüzer and G. Tunay). *Biga Yarımadasının Genel ve Ekonomik Jeolojisi*, 28, Ankara: Pozitif Matbaacılık Ltd. Şti., 163-191.

Erden, A. ve Gökmen Y.O. (2012). *Burhaniye (Balıkesir) ilçesi 24 26 A Paftasına Ait Jeolojik-Jeoteknik Raporu*, Ed ve Arzem Jeoteknik Mühendislik ve Müşavirlik.

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

Finn, W.D.L., Bransby, P.L. and Pickering, D.J. (1970). Effect of Strain History on Liquefaction of sands. *Journal of of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE*, 96(6), 1917-1934.

Forbes, D.L. (1985). Morphology and sedimentology of a sinuous gravel-bed channel system Lower Babbage, River Yukon coastal plain, Canada in: Modern and Ancient Fluvial Systems. (Eds: Collinson J.D. and J. Lewin), *Special publication number 6 of the International Association of Sedimentologists*, Blackwell Scientific Publications, 195-206.

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

Herece, E. (1985). The Fault trace of 1953 Yenice- Gönen Earthquake and Some Examples of Recent Tectonic Events in the Biga Peninsula of Northwest. Ms. S. Thesis, *Penn State Universty*, ABD.

Iwasaki, T., Arakawa, T. and Tokida, K.I. (1984). Simplified Procedures for Assessing Liquefaction During Earthquakes, *Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 3(1), 49-58.

Iwasaki, T., Tokida, K. Tatsuoka, F., Watanabe, S., Yasuda, S. and Sato, H.(1982). Microzonation for soil liquefaction potential using simplified methods. *In: Proceedings of the 3rd International Conference on Microzonation*, 3, 319–1330.

İçöz, E., Karadeniz, D. Arslaner, B., Bostancı, B. ve Türk, N. (2000). *Burhaniye (Balıkesir) Yerleşim Alanının Jeolojik- Jeofizik- Jeoteknik Etüd Raporu*, Burhaniye Belediyesi.

Kahraman, S. ve Unsal Ö. (2014). *ArcGis For Desktop Spatial Analyst. 1*, Ankara: Sarıyıldız Ofset, 45-54.

Kalafat D. ve Pınar, A. (1997). KB Anadolu'nun Sismotektonik Özelliklerinin Küçük ve Orta Büyüklükteki Depremlerle İrdelenmesi. *Aktif Tektonik Araştırma Grubu Birinci Toplantısı*, İTÜ Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Karaca Ö. (2007). Fethiye Yerleşim Alanı Zeminlerin Mühendislik Özelliklerinin Belirlenmesi ve Jeoteknik Haritalarının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Kullanılarak Hazırlanması. Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı*, Isparta.

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

Karavul C., Kurnaz F.T. ve Kıyak A. (2006). Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak İki Farklı Yaklaşımla Adapazarı Kenti SPT (Standar Penetrasyon Testi) Haritalarının Oluşturulması. *4. Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri*, Fatih Üniversitesi, İstanbul.

Karavul C., Kurnaz F.T., Bayhan G. ve Kıyak A. (2005). Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Adapazarı Zemin Sıklık Durumunun Haritalanması. *Deprem Sempozyumu*, Sakarya Üniversitesi, Kocaeli, 1311-1318.

Ketin, İ. (1960). 1/2 500 000 Ölçekli Türkiye Tektonik Haritası Hakkında Açıklama (Notice Explicative), *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Dergisi*, 779, 1-7.

Ketin, İ. ve Roseli, F. (1953). Makroseismische Untersuchungen über das nordwetenatolische Beben vom 18. März 1953. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 46, 187-208.

Kıncal C., Koca Y.M. ve Özyalın G., (2007). Armutalanı (Marmaris-Muğla) Beldesi Sahasının Yerleşim Amaçlı Arazi Kullanım Haritasının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Destekli Hazırlanması. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi*, Ankara, 145-160.

Kıyak, A. (2008). Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Adapazarı Glinin Mikro Zemin Parametre Haritalarının Hazırlanması. Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Anabilim Dalı*, Sakarya.

Koçyiğit, A. (2002). Çay (Afyon) Depreminin Kaynağı ve Ağır Hasarın Nedenleri: Akşehir Fay Zonu. *Cumhuriyet Bilim Teknik*, 779, 1-7.

Kol, Ç. ve Küpcü, S. (2008). *Esri ArcGIS 3D Analiz*. 1, Ankara : Sinan Ofset Matbacılık San. Tic. Ltd. Şti, 55-63.

Kramer, S.L. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. New York: Prentice Hall, 640-653.

Küpcü, S. (2005). *ArcGIS 9 Uygulama Dökümanı*.1, Ankara: İşlem Coğrafi Bilgi Sistemleri Mühendislik ve Eğitim Ltd. Şti, 1-10.

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

Mollamahmutoğlu M. ve Babuğu, F. (2006). *Zeminlerde Sıvılaşma Analiz ve İyileştirme Yöntemleri*. Ankara: Gazi Kitabevi, 29-98.

Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, (2013). Türkiye Diri Fayları Veri Tabanı [online]. (28 Mayıs 2015), (<http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx>).

Özçep, F. (2006). *Zeminlerin Statik ve Dinamik Analizi*. 6, Ankara: TMMOB jeofizik Mühendisleri Eğitim Yayınları, 520-551.

Polito, C.P. (1999). The effects of non-plastic and plastic fines on the liquefaction of sandy soils. Ph.D. Thesis, *Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University*, Blacksburg.

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. (1982). Ground motions and soil liquefaction during earthquakes, *EERI Monograph*, 5, 102-134.

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

Seed, H.B. and Peacock, W.H. (1971). Test procedures for measuring soil liquefaction characteristics. *Journal of the Soil Mech. and Found. Div., ASCE*, 97(8), 1099-1119.

Seed, H. B. and Lee, K.L. (1966). Liquefaction of saturated sands during cyclic loading. *Journal of Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE*, 92, 105-134.

Seven S. (2008). Eskişehir İli Tepebaşı Bölgesinin Temel Zemini özelliklerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri Ortamında İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, Eskişehir.

Sivrikaya, O. ve Togrol, E. (2003). İnce Taneli Zeminlerde SPT Sonuçlarının Düzeltilmesi Üzerine Bir Çalışma. *İTÜ Dergisi/Mühendislik*, 2(6), 59-67.

Strahler, A.N. Science and System of the Human Environment. (eds: John W. and Sons I.), *Physical Geography*, New York: Wiley, 103-142, (1974).

Siyahi, B., Erdik, M., Sesetyan, K., Demircioglu, M.B. ve Akman, H. (2003). Sıvılaşma ve sev stabilitesi hassaslığı ve potansiyeli haritaları, İstanbul örneği *Besinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, 1-10.

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.

Sönmez, H. (2011). *Zemin Sıvılaşması*. Ankara: TMMOB JMO Jeoloji Mühendisleri için Jeoteknik Etüt Kursu (Planlamaya Esas Jeolojik-Jeoteknik Etüt) Notları, 1-33, (yayınlanmamış).

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*, 4 (1), 33-40.

Şaroğlu,F., Emre, Ö. ve Kuşcu, İ. (1992). The East Anatolian Fault Zone of Turkey. *Annales Tectonicae Special Issues*, VI, 99-125.

Şaroğlu, F., Emre, Ö. ve Boray, A., “Türkiye’ nin Diri Fayları ve Depremsellikleri”, 8174, *Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü*, (baskıda) (1987).

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.

Tağıl, Ş. (2003). Balıkesir Ovası ve Yakın Çevresinin Fiziki Coğrafyası, *Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Doktora Tezi, Ankara.

Taymaz, T., Jackson, J. and McKenzie, D.P. (1991). Active tectonics of the North and Central Aegean Sea. *Geophys., J. Int.*, 106, 433-490.

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.

Törezen, G., Özdemir İ. ve Kurt T. (2010). *ArcGIS 10 Desktop Uygulama Dokümanı*. Ankara: İşlem Coğrafi Bilgi Sistemleri Mühendislik ve Eğitim Ltd. Şti., 1-56.

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

Ündül, Ö. ve Gürpınar, O., (2003). Çokal Vadisindeki (Gelibolu) Alüvyal Zeminlerin Sıvılaşma Potansiyeli. *İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yerbilimleri Dergisi*, 16 (1), 67-80.

Wang, J.G.Z.Q. and Law, K.T. (1994). *Siting in Earthquake Zones*. Rotterdam: Balkema, 102-115.

Wang, W. (1979). Some findings in soil liquefaction. *Water Conservancy and Hydroelectric Power Scientific Research Institute*, 1-17.

Wells, D. and Coppersmith, K. (1994). New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area and surface displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84, 974-1002.

Wong, T., Seed, H.B. and Chan, C. (1974). EERC: Liquefaction of gravelly soils under cyclic loading conditions. *University of California, Earthquake Engineering Research Center, Berkeley, CA. Report No. 74-11*

Yomralıoğlu, T. (2002), *Cografı Bilgi Sistemleri Temel Kavramlar ve Uygulamalar*. 5, İstanbul: Seçil Ofset, 16-25.

Youd, T.L., (1992). Liquefaction, ground failure, and consequent damage during the 22 April 1991 Costa Rica Earthquake. *Proceedings of the NSF/UCR US.Costa Rica Workshop on the Costa Rica Earthquakes of 1990-1991, Effectson Soils and Structures, ERI Publication, 93-A, 73-75.*

Youd. T.L., et.al. (2001). Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report From The 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 127(10), 817-832.