

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



**SUSURLUK İLÇE MERKEZİ (BALIKESİR) YERLEŞİM
ALANI ZEMİNLERİNİN JEO-MÜHENDİSLİK
ÖZELLİKLERİNİN CBS İLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OSMAN SAMED ÖZKAN

BALIKESİR, HAZİRAN - 2015

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



SUSURLUK İLÇE MERKEZİ (BALIKESİR) YERLEŞİM
ALANI ZEMİNLERİNİN JEO-MÜHENDİSLİK
ÖZELLİKLERİNİN CBS İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OSMAN SAMED ÖZKAN

BALIKESİR, HAZİRAN - 2015

KABUL VE ONAY SAYFASI

Osman Samed ÖZKAN tarafından hazırlanan “SUSURLUK İLÇE MERKEZİ (BALIKESİR) YERLEŞİM ALANI ZEMİNLERİNİN JEO-MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNİN CBS İLE DEĞERLENDİRİLMESİ” 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 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

Three handwritten signatures in blue ink are positioned above three horizontal dotted lines. The first signature is the most prominent, followed by two others below it.

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

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Doç. Dr. Necati ÖZDEMİR

.....

ÖZET

**SUSURLUK İLÇE MERKEZİ (BALIKESİR) YERLEŞİM ALANI
ZEMİNLERİNİN JEO-MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNİN CBS İLE
DEĞERLENDİRİLMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
OSMAN SAMED ÖZKAN
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. ŞENER CERYAN)
BALIKESİR, HAZİRAN - 2015**

Bu çalışmada Susurluk yerleşim alanındaki (Balıkesir, Türkiye) zemininin jeo-mühendislik özellikleri CBS kullanılarak değerlendirilmiştir. Bunun için önce Susurluk Belediye arşivinden alınan zemin etüt raporlarında uygun olan verilerden bir veri tabanı oluşturulmuştur. Bu veri tabanı için 77 sondaj verisi, kullanılmıştır ve veriler Coğrafi Bilgi Sistemi CBS kullanılarak analiz edilmiştir. Bu analizlerle 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, P-dalga hızı (V_p), S-dalga hızı (V_s), V_p/V_s oranı ve zemin büyütme haritaları hazırlanmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: CBS, zemin etüt, SPT, jeo-mühendislik, Susurluk

ABSTRACT

GEO-ENGINEERING EVALUATION AT SUSURLUK (BALIKESİR) SETTLEMENT AREA WITH USING GIS

MSC THESIS

OSMAN SAMED ÖZKAN

BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

GEOLOGICAL ENGINEERING

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

BALIKESİR, JUNE 2015

In this study, the geo-engineering properties of the soil in the settlement area of The Susurluk (Balıkesir, Turkey) was assessed using GIS. For this, firstly, a database was created using the appropriate data taken from the soil investigation report from Susurluk municipality archive. The database was created by using 77 borehole data 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. , P-wave velocity (V_p), S-wave velocity (V_s), the ratio of V_p/V_s and amplification were prepared using these analysis.

KEYWORDS: GIS, soil, soil investigation report, SPT, geo-engineering, Susurluk

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	viii
1. GİRİŞ	1
1.1 İnceleme Alanının Tanıtılması	2
1.1.1 Coğrafi Konum	2
1.1.2 Topoğrafya ve Bitki Örtüsü	2
1.1.3 Ulaşım ve Ekonomi	4
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	5
3. ÇALIŞMA YÖNTEMİ VE BULGULAR	9
3.1 Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Tanımı, Tarihçesi ve Kullanım Alanları	9
3.1.1 İnterpolasyon Yöntemi	11
3.2 Arazi Deneyleri	13
3.2.1 SPT Deneyleri	13
3.2.2 Jeofizik Çalışmalar	15
3.3 Laboratuvar Deneyleri	17
3.4 Veri Tabanının Oluşturulması	18
4. JEOLOJİ	22
4.1 Giriş	22
4.2 Litoloji ve Stratigrafi	23
4.2.1 Fazlıkonağı Formasyonu (Pzf)	23
4.2.2 Karakaya Formasyonu	23
4.2.3 Yayla Melanjı	24
4.2.4 Çataldağ Granitoyidi	24
4.2.5 Savaştepe Formasyonu	25
4.2.6 Alüvyon	25
4.3 Yapısal Jeoloji ve Depremsellik	25
4.3.1 Kıvrımlar	26
4.3.2 Faylar	26
4.3.2.1 Susurluk Fayı	28
4.3.2.2 Yenice-Gönen Fayı	29
4.3.2.3 Manyas Fayı	29
4.3.2.4 Ulubat Fayı	30
4.3.2.5 Biga-Çan Fay Zonu	30
4.3.2.6 Havran-Balya Fay Zonu	31
4.3.2.7 Balıkesir Fayı	31
4.3.2.8 Pazarköy Fayı	32
4.3.2.9 Sarıköy Fayı	32

5. SUSURLUK (BALIKESİR) YERLEŞİM ALANININ JEO- MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNİN CBS İLE DEĞERLENDİRİLMESİ	34
5.1 Giriş.....	34
5.2 Çalışma Alanı Eşyükselti Haritası	36
5.3 Sayısal Yükseklik Modeli ve Eğim Haritaları	37
5.4 Yeraltı Su Kotu ve Derinlik Haritaları	39
5.5 Standart Penetrasyon Testi (SPT) Haritaları	41
5.6 Boyuna Dalga Hızı (Vp) Haritası.....	47
5.7 Enine Dalga Hızı (Vs) Haritası	48
5.8 Sismik Hız Oranı (Vp/Vs) Haritası	51
5.9 Zemin Büyütme Haritaları	52
6. SONUÇLAR	57
7. KAYNAKLAR	60

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Susurluk ilçesinin yer bulduru haritası.....	3
Şekil 3.1: CBS'nin temel bileşenleri (Çabuk, 2011).....	10
Şekil 3.2: Örnek bir sayısal arazi modeli (Çabuk, 2011).....	11
Şekil 3.3: Interpolasyon yöntemi - seçilen nokta için komşuluk ilkesi (http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/How_IDW_works/009z00000075000000/).....	13
Şekil 3.4: Şekillendirilmiş standart penetrasyon deneyi (Özcan, 2012'den alınmıştır).....	14
Şekil 3.5: Örnek sondaj logu (Susurluk Belediyesi arşivi).....	16
Şekil 3.6: Örnek enine ve boyuna dalga hızı modeli (Başokur, 1999).....	17
Şekil 3.7: SPT-N ile Vp ve Vs değerleri arasındaki ilişkiler.....	18
Şekil 3.8: İnceleme alanına ait elek analizi raporunun örneği (Susurluk Belediyesi arşivi).	20
Şekil 4.1: Çalışma alanını kapsayan jeoloji haritası (Çetiner ve Demirtaş, 2014'den değiştirilerek).....	22
Şekil 4.2: Susurluk'un 100 km çevresindeki faylar.....	26
Şekil 5.1: Çalışma alanının ölçüm noktaları.....	36
Şekil 5.2: Çalışma alanının eşyüksekti haritası.....	37
Şekil 5.3: Sayısal yükseklik modeli haritası.....	38
Şekil 5.4: İnceleme alanının eğim haritası.....	39
Şekil 5.5: İnceleme alanının yeraltı suyu kotu haritası.....	40
Şekil 5.6: İnceleme alanının yeraltı su derinliği haritası.....	41
Şekil 5.7: SPT-N değerlerinin 3 m derinlikteki zemin haritası.....	43
Şekil 5.8: SPT-N değerlerini 6 m derinlikteki zemin haritası.....	44
Şekil 5.9: SPT-N değerlerini 9 m derinlikteki zemin haritası.....	45
Şekil 5.10: SPT-N değerlerini 12 m derinlikteki zemin haritası.....	46
Şekil 5.11: SPT-N değerlerini 15 m derinlikteki zemin haritası.....	47
Şekil 5.12: Çalışma alanının boyuna dalga hızı (Vp) haritası.....	49
Şekil 5.13: Çalışma alanının enine dalga hızı (Vs) haritası.....	50
Şekil 5.14: Çalışma alanının sismik hız oranı (Vp/Vs) haritası.....	52
Şekil 5.15: Çalışma alanının Midorikava (1987)'e göre zemin büyütme haritası.....	54
Şekil 5.16: Çalışma alanının zayıf yer hareketleri için Borcherdt vd. (1991)'e göre zemin büyütme haritası.....	55
Şekil 5.17: Çalışma alanının güçlü yer hareketleri için Borcherdt vd. (1991)'e göre zemin büyütme haritası.....	56

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1: Örnek veri formatı	21
Tablo 4.1: Susurluk ilçesinin 100 km çevresindeki diri faylar (MTA, 2013)..	27
Tablo 5.1: Standart penetrasyon direnci ve izafi sıklık arasındaki ilişkiler (Demir, 2013).....	42
Tablo 5.2: SPT ile ince daneli zeminler arasındaki ampirik ilişki (Demir, 2013).....	42
Tablo 5.3: Bazı zemin ve kayaçlar için boyuna dalga ve enine dalga hızları (V_p ve V_s) (Keçeli, 1990'den değiştirilerek)	48
Tablo 5.4: Dalga Hızları Zemin Tanımlamaları (Uyanık vd. 2006)	49
Tablo 5.5: Zeminin sıklık durumuna göre enine dalga hızı (V_s), boyunad alga hızı(enine dalga hızı ooranı (V_p/V_s), dinamik kayma modülü (G , kg/cm^2) ve dinamik elastisite modülü (E , kg/cm^2) değerleri (Kurtuluş v.d.2011'den alınmıştır).....	51
Tablo 5.6: Göreli büyütme faktörleri ile S-dalgası arasındaki ilişkiler (Ulusay 2010).....	53

SEMBOL LİSTESİ

SPT: Standart Penetrasyon Testi.

m: Metre

CBS (GIS): Coğrafi Bilgi Sistemi (Geographic Information System)

V_p: Boyuna Dalga Hızı (m/s)

V_s: Enine Dalga Hızı (m/s)

IDW: Inverse Distance Weighted

SPT-N₆₀: Düzeltilmiş SPT Değeri

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.

Çalışma alanının haritalama ve zemin etüt raporların konusundaki yardımlarından dolayı Susurluk Belediyesi Harita Özgür KUMRAL'a ve İnşaat Mühendisi Ayhan ÖZATEŞ'e teşekkür ederim.

Çalışmamda yardımlarını esirgemeyen arkadaşım Güler ESİN'e teşekkür ederim.

Hayatım boyunca hep yanımda olan, yüksek lisans çalışmalarım sırasında dualarını benden esirgemeyen sevgili anneme, güvenini hiç düşürmeden bana moral veren sevgili babama, çalışmalarımı destekleyen ve her zaman yanımda olan sevgili aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Balıkesir, 2015

Osman Samed ÖZKAN

1. GİRİŞ

Doğal afetler hayatımızın tehlikeli ve değişmez gerçekleridir. Ülkemizin gerek coğrafi gerekse jeolojik yapısı nedeniyle doğal afetlerle yüz yüze gelmesi kaçınılmazdır. İnsanoğlunun üzerinde yaşadığı yapıyı yakından tanınması, bu yapıdan kaynaklanacak doğal afetlere karşı daha tedbirli ve daha korumalı olmasını sağlayacaktır.

Hatırlanacağı üzere ülkemizde meydana gelen 1999 Marmara depreminde yüzbinlerce mühendislik yapısı hasar görmüş, yıkılmış ya da kullanılamaz hale gelmiştir. Ülkemizde 2015 yılında sadece 1 Nisan-1 Mayıs ayına kadar bir aylık sürede tam 1289 tane deprem ve depremcik olmuştur. 19 Mart 2015'te Balıkesir ilinde 24 saat içinde tam 21 depremcik meydana gelmiştir.

Bu bilgiler doğrultusunda olası bir depremde yer hareketinin oluşturacağı etkiyi önceden tahmin edebilmek, gelebilecek zararı azaltabilmek en nihayetinde bundan kaynaklı can kayıplarını en aza indirebilmek için jeo-mühendislik özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Çalışma alanı Susurluk (Balıkesir), Balıkesir'e 42 km uzaklıkta bir ilçedir. Susurluk ilçe merkezi Susurluk çayını merkez alarak büyümüştür. İlçe merkezindeki alüvyon ve Neojen çökelleri bu yüzden kumlu bir yapıya sahiptir.

Bu çalışmada Susurluk yerleşim merkezinin zemin profili, zeminlerin mühendislik özelliklerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile jeo-mühendislik haritaları üretilmiştir. Çalışmada kullanmak için Susurluk Belediyesinde bulunan daha önceden yapılmış zemin etüt raporları incelenmiş ve gerekli bulgular toplanmıştır. Daha sonra 220 adet zemin etüt raporundan verileri kullanılmak için uygun olan ve gerekli verileri içeren 77 zemin etüt raporu seçilmiştir. Bu zemin etüt raporları jeolojik ve jeoteknik bilgileri içermektedir ve parsel bazında hazırlanmıştır.

Haritaları hazırlamak için bir CBS yazılımı olan ArcGIS 10.3 (deneme sürümü) programı kullanılmıştır. Zemin etüt raporlarında uygun olan veriler

sayısallaştırılarak bilgisayar ortamına atılıp veri tabanı oluşturulmuştur. Oluşturulan veri tabanından yararlanılarak Susurluk ilçe merkezinin eşyükselti, genel jeoloji, eğim, SPT-N, yeraltı su seviye, yeraltı su kotu, enine ve boyuna dalga hızı, sismik dalga hızı ve zemin büyütme haritaları üretilmiştir.

1.1 İnceleme Alanının Tanıtılması

1.1.1 Coğrafi Konum

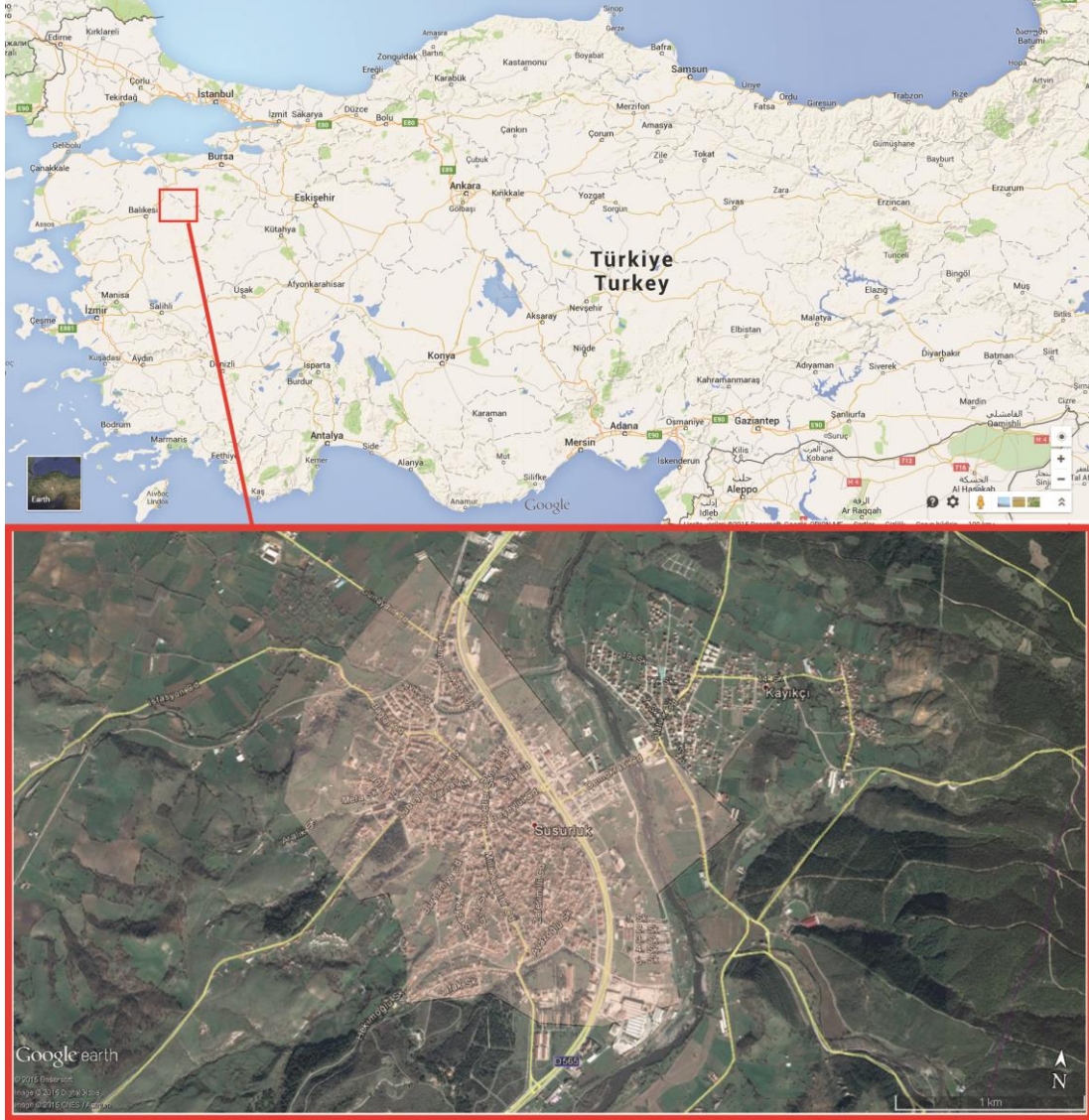
Susurluk, Türkiye'nin kuzey batısında, Marmara bölgesinin güney doğusunda bulunan Balıkesir ilinin bir ilçesidir. Balıkesir'e 42 km uzaklıkta bulunan Susurluk, 39°45'26.25"K - 40° 6'47.65"K enlemleri ile 27°58'35.19"D- 28°20'36.47"D boylamları arasında sınırlanmıştır. (Şekil 1.1) İlçenin çevresinde kuzeyinde Bandırma, kuzeybatısında Manyas, güneybatısında Karesi, güneyinde Kepsut gibi Balıkesir ilinin ilçeleri ile, doğusunda Mustafakemalpaşa (Bursa) ve kuzeydoğusunda Karacabey (Bursa) gibi ilçeler vardır.

1.1.2 Topoğrafya ve Bitki Örtüsü

İlçede fazla yüksek dağlar bulunmamaktadır. Batısında yer alan Keltepe (881m) ve doğusunda yer alan Çataldağ (1313m) en önemli yükseltilerdir. Ayrıca İlçenin merkezinin kurulu olduğu Susurluk havzası diğer önemli yeryüzü şekilleridir (Balıkesir Valiliği).

Susurluk iklimi Akdeniz ikliminin Marmara geçiş tipi özelliklerini taşımaktadır. Kış mevsimi kar yağışlı, don olayları olağandır. Yaz kuraklığı nispeten Akdeniz ikliminin asıl tipine göre daha az belirgindir. Nedeni karasallıktır. Karasallığın etkisi ile yaz mevsiminde az da olsa yağış oluşmaktadır. Yıl içinde en sıcak ay Temmuz ayı, en soğuk ay ise Şubat ayıdır. Ölçülen en düşük sıcaklık değeri -19 °C iken, en yüksek sıcaklık değerine 12Ağustos 2002 de 46 °C ile ölçülmüştür. Yıllık yağış tutarı ortalama 700 mm dolayındadır. İlçenin iklimi üzerinde Susurluk Çayının etkisi çok fazladır. Bir havza içinde kalan Susurluk Çayının ılımanlaştırıcı

etkisini iklim koşullarında fazlasıyla yaşamaktadır. Çevre ilçelerle, Balıkesir’le iklim elemanları arasında farklılıklar yaşanmaktadır. Yıllık yağışın büyük çoğunluğu kış aylarında düşmektedir. Özellikle 12, 1, 2 ve 3. aylar yağışlıdır (Balıkesir Valiliği).



Şekil 1.1: Susurluk ilçesinin yer bulduru haritası

Doğal bitki örtüsü, düz ovalık alanlarda, havzada steplerden meydana gelmiştir. Stepler ilkbahar yağışları ile yeşermektedir, uzun yaz kuraklıkları sonucunda ortadan kalmaktadırlar. Step alanlarında gelincik, çobançantası, çeşitli çalılıklar ve bunların arasında söğüt (salix), kavak (populus), meşe (Quercus), çınar (platanus) karışmaktadır. Özellikle dere kenarlarında, akarsu boylarında daha belirgindir. Yamaçlara doğru çıkıldıkça özellikle dişbudak (fraxinus) önemli ağaç türüdür (Balıkesir Valiliği).

1.1.3 Ulaşım ve Ekonomi

Ulaşım imkânları bakımından ilçe merkezi çok elverişli bir konumda olup, İstanbul, İzmir, Balıkesir ve Bandırma (Hızlı Feribot) karayolu üzerindedir. İlçenin Balıkesir'e uzaklığı 42 km, Bursa iline uzaklığı 110 km'dir. Susurluk merkezinden çevre il, ilçe ve köylerin hepsine ulaşım imkânı vardır. 9 köyün ulaşımı stabilize yol, 35 köyün ulaşımı asfalt yol ile sağlanmaktadır. İzmir-Bandırma demiryolu ilçeden geçmekte olup, en yakın sivil hava alanı ise 110 Km. uzaklıktaki Bursa hava alanıdır. Bandırma'dan her gün karşılıklı olarak düzenlenen Bandırma-İstanbul Hızlı Feribot seferleri ilçe için de ayrı bir yarar sağlamaktadır (Balıkesir Valiliği).

İlçede 2 adet kaplıca vardır. Biri Bandırma yolundaki Ilıcaboğazı Kaplıcaları (şehir merkezinden yaklaşık 23 Km.) diğeri ise Yıldız Köyü Kaplıcaları Balıkesir yolunda şehir merkezine yaklaşık 17 Km. mesafededir. Ayrıca Türkiye'nin en büyük alışveriş merkezlerinden Festiva Outlet Park Balıkesir karayolunda Susurluk'a 10 Km. mesafede yer almaktadır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Soykan (1991), Çalışmanın ağırlık noktası, Kepsut-Susurluk arası Kepsut-Susurluk kuzeyi arasında Susurluk çayı vadisinin jeo-morfolojisinin 1:25.000 ölçekli topoğrafya haritalarına dayanılarak, araştırma sahasının jeomorfolojik özelliklerinin tespiti, yayılış alanlarının belirlenmesi ve bunların jeomorfolojik metotlarla yorumlanarak haritalanmasıdır. Ayrıca sahadaki jeomorfolojik özelliklerin oluşum ve gelişiminde etkili olan faktörler ve bunların etkilerinin neler oldukları ele alınmıştır.

Akyüz (1995), Balıkesir'e bağlı Manyas-Susurluk-Kepsut ilçelerinde farklı dönemlerde gelişmiş okyanusların kapanmalarını temsil eden birimler ve tektonizma sonrasında gelişmiş magmatik ve çökel kayaların jeolojisini incelemiştir.

Başokur ve diğ. (1999), Susurluk ilçe merkezi ve civarında imar planı çalışmalarına temel oluşturmak amacı ile bir jeolojik ve jeofizik ön çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda alanın genel jeolojisi çalışılmış ve jeofizik yöntemlerden de sismik kırılma ve mikro deprem ölçümleri alınmıştır. Bu çalışma Susurluk İlçesi'nde deprem riski açısından ciddi yerleşim sorunları olduğunu, yerleşim planları ve politikalarının saptanması için burada verilen yöntemler ile birlikte sondaj ve jeo-teknik deneylerinin de dâhil edileceği ayrıntılı çalışmaların daha geniş alanlar üzerinde uygulanması gereğini ortaya koymaktadır.

Orhan (2005) tarafından Eskişehir yerleşim alanı güney bölümünün jeomühendislik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla bir çalışma yapılmıştır. Jeolojik, jeomorfolojik ve tektonik veriler toplanarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Daha ileriki aşamalarda bölge ile ilgili yapılmış olan sondajlara ait verilerden Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ortamında bir veri tabanı oluşturulmuştur. Özellikle inceleme alanı sınırı içinde bulunan sınırlandırılmış bir alan içinde temel birimlere ait jeomühendislik özelliklerin belirlenmesi amacıyla mühendislik jeolojisi haritaları oluşturulmuştur.

Karavul vd. (2005), Adapazarı zeminin sıklık durumunun haritalanması çalışmasında, Adapazarı merkezinde, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak

elastisite modülü, poison oranı, dalga hızı ve kaymam modülü haritalarını oluşturmuşlardır.

Karavul vd. (2005) tarafından CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) kullanılarak iki farklı yaklaşımla Adapazarı kenti SPT (Standart Penetrasyon Testi) haritalarının oluşturulması adlı çalışmada; Adapazarı şehir merkezinde yapılmış olan sondajlardaki SPT değerleri ile veri tabanı oluşturulmuş ve iki farklı yaklaşımla SPT haritaları üretmişlerdir. Yazarlar haritaların hazırlanmasında “doğal komşuluk” modelleme yöntemi kullanmışlardır.

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.

Karaca (2007), Fethiye yerleşim alanı zeminlerinin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi ve jeoteknik haritalarının coğrafi bilgi sistemleri (CBS) kullanılarak hazırlanmasına yönelik çalışmada, Fethiye ve çevresinin mühendislik özelliklerini belirlemiş ve jeolojik haritaları, CBS sistemlerini kullanarak hazırlamıştır. Bu çalışmada eğim, sıvılaşma potansiyeli, yeraltı suyunun yüzeyden derinliğini, yeraltı suyu seviye, titreşim periyodu, zemin deprem büyütmesi ve elastik dalgaların zemin tabakalarındaki hızlarını gösteren haritaları üretmiştir. Yazar bu haritaları esas alarak çalışma alanını yerleşime uygunluk açısından değerlendirmiştir.

Orhan (2008), “Susurluk Skarn Yataklarının Mineralojik ve Jeokimyasal Özellikleri (Balıkesir-Batı Anadolu)” başlığı altında hazırlanan doktora tezinde Susurluk doğusundaki Tersiyer yaşlı Çataldağ Granitoyidi'nin Oligo-Miyosen ve Mesozoyik yaşlı metamorfik ve karbonatlı birimlere sokulumu sonucu gelişmiş kontakt metasomatik yataklar incelenmiştir.

Kolat (2010), sürekli gelişen ve sismik olarak aktif bir bölgede yer alan Yenişehir (Bursa, Türkiye) yerleşim merkezi için yerleşime uygunluk amacıyla jeoteknik mikrobölgeleme modelinin geliştirilmesi amacıyla, çalışma alanının zemin

özellikleri ve dinamik zemin davranışları incelemiş; sondaj verileri ile mikrotremör ölçümleri kullanılarak bölgenin zemin sınıflaması, zemin büyütmesi, zemin hakim periyodu, rezonans olgusu ve sıvılaşma potansiyeli değerlendirmiştir. Çalışma alanına ait iki jeoteknik mikro bölgeleme haritası; sıvılaşmaya bağlı yüzey hasarı (iki farklı yöntemle göre), zemin büyütme ve akarsulara uzaklık haritalarına göre, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı Çok Ölçütlü Karar Analizi kullanılarak oluşturulmuştur.

Özcan (2012)'nin yaptığı çalışmada Konya ili Selçuklu ilçesinin zemin özellikleri jeolojik-jeoteknik açıdan değerlendirilmiştir. İnceleme alanında Konya Büyükşehir Belediyesi tarafından ilçenin zemin özelliklerini belirlemek amacıyla yapılmış olan sondajlar ve laboratuvar sonuçları arazi gözlemleriyle bir araya getirilerek birlikte değerlendirilmiştir. Selçuklu ilçesinin Jeoloji Haritası, arazi gözlemleri, önceki çalışmalar ve sondaj verileri bir araya getirilerek hazırlanmıştır.

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.

Demir (2013), Gürsu (Bursa) yerleşim alanında temel zeminlerin Jeo-Mühendislik özelliklerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak değerlendirilmesi adlı çalışmasında, 131 adet zemin etüt 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 (Eşyükselti, eğim, bitkisel toprak derinliği, yeraltı su seviyesi, yeraltı su kotu, Birleştirilmiş Zemin Sınıflamasına göre zemin türü, Standart Penetrasyon Deneyi (SPT), enine dalga hızı (V_s), boyuna dalga hızı (V_p) ve sismik hız oranı (V_p/V_s) üretilmiştir.

3. ÇALIŞMA YÖNTEMİ VE BULGULAR

3.1 Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Tanımı, Tarihçesi ve Kullanım Alanları

Bilgi çağının merkezi ve yerel yönetimlere getirdiği en önemli katkılardan biri de şüphesiz ülkemizde giderek artan bir öneme sahip olan coğrafi bilgi sistemleridir (CBS).

Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS), dünya üzerindeki karmaşık sosyal, ekonomik, çevresel vb. sorunların çözümüne yönelik mekâna/konuma dayalı karar verme süreçlerinde kullanıcılara yardımcı olmak üzere, büyük hacimli coğrafi verilerin; toplanması, depolanması, işlenmesi, yönetimi, mekânsal analizi, sorgulaması ve sunulması fonksiyonlarını yerine getiren donanım, yazılım, personel, coğrafi veri ve yöntemler ile bu verilerin kullanıcıya sunulması işlevlerini bütünlük içerisinde gerçekleştiren bir bilgi sistemidir (Çabuk, 2011).

Coğrafi Bilgi Sistemleri tarihsel sürecine 1819 yılında Pierre Charles Dupin tarafından hazırlanan Fransa'da eğitim dağılımını gösteren tematik harita ile başlamıştır. Bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler sonucu, 1958-1961 yılları arasında Washington Üniversitesi, Coğrafya Bölümü'nde yapılan çalışmalar ile gerçek anlamda bilgisayar tabanlı CBS'nin temelleri atılmıştır. 1963 yılında Kanada Coğrafi Bilgi Sistemi kurulmuş, bilgisayar tabanlı ilk CBS uygulaması olarak tarihe geçmiştir. 1980'lerin başında CBS'nin daha çok görsel analiz yetenekleri gelişim göstermeye başlamış, 1990'lı yılların başlarında bilgisayar donanımlarının güçlenmesi ve donanım maliyetlerinin düşmesi ile CBS evrim sürecinde yeni bir çağa girilmiştir. CBS teknolojisi yaygınlaşmış ve hemen her alanda önemli roller üstlenmeye başlamıştır (Çabuk, 2011).

Bilgisayar tabanlı CBS önceleri bağımsız kişisel bilgisayarlar üzerinde, daha sonra kurumsal anlamda lokal veri ağları ile bağlantılı sistemlerde kullanılmıştır. Günümüzde, bulut sisteminin gelişmesi ve interneti hızının artmasıyla CBS global

anlamda web platformunda konumsal veri işleyen ve paylaşan sistemlerde işletilmektedir (Çabuk, 2011).

CBS bileşenleri Personel, Veri, Donanım, Yazılım ve Yöntem olarak tanımlanabilir (Şekil 3.1). CBS bileşenlerinin tümünün denge içinde çalıştırılması gerekmektedir. Bileşenlerden birinin olmaması veya verimli çalışmaması durumunda kurulacak sistemin verimli ve sağlıklı işlemesi beklenemez (Çabuk, 2011).



Şekil 3.1: CBS'nin temel bileşenleri (Çabuk, 2011)

CBS'nde kullanılan analiz yöntemleri Konumsal Kaynak Envanteri, Ağ (Şebeke) Analizleri, Yer Seçimi Analizleri, Yüzey Analizleri ve Zamana Bağlı Konumsal Değişiklik Analizleri olarak sıralanabilir. CBS konumsal doğal kaynak envateri tutarken, doğal kaynakların nitel, nicel ve konumsal özelliklerini de beraberinde saklamakta, yönetmekte ve haritalamaktadır. Ağ analizleri, elektrik, gaz, şebeke suyu, telefon gibi altyapı hizmetlerinin yönetiminde kullanılmakla birlikte en kısa yol sorgulama yeteneği ile araç takip sistemleri için de uygun bir teknolojidir. Yer Seçimi Analizleri, birçok kurum ve kuruluş için vazgeçilmez bir karar destek aracıdır. Yüzey analizleri, mühendislik alanında yararlı olduğu kadar, doğal afet risklerinin belirlenmesinde de kullanılmaktadır. Zamana Bağlı Konumsal Değişiklik Analizi, planlama ve değişimi izleme açısından birçok alanda gereksinim duyulan bir araçtır (Çabuk, 2011).

Coğrafi Bilgi Sistemleri konumsal veri işleme ve analiz etme yetenekleri ile günümüzde kullanımı yaygınlaşmıştır. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin uygulama bazında

kullanıldığı alanları genel anlamda; Mühendislik Uygulamaları, Tarım Uygulamaları, Çevre Uygulamaları, Yerbilimleri Uygulamaları, Ormancılık Uygulamaları, Arkeoloji ve Kamu Uygulamaları olarak sıralayabiliriz (Şekil 3.2). Ancak, konuma dayalı yeraltı ve yerüstü tüm kaynakların yönetiminde ve analizlerinde karar destek sistemi olarak kullanılabilen CBS, teknolojik gelişmelere paralel olarak zaman içerisinde daha da yaygınlaşmakta ve kullanım alanlarını genişletmektedir (Çabuk, 2011).



Şekil 3.2: Örnek bir sayısal arazi modeli (Çabuk, 2011)

3.1.1 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 sınıvlaşma analizi ve sınıvlaşma 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 (Şekil 3.3)(ESRI, 2014).

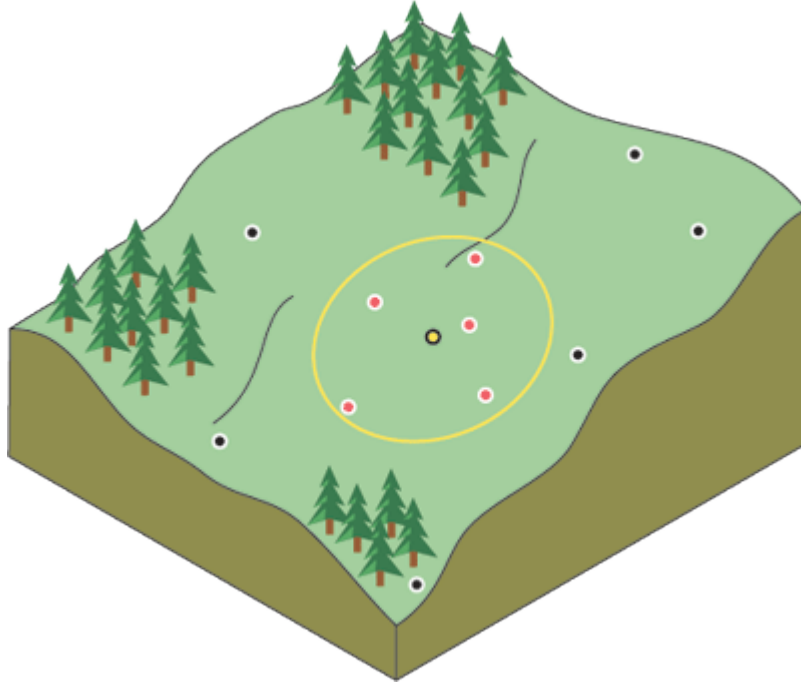
Kullanılan yöntem tahmin yapılan noktayı çevreleyen sondaj noktalarındaki değerlerin ağırlıklı ortalamasına dayanmaktadır. Değeri bilinmeyen noktayı çevreleyen sondaj noktalarındaki değerlerin ağırlıkları (W_i), değeri bilinen sondaj noktalarının ilgili noktadan olan uzaklıklarının (D_i) karelerinin toplamının tersidir.

$$IL = \sum_i (P_i W_i) / \sum_i (W_i) V_s = 32.8N^{0.51} \quad (3.1)$$

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

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

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



Şekil 3.3: Interpolasyon yöntemi - seçilen nokta için komşuluk ilkesi
(http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/How_IDW_works/009z0000075000000/)

3.2 Arazi Deneyleri

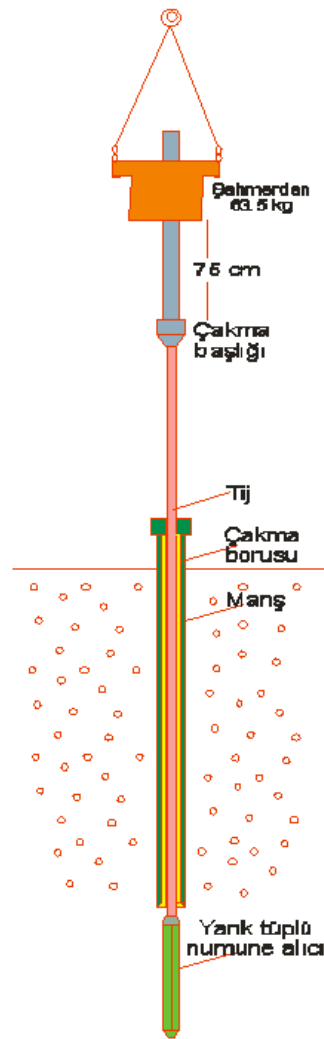
3.2.1 SPT Deneyleri

Standart penetrasyon deneyi (SPT), toprak zeminlerin özelliklerinin arazide belirlenmesi amacıyla yaygın şekilde kullanılan, basit ve ekonomik deneylerden biridir. 1958 yılında ASTM International tarafından standartlara alınmış ve bugüne değin bazı düzeltmelere de uğrayarak bu standarttaki yerini koruyan bir deneydir. SPT, öncelikle çekim kuvveti olmayan zeminlerin göreceli yoğunluklarını belirlemek için geliştirilmiş olup, bunun yanı sıra deneyin sonuçları; sığ temeller için zeminlerin taşıma kapasitelerinin hesaplanmasında, kohezyonsuz kumların sıkışma (kompaksiyon) derecelerinin belirlenmesinde ve sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesinde de kullanılmaktadır (Özcan, 2012).

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 sıkılığını 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).

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 (Şekil 3.4) (Ulusay, 2010).



Şekil 3.4: Şekillendirilmiş standart penetrasyon deneyi (Özcan, 2012'den alınmıştır)

SPT sonucu alınan numuneler laboratuvar deneyleri ile zemin özelliklerinin tespiti için ağız parafinlenmiş kaplarda saklanır. Ayrıca uygun karotiyerlerle alınan

bozulmamış numuneler üzerinde tek veya üç eksenli basınç deneyleri yapılarak istenilen metredeki zemin parametreleri belirlenebilir. Sığ derinlikte SPT-N vuruş sayısı değerleri deneyin yapıldığı derinlikteki efektif zemin üst tabaka yükünün etkisi ile veya sondaj çubuklarının uzunluklarının değişmesinden dolayı tatbik edilen enerji değişmekte ve bu sebeple arazide bulunan vuruş sayısı değerleri gerçek değerlerinden daha büyük olarak kaydedilmektedir (Özcan, 2012).

Çalışmada incelenmiş olan zemin etüt raporları içindeki SPT-N değerleri veri tabanına aktararak belirli yüksekliklerde SPT haritaları oluşturularak yorumlanmıştır (Şekil 3.5).

3.2.2 Jeofizik Çalışmalar

Sismik kırılma çalışmaları, doğal şartlar altında zeminin dinamik yöntemle tespit edilebilen dinamik elastisite parametrelerinin tayinine yönelik zemin araştırma işlemleridir. Sismik yöntemlerle yapılan bu çalışmalarda yüzeyde bulunan kaynaktan gönderilen şok dalgaların zeminde farklı tabakalarda farklı hızlarda ilerleyerek jeofonlar tarafından kaydedilmesi ile yapılmaktadır. Sismik ölçümler yer içinde yayılan boyuna ve enine sismik dalga türlerinin hızlarının (sırasıyla V_p ve V_s) ölçülmesi şeklinde arazide yapılmaktadır.

P dalgası için gerekli enerji, çelik plaka üzerine 10.0 kg'lık balyozun düşey düşey yönde; S dalgası için gerekli enerji ise zeminde açılan 30 cm'lik çukur içine konulan plakaya yatay yönde balyoz darbeleri ile elde edilmektedir.

Çalışma veri tabanına aktarılan bulgularda yukarıda bahsedilen V_p , V_s değerleri bunların zemin içerisindeki kalınlıkları bulunmaktadır. (Şekil 3.6) V_p , V_s değerleri olmayan sondaj noktalarında SPT-N değerlerini kullanarak V_p ve V_s dönüşümü yapılmıştır. Çalışma alanında yapılan sondajlardan ve bu sondajlarla aynı konumda yapılan jeofizik ölçümlerinden elde edilen SPT-N değeri ile V_p ve V_s değerleri karşılaştırılmıştır (Şekil 3.7). Bu karşılaştırma sonucunda elde edilen SPT-N- V_p ve SPT-N- V_s bağıntılarının (Eşitlik 3.2 ve Eşitlik 3.3) çalışma alanımızdaki veriler içinde kullanılabileceği görülmüştür. Bu nedenle, jeofizik ölçümlerin

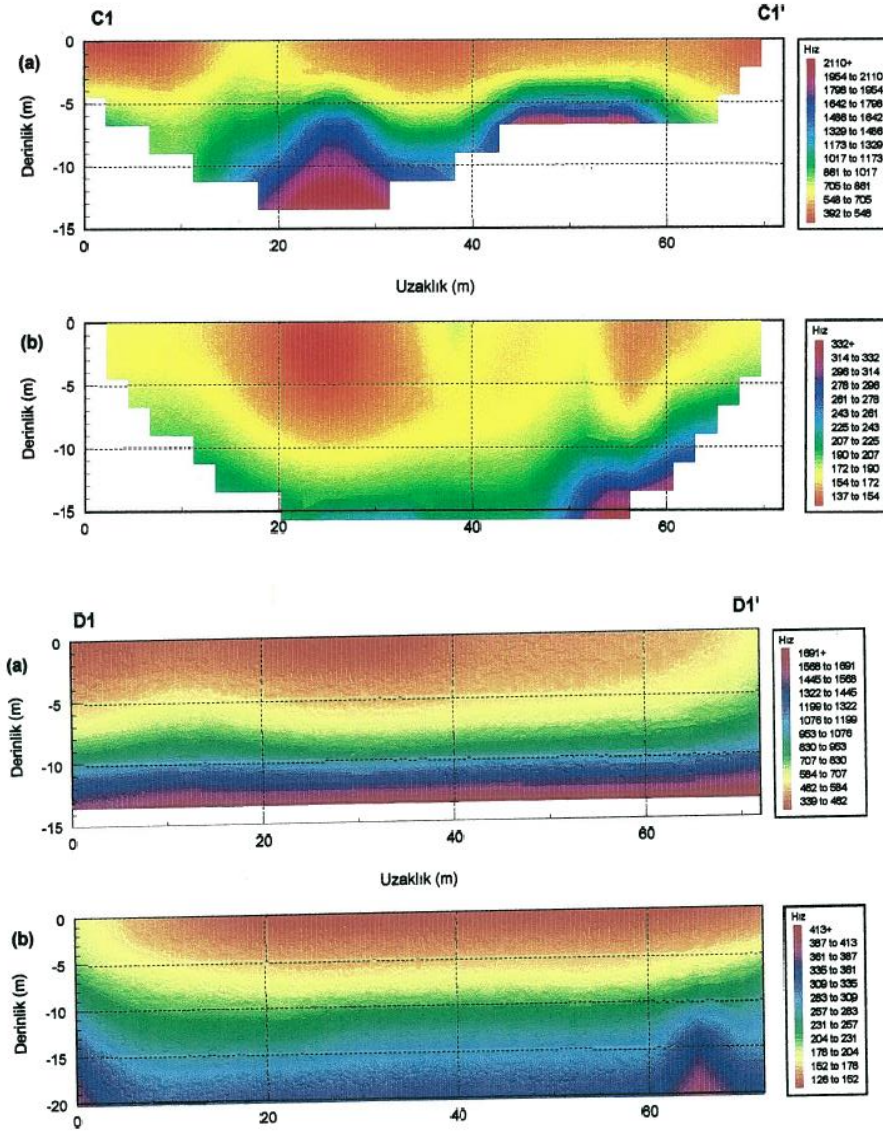
olmadığı yerler için V_p ve V_s değerleri Eşitlik 3.2 ve Eşitlik 3.3 ten yararlanılarak bulunmuştur.

$$V_p = 397,22 \ln(\text{SPT}-N) - 548,1 \quad (3.2)$$

$$V_s = 244,28 \ln(\text{SPT}-N) - 508,27 \quad (3.3)$$

Zem-Ar A.Ş.		ZEM-AR ZEMİN ARAŞTIRMA SONDAJ HİZMETLERİ A.Ş.															
SONDAJ LOGU		İşveren / Proje					Sondaj Mak. & Yönt.					Sondaj No		Syf. No			
Mehmet ÇETİN		Yeni Mah.					Rotary					SK2		1/1			
Sondaj Yeri :		16,00m					Delik Çapı					Başlangıç Tarihi :		30.05.2013			
Sondaj Der. :		5,00m					Y.A.S.S. :					Bitiş Tarihi :		30.05.2013			
Derinlik (m)	Numune Cinsi	Manevra Boyu	STANDART PENETRASYON DENEYİ				AÇIKLAMALAR	PROFİL	Dayanım. Derec.	Kırık / 30 cm	TCR (Karot %'si)	SCR (Düşey Çatl.)	ROD %				
			Darbe Sayısı											Grafik			
			0-15	15-30	30-45	N								10	20	30	40
0,50							Dolgu + Bitkisel Toprak 0,60m										
1,00	UD	1,00					Kil (al.) siyah renkli, yağlı, az kumlu, katı öz.										
1,50		1,50															
2,00	SPT	1,50	5	6	8	14											
2,50		1,95															
3,00	SPT	3,00	6	7	9	16											
3,50		3,45															
4,00																	
4,50	SPT	4,50	7	8	11	19											
5,00		4,95															
5,50																	
6,00	SPT	6,00	8	10	10	20											
6,50		6,45															
7,00																	
7,50																	
8,00																	
8,50																	
9,00																	
DAYANIMLILIK			AYRIŞMA				İNCE DANELİ				İRİ DANELİ						
I DAYANIMLI			I TAZE				N: 0-2 ÇOK YUMUŞAK				N: 0-4 ÇOK GEVŞEK						
II ORTA DAYANIMLI			II AZ AYRIŞMIŞ				N: 3-4 YUMUŞAK				N: 5-10 GEVŞEK						
III ORTA ZAYIF			III ORTA D. AYRIŞMIŞ				N: 5-8 ORTA KATI				N: 11-30 ORTA SIKI						
IV ZAYIF			IV ÇOK AYRIŞMIŞ				N: 9-15 KATI				N: 31-50 SIKI						
V ÇOK ZAYIF			V TÜMÜYLE AYRIŞMIŞ				N: 16-30 ÇOK KATI				N: >50 ÇOK SIKI						
KAYA KALİTESİ TANIMI			KIRIKLAR -30 cm				ORANLAR										
% 0-25 ÇOK ZAYIF			1 SEYREK				% 5 PEK AZ				% 5 PEK AZ						
% 25-50 ZAYIF			1-2 ORTA				% 5-15 AZ				% 5-20 AZ						
% 50-75 ORTA			2-10 SIKI				% 15-35 ÇOK				% 20-50 ÇOK						
% 75-90 İYİ			10-20 ÇOK SIKI				% 35 VE										
% 90-100 ÇOK İYİ			>20 PARÇALI														
SPT	Standart Penetrasyon Deneyi		K		Karot Numunesi		LOGU YAPAN		KONTROL		SONDÖR						
D	Örselememiş Numune		P		Pressiometre Deneyi		İSİM Jeo.Müh. Yıldırım BELEN		İSİM Jeo.Müh. Cemil GENÇ								
UD	Örselememiş Numune		VD		Veyn Deneyi		İMZA:		Cide Sicil No : 11808								

Şekil 3.5: Örnek sondaj logu (Susurluk Belediyesi arşivi)

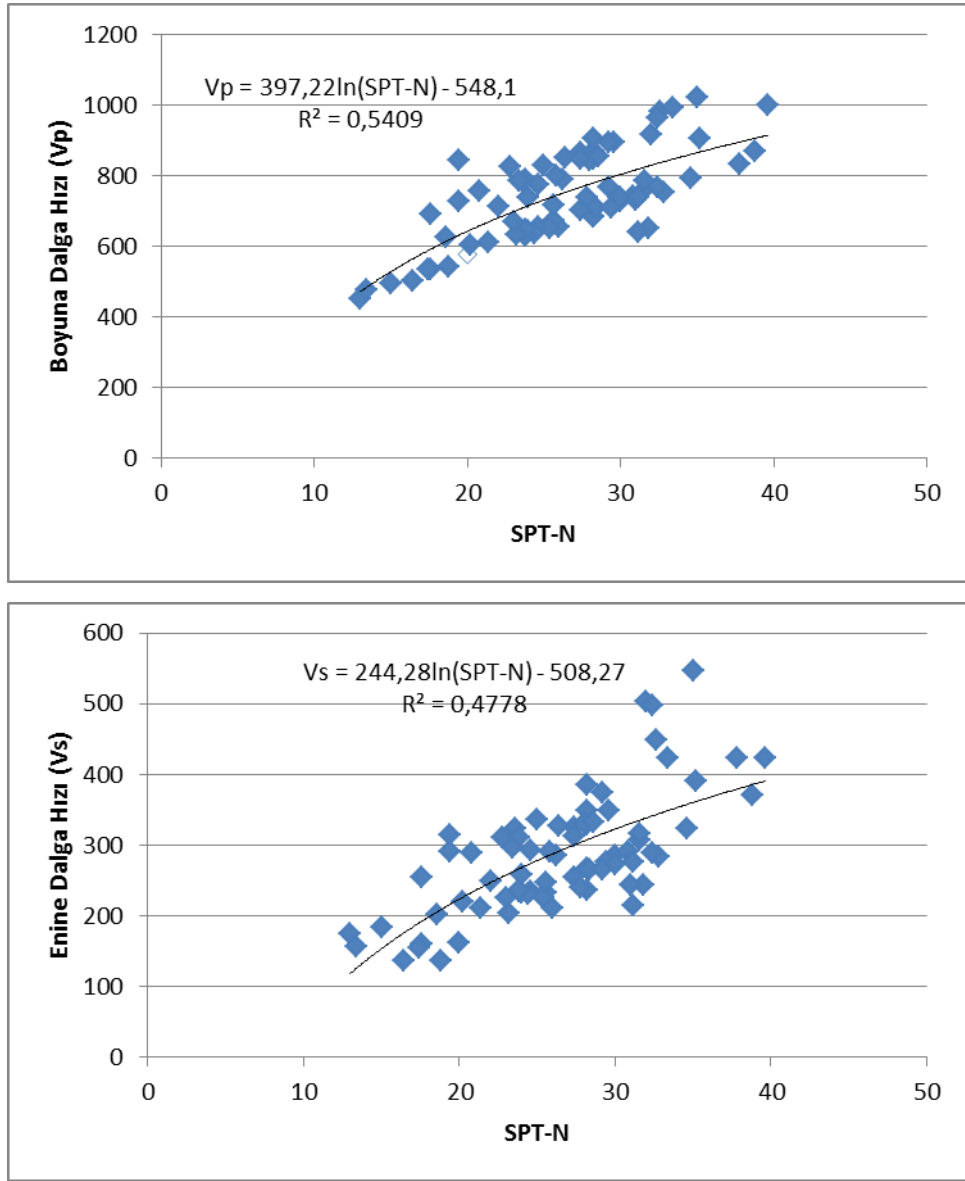


Şekil 3.6: Örnek enine ve boyuna dalga hızı modeli (Başokur, 1999)

3.3 Laboratuvar Deneyleri

Bu çalışmada zemin etüt raporları içerisinde bulunan laboratuvar deney sonuçları incelenmiştir. Belirli derinliklerde yapılmış SPT testlerinden alınan numunelere, laboratuvarında mühendislik deneylerine tabi yapılmıştır ve 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 (Şekil 3.8) veri tabanını oluşturmuştur ve varsa serbest basınç ve konsolidasyon deney sonucu çalışmamızın veri tabanına eklenmiştir.



Şekil 3.7: SPT-N ile Vp ve Vs değerleri arasındaki ilişkiler

3.4 Veri Tabanının Oluşturulması

Çalışmada kullanılmak için Susurluk Belediyesinde bulunan zemin etüt raporlarından yararlanılmıştır. 2006-2013 yılları arasında gerçekleştirilen sondajların 220 adet zemin etüt raporu incelenerek çalışma alanı içinde kalan ve uygun veriler içeren 77 adet rapor değerlendirilmeye alınmıştır.

Bu 77 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, yeraltı suyu seviyesi, zeminin doygunluk derecesi, bitkisel toprak kalınlığı, zemin grubu, zemin sınıfı, ivme spektrumu karakteristik periyotları (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 Excel programına kaydedilerek düzenlenmiştir (Tablo 3.1). Excel programındaki bu bilgiler de Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) programlarından Esri ArcGIS (v 10.3) programına aktarılarak veri tabanı dosyaları oluşturulmuştur.

Tablo 3.1: Örnek veri formatı

ra_no	r_tar	Pafta	ada	pno	t_ust	t_alt	N	zsnf	S+k	kum	ckl	YSS
19	2010	50KIIIb	496	3	0	0,5	0	bt.tp				2,3
19	2010	50KIIIb	496	3	0,5	1	24	CL	71,6	27,8	0,6	2,3
19	2010	50KIIIb	496	3	1	1,5	24	CL	71,6	27,8	0,6	2,3
19	2010	50KIIIb	496	3	1,5	2	24	CL	71,6	27,8	0,6	2,3
19	2010	50KIIIb	496	3	2	2,5	24	CL	71,6	27,8	0,6	2,3
19	2010	50KIIIb	496	3	2,5	3	24	CL	71,6	27,8	0,6	2,3
19	2010	50KIIIb	496	3	3	3,5	30	CL	71,6	27,8	0,6	2,3
19	2010	50KIIIb	496	3	3,5	4	30	CL	71,6	27,8	0,6	2,3
19	2010	50KIIIb	496	3	4	4,5	30	CL	71,6	27,8	0,6	2,3
19	2010	50KIIIb	496	3	4,5	5	30	CL	71,6	27,8	0,6	2,3
19	2010	50KIIIb	496	3	5	5,5	30	CL	71,6	27,8	0,6	2,3
19	2010	50KIIIb	496	3	5,5	6	30	CL	71,6	27,8	0,6	2,3
19	2010	50KIIIb	496	3	6	6,5	33	CL	71,6	27,8	0,6	2,3
19	2010	50KIIIb	496	3	6,5	7	33	CL	71,6	27,8	0,6	2,3
19	2010	50KIIIb	496	3	7	7,5	33	CL	71,6	27,8	0,6	2,3
19	2010	50KIIIb	496	3	7,5	8	33	CL	71,6	27,8	0,6	2,3
19	2010	50KIIIb	496	3	8	8,5	33	CL	71,6	27,8	0,6	2,3
19	2010	50KIIIb	496	3	8,5	9	33	CL	71,6	27,8	0,6	2,3
19	2010	50KIIIb	496	3	9	9,5	37	CL	71,6	27,8	0,6	2,3
19	2010	50KIIIb	496	3	9,5	10	37	CL	71,6	27,8	0,6	2,3
19	2010	50KIIIb	496	3	10	10,5	37	CL	71,6	27,8	0,6	2,3
19	2010	50KIIIb	496	3	10,5	11	37	CL	71,6	27,8	0,6	2,3
19	2010	50KIIIb	496	3	11	11,5	37	CL	71,6	27,8	0,6	2,3
19	2010	50KIIIb	496	3	11,5	12	37	CL	71,6	27,8	0,6	2,3
19	2010	50KIIIb	496	3	12	12,5	37	CL	71,6	27,8	0,6	2,3
19	2010	50KIIIb	496	3	12,5	13	37	CL	71,6	27,8	0,6	2,3
19	2010	50KIIIb	496	3	13	13,5	37	CL	71,6	27,8	0,6	2,3
19	2010	50KIIIb	496	3	13,5	14	37	CL	71,6	27,8	0,6	2,3
19	2010	50KIIIb	496	3	14	14,5	37	CL	71,6	27,8	0,6	2,3
19	2010	50KIIIb	496	3	14,5	15	37	CL	71,6	27,8	0,6	2,3

ra_no: Rapor Numarası

r_tar: Rapor Tarihi

pafta: Sondaj Noktasının Paftası

ada: Sondaj Noktasının Bulunduğu Ada

pno: Sondaj Noktasının Parseli

t_ust: Tabaka Üst Sınırı

YSS: Sondaj noktasının yeraltı su seviyesi

t_alt: Tabaka Alt Sınırı

N: SPT-N değeri

Zem.snf: Zemin Sınıfı

S+k: Tabakanın Silt ve Kil içeriği yüzdesi

Kum: Tabakanın kum içeriği yüzdesi

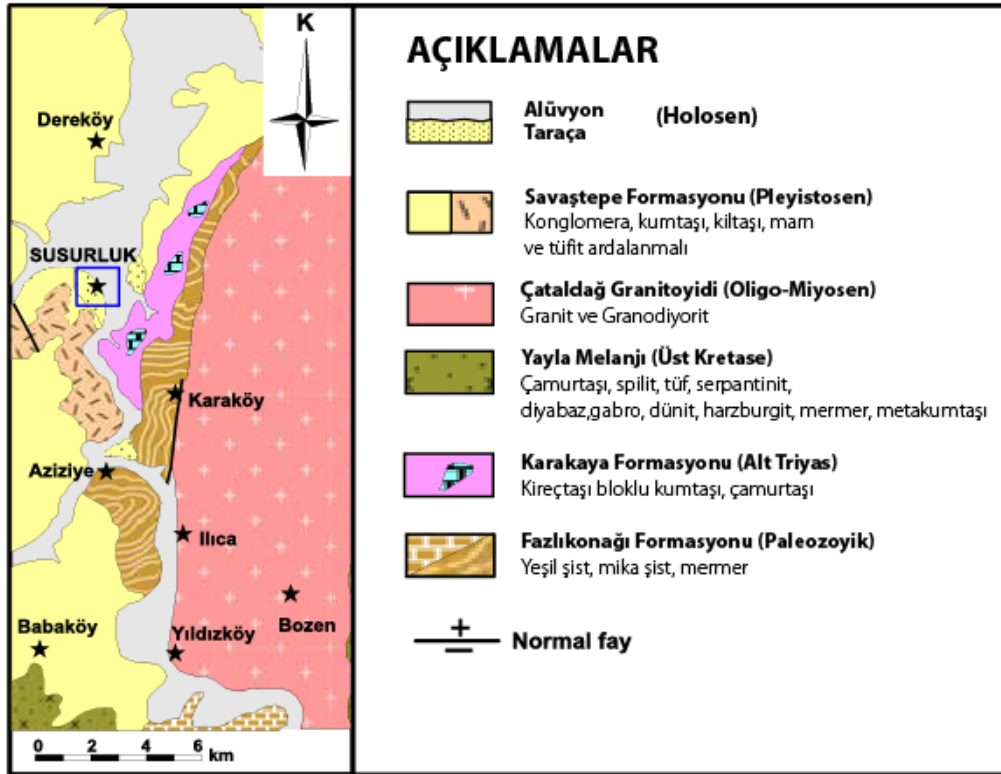
Ckl: Tabakanın çakıl içeriği yüzdesi

4. JEOLojİ

4.1 Giriş

İnceleme sahası jeolojik yapı bakımından çeşitlilik arz etmektedir. Bu çeşitlilik, sahada hemen bütün formasyonların varlığı ve bunları teşkil eden kayaların litolojik özelliklerinde kendini gösterir.

Çalışma alanında ve yakın çevresinde yaşlıdan gence sırasıyla, Paleozoyik yaşlı Fazlıkonağı Formasyonu, Alt Triyas yaşlı Karakaya Formasyonu, Üst Kretase yaşlı Yayla Melanji, Oligo-Miyosen yaşlı Çataldağ Granitoyidi, Pleyistosen yaşlı Savaştepe Formasyonu, Holosen yaşlı taraça ve alüvyon bulunmaktadır.



Şekil 4.1: Çalışma alanını kapsayan jeoloji haritası (Çetiner ve Demirtaş, 2014'den değiştirilerek)

4.2 Litoloji ve Stratigrafi

4.2.1 Fazlıkonağı Formasyonu (Pzf)

İnceleme alanının temelini oluşturan birim alaca renkli şistler ve bunlar içerisinde yer yer mercek ve bant şeklindeki mermerlerden oluşmuştur (Orhan, 2008).

Fazlıkonağı Formasyonu yeşil, gri, kahve ve alacalı renk tonlarında gözlenmektedir. Belirgin şekilde lineasyon ve folyasyon gösteren birim amfibolit şistler, mikaşist, kuvarşist, serisit-klorit-kuvarşist ve talkşistlerden oluşur ve ayrıca mermer mercekleri içerir (Erdağ, 1976; Akyüz, 1995). Akyüz (1995) ise birimin amfibolşist, mikaşist, kuvarşist şeklinde belirgin bir dizilim göstermediğini belirtmiştir (Orhan, 2008).

Fazlıkonağı Formasyonu Susurluğun doğusunda Dereköy-Paşalar arası ile Örenli köyü çevresinde geniş yayılım sunarken, Serçeören köyü ve Alagüney ile Yeşildağ köyleri arasında dar bir alanda gözlenir. Şistler Serçeören ve Alagüney ile Yeşildağ köyleri arasında Mesozoyik yaşlı mermerler arasında nadir olarak ve ince şistozite düzlemleri şeklinde gözlenmektedir. Bu bölgelerde şistozite düzlemlerinin doğrultu ve eğimleri sırasıyla K67B, 42°GB ve K45B, 57°GB olarak ölçülmüştür. Örenli ve Bıçkıdere ile Acısudere civarlarında şistler daha yaygın olarak gözlenmekte ancak mermerler ise izole oluşumlar şeklinde sınırlı yüzlek vermektedirler. Örenli civarında şistlere ait cevherleşmelerin çevresinde yoğun alterasyonlar gelişmiştir (Orhan, 2008).

4.2.2 Karakaya Formasyonu

Bingöl ve diğerleri (1973) tarafından adlanmış olan formasyon, kırıntılı kayalar ve kireçtaşı bloklarından oluşmuştur. Birim genel olarak çamurtaşı ve kumtaşlarından oluşur. Birim içerisinde yer yer grovak, konglomera, kuvarsit, radyolarit ile sleyt bant ve mercekleri görülür. Birim mor renkten bej renge kadar değişik renklerde izlenir (Çetiner ve Demirtaş, 2014).

4.2.3 Yayla Melanji

Birim ilksel ilişkileri ve dokanakları bozulmuş çökel, metamorfik, mafik ve ultramafik kayalardan oluşur. Birim radyolarit, çamurtaşı, spilit, tuf, serpantin, diyabaz, gabro, dünit, harzburgit, mermer, metakumtaşı ve blok görünümde klorit-lavsonit-glokofan şist, epidot-lavsonit-glokofan şist ile bunların içinde değişik yaşta kireçtaşı bloklarından meydana gelir. Formasyon, yeşil, gri, sarı, mor, kahve, kırmızı gibi renklerin hâkim olduğu alacalı bir görünüme sahiptir. Yayla melanji, tüm eski kaya birimlerinin üzerinde tektonik dokanaklı olarak yer alır. Formasyon içinde Fazlıkonağı Formasyonuna ait mermerler ile Karakaya Formasyonuna ait üst Permiyen yaşlı kireçtaşı blokları bulunur (Çetiner ve Demirtaş, 2014).

Ofiyolit topluluğuna ait gabrolar, koyu yeşil, yeşilimsi siyah, yeşilimsi beyaz renklerde, oldukça sert, köşeli kırılmalı ve çok kırıklıdır. Serpantinler, açık ve koyu yeşil renklerde, çok kırıklı ve gelişkin makaslanmalıdır. Spilitik bazaltlar koyu renkli yer yer boşluklu, eklemlili ve bol kırıklı olup, gelişkin makaslanma sunarlar. Melanj özelliğindeki birim içinde anılan kayalar köksüz, taşınmış ve tektonik dokanaklı olup, aralarında stratigrafik istiflenme, düşey ve yanal geçişlilik göstermez. Birim belirsiz kalınlıktadır ve daha eski kaya birimleri üzerinde tektonik dokanakla yer alır (Çetiner ve Demirtaş, 2014).

4.2.4 Çataldağ Granitoyidi

Çataldağ plütünü Susurluk ilçe merkezi doğusunda; Balıkesir ilçe merkezi kuzeyinde yer alır. Ilıca ve Şamlı dolaylarında ise Ilıca-Şamlı plütünü sokulum yapmıştır. Çataldağ plütünü; Kuzeybatı Anadolu'daki çarpışma sonrası tektonizmasına bağlı magmatik faaliyetler ile sokulan granitlerden biridir. Kuzeybatı Anadolu'daki epizonal genç tektonik-post tektonik (Alpin) granitlerini temsil ederler. Plütünü, Kuzeybatı Anadolu'daki çarpışma sonrası tektonizmasına bağlı magmatik faaliyetler ile sokulan granitlerden biridir. Siyenogranit ile granodiyorit arasında değişirler (Çetiner ve Demirtaş, 2014'den değiştirilerek alınmıştır).

Susurluk doğusunda yaklaşık 450 km²'lik geniş bir alan kaplayan granitoyid, bir dizi apofiz, dayk ve sillerden oluşmaktadır ve BD-KB-GD ve KB-GD doğrultulu

Miyosen yaşlı birimleri de kesen normal atımlı faylar ile kesilmiştir. Çataldağ Granitoidinin önemli bir bölümü granit ve granodiyoritlerden oluşmaktadır. Granitler, arazide krem rengi ve grimsi; granodiyoritler ise hafif pembemsi tonlarda izlenmektedir. Çataldağ Granitoidi içerisinde yer yer kuvars monzonit ve kuvars monzodiyoritler de yer almaktadır (Çetiner ve Demirtaş, 2014).

4.2.5 Savaştepe Formasyonu

Konglomera, kiltası, marn ve tüfit aralanmalı birim Savaştepe Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Soma – Savaştepe karayolu üzerinde, Göktaş köyü kuzeyi ve Yağcılı köyü çevresinde izlenilmiştir. Marn, kiltası, tüfit, konglomera aralanmasından oluşmuştur. Konglomeralar, alttaki birimlerin çeşitli boyuttaki çakıllarından oluşmuştur (Yüksel, 2006). Çalışma alanının güneybatısında piroklastik kırıntılılar olarak görülmektedir.

4.2.6 Alüvyon

Susurluk Çayı yatağı ve Susurluk çayına katılan mevsimsel akış gösteren Kırkdilim, Kocataş deresi gibi dereler boyunca yaklaşık 50 m ile 150 m arasında değişen alüvyal çökeller yer almaktadır (Şekil 4.1). Bu derelerin Susurluk çayına katıldığı kesimlerde alüvyal yelpaze çökelleri ve kenarlarında ise taraça çökelleri gelişmiştir. Dağlık alanların etekleri boyunca ise, metamorfik ve granitik birimler üzerinde yamaç molozu-etek birikintisi çökelleri bulunmaktadır. Alüvyonlar çakıl, kum ve killerden oluşmaktadır. Yamaç molozları ise köşeli ve değişik boyutlarda metamorfik ve granitik çakıl ve bloklardan meydana gelmektedir (Çetiner ve Demirtaş, 2014).

4.3 Yapısal Jeoloji ve Depremsellik

İnceleme alanı tektonik aktivitelerden yoğun olarak etkilenmiş, bunların sonucunda normal, ters, doğrultu atımlı faylar, bindirmeler ve kıvrımlar gelişmiştir.

4.3.1 Kıvrımlar

Susurluk doğusunda, Çataldağ Granodiyoriti'nin batı sınırında kuzey-güney gidişli ve batıya doğru, güney dokanağında ise güneye ve güneydoğuya eğimli foliasyonlar KKD-GGB gidişli ve GGB ya dalımlı büyük bir antiklinali işaret eder. Manyas güneyinde ve Susurluk batısındaki foliasyonlar ise, doğu-batı kuzeybatı-güneydoğu arasında değişen eksen gidişli büyük kıvrımlar sergiler (Akyüz, 1995).

4.3.2 Faylar

Bölgede kesin olarak saptanan normal faylar her zaman Miyosen yaşlı birimleri de etkilemiştir. Çoğu yerde fay yüzeyi açık olarak görülen bu faylar Susurluk civarında ve Kepsut civarında yoğunlaşmıştır. Doğu-batı kuzeybatı-güneydoğu aralığında toplanan normal fayların eğimleri 50-75°arasında kuzeye ve güneye doğrudur. Fay düzlemi açık olan normal faylarda görülen fay çizikleri, hafif bir oblik atım bileşeni olduğunu gösterir (Akyüz, 1995).



Şekil 4.2: Susurluk'un 100 km çevresindeki faylar

MTA tarafından 2013 yılında hazırlanan diri fay haritasına göre Susurluk ilçe merkezine 100 km uzaklıkta segmentleriyle birlikte 45 adet diri fay bulunmaktadır. (Şekil 4.2)(Tablo 4.1)

Tablo 4.1: Susurluk ilçesinin 100 km çevresindeki diri faylar (MTA, 2013)

No	Fay Adı	Segment Adı	Uzaklık (km)	Uzunluk (km)
1	Soğukpınar Fayı		81,36	18,38
2	Bursa Fayı		80,16	38,26
3	Barakfakı Fayı		98,97	8,06
4	Barakfakı Fayı		94,09	13,61
5	Armutlu Fayı		90,74	4,55
6	Genç Ali Fayı		86,52	23,72
7	Zeytinbağı Fayı		54,98	36,25
8	Bandırma Fayı		53,35	32,41
9	Edincik Fayı		55,85	29,95
10	Sinekçi Fayı		58,93	10,35
11	Sinekçi Fayı		62,42	15,77
12	Sinekçi Fayı		72,16	9,45
13	Ulubat Fayı		32,11	45,04
14	Orhaneli Fayı		59,31	30,7
15	Mustafa Kemal Paşa Fayı		18,28	16,2
16	Mustafa Kemal Paşa Fayı		22,4	16,29
17	Mustafa Kemal Paşa Fayı		31,5	8,26
18	Mustafa Kemal Paşa Fayı		40,66	10,04
19	Manyas Fay Zonu		23,87	16,32
20	Gündoğan Fayı		43,04	10,92
21	Gündoğan Fayı		52,71	12,5
22	Sarıköy Fayı		51,77	66,6
23	Biga-Çan Fay Zonu	Biga Segmenti	82,15	15,34
24	Biga-Çan Fay Zonu	Yuvalar Segmenti	89,73	14,27
25	Biga-Çan Fay Zonu	Çan Segmenti	91,37	19,93
26	Akçapınar Fayı		53,79	18,4
27	Yenice-Gönen Fayı		22,11	88,12
28	Evciler Fayı		92,01	46,4
29	Bekten Fayı		73,69	16,2
30	Pazarköy Fayı		58,27	34,54

No	Fay Adı	Segment Adı	Uzaklık (km)	Uzunluk (km)
31	Susurluk Fayı		2,7	13,89
32	Şamlı Fayı		29,13	9,38
33	Havran-Balya Fay Zonu	Ovacık Segmenti	24,41	21,76
34	Havran-Balya Fay Zonu	Turplu Segmenti	28,47	16,3
35	Havran-Balya Fay Zonu	Osmanlar Segmenti	40,37	28,32
36	Havran-Balya Fay Zonu	Havran Segmenti	58,12	18,98
37	Balıkesir Fayı	Kepsut Segmenti	27,88	27,31
38	Balıkesir Fayı	Gökçeyazı Segmenti	30,52	39,25
39	Düvertepe Fay Zonu		64,51	53,01
40	Simav Fay Zonu	Sındırgı Segmenti	73,44	49,03
41	Simav Fay Zonu	Çaysimav Segmenti	88,91	43,03
42	Gelenbe Fay Zonu	Doğu Segmenti	70,98	35,51
43	Gelenbe Fay Zonu	Batı Segmenti	62,27	36,58
44	Soma-Kırkağaç Fay Zonu		90,99	31,78
45	Soma-Kırkağaç Fay Zonu		94,97	39,31

4.3.2.1 Susurluk Fayı

MTA tarafından hazırlanan 1/250 000 ölçekli diri fay haritasında da gösterildiği üzere ruhsat sahası içerisinde Kuvaterner fayı olarak tanımlanan Susurluk Fayı geçmektedir. Fay K-G gidişli olup, kuzeyde Dereköy'den başlar, Susurluk yakın doğusundan geçer, Karaköy'e ve güneyde ruhsat sahasının içinden Yıldızköy'e kadar uzanır. Fay yaklaşık 15 km uzunlukta olup, Pleyistosen'de yüzey faylanması oluşturan ancak Holosen'de etkinliği kuşkulu fay sınıfına girmektedir. Fay eğim atımlı normal faylanma karakteri göstermektedir. Fayın doğu tarafı yükselirken batı tarafı düşmüştür (Çetiner vd., 2015).

Normal faylanma karakteri gösteren K-G yönlü Susurluk fayı kuzeyde Karaköy'den itibaren, güneyde Yıldızköy'e kadar 7 km'lik bölümü, Susurluk Çayı yatağının her iki kenarı boyunca çok belirgin olarak izlenmektedir. Fay uzunlukları 500 m ile 2.0 km arasında değişen kısa segmentler halinde bir geometri

göstermektedir. Susurluk Çayı bu fayları izlemiştir (Çetiner ve Demirtaş, 2014'den değiştirilerek alınmıştır).

4.3.2.2 Yenice-Gönen Fayı

Yenice-Gönen arasında uzanan ve K65D genel gidişli yaklaşık 70 km uzunluktaki fay Yenice-Gönen fayı olarak adlandırılmıştır Manyas fayı, Gönen-Çakmak arasında güneye sıçrayarak, Yenice-Gönen fayı olarak devam eder. Fay, Küpçıktı, Korudeğirmen köyünden geçerek, Gönen güneyini izler. Fay, Muratlar, Gaybular, Ortaoba, Çamköy, Kuduzlar, Karaköy boyunca izlenir ve Çakırlar'a kadar devam eder. Daha sonra fay, Yenice güneyinden geçerek batıda Sazak batısına kadar uzanır. Fay, Şevketiye-Küpçıktı arasında Neojen yaşlı birimleri; Korudeğirmen-Muratlar arasında alüvyonlar; Muratlar köyü batısında Neojen yaşlı volkanik birimleri keser. Yenice ovasında ise fay, alüvyonlar ile granitler ve Miyosen-Pliyosen yaşlı volkanik birimlerin dokunağı boyunca yer alır (Çetiner vd., 2015).

Yenice ve Gönen ovaları, bu fayın denetiminde gelişmişlerdir. Morfolojik şekiller, 1953 Yenice-Gönen depremi yüzey kırığı ve fay düzlemi çözümleri fayın sağ yönlü doğrultu atımlı bir fay ve diri fay olduğunu açıkça ortaya koymuştur (Çetiner vd., 2015).

4.3.2.3 Manyas Fayı

Doğuda Mustafakemalpaşa ile batıda Gönen arasında uzanan yaklaşık 70 km uzunluktaki BKB-DGD gidişli kırıklardan oluşan fay Manyas fayı olarak adlandırılmıştır. Bu fayın kuzeyinde Manyas gölü, güneyinde ise Manyas yer alır. Fay, Kuvaterner yaşlı birimler içinden geçmekte ya da bu birimler ile daha yaşlı birimler arasında dokunak oluşturmaktadır (Çetiner vd., 2015).

Bu zonun içindeki en belirgin parça, güneyden kuzeye doğru Mustafakemalpaşa'dan geçen ve yaklaşık 25 km uzunlukta olan Çörtük-Çeltikçi parçasıdır. Fay, Çörtük güneyinde, Miyosen yaşlı birimler ile Jura yaşlı birimleri ayırır. Batıda ise Kuvaterner yaşlı birimler içinden geçer ve Kemalpaşa civarında

Pliyosen yağlı birimler ile alüvyonların arasındaki dokunak boyunca yer alır (Şaroğlu vd. 1987).

4.3.2.4 Ulubat Fayı

Bursa batısında, Ulubat gölü güneyi boyunca uzanan yaklaşık 30 km uzunluktaki fay, Ulubat Fayı olarak adlandırılmıştır (Şaroğlu vd. 1987). Fay, Çalı-Hasanađa arasında D-B gidişli olup, Pliyosen yaşı çökeller ile Mesozoyik yaşı birimlerin dokunağı boyunca yer alır. Fay, Hasanađa-Doğancı arasında, K65D gidişli olup, Ulubat Gölü'nü güneyden sınırlar. Yer yer Kuvaterner yaşı çökelleri kesen fay, Pliyosen yaşı çökeller ile Karakaya grubu kayalar içerisinde izlenir. Morfolojik veriler, fayın eğim atımlı normal fay olduğunu göstermektedir (Çetiner vd., 2015).

4.3.2.5 Biga-Çan 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 kuşaağının en batısında yer alır. Çan Biga fay zonu sağ yönlü doğrultu atımlıdır. Birbirini sol yönde sekmelerle izleyen alt faylardan oluşur. K45oD 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. Abdiađa Köyü ile Dikmen tepe arasında K55°D 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 yaşı 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).

4.3.2.6 Havran-Balya 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 olasılıklı 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 büküm yapar ve büküm doğusunda KB-GD doğrultusunu kazanır. Söz konusu bükümü 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 bükümlerden 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. K65⁰D genel doğrultuludur ve 90 km uzunluktaadır. 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).

4.3.2.7 Balıkesir Fayı

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 büklümün 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).

4.3.2.8 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 $K65^{\circ}$ 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).

4.3.2.9 Sarıköy Fayı

Sarıköy-Çan arasında $K45^{\circ}$ 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 adlandırmıştır. Emre vd. (2012) tarafından yapılan çalışmalarda ise Sarıköy doğusunda Bostancı ve Çan doğusundaki Terzialan köyleri arasında toplam 66 km uzunluğunda ve $K60^{\circ}$ D 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 tanımlanmış (Sarı vd., 2010).

Sarıköy fayının oluşum yaşı için yorumlanabilecek jeolojik veri toplanamamıştır. Ancak bölgesel jeomorfoloji ve neotektonik gelişim değerlendirildiğinde 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).

5. SUSURLUK (BALIKESİR) YERLEŞİM ALANININ JEO- MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNİN CBS İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1 Giriş

Jeo-Mühendislik haritaları, yerleşim yerleri içerisinde zeminde olası sorunları ortaya çıkarmak, binaların olası deprem durumunda zemin durumunu işleyebilmek veya öngörebilmek, alınacak önlemleri önceden belirlemek için üretilen harita türleridir. Bu haritalar zaman ve ekonomik açıdan tasarruf sağlarlar.

Mühendislik jeolojisi mühendislere, planlamacılara ve tasarımcılara jeolojik yapıya en uygun mühendislik hizmetlerinin oluşturulmasını ve geliştirilmesini sağlar. Mühendislik jeolojisi haritalarının önemi, doğal afetlerden korunmada ilk sırada yer almaktadır. Bu afetler veya tehlikeler; heyelanlar, depremler, çökmeler ve volkanlar olarak sıralanabilir (Şengüler, 1993). Bu afetler veya tehlikeler çok büyük can kayıplarına yol açabilir. Nitekim 17 Ağustos depreminin, DPT'nin "Depremin Ekonomik ve Sosyal Etkileri" raporuna göre, kamu finansmanı üzerinde 6.2 milyar dolarlık yük oluşturacağı belirtilmiştir. Can kayıplarının, yaralanmaların ve zararların nedeni büyük ölçüde jeolojik yapılar ve jeolojik olaylardır. Tüm bu tehlikelerden kaçınmada jeoloji mühendisleri planlamacıların ve inşaat mühendislerinin en büyük yardımcısıdır. Bu konuda en önemli araç ise mühendislik jeolojisi haritalarıdır (Şengüler, 1993).

Jeoloji, planlama ve uygulamanın her aşamasında çok önemli bilgiler sunar. Baraj, tünel, yol ve havaalanı yapımında, yeni yerleşim yerlerinin belirlenmesinde, güç santrallerinin ve sanayi tesislerinin yerinin seçiminde, taşımacılık ve iletişim sistemlerinin güzergahlarının belirlenmesinde, güç santrallerinin ve sanayi tesislerinin yerinin seçiminde, taşımacılık ve iletişim sistemlerinin güzergahlarının belirlenmesinde bu konuda uzman jeoloji mühendislerine gereksinim vardır. Dahası tüm bu yapıların oluşturulmasından sonra da mühendislik jeolojisi çalışmalarından uzak durulamaz (Şengüler, 1993).

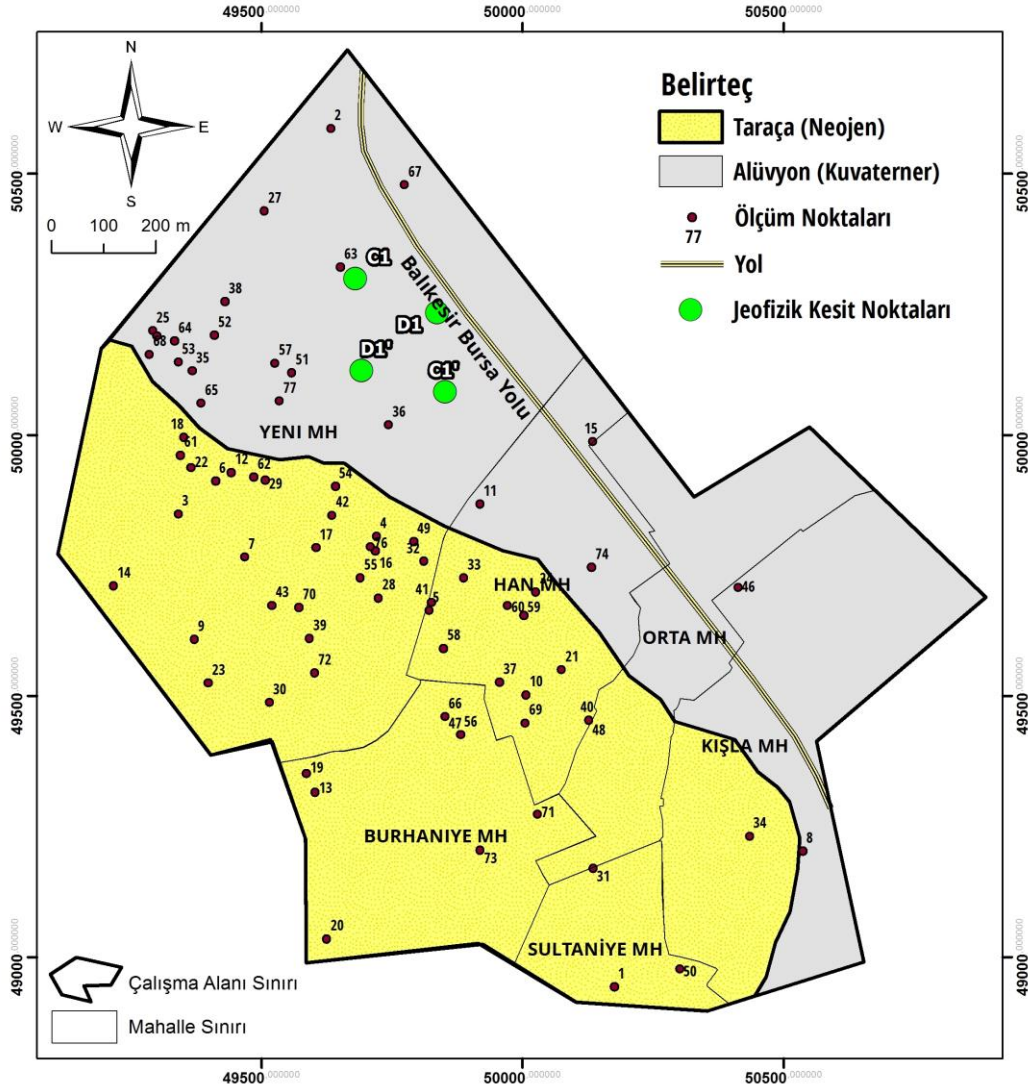
Daima mühendislik jeolojisi uzmanlarının uyarı ve önerileri gereklidir, Konvansiyonel jeolojik haritalar yaklaşık iki yüz yıldır yapılmakta ve bu haritalar gerek inşaat mühendisleri gerekse planlamacılar tarafından bilinmekte ve kısmen de kullanılmaktadır. Ancak haritaların kullanımında büyük güçlüklerle karşılaşmaktadır. Çünkü söz konusu haritalar sadece bir jeoloji mühendisinin yorumlayabileceği nitelikte jeolojik bilgiler ve çizgiler taşımamakta ayrıca zaman zaman kullanıcıya vereceği bilgiler sınırlı olmaktadır (Şengüler, 1993).

Mühendislik amacıyla yapılan kullanma (yorumlama) kolaylığına ve doyurucu bilgiye sahip mühendislik jeolojisi haritaları, jeoloji ve yapı arasındaki ilişkiyi irdeleyen nitelikte olup konvansiyonel haritalardan farklılık göstermektedir. Bu haritalarda fiziksel ve mekanik özellikler ön plana çıkmakta, jeolojik yapılar ve tüm aktif süreçler ağırlığı ve ayrıntılı olarak işlenmektedir. Bu çalışmalarda kayalar ve topraklar mühendislik açısından davranışlarına göre sınıflandırılmakta ve benzer mühendislik özelliklerine sahip farklı yaşlardaki kayaç toplulukları ayrı ayrı gösterilmemektedir. Bir stratigrafik birim mühendislik özellikleri açısından birkaç birime ayrılabilir. Çünkü bir stratigrafi birimi farklı birkaç litolojiye sahip olabileceği gibi günlenme de kaya biriminin fiziksel ve mekanik özelliklerini etkileyebilir Mühendislik jeolojisi haritaları ayrıca yeraltı suyunun durumu ve mineral içeriği hakkında da önemli bilgiler verir (Şengüler, 1993).

Susurluk yerleşim yerinin Susurluk Çayı'ndan dolayı zeminin ince taneli ve kumlu olması ayrıca 1. Deprem kuşağında bulunmasından dolayı bu bölgede oluşabilecek bir zemin davranışı araştırması yapılmıştır.

Çalışma alanı Susurluk ilçe merkezimizi esas alarak hazırlanmıştır. İlçe merkezinde Kuvaterner yaşlı alüvyon ile Neojen yaşlı taraça birimleri gözlemlenmektedir. Bu haritada 77 adet sondaj ve jeofizik ölçüm noktası gösterilmiştir. (Şekil 5.1)

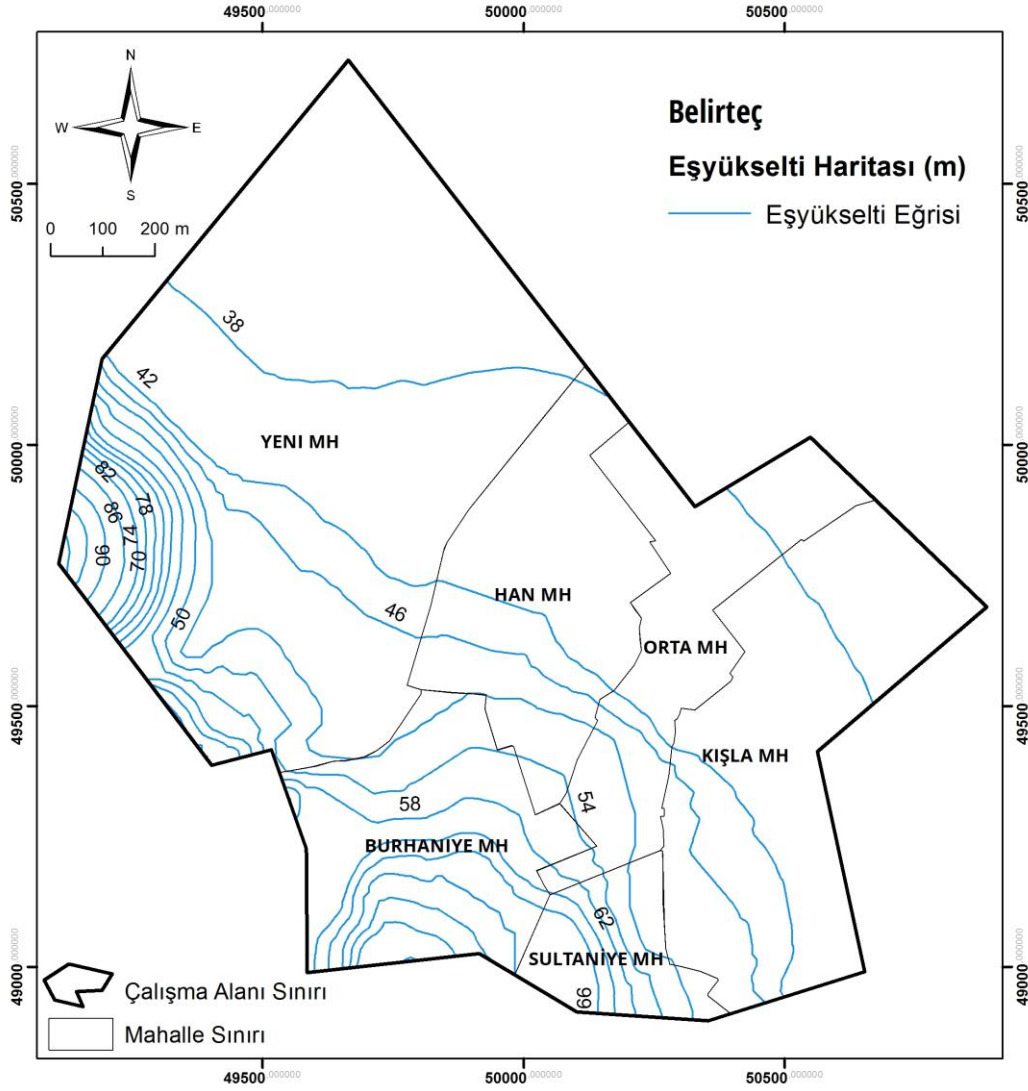
Bu bölümde çalışma alanının jeoloji haritası, sayısal yükseklik, eğim haritası, yeraltı suyu kotu, yeraltı su seviyesi, SPT-N değeri ile hazırlanan 3, 6, 9, 12, 15 m için haritaları, enine ve boyuna dalga hızı haritaları, sismik dalga oranına (V_p/V_s) ek olarak zemin büyütme haritaları üretilmiştir.



Şekil 5.1: Çalışma alanının ölçüm noktaları

5.2 Çalışma Alanı Eşyüksekti Haritası

Çalışma alanının yükseltisi kuzeyde 38 m den güneyde 97 m'ye kadar aralıkta değişim göstermektedir. Yükseklik KD'dan GB'ya taraça biriminde (Şekil 5.1) yükselmeye başlamaktadır (Şekil 5.2).



Şekil 5.2: Çalışma alanının eşyüksekti haritası

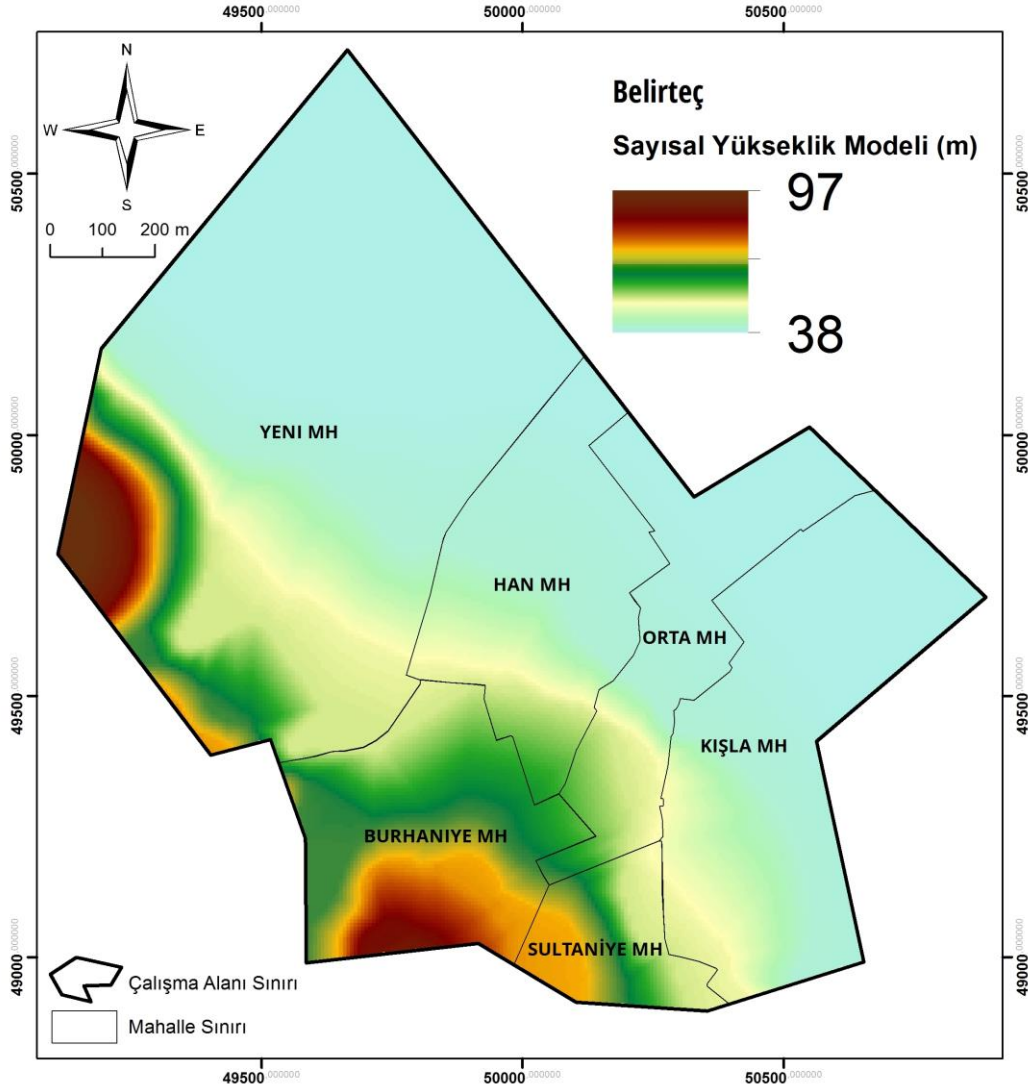
5.3 Sayısal Yükseklik Modeli ve Eğim Haritaları

DEM; Sayısal Yükseklik Modelini bilgisayar ortamında yapılacak çalışmalara esas olmak üzere yeryüzünün sayısal olarak gösterimidir. Nokta bulutundan kesintisiz yüzey oluşturur ve seçilen yöntemine uygun olarak yükseklikleri ara değer hesaplaması yapar.

Çalışma alanın sayısal arazi modelinde en yüksek kot 97 m'dir. Sayısal arazi modeli oluşturulurken eşyüksekti eğrileri sayısallaştırılarak veri tabanına

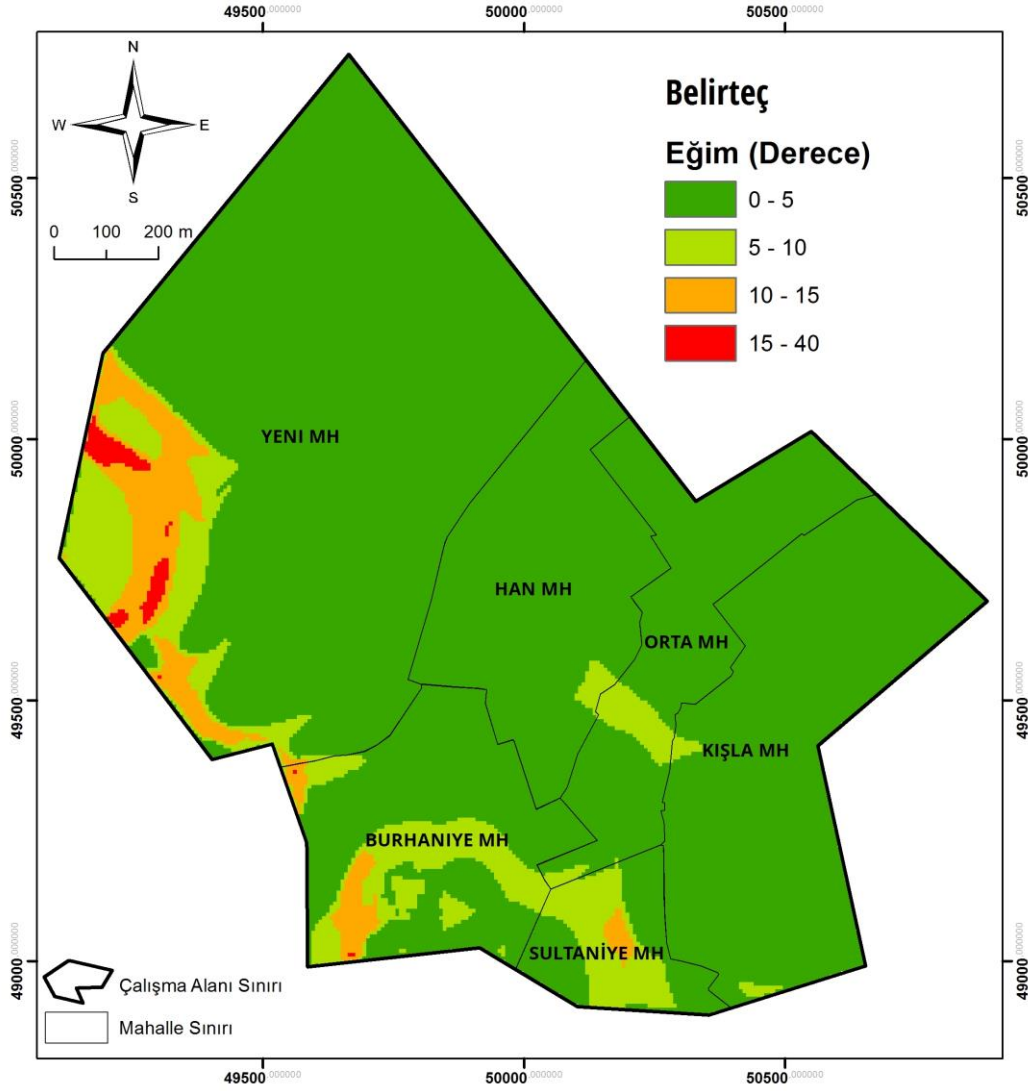
aktarılmıştır. Sayısallaştırılan bu eğriler DEM yöntemi kullanılarak sayısal arazi modeli haritasını oluşturmuştur. (Şekil 5.3)

DEM haritası eşyükselti haritasına paralel olarak taraça birimlerinin sınırlarından itibaren yüksekliğin arttığını modellemiştir. Yükseklik KD'dan GB'ya doğru artmaktadır. (Şekil 5.3)



Şekil 5.3: Sayısal yükseklik modeli haritası

İnceleme alanında eğim kuzeydoğudan güney batıya doğru artmaktadır. Eğim derece cinsinden 0 ile 40 arasındadır. Harita genelinde eğim 0-5 derece arasındadır. Eğimin en yüksek olduğu yer batıda 40 derece ile gösterilmiştir (Şekil 5.4).

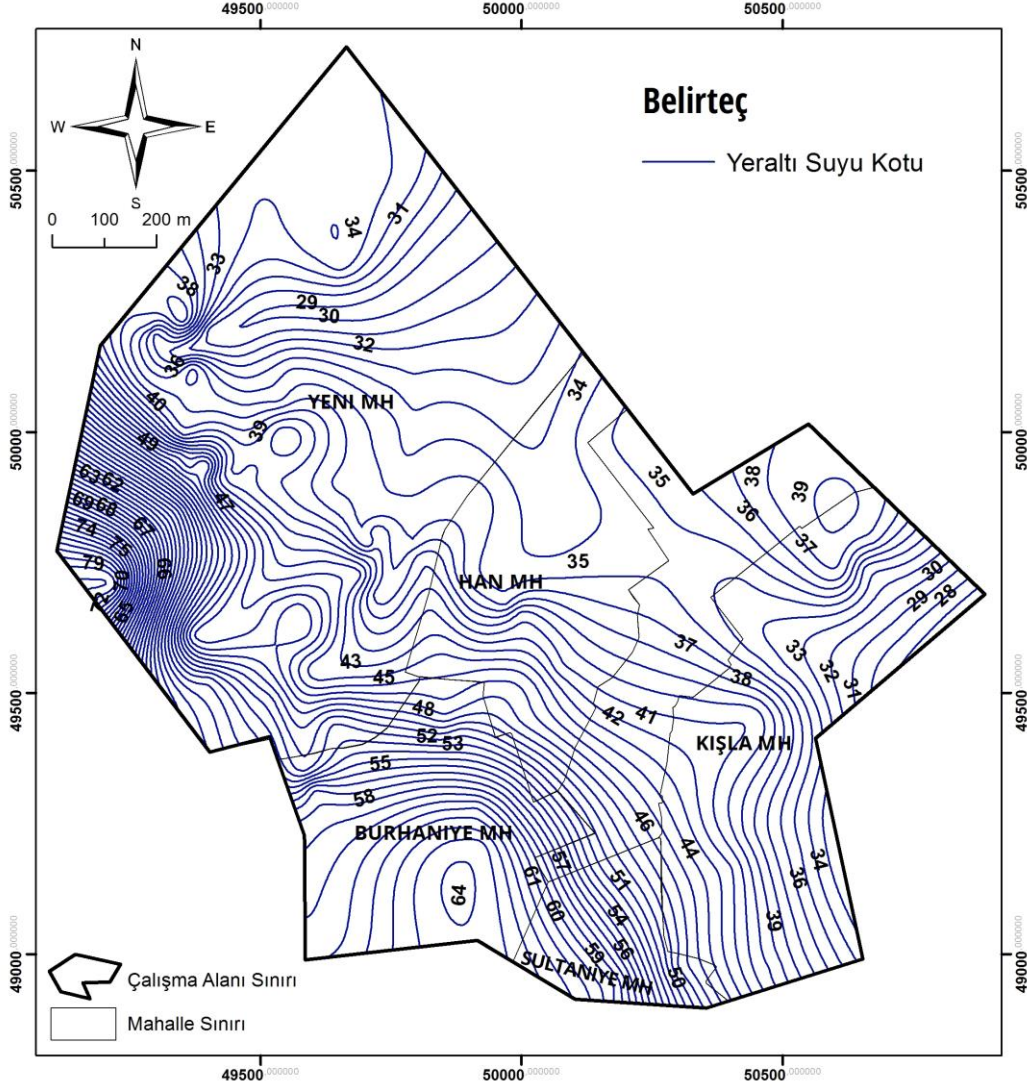


Şekil 5.4: İnceleme alanının eğim haritası

5.4 Yeraltı Su Kotu ve Derinlik Haritaları

Yeraltı suyu sıvılaşmanın en önemli etkenlerinden bir tanesidir. Killi zeminlerde şişme yaparken alüvyon zeminde sıvılaşmaya yol açabilir. Bu gibi sorunların meydana gelmemesi için hidrojeolojik haritalar oluşturulmalı olası sıvılaşma tehlikesine karşı gerekli önlemler alınmalıdır.

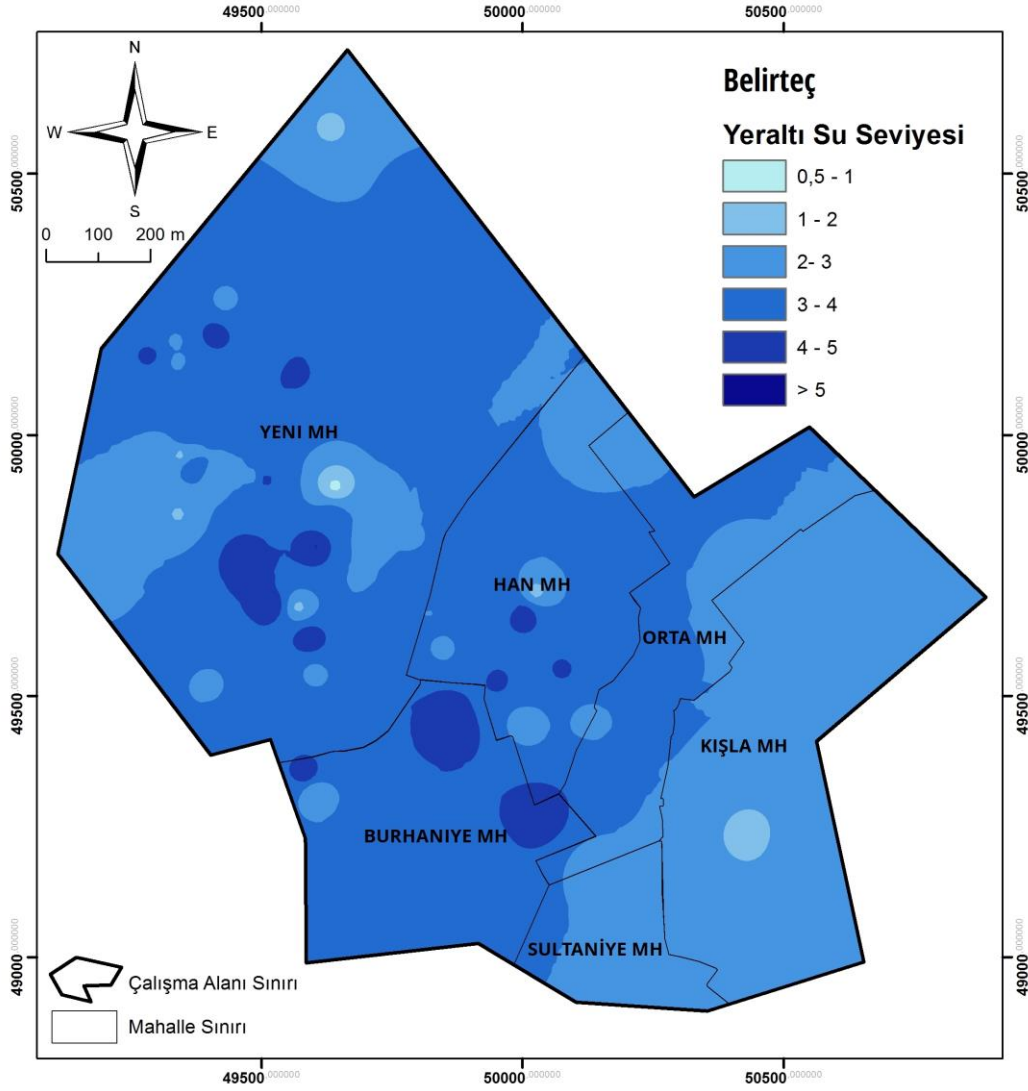
Susurluk ilçe merkezinde bulunan çalışma alanındaki ölçüm noktalarından alınan veriler değerlendirilerek yeraltı suyu kotu ve yeraltı su derinlik haritaları hazırlanmıştır (Şekil 5.5).



Şekil 5.5: İnceleme alanının yeraltı suyu kotu haritası

İnceleme alanının yeraltı suyu kot haritasına bakıldığında, su eğiminin yer yer farklılıklar göstermekle beraber, eğim ile paralellik gösterdiği söylenebilir. Yeraltı suyu bu alanda güneybatıdan kuzeydoğuya doğru bir akış yönü gösterebilir.

İnceleme alanı yeraltı suyu bakımından Susurluk çayı nedeniyle zengindir. Yükseltinin fazla olduğu yerlerde (Şekil 5.2) 5 m'ye kadar çıkan yeraltı su derinliği ilçe merkezinde 1-4 arasında değişmektedir. Yeraltı su seviyesi kuzeydoğuya doğru azalma göstermektedir. Bunun sebebi ise Susurluk çayı olması düşünülmektedir. Yeni Mahallede görülen yeraltı su seviyesini düşüklüğü ise bölgenin kotunun düşük olmasından kaynaklanabilir.



Şekil 5.6: İnceleme alanının yeraltı su derinliği haritası

5.5 Standart Penetrasyon Testi (SPT) Haritaları

Zemin araştırmalarında büyük önem taşıyan ve bir arazi deneyi olan Standart Penetrasyon Deneyi zeminin mühendislik özelliklerini belirlenebilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. SPT, taşıma gücü, sıvılaşma gibi önemli parametrelere ulaşma imkânı sağladığından ayrıca önemlidir. Bu nedenle SPT haritaları da zeminlerin mühendislik davranışının irdelenmesine yardımcı olmaktadır (Demir, 2013).

Sondaj çalışmalarında yapılan SPT deneyleri sonucunda elde edilen SPT-N değerleri için 3, 6, 9, 12, 15 m'ler için haritalar oluşturulmuştur. Kumlarda SPT-N değeri ile izafi (rölatif) sıklıklar arasında ilişki Tablo 5.1'de, killerin kıvamı ile SPT-N değeri arasındaki ilişki ise Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.1: Standart penetrasyon direnci ve izafi sıklık arasındaki ilişkiler (Demir, 2013)

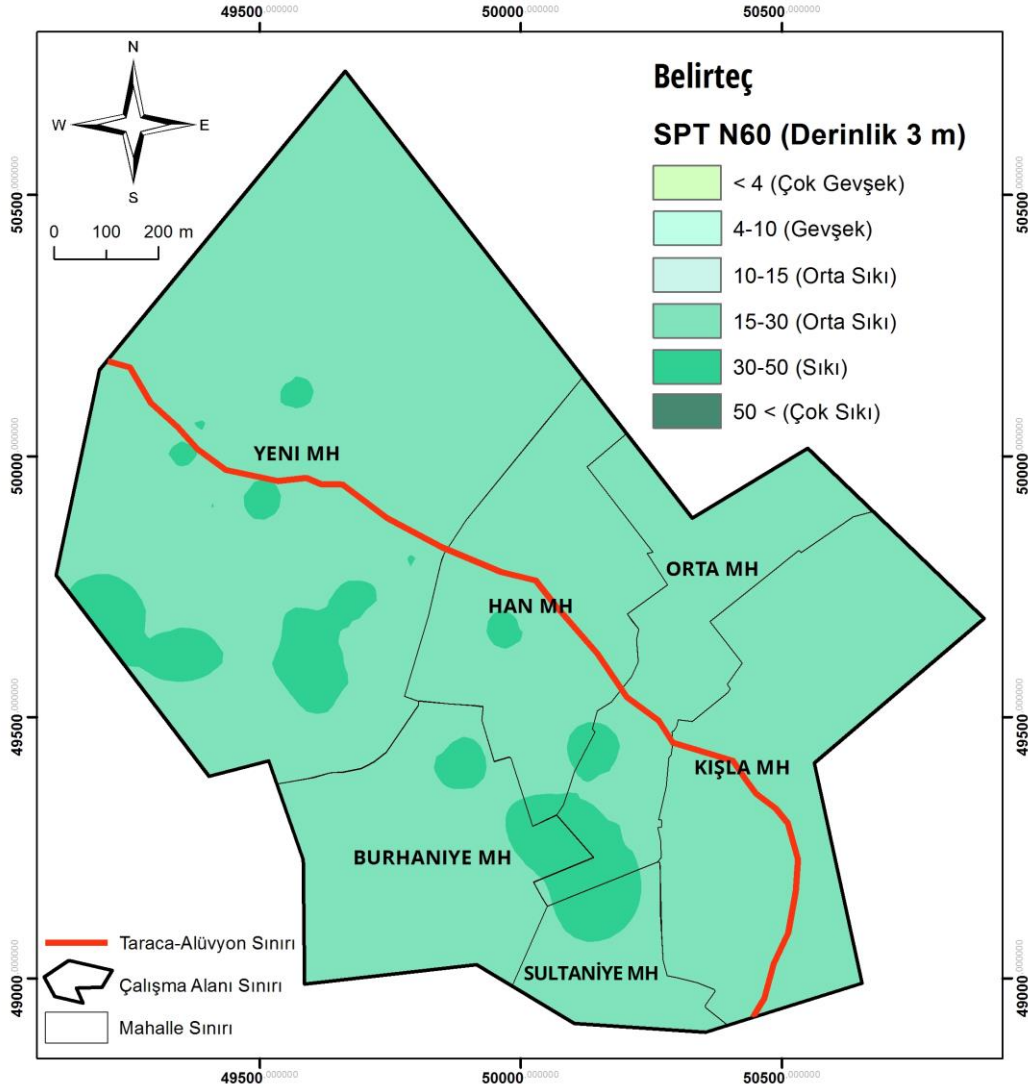
Dane Yerleşim Durumu	¹ N ₆₀ * ² N _{1/60} * (Terzaghi ve Peck 1967)	İzafi Sıklık D _{rr} (%)			
		Meyerhof (1956) ¹	Bowles (1968) ¹	Duncan ve Buchinani (1976) ²	Mitchell ve Katti (1981) ²
Çok gevşek	< 4	< 20	< 15	< 15	< 15
Gevşek	4-10	20-40	15-30	13-35	15-35
Orta sıkı	10-30	40-60	35-65	35-65	35-65
Sıkı	30-50	60-80	65-85	65-85	65-85
Çok sıkı	>50	>80	85-100	85-100	85-100

Tablo 5.2: SPT ile ince daneli zeminler arasındaki ampirik ilişki (Demir, 2013)

Kıvam	SPT-N	q _u (kPa)
Çok Yumuşak	< 2	< 25
Yumuşak	2-4	25-50
Orta katı	4-8	50-100
Katı	8-15	100-200
Çok katı	15-30	200-400
Sert	>30	>400

Çalışma alanının 3 m derinlikte geneline Terzaghi ve Peck (1967)'e göre “orta sıkı” zemin hâkimdir (Şekil 5.7).

Yeni, Han, Orta, Burhaniye ve Sultaniye mahallelerinin bazı bölgelerinde yer yer “sıkı zemin” görülmektedir. “Sıkı zemin” daha çok taraça birimde (Şekil 5.1) görülmektedir. SPT değerleri 3 metre derinlikte güney batıya doğru artış göstermektedir. Kışla mahallesinin tümünde orta sıkı zemin görülmektedir. Alüvyon birimde çok az da olsa sıkı zeminde görülmektedir. (Şekil 5.7).

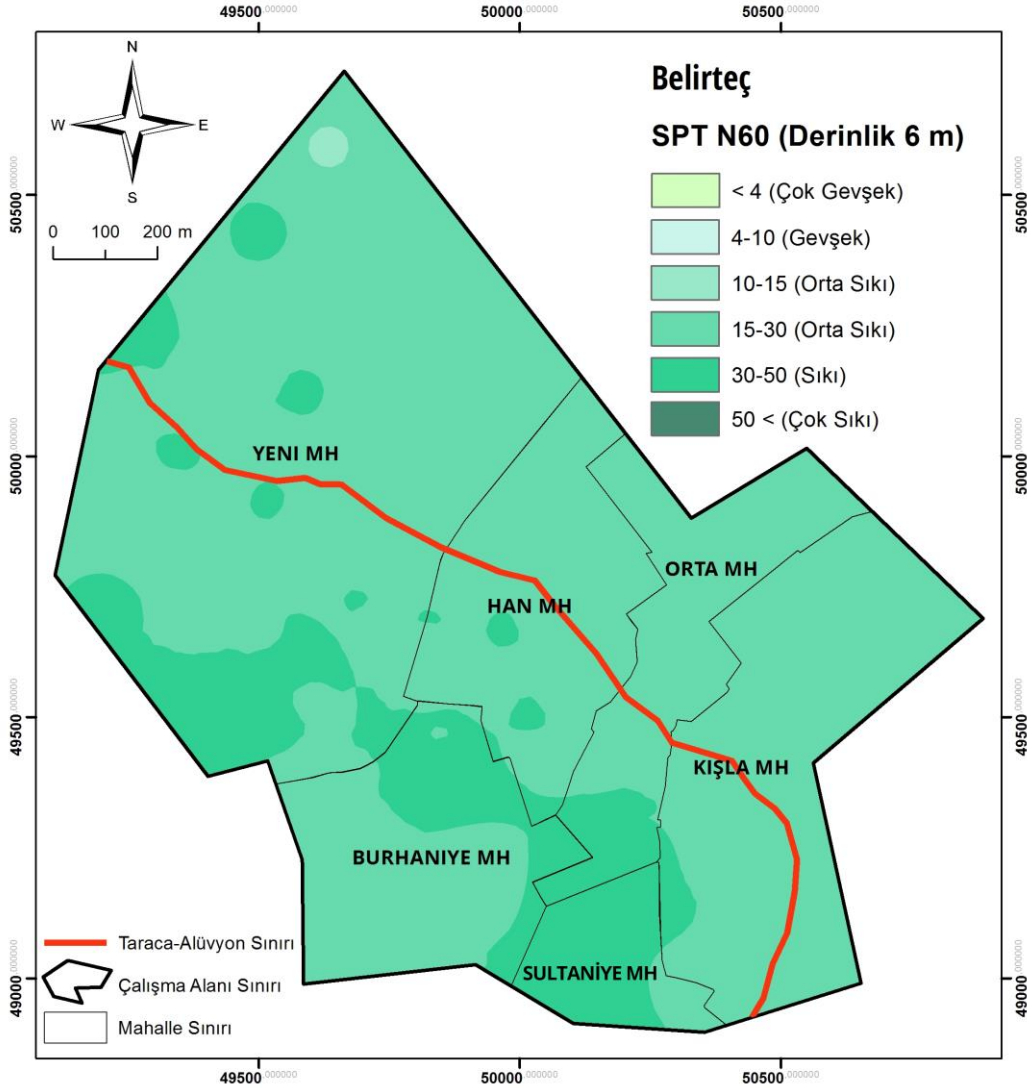


Şekil 5.7: SPT-N değerlerinin 3 m derinlikteki zemin haritası

Çalışma alanının 6 metre derinlikte geneline Terzaghi ve Peck (1967)'e göre “orta sıkı”lıkta zemin hakimdir (Şekil 5.8).

Yeni, Orta, Kışla ve Burhaniye mahallelerinde yer yer orta sıklıktan sıkı zemine geçiş görülmektedir. Aynı zamanda Sultaniye mahallesinde sıkı zemin geniş alana yayıldığı görülebilmektedir.

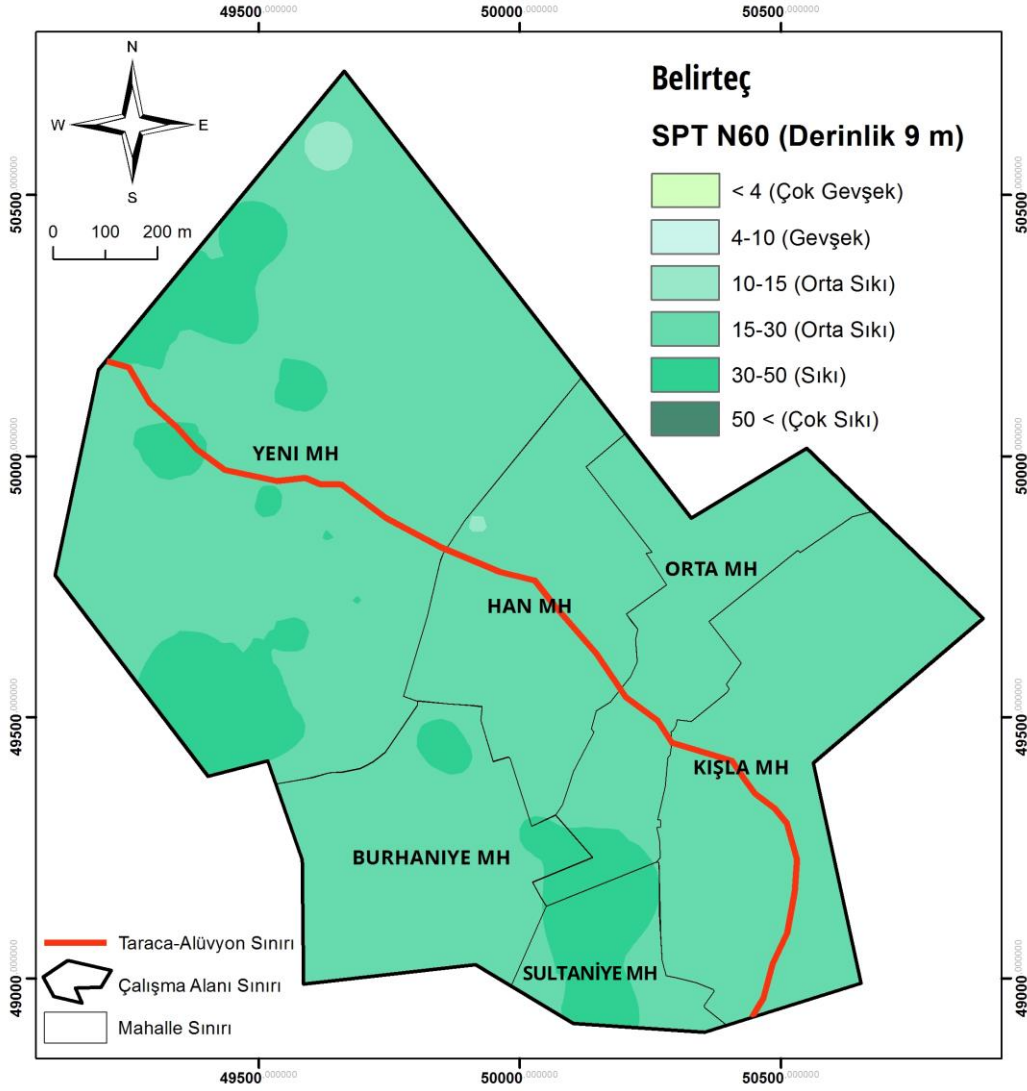
Taraca ve alüvyon birimlerinde sıkı zemin 3 m derinliğe nazaran daha da artmıştır. 6 metre derinlikte 3 metre derinliğe göre daha sıkı bir zemin görülmektedir (Şekil 5.8).



Şekil 5.8: SPT-N değerlerini 6 m derinlikteki zemin haritası

Haritaya genel olarak bakıldığında 9 metre derinlikte Terzaghi ve Peck (1967)'e göre “orta sıkı” olarak tanımlanmaktadır (Şekil 5.9).

Sıkı zemin tanımlaması yer yer Burhaniye ve Orta mahallerinin bir kısmı ve Yeni ve Sultanîye mahallerinin bazı bölgelerinde yapılabilmektedir. Kışla ve Han mahallerinin tamamı ise “orta sıkı” zemin sınıflamasında değerlendirilmiştir. Taraça biriminde görülen sıkı zemin alüvyon birimden daha fazla alan kaplamaktadır. 6 metrelerdeki SPT değerlerine nazaran 9 metredeki SPT değerleri düşmüş ve “sıkı zemin” olarak tanımlanabilecek alanlar azalım göstermiştir (Şekil 5.9).

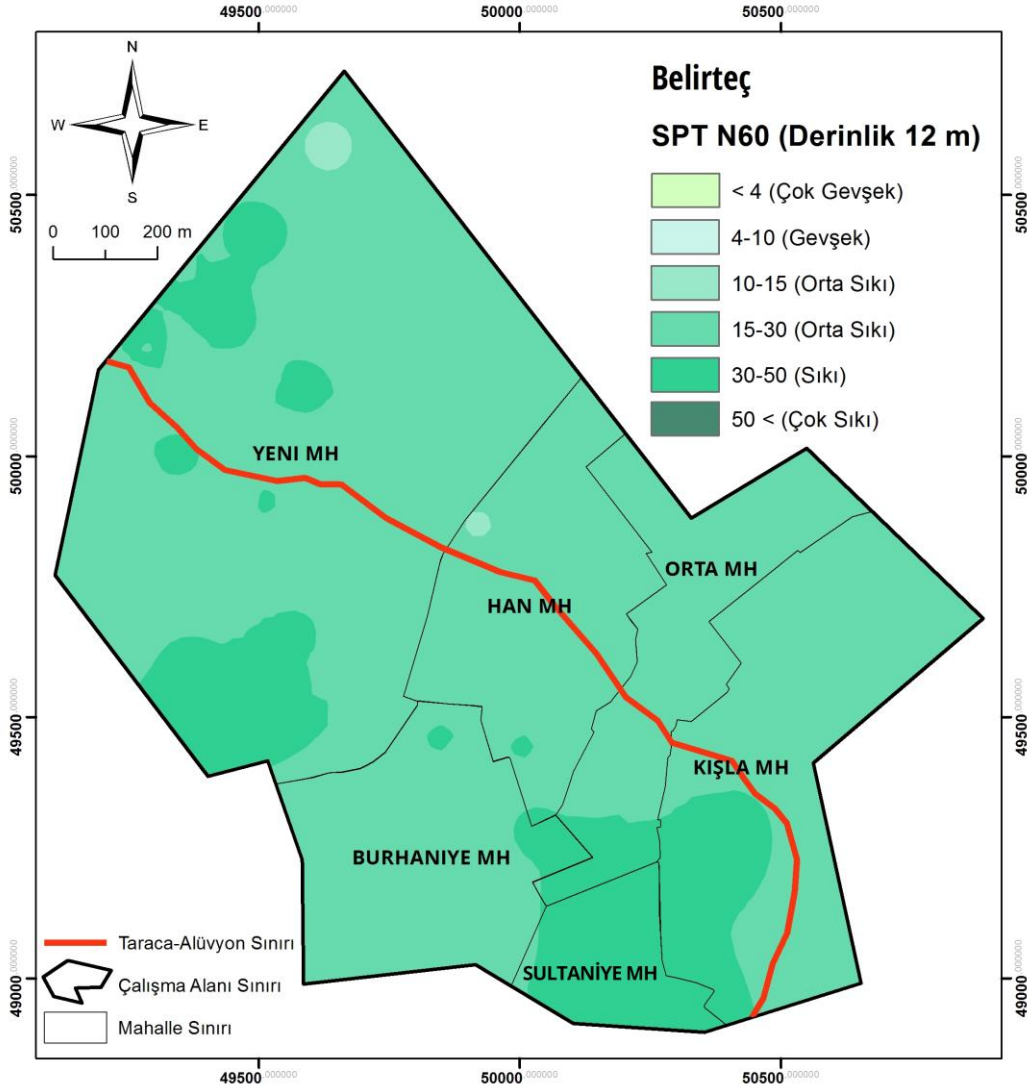


Şekil 5.9: SPT-N değerlerini 9 m derinlikteki zemin haritası

Haritaya genel olarak bakıldığında 12 metrede Terzaghi ve Peck (1967)'e göre zemin “orta sıkı” zemin olarak değerlendirilmektedir (Şekil 5.10).

“Sıkı zemin” tanımlaması yer yer Orta ve Kışla mahallerinin bir kısmı ve Yeni mahallenin bazı bölgelerinde yapılabilmektedir. Sultanîye Mahallesi'nin bir kısmı hariç tamamına yakını sıkı zemin olarak tanımlanabilir. Burhaniye ve Han mahallelerinde çok az da olsa sıkı zemin görülmektedir. Ancak mahallelerin çoğuna orta sıkı zemin hakimdir (Şekil 5.10).

Sıkı zemin genel olarak taraça biriminde görülmektedir. Ancak taraça ve alüvyon biriminde genel olarak orta sıkı zemin hakimdir (Şekil 5.10).



Şekil 5.10: SPT-N değerlerini 12 m derinlikteki zemin haritası

Haritaya genel olarak bakıldığında 15 metrede Terzaghi ve Peck (1967)'e göre zemin “orta sıkı” zemin olarak değerlendirilmektedir (Şekil. 5.11).

“Sıkı zemin” olarak tanımlanabilecek alanlar 12 metre derinlik haritasına göre daha azalmıştır. Han mahallesinin tamamı “orta sıkı” zemin olarak tanımlanmıştır. Sıkı zemin tanımlaması yer yer Yeni, Orta, Burhaniye ve Kışla mahallelerinde yapılabilir (Şekil 5.11).

Taraça biriminde sıkı zemin alanları 6,9,12 derinliktekilere göre azalmıştır. İki birimde de orta sıkı zemin alanların artışı görülmektedir.

Tablo 5.3: Bazı zemin ve kayalar için boyuna dalga ve enine dalga hızları (V_p ve V_s) (Keçeli, 1990)

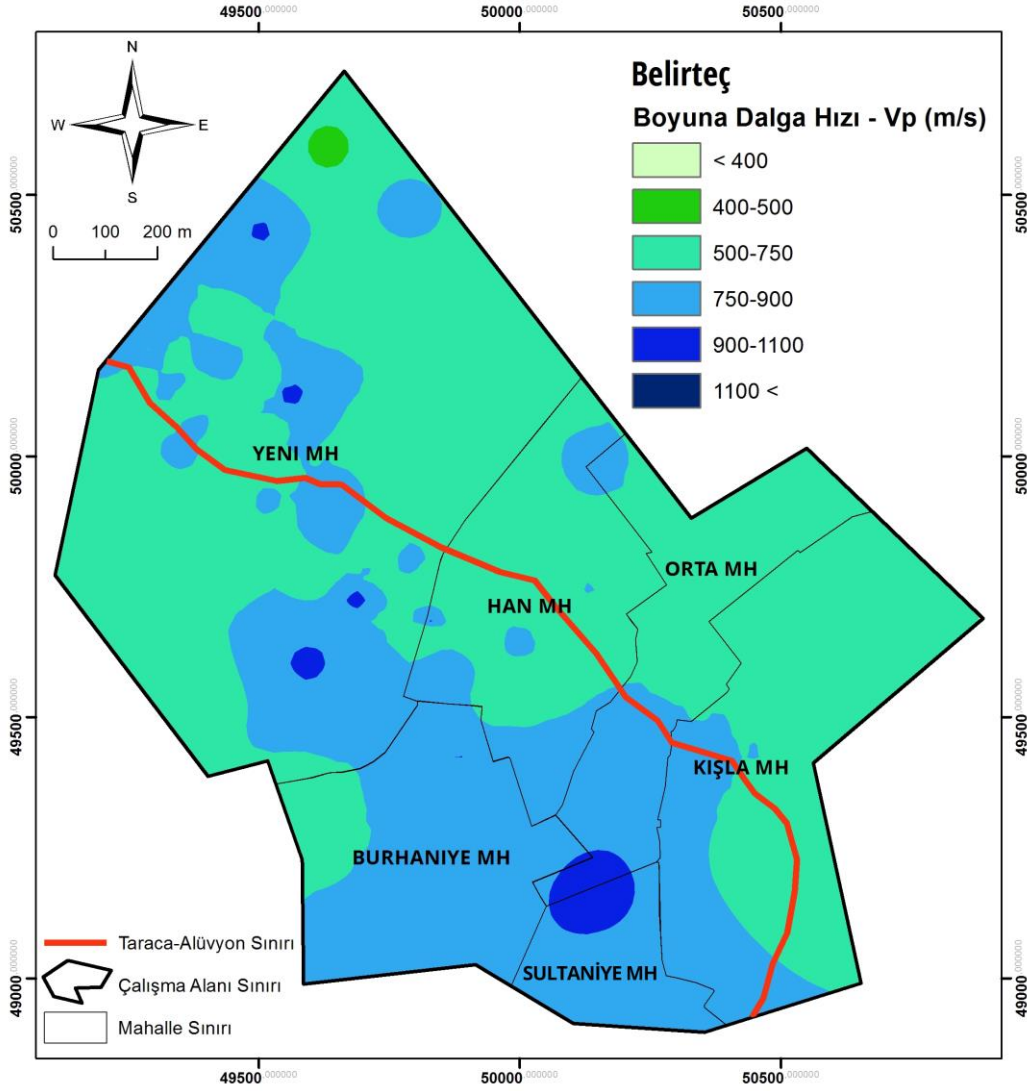
Zemin veya kayaç	V_p (m/san)	V_s (m/san)
	(Gevşek-sıkı)	(Gevşek-sıkı)
Balçık zemin	100-600	100-200
Alüvyon kili	300-600	70-130
Sel kili	500-1800	100-350
Gevşek kum	600-1800	150-500
Alüvyon çakılı	400-1900	100-430
Sel çakılı	900-2200	250-600
Çakıl, kuru kum	500-1000	250-300
Alüvyon kumu	-	171

Harita genelinde 750-900 m/s arasındaki V_p değerleri görülmektedir. Yeni mahallede V_p değerleri genel olarak bakıldığında 400-1100 m/s arasında değişmektedir. V_p değer aralığı farkı en fazla olan Yeni mahallede değerler 400-1100 m/s olarak değişmektedir. Bu çeşitlilik diğer mahallelerde görülmemektedir. Değerler taraça (Şekil 5.1) biriminde alüvyon birime nazaran daha da büyümektedir (Şekil 5.12).

5.7 Enine Dalga Hızı (V_s) Haritası

Genel olarak zemin sınıflamasında ve kuvvetli yer hareketleri karşısındaki zeminin mühendislik davranışının belirlenmesinde kullanılan dinamik zemin parametreleri çoğunlukla sismik dalgalar yardımıyla elde edilen hız bilgilerinden üretilmektedir. Hız bilgileri ve bu bilgilerden türetilen parametreler zemin sınıfına ve yeraltı su koşullarına göre farklılık göstermektedir (Demir, 2013).

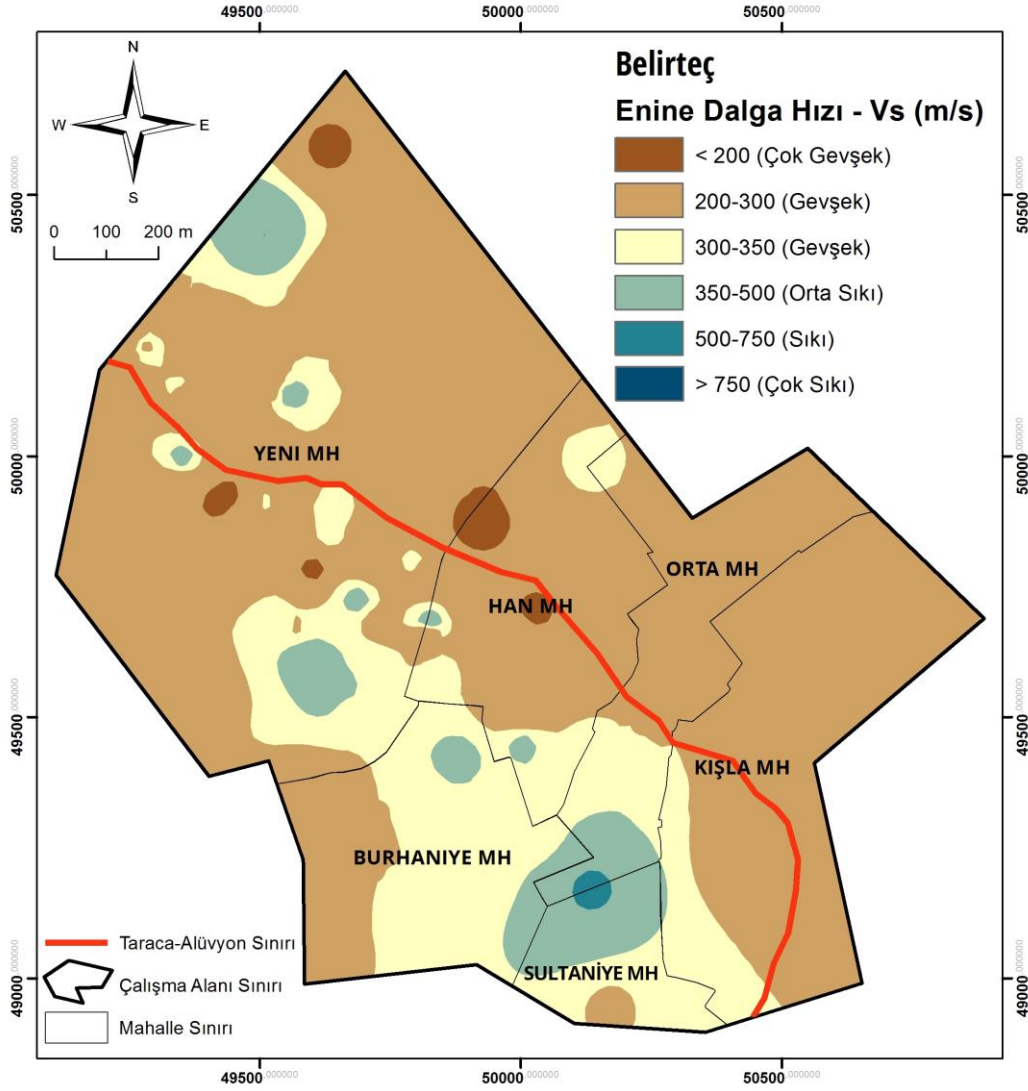
Susurluk ilçe merkezinde yapılan çalışmalar sonucu elde edilen enine dalga değerleri Gökçe, (2013)(Tablo 5.4) sınıflamasına göre değerlendirilmiştir.



Şekil 5.12: Çalışma alanının boyuna dalga hızı (V_p) haritası

Tablo 5.4: Dalga Hızları Zemin Tanımlamaları (Gökçe, 2013)

$V_s > 750$ m/s	çok sıkı yada ana kaya
$500 < V_s < 750$ m/s	sıkı
$350 < V_s < 500$ m/s	orta sıkı
$200 < V_s < 350$ m/s	gevşek
$V_s < 200$ m/s	çok gevşek



Şekil 5.13: Çalışma alanının enine dalga hızı (Vs) haritası

Çalışma alanına genel olarak gevşek zemin türü hâkimdir. Taraça biriminde (Şekil 5.1) gevşek zeminden orta zemine geçiş yapıldığı görülmektedir. Orta sıkı zemin sınıflaması Yeni, Han, Kışla, Burhaniye ve Orta mahallerinin bir kısmında Sultaniye mahallesinin çoğunluğuna hakim alanlarda yapılabilir (Şekil 5.13).

Çok gevşek zemin sınıflaması Alüvyon ve Taraça birimde yer yer görülmektedir. Sıkı zemin ise sadece Taraça biriminde bir bölgede görülmüştür (Şekil 5.13).

5.8 Sismik Hız Oranı (V_p/V_s) Haritası

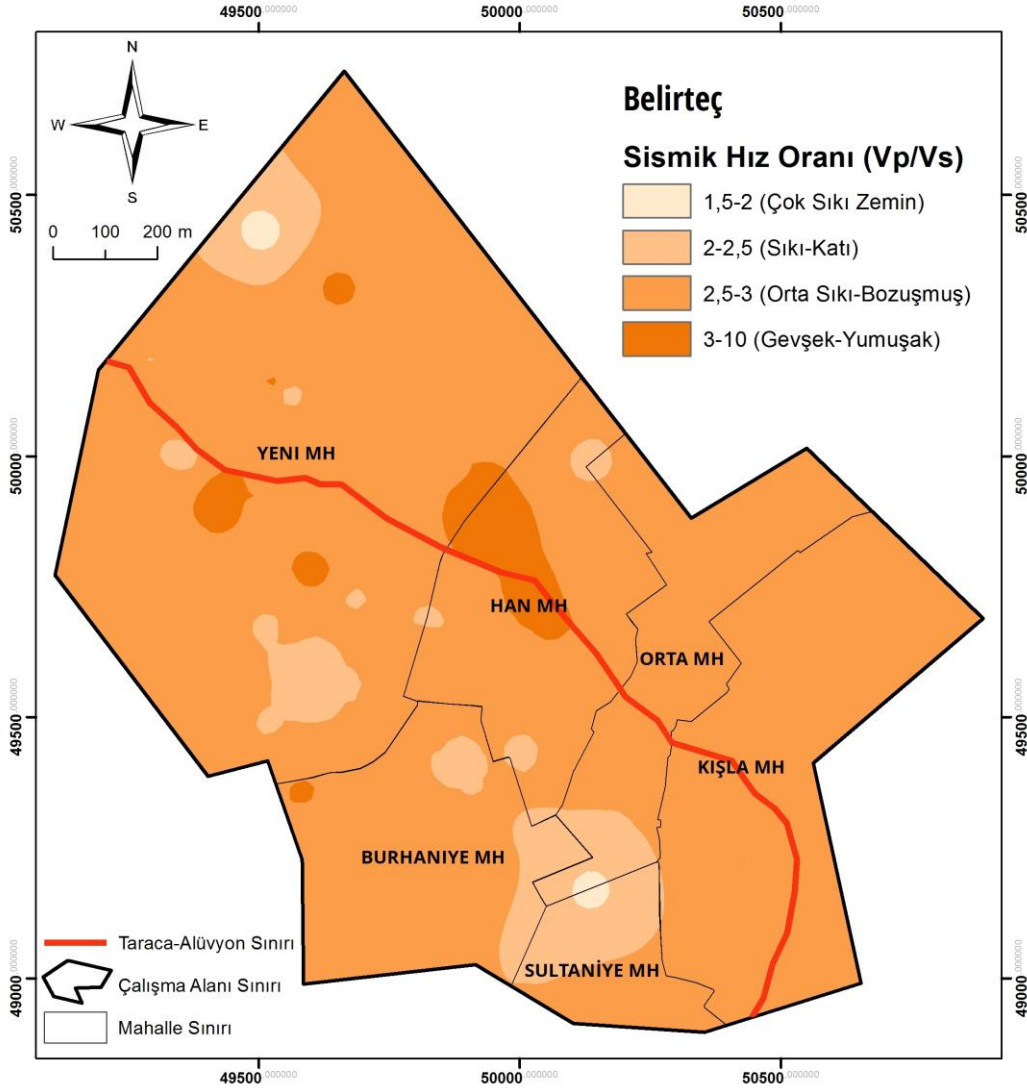
Sismik hız oranı, kayaçların mineral bileşimine, dokuyu teşkil eden tanelerin büyüklüğüne ve dağılımına, gözenekliliğine, gözenek suyunun cins ve miktarına, sıkışabilirliğine ve sonuç olarak jeolojik geçmişi ve kayacın yaşına önemli ölçüde bağlıdır (Kurtuluş vd, 2011) . Kurtuluş vd, (2011) tarafından verilen V_p/V_s oranlarına göre zeminin durumunu gösteren verilere göre V_p/V_s oranı arttıkça zeminin “çok sıkı” durumdan “gevşek-yumuşak” duruma doğru değiştiği, yani sıkılığının azaldığı görülmektedir. Söz konusu tabloya göre V_p/V_s oranı arttıkça dinamik kayma modülü ve dinamik elastisite modülü (Tablo 5.5) .

Tablo 5.5: Zeminin sıklık durumuna göre enine dalga hızı (V_s), boyunad alga hızı (enine dalga hızı oranı (V_p/V_s), dinamik kayma modülü (G , kg/cm^2) ve dinamik elastisite modülü (E , kg/cm^2) değerleri (Kurtuluş v.d.2011’den alınmıştır)

Zemin Durumu	V_s (m/sn)	Ta-Tb	V_p/V_s	G_s (kg/cm^2)	E_d (kg/cm^2)	q_s (kg/cm^2)
Çok Sıkı Zemin	>700	0.10-0.30	1.5-2.0	>1000	>30000	10-100
Sıkı-Katı	400-700	0.15-0.40	2.0-2.5	3000-10000	10000-30000	3-10
Orta Sıkı-Bozuşmuş	200-400	0.15-0.60	2.5-3.0	600-3000	1700-10000	1-3
Gevşek-Yumuşak	<200	0.20-0.90	3.0-10.0	<600	<1700	<1

İnceleme alanındaki zeminlerin boyuna dalga hızı değerlerinin (V_p) enine dalga hızı değerlerine (V_s) oranlanarak hesaplanan sismik hız oranı değerleri, değerlendirilmeye tabi tutulurken Kurtuluş (2011)’den yararlanılmıştır.

Harita geneline bakıldığında V_p/V_s oranının 1,5-4,50 arasında olduğunu görülmektedir. Kurtuluş (2011)’e göre değerlendirdiğimizde çalışma alanı genel “Orta Sıkı-Bozuşmuş” zemin sıklığında olarak belirlenmektedir. Sıkı-Katı ve çok sıkı zemin sınıflaması Taraça biriminde Alüvyon birimine göre daha fazla alanda yapılabilmektedir. Gevşek-Yumuşak zemin sınıflaması Alüvyon birimde daha fazla alana yayılmaktadır (Şekil 5.14).



Şekil 5.14: Çalışma alanının sismik hız oranı (V_p/V_s) haritası

5.9 Zemin Büyütme Haritaları

Bir deprem meydana geldiğinde, farklı sismik dalgalar kaynaktan itibaren yer içinde değişik hızlarda yayılmaya başlarlar. Bu dalgalar yer yüzeyine ulaştıklarında birkaç saniyeden dakikalara varan sürelerde titreşimler üretirler. Belirli bir yerdeki titreşimin süresi ve şiddeti; depremin büyüklüğüne, kaynaktan uzaklığına, dalgaların yol aldığı ortamın fiziksel özelliklerine ve o yerin zemin özelliklerine bağlıdır. Zemin tabakaları, sismik dalgalar için adeta bir süzgeç gibidir. Bazı frekanslardaki sismik dalgalar küçülüp yok olmaya başlarken bazıları da büyütülür. Sismik

dalgaların zemin tabakaları içinde geçirdiği değişimlerin tümüne zemin büyütmesi adı verilir.

Zemin büyütme etkisi zemin-yapı etkileşimi açısından çok önemli bir özellik olduğu için, depreme duyarlı bölgelerde yapıların tasarımında bilinmesi gereken bir husustur. Bu amaçla değişik yöntemler kullanılmakta olup bunlar; hassas sismometreler kullanılarak büyütme amaçlı mikrotremör (mikro titreşimci) ölçümlerinin alınması, zemin çökellerinin tek-boyutlu sayısal analizi ve S-dalgası hızını alan büyüme faktörü hesaplama ilişkileridir (Ulusay, 2010).

Gözlemler ve kuvvetli yer hareketi analizleri yüzey zeminlerinin ortalama S-dalgası hızının belirli bir derinliğe kadar görelî büyütme ile ilişkili olduğunu göstermiştir (Ulusay, 2010'dan alınmıştır). Bu amaçla, farklı araştırmacılar tarafından önerilmiş görelî büyütme faktörü eşitlikleri Çizelge 6'da verilmiştir. Çizelge 6'daki eşitliklerdeki ortalama S-dalga hızı (V_1), her zemin istifi ve sondaj yeri için aşağıdaki formülden bulunmaktadır (Ulusay, 2010'dan alınmıştır)

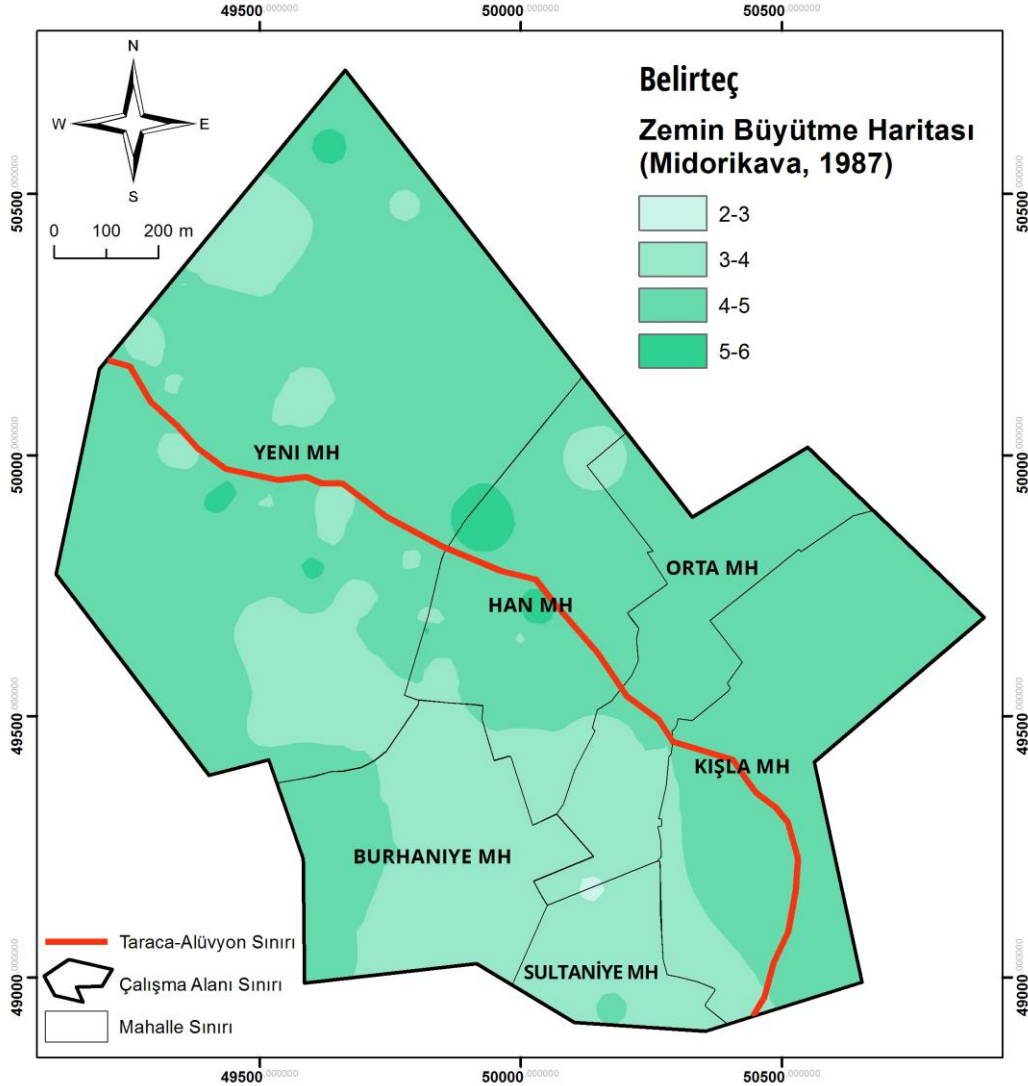
$$V_1 = 30 / \left(\sum_{i=1}^n (h_i / V_{si}) \right) \quad (5.1)$$

Burada n zemin tabakası sayısı, h_i her zemin tabakasının kalınlığı ve V_{si} her zemin tabakası için ölçülen S-dalga hızıdır.

Tablo 5.6: Görelî büyütme faktörleri ile S-dalgası arasındaki ilişkiler (Ulusay 2010)

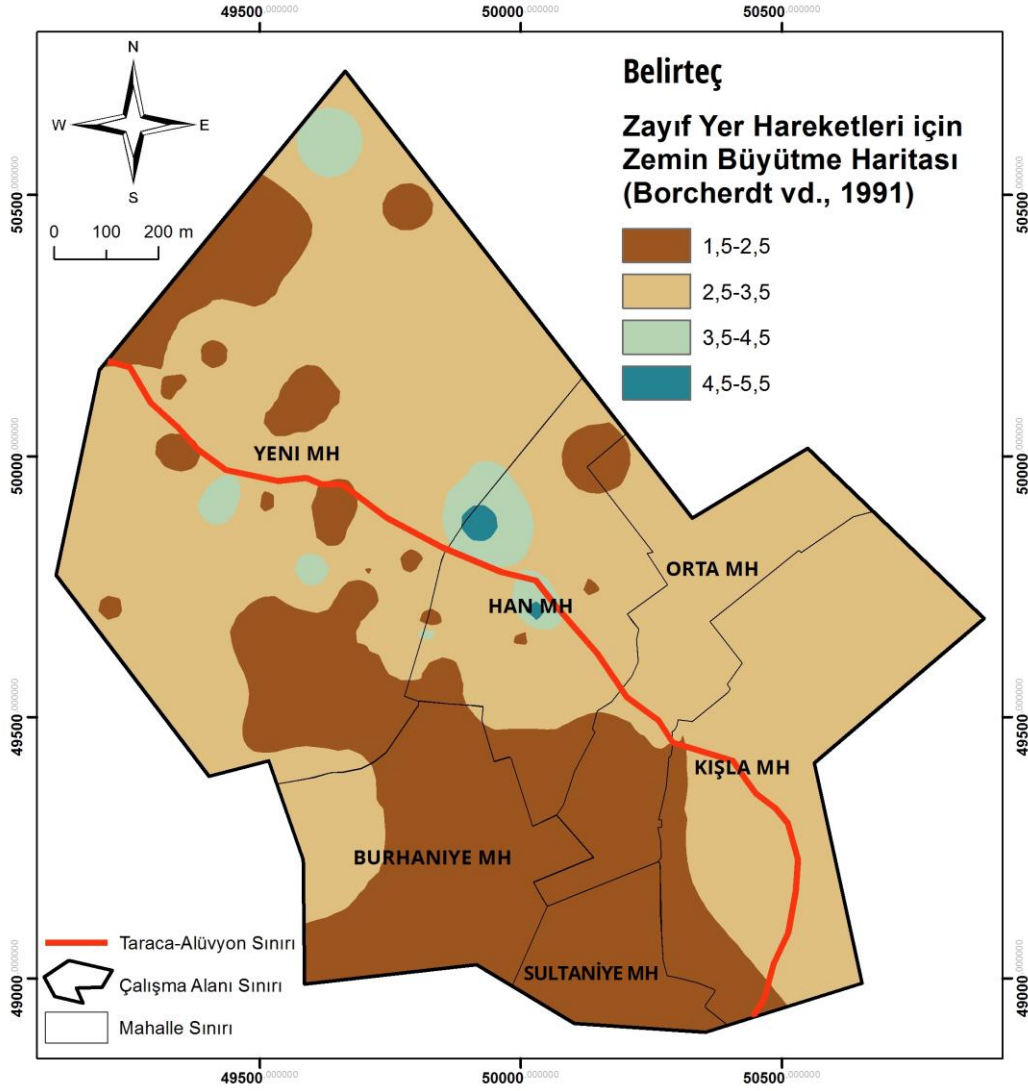
Araştırmacılar	Eşitlikler
Midorikawa (1987)	$A = 68V_1^{-0.5}$ ($V_1 < 1100$ m/s)
	$A = 1.0$ ($V_1 > 1100$ m/s)
Joyner ve Fumal (1984)	$A = 68V_2^{-0.45}$ ($V_1 < 1100$ m/s)
Borcherdt vd. (1991)	$AHSA = 700 / V_1$ (Zayıf yer hareketleri için)
	$AHSA = 600 / V_1$ (Kuvvetli yer hareketleri için)
A :	En büyük yer hızı için görelî büyütme faktörü
AHSA :	0.4-0.2 s. periyot aralığı için ortalama yatay spektral büyütme
V_1 :	30 m. derinlik için ortalama S-dalgası hızı (m/s)
V_2 :	1 s'lik bir dalga için çeyrek dalga uzunluğundaki derinliğe karşılık gelen ortalama S-dalgası hızı (m/s)

Çalışma alanı içinde yayılım gösteren zeminlerin dalgaların genliklerinin artırması özelliğini belirlemek için S-dalga hızlarından yararlanılmıştır. Söz konusu zeminlerin göreceli büyütme faktörü Midorikawa (1987)'un ve Borchardt vd. (1991)'in önerdikleri bağıntıyla bulunarak 3 adet harita oluşturulmuştur. (Tablo 5.6)



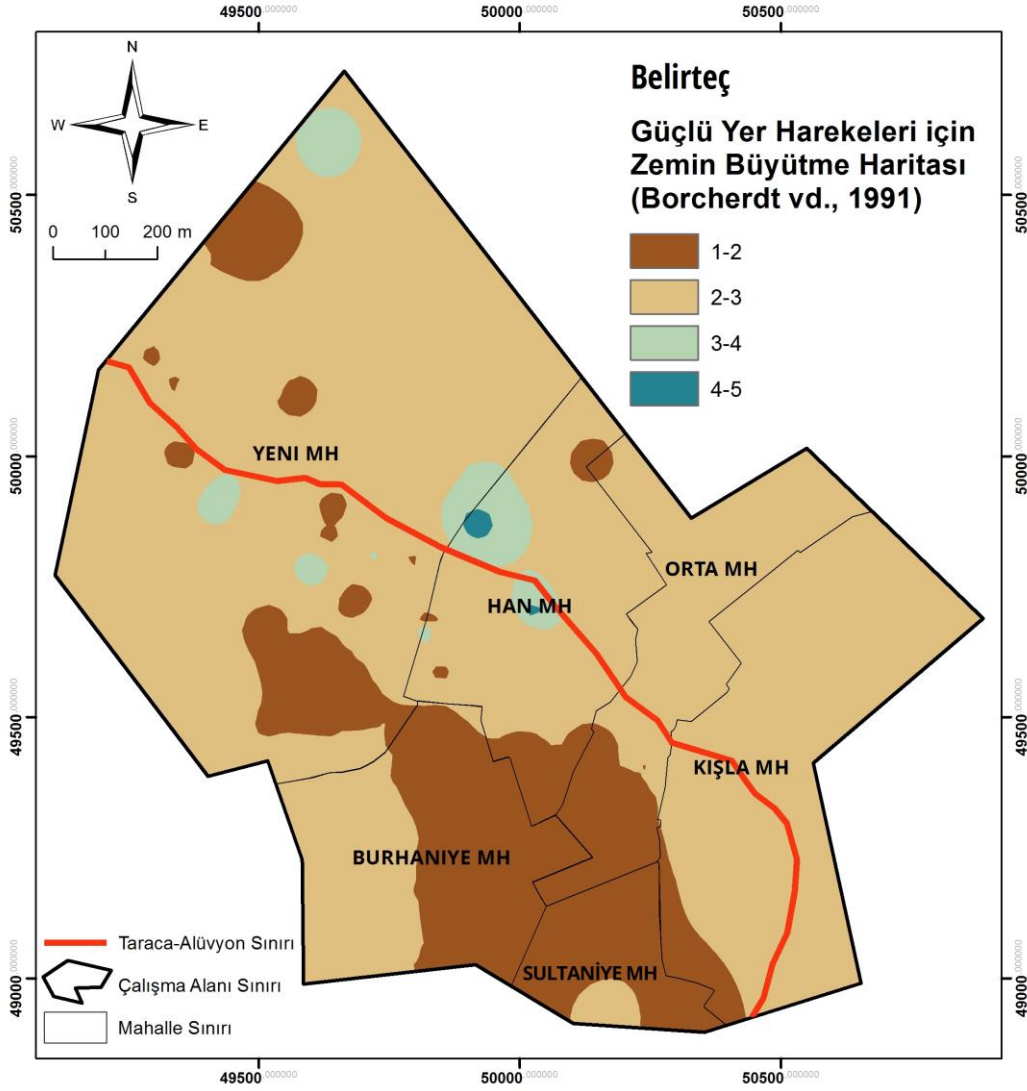
Şekil 5.15: Çalışma alanının Midorikawa (1987)'e göre zemin büyütme haritası

Çalışma alanının genelinde zemin büyütme etkisinin Midorikawa (1987)'e göre 2-4 olduğu görülmektedir. Taraça biriminde genelden düşük görülmekte ise de, Susurluk ilçe merkezinin olası bir depremde zemin büyütme etkisi 2-6 katı arasında değişiklik gösterecektir. Bu etki deprem dalgalarının zeminde 2-6 kat daha fazla büyümesine sebep olacaktır (Şekil 5.15)



Şekil 5.16: Çalışma alanının zayıf yer hareketleri için Borcherdt vd. (1991)'e göre zemin büyüme haritası

Zayıf yer hareketleri için üretilen haritada çalışma alanında Borcherdt vd. (1991)'e göre zemin büyüme etkisi 1,5-5,5 kat arasındadır. Taraça biriminin çoğunluğunda etki 1,5-2,5 kat olarak görülmektedir. Alüvyon birimde ise zemin büyüme etkisi 1,5-5,5 kat arasında değişmektedir. Alüvyon biriminin genelinde iste 2,5-3,5 kat etkili olacağı görülmektedir (Şekil. 5.16)



Şekil 5.17: Çalışma alanının güçlü yer hareketleri için Borcherdt vd. (1991)'e göre zemin büyütme haritası

Güçlü yer hareketlerine göre zemin büyütme etkileri Borcherdt vd. (1991)'e göre 1-5 kat arasında değişmektedir. Taraça birimde büyütme etkisi 1-3 kat olarak görülmektedir. Yer yer 3-4 kat arasında olabilmektedir. Alüvyon birimde ise 2-3 kat büyütme genele hakimdir. Yer yer 3-4 katı ve 4-5 katı büyütme etkisi görülmektedir (Şekil 5.17).

6. SONUÇLAR

Çalışma alanı Susurluk yerleşim merkezi jeolojik koşullar dikkate alındığında zayıf zemin yapısına sahiptir. Bu koşullar altında Susurluk ilçe merkezinin zemininin jeo-mühendislik haritalarının üretilmesi arazi kullanımı açısından çok büyük önem taşımaktadır. Ayrıca çalışma alanının 1. Derece deprem kuşağında bulunması bu haritaların üretilmesinin önemini daha da artırmaktadır. Bu tezin hazırlanmasının amacı bu tür haritaları üreterek bu alanda olan bir gerekliliğin karşılanmasını sağlamaktır.

İnceleme alanında Kuvaterner yaşlı alüvyon ve Neojen yaşlı taraça olmak üzere iki adet jeolojik birim görülmektedir. Bu iki birimde zemin türü olarak yerleşmeye uygunluğu ve olası felaket davranışları incelenmelidir.

Susurluk ilçe merkezinin jeo-mühendislik haritaları üretilirken Susurluk belediyesinde bulunan jeolojik-jeoteknik raporlardan elde edilen bulgularla hazırlanan veri tabanı kullanılmıştır. Bu veriler bilgisayar ortamında sayısallaştırılarak CBS programı olan ArcGIS (Ver. 10.3) harita olarak hazırlanmıştır. Üretilen haritalar içerisinde; çalışma alanı genel jeoloji haritası, Eşyükselti Haritası, Eğim ve Sayısal Yükseklik Modeli Haritası, Yeraltı Suyu Kotu ve Yeraltı Su seviyesi Haritaları, SPT-N Haritaları (5 adet), Boyuna Dalga Hızı (Vp) Haritası, Enine Dalga Hızı (Vs) Haritası, Sismik Hız Oranı (Vp/Vs) Haritası, Zemin Büyütme Haritası (3 adet) bulunmaktadır. Bu haritalara göre;

- a) İnceleme alanı eğimi genel olarak 0-5 derece arasındadır. Güneybatıya doğru eğim artmaktadır.
- b) İnceleme alanında yeraltı su seviyesi 5 metre derinliğe çıktığı görülebilmektedir. Susurluk Çayı'na yaklaştıkça bu seviye 0,79 metreye kadar düşmektedir. Elde edilen bu bilgiler zeminin sıkılaşmamış olmasıyla birleşince olası bir deprem afetinde alanın sıvılaşma riskini ortaya koymaktadır.

Yeraltı su akışı yönü güneybatıdan kuzeydoğuya doğru olarak belirlenmiştir.

- c) SPT-N haritaları 3, 6, 9, 12 ve 15 metre derinlik için üretilmiştir. Üretilen SPT-N haritaları çalışma alanının birimlerinin orta sıkı ve sıkı zemin olarak iki sınıfa ayrıldığı belirlenmiştir.
- d) Boyuna dalga hızı haritasına bakıldığında değerler 400-1100 m/s değişmektedir. Harita genelinde 750-900 m/s arasındaki V_p değerleri görülmektedir. Değerler taraça biriminde alüvyon birime nazaran daha da büyükmektedir.
- e) Enine dalga hızı haritasına bakıldığında çalışma alanına genel olarak gevşek zemin türü hâkimdir. Taraça biriminde gevşek zeminden orta zemine geçiş yaptığı görülmektedir. Çok gevşek zemin sınıflaması Alüvyon ve Taraça birimde yer yer görülmektedir. Sıkı zemin ise sadece Taraça biriminde bir bölgede görülmüştür.
- f) Sismik hız oranı haritasının geneline bakıldığında V_p/V_s oranının 1,5-4,5 arasında olduğunu görülmektedir Harita geneline bakıldığında V_p/V_s oranının 1,5-4,50 arasında olduğunu görülmektedir. Kurtuluş (2011)'e göre değerlendirdiğimizde çalışma alanı genel "Orta Sıkı-Bozuşmuş" zemin sıklığında olarak belirlenmektedir. Sıkı-Katı ve çok sıkı zemin sınıflaması Taraça biriminde Alüvyon birimine göre daha fazla alanda yapılabilmektedir. Gevşek-Yumuşak zemin sınıflaması Alüvyon birimde daha fazla alana yayılmaktadır.
- g) Zemin büyütme haritaları Midorikava (1987) ve Borchardt vd. (1991)'den yararlanılarak hazırlanmıştır.

Midorikava (1987)'e göre hazırlanan haritalara göre alanın zemin büyütme etkisi 2-6 katı arasında olacaktır. Bu sonuç olası depremde, deprem dalgalarının zemin üzerinde göstereceği etkinin 2-6 kat büyümesi anlamına gelmektedir.

Borchardt vd. (1991)'e göre iki adet harita hazırlanmıştır. Zayıf yer hareketlerine göre hazırlanan haritada zemin büyütme etkisi 1,5-5,5 kat arasında olacaktır. Güçlü yer hareketlerine göre hazırlanan haritada ise olası deprem durumunda zemin büyütme etkisi 1-5 kat arasında olacağı görülmüştür.

h) Olası bir deprem durumunda üretilen haritalar, oluşabilecek hasarları en aza indirmede veya ortadan kaldırmada yol gösterici olacaktır. Ayrıca jeo-mühendislik haritaları ile zamandan tasarruf sağlamada, maliyetleri en aza indirmede ve en önemlisi yerleşime uygun alan seçiminde kullanılabilme mümkün olacaktır. Coğrafi Bilgi Sistemleri güncellenebilir ve geliştirilebilir olduğundan bu çalışma da geliştirilebilir ve güncellenebilir. Bu çalışma ile, veriler doğrultusunda sorgulama yapılabilir, zemine ait bilgilere ulaşılabilir ve çeşitli haritalar üretilebilir. Ayrıca bu çalışmada üretilen haritalar, bölgede yapılacak diğer çalışmaların daha doğru yorumlanmasına yardımcı olabilir niteliktedir.

KAYNAKLAR

Akyüz, Serdar (1995). Manyas-Susurluk-Kepsut (Balıkesir) Civarının Jeolojisi. Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Arsoy, S. ve Yazıcı, F., (2006). Zemin Kayma Dalgası Hızının SPT Ve CPT Deneyleriyle Bulunuşu ve Önerilen Bağlıntılar. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onbirinci Ulusal Kongresi* 7-8 Eylül 2006, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.

Başokur, A. T, Gökten, E., Varol, B., Tokgöz, E., Üçöz, E., Değirmenci, E., Ata, K.D (1999). Susurluk İlçesi ve Yakın Civarının Ön Jeolojik ve Jeofizik İncelemesi. *Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölüm*, Ankara.

Çabuk, A. (ed.). (2011). *Coğrafi Bilgi Sistemlerine Giriş*. Anadolu Üniversitesi Yayını, No: 2206, Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Web-Ofset Tesisleri.

Çetiner, L. ve Demirtaş, R., (2014). Susurluk-Yıldız (Balıkesir) Jeotermal Ruhsat Alanının Jeolojik Araştırma Raporu.

Çetiner, L., Yücel, M. ve Demirtaş, R., (2015). Susurluk Yıldız (Balıkesir) Jeotermal Ruhsat Sahasının Jeofizik Araştırma ve Sonuç Raporu.

Dangermond, J. (1990) (Eds.). A Classification of Software Components Commonly Used In Geographic Information Systems. *In Peuquet*,

Demir, Gökçe (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. (2014). Marmara Bölgesi Diri Fayları ve Deprem Etkinlikleri Paleosismolojik Çalışmalar ve Gelecek Deprem Potansiyelleri [online]. (30 Nisan 2015),

https://www.academia.edu/8826430/MARMARA_B%C3%96LGES%C4%B0_D%C4%B0R%C4%B0_FAYLARI_PALEOS%C4%B0SMOLOJ%C4%B0K_%C3%87ALI%C5%9EMALAR_VE_GELECEK_DEPREM_POTANS%C4%B0YELER%C4%B0

Doğan, H. M., Yılmaz, D. S. ve Kılıç, O. M., (2013). Orta Kelkit Havzası'nın Bazı Toprak Özelliklerinin Ters Mesafe Ağırlık Yöntemi (IDW) ile Haritalanması ve Yorumlanması. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*. (6), 46-54.

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.

Emre, Ö., Doğan, A., Özalp, S., Özaksoy, V., Yıldırım, C. ve Göktaş, F., (2005). *İzmir Yakın Çevresinin Diri Fayları ve Deprem Potansiyelleri*. Jeoloji Etütleri Dairesi, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.

ESRI, (2008). *ArcGIS Desktop 9.3 Kullanım Kitabı*. İşlem Coğrafi Bilgi Sistemleri Mühendislik ve Eğitim Ltd. Şti.yayını, Ankara.

ESRI, (2014). *Jeoloji Mühendisleri için ArcGIS Eğitim Dökümanı*. İşlem Coğrafi Bilgi Sistemleri Mühendislik ve Eğitim Ltd. Şti.yayını, Ankara.

Kaptan, K. ve Tezcan, S., (2012). Deprem Dalgalarının Zemin Büyütmesi Üzerine Örnekler. *TÜBAV Bilim Dergisi*, 5, (4), 17-32.

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.

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

Karavul C., Kurnaz F.T., Bayhan G. Ve Kıyak A., (2005). Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Adapazarı Zemin Sıklık Durumunun Haritalanması. *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli.

Keçeli, A. 1990. Zemin emniyet gerilmesinin sismik metodlar ile tayini. *Jeofizik Dergisi*, (4), 83-92.

Kolat, Çağıl (2010). Developing A Geotechnical Microzonation Model For Yenişehir (Bursa) Settlement Area. Ph.D. Thesis. *Geological Engineering Department, Middle East Technical University*, Ankara.

Kurtuluş C., Başoğlu B., Kaya D.G., Yavaş G., Şahan Ç. (2011). Jeofizik ve Jeoteknik Yöntemler Kullanılarak İzmit Bölgesindeki Kırmızı Kumtaşı Örneklerinin Mühendislik Parametrelerinin Değerlendirilmesi. *Uygulamalı Yer Bilimleri*, 1, (2) 10-20.

Martin, C.D., (1969). Techniques for Field Measurement of Shear Wave Velocity in Soils. *4th WCEE*, January, Santiago, Chile.

Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, (2013). Türkiye Diri Fayları Veri Tabanı [online]. (20 Mayıs 2015), <http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx>

Orhan, A. (2005). Eskişehir İl Merkezi Güney Bölümü Temel Zemin Birimlerinin Jeo-Mühendislik Özellikleri ve Coğrafi Bilgi Sisteminin Uygulanması. Doktora Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı*, Eskişehir.

Orhan, A. (2008). Susurluk Skarn Yataklarının Mineralojik ve Jeokimyasal Özellikleri (Balıkesir-Batı Anadolu). Doktora Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı*, Eskişehir.

Özcan, A. (2012). Selçuklu (Konya) Civarındaki Zeminlerin Jeoteknik Değerlendirilmesi. *Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı*, Aksaray.

Rogers, J.D ve Luna, R., (2004). Impact Of Geographical Information Systems On Geotechnical Engineering. *Fifth International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering*, New York, April 13-17, 2004

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

Soykan, Abdullah (1991). Kepsut-Susurluk Kuzeyi Arasında Susurluk Çayı Vadisinin Jeomorfolojisi. Yüksek Lisans Tezi. *İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Fiziki Coğrafya Anabilim Dalı*, İstanbul

Şaroğlu, F., Emre, Ö. ve Boray, A. (1987). Türkiye' nin Diri Fayları ve Depremsellikleri. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No: 8174, 394 s.(yayımlanmamış) Ankara.

Şengüler, İ. (1993). Planlamaya Yardımcı Mühendislik Jeolojisi Haritaları. *Jeoloji Mühendisliği*, (43), 40-43.

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.

Şişman, H. (1995). Sismik Dalga Hızları ile SPT ve Pressiometre Deney Sonuçları Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı*, Ankara, 36-40.

Tağıl, Ş. (2004). Balıkesir Ovası ve Yakın Çevresinin Neotektonik Özellikleri ve Depremselliği. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 2004, 2, (1), 73-92.

Tecim, V. (2001) *Coğrafi Bilgi Sistemleri: Temel Kavramlar, Uygulama Alanları*. İlkem Ofset Yayın, İzmir

Tezcan, S. ve Durgunoğlu, T., (2000). Jeofizik Etütlerin Zemin Büyütme Analizindeki Önemi ve Örnekler.

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

Ulusay, R. (2010). *Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler*. Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını, Güncellenmiş ve Genişletilmiş 5. Baskı, Yayın No. 38, 458.

Uyanık, O. (2006). Sıvılaşır yada Sıvılaşmaz Zeminlerin Yinelemeli Gerilme Oranına Bir Seçenek. *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8, (2), 79-91, İzmir.

Yalçınkaya, E. (2004). Bir Boyutlu Modeller İçin Zemin Büyütmesine Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi. *İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi*, 17, (1), 47-56.

Yüksel, A. K. (2006). Balıkesir - Çağış Köyü Ve Savaştepe - Yağcılı Köyü Bentonitlerinin Jeoteknik Özellikleri ve Katı Atık Sahalarında Kullanılabilirliğinin Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı*, Balıkesir