

T.C.
TOROS ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**MERSİN YENİŞEHİR İLÇESİ, DOĞUDA MÜFTÜ DERESİ, BATIDA
ÜNİVERSİTE CADDESİ, KUZEYDE MERSİN-TARSUS OTOYOLU,
GÜNEYDE AKDENİZ İLE SINIRLANAN ALANDA BULUNAN ZEMİN VE
KAYA TÜRLERİNİN GEOTEKNİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

MEHMET FADIL ÇAKICI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MART 2017

MERSİN

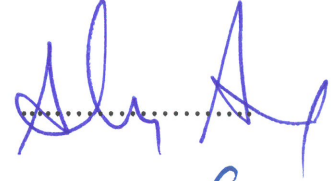
ONAY SAYFASI

Toros Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 148060007 numaralı yüksek lisans öğrencisi Mehmet Fadıl ÇAKICI, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "Mersin Yenişehir İlçesi Doğuda Müftü Deresi, Batıda Üniversite Caddesi, Kuzeyde Mersin-Tarsus Otoyolu, Güneyde Akdeniz ile Sınırlanan Alanda Bulunan Zemin ve Kaya Türlerinin Geoteknik Özelliklerinin Belirlenmesi" başlıklı tezini, aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Jüri Başkanı : **Prof.Dr.Aziz ERTUNÇ**
(Danışman)



Jüri Üyesi : **Prof.Dr. İsmail Altay ACAR**
(Çukurova Üniversitesi)



Jüri Üyesi : **Prof.Dr. Mehmet ÇAKIROĞLU**



Tez Teslim Tarihi : 02.03.2017

Savunma Sınav Tarihi : 31.03.2017

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduklarını onaylarım.

...31../03/2017


Prof.Dr.Fügen ÖZCANARSLAN
Enstitü Müdürü

Not : Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

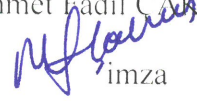
ETİK BEYAN

Toros Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzuna uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez çalışması içinde sunduğum verileri, bilgiler ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tez çalışmada sunduğum çalışmanın özgün olduğunu.
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

31.03.2017

Mehmet Fadil CAKICI


imza

ÖNSÖZ

Toros Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Anabilim Dalında yapmış olduğum yüksek lisans çalışmamda, bilgi, öneri ve tecrübeleri ile beni yönlendiren değerli danışman hocam sayın Prof. Dr. Aziz ERTUNÇ'a teşekkür ederim.

Deneyimlerimden faydalandığım bölüm başkanımız değerli hocam Prof. Dr. Mehmet ÇAKIROĞLU'na, tezimin yazım aşamasında bilgi ve yardımlarına başvurduğum değerli hocam Prof. Dr. Altay ACAR'a ve Jeoloji Mühendisi sayın Berna GÜNTEL'e teşekkür ederim. Arazi çalışmalarında, deneyimi ve bilgisiyle bana destek veren değerli arkadaşım Jeoloji Mühendisi Dengir Şahin ve Jeofizik Mühendisi Emin PİŞKİN'e teşekkür ederim. Laboratuvar deneyleri için sağladıkları olanaklardan dolayı Makrolab Zemin Araştırmaları ve Yapı Malzemeleri Laboratuvarı Limited Şirketi Müdürü İnşaat Mühendisi Faruk KURT' a teşekkür ederim.

Çalışmalarım esnasında benden her türlü destek ve özveriye esirgemeyen aileme içtenlikle teşekkür ederim.

Mehmet Fadıl ÇAKICI

Mersin, Mart 2017

İÇİNDEKİLER

	SAYFA
ÖZ.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
KISALTMALAR.....	X
1. GİRİŞ.....	1
2. İNCELEME ALANININ TANITILMASI VE ÇALIŞMA YÖNTEMLERİ.....	5
2.1. İklim ve Bitki Örtüsü.....	5
2.2. Sosyo-Ekonomik Bilgiler.....	6
2.3. Arazi, Laboratuvar, Büro Çalışma Yöntemleri ve Ekipmanları.....	7
3. İNCELEME ALANININ PLAN, YAPILAŞMA DURUMU VE DİĞER ÇALIŞMALAR.....	9
3.1. Tüm Ölçeklerde Plan Durumu ve Yapılaşma.....	9
3.2. Değişik Amaçlı Etütler ve Verileri.....	9
3.3. Stratigrafi ve Tektonik.....	12
4. GEOTEKNİK AMAÇLI SONDAJ ÇALIŞMALAR VE ARAZİ DENEYLERİ.....	14
4.1. Sondajlar.....	14
4.2. Arazi Deneyleri.....	17
5. GEOTEKNİK AMAÇLI LABORATUVAR DENEYLERİ.....	20
5.1. Zemin İndeks–Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi.....	20
5.2. Zeminlerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi.....	20
5.3. Kaya Mekaniği Deneyleri.....	20
6. JEOFİZİK ÇALIŞMALAR.....	21
6.1. Yüzey Dalgalarının Çok Kanallı Analizi (Masw) Yöntemi.....	21
6.2. Kullanılan Alet Tipi.....	22
6.3. Metodun Araziye Uygulanması ve Değerlendirme İşlemi.....	22

7. ZEMİN VE KAYA TÜRLERİNİN GEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ.....	26
7.1. Zemin ve Kaya Türlerinin Sınıflandırılması	26
7.1.1. Zeminler	26
7.2. Kaya Türlerinin Sınıflandırılması.....	29
7.3. Mühendislik Zonları ve Zemin Profilleri	37
7.4. Zeminin Dinamik - Elastik Parametreleri.....	37
7.4.1. Yoğunluk (ρ - gr/cm ³) :	38
7.4.2. Poisson oranı (σ)	38
7.4.3. Dinamik elastisite (young) modülü (E, kg/cm ²):	39
7.4.4. Dinamik kayma (shear) modülü (μ , kg/cm ²):.....	40
7.4.5. Dinamik bulk (compressibility) modülü (K: kg/cm ²)	41
7.4.6. Sökülebilirlik ve kazanılabilirlik	41
7.4.7. Vs30 (m/sn) Değerine göre zemin sınıflaması	42
7.5. Şişme–Oturma ve Taşıma Gücü Analizleri ve Değerlendirme	46
7.5.1. Taşıma gücü analizleri	48
7.5.2. Zeminlerde Taşıma Gücü Hesabı	48
7.6. Kayalarda Taşıma Gücü Hesabı:	50
7.7. Sıvılaşma analizi ve değerlendirme	52
7.8. Zemin büyütmesi	59
7.9. Zemin Hakim Titreşim Periyodu	60
7.10. Kütle Hareketleri (Şev Duyarlılığı).....	62
8. SONUÇLAR	63
ÖZGEÇMİŞ	70

EKLER LİSTESİ

EK A	Sondaj Kuyularına Ait Derinlik, Koordinat Ve Litoloji Bilgileri
EK B	İnceleme Alanında Yapılan SPT Sonuçları
EK C	Zemin İndeks Özellikleri
EK D	Zeminin Fiziksel Özellikleri
EK E1	Zeminlerin Mekanik Özellikleri
EK E2	Zeminlerin Mekanik Özellikleri 2

EK F	Kaya Birimin Nokta Yük Dayanımı İndeksi
EK G	Jeofizik Etüt Noktalarının GPS Cihazı İle Tespit Edilen Koordinat Noktaları
EK H	Jeofizik Çalışmalardan Elde Edilen Sismik Serim Sonuçlarına Ait Parametreler
EK I	Arazi, Laboratuvar Deney Ve Analiz Föyleri
EK J	Sondaj Logları

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 2.1	Mersin İli Aylık Ortalama İklim Değerleri (http://www.weatherbase.com/weather/Averages).....	5
Çizelge 4.1	SPT değerlerine göre kohezyonsuz zeminlerde, nisbi yoğunluk, relatif sıklık, kohezyonlu zeminlerde kıvamlılık ve serbest basınç değerleri (Terzaghi ve Peck,1948; Şekercioğlu,2007’den alınmıştır).....	18
Çizelge 7.1	İnce Taneli Zeminlerin Plastisite İndeksine Göre Sınıflandırılması.	28
Çizelge 7.2	İnce Taneli Zeminlerin Kıvamlılık İndeksine Göre Sınıflandırılması.....	28
Çizelge 7.3	Zeminlerin sıkışabilirliği (Sowers, 1979).....	28
Çizelge 7.4	Kaya kalite göstergesi (Deere, 1964)	30
Çizelge 7.5	Kayaçları nokta yük direncine göre sınıflandırılması (Bieniawski, 1976). .	30
Çizelge 7.6	Kayaçların tek eksenli basınç dayanımına göre sınıflandırılması (Deere ve Miller, 1966).....	31
Çizelge 7.7	Zemin/Kaya Grupları (AİGM, 2007)	36
Çizelge 7.8	Yerel zemin sınıfları ve spektrum karakteristik periyotları (AİGM, 2007)	37
Çizelge 7.9	Zemin Birimlerinin Yoğunluk Sınıflaması (Keçeli, 2012).....	38
Çizelge 7.10	Poisson Sınıflaması ve Hız Oranı Karşılaştırması (Keçeli, 2012).....	39
Çizelge 7.11	Elastisite Modülü Değerlerine Göre Zemin ya da Kayaçların Dayanımı (Keçeli, 2012)	39
Çizelge 7.12	Kayma Modülü Değerlerine Göre Zemin ya da Kayaçların Dayanımı (Keçeli, 2012)	40
Çizelge 7.13	Bulk Modülü Değerlerine Göre Zemin ya da Kayaçların Dayanımı (Keçeli, 2012)	41
Çizelge 7.14	Ağır Güçteki Araçlar İçin Sökülebilirlik Sınıflandırılması (Bailey,1975).	42
Çizelge 7.15	Vs Hızına Göre Zemin Sınıflama Kriterleri (EC, 2004)	43
Çizelge 7.16	NEHRP ’e Göre Zemin Sınıflama Kriterleri (NEHRP, 2009)	44

Çizelge 7.17	EUROCODE-8'e Göre Zemin Sınıfları (EC, 2004).....	44
Çizelge 7.18	Vs30 için NEHRP ve EUROCODE-8 'e Göre Zemin Sınıflarının Karşılaştırması.....	45
Çizelge 7.19	Holtz ve Gibbs (1956) sınıflandırması.	46
Çizelge 7.20	Şişen killerde muhtemel hacim değişiklikleri (Chen, 1975)	48
Çizelge 7.21	Ampirik Katsayı Ks Değerleri.....	50
Çizelge 7.22	SK-156 Sondaj Kuyusundan elde edilen SPT-N30 darbe sayılarında yapılan düzeltmeler.....	53
Çizelge 7.23	SK-156 Sondaj Kuyusunun Tokimatsu ve Yoshimi (1983) Yöntemine Göre Sıvılaşma Analizi.....	53
Çizelge 7.24	SK-174 Sondaj Kuyusundan elde edilen SPT-N30 darbe sayılarında yapılan düzeltmeler.....	54
Çizelge 7.25	SK-174 Sondaj Kusunun Tokimatsu ve Yoshimi (1983) Yöntemine Göre Sıvılaşma Analizi.....	54
Çizelge 7.26	Episantr'dan Δ (km) uzaklıkta maksimum ivme	57
Çizelge 7.27	Episantr'dan Δ (km) uzaklıkta maksimum ivme.	59
Çizelge 7.28	Spektral Büyütmelere göre Mikrobölgeleme Ölçütleri (Ansal ve ark. 2004).....	59
Çizelge 7.29	Yerel Zemin Sınıfı.....	61

SEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 1.1	İnceleme alanının yer bulduru haritası	1
Şekil 1.2	İnceleme alanına ait 1/1.000 ölçekli kadastral pafta taksimatı	2
Şekil 1.3	İnceleme alanı ve yakın çevresinin uydu görüntüsü (Google Earth)	3
Şekil 1.4	İnceleme alanının genel görünümü	3
Şekil 3.1	Mersin İli ve İnceleme Alanı Genel Jeoloji Haritası (MTA,1993)	11
Şekil 3.2	Mersin İli ve Çevresi Aktif Fay Hatları Haritası (MTA,1993)	12
Şekil 3.3	Mersin İli Genelleştirilmiş Dikme Kesiti (Şenol ve ark. 1998).....	13
Şekil 4.1	İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarının uydu görüntüsü üzerindeki yerleşim noktaları.	14
Şekil 4.2	İnceleme alanında yapılan çeşitli sondaj çalışmalarına ait görünümler	15
Şekil 4.3	İnceleme alanında yapılan çeşitli sondaj çalışmalarına ait görünümler	16

Şekil 4.4	İnceleme alanında yapılan çeşitli sondaj çalışmalarına ait görünümeler	17
Şekil 4.5	SPT-N darbe sayılarının, bağıl yoğunluğun ve içsel sürtünme açısının tahmininde kullanımı (Ulusay, 2001)	19
Şekil 6.1	SARA marka DO RE Mİ tipi sinyal biriktirmeli sismograf cihaz	23
Şekil 6.2	İnceleme alanında yapılan sismik çalışmalarına ait resimler	24
Şekil 6.3	İnceleme alanında yapılan sismik çalışmalarına ait resimler	25
Şekil 7.1	İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarından alınan numunelere ait görünüm.....	31
Şekil 7.2	İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarından alınan numunelere ait görünüm.....	32
Şekil 7.3	İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarından alınan numunelere ait görünüm.....	33
Şekil 7.4	İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarından alınan numunelere ait görünüm.....	34
Şekil 7.5	İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarından alınan numunelere ait görünüm.....	35
Şekil 7.6	İnceleme alanında yapılan 65 adet sismik çalışması sonucunda elde edilen zemin Vs30 haritası	45
Şekil 7.7	Aktivite Abağı (Yılmaz ve Karaca, 1998).....	47
Şekil 7.8	Zemin Sıvılaşması Tayini için Eşik İvme Kriteri Grafiği (Sismik Çalışmadan elde edilen Vs30 hızlarına göre; 294 m/sn)	56
Şekil 7.9	Zemin Sıvılaşması Tayini için Eşik İvme Kriteri Grafiği (Sismik Çalışmadan elde edilen Vs30 hızlarına göre; 234.6 m/sn)	58
Şekil 7.10	İnceleme alanında yapılan 65 adet sismik çalışması sonucunda elde edilen zemin büyütmesi haritası	60
Şekil 7.11	İnceleme alanında yapılan 65 adet sismi çalışması sonucunda elde edilen zemin hakim titreşim periyodu haritası	61

ÖZET

Bu tez, Türkiye'nin Doğu Akdeniz Bölgesinde bulunan Mersin İlinin merkezinde yer alan, Batısında Mezitli ilçesi, doğusunda Akdeniz ilçesi, kuzey doğusunda Toroslar ilçesi bulunan Yenişehir İlçesi'nin Jeolojik-Geoteknik özelliklerinin belirlenmesi sonucunda yerleşime uygunluk değerlendirmesinin yapılması amacıyla hazırlanmıştır.

Çalışma kapsamında inceleme alanında ayrıntılı jeolojik, jeofizik ve geoteknik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu veriler kapsamında inceleme alanında yer alan litolojik birimlerin yanal ve düşey yöndeki dağılımları, elastik ve dinamik parametreleri, mühendislik özellikleri değerlendirilerek zemin ve kaya türlerinin geoteknik özellikleri belirlenmiştir.

Arazi çalışmaları kapsamında, birimlerin yanal ve düşey yöndeki değişimleri, mühendislik özellikleri, su durumu ve geoteknik parametreleri saptamak amacıyla, inceleme alanında 195 (yüz doksan beş) adet, 15.00 m. derinliğinde, toplam 2925.00 metre araştırma sondajı açılmıştır. Bu sondajlardan alınan numuneler üzerinde yapılan elek analizleri ve atterberg limitleri deneyleri sonucunda olarak **CH** (yüksek plastisiteli kil), **CI** (orta plastisiteli kil), **CL** (düşük plastisiteli kil), **SM** (kumlu silt), **SC** (killi kum), **SP** (kötü derecelenmiş kum), **SW** (iyi derecelenmiş kum), **GC** (çakıllı kil), **GM** (çakıllı silt) ve kaba taneli olarak **GW** (iyi derecelenmiş çakıl), **GP** (kötü derecelenmiş çakıl) zemin sınıfında zeminler tespit edilmiştir.

Çalışma kapsamında jeofizik yöntemlerden MASW yöntemi uygulanarak 65 noktada 1. Tabaka, 2. Tabaka ve 3. Tabaka için sonuçlar elde edilmiştir. İnceleme alanında yapılan 65 adet sismik çalışması sonucunda elde edilen zemin hakim titreşim periyodu değeri $T_0 = 0.21 - 0.86$ sn aralığındadır. Ayrıca yine aynı çalışmanın sonucunda zemin büyütmesi değeri $DI = 1.14 - 2.57$ aralığında bulunmuştur. Bu değerlere göre tehlike düzeyi $A(düşük) - B(orta)$, zeminin spektrum karakteristik periyotları değeri $T_A = 0.15 - 0.21$ aralığında, $T_B = 0.30 - 0.86$ saniye aralığında bulunmuştur.

Çalışma sahasında yapılan sismik çalışmalar sonucunda tüm binalar için, yapılan sondajlar, jeofizik ölçümler ve sondajlardan alınan numunelere laboratuvar ortamında uygulanan çeşitli zemin deneyleri ile inceleme alanının Jeolojik-Geoteknik özellikleri belirlenmiş olup, oturma ve sıvılaşma riskleri alınan bu sonuçlar ışığında değerlendirilmiştir. Bu tez çalışması, inceleme alanında inşaatı gerçekleştirilecek olan yapıların projelendirilme aşamasında zemini tanımlamak için büyük ölçüde yardımcı olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Jeolojik-geoteknik, oturma, sıvılaşma, sismik, spektrum, Yenişehir-Mersin

SUMMARY

This thesis has been prepared to determine settlement suitability as a result of determination of geological-geotechnical characteristics of Yenişehir District located at the center of Mersin province in the Eastern Mediterranean Region of Turkey, Mezitli District in the west, Mediterranean region in the east, and Toroslar District in the north east.

Detailed access to the study area, geophysical and geotechnical studies were carried out. Within the scope of this data, the lateral and vertical distributions of the lithological units in the study area, the elastic and dynamic parameters, the geotechnical properties of the ground and rock types were determined by evaluating the engineering properties.

Within the scope of the field studies, 195 (one hundred ninety five) units, 15.00 m. In the study area were surveyed in order to determine the lateral and vertical changes of the units, engineering characteristics, water status and geotechnical parameters. Depth, a total of 2925.00 meters of exploration drilling was opened. Sieve analyzes and atterberg limit tests on the samples taken from these boreholes were carried out as a result of tests such as CH (high plasticity clay), CI (medium plasticity clay), CL (low plasticity clay), SM (sandy silt) Ground gravel (GW), GP (poorly graded gravel) grounds have been identified as gravel (graded sand), SW (well graded sand), GC (gravel clay), GM (gravel silt) and coarse grained.

Within the scope of the study, MASW method was applied from geophysical methods to obtain results for 1st, 2nd and 3rd layers at 65 points. The ground dominant vibration period value obtained as a result of 65 seismic studies in the study area is in the range of $T_0 = 0.21 - 0.86$ sec. Also the same study suggests that the soil amplification values $D_i = 1.14 - 2.57$ range. According to these values, hazard level A (low) - B (medium), ground spectrum characteristic period values $T_A = 0.15 - 0.21$ and $T_B = 0.30 - 0.86$ seconds.

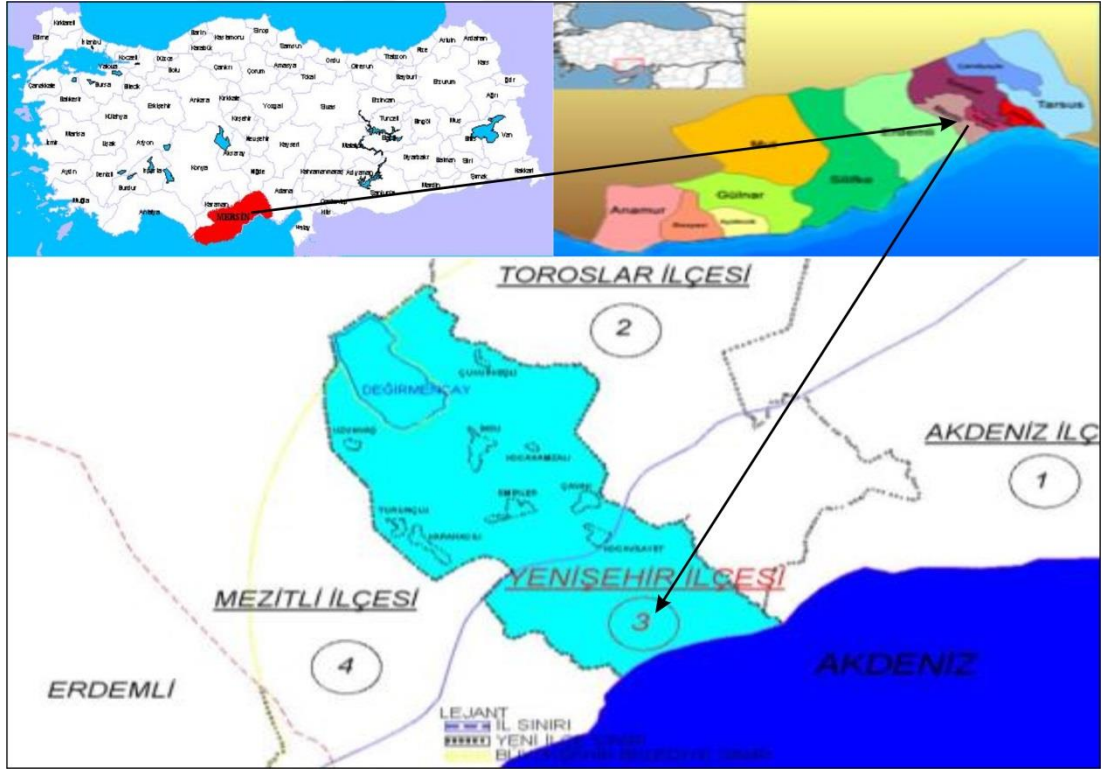
For all buildings as a result of seismic studies conducted in the study area, via drilling, geophysical measurements and the examination area with various soil tests performed in the laboratory on samples taken from drilling Geological The geotechnical properties were determined, taken sitting and liquefaction risk these results are interpreted in the light. This thesis study will be of great help in defining the area in the design phase of the structures that will be constructed in the study area.

Keywords: Geological-geotechnical, liquefaction, seismic, sitting, spectrum, Yenişehir-Mersin

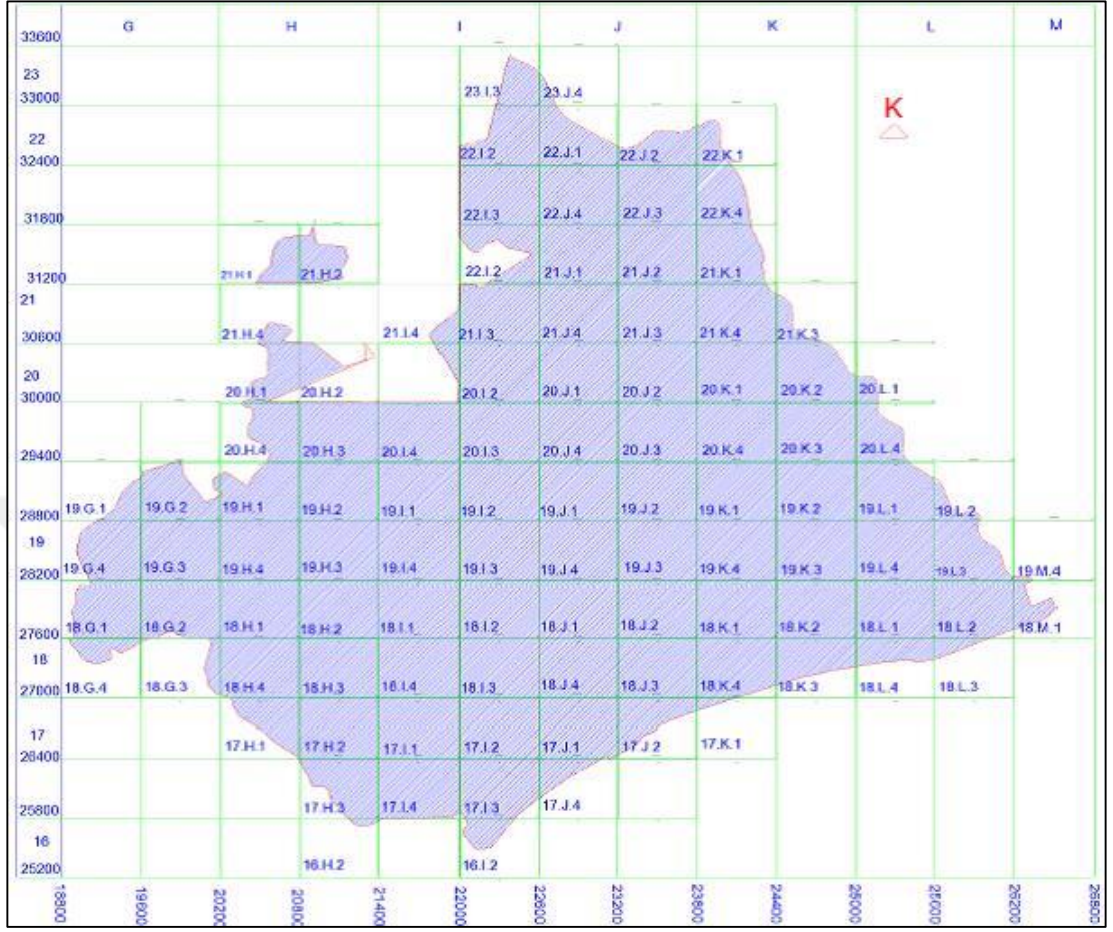
1. GİRİŞ

İnceleme alanı Türkiye'nin Doğu Akdeniz Bölgesinde bulunan Mersin İlinin merkezinde yer almaktadır. Batısında Mezitli ilçesi, doğusunda Akdeniz ilçesi, kuzey doğusunda Toroslar ilçesi bulunmaktadır. Yüzölçümü açısından 4 merkez ilçeden en küçüğüdür. Yenişehir ilçesine ulaşım asfalt yoldan sağlanmakta olup, her mevsim ulaşım mümkündür.

İnceleme alanı, Mersin ili, Yenişehir İlçesi, Yenişehir Belediyesi sınırları içerisinde yer alan hali hazır paftalarında 3750 hektar olarak belirlenen alanı kapsamaktadır (Şekil 1.1 ve Şekil 1.2).



Şekil 1.1 İnceleme alanının yer bulduru haritası



Şekil 1.2 İnceleme alanına ait 1/1.000 ölçekli kadastral pafta taksimatı

Değişken eğim derecelerine sahip inceleme alanında hakim eğim güneye doğrudur. Ancak saha içerisinde yer alan kuru dereler ve Müftü Deresi'nin iki yanındaki yamaçlarda yer yer yerel eğim yönlerinin, dere akım yönlerine verev; bazen de dik olduğu görülmektedir.

İnceleme alanının en düşük topografik kotu, güney sınırlarda deniz seviyesinden başlamaktadır. Kuzeye doğru genel bir yükselim gösteren topoğrafya sahanın kuzeydoğu sınırında 182 metrelere ulaşmaktadır (Şekil 1.3 ve Şekil 1.4).



Şekil 1.3 İnceleme alanı ve yakın çevresinin uydu görüntüsü (Google Earth)



Şekil 1.4 İnceleme alanının genel görünümü

İnceleme alanında görülen jeolojik formasyonlar Karahamzaşağı formasyonu, Ofiyolitik Melanj, Gildirli formasyonu, Karaisalı formasyonu, Güvenç formasyonu, Kuzgun formasyonu, Handere formasyonu, Kaliş, Alüvyon ve yamaç molozu şeklindedir.

Bu tez çalışmasının amacı; Mersin İli, Yenişehir İlçesi merkezinde bulunan, kısmen yapılaşmış ve yapılaşma sürecinde olan 3750 hektar yüzölçümlü alanın Jeolojik-Geoteknik incelemesinin sonucunda yerleşime uygunluk değerlendirmesi yapmaktadır.

Bu çalışma kapsamında inceleme alanında ayrıntılı jeolojik, jeofizik ve geoteknik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu veriler kapsamında inceleme alanında yer alan litolojik birimlerin yanal ve düşey yöndeki dağılımları, elastik ve dinamik parametreleri, mühendislik özellikleri değerlendirilerek zemin ve kaya türlerinin geoteknik özellikleri belirlenmiştir.

2. İNCELEME ALANININ TANITILMASI VE ÇALIŞMA YÖNTEMLERİ

2.1. İklim ve Bitki Örtüsü

Mersin ve çevresinde, tipik sıcak ve ılıman astropikal iklimi hâkimdir. Yaz ayları sıcak ve aşırı nemli, ortalama 28 °C, nemlilik ise %88 civarında kış ayları ise 16 °C oldukça ılık ve yağışlıdır (yıllık yağış ortalaması 1096 mm). Mersin'de çevre illerden farklı olarak ekstrem sıcaklıklara nadiren rastlanır (çok yüksek sıcaklıklar ya da sıfırın altındaki değerler gibi).

İlin uzun yıllar sıcaklık ortalaması ise 22 °C derecedir ve bu özelliğiyle Türkiye'nin ve Avrupa'nın en sıcak kesimidir.

Ancak yaz aylarında özellikle aşırı nem bunaltıcı olabilmektedir. İl en fazla yağışı Aralık-Ocak döneminde alır. Mersin iline ait aylara göre iklim değerleri Çizelge 2.1'de verilmiştir. 2001'de yaşanan sel felaketinde 2 gün içerisinde metrekareye 669 kg yağış düşmüştür.

Çizelge 2.1 Mersin İli Aylık Ortalama İklim Değerleri (<http://www.weatherbase.com/weather/Averages>)

Aylar	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara	Yıl
Ort. En Yüksek °C	14	15	17	21	24	27	30	30	29	26	21	16	22
Ort. En Düşük °C	5	6	8	12	15	19	23	23	19	15	10	7	1

Mersin ili bitki örtüsü bakımından çok zengindir. 2004 yılı verilerine göre Mersin'de arazi varlığının takriben yüzde 55'i orman ve fundalık arazi, yüzde 35'i işlenen arazi, yüzde 4 civarı çayır ve mera, geri kalan araziler ise yerleşim alanı veya tarıma

elverişsiz alanlardır. Ovalar tahıl ve diğer ürünleri yetiştiren tarlalarla, kıyı şeridi muz ve turunçgil bahçeleri ve vadiler meyve ağaçları ile kaplıdır.

2.2. Sosyo-Ekonomik Bilgiler

Mersin, Türkiye'nin en kalabalık onuncu şehridir. 2014 itibarıyla 1.727.255, Yenişehir ilçesi ise 233.489 nüfusa sahiptir. Türkiye'nin güneyinde bulunan Mersin Limanı Türkiye'nin en büyük limanıdır.

Liman, Mersin ekonomisinin dayanak noktasıdır ve Türkiye'nin dünyaya açılan kapısı durumundadır. Doğu Anadolu, Batı Akdeniz ve İç Anadolu'daki fabrika ve ticaret firmaları ithalat ve ihracatını Mersin üzerinden yaparlar. Türkiye'nin en büyük ikinci Serbest Bölgesi olan Mersin Serbest Bölgesi burada kurulmuştur ve 433 şirkete ev sahipliği yapmaktadır. Mersin-Tarsus Organize Sanayi Bölgesi'nde 150'ye yakın firma bulunmaktadır.

Mersin coğrafi açıdan lojistik merkez özelliğine sahip bir kenttir. Denizyolu ve demiryolu taşımacılığının yanı sıra karayolu taşımacılığında da Mersin önemli bir noktadadır.

Mersin merkezde kayısı, ceviz, kiraz, şeftali ve sebze yaygın olarak üretilirken son yıllarda tropikal meyve ve sebzeler de üretilmeye başlanmıştır. Batı Mersin'de daha çok Anamur, Bozyazı, Aydınçık, Silifke ve Erdemli ilçelerinde muz, turunçgiller, çilek, papaya, pepino, ananas ve kahve yetiştirilmektedir.

Mersin ili bitki örtüsü bakımından çok zengindir. 2004 yılı verilerine göre Mersin'de arazi varlığının takriben yüzde 55'i orman ve fundalık arazi, yüzde 35'i işlenen arazi, yüzde 4 civarı çayır ve mera, geri kalan araziler ise yerleşim alanı veya tarıma elverişsiz alanlardır. Ovalar tahıl ve diğer ürünleri yetiştiren tarlalarla, kıyı şeridi muz ve turunçgiller bahçeleri ve vadiler meyve ağaçları ile kaplıdır.

2.3. Arazi, Laboratuvar, Büro Çalışma Yöntemleri ve Ekipmanları

Mersin İli, Yenişehir İlçesi, Yenişehir Belediyesi, 104 adet pafta sınırları içerisinde kalan 3750 hektarlık alanın jeolojik–geoteknik etüt çalışması arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları olarak üç aşamada yürütülmüştür.

Arazi çalışmaları kapsamında, birimlerin yanal ve düşey yöndeki değişimleri, mühendislik özellikleri, su durumu ve geoteknik parametreleri saptamak amacıyla, inceleme alanında 195 (yüz doksan beş) adet 15.00 m. derinliklerinde, toplam 2925.00 metre araştırma sondajı açılmıştır. Sondajlar TS 1901 (1975)'e göre yapılmış ve rotary sondaj sistemi kullanılmıştır.

İnceleme alanı sınırları içerisinde enine dalga (S) ve boyuna dalga (P) hızlarının dinamik zemin parametrelerinin belirlenmesi amacıyla 65 (altmış beş) noktadan alınan sismik kırılma ölçümlerinde Jeofon Aralıkları 3 metre, ofset uzaklığı 3 metre, kayıt uzunluğu 3 ms seçilmiştir. Serimin boyu 36 metre olarak seçilmiştir. Arazide 12 kanallı DO-RE-MI mühendislik sismografi kullanılmıştır. MASW verisi 4.5 Hz jeofonlar ve 12 kanallı sismografla toplanmıştır. Balyoz-çelik levha sismik kaynak olarak kullanılmıştır. Yer içerisindeki dispersiyonu temel olarak S-dalgasının hızındaki düşey değişimle ortaya çıkar. Sismik kaynaktan alıcıya gelen Rayleigh dalgalarının dispersiyonu, arazide jeofonların çizgisel açılım düzeni ile kaydedilir ve elde edilen bu kaydın frekans ve faz hızı dönüşümü yapılır. Ayrıca zeminin yanal – düşey yöndeki değişimlerini tespit edebilmek amacıyla inceleme alanında 65 (altmış beş) adet rezistivite çalışması yapılmıştır.

Laboratuvar çalışmaları kapsamında, inceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarından elde edilen CR (karot) örnekleri Makrolab Zemin Araştırmaları ve Yapı Malzemeleri Laboratuvarları'nda zeminlerin fiziksel, mekanik ve mühendislik parametrelerini belirlemeye yönelik deneyler yapılmıştır. Numuneler üzerinde, Su İçeriği, Doğal-Kuru birim hacim ağırlık tayini, Elek Analizi, Atterberg Limitleri, Serbest Basınç, Direkt Kesme ve Nokta Yük Dayanım İndeksi deneyleri yapılmıştır.

Büro çalışmaları kapsamında inceleme alanı ve civarının heyelan, su baskını vb. afet tehlike ve riski irdelenmiş ve doğal afetlere duyarlılığı incelenmiştir. İnceleme alanını kapsayan ve çevresinin deprem durumu, fay ve faylara göre konumu saptanarak, bölgenin etkin yer ivmesi belirlenmiş ve deprem tehlikesi ve risk değerlendirmesi yapılmıştır.



3. İNCELEME ALANININ PLAN, YAPILAŞMA DURUMU VE DİĞER ÇALIŞMALAR

3.1. Tüm Ölçeklerde Plan Durumu ve Yapılaşma

İnceleme alanının, kuzeydoğu – güneybatı istikametinde bulunan ve ikiye bölen 13. Caddenin güney kesimlerinde yapılaşmanın yoğun olduğu gözlenmiştir. 13. Caddenin kuzeyinde bulunan, batıda İsmet İnönü Bulvarı, doğuda 34. Cadde ve kuzeyde Mersin-Adana otobanı ile sınırlanan bölge daha seyrek bir yapılaşmaya sahip yeni yerleşim alanlarını oluşturmaktadır. Mersin Üniversitesinin batı ve kuzey bölgeleri ile çalışma alanının kuzey doğusunda bulunan, Müftü Deresi ile Kocavilayet Köyü arasında kalan alanlarda yapılaşma gözlenmemiştir.

3.2. Değişik Amaçlı Etütler ve Verileri

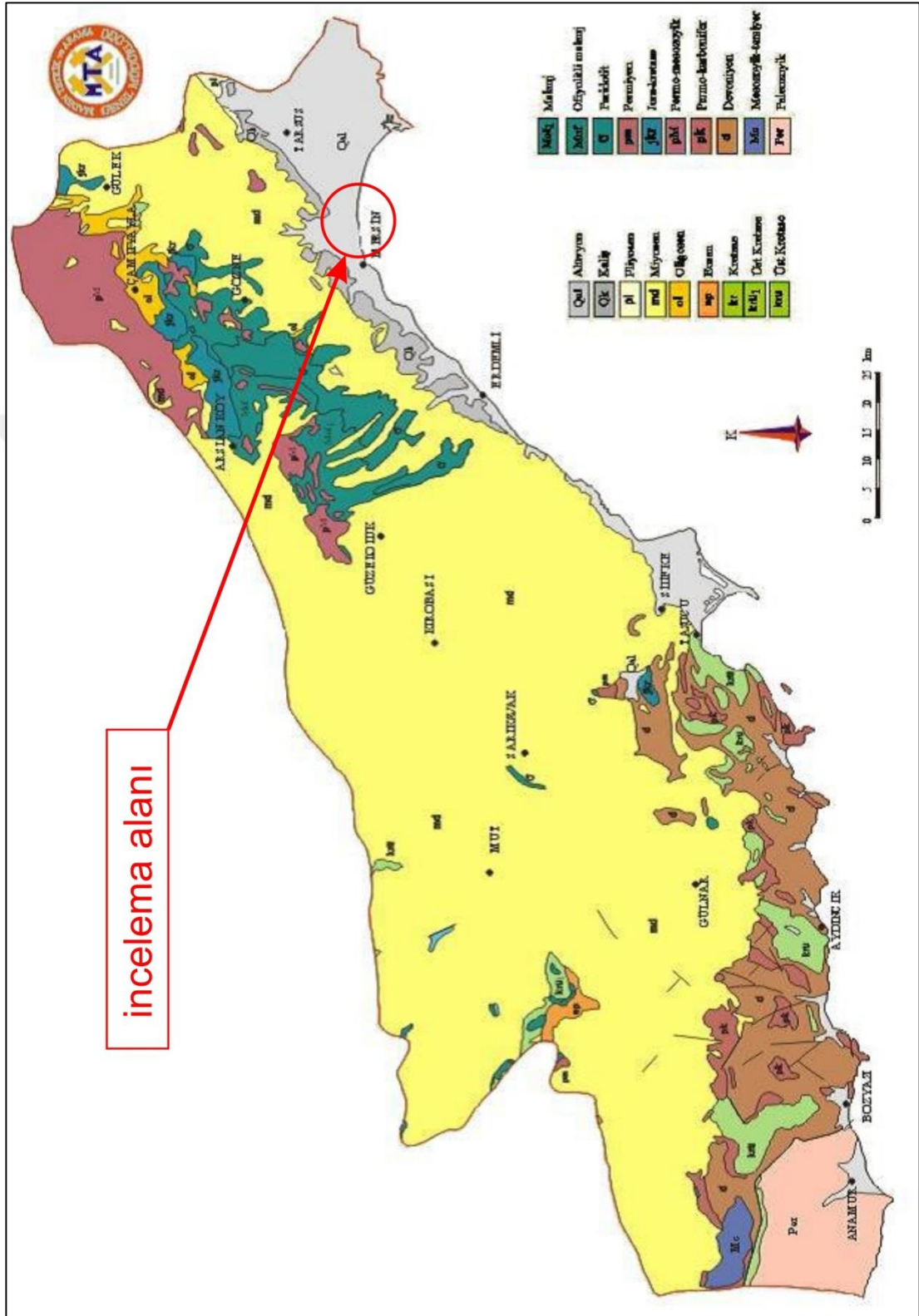
Bölgede, çalışma alanı ve/veya yakın civarını içeren jeolojik, jeofizik ve geoteknik amaçlı birçok çalışma yapılmıştır. Bunlardan çalışma alanı ve yakın civarını içerenler şunlardır;

Schmidt (1961), 1957-1960 yılları arasında Adana Baseninin genel stratigrafisini sistemli olarak çalışmış, havzanın petrol potansiyelini araştırmaya yönelik bu çalışmada 47 kaya birimi ayırtlanmış olup, önerilen litostratigrafik adlandırmalar ve tanımlamaların büyük bir çoğunluğu halen kullanılmaktadır.

İlker (1975), Adana havzasının kuzeybatı kesiminin jeolojisini inceleyerek bölgenin 1/50.000 ölçekli jeoloji haritasını hazırlamıştır. Havzanın petrol olanaklarını araştırmış ve bu havzada Paleozoyik'ten Kuvaterner'e kadar gelişmiş bütün formasyonları incelemiştir.

Yetiş ve Demirkol (1986), “Adana havzası Kuzgun Formasyonunun fasiyesi ve ortamsal nitelikleri” adlı çalışmalarında batıdan doğuya doğru Güvenç Formasyonunu üzerleyen Kuzgun Formasyonunun doğuda karasal nitelikte olduğunu, batıya doğru ise sığ deniz ortamına geçtiğini belirtmişlerdir.

Ünlügenç ve ark. (1990), Bölgede yaptıkları çalışmada, Adana Baseninin doğu ve batı bloklarını inceleyerek doğu blokta, temeli Karbonifer yaşlı Karahamzauşağı formasyonunun oluşturduğunu ve bu birimin üzerine uyumsuz olarak Jura-Kretase yaşlı Demirkazık formasyonunun geldiğini ve bu birim üzerine bindirme ile Kızıldağ melanjı ve Faraça ofiyolitinin geldiğini, bunların da üzerine uyumsuz olarak Eosen-Oligosen yaşlı Karsanti formasyonunun geldiğini, bu formasyon üzerine de bir biriyle uyumlu Kaplankaya, Karaisalı, Cingöz, Güvenç, Kuzgun, Handere formasyonlarının uyumsuz olarak geldiğini, en üstte ise alttaki birimlerin üzerine uyumsuz olarak gelen Taraça ve Alüvyonların yer aldığını belirlemişlerdir. Araştırmacılar, batı blokta, temeli Devoniyen yaşlı Yerköprü formasyonunun oluşturduğunu belirlemiş, bunun üzerine Karbonifer yaşlı Karahamzauşağı formasyonunun bu birim üzerine de uyumsuz olarak Jura- Kretase yaşlı Demirkazık formasyonunun geldiğini, bunun da üzerine de uyumlu olarak Yavça formasyonunun yerleştiğini ve bu birim üzerine bindirme ile Kızıldağ melanjı ve Faraça ofiyoliti geldiğini, bunlarında üzerine de bir biriyle uyumlu Gildirli, Kaplankaya, Karaisalı, Cingöz, Güvenç, Kuzgun, Handere formasyonlarının uyumsuz olarak geldiğini, en üstte ise uyumsuz olarak gelen Taraça ve Alüvyonların bulunduğunu belirlemişlerdir (**Şekil 3.1**).

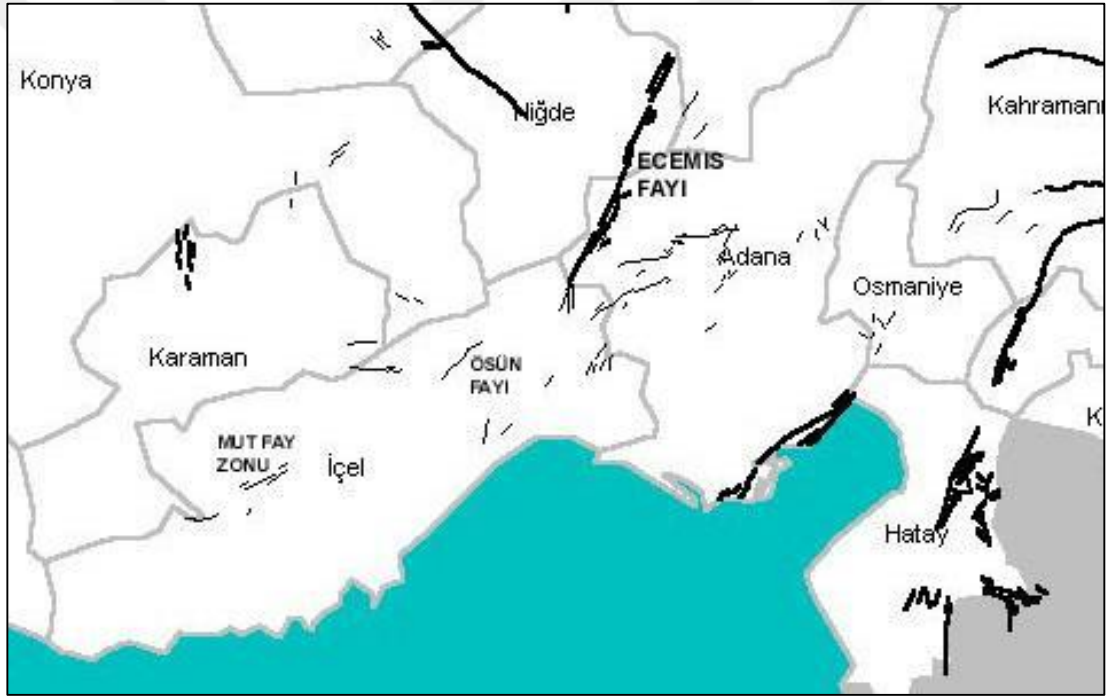


Şekil 3.1 Mersin İli ve İnceleme Alanı Genel Jeoloji Haritası (MTA,1993)

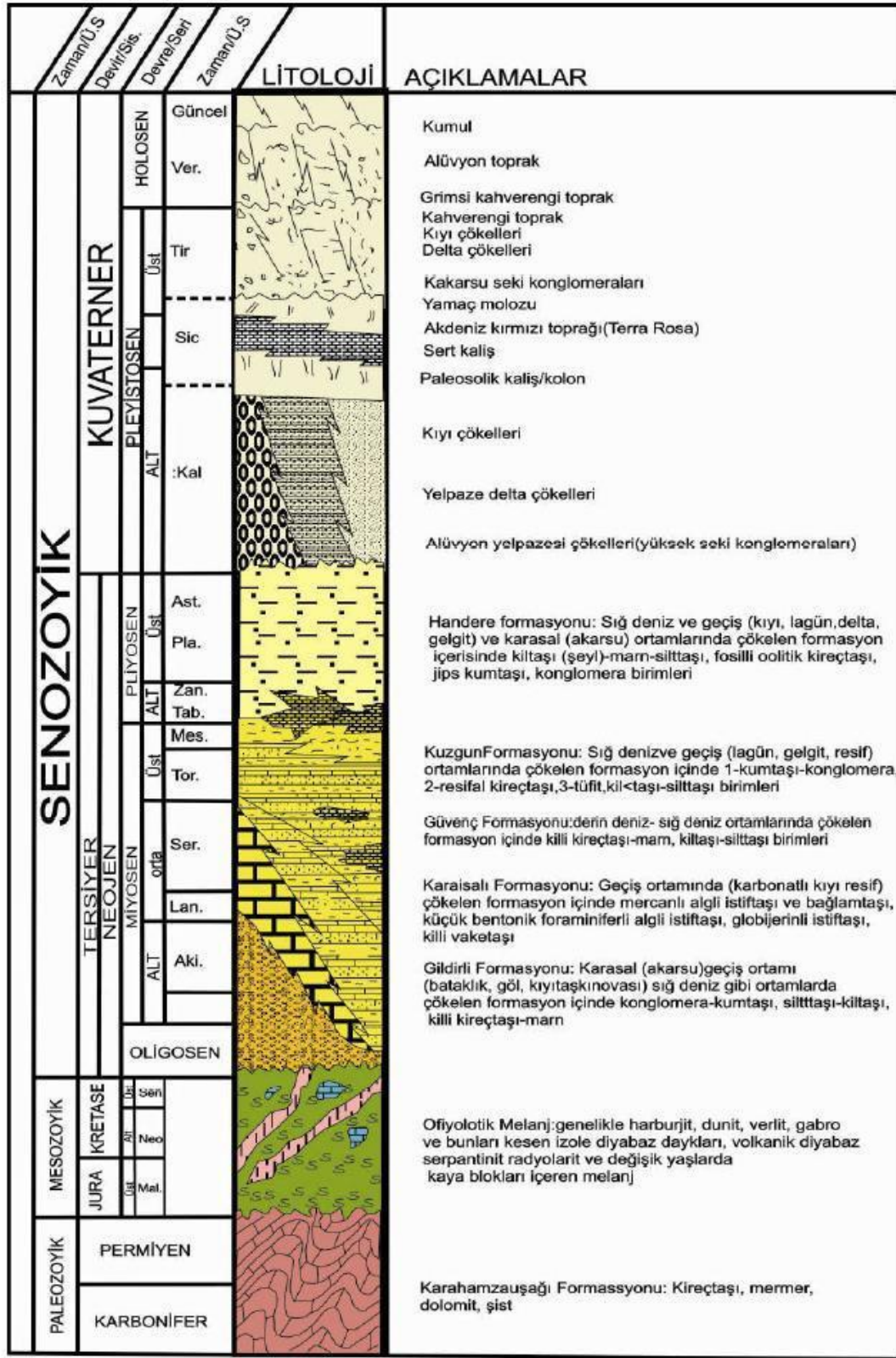
3.3. Stratigrafi ve Tektonik

İnceleme alanı, Orta Toroslar'ın güney bölümünde yer almaktadır. Bölgedeki kaya birimleri ve tektonostratigrafik özelliklerine göre bölgede Paleozoikten Kuvaterner'e göre çok sayıda formasyon farklı araştırmacılar tarafından tanımlanmıştır. Şekil 3.2'de Doğu Akdeniz bölgesinde yer alan aktif fayların genel görünümü verilmiştir.

Ayrıca Şekil 3.3'de Şenol ve arkadaşları (1998) tarafından hazırlanmış olan Mersin İli Genelleştirilmiş Dikme Kesiti verilmiştir.



Şekil 3.2 Mersin İli ve Çevresi Aktif Fay Hatları Haritası (MTA,1993)



Şekil 3.3 Mersin İli Genelleştirilmiş Dikme Kesiti (Şenol ve ark. 1998)

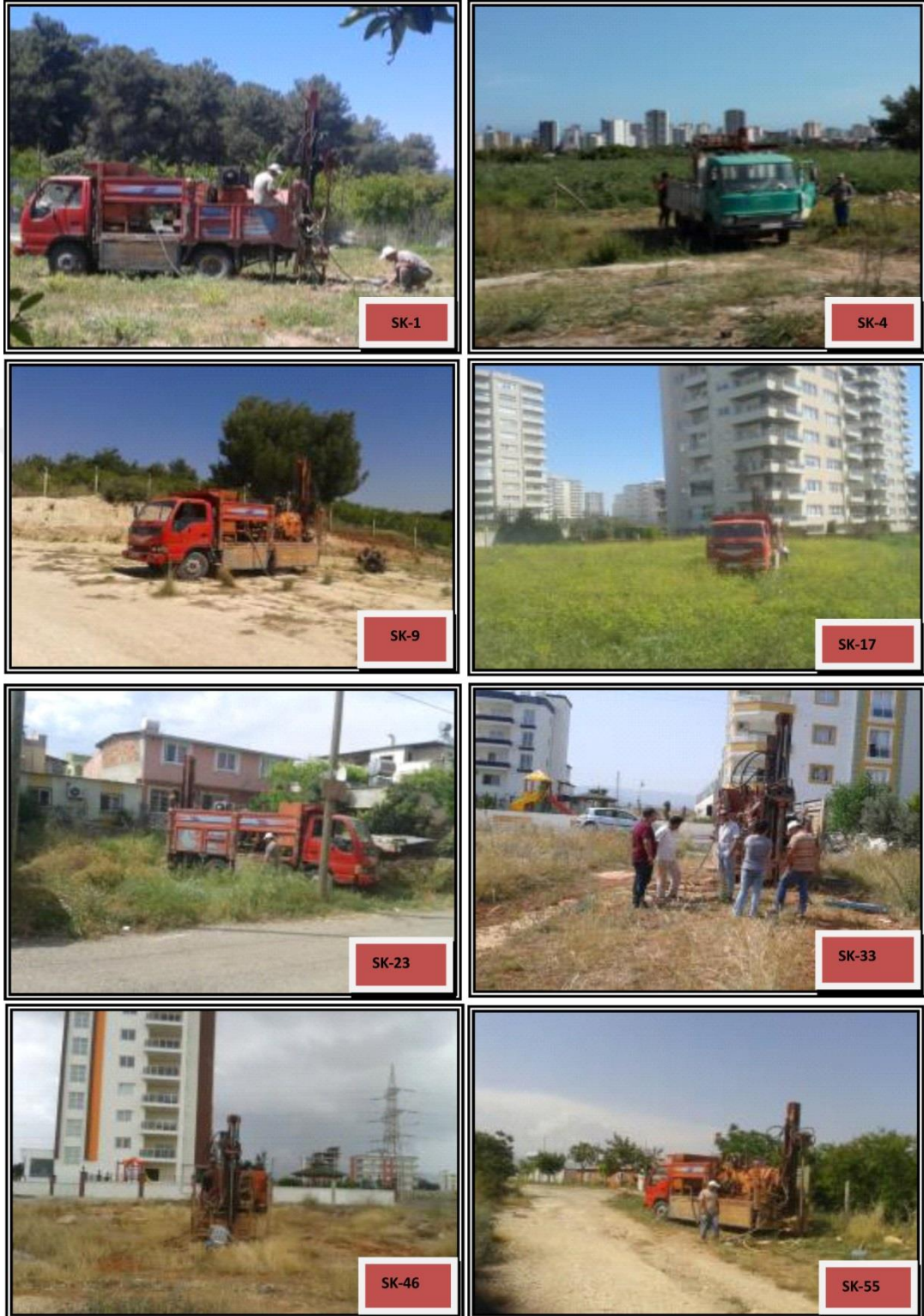
4. GEOTEKNİK AMAÇLI SONDAJ ÇALIŞMALARI VE ARAZİ DENEYLERİ

4.1. Sondajlar

Birimlerin yanal ve düşey yöndeki değişimleri, mühendislik özellikleri, yer altı suyu durumu ve geoteknik parametrelerini saptamak amacıyla, inceleme alanında 05.05.2015 ve 22.07.2015 tarihleri arasında 195 (yüz doksan beş) adet 15 m. derinliklerinde toplam 2925.00 metre derinlikte temel sondajı açılmıştır (Şekil 4.1). Sondajlar T.S.E onaylı ve 1999 model Isuzu NKR model kamyonet üzerine monteli, 2009 model hidrolik tip sondaj makinesi ile yapılmıştır (Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4). Sondaj çalışmalarından SPT ve CR (karot) ile numune alımı yapılmıştır. **EK-A**'da sondaj kuyularına ait derinlik, litoloji, formasyon bilgileri ve GPS ile alınan ITRF96 koordinat sistemine göre koordinatları gösterilmiştir.



Şekil 4.1 İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarının uydu görüntüsü üzerindeki yerleşim noktaları.



Şekil 4.2 İnceleme alanında yapılan çeşitli sondaj çalışmalarına ait görünüm



Şekil 4.3 İnceleme alanında yapılan çeşitli sondaj çalışmalarına ait görünümler



Şekil 4.4 İnceleme alanında yapılan çeşitli sondaj çalışmalarına ait görünüm

4.2. Arazi Deneyleri

Zemin sondaj çalışmalarında, zeminin mukavemeti hakkında genel bilgi edinmek amacıyla, zemindeki ilerlemeyle beraber standart penetrasyon testleri (SPT) uygulanmıştır. Standart Penetrasyon Deneyi'nde standart bir uç (aynı zamanda numune alıcı) üzerine 63,5 kg ağırlığındaki şahmerdanın 76 cm yükseklikten serbest düşürülmesi ile zemine 15 cm'lik kademelerle toplam 45 cm girdirilinceye kadar, gereken darbe adedi tespit edilmiştir. Örselenmeden ötürü ilk 15 cm'lik kısım dikkate alınmaz. Son iki kademedeki düşüş sayıları toplamı zeminin SPT-N sayısı olarak değerlendirilir. Blok ya da çakıl boyutunda daneler içeren zeminlerde, çok sıkı (sert) zeminlerde deney yapılması halinde hedeflenen derinliklere girilemediği durumlarda, deney sonucu refü olarak belirtilerek deneye son verilir.

İnceleme alanında yapılan 195 (yüz doksan beş) adet temel sondajında değişik derinliklerde TS 5744 (1998)'e uygun olarak Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) yapılarak zeminlerin dayanım parametreleri, sıklık ve kıvam özellikleri belirlenmeye çalışılmış ve örselenmiş örnekler alınmıştır. SPT yapılması, alınan örneklerin

izolasyonu ve korunması ile ilgili olarak ASTM D 1586 (1999) ve TSE 1901 (1975) standartlarına uyulmuştur. Standart Penetrasyon Deneyle ilgili sonuçlar **EK-B**'de ayrıntılı olarak verilmiştir. Ayrıca jeofizik çalışmalardan 65 (altmışbeş) adet sismik kırılma ve 65 (altmışbeş) adet rezistivite çalışması yapılmıştır. İnceleme alanı SPT verileri genelleştirilecek olursa,

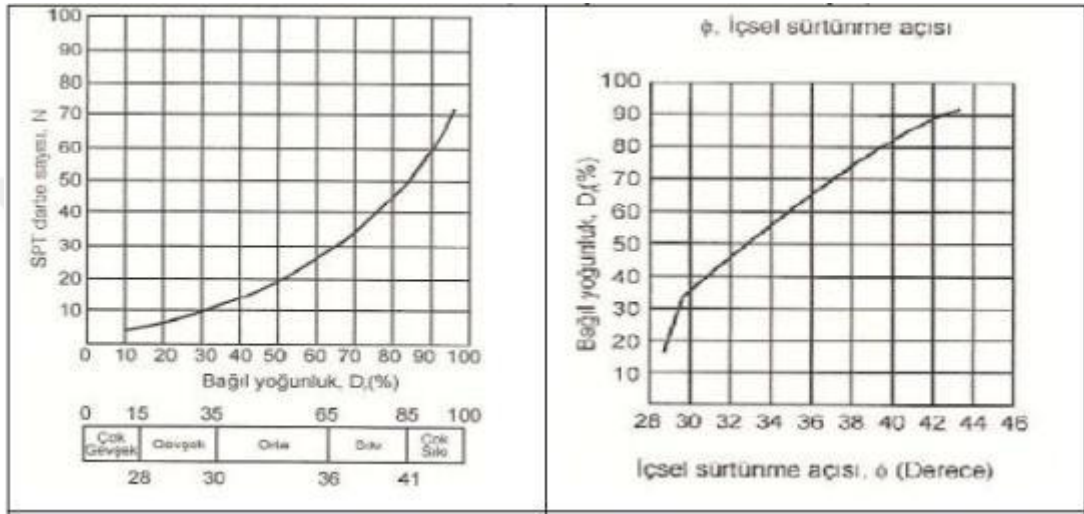
- 0.00-5.00 m'ler arasında, N30 = 7-46 aralığında
- 5.00-10.00 m'ler arasında, N30 = 11-56 aralığında
- 10.00-15.00 m'ler arasında, N30 = 15-59 aralığında

değerler almaktadır. İnceleme alanı zeminleri, litolojileri gereği kohezyonlu veya kohezyonsuz özelliktedirler. Terzaghi ve Peck (1948) SPT darbe sayıları ile kohezyonsuz zeminler için relatif sıklık, nisbi yoğunluk ve kohezyonlu zeminler için kıvam, serbest basınç değerleri arasında bağıntılar olduğunu belirlemişlerdir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1 SPT değerlerine göre kohezyonsuz zeminlerde, nisbi yoğunluk, relatif sıklık, kohezyonlu zeminlerde kıvamlılık ve serbest basınç değerleri (Terzaghi ve Peck,1948; Şekercioğlu,2007'den alınmıştır)

	N Darbe Sayısı	Nisbi yoğunluk	Relatif Sıklık
Kohezyonsuz Zeminler	4>	Çok Gevşek	0,15>
	4-10	Gevşek	0,15-0,35
	10-30	Orta	0,35-0,65
	30-50	Sıkı	0,65-0,85
	50<	Çok Sıkı	0,85<
	N Darbe Sayısı	Kıvamlılık	Basınç Direnci(kg/cm²)
Kohezyonlu Zeminler	2>	Çok Yumuşak	0,25>
	2-4	Yumuşak	0,25-0,50
	4-8	Orta	0,50-1,00
	8-15	Katı	1,00-2,00
	15-30	Çok Katı	2,00-4,00
	30<	Sert	4<

İnceleme alanı zeminlerine ait SPT değerleri, **Çizelge 4.1** ile eşleştirildiğinde, kohezyonsuz kesimlerde orta, sıkı, çok sıkı, kohezyonlu kesimlerde ise katı, çok katı, sert kıvamlı özelliklerdedirler. Yine, inceleme alanı SPT verilerinden hareketle, bağıl yoğunluğun ve buna bağlı olarak da içsel sürtünme açısının alabileceği değerlerin kestirimi, Ulusay (2001)'den alınarak düzenlenen **Şekil 4.5**'de verilmiştir.



Şekil 4.5 SPT-N darbe sayılarının, bağıl yoğunluğun ve içsel sürtünme açısının tahmininde kullanımı (Ulusay, 2001)

5. GEOTEKNİK AMAÇLI LABORATUVAR DENEYLERİ

Laboratuvar çalışmaları kapsamında sondajlardan alınan SPT ve CR numuneler üzerinde zeminin fiziksel – mekanik ve mühendislik parametrelerini belirlemeye yönelik deneyler yapılmıştır. Makrolab Zemin Araştırmaları ve Yapı Malzemeleri Laboratuvarlarına gönderilen SPT ve CR numune örnekleri üzerinde Su İçeriği, Doğal-Kuru birim hacim ağırlık tayini, Elek Analizi, Atterberg Limitleri, Serbest Basınç, Direkt Kesme ve Nokta Yük Dayanım İndeksi deneyleri yapılmıştır.

5.1. Zemin İndeks–Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

Zeminin indeks ve fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla, inceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarında örnekler üzerinde gerekli deneyler yapılmış ve sonuçlar sırasıyla **EK-C** ve **EK-D** 'te sunulmuştur.

5.2. Zeminlerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarından alınan CR numuneleri üzerinde serbest basınç ve direkt kesme deneyleri yapılmıştır. İlgili çizelgeler **EK-E** ve **EK-F** 'de yer almaktadır.

5.3. Kaya Mekaniği Deneyleri

İnceleme alanındaki sert kaliş, kumtaşı, marn ve kireçtaşı birimlerden alınan numuneler üzerinde kayaların dayanım parametrelerini belirlemek amacıyla; nokta dayanım indeksi deneyleri yapılmıştır. İlgili tablo **EK-G** 'de yer almaktadır.

6. JEOFİZİK ÇALIŞMALAR

İnceleme alanında enine dalga (S) ve boyuna dalga (P) hızlarının dinamik zemin parametrelerinin belirlenmesi amacıyla 65 noktada 12 kanallı DO-RE-Mİ mühendislik sismograf cihazı ile MASW ölçümleri 31/07/2015 – 09/08/2015 tarihinde yapılmıştır. Balyoz-çelik levha sismik kaynak olarak kullanılmıştır. Ayrıca zeminin yanal – düşey yöndeki değişimlerini tespit edebilmek amacıyla inceleme alanında 65 adet rezistivite çalışması yapılmıştır (**EK-G** ve **EK-H**)

6.1. Yüzey Dalgalarının Çok Kanallı Analizi (Masw) Yöntemi

Sismik araştırmalar, özetle; zeminde çeşitli enerji kaynaklarıyla yapay olarak oluşturulan sarsıntıların (çok küçük deprem), yani elastik dalgaların yer içerisinde yayılırken kırılarak veya yansıyarak geçtikleri ortamların fiziksel (mekanik) özelliklerini taşıyan sismik sinyal olarak yeryüzüne gelişlerinin kaydından, daha sonra bu kayıtların kendine özgü yöntemlerle değerlendirilmesi ve yorumlanması olarak tanımlanır.

Yüzey dalgalarının çok – kanallı analizi (MASW) yöntemi S-hızı değişimlerinin belirlenmesinde özellikle sismik kırılma yönteminin uygulanamadığı durumlarda Masw yöntemi tek alternatif yöntemdir.

Yer altı tabakalarının fiziksel özellikleri S-hızı ile doğrudan ilişkili olması nedeniyle S-hızı değişimlerinin belirlenmesi geoteknik mühendisliği açısından oldukça önemlidir.

MASW tekniğinin temel hedefi faz hızının frekansla değiştiği Rayleigh dalgası dispersiyonunu elde etmek ve ters çözüm tekniği ile bunu S-dalgası hızı ve tabaka derinliğine dönüştürmektir.

MASW verisi 4.5 Hz 12 kanallı sismografla toplanmıştır. 4.5 Hz'lik jeofonlar bir çok araştırmacı tarafından bu yöntemde sıkça kullanılmıştır (Park ve ark, 1999; Xia ve ark., 1999; Stephenson ve ark, 2005; Tallavo ve ark, 2009).

İnceleme alanında toplam 65 profil boyunca hız ölçümleri yapılmıştır. Bu uygulamalarla zeminin derinlikle değişen tabaka geometrilerini saptamak ve dinamik (sismik) elastik parametrelerini tayin etmek amacıyla boyuna dalga hızları ile kayma dalga hızları ölçülmüştür.

Jeofizik Etüt Noktalarının GPS cihazı ile tespit edilen koordinat noktaları **EK- G'** de verilmiştir.

6.2. Kullanılan Alet Tipi

İnceleme alanında zeminin dinamik, litolojik yapısını aydınlatmak amacıyla yapılan Masw çalışmalarında SARA firmasının DO- RE- Mİ tipi, 12 kanallı sismik cihaz kullanılmıştır (**Şekil 6.1**). Alınan ölçülerde sinyali izleme, gürültüyü ayırmayan, analog ve sayısal filtreleme işlemi otomatik olarak yapıldığından en az güç harcayarak yüksek sinyal/gürültü oranı elde edilmektedir.

Sistem bilgisayar aracılığı ile örnekleme aralığını seçebilen, bir triggerli balyoz, 12 adet jeofon ve özel bağlantı ünitelerinden oluşmaktadır.

6.3. Metodun Araziye Uygulanması ve Değerlendirme İşlemi

MASW verisi 4.5 Hz jeofonlar ve 12 kanallı sismografla toplanmıştır. Balyoz-çelik levha sismik kaynak olarak kullanılmıştır. Yer içerisinin dispersiyonu temel olarak S-dalgasının hızındaki düşey değişimle ortaya çıkar. Sismik kaynaktan alıcıya gelen Rayleigh dalgalarının dispersiyonu, arazide jeofonların çizgisel açılım düzeni ile kaydedilir ve elde edilen bu kaydın frekans ve faz hızı dönüşümü yapılır.

İnceleme alanında 65 noktada alınan Masw ölçümlerinde Jeofon Aralıkları 2-3 metre ofset uzaklığı 2-9 metre, kayıt uzunluğu 3 ms seçilmiştir. Toplam serim boyu 25-45 metredir (**Şekil 6.2 ve Şekil 6.3**). Ölçümler Sonucunda elde edilen S-hızı değişimleri ve tabakalara ait parametreler **EK-9'** da sunulmuştur.



Şekil 6.1 SARA marka DO RE Mi tipi sinyal biriktirmeli sismograf cihaz



Şekil 6.2 İnceleme alanında yapılan sismik çalışmalarına ait resimler



Şekil 6.3 İnceleme alanında yapılan sismik çalışmalarına ait resimler

7. ZEMİN VE KAYA TÜRLERİNİN GEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ

7.1. Zemin ve Kaya Türlerinin Sınıflandırılması

7.1.1. Zeminler

İncelemesi yapılan bölgede, üç jeolojik birim ayırtlanabilmektedir. Bunlar alttan üste doğru, Handere Formasyonu, Kaliş ve Alüvyondur.

Alüvyon; Etüt alanında daha çok kil, silt, kum ve çakıl niteliğinde genç alüvyonların oluşturduğu zeminler bölgedeki Müftü (Efrenk) Deresi boylarında, kuru dere yataklarında ve sahil bandında bulunan geniş bir alanda yer almaktadır. Buralarda alüvyon zeminler genellikle bej renkli, çoğunlukla kahverengi toprak görüntüsünde, kil, silt, kum ve çakıllardan oluşmaktadır. Genellikle alttaki Handere Formasyonu'ndan türemiş olan bu alüvyon zeminler, gerek buralardaki kuru derelerin, gerekse yamaçlardan gelen sel sularının getirip biriktirdiği malzemeler ile oluşmuşlardır.

Kaliş; yüzeye doğru genellikle sert ve alt dokanağına doğru yüksek plastisiteli, parlak yüzeyli, dolgulu, çatlaklı ve kalker yumrulu killi seviyelerden oluşan yumuşak seviyeler içerir. İnceleme alanında çoğunlukla bitkisel toprak niteliği kazanmış, kahve renkli 0-50 cm gibi ince bir örtüyle kaplı (güney kesimlerde), bazen de yüzeyi açık (çoğunlukla kuzey kesimlerde ve yüksek kotlarda) sert birim, çok sayıda yatay ve yataya yakın ince çökelim bantlarından oluşur ve yüzeye doğru kitlesel görünüm kazanır. Alta doğru ise kalınlığı birkaç metreden 15 metreye kadar değişen zemin özellik sunar. Çalışma sahasında düşük kotlarda krem-beyaz renklerde, zemin özellikte gözlenen kaliş alt derinliklerde genellikle kil ve çakılla karışık halde gözlenmiştir.

Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemine göre, deney sonuçlarından da görüldüğü gibi, çalışma alanında bulunan zeminler ince daneli zeminler olarak CH (yüksek plastisiteli kil), CI (orta plastisiteli kil), CL (düşük plastisiteli kil), SM (kumlu silt), SC (killi kum), SP (kötü derecelenmiş kum), SW (iyi derecelenmiş kum), GC (çakıllı

kil), GM (çakıllı silt) ve kaba taneli olarak GW (iyi derecelenmiş çakıl), GP (kötü derecelenmiş çakıl) zemin sınıflarından oluşmaktadır.

İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarında kaya birim olarak sert kaliş, kumtaşı ve kireçtaşı ve marn birimlerine rastlanılmıştır.

İnceleme alanında açılan sondaj kuyularından alınan numuneler üzerinde yapılan laboratuvar deney sonuçlarına göre aşağıdaki değer aralıkları elde edilmiştir (**EK-I** ve **EK-J**)

Doğal birim hacim ağırlık	$\gamma_n = 1.77 \text{ t/m}^3 - 2.45 \text{ t/m}^3$
Kuru birim hacim ağırlık	$\gamma_k = 1.34 \text{ t/m}^3 - 2.43 \text{ t/m}^3$
Su içeriği	$w (\%) = 0.77 - 32.53$
Likit limit	$LL(\%) = 20.70 - 80.70$
Plastik limit	$PL(\%) = 13.09 - 33.21$
Plastisite indisi	$PI(\%) = 6.20 - 59.50$
Serbest basınç dayanımı	$qu = 1.12 \text{ kg/cm}^2 - 2.35 \text{ kg/cm}^2$
Kesme Kutusu	$(c) = 0.0102 \text{ kg/cm}^2 - 0.0481 \text{ kg/cm}^2$
Kesme Kutusu	$(\phi) = 14.56^\circ - 25.12^\circ$

İnceleme alanında bulunan, killi birim için yapılan plastisite indeksine göre kuru dayanımı **düşük-orta-yüksek**, plastisite derecesi **az plastik-plastik-çok plastik** olarak tanımlanır (**Çizelge 7.1**).

İnceleme alanında bulunan killi birimlerden alınan numuneler üzerinde laboratuvar da yapılan Atterberg (kıvam) limitlerinin maksimum ve minimum değerleri alınarak kıvam indeksi ve sıkışma indeksleri hesaplanmıştır.

- **Kıvamlilik İndeksi $I_c = (LL - w) / PI = (20.70 - 0.77) / 6.20 = 3.21$**
- **Kıvamlilik İndeksi $I_c = (LL - w) / PI = (80.70 - 32.53) / 59.50 = 0.80$**

Çizelge 7.1 İnce Taneli Zeminlerin Plastisite İndeksine Göre Sınıflandırılması.

Plastisite İndeksi PI (%)	Kuru Dayanım	Plastisite Derecesi
0 – 5	Çok düşük	Plastik değil
5 – 15	Düşük	Az plastik
15 – 40	Orta	Plastik
>40	Yüksek	Çok plastik

İnceleme alanında bulunan ve temel zeminini oluşturan birimler kıvamlılık indeksine göre **sert- yarı katı (çok sert)** olarak tanımlanır (**Çizelge 7.2**).

- Sıkışma İndeksi $C_c = 0,009 (LL - 0,1) = 0,009 (20.70 - 0.1) = 0.18$
- Sıkışma İndeksi $C_c = 0,009 (LL - 0,1) = 0,009 (80.70 - 0.1) = 0.72$

Çizelge 7.2 İnce Taneli Zeminlerin Kıvamlılık İndeksine Göre Sınıflandırılması.

Kıvamlılık İndeksi (I_c)	Tanım
< 0	Akışkan çamur
0 – 0,25	Çok yumuşak
0,25 – 0,50	Yumuşak
0,50 – 0,75	Yarı sert (sıkı)
0,75 – 1,00	Sert
> 1,00	Yarı katı (çok sert)

İnceleme alanında bulunan ve temel zeminini oluşturan birimler sıkışma indeksi değerine göre **düşük-orta-yüksek derecede sıkışabilir** zeminler olarak tanımlanır (**Çizelge 7.3**).

Çizelge 7.3 Zeminlerin sıkışabilirliği (Sowers, 1979).

Tanım	Sıkışma İndisi (C_c)
Düşük sıkışabilirlik	0,00 – 0,19
Orta sıkışabilirlik	0,20 – 0,39
Yüksek sıkışabilirlik	> 0,40

7.2. Kaya Türlerinin Sınıflandırılması

İnceleme alanında Kuvaterner yaşlı sert kaliş ve Handere Formasyonu içerisinde kumtaşı-kireçtaşı-marn birimleri gözlenmiştir.

Kaliş; çalışma sahasının özellikle kuzey kısmında çok geniş bir yayılım göstermekte ve yüzeye yakın yerlerde büyük oranda karbonattan oluşan bu sert kısım orta-düşük sertlik ve dayanım sunmakta olup kaya özelliği taşımaktadır (bu durum, kalsit ve diğer çözümlerin yüzeyde yeniden kristalleşerek iyi bir tutturucu görevi yapmasından kaynaklanmaktadır). Çalışma sahasında yapılan gözlemlere ve sondaj çalışmalarına göre, kalişin sert kısmının 6,00 - 7,00 metre kalınlığa kadar ulaşabildiği gözlenmiştir.

Handere Formasyonu; çalışma alanında, kumtaşı, kireçtaşı ve marn dan oluşan kaya türü niteliğindeki Handere Formasyonu'nun üst kısımları bu birimlerin altere olmuş, bozmuş mukavemetini kaybetmiş, killi birimlerin ağırlık kazandığı zemin özelliğini almıştır. Handere formasyonu içerisinde yer alan kaya özellikteki birimler çalışma sahasında yer yer karmaşık bir yapı sunmakta olup, kesin dokanak sınırlarının ayırtlanması mümkün olmamıştır.

İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarından alınan sert kaliş, kumtaşı, kireçtaşı ve marn birimleri çok çatlaklı-kırıklı çatlak sıklığına sahip olup orta derecede (W3) ayrışma derecesine sahiptir. Yapılan sondajlardan alınan karotların 10 cm'den küçük olması nedeniyle RQD kaya kalitesi 0 bulunmuş olup çok zayıf kaliteli kaya sınıfına girmektedir (**Çizelge 7.4**).

Çizelge 7.4 Kaya kalite göstergesi (Deere, 1964)

RQD (%)	Kaya Kalitesi
< 25	<i>Çok Zayıf</i>
25 – 50	Zayıf
50 – 75	Orta
75 – 90	İyi
90 – 100	Çok İyi (mükemmel)

İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarından alınan *sert kalış, kumtaşı, kireçtaşı ve marn* birimlerinden alınan CR örnekleri üzerinde laboratuvarda yapılan nokta yükleme deneyi neticesinde nokta yük dayanım indeksleri 0.81 – 60.93 kg /cm² değerleri arasında bulunmuş olup söz konusu kayaların *çok düşük-düşük-orta-yüksek dayanımlı* olduğu belirlenmiştir (Çizelge 7.5).

Çizelge 7.5 Kayaçları nokta yük direncine göre sınıflandırılması (Bieniawski, 1976).

Kayaç Sınıfı	Nokta Yük Dayanımı (kg/cm ²)
Çok yüksek dayanımlı	>80
<i>Yüksek dayanımlı</i>	<i>80-40</i>
<i>Orta dayanımlı</i>	<i>40-20</i>
<i>Düşük dayanımlı</i>	<i>20-10</i>
<i>Çok düşük dayanımlı</i>	<i><10</i>

İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarından alınan *sert kalış, kumtaşı, kireçtaşı ve marn* birimlerinden alınan CR (karot) numunelerin tek eksenli basınç dayanımları 9.72 – 73.12 kg /cm² değerleri arasında bulunmuş olup tek eksenli basınç dayanımına göre çok düşük, düşük, orta dayanımlı olduğu belirlenmiştir (Çizelge 7.6 ve Şekil 7.1).

Çizelge 7.6 Kayaçların tek eksenli basınç dayanımına göre sınıflandırılması (Deere ve Miller, 1966).

Sınıf	Dayanım	Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (kgf/cm)
A	Çok Yüksek	>2200
B	Yüksek	1100 - 2200
C	<i>Orta</i>	<i>550 - 1100</i>
D	<i>Düşük</i>	<i>275 - 550</i>
E	<i>Çok Düşük</i>	<i><275</i>



Şekil 7.1 İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarından alınan numunelere ait görünüm



Şekil 7.2 İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarından alınan numunelere ait görünüm



Şekil 7.3 İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarından alınan numunelere ait görünüm



Şekil 7.4 İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarından alınan numunelere ait görünüm



Şekil 7.5 İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarından alınan numunelere ait görünüm

Jeofizik çalışmalar sonucunda Vs hızları birinci tabakada 146.00 m/sn–892.00 m/sn arasında, ikinci tabakada ise 236.00 m/sn–965.00 m/sn arasında, üçüncü tabakada ise 486.00 m/sn–558.00 m/sn olarak hesaplanmıştır. Zeminin litolojik tanımlaması, jeofizik hesaplamalar, sondaj ve laboratuvar verileriyle birlikte müşterek yorumlanmıştır. Bu verilere göre B-C-D zemin grubu alınması uygun görülmüştür (Çizelge 7.7).

Çizelge 7.7 Zemin/Kaya Grupları (AİGM, 2007)

Zemin Grubu	Zemin/Kaya Grubu Tanımı	Stand. Penetr. (N/30)	Relatif Sıklık (%)	Serbest Basınc Direnci (kPa)	Kayma Dalgası Hızı (m/s)
(A)	1 Masif volkanik kayalar ve ayrışmamış sağlam metamorfik kayalar, sert çimentolu tortul kayalar.	-	-	>1000	>1000
	2 Çok sıkı kum, çakıl	>50	85-100	-	>700
	3 Sert kil ve siltli kil	>32	-	>400	>700
(B)	1 Tüf ve aglomera gibi gevşek volkanik kayalar, süreksizlik düzlemleri bulunan ayrışmış çimentolu tortul kayalar	-	-	500-1000	700-1000
	2 Sıkı kum, çakıl	30-50	65-85	-	400-700
	3 Çok katı kil ve siltli kil	16-32	-	200-400	300-700
(C)	1 Yumuşak süreksizlik düzlemleri bulunan çok ayrışmış metamorfik kayalar ve çimentolu tortul kayalar	-	-	<500	400-700
	2 Orta sıkı kum, çakıl	10-30	35-65	-	200-400
	3 Katı kil ve siltli kil	8-16	-	100-200	200-300
(D)	1 Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak, kalın alüvyon tabakaları	-	-	-	<200
	2 Gevşek kum	<10	<35	-	<200
	3 Yumuşak kil, siltli kil	<8	-	<100	<200

Spektrum Karakteristik Periyotları (TA, TB): AİGM (2007) Zemin gruplamasına göre $T_A=0,10 - 0,21$ sn. $T_B= 0,30 - 0,91$ sn. olarak belirlenmiştir (**Çizelge 7.8**).

Çizelge 7.8 Yerel zemin sınıfları ve spektrum karakteristik periyotları (AİGM, 2007)

Yerel Zemin Sınıfı	Tablo 6'ya Göre Zemin Grubu ve En Üst Zemin Tabakası Kalınlığı (h_1)	Spektrum Karakteristik Periyotları	
		T_A (saniye)	T_B (saniye)
Z1	(A) grubu zeminler $h_1 \leq 15$ m olan (B) grubu zeminler	0.10	0.30
Z2	$h_1 > 15$ m olan (B) grubu zeminler $h_1 \leq 15$ m olan (C) grubu zeminler	0.15	0.40
Z3	$15 \text{ m} < h_1 \leq 50$ m olan (C) grubu zeminler $h_1 \leq 10$ m olan (D) grubu zeminler	0.15	0.60
Z4	$h_1 > 50$ m olan (C) grubu zeminler $h_1 > 10$ m olan (D) grubu zeminler	0.20	0.90

7.3. Mühendislik Zonları ve Zemin Profilleri

İnceleme alanından alınan numuneler üzerinde laboratuvarında yapılan Atterberg limitleri deney sonuçlarına göre çakıllı, kumlu kil birimi için; kıvamlılık indeksinde *sert- yarı katı (çok sert)* olarak, plastisite indeksine göre *kuru dayanımı çok düşük- düşük- orta- yüksek- çok yüksek*, plastisite derecesi *plastik değil- az plastik- plastik- çok plastik* olarak, sıkışma indeksi değerine göre *düşük-orta-yüksek derecede sıkışabilir* zeminler olarak belirlenmiştir.

7.4. Zeminin Dinamik - Elastik Parametreleri

İnceleme alanında yapılan 65 adet MASW çalışması sonucu zeminin dinamik ve elastik parametreleri belirlenmiştir. Elde edilen parametrelere göre aşağıdaki değerlendirmeler yapılmıştır.

7.4.1. Yoğunluk (ρ - gr/cm³) :

Boyuna dalga hızına göre ampirik olarak Telford (1976) tarafından verilen yoğunluk aşağıdaki formülden hesaplanır (**Çizelge 7.9**).

$$\rho = d = 0.31 * V_p^{0.25} \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

Çizelge 7.9 Zemin Birimlerinin Yoğunluk Sınıflaması (Keçeli, 2012).

YOĞUNLUK (ρ - gr/cm ³)	TANIMLAMA
<1.20	ÇOK DÜŞÜK
1.20-1.40	DÜŞÜK
1.40-1.90	ORTA
1.90-2.20	YÜKSEK
>2.20	ÇOK YÜKSEK

İnceleme alanında yapılan 65 adet sismik çalışması sonucunda;

Birinci tabaka için elde edilen yoğunluk değeri 1.30–2.03 g/cm³ aralığında, ikinci tabaka için elde edilen yoğunluk değeri 1.59–2.27 g/cm³ aralığında, üçüncü tabaka için elde edilen yoğunluk değeri 2.06–2.13 g/cm³ aralığındadır. Bu değerlere göre birinci tabaka **düşük-orta-yüksek**, ikinci tabaka **orta-yüksek**, üçüncü tabaka **yüksek** sınıfına girmektedir.

7.4.2. Poisson oranı (σ)

Gerilmeler altındaki yapıların boyuna değişimin enine değişime oranıdır. P ve S dalga hızları oranı ile bulunur. Bu oran hiçbir zaman 0,5' i geçmez ve boyutsuzdur. Ortamın suya doygunluğu arttıkça poisson oranı artmaktadır (**Çizelge 7.10**).

$$\sigma = (0,5 * (V_p / V_S)^2 - 1) / ((V_p / V_S)^2 - 1)$$

Çizelge 7.10 Poisson Sınıflaması ve Hız Oranı Karşılaştırması (Keçeli, 2012).

POISSON ORANI (σ)	TANIMLAMA
0,35-0,50	ÇOK GÖZENEKLİ
0,25-0,35	GÖZENEKLİ
0-0,25	AZ GÖZENEKLİ

İnceleme alanında yapılan 65 adet sismik çalışması sonucunda;

Birinci tabaka için elde edilen *poisson oranı* değeri 0.01 – 0.47 aralığında, ikinci tabaka için elde edilen *poisson oranı* değeri 0.12 – 0.49 aralığında, üçüncü tabaka için elde edilen *poisson oranı* değeri 0.46 – 0.48 aralığındadır. Bu değerlere göre birinci tabaka *az gözenekli-gözenekli-çok gözenekli* yapıda, ikinci tabaka *az gözenekli-gözenekli-çok gözenekli* yapıda, üçüncü tabaka *çok gözenekli* yapıdadır.

7.4.3. Dinamik elastisite (young) modülü (E, kg/cm²):

Yük altındaki cismin elastik kabiliyetini gösterir, jeolojik birimlerin sertliğini ve sağlamlığını gösterir. P ve S dalga hızlarıyla yoğunluğun bilinmesi sonucunda bulunur. Elastisite modülü, mekanik anlamda cisimlerin katılığının ya da sertliğinin bir belirtisidir (**Çizelge 7.11**).

$$E=2\mu(1+\sigma) \text{ kg/cm}^2$$

$$E=G*(3*V_p^2-4*V_s^2)/(V_p^2-V_s^2)$$

Çizelge 7.11 Elastisite Modülü Değerlerine Göre Zemin ya da Kayaçların Dayanımı (Keçeli, 2012)

ELASTİSİTE MODÜLÜ (E- kg/cm ²)	DAYANIM
<1000	ÇOK ZAYIF
1000-5000	ZAYIF
5000-10000	ORTA
10000-30000	SAĞLAM
>30000	ÇOK SAĞLAM

İnceleme alanında yapılan 65 adet sismik çalışması sonucunda;

Birinci tabaka için elde edilen *elastisite modülü* değeri 844.00 – 39573.00 kg/cm² aralığında, ikinci tabaka için elde edilen *elastisite modülü* değeri 3310 – 51901.00 kg/cm² aralığında, üçüncü tabaka için elde edilen *elastisite modülü* değeri 15298.00 – 18676.00 kg/cm² aralığındadır. Bu değere göre birinci tabaka *çok zayıf-zayıf-orta-sağlam-çok sağlam* dayanımlı, ikinci tabaka *zayıf-orta-sağlam-çok sağlam* dayanım, üçüncü tabaka *sağlam* dayanımlıdır.

7.4.4. Dinamik kayma (shear) modülü (μ , kg/cm²):

Makaslama kuvvetlerinin doğurduğu gerilme ile yamulmanın bir ölçüsüdür. Zemin ve depremle ilgili hasarların tespiti açısından önemli bir parametredir. Yanal kuvvetler altındaki kayacın mukavemetini gösterir, S dalgası hızı ve yoğunluğun bilinmesi ile bulunur. Elastik dalgaları denetleyen önemli bir parametredir. Kesme biçimindeki gerilmelerden oluşan yamulmaların oranı olan bu birimin küçük olması, ortamın yanıl basınçlara karşı güçsüz olduğunu gösterir (**Çizelge 7.12**).

$$G = \rho * V_s^2 \text{ (kg / cm}^2 \text{)}$$

Çizelge 7.12 Kayma Modülü Değerlerine Göre Zemin ya da Kayaçların Dayanımı (Keçeli, 2012)

KAYMA MODÜLÜ (μ , kg/cm ²)	DAYANIM
<400	ÇOK ZAYIF
400-1500	ZAYIF
1500-3000	ORTA
3000-10000	SAĞLAM
>10000	ÇOK SAĞLAM

İnceleme alanında yapılan 65 adet sismik çalışması sonucunda;

Birinci tabaka için elde edilen *kayma modülü* değeri 296.00–15575.00 kg/cm² aralığında, ikinci tabaka için elde edilen *kayma modülü* değeri 1145.00–19279.00 kg/cm² aralığında, üçüncü tabaka için elde edilen *kayma modülü* değeri 5168.00–

6416.00 kg/cm² aralığındadır. Bu değere göre birinci tabaka kaymaya karşı **çok zayıf-zayıf-orta-sağlam-çok sağlam** dirençli, ikinci tabaka kaymaya karşı **zayıf-orta-sağlam-çok sağlam** dirençli, üçüncü tabaka kaymaya karşı **sağlam** dirençlidir.

7.4.5. Dinamik bulk (compressibility) modülü (K: kg/cm²)

Çevreleyen basınç altında ortamda oluşan hacim değişimini gösterir. Kayacın sıkışmazlığını denetler (Çizelge 7.13).

$$K = Mc = \rho * (Vp^2 - 4/3 * Vs^2)$$

Çizelge 7.13 Bulk Modülü Değerlerine Göre Zemin ya da Kayaçların Dayanımı (Keçeli, 2012)

BULK MODÜLÜ (K, kg/cm ²)	SIKIŞMA
<400	ÇOK AZ
400-10000	AZ
10000-40000	ORTA
40000-100000	YÜKSEK
>100000	ÇOK YÜKSEK

İnceleme alanında yapılan 65 adet sismik çalışması sonucunda;

Birinci tabaka için elde edilen **bulk modülü** değeri 663.00–57735.00 kg/cm² aralığında, ikinci tabaka için elde edilen **bulk modülü** değeri 5528.00–172505.00 kg/cm² aralığında, üçüncü tabaka için elde edilen **bulk modülü** değeri 69959.00–127902.00 kg/cm² aralığındadır. Bu değere göre birinci tabaka sıkışmaya karşı **çok az-az-orta-yüksek** dayanımlı, ikinci tabaka sıkışmaya karşı **az-orta-yüksek-çok yüksek** dayanımlı, üçüncü tabaka sıkışmaya karşı **yüksek-çok yüksek** dayanımlıdır.

7.4.6. Sökülebilirlik ve kazanılabilirlik

Çalışma alanında elde edilen P Dalga hızlarına göre sökülebilirlik ve kazanılabilirlik sınıflamasında aşağıdaki tablolardan yararlanılmıştır. (Çizelge 7.14).

Çizelge 7.14 Ağır Güçteki Araçlar İçin Sökülebilirlik Sınıflandırılması (Bailey,1975).

P DALGA HIZI (m/sn)	SÖKÜLEBİLİRLİK
305-610	ÇOK KOLAY
610-915	KOLAY
915-1525	ORTA
1525-2135	ZOR
2135-2440	ÇOK ZOR
2440-2743	SON DERECE ZOR

İnceleme alanında yapılan 65 adet sismik çalışması sonucunda;

Birinci tabaka için elde edilen *P dalga hızı* değeri 310.00–1853.00 m/sn aralığında, ikinci tabaka için elde edilen *P dalga hızı* değeri 690.00-2855 m/sn aralığında, üçüncü tabaka için elde edilen *P dalga hızı* değeri 1952.00–2482.00 m/sn aralığındadır. Bu değere göre birinci tabaka sökülebilirliğe karşı *çok kolay-kolay-orta-zor* yapıda, ikinci tabaka sökülebilirliğe karşı *kolay-orta-zor-çok zor-son derece zor* yapıda, üçüncü tabaka sökülebilirliğe karşı *orta-zor- son derece zor* yapıdadır.

7.4.7. Vs30 (m/sn) Değerine göre zemin sınıflaması

İnceleme alanı Vs30 haritası, inceleme alanındaki sismik uygulamalarla elde edilmiş olan ve inceleme alanı zemininin ilk 30 metresinin ortalama S hızlarının haritasıdır. Vs30, UBC (1997), Eurocode-8 (EC, 2004) ve NEHRP (2009) gibi uluslararası standartlarında kullanılan temel parametrelerin başında gelmektedir. Vs30 çalışmalarında ilk 30 m'nin önemi ve ince tabakaların tespitinde oldukça sağlıklı sonuçlar vermesi nedeni ile etkin kullanıma sahiptir (**Çizelge 7.15, Çizelge 7.16 ve Çizelge 7.17**). **Çizelge 7.18**'de karşılaştırmaları verilmiştir.

$Vs30 = 30 / [(h1 / Vs1) + ((30 - h2) / Vs2)]$ Formülü ile hesaplanır.

Çizelge 7.15 Vs Hızına Göre Zemin Sınıflama Kriterleri (EC, 2004)

Kayma Dalgası Hızı(m/sn)	Yerel Birim Türü	Zemin Grubu
<200	Yumuşak Kil, Siltli Kil	D
<200	Gevşek Kum	D
<200	Yeraltı su düzeyinin yüksek olduğu yumuşak-suya doymuş kalın alüvyonlu katmanlar	D
200-300	Katı kil- siltli kil	C
200-400	Orta sıkı kum, çakıl	C
400-700	Yumuşak süreksizlik düzlemleri bulunan çok ayrılmış metamorfik kayalar ve çimentolu tortul kayalar	C
300-700	Çok katı kil, siltli kil	B
400-700	Çok katı kum, çakıl	B
700- 1000	Tüf ve aglomera gibi gevşek volkanik kayalar süreksizlik düzlemleri bulunan ayrılmış çimentolu tortul kayalar	B
>700	Sert kil, siltli kil	A
>700	Çok sıkı kum, çakıl	A
>1000	Masif volkanik kayalar ve ayrılmamış sağlam metamorfik kayalar sert ve çimentolu tortul kayalar	A

Çizelge 7.16 NEHRP 'e Göre Zemin Sınıflama Kriterleri (NEHRP, 2009)

NEHRP ZEMİN SINIFI	TANIMLAMA	S DALGA HIZI (Vs 30)
A	Sert Ana Kaya	>1500 m/sn
B	Sağlam dayanaklı ile sert kaya arası birimler	760-1500 m/sn
C	Yoğun Toprak, Yumuşak Kaya	360-760 m/sn
D	Sert Toprak	180-360 m/sn
E	Yumuşak Killer	<180
F	Özel çalışma gerektiren zeminler, örneğin sıvılaştırılabilir zeminler suya doygun kil ve organik olan ve 36 m den daha kalın zeminler.	

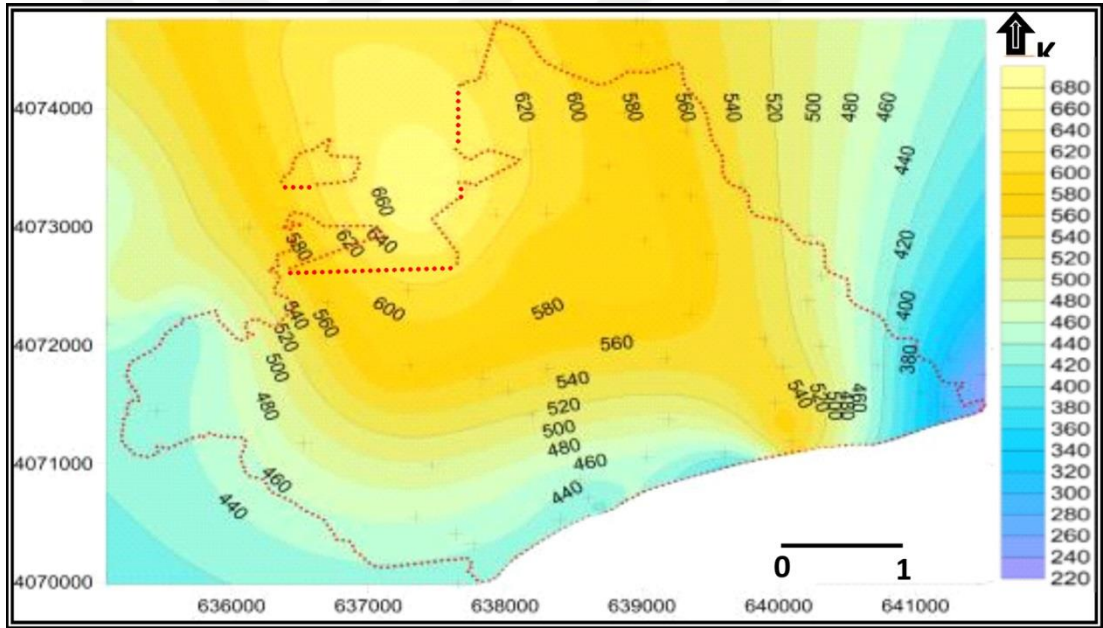
Çizelge 7.17 EUROCODE-8'e Göre Zemin Sınıfları (EC, 2004)

ZEMİN TİPİ	Profilin Tanımı	Parametreler		
		Vs30 (m/sn)	N _{SPT}	Cu (kPa)
A	Yüzeyde en fazla 5m kalınlığında daha zayıf malzeme bulunduran dahil kaya ve kaya benzeri jeolojik formasyon.	>800	---	---
B	En az on metrelerce kalınlığında çok sıkı kum,çakıl yada çok rijit kil tabakaları	360-800	>50	>250
C	Onlarca metre ile yüzlerce metre arasında kalınlığa sahip derin sıkı yada orta sıklıkta kum, çakıl yada rijit kil.	180-360	15-50	70-250
D	Gevşek-orta kohezyonsuz zemin (yada bazı kohezyonlu tabakalara sahip) ya da yumuşak sert kohezyonlu zemin tabakaları	<180	<15	<70

Çizelge 7.18 Vs30 için NEHRP ve EUROCODE-8 'e Göre Zemin Sınıflarının Karşılaştırması

Serim No	Vs30	Nehrp'e Göre Sınıflama	EUROCODE'e Göre Zemin Sınıfı	Vs30 hızına Göre Zemin Grubu
1 - 65	234.60–971.30	B-C-D	A-B-C	A-B-C

Şekil 7.6'da inceleme alanında yapılan 65 adet sismik çalışması sonucunda elde edilen zemin Vs30 haritası verilmiştir.



Şekil 7.6 İnceleme alanında yapılan 65 adet sismik çalışması sonucunda elde edilen zemin Vs30 haritası

7.5. Şişme–Oturma ve Taşıma Gücü Analizleri ve Değerlendirme

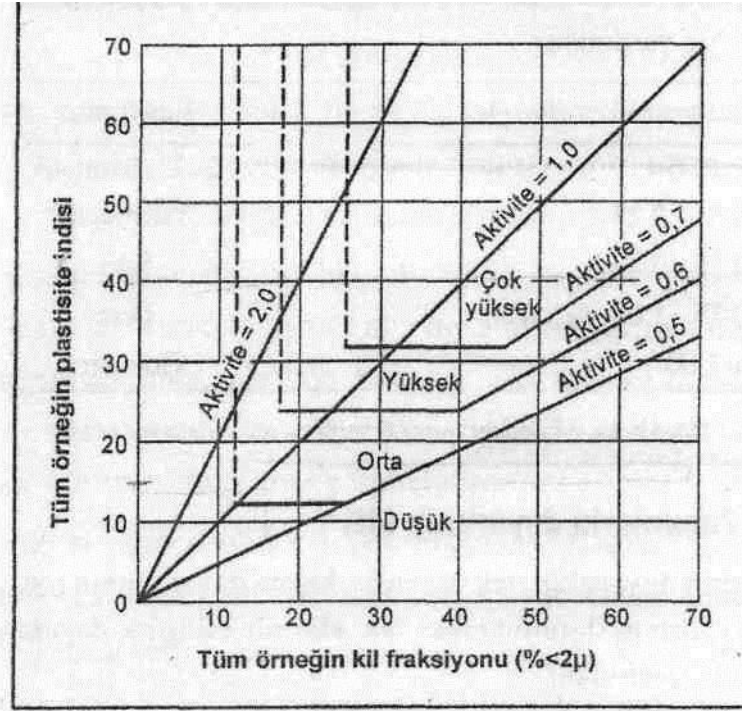
İnceleme alanında yapılmış olan sondaj çalışmalarından alınan killi birimler için laboratuvarında bulunan PI % değeri 6.20 – 59.50 arasında bulunmuştur. Buna göre birimlerin şişme derecesi düşük-orta-yüksek-çok yüksek düzeydedir. İnceleme alanında bulunan ve temel zeminini oluşturan birimler sıkışma indeksi değerine göre düşük-orta-yüksek derecede sıkışabilir zeminler olarak tanımlanır (**Çizelge 7.19**).

Çizelge 7.19 Holtz ve Gibbs (1956) sınıflandırması.

İndeks Özellikleri			Şişme yüzdesi (%)	Şişme derecesi
Kolloid % (>0.001 mm)	Plastisite indeksi PI (%)	Büzülme (rötre) limiti		
>28	>35	<11	>30	Çok yüksek
20-31	25-41	7-12	20-30	Yüksek
13-23	13-28	10-16	10-20	Orta
<15	<10	>15	<10	Düşük

İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarından alınan numunelerde CI-CH biriminin #200 Nolu elekten geçen ince tanelerin yüzdesi %0.31 - %99.42 aralığında ve LL= %20.70 - %80.70, PL= %13.09 – %33.21, PI= % 6.20 - %59.50 aralığındadır.

Plastisite indisi PI= % 6.20 - %59.50 aralığında ve kil fraksiyonu %0.31 - %99.42 aralığında Aktivite abağında; 0,5 eğrisinin üstünde kalmaktadır. Şişme aktivitesinin "**Düşükten Çok Yüksek**" kadar olduğu görülmektedir (**Şekil 7.7**).



Aktivite Abağı

Şekil 7.7 Aktivite Abağı (Yılmaz ve Karaca, 1998)

İnceleme alanında zemin olarak değerlendirilen birimlerde LL değerleri % 20.70–80.70 aralığında olup, 200 nolu elekten geçen kil yüzdesi 0.31–99.42 aralığındadır. Chen (1975) sınıflandırma tablosuna göre şişme derecesi düşükten çok yükseğe kadar değişmektedir (**Çizelge 7.20**). Elde edilen bu veriler neticesinde çalışma alanında şişme ve oturma olması muhtemeldir. Bu nedenle parsel bazındaki etütlerde gerçek proje yükü (bina kat adedi, bodrumlu olup olmadığı, bina boyutları), temel tipi (B, L, Df) değerlerine göre zemin etüt raporu hazırlanması aşamasında yeniden belirlenecek değerler neticesinde bulunacak oturma hesabı dikkate alınmalıdır. Sınır değerlerin aşılması halinde ise derin temel sistemi ya da zemin güçlendirme projelerinden uygun olanının seçilmesi gerekir.

Çizelge 7.20 Şişen killerde muhtemel hacim değişiklikleri (Chen, 1975)

Laboratuvar ve Arazi verileri			Şişme Yüzdesi	Şişme Basıncı (kN/m ²)	Şişme derecesi
200 no.lu elekten geçen%	Likit Limit %	SPT darbe Sayısı			
>95	>60	<30	>10	>1000	Çok yüksek
60-95	40-60	20-30	5-10	250-1000	Yüksek
30-60	30-40	10-20	1-5	150-250	Orta
<30	<30	<30	<1	<150	Düşük

7.5.1. Taşıma gücü analizleri

Bu bölümde yapılan tüm hesaplamalar birimlerin (zemin/kaya) genel geoteknik özelliklerini belirlemeye yönelik olup, parsel bazı zemin etütlerinde bu hesaplamalar zemin yapı ilişkisine göre detaylı olarak incelenmelidir.

7.5.2. Zeminlerde Taşıma Gücü Hesabı

İnceleme alanında Alüvyon zemin üzerinde yapılan sondaj çalışmalarından alınan kil-silt-kum-çakıl numuneleri üzerinde laboratuvar ortamında direkt kesme ve serbest basınç deneyleri yapılmış ve temsili bina boyutları, kazı derinliği verilmiş olup taşıma gücü hesapları aşağıda yapılmıştır.

- q_u = Serbest Basınç Direnci (kg/cm²).
- c = Kohezyon(kg/cm²).
- ϕ = İçsel Sürtünme Açısı
- D_f = Temel derinliği.
- B = Temel genişliği L = Temel uzunluğu

SK-26 (2.00 – 3.50 m.) derinliği için yapılan serbest basınç değerine göre;

- $q_u = 1,12 \text{ kg/cm}^2$ olup $c = q_u / 2$ den $c = 0,560 \text{ kg/cm}^2$
- $B = 1,00 \text{ m}$.
- $L = 12,00 \text{ m}$
- $D_f = (-1,50) \text{ m}$ için

-Skempton Formülüne göre (Skempton, 1951);

- $q_{d \text{ net}} = 5 \cdot c \cdot [1 + 0,2 \cdot (D_f/B)] \cdot [1 + 0,2 \cdot (B/L)]$ formülünden net taşıma gücü değeri
- $q_d = 3.70 \text{ kg/cm}^2$

SK-28 (2.00 – 3.50 m.) derinliği için yapılan serbest basınç değerine göre;

- $q_u = 2.35 \text{ kg/cm}^2$ olup $c = q_u / 2$ den $c = 1.175 \text{ kg/cm}^2$
- $B = 1,00 \text{ m.}$
- $L = 12,00 \text{ m}$
- $D_f = (-1,50) \text{ m. için}$

-Skempton Formülüne göre;

- $q_{d \text{ net}} = 5 \cdot c \cdot [1 + 0,2 \cdot (D_f/B)] \cdot [1 + 0,2 \cdot (B/L)]$ formülünden net taşıma gücü değeri
- $q_d = 7.76 \text{ kg/cm}^2$

SK-191 (2.00 – 3.50 m.) derinliği için yapılan direk kesme değerine göre;

- $c = 0,0102 \text{ kg/cm}^2$ $\phi = 24.22^\circ$
- $N_c = 23.74$ $N_q = 11.68$ $N_\gamma = 8.16$
- $\mu_n = 1.80 \text{ t/m}^3$, $B = 1.00 \text{ m.}$ $L = 12.00 \text{ m.}$ $D_f = (-1.50) \text{ m. için}$
- $K_1 = 1.02$ $K_2 = 0.49$

Terzaghi formülüne göre;

- $q_d = K_1 \cdot c \cdot N_c + \mu_1 \cdot D_f \cdot N_q + K_2 \cdot N_\gamma \cdot B \cdot \mu_2$ nihai taşıma gücü değeri
- $q_d = 4.11 \text{ kg/cm}^2$

SK-88 (2.50 – 3.50 m.) derinliği için yapılan direk kesme değerine göre;

- $c = 0,0108 \text{ kg/cm}^2$ $\phi = 25.12^\circ$
- $N_c = 25,36$ $N_q = 12,84$ $N_\gamma = 9.35$
- $\mu_n = 1.84 \text{ t/m}^3$, $B = 1.00 \text{ m.}$ $L = 12.00 \text{ m.}$ $D_f = (-1.50) \text{ m. için}$
- $K_1 = 1.02$ $K_2 = 0.49$

Terzaghi formülüne göre (Terzaghi, 1943);

- $q_d = K_1 \cdot c \cdot N_c + \mu_1 \cdot D_f \cdot N_q + K_2 \cdot N_\gamma \cdot B \cdot \mu_2$ nihai taşıma gücü değeri
- $q_d = 4.68 \text{ kg/cm}^2$

7.6. Kayalarda Taşıma Gücü Hesabı:

İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarından alınan karot numuneler üzerinde laboratuvarda yapılan nokta yükleme indeksi deney sonucunda elde edilen verilere göre taşıma gücü hesabı Canadian Manuel (CFEM, 1975)'e göre yapılmıştır. (Şekercioğlu, 2007).

$$q_{un} = I_s \times c$$

$$q_a = K_s \times q_{un}$$

Buna göre;

q_a : Kayaç kütlelerinin müsaade edilebilir taşıma basıncı

q_{un} : Kayacın ortalama serbest basınç dayanımı

K_s : Ampirik Katsayı (bknz **Çizelge 7.21**)

I_s : Nokta yükleme deneyi sonucu elde edilen yük değeri

c : 12-24 arasında değişen değer

Çizelge 7.21 Ampirik Katsayı K_s Değerleri.

Süreksizlik Aralığı (m)	K _s
> 3,0	0,40
3,0 – 0,9	0,25
0,9 – 0,3	0,10

Farklı birimler için yapılan taşıma gücü hesaplamaları aşağıda verilmiştir.

Sert Kaliş birimi için SK-12 (3.50 – 5.00 m) verilerinden yapılan hesaplamaya göre;

Is50=2.75 kg/cm² 'ye göre yapılan hesaplamalarda; tek eksenli sıkışma dayanımı (τC); C=12 alınarak,

$$t_c = C \times I_{s50} \quad (1)$$

$$t_c = 12 \times 2.75$$

$$t_c = 33.00 \text{ kg/cm}^2$$

Buradan (Meyerhof, 1953) e göre taşıma gücü,

$$q_u = t_c \times 0.2 \quad (2)$$

$$q_u = 33.00 \times 0.2$$

$$q_u = 6.60 \text{ kg/cm}^2 \text{ olarak bulunur.}$$

Sert Kaliş birimi için SK-33 (1.50 – 3.00 m) verilerinden yapılan hesaplamaya göre;

Is50=3.46 kg/cm² 'ye göre yapılan hesaplamalarda; tek eksenli sıkışma dayanımı (τC); C=12 alınarak,

$$t_c = C \times I_{s50} \quad (1)$$

$$t_c = 12 \times 3.46$$

$$t_c = 41.52 \text{ kg/cm}^2$$

Buradan (Meyerhof, 1953) e göre taşıma gücü,

$$q_u = t_c \times 0.2 \quad (2)$$

$$q_u = 41.52 \times 0.2$$

$$q_u = 8.30 \text{ kg/cm}^2 \text{ olarak bulunur.}$$

İnceleme alanında yapılan sondajlarda Üst Miyosen - Pliyosen yaşlı Kireçtaşı – Kumtaşı - Marn birimlerinin sınır geçişleri belirgin olarak gözlenmediğinden dolayı Kireçtaşı – Kumtaşı - Marn birimleri için ayrı ayrı taşıma gücü hesabı yapılamamıştır. Taşıma gücü hesabı Handere Formasyonu dikkate alınarak yapılmıştır.

Handere Formasyonu için SK-3 (1.50 – 3.00 m.) verilerinden yapılan hesaplamaya göre;

Is50=4.38 kg/cm² 'ye göre yapılan hesaplamalarda; tek eksenli sıkışma dayanımı (τC); C=12 alınarak,

$$t_c = C \times I_{s50} \quad (1)$$

$$t_c = 12 \times 4.38$$
$$t_c = 52.56 \text{ kg/cm}^2$$

Buradan (Meyerhof, 1953) e göre taşıma gücü,

$$q_u = t_c \times 0.2 \quad (2)$$

$$q_u = 52.56 \times 0.2$$

$$q_u = 10.51 \text{ kg/cm}^2 \text{ olarak bulunur.}$$

Handere Formasyonu için SK-60 (1.00 – 2.00 m.) verilerinden yapılan hesaplamaya göre;

$I_{s50} = 10.08 \text{ kg/cm}^2$ 'ye göre yapılan hesaplamalarda; tek eksenli sıkışma

dayanımı (τ_c); $C=12$ alınarak,

$$t_c = C \times I_{s50} \quad (1)$$

$$t_c = 12 \times 10.08$$

$$t_c = 120.96 \text{ kg/cm}^2$$

Buradan (Meyerhof, 1953) e göre taşıma gücü,

$$q_u = t_c \times 0.2 \quad (2)$$

$$q_u = 120.96 \times 0.2$$

$$q_u = 24.19 \text{ kg/cm}^2 \text{ olarak bulunur.}$$

**** Bulunan bu taşıma gücü değerleri çalışma sahasının genel karakterini belirlemek amacıyla yapılmıştır.***

7.7. Sıvılaşma analizi ve değerlendirme

Suya doymuş, gevşek kum/kumlu zeminler, tekrarlı yükler etkisinde, sıkışma ve hacim daralması eğilimi gösterirler. Bu eğilim, drenajın olmadığı koşullarda, boşluk suyu basıncını artırır. Tekrarlı yükler kum tabakası içindeki boşluk suyu basıncının artmasını desteklediği zaman, toplam normal gerilme, boşluk suyu basıncına eşit değere ulaşabilir (Das,1983).

Bu durumda, kohezyonsuz zemin kayma direnimini kaybeder ve sıvı gibi davranarak büyük yer değiştirmelerine maruz kalır. Böylece sıvılaşma evresine geçilmiş olur.

SK-156 sondaj kuyusunun SPT-N₃₀ darbe adetlerinde yapılan düzeltmeler Çizelge 7.22’de gösterilmekte olup yer altı suyu, örtü yükü, enerji-tij-kuyu çapı düzeltmeleri neticesinde temsili Z+1 katlı bina için **SPT-N₁₍₆₀₎ = 7.66** değeri elde edilmiştir.

Çizelge 7.22 SK-156 Sondaj Kuyusundan elde edilen SPT-N30 darbe sayılarında yapılan düzeltmeler

YENİŞEHİR BELEDİYESİ 3750 HEKTARLIK ALAN SK-156															
SPT-N DARBE ADETLERİ ÜZERİNDE YAPILAN DÜZELTMELER															
Etki Derinliği= 2/3 H _{bina} + D _f				Tij Uzunluğu Düzeltmesi (CR) (Skenpton, 1986)											
H _{bina} =	6.50	m		Uzunluk (m) (CR)											
D _f (max)=	1.50	m		> 10 1.00											
Etki Derinliği (max):	5.83 m			6 - 10 0.95											
YAS=	2.00 m			4 - 6 0.85											
				3 - 4 0.75											
SPT NO	DERİNLİK (m)	SU ÜSTÜ	SU ALTI	YOĞUNLUK Kn/m ³	SU ALTI YOĞUNLUK	ÖRTÜ YÜKÜ (kPa)	N ₃₀	ŞAH.DÜZ E _R	TİJ DÜZ C _R	KUYU ÇAPL. DÜZ (C _B)	İÇ GÖMLEK DÜZ. (C _S)	N ₆₀	C _N =(kPa) (95.76 / σ _v) ^{0.5}	(N ₁) ₆₀ N ₆₀ *C _N	
1	SPT-1	3.75	2.00	1.75	19.50	9.50	55.63	10	0.75	0.75	1.00	1.00	6	1.31	7
2	SPT-2	8.75	2.00	6.75	19.50	8.34	95.30	13	0.75	0.75	1.00	1.00	7	1.00	7
3	SPT-3	13.75	2.00	11.75	19.50	9.50	150.63	18	0.75	0.85	1.00	1.00	11	0.80	9
4													SPT-(N ₁) ₆₀ ORTALAMA =		7.66

Çalışma sahasındaki SK-156 sondaj kuyusunun SPT-N30 darbe adeti değerleri ve laboratuvar deney sonuçları dikkate alınarak Tokimatsu ve Yoshimi (1983) yöntemine göre yapılan hesaplama aşağıdaki şekildedir (Çizelge 7.23).

Çizelge 7.23 SK-156 Sondaj Kuyusunun Tokimatsu ve Yoshimi (1983) Yöntemine Göre Sıvılaşma Analizi

M =	7	Deprem Büyüklüğü														
a =	0.2	Deprem İvmesi														
SIVILAŞMA ANALİZİ																
(Tokimatsu ve Yoshimi (1983) Yöntemine Göre)																
Proje :																
Kuyu No.	Derinlik (m)	ρ _n (g/cm ³)	ρ _a (g/cm ³)	Y.A.S.S.	σ _o (kgf/cm ²)	σ _o '(kgf/cm ²)	FC	ΔN _f	N _n	N ₁	N ₁₍₈₀₎	N _a	τ _d /σ _o	τ _v /σ _o	FS	Sıvılaşma
SK-1	4.00	1.95	1.95	2.00	0.78	0.58	31.1	7.1	7	9	9	16	0.15	0.18	1.18	YOK
"	9.00	1.95	1.95	2.00	1.76	1.06	33.1	7.3	7	7	7	14	0.17	0.16	0.92	VAR
"	14.00	1.95	1.95	2.00	2.73	1.53	28.8	6.9	9	7	7	14	0.17	0.16	0.92	VAR

SK-156 sondaj kuyusunun Tokimatsu ve Yoshimi (1983) yöntemine göre değerlendirilmesi neticesinde, çalışma alanında sıvılaşma riski tespit edilmiştir.

SK-174 sondaj kuyusunun SPT-N₃₀ darbe adetlerinde yapılan düzeltmeler Çizelge 7.24 de gösterilmekte olup yer altı suyu, örtü yükü, enerji-tij-kuyu çapı düzeltmeleri neticesinde temsili Z+1 katlı bina için **SPT-N₁₍₆₀₎ = 7.66** değeri elde edilmiştir.

Çizelge 7.24 SK-174 Sondaj Kuyusundan elde edilen SPT-N30 darbe sayılarında yapılan düzeltmeler

YENİŞEHİR BELEDİYESİ 3750 HEKTARLIK ALAN SK-174															
SPT-N DARBE ADETLERİ ÜZERİNDE YAPILAN DÜZELTMELER															
Etki Derinliği= 2/3 H _{bina} + D _f			Tij Uzunluğu Düzeltmesi (CR) (Skempton, 1986)												
H _{bina} =	6.00	m	Uzunluk (m) (CR)												
D _f (max)=	1.50	m	> 10 1.00												
Etki Derinliği (max) ·	5.50	m	6 - 10 0.95												
YAS=	2.00	m	4 - 6 0.85												
			3 - 4 0.75												
SPT NO	DERİNLİK (m)	SU ÜSTÜ	SU ALTI	YOĞUNLUK Kn/m ³	SU ALTI YOĞUNLUK	ÖRTÜ YÜKÜ (kPa)	N ₃₀	ŞAH.DÜZ. E _R	TİJ DÜZ. C _R	KUYU ÇAPL. DÜZ. (C _B)	İÇ GÖMLEK DÜZ. (C _S)	N ₆₀	C _N =(kPa) (95.76 / σ' _v) ^{0.5}	(N ₁) ₆₀ N ₆₀ ·C _N	
1	SPT-1	1.75	2.00	-0.25	18.90	18.90	33.08	8	0.75	0.75	1.00	1.00	5	1.70	8
2	SPT-2	4.25	2.00	2.25	18.90	18.90	80.33	11	0.75	0.75	1.00	1.00	6	1.09	7
3	SPT-3	7.25	2.00	5.25	18.90	18.90	137.03	13	0.75	0.85	1.00	1.00	8	0.84	7
4	SPT-4	10.25	2.00	8.25	18.90	18.90	193.73	15	0.75	0.95	1.00	1.00	11	0.70	8
5	SPT-5	12.25	2.00	10.25	18.90	18.90	231.53	18	0.75	0.95	1.00	1.00	13	0.64	8
													SPT-(N ₁) ₆₀ ORTALAMA =	7.6	

Çalışma sahasındaki SK-174 sondaj kuyusunun SPT-N30 darbe adeti değerleri ve laboratuvar deney sonuçları dikkate alınarak Tokimatsu ve Yoshimi (1983) yöntemine göre yapılan hesaplama aşağıdaki şekildedir (Çizelge 7.25).

Çizelge 7.25 SK-174 Sondaj Kuyusunun Tokimatsu ve Yoshimi (1983) Yöntemine Göre Sıvılaşma Analizi

M =	7	Deprem Büyüklüğü																
a =	0.2	Deprem İvmesi																
SIVILAŞMA ANALİZİ																		
(Tokimatsu ve Yoshimi (1983) Yöntemine Göre)																		
Proje :																		
Kuyu No.	Derinlik (m)	ρ _n (g/cm ³)	ρ _d (g/cm ³)	Y.A.S.S.	σ _o (kgf/cm ²)	σ _o '(kgf/cm ²)	FC	ΔN _f	N _h	N ₁	N ₁₍₈₀₎	N _a	τ _d /σ _o '	τ _f /σ _o '	FS	Sıvılaşma		
SK-1	2.00	1.89	1.89	2.00	0.38	0.38	4	0.0	8	13	13	13	0.12	0.15	1.27	YOK		
"	4.00	1.89	1.89	2.00	0.76	0.56	4	11.5	7	9	9	21	0.15	0.26	1.72	YOK		
"	8.00	1.89	1.89	2.00	1.51	0.91	75.18	7.2	7	7	7	15	0.18	0.16	0.93	VAR		
"	11.00	1.89	1.89	2.00	2.08	1.18	31.68	7.0	8	7	7	14	0.18	0.16	0.91	VAR		
"	13.00	1.89	1.89	2.00	2.46	1.36	30.39	7.0	8	7	7	14	0.17	0.16	0.89	VAR		

SK-174 sondaj kuyusunun Tokimatsu ve Yoshimi (1983) yöntemine göre değerlendirilmesi neticesinde, çalışma alanında sıvılaşma riski tespit edilmiştir.

İnceleme alanında yapılan (SK-156 – SK-167 – SK-169 - SK-174 – SK-178 – SK-179 SK-181 – SK-183) sondaj çalışmalarında gözlenen alüvyon zeminlerde kum seviyesinin 4,50 ile 15,00 metre arasında değişen kalınlıklarda olduğu ve yer altı su seviyesinin yüzeye yakın belirlenmiştir. SK-156 ve SK-174 nolu sondaj kuyularından alınan numuneler ve SPT deneyleri baz alınarak Toikmatsu ve Yoshimi (1983) Yöntemi'ne göre yapılan Sıvılaşma Değerlendirmesinde muhtemel sıvılaşma riski belirlenmiştir.

Ayrıca inceleme alanında yapılan sismik çalışmalarda (V_{S3048} - V_{S3050}) kayma dalgası hızlarından elde edilen veriler neticesinde zemin sıvılaşması tayini **Şekil 7.8**'de belirtilen eşik ivme kriteri grafiği ve **Çizelge 7.26**'da verilen orta şiddetli ($M = 6$) bir depremin maksimum zemin ivme değeri (**0,36g**) baz alınarak hesaplanmıştır.

Buna göre; $F_a = 1,6 a_t / a_{max}$

a_t = sıvılaşmanın gerçekleşebilmesi için gerekli başlangıç (eşik) ivmesi,

a_{max} = depremin meydana getireceği maksimum yer ivmesidir.

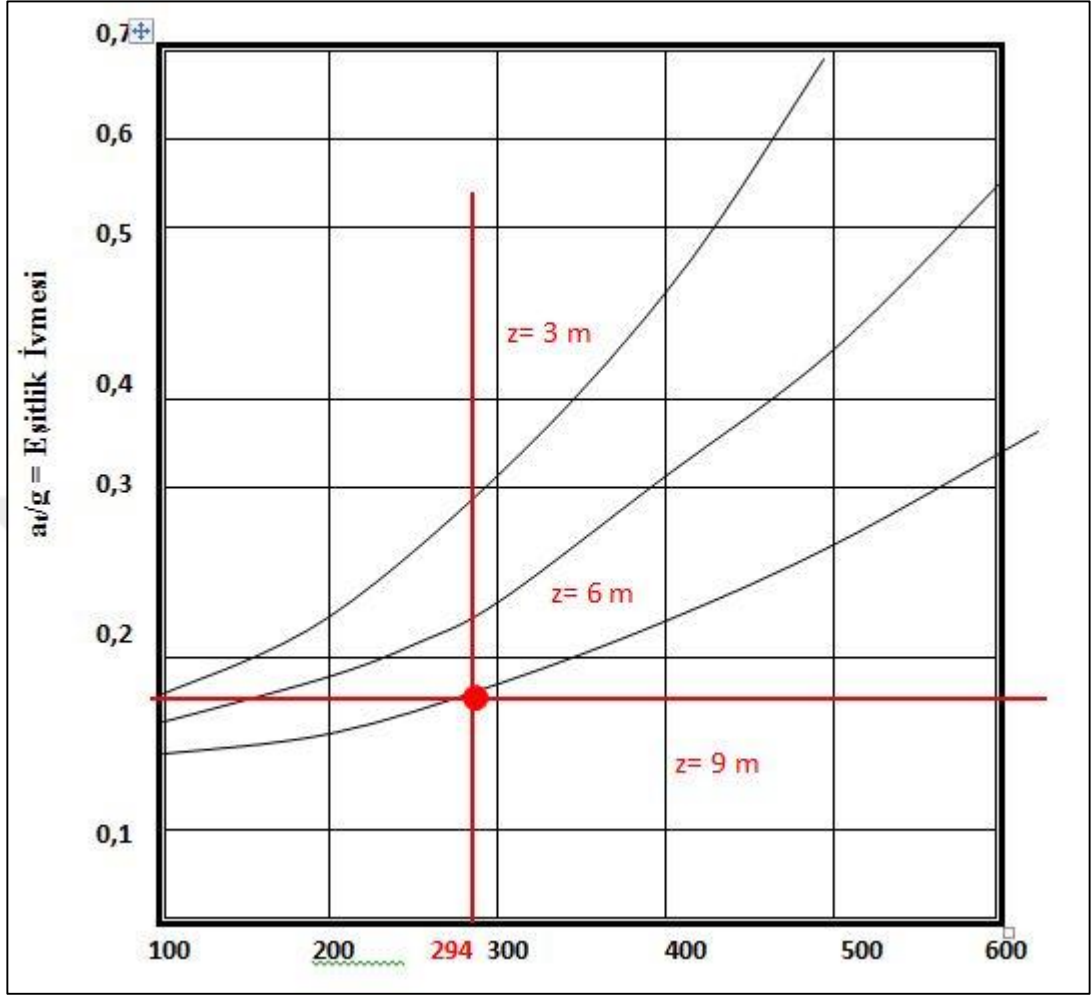
$F_a < 1$ ise sıvılaşma potansiyeli yüksek

$F_a \geq 1$ ise sıvılaşma potansiyeli düşük kabul edilir.

V_{S30} hızı 294 m/sn için; 9 m derinlikteki zemin tabakasının sıvılaşmasını sağlayacak eşik ivmesinin değeri verilen grafiğe göre $a_t = 0.18$ olarak tespit edilir. Orta şiddetli ($M = 6$) bir depremin maksimum zemin ivme değeri 0,36 g'dir (Schnabel ve ark., 1972). Buradan eşik ivme emniyet faktörü;

$$F_a = 1,6 * 0,18 / 0,36 = 0,80$$

$F_a = 0,80 < 1$ olduğundan sıvılaşma riski vardır.



Şekil 7.8 Zemin Sıvılaşması Tayini için Eşik İvme Kriteri Grafiği (Sismik Çalışmadan elde edilen V_{s30} hızlarına göre; 294 m/sn)

Çizelge 7.26 Episantr'dan Δ (km) uzaklıkta maksimum ivme

M	$\Delta = 10$ km		$\Delta = 20$ km	
	Housner [5]	<i>Schnabel vd.</i> [6]	Housner [5]	<i>Schnabel vd.</i> [6]
5	0,16	0,07	0,12	0,04
5,5	0,20	0,26	0,18	0,17
6	0,26	0,36	0,23	0,22
6,5	0,30	0,44	0,28	0,28
7	0,36	0,50	0,35	0,33
7,5	0,40	0,53	0,39	0,38
8	0,45	0,57	0,44	0,42

Vs30 hızı 234.60 m/sn için; 9 m derinlikteki zemin tabakasının sıvılaşmasını sağlayacak eşik ivmesinin değeri verilen grafiğe göre $a_t = 0.14$ olarak tespit edilir. Orta şiddetli ($M = 6$) bir depremin maksimum zemin ivme değeri 0,36 g'dir (Schnabel ve ark., 1972). Buradan eşik ivme emniyet faktörü (**Şekil 7.9** ve **Çizelge 7.27**);

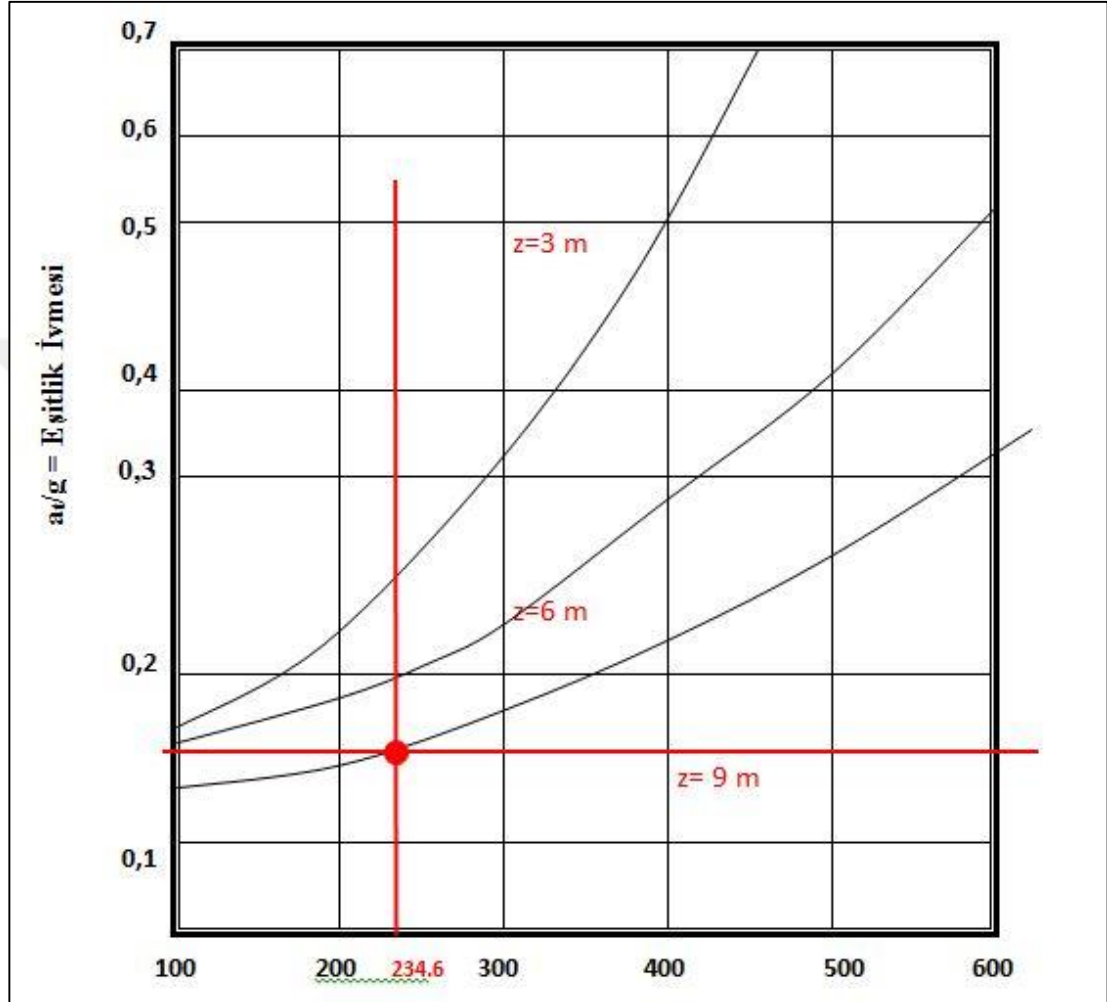
Buradan eşik ivme emniyet faktörü;

$$F_a = 1,6 * 0,14 / 0,36 = 0,62$$

$F_a = 0,62 < 1$ olduğundan **sıvılaşma riski vardır.**

Ayrıca inceleme alanında yapılan sismik çalışmalarda kayma dalgası hızlarından elde edilen veriler neticesinde zemin sıvılaşması tayini 48. No' lu Sismik çalışması için $F_a = 0.80$, 50. No' lu Sismik çalışması için ise $F_a = 0.62$ aralığında bulunmuş olup $F_a < 1$ olması nedeniyle ve gerek zemin durumu gerekse yer altı suyu içeriği açısından bu alanlar sıvılaşma riski taşımaktadır.

İnceleme alanında sismik kırılma yöntemine göre yapılan jeofizik çalışmalar neticesinde; zemin büyümesi ve hakim titreşim periyodları belirlenmiştir.



Şekil 7.9 Zemin Sıvılaşması Tayini için Eşik İvme Kriteri Grafiği (Sismik Çalışmadan elde edilen Vs30 hızlarına göre; 234.6 m/sn)

Çizelge 7.27 Episantr'dan Δ (km) uzaklıkta maksimum ivme.

M	$\Delta = 10$ km		$\Delta = 20$ km	
	Housner [5]	<i>Schnabel vd.</i> [6]	Housner [5]	<i>Schnabel vd.</i> [6]
5	0,16	0,07	0,12	0,04
5,5	0,20	0,26	0,18	0,17
6	0,26	0,36	0,23	0,22
6,5	0,30	0,44	0,28	0,28
7	0,36	0,50	0,35	0,33
7,5	0,40	0,53	0,39	0,38
8	0,45	0,57	0,44	0,42

7.8. Zemin büyütmesi

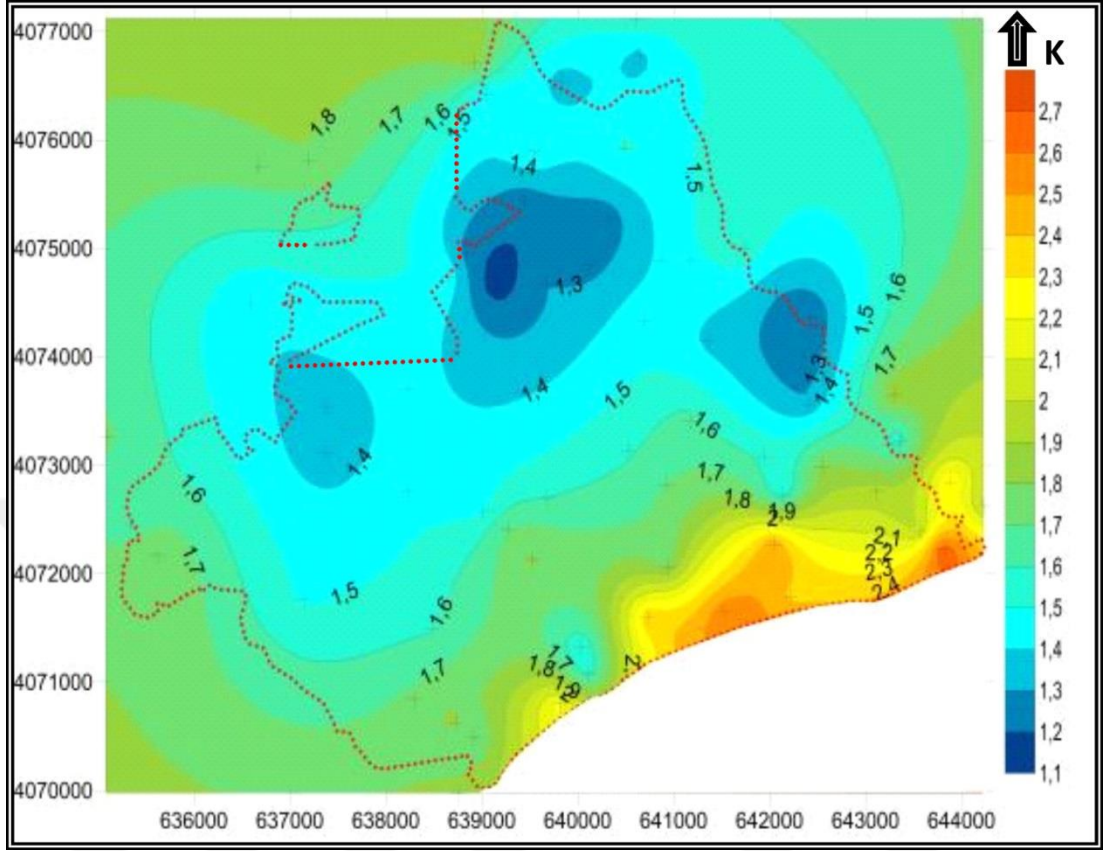
Zeminin gevşek, sıkı, sulu, gözenekli olmasına göre değişir. n ile gösterilir. Deprem şiddet artış kat sayısı olarak bilinir. Deprem şiddetini artıran fiziksel özelliklerden biridir. Zemin büyütme değeri Midorikawa(1987)'e göre hesaplanmıştır. Aşağıdaki formülde V_{S30} değerleri baz alınarak hesaplama yapılmıştır.

$$n=68*(V_{S30}^{-0,6})$$

İnceleme alanında yapılan 65 adet sismik çalışması sonucunda elde edilen zemin büyütmesi değeri $DI= 1.14 - 2.57$ aralığındadır. Bu değerlere göre tehlike düzeyi *A(düşük) – B(orta)* olarak bulunmuştur (Çizelge 7.28 ve Şekil 7.10).

Çizelge 7.28 Spektral Büyütmelere göre Mikrobölgeleme Ölçütleri (Ansal ve ark. 2004)

Spektral Büyütme	Tehlike Düzeyi
0,00 – 2,50	A (Düşük)
2,50 – 4,00	B (Orta)
4,00 – 6,00	C (Yüksek)



Şekil 7.10 İnceleme alanında yapılan 65 adet sismik çalışması sonucunda elde edilen zemin büyütmesi haritası

7.9. Zemin Hakim Titreşim Periyodu

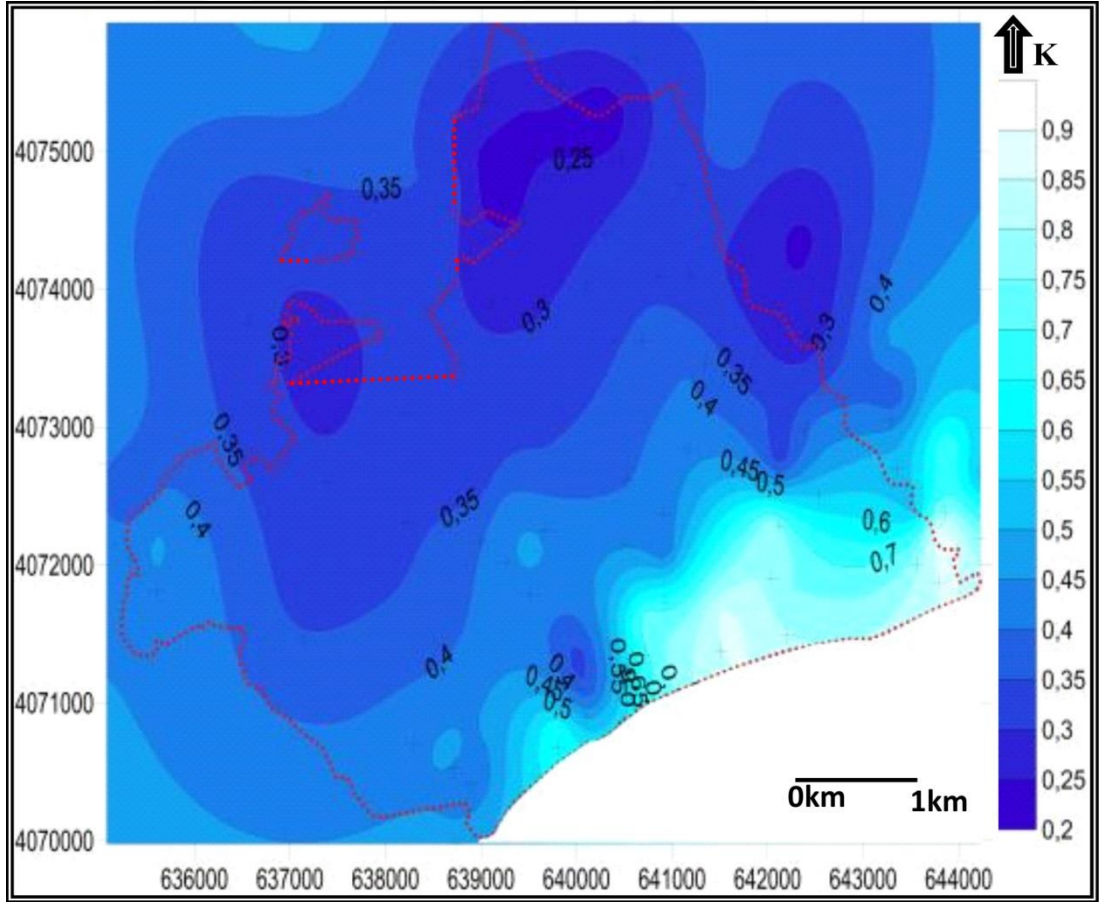
Zemin Hakim Titreşim Periyodu ile bina öz periyodunun rezonansa girmemesi için kullanılır. Kayaçlarda aldığı değer zeminlerde aldığı değerden düşüktür. T_0 ile gösterilir. 0 – 1 arasında değer alır. Bina yüksekliği hakkında bilgi verir. Birimi saniyedir. $T_0=4*((h1/Vs1)+(50-h1/Vs2)$ formülüyle hesaplanır. İnceleme alanında yapılan jeofizik çalışmalarda bu değer; 0,34 s. bulunmuştur.

İnceleme alanında yapılan 65 adet sismik çalışması sonucunda elde edilen zemin hakim titreşim periyodu değeri $T_0= 0.21 – 0.91$ sn aralığındadır.

Çalışma sahasında yapılan sismik çalışmalar sonucunda tüm binalar için *zeminin spektrum karakteristik periyotları* değeri TA=0,15 – 0,21 aralığında, TB=0,30 – 0.91 saniye aralığında bulunmuştur (Çizelge 7.29 ve Şekil 7.11).

Çizelge 7.29 Yerel Zemin Sınıfı

Yerel Zemin Sınıfı	TA(Saniye)	TB (Saniye)
Z1	0,1	0,3
Z2	0,15	0,4
Z3	0,15	0,6
Z4	0,2	0,9



Şekil 7.11 İnceleme alanında yapılan 65 adet sismi çalışması sonucunda elde edilen zemin hakim titreşim periyodu haritası

7.10. Kütle Hareketleri (Şev Duyarlılığı)

İnceleme alanının topoğrafik eğimi % 0-30 arasında deđiŐmekte olup st Miyosen - Pliyosen yaşlı Handere formasyonu ve Kuvaterner yaşlı Kaliş-Alüvyon birimleri jeolojisini oluşturmaktadır. Mevcut durum itibarı ile inceleme alanında heyelan kaya düŐmesi gibi stabilite sorunları beklenmemektedir. Ancak topoğrafik eğim ve ayrışmış malzeme kalınlığına bağlı olarak, inceleme alanında mevcut Őevlerde ve kazı Őevlerinde stabilite sorunlarıyla karŐılaŐılabileceđi düŐünülmektedir. Bu nedenle mevcut Őevlerin ve yapılaşma esnasında oluŐabilecek kazı Őevlerinin istinat yapıları ile desteklenmesi önerilir.

8. SONUÇLAR

Bu tez, Türkiye'nin Doğu Akdeniz Bölgesinde bulunan Mersin İlinin merkezinde yer alan, Batısında Mezitli ilçesi, doğusunda Akdeniz ilçesi, kuzey doğusunda Toroslar ilçesi bulunan Yenişehir İlçesi'nin Jeolojik-Geoteknik özelliklerinin belirlenmesi sonucunda yerleşime uygunluk değerlendirmesinin yapılması amacıyla hazırlanmıştır.

Çalışma kapsamında inceleme alanında ayrıntılı jeolojik, jeofizik ve geoteknik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu veriler kapsamında inceleme alanında yer alan litolojik birimlerin yanal ve düşey yöndeki dağılımları, elastik ve dinamik parametreleri, mühendislik özellikleri değerlendirilerek zemin ve kaya türlerinin geoteknik özellikleri belirlenmiştir.

- İnceleme alanı, Mersin ili, Yenişehir İlçesi, Yenişehir Belediyesi sınırları içerisinde yer alan hali hazır paftalarında 3750 hektar olarak belirlenen alanı kapsamaktadır.
- İnceleme alanının en düşük topografik kotu, güney sınırlarda deniz seviyesinden başlamaktadır. Kuzeye doğru genel bir yükselim gösteren topoğrafya sahanın kuzeydoğu sınırında 182 metrelere ulaşmaktadır.
- İnceleme alanında görülen jeolojik formasyonlar Karahamzaşağı formasyonu, Ofiyolitik Melanj, Gildirli formasyonu, Karaisalı formasyonu, Güvenç formasyonu, Kuzgun formasyonu, Handere formasyonu, Kalış, Alüvyon ve yamaç molozu şeklindedir.
- İnceleme alanı SPT verileri genelleştirilecek olursa, 0.00-5.00 m'ler arasında, N30 = 7-46 aralığında 5.00-10.00 m'ler arasında, N30 = 11-56 aralığında ve 10.00-15.00 m'ler arasında, N30 = 15-59 aralığında değerler almaktadır.

- İnceleme alanında üç jeolojik birim ayırtlanmıştır. Bunlar alttan üste doğru, Handere Formasyonu, Kaliş ve Alüvyondur.
- Çalışma alanında bulunan zeminler ince daneli zeminler olarak CH (yüksek plastisiteli kil), CI (orta plastisiteli kil), CL (düşük plastisiteli kil), SM (kumlu silt), SC (killi kum), SP (kötü derecelenmiş kum), SW (iyi derecelenmiş kum), GC (çakıllı kil), GM (çakıllı silt) ve kaba taneli olarak GW (iyi derecelenmiş çakıl), GP (kötü derecelenmiş çakıl) zemin sınıflarından oluşmaktadır.
- Jeofizik çalışmalar sonucunda Vs hızları birinci tabakada 146.00 m/sn–892.00 m/sn arasında, ikinci tabakada ise 236.00 m/sn–965.00 m/sn arasında, üçüncü tabakada ise 486.00 m/sn–558.00 m/sn olarak hesaplanmıştır.
- Zeminin litolojik tanımlaması, jeofizik hesaplamalar, sondaj ve laboratuvar verileriyle birlikte müşterek yorumlanmıştır. Bu verilere göre inceleme alanında B-C-D zemin grubları mevcuttur.
- İnceleme alanında çakıllı, kumlu kil birimi için; kıvamlılık indeksinde sert- yarı katı (çok sert) olarak, plastisite indeksine göre kuru dayanımı çok düşük- düşük-orta- yüksek- çok yüksek, plastisite derecesi plastik değil- az plastik- plastik- çok plastik olarak, sıkışma indeksi değerine göre düşük-orta-yüksek derecede sıkışabilir zeminler olarak belirlenmiştir.
- Kayma Modülüne göre birinci tabaka kaymaya karşı çok zayıf-zayıf-orta-sağlam-çok sağlam dirençli, ikinci tabaka kaymaya karşı zayıf-orta-sağlam-çok sağlam dirençli, üçüncü tabaka kaymaya karşı sağlam dirençlidir.
- Bulk Modülüne göre birinci tabaka sıkışmaya karşı çok az-az-orta-yüksek dayanımlı, ikinci tabaka sıkışmaya karşı az-orta-yüksek-çok yüksek dayanımlı, üçüncü tabaka sıkışmaya karşı yüksek-çok yüksek dayanımlıdır.

- Sismik dalga hızlarına göre birinci tabaka sükülebilirliğe karşı çok kolay-kolay-orta-zor yapıda, ikinci tabaka sükülebilirliğe karşı kolay-orta-zor-çok zor-son derece zor yapıda, üçüncü tabaka sükülebilirliğe karşı orta-zor- son derece zor yapıdadır.
- İnceleme alanındaki birimlerin Şişme aktivitesinin "Düşükten Çok Yüksek'e" kadar olduğu görölmektedir.
- Gerek kaya tipi gerekse zemin tipi birimler için yapılan taşıma gücü analizlerinde çalışma sahasının genel karakteri belirlenmiştir.
- Yapılan sıvılaşıma analizlerinde farklı büyüklükte ve farklı değerlerdeki yatay yer ivmelerinde inceleme sahasında sıvılaşımlar oluşacaktır.
- Çalışma sahasında yapılan sismik çalışmalar sonucunda tüm binalar için zeminin spekturum karakteristik periyotları değeri $T_A=0,15-0,21$ aralığında, $T_B=0,30-0,91$ saniye aralığında bulunmuştur.

KAYNAKLAR

- AIGM (2007) Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü.
- Ansal,A, Laue,J, Buchheister,J, Erdik,M, Springman,S, Studer,J, and Koksal,D (2004) "Site characterization and site amplification for a seismic microzonation study in Turkey" 11th Int. Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering and 3rd Earthquake Geotechnical Engineering, San Francisco.
- ASTM D 1586 (1999) Standard Test Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soils. American Society For Testing And Materials, 5p.
- Bailey, A.D. (1975) Rock types and seismic velocities versus rippability. Highway Geology Symposium, Proceedings, 26, 135-142.
- Bieniawski, Z. T. (1976) Rock mass classification in rock engineering. Proc. Symposium on Exploration for Rock Engineering, Johannesburg, Volume 1, pp97-106.
- Canadian Foundation Engineering Manual, CFEM, (1985) Canadian Geotechnical Society, Technical Committee on Foundations, BiTech Publishers, Richmond, B. C., 512 p.
- Chen, F.H.,(1975) Foundation on Expansive Soils, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 280p.
- Das, BM. (1983). FUNDAMENTAL OF SOIL DYNAMICS, Elsevier, NY.
- Deere, D. U. (1964) Technical description of rock cores for engineering purposes. Rock Mechanics and Engineering Geology. Volume 1, No:1, pp17-22.
- Deere, D. U. and Miller, R. P. (1966) Engineering classification and index properties for intact rock. Technical Report No. AFNL-TR-65-116, Air Force Weapons Laboratory, New Mexico.
- EC 8 (2004) Eurocode 8: design of structures for earthquake resistance Part 1: general rules, seismic actions and rules for buildings, European Norm. European Committee for Standardisation, European Committee for Standardisation Central Secretariat, rue de Stassart 36, B-1050 Brussels.
- Holtz, W. G. and Gibbs, H. J. (1956) Engineering properties of expansive clays: Transactions, ASCE 121, 641-677.

- İlker, S. (1975) Adana Baseni Kuzey – Batısının Jeolojisi ve Petrol Olanakları. 63 s, Ankara, (yayınlanmamış).
- Keçeli, A., (2012) Uygulamalı Jeofizik: Jeofizik Mühendisleri Odası Eğitim Yayınları No:18, 2. Baskı.
- MIDORIKAWA, S, (1987) Prediction of Isoseismal Map in the Kanto Plain due to Hypothetical Earthquake, Journal of Structural Engineering, Vol.33B, pp. 43-38 (in Japanese with English abstract)
- MTA (1993) Mersin ve dolayının genel jeolojisi. MTA raporu. 85 sayfa (yayınlanmamış).
- NEHRP, (2009) Recommended Seismic Provisions for New Buildings and Other Structures. FEMA 2009 Edition. Prepared for the Federal Emergency Management Agency of the U.S. Department of Homeland Security By the Building Seismic Safety Council of the National Institute of Building Sciences. 406p.
- Park, C. B., Miller, R. D., and Xia, J. (1999) Multichannel analysis of surface waves (MASW): Geophysics, 64, 800-808.
- Schmidt ,G.C. (1961), Stratigraphic Nomenclature for Adana Region Petroleum Didtrict.7th Petroleum Admins. Bull, 6, 47–63.
- Schnabel, P B., Lysmer, J., and Seed, H B. (1972), "SHAKE: A computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites," Report No. EERC 72-12, University of California, Berkeley, Calif., Earthquake Engineering Research Centre.
- Skempton, A.W., (1951) The bearing capacity of clays. Proceedings, Building Research Congress, London.
- Sowers G. F. (1979) Introductory Soil Mechanics and Foundations: Geotechnical Engineering, 4th Edition. Mc Millan, 150p.
- Stephenson W. J., J. N. Louie, S. Pullammanappallil, R. A. Williams and J. K. Odum (2005) Blind Shear-Wave Velocity Comparison of remi and masw Results with Boreholes to 200 m in Santa Clara Valley: Implications for Earthquake Ground-Motion Assessment. Bulletin of the Seismological Society of America. Vol. 95, No. 6, 2506-2516.

- Şekercioğlu, E. (2007) Yapıların projelendirilmesinde mühendislik jeolojisi. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını. 4. Baskı. 286 sayfa.
- Şenol, M., Şahin, Ş. ve Duman T.Y. (1998) Adana-Mersin dolayının jeoloji etüd raporu. M.T.A., Ankara, 46 s (yayımlanmamış).
- Tallavó F. , G. Cascante, M. Pandey (2009) Experimental and numerical analysis of MASW tests for detection of buried timber trestles. Soil Dynamics and Earthquake Engineering. Volume 29, Issue 1, 91–102.
- Telford W. M. (1976) Applied geophysics. Cambridge, En : Cambridge University Press. 275p.
- Terzaghi K. (1943) Theoretical Soil Mechanics, John Wiley & Sons, New York.
- Terzaghi, K. and Peck, R.B. (1948) Soil Mechanics in Engineering Practice, 1st Edition, John Wiley and Sons, New York.
- Tokimatsu K. and Yoshimine Y. (1983) Empirical Correlation of Soil Liquefaction based on SPT N-value and fines content. Soils and Foundations, JSSMFE, Vol. 21, No. 3, pp. 56-74.
- TS 1901 (1975) İnşaat mühendisliğinde sondaj yolları ile örselenmiş ve örselenmemiş numune alma yöntemleri. TSE, Türk Standardı, Nisan 1975, 88 sayfa.
- TS 5744 (1988) İnşaat mühendisliğinde temel zemini özelliklerinin yerinde ölçümü. TSE, Türk Standardı, Nisan 1988, 35 sayfa.
- UBC (1997) Uniform Building Code, International Conference of Building Officials. Whittier, California, USA.
- Ulusay, R. (2001) Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını. 5. Baskı. 458 sayfa.
- Ünlügenç, U.,C., Kelling, G. and Demirkol, C. (1990) Aspecets of Basin Evolution in the Neogene Adana Basin, SE Turkey. International Earth Science Congress on Aegean Regions. 1-6 Ocetber, İzmir-Turkey, p. 353-369.
- Xia, J., Miller, R. D., and Park, C. B. (1999) Estimation of near-surface velocity by inversion of Rayleigh wave, Geophysics, 64, 691-700.
- Yetiş, C., Demirkol, C. (1986) Adana Baseni Batı Kesiminin Detay Jeoloji Etüdü, M.T.A. Jeoloji Etütleri Dairesi, 187s.

Yılmaz I. ve Karaca E. (1998) Zeminlerin şişme özellikleri. Jeoloji Mühendisliği Dergisi. Sayı 52. 17-26.

