

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**İSTANBUL BÜYÜKÇEKMECE KÜÇÜKÇEKMECE GÖLLERİ ARASINDAKİ
KÜTLE HAREKETLERİNİN TÜRÜ VE MEKANİZMASININ İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Gökhan ŞANS

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeoloji Mühendisliği Programı

AĞUSTOS 2023

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**İSTANBUL BÜYÜKÇEKMECE KÜÇÜKÇEKMECE GÖLLERİ ARASINDAKİ
KÜTLE HAREKETLERİNİN TÜRÜ VE MEKANİZMASININ İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

**Gökhan ŞANS
(505042207)**

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeoloji Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Remzi KARAGÜZEL

AĞUSTOS 2023

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

**INVESTIGATION OF MASS MOVEMENTS TYPE AND MECHANISM
BEETWEEN İSTANBUL BÜYÜKÇEKMECE AND KÜÇÜKÇEKMECE LAKES**

Ph.D. THESIS

**Gökhan ŞANS
(505042207)**

Department of Geological Engineering

Geological Engineering Programme

Thesis Advisor: Prof. Dr. Remzi KARAGÜZEL

AUGUST 2023

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 505042207 numaralı Doktora Öğrencisi Gökhan ŞANS, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "İSTANBUL BÜYÜKÇEKMECE KÜÇÜKÇEKMECE GÖLLERİ ARASINDAKİ KÜTLE HAREKETLERİNİN TÜRÜ VE MEKANİZMASININ İNCELENMESİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Remzi KARAGÜZEL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Fahri ESENİ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Halil KUMSAR
Pamukkale Üniversitesi

Prof. Dr. Mahmut MUTLUTÜRK
Süleyman Demirel Üniversitesi

Doç. Dr. Yılmaz MAHMUTOĞLU
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 1 Haziran 2023
Savunma Tarihi : 24 Ağustos 2023



Dedem'in, Babam'ın ve Anneannem'in aziz hatıralarına ithafen,



ÖNSÖZ

Lisans bitirme çalışması, yüksek lisans öğrenimim ve doktora eğitimimim önemli bir kesimine ait uzun bir dönemde değerli katkı, bilgi ve yönlendirmelerini esirgemeyen ayrıca tezin kurgusu ve ilerlemesindeki teşvik ve destekleri için sayın hocam Prof. Dr. Mahir VARDAR' a en içten minnet duygularımı sunar, teşekkür ederim, ruhu şad olsun.

Tezimin sorumluluğunu üstlenip yöntem geliştirmeme yardımcı olan, daima yanımda öngörülerini ile yol gösteren, emek veren değerli danışman hocam sayın Prof. Dr. Remzi KARAGÜZEL' e en içten ve derinden teşekkürlerimi sunarım.

İnceleme alanında yapmış olduğu değerli çalışmalar ile yol gösteren; teori, literatür, ve arazi çalışmalarımın altyapısında bilgilerini esirgemeyen ve bana her konuda destek olan sayın hocam Doç. Dr. Yılmaz MAHMUTOĞLU' na teşekkürü bir borç bilirim. Tez izleme komisyonu değerli üyesi, sayın hocam Prof. Dr. Halil KUMSAR' a tezimin yönlendirilmesindeki değerli katkı ve görüşlerinden dolayı en derin teşekkürlerimi sunarım. Mühendislik Jeolojisi değerlendirmelerimde engin bilgisi ile her zaman yol gösteren sayın hocam Prof. Dr. Mahmut MUTLUTÜRK' e teşekkürü bir borç bilirim. Çalışma alanının jeolojisi ile ilgili arazi çalışmaları süresince yardımlarını esirgemeyen sayın Dr. Rahmi EYÜBOĞLU' na teşekkürlerimi sunarım. Akademik hayatımın bu dönemine kadar laboratuvarında geçirmekte olduğum süreçteki çalışmalarımda gösterdiği destekten dolayı sayın Yüksel İLGAR' a teşekkür ederim. Arazi ve laboratuvar deneylerinde beni destekleyen değerli arkadaşım Jeoloji Yük. Müh. Gülçin TÜRKKAN KARAOĞLU' na teşekkürlerimi sunarım. Heyelan Duyarlılık Analizleri' nin gerçekleştirilmesini sağlayan sayın Doç. Dr. Senem TEKİN' e teşekkürü bir borç bilirim. Değerli yorumları ve katkıları ile değerlendirmelerime boyut kazandıran sayın Prof. Dr. R. Fahri ESENLİ' ye en içten teşekkürlerimi sunarım. Bugüne ulaşmamda sonsuz emekleri geçen sevgili aileme, dedem Hüseyin ÖMÜR, babam Aykut ŞANS ve anneannem Adile ÖMÜR' ün aziz hatıralarını hürmet ile anar, annem Arife ŞANS, ve kardeşim Beyza ŞANS ATILKAN' a sabırları ve sevgileri için sonsuz minnettarlığımı belirtmek isterim. Bütün zorluklar boyunca üstlendiği fedakarlıkları, tez çalışma aşamalarındaki sonsuz sabrı ve özverisinden dolayı sevgili eşim Dr. Öğr. Üyesi Bala EKİNCİ ŞANS' a minnet ve teşekkürlerimi iletmek isterim. Biricik sevgili oğlum Tuna ŞANS, bu çalışmayı sana adıyorum; elinde tuttuğun meşale müspet ilim olsun!

Elbette, daima bana güvenen ve yardımcı olan tüm dostlarıma, arkadaşlarıma ve yakınlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2023

Gökhan ŞANS
(Jeoloji Yüksek Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR.....	xiii
SEMBOLLER	xv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xx
ÖZET	xxv
SUMMARY	xxix
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı, Kapsamı ve Çalışma Yöntemleri.....	2
1.2 Çalışma Alanının Tanıtılması.....	5
1.2.1 Coğrafi konum ve ulaşım.....	5
1.2.2 İstanbul yerleşiminin tarihsel yayılımı.....	7
1.2.3 İklim ve bitki örtüsü.....	8
1.3 Jeomorfoloji.....	11
1.3.1 Bölgesel jeomorfoloji.....	11
1.3.2 İnceleme alanının jeomorfolojisi.....	12
1.4 Ekonomi	18
2. GENEL JEOLJİ.....	21
2.1 Önceki Çalışmalar	21
2.2 Bölgesel Jeoloji	26
2.3 Çalışma Alanının Stratigrafisi	28
2.3.1 Kırklareli formasyonu (Ts)	30
2.3.2 Gürpınar formasyonu (Tg)	32
2.3.2.1 Çantaköy tuf üyesi (Tdç).....	35
2.3.3 Çukurçeşme formasyonu (Çf).....	37
2.3.4 Güngören formasyonu (Güf).....	40
2.3.5 Bakırköy formasyonu (Bf)	42
2.3.6 Plaj kumu (Qkm).....	43
2.3.7 Alüvyon (Qal)	44
2.3.8 Yapay dolgu (Qdl)	44
2.4 Yapısal Jeoloji	44
2.4.1 Tabakalar.....	45
2.4.2 Kıvrımlar	45
2.4.3 Çatlak sistemleri.....	46
2.4.4 Faylar	46
2.5 Çalışma Alanının Jeolojik Evrim	46
3. DEPREMSELLİK.....	49
3.1 Tarihsel Depremsellik	50
3.2 Mevcut Bulgulara Göre Aktif Fay Hatları ve Deprem Tehlike Olasılıkları.....	51

3.3 İvme ve Hız Değerleri	53
3.4 17 Ağustos 1999 Depremi' nin Avcılar' daki Etkileri	56
4. HİDROLOJİ VE HİDROJEOLJİ.....	57
4.1 Meteorolojik Özellikler	57
4.2 Hidroloji	58
4.2.1 Akarsular	60
4.2.2 Kaynaklar	60
4.2.3 Kuyular.....	61
4.2.4 Göl ve barajlar.....	61
4.2.5 Bataklıklar ve taşkın alanları.....	61
4.3 Hidrojeoloji.....	62
4.3.1 Litolojik birimlerin hidrojeolojik özellikleri	62
4.3.2 Yeraltısu dinamiği	64
4.3.3 Su kimyası.....	65
5.MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ	67
5.1 İnceleme Alanı Litolojisinin Yöresel Özellikleri	68
5.1.1 Gürpınar formasyonu (çakıllı-silt-kum araseviyeli, fissürlü plastik kil)... 68	
5.1.1.1 Gürpınar formasyonu (Çantaköy tüfiti ve killerin) X-ışınları difraksiyonu	71
5.1.2 Çukurçeşme formasyonu (çakıl taneli ve araseviyeli, killi siltli kum).....	75
5.1.3 Güngören formasyonu (yerel kumlu, marn araseviyeli siltli kil)	77
5.1.4 Bakırköy formasyonu (kil-marn araseviyeli mactralı kireçtaşı)	79
5.1.5 Gölsel alüvyon.....	80
5.1.6 Alüvyon.....	81
5.1.7 Dolgu ve atık malzeme.....	81
5.2 Birimlerin Mühendislik Özellikleri	81
5.3 Arazi ve Laboratuvar Deneyleri	98
5.4 Kohezyonlu Zeminlerde Şişme Oranının Belirlenmesi.....	133
5.5 Şişme Yüzdesinin Likit Limit ve Su İçeriği ile Değerlendirilmesi	138
6. KÜTLE HAREKETİ TÜRLERİ	143
6.1 Kütle Hareketlerinin Oluşum Süreçleri	143
6.2 Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Büyükçekmece Küçükçekmece Gölleri Arasının Kütle Hareketleri Duyarlılık Değerlendirmesi.....	147
6.3 Kütle Hareketlerinin Çalışma Alanındaki Dağılımı ve Özellikleri	157
7. MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ MODELİ VE SAYISAL ANALİZLER	159
7.1 Mühendislik Jeolojisi Modeli	160
7.2 Sayısal Model Parametrelerinin Seçimi	160
7.3 Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Yapılan Duraylılık Analizleri	172
7.3.1 Kemerdere Yamacı (Model No 1).....	172
7.3.2 Çukurlar Yamacı (Model No 2)	174
7.3.3 Pınartepe Yamacı (Model No 3)	176
7.3.4 Pekmez Yamacı (Model No 4).....	178
7.3.5 Gölyaka Yamacı (Model No 5).....	180
7.3.6 Fener Yamacı (Model No 6)	182
7.4 FEM Analizi Sonuçlarının Krip Teorisi ile Açıklanması.....	186
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	195
KAYNAKLAR.....	199
ÖZGEÇMİŞ.....	209

KISALTMALAR

K	: Kuzey
B	: Batı
D	: Doğu
G	: Güney
M.Ö.	: Milattan Önce
M.S.	: Milattan Sonra
y.y.	: Yüzyıl
İ.B.B.	: İstanbul Büyükşehir Belediyesi
M.T.A.	: Maden Tetkik Arama
C.B.S.	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
K.A.F.	: Kuzey Anadolu Fayı
AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetimi
UTM	: Universal Transverse Mercator
XRD	: X-ışınları Difraksiyonu
SPT	: Standart Penetrasyon Deneyi
SPT-N	: Standart Penetrasyon Darbe Sayısı
T.E.M.	: Trans-European Motorway
E-5	: Eski Ankara-İstanbul Karayolu
TCR	: Toplam Karot Oranı
SCR	: Tam Çaplı Karot Oranı
PMT	: Pressiyometre Deneyi
E	: Elastisite (Young) Modülü
DPT	: Dinamik Penetrasyon Deneyi
TPI	: Topografik Nemlilik İndeksi
2B	: İki Boyutlu
R.Q.D.	: Kaya Kalite Tayini
YAS	: Yeraltısuyu Seviyeleri
GS	: Güvenlik Sayısı
FEM	: Sonlu Elemanlar Yöntemi
SRF	: Dayanım Azaltma Faktörü



SEMBOLLER

Ms	: Yüzey Dalgası Büyüklüğü
$\gamma_n, \gamma_k, \gamma_d$	: Doğal, kuru, doygun birim hacim ağırlığı
w_n	: Doğal su içeriği
LL, PL	: Likit limit, plastik limit
K	: Permeabilite
mv	: Hacimsel sıkışma katsayısı
τ	: Kesme gerilmesi
c	: Kohezyon
σ	: Serbest basınç gerilmesi
ϕ	: İçsel sürtünme katsayısı
E	: Elastisite modülü
I_p	: Plastisite İndisi
I_L	: Likidite indisi
σ_θ	: Üç eksenli basınç dayanımı
τ_θ	: Teğetsel kayma dayanımı
Lm	: Derinlik
H	: Kalınlık
DL	: Derine doğru hareket vektöründeki değişim



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.2 : İnceleme alanına ait İstanbul için Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün 1931-2021 yılları arası Florya gözlem istasyonu ortalama meteorolojik veriler.....	10
Çizelge 3.1 : Marmara bölgesinde 30, 10 ve 1 yıllık süreler içinde beklenen ve büyüklüğü 7 ve 7' den büyük olabilecek depremin verilen zaman aralıklarında gerçekleşme olasılıkları (Parsons ve diğ., 2000).	52
Çizelge 3.2 : Marmara bölgesinde 30, 10 ve 1 yıllık süreler içinde beklenen ve büyüklüğü 7 ve 7' den büyük olabilecek depremlerin verilen zaman aralıklarında gerçekleşme olasılıkları (Parsons ve diğ., 2000)..	53
Çizelge3.3 : İstanbul ve çevresinde tarihsel ve aletsel deprem büyüklükleri ve sayıları.	54
Çizelge 3.4 : İstanbul ve çevresinde Gutenberg-Richter deprem ilişkisine göre deprem büyüklüğü ve yıl bazında tekrarlama aralığı.....	55
Çizelge 3.5 : İstanbul ve çevresinde deprem gerçekleşme olasılığı.	55
Çizelge 4.1 : Florya Penman su bilançosu değerleri.....	59
Çizelge 4.2 : Zemin sondajlarından alınan yeraltısuyu örneklerinin kimyasal özellikleri (Merka, 2002)..	66
Çizelge 5.1 : Gürpınar formasyonu kil ve silt ağırlıklı seviyelerin karakteristik özellikleri	70
Çizelge 5.2 : Çantaköy tüfitine ait örneklerin X-ışınları difraksiyon analizi ile belirlenmiş mineral bileşimi ve minerallerin tahmini çokluk oranları (+).....	72
Çizelge 5.3 : Çukurçeşme formasyonu kum-çakıllı kum-çakıl ve silt ağırlıklı seviyelerin karakteristik özellikleri.....	76
Çizelge 5.4 : Güngören formasyonu kil ve silt ağırlıklı seviyelerin karakteristik özellikleri....	78
Çizelge 5.5 : Bakırköy formasyonu kireçtaşı-marn-marn kil ve kil ağırlıklı seviyelerin karakteristik özellikleri....	80
Çizelge 5.6 : Avcılar-Esenyurt Bölgesi'nde açılmış önemli zemin araştırma sondajları.....	83
Çizelge 5.7 : Avcılar-Esenyurt (1. Bölge) Bölgesi'nde açılmış bulunan önemli zemin sondajlarının koordinatları ve teknik özellikleri	100
Çizelge 5.8 : Avcılar-Esenyurt Bölgesi'nden alınan örneklerde yapılan "Toplam Karot Yüzdesi (TCR)" ölçümlerinin formasyonlara göre istatistiksel dağılımı.	101
Çizelge 5.9 : Avcılar-Esenyurt Bölgesi'nden alınan örneklerde yapılan "Sağlam Karot Yüzdesi (SCR)" ölçümlerinin formasyonlara göre istatistiksel dağılımı	101

Çizelge 5.10 : Avcılar-Esenyurt Bölgesi'nden alınan örneklerde yapılan "Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)" ölçümlerinin formasyonlara göre dağılımı	102
Çizelge 5.11 : Avcılar-Esenyurt Bölgesi'nden alınan örneklerde yapılan "Dinamik Penetrasyon Deneyi (DPT)" ölçümlerinin formasyonlara göre dağılımı	102
Çizelge 5.12 : Avcılar-Esenyurt Bölgesi'nden alınan örneklerde yapılan "Presiyometre Deneylerine (PMT)" ait verilerden sağlanan "Deformasyon Modülü" değerlerinin formasyonlara göre istatistiksel dağılımı	103
Çizelge 5.13 : Avcılar-Esenyurt Bölgesi'nden alınan örneklerde yapılan "Presiyometre Deneylerine (PMT)" ait verilerden sağlanan "Limit Basınç σ_1 " değerlerinin formasyonlara göre istatistiksel dağılımı	104
Çizelge 5.14 : Avcılar-Esenyurt Bölgesi'nde açılmış araştırma çukurları içinde yapılan" ölçümlerinin formasyonlara göre istatistiksel "Veyn Deneyi" verilerinin formasyonlara göre istatistiksel dağılımı	104
Çizelge 5.15 : Avcılar-Esenyurt Bölgesi'nde örnek sayısı kısıtlı olan formasyonların Fiziksel Özellikleri' ne ait veriler göre istatistiksel dağılımı	105
Çizelge 5.16 : Avcılar-Esenyurt Bölgesi'nde Bakırköy formasyonunu oluşturan birimlerin Fiziksel Özellikleri' nin istatistiksel dağılımı	106
Çizelge 5.17 : Avcılar-Esenyurt b Bölgesi'nde Güngören formasyonunu oluşturan birimlerin Fiziksel Özellikleri' nin istatistiksel dağılımı	107
Çizelge 5.18 : Avcılar-Esenyurt Bölgesi'nde Çukurçeşme formasyonunu oluşturan birimlerin Fiziksel Özellikleri' nin istatistiksel dağılımı	108
Çizelge 5.19 : Avcılar-Esenyurt Bölgesi'nde Gürpınar formasyonunu oluşturan birimlerin Fiziksel Özellikleri' nin istatistiksel dağılımı	110
Çizelge 5.20 : Avcılar-Esenyurt Bölgesi'nde Bakırköy formasyonunu oluşturan birimlerin Mekanik Özellikleri' nin istatistiksel dağılımı	111
Çizelge 5.21 : Avcılar-Esenyurt Bölgesi'nde Güngören formasyonunu oluşturan birimlerin Mekanik Özellikleri' nin istatistiksel dağılımı	112
Çizelge 5.22 : Avcılar-Esenyurt Bölgesi'nde Çukurçeşme formasyonunu oluşturan birimlerin Mekanik Özellikleri' nin istatistiksel dağılımı	113
Çizelge 5.23 : Avcılar-Esenyurt Bölgesi'nde Gürpınar formasyonunu oluşturan birimlerin Mekanik Özellikleri' nin istatistiksel dağılımı	114
Çizelge 5.24 : Yakuplu-Kavaklı Bölgesi'nde açılmış bulunan bir grup zemin sondajının teknik özellikleri ve yapılan deneyler	115
Çizelge 5.25 : Yakuplu-Kavaklı Bölgesi'nde Bakırköy formasyonunu oluşturan birimlerin Fiziksel Özellikleri' nin istatistiksel dağılımı	116
Çizelge 5.26 : Yakuplu-Kavaklı Bölgesi'nde Güngören formasyonunu oluşturan birimlerin Fiziksel Özellikleri' nin istatistiksel dağılımı	118
Çizelge 5.27 : Yakuplu-Kavaklı Bölgesi'nde Çukurçeşme formasyonunu oluşturan birimlerin Fiziksel Özellikleri' nin istatistiksel dağılımı	119
Çizelge 5.28 : Yakuplu-Kavaklı Bölgesi'nde Gürpınar formasyonunu oluşturan birimlerin Fiziksel Özellikleri' nin istatistiksel dağılımı	121
Çizelge 5.29 : Yakuplu-Kavaklı Bölgesi'nde Bakırköy formasyonunu oluşturan birimlerin Mekanik Özellikleri' nin istatistiksel dağılımı	123
Çizelge 5.30 : Yakuplu-Kavaklı Bölgesi'nde Güngören formasyonunu oluşturan birimlerin Mekanik Özellikleri' nin istatistiksel dağılımı	123
Çizelge 5.31 : Yakuplu-Kavaklı Bölgesi'nde Çukurçeşme formasyonunu oluşturan birimlerin Mekanik Özellikleri' nin istatistiksel dağılımı	124

Çizelge 5.32 : Yakuplu-Kavaklı Bölgesi'nde Gürpınar formasyonunu oluşturan birimlerin Mekanik Özellikleri' nin istatistiksel dağılımı	125
Çizelge 5.33 : Gürpınar-Büyükçekmece (3. Bölge) Bölgesi'nde açılmış bulunan diğer bir grup zemin sondajının konumları ve teknik özellikleri.....	126
Çizelge 5.34 : Gürpınar-Büyükçekmece Bölgesi'nde Bakırköy formasyonunu oluşturan birimlerin Fiziksel Özellikleri' nin istatistiksel dağılımı	127
Çizelge 5.35 : Gürpınar-Büyükçekmece Bölgesi'nde Güngören formasyonunu oluşturan birimlerin Fiziksel Özellikleri' nin istatistiksel dağılımı	128
Çizelge 5.36 : Gürpınar-Büyükçekmece Bölgesi'nde Çukurçeşme formasyonunu oluşturan birimlerin Fiziksel Özellikleri' nin istatistiksel dağılımı	129
Çizelge 5.37 : Gürpınar-Büyükçekmece Bölgesi'nde Gürpınar formasyonunu oluşturan birimlerin Fiziksel Özellikleri' nin istatistiksel dağılımı	130
Çizelge 5.38 : Gürpınar-Büyükçekmece Bölgesi'nde Bakırköy formasyonunu oluşturan birimlerin Mekanik Özellikleri' nin istatistiksel dağılımı ..	131
Çizelge 5.39 : Gürpınar-Büyükçekmece Bölgesi'nde Güngören formasyonunu oluşturan birimlerin Mekanik Özellikleri' nin istatistiksel dağılımı ..	131
Çizelge 5.40 : Gürpınar-Büyükçekmece Bölgesi'nde Çukurçeşme formasyonunu oluşturan birimlerin Mekanik Özellikleri' nin istatistiksel dağılımı ..	132
Çizelge 5.41 : Gürpınar-Büyükçekmece Bölgesi'nde Gürpınar formasyonunu oluşturan birimlerin Mekanik Özellikleri' nin istatistiksel dağılımı ..	132
Çizelge 5.42 : Zeminlerin şişme potansiyeli sınıflandırmaları.....	135
Çizelge 5.43 : Zeminlerin şişme indeks sınıflandırması (ASTM D4829).....	136
Çizelge 5.44 : Zeminlerin şişme derecesi sınıflandırması (ACPA, 2008).....	136
Çizelge 5.45 : Büyükçekmece Küçükçekmece gölleri arasında yüzeylenen birimlerin şişme değerleri.	141
Çizelge 5.46 : Büyükçekmece Küçükçekmece gölleri arasında yüzeylenen birimlerin şişme değerlerinin tanımı.	142
Çizelge 7.1 : Gürpınar Formasyonu'ndan alınan sondaj numuneleri üzerinde yapılan üç eksenli deney sonuçları (TÜBİTAK, 2016).....	161
Çizelge 7.2 : Gürpınar Formasyonu'ndan alınan sondaj numuneleri üzerinde yapılan direkt kesme deney sonuçları (TÜBİTAK, 2016)	162
Çizelge 7.3 : Gölyaka lokasyonunda yapılan sondajlar ve alınan örnekler üzerinde yapılan kesme deneyi sonuçları (Mavi Girişim, 2020).....	163
Çizelge 7.4 : Fener lokasyonunda yapılan sondajlar ve alınan örnekler üzerinde yapılan kesme deneyi sonuçları (Esay, 2018).....	165
Çizelge 7.5 : Sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan analizlerde kullanılan sayısal kesitlere ait model katmanları için seçilen jeomekanik parametreler.	171
Çizelge 7.6 : Kütle hareketlerinin hızlarına göre sınıflandırması (Varnes,1978 ve WP/WLI 1995) ve çalışma sahasına ait izleme bilgileri.....	185
Çizelge 7.7 : Farklı araştırmacılara göre ölçülmüş krip hızları	186
Çizelge 7.8 : Model kesitler için elde edilen kritik SRF, hareketli zon kalınlığı (H) ve derine doğru hareket vektöründeki değişim (DL).....	192



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : İstanbul ilinin ve çalışma alanının yer bulduru haritası..	6
Şekil 1.2: İnceleme alanının sayısal yükseklik haritası..	14
Şekil 2.1 : İstanbul' un Jeoloji Haritası (İBB, 2011).....	27
Şekil 2.2 : Çalışma alanına ait jeoloji haritası ve B-D doğrultulu jeolojik kesiti.....	29
Şekil 2.3 : Çalışma alanındaki litolojilerin genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesiti (ölçeksiz).	31
Şekil 2.4 : İnceleme alanında Kırklareli formasyonunun görünümü.....	32
Şekil 2.5 : İnceleme alanında Gürpınar formasyonunun görünümü.....	34
Şekil 2.6 : İnceleme alanında Çantaköy tüf üyesinin görünümü	36
Şekil 2.7 : İnceleme alanında Çukurçeşme formasyonuna ait tipik çapraz tabakalanma seviyeleri.	38
Şekil 2.8 : İnceleme alanında kazıda ortaya çıkan Güngören formasyonu seviyeleri	41
Şekil 2.9 : Avcılar' da fore-kazık uygulamasının yapıldığı Bakırköy formasyonundan görünüm ...	42
Şekil 3.1 : Marmara Bölgesi' nde tarihsel ve aletsel dönemi kapsayan, büyüklüğü 6.0 ile daha üstü depremlerin episantır dağılımları (Ambraseys ve Finkel, 1991' den sadeleştirilmiştir).....	50
Şekil 3.2 : Marmara deniz tabanının Kuzey Marmara Fayı' nın batimetri ve yapısal modeli (Le Pichon ve diğ., 2001' den sadeleştirilmiştir)..	51
Şekil 3.3 : Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası' na göre Büyükçekmece kıyı kesimleri birinci derece deprem bölgesindedir.	52
Şekil 5.1 : Çantaköy tüfitine ait BKL-1 örneğinin X-ışınları paterni.	72
Şekil 5.2 : Çantaköy tüfitine ait BKL-2 örneğinin X-ışınları paterni	73
Şekil 5.3 : Çantaköy tüfitine ait BKL-3 örneğinin X-ışınları paterni	73
Şekil 5.4 : Çantaköy tüfitine ait BKL-4 örneğinin X-ışınları paterni	74
Şekil 5.5 : Bakırköy ve Güngören formasyonlarının Marn TCR % dağılımı.....	84
Şekil 5.6 : Bakırköy ve Güngören formasyonlarının Kil TCR % dağılımı	84
Şekil 5.7 : Bakırköy ve Güngören formasyonlarının Silt TCR % dağılımı.....	85
Şekil 5.8 : Bakırköy ve Güngören formasyonlarının Silt SCR % dağılımı.	85
Şekil 5.9 : Bakırköy ve Güngören formasyonlarının Kil SCR % dağılımı.	86
Şekil 5.10 : Bakırköy ve Güngören formasyonlarının Marn SPT dağılımı.....	86
Şekil 5.11 : Bakırköy, Güngören ve Gürpınar formasyonlarının Kil SPT dağılımı..	87
Şekil 5.12 : Güngören, Çukurçeşme ve Gürpınar formasyonlarının Silt SPT dağılımı	87
Şekil 5.13 : Güngören ve Çukurçeşme formasyonlarının Kum DPT dağılımı.....	88
Şekil 5.14 : Güngören ve Gürpınar formasyonlarının Kil E dağılımı	88
Şekil 5.15 : Güngören ve Gürpınar formasyonlarının PL değerleri... ..	89
Şekil 5.16 : Güngören ve Çukurçeşme formasyonlarının Kum Veyn değerleri.....	89
Şekil 5.17 : Güngören ve Çukurçeşme formasyonlarının Kil Veyn değerleri.....	90
Şekil 5.18 : Bakırköy ve Güngören formasyonlarının Marn-Kil w yüzde dağılımı..	90

Şekil 5.19 : Bakırköy ve Çukurçeşme formasyonlarının Kum w % dağılımları	91
Şekil 5.20 : Güngören, Çukurçeşme ve Gürpınar formasyonlarının Silt w % dağılımları.	91
Şekil 5.21 : Güngören, Çukurçeşme ve Gürpınar formasyonlarının Kum w % dağılımları.	92
Şekil 5.22 : Bakırköy, Güngören ve Çukurçeşme formasyonlarının Siltli Kum w % dağılımları	93
Şekil 5.23 : Bakırköy, Güngören, Çukurçeşme ve Gürpınar formasyonlarının Kil w % dağılımları	94
Şekil 5.24 : Güngören ve Çukurçeşme formasyonlarının Kum doğal birim hacim ağırlık değerleri	94
Şekil 5.25 : Güngören, Çukurçeşme ve Gürpınar formasyonlarının Silt doğal birim hacim ağırlık değerleri.....	95
Şekil 5.26 : Bakırköy, Güngören ve Gürpınar formasyonlarının Kil doğal birim hacim ağırlık değerleri	96
Şekil 5.27 : Güngören, Çukurçeşme ve Gürpınar formasyonlarının Silt LL % dağılımları....	96
Şekil 5.28 : Bakırköy, Güngören ve Gürpınar formasyonlarının Siltli Kil LL % dağılımları.	97
Şekil 5.29 : Güngören, Çukurçeşme ve Gürpınar formasyonlarının Kil LL % dağılımları.	98
Şekil 5.30 : Şişme potansiyelinin zemin özellikleri ile ilişkisi (Das, 1999).	137
Şekil 5.31 : Plastisite indisi, kil yüzdesi, şişme potansiyeli ilişkisi (Basma, 1993)	137
Şekil 5.32 : Serbest şişme potansiyelinin doğal su içeriği ve likit limit değerleri ile ilişkisi (Vijayvergiya ve Ghazzaly, 1973).....	138
Şekil 5.33 : Likit limit % 40 değeri için doğal su içeriği ve şişme potansiyeli arasındaki ilişki.	139
Şekil 5.34 : Likit limit % 40 değeri için doğal su içeriği ve şişme potansiyeli arasındaki yarı logaritmik ilişki	139
Şekil 5.35 : Likit limit değerleri için doğal su içeriği ve şişme potansiyeli arasındaki ilişkiye bağlı N değerleri ilişkisi	140
Şekil 6.1 : Büyükçekmece dolayında Gürpınar formasyonunda gelişen bir heyelan topografyası.	144
Şekil 6.2 : Beylikdüzü Çukurlar heyelan alanının göllenme bölgesi.....	145
Şekil 6.3 : Ambarlı Mahallesi, Badem Sokak, 2004 tarihli kütle hareketine bağlı deformasyonlar	146
Şekil 6.4 : Küçükçekmece Gölü batı yamaçlarındaki sığ hareketlerin izlerini taşıyan ondülasyonlu morfoloji ve lokal suya doymuş kesimleri belirten bitki örtüsü	146
Şekil 6.5 : Kütle Hareketleri Hassasiyet Değerlendirmesine Yönelik Yapay Sinir Ağı Mimarisi (Tanrıverdi, B. ve diğ. 2021)' den düzenlenmiştir.	148
Şekil 6.6 : Kütle Hareketi Duyarlılık Modeli Algoritma Öğrenme Aşaması Değerleri.	149
Şekil 6.7 : Sayısal yükseklik modeli ve çalışma alanına ait heyelan envanter haritası MTA (2005)' dan faydalanılmıştır	150
Şekil 6.8 : Çalışma alanının sayısal yükseklik modeli.....	151
Şekil 6.9 : Çalışma alanına ait yamaç eğimi (a), Yamaç Eğriselliği (b), Topoğrafik Nemlilik İndeksi (TWI) (c), Pürüzlülük İndeksi (d) Modelleri.....	153
Şekil 6.10 : Kütle hareketleri duyarlılık değerlendirme modeli.....	154
Şekil 6.11 : Alıcı işletim karakteristik eğrileri.....	156

Şekil 6.12 : Kütle Hareketi Duyarlılık Modeli hata histogramı (a), model performansı (b).	156
Şekil 6.13 : Beylikdüzü Çukurlar heyelan alanının taç bölgesindeki dolgu çalışmaları (2010)	157
Şekil 7.1 : Pekmez bölgesinde paleoheyelan malzemesi yığını içindeki yüzen köksüz bloklar.....	159
Şekil 7.2 : 2 boyutlu sonlu elemanlar analizi için seçilen kesit hatları ve numaraları	160
Şekil 7.3 : Gölyaka ve Fener bölgelerine ait SPT N30 değerlerinin derinlik ile dağılımları	168
Şekil 7.4 : Gürpınar formasyonu plastisite kartı.....	169
Şekil 7.5 : Sayısal analizlerde kullanılan ve altı farklı bölgeye karşılık gelen iki boyutlu numaralandırılmış mühendislik jeolojisi modelleri ve yararlanılan sondaj noktaları.....	170
Şekil 7.6 : Kemerdere bölgesindeki yamacın depremsiz durumdaki FEM analizi sonuçları	173
Şekil 7.7 : Kemerdere bölgesindeki yamacın depremlı durumdaki FEM analizi sonuçları..	173
Şekil 7.8 : Kemerdere bölgesindeki hesap modelinden geçen inklinometre ölçümleri	174
Şekil 7.9 : Çukurlar bölgesindeki yamacın depremsiz durumdaki FEM analizi sonuçları....	175
Şekil 7.10 : Çukurlar bölgesindeki yamacın depremlı durumdaki FEM analizi sonuçları.	175
Şekil 7.11 : Çukurlar bölgesindeki hesap kesitinden geçen inklinometre okumaları.	176
Şekil 7.12 : Pınartepe bölgesindeki yamacın depremsiz durumdaki FEM analizi sonuçları.	177
Şekil 7.13 : Pınartepe bölgesindeki yamacın depremlı durumdaki FEM analizi sonuçları..	177
Şekil 7.14 : Pınartepe bölgesindeki hesap kesitinden geçen inklinometre sonuçları.	178
Şekil 7.15 : Pekmez bölgesindeki yamacın depremsiz durumdaki FEM analizi sonuçları.	179
Şekil 7.16 : Pekmez bölgesindeki yamacın depremlı durumdaki FEM analizi sonuçları.	179
Şekil 7.17 : Pekmez bölgesinde analiz edilen model kesit hattına yakın inklinometre kuyularında zamana bağlı profil değişimleri (A+ güneyi, B+ yönü ise batıyı göstermektedir) (Geomak, 2020).	180
Şekil 7.18 : Gölyaka bölgesindeki yamacın depremsiz durumdaki FEM analizi sonuçları.	181
Şekil 7.19 : Gölyaka bölgesindeki yamacın depremlı durumdaki FEM analizi sonuçları.	181
Şekil 7.20 : Gölyaka bölgesindeki hesap kesitinden geçen inklinometre okumaları.	182
Şekil 7.21 : Fener bölgesindeki yamacın depremsiz durumdaki FEM analizi sonuçları.	183
Şekil 7.22 : Fener bölgesindeki yamacın depremlı duruma karşılık gelen FEM analizi sonuçları.	183
Şekil 7.23 : Fener bölgesindeki hesap kesitinden geçen inklinometre sonuçları. ...	184

- Şekil 7.24** : a) Zemin parçacığının (danesinin) teorik hareketi (Davison, 1889); b) Zemin parçacığının (danesinin) gerçek hareketi (Davison, 1889); c) Davison teorisine göre tahmin edilen hız profili (1889); d) Güncel teoriye göre tahmin edilen hız profili (Kirkby, 1967). **189**
- Şekil 7.25** : a) P noktasına etkiyen kuvvetler; b) Kuvvetlerin bileşeni; c) Hareketin geometrisi (Kirkby, 1967). **190**



İSTANBUL BÜYÜKÇEKMECE KÜÇÜKÇEKMECE GÖLLERİ ARASINDAKİ KÜTLE HAREKETLERİNİN TÜRÜ VE MEKANİZMASININ İNCELENMESİ

ÖZET

Mega Kent İstanbul' un artan yerleşim alanı ihtiyacı sürmektedir. İstanbul' da sürdürülebilir mekansal kullanım kararları bu bağlamda son derece önemlidir. Yeni yerleşim alanlarını belirlemekten daha çok kullanımda olan alanların düzenlenmesi sürdürülebilirlik açısından önemlidir. Sürdürülebilirlik değerlendirmesinin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için bölgenin yerbilimsel eşiklerinin ayrıntılı olarak ortaya konması gerekir.

İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Doktora Programı' nda Doktora Tezi kapsamında hazırlanan bu çalışmanın amacı; Büyükçekmece ve Küçükçekmece gölleri arasındaki kütle hareketlerinin türlerinin belirlenmesi ve mekanizmasının ortaya konulmasıdır.

Bu amaç ile Büyükçekmece Küçükçekmece arasında 270 km²' lik alanda, 1/25000 ölçekli jeoloji ve mühendislik jeolojisi incelemesi yapılmıştır. Ayrıca, ayrıntılı araştırmaların gerçekleştirildiği Büyükçekmece-Gürpınar-Gölyaka-Fener sahil kesiminin 1/5000 ölçekli mühendislik jeolojisi-jeoteknik incelemesi yapılmıştır.

1999 yılında yaşanan 17 Ağustos İzmit (Gölcük) ve 12 Kasım Düzce depremleri Türkiye' nin en önemli metropolü olan İstanbul' da büyük bir deprem olabileceği gerçeğini gözler önüne sermiştir. İstanbul' da meydana gelecek büyük bir deprem sonucunda ortaya çıkacak can ve mal kaybı yanında sosyoekonomik zararları, boyutları açısından, tüm ülkeyi ve civarını etkileyeceği açıktır. Deprem tehlikesi yüksek olan bölgede yer alan İstanbul, tarihinde büyük depremler geçirmiştir. 2000 yıllık geçmişi boyunca İstanbul, en az 14 kere, tarihsel ve aletsel kayıtlar birlikte değerlendirildiğinde maksimum şiddeti dokuzun ve büyüklüğü 7.2 Ms üzerinde olan depremler yaşamıştır. Deprem geçmişine bakıldığında, ortalama olarak her 100 yılda bir İstanbul' un depreme maruz kaldığı görülmektedir. İnceleme alanında yer alan Avcılar, 17 Ağustos 1999, Gölcük depreminin merkezinden yaklaşık 100 km uzaklıkta olmasına rağmen İstanbul' un depremden en fazla etkilenen ilçesi olmuştur.

17 Ağustos 1999 Gölcük depreminden sonra İstanbul' un göllerarası bölgesinin zemininin dinamik özelliklerinin belirlenmesi, yerbilimleri açısından önem kazanmıştır. 17 Ağustos 1999 Gölcük merkezli depremin yapılara hasar verici olumsuz etkileri İstanbul' un bütün yerleşim birimlerinde gözlenmiştir. Birçok değişik kurumlarca tespit edilen hasarların büyüklüklerini ve dağılımlarını büyük bir oranda denetleyen, inşaat kalitesi, o bölgelerdeki zeminlerin jeoteknik özellikleri ve jeolojik yapısıyla ilgili olduğu açıktır. Bu çalışmada, İstanbul' da yayılım gösteren jeolojik birimlerin dağılımları, mühendislik özellikleri ve jeoteknik parametreleri; literatürden

ve onaylı raporlar ile bu çalışmada üretilen bilgilerden yararlanılarak irdelenmiş ve yerleşim açısından değerlendirilmiştir.

Çalışma alanında Marmara Bölgesi iklim koşulları mevcuttur. Yazlar sıcak ve kurak geçerken kışlar ılıman ve yağışlıdır. Yağış miktarı bölgenin mikro iklimasını en iyi temsil eden Florya meteoroloji istasyonu verilerine göre 649.0 mm/yıl dır.

İstanbul' un önemli yerleşim alanlarından birisi olan Küçükçekmece-Büyükçekmece gölleri arasındaki bölgede Oligosen Gürpınar, Miyosen Çukurçeşme, Güngören ve Bakırköy formasyonları yüzeylenmektedir.

Çalışma bölgesinde Tersiyer sedimanter birimleri yüzeylenmektedir. Bu birimler Eosen Kırklareli formasyonunun üzerine gelmiştir. Kırklareli formasyonu, resifal kireçtaşı ve kil-marn litolojilerinden oluşmaktadır. Bu formasyonu düşük açılı uyumsuzlukla kilitaşı ve tuf ile temsil edilen Oligosen yaşlı Gürpınar formasyonu üzerler. Gürpınar formasyonunu uyumsuz olarak, alttan üste doğru çakıl ve kumlarla temsil edilen Çukurçeşme formasyonu üzerler. Bu formasyonun üzerine silt ve killerden oluşan Güngören formasyonu ve kil ara tabakalı kireçtaşları ile marn litolojili Bakırköy formasyonu gelir. Özellikle Haramidere vadi tabanları ile Küçükçekmece Gölü batı kıyılarındaki alüvyonlar tutturulmamış ya da gevşek tutturulmuş çakıl, kum, silt ve kil türü malzemeler ile temsil olur.

Çalışma alanındaki litolojiler, geçirimsiz veya az geçirimlidir. Bu durum yağışın büyük miktarını yüzey drenajı ile Büyükçekmece ve Küçükçekmece göllerine ve Marmara denizine ulaştırmaktadır. Tabandaki Kırklareli formasyonu ise karstik akiferdir. Gürpınar formasyonunun yüzeyden beslenebildiği tuf seviyeleri ile Çukurçeşme ve Bakırköy formasyonlarında yeraltısuyu gözlenir. Ayrıca alüvyonlarda da yeraltısuyu bulunur.

Kuzey Anadolu Fay' ının etki çeperinde bulunan inceleme alanındaki aktif ve yüksek potansiyelli kütle hareketlerinin çoğu Oligosen ve Miyosen yaşlı birimlerde görülmektedir. Göller arası bölgedeki kütle hareketleri, litolojik özellikleri dikkate alındığında Çukurçeşme formasyonunun siltli kumlu seviyeleri ile Gürpınar formasyonunun kil ve tuf seviyelerine denk gelen bölgelerde görülmektedir.

İstanbul Büyükçekmece Küçükçekmece göller arası alan Kuzey Anadolu Fayı' nın Marmara denizi koluna yakın olmasından dolayı depremsellik açısından dikkate değerdir. Özellikle Büyükçekmece gölü ve körfeze bakan sahil kesimi bir paleoheyelan bölgesidir. Bu alanda yer yer aktif kütle hareketleri de izlenmektedir. Mekansal kullanımların bu aktif kütle hareketi izlenen alanlarda bulunması nedeniyle bölge, kütle hareketlerinin mekanizmasının anlaşılmasına yönelik araştırılması için seçilmiştir. İnceleme alanındaki kütle hareketlerinin mekanizmasının anlaşılmasına yönelik çalışmalar, jeoloji, yeraltısı durumu ve mühendislik jeolojisi çalışılmıştır. Üretilen bilgiler yüzeye daha yakın bölgelerde karma kütle hareketlerinin çevre koşullarına bağlı olarak geliştiklerini derine doğru süregelen bir zamana bağlı kütle hareketi (krip) gelişiminin mevcut olduğunu göstermektedir.

İnceleme alanı kütle hareketleri açısından Mühendislik Jeolojisi değerlendirmeleri amacı ile araştırma sondajlarından elde edilen koordinat bağımlı in-situ ölçüm ve gözlemler ve laboratuvar deneyleri kullanılarak veritabanı türetilmiştir. Her birimin yayılım ve derinlikle değişimleri de göz önünde bulundurularak istatistiksel dağılımları ile ortam sayısallaştırılmıştır. Litolojik birimlerin mühendislik özellikleri açısından benzerlikler ve karşılaştırmalar ile jeolojik ortamın değerlendirmesi yapılmıştır. Ayrıca, yapay sinir ağı yönteminde yararlanılarak kütle hareketleri

(heyelan) duyarlılık analizleri gerçekleştirilmiştir. Duyarlılık analizi sonuçlarından kütle hareketi türleri ve mekanizmasının tanımlanmasına yönelik gerçekleştirilen analizlere ait kritik hesap kesitlerinin doğrultuları seçilmiştir.

İnceleme alanındaki kütle hareketlerinin türünün ve mekanizmasının belirlenmesine yönelik belirlenen hidro-jeomekanik parametreler hidrojeolojik bulgular ve mühendislik jeolojisi değerlendirmeleri göz önünde tutularak her bir hesap kesiti için özgün olarak seçilmiştir. Analizler; sonlu elemanlar (RocScience RS2) kullanılarak tamamlanmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi ile ortam koşulları gerilme-deformasyonlar açısından değerlendirilmiştir. Bu sayısal sonuçlar, çalışma alanındaki kritik yenilme yüzeylerinin belirlenmesine yardımcı olmuştur. Sonlu Elemanlar Yöntemi uygulanarak gerçekleştirilen analizler statik ve dinamik koşullar için yapılmıştır. Analizlerden elde edilen yer değiştirmeler inklinometre ölçümleri ile denetlenmiştir.

Bu tez kapsamında yapılan araştırma bulgularından; inceleme alanında aktif hareketlerin devam ettiği, bunların derin uzun süreli hareket (deep creep) ve sık karma hareketleri içerdiği, jeoteknik koşulların denetiminde olmayan teknik girişimlerin de duraylılığa olumsuz etkisinin olduğu sonucuna varılmıştır.



INVESTIGATION OF MASS MOVEMENTS TYPE AND MECHANISM BETWEEN İSTANBUL BÜYÜKÇEKMECE AND KÜÇÜKÇEKMECE LAKES

SUMMARY

Due to the rapid growth of Mega City Istanbul, the need for new residential areas is increasing. Istanbul's need for new residential areas can be met with sustainable land use decisions. It is important for sustainability to make the problem areas healthy and livable by evaluating the existing residential areas rather than identifying new residential areas. In order for the sustainability assessment to be carried out in a healthy way, the geological thresholds of the region should be revealed in detail.

The aim of this study, which was prepared as a PhD Thesis in Istanbul Technical University, Graduate Education Institute, Geological Engineering Doctorate Program; The aim of this study is to determine the types of mass movements seen in the area between Büyükçekmece Küçükçekmece lakes and to understand the mechanism.

With the field studies carried out for this purpose, a 1/25000 scale geological-engineering geology study of an area of approximately 270 km² between Büyükçekmece and Küçükçekmece was carried out. In addition, a 1/5000 scale engineering geology-geotechnical survey of the Büyükçekmece-Gürpınar-Gölyaka-Fener coastal section, where detailed research was carried out, was carried out.

The 17 August Izmit (Gölcük) and 12 November Düzce earthquakes in 1999 revealed the fact that a major earthquake could occur in Istanbul, the most important metropolis of Turkey. In addition to the loss of life and property that will occur as a result of a major earthquake that will occur in Istanbul, it is clear that it will affect the whole country and its surroundings in terms of socio-economic damages and dimensions. Located in the first-degree earthquake zone, Istanbul has experienced major earthquakes in its history. Throughout its 2000-year history, Istanbul has experienced at least 14 earthquakes with a maximum intensity of nine and a magnitude of 7.2 Ms when the historical and instrumental records are considered together. Looking at the earthquake history, it is seen that Istanbul is exposed to an earthquake every 100 years on average. Although Avcılar is approximately 100 km from the center of the 17 August 1999 Gölcük earthquake, it has been the district of Istanbul that was most affected by the earthquake.

After the 17 August 1999 Gölcük earthquake, the determination of the dynamic properties of the soil of the interlake region of Istanbul gained importance in terms of earth sciences. The negative effects of the 17 August 1999 Gölcük-centered earthquake, damaging the structures, were observed in all settlements of Istanbul. It is clear that the damage detected by many different institutions is related to the construction quality, geotechnical properties and geological structure of the soils in those regions, which largely controls their size and distribution. In this study, the distributions, engineering properties and geotechnical parameters of the geological

units spreading in Istanbul were examined and evaluated in terms of settlement by using the information from the literature, approved reports and the information obtained in this study.

The climatic conditions of the Marmara Region are dominant in the study area, with hot and dry summers and mild and rainy winters. The precipitation is 649.0 mm/year based on data, collected from Florya meteorology station.

In the region between Küçükçekmece and Büyükçekmece lakes, which is one of the important residential areas of Istanbul, the Oligocene and Miocene aged Gürpınar, Çukurçeşme, Güngören, Bakırköy formations, respectively, crop out.

Tertiary sedimentary sequence crops out in the study area. The lowest part of the succession is the Eocene aged Kırklareli formation. The formation is in reefal limestone and clay-marl lithologies. The Gürpınar formation, which is represented by conglomerate, sandstone, Congeria limestone, claystone and tuff, overlies this formation with low angle unconformity. Çukurçeşme formation, which is represented by pebbles and sands in order from bottom to top, unconformably over the Oligocene Gürpınar formation; Güngören formation consisting of silt and clays; Bakırköy formation represented by clay interbedded limestones and marls comes. Particularly, the alluvium on the Haramidere valley floors and the western shores of Küçükçekmece Lake consists of unconsolidated or loosely fixed gravel, sand, silt and clay type materials carried by the stream and its tributaries.

The lithologies in the study area are impermeable or slightly permeable. This situation carries the large amount of precipitation to Büyükçekmece and Küçükçekmece lakes and the Marmara Sea by surface drainage. The Kırklareli formation at the base is a karstic aquifer. Groundwater is observed in the tuff levels, where the Gürpınar formation can be fed from the surface, and in the Çukurçeşme and Bakırköy formations. There is also groundwater in alluviums.

Most of the active and high potential mass movements in the study area, which is on the impact periphery of the North Anatolian Fault, are observed in Oligocene and Miocene aged units. Mass movements in the region between the lakes are observed in the areas that coincide with the silty sandy levels of the Çukurçeşme formation and the clay and tuff levels of the Gürpınar formation when their lithological features are taken into account.

Istanbul Büyükçekmece Küçükçekmece area between lakes is remarkable in terms of seismicity since it is close to the Marmara Sea branch of the North Anatolian Fault. Especially the Büyükçekmece lake and the coastal part overlooking the bay is a paleolandslide region. Active mass movements are also observed from place to place in this area. Since the spatial uses are found in these active mass movement areas, the region was chosen for investigation to understand the mechanism of mass movements. Studies to understand the mechanism of mass movements in the study area, geology, groundwater condition and engineering geology were studied. The information produced shows that mixed mass movements develop depending on environmental conditions in regions closer to the surface, and there is an ongoing time-dependent mass movement (creep) development towards the depths.

The database was derived by using coordinate-dependent in-situ measurements and observations and laboratory experiments obtained from exploration drillings for the purpose of Engineering Geology evaluations in terms of mass movements in the study area. The environment was digitized with its statistical distributions, taking into

account the changes in distribution and depth of each unit. Similarities and comparisons in terms of engineering properties of lithological units and evaluation of geological environment were made. In addition, mass movements (landslide) sensitivity analyzes were carried out using the artificial neural network method. From the results of the sensitivity analysis, the directions of the critical calculation sections of the analyzes carried out to define the types of mass movement and its mechanism were selected.

The hydro-geomechanical parameters determined to determine the type and mechanism of mass movements in the study area were selected specifically for each calculation section, taking into account the hydrogeological findings and engineering geology evaluations. Analysis; finite elements (RocScience RS2) The field conditions were evaluated in terms of stress-deformations with the finite element method. These numerical results helped to identify critical failure surfaces in the study area. Analyzes carried out by applying the Finite Element Method were made for static and dynamic conditions. The displacements obtained from the analyzes were correlated with the inclinometer measurements.

Among the research findings made within the scope of this thesis; It has been concluded that active movements continue in the study area, these include deep creep and shallow mixed movements, and technical initiatives that are not under the control of geotechnical conditions have a negative effect on stability.

1. GİRİŞ

Bu tez, İstanbul Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği doktora programı kapsamında hazırlanmıştır. İstanbul Büyükçekmece–Küçükçekmece gölleri arası ve civarında üst ve alt yapıdaki projelerin jeoteknik etkileşimi sonucunda tetiklenen ve süregelen önemli bir sorun kütle hareketleridir. Bu kapsamda, inceleme alanında kütle hareketlerinin türünün araştırılması ve sürdürülebilir kentleşme için jeomorfolojik, jeolojik, hidrojeolojik, jeomekanik ve jeoteknik açıdan mekanizmasının incelenmesi amaçlanmıştır.

İstanbul Büyükçekmece-Küçükçekmece gölleri arasında kalan alan kumlu, siltli, killi zeminlerin sıklıkla karşılaşıldığı bir bölgedir. Son yıllarda bölgede artan inşaat faaliyetleri süresince gerek yerüstü gerekse yeraltı yapıları, zeminlerin şişme, kabarma ve oturma gibi davranış değişiklikleri sonucunda zarar görmüştür. Paleoheyelan yüzeylerinin bulunduğu bölgede zeminlerde görülen hacim değişimi sonucunda kütle hareketlerinin de geliştiği bilinmektedir. Aynı zamanda bu bölge Kuzey Anadolu Fayı'nın Marmara denizindeki kolunun etki alanında olması depremsellik açısından mühendislik ve planlama şartlarına uygun kentleşme süreçlerine uyulmaması nedeniyle risk altındadır.

İnceleme alanını oluşturan Büyükçekmece ve Küçükçekmece gölleri arasındaki bölge, uzun yıllardan beri çok yoğun göç alan bir bölgedir. Bu bölge, aynı zamanda İstanbul ve çevresindeki en zayıf zemin özellikleri gösteren litolojiye sahiptir. Bölgede saptanmış bir çok kütle hareketi belgelenmiştir. Bu hareketlerin türleri, arazi gözlemleri, eski tarihli hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri, uzun dönemli saha izleme sistemleri de incelendiğinde; uzun süreli kütle hareketi olarak da belirtilen krip hareketi, sığ dairesel heyelanlar, akma hareketleri, dairesel olmayan kütle hareketleri şeklinde tanımlanabilir. Örselenmiş bu malzemeler, boşluk suyu basıncı, çeşitli kazı ve dolgu faaliyetleri, hatta temel mühendisliği teknik girişimleri sonucunda hareket miktarlarını zaman içinde değiştirmektedir.

Süreç içinde inceleme alanında yerbilimsel çerçevede mevcut durumu anlamaya yönelik birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaların geliştirdiği düşünce

yöntemi tüm yerbilimsel verilerin birbirleriyle olan etkileşimlerinin de ele alındığı bütüncül bir yapıda değerlendirilmesidir. Bu noktada son yirmi yılda yoğun bir veri üretimi ile durum tesbiti yapılmaya çalışılmıştır. Bu çalışmalar mevcut süreci açıklamakta yine de jeoteknik faaliyetler ve ilerisinde sürdürülebilir arazi kullanımı açısından yetersizlikler içermektedir.

Çalışma alanında görülen kütle hareketleri envanter çalışmaları ile haritalanmıştır. Ancak önlemleri üzerinde risk ve tehlike sınırları tarif edilirken tutarsızlıklar ile karşılaşmıştır. Depreme duyarlı olan bölgedeki sismik tetikleyici koşullar da sınırlı bir çalışma alanında kalmaktadır. Mühendislik Jeolojisi değerlendirmeleri ve sayısal Jeoteknik hesaplamalar duraylılık açısından türetilirken mevsimsel koşulların değiştirdiği çevre şartları ve rezidüel sınırlar çoğu zaman ihmal edilmiştir. Tümevarım yöntemi ile ele alınan tüm bu çalışmalar yeri geldiğinde uygulanabilir olsa da uzun dönemde bakıldığında yetersiz görülmektedir.

Bu duruma çözüm olarak, Büyükçekmece-Küçükçekmece gölleri arasındaki litolojik birimlerin jeolojik ve mühendislik özelliklerinin yatay ve düşey değişimleri, benzerlikleri ve anomalileri değerlendirilmiştir. Buradan çıkan sonuçlar, In-Situ (arazideki yerli yerindeki koşullar) ölçüm, izleme ve gözlemler ışığında tümdengelim ilkesi ile değerlendirilerek önerilen rezidüel parametreler ile sayısal hesaplamalar yapılmıştır.

1.1 Tezin Amacı, Kapsamı ve Çalışma Yöntemleri

İnceleme alanı Trakya havzasının GD ucunda geçişli litolojisi ve jeomekanik özellikleri açısından hassas birimlerin yüzeylendiği Büyükçekmece – Küçükçekmece Gölleri arasındaki bölgeyi kapsamaktadır. Bu çalışmanın amacı, depreme duyarlı, karma kütle hareketlerinin görüldüğü bir paleoheyelan bölgesinde süregelen uzun süreli kütle hareketlerinin (krip) yerbilimsel verilerden elde edilen rezidüel parametrelerin kullanımı ile mekanizmasının incelenmesidir. Çalışmanın özgün yanları üç ana kolda değerlendirilebilir. İlki süregelen kütle hareketlerinin türünün ve gelişim mekanizmasının yerbilimsel bütüncül veritabanı oluşturulması ve zemin bünye hipotezlerine dayanarak hesap kesitleri oluşturulmasıdır. Bu çalışmanın devamında kütle hareketi türlerine göre hazırlanmış kesitlerin önerilen rezidüel parametreler kullanılarak limit denge ve sonlu elemanlar sayısal yöntemler ile

incelenmesi yapılmıştır. Sonuçta uzun süreli kütle hareketinin (krip) t mdengelim ilkesine uygun in-situ ölçüm ve izlemeleri ile deneytirilmesidir.

Bu kapsamda aŗağıdaki  alıŗma yöntemleri uygulanmıŗtır.

Sırasıyla, inceleme alanı ve dolayının coğrafik konumu, bölgeye ulaŗım imkanları, topografik ve jeomorfolojik durumu ve bitki örtüsü hakkında tanıtıcı bilgi verilmiŗtir.  alıŗma öncesinde baŗlatılıp araŗtırma süresince de devam edilen ve içeriğı geliŗtirilen kapsamlı literatür araŗtırmasıyla, önceden ger ekleŗtirilen birçok araŗtırma deėerlendirilmiŗtir.

 nceleme alanının mikroklimasının  zelliklerindeki Florya meteoroloji gözlemevinden sağlanan uzun süreli gözlem verilerine dayanan yıllık meteorolojik su bilançosu  ıkartılmıŗtır.  alıŗma alanında ger ekleŗtirilmiŗ temel araŗtırma sondajları, laboratuvar  alıŗmaları ve jeolojik arazi gözlemleri gibi mevcut önceki  alıŗma verilerinden yararlanılarak inceleme alanına ait mühendislik özellikleri deėerlendirilmiŗtir. Bu verilerin yayılımı haritalanmıŗ, derinlik ile deėiŗimleri deėerlendirilmiŗtir. Araŗtırma yöntemi arazi, laboratuvar ve büro  alıŗmalarından oluŗmaktadır. Araŗtırma süresince 1/25 000 ölçekte  stanbul F-21d1, d2, d3, d4; G-21 a1, a2 topografya paftaları jeomorfolojik değerlendirmeler ve heyelan duyarlılık analizleri için sayısal yükseklik verisi olarak iŗlenmiŗtir.  nceleme alanında kütle hareketlerinin mekansal yayılımının belirlenmesinde coğrafi bilgi sistemleri yöntemi ile yapay sinir ağları kullanılmıŗtır. Sonuçlar mevcut envanter  alıŗmaları ile de kıyaslanmıŗtır.

 nceleme alanına iliŗkin olarak M.T.A.' nın bölgede ayrıntılı olarak ger ekleŗtirdiėi 1/25.000 ölçekli  alıŗmalar da incelenerek litolojik birimler, yapısal unsurlar ve heyelan envanteri içerikli jeoloji haritası, saha gözlemlerinin de güncellemeleri ile hazırlanmıŗtır. Özellikle yirmi yıldaki nüfus artıŗına paralel olarak, yerleŗim yoğunluğundan dolayı litolojik birimlerin yüzeyde görüldüğü yerler (mostralar) sınırlıdır. Bu durumdan dolayı saha  alıŗmalarında yol yarmalarından, malzeme ocaklarından, sahil kenarlarında görülen falezlerden, vadilerden, özellikle bölgede hızla ve yoğun olarak devam etmekte olan temel kazılarından ve katılımda bulunan sondaj  alıŗmalarından yararlanılmıŗtır.

 nceki  alıŗmalardan elde edilen veriler değerlendirilerek uygunluk filtresi ile veritabanı oluŗturulmuŗtur. Veritabanı iŗlenmesinde litolojik birimlerin harita ve kesit

düzlemlerinde dağılımları ve jeomekanik özelliklerini belirlemek amacıyla bölgede yapılan sondajlar ile in-situ ve laboratuvar ölçümleri işlenmiştir. Jeoteknik parametreleri elde etmek için veritabanı, çapraz sorgulama ile filtrelenmiştir. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak tematik haritalar ile benzerlik ve anomali gösteren bilgi kümeleri oluşturulmuştur. İnceleme alanına ait sayısal yükseklik modeli ve batimetri verileri kullanılarak topografya, eğim, bakı, jeomeorfoloji, kütle hareketleri dağılım ve duyarlılık haritaları; temel araştırma sondajları kullanılarak yeraltısuyu seviye, derinliğe bağlı SPT değerleri dağılımı tematik haritaları CBS ortamında hazırlanmıştır. Bölgenin Kuzey Anadolu Fayının (KAF) aktif kuzey kolunun etki alanı içinde kalmasına bağlı olarak depremselliğinin anlaşılmasında tarihsel ve aletsel depremleri araştırılmış, AFAD tarafından çözümlenen fay mekanizması analizi ile inceleme alanında ivme değerinin dağılımı belirlenmiştir.

Çok kriterli karar verme analiz teknikleri kullanılarak yapay sinir ağları ve analitik hiyerarşi yöntemleri ile çalışma alanının kütle hareketleri açısından hassasiyeti değerlendirilmiştir. Analiz çıktılarının in-situ ölçüm ve izlemeleri ile denştirilmesi sonucu jeoteknik sayısal hesaplarında kullanılacak kritik durumu belirten kavramsal hesap kesitleri hazırlanmıştır.

Sürdürülebilir arazi kullanımının planlanmasının önemli girdilerinden olan yerbilimsel veritabanının oluşturulması ve kütle hareketlerinin tür ve mekanizmasının tartışılması bu tezin kapsamıdır. İstanbul' un en önemli jeoteknik sorunlarının görüldüğü ve yerleşimin gün geçtikçe arttığı göller arası bölgedeki litolojik birimlerin mühendislik özelliklerinin yerbilimsel veritabanı hazırlanırken çalışma alanında yapılmış önceki çalışmalar incelenmiştir. Bu kapsamdaki literatür taramasında İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) ve çeşitli firmaların yaptığı yöresel temel araştırma çalışmaları, heyelana ve depremselliğe yönelik yapılagelmiş yayın, yüksek lisans-doktora seviyesindeki akademik çalışmalar, özellikle sürdürülebilir arazi kullanımının önemli bir gündeme dönüştüğü son on yıl içinde gerçekleştirilen bilimsel projelerden faydalanılmıştır.

Tüm verilerin derlenmesinden sonra filtreden geçirilmesi amacı ile jeoteknik faaliyetlerin devam ettiği inceleme alanında gerçekleştirilen saha gözlem ve ölçümleri yapılmıştır. MTA tarafından gerçekleştirilen MTA yerbilimsel çalışma, İstanbul paftası ve heyelan envanteri referans alınarak haritalama çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Beldelerin Beylikdüzü Belediyesi' ne bağlanması ile alt

havzalarda gerçekleştirilen arazi, laboratuvar, büro çalışmaları takip edilmiş, bölge ile ilgili bir bildiri ile de yayınlanmıştır.

Fizikomekanik zelliklerin belirlemesine yönelik olarak Mühendislik Jeolojisi değerlendirmeleri için temel araştırma sondajlarına ait arazi ve labaratuvar deney sonuçlarından faydalanılmıştır. Litoloji bağımlı oluşturulan jeoteknik mühendislik özellikleri veritabanı yatay yayılım ve düşey dağılımların belirlenmesi için altlık olarak kullanılmıştır. Koordinat bağımlı olarak hazırlanan bu çalışmadan CBS ile entegre olarak jeoteknik hesap parametrelerinin belirlenmesinde faydalanılmıştır. Jeomorfolojik değerlendirmeler ve kütle hareketleri duyarlılık çalışmalarının da yardımı ile kritik hesap kesitleri hazırlanmış ve iki farklı jeoteknik analiz yöntemi ile değerlendirilmiştir. Bunlardan ilki sonlu elemanlar yöntemidir. Bu analiz yöntemi, sınır koşulları belirlenen bir ortamın malzeme türlerinin bünye parametrelerinin tariflenmesi ile çok bileşenli bir problem ağ yapısı ve düğüm noktaları ilkelerine bağlı gerilme-deformasyon cinsinden hesaplanmasına dayanmaktadır. Analizlerde boşluk suyu basıncı değişimleri ve sismik tetikleme etkisi gibi dinamik çözümler de uygulanmıştır. Seçilen ikinci hesaplama yöntemi ise şev stabilitesi analizlerinde konvansiyonel bir çözüm yöntemi olan limit denge analizidir. Bu hesaplama yönteminde Sonlu elemanlar yönteminde elde edilen yenilme koşulları incelenmiştir. Limit denge analizleri yardımı ile herbir kritik hesap kesiti için olasılıksal duraylılık ve hassasiyet analizleri gerçekleştirilmiştir. Her iki yöntemin değerlendirmesi uzun süreli kütle hareketi (krip) mekanizmasının anlaşılmasında bütüncül bir çözüm sunmaktadır.

1.2 Çalışma Alanının Tanıtılması

Bu alt başlıkta inceleme alanının coğrafi konumu ve ulaşımı, jeomorfolojik özellikleri, iklim ve bitki örtüsü verilmektedir. Bölgenin tarihsel gelişimi ve ekonomik değerleri ve faaliyetleri de tanıtılmıştır.

1.2.1 Coğrafi konum ve ulaşım

İstanbul ili 28° 01' ve 29° 55' doğu boylamları ile 41° 33' ve 40° 28' kuzey enlemleri arasındadır. İstanbul, Türkiye' nin yedi coğrafi bölgesinden biri olan Marmara Bölgesi' nde yer alır. İstanbul ili, 5 400 km² lik yzlmne sahiptir.

İli kuzeyde Karadeniz, doğuda Kocaeli sıradağlarının yüksek tepeleri, güneyde Marmara denizi ve batıda Ergene havzasının su bölüm hattı sınırlar. İstanbul boğazı, Karadeniz ile Marmara denizi bağlantısını sağlar. Boğaz hattı, Avrupa ve Asya kıtalarını ayırmakta ve kenti iki yakaya bölmektedir (Şekil 1.1). Ancak İstanbul sahip olduğu köprülerle şehrin her iki yakasını bağlamaktadır.

İnceleme alanı olarak seçilen bölge, İstanbul' un batı yakasında ve özellikle son yirmi yıl içinde yerleşim artışının görüldüğü Büyükçekmece ve Küçükçekmece gölleri arasındadır. Çalışma alanı, kentin yayılımı göz önüne alındığında, stratejik önemi olan bir konuma sahiptir. Çalışma bölgesi İstanbul il sınırları içerisinde Avrupa yakasında bulunmaktadır. Çalışma alanı genel konumu, 3 derecelik Universal Transverse Mercator (UTM) projeksiyon sisteminde 381602 ve 387245 boylamları, 4537035 ve 4544826 enlemleri, WGS84 projeksiyon sisteminde ise 28,595°D ve 28,645°D boylamları, 40,960°K ve 41,025°K enlemleri arasında yer almaktadır. İnceleme alanı kuzeyde TEM karayolu, güneyde Marmara denizi, doğuda Kavaklı deresi ve batıda Büyükçekmece körfezi ile sınırlıdır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 : İstanbul ilinin ve çalışma alanının yer bulduru haritası.

İnceleme alanında ulaşım ağı çok gelişmiş olup her mevsimde ve her koşulda ulaşımı mümkün kılan otoyollar ve diğer karayolları bölgenin en çok yararlanılan esas ulaşım ağını oluşturur. Ulaşım başlıca, Anadolu Otoyolu (TEM, O-2) ve D-100 (O-1) karayolu ile sağlanır. Her iki otoyol, çalışma alanı içerisinde yer alan ve Haramidere'

ye yaklaşık paralellikte uzanan bir yan yol ile bağlantılıdır. Göllerarası bölgede son yirmi yıldır yerleşimin hızla batıya açılmakta olduğu ve trafik akışının da giderek yoğunlaşan yeni bir alana kaydığı görülmektedir. Çalışma alanının kuzey sınırını oluşturan Anadolu Otoyolu (TEM, O-2) uluslararası yol projesi Black Sea Economic Cooperation Ring Corridor ismiyle anılan yapının önemli bir kesimidir. Bu yolun Türkiye topraklarındaki kesimi Sarp' tan Edirne Kapıkule' ye kadar uzanır. Yolun Samsun' a kadar olan kesimi Karadeniz sahilyolu olarak geçmekte ve Bolu üzerinden İstanbul' a bağlanmaktadır. Boğaz köprüsü, Fatih Sultan Mehmet köprüsü ve Yavuz Sultan Selim köprüsü ile geçip Trakya' da devam eden güzergah Gürcistan ve Bulgaristan arasında Türkiye aracılığı ile Asya ve Avrupa' yı bir araya getirmektedir. Ayrıca son zamanlarda Kadıköy-Avcılar metrobüs ulaşımı ile Anadolu yakasına bağlanan bir ulaşım hattı oluşturulmuştur. Aynı zamanda denizden ulaşım Avcılar ve Büyükçekmece Denizotobüsü iskelelerinden sağlanır. Bölgedeki deniz otobüsü iskelesinden günün bir çok saatinde Kadıköy, Bakırköy ve Yenikapı bağlantılı seferler düzenlenmektedir. Bir önemli durumda hava yolları anlamında artan ihtiyaç sonucu yeni hava alanı yapılmıştır. İnceleme alanı, Ambarlı limanı, yeni hava alanına yakın konumu TEM' in güzergahı içinde bulunması ülke genelinde ve uluslararası anlamda önemli bir bağlantı ve ticari noktasıdır.

1.2.2 İstanbul yerleşiminin tarihsel yayılımı

İstanbul' un tarihi 300 bin yıl önceye kadar uzanır. Küçükçekmece gölü kenarından bulunan Yarımburgaz mağarasında yapılan kazılarda insan kültürüne ait ilk izlere rastlanmıştır. Bu dönemde gölün çevresinde Neolitik ve Kalkolitik insanların yaşadığı tahmin edilmektedir. Yunanistan' dan gelen Megaralılar M.Ö. 680' lerde Marmara denizini geçerek İstanbul' a ulaşmış ve bugünkü Kadıköy' de Halkedon adını verdikleri bir kent kurmuşlardır. M.Ö. 660' larda da Bizans önderliğinde yola çıkan Megaralılar' ın diğer bir kolu, bugünkü Sarayburnu' nun olduğu yerde başka bir kent daha kurmuş ve kente "Bizantion" adını vermişlerdir. Bizantion, Roma' nın Doğu' sunun yönetim merkezi olarak seçilmiş, I. Constantinus (324-337) döneminde limanlar ve su tesisleri yeniden düzenlenmiş ve kent içi su dağıtım sistemlerinin temelleri atılmıştır. 11 Mayıs 330 tarihinde kentin adı Constantinopolis olarak değiştirmiştir. M.S. 476' da Batı Roma imparatorluğunun yıkılmasından sonra Doğu Roma imparatorluğu, Bizans imparatorluğuna dönüşmüş ve İstanbul bu yeni imparatorluğun başkenti olmuştur. 29 Mayıs 1453 günü Osmanlı kentin feth etmiştir. 16. ve 17.

yüzyıllar İstanbul' un en parlak dönemleri olmuştur. Kent Galata, Pera, Üsküdar, Kadıköy ve Boğaziçi boyunca hızla yayılmıştır. Haliç' e bakan tepelere yapılan görkemli yapı ve camiler kentin görünümünde önemli değişikliklere yol açmıştır. 1850' de Şirket-i Hayriye kurulmuş ve Boğaz' da vapur seferleri başlamıştır. Ardarda gelişen demiryolu ve liman imkanları yurtiçi ve uluslararası ilişkiyi güçlenmiştir.

Cumhuriyet' in ilk yıllarında Henri Prost' un hazırladığı plan, kentin sonraki mekansal yapısı üzerinde belirleyici bir etki yapmıştır. Prost planının özelliklerinden biri, kenti İstanbul, Beyoğlu ve Üsküdar-Kadıköy olmak üzere üç ayrı bölümde ele almasıdır.

Sanayileşmenin hız kazanması, gecekondulaşmayı doğrudan etkilemiştir. 1970' lerde 2 milyonu aşan nüfusuyla, kentsel işlevlerin sürekliliği ve yaygınlığı ve etki alanının genişliğiyle, sanayinin kent dışına kayması ve birden çok merkezin ortaya çıkmasıyla İstanbul, artık metropol olarak tanımlanabilecek bir ölçeğe ulaşmıştır. Genelde İstanbul, özelde çalışma alanı bağlamında, coğrafyaya bağlı olarak, yerleşimin doğu-batı ekseninde yoğunlaştığı izlenmektedir. Yerleşim alanları Boğaz ve güney sahilleri boyunca genellikle güneye yönelmiş ve kuzey rüzgarlarından büyük oranda korunmuş olarak gelişmiştir.

Çalışma alanındaki nüfusun büyük çoğunluğu, sonradan yerleşime açılan Beylikdüzü, Yakuplu, Gürpınar, Esenkent, Bahçeşehir konut alanları hariç, Balkan muhacirleridir. Kısmen birkaç köy de Kırım muhacirleridir (Ahmediye, İzzettin Sazlı Bosna köyleri). Köyler ve yerleşim yerleri eski Rum yerleşim yerleridir. 93 Harbi (1293 Rumi-1897 Miladi)-Osmanlı-Rus harbi ile beraber Müslüman muhacirlerin yerleşimleri için ayrılmış, 1. Balkan harbi (1912-1913) ile Bulgaristan' dan gelenler ve 1924 Türk-Yunan nüfus mübadelesi ile bu bölgeden ayrılan Rumların yerine, Batı Trakya-Selanik Şehirlerinden gelen Müslüman mübadiller bu alanlara yerleştirilmiştir. Büyükçekmece'de Mimar Sinan'ın yaptırdığı Kemer Köprü, ile Istranca dağlarından İstanbul'a su getirmek için Bizans döneminden kalma su kanalları halen mevcudiyetini koruyan tarihi eserlerdir.

1.2.3 İklim ve bitki örtüsü

Marmara bölgesi yağışları, sonbahar ve ilkbaharda konveksiyonal, kışın sürekli ve cephesel gelişimdedir. Su bilançosu, sonbaharda fazla değer verir (Çizelge 1.2). İnceleme alanında, yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı Marmara iklimi ile temsil edilir. İnceleme alanı, tüm mevsimlerde aldığı yağışlarla Karadeniz yağış

rejimine yaklaşırken, yaz dönemlerindeki yağışın göreceli azlığı ile de Akdeniz rejimi özelliklerine yaklaşır. Günlük yağışlar, daha çok hava ve deniz sıcaklığı farklılığına bağlı olarak ortaya çıkan gezici hava kütlelerinin kısa sürede çok yağış bırakan yağışlardır. Ayrıca yaz aylarındaki sıcaklık artışı şiddetli buharlaşmaya neden olmakta ve kara üstünde ısınan hava kütesinin genişlemesi sonucu soğuma olayı ortaya çıkmakta, böylece belirli bir yükseklikteki hava içinde su buharı yoğunlaşarak sağanak yağışlar oluşmaktadır. İBB (2001) verilerine göre inceleme alanı İstanbul genelinde 34 yıllık sürede ortalama 750 mm yağış değeri ile 3. derece yağış bölgesindedir. Yıllık bazda yağış, %79 oranında Ekim Nisan ve %21 oranında Mayıs Eylül dönemine karşılık gelmektedir. Sıcaklık değeri ise en soğuk ayın Şubat (6 °C) ve en sıcak ayın ise Ağustos (27.4 °C) ayları olduğunu gösterir. İstanbul’ da yıl boyunca üç hava tipi egemendir. Bunlar, kuzeyden ve güneyden sokulan hava tipleri ile sıkışan hava tipidir. Doğu ve batı yönlü rüzgarlarla bağlı olan hava tipleri daha az etkindir. Üç hava arasında, en yüksek frekansa sahip olan kuzey rüzgarlarının egemen olduğu döneme karşılık gelir. Mevsimlere göre; soğuk, sıcak ve biri uzun diğeri ise kısa süren iki geçiş devresi mevcuttur.

Çizelge 1.2 : İnceleme alanına ait İstanbul için Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü' nün 1931-2021 yılları arası Florya gözlem istasyonu ortalama meteorolojik veriler.

Değişkenler	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ortalama Sıcaklık (°C)	6.3	6	7.4	9.7	16.1	21.5	25.2	23.9	21.6	15.1	15.4	9.9
En Yüksek Sıcaklık (°C)	15.1	16.8	20.0	19.5	27.6	29.4	32.3	32.0	30.8	23.8	24.0	23.1
En Düşük Sıcaklık (°C)	-1.2	-1.6	-1.8	3.6	6.3	14.6	17.3	16.8	13.5	6.8	8.8	-0.9
Ortalama Nisbi Nem (%)	80.7	76.4	76.6	79.8	76.1	71.6	72.2	66.3	69.2	77.4	80.5	76.5
Ortalama Basınç (mb.)	1015.9	1013.6	1018.3	1010.5	1011.4	1008.7	1007.3	1009.2	1010.2	1013.1	1011.1	1010.3
Gün. Top. Maks. Yağış (mm)	62.8	21	35.2	92.8	21.4	18	34	13.2	55.6	239	26.8	130.6
Ortalama Rüzgar Yönü (°)	128.2	85.8	13.7	140.6	110.4	105.8	132.4	91.7	89.8	86.2	197.3	188.6
Ort. Rüzgar Hızı (m/sn.)	2.5	3	2.8	2.8	2.5	2.3	2.5	3.2	2.7	2.7	2.3	2.9
Maks. Rüzgar Yönü (°)	43.1	249.9	163.7	220	2.9	32.5	3.1	53.0	46.5	4	255	24.9
Maks. Rüzgar Z. (ss:dd)	815	1044	1141	729	435	1417	716	1034	1430	1430	1749	850
Maks. Rüzgar Hızı (m/sn.)	15	14.1	17.2	16	12	12.2	12,9	15.5	15.9	20.1	18.6	17.6

1.3 Jeomorfoloji

Kütle hareketi türleri açısından çeşitlilik sunan inceleme alanında jeomorfolojik bileşenlerin anlaşılması hareket mekanizmasının sınır koşullarının anlaşılması için son derece önemlidir. Bu kapsamda aşağıdaki alt başlıklarda öncelikle bölgenin jeomorfolojisi tanıtılmış ve sırasıyla harırlanan jeomorfoloji haritasına ait sayısal yükseklik modeli, eğim analizi, bakı değerlendirilmesi ve kütle hareketlerinin sahadaki izleri açıklanmıştır. Ayrıca Wörm buzul dönemine ait derin vadilerin morfolojisine de örselenmiş malzeme olarak akan heyelan malzemelerinin topuklarının yenilmesine de dikkat çekilmektedir.

1.3.1 Bölgesel jeomorfoloji

İstanbul, içinden doğal bir su yolu (İstanbul boğazı) geçen akarsularca derin yarılmış vadiler ile bölünmüş bir bölgedir. İstanbul, Çatalca yarımadası, İstanbul boğazı ve Kocaeli yarımadası olmak üzere üç ana jeomorfolojik birimden oluşur.

Marmara, Kuzey Ege ve Batı Karadeniz bölgelerine komşu çalışma alanında paleotektonik ve neotektonik dönem yer şekilleri bir arada bulunur. Paleotektonik dönem rölyef grubu ilksel morfolojisini korumuş olduğu İstanbul ve Kocaeli yarımalarında, tektonik çöküntü alanları hariç, bölgenin en alçak topografyasını oluşturur.

Neotektonik dönem rölyefi ise yüksek dağ kuşakları, fay hatları boyunca veya bunlar arasında yer alan tektonik çöküntü havzaları ve oluklar şeklindedir. KAF bölge jeomorfolojisinin oluşumunda önemli yer tutar. Doğu-batı yönünde çalışma alanını kat eden bu fay hattı, bölgenin neotektonik dönem yapısal ve paleocoğrafik evriminin gelişiminde ve Marmara Denizi' nin günümüz coğrafyasını kazanmasında etkili olmuştur.

Bölge jeomorfolojisi genel fizyografik özellikleri açısından beş alt rölyef grubuna ayrılır. Bunlar Kocaeli platosu, İstiranca dağ kuşağı, Samanlıdağ rölyefi, Trakya platosu ve Güney Marmara çöküntü alanlarıdır. Kocaeli platosu jeolojik olarak Batı Pontid hattının devamı olmasına karşın morfolojisi deniz seviyesine yakın, ortalama yükseltisi 150-250 metreler arasında değişen aşınım düzlüklerinden oluşmuştur. KAF' na bağlı olarak kuzeye doğru eğimlenmiş olan bu aşınım düzlükleri yayvan ve sığ vadilerle karakteristiktir (Bilgin, 1968; Emre ve diğ., 1998).

Istiranca rölyef grubunu Karadeniz ve Trakya havzası arasında kalan dağlık alan oluşturur. Karadeniz kıyılarına doğru dik, Trakya havzasına doğru yayvan yamaçlara sahiptir. Bu rölyef grubunun denizden en yüksek olduğu kesim 103 m kotu ile Mahya tepedir. Karadeniz, Ege ve Marmara denizleri arasındaki su bölüm çizgisi bu rölyef grubu üzerinde yer alır. Bu nedenle, bu yöredeki dereler bu denizlere doğru akar.

Trakya havzası, denizden 50-250 m yükseklikte ve üçgen şekilli bir plato özelliği gösterir. Bu plato Ergene nehri ve kolları ile drene olur. Çökel kaya toplulukları üzerinde şekillenmiş olan bu plato Ergene nehri ve kolları tarafından genelde K-G yönünde parçalanmıştır. Güneyde Gelibolu yarımadasında, kuzeyden güneye dorukların azaldığı ve Çanakkale boğazına paralel yassı tepeleri olan hafif engebeli bir plato şeklini alır.

1.3.2 İnceleme alanının jeomorfolojisi

İnceleme alanında Tersiyer yaşlı formasyonlar bulunmasına rağmen, bunların litolojik ve yapısal özellikleri yöre morfolojisine yeterince yansımamıştır. İnceleme alanındaki bu morfotektonik yapılar dönemsel genel düzleşme evrelerin izlerini taşımaktadır. Adı geçen bu düzleşme evrelerinde yer hareketleri yavaşlamış olmalıdır. Atmosferik koşulların sonucunda oluşan aşınım yüzeyleri Oligosen-Alt Miyosen Penepleri geliştirmiştir. Üst Miyosen Pedimenti' nin gelişme yönü, inceleme alanının batı bölümünde kuzeyden güneye, doğu bölümünde ise güneyden kuzeye doğru, Pliyosen aşınım yüzeyinin gelişme yönü de yerel havzalara doğrudur.

Bu ana jeomorfolojik birimler arasındaki geçişi sağlayan unsur yamaç zonudur. İnceleme alanında çeşitli yükselti basamaklarında yer alan yüzey sistemleri ve kıyı bandında eğimi yüksek yamaçlar mevcuttur. Yamaç morfolojileri yüzeyi kesen, kıyıya doğru daraltan ve bu yüzeyleri platoya kazan akarsu vadileridir.

Çalışma alanının topografik haritası incelendiğinde yüksek bölgeleri kapsayan çok düşük eğimli düzlükler ve içbükey dikçe eğimli sınırlara sahip engebeli yüzeyli bölgeler dikkat çekicidir. Anılan içbükey engebeli alanlar heyelanlı bölgelere denk gelmektedir.

Hazırlanmış olan jeomorfoloji haritasında, heyelanlı alanlarla birlikte yüksek bölgelerde yer alan eski aşınım düzlükleri, heyelanlar öncesinde var olan akaçlama sistemine ait vadi yamaçları ve sırtlar, heyelanların hızla gelişmesi sonrasında “asılı vadi” özelliği kazanmış olan eski akarsu kolları, kuvaterner deniz düzeyi

hareketlerine bağılı olarak gelişmiş denizel sekiler, çalışma alanında inşaat işlemleri sırasında yapılmış dolgu sahaları ve geniş alan kaplayan, genellikle çok yakın geçmişte yapılmış ve yapımı günümüzde de sürmekte olan kıyı dolgularının 2015 yılı sonundaki durumu gibi ayrıntılar da belirtilmiştir.

İnceleme alanında en dikkati çeken yerşekillerinin tümü genç olmakla birlikte bir bölümü aktif olan heyelanlara aittir. Sahada özellikle de taç bölgelerinde çok belirgin olan heyelan morfolojisi, belirgin niteliktedir. İçbükey sınırlı aynalar, olağan aşınmış topoğrafya ile uymayan engebeli alanlar anılan bu heyelan morfolojisine ait yaygın özelliklerdir.

İnceleme alanının en yüksek yeri Harman Tepe (182 m)' dir. Şekil 1.2 de çalışma alanının jeomorfolojik özellikleri sunulmuştur. Jeomorfoloji haritası hazırlanırken önceki çalışmalar, uydu görüntüleri ve hava fotoğrafları taranmış, sayısal yükseklik modeli CBS ortamında kullanılmıştır. Ayrıca kıyı kesimlerde etkin olan kütle hareketlerinin topuklarının anlaşılması için batimetrik verilerden de faydalanılmıştır. Bu kapsamda yapılan çalışmalar topografik eğim, yamaç eğriliği, bakı, hidroğrafya, batimetri haritaları olarak hazırlanıp litolojik özellikler de göz önünde bulundurularak Jeomorfoloji haritası türetilmiş ve kütle hareketleri değerlendirilmiştir (Şekil 1.2).

Çalışma alanında eş yükseklik değerleri Şekil 1.2' de görüldüğü gibi 0 - 205 m arasında değişir. İnceleme alanı kuzeye doğru artan bir yükseklik sergiler. Çalışma alanında kıyı doğrultusunda yamaçlar görülmektedir. Bu yamaçlar kütle hareketi açısından özellikle deniz ile ilişkili kesimlerde aktiftir.

Büyükçekmece ve Küçükçekmece gölleri Çatalca yarımadası üzerinde yer alan doğal göllerdir. İnceleme alanının batıdan ve doğudan sınırlayan Büyükçekmece ve Küçükçekmece gölleri ekolojik değerdedir ve önemli birer su toplama yüzeyidirler.

Halosen' den önceki dönemlerde akarsularla yapılan plato, önceleri atmosferik koşullarda kalmış, dönemsel düzleşme evreleri geçirmiş ve yüzey sistemleri gelişmiştir. Araştırma alanı plato karakterini evreler halinde ve genellikle yükselerek kazanmıştır. Bu nedenle, platoda önceki durumlarına göre yükselmiş aşınım ve aşınım-dolgu karakterli yüksek yüzey ve düzlükler bulunur.

Yüksek düzlük alanlar arasında ve bu alanlarla geçiş zonu ve taban araziler arasında bulunan yüksek eğimli kesimler yamaç zonu olarak sınıflandırılmıştır. Yamaç zonunda eğim nedeniyle, genellikle formasyonları oluşturan litolojiler oransal olarak daha fazla yüzeyleir. Yamaç zonunun büyük bölümü akarsu aşındırmasına bağlı gelişmiş vadi yamaçlarından oluşur. Yamaç zonunun en yüksek eğime sahip bölümleri formasyonların litolojik ve yapısal özellikleri nedeniyle dayanımlarının fazla olduğu yerler olup yarma boğazlara karşılık gelir. Araştırma alanında en fazla yer kaplayan yamaç zonu, yüksek eğimli, hidrolojik ve hidrojeolojik özellikler açısından ortak özelliklere sahip kütle hareketlerinin geliştiği, akarsu-deniz aşındırma süreçlerinin yaşandığı eğim değeri yüksek olan kesimdir. Eğim derecesi çok düşük, genellikle akarsu vadi tabanı morfolojisinde, taşkın alanı çökellerinin oluşturduğu alanlar taban araziler olarak sınıflandırılmıştır. Bu kesimler, yamaç zonunun alt düzeylerindedir ve kıyı bölgesi arazileri ile komşudur. Taban araziler akarsu dinamik süreçlerinin etkisi altındadır. Yeraltı suyu bakımından zengin ve verimli alüvyal tarım topraklarına sahiptir. Kıyı bölgesi (Marmara sahili) birikimsel kıyı üniteleri ve aşınımına bağlı kıyı kesimlerinden oluşur. Ayrıca kıyı bölgesindeki dik profilli kıyı bölümlerinde (yalıyarlı kıyılarda) deniz aşındırması sonucunda yalıyarlar ve yamaçlar da kıyı bölgesinde gelişmiştir. Akarsu ve denizel dinamik süreçleri bu arazi sınıfında etkindir.

Morfolojik olarak değerlendirildiğinde, Marmara Denizi kıyısında bulunan Büyükçekmece (16 km²) ve Küçükçekmece gölleri (11 km²) deniz ile temasları olan tuzlu göllerdir. Ayrıca İstanbul' un önemli akarsularından Karasu Dere' si Büyükçekmece, Sazlıdere ise Küçükçekmece Gölü' ne dökülür. Bu delta ortamının ve göllere dökülen iki akarsuyun bulunduğu inceleme alanında farklı davranışlar gösteren, farklı aşınma ve depolanma süreçlerinden geçmiş kısaca farklı mineralojik yapıda ve kökende zeminler bulunmaktadır.

İnceleme alanında, K-G doğrultulu doruklar arasında su bölüm hatları bulunmaktadır. Çalışma alanının güneyinde dalları dentritik örgülü akaçlama ağına sahip ana akarsular kuzeyden güneye doğru paralel akış gösterir. Akarsuların çoğunluğu mevsimsel derelerdir. Fındıklı, Karamurat ve Sarıyer derelerinin birleşmesinden oluşan Karasu dere, Eski, Kızılcaali ve Beylikçayır derelerinin birleşmesinden oluşan Dolap çayır dere Büyükçekmece gölünü besleyen derelerdir. Bu derelerden sürekli akışa sahip olan Karasu deresi, Fener köyün kuzeybatısında yüzeysel akışa başlar. Bölgenin doğusundan Dikibet dere ve Bayalık, Çiftlik ve Domuz derelerinin birleşmesinden

oluşan Sazlıdere Küçükçekmece gölünü besleyen ana derelerdir. Ayrıca Küçük ve Büyükçekmece gölleri arasında yer alan Haramidere Marmara denizine boşalan başlıca önemli akarsudur .

Çalışma alanında batı sınırını oluşturan Büyükçekmece Lagün gölüdür. Marmara denizi ile bağlantısı kesilerek içme suyu barajına çevrilidir. Toplam 11 km² lik alan kapsar. 170 km² lik hava alanı ile İstanbul kentinin su ihtiyacının önemli bir kesimini karşılamaktadır.

İnceleme alanında bulunan Üst Miyosen pediment parçaları ve Pliyosen aşınım yüzeyleri gibi olgun ve düzleşmiş eski yüzeyler taşkınların olmasını azaltmakta ve buralardaki kalıcı toprak gelişimi, yüzeylerin eğim yönü ve derecesi, yağış sularının vadilere taşınmasını güçleştirmektedir. İnceleme alanındaki yamaçların çoğu vadi yamaçlarından oluşmaktadır. Uzanımı fazla ve eğimi yüksek yamaç zonları akarsu yataklarına yağış sularının hızla aktarılmasını sağlamaktadır.

Çalışma alanında Haramidere hattında taşkın tehlikesi altında olan alanlar bulunmaktadır. Plajlı Marmara Denizi kıyıları yerleşim yeri için tercih edilen ortamlardır. İnceleme alanı kıyılarında bulunan denizel taşkın alanları; Büyükçekmece kıyı kordonundaki plajlı kıyılar, kıyı oku ve kıyı bataklıklarının belirli kesimleri, Haramidere' nin döküldüğü alçak kıyılar, Dikilitaş deresinin ağzındaki birikimsel kıyı şeridi, Küçükçekmece kıyı kordonundaki kıyı oku ve denizel bataklık alanları, Sazlı Dere' nin ağzındaki lagün bataklığı ve kıyılarıdır. Bu taşkın alanları yörede görülen haliçli kıyıların ileri aşamasını oluşturan limanlı kıyıların alçak profilli kesimlerinde süreklilik ve genişlik kazanmıştır. Benzer şekilde akarsu vadilerinin aşağı bölümlerindeki düzlük kesimler de sanayi ve yerleşim yeri olarak tercih edilen ortamlardır. Akarsu taşkınlarının oluşum nedeni iklimsel (yağış, rüzgar) hidrojeolojik nedenler (geçirimsizlik, geçirimli kayaçlar) ve insan faktörü (bitki örtüsünün tahribi, dere yataklarının yerleşime açılması) gibi nedenlerden dolayı etkili olmaktadır. Çekmece, Ahlat, Çapkıncöprü, Uzunçayır, Kavaklı, Harami, Dikilitaş ve Sazlı derelerinin alt kotları güncel taşkın alanlarıdır.

İnceleme alanındaki Holosen çökelleri birbirleri ile yanal ve düşey yönde geçişli, geçirgen, yarı geçirgen, blok, çakıl, kum, az silt, az kil ve az kavrık kırıntılardan oluşur. Bu çökeller geçirgen - yarı geçirgendir ve suya duygundur. Yeraltı seviyesi sığ genellikle yüzeye çok yakındır. Kıyıların dik profilli kesimlerinin, alçak profilli kıyılara geçiş bölümlerindeki erozyon ve kütle hareketlerinin oluşturduğu gereçler ve

plaj çökelleri taşkın anında içerilere taşınacak boyuttadır. Bu gereçler bir taşkın anında boşlukları dolduracağı için suların yayılmasına yardımcı olacaktır. Yöre kıyıları genç olduğundan, aşındırma-biriktirme olayları hızla devam etmektedir.

İnceleme alanının kıyı bölgeleri, güncel deniz dinamikleri ve etki alanları, kıyıların oluşumu ve evrimi araştırılmadan yapılaşmaya açılmış ve büyük yerleşim yerleri oluşturulmuştur. Bu şekilde lagün boğazları daraltılmış ve kıyıların büyük bir bölümü yapay hale getirilmiştir. Marmara Denizi' nin kıyı hattında görülen Kuvaterner denizel sekilerin kökeninin çok sınırlı ölçüde östatik, ancak büyük ölçüde tektonik olduğu ve Marmara denizi çevresindeki kıyı kuşağının Kuvaterner' de önemli yükselmeye uğradığı bilinmektedir (Ertek ve diğ., 2003).

İnceleme alanında, pek çok yerde denetimli ve denetimsiz dolgu yapımı sürmektedir. Kütle hareketlerinin yayılım sınırları içinde, yapı temel çukurları dışında yer yer çok büyük ölçekli kazı alanları da yer alır. Özellikle yollar için yapılmış kazı ve dolgular Çukurlar heyelan çanağında ilksel topoğrafyayı büyük ölçüde değiştirmiştir.

Tüm bu jeomorfolojik veriler inceleme alanında gelişen kütle hareketleri açısından değerlendirildiklerinde Büyükçekmece ve Küçükçekmece körfezleri Marmara bölgesinin genel kıyı özelliklerinden çok belirgin sapmalar gösterir. Her iki körfezin ortak özellikleri Gürpınar formasyonu görülen ve hareketin yaygın olduğu yerlerde ve Marmara denizinin kuzey kıyısının göreceli iki büyük akarsuyunun mansabında yer almalarıdır. Trakya otoyolunun yapımı sırasında, yapılan araştırma sondajlarında Büyükçekmece gölü gerisindeki geçişte 40 m ye, Küçükçekmece gölü gerisinde Altınşehir civarındaki geçişte ise 30 m ye varan haliç dolgularına rastlanmıştır. Büyükçekmece yerleşiminin, körfez ile göl arasındaki bağlantıda yeralan kesiminde, yapılan araştırma sondaj çalışmalarında ise haliç dolgusunun kalınlığı 55 m dolayında bulunmuştur. Yamaçlarda duraysız olduğu, günümüzdeki heyelanlı yapısı ile belli olan Gürpınar formasyonunun istifinin, jeolojik dönemlerdeki düşük deniz seviyesi süreçlerinde var olan eski vadilerin yamaçlarını da oluşturduğu sondajlardan da anlaşılmaktadır.

1.4 Ekonomi

Türkiye yüzölçümü içindeki binde 7 lik payına karşılık, Türkiye nüfusunun yaklaşık %13 ünü barındıran İstanbul' un sanayideki yüksek gelişmişlik düzeyine ulaşmasında çeşitli topografik, jeopolitik, tarihsel ve sosyo-ekonomik etmenler rol oynamıştır. 1960 larda bütün hızıyla süren gecekondulaşmanın yanında, kentsel mekanın biçimlenişini değiştiren ikinci olgu da imarlı arsalar üzerinde apartmanların yapılması olmuştur. Asıl sanayileşme kentin Anadolu yakasında görülürken Avrupa yakasında da Zeytinburnu ve Bakırköy arasını doldurmuş olan sanayi alanları yüksek büyüme hızı göstermiştir.

Kavaklı yöresi, yaklaşık 1500 hektar alana ve 6000 nüfusa sahip bir yerleşmedir. Yerleşmenin yaklaşık %70'ini marjinal tarım alanları oluşturmaktadır. Planlama nüfusu 150000 civarındadır. Planda orta ve yüksek yoğunluklu konut alanları, kendi ölçeğinde bir ticaret-hizmet merkezi ve sahil aksı boyunca turizm ve rekreasyon amaçlı kullanımlar yer alır.

Büyüçekmece İlçe Belediyesi, 5000 hektar alana ve 63000 nüfusa sahiptir. Büyüçekmece içme suyu havzasında yer alan yerleşmede havza şartlarına uygun olarak planlama yapılmıştır. Yerleşmenin merkezinde orta yoğunluklu konut alanları yer alır. Yerleşmede büyük oranda tarım faaliyetleri yer alır. Planlama nüfusu 77000 civarında olup planlama alanı 5000 hektardır. Kıraç yöresi 1900 hektarlık alana ve 70000 nüfusa sahip bir yerleşmedir. Kıraç' ta büyük oranda var olan sanayi tesisleri planla daha da geliştirilerek önemli bir sanayi yerleşimi konumuna gelmiştir. Planlanan nüfus 127000 olup bu nüfusun büyük çoğunluğu sanayi işgücü olarak istihdam edilir.

Esenyurt Belediyesi 2300 hektarlık alana ve 250000 nüfusa sahip bir yerleşim birimidir. Yerleşimin büyük çoğunluğunu konut alanları oluşturur. Bazı kesimlerinde toplu konut yerleşmeleri yoğun olarak yer alır. Planlanan nüfus 320000 dir.

Gürpınar yöresi 1700 hektarlık alana ve 60000 nüfusa sahip bir yerleşmedir. Gürpınar eski bir köy merkezinin zamanla büyümesi sonucunda oluşmuş bir belde olup daha çok yazlık ve ikinci konut yerleşmesidir. Yerleşmenin önemli bölümünde jeolojik sakıncalı alanlar yer almakta ve aktif arazi hareketleri, kaymalar olmaktadır. Bu sebeple planlama kararlarında önemli yeşil alanlar ve düşük yoğunluklu önlemlerli konut alanları ayrılmıştır. Plan nüfusu 110000 civarındadır.

Yakuplu yöresi 1400 hektarlık alana ve 50000 nüfusa sahip bir yerleşme olup zemin açısından Gürpınar gibi sakıncalı alanlara sahiptir. Plan kararlarında mevcut liman ve tesisleri korunmuş hatta geliştirilmiştir. Yerleşmenin diğer alanlarında orta yoğunluklu konut yer almaktadır. Planlanan nüfus 85000 civarındadır.

Beylikdüzü Belediyesi 1100 hektar alana ve 100000 nüfusa sahip bir yerleşmedir. Beylikdüzü daha çok toplu konut alanlarının yer aldığı, organize sanayi sitesinin bulunduğu ve E-5 boyunca gelişen ticaret-hizmet fonksiyonlarının yer aldığı bir yerleşimdir. Planlama kararları sonucunda mevcut konut dokusu korunup geliştirilmiş ve yeşil koridorlara ağırlık verilmiştir. Plan nüfusu 115000 civarındadır.

Bölgede en büyük nüfus yoğunluğunun olduğu alan Büyükçekmece ilçesidir. Büyükçekmece ilçesi merkezi yerleşimi eskiye dayanmaktadır. Nüfusun çoğunluğu Büyükçekmece gölünün, doğu yakasında Büyükçekmece merkezi, Gürpınar, Beylikdüzü, Yakuplu, Çakmak, Kıraç yörelerinde yoğun bir şekilde bulunur. Bu alanda büyük alışveriş merkezleri, eğitim merkezleri bulunmaktadır. İlçenin göle bakan doğu yamaçları ve kuzeye doğru bulunan düzlük alanları baraj gölünün beslenme havzası içindedir.

Çalışma alanındaki yapılaşma alanları, türlerine ve yayılımlarına göre incelendiğinde kara ulaşımının çok daha yoğun olduğu güneydeki E-5 otoyolu boyunca, bölgeye gelenlerin ve çok daha etkin oranda da bölgeyi geçiş hattı olarak kullananların ihtiyaçlarını giderecek şekilde dinlenme, alışveriş ve yiyecek sektörünün yerleşmiş olduğu görülür. İstanbul geneline hizmet ulaştıran makine ve tekstil sektörünün de yine E-5 otoyolunun güneyinde de bulunmakla beraber esas olarak otoyolun kuzey kesiminde yoğunlaşır.

Bölgenin kuzeyi ise yoğun yapılaşmanın görüldüğü bir kesimdir. Burada kümelenen az katlı bahçeli konutların yanı sıra geniş boş alanlar yayılıdır. Bölge alanının, TEM otoyolu hattı ile güneyindeki Marmara denizi kıyı çizgisi arasında kalan ve yapılaşma tarihi daha eski olan kesimi ise genellikle tek veya çok katlı konutlar, irili ufaklı ticari ofisler ve küçük işletmeler canlı bir günlük yaşam görünümünü sunar.

Ekonomik değeri olan kil ocakları, taş ve kum-çakıl ocakları inceleme alanında doğal hammadde kaynaklarıdır.



2. GENEL JEOLojİ

Bu bölüm, İstanbul Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği doktora programı kapsamında gerçekleştirilen bu doktora tezinde inceleme alanının jeolojisine aittir. Bu kapsamda, öncelikle çalışma alanı ve civarına ait önceki çalışmalar taranmıştır. Bölgenin genel jeolojik özellikleri ve inceleme alanının stratigrafisi çalışılmıştır. Yapısal unsurlar ve jeolojik evrim değerlendirilmiştir.

İnceleme alanında vadi tabanlarında izlenebilen Eosen yaşlı Kırklareli formasyonu, ve yüzeylenen Oligosen yaşlı Gürpınar formasyonu ve Miyosen yaşlı Çukurçeşme, Güngören ve Bakırköy formasyonları Trakya formasyonunun paleo yükselimden dolayı havza yönünde, 10-15 derecelik eğimlerden etkilenmiştir.

Bölgedeki yerleşim yoğunluğundan dolayı mostralar yol yarmalarından, inşaat temel kazı alanlarından, malzeme ocaklarından, sahil kenarlarındaki falezlerden, dere yataklarından, araştırma sondajlarından yararlanarak jeoloji haritası oluşturulmuştur. Formasyon adlandırması için önceki çalışmalardan yararlanarak en uygun adlandırma kullanılmıştır.

2.1 Önceki Çalışmalar

İnceleme alanı olarak seçilen Büyükçekmece ve Küçükçekmece gölleri arasında ve çevresinde yapılmış çalışmaların çoğu stratigrafik ayırtlamaya yöneliktir. Bu çalışmalara ek olarak bitirme ödevleri, yüksek lisans tezleri ve doktora tezi formatındaki akademik çalışmalar, belediyeler için yerleşim amaçlı hazırlanmış raporlar, mikrobölgeleme çalışmaları ve jeoteknik projeler bulunmaktadır. Bölgedeki jeolojik amaçlı ilk inceleme A. Viquesnel' e (1847) aittir.

İnceleme alanı ve yakın çevresinde yapılmış önceki çalışmaların tez kapsamıyla ilişkili olanları kronolojik sıra ile aşağıda sunulmuştur.

Viquesnel, A. (1847), yaptığı çalışmada; gri renkli killi şistlerin işletildiklerini ve bunların grovaklarla konglomeralara geçtiklerini belirtmiştir. Mactralı kireçtaşlarını Pliyosen olarak yaşlandırmıştır.

Tchihatcheff, P. (1850) ise İstanbul surlarının batısı ile Küçükçekmece gölü arasında mactralı gölsel kireçtaşlarının bulunduğunu ifade etmiştir.

Penck, W. (1919), çalışmasında Trakya serisi olarak adlandırdığı fosilsiz şist ve grovakları Üst Devoniyen karasal fasiyesinde belirtmiş, Haliç'i Sarmasiyen denizinin sahili olarak göstermiştir.

Chaput, E. 1933-1936 tarihleri arasında İstanbul civarının 1 / 25 000 ölçekli jeoloji haritasını hazırlamıştır. Küçükçekmece kuzeyindeki kireçtaşlarını Lütésiyen yaşlandırmıştır. Bunlar üzerinde bulunan kum ve çakıllı biriminden derlediği omurgalı fosillere göre üstteki bu birimin Sarmasiyen' e ait olduğunu belirlemiştir. Ayrıca, Cebeciköy' deki kireçtaşlarının varlığını tesbit etmiş ve Trakya serisinin, stratigrafik ilişkileri nedeniyle Karbonifer yaşında olduğunu ortaya koymuştur.

Sayar, M. ve Pamir, H. N. 1932 de mactralı kireçtaşları ile kemik fosilleri içeren kum ve çakılları, Küçükçekmece civarında çapraz tabakalı kumlar içerisinde buldukları omurgalıları ait diş ve kemik fosillerine göre Miyosen' in Sarmasiyen katında yaşlandırmışlardır. Trakya formasyonunun yaşını Devoniyen kabul etmişlerdir.

Packelmann (1938), Trakya serisinin Üst Devoniyen yaşında olduğunu, Baltalimanı formasyonu içindeki lidit seviyesinin ise Orta Devoniyen yaşında olduğunu ve Trakya serisinin primer derecelenme gösterdiğini belirtmiştir. Trakya serisinin de denizel kökenli olduğunu ileri sürmüştür. Çamurhan üyesindeki şeyl ve konglomeraların ise Orta Devoniyen yaşında olduğunu ifade etmiştir.

Erentöz, C. 1949' da, Çatalca ve dolayında hazırladığı doktora tezine ait bölgesel jeoloji çalışmasında Eosen istifini altta kalın marn katmanlarıyla üstte ise mercanlı kireçtaşlarıyla tanımlamıştır. Şistlere Üst Devoniyen, mactralı kireçtaşlarıyla kemik fosilli kum ve çakıllara Sarmasiyen yaşını vermiştir.

Dizer, A. (1951), Küçükçekmece-Çatalca arasındaki Eosen yaşlı kireçtaşındaki numulitli birimlerde paleontoloji çalışmıştır. Bu kireçtaşlarındaki çok sayıda fosil bulguları ile Eosen istifinde Alt ve Üst Lütésiyen, Ordovisiyen ile Alt ve Üst Priaboniyen katlarını saptamıştır.

Akartuna, A. 1953 yılında, Çatalca-Karacaköy arasındaki bölgenin jeolojisini incelemiş ve tortul birimleri Eosen ve Neojen olarak ayırtlamıştır. Eosen çökelleri içindeki mercanlı kireçtaşlarının Lütisiyen-Ordovisiyen ve marnların Oversiyen-Priaboniyen yaşlı olduğunu göstermiştir. Neojen' in ince tabakalı kum, kil ve marnlardan oluşan düzeylerini Üst Miyosen' in Congeria' lı ve gri kalkerleri ile konglomeralarından ayırmış, bunları karton (Balıklı) seri olarak isimlendirmiş ve birime Ponsiyen (Üst Miyosen) yaşını vermiştir.

Sayar, C. 1955 yılında, Haliç ile Küçükçekmece gölü arasının jeolojisini doktora tezi olarak hazırlanmıştır. Küçükçekmece bölgesindeki Neojen seviyelerinin Sarmasiyen yaşında olduğunu kabul etmiş, ayrıca Küçükçekmece gölünün D kısmında, nummulitik kireçtaşı üzerinde uyumsuz olarak bulunan Neojen' de, alttan itibaren kil, kum ve çakıllar, killi ince kum, beyaz marn, lumaşelli ve macralı kireçtaşlarının bulunduğunu saptamıştır.

Ferstl, H. (1961), Küçükçekmece, Çatalca ve Silivri arasındaki bölgede linyit araştırmaları yapmıştır. Hazırladığı jeoloji haritasında granit ve aplitik granitleri, Pleozoyik yaşlı fillit ve kuvars fillitler ile killi şist ve greleri Erken Eosen zemin olarak ayırmıştır. Eosen' in kalker, gre ve marnlardan, Pliyosen' in ise gre, tuf, marn ve kalkerli marnlardan oluştuğunu söylemiştir. Özellikle jeoloji haritasında işaretlediği bölgesel karakterli üç adet KB-GD uzanımlı fay hattı günümüz yaklaşımları açısından özenle araştırmaya değer görülmektedir.

Ülkümen (Rückert) 1960 yılında tamamladığı, Neojen balıklarının paleontolojisi konulu doktora tezinde, Çatalca civarındaki Congeria' lı kireçtaşlarının Miyosen' in altında, Eosen istifleri üzerinde düşük açılı diskordanslı olduğunu, üzerine de diskordansla balık fosilli serinin geldiğini bildirmiştir. Bu düzeylerin Sarmasiyen yaşında olmayıp Oligosen yaşında olduğunu belirtmiştir.

Gökçen (Sönmez) 1964 yılındaki çalışmasında, Ostrocod tanımı ile Congeria' lı düzeylerin Sarmasiyen yaşında olmayıp Oligosen yaşında olduğunu belirtmiştir.

Doust ve Arıkan (1974), Trakya havzasının jeolojisi adlı çalışmalarında Trakya havzasının Tersiyer kayaçlarının depolanmasının Orta Eosen' de başladığını belirtmişlerdir. Havzanın her iki yakasının oldukça dik durumda olup GD ya doğru Ganoş dağı bölgesinin faylanma ile yükselmiş dik yamacıyla, KD ya doğru ise bir basamaklı fay dizisi ile sınırlandığını belirtmişlerdir. Bu dikey yamaçların eteklerinde

uzunluğuna depolanma çukurları oluşmuştur. Bu ukurların Tekirdağ' ın kuzeyine doğru uzanan bir yükseltiyle ayrıldığını belirtmişlerdir. Sedimanter serilerde ise, havzada tipik bir transgresif regresif tam seri göstermekte, sığ deniz sedimanların önce derin deniz ve tekrar sığ deniz ve karasal sedimanlara geçmekte olduğunu belirtmişlerdir.

Keskin (1974), Kuzey Ergene havzasının stratigrafisi adlı çalışmasında Kuzey Ergene havzasının K'den ve B'dan kristalen Iştırınca ve Rodop dağlarıyla, G'de ise Ganos ve Kuru dağlarının gidişi ve D-B doğrultusunda uzanan büyük doğrultu atımlı fayla sınırlandığı kabul edilen Ergene havzasının K kesimi olduğunu belirtmiştir.

Görür, N. ve diğerleri (1981), Küçükçekmece kuzeyindeki Eosen yaşlı kireçtaşlarının Karbonifer yaşlı birimler üzerine diskordan olarak bulunduğunu resif özelliğinde olduklarını belirterek resif çekirdeği, resif eteği, resif ilerisi, havza ve kanal olmak üzere beş ayrı fasiyeste oluştuklarını, incelenen alanda resiflere ait bir resif ardı oluşmadığını ve resiflerin bank resifleri şeklinde geliştiğini saptamıştır.

Sayar, C.' ın 1989 yılındaki, İştambul ve evresinin Neojen kelleri ve Para-Tetis içindeki konumu adlı çalışmasında yazarın daha önce yaptığı çalışmaların bir derlemesidir. Bu çalışmasında yazar, Çukurçeşme, Güngören ve Bakırköy formasyonlarını ekmece formasyonu adı altında toplayarak ye olarak belirtmiş ve Trakya havzasının Doğu Para-Tetis içinde olduğunu ifade etmiştir.

Oktay ve diğerleri (1992), Karaburun-Yeniköy (İştambul) evresinde Doğu Trakya Oligosen havzasının sedimanter jeolojisi adlı çalışmalarında bu alanine jeolojik özelliklerini incelemişler ve sedimenter gelişimini değerlendirmişlerdir. Bu çalışmaya göre istif Soğucak formasyonu ile başlamakta, Alt Eosen sonlarına doğru karalaşan bölgenin Alt Oligosen' de gelişen aılma kuvvetleri etkisiyle çökmesi ve burayı Karadeniz havzasından gelen denizin istila etmesiyle oluşan yeni havzada Soğucak formasyonu üzerine uyumsuz olarak plaj, sığ denizel, derin denizel, derin denizel yelpaze ve delta düzlüğü fasiyeslerinden oluşan Oliogesn, Alt Miyosen yaşlı Karaburun formasyonu gelmektedir. Bu birim üzerinde ise Fluvial çökellerden oluşan Çukurçeşme formasyonu bulunmaktadır. Yine çalışmada bu istifin doğrudan Trakya havzasıyla bağlantısı olmadığı belirtilmiş ve Doğu Trakya Oligosen havzası olarak isimlendirilmiştir.

Bargu, S. ve Sakıncı, M. (1992), İstanbul boğazı ile Silivri-Karacaköy hattı arasını kapsayan çalışmalarında bölgenin doğal agrega olanaklarını araştırmış ve bu arada Avcılar dolayının da jeolojik özelliklerine değinmişlerdir.

Ülkümen (Rückert) ve diğerleri (1993), Büyükçekmece gölü batısında Mandıratepe' de mostra veren Congerialı kireçtaşı Oligosen, Bahçeşehir ve Hoşdere arasında mostra veren kil-kalker aralanmasını denizel Orta Oligosen olarak tanımlamış, Eosen istifi üzerindeki Oligosen' i iki farklı birime ayırmıştır. Mimar Sinan Güzelce arasında birimin Oligosen yaşında olmayıp, Orta Miyosen (Badenium) yaşında olduğunu belirtmiştir.

M.T.A. (1994), İstanbul' un B yakasının jeolojik harita derlemesini yapmıştır. Bu çalışmanın esas hedefi, daha o yıllarda planlanmış olan fakat mali nedenlerle gerçekleştirilemeyen çevre jeolojisine yönelik bir büyük proje önerisidir.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi, (İBB), İmar Daire Başkanlığı, Şehir Planlama Müdürlüğü (1994) tarafından, İstanbul Metropolü' nü nazım imar planına altlık olmak üzere yapılan hazırlanmış 1/50000 ölçekli derleme jeoloji haritasının genel açıklaması kapsamında bir rapor hazırlanmıştır. Ana hatlarıyla, metropol alanında mosta veren çeşitli jeolojik birimlerin sınırlarını ve yapısal konumlarını belirten jeoloji haritası güvenilir ve farklı çalışmalardan derlenmiş ve tek bir harita haline getirilmiştir.

Erdoğan ve diğ. (1999), Silivri Çevresindeki Danişmen ve Ergene formasyonlarının agrega potansiyelini incelemişlerdir. Çalışmacılara göre, bu bölgedeki Ergene formasyonu yaklaşık % 80 kum, % 20 çakıl boyutlu elemanları içermektedir.

İBB (2005), proje çalışmasında İstanbul İli jeoloji haritası oluşturulmuştur ve bölgenin stratigrafik birimleri açıklanmıştır. Bu çalışmada, Büyükçekmece-Çatalca hattının batısında yayılım gösteren Oligosen-Erken Miyosen yaşlı kumtaşı, çakıltası ve miltaşı arakatkılı, kıltaşı, çamurtaşı ve şeyller ve tuf-tüfit ile linyit arakatkılı çökelleri Danişmen formasyonu adı altında vermişlerdir. Bu formasyonu da 1- Süloğlu Şeyl, 2- Silivri kumtaşı, 3- Gürpınar, 4- Çantaköy Tuf, 5- Sinekli ve 6- Ağaçlı üyeleri şeklinde altı üyeye ayırmışlardır. Danişmen formasyonunun en üstteki Ağaçlı üyesi, İstanbul formasyonunun Kıraç üyesi tarafından uyumsuz olarak üstlenir. Çalışmacılar Erken Neojen öncesi yaşta kaya birimlerini aşıl uyumsuzlukla üstleyen Erken Neojen yaşlı karasal kum, çakıl, mil, kil birikintilerini İstanbul formasyonu olarak adlandırmışlardır.

Bu formasyonu da 1- Kır   2- Kayalı Tepe 3- Meşe Tepe   yeleri olmak üzere üç üyeye ayrılmıştır. Silivri   lgesindeki birçok kum-çakıl ocağı Kır     yesi içerisindedir.

Erdoğan ve Mahmutog  lu (2009), Büyükkılıçlı (Silivri) Bölgesi'nde bentonit oluşumlarının Ca-bentonit türü olduklarını ana kil mineralinin Ca-smektit olduğunu açıklamışlardır. Bentonit   rnekleri ile yapılmış çalışmaların sonuçlarına göre, bentonitlerin soda katkısı ile döküm sanayinde kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

  BB (2017),   stanbul   li jeoloji tabanlı çalışması gerçekleştirmiştir. Raporda   stanbul   li, 1/25.000   l  ekli Arazi Kullanımına Esas Jeolojik Etüt Raporu verilmiştir.

2.2 Bölgesel Jeoloji

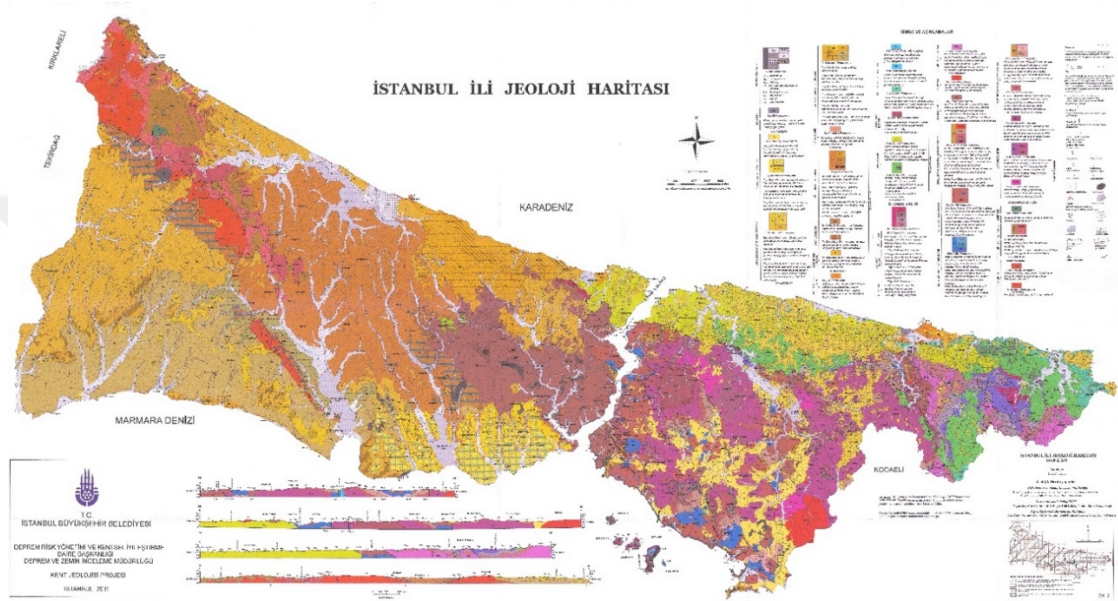
  stanbul metropolitan alanı, Erken Paleozoyik (Ordovisiyen)-Kuvaterner aralığını kapsayan geniş bir jeolojik zaman diliminin önemli bölümünü temsil eden kaya stratigrafi birimlerini içeren ve bu süreçte etkin olmuş önemli tektonik olayların derin izlerini taşıyan bir bölge üzerinde yer alır.   stanbul il sınırları içinde metamorfik olan ve metamorfizma göstermeyen iki büyük kayastratigrafi topluluğu yer alır. Bu iki topluluktan metamorfizma gösteren istif "  stranca Birliği", metamorfizma göstermeyen istif ise "  stanbul Birliği" adlarıyla açıklanmıştır (  BB, 2005).

  stanbul' un batı yakası, Trakya Tersiyer havzasının doğusunu oluşturur. Esas olarak kuzey batı da Karadeniz'e paralel uzanan da   kuşağını oluşturan,   stranca Masifi'ne ait metamorfik kayalar ve doğu da   stanbul Paleozoyik istifi; Trakya Tersiyer havzasının temel kayaçlarını oluşturur.

Trakya yarımadasının kuzey kesiminde özellikle Tekirdağ-Edirne arasında geniş alanlar kaplayan şist, kuvarsit ve magmatitleri içeren   stranca Birliği metamorfitlerinin küçük bir bölümü, Çatalca ilçesinin batı ve kuzey kesimlerinde   stanbul il sınırları içine girer. Bu inceleme konusunun kapsamı dışında kaldığından, bu metamorfitler ile ilgili tezde yer alan bilgiler büyük ölçüde, MTA (2014) tarafından basılan "Trakya bölgesinin 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası" lejantından sağlanmıştır.   atalca yöresinde, söz konusu metamorfik istif alttan üste doğru "Tekedere Gurubu, Kızılağaç Metagraniti,   ermat Kuvarsiti ve Mahya   isti" olarak adlandırılmıştır.   stanbul Birliği olarak adlandırılan birimler,   stanbul boğazı kıyıları ve Kocaeli yarımadasında geniş yayılımlı Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı metamorfizmaya u  gramamı   litolojilerden oluşur (  BB, 2005; 2017).

Erken Karbonifer yaşlı kumtaşı şeyl aralanmalı Trakya formasyonu türbiditik akıntı ortam koşullarında gelişmiştir. Bölgede kıvrımlanma ve faylanmalar, Eosen süresince gelişen sıkışma tektoniği ile gelişmiştir.

Orta-Geç Oligosen döneminde Trakya havzası yükselerek günümüze kadar süregelen karasal ortam rejimine geçer. Bu dönemde, Geç Oligosen–Geç Miyosen aralığında akarsu birikintileri (Çukurçeşme formasyonu) ile lagün ve göl çökelleri (Gürpınar ve Çekmece formasyonları) görülür.



Şekil 2.1 : İstanbul’ un jeoloji haritası (İBB, 2011).

Geç Oligosen-(?) Erken Miosen sürecinde Batı Anadolu’ nun, K-G doğrultusunda önemli bir sıkışmaya uğradığı bilinmektedir. Bu sıkışma hareketi, İstanbul il alanı ve dolayını da kapsayan Trakya havzasında, genel bir yükselme ve yer yer önemli boyutlara ulaşan aşınma ve peneplenleşme sürecinin başlamasına neden olmuştur. Peneplenleşme sürecinde mevsimsel seller ve akarsularla taşınmış çakıl, kum mil gibi birikintiler İstanbul’ un her iki yakasında geniş alanlar kaplar.

Bölgede temel kayayı meydana getiren ve yüzeyde mostra vermeyen Paleozoyik (Karbonifer) yaşlı Trakya formasyonunun ana birimleri olan grovak ve killi şistler, derin denizel ortam koşullarında türbiditik akıntılarla çökelen bir çamur süspansiyonu ile kaba kırıntılılardan şekillenmiştir. İstanbul’ un her iki yakasında ve tüm Kocaeli yarımadasında görüldüğü gibi, Karbonifer sonundaki tektonik hareketlerle bölge deformasyona uğramış ve karasal hale geçmiştir (İBB, 2005; 2017).

Orta Eosen başlarına kadar devam eden bu durum Orta Eosen' den sonra değişmiş ve bölge yeniden denizel ortam niteliği kazanmıştır. Bu süreçteki karasal morfolojinin fazla engebeli olmaması ve ayrıca mevcut iklim özellikleri nedeniyle, bir yandan bugünkü Karadeniz kıyısında söz konusu denizel ortam koşullarında gelişirken diğer yandan da güneyde karasal ortam koşulları hüküm sürmekteydi (İBB, 2005; 2017).

Terkos grubu olarak adlandırılan ve Üst Oligosen yaşlı olan bu iki formasyon, alttaki Eosen yaşlı “Çatalca grubu” nun İhsaniye formasyonu üzerine uyumsuzlukla gelir ve Üst Miyosen yaşlı “Halkalı grubu” formasyonları (Çukurçeşme, Güngören, Bakırköy) ve güncel birimler tarafından yine uyumsuz olarak örtülür.

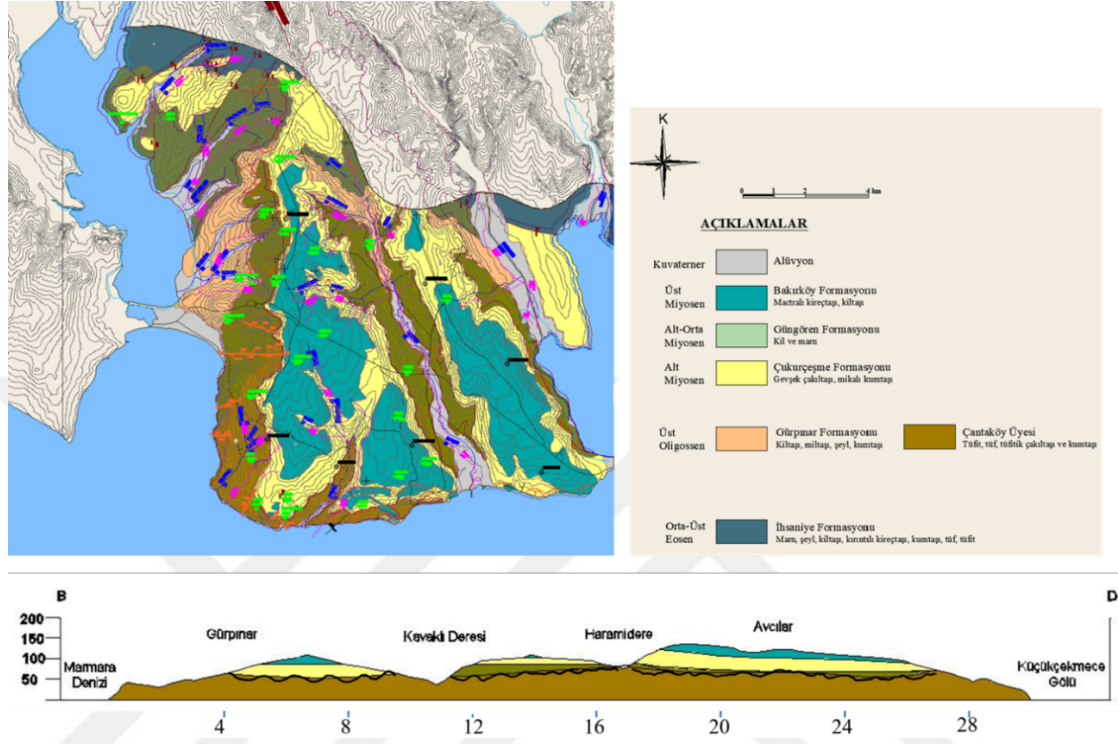
Paleozoyik-Üst Kretase yaşlı temel üzerinde, yer alan Tersiyer (Eosen, Oligosen, Üst Miyosen) ve Kuvaterner yaşlı birimler çalışma alanında yaygın olarak gözlenir. Temel kayalar üzerinde Eosen yaşlı resifal kireçtaşlarından oluşan Kırklareli formasyonu yer alır. Bunun üzerine açılı uyumsuzlukla Üst Oligosen yaşlı Gürpınar formasyonu ve düşük açılı bir diskordansla Üst Miyosen yaşlı Çukurçeşme formasyonu gelir. Daha üstte önce Güngören formasyonu ve sonra da Bakırköy formasyonu gelir Arıç (1955).

2.3 Çalışma Alanının Stratigrafisi

Çalışma alanında yüzeylenen formasyonların yayılımı, genel litolojik özellikleri, stratigrafik ilişkileri, kalınlığı incelenmiş, önceki çalışmalar ile korele edilmiş, stratigrafik konumundan ve önceki fosil bulgularından yararlanılarak yaşlandırılmıştır. Böylece, çalışma alanındaki birimlerin stratigrafik özellikleri ve bölgenin yapısal evrimi incelenmiştir.

İnceleme alanında, özellikle heyelan sorunlarının incelenmesine yönelik, değişik zamanlarda ve birbirinden bağımsız olarak gerçekleştirilmiş çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmaların çok azında jeolojik haritalama yapılmıştır. İstanbul Büyükşehir Belediye Başkanlığı tarafından gerçekleştirilen, 1/5.000 ölçekli jeoloji haritalarından üretilmiş ve yayımlanmış olan İstanbul il alanının 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası (Özgül, 2011), Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü tarafından yayımlanmış olan 1/100.000 ölçekli (Yurtsever ve Çağlayan, 2002) ve 1/60.000 ölçekli (Duman ve diğ., 2004) jeoloji haritaları başlıca kaynaklardır. Özellikle İBB DEZİM tarafından üretilmiş olan büyük ölçekli jeoloji haritaları, bölgenin temel jeoloji özelliklerini genel anlamda yansıtır. Bu yayınlardan faydalananarak arazi

gözlemleri ile desteklenen Büyükçekmece Küçükçekmece gölleri arasının 1/25 000 ölçekli litolojik birimlerini gösterir jeolojik haritası üretilmiştir (Şekil 2.2). İnceleme alanında yüzeyleyen litolojik birimlerin özellikleri ve yanal geçişleri ve stratigrafik sütun kesit ile somutlaştırılmıştır (Şekil 2.3).



Şekil 2.2 : Çalışma alanına ait jeoloji haritası ve B-D doğrultulu jeolojik kesiti.

Kütle hareketlerinin tür ve mekanizmasını açıklamaya yönelik olan bu tez çalışmasında güneyde Marmara Denizi, kuzeyde D100 karayolu ile sınırlı, 28°59' ve 28°64' Batı boylamları ile 40°96' ve 41°03 Kuzey enlemleri arasında kalan alanın 1/5.000 ölçekli bir alan daha özeldir çalışılmak için seçilmiştir. Çalışma sahası yoğun olarak yerleşim alanları ile örtülü olan ve incelemeye uygun yüzeylemelerin kısıtlı olduğundan, geçici süre açık kalan yapı temel kazılarında da yararlanılmıştır. Yapısal jeoloji alt başlığında yapısal unsurlar lokasyon bağımlı olarak tanımlanmış ve arazi çalışmalarında elde edilen fotoğraflar ile de desteklenmiştir.

Oligosen ile günümüz arasını temsil eden kaya-stratigrafi birimlerini kapsayan inceleme alanında Trakya havzasında Danişmen formasyonunun yalnızca Gürpınar ve Çantaköy Tuf üyeleri bu çalışmada göller arası bölgeye ve bu bölgedeki kütle hareketlerine özel niteliklerinden dolayı Gürpınar için formasyon ve Çantaköy için de üye kademesinde adlandırılmıştır. Yine aynı nedenlere bağlı olarak Çekmece formasyonu Çukurçeşme, Güngören ve Bakırköy üyeleri, birer formasyon

niteliğinde çalışılmıştır. Aşağıdaki alt başlıklarda yaşlıdan gence bu formasyonların jeolojik özellikleri sunulmuştur.

2.3.1 Kırklareli formasyonu (Ts)

Resif ortamının çeşitli fasiyeslerini temsil eden bol makro ve bentik mikro fosilli kireçtaşları formasyonun egemen kaya türünü oluşturur. Daha önceden Pınarhisar (Druitt,1961) adı ile ayırtlanan formasyonu ilk kez Kemper (1961) resif karmaşığı olarak ayırtlanmıştır. Formasyon, Keskin (1966) tarafından Kırklareli formasyonu olarak adlandırılmıştır.

Kırklareli formasyonu inceleme alanının kuzeydoğusunda Küçükçekmece gölü ve Sazlıdere kıyılarında yüzeylenir.

Kırklareli formasyonu hakim litolojisi kırıntılı ve resifal kireçtaşlarıdır. Formasyon genelinde kirli beyaz orta tabakalı, marn ara tabakalı ve masif resifal kalın tabakalı kireçtaşı seviyeleri ayırtlanır (Şekil 2.4).

Kırklareli formasyonu, ılığ ve sıcak denizel çökelmiştir. Formasyonun inceleme alanında kalınlığı 80 m olarak görülür. Kırklareli formasyonu, doğudan batıya kalınlaşmaktadır. Formasyon Orta-Üst Eosen yaşlıdır (İBB, 2001).

Kırklareli formasyonu, ılığ neritik resifal karbonat kayaçlarıdır. Formasyon adı, genellikle resif gerisi resif ve resif ilerisi kayaçların tümü için kullanılmıştır. İstif üstü doğru kirli beyaz, krem renkli bol mercan fosilli resifal Kırklareli kireçtaşına (Soğucak kireçtaşı-Holmes, 1961) daha üstü doğru ise, yanal ve düşey yönde bej, krem renkli şeyl-marnlara (İhsaniye formasyonu-Yurtsever ve diğ., 1993) geçmektedir. Bu istif, Üst Eosen-Alt Oligosen döneminde resif ilerisinde çökelmiştir (Yurtsever, 1996).

Üst Sistem	Sistem	Seri	Kat	Formasyon	Sembol	Kalınlık (m)	Litoloji	Açıklamalar
SENOZOYİK	KUVATERNER	HOLOSEN			Qd Qal	0 - 10 5 - 15		Alüvyon Kil, silt, kum, çakıl bileşenli Uyumsuzluk Dolgu Kil, silt, kum, çakıl ve blok atıkları
								Kil ve marn ara seviyeli kireçtaşı Beyazımsı bej renkli, Kil ve marn seviyeli Yer yer Mactra' lı kireçtaşı
	TERSİYER	NEOJEN	ÜST MİYOSEN	GÜNGÖREN BAKIRKÖY	Tb	5 - 20		Siltli kil, kilitaşı Gri renkli, siltli kil ve kilitaşı, Marn üst seviyeli, Yer yer kum ara seviyeli
								Kum ve kumtaşı Sarımsı kahverengi, Muskovitli, çapraz tabakalı, Yer yer kil mercekli ve çakıllı seviyeli
	PALEOJEN	ÜST EOSEN	OLİGOSEN	ÇUKURÇEŞME	Tç	20 - 80		Uyumsuzluk Kil ve kilitaşı ardalanmalı Sarımsı yeşil renkli kil, Yaygın kum mercekli Silt ve tuf ara seviyeli ince kömür bantlı
								Uyumsuzluk Resifal kireçtaşı Beyaz, bej ve gri renkli, ince-orta tabakalı, bol fosilli Mikritik, karstik Yer yer kilitaşı ve marn ara seviyeli
	KIRKLARELİ			GÜRPINAR	Tg	200		Uyumsuzluk Resifal kireçtaşı Beyaz, bej ve gri renkli, ince-orta tabakalı, bol fosilli Mikritik, karstik Yer yer kilitaşı ve marn ara seviyeli
								Ölçeksizdir
	KIRKLARELİ			GÜRPINAR	Tg	200		Ölçeksizdir
								Ölçeksizdir

Şekil 2.3 : Çalışma alanındaki litolojilerin genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesiti (ölçeksiz).



Şekil 2.4 : İnceleme alanında Kırklareli formasyonunun görünümü.

2.3.2 Gürpınar formasyonu (Tg)

Gürpınar formasyonu, Eosen kireçtaşları ve Trakya formasyonunu uyumsuz olarak örter. Gürpınar formasyonunu açık kahverengi, yeşil killer oluşturmaktadır. Gürpınar formasyonu kum merccekler ve yer yer de karbonat içerkli orta tabakalı kumtaşları de içermektedir.

Formasyon ilk kez Akartuna (1953) tarafından “Balıklı seri” olarak ayırtlanmıştır. Tezcan ve diğerleri (1977)’ ise “Yeni iskan yöreleri geoteknik ve sismik etüdü” raporunda formasyon ait tip kesitini Gürpınar köyü civarında tanımlamış ve ilk kez “Gürpınar formasyonu” adlamasını yapmışlardır.

Gürpınar formasyonu Büyükçekmece batısı Mimarsinan-Güzelce-Türkoba’ da Istranca masifi kayaları üzerine uyumsuz olarak gelir. Formasyon, çalışma alanında Gürpınar ve Büyükçekmece sahili ile Marmara denizine bakan kıyı kesimlerde ve vadi tabanlarında gözlenir. Gürpınar formasyonu, 1/500000 ölçekli MTA Türkiye Jeoloji Haritaları İstanbul paftasında Oligosen-Alt Miyosen kırıntılıları olarak gösterilmiştir (Türkecan ve Yurtsever, 2002). İstanbul yarımadasında Gürpınar dolaylarındaki çalışmalarda, Gürpınar formasyonu (Sayar, 1977) adı kullanılmıştır. Tezcan ve

diğerleri (1977) tarafından Gürpınar formasyonu olarak adlanan birim Trakya Havzasında geniş alanlar kapsar. Birim, İstanbul yarımadasında Büyükçekmece Gölü'nün güneybatısında Mimarsinan-Güzelce-Türkoba köyleri arasında geniş yüzlekler halindedir. Ayrıca Büyükçekmece-Küçükçekmece-Karaağaç Köyü arasında geniş alanlarda izlenir.

Gürpınar formasyonu üste doğru tane büyümesi gösteren bir istifdir. Bu istif deltalarının denize veya göle doğru ilerlenmesinden oluşmaktadır. Havzada birimin alt bölümlerinin delta önü-delta, üst bölümlerinin de delta düzlüğü akarsu ortamlarında, linyitlerin delta ovalarında gelişen bataklıklarda olduğu ileri sürülmüştür. Yeşilimsi gri bentonitik kil içerisinde, genelde mercekssel, alt tabakalaşma yüzeyleri aşınmalı ve düzensiz, alt kesimlerinde genelde kaolenleşmiş volkanik kayaç, kuvars, çört çakıllı, üste doğru çapraz ve dereceli tüfit ara tabakaları vardır (Şekil 2.5).

İstif devresel çökelmiştir. Çökelme ünitesi ya da devre kalınlıkları birkaç desimetre ile 8 m arasında değişir (Erdoğan ve diğ., 1999). Devrelerin kaba taneli yani kum ve çakıldan oluşan alt kesimleri hafifçe çimentolu olup genelde kuvars, biyotit, muskovit ve yaygın kaolenleşmiş volkanik parçaları (Sayar, 1977) içerir. Ferstl (1961 ve 1962) birim içinde Gürpınar' dan Kıraç köyüne uzanan geniş bir tüf horizon ayırtlamıştır.

Gürpınar formasyonunun tabanında çakıl bantları görülür. Çakılların tane boyu üst seviyelere doğru küçülmekte ve yer yer tutturucu karbonat çimentosudur. Formasyonun alt düzeylerinde gri, sarı, az tutturulmuş çakıltaşları vardır. Bu seviyenin üstünde gri orta tabakalı, erime boşlukları bulunan Congeria'lı kireçtaşı seviyeleri vardır. Kireçtaşında kil miktarının artmasıyla marn, killi marn, kil ve şeyl doğru geçişi görülür.

Devrelerin üst kesimleri tane boyunun giderek küçülmesi sonucu yeşilimsi gri, fissürlü, orta kalın tabakalı (Zarif, 1996) bentonitik killere geçer. Gürpınar formasyonunu oluşturan kil yüksek plastisiteye sahiptir. Kaba taneli başlayarak ince taneli kum ve killerle son bulan her bir devre kendine özgün-ayrı bir kütle şeklinde davranış gösterebilir. Formasyon içinde birden fazla sayıda; her biri kil seviyesi ile biten devrelerin üzerinde kaba taneli (çakıllı) düzeyler bulunmaktadır. Altı oldukça ince taneli kıltaşı karakterinde ve üstü ise oldukça kaba taneli az tutturulmuş çakıltaşı karakterinde olan, farklı iki litolojinin ara düzeyleri kütle hareketleri için etken düzlemler oluşturabilir (Esenli, 2022).



Şekil 2.5 : İnceleme alanında Gürpınar formasyonunun görünümü.

Kum ve çakıllar kahve kırmızı renkli keskin köşeli, kuvars, andezit ve feldspatlardan oluşmuştur. Kum ve siltli seviyeler bej, gri renkli olup iyi derecelenmiştir. Dayanımı orta-iyi arasında değişmektedir. Kumtaşları genelde orta-kalın tabakalıdır. Ayrışmaya bağlı olarak kahverengi-gri renkli, eklem yapıları gösteren silt ve katı kil, birimin yüzeylendiği kesimlerde gözlenmektedir.

Sayar (1977) Gürpınar’ da, formasyona ait akarsu kanal çökellerinde gözlemlediği andezitik tuf ve tüfit parçalarını bölgede geçerli olan andezitik volkanizma olarak yorumlamıştır. Gürpınar formasyonu, Oligosen’ de kısa süreli regresyon etkisi ile çökelmiştir. Alt Miyosen döneminde lagün ve bataklık özelliğindeki ortam kilaşı ve şeyl birimleri ile temsil olur. Gürpınar formasyonunun tuf, tüfit litolojilerini temsil eden Çantaköy üyesi, göl ve göle boşalan akarsu çökelleridir.

Gürpınar formasyonun kalınlığı Ambarlı-Gürpınar çevresinde 900 m dir. Formasyonun üzerinde açılı uyumsuz olarak Çukurçeşme formasyonu yer alır. İnceleme alanında 400 m den daha kalın olduğu düşünülen Gürpınar formasyonunun çalışma alanı içerisinde tabanı gözlenmemektedir. Gürpınar formasyonunun Küçükçekmece gölü batısında 200 m ye varan kalınlığına rağmen gölün doğusunda bir anda kaybolması, Kırklareli formasyonu üzerine batıdan doğuya doğru transgresif

olarak çökelmiş olduğu şeklinde açıklanabilir. Gürpınar formasyonu yaşını çeşitli araştırmacılar Miyosen veya Oligosen olarak belirtmişlerdir. Akartuna (1953), balık fosil içeriğine göre formasyonun yaşını Miyosen olarak belirlemiştir. Arıç (1955) ve Ülkümen (1960) ise yaptıkları ayrı çalışmalar ile Sarmasiyen yaşını kabul etmişlerdir. Sönmez (1964) tarafından Gürpınar istifinin üst seviyelerinde *Conger sp* ve *Melanopsis* kavkılarına işaret etmiştir. Tüm bu fosil bulgularına göre Gürpınar formasyonunun yaşının Stampiyen (Oligosen) olduğu kabul edilmektedir.

2.3.2.1 Çantaköy üyesi (Tdç)

Gürpınar formasyonunun Çantaköy üyesi beyaz renkli tuf ve tüfitlerdir. Çağlayan ve Yurtsever (1998) bu litolojileri Çantaköy tüfiti olarak da adlandırmıştır. Çantaköy tüfitinin tip yeri Çantaköy çevresidir (Umut ve diğerleri, 1983). Taban ilişkisi belirgin olmadığından tip kesit yeri verilememektedir (Çağlayan ve Yurtsever, 1998).

Erdoğan ve diğ. (1999) ve Erdoğan ve Mahmutoglu (2009) Çantaköy üyesini tabanda kumlu çamurtaşlarıyla başlayan üste doğru killi kumlara geçen ve bu seviyelerinde beyaz renkli tuf ara katkılı olan ve en üstte ise 12 m kalınlıkta olabilen bentonitik kil seviyeleri içeren şekilde açıklamıştır. Çalışmacılara göre, Çantaköy (Silivri) dolayında 120 m kalınlığa ulaşan Çantaköy üyesi batı ve güney yönünde giderek incilir. Çantaköy üyesi yüzeylemeleri Gürpınar ve çevresinde, Kavaklı-Yakuplu güneyinde izlenebilir (Özgül ve diğ., 2005). Birim, Gürpınar dolayındaki yüzeylemelerinde Çukurçeşme formasyonu tarafından uyumsuzlukla üstlenen Gürpınar formasyonu'nun en üst düzeyini oluşturur. Çantaköy Tüfiti'nin Çantaköy yöresinde kalınlığı yaklaşık 100 metre olarak belirlenmiştir (Umut ve diğerleri, 1983).

Çantaköy tuf ve tüfiti, tamamen volkanik-piroklastik bileşenli tuf seviyelerinden oluştuğu gibi piroklastik ve klastik bileşenlerinin oranı değişir şekillerde; tüfik kumtaşı, tüfik çakıltaşı, kumlu tuf, çakıllı tuf gibi seviyelerden de oluşur. Çantaköy üyesinin volkanik parçaları, ayrıca, bu birimin üzerindeki birimlerin, özellikle kıltaşı, kumtaşı düzeylerinin içerisinde çakıl parçaları hatta bloklar şeklinde de bulunur. Gürpınar formasyonunun bu üyesi, homojen tuf-tüfit seviyelerinin göl ortamında, volkanik çakıllı seviyelerinin ise akarsu ortamında, genel olarak göl-akarsu geçişli ortamda çökelmiştir (Şekil 2.6). Çantaköy üyesi yeşil, sarımsı yeşil, bej, kirli beyaz renklerde ve kaba kum boyutlu felsik tuf ve tüfitlerden oluşur.



Şekil 2.6 : İnceleme alanında Çantaköy tuf üyesinin görünümü.

Petrografik-polarizan mikroskop incelemelerine göre; kayaç bileşenleri, cam parçaları ve yerel pumıs parçalarından oluşan kısmen altere bir hamur ile bu hamurun içerisindeki plajiolaz, alkali feldspat, biotit ve amfibol mineral parçaları, ikincil polikristalen kuvarslar ve yabancı kayaç parçalarıdır. Yabancı kayaç parçaları genellikle volkanik (andezitik-dasitik), daha az oramda metamorfik (fillat ve şistler) ve granit (ve/veya metagranit) ve de nadiren sedimanter (kumtaşı) kökenlidir. Çalışma alanında Gölyaka’ da sahil kesimindeki Çantaköy üyesinden tuf ve tüfitinin yüzeylenmelerinden alınan dört örnek üzerinde X-ışınları difraksiyon (XRD) analizi gerçekleştirilmiştir. Bu örneklerle ait XRD paternleri (Şekil 5.1-5.4) arasında verilmiştir. Petrografik-polarizan mikroskopta anlaşılmayan alterasyon ürünleri (özellikle kil mineral dönüşümleri) XRD ile belirlenmiştir.

Trakya havzasında Oligosen volkanizmasının kısmen Miyosen’ de de devam ettiği Ercan ve diğ. (1998) tarafından belirtilmiştir. Bu bilgidен hareketle ve deformasyonun stratigrafik konumu göz önünde bulundurularak, birime Özata (2006) tarafından Alt Miyosen yaşı verilmiştir. Birim esas olarak Gürpınar formasyonu ile ilişkilidir, çeşitli çalışmacılarca Gürpınar formasyonu’nun üyesi olarak verilmiştir. Gürpınar formasyonu, fosil bulgularına göre Orta Oligosen - Erken Miyosen aralığını temsil eder (Özgöl ve diğ, 2005).

Formasyonun Orta Oligosen işaret eden foraminiferleri ve Geç Oligosen-Erken Miyosen işaret eden palinomorfları kapsadığı belirtilmiştir (Umut ve diğ., 1983). Gürpınar formasyonu fosil bulgularına göre Stampiyen (Oligosen) yaşlıdır. Çantaköy üyesi için Gürpınar formasyonunun üst seviyelerinde yer aldığına göre Alt Miyosen yaşı tutarlı görülmektedir.

2.3.3 Çukurçeşme formasyonu (Çf)

Birim, Sayar (1977) tarafından adlanmıştır. Çukurçeşme formasyonunun tip yeri Esenler Otogarı kuzeyindeki kum ocaklarıdır. Sayar (1977) tarafından Edirnekapı 5 km kuzeybatısındaki Çukurçeşme mevkisindeki kum ocağından verilen tip kesit yeri şu anda yerleşim alanıdır. Çukurçeşme formasyonu üzerine Güngören formasyonu dereceli geçişli olarak gelir. Formasyon, İstanbul’ da Üst Miyosen yaşlı istifin alt seviyesidir. Çukurçeşme formasyonu, Trakya havzasındaki Ergene grubunun Kurtdere formasyonunun veya Çorlu formasyonunun eşdeğeridir (Yurtsever, 1996).

Birim, sarı, gri beyaz, kirli beyaz renkli, tutturulmamış veya az tutturulmuş, genelde tabakasız, yer yer çapraz tabakalı, diş ve kemik fusilli, ince-orta daneli, orta-iyi boylanmalı, yer yer siltli ve kil bantlı kum ve çakıllardan oluşur. Çukurçeşmeformasyonu çapraz tabakalı yapı göstermektedir (Şekil 2.7). Halkalı köyünün bulunduğu sırtın her iki yamacında ve Taşmağara civarında beyaz kumların altında 60-70 cm kalınlığında, kırmızı renkli, çapraz tabakalı silisleşmiş ağaç parçalı, 5-15 cm çaplı yuvarlaklaşmış kuvars ve kuvarsit çakıllı kumlarla, çakıllı seviyeler gözlenir (Arınç, 1955).

Formasyon içerisinde tutturulmamış kum ve çakıllar hakim litolojiyi oluşturmaktadır. İçinde ince bantlar halinde silt ve killi seviyeler de gözlenmektedir. Kuvars, opal, arkoz, andezit ve granit kökenli kum ve çakıl taşları kırmızımsı açık kahverenkli, keskin köşeli, yarı yuvarlaktır.

Çukurçeşme formasyonunda silisleşmiş ağaç fosilleri mercek, kama ve çapraz tabakalanma yapıları yaygın özelliklerdir. Formasyona ait kırıntılılar, Küçükçekmece gölü civarında ince uniform kum boyutunda, Büyükçekmece ve Devebağirtan civarında ise iri çakıl ve yer yer blok boyutunda gözlenmektedir. Çukurçeşme formasyonu sarı, açık kahverengi renkte siltli ince kum ve çakıl seviyelerinden oluşmaktadır.



Şekil 2.7 : İnceleme alanında Çukurçeşme formasyonuna ait tipik çapraz tabakalanma seviyeleri.

Dane boyutu ve içerdiği demir oksit miktarına göre renk değişikliği gözlenen Çukurçeşme formasyonunda, seyrek silt ve kil bantları ve sık sık da çakıl mercekleri gözlenmektedir. Formasyon içindeki çakıllı seviyelerde genelde kuvars, opal, kalsedon, metamorfik, bazalt, andezit, kireçtaşı çakılları gözlenmiş olup çakıl taneleri köşeli-yuvarlak olup iyi bir derecelenme ile kumlu seviyelere geçmektedir. Tabakalanmaların gözlendiği mostrada çapraz tabakalar da gözlenmiştir.

Çukurçeşme formasyonu çapraz tabakalı kum ve kil arabandını içeren kötü boylanmış fakat yuvarlaklaşmış çakıl ve bu çakıllarla yanal ve düşey geçişli bulunan laminalı çakıl ve kil ara tabakalı mikalı kumlar içerir.

Geçirimsiz kil litolojileri ile düşeyde sınırlandırılmış olan birim bu sınırlara göre daha geçirimli ortm koşulu sunmaktadır. geçirimli özellikte olup su tutabildiğinden dolayı ve kil malzeme ile suyun temasına aracı olduğundan duraylılığın bozulmasında önemli rol oynar. Eyüpsultan' daki Rami semtinin kuzeyindeki Çukurçeşme mevkiinde tipik mostralarını veren birim çapraz tabakalı kum ve kil ara bantları içeren kötü boylanmış fakat yuvarlaklaşmış ve bu çakıllarla yanal ve düşey geçişli bulunan laminalı çakıl ve ara tabakalı mikalı kumlardan meydana gelmektedir (Şen, 1994). Büyükçekmece gölü civarında kumlu çakıl, Küçükçekmece gölü civarında ise siltli ince kumdan oluşan

birimin beslenimi batıdan doğuya doğrudur (Zarif, 1996). Tutturulmamış kum ve çakıldan oluşan birim sarımsı kahverenkli. Alt seviyelerde gözlenen köşeli yarı yuvarlak ve az tutturulmuş çakıllar üst seviyelerdeki kumlarla düşey ve yanal geçişli olup kil ve silt mercekleri içerirler. Çakıllar kuvars, arkoz, andezit ve granit kökenlidir. İçinde belirgin tabakalarına görülmeyen birim yatay ve yataya yakın eğim değerleri sunmaktadır.

Formasyon içinde silisleşmiş ağaç parçaları ve gastropod fosilleriyle birlikte Sayar ve Pamir (1933) tarafından çalışma alanının doğusunda bulunan omurgalı fosillerine ve buna ilave olarak Arıç (1955) tarafından bulunan *Macra*, *Melanopsis*, *Unio*, *Hydrobia*, *Neritia*, *Planorbis*, *Helix* fosillerine göre birimin yaşı Sarmasiyen (Üst Miyosen) olarak belirlenmiştir.

Formasyon içinde literatürde “Küçükçekmece faunası” olarak bilinen omurgalı faunası (Sayar ve Pamir, 1933; Sayar, 1951) bulunmaktadır. Bu fauna, formasyonun Sarmasiyen’ de (Üst Miyosen) çökeldiğini ortaya koymaktadır.

Çukurçeşme formasyonu içinde genellikle omurgalı kemik ve dişleriyle balıklara ait omurlar, az miktarda da *Unio* iç kalıpları bulunmaktadır. Gözlenen başlıca fosiller şunlardır. *Gruphaea gryphoides* Schlotheim ve *Ostrea* sp. fosillerine göre Miyosen-Alt Pliyosen’ e ait denizel çökeller (Kaya, 1971), Ülkümen ve diğerleri (1933)’ de ise denizel Orta Miyosen olarak gösterilmiştir.

Çukurçeşme formasyonu Oligosen yaşlı Gürpınar formasyonunu açılı uyumsuzlukla olarak üzelemektedir. Formasyonun üzerine yanal ve düşey geçişli olarak Güngören formasyonu gelir. Derlenen başlıca *Gruphaea gryphoides* Schlotheim ve *Ostrea* sp. ye fosillerine göre Miyosen- Alt Pliyosen’e ait denizel çökeller (Kaya, 1971), Ülkümen ve diğ. (1993) de ise denizel Orta Miyosen olarak gösterilmiştir.

Pelecypod, gastropod, bitki fosilli, yer yer silisleşmiş ağaçlı ve bazı kesimleri bol mikalıdır. Çukurçeşme formasyonunda merceklenme, kamalanma ve çapraz tabakalanma görülmektedir. Miyosen transgresyonu ilk birimi olması nedeniyle paleotopografyaya ya da çökelim ortamına bağımlı koşullar, Güngören formasyonu ile Çukurçeşme formasyonunun yanal geçişli dokanak ilişkisi nedeniyle formasyonunun kalınlığı değişkendir, genelde saptanan kalınlığı 15-20 m dir. Formasyon kalınlığı kuzeyden güneye doğru artmaktadır. Arıç (1955), kalınlığın en fazla 40-50 m yi bulduğunu, yer yer 2-3 m ye kadar inceldiğini belirtir.

Bol miktarda omurgalı fosil içeren birimin yaşı Geç Miyosen'e (Geç Tortoniyen-Messiniyen) karşılık gelen Turoliyen'dir (Sayar (Arıç), 1955). Çukurçeşme formasyonu Haliç ile Büyükçekmece Gölü arasındaki alanda haritalanmıştır. Çukurçeşme formasyonu, Güngören kuzeyinde, Avcılar, Küçükçekmece dolaylarında Ambarlı, Haramidere vadisinin tabanına yakın seviyelerde, Esenyurt, Firüzköy yamaçlarında; Büyükçekmece gölünün doğusunda Yakuplar-Kavaklı-Gürpınar-Kıraç-Çakmaklı köyleri civarı ve Hoşdere ile Çakmaklı kuzeyindeki sırtlarda yüzeylenmektedir. Çukurçeşme formasyonu, Gürpınar formasyonu, Kırklareli kireçtaşı ve İhsaniye formasyonu üzerine açısız ya da düşük açılı; olarak gelmektedir. Üzerine gelen Güngören formasyonu ve Güngören formasyonunun ayırtlanmadığı yerlerde Bakırköy formasyonu ile yanal ve düşey yönde geçişlidir (Şekil 2.3).

2.3.4 Güngören formasyonu (Güf)

Sayar (1977), İstanbul' da Güngören ilçesinde yeşil kil, marn ve mactralı kireçtaşı litolojili istifi Güngören formasyonu adı ile tanılamıştır. Ancak marnlı kireçtaşı düzeyleri bazı çalışmalarda Bakırköy formasyonu olarak tanımlanmıştır.

Sayar (1977) Güngören formasyonunun tip yeri olarak Güngören köyü 500 metre kuzeyini vermiştir. Ancak, yoğun yerleşim nedeniyle istifin tamamının görülebileceği bir alan şu anda mevcut değildir. Birimin iyi görüldüğü diğer yerler Esenler Otogarı kuzey ve batısı, Firuzköy sırtı doğu yamacı ile Küçükçekmece gölü arasındaki bölgedir. Güngören formasyonu, Yedikule Kazlıçeşme Osmaniye, Rami, Atışalanı-Esenler arası ve Güngören doğusunda görülür (Arıç, 1955). Ayrıca Şirinevler-Yenibosna-Kocasinan-Mahmutbey sırtının doğu ve batı yamaçlarında Şenlikköy-Sefaköy-Halkalı sırtının doğu ve batı yamaçlarında yüzeylenir.

Birim genellikle çamurtaşı ve marndan oluşur. Seyrek kumtaşı ve kireçtaşı tabakaları da kapsar. Genellikle yeşil renkli, üst seviyelerinde kirli beyaz renkli mactralı kireçtaşı ara seviyeli, kum cepeli, kil ve marnlardan oluşur. Güngören formasyonu, koyu ve açık mavimsi gri, yeşil renkli, yumrulu ayrışmalı, gastropodlu, bitki ve yaprak izli, Mactralı kirli beyaz renkli killi kireçtaşı ara tabakalı kil ve marndan oluşur. Killi kireçtaşı-kil ardağını Bakırköy kireçtaşına geçişte sıklaşır. Killer yeşil mavi renkli, yumuşak, düzensiz ince tabakalı yer yer kum merceklidir. İçinde omurgalı fosiller ve tatlı su fosil kalıpları, bitki sap ve yaprak izleri bulunmuştur (Arıç, 1955). Marn, beyaz ve kirli beyaz renkli, yumuşak, ince tabakalıdır.

Güngören formasyonu litolojisi genelde yeşil, yüksek plastisiteli katı kildir. Formasyonda süt kuvars ve kum bantları da görülür. barındırır. Killi düzeyler başlıca yeşilimsi gri, plastik, kuru iken katı kıvamda, arada ince katmanlı, beyaz, bazen fosilli kireçtaşı düzeyleri kapsamaktadır. Karbonatlı seviyelerinde yer yer karbonat yumrularına rastlanır. İstifin üst seviyelerinde karbonat mikataı artar ve yer yer kireçtaşı ara seviyeleri ve kil ara tabakalı kireçtaşları ile Bakırköy formasyonuna dereceli geçiş görülür (Şekil 2.8).

Gürpınar formasyonunun Mactra ve Gastropoda fosillerinin varlığına bağlı olarak, ince karasal malzemenin geldiği deniz bağlantılı göl ortamında çökeldiği anlaşılmaktadır. Güngören formasyonu, altında bulunan Çukurçeşme formasyonu ve üstüne gelen Bakırköy formasyonu ile dereceli geçişlidir. 30 m kalınlığındaki (Arıç, 1955) birim, içinde bulunan mactra, helix, omurgalı diş ve omurlarına göre Sarmasiyen (Üst Miyosen) olarak yaşlandırılmıştır (Arıç, 1955).



Şekil 2.8 : İnceleme alanında kazıda ortaya çıkan Güngören formasyonu seviyeleri.

Birim, Bakırköy formasyonunun örttüğü yüksek kotların düşük eğimli yamaç kesimlerinde görülür. Formasyonun kalınlığı doğudan batıya doğru azalmakta, kuzeyden güneye doğru da artma eğilimindedir.

2.3.5 Bakırköy formasyonu (Bf)

“Mactralı kireçtaşı”, “Bakırköy kalkerı” ve “küfeki taşı” adlarıyla bilinen İstanbul’daki çeşitli klise, cami ve benzeri tarihi yapılarda kullanılan kil, marn ve Mactralı kireçtaşlarından oluşan Bakırköy formasyonu, Arıç (1955) tarafından adlandırılmıştır.

Bakırköy formasyonunun tip yeri, Bakırköy’ün 3 km kuzeyindeki eski taş ocaklarıdır (Sayar, 1977). Büyükçekmece ve Küçükçekmece gölleri arasında formasyon üst yatay kotlarda, diğer birimlerin üzerinde yüzeyleir. Arıç (1955) Bakırköy kireçtaşının Topkapı, Zeytinburnu, Merkezefendi, Esenler, Merter, Kocamustafapaşa, Davutpaşa, Değirmentepe, Bağcılar, Güngören, Bahçelievler, Haznedar, Bakırköy, Mahmutbey, Kocasinan, Yenibosna, Halkalı, Sefaköy, Soğuksu, Kanarya, Şenlikköy ve Yeşilköy civarlarında yüzeylendiğini belirtir. Ayrıca belirtilen bu alanlar dışında Bakırköy formasyonu inceleme alanının Küçükçekmece, ile Büyükçekmece arasındaki sırtlarda; Avcılar, Firüzköy, Esenyurt, Yakuplu, Kavaklı, Gürpınar, Beylikdüzü ve Çakmaklı köylerinde geniş yayılım olarak izlenmektedir (Şekil 2.9) .



Şekil 2.9 : Avcılar’ da fore-kazık uygulamasının yapıldığı Bakırköy formasyonundan görünüm.

Bakırköy formasyonu, Güngören formasyonu üstünde uyumlu ve dereceli geçişli olarak yer almaktadır. Kuvaterner birimler Bakırköy formasyonunu uyumsuz olarak örter. Alttaki Güngören formasyonu ile olan dokanağının dereceli geçişli olması, inceleme alanı içinde formasyonun düz veya az eğimli olması, geometrisinin izlenebilir olması nedeni ile Bakırköy formasyonun tabanı klavuz düzey olarak kabul edilmiştir. Bakırköy formasyonu Güngören formasyonu ile geçişlidir. Bakırköy formasyonu yeşil kil bantlı, marn katkılı, bol Mactra içerikli merceksele kireçtaşlarından oluşur. Yer yer kırmızı sarı renkli maktrale kireçtaşları ve üzerinde tatlı su mollüskleri ihtiva eden kil marn ve ince tabakalı kalkerler yer alır (Arıç, 1955). Yaygın maktrale, melanopsis, theodoxus ve helix seviyeli, bol fosil kavkılıdır.

Bakırköy formasyonunda, bol Mactra ve lamellibrans içeriği ayırt edici özelliğidir. Melanopsis ve Helix içeren kalker seviyeleri ince tabakalı Mactrallı kalkerler arasında gözlenmektedir. Bakırköy formasyonu, düşük enerjili, deniz ile kısmen bağlantılı sıcak ve sığ Sarmasiyen iç denizinde oluşmuştur. Bakırköy formasyonu, Güngören formasyonu dereceli geçişli sınır sunar. Bakırköy formasyonu genelde 20-25 m (Arıç, 1955) kalınlıktadır.

2.3.6 Plaj kumu (Qkm)

Marmara denizi kıyılarındaki kumsal alanlar dar şeritler halinde gelişmiştir. Marmara sahilindeki Büyükçekmece ve Küçükçekmece kum setleri gelişmiş kumsallardır. Avcılar ve Ambarlı kıyı kuşağında dar bir kumsal bulunur. Bu kumsalın arkasında da dik ve çok hareketli bir yar yer almamaktadır. Ambarlı' da deniz tabanı 600 m açığa kadar 1° buradan da açıkta ise 3-6° eğimlidir. Bu daha yüksek eğimli kesimin deniz tabanındaki Gürpınar kili üzerinde gelişmiş ve su altında kalmış eski bir karasal yamacın kalıntısı olduğu anlaşılmaktadır. Bu alandaki deniz tabanın kalınlığı genellikle 1.5 m den az olan, kavkılı, ince çakıllı, gevşek kumdan oluşan bir güncel çökel örtüsünün altında çoğu yerde Gürpınar kili yer alır. Batıya doğru güncel çökelin altında Gürpınar kilinin yerine Çukurçeşme kumu ve Güngören kilinin yer aldığı görülmektedir. Açıkta, deniz tabanındaki güncel çökel tabakası kalınlaşmakta ve bu tabaka yumuşak, ince kumlu, az kavkılı, gri bir balçıktan oluşmaktadır. Karadaki morfoloji ve heyelan süreçlerinin yanında, Boğaz' dan Marmara denizine ulaşan akıntının bir kolunun; Marmara denizinin kuzey kıyısının hemen önünden batıya doğru uzanması da bu kuşaktaki özgünlüğün nedeni olarak yorumlanabilir. Kıyıların biçimlenmesini heyelan etkinlikleri ve dalga aşındırması yönlendirirken, kıyı

kuşağında deniz tabanında kayda değer bir tortul tabakası birikmemesi, daha çok kıyıya koşut akıntılara bağlanabilir. Bunda, kuşkusuz bu aralıkta karadan denize tortul gereç taşıyan önemli akarsuların olmayışı ve olanların da kentleşme baskısı altında oluşu da önemli bir etken sayılabilir. Ambarlı-Gürpınar arasında da benzer bir kıyı jeolojisi izlenmektedir.

2.3.7 Alüvyon (Qal)

Genelde tutturulmamış kil-silt-kum ve ufak çakıllı seviyelerin birbirleriyle geçişli ve ardalanmasından oluşan alüvyon, 5 m ile 25 m kalınlık sunar. Yapılan sondajlarda, Haramidere’ de, 11 m (Tozak, 1982) alüvyon kesilmiştir. Küçükçekmecenin kuzeyindeki Yarımburgaz sazlığında yapılan sondajlarda, 3 m kalınlık sunan güncel alüvyon altında üstte, kahverengi, sarımsı renkli, kumlu ve siltli killer, altta siyah-koyu gri renkli, çakıllı ve kokulu bataklık killeri ve en altta da 5 m kalınlığa ulaşan çakılları ile toplam 43 m kalınlığında alüvyon kesilmiştir.

2.3.8 Yapay dolgu (Qdl)

Dolgu ve atık malzemenin inceleme alanındaki genel karakteristikleri arasında koyu kahverengi, heterojen malzeme karışımı şeklinde ve killi-siltli oluşu, yerine göre bol miktarda çevre kayaçları içinde açılan temel kazılarından çıkan ya da sıyrılan doğal malzemeden oluşan hafriyat atıkları içermesi sayılabilir. Çoğu yerde toprakla karışmış olarak da görülür. Yapay dolgu alanları hafriyat ve sahil dolgularından oluşan kontrolsüz dolgulardır. Geniş yüzeylenme alanları olan bu dolguların kalınlıkları 3 m kadardır.

2.4 Yapısal Jeoloji

Çalışma alanının içinde bulunduğu göllerarası bölge, tektonik açıdan karmaşık yapısal unsurlar içermekte ve birbirini üstleyen çok fazlı deformasyonların etkisi altında kalan bir bölgenin küçük bir kesimini oluşturmaktadır. İnceleme alanında bulunan litolojik birimlerin güncel görünümünün kazanılmasında, özellikle Gürpınar ve Çukurçeşme formasyonları arasındaki uyumsuzluğa neden olan Alp orojenezi ve Üst Miyosen sonrasında bölgenin karasallaşmasına neden olan Artık fazın etkisi rol oynamıştır. Ayrıca tüm bölge, Pliyosen’deki epirojenik hareketlerden de etkilenmiştir. Türkiye’ nin en önemli aktif tektonik hatlarından biri olan Kuzey Anadolu Fay’ ı çalışma alanının 20-40 km güneyinden, Marmara denizi içinden geçer. 1999 yılına ait 17 Ağustos ve 12 Kasım’ daki depremler (Gölcük-İzmit, Düzce) bu fay zonu üzerindeki

hareketlere bağı olarak meydana gelmişlerdir. Birimler yaşları ile orantılı olarak sıklıkla değişen kıvrımlanma ve deformasyon özellikleri gösterirler. Eosen yaşlı birimlerin üzerinde uyumsuz olarak bulunan Oligosen ve Miyosen birimleri (Gürpınar, Çukurçeşme, Güngören ve Bakırköy formasyonları) ondüleli bir yapı sunmakla birlikte genel olarak güney yönde eğimlidirler. Tabaka eğimleri 6-21° arasında değişmekte olup yaygın eğim 6-10° arasındadır.

İnceleme alanında yüzeylenen çökel istifin eğimleri ya çok düşük ya da yataya yakındır. Çukurçeşme ve Güngören formasyonları deformasyondan korunmuş yapısal özellik sunmaktadır. İnceleme alanında Gürpınar formasyonunun yüzeylendiği alanlarda kil litolojiride gelişmiş fisürlerin çokluğu dikkate değerdir. Formasyon, ince-orta tabakalanmaya sahip olup içerdiği marn, killi marn, kil ve şeyl düzeyleri orta kalınlıkta tabakalanmalıdır. Yatay yakın konumdaki ve genellikle KB eğimli Çukurçeşme formasyonu yer yer çapraz tabakalanmalara sahiptir. Tortul kayaçların oluşum ortamlarını yansıtan birincil sedimanter yapılar çalışma alanı içerisindeki Çukurçeşme formasyonunda sıkça rastlanmaktadır.

Çalışma alanının göl ve deniz kıyılarındaki tüm yamaçlarda gözlemlenen en önemli yapısal unsur aktif ve eski (rezidüel) heyelan alanlarıdır. Bölgedeki heyelanların olağan tabaka yönelimlerini değiştirdiği ve tabakalara farklı konumlar kazandırdığı gözlemlenmiştir.

2.4.1 Tabakalar

İnceleme alanında yüzeylenen litolojik birimlerin tabaka eğimleri <15° ve yataya yakındır. Eosen yaşlı birimlerin üzerinde uyumsuz olarak bulunan Oligosen ve Miyosen birimleri (Gürpınar, Çukurçeşme, Güngören ve Bakırköy formasyonları) ondüleli bir yapı sunmakla birlikte genel olarak güney yönde eğimlidirler. Tabaka eğimleri 6-21° arasında değişmekte olup, yaygın eğim 6-10° arasındadır.

2.4.2 Kıvrımlar

Çalışma alanında haritalanacak ölçekte bir kıvrımlanma görülmez. Ancak temel kazı çukurlarında yerel ölçekte bazı kıvrımlanmaların izleri görülebilir.

2.4.3 Çatlak sistemleri

İnceleme alanında yüzeylenen Gürpınar killlerinde fisürlerin çokluğu başlıca çatlak sistemlerini oluşturur. Ayrıca Bakırköy formasyonunun tabaka düzlemlerinde de çatlaklar ölçülebilir boyutlarda yine izlenebildikleri ölçüde haritalanmıştır.

2.4.4 Faylar

Bölgenin neotektonik dönem yapısal ve paleocoğrafik evrimi Kuzey Anadolu Fayı (KAF)' na bağlı olarak şekillenmiş olup, Marmara denizinin günümüz coğrafyasını kazanmasında da bu fay belirleyici olmuştur (Şengör ve diğ., 1985). Araştırma alanı civarında KAF kuzey ve güney kollara ayrılarak genişliği 80-100 km ye ulaşan bir zon oluşturur (Barka ve Kadinsky-Cade, 1988; Koçyiğit ve diğ., 1999; Barka, 1992). KAF' nın kuzey kolunun 225 km' lik bölümü Marmara denizinde derin çukurlukları izleyerek güneye bakan geniş bir yay şeklinde uzanır (Şekil 3.2).

Çalışma alanı KAF' ndan kaynaklanabilecek depremlerin etki alanı içindedir. KAF' nın Marmara bölgesinde son yüzyılda büyüklüğü $M_s > 6.8$ olan 55 adet deprem oluşturduğu bilinmektedir (Ambraseys ve Finkel, 1995; Ambraseys, 2002). Bunlardan 46' sı 1889 öncesi tarihsel dönemde ve 9' u 1889 sonrası aletsel dönemde kaydedilmiş depremlerdir (Şekil 3.1).

XIIX. yy. da Marmara denizi, XX. yy. da ise Erzincan ve İzmit arasında izlenen büyük depremler KAF üzerinde doğudan batıya göç eden düzenli bir deprem göçünün varlığına işaret eder (Barka, 1992, 1996). Yine tarihsel kayıtlar ve paleosismolojik bulgulara göre KAF üzerindeki büyük depremler yaklaşık 250-300 yıllık tekrarlanma aralığında oluşmaktadır (Okumura ve diğ. 1994; Toda ve diğ. 2001; Emre ve diğ. 2001; Rockwell ve diğ. 2001, Emre ve diğ. 2003). XIIX. yy. da KAF' nın Marmara denizi bölümünde dört büyük deprem (1719, 1754, 1766' da 2 adet) meydana gelmiştir. Bunlardan 1719 depreminin 1999 İzmit depremi ile aynı segmentler üzerinde geliştiği bilinmektedir (Toda ve diğ., 2001; Ambreseys, 2002; Emre ve diğ., 2003).

2.5 Çalışma Alanının Jeolojik Evrimi

Orta Eosen-Erken Miyosen döneminde İstanbul' un batı kesimi Trakya Havzası' nın doğu ucunu oluşturmuştur. Ergene havzasının oluşumu bir yükselme ve derin aşınma evrelerini izlemiştir. Bu havza Karadeniz bölgesindeki derin deniz ortamı ile genellikle sık bir eşik aracılığı ile İstanbul' un kuzeyinden bağlantı kurmuştur. Giderek sıklaşan bu havza, Oligosen sonu ve Miyosen başı dönemde K-G yönlü sıkıştırma rejimi altında

kıvrımlanmış ve yükselmiştir. Bu yükselmeyi izleyen Erken Miyosen-Erken Orta Miyosen aşınma sürecinde Trakya penepleni oluşmuş, bu peneplen İstanbul' un Anadolu yakasını da kapsayacak ve kuzeye hafifçe eğimli olacak şekilde gelişmiştir. Orta Miyosen' in sonlarına doğru Trakya' da Ergene havzası gelişmeye başlamış, özellikle Geç Miyosen' de belirginleşmiştir. Pliyosen' de Marmara çöküntüsü, mevcut zayıflık zonlarını kullanarak ve büyük bir olasılık ile büyük bir sıyrılma fayının, eski bir kenet kuşağından yüzeye erişen bölümünde gelişmiştir. Kuzey Anadolu Fayı bu çukurluğa Geç Pliyosen' de ulaşmıştır (Arpat, E., Şentürk, K., 2003).





3. DEPREMSELLİK

Kütle hareketlerinin tetiklenmesi açısından inceleme alanındaki dinamik etkenlerin en önemlisi olan depremselliğin doğru boyutlandırılması için bu bölümde tarihsel depremsellik, aktif fay hatları ve deprem olasılıkları, ivme ve hız değerleri ve bunlara bağlı değerlendirmeler sistematik olarak incelenmiştir. Depremsellik ve sismik tehlike analizlerine yönelik çalışmalar yerin jeolojik, jeofizik ve jeoteknik özellikleri ile deprem verilerine uygulanan istatistiksel incelemelere dayanır.

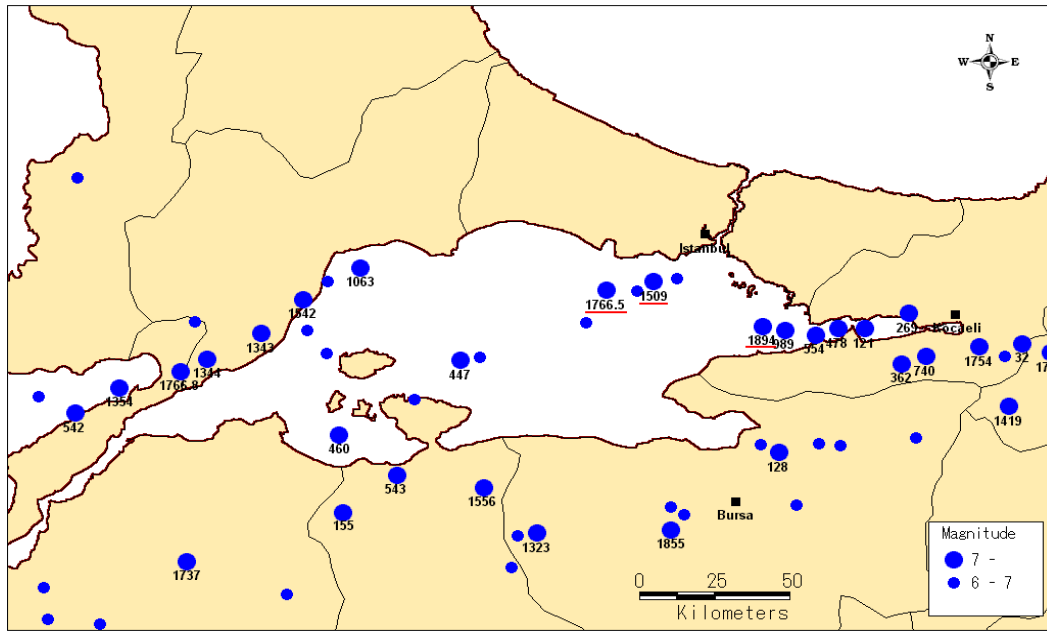
Bu açıdan, deprem tehlikesinin tam olarak ortaya konabilmesi için inceleme alanının aktif fay geometrisinin, bu fayların sahip olduğu kayma hızı ve sismojenik derinliği gibi fiziksel parametrelerinin, fayın eski deprem tarihçesinin (paleosismoloji), jeolojik, jeomorfolojik, jeofizik ve jeoteknik özelliklerinin belirlenmesi ve bunların nitel-nicel özelliklerinin ortaya konması gerekir. Aktif fayların geometrisi, türü, birbirleriyle ve bölgede oluşmuş depremlerle ilişkileri belirlendikten sonra inceleme bölgesi için deprem potansiyeli oluşturacak kaynak zonları ortaya çıkartılmış olur. Bu özelliklerin ortaya konması ile hazırlanan aktif tektonik haritaları, deprem tehlike analizlerin gerçekleştirilmesine yönelik deterministik ve olasıksal hesap yaklaşımlarında gerekli alt yapıyı oluşturur.

Bu kapsamda yukarıda özetlenen depremsellik çalışmaları için hedeflenen, önceki çalışmalar ve mevcut veri katalogları kullanılarak inceleme alanı ve civarında kalan aktif fayların ve bunlarla ilgili ana parametrelerin, bu kaynak zonlarının sahip olduğu tarihsel ve aletsel dönem depremlerin, bu faylar üzerinde 1976 yılından sonra gerçekleşen ve büyüklüğü dörtten büyük depremlerin fay mekanizması çözümlerinin, çalışma alanı sınırları içerisinde kalan bölgenin zemin koşullarının, ve bu kaynak zonlarının kırılması halinde oluşacak bir depremin inceleme alanında yaratacağı yer ivme şiddetlerinin belirlenmesidir. Kullanılan veri gruplarının çözünürlüğü, kullanılan jeolojik haritaların ölçekleri ve bunların sağladığı bilgilerden yola çıkılarak zemin koşulları ile ilgili yapılan kabuller, bu çalışmada yapılan değerlendirme ve sonuçların 1:100 000 ölçeğinde kullanabileceği gerçeğini gösterir.

3.1 Tarihsel Depremsellik

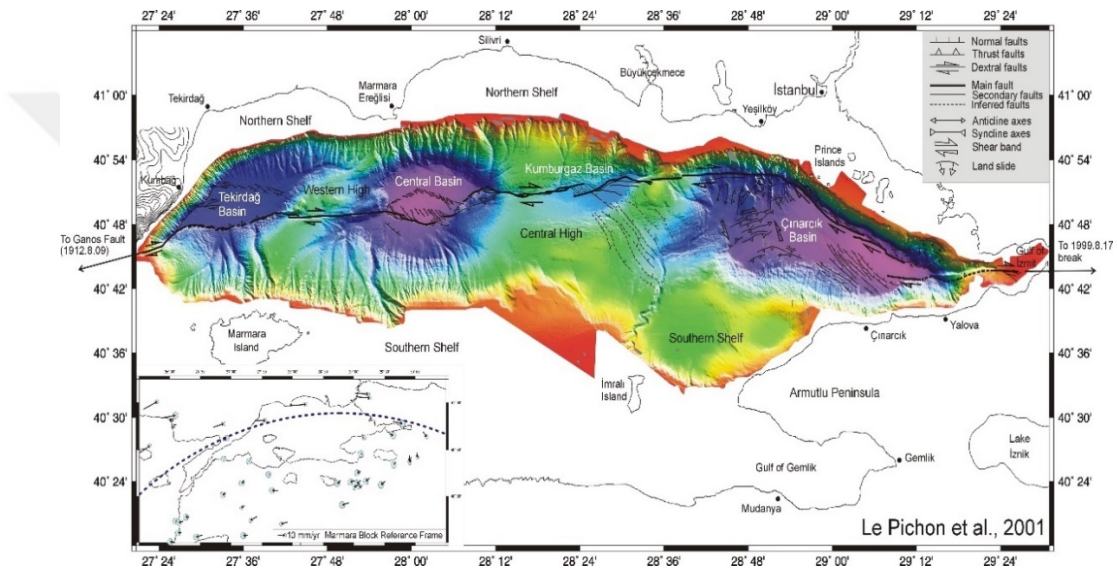
Çalışma alanı özelinde tarihsel süreçte, kayıtlı dökümanlar hasar yapıcı depremlerin oluşturduğu etkiler ve sonuçları hakkında bilgiler içermektedir.

İnceleme alanında 1900 yılı öncesi tarihsel ve sonrası da aletsel kayıt dönemi olmak üzere merkezde göller arası bölge olmak üzere 200 km çaplı alanda görülen büyüklüğü $M_s = 6.0$ ve üstü büyük depremlerin araştırması yapılmıştır (Ambraseys ve Finkel, 1991; Straub, 1996).



3.2 Mevcut Bulgulara Göre Aktif Fay Hatları ve Deprem Tehlike Olasılıkları

Marmara denizi ve bölgesinde gerçekleştirilen jeolojik, jeofizik, sismolojik, deniz jeolojisi ve jeofiziği, sedimantolojik ve paleosismolojik araştırmalara dayanarak çalışılan bölgeyi etki altına alacak depremi yaratacak en önemli fay hattı konusunda ortak bir görüş oluşmuştur. Bu deprem, kaynağı Kuzey Marmara’ dan geçen ve Kuzey Anadolu Fayı (KAF)’ nın kuzey kolunun Marmara denizi içinde D-B yönündeki devamı olan fay hattıdır. Kuzey Marmara Fayı (KMF) olarak adlandırılan bu kolun boyutları göz önüne alındığında, 7.0 ve daha büyük bir deprem yaratma kabiliyeti olduğu anlaşılr (Le Pichon ve diğ., 2001) (Şekil 3.2).



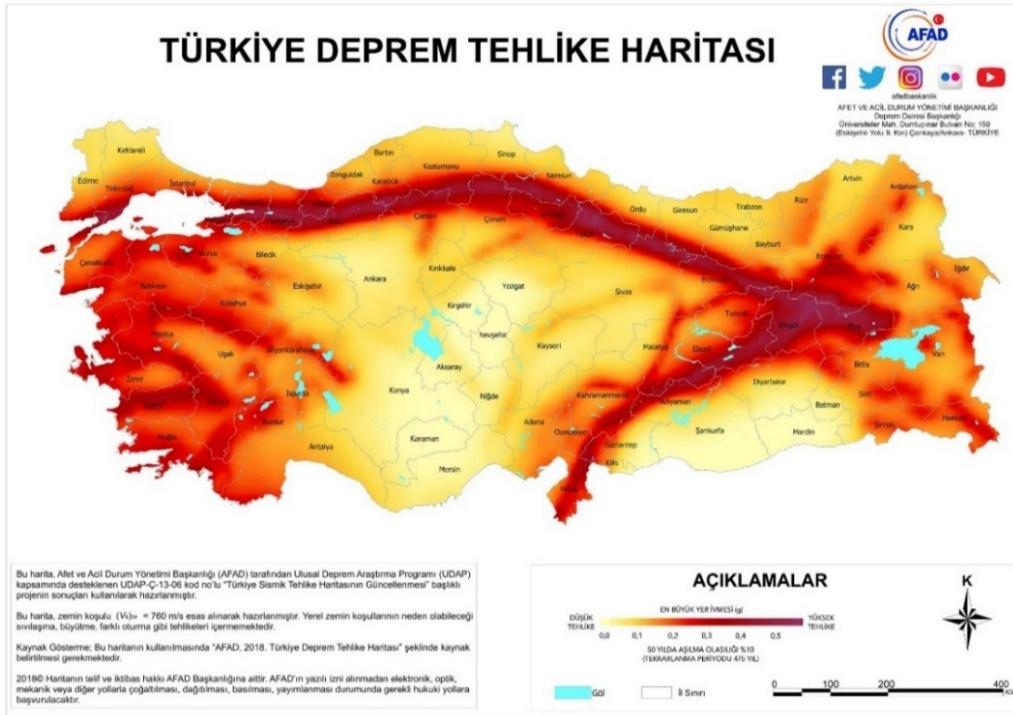
Şekil 3.2 : Marmara deniz tabanının Kuzey Marmara Fayı' nın batimetri ve yapısal modeli (Le Pichon ve diğ., 2001' den sadeleştirilmiştir).

Parsons ve diğ. (2000), Marmara denizi çevresinde bulunan yerleşimleri etkileyebilecek depremleri meydana getirecek diğer önemli fay hatlarını da araştırmış, tarihsel dönemdeki depremlerin etkileri ve 1999 Kocaeli depreminin gerilme fazlalığı tezini de gözeterek Marmara bölgesini etkileyecek deprem olasılıklarını hesaplamışlardır. Parsons ve diğ. (2000)' nin çalışmalarında kullanılan faylar Yalova, Prens adaları ve Kuzey Marmara Fayları' dır. Bu faylara ait aktivite ve büyük depreme neden olma olasılıkları Kuzey Marmara Fayı için 1999 yılından itibaren 30 yılda 13 ± 9 , Prens adaları güneyindeki fay için ise 35 ± 15 dir. Tüm bu fayların bir arada oluşturduğu deprem tehlikesi olasılığı ise önümüzdeki (1999 yılı sonrası) 10 yıl için 32 ± 12 'ye, 30 yıl için 62 ± 15 'ye erişir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1 : Marmara bölgesinde 30, 10 ve 1 yıllık süreler içinde beklenen ve büyüklüğü 7 ve 7' den büyük olabilecek depremin verilen zaman aralıklarında gerçekleşme olasılıkları (Parsons ve diğ., 2000).

Fay Zonu	30 yıl (%)	10 yıl (%)	1 yıl (%)
Yalova	33 ± 21	14 ± 11	17 ± 1.7
Prens Adaları	35 ± 15	16 ± 9	2.1 ± 1.6
Kuzey Marmara	13 ± 9	5 ± 5	0.6 ± 0.7
Tüm Faylar	62 ± 15	32 ± 12	4.4 ± 2.4

Bu alt bölümde, AFAD (2018) tarafından hazırlanan “Türkiye Deprem Tehlike Haritası” kullanılarak deprem olasılıkları değerlendirilmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 : Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası’ na göre Büyükçekmece kıyı kesimleri birinci derece deprem bölgesindedir.

İnceleme alanı içinde, JICA (Japonya) ve (İBB) arasındaki protokolle yapılan araştırma sonucuna göre 1/5.000 ölçekli dört farklı büyüklükte deprem senaryosuna göre mevcut jeolojik karakteristikleri de göz önüne alınarak karşılaşılabilecek maksimum yatay yer ivmesi ve partikül hız değerleri yayınlanmıştır. Uzunluklarına göre Kuzey Marmara Fayı’ nın tartışılan bu olasılıklar dahilinde oluşturabileceği deprem büyüklüğünün en uç ve kötümser tahminlerle 7.7 olabileceği (C deprem modeli) öne sürülmektedir. C deprem modeli ($M=7.7$) depremde Büyükçekmece’ nin 500 cm/sn^2 (0.5 g) değerdedir.

Aynı senaryo depremi için maruz kalınabilecek partikül hızı Büyükçekmece’ de 40 cm/s - 80 cm/s ve spektral ivme değerleri % 5 sönüm değeri için, 0.2 s periyodunda $S_a = 500 \text{ cm/s}^2$ ile $S_a = 1000 \text{ cm/s}^2$ arasındadır. Ek olarak, 1.0 s periyod için ise $S_a = 200 \text{ cm/s}^2$ ile $S_a = 500 \text{ cm/s}^2$ arasında değişir.

3.3 İvme ve Hız Değerleri

Marmara denizi ve çevresindeki $M > 6.0$ büyüklüğündeki depremler, İstanbul’ da yakınlık dereceleri dahilinde hasar yapabilen depremlerdir. Marmara bölgesinde kayıtlı en büyük depremin magnitudü $M=7.5$ dir.

Çizelge 3.2 : Marmara bölgesinde 30, 10 ve 1 yıllık süreler içinde beklenen ve büyüklüğü 7 ve 7’ den büyük olabilecek depremlerin verilen zaman aralıklarında gerçekleşme olasılıkları (Parsons ve diğ., 2000).

Lokasyon	Yatay	Düşey
Arçelik (ARC)	211,365 mg	83,252 mg
Ambarlı (ATS)	252,564 mg	80,078 mg
Botaş (BOT)	98,877 mg	23,560 mg
Çekmece (CNA)	177,307 mg	57,768 mg
Hava Alanı (DHM)	90,120 mg	55,115 mg
Yapı Kredi (YKP)	41,07 mg	27,100 mg
Yarımca (YPT)	322,205 mg	241,089 mg
Fatih (FAT)	189,392 mg	131,714 mg
Heybeliada (HAS)	110,230 mg	143,494 mg
Bursa (BUR)	100,891 mg	48,218 mg

Çalışma alanı ve çevresi tarihsel ve aletsel dönemlerde oldukça etkin bir depremsellik görülmektedir. Bölgede etkili olan en büyük şiddet değerleri MSK ölçeğinde VI-VIII arasındadır. 17 Ağustos 1999 Gölcük depreminin İstanbul’ daki en büyük ivme değerlerinden bazıları Çizelge 3.2 de verilmiştir.

İstanbul ve çevresinde kaydedilen tarihsel ve aletsel deprem büyüklükleri ve bunların M.S. 555 – 1999 arasındaki meydana gelme sayıları Çizelge 3.3. ile sunulmuştur. Çizelge 3.3 ile verilen değerlendirmelere göre İstanbul ve civarında tarihsel ve aletsel kayıtlı 4 ve 8 büyüklüğünde toplam 192 deprem olmuştur. Bu depremlerin 4 – 4.5 ve 5 aralıklarını kapsar.

Çizelge 3.3 : İstanbul ve çevresinde tarihsel ve aletsel deprem büyüklükleri ve sayıları.

Deprem Büyüklüğü	555-1999 Yılları Arasında Meydana Gelen Deprem Sayısı
4 – 4.5	99
4.5 – 5	53
5 – 5.5	19
5.5 – 6	5
6 – 6.5	3
6.5 – 7	4
7 – 7.5	3
7.5 – 8	6
Toplam	192

İstanbul’ un sismik riski, olasılıksal yöntem ile Gutenberg-Richter Frekans-Manyitüd ilişkisinden elde edilir. Gutenberg-Richter denklemi:

$$\text{Log } N = a - bM_s \quad (1)$$

N : Meydana gelen deprem sayısı

M_s : Depremin büyüklüğü

A, b : Yörenin sismik durumunu belirleyen parametrelerdir.

Belirli büyüklükteki bir depremin, verilen bir süre (T) içinde gerçekleşme olasılığı ise, aşağıda sunulan denklem ile bulunur.

$$P(M,T) = 1 - e^{-N(M)*T} \quad (2)$$

Bir yılda meydana gelen ortalama deprem sayısı $N(M)$ ise;

$$N(M) = 10^{a' - M b} \quad (3)$$

ile tespit edilir. Bu denklemde verilen a' ise;

$$a' = a - \log(b \ln 10) - \log T \quad (4)$$

ile hesaplanır. Belirli büyüklükteki depremin tekrarlama aralığı ise $1/N(M)$ ile bulunur.

Çizelge 3.3’ de , yöredeki deprem bilgileri (1900 yılından Aralık 1999’ a kadar meydana gelen depremler) kullanılarak regresyon ile elde edilen Gutenberg-Richter ilişkisi gösterilmektedir. Sismik parametreler ise $a = 3.7453$, ve $b = 0.4678$ dir.

Çizelge 3.4’ de bölgede meydana gelmesi muhtemel depremlerin tekrarlama aralığı gösterilmiştir. 6.5 büyüklüğündeki bir depremin tekrarlama aralığı 15 yıl, 7.5 büyüklüğündeki bir depremin tekrarlama aralığı ise yaklaşık 50 yıldır.

Çizelge 3.4 : İstanbul ve çevresinde Gutenberg-Richter deprem ilişkisine göre deprem büyüklüğü ve yıl bazında tekrarlama aralığı.

Deprem Büyüklüğü	Tekrarlama aralığı (YIL)
6.5	15
7	30
7.5	50

Muhtelif büyüklüklerdeki depremlerin yapı ömrü içinde ($T = 50$ yıl) meydana gelme olasılıkları Çizelge 3.5’ de verilmiştir.

Çizelge 3.5 : İstanbul ve çevresinde deprem gerçekleşme olasılığı.

Deprem Büyüklüğü	Gerçekleşme Olasılığı (%)
6.5	95
7	82
7.5	64

Bu bölümde, incelenen bölgede kaydedilen deprem verileri ve Gutenberg-Richter yöntemi ile bir regresyon çalışması sunulmuştur. Elde edilen sismik parametreler ile yörede meydana gelebilecek deprem olasılığı ve bu depremlerin tekrarlama aralıkları analiz edilmiştir. Analiz için tasarım ömrü, $T=50$ yıl olarak kabul edilmiştir. Sonuçlara göre, $M=7$ büyüklüğündeki bir depremin tekrarlama süresi 30 yıl, $M=7.5$ büyüklüğündeki bir depremin tekrarlama süresi ise 50 yıl olarak belirlenmiştir. Şu halde, inceleme alanı için beklenen tasarım deprem büyüklüğü $7 < M < 7.5$ olarak kabul edilmelidir.

3.4 17 Ağustos 1999 Depremi' nin Avcılar' daki Etkileri

17 Ağustos 1999 Depremi sonrasında, İstanbul-Avcılar' da hasarın diğer bölgelere göre daha yoğun, maddi kaybın büyük olduğu görülür. Bu semtte sistematik olmayan bir hasar kayıtlara geçmiştir. Avcılar bölgesindeki hasarın, yapıların kıyı şeridi boyunca dolgu zemin ve heyelanlı alanlarda yer alması, gevşek-suya doymuş kalın alüvyonal ve dolgu üzerinde bulunuşu, topografik unsurların özellikle bazı yönden gelen deprem dalgalarının binalar üzerindeki etkisini arttıracak yönde değiştirdiği önemli parametrelerdir. Bütün bu etmenlerin bileşiminde yüzeyde benzer zemin kesitlerine sahip komşu bölgelerde büyük yer hareketi ve hasar dağılımı farkları ortaya çıkmıştır.

Avcılar' daki zemin kesitinde bulunan suya doymuş geçirimli siltli kumtaşılarının S dalgası hızını düşürerek genliğin büyümesine neden olabileceği göz önünde tutulmalıdır. Fay yüzeyindeki kırılmanın başlama ve yayılması zaman ve mekan içinde düzensizdir. Bu nedenle ortaya çıkan elastik dalga heterojendir. Farklı yönlerde farklı zamanlarda gönderilmektedir. Bu durum bazen dalgaya yön bağımlılık ve belli yönlerde büyüme etkisi sağlar. Diğer yandan elastik dalganın yayılım yolu üzerindeki hızlar da, kabuğu oluşturan birimlerin fiziksel özelliklerinden ötürü farklı olduğundan varış zamanları farklılaştırmaktadır.

Ancak en önemlisi kabuk içinde ilerleyen dalgalar farklı hız tabakalarını geçerken ışık ışınındaki gibi sapmakta ve bu durum sınırın geometrisine göre ışınların üst üste binerek girişim yapması ya da seyrelerek zayıflamasını doğurmaktadır. Daha sonra, yerel düşük hız tabakalarından oluşan örtülerin kalınlık ve özelliklerine bağlı olarak zemin büyütme ortaya çıkmaktadır. Ayrıca gövde dalgalarından ayrılan yüzey dalgalarının bazen düşük hızlı tortullarla dolu havza kenarlarından birkaç kez yansiyarak belli yerlerde gövde dalgalarıyla girişim yapması biçiminde ortaya çıkmaktadır.

İnceleme alanında yamaç duraylılığı analizlerinde tekrarlı yükleri temsilen sismik analizlerin yapılmasında yukarıdaki değerlendirmelere göre psödo statik sismik yatay katsayı (K_h) 0.2 alınmalıdır.

4. HİDROLOJİ VE HİDROJEOLOJİ

İnceleme alanının meteorolojik özellikleri ile yüzey ve yeraltı sularına ilişkin özellikleri ve bunların kütle hareketlerinde önemli bir etmen olan boşluk suyu basıncına etkisinin anlaşılması, yerleşime uygunluk değerlendirmelerinde temel mühendisliği açısından dikkat edilmesi gerekenlerin incelenmesini hedefleyen çalışmalar aşağıdaki alt başlıklarla verilmiştir. Bu çalışmalar, gerek içme ve kullanma suyu sağlanmasına yönelik değerlendirmelerde gerekse duraylılığı kritik denge durumunda olan alanlardaki drenaj uygulamalarında gerekli bilgiler açısından önemlidir.

4.1 Meteorolojik Özellikler

Meteorolojik olaylara ilişkin veriler, yeterli kayıt türleri ve süresi bulunan en yakın meteoroloji gözlemevi durumundaki Florya DMİ (2018)' den sağlanmıştır. Deniz düzeyinden yüksekliği 36 m olan Florya DMİ' de 54 yıllık gözlem süresi (1937-1990) boyunca elde edilen ve bölgesel meteorolojik temel veriler yardımı ile meteorolojik su bilançosu hazırlanmıştır.

Bölgesel yağışın ortalaması 642,4 mm/yıl' dır. En fazla yağış düşen ay, Aralık (102,0 mm), en az yağışlı ay ise Temmuz (20,8 mm) ayıdır. Nisan ayından itibaren giderek azalan yağışlar Eylül ayı sonuna kadar uzanan bir kurak dönem oluşturur. Yıllık yağışın %79' u yağışlı dönemde ve %21' i de kurak dönemde düşer. Sıcaklığın yıl içindeki aylık dağılımına bakıldığında, Ekim ayından Mart ayına kadar sıcaklığın azaldığı ve Nisan ayından itibaren artmaya başlayan sıcaklığın Eylül ayında da halen etkin olduğu görülür. Kaydedilen sıcaklık değerlerinin ortalama değerlerine göre en soğuk aylar Ocak (5.3 °C) ve Şubat (5.5 °C), en sıcak aylar Temmuz (23.2 °C) ve Ağustos (23.7 °C), uzun yıllar sıcaklık ortalaması ise 13.9 °C dir.

İnceleme alanının meteorolojik su bilançosunu hazırlayabilmek için gereken bölgesel potansiyel buharlaşma değerleri Penman yöntemine göre hesaplanmış ve zeminin her zaman suya doymun olduğu varsayımına göre, öncelikle bölgedeki günlük potansiyel buharlaşma ve buradan hareketle aylık potansiyel buharlaşma değerleri bulunmuştur. Buna göre, potansiyel buharlaşmanın Temmuz ayında en fazla (138 mm su), Kasım ve Aralık aylarında ise en az (18.8 ve 17.7 mm su) olduğu belirlenmiş, toplam yıllık potansiyel buharlaşma yüksekliği 747.3 mm su/yıl olarak hesaplanmıştır (Çizelge 3.1). Potansiyel buharlaşmanın hesaplanması sonrasında yine Penman yöntemi kullanılmış ve zeminin suya doymunluğunun meteorolojik ortalamalar çerçevesinde aylara göre değişimi göz önünde bulundurularak bölgenin gerçek buharlaşma değerleri saptanmıştır. Meteorolojik su bilançosu hesaplamaları çerçevesinde elde edilen gerçek buharlaşma yüksekliklerinin Mayıs ayında en yüksek (85.4 mm su), Kasım ve Aralık aylarında en düşük (18.8 ve 17.7 mm su) olduğu görülmüş, ayrıca bölgedeki toplam yıllık gerçek buharlaşma değeri 434.5 mm olarak bulunmuştur (Çizelge 3.1). Florya ve çevresinde potansiyel buharlaşma değeri yıllık 744.726 mm, gerçek buharlaşma değeri (buharlaşan su) 392.200 mm dir. Bölgede akifer özelliği sunan jeolojik oluşumların aktif rezervuar hacimleri ile akifer olmayan ortamların kırık, çatlak ve boşlukları Ekim – Mart aylarında yağışlardan beslenir.

4.2 Hidroloji

İnceleme alanına düşen yağışın büyük kısmı, formasyonların geçirimsiz ve az geçirimli özellikte olmalarına bağlı olarak, Haramidere, Kavaklıdere ve Büyükçekmece ile Küçükçekmece göllerine ve Marmara denizine boşalır.

İnceleme alanında içme suyu kullanımı için çoğu sayıda sığ kuyular ve birkaç noktada da derin su sondajı kuyuları mevcuttur. Sürekli akış gösteren düşük debili kaynakların kaptaja alınmış olarak kullanıldıkları bilinmektedir. İnceleme alanında içme suyu olanakları genellikle İSKİ tarafından karşılanmaktadır (İTÜ MJKM, 1997). Florya gözlem istasyonu verilerine göre hazırlanan Penman su bilançosu Çizelge 4.1 ile sunulmuştur.

Çizelge 4.1 : Florya Penman su bilançosu değerleri.

Aylar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Σ
Yağış (mm)	78.93	68.97	58.37	50.43	30.55	30.04	21.68	26.39	35.56	73.01	79.22	91.36	644.521
EP (mm)	3.03	15.09	38.06	65.99	106.05	132.44	147.43	125.22	70.06	34.54	6.81	0.00	744.726
Y - EP (mm)	75.90	53.88	20.31	-15.56	-75.50	-102.3	-125.7	-98.84	-34.50	38.46	72.41	91.36	-
Rezerv Su (RJ)	100.0	100.0	100.0	84.44	8.95	0.00	0.00	0.00	0.00	38.46	100.0	100.0	-
ER (mm)	3.03	15.09	38.06	65.99	106.05	38.99	21.68	26.39	35.56	34.54	6.81	0.00	392.200
Eksik Su (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	93.45	125.75	98.84	34.50	0.00	0.00	0.00	352.526
Fazla Su (mm)	75.90	53.88	20.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.87	91.36	252.321
Akış (AI)	62.15	58.01	39.16	19.58	9.79	4.90	2.45	1.22	0.61	0.31	5.44	48.40	252.015
Yağışın Akışa Açığı (mm)	16.78	10.96	19.21	30.85	20.76	25.15	19.24	25.16	34.95	72.70	73.78	42.96	392.506
İstasyon Adı:	Florya								Konum: 40° 58' N, 28° 47' E				

Sızma (mm)	75.60
Buharlaşmanın Yağıştan (%) si	~ 60.85
Akışın Yağıştan (%) si	~ 39.15
Akış Katsayısı (α)	0.391

4.2.1 Akarsular

Akarsuların çoğunluğu mevsimsel derelerdir. Ana akarsular K'den G'ye doğru akış gösterir. İnceleme alanında yüzeysel akışın görüldüğü üç havza bulunur. Bunlardan Haramidere havzası Marmara denizine, diğer iki havza ise Büyükçekmece ve Küçükçekmece göllerine boşalır. Haramidere havzası içerisinde birbirinden bağımsız çok sayıda drenaj alanı mevcuttur.

Kavaklıdere, Dereağzı deresi ve Haramidere bu havzadaki yazın kurumayan akarsulardır. Ispartakule deresi ve Azatlıdere çayı, Küçükçekmece havzasında bulunan iki önemli bütün mevsimlerde su taşıyan akarsulardır.

İnceleme alanının B'da geniş bir alana sahip olan Büyükçekmece havzasında tek sürekli dere Çekmece deresidir. Bu havzada, Uzunçayır, Boşnak, Çapkıncöprü ve Ahlat dereleri Büyükçekmece gölüne ulaşmadan kaybolan derelerdir.

4.2.2 Kaynaklar

İnceleme alanındaki kaynaklar; kontakt kaynakları, heyelan kaynakları ve karstik kaynaklardır. Kum, çakıl ve kireçtaşı seviyeleri ile kil ve marn seviyelerinin kontaklarından boşalan kaynaklar kontakt kaynaklarıdır. Gürpınar formasyonu içindeki kumlu, çakıllı, siltli seviyeler ile kil seviyeleri, ve tüflü seviyelerden, Çukurçeşme formasyonu ile Gürpınar formasyonu ve Bakırcöy formasyonu ile Güngören formasyonu kontaklarından boşalan kaynaklardır.

Bu tip kaynaklar genellikle düşük debili olup 2-4 lt/s' ye varan debiler izlenir. Beslenmesi en az olan Gürpınar formasyonundaki kaynaklar genellikle yazları kurumakta, diğer formasyonlardaki kontakt kaynaklarının debileri ise yazın azalmakta ancak kurumamaktadırlar. Heyelan kaynakları ise heyelan yüzeyleri boyunca boşalan kaynaklar olup Büyükçekmece Körfezi' nin doğu yamaçları, Haramidere' nin her iki yamacında ve Küçükçekmece gölünün batı yamaçlarındaki heyelanlı alanlarda görülürler. Debileri az olan bu kaynaklar yaz aylarında genellikle kurumaktadırlar. Karstik kaynaklar, Bakırcöy formasyonunun kireçtaşları içindeki karstik boşlukların topografya ile kesilmelerinden oluşan kaynaklardır.

İnceleme alanında yüksek debili kaynaklar Kırklareli formasyonunu oluşturan karstik boşluklu resifal kireçtaşları ile kilitaşı ve marn dokanaklarından boşalır. Küçükçekmece gölü havzasında; Yarımburgaz kaynakları ile Büyükçekmece gölü havzasının kuzey ve batı kesiminde yer alan çok sayıda karstik kaynaklar Kırklareli

formasyonu ile ilişkili su boşalımlarıdır. Tüm bu kaynak boşalımları suya hassas litolojik birimlerde kütle hareketlerinin oluşumunda etkindir.

4.2.3 Kuyular

İnceleme alanında yeralan çoğu kuyuların derinliği 0.5-2.50 m ile 10-25 m arasında değişen keson kuyulardır. Ayrıca DSİ, yerel belediyeler ve şahıslar tarafından açılan ve derinlikleri yer yer 150 m yi bulan derin sondaj kuyuları da bulunmaktadır. Kuyulardan genelde dalgıç pompa kullanılarak yeraltı suyu çekimi yapılır. Bölgede bulunan kuyular, sulama ve içme-kullanma suyu amaçlı kullanılmaktadır.

4.2.4 Göl ve Barajlar

İnceleme alanını batıdan sınırlandıran Büyükçekmece ile doğudan sınırlandıran Küçükçekmece lagün gölleridir. Küçükçekmece gölünün yüzölçümü 14.2 km² dir. En derin yeri 20 m dir. Sahilden içeriye doğru artan bir eğimle derinleşmeye başlar, yalnız geçit ağzında ani bir derinlik artışı gözlenir. Marmara denizinden bir kıyı kordonu ile ayrılmış tipik bir kıyı lagünüdür. Kuzeyindeki birçok dere buraya boşalır. Birkaç tanesi dışında dereler kışın akışlı, diğer mevsimlerde kurudur. Göl, yeraltı suyu ile de beslenmektedir. Küçükçekmece gölünün kuzeydoğusunda, Domuz ve Sazlı dereler üzerinde içme suyu amaçlı Sazlıdere barajı bulunur. Küçükçekmece Gölü' nde tatlısu girişlerinin azaldığı, kentsel atıklar, tuzlusu girişi nedeniyle suları canlı organizma yaşamına ve farklı amaçlara yönelik kullanıma uygun değildir.

Büyükçekmece Gölü de Marmara denizinden kıyı kordonu ile ayrılmış bir lagün gölüdür. Birçok dere bu göle akar. Gölün beslenmesine yeraltı suyunun da katkısı vardır. Yüzölçümü 10 km², derinliği 3.5 m dolayındadır. İstanbul' un içme ve kullanma suyu gereksinimini bir ölçüde karşılamak amacıyla 1985 yılında baraj yapılarak Marmara denizi ile bağlantısı kesilmiştir. Toplam su toplama havzası 622 km² olan Gölün yapılan baraj ile su derinliği 7 m'ye ulaşmış, su kalitesi ve ekolojik dengesi düzelmiştir. Büyükçekmece Gölü'nden İstanbul kentinin içme kullanma suyu ihtiyacının % 17 lik kısmı sağlanmaktadır.

4.2.5 Bataklıklar ve taşkın alanları

İnceleme alanındaki bataklıklar, doğuda Yarımburgaz çayının Küçükçekmece Gölü' ne, batıda Beylik çayı yatağı ile Kör dere ve Karasu deresinin Büyükçekmece Gölüne ve Tepecik deresinin Büyükçekmece gölüne döküldüğü kesimlerde yer alırlar. Bataklık oluşumun en önemli etkenleri; zeminin killi, eğimin az ve yeraltı su

seviyesinin yüzeyde olmasıdır. İnceleme alanındaki diğer bataklıklar, Çukurçeşme formasyonu ile Gürpınar formasyonu kontaklarındaki heyelan topuklarının arka çukurluklarında oluşan küçük yayılımlı bataklıklardır.

İnceleme alanındaki bu doğal drenaj kanallarında küresel iklim değişikliğinin getirdiği düzensiz ve anlık aşırı yağışlar ile özellikle plansız kentleşmenin de etkisinde son yıllarda taşkınlar oluşmaktadır. Bu kapsamda inceleme alanın sınırlarına komşu Ayamama Deresi (Basın Ekspres yolu) ve Haramidere (Esentyurt) taşkınlarında can ve mal kayıplarına neden olmuştur. Dolayısıyla kentleşmenin yoğun olduğu inceleme alanında taşkın eylem planlarının da hazırlanması zorunludur. Ayrıca, kütle hareketleri açısından, bu çalışma dışında tutulan, sel ve taşkınlar da irdelenmelidir.

4.3 Hidrojeoloji

Arazi kullanım kararlarında litolojik birimlerin yeraltısuyu bulundurma hareket ettirme ve verebilme kapasitelerinin yanı sıra, zeminlerin teknik (yüzey ve yeraltı kazıları) girişimlerde; taşıma, oturma, kabarma vb. davranışlarına suyun etkisinin kestirimi, temel tasarımı, yamaç duraylılığı ve şev tasarımı açısından önem taşımaktadır.

Bu bölümde, inceleme alanında haritalanan litolojik birimlerin hidrojeolojik özellikleri değerlendirilerek hidrojeolojik sistemler tanımlanmıştır. Ayrıca, akifer olarak tanımlanan hidrojeolojik sistemlerin önceki çalışmalardan yararlanarak hidrolik parametreleri, yeraltısuyu seviyesinin yüzeyden derinliği ve su kalitesi verileri önceki çalışmalardan derlenmiş ve amaca yönelik irdelenmiştir.

4.3.1 Litolojik birimlerin hidrojeolojik özellikleri

İnceleme alanındaki litolojik birimlerin yeraltısuyu akifer özellikleri İTÜ MJKM (1997) tarafından hazırlanan çalışmada “geçirimsiz”, “az geçirimli” ve “geçirimli” olarak belirlenmiştir.

Geçirimsiz hidrojeolojik ortam, Oligosen yaşlı Gürpınar formasyonunun fissürlü katı killeri ve Miyosen yaşlı Güngören formasyonuna ait marn ara seviyeli killeri ile Miyosen yaşlı Çukurçeşme ve Bakırköy formasyonlarının barındırdığı kil mercekleridir. Geçirimsiz hidrojeolojik ortamlar, kuzeyden güneye doğru derinleşmektedir. Geçirimsiz kil seviyelerine ait özgül verim değerleri 0,001 -0,01

l/s/m arasındır. Oligosen yaşlı Gürpınar formasyonunun tuf ve tufit seviyeleri ise az geçirimli hidrojeolojik ortamdır. Bu formasyonu oluşturan kumtaşı kilaşı dokanaklarından düşük debili (0,5 lt/s) kaynaklara sıklıkla rastlanır (Altunkaynak ve Günay, 1975). Özgöl verimleri ise 0.01 – 0.5 l/s/m arasındır (Gündüz, 2006). Formasyon bünyesinde ekonomik miktarda yeraltısu bulunmasa da temel tasarımları ve kütle hareketleri açısından yeterli boşluk suyu basıncını oluşturacak düzeyde yeraltısu bulunmaktadır.

Miyosen yaşlı Çukurçeşme formasyonunun kum ve çakıl seviyeleri, Bakırköy kireçtaşları, Kırklareli kireçtaşları ve hem Gürpınar hem de Güngören formasyonları içindeki kırıntılı seviyeler ile güncel çökeller ve dolgular geçirimli hidrojeolojik ortamlardır. Geçirimli birimler, kuzeyden güneye doğru derinleşir (İTÜ MJKM, 1997).

Çukurçeşme formasyonundan açılan bazı sondajların debileri 4 lt/sn'ye kadar ulaşmaktadır. Bu formasyona ait özgöl verim 0,5 -1.0 lt/s/m, transmisibilitesi 75 m³/gün/m'dir. Bu formasyonda açılmış bulunan su kuyularında ki su seviyeleri 2 ile 20 m arasında değişmektedir (Altunkaynak ve Günay, 1975).

Kırklareli formasyonunun kireçtaşı-marn-kumtaşı-şeyl ardalanmasından oluşan kesimlerde, özgöl verim 0,08-0,6 lt/sn/m, transmisibilite ise 13-100 m³/gün/m (Altunkaynak ve Günay, 1975) olup, hidrojeolojik sistem yerel zayıf akifer olarak sınıflandırılmıştır.

Gürpınar formasyonunun Çantaköy üyesi tufitik kumtaşı-çakıltaşı seviyeleri, Çukurçeşme formasyonu killi kumları yarı geçirgen birimler olarak değerlendirilebilir. İnceleme alanında tufitlerden yapılı Çantaköy üyesi kilaşı seviyeleri geçirimsiz birim olarak sınıflandırılabilir.

İnceleme alanında killer içinde sık sık rastlanılan fissürlerdeki su daha çok yapı temeli (şişme, oturma, yamaç ve şev duraylılığı) açısından önem taşımaktadır. Ayrıca, fissürlerin içerdiği suyun oluşturacağı boşluk suyu basınçları (effektif gerilme durumuna) derin kazılar ve yeraltı mühendislik yapılarının projelendirilmesinde güvenlik ve maliyeti doğrudan etkilemeleri, açısından dikkate alınmalıdır.

4.3.2 Yeraltısıyu dinamiği

İnceleme alanında litolojik birimlerin düşey ve yanal yönde geçişli olmalarından dolayı ve hidrojeolojik özellikleri de dikkate alındığında geçirimli birim ile geçirimsiz birimlerin yan yana gelmesinden dolayı süreklilik sunan yeraltısıyu seviyesi elde edilememektedir. İnceleme alanına komşu Kırklareli formasyonuna ait kireçtaşlarında, Bakırköy formasyonunun kireçtaşı seviyeleri ile Çukurçeşme formasyonunun kumlu kesimlerinde sürekli yeraltısıyu seviyesi sağlayan alanlardır.

Ancak inceleme alanında tanımlanan hidrojeolojik sistemlerden Çukurçeşme formasyonu ile diğer formasyonların kumlu-çakıllı düzeylerinin geometrik konumlarına göre serbest ve basınçlı akifer niteliği gösterebilir. Bu özellikleri gösteren genelde düşük hidrolik parametrelere sahip birimlerde yan yana açılan aynı derinlikteki kuyularda farklı su seviyeleri ölçülebildiği gibi, farklı derinliklerde açılan kuyularda da aynı veya farklı yeraltısıyu seviyelerine rastlanmaktadır. Dolayısıyla serbest ve basınçlı akiferlerin oluşturduğu su seviyelerini birbirinden ayırma zorluğu bulunmaktadır.

Bu nedenlerden dolayı inceleme alanında yeraltısıyu seviye haritası oluşturmanın zorlukları bulunmaktadır. Ancak yeraltısıyu seviyesinin doğası gereği geçirimsiz temele ve topoğrafik yüzeye paralel olması gerçeğinden hareketle, akış yönünün inceleme alanının batısında Büyükçekmece körfezine/gölüne, doğusunda Küçükçekmece körfezine/gölüne, güneyinde ise Marmara denizine olması beklenmektedir.

İki göl arasında derin biçilmiş dere yataklarında ise yeraltısıyu seviyesi dereyi besleyecek yönde olacaktır. Ana konusu kentsel alanda kütle hareketleri ve arazi kullanım kararlarına yönelik olan bu tezde yeraltısıyu seviye haritası ve akım yönünden daha çok yeraltısıyunun yüzeyden derinlikleri daha öncelikli önem taşımaktadır.

Önceki çalışmalarda, açılan sondajların çoğunluğunda yeraltısı seviyesinin yüzeyden derinlikleri 0-15 m arasında ölçülmüştür. İstatistik yöntemlerle değerlendirilen veriler sonucu yeraltısı seviyesinin topografya yüzeyinden ortalama derinliği 3.5 m ve yıllık değişim zonu 3-4 m olarak belirlenmiştir.

Yeraltısı seviyesi, özellikle Bakırköy formasyonunun kireçtaşı ve Çukurçeşme formasyonunun kumlarıyla yer yer Güngören ve Gürpınar formasyonlarının kumları içinde depolanan yeraltı suyuna aittir.

İnceleme alanına ait yerleşime uygunluk, ayrıntılı mühendislik jeolojisi çalışmaları ve temel araştırma sondajlarında gerçekleştirilen pompa deneyleri hidrojeolojik açıdan değerlendirilmiştir. Bu alt başlıkta, yeraltısı seviyesi, birimlerin yeraltısuyu geçirimsizlik durumu, yeraltısuyu depolama niteliği ve bölge sularının kimyasal özellikleri değerlendirilmiş, yapı temelleri üzerindeki etkileri irdelenmiştir.

4.3.3 Su kimyası

İnceleme alanında bulunan akifer niteliğindeki seviyelere ait yeraltısuları ile bazı yüzeysuyu noktalarına ait suların kimyasal özellikleri Köy Hizmetleri İst. Bölge Müd. Laboratuvarı iyon analiz sonuçlarından elde edilmiştir.

Buna göre; Eosen yaşlı resifal kireçtaşlarına ait suların genel karakterleri, orta tuzlu ve az sodyum içeren su olarak belirlenmiştir. Suların elektrik geçirgenlikleri 400-720 μS arasında değişmekte olup Bakırköy formasyonuna ait kaynakların suları serttir ve hakim fasiyes $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ' dir. Kırklareli kireçtaşı formasyonuna ait suların kalitesi çok iyi olup $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ fasiyesinde olup, sertlikleri 20-25 (Fr) arasındadır. Analizi yapılan yeraltısularının sülfat konsantrasyonları açısından betona az etkili oldukları anlaşılmaktadır (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2 : Zemin sondajlarından alınan yeraltısuyu örneklerinin kimyasal özellikleri (Merka, 2002).

Sondaj No ve Formasyon	SK-3	SK-6	SK-4	SK-10	SK-13	SK-19
	Alüvyon	Alüvyon	Çukurçeşme	Çukurçeşme	İhsaniye	İhsaniye
Renk	renksiz	renksiz	renksiz	renksiz	renksiz	renksiz
Bulanıklılık	tortulu	tortulu	tortulu	tortulu	tortulu	tortulu
Ca ⁺⁺ (mg/l)	56	147,2	64	75,2	76,8	46,4
Mg ⁺⁺ (mg/l)	67,2	61,4	40,8	75,8	62	48
Fe ⁺⁺ (mg/l)	3,17	2,74	1,27	1,22	3	3,2
Mn ⁺⁺ (mg/l)	-	-	-	-	-	-
Cl ⁻ (mg/l)	95	65	50	100	120	35
SO ₄ ⁻ (mg/l)	203	368	46	190	127	49
Na ⁺ (mg/l)	122	41,4	21,8	46	46	14,9
Organik Madde (mg/l)	6	3,5	1,5	3,5	2	2,5
NH ₄ (mg/l)	yok	yok	yok	1,2	-	yok
NO ₂ (mg/l)	yok	eser	Yok	var	-	yok
EC(25 °C, µmhos/cm)	1223	1228	761	1141	1005	652
Satürasyon pH	7,3	7,2	7,4	7,3	7,3	7,5
Koku ve Tat	kokusuz	kokusu	kokusuz	kokusuz	kokusu	kokusu
pH	6,7	6,8	6,5	6,8	6,6	6,8
CO ₃ ⁼ (mg/l)	0	0	0	0	-	0
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	415	305	317	329	305	305
Sertlik (CaCO ₃)	420	624	330	504	450	316
Toplam Alkanite (CaCO ₃)	340	250	260	270	250	250
Mg ₂ SO ₄ + Na ₂ SO ₄ (mg/l)	553	434	125	379	300	107
Buharlaşma Kalıntısı	917	921	517	856	745	443
K ⁺ (mg/l)	0,975	0,975	0,975	4,29	1,75	1,75
Çözülmüş O ₂	-	-	-	-	-	-
NO ₃ (mg/l)	-	-	-	-	-	-

5. MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ

Büyükçekmece ve Küçükçekmece gölleri arasındaki bölgede kütle hareketlerinin türü ve mekanizmasının anlaşılması için kütle hareketlerinin sınır koşullarının belirlenmesi gerekmektedir. Amaca yönelik olarak yüzey ve yeraltı araştırma noktalarında yerinde ve temsili örnekler üzerinde yapılan laboratuvar deneylerinden yararlanılmaktadır. Deneysel çalışmalardan kütle hareketlerinin oluştuğu alanlardaki litolojik birimlerin mühendislik özelliklerinin hesaplamaya baz teşkil edecek şekilde sayısal verilerle belirlenmesine çalışılmıştır. Bu kapsamda öncelikle farklı kurum ve kuruluşlar ile özel sektör tarafından değişik amaçlara yönelik çalışmalarından yararlanılmıştır. Ayrıca bu çalışma süresince yine İBB adına yapılan mekansal planlamaya yönelik arazi sondaj ve laboratuvar çalışmaları yerinde birlikte yönlendirilmiş, takip edilmiş ve bulgular veri setine eklenmiştir.

Gerek bu araştırma sırasında sağlananlar ve gerekse aynı litolojik birimlerin yer aldığı yakın çevrede önceki yıllara ait çalışmalarda elde edilen arazi ölçümlerine, deneylerine ve tanımlamalarına ait veriler birlikte değerlendirilmiş ve inceleme alanındaki olası yapılaşmaların güvenli bir şekilde temellendirilmesine yönelik jeoteknik hesaplamalar için bilinmesi gereken mühendislik jeolojisi özellikleri geniş veri tabanlı çizelgeler şeklinde verilerek olası teknik girişim ortamlarının tanımlanan genel karakterleri istatistiksel ortalamalar çerçevesinde gruplandırılmıştır.

Derlenen ve bu çalışma kapsamında üretilen mühendislik jeolojisi verilerinin değerlendirilmesi sonunda ise, bölgede mevcut imar planları çerçevesinde ileride gerçekleştirilecek teknik girişimlerin yer aldığı yapı yerlerinin, uygulanması düşünülen yapılaşma teknikleri kapsamında projelendirilebilmeleri için gereken jeoteknik hesaplamalardaki temellendirme ve boyutlandırma çalışmalarının güvenli yönde irdelenmesine olanak tanıyacak ortamsal baz bilgi kümeleri temin edilmiştir.

5.1 İnceleme alanı litolojisinin yöresel özellikleri

Bundan önceki bölümde “Stratigrafi ve Litoloji” başlığı altında çalışma alanındaki çökel istifin formasyon bazında bölgesel özellikleri detaylı bir şekilde verilmiştir. Bu bölümde ise söz konusu istifin daha çok yöresel özellikleri vurgulanacak ve mühendislik jeolojisi perspektifinde elde edilecek verilere temel olan özellikleri ortaya konacaktır.

Daha önceki bölümde belirtildiği gibi; inceleme alanındaki en yaşlı litostratigrafik birimi Üst Eosen yaşlı Kırklareli formasyonu meydana getirir. Bunun üzerine açılı uyumsuzlukla Terkos Grubu içindeki Üst Oligosen yaşlı Gürpınar formasyonu ve bunun da üzerine düşük açılı bir diskordansla Halkalı Grubu’nun taban birimi durumundaki Üst Miyosen yaşlı Çukurçeşme formasyonu gelir. Daha tavana doğru gidildikçe, önce Güngören formasyonu ve daha sonra da Bakırköy formasyonu karşılaşırlar. Tüm bu formasyonlar, akarsu yataklarını şekillendiren en üst jeolojik birim özelliğindeki Kuaterner yaşlı alüvyal çökeller tarafından yine uyumsuz olarak örtülür.

Bu formasyonlara ait litolojik birimlerin kayaç türleri ve stratigrafik durumları, kalınlıkları, yayılımları ve diğer özellikleri gibi yöresel ayrıntılı bilgiler izleyen alt bölümlerde sunulmuştur.

5.1.1 Gürpınar formasyonu

Bu formasyonun mostralara inceleme alanında, bölgenin kuzeydoğusundaki Ispartakule alüvyonunun her iki kesiminde, Haramidere alüvyonunun her iki yanında ve K’de, Kavaklı Dere’ nin her iki yanında, ayrıca Büyülçekmece gölü D’den G’e doğru Gürpınar yöresine kadar olan kesimde rastlanır.

Gürpınar formasyonu; alt düzeylerinde yer yer mercek veya kama şekilli, genelde çapraz tabakalı, kötü boylanmış ve gevşek çimentolu olan, seyrek kil bandları ve yerel kil ara seviyeleri içeren, açık kahve-sarı ve gri-kirli beyaz renkli olan ince taneli kumtaşları ya da kumlu konglomeralar ile başlar. Bu taban çökelleri; kahve-kırmızı renkli, köşeli-yarı yuvarlak metamorfik şist, andezit ve magmatik kayaç parçaları ile kuvarslardan ve yer yer de feldispat minerallerinden oluşmakta, ayrıca içlerinde bazen lamellibraş kavkalarına rastlanmaktadır.

Altındaki kırıntılı çökeller üzerine gelen litolojik birimin tane boyları giderek incelmekte ve giderek kumlu siltli killi bir istif egemen olmaktadır. Bu istif önce gri, açık kahve ve sarımsı renkli kum ile yeşilimsi sarımsı silt tabakaları, yerel olarak çakıl ve çakıllı kumtaşı ile ince silttaşı bandları yanısıra bazen turba ve bazen de 0.3 - 0.6 m kalınlıklı kömür seviyeleri içeren kil zonları şeklinde ortaya çıkmaktadır. Sonrasında ise özellikle kumtaşlarının çimentosu niteliğindeki karbonatın miktar olarak artması sonunda beyazımsı-gri, bej renkli, yerel gelişkin karstlaşmaya bağlı küçük erime boşluklu, genellikle ince bazen orta kalınlıkta düzgün tabakalı ve tüm kalınlığı bir kaç metreyi geçmeyen bol *Congerina Sp.* fosilli mikritik kireçtaşları ile bunun üzerinde yer yer marn görünümlü karbonatlı kilaşları ve tuf-tüfit aralanması türünde yer alır. Tüflerin aşınıp karmaşık bir depolanma özelliğinde yeniden tortullaşmasıyla oluşan ve kalınlığı 10 m'yi geçen kaba kırıntılılar şeklindeki tüfitler bej, beyazımsı krem renkleri ve yüzeyde yumuşak-orta sert nitelikleri yanısıra bilhassa heyelanlı alanlarda breşik oluşlarıyla, altındaki aşırı konsolide ve sert nitelikli kilaşları ise alacalı, koyu gri ya da mavi renkli, siltli ve yer yer karbonatlı oluşlarıyla karakteristiktir.

Kalınlığı yer yer 3 m yi aşan ve bileşimlerinde bir miktar feldispat ve mika minerali de bulunduran tüfler, boyları 0.2 - 3 cm arasında olan yarı yuvarlak biçimli ve dış yüzeyleri az ayrılmış gözenekli süngertaşı toprakları ile bundan türeme çok ince vitrifiye kırıntılar şeklindedir. Birbirleriyle düşey ve yatay geçişli bulunan bu birimlerden bazılarının yer yer gelişmediği, tuf ve tüfitlerin yer yer killeştiği ve hatta vitrifiye gresin tümüyle bentonitik kile dönüştüğü izlenmektedir.

Ortamdaki kil miktarının artışı ile tüm formasyon orta - üst seviyelere doğru tamamen kil ağırlıklı bir görünüm kazanmakta ve sözü edilen alttaki aralanma üzerinde limonitli, kahve, gri - yeşil ve alacalı renkli, katı-sert, fissürlü ve plastik yapıli killer yer almaktadır. Renk değişimleri de gösteren ve tabakalaşması belirsiz olan bu fissürlü killerden özellikle alacalı olanları içinde çakıl boyutunda karbonat topraklarına yaygın olarak, silt ve kum ara düzeylerine ise yer yer rastlanmaktadır. Diğer taraftan, bej-alacalı renkli ve genelde gevşek çimentolu olan, ayrıca fosil de içeren ara düzeyler şeklindeki kumların oldukça iyi boylandığı görülmektedir.

Bu birimler; mercek şekilli, büyük ölçekte çapraz tabakalı konglomera, kumtaşı ve çakıllı - bloklu killerle üstlenir. İstifin en üstünde ise yeşilimsi-kahvemsı gri renkli çamurtaşları görülür. İnceleme alanında yüzeylenen Gürpınar formasyonunun

tamamına yakın bir bölümünde görülen ve ağırlıklı olarak formasyonun orta ve üst düzeylerini oluşturan killerde ayrışma nedeniyle değişik renkler görülsün bile bunlar esas olarak yeşilimsi gri, bazen de mavi, sarımsı kahve ve bej renklidirler. Gürpınar formasyonunun inceleme alanı içinde rastlanan esas litolojik birimi “kil”dir. Killere büyük oranda “silt”ler eşlik etmektedir. Bu egemen birimlerin inceleme alanı genelindeki yaygın karakteristikleri, her biri için en yaygın olandan en az yaygın olana doğru izlenen bir sıra içinde aşağıda Çizelge 5.1 ile verilmiştir.

Çizelge 5.1 : Gürpınar formasyonu kil ve silt ağırlıklı seviyelerin karakteristik özellikleri.

	Genel Karakteristikler	Sık Özellikler	Seyrek Özellikler
Gürpınar Kili	Yeşil, kahve, gri, sarımsı renkli Orta plastik, Çok katı Siltli, Karbonat topaklı – konkresyonlu Fissürlü, Sert İnce – az çakıllı, Yer yer kum bandlı, Tüf konkresyonlu, Konsolide	Karbonatlı, Oksidasyonlu, Kuvars - kireçtaşı çakıllı, Mikalı, Alacalı, beyaz, bej, kırmızı renkli Yüksek – az plastik, Orta katı, Yumuşak Bol kayma yüzeyli, Konkoidal ayrılmalı Tüfit parçalı Fissürlü, Çok - orta katı, Konsolide	Siyah, mavi, boz, krem renkli Kayaç çakıllı, Organik maddeli, Yer yer silt bandlı, Kavkılı – fosilli Bentonitik, Mangan yumrulu, Marn araseviyeli Az katı
Gürpınar Silti	Açık kahve, yeşil, alaca, gri, renkli Az killi, Az - ince kumlu, Karbonat topaklı - konkresyonlu	Az – ince – köşeli kireçtaşı – kuvars çakıllı, Sert Sarı renkli	Mikalı, Tüf parçalı, Az kavkılı kırıntılı Plastik, Yumuşak, Organik madde katkılı Siyah, bej, mavi renkli

Bölgesel çalışmalardan bilindiği üzere formasyon kalınlığı, K’den G’e doğru giderek kalınlaşmakta ve çeşitli araştırmacılar tarafından Marmara denizi kesimindeki kalınlığının 500 m dolayında olduğu ileri sürülmektedir. İnceleme alanının en yaşlı jeolojik birimi olan İhsaniye formasyonu üzerine uyumsuzlukla bulunan Gürpınar formasyonu, aynı zamanda kendinden daha genç formasyonların tabanında düşük açılı bir uyumsuzluk oluşturmaktadır.

5.1.1.1 Gürpınar formasyonu (Çantaköy tüfiti ve killerin) X-ışınları difraksiyonu

Çantaköy tüfitine ait dört örnek için X-ışınları difraksiyonu (XRD) çalışmaları İTÜ, Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, XRD Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. 325 mesh altı boyuta öğütülen örneklerin XRD analizleri Bruker D8 Advance marka X-ışınları difraktometresinde, $\text{CuK}\alpha$ radyasyon ve Ni filtre kullanılarak, $2\theta = 2-60^\circ$ aralıklarında, çekim hızı $1^\circ/\text{dakika/cm}$, 40kV voltaj ve 40 mA akım şartlarında gerçekleştirilmiştir.

Çantaköy tüfitine ait örneklerin X-ışınları difraksiyon (XRD) analizleri sonucunda; örneklerdeki genel mineralojik bileşim “kuvars + feldspat + kalsit + smektit + illit-mika + klorit-kaolinit” şeklinde belirlenmiştir. Kil dışı mineraller olarak kuvars ve feldspat tüm örneklerde bulunur; BKL-1 örneğinde kuvars, BKL-2 örneğinde ise feldspat diğer örnekler göre bir miktar daha yüksek orandadır. Yine kil dışı mineral olarak; kalsit BKL-1 hariç diğerler örneklerde vardır ve BKL-4 örneğinde görece daha yüksek orandadır.

Kil ve kil-mika grup mineraller olarak; smektit en belirgin mineraldir ve tüm örneklerde bulunur, BKL-4 örneğinde diğerlerinden daha yüksek orandadır. Bu mineral, d_{001} bazal mesafesine göre (14-15 Å) Ca-smektit türdedir.

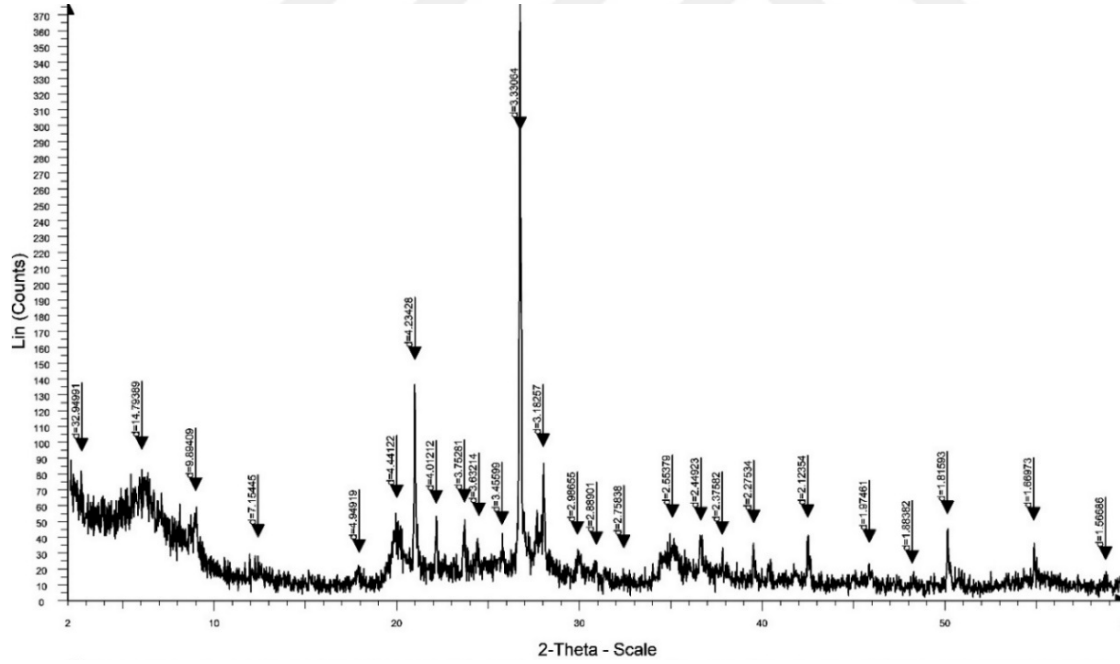
İllit-mika grup minerali (veya mineralleri) ile klorit-kaolinit grup minerali (veya mineralleri) düşük oranlardadır. BKL-4 örneğinde illit-mika bulunmamaktadır. Çizelge 5.1' de Çantaköy Tüfiti örneklerinin XRD ile belirlenen mineralojik bileşimleri görece çoklukları tahmin edilerek gösterilmiştir.

Örneklerin X-ışınları paternleri ise Şekil 5.1 – 5.4 arasında sırasıyla verilmiştir. Smektit grup kil minerali (Ca-smektit) bazal mesafesi yaklaşık 14-15 Å, klorit-kaolinit grup minerali bazal mesafesi yaklaşık 7.1-7.2 Å ve illit-mika grup minerali bazal mesafeleri yaklaşık 9.9 Å, 4.94-4.97 Å ve 3.39 Å olan pikler ile belirlenirler. Ayrıca, yaklaşık 4.44-4.46 Å, 2.55-2.56 Å pikleri ise kil ve mika grubu minerallerinde ortak-örtüşen piklerdir. Kil dışı minerallerden kuvars 3.33 Å, 4.23-4.24 Å 2.44-2.45 Å, 2.27-2.28 Å, 2.23 Å, 2.12 Å, 1.97-1.98 Å, 1.81 Å, 1.66-1.67 Å pikleri ile belirlenir. Kalsitin pikleri 3.83 Å, 3.02 Å, 2.48 Å, 2.28 Å, 2.08-2.09 Å, 1.90-1.91 Å, 1.87 Å, 1.61-1.62 Å, 1.59-1.60 Å şeklindedir. Feldspat ise 4.01 Å, 3.75-3.76 Å, 3.26-3.27 Å, 3.22-3.23 Å, 3.16-3.18 Å pikleri ile belirgin olup, muhtemelen iki tür feldspatta bulunmaktadır.

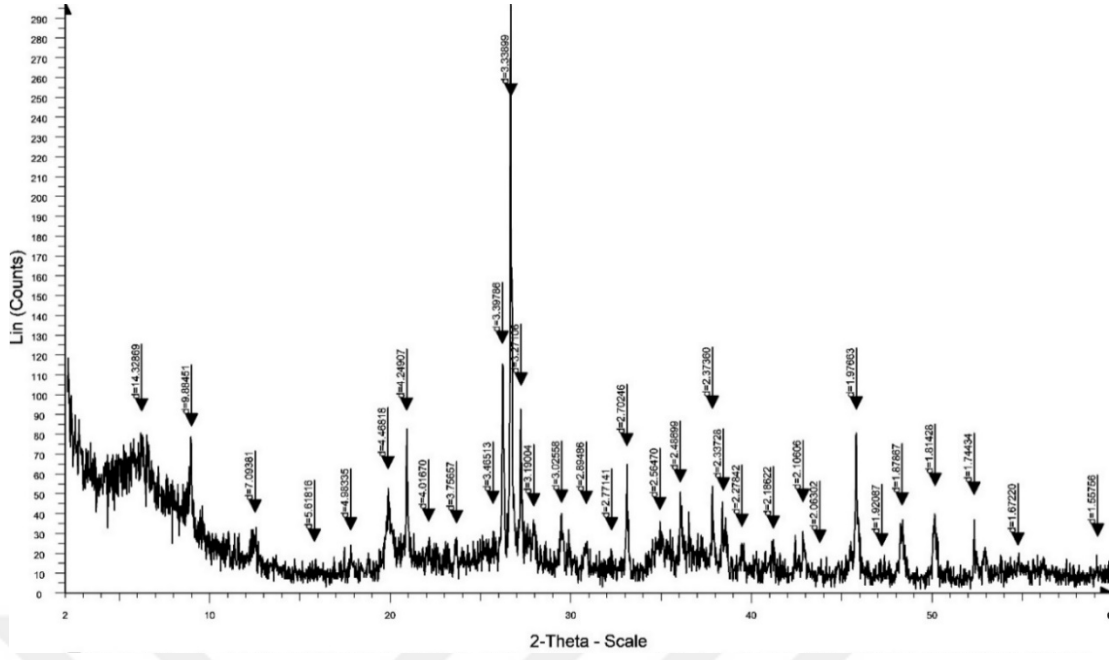
Çizelge 5.2 : Çantaköy tüfitine ait örneklerin X-ışınları difraksiyon analizi ile belirlenmiş mineral bileşimi ve minerallerin tahmini çokluk oranları (+).

	Smektit Grup	İllit-Mika Grup	Klorit-Kaolinit Grup	Kuvars	Feldspat	Kalsit
BKL-1	++	+	+	+++	+	-
BKL-2	++	++	++	++	++	+
BKL-3	++	+	+	++	+	++
BKL-4	+++	-	+	++	+	+++

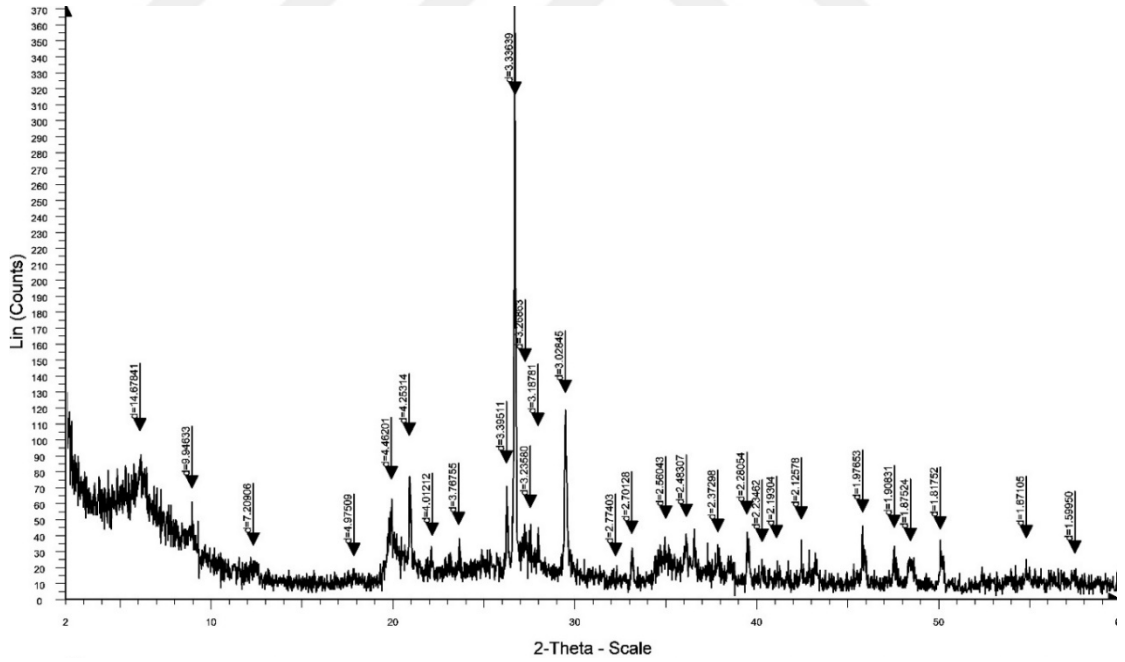
Çantaköy tüfitine ait örnekler Şekil 2.6 ile verilen lokasyondan elde edilmiştir. Bu örnekler BKL-1, BKL-2, BKL-3 ve BKL-4 olarak adlandırılmıştır. Tüfit örneklerinin X-ışınları paternleri sırasıyla Şekil 5.1 – Şekil 5.4 aralığında aşağıda sunulmuştur.



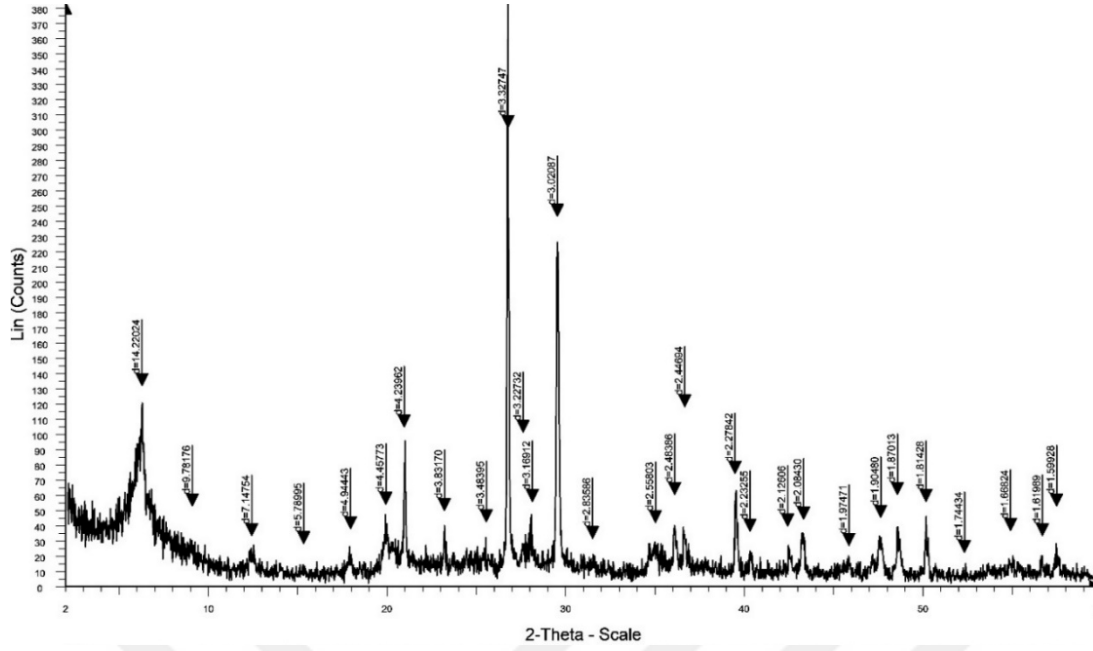
Şekil 5.1 : Çantaköy tüfitine ait BKL-1 örneğinin X-ışınları paterni.



Şekil 5.2 : Çantaköy tüfitine ait BKL-2 örneğinin X-ışınları paterni.



Şekil 5.3 : Çantaköy tüfitine ait BKL-3 örneğinin X-ışınları paterni.



Şekil 5.4 : Çantaköy tüfitine ait BKL-4 örneğinin X-ışınları paterni.

XRD ile elde edilen sonuçlara göre, Çantaköy Tüfiti örneklerinde belirgin bir kil alterasyonu meydana gelmiştir. Volkanik ve klastik ürünlerin karışımından meydana gelen Çantaköy Tüfiti' nin birincil bileşimi değişmiş ve yaklaşık % 50 oranında killeşme meydana gelmiştir. Kil minerali başlıca Ca-smektittir. Smektit, kayacın volkanik camı parçalarında ve de feldspatlarında meydana gelmiş olmalıdır.

Çantaköy tüfiti ve bununla ilişkili olan Gürpınar formasyonu (Trakya D' sundaki eşleneği Danişmen formasyonu) içerisinde kil seviyeleri ve kil seviyelerinin de bentonit karakterli oldukları çeşitli çalışmacılar tarafından rapor edilmiş ve dolayısıyla bu seviyelerin belirgin oranlarda smektit türü kil mineral içerdikleri bildirilmiştir (Erdoğan ve diğ., 1999; Yenipazar, 2000; Erdoğan ve Mahmutoğlu, 2009). Erdoğan ve diğ. (1999) tarafından, Danişmen Formasyonu'nun Silivri kuzeyindeki yüzeylemeleri içinden bentonitik düzeyler açıklanmış ve Çantaköy tüfiti de yüksek oranda smektitli bentonit seviyeleri içeren ayrı bir formasyon olarak (Çantaköy formasyonu) tanımlanmıştır. Yenipazar (2000) ve Erdoğan ve Mahmutoğlu (2009) çalışmalarında da Silivri kuzeyindeki Büyükkılıçlı bentoniti hem jeolojik hem de endüstriyel anlamda incelenmiş olup, Çantaköy tüfitine bağlı oluşum olarak verilmiştir.

5.1.2 Çukurçeşme formasyonu

İnceleme alanının doğusunda, özellikle Firuzköy mahallesi kesiminden, kuzeyde TEM Otoyolu' na kadar ve oradan da güneye doğru Kıraç, Gürpınar, Kavaklı ve kısmen de Haramidere' nin her iki yamacının üst kısımlarında görülmektedir. Bölgenin K kısmında yaygın alanlar şekillendirirken güneye, özellikle de GD' ya doğru giderek incelen bir hat halindedir. K' deki yaygın şeklini sadece GB' daki Değirmen Burnu' nda göstermektedir.

Genel olarak sarımsı, kirli beyaz renkli, tutturulmamış veya çok zayıf tutturulmuş çakıllı ve siltli kumlardan oluşan Çukurçeşme formasyonunun esas olarak farklı iki fasiyeste geliştiği görülür. Tabanında, bazı kesimlerinde ve genel olarak da bütününde metamorfitlet' den türeme ya da kuvars ve opal gibi silisli mineraller ile arkoz, andezit ve granit gibi kayalardan kaynaklanan, ince-orta ve bazen 10 cm ye ulaşan tane boylu, çoğu yerde iyi yuvarlaklaşmış-yarı küresel şekilli bol çakıllı, kötü boylanmalı, yer yer dereceli ya da çapraz tabakalı, gevşek yapılı, içerdiği yaygın demir oksit nedeniyle sarımsı kahve-boz ve pas renkli, bazen omurgalıları ait kemik ve diş kalıntıları içeren, esas olarak kuvars ve serisitik mikadan meydana gelen orta-kaba boylu kumdan oluşmaktadır. Bu taban zonunun çakıl, çakıllı kum ve kum boyutunda tanelerden ibaret seviyeler halinde daha üste doğru boy küçülmesiyle sıralandığı söylenebilir. Üste doğru olan bazı kesimleri, ender olarak birkaç on santimetre kalınlığında yerel ince kil seviyeleri ve mercekleri ile bitümlü şeyl ve silt ara tabakaları içeren ince taneli ve bej, krem renkli üniform silisli kum türündedir.

Orta-kaba kum ve silt matriksli olan, ayrıca kuvarsit ve diğer metamorfik kayalardan türeme bloklar ile bazen yumruk büyüklüğünde spirifer fosilleri barındıran, neredeyse tamamen silisli kayaç kökenli olmasına rağmen tek tük kireçtaşı türünde de olabilen gevşek yapılı çakıllardan oluşan zonların varlığı olağandır ve bu zonlar içinde seyrek olarak kil ve silt bandlarına rastlanır. Formasyonun daha çok taban düzeylerinde görülen çakıllı zonlar, genellikle yanal devamlılıkları ve kalınlıkları değişken olan mercekli kümelenmeler ya da cepler şeklindedir ve aynı zamanda kumlarla yatay ve düşey geçişlidir. Çakıllar, formasyon içinde saçılmış tekil taneler şeklinde de sıkça görülür.

İstif, daha üst seviyelere doğru tane boyu küçülmesi göstererek üniform kumlara ve siltlere geçer. Çoğu yerde killerle ara tabakalı ardalan, hatta bazı yer-lerde giderek marn ara seviyeleri bile içeren bu üst kesimde, kalınlığı yaygın olarak ince, bazen de 2 m ye varan orta sert yapılı çimentolu kumtaşı bantları ve tabakaları ile silisleşmiş ağaç parçalarından oluşan ve kalınlığı 80 cm ye varan seviyelere de rastlanır.

Çukurçeşme formasyonunun inceleme alanı içinde rastlanan esas litolojik birimi “kum”dur. Diğer litolojik birimlerden sık rastlananlar arasında “çakıl-kum” ardalanması ile “çakıl ve silt”ler sayılabilir. Bu egemen birimlerin inceleme alanı genelindeki yaygın karakteristikleri, her biri için en yaygın olandan en az yaygın olana doğru izlenen bir sıra içinde aşağıda verilmiştir (Çizelge 5.3).

Üzerindeki Güngören formasyonuna geçiş gösteren ve altındaki Gürpınar formasyonu ile diskordanslı olan Çukurçeşme formasyonunun, ender olarak da Gürpınar formasyonunun üst düzeyindeki büyük çukurluklar içerisinde çakıl boyutlu yerel çökelimler şeklinde bulunduğu bilinmektedir. Oluşum ortamı özelliklerine bağlı olarak değişen Çukurçeşme formasyonunun kalınlığı, aynı Gürpınar formasyonunda olduğu gibi, K’ den G’ e gidildikçe artar.

Çizelge 5.3 : Çukurçeşme formasyonu kum-çakıllı kum-çakıl ve silt ağırlıklı seviyelerin karakteristik özellikleri.

	Genel Karakteristikler	Sık Özellikler	Seyrek Özellikler
Çukurçeşme Kumu	Orta sıkı, İnce – orta taneli, Siltli, Az killi Sarı(msı), gri, kahve, yeşil renkli Yarı yuvarlak – iri çakıllı, Mikalı Çok gevşek	Kötü – iyi boyanmalı, İri taneli Köşeli çakıllı, Az siltli, Çok sıkı, Kuvars – karbonat çakıllı Açık kahve, bej, boz renkli Kil bandlı, Kavkılı Sarı(msı), gri, bej renkli	Karbonatlı, Yerel silt bandlı, Bloklu, İnce çakıllı Beyaz, açık krem, mavi, siyah, kırmızı renkli Kireç konkresyonlu, Kil topaklı, Homojen
Çukurçeşme Çakıl- Kumu	Kahve renkli Kaba – orta çakıllı ve kumlu Yuvarlak çakıllı, Sıkı kumlu	Kuvars kökenli, Kötü boyanmış ince kumlu Sıkı – gevşek, Killi	

Çizelge 5.3 (devam) : Çukurçeşme formasyonu kum-çakıllı kum-çakıl ve silt ağırlıklı seviyelerin karakteristik özellikleri.

	Genel Karakteristikler	Sık Özellikler	Seyrek Özellikler
Çukurçeşme Çakılı	İnce kumlu, İri - orta çakıllı, Orta yuvarlak Gri, kahve renkli, Killi – siltli Çok – orta sıkı	İnce çakıllı, Gevşek – zayıf çimentolanmış, küçük bloklu Sarı – yeşil renkli İyi – kötü boylanmalı Sarımsı, grimsi, yeşil renkli	
Çukurçeşme Silti	İnce kumlu, Killi, Çok – orta katı Kahve renkli	Az kumlu, Çakıllı, Kireç konkresyonlu	

5.1.3 Güngören formasyonu

Güngören formasyonu Büyükçekmece ile Küçükçekmece gölleri arasında Bakırköy formasyonunun alt seviyelerinde geçişli olarak görülür. Güngören formasyonu, altındaki Çukurçeşme formasyonu ile uyumlu bir dokanak ilişkisi içerisinde ve göreceli düşey geçişlidir. Tabanda killi siltler ve siltli killerle başlayarak kil, marn ve seyrek killi kireçtaşı tabakalarının aralanması şeklinde devam eder ve üstündeki Bakırköy formasyonuna da uyumlu geçiş gösterir. Killer; siltli, değişken kalınlıklı, yumuşak ve orta serttir. Mactra ve Unio türü fosiller-kavkılar ile bitki yaprakları ve sapları bulunduran marn - killi kireçtaşından oluşan ince ara tabakaları krem ve beyaz renkli, fosil kavkılı, yer yer tebeşirsi, orta sert-yumuşak ve merceksi yapılıdır. Bazı seviyelerinde sarımsı krem renkli kumlar ile siltli kum ara tabakaları görülür. Kumlu zonların başlıca iki düzeyde yoğunlaştığı izlenmektedir. Bunlardan üst kum tabakası ortalama 4 m ye varan kalınlıkta, yer yer kil içeriği yüksek, gevşek yapılı, ince taneli, mikalı ve silisli bir kum niteliğindedir. İstifin orta kesiminde yeralan alt kum tabakası ise üsttekine benzer nitelikte, fakat daha incedir.

Güngören formasyonunun asıl bileşeni olan killer; mavi-mavimsi gri-yeşil, koyu gri ve bazen açık yeşil-yeşilimsi bej, beyaz-kirli beyaz, yerel alacalı ya da kahve renkli, siyah oksit lekeli, bol kavkılı, yüksek-orta plastik, genelde yüksek şişme basınçlı, fissürlü, montmorillonitik, orta katı-katı, çok karakteristik olarak da lamine ve siltli-ince silt bandlı, nadiren karbonatlı-yumuşak karbonat topaklı ve bazen ince kum-ince

çakıl tanelerinden ibaret ara tabakalı ya da kumtaşı bandlıdır. Gri yeşil renkli siltli killeri içinde bazı yörelerde organik katkı varlığı izlenmektedir. Bu istif transgresif bir özellik gösterir ve kalınlığı yanal olarak çok değişkendir.

Güngören formasyonunun inceleme alanı içinde rastlanan esas litolojik birimi “kil”dir. Diğer litolojik birimlerden sık rastlananlar arasında “silt”ler sayılabilir. Egemen ve sık rastlanan birimlerin inceleme alanı genelindeki yaygın karakteristikleri, her biri için en yaygın olandan en az yaygın olana doğru izlenen bir sıra içinde verilmiştir (Çizelge 5.4).

Çizelge 5.4 : Güngören formasyonu kil ve silt ağırlıklı seviyelerin karakteristik özellikleri.

	Genel Karakteristikler	Sık Özellikler	Yerel Özellikler
Güngören Kili	Yeşil, kahve, gri, renkli Siltli, Karbonatlı, Kireçtaşı çakıllı, İnce kumlu, Kireç topaklı Çok – orta katı	Sarı, bej, beyaz, boz, kahve, mavi renkli Plastik, Aşırı konsolide, Fissürlü Kireç konkresyonlu, Demirli, Yer yer kavkılı, Köşeli çakıllı, Kireçtaşı parçalı Orta Katı, Karbonatlı, Yer Yer Demirli, Mikalı Gri, Sarı, Beyazımsı, Grimsi Renkli, Az Killi-	Bol karbonatlı, Yer yer kum seviyeli, Kireçtaşı bloklu, Mikalı Kızıl, alaca, siyah renkli Az kumlu, İnce kavkı bandlı, İnce – iri seyrek çakıllı
Güngören Silti	Killi, İnce kumlu Yeşil, kahve renkli	Kumlu, Kuvars Çakıllı, İnce Çakıl Bantlı Yumuşak, Orta Katı Kavkı Kırıntılı, Kireç Konkresyonlu, Gevşek, Fissürlü	

Çukurçeşme formasyonu üzerine gelen ve Güngören formasyonu olarak adlandırılan yerel ince kireçtaşı tabakalı kil ve marndan oluşan bu istif, çoğu önceki çalışmada, gerek ince oluşu ve gerekse uyumlu geçiş göstermesi nedeniyle üzerindeki Bakırköy formasyonu kapsamında değerlendirilmiş ve birlikte haritalanmışsa da, bu çalışmanın ayrıntılı oluşuna bağlı olarak inceleme alanı mühendislik jeolojisi ve jeoteknik verileri ayrı olarak gösterilmiştir.

5.1.4 Bakırköy formasyonu

Çalışma alanının yüksek kesimini şekillendirir. Avcılar’ dan Gürpınar’ a, oradan da Kıraç ve Beylikdüzü’ ne kadar tepe ve sırtlarda yaygın olarak görülür. Bakırköy formasyonu; yeşil renkli, yerel karbonatlı ya da siltli, az-orta plastik ve ince tabakalı killeri ile bunlar içinde seyrek rastlanan beyaz renkli marnlar ve killi kireçtaşlarıyla başlamakta, daha sonra da yeşilimsi-gri renkli karbonatlı killeri ile kahve renkli kil aratabakaları içeren ve kalınlığı birkaç cm ile birkaç m arasında değişen, beyaz-kirli beyaz, açık bej ve krem renkli, orta sert-sert, seyrek ve düzensiz süreksizlikler oluşturan karstik erime boşluklu ve bol maktra fosilli-fosil kavkılı, yer yer orta-kalın fakat genelde ince tabakalı, nadiren kristalize dokulu son derece karakteristik kireçtaşlarıyla temsil edilmektedir. Bazı yerlerde boşluk dolguları biçiminde yerleşen kireçtaşı çakıllı killerin, kirli beyaz renkli, yumuşak-orta sert yapılı, yer yer kof tebeşirimsi marnlarla yanal ve düşey geçişli olduğu izlenmektedir.

Bakırköy formasyonunun inceleme alanı içindeki esas litolojik birimi “kireçtaşı”dır. Bu çalışmadaki ayrıntıya bağlı olarak daha evvel gerçekleştirilen çalışmalardaki arazi gözlemleri ve özellikle zemin sondajları ile araştırma çukurlarındaki litolojik tanımlamalar sonunda Bakırköy formasyonunun “kireçtaşı baskın üst zon” ayrıca belirlenmiştir. Kireçtaşlarına büyük oranda eşlik eden “kil”ler ve sık rastlanan diğer litolojik birimler arasında bulunan “marn”lar ve “marn-kil” aralanması ise esas olarak Bakırköy formasyonunun alt zonlarını şekillendirmektedir. Yine bu alt zon da “marn-kil aralanması baskın alt zon” şeklinde isimlendirilmiştir. Egemen ve sık rastlanan birimlerin inceleme alanı genelindeki yaygın karakteristikleri, her biri için en yaygın olandan en az yaygın olana doğru izlenen bir sıra içinde aşağıdaki Çizelge 5.5 ile verilmiştir.

Çizelge 5.5 : Bakırköy formasyonu kireçtaşı-marn-marn kil ve kil ağırlıklı seviyelerin karakteristik özellikleri.

	Genel Karakteristikler	Sık Özellikler	Yerel Özellikler
Bakırköy Kireçtaşı	Beyaz, bej renkli Ayrışmış, Kil araseviyeli,	Açık kahve renkli Fosilli, Kavkılı, Kumlu, Killi, Boşluklu Mikritik, Marn araseviyeli, Gölsel karakterli Orta sert	Yeşil, gri, sarı, pembemsi, kırmızımsı renkli Aşırı ayrışmış, Killi silt araseviyeli Yer yer tebeşirleşmiş, Mangan çiçeklenmeli
Bakırköy Kili	Yeşil, gri renkli Çok katı, Sert	Açık kahve, beyaz renkli Siltli, Kireçtaşı aratabakalı, Karbonatlı, Kireçtaşı çakıllı	Demirli, Kireç topaklı, Kavkılı Aşırı konsolide, Fissürlü İnce kumlu, Çakıllı, Fosilli Bej, siyah renkli
Bakırköy Marnı	Beyaz, gri, yeşilimsi renkli Çok sert Kireçtaşı çakıllı Beyaz marn yeşil	Az ayrışmış, Çok katı Bej renkli, Fosilli, Laminalı	
Bakırköy Marn- Kili	– kahve, sarı kil ve beyaz renkli ardalanma Kireçtaşı çakıllı	Gri renkli Ayrışmış, Sert	

5.1.5 Gölsel alüvyon

Çalışma alanının doğusunda, Küçükçekmece Gölü' nün hemen batısında Ispartakule alüvyonuyla dokanak yaptığı bir zon boyunca uzanır. Toprakla örtülü ya da kuru olduğu için yüzeyde farkedilememekle birlikte, bu yörede açılan zemin sondajlarında belirlenmiştir. Bu birim esas olarak, yer yer neredeyse tijlerin kendi ağırlığıyla içine gömüldüğü, yer yer de plastik yapılı bir nitelik taşıyan kumlu siltli organik killerden meydana gelmekte ve bünyesinde çok yüksek oranda su bulundurmaktadır. Suyu doymuş ortam içinde son derece güvensiz olan bu killerin, nemlerini kaybettiklerinde göreceli sert ve şeklini korur bir görünüm aldıkları saptanmıştır. Küçükçekmece Gölü' nün geçmiş taşkın düzlüğü içinde şekillenmiş ve göl düzeyindeki değişimlerden büyük oranda etkilenmiş olmalıdır. Gölsel alüvyon birikimi özellikle Büyükçekmece körfezinde Çukurlar bölgesinde kalın bir kama oluşturmaktadır.

5.1.6 Alüvyon

İnceleme alanında en yaygın şekliyle Küçükçekmece gölünde Sazlıdere ve Ispartakule Deresi, daha B' da Haramidere ve Büyükçekmece gölü çevresindeki dere yataklarını oluşturur. Alüvyon, esas olarak tamamen çevre kayaçların litolojik türlerine bağlı olarak ortaya çıkmış olan değişik boyutlardaki çakıl, kum, silt ve kil gibi ayrık malzemeden oluşmuştur. Çevre kayaçların litolojik nitelikleri nedeniyle, alüvyon içindeki ince boyutlu malzeme oranı yüksektir. Çakıllar, genellikle yer yer ince düzeyler ya da alüvyon içinde bulunmaktadır. Tüm yaşlı birimleri açılı uyumsuzlukla üstleyen Kuaterner yaşlı bu litolojik birim, sadece toprak ve güncel dolgu malzemesi tarafından örtülür.

5.1.7 Dolgu ve atık malzeme

Aslında bölgenin, İstanbul B' sı genelinde olduğu gibi hızlı yapılaşan bir niteliği bulunduğu, kazı çukurlarından çıkartılan doğal hafriyat malzemesi bir çok yere gelişigüzel dökülmüştür. İnceleme alanındaki tüm jeolojik birimlerin ve toprak örtüsünün üzerine getirilen ve çoğunlukla bloklu-çakıllı elemanlardan oluşan, bölgedeki kayaçların, toprağın ve doğal-yapay kökenli çok çeşitli katı atık malzemenin özellikle neredeyse her yörede tesviye amacıyla döküldüğü alanlar görünümündedir.

Dolgu ve atık malzemenin inceleme alanındaki genel karakteristikleri arasında; koyu kahverengi, heterojen malzeme karışımı şeklinde ve killi-siltli oluşu, yerine göre bol miktarda çevre kayaçları içinde açılan temel kazılarından çıkan ya da arazi tesviyesi sırasında sıyrılan doğal malzemeden oluşan hafriyat atıkları içermesi sayılabilir. Çoğu yerde toprakla karışmış olarak da görülür.

5.2 Birimlerin Mühendislik Özellikleri

Bu bölümde, Büyükçekmece Küçükçekmece gölleri arasında kalan bölgede açılmış araştırma sondajları referans alınarak birimlerin mühendislik özellikleri istatistiksel açıdan tartışılmış ve mekansal dağılımları da göz önünde bulundurularak homojen bölgelendirme ve anamolilerin tespiti sağlanmıştır. İnceleme alanında yapılan araştırma sondajı faaliyetleri özel firmalar, belediyeler, araştırma kuruluşları ve akademik çalışmalar kapsamında farklı zamanlarda gerçekleştirilmiştir. Açılan araştırma sondajları ve çukurlarında gerçekleştirilen arazi ölçüm ve gözlemleri ile

laboratuvar deneyleri üzerine değerlendirmeler yapılmıştır. Gerek bu araştırma sırasında sağlananlar ve gerekse aynı birimlerin yer aldığı yakın çevrede önceki yıllara ait çalışmalarda elde edilen arazi lmlerine, deneylerine ve tanımlamalarına ait veriler birlikte değerlendirilmiş ve inceleme alanındaki olası yapılaşmaların güvenli bir şekilde temellendirilmesine yönelik jeoteknik hesaplamalar için bilinmesi gereken mühendislik jeolojisi özellikleri geniş veritabanlı çizelgeler şeklinde verilerek olası teknik girişim ortamlarının tanımlanan genel karakterleri istatistiksel ortalamalar çerçevesinde gruplandırılmıştır.

Sağlanan mühendislik jeolojisi verilerinin değerlendirilmesi sonunda ise, bölgede mevcut imar planları çerçevesinde ileride gerçekleştirilecek teknik girişimlerin yer aldığı yapı yerlerinin, uygulanması düşünülen yapılaşma teknikleri kapsamında projelendirilebilmeleri için gereken jeoteknik hesaplamalardaki temellendirme ve boyutlandırma çalışmalarının güvenli yönde irdelenmesine olanak tanıyacak ortamsal baz bilgi kümeleri temin edilmiştir.

Büyükçekmece ve Küçükçekmece gölleri arasında kalan çalışma alanı özellikle son yıllarda insanlar için çok büyük bir cazibe merkezi olmuş ve yoğun bir yerleşime maruz kalmıştır. Zaman içerisinde bu bölgede zemin özelliklerine yönelik bir çok araştırma gerçekleştirilmiş, önceleri yerel özellikteki bu araştırmalar, daha sonra bölgesel nitelik kazanmış ve daha nitelikli ve detay çalışmalar halini almıştır. Araştırma alanında yapılmış bir çok çalışma farklı firmalar ve araştırma kurumları tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu araştırmaları çokluğu ve verilerin farklılığı nedeniyle bu çalışmada bazı firma ve kuruluşlara ait araştırmalar baz alınmış ve çalışma alanı farklı  bölgeye ayrılarak aynı formasyonlara ait verilerdeki bölgesel değişimler saptanmaya çalışılmıştır. Bu bölgeler doğudan batıya doğru sırasıyla şu şekilde saptanmıştır;

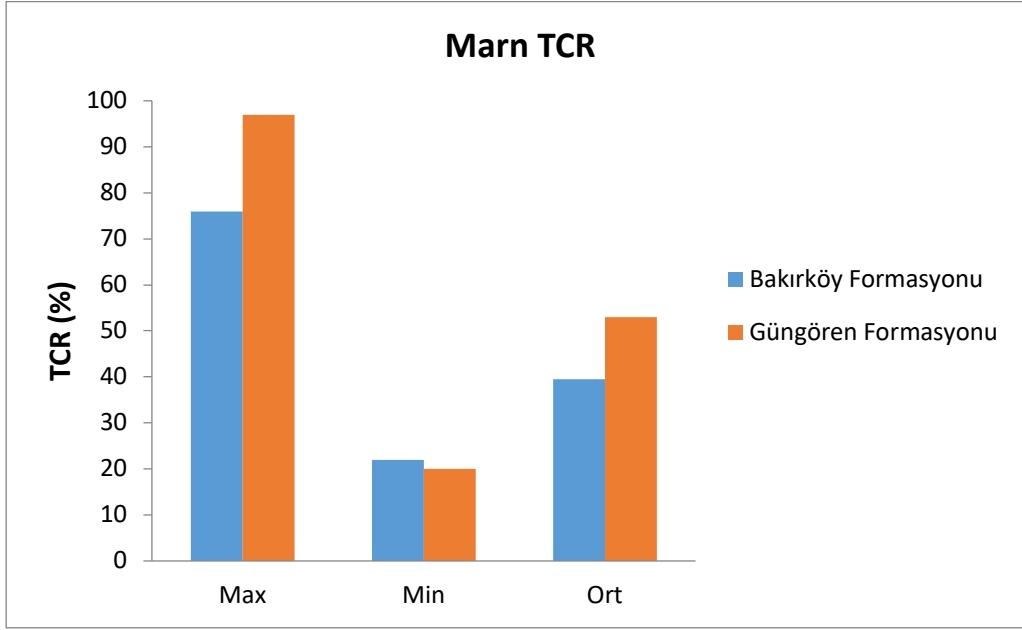
1. Avcılar-Esenyurt Bölgesi;
2. Yakuplu-Kavaklı Bölgesi;
3. Gürpınar-Büyükçekmece Bölgesi

Bu bölgelere ait zemin ve kayaların jeomekanik özellikleri mühendislik jeolojisi verileri yukarıda tanımlanan bölgeler için ayrı ayrı verilecektir. Verilerin yoğunluğuna göre bazı bölgelerde veri ortalamaları esas alınacak ve bunların ışığında tüm çalışma alanı için kıyaslamalı jeoteknik tanımlamalar yapılacaktır. Bölgelere göre veriler aşağıdaki çizelgelerde sunulmuştur.

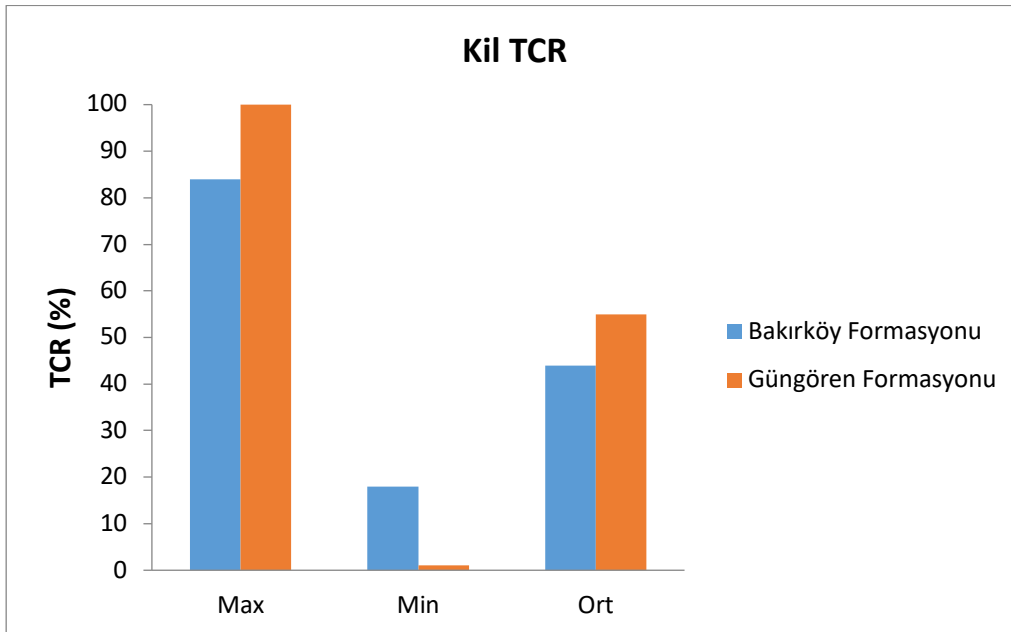
Çizelge 5.6 : Avcılar-Esenyurt bölgesinde açılmış önemli araştırma sondajları.

Sondaj No.	Pafta No (1:1000)	X	Y	Ağız Kotu (m)	Derinlik (m)	Taban Kotu (m)
S-1	F21-d-25-d-2-c	4543140	392350	2.8	22	-19.2
S-2	F21-d-25-d-2-a	4543890	391920	11.8	21.3	-9.5
S-3	F21-d-25-a-3-d	4544364	391742	6.5	21	-14.5
S-4	F21-d-25-b-1-d	4545652	392952	42	28	14
S-5	F21-d-25-a-4-b	4545174	391438	10	20	-10
S-6	F21-d-24-b-2-c	4546173	390978	9.5	18.5	-9
S-7	F21-d-24-b-2-b	4546984	390193	29.8	20	9.8
S-8	F21-d-25-d-1-b	4544060	391640	35.5	24.5	11
S-9	F21-d-25-a-4-d	4544680	391132	32.5	20	12.5
S-10	F21-d-24-b-3-a	4545241	390844	30.5	20	10.5
S-11	F21-d-24-b-2-b	4545718	390145	65.3	20	45.3
S-12	F21-d-24-b-3-c	4544570	390403	69	26	43
S-13	F21-d-20-d-3-d	4547525	392147	41.5	24	17.5
S-14	F21-d-20-a-4-b	4550611	391936	153.3	20	133.3
S-15	F21-d-20-d-3-a	4547956	391840	38.5	13	25.5
S-16	F21-d-20-a-1-d	4551635	390293	148.3	20	128.3
S-17	F21-d-20-d-3-c	4547056	392439	40.5	20	20.5
S-18	F21-d-20-c-1-c	4548581	393731	36.8	12	24.8
S-19	F21-d-20-d-1-b	4549245	391609	96.4	18	78.4
S-20	F21-d-20-a-1-d	4552085	390297	156	20	136
S-21	F21-d-24-c-2-b	4543480	390590	132	15	117

Çizelge 5.6 ile sunulan Avcılar-Esenyurt bölgesine ait araştırma sondajlarından elde edilen veriler aşağıda değerlendirilmiştir. Toplam Karot Oranı (TCR) Güngören formasyonuna ait marn seviyelerinde Bakırköy formasyonuna göre % 25.47 daha yüksektir (Şekil 5.5). TCR değerleri; Güngören formasyonu kil seviyelerinde ise Bakırköy formasyonu kil seviyelerine göre % 20 daha yüksektir (Şekil 5.6). Ancak inceleme alanının bu kesiminde Güngören formasyonundan Bakırköy formasyonuna tedrici bir geçiş olduğu da dikkate alınmalıdır.

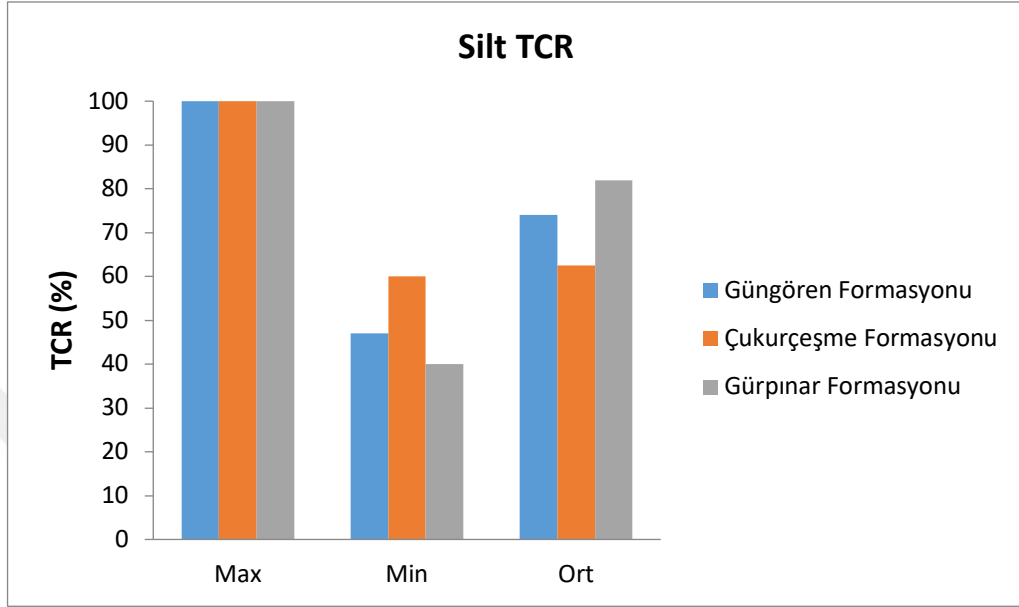


Şekil 5.5 : Bakırköy ve Güngören formasyonlarının Marn TCR % dağılımı.



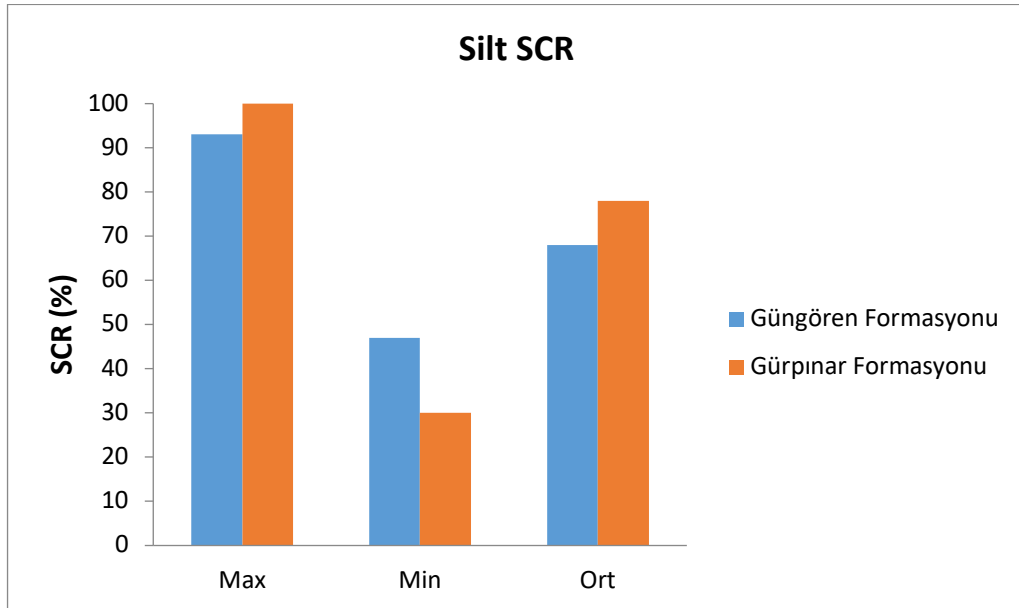
Şekil 5.6 : Bakırköy ve Güngören formasyonlarının Kil TCR % dağılımı.

Gürpınar formasyonu silt seviyeleri Güngören formasyonu silt seviyelerine göre TCR değerleri %9,76 oranında, Çukurçeşme formasyonu silt seviyelerine göre TCR değerleri %23,78 oranında fazladır. Güngören formasyonu silt seviyeleri Çukurçeşme formasyonu silt seviyelerine göre TCR değerleri %15,54 oranında fazladır (Şekil 5.7).



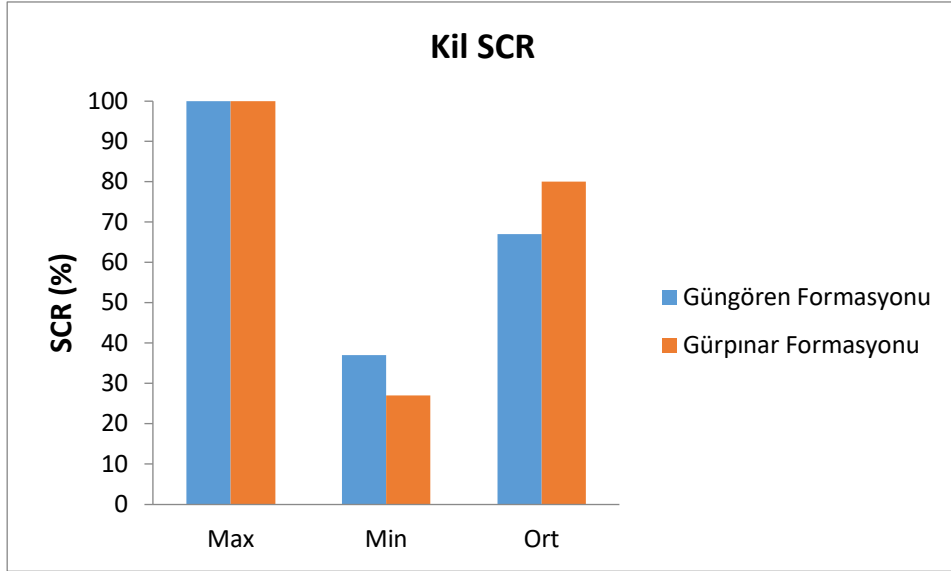
Şekil 5.7 : Bakırköy ve Güngören formasyonlarının Silt TCR % dağılımı.

Siltli seviyelerde Tam Çaplı Karot Oranı (SCR); Gürpınar formasyonu Güngören formasyonundan %12,82 oranında daha yüksektir. Her iki formasyonun killi seviyelerinde SCR oranı arasındaki fark %16,25' e yükselmektedir (Şekil 5.8).

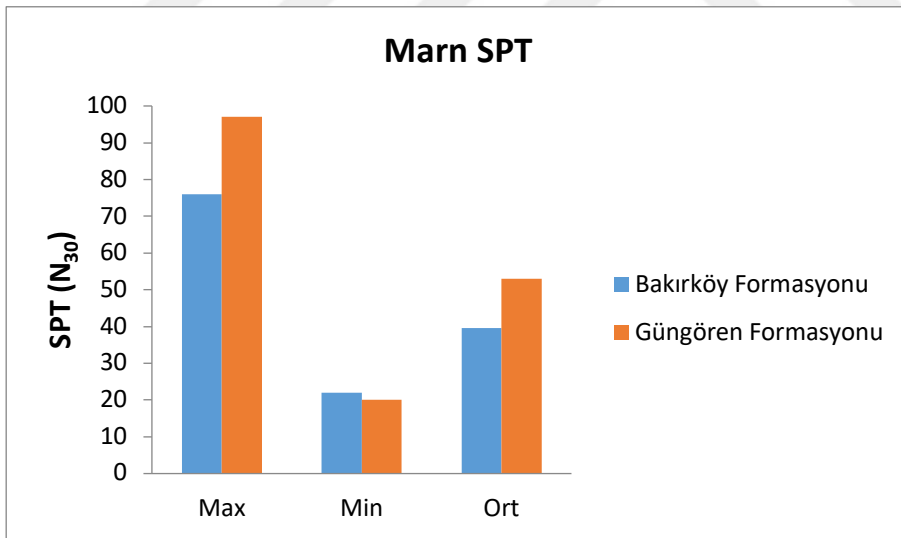


Şekil 5.8 : Bakırköy ve Güngören formasyonlarının Silt SCR % dağılımı.

Siltli seviyelerde Tam Çaplı Karot Oranı (SCR); Gürpınar formasyonu Güngören formasyonundan daha yüksektir (Şekil 5.8). Şekil 5.9 ile Bakırköy ve Güngören formasyonlarına ait killi seviyelerin SCR dağılımları, Şekil 5.9 ile ise marn seviyelerin SPT dağılımları sunulmuştur.

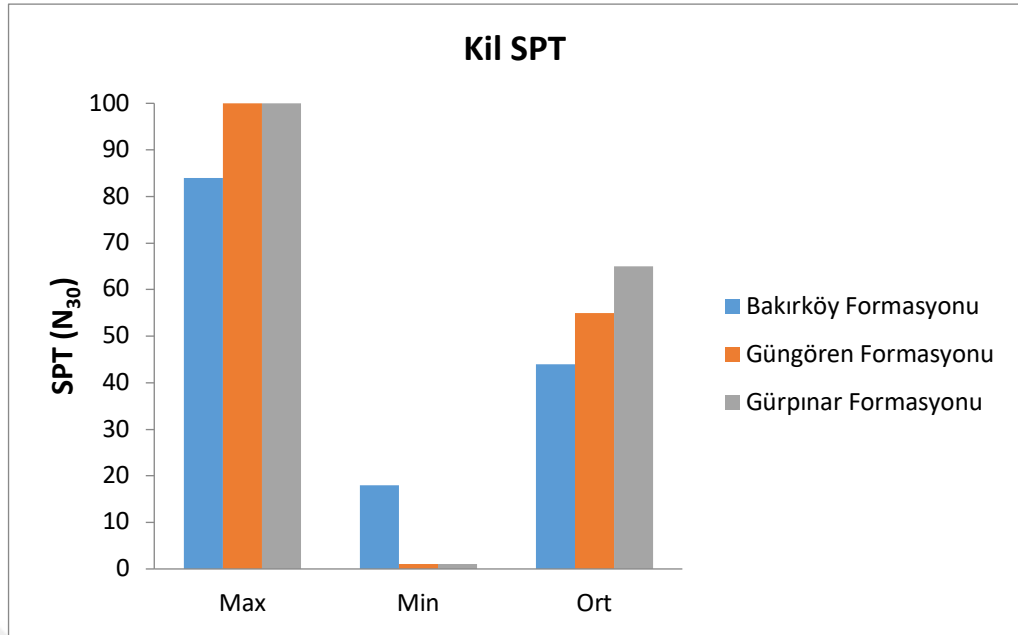


Şekil 5.9 : Bakırköy ve Güngören formasyonlarının Kil SCR % dağılımı.



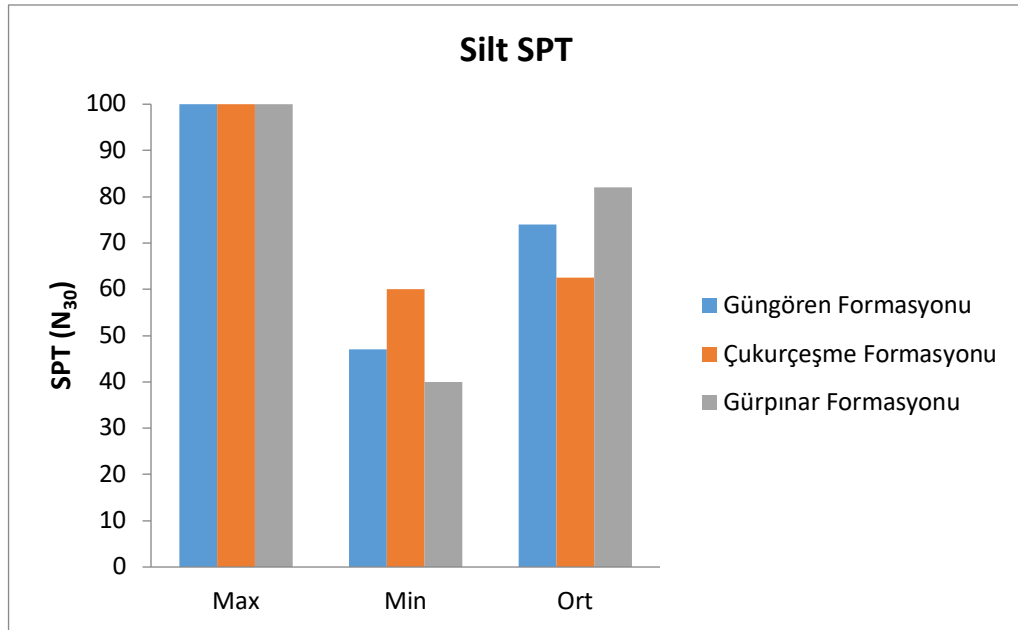
Şekil 5.10 : Bakırköy ve Güngören formasyonlarının Marn SPT dağılımı.

Güngören formasyonunun marn seviyelerine ait $N = 55$ değeri ile "hard", Bakırköy formasyonu marn seviyelerinin $N = 44$ değeri ile de "hard" sınıfında olup Güngören marnı Bakırköy marnına göre %20 daha serttir. 65 değeri ile "very hard" sınıfında olup Güngören marnına göre %15,38 ve Bakırköy marnına göre %32,31 daha serttir (Şekil 5.10).

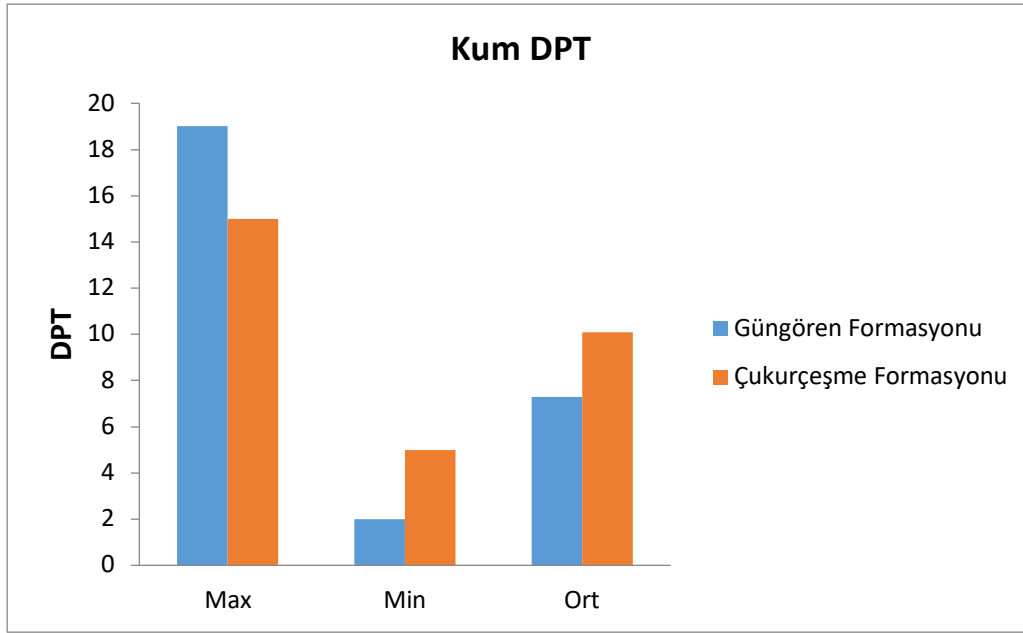


Şekil 5.11 : Bakırköy, Güngören ve Gürpınar formasyonlarının Kil SPT dağılımı.

Gürpınar formasyonu silt seviyelerinin $N = 82$ değeri ile "very hard" sınıfında olup Güngören kiline göre %9,76 ve Çukurçeşme siltine göre de %23,78 daha serttir (Şekil 5.11). Güngören formasyonu silt seviyeleri $N = 74$ değeri ile "very hard" sınıfında olup Çukurçeşme formasyonu silt seviyelerinin $N = 62,5$ değeri ile "very hard" sınıfındadır. Güngören silti Çukurçeşme siltine göre %15,54 daha serttir (Şekil 5.12).

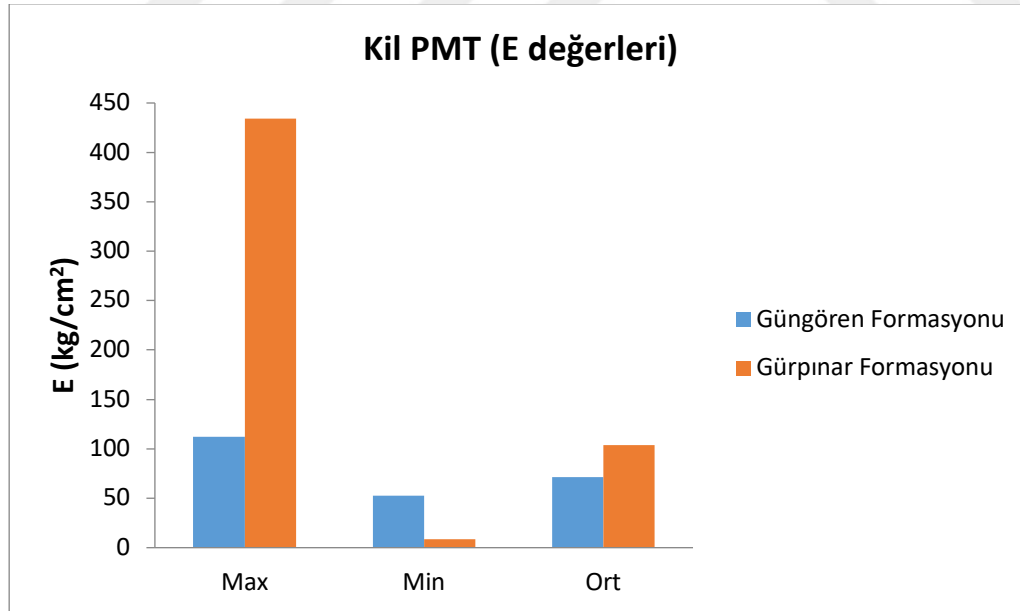


Şekil 5.12 : Güngören, Çukurçeşme ve Gürpınar formasyonlarının Silt SPT dağılımı.

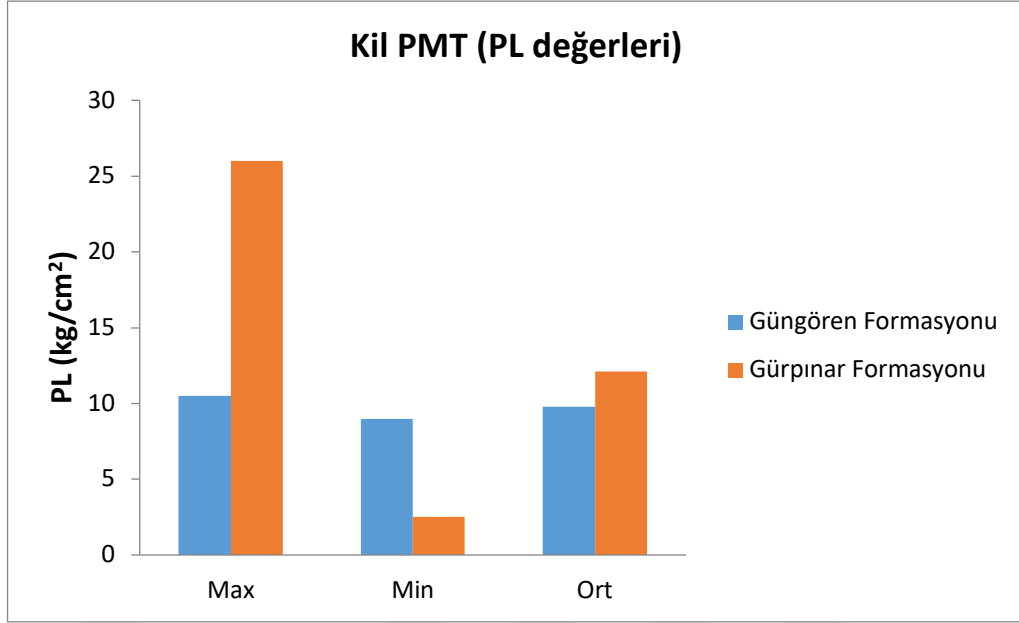


Şekil 5.13 : Güngören ve Çukurçeşme formasyonlarının Kum DPT dağılımı.

Şekil 5.13 ile Güngören ve Çukurçeşme formasyonlarının kumlu seviyelerinde yapılan Dinamik Penetrasyon Deney (DPT) sonuçları Şekil 5.14 ile ise kil seviyelerine ait Presiyometre Deneyleri'nden hesaplanmış (Elastisite Modülü) E değerlerinin dağılımı sunulmuştur.

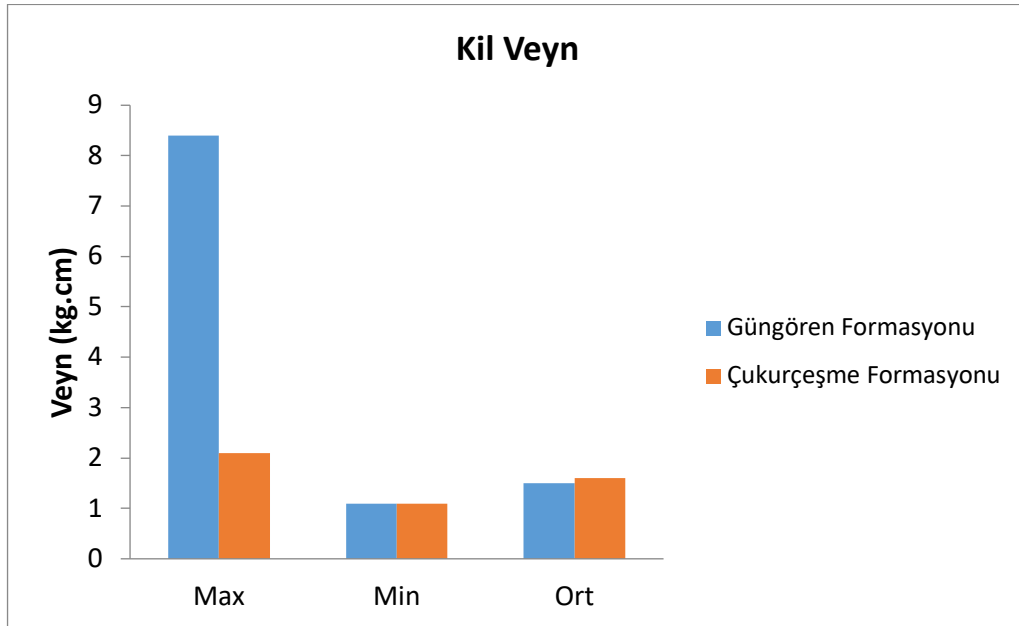


Şekil 5.14 : Güngören ve Gürpınar formasyonlarının Kil E dağılımı.

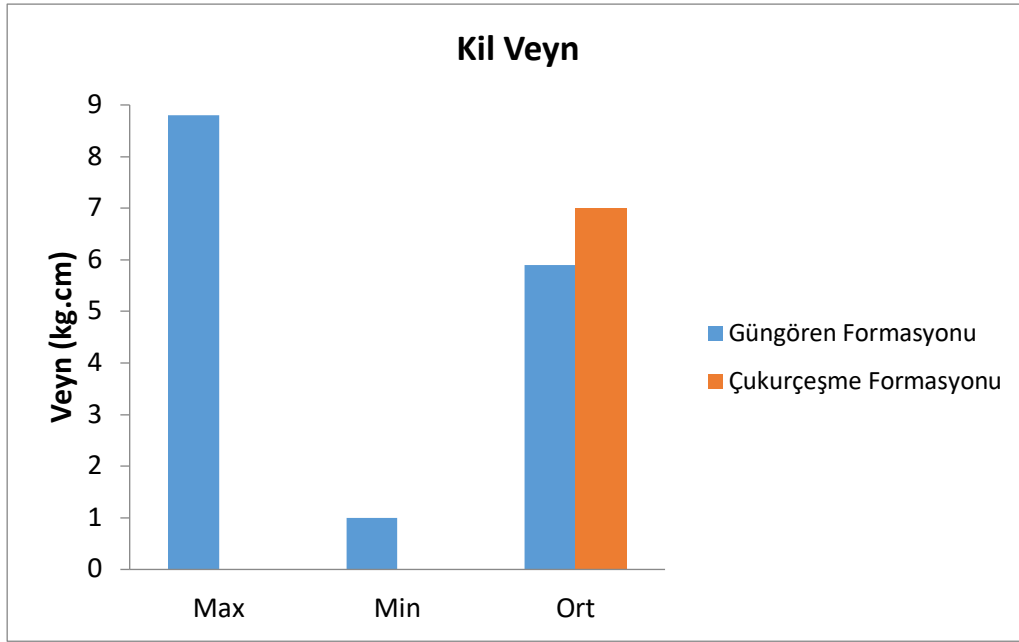


Şekil 5.15 : Güngören ve Gürpınar formasyonlarının PL değerleri.

Şekil 5.15 ile Güngören ve Gürpınar formasyonlarına ait killi seviyelerde yapılan Presiyometre Deney sonuçlarından elde edilen PL (Limit Basınç) dağılımları verilmiştir. Çukurçeşme ve Güngören formasyonuna ait kumlu seviyelerde yapılan Veyn deney sonuçlarının dağılımı Şekil 5.16 da sunulmuştur. Şekil 5.17 ile de bu iki formasyonun killi seviyelerine ait Veyn deney sonuçlarının dağılımı verilmiştir. Çukurçeşme formasyonu kil seviyeleri Güngören formasyonunun kil seviyelerine göre %15,71 oranında kesme kuvvetine karşı daha dayanıklıdır.

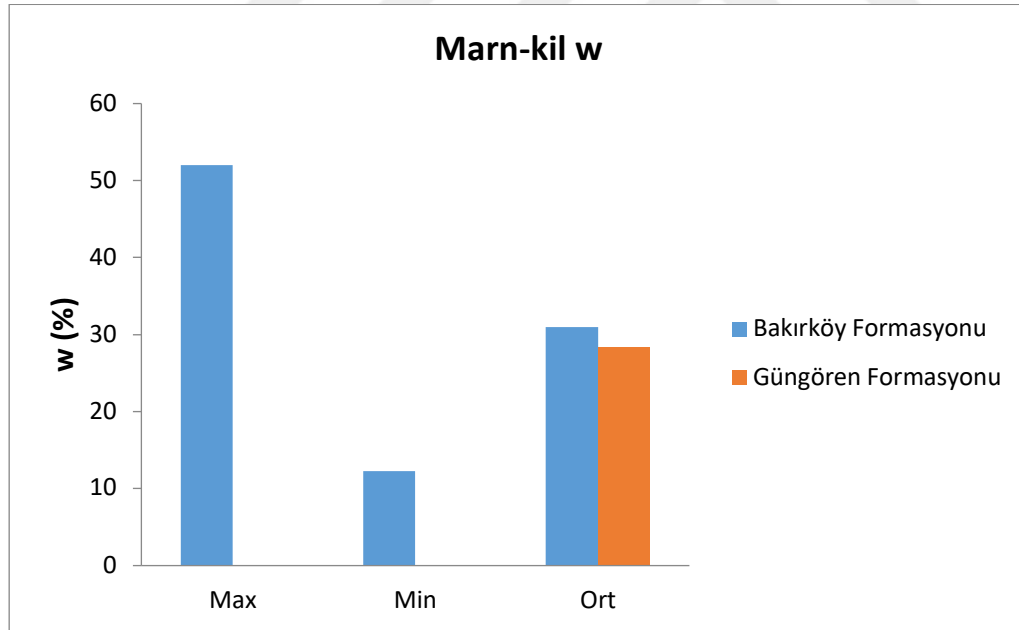


Şekil 5.16 : Güngören ve Çukurçeşme formasyonlarının Kil Veyn değerleri.



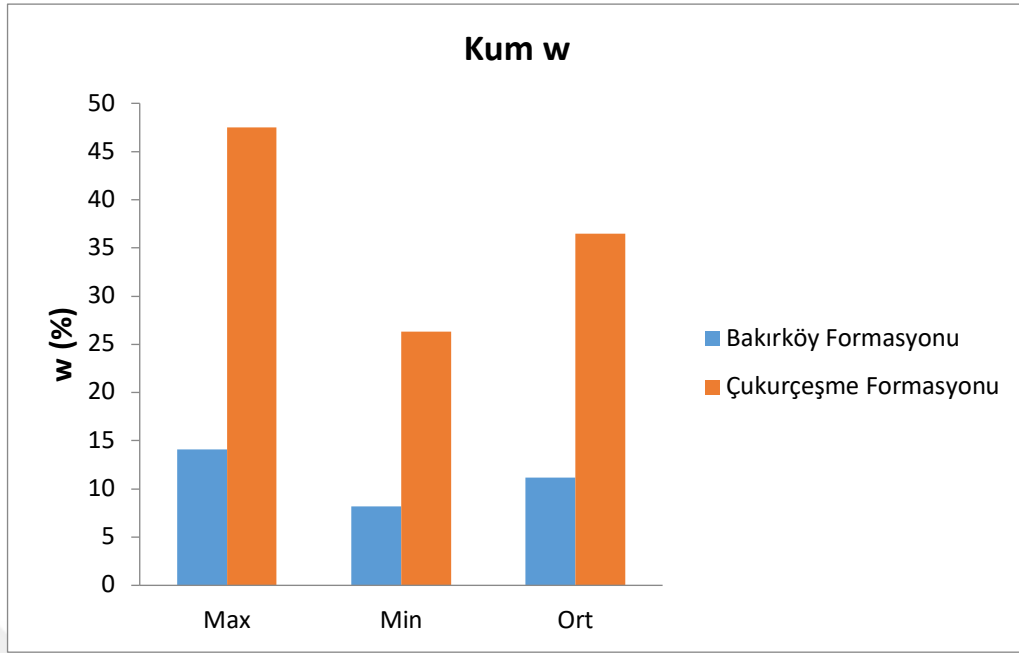
Şekil 5.17 : Güngören ve Çukurçeşme formasyonlarının Kil Veyn değerleri.

Bakırköy formasyonu marn-kil seviyeleri, Güngören formasyonunun marn-kil seviyelerine göre %8,39 oranında daha fazla zemin suyu içermektedir (Şekil 5.18).



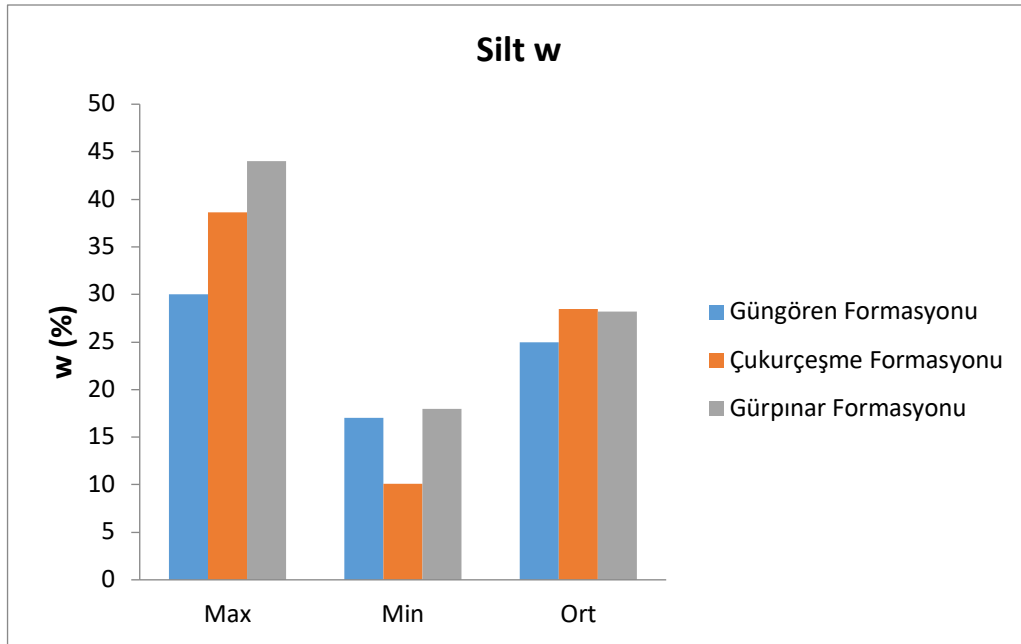
Şekil 5.18 : Bakırköy ve Güngören formasyonlarının Marn-Kil w yüzde dağılımı.

Çukurçeşme formasyonu kum seviyeleri Bakırköy formasyonunun kum seviyelerine göre %69,82 oranında daha fazla zemin suyu içermektedir (Şekil 5.19).

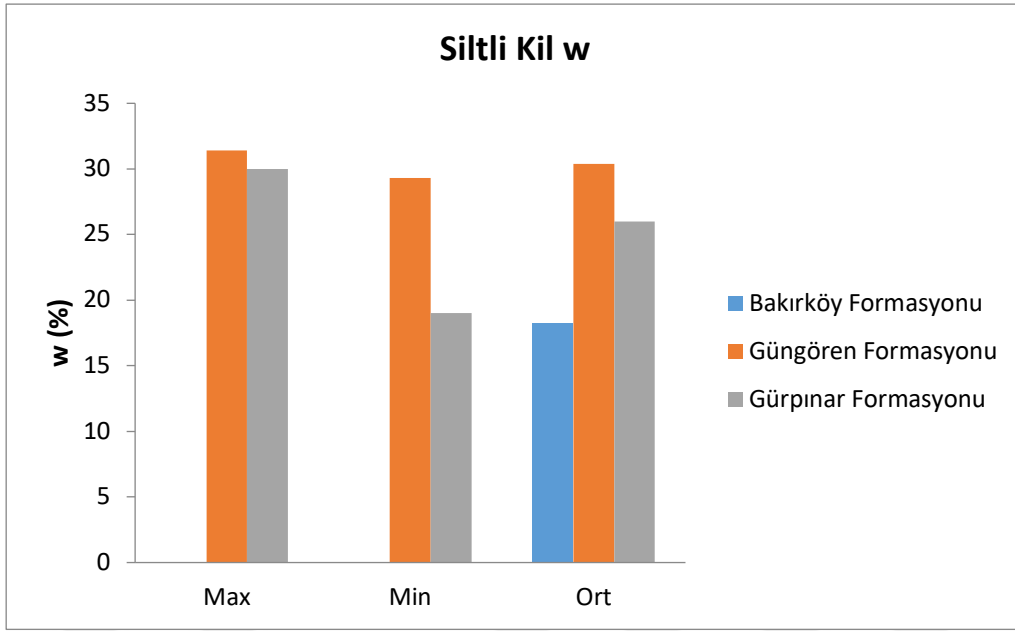


Şekil 5.19 : Bakırköy ve Çukurçeşme formasyonlarının Kum w % dağılımları.

Gürpınar formasyonunun silt seviyeleri Güngören formasyonunun silt seviyelerine göre %11,35 oranında daha fazla zemin suyu içerir. Çukurçeşme formasyonu silt seviyeleri Güngören formasyonunun silt seviyelerine göre %12,28 oranında, Gürpınar formasyonunun silt seviyelerine göre %1,05 oranında daha fazla zemin suyu içermektedir (Şekil 5.20).



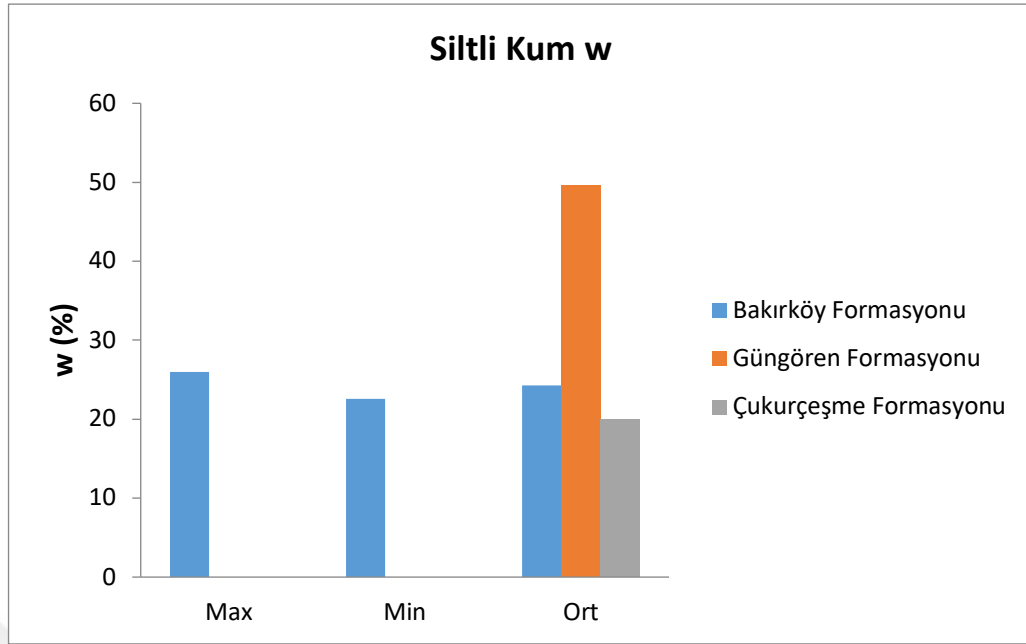
Şekil 5.20 : Güngören, Çukurçeşme ve Gürpınar formasyonlarının Silt w % dağılımları.



Şekil 5.21 : Güngören, Çukurçeşme ve Gürpınar formasyonlarının Kum w % dağılımları.

Gürpınar formasyonunun siltli kil seviyeleri Bakırköy formasyonunun siltli kil seviyelerine göre %29,62 oranında daha fazla zemin suyu içerir. Güngören formasyonu siltli kil seviyeleri Bakırköy formasyonunun siltli kil seviyelerine göre %39,80 oranında, Gürpınar formasyonunun siltli kil seviyelerine göre %14,47 oranında daha fazla zemin suyu içermektedir. Çukurçeşme formasyonunun kil seviyeleri Bakırköy formasyonunun kil seviyelerine göre %6,09 oranında daha fazla zemin suyu içerir.

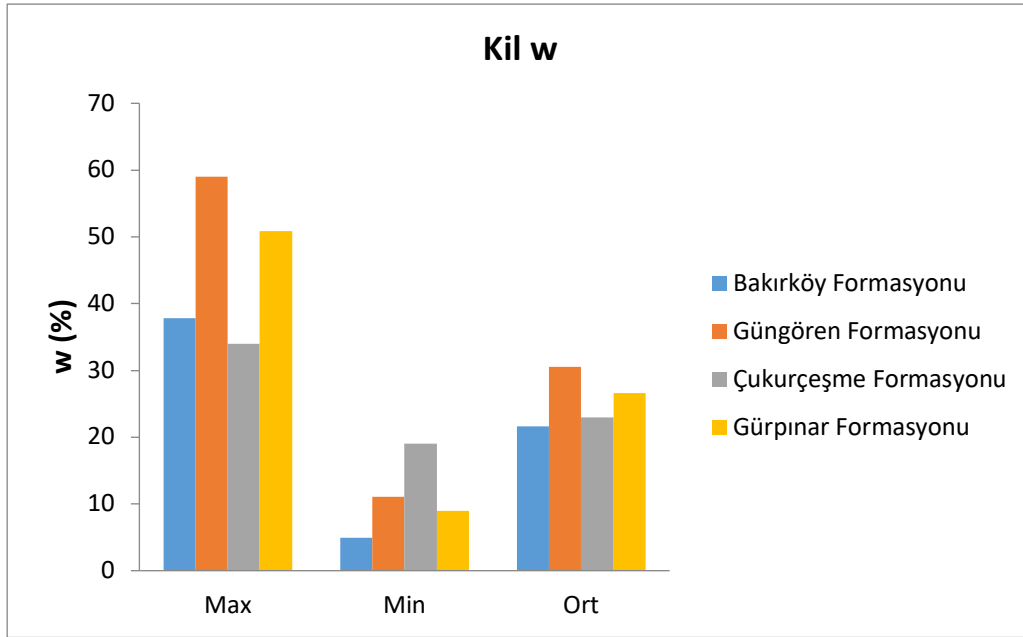
Bakırköy formasyonunun siltli kum seviyeleri Çukurçeşme formasyonunun siltli kum seviyelerine göre %17,70 oranında daha fazla zemin suyu içerir. Güngören formasyonu siltli kum seviyeleri Bakırköy formasyonunun siltli kum seviyelerine göre %51,01 oranında, Çukurçeşme formasyonunun siltli kum seviyelerine göre %59,68 oranında daha fazla zemin suyu içermektedir (Şekil 5.22).



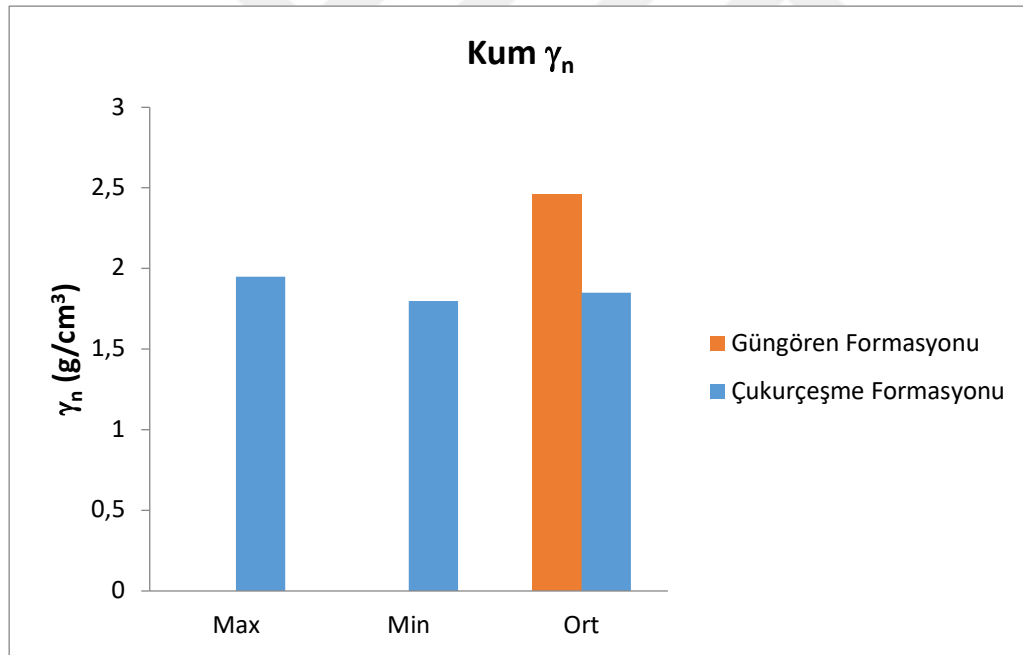
Şekil 5.22 : Bakırköy, Güngören ve Çukurçeşme formasyonlarının Siltli Kum w % dağılımları.

Gürpınar formasyonunun kil seviyeleri Bakırköy formasyonunun kil seviyelerine göre %18,80, Çukurçeşme formasyonunun kil seviyelerine göre %13,53 oranında daha fazla zemin suyu içerir. Güngören formasyonunun kil seviyeleri Bakırköy formasyonunun kil seviyelerine göre %29,18 oranında, Çukurçeşme formasyonunun kil seviyeleri ne göre %24,59 oranında, Gürpınar formasyonunun kil seviyelerine göre %12,79 oranında daha fazla zemin suyu içermektedir (Şekil 5.23).

Güngören formasyonu kum seviyelerinin doğal birim hacim ağırlık değeri Çukurçeşme formasyonu kum seviyelerinin doğal birim hacim ağırlık değerlerinden %24,80 oranında daha yüksektir (Şekil 5.24).

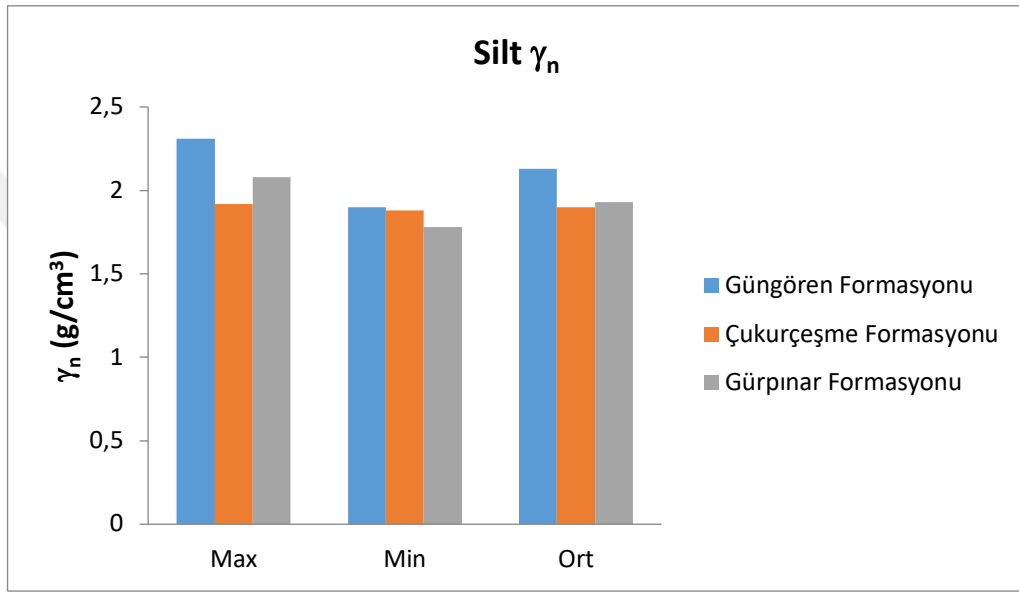


Şekil 5.23 : Bakırköy, Güngören, Çukurçeşme ve Gürpınar formasyonlarının Kil w % dağılımları.



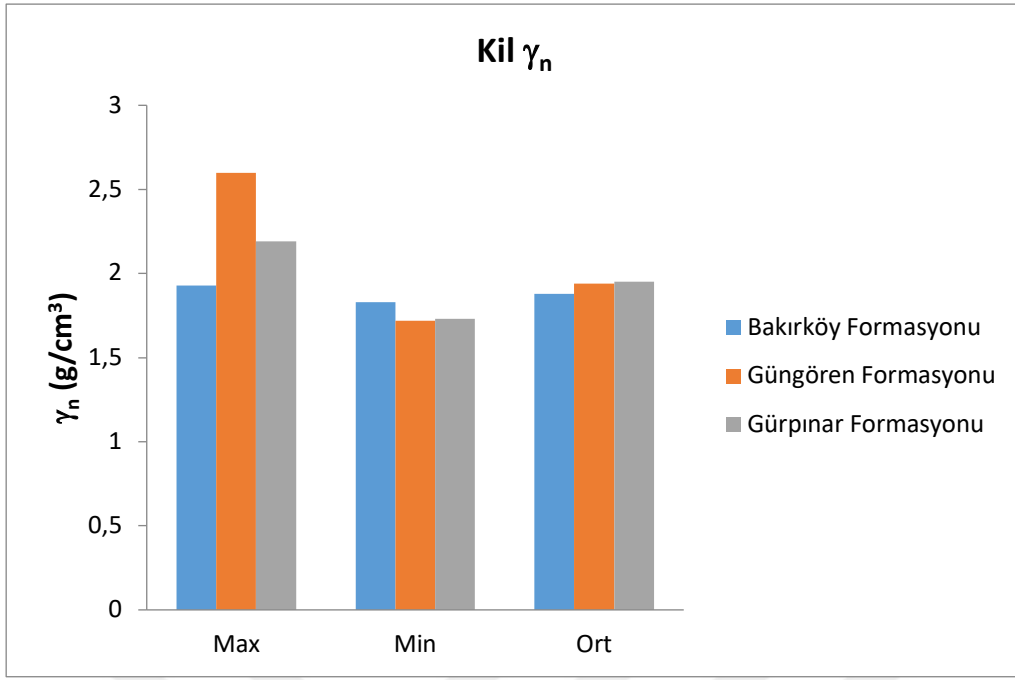
Şekil 5.24 : Güngören ve Çukurçeşme formasyonlarının Kum doğal birim hacim ağırlık değerleri.

Güngören, Çukurçeşme ve Gürpınar formasyonlarının silt seviyelerine ait doğal birim hacim ağırlık değerlerinin dağılımı Şekil 5.25 ile verilmiştir. Gürpınar formasyonunun silt seviyelerinin doğal birim hacim ağırlık değeri Çukurçeşme formasyonu silt seviyelerinin doğal birim hacim ağırlık değerlerinden %1,55 oranında daha yüksektir. Güngören formasyonunun silt seviyelerinin doğal birim hacim ağırlık değeri Çukurçeşme formasyonu silt seviyelerinin doğal birim hacim ağırlık değerlerinden %10,80 oranında, Gürpınar formasyonu silt seviyelerinin doğal birim hacim ağırlık değerlerinden %9,39 oranında daha yüksektir.



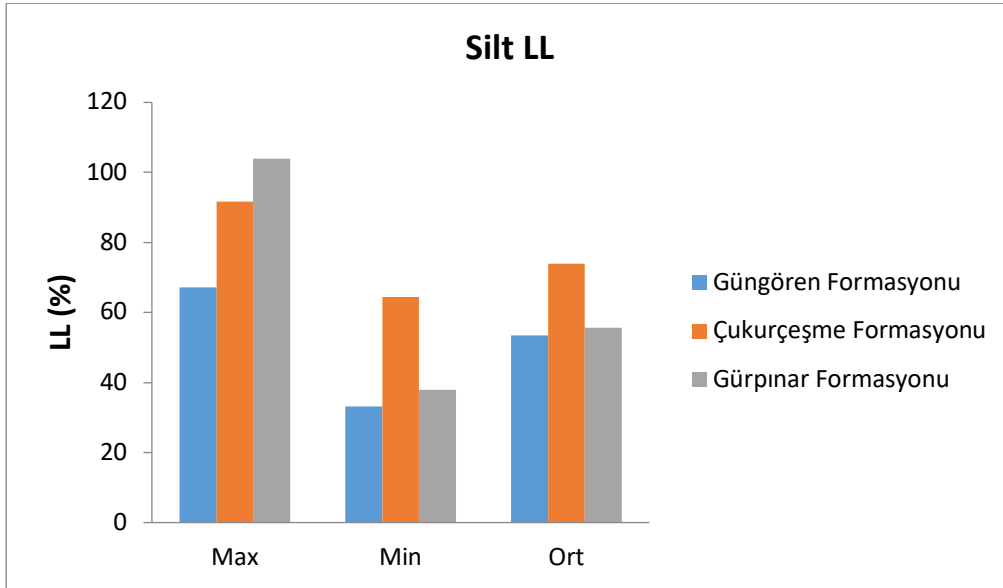
Şekil 5.25 : Güngören, Çukurçeşme ve Gürpınar formasyonlarının Silt doğal birim hacim ağırlık değerleri.

Güngören formasyonunun kil seviyelerinin doğal birim hacim ağırlık değeri Bakırköy formasyonu kil seviyelerinin doğal birim hacim ağırlık değerinden %3,09 oranında daha yüksektir. Gürpınar formasyonunun kil seviyelerinin doğal birim hacim ağırlık değeri Bakırköy formasyonu kil seviyelerinin doğal birim hacim ağırlık değerlerinden %3,59 oranında, Güngören formasyonu kil seviyelerinin doğal birim hacim ağırlık değerlerinden %0,51 oranında daha yüksektir (Şekil 5.26).



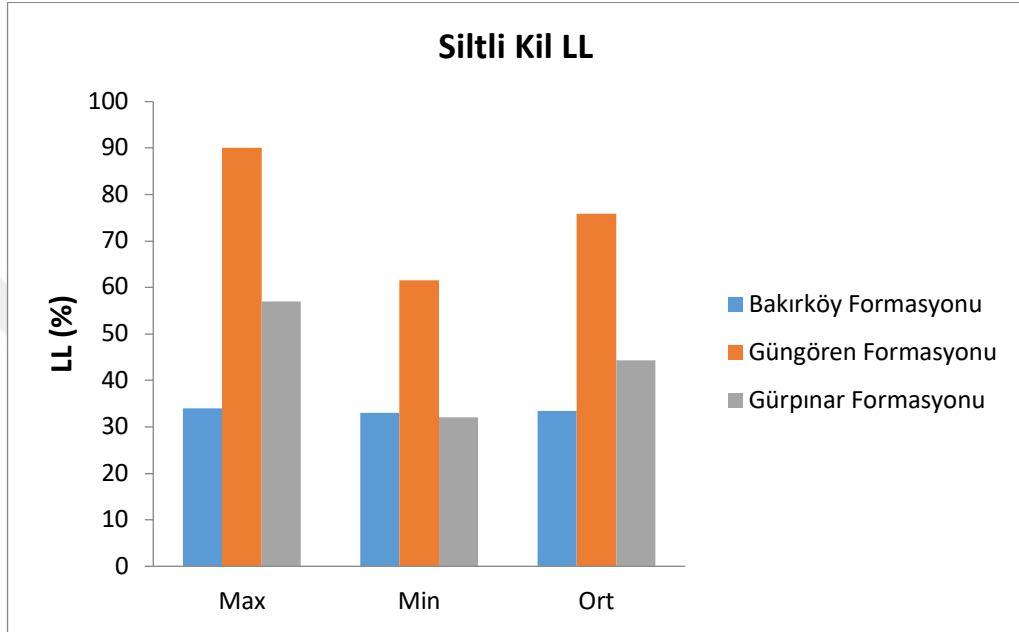
Şekil 5.26 : Bakırköy, Güngören ve Gürpınar formasyonlarının Kil doğal birim hacim ağırlık değerleri.

Gürpınar formasyonunun silt seviyelerinin likit limit değeri Güngören formasyonu silt seviyelerinin likit limit değerinden %3,78 oranında daha yüksektir. Çukurçeşme formasyonunun silt seviyelerinin likit limit değeri Güngören formasyonu silt seviyelerinin likit limit değerinden %27,60 oranında, Gürpınar formasyonu silt seviyelerinin likit limit değerinden %24,76 oranında daha yüksektir (Şekil 5.27).



Şekil 5.27 : Güngören, Çukurçeşme ve Gürpınar formasyonlarının Silt LL % dağılımları.

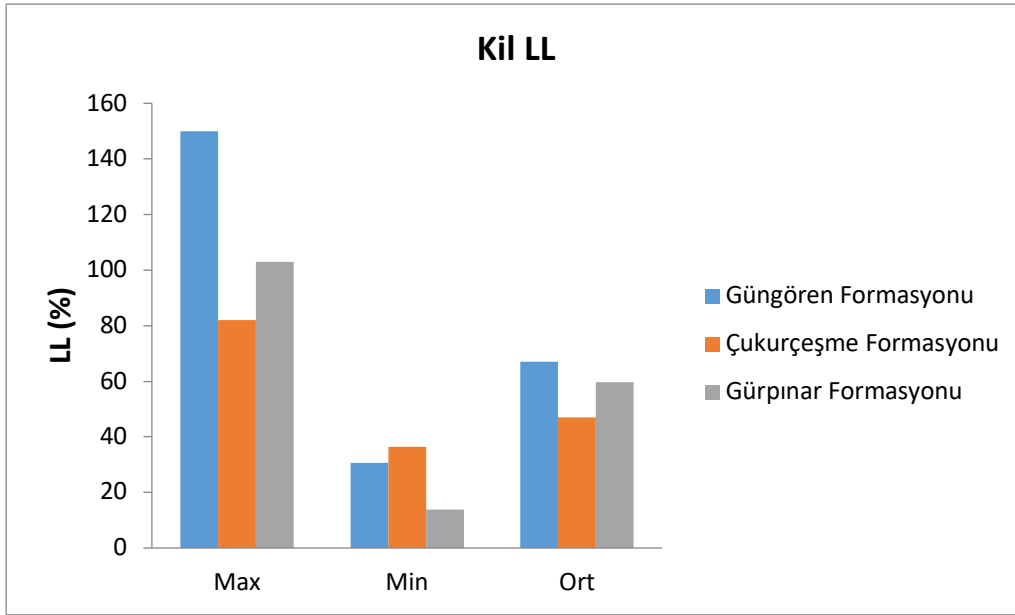
Gürpınar formasyonunun siltli kil seviyelerinin likit limit değeri Bakırköy formasyonu siltli kil seviyelerinin likit limit değerinden %24,38 oranında daha yüksektir. Güngören formasyonunun siltli kil seviyelerinin likit limit değeri Bakırköy formasyonu siltli kil seviyelerinin likit limit değerinden %55,80 oranında, Gürpınar formasyonu siltli kil seviyelerinin likit limit değerinden %41,56 oranında daha yüksektir (Şekil 5.28).



Şekil 5.28 : Bakırköy, Güngören ve Gürpınar formasyonlarının Siltli Kil LL % dağılımları.

Güngören formasyonunun kil seviyelerinin likit limit değeri Çukurçeşme formasyonu kil seviyelerinin likit limit değerinden %29,85 oranında daha yüksektir. Günpınar formasyonunun kil seviyelerinin likit limit değeri Güngören formasyonu kil seviyelerinin likit limit değerinden %11,04 oranında, Çukurçeşme formasyonu kil seviyelerinin likit limit değerinden %21,14 oranında daha yüksektir (Şekil 5.29).

Güngören formasyonunun silt seviyesi $1,70 \text{ g/cm}^3$ lük kuru birim hacim ağırlık değeri ile Anon (1979) sınıflamasında düşük birim hacim ağırlıklı zemin sınıfındadır. Çukurçeşme formasyonunun silt seviyesi $1,48 \text{ g/cm}^3$ lük kuru birim hacim ağırlık değeri ile Anon (1979) sınıflamasında düşük kuru birim hacim ağırlıklı zemin sınıfındadır. Gürpınar formasyonunun silt seviyesi $1,51 \text{ g/cm}^3$ arasında değişen kuru birim hacim ağırlık değerleri ile Anon (1979) sınıflamasında düşük kuru birim hacim ağırlıklı zemin sınıfındadır.



Şekil 5.29 : Güngören, Çukurçeşme ve Gürpınar formasyonlarının Kil LL % dağılımları.

5.3 Arazi ve Laboratuvar Deneyleri

Büyükçekmece ve Küçükçekmece gölleri arasında kalan çalışma alanı özellikle son yıllarda insanlar için çok büyük bir cazibe merkezi olmuş ve yoğun bir yerleşime maruz kalmıştır. Zaman içerisinde bu bölgede zemin özelliklerine yönelik bir çok araştırma gerçekleştirilmiş, önceleri yerel özellikteki bu araştırmalar, daha sonra bölgesel nitelik kazanmış ve daha nitelikli ve detay çalışmalar halini almıştır. Araştırma alanında yapılmış bir çok çalışma farklı firmalar ve araştırma kurumları tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu araştırmaları çokluğu ve verilerin farklılığı nedeniyle bu çalışmada bazı firma ve kuruluşlara ait araştırmalar baz alınmış ve çalışma alanı farklı üç bölgeye ayrılarak aynı formasyonlara ait verilerdeki bölgesel değişimler saptanmaya çalışılmıştır. Bu bölgeler doğudan batıya doğru sırasıyla şu şekilde saptanmıştır;

- Avcılar-Esenyurt Bölgesi
- Yakuplu-Kavaklı Bölgesi
- Gürpınar-Büyükçekmece Bölgesi

Bu bölgelere ait mühendislik jeolojisi verileri ayrı ayrı verilecek, verilerin yoğunluğuna göre bazı bölgelerde veri ortalamaları esas alınacak ve bunların ışığında tüm çalışma alanı için kıyaslamalı jeoteknik tanımlamalar yapılacaktır.

Avcılar-Esenyurt Bölgesi' ne ait mühendislik jeolojisi verileri 100 adet arazi gözlem ve ölçümünün ve 80 adet sondaj kuyusu çalışmasının ve bunlar içinde yapılan arazi deneylerinin sonucu elde edilmiştir. Kotları 5-148 m ler arasında bulunan gözlemler arazinin özellikle net bir kesitinin gözlemlendiği yamaç ve yarmalarda ya da inşaat-kazı şevlerinde gerçekleştirilmiş ve bölgede, arazi gözlemleri sonrasında genel yayılımları belirlenmiş ve farklı litolojik birimleri kesecek şekilde saptanan noktalarda derinlikleri 15-30 m arasında değişen çok sayıda (80 adet) araştırma sondajı açılmıştır. Bunlara ek olarak bu bölgede derinliği 4 m ye varan 100 dolayında araştırma çukuru açıldığı saptanmıştır. Bu çukurların özellikle, üzerleri toprak ya da atık malzeme ile örtülmüş yörelerdeki ana kaya litolojisini birebir görerek tanımlamada son derece yararlı olduğu açıktır.

Yapılan çalışmalarda inceleme alanında açılmış olan tüm zemin sondajlarından alınan karot örneklerdeki süreksizlikler analiz edilmiş (önceki çalışmalar) ve bunların sayısal büyüklükleri mevcut formasyonları oluşturan ana kayaç birimlerine göre istatistiksel olarak hesaplanarak “TCR: Toplam Karot Yüzdesi, SCR: Sağlam Karot Yüzdesi, RQD: Kaya Kalitesi Tanımı” değerlerini ifade eden karakteristik veri kümeleri şeklinde önce ayrı ayrı daha sonra da tüm formasyonları temsil edecek biçimde genelleştirilerek sunulmuştur. Zemin sondajlarından alınan karot örnekler üzerinde yapılan yüzlerce ölçüme ait bu veriler, planlanan yapılar için yeraltı ortamına ait ön değerlendirmelere (projelendirmelere) ışık tutacak şekilde genelleştirilmiştir.

Zemin sondajları içinde gerçekleştirilen ve gerek kumlu gerekse killi birimlerin sıklıkları ve kıvamlılıkları hakkında bilgi sağlayan en önemli arazi deneylerinden biri olan standart penetrasyon deneyleri (SPT) sırasında elde edilen sayısal veriler mevcut formasyonlara ve bunları oluşturan ana kayaç türlerine göre düzenlenmiş olan çizelgeler halinde sunulmuştur. Çizelge 5.7 Avcılar – Esenurt Bölgesi' ne ait araştırma sondajlarının lokasyon ve teknik bilgilerini içermektedir.

Çizelge 5.7 : Avcılar-Esenyurt (1.Bölge) Bölgesi’ nde açılmış bulunan önemli zemin sondajlarının koordinatları ve teknik özellikleri.

Sondaj No.	Yeraldığı Pafta (1/1.000)	Derinlik (m)	Ağız Kotu (m)	Taban Kotu (m)	Koordinatlar (x / y)	
S-1	F21-d-25-d-2-c	22,0	2,8	-19,2	4543140	392350
S-2	F21-d-25-d-	21,3	11,8	-9,5	4543890	391920
S-3	F21-d-25-a-	21,0	6,5	14,5	4544364	391742
S-4	F21-d-25-b-	28,0	42,0	14,0	4545652	392952
S-5	F21-d-25-a-	20,0	10,0	10,0	4545174	391438
S-6	F21-d-24-b-	18,5	9,5	9,0	4546173	390978
S-7	F21-d-24-b-	20,0	29,8	9,8	4546984	390193
S-8	F21-d-25-d-	24,5	35,5	11,0	4544060	391640
S-9	F21-d-25-a-	20,0	32,5	12,5	4544680	391132
S-10	F21-d-24-b-	20,0	30,5	10,5	4545241	390844
S-11	F21-d-24-b-	20,0	65,3	45,3	4545718	390145
S-12	F21-d-24-b-	26,0	69,0	43,0	4544570	390403
S-13	F21-d-20-d-	24,0	41,5	21,5	4547525	392147
S-14	F21-d-20-a-	20,0	153,3	133,3	4550611	391936
S-15	F21-d-20-d-	13,0	38,5	25,5	4547956	391840
S-16	F21-d-20-a-	20,0	148,3	128,3	4551635	390293
S-17	F21-d-20-d-	20,0	40,5	20,5	4547056	392439
S-18	F21-d-20-c-	12,0	36,8	24,8	4548581	393731
S-19	F21-d-20-d-	18,0	96,4	78,4	4549245	391609
S-20	F21-d-20-a-	20,0	156,0	146,0	4552085	390297
S-21	F21-d-24-c-	15,0	132,0	117,0	4543480	390590

Çizelge 5.8 Avcılar – Esenyurt Bölgesi’ ne ait Toplam Karot Yüzdesi (TCR) değerlerinin Bakırköy, Güngören, Çukurçeşme ve Gürpınar formasyonlarındaki istatistiksel dağılımını vermektedir. En yüksek ağırlıklı ortalama oranlarına Güngören ve Gürpınar siltli seviyelerinde ulaşılmaktadır. En düşük ağırlıklı ortalama yüzdesi ise Bakırköy marnlı seviyeleri ile Çukurçeşme çakıllı kum seviyelerinde bulunmaktadır.

Çizelge 5.8 : Avcılar-Esenyurt Bölgesi’ nden alınan örneklerde yapılan “Toplam Karot Yüzdesi (TCR)” ölçümlerinin formasyonlara göre istatistiksel dağılımı.

Birim / Formasyon		Ölçüm Sayısı	Ölçülen Sınır Değerler (%)	Ağırlıklı Ortalama (%)	
Bakırköy Frm.	Kireçtaşı	99	10-100	41,5	(41-42)
	Kil	13	18-84	44	(38-50)
	Marn	7	22-76	39,5	(31-48)
Güngören Frm.	Kil	96	0-100	55	(52-58)
	Silt	27	47-100	74	(70-78)
	Marn	9	20-97	53	(46-60)
Çukurçeşme Frm.	Kum	68	13-100	50	(48-52)
	Çakıl – Kum	32	3-67	25	(22-28)
	Çakıl	8	14-80	39,5	(32-47)
	Silt	4	60-100	62,5	(58-67)
Gürpınar Frm.	Kil	163	0-100	65	(63-67)
	Silt	68	40-100	82	(80-84)
	Tüf - Tüfit	21	10-100	51	(48-54)

Çizelge 5.8 ve Çizelge 5.9 ile sırasıyla Avcılar-Esenyurt bölgesine ait Toplam Karot Yüzdesi (TCR) ve Sağlam Karot Yüzdesi (SCR) ölçümlerinin istatistiksel değerlendirmeleri sunulmuştur. Çizelge 5.10 ile Avcılar-Esenyurt Bölgesi’ nden alınan örneklerde yapılan Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) istatistiksel oranları verilmiştir. Bu çizelgedeki SPT değerlerinin kumlu ve killi zeminler için yapılan sınıflamalar çerçevesindeki tanımları yanı sıra mevcut ortamın yeraltı su düzeyi derinliği de belirtilerek yapı temellerinin projelendirmesine yönelik jeoteknik hesaplamalar için son derece yararlı bir veri grubu sağlanmıştır.

Çizelge 5.9 : Avcılar-Esenyurt Bölgesi’ nden alınan örneklerde yapılan “Sağlam Karot Yüzdesi (SCR)” ölçümlerinin formasyonlara göre istatistiksel dağılımı.

Birim / Formasyon		Ölçüm Sayısı	Ölçülen Sınır Değerler (%)	Ağırlıklı Ortalama (%)	
Bakırköy Frm.	Kireçtaşı	14	0-23	6	(4,5-7,5)
Güngören Frm.	Kil	11	37-100	67	(67-67)
	Silt	11	47-93	68	(65-71)
	Kum	27	0-100	56	(49-63)
Çukurçeşme Frm.	Çakıl – Kum	8	0-60	29	(26-32)
	Kil	117	27-100	80	(80-80)
Gürpınar Frm.	Silt	69	30-100	78	(76-80)
	Tüf - Tüfit	12	8-67	25,5	(20-31)

Çizelge 5.10 : Avcılar-Esenyurt Bölgesi’ nden alınan örneklerde yapılan “Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)” ölçümlerinin formasyonlara göre dağılımı.

Birim / Formasyon		Ölçüm Sayısı	Ölçülen Sınır Değerler (vuruş)	Ağırlıklı Ortalama (vuruş)	
Bakırköy Fm.	Kireçtaşı	30	17-105	65,5	(63-68)
	Kil	12	6-46	25	(23-27)
	Marn	65	8-95	46,5	(44-49)
	Marn – Kil	74	6-80	38,5	(37-40)
Güngören Fm.	Kil	148	5-88	30	(29-31)
	Silt	19	7-50	26,5	(24-29)
	Kum	16	16-60	40	(36-44)
	Marn	4	37-48	43	(39-47)
Çukurçeşme Fm.	Kum	209	4-105	34,5	(34-35)
	Çakıl –	19	8-80	55	(55-61)
	Çakıl	25	18-105	71,5	(68-75)
	Silt	9	8-80	26	(13-39)
Gürpınar Fm.	Kil	642	5-105	40,5	(40-41)
	Silt	75	5-105	30,5	(29-32)
	Kum	14	9-105	46	(38-54)
	Tüf - Tüfit	18	18-105	46,5	(40-53)

İnceleme alanında bulunan iki formasyonun yakın çevredeki devamı içindeki çalışmalardan birinde gerçekleştirilmiş olan dinamik penetrasyon çalışmasının sonuçlarının da listelenmesinde yarar görülmüştür. Standart penetrasyon deneyi (SPT) ile aynı prensiplere sahip olan dinamik penetrasyon deneyinin (DPT) diğerinden tek farkı, zemin içine sokulmaya çalışılan başlığın tipinde ve birime girme derinliğindedir (Çizelge 5.11). Bu veriler standart penetrasyon verilerine çevrilerek aynı ilkeler dahilinde değerlendirilmelidir.

Çizelge 5.11 : Avcılar-Esenyurt Bölgesi’ nden alınan örneklerde yapılan “Dinamik Penetrasyon Deneyi (DPT)” ölçümlerinin formasyonlara göre dağılımı.

Birim / Formasyon		Ölçüm Sayısı	Ölçülen Sınır Değerler (%)	Ağırlıklı Ortalama (%)	
Güngören Fm.	Kil	80	1-32	7.3	(7.2-7.4)
	Kum	36	2-19	7.3	(6.8-7.8)
	Kum	24	5-15	10.1	(9.6-10.6)
Çukurçeşme Fm.	Çakıl	2	7-11	9	
	Kum-Silt	2	8-9	8.5	

Çok yumuşak-yumuşak zeminler ile elastisite modülü 200.000 kg/cm² ye kadar olan kayaların mekanik karakteristiklerinin belirlenmesi ve süreksizliklerin araştırılması için yapılan, kolaylıkla uygulanabilen ve temel tasarımında zemin açısından oldukça yararlı bilgiler sağlayan bir deney olan presiyometre deneyleri vasıtasıyla elde edilen deformasyon (elastisite) modülü ve limit basınç değerlerinden hareketle önceki çalışmalarda gerçekleştirilmiş olan bir dinamik penetrasyon çalışmasının sonuçları aşağıda listelenmektedir (Çizelge 5.12). Özellikle zemin sondajlarından alınan karot ve kırıntı örnekler üzerinde gerçekleştirilen fiziksel ve mekanik özelliklerin bulunmasına yönelik laboratuvar deneyleri (elek analizi, indeks özellikleri, kıvam limitleri, permeabilite, mekanik özellikler, elastik parametreler, konsolidasyon deneyi, vb) sonunda elde edilen her tür arazi ve laboratuvar verisi derlenerek aşağıda gruplandırılmıştır (Çizelge 5.13).

Çizelge 5.12 : Avcılar-Esenyurt Bölgesi’ nden alınan örnekler de yapılan “Presiyometre Deneylerine (PMT)” ait verilerden sağlanan “Deformasyon Modülü” değerlerinin formasyonlara göre istatistiksel dağılımı.

Birim / Formasyon		Ölçüm Sayısı	Ölçülen Sınır Değerler (kg/cm ²)	Ağırlıklı Ortalama (kg/cm ²)
Güngören Frm.	Kil	5	52.3 - 112.4	71.5 (71.2-71.8)
	Kum	13	42.6 - 208.3	89.8 (78. -100.9)
Çukurçeşme Frm.	Çakıl – Kum	16	10.8 - 93.4	59.5 (53 - 66)
	Kum – Silt	4	62.2 - 242.2	81.5
	Kil	115	8.6 - 434.2	103.9 (98.9-108.9)
Gürpınar Frm.	Kil – Silt	3	55.3 - 462.0	119.8
	Tüf - Tüfit	10	80,2 - 793,0	378.2 (333.3-423.1)

Çizelge 5.13 ile Avcılar-Esenyurt Bölgesi’ ndeki araştırma sondaj kuyularında yapılan Presiyometre Deneyleri’ ne (PMT) ait verilerden elde edilen Limit Basınç (LM) değerlerinin formasyonlara göre istatistiksel dağılımı verilmiştir.

Çizelge 5.13 : Avcılar-Esenyurt Bölgesi’ nden alınan örneklerde yapılan “Presiyometre Deneylerine (PMT)” ait verilerden sağlanan “Limit Basınç, σ_1 ” değerlerinin formasyonlara göre istatistiksel dağılımı.

Birim / Formasyon	Ölçüm Sayısı	Ölçülen Sınır Değerler (Kg/cm ²)	Ağırlıklı Ortalama (Kg/cm ²)
Güngören Frm. Kil	5	9.0 - 10.5	9.8 (9.5 - 10.1)
Çukurçeşme Frm. Kum	13	8.5 - 20.0	13.6 (12.6 - 14.4)
Çakıl – Kum	16	3.0 - 15.0	8.6 (8.0 - 9.2)
Kum – Silt	4	8.5 - 22.0	11.3
Kil	115	2.5 - 36.0	12.1 (6.9 - 31.1)
Gülpınar Frm. Kil – Silt	3	7.0 - 27.0	17.0
Tüf - Tüfit	10	17.0 - 54.0	30.8 (27.6 - 34.0)

Çizelge 5.14 ile Avcılar-Esenyurt Bölgesi’ nde açılmış araştırma çukurları içinde yapılan Veyn Deneyi istatistik dağılımları sunulmuştur. Güngören ve Çukurçeşme formasyonlarının her ikisinde de killi seviyelerde en yüksek ağırlıklı ortalama değerlerine ulaşılmıştır.

Çizelge 5.14 : Avcılar-Esenyurt Bölgesi’ nde açılmış araştırma çukurları içinde yapılan “Veyn Deneyi” verilerinin formasyonlara göre istatistiksel dağılımı.

Birim / Formasyon	Ölçüm Sayısı	Ölçülen Sınır Değerler (Kg)	Ağırlıklı Ortalama
Güngören Frm. Kil	7	1.0 - 8.8	5.9 (4.5 - 7.3)
Silt	1	-	6.2
Kum	4	1.1 - 8.4	1.5 (1.0 - 2.0)
Çukurçeşme Frm. Kum	2	1.1 - 2.1	1.6
Kum –	1	-	1.9
Kil	1	-	7.0

Daha önceki çalışmalarda, araştırma alanı içinde gerçekleştirilen jeolojik çalışmalarda mevcut kayaç-zemin mostralarından ve kazı çukurlarından, esas olarak da jeolojik veri eksikliği bulunan lokasyonlarda açılan zemin sondajlarından değişik türde örnekler alınmıştır. Gerek yeraltı jeolojisinin çok daha somut bir şekilde ortaya çıkarılması gerekse mevcut litolojik birimlerin mühendislik parametrelerinin derinliğine değişimlerinin belirlenmesi amacıyla bunlar üzerinde laboratuvarda fiziksel ve

mekanik özelliklerin ortaya çıkartılmasına yönelik bir çok deney ve analiz yapılmıştır. İnceleme alanında yer alan tüm litolojik birimleri temsil edecek şekilde gerçekleştirilmiş olan bu deneylerden fiziksel özelliklerin tayinine yönelik olanlar; granülometrik analiz (elek analizi), doğal su içeriği (w_n), doğal birim hacim ağırlığı (γ_n) ve kıvam limitleri (Likit limit: LL, Plastik limit: PL) dir. Mekanik özelliklerin tayinine yönelik olanlar ise serbest basınç direnci (σ), üç eksenli basınç direnci (σ_θ , σ_d) ve konsolidasyon deneyleridir. Bu deneyler sonunda, belirtilen özellikler dışında ayrıca hesaplamalar yapılarak ya da abaklardan hareketle ; kıvam indisleri (Plastisite indisi (I_p), Likitide indisi (I_L), zemin tipi (G, S, M, C, O), kohezyon (c), içsel sürtünme açısı (ϕ), teğetsel kayma gerilmesi (τ_θ), eksenel yanal gerilme (σ_y), permeabilite (K), hacimsel sıkışma katsayısı (m_v) ve konsolidasyon katsayısı (C_v) gibi yapı temellerinin projelendirilmesindeki jeoteknik hesaplamalar için gerekli tüm ana mühendislik parametreleri de derlenmiştir.

Arazi çalışmalarından sağlanan bilgilerin, laboratuvar deney ve analizlerinden elde edilenlerle birlikte, jeoteknik hesaplamalar için bilinmesi gereken mühendislik jeolojisi özellikleri, gerek deney verisi bazında gerekse istatistiksel veri kümeleri oluşturacak biçimde gösterilmiştir.

Çizelge 5.15 : Avcılar-Esenyurt Bölgesi’ nde örnek sayısı kısıtlı olan formasyonların Fiziksel Özellikleri’ ne ait veriler.

Sondaj No	Ağız Kotu	Doğal Su İçeriği w_n (%)	Kıvam Limitleri		Kıvam İndisleri		Litoloji Türü	Zemin Cinsi
			Likit Limit (LL)	Plastik Limit (PL)	Plastisite İndisi (I_p)	Likitide İndisi (I_L)		
S2	11.8	30.1	2.69	28	14	14	Kil	Sc
S3	6.5	11.2	2.59	-	0	-	Çakıllı Kum	-

Çizelge 5.15 ile Avcılar-Esenyurt Bölgesi’ nde örnek sayısı kısıtlı olan gölssel alüvyonda elde edilen fiziksel özelliklere ve kıvam limitlerine ait veriler verilmiştir. Çizelge 5.16 ile de Avcılar-Esenyurt Bölgesi’ nde Bakırköy formasyonunu oluşturan birimlerin fiziksel özelliklerinin istatistiksel dağılımı verilmiştir.

Çizelge 5.16 : Avcılar-Esenyurt Bölgesi' nde Bakırköy formasyonunu oluşturan birimlerin fiziksel özelliklerinin istatistiksel dağılımı.

Birimlerin Fiziksel Özellikleri			Kil	Marn	Marn Kil	Silt Kil	Silt Kum	Kum
Granülometrik Analiz	No. 10	Deney Sayısı	38	5	2	1	1	2
		Sınır Değerler	100-86	100-91	99-93	-	-	95-34
		İstatistik Ortalama	98,5	96,0	96,0	75,0	96,0	64,5
		Deney Sayısı	38	5	2	1	1	2
		Sınır Değerler	100-73	98-71	87-65	-	-	53-26
		İstatistik Ortalama	93,0	80,5	76,0	49,0	56,0	39,5
	No. 200	Deney Sayısı	38	5	2	1	1	2
		Sınır Değerler	99-56	85-60	81-50	-	-	33-24
		İstatistik Ortalama	80,0	63,5	65,5	42,0	39,0	28,5
		Deney Sayısı	2	2	1	-	-	-
		Sınır Değerler	1,93-1,83	2,04-1,95	-	-	-	-
		İstatistik Ortalama	1,88	2,00	1,77	-	-	-
Kıvam Limitleri	Doğal Birim Hacim Ağırlığı γ_n (gr/cm ³)	Deney Sayısı	39	9	7	2	-	-
		Sınır Değerler	89-28	42-24	90-25	34-33	-	-
		İstatistik Ortalama	46,5	36,0	47,0	33,5	-	-
		Deney Sayısı	39	9	7	2	-	-
		Sınır Değerler	28-16	23-15	37-15	16-15	-	-
		İstatistik Ortalama	20,5	17,0	25,5	15,5	-	-
	Plastik Limit (PL)	Deney Sayısı	39	9	7	2	-	-
		Sınır Değerler	69-9	46-8	53-10	19-17	-	-
		İstatistik Ortalama	26,5	19,0	23,0	18,0	-	-
		Deney Sayısı	19	7	5	2	-	-
		Sınır Değerler	0,51-0,02	0,66-0,00	0,48-0,08	0,40-0,14	-	-
		İstatistik Ortalama	0,23	0,36	0,33	0,27	-	-
	Plastisite İndisi (I _p)	Deney Sayısı	39	9	7	2	-	-
		Sınır Değerler	69-9	46-8	53-10	19-17	-	-
		İstatistik Ortalama	26,5	19,0	23,0	18,0	-	-
		Deney Sayısı	19	7	5	2	-	-
		Sınır Değerler	0,51-0,02	0,66-0,00	0,48-0,08	0,40-0,14	-	-
		İstatistik Ortalama	0,23	0,36	0,33	0,27	-	-
Kıvam İndisleri	Likitide İndisi (I _L)	Deney Sayısı	39	9	7	2	-	-
		Sınır Değerler	69-9	46-8	53-10	19-17	-	-
		İstatistik Ortalama	26,5	19,0	23,0	18,0	-	-
	Likitide İndisi (I _L)	Deney Sayısı	19	7	5	2	-	-
		Sınır Değerler	0,51-0,02	0,66-0,00	0,48-0,08	0,40-0,14	-	-
		İstatistik Ortalama	0,23	0,36	0,33	0,27	-	-

Çizelge 5.17 : Avcılar-Esenyurt Bölgesi'nde Güngören formasyonunu oluşturan birimlerin fiziksel özelliklerinin istatistiksel dağılımı.

Birimlerin Fiziksel Özellikleri			Kil	Silt	Kum	Silt Kil	Silt Kum
Granülometrik Analiz	No. 10	Deney Sayısı	29	1	8	1	1
		Sınır Değerler	100-71	-	100-42	-	-
		İstatistik Ortalama	97,0	89,0	99,0	79,0	73,0
	No. 40	Deney Sayısı	29	1	8	2	1
		Sınır Değerler	100-66	-	96-34	99-75	-
		İstatistik Ortalama	95,0	81,0	84,5	87,0	56,0
	No. 200	Deney Sayısı	29	1	8	2	1
		Sınır Değerler	99-61	-	46-2	64-49	-
		İstatistik Ortalama	87,0	51,0	31,0	56,5	45,0
	Doğal Su İçeriği w_n (%)	Deney Sayısı	76	7	1	2	1
		Sınır Değerler	59,0-11,1	30,0-17,0	-	31,4-29,3	-
		İstatistik Ortalama	30,5	25,0	16,5	30,4	49,6
Kıvam Limitleri	Doğal Birim Hacim Ağırlığı γ_n (gr/cm ³)	Deney Sayısı	16	4	1	-	1
		Sınır Değerler	2,60-1,72	2,31-1,90	-	-	-
		İstatistik Ortalama	1,94	2,13	2,46	-	2,15
	Likit Limit (LL)	Deney Sayısı	88	8	-	2	2
		Sınır Değerler	150-30,7	67,1-33,1	-	90,0-61,5	90,0-47,9
		İstatistik Ortalama	67,0	53,5	-	75,8	69,0
	Plastik Limit (PL)	Deney Sayısı	88	8	-	2	2
		Sınır Değerler	53,3-13,0	39,0-15,8	-	30,0-19,0	42,3-16,7

Çizelge 5.17 (devam) : Avcılar-Esenyurt Bölgesi'nde Güngören formasyonunu oluşturan birimlerin fiziksel özelliklerinin istatistiksel dağılımı.

Birimlerin Fiziksel Özellikleri			Kil	Silt	Kum	Silt Kil	Silt Kum
Kıvam Limitleri	Plastik Limit (PL)	İstatistik Ortalama	26,0	29,0	-	24,5	29,5
Kıvam İndisleri	Plastisite İndisi (I_p)	Deney Sayısı	87	8	-	3	2
		Sınır Değerler	85,0-9,1	42,7-15,0	-	71,0-31,5	47,7-31,2
		İstatistik Ortalama	41,5	25,5	-	33,5	39,5
	Likitide İndisi (I_L)	Deney Sayısı	43	3	-	3	1
		Sınır Değerler	0,64-0,00	0,58-0,00	-	0,39-0,04	-
		İstatistik Ortalama	0,18	0,05	-	0,10	0,15

Çizelge 5.17 ile Avcılar-Esenyurt Bölgesi'nde Güngören formasyonunu ayırık kaya (zemin) niteliğindeki birimlerin fiziksel özelliklerinin istatistiksel dağılımı sunulmuştur. Çizelge 5.18 ile de anılan bölgenin Çukurçeşme formasyonunu oluşturan ayırık kayalık (zemin) birimlerin fiziksel özelliklerinin istatistiksel dağılımı verilmiştir.

Çizelge 5.18 : Avcılar-Esenyurt Bölgesi'nde Çukurçeşme formasyonunu oluşturan birimlerin fiziksel özelliklerinin istatistiksel dağılımı.

Birimlerin Fiziksel Özellikleri		Kum	Çakıl kum	Çakıl	Silt	Kum Silt	Kil	Kum Kil	
Granülometrik Analiz	No. 10	Deney Sayısı	4	5	1	-	1	11	1
		Sınır Değerler	99-50	62-39	-	-	-	100-86	-
		İstatistik Ortalama	57,0	42,0	35,0	-	100,0	99,0	81,0
	No. 40	Deney Sayısı	4	5	1	-	1	11	1
		Sınır Değerler	90-20	44-23	-	-	-	100-60	-
		İstatistik Ortalama	45,5	32,0	10,0	-	100,0	94,0	73,0
	No. 200	Deney Sayısı	4	5	1	-	1	11	1
		Sınır Değerler	25-8	25-13	-	-	-	94-53	-
		İstatistik Ortalama	13,5	17,0	4,0	-	50,0	78,5	54,0

Çizelge 5.18 (devam) : Avcılar-Esenyurt Bölgesi'nde Çukurçeşme formasyonunu oluşturan birimlerin fiziksel özelliklerinin istatistiksel dağılımı.

Birimlerin Fiziksel Özellikleri			Kum	Çakıl kum	Çakıl	Silt	Kum Silt	Kil	Kum Kil
Doğal Su İçeriği w_n (%)	Sınır	Değer.	47,5- 26,3	-	-	38,6 -	-	34- 19	-
	İstatis.	Ort.	36,5	20,0	-	10,1 28,5	20,0	23,0	-
	Deney	Sayısı	7	1	-	2	-	1	-
Doğal Birim Hacim Ağırlığı γ_n (gr/cm ³)	Sınır	Değer.	1,95- 1,80	-	-	1,92 -	-	-	-
	İstatis.	Ort.	1,85	2,00	-	1,88 1,90	-	2,00	-
	Deney	Sayısı	-	-	-	4	-	6	-
Plastisite İndisi (I_p)	Sınır	Değerler	-	-	-	91,6 -	-	82,0- 36,5	-
	Sınır	Değ.	-	-	-	64,4 36,4	-	34,0- 11,9	-
	İstatis.	Ort.	-	-	-	28,5 30,0	-	21,7	-
Kıvam İndisleri	Deney	Sayısı	-	-	-	4	-	6	-
	Sınır	Değ.	-	-	-	55,2 -	-	48,0- 19,0	-
	İstatis.	Ort.	-	-	-	35,8 43,0	-	29,1	-
Kıvam Limit. Likit Limit (LL)	Deney	Sayısı	-	-	-	1	-	3	-
	Sınır	Değ.	-	-	-	-	-	0,16- 0,00	-
	İstatis.	Ort.	-	-	-	0,04	-	0,15	-

Çizelge 5.19 : Avcılar-Esenyurt Bölgesi'nde Gürpınar formasyonunu oluşturan birimlerin fiziksel özelliklerinin istatistiksel dağılımı.

Birimlerin Fiziksel Özellikleri		Kil	Silt	Kum	Tüf Tüfit	Kil kum	Silt Kil	Silttaşı Kiltaşı	Silt Kum
Granülometrik Analiz	No. 10	Deney Sayısı	29	-	2	-	1	-	1
		Sınır Değerler	100- 88	-	99- 90	-	-	-	-
		İstatistik Ortalama	98,5	-	94,5	-	86	-	56
	No. 40	Deney Sayısı	29	-	2	-	1	-	1
		Sınır Değerler	100- 83	-	59- 50	-	-	-	-
		İstatistik Ortalama	97	-	54,5	-	80,0	-	36
	No. 200	Deney Sayısı	29	-	2	-	1	-	1
		Sınır Değerler	99- 63	-	23-3	-	-	-	-
		İstatistik Ortalama	89	-	13	-	40	-	24
Doğal Su İçeriği w_n (%)	Deney Sayısı	142	21	-	4	2	4	2	-
	Sınır Değerler	50,9- 9	44- 18	-	45,9- 21	26- 23,8	30- 19	27-25	-
	İstatistik Ortalama	26,6	28,2	-	29,2	24,9	26	26	-
Doğal Birim Hacim Ağırlığı γ_n (gr/cm ³)	Deney Sayısı	58	10	-	1	3	2	1	-
	Sınır Değerler	2,19- 1,73	2,08- 1,78	-	-	1,92- 1,69	1,92- 1,85	-	-
	İstatistik Ortalama	1,95	1,93	-	1,91	1,72	1,89	1,93	-
Kıvam Limitleri Likit Limit	Deney Sayısı	185	20	-	4	-	5	1	-
	Sınır Değerler	103- 13,8	104- 38	-	84,2- 56	-	57 - 32	-	-
	İstatistik Ortalama	59,6	55,6	-	80,1	-	44,3	66	-

Çizelge 5.19 (devam) : Avcılar-Esenyurt Bölgesi'nde Gürpınar formasyonunu oluşturan birimlerin fiziksel özelliklerinin istatistiksel dağılımı.

Birimlerin Fiziksel Özellikleri			Kil	Silt	Tüf Tüfit	Silt Kil	Silttaşı Kıltaşı	Silt Kum
Kıvam İndisleri	Plastik Limit (PL)	Deney Sayısı	16 1	20	4	5	1	-
		Sınır Değerler	53- 10	39- 18	38-20	50- 20	-	-
		İstatistik Ortalama	25, 5	29, 9	29,4	28	32	-
	Plastisite İndisi (I _p)	Deney Sayısı	17 2	20	4	5	1	-
		Sınır Değerler	72- 6	76- 11	63-18	25- 4	-	-
		İstatistik Ortalama	36, 8	24, 8	49,3	8,5	34	-
	Likitide İndisi (I _L)	Deney Sayısı	69	6	1	-	2	-
		İstatistik Ortalama	0,2 0	0,1 5	0,44	-	0,25	-

Çizelge 5.19 ile Avcılar-Esenyurt Bölgesi'nde Gürpınar formasyonunu oluşturan birimlerin fiziksel özelliklerinin kıvam limitlerinin istatistiksel dağılımı sunulmuştur.

Çizelge 5.20 ile anılan bölgedek Bakırköy formasyonunun kaya, geçiş kayacı niteliğindeki seviyelerinin ve kohezyonlu seviyelerinin mekanik parametrelerine ait istatistiksel değerlendirmeler sunulmuştur.

Çizelge 5.20 : Avcılar-Esenyurt Bölgesi'nde Bakırköy formasyonunu oluşturan birimlerin mekanik özelliklerinin istatistiksel dağılımı.

Birimlerin Fiziksel Özellikleri			Kireçtaşı	Kil	Marn	Marn Kil	Silt Kil
İçsel Parametreler	Kohezyon c (kg/cm ²)	Deney Sayısı	-	-	1	-	-
		Sınır Değerler	-	-	-	-	-
		İstatistik Ortalama	-	-	0,54	-	-
Serbest Basınç Direnci σ_1 (kg/cm ²)		Deney Sayısı	4	2	2	4	1
		Sınır Değerler	2,70-1,40	2,70-1,70	2,00-1,70	2,03-1,85	-
		İstatistik Ortalama	1,88	2,20	1,85	1,97	2,20

Çizelge 5.21 : Avcılar-Esenyurt Bölgesi'nde Güngören formasyonunu oluşturan birimlerin mekanik özelliklerinin istatistiksel dağılımı.

Birimlerin Fiziksel Özellikleri			Kil	Silt	Kum	Marn	Kil Marn	Silt Kil
İçsel Parametreler	Kohezyon c (kg/cm ²)	Deney Sayısı	14	2	1	1	-	1
		Sınır Değerler	2,18-0,40	1,90-1,00	-	-	-	-
		İstatistik Ortalama	1,50	1,45	0,85	0,80	-	1,70
	İçsel Sürtünme Açısı ϕ (°)	Deney Sayısı	7	1	2	1	-	1
		Sınır Değerler	24,0-5,2	-	37,0-18,0	-	-	-
		İstatistik Ortalama	14,5	20	27,5	3,0	-	21,0
	Kırılma Düzleminin σ_d düzleminde yaptığı açı θ_1 (°)	Deney Sayısı	7	1	2	1	-	1
		Sınır Değerler	42,4-33,0	-	36,0-26,5	-	-	-
		İstatistik Ortalama	37,8	35,0	31,3	43,5	-	34,5
Serbest Basınç Direnci σ_1 (kg/cm ²)	Deney Sayısı	13	2	-	3	-	2	
	Sınır Değerler	4,40-0,38	3,10-0,30	-	3,10-0,93	-	5,00	
							-	-
								3,60
	İstatistik Ortalama	1,83	1,70	-	2,80	-	4,30	

Çizelge 5.21 ile Avcılar-Esenyurt Bölgesi'nde Güngören formasyonunu oluşturan geçiş ve ayrık kaya niteliğindeki birimlerin mekanik özelliklerinin istatistiksel dağılımı sunulmuştur.

Çizelge 5.22' de ise anılan bölgeye ait Çukurçeşme formasyonunu oluşturan ayrık kayaç (zemin) niteliğindeki birimlerin mekanik özelliklerinin istatistiksel dağılımı sunulmuştur.

Çizelge 5.22 : Avcılar-Esenyurt Bölgesi'nde Çukurçeşme formasyonunu oluşturan birimlerin mekanik özelliklerinin istatistiksel dağılımı.

Birimlerin Fiziksel Özellikleri			Kum	Silt	Kum Silt	Kil
İçsel Parametreler	Kohezyon c (kg/cm^2)	Deney Sayısı	2	-	6	-
		Sınır Değerler	1,00-0,25	-	0,95-0,23	-
		İstatistik Ortalama	6,13	-	0,76	-
	İçsel Sürtünme Açısı ϕ ($^\circ$)	Deney Sayısı	1	1	6	-
		Sınır Değerler	-	-	45,4-0,3	-
		İstatistik Ortalama	37,0	37,0	5,7	-
	Kırılma Düzleminin σ_d düzlemiyle yaptığı açı θ_1 ($^\circ$)	Deney Sayısı	1	1	6	-
		Sınır Değerler	-	-	44,9-22,3	-
		İstatistik Ortalama	26,5	26,5	42,2	-
	Serbest Basınç Direnci σ_1 (kg/cm^2)	Deney Sayısı	1	-	-	1
		Sınır Değerler	-	-	-	-
		İstatistik Ortalama	1,93	-	-	1,00

Avcılar-Esenyurt Bölgesi'nde açılan araştırma sondajlarına ait yapılan deneysel çalışma sonuçlarının verildiği çizelgelerden son olarak Çizelge 5.23 ile Gürpınar formasyonunu oluşturan birimlerin mekanik özelliklerinin istatistiksel dağılımı sunulmuştur. Bu çizelgede jeomekanik parametrelerinin belirlenmesine yönelik olarak ayrık kayaç ve zayıf kayaç nitelikli seviyeler dikkate alınmıştır. Bu bakış açısı, Gürpınar formasyonu özelinde istifin kavramsal modelinin ilerideki bölümlerde kurgulanmasında önemli bir rol oynayacaktır. Çantaköy üyesine ait tüf-tüfitler, Gürpınar formasyonunun zemin niteliğindeki seviyeleri ve yine anılan formasyonun kayaç niteliğindeki seviyeleri ayrı jeomekanik parametreler ile tariflenecektir.

Çizelge 5.23 : Avcılar-Esenyurt Bölgesi'nde Gürpınar formasyonunu oluşturan birimlerin mekanik özelliklerinin istatistiksel dağılımı.

Birimlerin Fiziksel Özellikleri			Kil	Silt	Kum	Tüf Tüfit	Kil Kum	Kil Silt	Kiltaşı Silttaşı	Silt Kum
İçsel Parametreler	Kohezyon c (kg/cm ²)	Deney Sayısı	89	12	-	1	3	5	1	-
		Sınır Değerler	16,7- 0,09	1,80- 0,20	-	-	1,45- 0,90	1,90- 0,45	-	-
		İstatistik Ortalama	1,21	1,12	-	0,55	0,95	0,61	1,40	-
	İçsel Sürtünme Açısı φ (°)	Deney Sayısı	27	5	-	1	3	-	-	-
		Sınır Değerler	38,0- 0,7	26,0- 6,0	-	-	11,8- 10,0	-	-	-
		İstatistik Ortalama	12,5	11,7	-	17,0	10,9	-	-	-
	Kırılma Düzleminin σ_d düzlemiyle yaptığı açı θ_1 (°)	Deney Sayısı	28	5	-	1	3	-	-	-
		Sınır Değerler	44,7- 26,0	42,0- 32,0	-	-	44,0- 39,1	-	-	-
		İstatistik Ortalama	38,7	39,2	-	36,5	39,6	-	-	-
Serbest Basınç Direnci σ_1 (kg/cm ²)	Deney Sayısı	8	2	-	1	-	-	-	-	
	Sınır Değerler	2,29- 1,46	2,17- 0,47	-	-	-	-	-	-	
	İstatistik Ortalama	1,95	1,32	-	0,55	-	-	-	-	

Önceki alt bölümde, Mühendislik Jeolojisi verilerinin özetlendiği Avcılar-Esenyurt Bölgesi'nden sonra, en fazla araştırmaya konu olan bölge Yakuplu-Kavaklı Bölgesi'dir. Burada da çeşitli firmalarca onlarca araştırma gerçekleştirilmiş ve bazıları detaylı, bazıları üstünkörü diye niteleyebileceğimiz bir çok çalışma içerisinde en özenli gerçekleştirilmiş çalışmalar seçilerek bölgeye ait mühendislik jeolojisi verileri oluşturulmaya çalışılmıştır.

Bundan önceki bölümde yapılan arazi çalışmaları ve laboratuvar deneyleri hakkında bilgi verildiğinden bu ve bundan sonraki bölümlerde elde edilen sonuçlar yer kaybına meydan vermemek için mümkün olduğunca veri çizelgeleri şeklinde sunulacaktır.

Çizelge 5.24 : Yakuplu-Kavaklı Bölgesi'nde açılmış bulunan bir grup zemin sondajının teknik özellikleri ve yapılan deneyler.

Sondaj No.	Derinlik (m)	Formasyon	Ölçüm ve Deneyler
YK-1	25.45		SPT
YK-2	16.80		SPT
YK-3	19.95		SPT
YK-4	25.30	Çukurçeşme Formasyonu	SPT
YK-5	19.65		SPT
Yk-6	24.30		SPT
YK-7	14.95		TCR, RQD, SPT
YK-8	24.45		SPT
YK-9	19.95		SPT
YK-10	19.95		Konsolidasyon, SPT
YK-11	19.95	Gürpınar Formasyonu	SPT
YK-12	19.95		SPT
YK-13	19.95		SPT
YK-14	27.10		Presiyometre, SPT
YK-15	19.95		SPT
YK-16	19.95		SPT
YK-17	19.95	Çukurçeşme Formasyonu	SPT
YK-18	20.45		SPT
YK-19	24.95		SPT
YK-20	25.00		SPT
YK-21	27.05	Gürpınar Formasyonu	Presiyometre, SPT
YK-22	25.95	Çukurçeşme Formasyonu	SPT
YK-23	21.45		SPT

Çizelge 5.24 ile Yakuplu-Kavaklı Bölgesi'nde açılmış bir grup zemin araştırma sondajının teknik özellikleri ve yapılan deney türleri sunulmuştur.

Çizelge 5.25 ise anılan bölgede Bakırköy formasyonunu oluşturan birimlerin fiziksel özelliklerinin istatistiksel dağılımını içermektedir. Güngören formasyonu ile yatay ve düşey stratigrafide geçişli olan bu formasyonun kayaç, geçiş kayası ve ayrık kayaç (zemin) niteliğindeki seviyelerine ait fiziksel özellik ve kıvam limitleri bilgileri bir arada verilmiştir.

Çizelge 5.25 : Yakuplu-Kavaklı Bölgesi' nde Bakırköy formasyonunu oluşturan birimlerin fiziksel özelliklerinin istatistiksel dağılımı.

Birimlerin Fiziksel Özellikleri		Kireçtaşı	Kil	Marn	Marn Kil	Silt Kil	Silt Kum	Kum
Granülometrik Analiz	No. 10	Deney Sayısı	-	18	3	4	1	1
		Sınır Değerler	-	100- 80	100- 90	98- 91	-	-
		İstatistik Ortalama	-	98	95	95	75	90
	No. 40	Deney Sayısı	-	18	3	4	1	1
		Sınır Değerler	-	100- 81	96- 69	78- 65	-	-
		İstatistik Ortalama	-	93,0	78,5	71,0	44,0	59,0
	No. 200	Deney Sayısı	-	18	3	4	1	1
		Sınır Değerler	-	99- 66	80- 58	77- 55	-	-
		İstatistik Ortalama	-	80,0	63,0	65,0	40,0	34,0
Doğal Su İçeriği w_n (%)	Deney Sayısı	Deney Sayısı	-	24	6	6	1	1
		Sınır Değerler	-	29-9	29- 13	48- 13	-	-
		İstatistik Ortalama	-	20	21	35	16	21.6
Doğal Birim Hacim Ağırlığı γ_n (gr/cm ³)	Deney Sayısı	Deney Sayısı	14	2	2	1	-	-
		Sınır Değerler	1.8-2.3	1,93- 1,83	2,04- 1,95	-	-	-
		İstatistik Ortalama	2.2	1,88	2,00	1,77	-	-
Kıvam Limitleri Likit Limit (LL)	Deney Sayısı	Deney Sayısı	-	11	7	9	-	-
		Sınır Değerler	-	29- 115	31- 66	42- 70	-	-
		İstatistik Ortalama	-	60	42	48	-	-

Çizelge 5.25 (devam) : Yakuplu-Kavaklı Bölgesi' nde Bakırköy formasyonunu oluşturan birimlerin fiziksel özelliklerinin istatistiksel dağılımı.

Birimlerin Fiziksel Özellikleri		Kireçtaşı	Kil	Marn	Marn Kil	Silt Kil	Silt Kum	Kum
Kıvam Limitleri	Plastik Limit (PL)	Deney Sayısı	-	11	7	9	-	-
		Sınır Değerler	-	26-17	26-18	31-19	-	-
		İstatistik Ortalama	-	22	19,5	23,0	-	-
Kıvam İndisleri	Plastisite İndisi (I_p)	Deney Sayısı	-	11	7	9	-	-
		Sınır Değerler	-	71-12	40-11	57-9	-	-
		İstatistik Ortalama	-	28,5	20,5	26,5	-	-
	Likitide İndisi (I_L)	Deney Sayısı	-	9	4	5	-	-
		Sınır Değerler	-	0,48-0,12	0,59-0,08	0,52-0,11	-	-
		İstatistik Ortalama	-	0,23	0,36	0,33	-	-

Çizelge 5.26 ile Yakuplu-Kavaklı Bölgesi' nde Güngören formasyonunu oluşturan ayrık kayaç ve geçiş kayası niteliğindeki birimlerin fiziksel özellikleri ve kıvam limitlerine ait istatistiksel dağılımlar verilmiştir. Bu veriler Çizelge 5.25 ile sunulan Bakırköy formasyonuna ait veriler ile karşılaştırıldığında iki formasyonun birbirine geçişli konumsal özelliklerinin fiziksel özelliklerine ve kıvam limitlerine de yansıdığı görülmektedir.

Çizelge 5.26 : Yakuplu-Kavaklı Bölgesi' nde Güngören formasyonunu oluşturan birimlerin fiziksel özelliklerinin istatistiksel dağılımı.

Birimlerin Fiziksel Özellikleri			Kil	Silt	Kum	Marn	Silt Kil	Silt Kum
Granülometrik Analiz	No. 10	Deney Sayısı	16	1	6	-	1	1
		Sınır Değerler	100-69	-	100-32	-	-	-
		İstatistik Ortalama	97,0	86,0	99,0	-	73,0	66,0
	No. 40	Deney Sayısı	16	1	6	-	1	1
		Sınır Değerler	100-59	-	95-29	-	-	-
		İstatistik Ortalama	95,0	84,0	80,5	-	86,0	51,0
	No. 200	Deney Sayısı	16	1	6	-	1	1
		Sınır Değerler	99-58	-	41-8	-	66-40	-
		İstatistik Ortalama	86,5	49,0	26,0	-	54,5	43,0
Doğal Su İçeriği w_n (%)	Deney Sayısı			34	6	1	1	2
	Sınır Değerler			55,0-14,0	33,0-14,0	-	-	31,4-29,3
	İstatistik Ortalama			34,5	23,0	19,5	24,8	31,7
Doğal Birim Hacim Ağırlığı γ_n (gr/cm ³)	Deney Sayısı			16	4	1	-	-
	Sınır Değerler			2,70-1,63	2,28-1,94	-	-	-
	İstatistik Ortalama			1,92	2,08	2,38	-	-
Kıvam Limitleri	Likit Limit (LL)	Deney Sayısı	38	4	-	-	1	1
		Sınır Değerler	150-28,4	59,4-29,8	-	-	-	-
		İstatistik Ortalama	63,0	54,1	-	-	73,4	67,0
	Plastik Limit (PL)	Deney Sayısı	38	4	-	-	1	1
		Sınır Değerler	51,8-14,0	42,0-16,1	-	-	32,0-17,0	44,0-14,8

Çizelge 5.26 (devam) : Yakuplu-Kavaklı Bölgesi' nde Güngören formasyonunu oluşturan birimlerin fiziksel özelliklerinin istatistiksel dağılımı.

Birimlerin Fiziksel Özellikleri			Kil	Silt	Kum	Marn	Silt Kil	Silt Kum
Kıvam Limitleri	Plastik Limit (PL)	İstatistik Ortalama	24,0	27,0	-	-	22,0	27,5
Kıvam İndisleri	Plastisite İndisi (I _p)	Deney Sayısı	38	4	-	-	1	2
		Sınır Değerler	88,0-11,1	54,3-18,0	-	-	-	49,5-33,0
		İstatistik Ortalama	44,5	27,5	-	-	32,0	36,5
	Likitide İndisi (I _L)	Deney Sayısı	25	3	-	-	1	1
		Sınır Değerler	0,66-0,00	0,61-0,00	-	-	-	-
		İstatistik Ortalama	0,19	0,07	-	-	0,14	0,17

Çizelge 5.27 ile Yakuplu-Kavaklı Bölgesi' nde açılan araştırma sondajlarına ait Çukurçeşme formasyonunu oluşturan birimlerin granülometre analizi, fiziksel özellikleri ve kıvam limitlerine ait istatistiksel dağılımlar sunulmuştur.

Çizelge 5.27 : Yakuplu-Kavaklı Bölgesi' nde Çukurçeşme formasyonunu oluşturan birimlerin fiziksel özelliklerinin istatistiksel dağılımı.

Birimlerin Fiziksel Özellikleri		Kum	Çakıl kum	Çakıl	Silt	Kum Silt	Kil	Kum Kil	
Granülometrik Analiz	No. 10	Deney Sayısı	2	3	1	-	1	6	1
		Sınır Değerler	98-36	59-36	-	-	-	100-88	-
		İstatistik Ortalama	67,0	41,5	33,0	-	100,0	98,0	80,5
	No. 40	Deney Sayısı	2	3	1	-	1	6	1
		Sınır Değerler	90-18	42-26	-	-	-	100-56	-
		İstatistik Ortalama	54	33,0	9,0	-	100,0	92,5	77,0
		Deney Sayısı	2	3	1	-	1	6	1

Çizelge 5.27 (devam) : Yakuplu-Kavaklı Bölgesi‘ nde Çukurçeşme formasyonunu oluşturan birimlerin fiziksel özelliklerinin istatistiksel dağılımı.

Birimlerin Fiziksel Özellikleri			Kum	Çakıl Kum	Çakıl	Silt	Kum Silt	Kil	Kum Kil
Doğal Su İçeriği	No. 200	Sınır Değerler	23-7,5	26-11	-	-	-	93-58	-
		İstatistik Ortalama	15,3	16,0	3,0	-	49,0	76,5	55,0
		Deney Sayısı	-	2	1	-	2	1	3
Doğal Birim Hacim Ağırlığı	w_n (%)	Sınır Değerler	-	47,5-26,3	-	-	38,6-10,1	-	34-19
		İstatistik Ortalama	-	36,9	20,0	-	24,4	20,0	23,0
		Deney Sayısı	-	5	1	-	2	-	1
Kıvam Limitleri	γ_n (gr/cm ³)	Sınır Değerler	-	1,90-1,80	-	-	1,97-1,83	-	-
		İstatistik Ortalama	-	1,85	2,00	-	1,90	-	2,00
		Deney Sayısı	-	-	-	2	-	3	-
Kıvam Limitleri	Likit Limit (LL)	Sınır Değerler	-	-	-	91,8-62,9	-	84,0-39,5	-
		İstatistik Ortalama	-	-	-	77,4	-	49,5	-
		Deney Sayısı	-	-	-	2	-	3	-
Kıvam İndisleri	Plastik Limit (PL)	Sınır Değerler	-	-	-	36,0-27,5	-	33,0-16,2	-
		İstatistik Ortalama	-	-	-	31,8	-	21,8	-
		Deney Sayısı	-	-	-	2	-	3	-
Kıvam İndisleri	Plastisite İndisi (I_p)	Sınır Değerler	-	-	-	55,0-33,0	-	45,0-17,0	-
		İstatistik Ortalama	-	-	-	44,0	-	26,8	-
		Deney Sayısı	-	-	-	1	-	2	-
Kıvam İndisleri	Likitide İndisi (I_L)	Sınır Değerler	-	-	-	-	-	0,16-0,00	-
		İstatistik Ortalama	-	-	-	0,03	-	0,08	-
		Deney Sayısı	-	-	-	-	-	-	-

Çizelge 5.28 : Yakuplu-Kavaklı Bölgesi’ nde Gürpınar formasyonunu oluşturan birimlerin fiziksel özelliklerinin istatistiksel dağılımı.

Birimlerin Fiziksel Özellikleri			Kil	Silt	Kum	Tüf Tüfit	Kil kum	Silt Kil	Silttaşı Kiltaşı	Silt Kum
Granülometrik Analiz	No. 10	Deney Sayısı	11	-	1	-	1	-	-	1
		Sınır Değerler	99- 85	-	-	-	-	-	-	-
		İstatistik Ortalama	96,5	-	94,5	-	87	-	-	54,5
	No. 40	Deney Sayısı	11	-	1	-	1	-	-	1
		Sınır Değerler	100- 85	-	-	-	-	-	-	-
		İstatistik Ortalama	96	-	54,5	-	81,5	-	-	33
	No. 200	Deney Sayısı	11	-	1	-	1	-	-	1
		Sınır Değerler	99- 60	-	-	-	-	-	-	-
		İstatistik Ortalama	87	-	14	-	42	-	-	26
Doğal Su İçeriği w_n (%)		Deney Sayısı	-	66	11	-	3	2	2	2
		Sınır Değerler	-	54,9- 11	44- 18	-	45,9- 21	26- 23,8	30-19	27- 25
		İstatistik Ortalama	-	23,8	28,2	-	29,2	24,9	26	26
Doğal Birim Hacim Ağırlığı γ_n (gr/cm ³)		Deney Sayısı	-	34	8	-	1	3	2	1
		Sınır Değerler	-	2,21- 1,71	2,03- 1,77	-	-	1,91- 1,68	1,90- 1,83	-
		İstatistik Ortalama	-	1,89	1,97	-	1,93	1,71	1,86	1,96
Kıvam Limitleri Likit Limit		Deney Sayısı	66	9	-	3	-	4	1	-
		Sınır Değerler	98- 12,1	94- 39	-	83,4- 53	-	55 - 32	-	-
		İstatistik Ortalama	60,2	51,5	-	78,3	-	43,8	65,4	-

Çizelge 5.28 (devam) : Yakuplu-Kavaklı Bölgesi‘ nde Gürpınar formasyonunu oluşturan birimlerin fiziksel özelliklerinin istatistiksel dağılımı.

Birimlerin Fiziksel Özellikleri			Kil	Silt	Kum	Tüf Tüfit	Kil Kum	Silt Kil	Silttaş Kıltaşı	Silt Kum
Kıvam Limitleri	Plastik Limit (PL)	Deney Sayısı	45	9	-	3	-	4	1	-
		Sınır Değerler	55-13	34-14	-	35-27	-	49-26	-	-
		İstatistik Ortalama	27,0	24,3	-	23,9	-	25	34	-
Kıvam İndisleri	Plastisite İndisi (I _p)	Deney Sayısı	88	9	-	3	-	4	1	-
		Sınır Değerler	71-9	77-16	-	66-14	-	27-9	-	-
		İstatistik Ortalama	38,4	26,3	-	44,9	-	9,5	32	-
Kıvam İndisleri	Likitide İndisi (I _L)	Deney Sayısı	44	4	-	1	-	1	-	-
		Sınır Değerler	0,70-0,00	0,49-0,08	-	-	-	-	-	-
		İstatistik Ortalama	0,24	0,14	-	0,49	-	0,25	-	-

Çizelge 5. 28‘ de Yakuplu-Kavaklı Bölgesi‘ nde Gürpınar formasyonunu oluşturan kaya, geçiş kayası ve ayırık kayaç (zemin) niteliğindeki birimlerin fiziksel özelliklerine ve kıvam limitlerine ait istatistiksel değerlendirmesi verilmiştir.

Çizelge 5.29 ile Yakuplu-Kavaklı Bölgesi‘ nde Bakırköy formasyonunu oluşturan kaya ve ayırık kayaç (zemin) niteliğindeki birimlerin mekanik özelliklerinin istatistiksel dağılımı sunulmuştur.

Çizelge 5.30 da ise Yakuplu-Kavaklı Bölgesi‘ nde Güngören formasyonunu oluşturan ayırık kayaç (zemin) niteliğindeki seviyelerin mekanik özelliklerinin istatistiksel değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.31 ile Yakuplu-Kavaklı Bölgesi‘ nde Çukurçeşme formasyonunu oluşturan kohezyonlu ve kohezyonsuz ayırık kayaç (zemin) birimlerin mekanik özelliklerinin istatistiksel dağılımı değerlendirilmiştir.

Çizelge 5.29 : Yakuplu-Kavaklı Bölgesi’nde Bakırköy formasyonunu oluşturan birimlerin mekanik özelliklerinin istatistiksel dağılımı.

Birimler Fiziksel Özellikler			Kireçtaşı	Kil	Marn	Marn Kil
İçsel Parametreler	Kohezyon c (kg/cm ²)	Deney Sayısı	-	2	-	-
		Sınır Değerler	-	0.7-1.2	-	-
		İstatistik Ortalama	-	0,95	-	-
	İçsel Sürtünme Açısı φ (°)	Deney Sayısı	3	4	-	-
		Sınır Değerler	40-45	5-45	-	-
		İstatistik Ortalama	40	17	-	-
Kırılma Düzleminin σ _d düzlemiyle yaptığı açı θ ₁ (°)	Deney Sayısı	-	-	-	-	
	Sınır Değerler	-	-	-	-	
	İstatistik Ortalama	-	-	-	-	
Serbest Basınç Direnci σ ₁ (kg/cm ²)	Deney Sayısı	5	2	2	3	
	Sınır Değerler	2,50-1,50	2,70-1,70	2,10-1,80	2,00-1,75	
	İstatistik Ortalama	1,80	2,20	1,90	1,85	

Çizelge 5.30 : Yakuplu-Kavaklı Bölgesi’nde Güngören formasyonunu oluşturan birimlerin mekanik özelliklerinin istatistiksel dağılımı.

Birimler Fiziksel Özellikler			Kil	Silt	Kum	Marn	Kil Marn	Silt Kil	Silt Kum
İçsel Parametreler	Kohezyon c (kg/cm ²)	Deney Sayısı	8	1	1	1	-	1	-
		Sınır Değerler	2,10-0,38	1,85-1,0	-	-	-	-	-
		İstatistik Ortalama	1,48	1,35	0,83	0,76	-	1,62	-
	İçsel Sürtünm	Deney Sayısı	8	1	1	1	-	1	-
		Sınır Değerler	22,0-5,5	-	35,0-14,0	-	-	-	-

Çizelge 5.30 (devam) : Yakuplu-Kavaklı Bölgesi'nde Güngören formasyonunu oluşturan birimlerin mekanik özelliklerinin istatistiksel dağılımı.

Birimler		Kil	Silt	Kum	Marn	Kil Marn	Silt Kil	Silt Kum
Fiziksel Özellikler								
	İstatistik Ortalama	16,5	23	25,5	3,0	-	24,0	-
Kırılma	Deney	-	4	1	2	-	-	-
Düzleminin	Sayısı	-	-	-	-	-	-	-
σ_d	Sınır	-	44,1-	-	34,0-	-	-	-
düzlemiyle	Değerler	-	29,8	-	24,5	-	-	-
yaptığı açı	İstatistik	-	37,4	33,0	30,1	-	-	-
$\theta_1(^{\circ})$	Ortalama	-	-	-	-	-	-	-
Serbest	Deney	-	6	2	-	2	-	2
Basınç	Sayısı	-	-	-	-	-	-	-
Direnci	Sınır	-	4,40-	3,0-	-	3,1-	-	5,00-
σ_1	Değerler	-	0,35	0,40	-	0,8	-	3,50
(kg/cm ²)	İstatistik	-	1,78	1,65	-	2,60	-	4,50
	Ortalama	-	-	-	-	-	-	-

Çizelge 5.31 : Yakuplu-Kavaklı Bölgesi'nde Çukurçeşme formasyonunu oluşturan birimlerin mekanik özelliklerinin istatistiksel dağılımı.

Birimler		Kum	Çakıl Kum	Silt	Kum Silt	Kil	Kil Kum
Fiziksel Özellikler							
	Deney Sayısı	1	-	-	3	-	-
	Sınır Değerler	-	-	-	0,90- 0,28	-	-
	İstatistik Ortalama	7,5	-	-	0,72	-	-
	Deney Sayısı	1	-	1	3	-	-
	Sınır Değerler	-	-	-	4,8- 0,45	-	-
	İstatistik Ortalama	39,5	-	36,5	5,2	-	-
Kırılma	Deney Sayısı	-	1	-	1	3	-
Düzleminin	Sınır Değerler	-	-	-	-	46,1- 21,8	-
σ_d	İstatistik Ortalama	-	23,5	-	27,5	43,5	-
düzlemiyle	Deney Sayısı	-	1	-	-	-	1
yaptığı açı	Sınır Değerler	-	-	-	-	-	-
$\theta_1(^{\circ})$	İstatistik Ortalama	-	1,89	-	-	-	1,01
Serbest	Deney Sayısı	-	-	-	-	-	-
Basınç	Sınır Değerler	-	-	-	-	-	-
Direnci	İstatistik Ortalama	-	-	-	-	-	-
σ_1		-	-	-	-	-	-
(kg/cm ²)		-	-	-	-	-	-

Çizelge 5.32 : Yakuplu-Kavaklı Bölgesi'nde Gürpınar formasyonunu oluşturan birimlerin mekanik özelliklerinin istatistiksel dağılımı.

Birimlerin Fiziksel Özellikleri		Kil	Silt	Kum	Tüf	Tüfit	Kil Kum	Kil Silt	Kiltaşı Silttaşı
İçsel Parametreler	Kohezyon c (kg/cm ²)	Deney Sayısı	17	8	-	1	2	3	1
		Sınır Değerler	19,0-0,09	1,87-0,23	-	-	1,43-0,92	1,95-0,42	-
		İstatistik Ortalama	1,20	1,17	-	0,55	1,18	0,60	1,45
	İçsel Sürtünme	Deney Sayısı	8	3	-	1	1	-	-
		Sınır Değerler	38,0-0,7	26,0-6,0	-	-	-	-	-
		İstatistik Ortalama	13,5	13,0	-	19,5	12,0	-	-
	Kırılma Düzleminin σ_d düzlemiyle yaptığı açı $\theta_1(^{\circ})$	Deney Sayısı	-	11	3	-	1	3	-
		Sınır Değerler	-	44,9-24,5	42,5-31,0	-	-	44,0-36,8	-
		İstatistik Ortalama	-	36,7	38,5	-	36,5	38,9	-
Serbest Basınç Direnci σ_1 (kg/cm ²)	Deney Sayısı	-	4	1	-	1	-	-	-
	Sınır Değerler	-	2,4-1,6	-	-	-	-	-	-
	İstatistik Ortalama	-	1,88	1,29	-	0,56	-	-	-

Çizelge 5.32 ile Yakuplu-Kavaklı Bölgesi'nde Gürpınar formasyonunu oluşturan kaya ve ayrık kaya niteliğindeki birimlerin mekanik özelliklerinin istatistiksel dağılımı sunulmuştur.

Bundan önceki bölümlerden de anlaşılabacağı gibi, inceleme bölgesinin bütünü göz önüne alındığında en az araştırmaya konu olan Gürpınar-Büyükçekmece bölgesidir. Burada çeşitli firmalarca bazı araştırmalar gerçekleştirilmiş ve bazıları detaylı olan bu çalışmalar içerisinde en özenli gerçekleştirilmiş olanlar seçilmiş ve bölgeye ait mühendislik jeolojisi verileri oluşturulmuştur.

Şekil 5.33, 3. Bölge'yi temsil eden Gürpınar-Büyükçekmece Bölgesi'nde açılmış bulunan diğer bir grup zemin araştırma sondajının konumları ve teknik özelliklerini sunmaktadır.

Çizelge 5.33 : Gürpınar-Büyükçekmece (3.Bölge) Bölgesi'nde açılmış bulunan diğer bir grup zemin sondajının konumları ve teknik özellikleri.

Sondaj No.	Yeraldığı Pafta Kodu (1/1.000)	Derinlik (m)	Ağız Kotu (m)	Taban Kotu (m)	Koordinatlar	
					x	y
SK-1	F21-d-23-c-3-b	15,0	171,8	156,8	386175,3	4542692
SK-2	F21-d-24-d-4-a	20,0	157,0	137,0	386701,4	4542690
SK-3	F21-d-23-c-2-c	20,0	180,5	160,5	386023,7	4542984
SK-4	F21-d-23-c-3-a	15,0	172,5	157,5	385648,3	4542442
SK-5	F21-d-23-c-3-a	20,0	166,5	146,5	385866,3	4542377
SK-6	F21-d-23-c-3-c	20,0	162,4	142,4	385984,8	4542216
SK-7	F21-d-23-c-3-c	20,0	157,4	137,4	386114,2	4541960
SK-8	F21-d-24-d-4-a	20,0	156,5	136,5	386536,4	4542361
SK-9	F21-d-23-c-3-a	20,0	168,9	148,9	385416,2	4542276
SK-10	F21-d-23-c-3-d	18,0	156,0	138,0	385422,4	4542033
SK-11	F21-d-23-c-3-d	16,5	154,0	137,5	385628,6	4541848
SK-12	F21-d-23-c-3-d	20,0	153,4	133,4	385796,1	4541712
SK-13	G1-a-03-b-2-a	20,0	144,5	124,5	385853,2	4541500
SK-14	F21-d-23-c-3-d	20,0	142,0	122,0	385428,5	4541881
SK-15	G1-a-03-b-2-a	20,0	120,1	100,1	385655,7	4541488
SK-16	F21-d-23-c-3-d	20,0	136,0	116,0	385601,0	4541779,5

Çizelge 5.34 ile Gürpınar-Büyükçekmece Bölgesi'nde Bakırköy formasyonunu oluşturan kaya birimlerin fiziksel özelliklerine ve ayırık kayaç birimlerin fiziksel özellikleri, granülometrik ve kıvam limitlerine ait istatistiksel dağılımları sunulmaktadır.

Çizelge 5.35 ile Gürpınar-Büyükçekmece Bölgesi'nde Güngören formasyonunu oluşturan kil seviyelerinin fiziksel özellikleri, granülometrik ve kıvam limitlerine ait istatistiksel dağılımları verilmiştir.

Çizelge 5.34 : Gürpınar-Büyükçekmece Bölgesi'nde Bakırköy formasyonunu oluşturan birimlerin fiziksel özelliklerinin istatistiksel dağılımı.

Birimlerin Fiziksel Özellikleri			Kireçtaşı	Kil	Marn Kil
Granülometrik Analiz	No. 10	Deney Sayısı	-	18	9
		Sınır Değerler	-	99-98	98-95
		İstatistik Ortalama	-	99	96
	No. 40	Deney Sayısı	-	18	9
		Sınır Değerler	-	94-92	74-78
		İstatistik Ortalama	-	93	76
	No. 200	Deney Sayısı	-	18	9
		Sınır Değerler	-	81-79	64-66
		İstatistik Ortalama	-	80	65,5
Doğal Su İçeriği w_n (%)		Deney Sayısı	3	41	23
		Sınır Değerler	11,6-44,7	22,4-20,8	22,2-39,8
		İstatistik Ortalama	25,78	21,78	31,75
Doğal Birim Hacım Ağırlığı γ_n (gr/cm ³)		Deney Sayısı	6	2	8
		Sınır Değerler	2,1-2,2	1,90-1,86	1,75-1,80
		İstatistik Ortalama	2,56	1,88	1,77
Kıvam Limitleri	Likit Limit (LL)	Deney Sayısı	3	39	26
		Sınır Değerler	37-83	44-49	35-59
		İstatistik Ortalama	55,6	46,25	46,25
	Plastik Limit (PL)	Deney Sayısı	3	39	26
		Sınır Değerler	12-20	21-20	19-32
		İstatistik Ortalama	16	20,56	28,75
Kıvam İndisleri	Plastisite İndisi (I_p)	Deney Sayısı	-	30	15
		Sınır Değerler	-	0,25-0,28	18-26
		İstatistik Ortalama	-	0,27	21,25
	Likitide İndisi (I_L)	Deney Sayısı	-	30	9
		Sınır Değerler	-	0,21-0,25	0,26-0,40
		İstatistik Ortalama	-	0,23	0,29

Çizelge 5.35 : Gürpınar-Büyükçekmece Bölgesi'nde Güngören formasyonunu oluşturan birimlerin fiziksel özelliklerinin istatistiksel dağılımı.

Birimlerin Fiziksel Özellikleri			Kil
Granülometrik Analiz	No. 10	Deney Sayısı	15
		Sınır Değerler	96-98
		İstatistik Ortalama	97,5
	No. 40	Deney Sayısı	15
		Sınır Değerler	94-96
		İstatistik Ortalama	95,1
	No. 200	Deney Sayısı	15
		Sınır Değerler	85-89
		İstatistik Ortalama	86,8
Doğal Su İçeriği w_n (%)		Deney Sayısı	28
		Sınır Değerler	22-42,5
		İstatistik Ortalama	40,96
Doğal Birim Hacim Ağırlığı γ_n (gr/cm ³)		Deney Sayısı	4
		Sınır Değerler	1,91-2,66
		İstatistik Ortalama	2,51
Kıvam Limitleri	Likit Limit (LL)	Deney Sayısı	24
		Sınır Değerler	36-83
		İstatistik Ortalama	66,1
	Plastik Limit (PL)	Deney Sayısı	24
		Sınır Değerler	12-30
		İstatistik Ortalama	24,5
Kıvam İndisleri	Plastisite İndisi (I_p)	Deney Sayısı	8
		Sınır Değerler	24-61
		İstatistik Ortalama	35
	Likitide İndisi (I_L)	Deney Sayısı	4
		Sınır Değerler	0,17-0,19
		İstatistik Ortalama	0,18

Çizelge 5.36 : Gürpınar-Büyükçekmece Bölgesi'nde Çukurçeşme formasyonunu oluşturan birimlerin fiziksel özelliklerinin istatistiksel dağılımı.

Birimlerin Fiziksel Özellikleri			Kum	Çakıl	Kum	Çakıl	Silt
Granülometrik Analiz	No. 10	Deney Sayısı	-	18		1	
		Sınır Değerler	-	38-46		-	
		İstatistik Ortalama	-	42,4		35	
	No. 40	Deney Sayısı	-	18		1	
		Sınır Değerler	-	18,3-48,2		-	
		İstatistik Ortalama	-	32,1		10	
	No. 200	Deney Sayısı	-	18		1	
		Sınır Değerler	-	20,1-36,3		-	
		İstatistik Ortalama	-	27,1		4	
	Doğal Su İçeriği w_n (%)	Deney Sayısı	2	1		2	
		Sınır Değerler	26-47	-		13-19	
		İstatistik Ortalama	36,5	20,1		16	
Doğal Birim Hacim Ağırlığı γ_n (gr/cm ³)		Deney Sayısı	2	1		-	
		Sınır Değerler	1,83-1,87	-		-	
		İstatistik Ortalama	1,85	2		-	

Çizelge 5.36' de Gürpınar-Büyükçekmece Bölgesi' ne ait Çukurçeşme formasyonunu oluşturan ayırık kayaç (zemin) birimlerin fiziksel özelliklerinin istatistiksel dağılımı verilmiştir.

Çizelge 5.37 ile Gürpınar-Büyükçekmece Bölgesi' nde Gürpınar formasyonunu oluşturan kil birimlerin fiziksel özelliklerinin istatistiksel dağılımı sunulmuştur.

Çizelge 5.38 ile ise Gürpınar-Büyükçekmece Bölgesi'nde Bakırköy formasyonunu oluşturan kaya ve ayırık kayaç (zemin) niteliğindeki birimlerin mekanik özelliklerinin istatistiksel dağılımı değerlendirilmiştir.

Çizelge 5.37 : Gürpınar-Büyükçekmece Bölgesi'nde Gürpınar formasyonunu oluşturan birimlerin fiziksel özelliklerinin istatistiksel dağılımı.

Birimlerin Fiziksel Özellikleri			Kil
Granülometrik Analiz	No. 10	Deney Sayısı	9
		Sınır Değerler	99-96
		İstatistik Ortalama	97
	No. 40	Deney Sayısı	9
		Sınır Değerler	55-57
		İstatistik Ortalama	56
	No. 200	Deney Sayısı	9
		Sınır Değerler	35-67
		İstatistik Ortalama	54
	Doğal Su İçeriği w_n (%)	Deney Sayısı	21
		Sınır Değerler	23,9-61,3
		İstatistik Ortalama	45,3
	Doğal Birim Hacim Ağırlığı γ_n (gr/cm ³)	Deney Sayısı	4
		Sınır Değerler	1,63-1,85
		İstatistik Ortalama	1,75
Kıvam Limitleri	Likit Limit (LL)	Deney Sayısı	24
		Sınır Değerler	29-96
		İstatistik Ortalama	72
	Plastik Limit (PL)	Deney Sayısı	24
		Sınır Değerler	16-35
		İstatistik Ortalama	27,3
Kıvam İndisleri	Plastisite İndisi (I_p)	Deney Sayısı	24
		Sınır Değerler	6-64
		İstatistik Ortalama	45,6
	Likidite İndisi (I_L)	Deney Sayısı	16
		Sınır Değerler	0,4-10,6
		İstatistik Ortalama	0,03

Çizelge 5.38 : Gürpınar-Büyükçekmece Bölgesi'nde Bakırköy formasyonunu oluşturan birimlerin mekanik özelliklerinin istatistiksel dağılımı.

Birimlerin Fiziksel Özellikleri			Kireçtaşı	Marn Kil
İçsel Parametreler	Kohezyon c (kg/cm ²)	Deney Sayısı	6	3
		Sınır Değerler	0,0-0,79	1,40-1,60
		İstatistik Ortalama	0,67	1,50
	İçsel Sürtünme Açısı ϕ (°)	Deney Sayısı	6	3
		Sınır Değerler	9-35	9,6-19,4
		İstatistik Ortalama	10,33	16,50
Serbest Basınç Direnci σ_1 (kg/cm ²)	Deney Sayısı		17	1
	Sınır Değerler		1,85-1,91	-
	İstatistik Ortalama		1,87	1,98

Çizelge 5.39 : Gürpınar-Büyükçekmece Bölgesi'nde Güngören formasyonunu oluşturan birimlerin mekanik özelliklerinin istatistiksel dağılımı.

Birimlerin Fiziksel Özellikleri			Kil
İçsel Parametreler	Kohezyon c (kg/cm ²)	Deney Sayısı	6
		Sınır Değerler	0,25-1,50
		İstatistik Ortalama	0,64
	İçsel Sürtünme Açısı ϕ (°)	Deney Sayısı	6
		Sınır Değerler	2,0-19,4
		İstatistik Ortalama	10,6
Kırılma Düzleminin σ_d düzlemiyle yaptığı açı θ_1 (°)	Deney Sayısı		1
	Sınır Değerler		-
	İstatistik Ortalama		35
Serbest Basınç Direnci σ_1 (kg/cm ²)	Deney Sayısı		1
	Sınır Değerler		-
	İstatistik Ortalama		1,70

Çizelge 5.39 ile Gürpınar-Büyükçekmece Bölgesi'nde Güngören formasyonunu oluşturan kil birimlerin mekanik özelliklerinin istatistiksel dağılımı sunulmuştur.

Çizelge 5.40' da ise anılan bölgede Çukurçeşme formasyonunu oluşturan kohezyonlu ve kohezyonsuz birimlerin mekanik özelliklerinin istatistiksel dağılımı verilmiştir.

Çizelge 5.40 : Gürpınar-Büyükçekmece Bölgesi'nde Çukurçeşme formasyonunu oluşturan birimlerin mekanik özelliklerinin istatistiksel dağılımı.

Birimlerin Fiziksel Özellikleri			Kum	Kil	Silt	Kil Kum
İçsel Parametreler	Kohezyon c (kg/cm ²)	Deney Sayısı	-	1		1
		Sınır Değerler	-	-		-
		İstatistik Ortalama	-	0,56		6,13
	İçsel Sürtünme Açısı φ (°)	Deney Sayısı	-	1		1
		Sınır Değerler	-	-		-
		İstatistik Ortalama	-	17		37
	Kırılma Düzleminin σ_d düzlemiyle yaptığı açı θ_1 (°)	Deney Sayısı	1	1		-
		Sınır Değerler	-	-		-
		İstatistik Ortalama	26,5	26,5		-
Serbest Basınç Direnci σ_1 (kg/cm ²)		Deney Sayısı	1	-		-
		Sınır Değerler	-	-		-
		İstatistik Ortalama	1,93	-		-

Çizelge 5.41 ile Gürpınar-Büyükçekmece Bölgesi'nde Gürpınar formasyonunun kil seviyelerinin içsel sürtünme açısı değeri sunulmuştur.

Çizelge 5.41 : Gürpınar-Büyükçekmece Bölgesi'nde Gürpınar formasyonunu oluşturan birimlerin mekanik özelliklerinin istatistiksel dağılımı.

Birimlerin Fiziksel Özellikleri		Kil
İçsel Sürtünme Açısı φ (°)	Deney Sayısı	1
	Sınır Değerler	-
	İstatistik Ortalama	6

5.4 Kohezyonlu Zeminlerde Şişme Oranının Belirlenmesi

Yüksek plastisiteli killerde su içeriğinin değişimi ile bünyede hacim azalması ya da artması gerçekleşir. Şişme olarak da isimlendirilen hacim artması bazı killerde eksenel, bazı killerde ise hacimsel olarak gelişir ve yanal şişme basınçları düşey şişme basıncının 2 katına kadar çıkabilir. Hacim değişimi zemin bünyesindeki kil mineralinin türüne, miktarına, özgül yüzeyine, yapısına, boşlukları dolduran suyun fizikokimyasal özelliklerine, değişebilir katyon kapasitesi gibi birçok etmene bağlıdır. Kohezyonlu zeminlerin şişmesi; serbest şişme (FS), ayırt edici serbest şişme (DFS), modifiye serbest şişme indeksi (MFSI) olarak tanımlanır ve zeminin şişme potansiyeli, zeminin 6.9 kN/m² basınç altında sıfır yanal deformasyon durumunda doygun hale gelinceye kadar oluşacak düşey şişme miktarının örneğin ilk boyuna oranının yüzdesi olarak belirlenir.

Serbest şişme (FS); Holtz ve Gibbs (1956) tarafından;

$$FS = \frac{V - V_0}{V_0} \times 100 \quad (5)$$

eşitliği ile tanımlanmıştır. Eşitlikte; V_0 : kuru zemin hacmi (10 cm³), V : Şişme sonrası zemin hacmidir. Bu ilişkide 0.425 mm (40 no.lu elek) dane çapından küçük 10 cm³ kuru zemin örnek, içi saf su dolu 100 cm³'lük dereceli kabın içine konur. Şişmenin sonlanması bitene kadar beklenip şişme sonrası zemin hacmi ölçülerek FS (5) nolu eşitlik ile hesaplanır.

Dawson (1956) ve Chen (1975), 10 cm³'lük hacimde şişme ölçümünün hassas olamayacağını, Sridharan ve diğ. (1985) su hacminin hava hacminden az olması nedeniyle kaolinitik killerde negatif şişme gözlemlendiğini belirterek FS 'nin Atterberg limitleri kadar güvenilir olmayacağını vurgulamıştır. Ayırt edici serbest şişme (DFS), Hindistan standardı IS 2720-Part (XL) ile,

$$DFS = \frac{V_d - V_s}{V_s} \times 100 \quad (6)$$

(6) nolu eşitlik ile tanımlanmıştır. Eşitlikte; V_d : Saf suda bekletilmiş şişme sonrası zemin hacmi (10 g), V_s : Kerosen veya CCl₄ çözeltisinde bekletilmiş şişme sonrası zemin hacmidir.

Bu ilişkide 0.425 mm tane çapından küçük 2 adet 10 gr ağırlığındaki kuru zemin örneğinin biri içi saf su dolu 100 cm³'lük dereceli kabın, diğeri ise içi kerosen veya CCl₄ çözeltisi ile dolu 100 cm³'lük dereceli kabın içine konularak şişmenin sonlanması bitene kadar beklenip şişme sonrası zemin hacimleri ölçülerek *DFS* (6) nolu eşitlik ile hesaplanır.

Sridharan ve diğ. (1985), bu ilişkinin kaolinitin polar çözeltiye göre polar olmayan çözeltide sergilediği hacimce fazla şişme davranışı nedeniyle negatif şişme ile sonuçlandığını belirtmiştir. Polar olmayan çözeltilerin kil mineralleri ile kompleks olması ve hacim değişiminin sabit olmaması (MacEwan, 1948; Mackenzie, 1948; Green ve diğ. 1980) nedeniyle Sivapullaiah ve diğ. (1987) tarafından modifiye serbest şişme indeksi (*MFSI*) aşağıda verilen

$$MFSI = \frac{V - V_s}{V_s} \times 100 \quad (7)$$

eşitliği ile tanımlanmıştır. Eşitlikte; *V*: şişme sonrası zemin hacmi (10 g), *V_s*: zeminin katı kısmının hacmidir [*V_s*=*Ws*(*G_s*.*γ_s*)]; *Ws*: zeminin katı kısmının ağırlığı, *G_s*: Özgül ağırlık, *γ_s*: Suyun birim hacim ağırlığı]. Bu yöntem, 10 g örnek ile uygulanır. Örnek, saf su dolu 100 cm³'lük dereceli kabın içine konulur. Gerekli durumlarda saf su yerine çözücü (solvent) kullanılabilir. Zemin, bentonit vb. aşırı şişen kil içerirse uygulama 3 veya 5 g örnek ile yapılabilir.

Kohezyonlu zeminlerin şişme potansiyeli Seed ve diğ. (1962) tarafından standart proktor yöntemi ile sıkıştırılan örnekler üzerinde ölçülmüş ve

$$S = (3.6 \times 10^{-5}) A^{2.44} C^{3.44} \quad (8)$$

eşitliği önerilmiştir. Eşitlikte; *S*: Şişme potansiyeli, *A*: Aktivite, *C*: Ağırlıkça kil yüzdesidir. Aynı araştırmacılar kil içeriği yaklaşık olarak % 8 ile % 65 arasında değişen zeminler için % 33 hata ile şişme potansiyeli ve plastisite indisi arasında;

$$S = K \times 60 \times I_p^{2.44} \quad (9)$$

bağıntısını önermişlerdir. Eşitlikte *K*: Zeminin hidrolik geçirgenliği, *I_p*: Plastisite indisi değeridir.

Çizelge 5.42 : Zeminlerin şişme potansiyeli sınıflandırmaları.

Kolloid Yüzdesi	Plastisite İndisi	Rötre Limit	Lineer Rötre	Şişme Yüzdesi	Likit Limit	Şişme Derecesi	Şişme Potansiyeli
Holtz ve Gibbs, 1956							
> 28	> 35	< 11		> 30			Çok Yüksek
20 – 31	25 – 41	7 – 12		20 – 30			Yüksek
13 – 23	15 – 28	10 – 16		10 – 20			Orta
< 15	< 18	> 15		< 10			Düşük
Coduto, D.P., 2000							
< 15	< 18	< 15			< 39		Düşük
13 – 23	15 – 28	10 – 16			39 – 50		Orta
20 – 31	25 – 41	7 – 12			50 – 63		Yüksek
> 28	> 35	> 11			> 63		Çok Yüksek
Altmeyer, 1955							
		> 12	< 5	< 0,5		Kritik değil	
		10 – 12	5 – 8	0,5 – 1,5		Sınır	
		< 10	> 8	> 1,5		Kritik	
Chen, 1988							
	PI ≥ 35			> 10		Çok Yüksek	
	20 ≤ PI ≤ 55			3 – 10		Yüksek	
	10 ≤ PI ≤ 35			1 – 5		Orta	
	PI ≤ 15			< 1		Düşük	
Sivapullaiah-Sitharam-Rao, 1987							
					< 200		Önemsiz
					200 – 400		Orta
					400 – 550		Yüksek
					> 550		Çok Yüksek
Anon,1981							
	> 35						Çok Yüksek
	22 – 48						Yüksek
	12 – 32						Orta
	< 18						Düşük

Yukarıda verilen 5-9 arasındaki eşitlikler laboratuvar ortamında yapılacak ilgili deneylerle elde edilen verilerin kullanılmasını gerektirir. Literatürde kohezyonlu

zeminlerin kıvam limitleri ve içerdği kolloid miktarının şişme potansiyeli ilişkisine dayalı çeşitli araştırmacılarca yapılan ve çizelgeler ile sunulmuş olan farklı sınıflamalar da vardır. Bunlar, Çizelge 5.42’de bir arada verilmiştir. Kohezyonlu zeminlerin şişme potansiyeli ASTM D4829-11 (2011) standardında tariflendiği gibi şişme indeksi deney aleti kullanılarak da belirlenebilir. Kohezyonlu zeminlerin şişme potansiyeli ASTM D4829-11 (2011) standartında tariflendiği gibi de belirlenebilir. Bu standarta uygun olarak yapılan deneyler sonucu belirlenen şişme indeks değeri Çizelge 5.43’de verilen aralıklarla değerlendirilir.

Çizelge 5.43: Zeminlerin şişme indeks sınıflandırması (ASTM D4829).

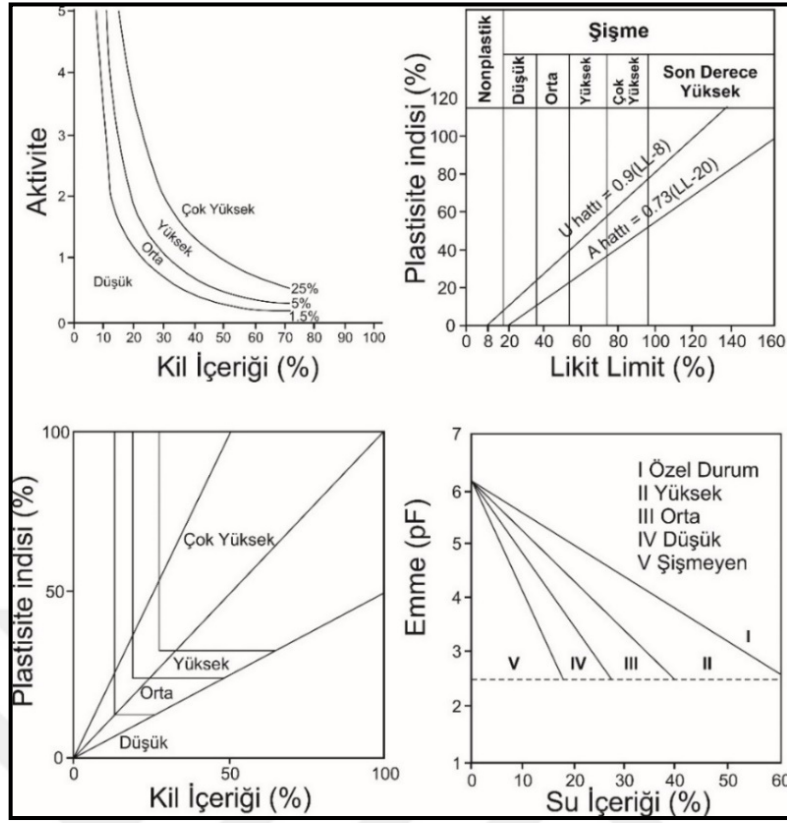
Şişme İndeksi, EI	Şişme Potansiyeli
0 – 20	Çok Düşük
21 – 50	Düşük
51 – 90	Orta
91 – 130	Yüksek
> 130	Çok Yüksek

Şişen killer ile ilgili ACPA (2008) tarafından önerilen değerlendirme Çizelge 5.44’ de verilmiştir.

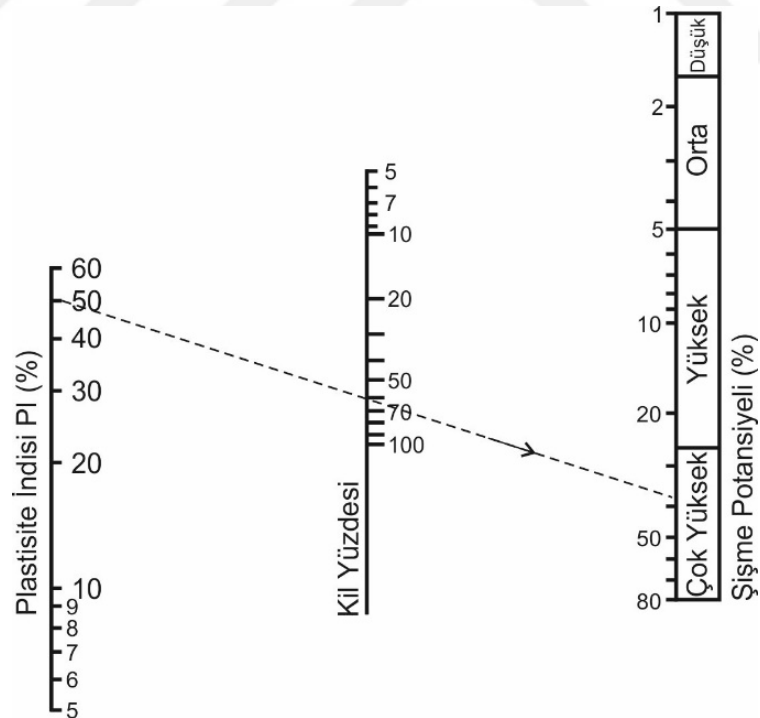
Çizelge 5.44: Zeminlerin şişme derecesi sınıflandırması (ACPA, 2008).

İndeks Deneylerden Elde Edilen Veri				
Kolloid İçeriği (ASTM D422 ile belirlenir)	Plastisite İndisi (ASTM D4318 ile belirlenir)	Rötre Limit (ASTM D427 ile belirlenir)	Toplam Hacimdeki Şişme %	Şişme Derecesi
> 28	> 35	> 11	> 30	Çok Yüksek
20 – 31	24 – 41	7 – 12	20 – 30	Yüksek
13 – 23	15 – 28	10 – 16	10 – 20	Orta
< 15	< 8	< 15	< 10	Düşük

Yukarıda verilen çizelgeler kullanılarak kohezyonlu zeminlerin şişme potansiyeli, şişme yüzdesi ve derecesi hakkında genel bir değerlendirme yapılabilir. Kohezyonlu zeminlerin kil içeriği-aktivite, kil içeriği-plastisite indisi, likit limit-plastisite indisi ve su içeriği-emme özelliklerine dayalı şişme değerlendirmesi için önerilen grafikler Şekil 5.30 ve Şekil 5.31’de verilmiştir.



Şekil 5.30: Şişme potansiyelinin zemin özellikleri ile ilişkisi (Das, 1999).



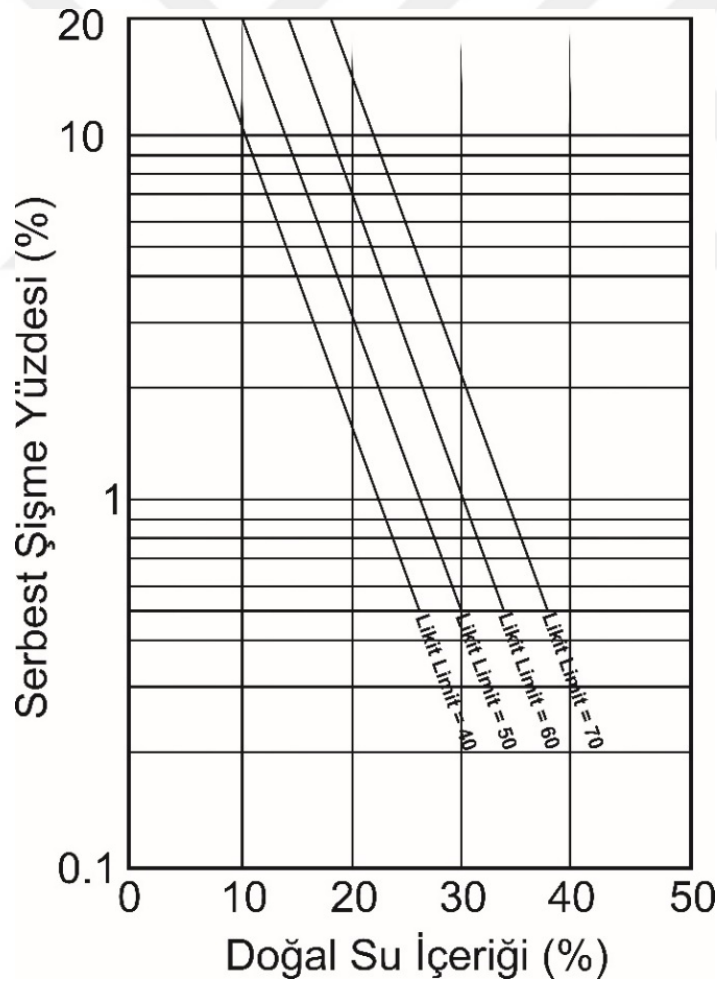
Şekil 5.31: Plastisite indisi, kil yüzdesi, şişme potansiyeli ilişkisi (Basma, 1993).

Şekil 5.30 ve 5.31’de verilen grafikler kullanılarak yapılan değerlendirmelerde ortam tanımlamaları sayısal verilere dayalı sözel tanımlamalardır.

5.5 Şişme Yüzdesinin Likit Limit ve Su İçeriği ile Değerlendirilmesi

Vijayvergiya ve Ghazzaly (1973) tarafından kohezyonlu zeminler için likit limit ve doğal su içeriğine ait ilişkiye dayalı serbest şişme yüzdesi tanımlanmıştır (Şekil 5.32). Önerilen bu grafiksel ilişki kullanılarak her bir $P_i(x_i, y_i)$ koordinatındaki kohezyonlu zemin örneğinin serbest şişme yüzdesi tanımlanabilecek ve ortam mühendislik açısından sayısal tabanlı yaklaşımlar ve uygulamalar ile değerlendirilebilecektir.

Kohezyonlu zeminlerin, şişme açısından her bir $P_i(x_i, y_i)$ koordinatında hızlı ve güvenilir bir şekilde tanımlanması için Vijayvergiya ve Ghazzaly (1973) tarafından önerilen grafiksel ilişki Şekil 5.32’de verilmiştir.

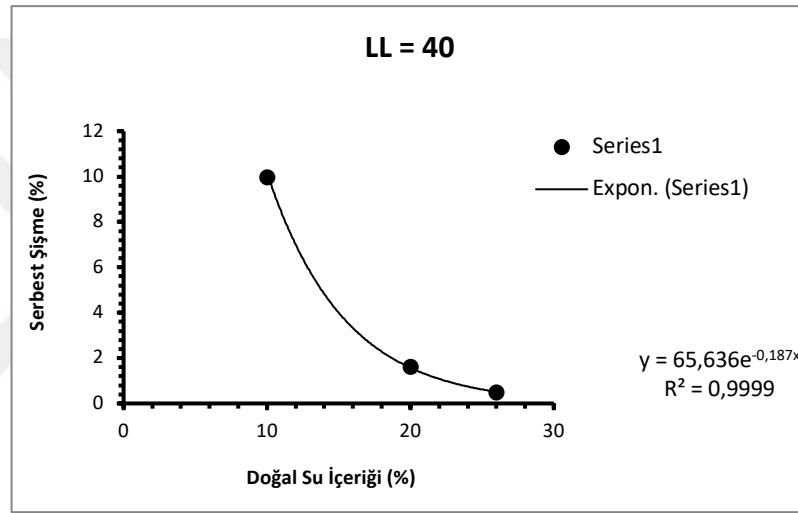


Şekil 5.32: Serbest şişme potansiyelinin doğal su içeriği ve likit limit değerleri ile ilişkisi (Vijayvergiya ve Ghazzaly, 1973).

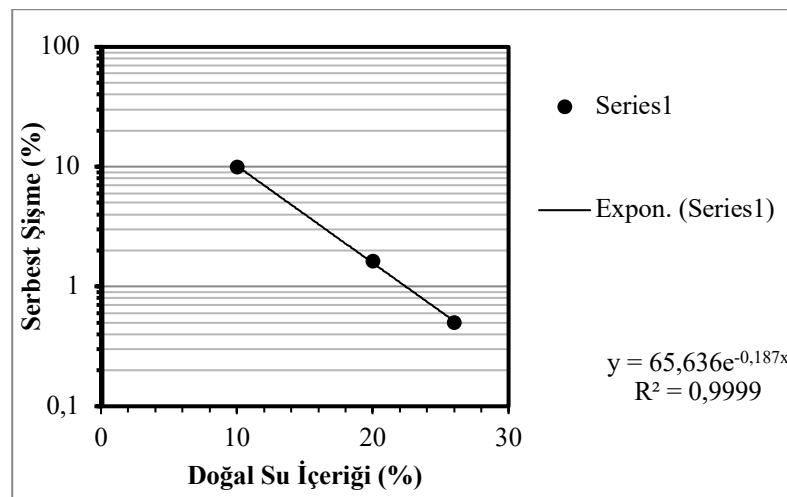
Şekil 5.32 incelendiğinde farklı likit limit değerleri için çizilmiş olan doğrular arasında;

$$f(x_n) = x_1 + 4xn \quad f(y_n) = y_n \quad (10)$$

şeklinde bir bağıntının olduğu belirlenmiştir. (10) nolu eşitlik kullanılarak Şekil 5.32’de verilen grafikte, likit limitin %40, %50, %60 ve %70 değerleri için doğal su içeriği ve serbest şişme yüzdesi arasındaki ilişkiye ait sayısal veriler üretildiğinde Şekil 5.33’de gösterilen benzer grafikler elde edilmiştir. Şekil 5.34 ile verilen ilişki, Şekil 5.35’da gösterildiği gibi Y eksenini logaritmik olarak çizilirse bu durumda Şekil34’de verilen grafiksel ilişki elde edilir.



Şekil 5.33: Likit limit % 40 değeri için doğal su içeriği ve şişme potansiyeli arasındaki ilişki.

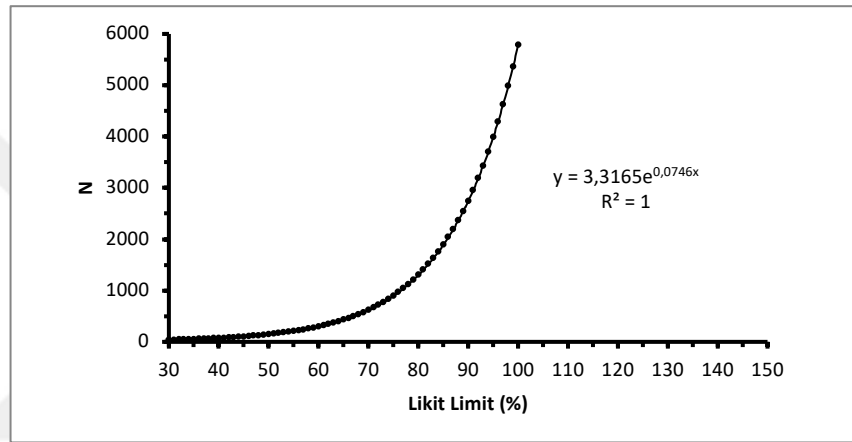


Şekil 5.34: Likit limit % 40 değeri için doğal su içeriği ve şişme potansiyeli arasındaki yarı logaritmik ilişki.

(6) nolu eşitlik, likit limitin %30-%100 değerleri için uygulandığında doğal su içeriği (w)-serbest şişme yüzdesi (SŞY) arasında;

$$SŞY = N \times e^{-0.187w} \quad (11)$$

bağıntısının bulunduğu belirlenmiştir. Eşitlikte N: likit limitin değerine bağlı olarak değişen çarpan değeri, w: kohezyonlu zeminin doğal su içeriğidir. Likit limit değerleri için (10) nolu eşitlik ile belirlenen doğal su içeriği (w)-serbest şişme yüzdesi (SŞY) arasında (11) nolu eşitlik ile genel denklemi verilen eşitliklerin N değerleri için likit limit ve N değeri arasında tanımlı ilişki Şekil 5.35’de gösterilmiştir.



Şekil 5.35: Likit limit değerleri için doğal su içeriği ve şişme potansiyeli arasındaki ilişkiye bağlı N değerleri ilişkisi.

Kohezyonlu zeminlerin likit limit değerlerine bağlı olarak doğal su içeriği (w)-serbest şişme yüzdesi (SŞY) arasında (7) nolu eşitlik ile önerilen genel denklemde N katsayısını belirleyen eşitlik;

$$N = 3.3165 \times e^{0.0746 LL} \quad (12)$$

olacaktır. Eşitlikte LL: likit limit değeridir. Bu durumda, herhangi bir $P_i(x_i, y_i)$ koordinatında kohezyonlu zeminlerin şişme potansiyelinin % değer olarak hızlı ve güvenilir bir şekilde tanımlanması için kohezyonlu zeminden son derece hassas şekilde iyi korunmuş olarak alınan örneğin laboratuvarında doğal su içeriği ve likit limit değerinin belirlenmesi yeterli olacaktır. Zemin örneğinin likit limit değeri belirlendikten sonra (12) nolu eşitlik ile N değeri hesaplanmalı ve (11) nolu eşitlikte kullanılmalıdır. Önerilen bu yaklaşım İstanbul, Büyükçekmece Küçükçekmece gölleri arasında kalan inceleme alanı kapsamında yüzeylenmiş litolojik birimlerde 40 nolu

elek çapından geçen ince tanelere uygulanmıştır. Büyükçekmece-Küçükçekmece gölleri arasındaki birimlerin şişme potansiyeli ayrıca değerlendirilmiştir. Yukarıda verilen eşitliklerle gller arasında yüzeylenen ve dane çapı 40 nolu elek (0.425 mm) ten küçük olan kısımları içeren litolojik birimler için hesaplanmıştır. İnce danelere ait şişme potansiyeli değerleri izelge 5.45’ de verilmiştir.

Çizelge 5.45 : Büyükçekmece Küçükçekmece gölleri arasında yüzeylenen birimlerin şişme değerleri.

Litoloji	Sivapullaiah-Sitharam-Rao (1987)	Holtz ve Gibbs (1956)	Altmeyer (1955)	Chen (1988)
Güngören silt	nemsiz	Düşük	Kritik	Orta
Çukurçeşme silt	nemsiz	Düşük	Kritik	Orta-Yüksek (!)
Gürpınar silt	nemsiz	Düşük	Sınır	Orta
Bakırköy siltli kil	nemsiz	Düşük	Sınır	Orta
Güngören siltli kil	nemsiz	Düşük	Kritik	Orta-Yüksek (!)
Gürpınar siltli kil	nemsiz	Düşük	Sınır	Düşük
Bakırköy kil	nemsiz	Düşük	Kritik	Orta
Güngören kil	nemsiz	Düşük	Kritik	Orta
Çukurçeşme kil	nemsiz	Düşük	Sınır	Orta
Gürpınar kil	nemsiz	Düşük	Kritik	Orta
Güngören kumlu silt	nemsiz	Düşük	Kritik Değil	Düşük
Gürpınar tf	nemsiz	Düşük	Kritik	Yüksek

Büyükçekmece Küçükçekmece gölleri arasındaki litolojik birimlerin olası şişme yüzdesinin önerilen yöntem ile belirlenmiş serbest şişme yüzdesi (SşY) değerlerinin (izelge 5.45) literatürde verilmiş olan tanımlamaları izelge 5.46’te sunulmuştur.

Literatürde kohezyonlu zeminlerin şişme potansiyeli ile ilgili yapılmış çalışmalar bulunmaktadır. Bu alışmalar, zeminlerin farklı özelliklerinden yararlanarak şişme potansiyeli hakkında doğru ve güvenilir yaklaşımlar yapmayı hedeflemektedir. izelgeler veya grafiklerde verilmiş olan mevcut çalışmalarla ortam analizi yapılabilmekte ancak önerilen yöntemlerde değer aralıkları i ie verildiği için bazen yorumlamada sıkıntı olabilmektedir. Herhangi bir $P_i(x_i, y_i)$ koordinatında kohezyonlu zeminlerin şişme potansiyelinin olası % değeri ise Vijayvergiya ve Ghazzaly (1973) tarafından önerilen ve zeminin doğal su içeriği ile likit limit değerine bağlı olarak tanımlanan grafiksel bir ilişkiden yararlanarak belirlenebilmektedir.

Çizelge 5.46: Büyükçekmece Küçükçekmece gölleri arasında yüzeylenen birimlerin şişme değerlerinin tanımı.

Yüzeylenen Birim	w (%)	LL (%)	N	SŞY (%)
Güngören silt	25.0	53.5	179.470	1.674
Çukurçeşme silt	28.5	73.9	822.090	3.984
Gürpınar silt	28.2	55.6	209.908	1.076
Bakırköy siltli kil	18.3	33.5	40.367	1.318
Güngören siltli kil	30.4	75.8	947.276	3.218
Gürpınar siltli kil	26.0	44.3	90.350	0.699
Bakırköy kil	21.6	46.5	106.464	1.875
Güngören kil	30.5	67.0	491.327	1.638
Çukurçeşme kil	23.0	47.0	110.510	1.498
Gürpınar kil	26.6	59.6	282.893	1.956
Güngören kumlu silt	49.6	69.0	570.384	0.053
Gürpınar tuf	29.2	80.1	1305.537	5.551

Bu grafik ile litolojik birimlerde beklenecek hacimsel olası şişme değeri, w-LL ilişkisine bağlı olarak belirleneceğinden kesin değer olmayıp yaklaşık bir değer olacaktır. Elde edilecek değerlerin literatürde önerilen sınıflamalar arasından Altmeyer (1955) sınıflaması ile değerlendirilmesi uygundur.

Mühendislik jeolojisi uygulamalarında ortam özelliklerinin bilinmesi uygulama projelerinin güvenliği, sorunsuz ve uzun ömürlü olması için gereklidir. İnce danelerin su ile reaksiyonu sonucu oluşacak şişmeler, mühendislik projelerinin önemli bir boyutlandırma parametresidir. Bu amaçla yapılan pek çok araştırma ve deney sonuçları literatürde verilen çeşitli çizelge, grafik ve formülsel ilişkiler ile değerlendirilip sözel ve sayısal olarak yorumlanır. Herhangi bir $P_i(x_i, y_i)$ koordinatında önerilen yöntem ile hesaplanan olası serbest şişme yüzdesi değerleri ayırık kırıntılı kayaçların yaygın olduğu ortamların temel olabilme açısından değerlendirilmesinde ve yamaç-şev duraysızlıklarının irdelenmesinde güvenle kullanılabilir. Belirlenen şişme potansiyeli değerleri, Güngören formasyonunun kumlu siltleri dışında Büyükçekmece ve Küçükçekmece göllerine bakan yamaçlarda ve Marmara denizi kıyılarında yüzeylenmış ayırık kırıntılı kayaçların bulunduğu alanların şişme oranı açısından sınır ve kritik değerde olduğunu göstermiştir. Önerilen yöntem, herhangi bir sahada olası şişme yüzdesi için değerlerin belirlenmesi, aktif ve pasif kütle hareketlerinin irdelenmesi ve etkisiz hale getirilmesi amaçlı ön değerlendirme ve karar mekanizmaları için yararlı olacaktır.

6. KÜTLE HAREKETLERİ

Büyükçekmece Küçükçekmece gölleri arasında heyelanlı sahalarında suyun bulunması ve buna bağlı bitki örtüsünün yoğunluğu, yerleşim açısından daha fazla ilgi çekmektedir. Ancak bu ortamlar genelde mühendislik özellikleri açısından zayıf, suya doygun ve duraylılık açısından kritik denge durumundadır. Kritik denge durumunun bozulması doğal nedenlerin yanı sıra yapay etkenlerden de kaynaklanmaktadır. Kritik denge durumunda olan ortamlar deprem anında en çok etkilenen alanları oluştururlar. K.A.F.'nın Marmara denizi içinden geçen hattında İstanbul' u tehdit eden yıkıcı büyüklükteki olası bir depremde bu rezidüel malzemelerin tetiklenme yoluyla yeniden aktivite kazanması veya yeni kütle hareketlerinin gelişme olasılığı yüksektir.

MTA (2004) tarafından bölgedeki kütle hareketleri derinlik, duraylılık ve etkinlikleri dikkate alınarak; “eski heyelan”, “güncel heyelan” ve “sığ kütle hareketleri” olarak sınıflandırmıştır.

Bu sınıflamada eski (paleo) heyelan; güncel olarak aktivitesini yitirmiş, etkilendiği çevre koşulları nedeniyle duraylı, koşulların değişmesi ile aktif hale geçebilecek kütleleri temsil eder. Paleoheyelanlar, derin yenilme düzlemleri ile gelişmiş ve koşulların sağlanması durumunda bu hareketi sürdürebilecek niteliktedir.

MTA (2004) sınıflamasında güncel heyelan olarak adlandırılanlar ise güncel olarak aktif, üzerindeki doğal yada yapay unsurlarda hareket izleri görülen ve derin kayma düzlemleri gelmiş kütle hareketidir. Sığ kütle hareketleri; kayma düzlemi gelişmeden, güncel örtü malzemesinin krip şeklinde hareket etmesi olarak tanımlanmıştır.

6.1 Kütle Hareketlerinin Oluşum Süreçleri

İnceleme alanında haritalanan kütle hareketlerinin büyük bölümünün Pliyosen dönemine kadar geriye uzanan jeolojik tarihçeleri olduğu bilinmektedir. MTA (2004) tarafından kütle hareketlerinin, inceleme alanının yükselerek üzerinde drenaj sisteminin kurulduğu ve vadi yamaçlarının gelişmeye başladığı dönemlerde oluşmaya başladığı belirtilmektedir. Marmarada Denizi seviyesi düşümü, vadi yarılımı ve

şekillenmesini denetleyen etken olarak ortaya çıkmaktadır. Pliyosen sonu - Pleyistosen' de akarsu süreçleriyle aşındırılan bölgede, genellikle kuzey-güney ve kuzeydoğu-güneybatı yönünde uzanan vadiler ve bunlar arasında yer alan düzlük alanlar oluşmuştur. Bölgede etkin olan tektonik hareketler ve Kuaterner' deki buzullaşma dönemlerinde meydana gelen deniz düzeyi alçalmaları ile akarsu sistemleri, hızla derine gömülmüş vadi yamaçları yüksek eğim kazanmıştır (MTA, 2004). Marmara Denizi' nde Würm Buzullaşması Dönemi' nde deniz seviyesinin günümüzden 85 m daha düşük olduğu bilinmektedir (Cormier ve diğ., 2002). Bu dönemde çalışma alanındaki vadi tabanlarının 65 m daha derinde olduğu ve daha dik yamaç eğimine sahip oldukları yorumlanabilir. Dayanımı düşük litolojik birimlerden oluşan yamaçlar, kütle hareketleri ve erozyonla hızla aşındırılarak geriletilmiş ve az eğimli yayvan topoğrafyaya sahip alanlara dönüşmüştür. Dayanımlı birimlerden oluşan alanlar ise vadilerin gidişine uygun uzanan düzlükler şeklinde korunmuştur.

Büyükçekmece gölü, Haramidere, Küçükçekmece gölü arasındaki düzlükler kireçtaşıdan oluşan Bakırköy formasyonunun varlığı nedeni ile korunan göreceli yüksek düzlük alanlardır. Çevreye göre yüksek kotlarda bulunan bu düzlüklerin yüksek eğimli yamaçları ve Marmara denizinin kıyı kesimleri bölgede eski ve güncel kütle hareketlerinin en yoğun olarak gözlemlendiği alanlardır (Şekil 6.1). Kıyı kesimlerinde yoğun kütle hareketlerinin oluşmasında dalgaların topuk aşındırma süreçleri başlıca etken olduğu düşünülmektedir.

Jeolojik birimlerin jeomekanik özellikleri ve mekansal konumları, yamaç eğimi ve yeraltısuyu durumu kütle hareketlerinin oluşmasında en önemli faktörlerdir. İnceleme alanında, heyelanların çoğunlukla geçirimsiz kiltası, silttaşı ve çamurtaşı seviyeleri içerisinde geçirimli kumtaşı tabakalarının bulunduğu istiflerde geliştiği dikkat çekicidir.



Şekil 6.1 : Büyükçekmece dolayında Gürpınar formasyonunda gelişen bir heyelan topografyası.

İnceleme alanında, zayıf çimentolu kumtaşı ve kum seviyeleri geçirimli ortam özelliğinde olup, yeraltı suyunun uzun mesafelerde hareketine olanak sağlar. Ayrıca, süreksizlik sistemleri (tabakalanma) kütle hareketlerinin oluşmasında önemli bir etkindir. Bu nedenle tabakalanmanın yamaç dışına eğimli olduğu kesimlerde büyük ölçekli duraysızlık sorunları oldukça yaygındır. Bu alanlarda başlangıcı düzlemsel olan kütle hareketlerinde topuğa doğru, ardışık kaymalar sonucu biriken malzeme içerisinde, dairesel kaymalar, hatta yüzey suyunun da artmasıyla akmlar gelişmektedir.

İnceleme alanında haritalanan litolojik birimlerin eğimli yüzeylerdeki sınırları kütle hareketleri açısından kritik alanlardır. Kütle hareketlerinin bu sınırlarda meydana gelmesi geçirimli birimlerden süzülen yeraltısuyunun alttaki görece geçirimsiz birimlerde birikmesi ve geçirimli-geçirimsiz dokanağında makaslama dayanımının azalması ile ilişkilidir. Gerekli diğer koşulların da sağlanması durumunda bu sınır hatları boyunca yenilme olup kütle hareketleri gelişmektedir (Şekil 6.2).



Şekil 6.2 : Beylikdüzü Çukurlar heyelanının çökme bölgesinde bir göl.

Özellikle Marmara denizi kıyılarında ve Büyük ve Küçükçekmece gölleri kıyılarında meydana gelen kütle hareketlerinde de ortam koşullarının değişmesi sonucunda zeminlerde meydana gelen hacim değişikliklerinin tetikleyici etken olduğu düşünülmektedir (Şekil 6.3). Gürpınar ve Çekmece formasyonlarının yayılım alanlarında akma ve heyelan türlerinde çeşitli kütle hareketleri yaygın olarak görülür (Şekil 6.4).

Bu hareketlerin türleri, alansal büyüklükleri, derinlikleri ve mekanizmaları malzeme fizikomekanik özelliklerine, birimlerin ayrışma durumuna, yamacın geometrisine ve çevre etmenlere bağlıdır.



Şekil 6.3 : Ambarlı Mahallesi, Badem Sokak, 2004 tarihli kütle hareketine bağlı deformasyonlar.

Kütle hareketlerinin oluşması ve gelişmesinde bölgedeki jeolojik yapı ve birimlerin litolojik özellikleri büyük önem taşımır. İnceleme alanındaki hemen tüm litolojilere ait tabakalar yamaç dışına eğimli olup şişme oranı yüksek smektit türü killerin bulunduğu tespit edilmiştir. Bu koşullar anılan alanlarda hareket tehlikesini yükseltmektedir.



Şekil 6.4 : Küçükçekmece gölü batı yamaçlarındaki sığ hareketlerin izlerini taşıyan ondülasyonlu morfoloji ve lokal suya doymun kesimleri belirten bitki örtüsü.

İnceleme alanı sınırları içinde Büyükçekmece gölü doğusu güncel ve eski heyelanlar geniş alansal yayılıma sahiptir. Bu bölgedeki heyelanlar; Gürpınar formasyonuna ait

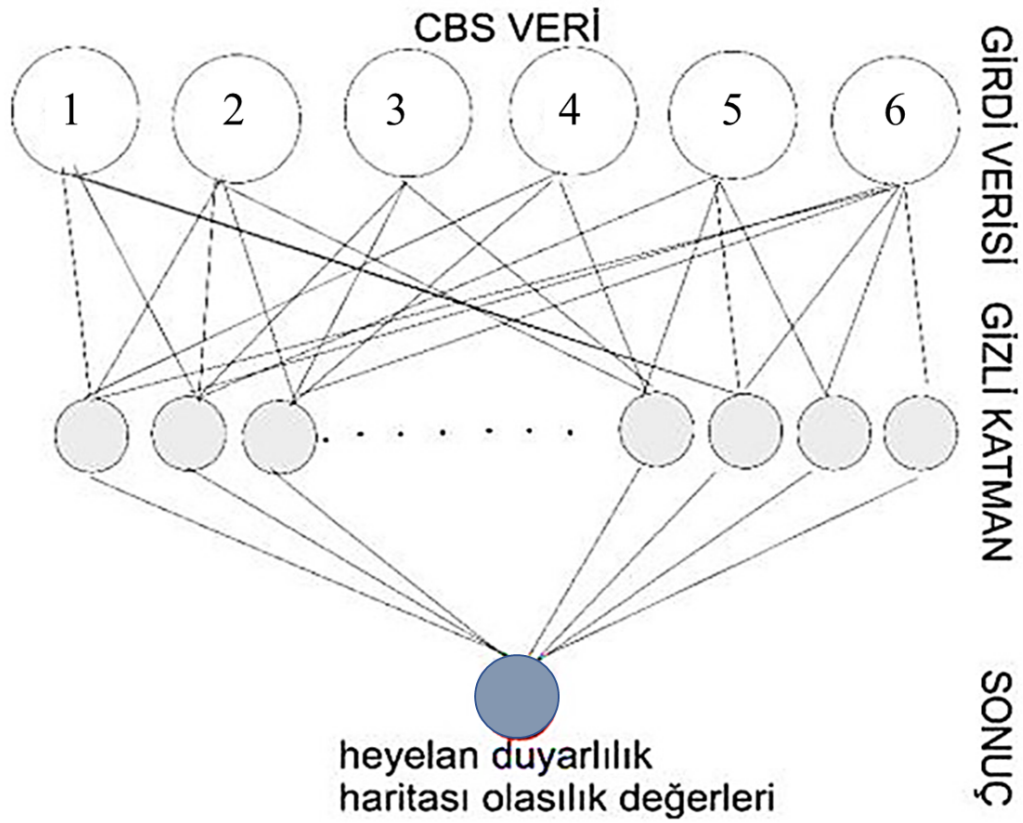
killer ile Çukurçeşme formasyonunun kum ve kil birimlerinde yaygın olarak görülür. Heyelanların türü genel olarak sığ derinliklerde dönel kayma, paleoheyelanlar olarak derin yenilme yüzeyleri görülmekte olup hareket etmiş kütlelerde yanal yayılmalar ve derinliğin fonksiyonu ile hareket eden güncel zamana bağlı (krip) kütle hareketleridir.

6.2 Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Büyükçekmece Küçükçekmece Gölleri Arasının Kütle Hareketleri Duyarlılık Değerlendirmesi

Kütle hareketleri en çok can ve mal kaybına neden olan doğal afetlerden biridir. Son zamanlarda afetlere yönelik, afet sonrası müdahale ve iyileştirme çalışmaları geliştirilmiştir. Ancak bu aşama afetin yol açtığı kayıpların azaltılmasında önceden etkili değildir. Mevcut heyelan envanter haritaları (MTA, 2005) ve kütle hareketine neden olan çevresel değişkenlerin birlikte değerlendirilmesi ile elde edilen heyelan duyarlılık değerlendirmeleri, kütle hareketlerinin mekansal yayılımlarına yönelik modellemeyi kapsar. Akma, kayma, düşme ve devrilme gibi farklı hareket mekanizmalarında meydana gelen kütle hareketleri, bölgesel olarak değişen jeomorfolojik, jeolojik ve benzeri fiziksel faktörlerin etkisinde gelişir. Kütle hareketleri tetikleyici etkenler, litoloji, sayısal yükseklik modeli ve türev (yamaç eğimi, yamaç eğrisellikleri, pürüzlülük vb.) modelleridir. Tekin, S. ve Çan, T.' nin belirttiği gibi kütle hareketi duyarlılık haritaları; hareket tipi, mekansal dağılımı ve envanter çalışmasının güvenilirliği ile heyelanları tetikleyici çevre değişkenleri gibi birçok faktöre bağlıdır (2019).

Heyelan duyarlılık değerlendirmeleri niceliksel ve niteliksel değerlendirilmekte olup her ikisinde de alt yöntemler kullanılır (Corominas, J., vd., 2014). Niteliksel yöntemler uzman görüşlerine dayanan yöntemleri içerirken, niceliksel yöntemler veri tabanlı yöntemler ve jeoteknik yaklaşımları içerir. Çalışma alanında niceliksel yöntemlere ait veri güdümlü modelleme tercih edilme oranı yüksek olan yapay sinir ağları kullanılarak bu duyarlılık değerlendirmeleri yapılmıştır. Kohonen (1982)' nin tanımladığı yapay sinir ağları, paralel olarak bağlantılı çok sayıda basit elemanın, biyolojik sinir sistemi benzeşimi ile etkileşen matematiksel yöntemler bütünüdür.

Yapay sinir ağı, birbirine bağlı birkaç düğüm yapısındadır. Bu düğümlerin düzenlenmesi ile ağ mimarisi olarak kurgulanır. Her düğüm noktası basit bir işlem elemanıdır, diğer düğümlerden aldığı ağırlıklı girdilerle etkileşimdedir. Alıcı düğüm, önceki katmanda bağlı olduğu tüm düğümlerden gelen ağırlıklı sinyalleri toplar (Şekil 6.5).

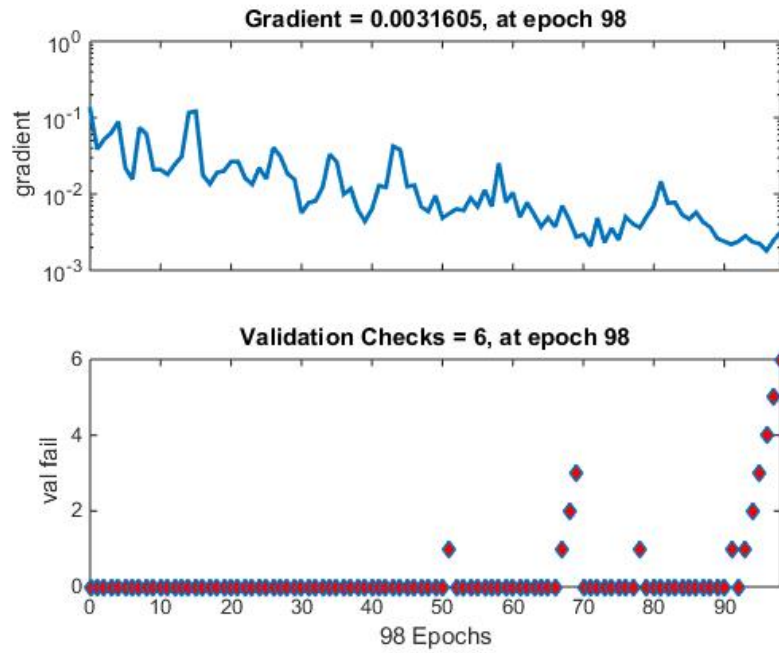


Şekil 6.5 : Kütle hareketleri hassasiyet değerlendirmesine yönelik yapay sinir ağı mimarisi (Tanrıverdi, B. ve diğ. 2021)’ den düzenlenmiştir.

Yapay sinir ağları, ileri beslemeli ve geri yayımlı olmak üzere iki ağ yapısından oluşur. İleri beslemeli yapay sinir ağlarında, iletilen bilgi sadece ileri doğru hareket eder ve girişten çıkışa bir hareket vardır. Katmanlardaki nöronlar sadece bir sonraki katmana ve ardından sonuç (çıkış) katmanına gider. İleri beslemeli yapay sinir ağları, girdi katmanındayken dışarıdan gelen bilgiyi değiştirmeden bir sonraki katmana aktarır. Bu süreçte, verinin bir ağırlığı orta ve çıkış katmanındaki işlevlerle birlikte belirlenir ve çıkış nöronuna yönlendirilir (Min ve Yoon 2021; Amato et al. 2021; Xie et al. 2021; Prasad et al. 2021).

Doğal afetler üzerine yapılan çalışmalarda en yaygın kullanılan öğrenme algoritmalarından biri olan geriye yayılım algoritması (Prasad et al. 2021), ağın çıktısı ile mevcut veriler arasındaki farka dayalı olarak ağırlıkları başarılı bir şekilde güncellemesinden dolayı tercih edilir. Geriye yayılım algoritmasında kullanılan öğrenme parametresi, optimal sonuca yeterince yaklaşmakta önemli bir rol oynar. Öğrenme parametresi algoritma içinde sabit alınabilir veya dinamik olarak

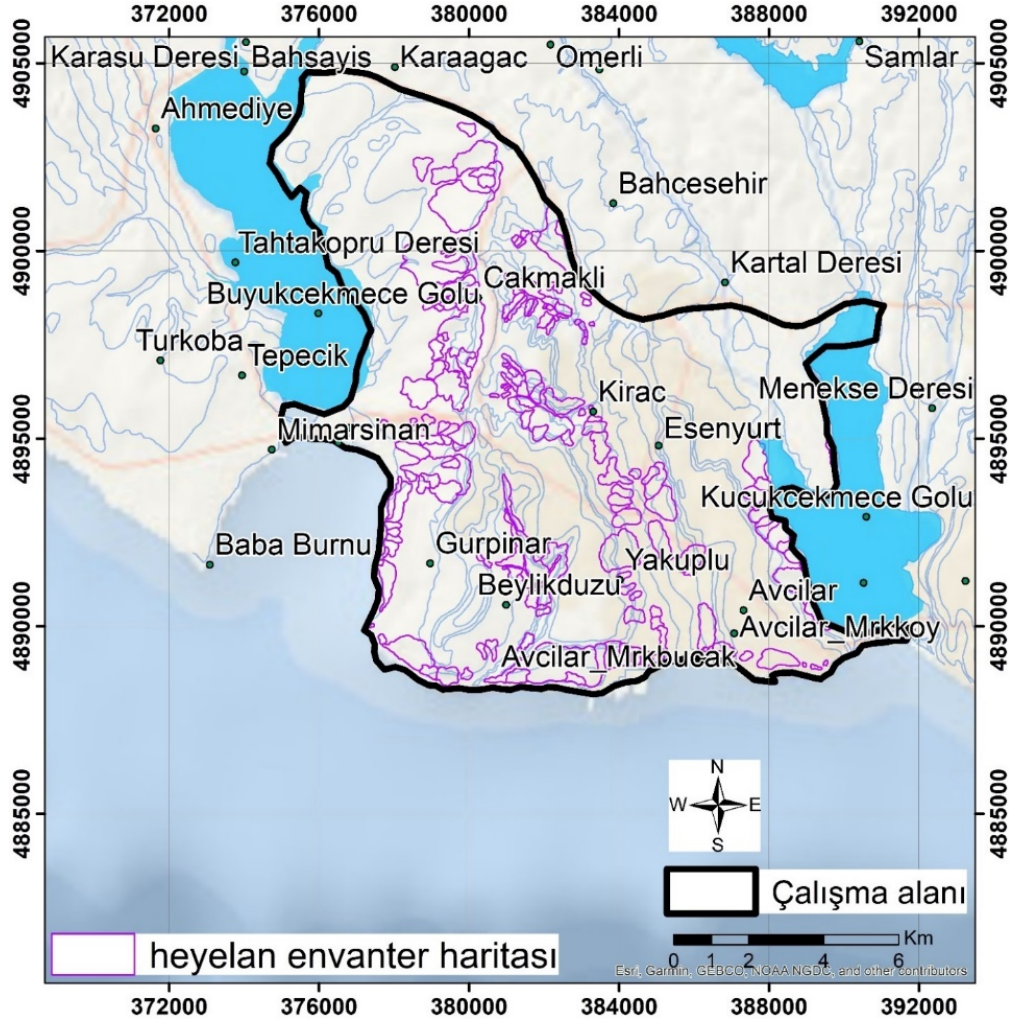
güncellenebilir. Bu çalışmada, geriye yayılım yapay sinir ağlarında bulunan Levenberg–Marquardt geriye yayılımı (LM), esnek geriye yayılım (trainrp), ölçeklenmiş konjugat gradyan geriye yayılımı (trainscg), Powell/Beale yeniden başlatmalı konjugat gradyan geriye yayılımı (traincgb) ve Fletcher-Powell konjugat gradyan geriye yayılımı (traincgf) algoritmaları kullanılmıştır. LM, trainrp, traincgb, traincgf ve trainscg sonuçları, geriye yayımlı yapay sinir ağları algoritmaları, doğrulama testi sonuçlarına göre, en iyi eğitim sonucunun ölçeklenmiş konjugate gradyan geriye yayılımı (trainscg) algoritması olduğu belirlenmiştir (Şekil 6.6).



Şekil 6.6 : Kütle Hareketi Duyarlılık Modeli algoritma öğrenme aşaması değerleri.

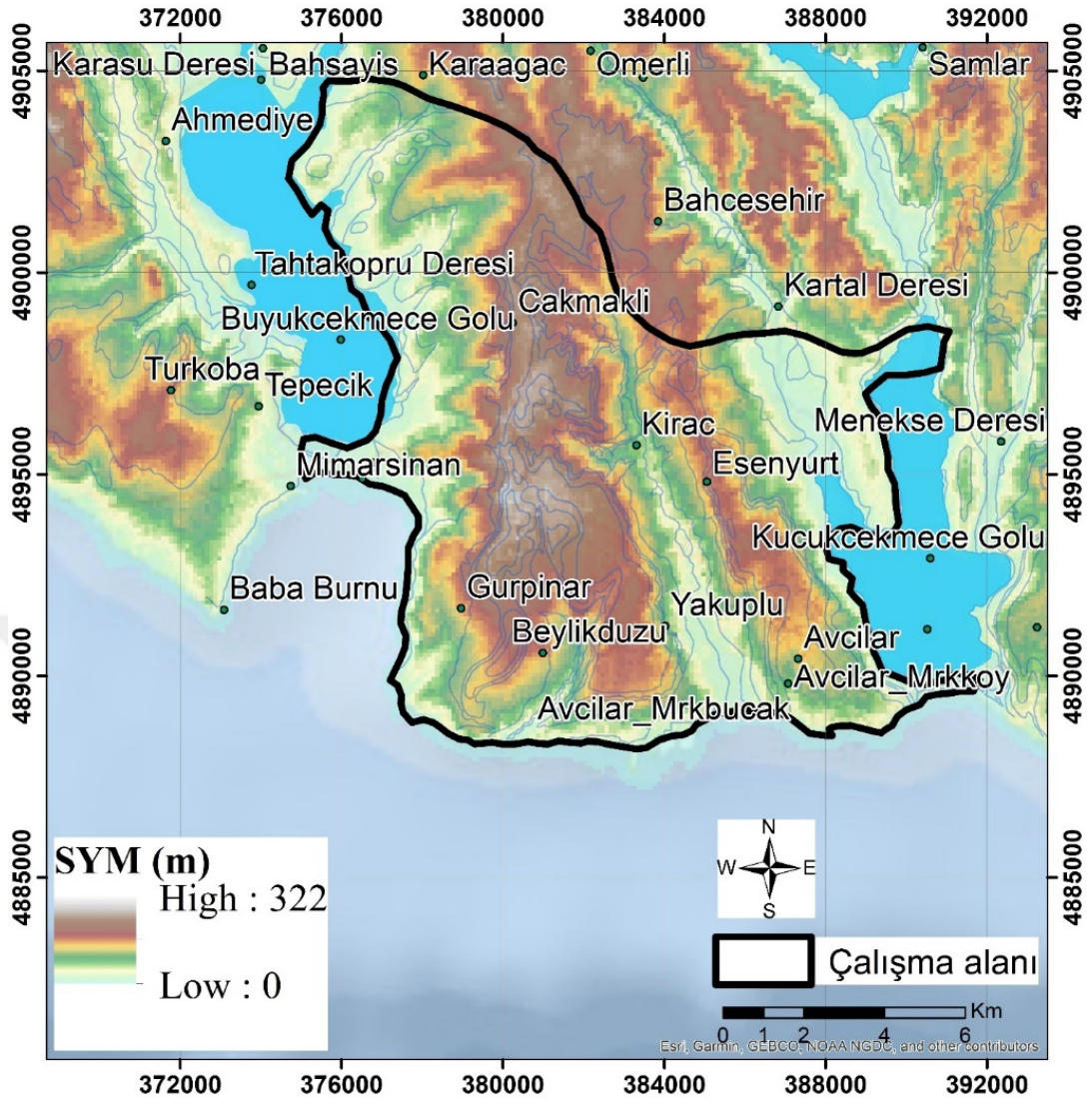
Sinir ağlarının kullanımının iki adımı vardır: ilk adım iç ağırlıkların hesaplandığı eğitim aşaması ikinci adım ise sınıflandırma aşamasıdır. Geri yayılma eğitim algoritması, en sık kullanılan sinir ağı yöntemi olması sebebiyle bu çalışmada da tercih edilmiştir. Geri yayılma eğitim algoritması, bir dizi ilişkili veriyi kullanılarak eğitim algoritması içerir. Girdi (heyelanları tetikleme potansiyeli olan çevresel etmenler) ve çıktı (heyelanlı alanlar) değerleri, belirlenen gizli katman sayıları ile siyah kutu olarak adlandırılan arka katmanda işlenir ve sonuçta olasılık değerleri üretilir. Geri yayılma algoritması, ağı istenen ve gerçek değerleri arasında hedeflenen bir minimum hata elde edilene kadar ağı eğitir. Eğitim sonucunda ağ yapısı tüm veri akımları için bir sınıflandırma oluşturup ileri beslemeli bir yapı elde edilir.

Aşağıda, Büyükçekmece ve Küçükçekmece arasında CBS uygulanarak çalışma alanında kütle hareketlerine yönelik yapay sinir ağları yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen duyarlılık çalışması tanıtılmaktadır. Kütle hareketleri duyarlılık modeli doğrulaması heyelan envanterleri ile karşılaştırılarak kontrol edilmiştir (Şekil 6.7).



Şekil 6.7 : Sayısal yükseklik modeli ve çalışma alanına ait heyelan envanter haritası MTA (2005)' dan faydalanılmıştır.

Kütle hareketlerini etkileyen faktörlerin birincil sıradaki malzeme niteliği anlamında jeoloji haritası olmak üzere (Şekil 2.1) ikincil faktörler olarak ASTER Sayısal Yükseklik Modeli (ASTER GDEM) (Global Digital Elevation Model V003) (NASA/METI/AIST/Japan Spacesystems and U.S./Japan ASTER Science Team 2019) (Aster GDEM)'den elde edilen sayısal yükseklik modeli ve türev modeller olan yamaç eğimi, yamaç yönelimi, pürüzlülük indeksi, topoğrafik nemlilik indeksi parametreleri kullanılmıştır.



Şekil 6.8 : Çalışma alanının sayısal yükseklik modeli.

Sayısal yükseklik modeli kullanılarak üretilen yamaç eğimi, yamaç eğriselliği, topografik nemlilik indeksi (TPI) ve pürüzlülük indeks parametreleri raster tabanlı 100 metre yersel çözünürlükte kullanılmıştır (Şekil 6.8). Eğim değerleri, koordinatları belli iki nokta arasındaki düşey mesafenin yatay mesafeye oranının tanjantı ile hesaplanır. Çalışma alanı sınırları içinde yamaçların, körfez, göllerin kıyıları, Marmara Denizi kıyı kesimleri ve iç kesimlerde de Kavaklı ile Haramidere vadi sahillerinde yüksek değerlere ulaştığı görülür (Şekil 6.9a).

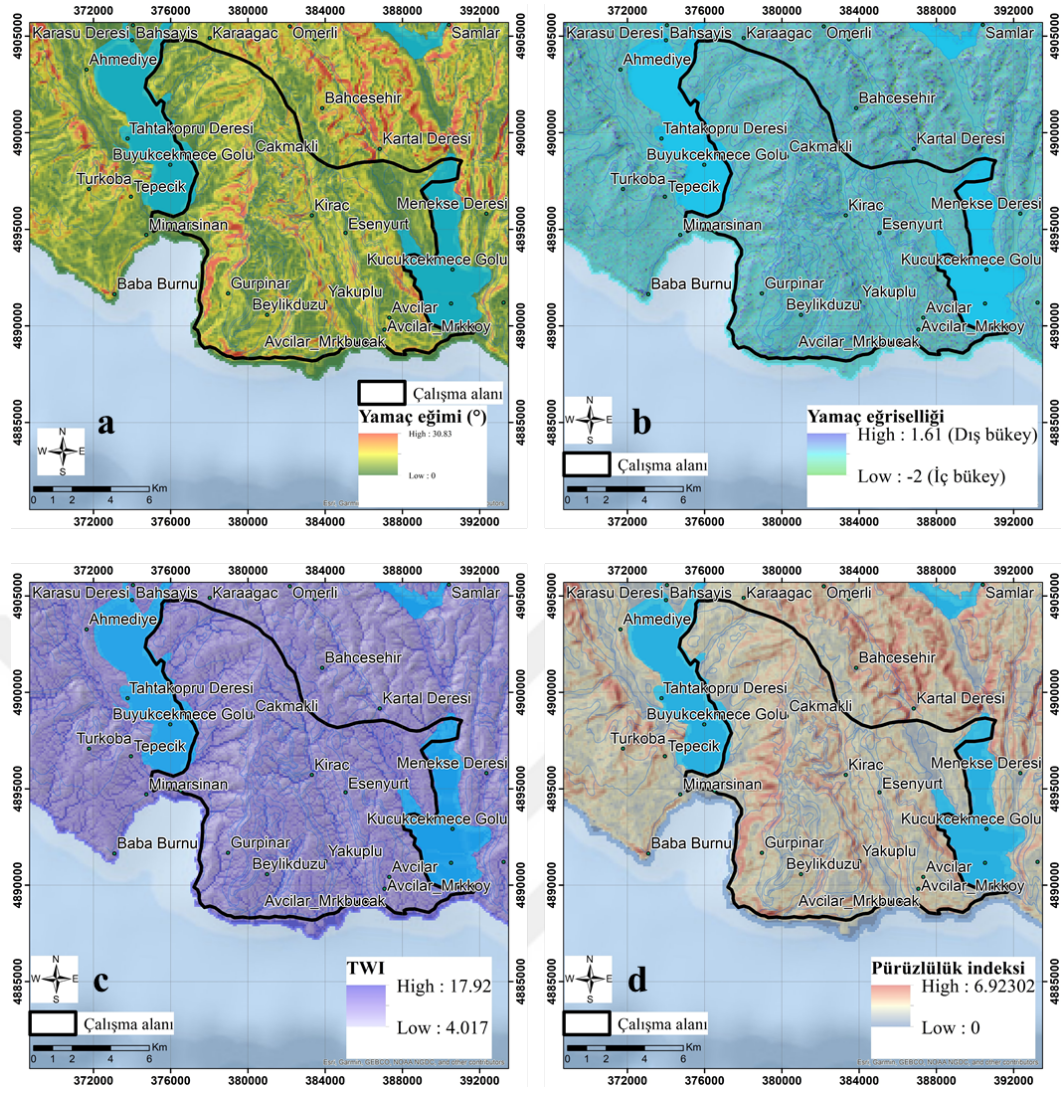
Eğim analizi, kütle hareketlerin duyarlılığının değerlendirmelerinde, jeomorfolojik unsurların incelenmesi ve yorumlanmasında önemli bir değerlendirme aracı olarak kullanılır. Eğim analizi değerlendirmeleri kütle hareketi duyarlılık değerlendirmelerinde yamaç eğriselliği, topografik nemlilik indeksi ve pürüzlülük indeksi modelleri ile birlikte değerlendirilmelidir. Şekil 6.9a' da inceleme alanına ait

yamaç eğimi analizi sunulmuştur. İnceleme alanında yamaç eğim açıları 30.81° ve altındadır. En yüksek eğimli yamaçların görüldüğü alansal dağılımlar Büyükçekmece ve Küçükçekmece göllerine bakan paleoheyelan alanları kapsamaktadır.

Yamaç eğriselliği parametresi, yüzeysel su akış hızı ve yüzey malzemesinin yamaç boyunca taşınımı ile ilgili parametrelerden biri olup inceleme alanında eğim değişim oranını ifade etmek için kullanılır (Şekil 6.9b). Yamaç eğimi eğriselliği, morfoloji ile yenilme yüzeyinin arakesit doğrultusunun eğrilik değeri olarak tanımlanabilir. Yamaç eğriselliği doğrultu bileşenleri, ait olduğu yamacın yatay ve düşey iki ayrı eğrisellik değerine ayrılır. Düşey yamaç eğriselliği bileşeni, yamaç aşağı eğimdeki değişim yatay yamaç eğriselliği bileşeni ise eş yükseklik eğrisi boyunca yamaç yönelimindeki değişimdir. Wilson ve Gallant (2000)' ın çalışmalarında tanımladığı gibi yamaç eğrisellik modelindeki düşey eğrisellik pozitif değerleri konkav, negatif değerler ise konveks yamaçları işaret ederken yatay eğriselliğe ait pozitif değerler konveks yamaçları, negatif değerler ise konkav yamaçları ifade eder. Çalışma alanına ait sayısal yükseklik modelinden türetilen yamaç eğrisellik modeline göre, inceleme alanının en düşük iç bükey eğrisellik değeri -2 ve en yüksek dış bükey eğrisellik değeri 1.6' dır (Şekil 6.9b).

İç bükey ve dış bükey yamaç şekilleri (Şekil 6.9c) hidrolojik akış durumunu kontrol etmesi bakımında heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde sıklıkla kullanılan parametrelerden birini oluşturur. Topografik nemlilik indeksi (TWI) yüzeysel akış potansiyeline sahip bölgelerin anlaşılmasında kullanılan önemli değişkenlerden biridir. Pürüzlülük indeksi parametresi (Şekil 6.9d), arazi şekillerinin jeomorfolojik değerlendirmesi ve doğal afetler ile ilgili çalışmalarda kullanılan parametrelerden biridir. Jeomorfolojik değerlendirmelerin önemli bir parametresi olarak topoğrafik nemlilik indeksi (TWI), morfolojinin hidrolojik süreçler üzerindeki etkisini, toprak nemi ve yüzey doyumu konumsal dağılımının nicel olarak hesaplanmasında kullanılmaktadır. Modelin öncül çalışması Beven ve Kirkby (1979) tarafından yapılmıştır. Barling (1992) bu yaklaşımı akış yönünde türetilen akış toplama alanı bilgisi ile yamaç eğimi bilgisi ile (13) nolu eşitlikteki gibi ifade etmiştir. Burada As özgül havza alanıdır (m²m-1) ve β eğimi temsil etmektedir. Topografik nemlilik indeksi modeli çalışma alanı için sayısal yükseklik modelinden türetilmiştir (Şekil 6.9c).

$$TWI= \ln (As/\tan b) \quad (13)$$



Şekil 6.9 : Çalışma alanına ait yamaç eğimi (a), Yamaç Eğriselliği (b), Topoğrafik Nemlilik İndeksi (TWI) (c), Pürüzlülük İndeksi (d) Modelleri.

Pürüzlülük indeksi, çalışılan alanın 3 x 3 m sınırlı ızgara ağında her bir piksele karşılık gelen yükseklik değerinin ait olduğu ızgara çerçevesi içindeki minimum yükseklikten çıkarılması ve maksimum ve minimum yükseklik aralığına oranı olarak ifade edilir (Evans, 1985). İnceleme alanında pürüzlülük indeks değerleri kıyı kesimlerde en düşük değer olan 0' dan en yüksek değer olan 6.92302 ' ye kadar bir aralıktadır (Şekil 6.9d).

İnceleme alanında, 6 değişken 100 m yersel çözünürlüğe göre hazırlanmıştır. Karsoliya (2012) tarafından önerilen giriş katman sayısının üçte ikisi ile iki katı arasında değişen gizli katman sayıları denenerek en iyi sonuç elde edilen 15 gizli katman dahilinde duyarlılık haritası hazırlanmıştır. Çalışma alanına ait veri seti rastgele seçim yöntemiyle %80 analiz, %10 test ve %10 doğrulama verisi olmak üzere üçe

Kappa testi, iki veya daha fazla gözlemcinin arasındaki anlaşmanın güvenilirliğini ölçen istatistiksel bir yöntemdir. "Cohen kappa katsayısı", sadece iki gözlemci arasındaki anlaşmayı inceler. Kappa katsayısı hesaplanırken, iki farklı olasılık hesaplanır. Bunlar Pr(a) ve Pr(e) olarak adlandırılır. Pr(a), iki değerlendiren için gözlemlenen uygunluk oranlarının toplam oranı iken Pr(e), bu uyumun tesadüfen meydana gelme olasılığıdır (Eşitlik 18). Fleiss (1981) tarafından yapılan sınıflandırmada, 0,75 ve üzeri bir Kappa değeri mükemmel, 0,40 ile 0,75 arasındaki değerler ortalama-iyi ve 0,40'ın altındaki değerler zayıf bir uyum olarak değerlendirilir.

CC, hassasiyet, duyarlılık, F1 skoru ve Kappa testleri yakın ve yüksek tahmin sonuçları verirken, ROC eğrisi altındaki alan (AUC) analizleri, algoritmalar arasında sonuç haritasının seçiminde etkin bir rol oynar.

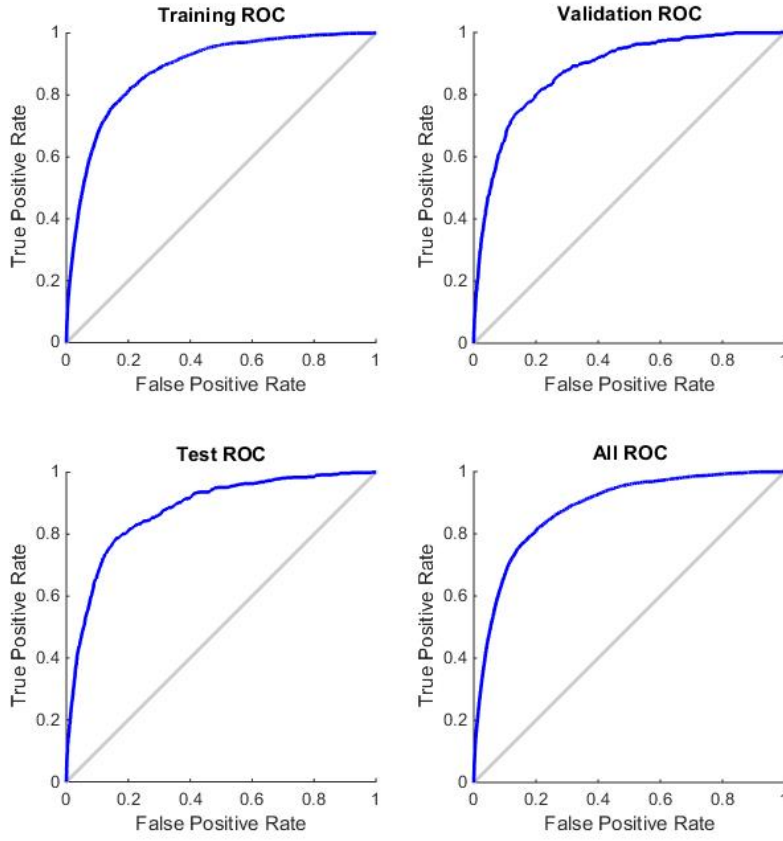
$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (16)$$

$$F1\ Score = 2 * \frac{Precision*recall}{Precision+recall} \quad (17)$$

$$Kappa = \frac{Pr(a)-Pr(e)}{1-Pr(e)} \quad (18)$$

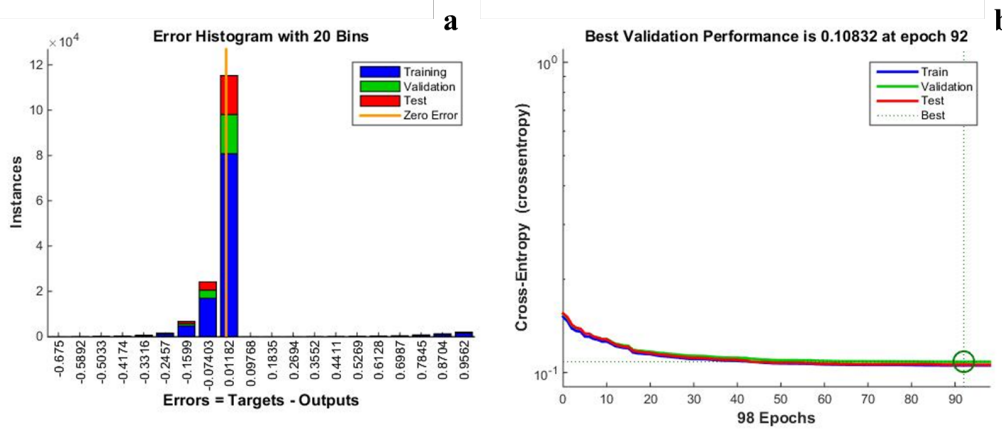
Şekil 6.11' de, çalışma alanındaki kütle hareketi duyarlılığının alıcı işletim karakteristiği eğrisi ve analiz, doğrulama, test ve model uygunluğu görülmektedir.

Bilimsel bir yöntem olan ROC (alıcı işletim karakteristik) eğrisi, modellerin genel performansını kontrol etmek için kullanılır (Rahmati vd., 2016; Chapi vd., 2017; Bui vd., 2020; Prasad vd., 2021). Elde edilen kütle hareketleri duyarlılık haritasının doğruluğu, alıcı işletim karakteristik eğrisi ve eğri altında kalan alan ile değerlendirilmiş ve kurulan modelin uyum iyiliğinin yüksek ve çok yüksek uyuma sahip olduğu doğrulanmıştır (Şekil 6.11).



Şekil 6.11 : Alıcı işletim karakteristik eğrileri.

Elde edilen kütle hareketi duyarlılık haritası performansı ve doğruluğu, hata histogramı ile değerlendirilmiştir. Histogramdaki mavi çubuklar eğitim verilerini, yeşil çubuklar doğrulama verilerini ve kırmızı çubuklar test verilerini gösterir. Elde edilen yapay sinir ağı modelinde, hata histogramı sonucunda değişkenlerle kütle hareketleri arasında hiçbir veri uyuşmazlığı bulunmamıştır (Şekil 6.12a).



Şekil 6.12 : Kütle Hareketi Duyarlılık Modeli hata histogramı (a), model performansı (b).

Model performansındaki ortalama karesel hata değerinin dikkate alındığı düşünöldüğünde, çapraz entropi performans fonksiyonu kullanılır. Çapraz entropi kaybı veya logaritmik kayıp, çıktı katmanını 0 ile 1 arasında bir olasılık değerine sahip sınıflandırma modelinin performansını ölçer ve modelde kullanılır. Çapraz entropi kaybı, tahmin edilen olasılık orijinal değerden uzaklaştıkça artar. Çapraz entropi ile performans değerlendirmesi Şekil 6.12b ile sunulmuştur; model ağ mimarisinde 0.10832 olasılık değeri bulunmuştur.

6.3 Kütle Hareketlerinin alışma Alanındaki Dağılımını ve Özellikleri

Çalışma alanında, kuzeyde TEM otoyolu, güneyde Marmara Denizi ile sınırlandırılan ve Küçükçekmece ve Bükekmece gölleri arasındaki alanda kütle hareketleri yoğun bir biçimde kendini göstermektedir. Buradaki kütle hareketleri özellikle Gürpınar, Çukurçeşme, Güngören ve Bakırköy formasyonları içerisinde veya dokanaklarında gelişmiştir. Bu alandaki kütle hareketleri eski ve güncel heyelanlar şeklindeyir. Eski ve güncel heyelanlarda, heyelan aynası, kütlesel yayılımlar, sırt ve tümsekler topoğrafyada belirgindir. Günümüzde eski heyelanların aynasına yakın kesimler sürekli gerilemekte ve eski heyelan kütlesi içerisinde güncel heyelanlar oluşmaktadır (Şekil 6.6). Eski heyelanlar içerisinde gelişen güncel heyelanlar ayırtlanabilmekteyse de vadi tabanlarına yakın eski heyelan kütlelerinin morfolojik göstergeleri çoğu yerde seçilememektedir.

Bükekmece Gölü’ nün doğu yamaçlarında gelişen kütle hareketlerinin esas aynalarının, 3 – 20 m yükseklikte ve 75 ° - 80° eğimde olup, günümüzde de belirgindir. Bu yörede boyu 1.5 km yi aşan heyelanlar bulunmaktadır.



Şekil 6.13 : Beylikdüzü çukurlar heyelan alanınının ta bölgesindeki dolgu alışmaları (2010).

Bu kesimdeki heyelanlar çizgisel yapıları etkilemektedir. İSKİ' ye ait su iletim borusu heyelan bölgesi içerisinde bulunması nedeniyle hasar görmüştür. Ayrıca Beylikdüzü'nde yapılan kulenin aktif heyelana yakınlığı dikkat çekicidir (Şekil 6.13).

Büyükçekmece ve Küçükçekmece gölleri' nin yamaçlarındaki heyelanlarda kayma yüzeylerinin derinliği 15 m yi geçmemektedir (Arpat, 1999). Bu kesimdeki heyelanlar genelde yamaç dışına eğimli tabakalanma yüzeyleri üzerinde gelişmiş güncel kaymalar şeklindedir. Tabakalanma eğimleri 7° - 12° arasında değişmektedir. Yer yer bu kaymalarla türeyen malzeme kendi içerisinde akmalara dönüşebilmektedir.

Büyükçekmece ve Küçükçekmece gölleri arasında kalan kıyı bölgesinde de kütle hareketleri yoğun olarak izlenir. Bu kesimdeki bazı heyelanların denize ulaştığı ve deniz içerisinde devam ettiği gözlenmiştir. Kavaklı sahilinde gelişen heyelan malzemelerinin deniz içerisindeki çıkıntıları belirgindir. Haramidere yamaçları, Beylikdüzü-Kıraç arasındaki Kalyos deresi ve Küçükçekmece gölünün Firuzköy kuzeydoğusuna kadar uzanan batı yamaçları eski güncel heyelanların yanı sıra çamur akması ve sığ hareketlerin geliştiği kesimlerdir.

Bu bölgedeki heyelanlar zaman zaman büyük ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Gürpınar ve Yakuplu' da heyelanlı arazi üzerine kurulan kooperatif binalarının bir çoğu heyelan aktivitesi nedeniyle kullanılamayacak şekilde hasarlıdır.

7. MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ MODELİ VE SAYISAL ANALİZLER

Saha incelemeleri, yeraltı araştırmalarına yönelik mekanik ve jeofizik sondaj verileri ile inklinometre ölçümleri inceleme alanındaki duraysız alanların paleo-heyelan malzemeleriyle ilişkili olduğunu göstermektedir. Geçmişteki kütle hareketlerinin kalıntıları ve yerdeğiştirmiş yığınların karmaşık yapıları orijinal jeolojik yapılarını kaybettiklerine işarettir. Çukurlar ve Pekmez heyelanlarından etkilenen ve batıya bakan yamaç ve falezlerde bu tür yığınlarda, Oligosen yaşlı birimlerin farklı düzeyleri, karışmış halde bulunur (Şekil 7.1).

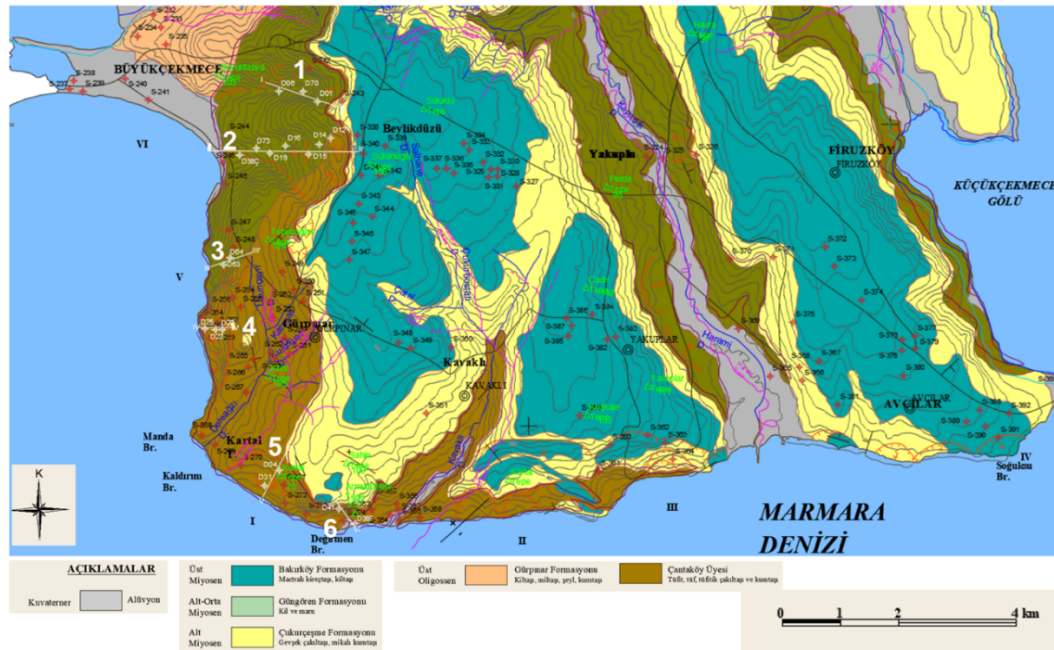


Şekil 7.1 : Pekmez bölgesinde paleoheyelan malzemesi yığını içindeki yüzen köksüz bloklar.

Araştırma sondajlarında kalınlığı belirlenen örselenmiş ve yerdeğiştirmiş bu kütlenin kalınlığının ve özelliklerinin anakayadan oldukça farklı olduğu yerinde ve laboratuvarında yapılan deneylerden anlaşılmıştır (bkz. Bölüm 5). Bu nedenle sayısal analizi yapılan 2B mühendislik jeolojisi modellerinde bu yığınlar Gürpınar Rezidüel olarak tanımlanmıştır.

7.1. Mühendislik Jeolojisi Modeli

İncelenen sahada yer yer güncel hareketlerin gözlemlendiği 6 bölge için en kritik mühendislik jeolojisi kesitleri; sondaj, arazi ve laboratuvar deneyleri ve izleme verilerinden hareketle oluşturulmuştur. Sondajlarda ölçülen yeraltı suyu seviyeleri (YAS) mühendislik jeolojisi modellerine işlenmiştir. Analiz edilen kesitlerin numarası ve doğrultusu Şekil 7.2 deki mühendislik jeolojisi haritası üzerinde numaralandırılarak işaretlenmiştir. Anılan hatlara karşılık gelen mühendislik jeolojisi modelleri ise Şekil 7.3’de sunulmuştur.



Şekil 7.2 : 2 boyutlu sonlu elemanlar analizi için seçilen kesit hatları ve numaraları.

7.2 Sayısal Model Parametrelerinin Seçimi

Sayısal analizlerde Gürpınar Formasyonu için üç eksenli (Çizelge 7.1) ve direkt kesme (Çizelge 7.2) deney sonuçları göz önünde tutulmuştur. Gölyaka ve Fener lokasyonlarında yapılan sondajlardan elde edilen sonuçlar Çizelge 7.3’ de topluca verilmiştir. Diğer kesitler için Bölüm 5’ de sunulan verilerden de yararlanılmıştır. Şekil 7.2’ de numaralandırılan ve analiz edilen her bir kesit hattına yakın sondajlara ait deney sonuçları göz önünde bulundurularak model katmanları için belirlenen jeoteknik parametreler Çizelge 7.4’ de sırayla verilmiştir.

Çizelge 7.1 : Gürpınar Formasyonu’ndan alınan sondaj numuneleri üzerinde yapılan üç eksenli deney sonuçları (TÜBİTAK, 2016).

S. No	Derinlik (m)	Konsolidasyonsuz Drenajsız (UU)		Konsolidasyonlu Drenajsız (CU)		Konsolidasyonlu Drenajlı (CD)		Zemin Sınıfı (US CS)	Sayısal Analiz Modeli
		c (kPa)	ϕ (°)	c (kPa)	ϕ (°)	c (kPa)	ϕ (°)		
D01	5.5-6.0	135	0					SC	
D01	8.5-9.0			54	6	45	11	CH	
D01	14.5-15.0	236	0					CH	1 (Kemerdere)
D01	17.5-18.0			46	10	28	17	CH	
D45	23.5-23.7			8	15	17	18	CH	
D70	6.0-6.4			0	29	0	33	CH	
D02	8.5-9.0			23	16	41	31	CH	
D12	15.0-15.45	101	0					CH	
D12	33.0-33.38			14	18	5	31	CH	2 (Çukurlar)
D15	27.0-27.4			38	15	6	27	CH	
D18	25.0-25.3			33		16	24	CH	
D33	8.6-9.0	44	0					CH	5 (Gölyaka)
D34	37.0-37.5	7	10					CH	

İnceleme alanında Gürpınar formasyonunda yapılan araştırma sondajlarından alınan numunelerin üzerinde yapılan üç eksenli deneyler; alındıkları sondaj no, derinlik değerleri deney türü, zemin sınıfı ve sayısal analiz modelinde karşılık gelen model no. ile model adını içerecek şekilde Çizelge 7.1 ile sunulmuştur. İçsel parametrelerin derinliğe bağlı değişiminin belirlenmesi amacı ile yapılan üç eksenli deneyler; konsolidasyonsuz drenajsız (UU), konsolidasyonlu drenajsız (CU) ve konsolidasyonlu drenajlı (CD) koşullarında TUBİTAK (2016) tarafından yapılmıştır .

Çizelge 7.2 : Gürpınar Formasyonu'ndan alınan sondaj numuneleri üzerinde yapılan direkt kesme deney sonuçları (TÜBİTAK, 2016).

Sondaj No	Derinlik (m)	Konsolidasyonsuz Drenajsız (UU)		Konsolidasyonlu Drenajlı (CD)		Tekrarlı		Zemin Sınıfı (USCS)	Model No Bölge
		c (kPa)	ϕ (°)	c' (kPa)	ϕ' (°)	c _r (kPa)	ϕ_r (°)		
D06	23.6-24.0					0	10	CH	1 Kemerderge
D13	15.0-15.4	36	18					CI	
D15	5.5-5.9	0	38					CH	
D16	28.6-28.8			60	18			CH	
D17	11.6-12.0					0	11	CH	2
D42	11.7-12.0					15	10	CH	Çukurlar
D43	19.0-19.2	13	29					CH	
D62	25.0-25.45	48	18					CH	
D63	8.74-9.0			20	23			CH	3 Pınartepe
D03	10.0-10.5	60	14					CI	4 Pekmez
D04	13.0-13.4	39	17					CH	
D32	8.0-8.3	32	20					CH	5
D34	29.6-29.85			75	27			MH-CH	Gölyaka
D40	23.6-24.0					0	9	CH	6 Fener
D68	19.1-19.5	39	22					CH	

İnceleme alanında Gürpınar formasyonunda yapılan araştırma sondajlarından alınan numunelerin üzerinde yapılan direkt kesme deneyleri; alındıkları sondaj no, derinlik değerleri deney türü, zemin sınıfı ve sayısal analiz modelinde karşılık gelen model no. ile model adını içerecek şekilde Çizelge 7.2 ile sunulmuştur. Kesme mukavemetinin derinliğe bağlı değişiminin belirlenmesi amacı ile yapılan direkt kesme deneyleri; konsolidasyonsuz drenajsız (UU), konsolidasyonlu drenajlı (CD) ve tekrarlı koşullarda TÜBİTAK (2016) tarafından yapılmıştır .

Çizelge 7.3 : Gölyaka lokasyonunda yapılan sondajlar ve alınan örnekler üzerinde yapılan kesme deneyi sonuçları (Mavi Girişim, 2020).

Model No	Numune		γ_n (kN/m ³)	Direkt Kesme Kutusu		Tekrarlı Direkt Kesme Kutusu		Lito- loji	Model Katmanı
	Son- daj No	Derin- lik (m)		c' (kPa)	ϕ' (°)	c_r (kPa)	ϕ_r (°)		
5 Gölyaka	SK-1	9.00	19.09	27.00	24.00	0.00	25.00	Kil Siltli Kil	Gülpınar
		16.50	18.19	65.00	31.00	44.00	22.00	Kum	
	SK-2	4.50	18.94	21.00	22.00	22.00	6.00	Kil Siltli Kil	
		12.00	17.11	133.00	12.00				
	SK-3	4.50	18.16	29.00	30.00	25.00	14.00	Kil	
		9.00	19.53						
	SK-4	4.50	17.03	9.00	22.00	3.00	10.00	Kil Siltli Kil	
		10.50	17.02	0.00	24.00				
		23.00	15.61	167.00	11.00	2.00	8.00	Kil	
	SK-5	10.50	18.81	27.00	32.00	9.00	18.00	Killi Kum Kil Siltli Kil	
		15.00	17.96	79.00	20.00				
		30.00	16.77	49.00	12.00				
	SK-6	4.50	18.94	24.00	24.00	6.00	8.00	Kil	Güngören
		10.50	17.92	2.00	22.00	27.00	5.00		
		30.00	16.86	0.00	22.00			Kil Siltli Kil	
	SK-7	4.50	19.90	43.00	32.00	33.00	9.00	Kil	
		12.00	18.79	55.00	23.00	0.00	23.00	Kil- Siltli Kil	
		30.00	18.37	0.00	29.00				
	SK-8	6.00	18.86	0.00	46.00	2.00	11.00	Kil	
		16.50	19.74	60.00	23.00			Kil	
		30.00	13.97	115.00	20.00			Kil Siltli Kil	
	SK-9	6.00	18.30	40.00	15.00	27.00	4.00	Kil	
		15.00	19.32	0.00	31.00	35.00	7.00	Kil	
	SK-10	25.50						Kil Siltli Kil	Gülpınar
		4.50	17.16	27.00	14.00	7.00	11.00	Kil	Güngören

Çizelge 7.3 (devam) : Gölyaka bölgesinde yapılan sondajlar ve alınan örnekler üzerinde yapılan kesme deneyi sonuçları (Mavi Girişim, 2020).

Model No	Numune		γ_n (kN/m ³)	Direkt Kesme Kutusu		Tekrarlı Direkt Kesme Kutusu		Litoloji	Model Katmanı
	Sondaj No	Derinlik (m)		c' (kPa)	ϕ' (°)	c _r (kPa)	ϕ_r (°)		
5 Gölyaka	SK-10	9.00	19.05		19.00			Kumtaşı	Gürpınar
		37.00							
	SK-11	12.00	14.59	0.00	25.00		20.00	Kil	Güngören
		18.50	18.06	98.00	8.00				
		9.00	15.55	118.00	4.00		10.00	Kil	
	SK-12	9.00	15.55	118.00	4.00		10.00	Siltli Kil	Gürpınar
		16.50	17.63	198.00	12.00				
	SK-13	6.00	20.48	56.00	22.00	19.00	18.00	Kil	
		4.00	16.80	27.00	17.00	20.00	8.00	Kil-Siltli Kil	Güngören
	SK-14	13.50	16.90	0.00	18.00	10.00	8.00	Kil	
		32.00		24.00	32.00			Killi Kum	Gürpınar
	SK-15	4.50	19.82	42.00	15.00	9.00	14.00	Kil	Güngören
		26.00	20.46	58.00	23.00			Siltli Kil	Gürpınar
		4.50	19.32	49.00	28.00			Kil	Güngören
		15.00		7.00	14.00	5.00	6.00	Kil	
	SK-16	30.00	19.69	93.00	17.00			Kil-Siltli Kil	Gürpınar
		4.50	18.97	98.00	7.00	38.00	3.00	Kil	
	SK-17	10.50	17.37	17.00	23.00			Killi Kum	Güngören
		43.00		19.00	40.00			Ç. Killi Kum	Çukurçeşme
		4.50	19.41	0.00	36.00			Kil	
	SK-18	16.50	17.22	132.00	8.00			Kil-Siltli Kil	Güngören
		27.00	19.27	0.00	30.00			Killi Kum	
		9.00	18.12	80.00	29.00			Ç. Kum-K.Çakıl	Çukurçeşme
	SK-19	13.50	15.44	46.00	16.00			Killi Kum	
		6.00	19.25	49.00	23.00	6.00	8.00	Kil	Gürpınar
	SK-20	12.00	19.43	264.00	4.00			Kil-Siltli Kil	
	SK-21	16.00	17.47	0.00	30.00			K.Kum-K. Kil	Çukurçeşme
		24.00	16.24	0.00	22.00	7.00	15.00	Kil	Gürpınar
		8.00	17.34	28.00	16.00				
	SK-22	15.00	20.11	2.00	28.00	0.00	27.00	Killi Kum	Güngören
		22.00	17.23	36.00	14.00			Kil	

Çizelge 7.3 (devam) : Gölyaka bölgesinde yapılan sondajlar ve alınan örnekler üzerinde yapılan kesme deneyi sonuçları (Mavi Girişim, 2020).

Model No	Numune		γ_n (kN/m ³)	Direkt Kesme Kutusu		Tekrarlı Direkt Kesme Kutusu		Litoloji	Model Katmanı
	Sondaj No	Derinlik (m)		c' (kPa)	ϕ' (°)	c _r (kPa)	ϕ_r (°)		
5 Gölyaka	SK-24	18.00	17.27	167.00	11.00	67.00	3.00	Siltli Kil	Gürpınar
		4.50	18.40	34.00	29.00				
		14.00	17.35	210.00	15.00				
		22.50	17.76	148.00	10.00				
	SK-25	13.50		49.00	10.00				Çukurçeşme Gürpınar
		21.00	17.50	208.00	9.00				
		27.00	17.52	0.00	18.00				
	SK-27	4.00	17.95	57.00	16.00	6.00	8.00	Killi Kum	
		12.00	17.04	17.00	29.00				
	SK-28	4.5	19.40	17.00	14.00	16.00	10.00	Kil	Güngören
		15.00	18.07	14.00	12.00				

Çizelge 7.3' de Gölyaka lokasyonunda yapılan sondajlar ve alınan örnekler üzerinde Mavi Girişim (2020) tarafından yapılan kesme deneyleri; sondaj no, derinlik, direkt kesme kutusu ve tekrarlı kesme kutusu deney koşullarının sonuçları olarak verilmiştir.

Çizelge 7.4 : Fener bölgesinde yapılan sondajlar ve alınan örnekler üzerinde yapılan kesme deneyi sonuçları (Esay, 2018).

Model No	Numune		γ_n (kN/m ³)	Direkt Kesme Kutusu		Tekrarlı Direkt Kesme Kutusu		Litoloji	Model Katmanı
	Sondaj No	Derinlik (m)		c' (kPa)	ϕ' (°)	c _r (kPa)	ϕ_r (°)		
6 Fener	SK-1	6.00	16.82	27.00	6.00	12.00	4.00	Kil	Güngören
		9.00	16.12	1.00	29.00			Kum	
		15.00	15.64	56.00	2.00			Kil	
		16.00	17.95						
		33.00	17.89						
	SK-2	4.00	16.94	16.00	17.00	9.00	10.00	Silt	Çukurçeşme
		8.50	18.74	0.00	35.00			Kum	
		20.50	19.26	98.00	17.00			Kil	
	SK-3	12.00	17.79	9.00	39.00	13.00	5.00	Kumlu Çakıl	Yamaç Molozu
		18.00	19.35	61.00	12.00			Kil	
		5.00	19.47	97.00	39.00			Kumlu Çakıl	
	SK-4	15.00	16.59	0.00	38.00	58.00	8.00	Kum	Gürpınar
		13.00	17.82	133.00	13.00			Killi Kum	
		23.00	19.48	85.00	13.00			Çakıllı Kum	
	SK-5	19.50	22.39	44.00	42.00	9.00	9.00	Kil	Çukurçeşme
		4.50	17.08	3.00	25.00			Killi Kum	
		14.00	18.37	10.00	31.00			Kil	
	SK-6	7.00	18.44	85.00	12.00	48.00	3.00	Kil	Güngören
		17.00	15.07	67.00	5.00				
		3.00	17.30	36.00	15.00				
	SK-7	13.00		22.00	24.00	25.00	10.00		

Çizelge 7.4 (devam) : Fener bölgesinde yapılan sondajlar ve alınan örnekler üzerinde yapılan kesme deneyi sonuçları (Esay, 2018).

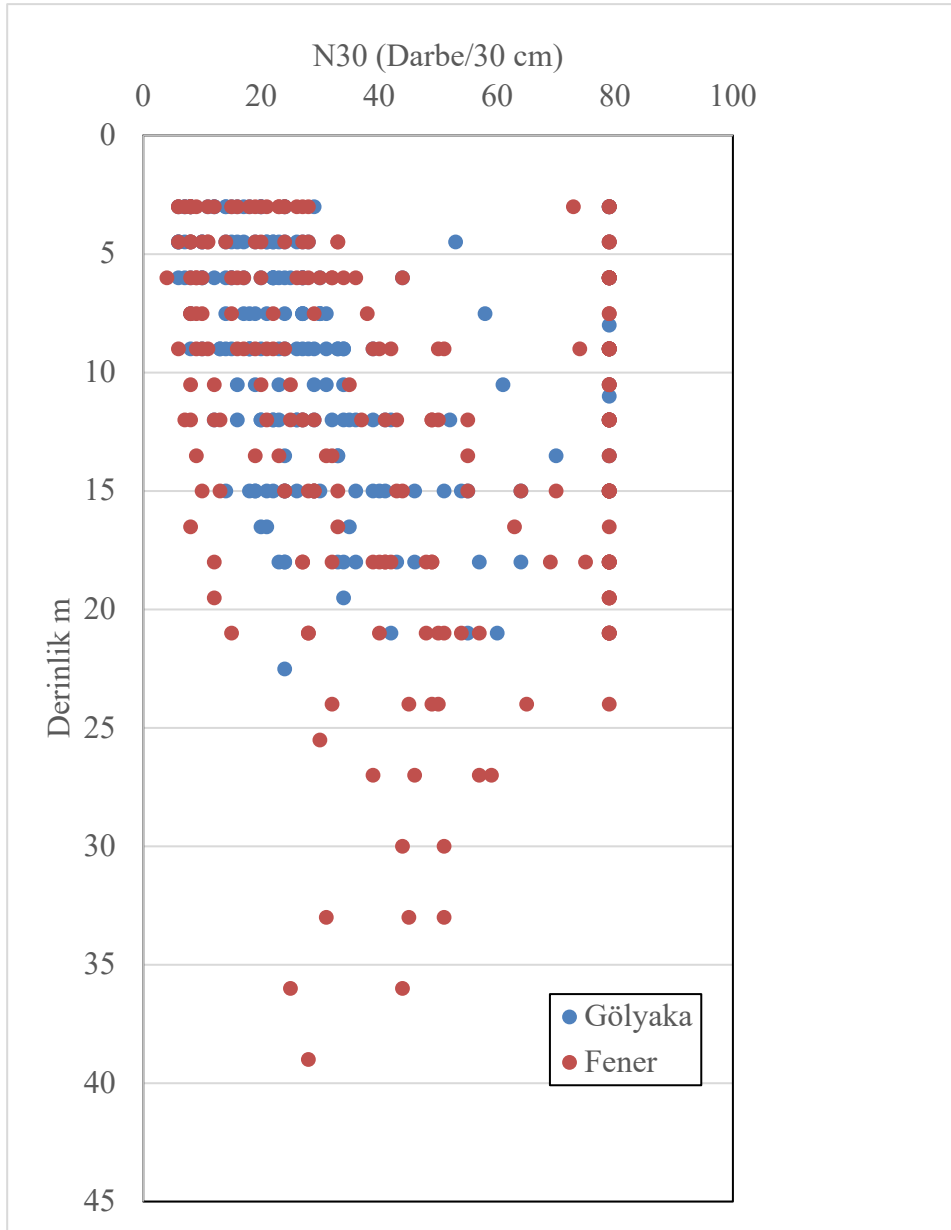
Model No	Numune		γ_n (kN/m ³)	Direkt Kesme Kutusu		Tekrarlı Direkt Kesme Kutusu		Litoloji	Model Katmanı
	Sondaj No	Derinlik (m)		c' (kPa)	ϕ' (°)	c _r (kPa)	ϕ_r (°)		
6 Fener		16.50		105.00	16.00			Siltli Kil	
	SK-10	4.50	17.13	40.00	19.00	12.00	6.00	Killi Kum	
		30.00	18.16	12.00	29.00				
	SK-11	5.50	16.81	58.00	12.00	25.00	11.00		Yamaç Molozu
		8.00	17.06	45.00	15.00			Kum	
	SK-12	15.00	17.42	45.00	14.00	14.00	6.00		
		8.50	17.62	16.00	16.00	0.00	12.00	Kil	Gürpınar
	SK-13	13.50	15.60	120.00	8.00				
		17.50	17.29	31.00	7.00				
	SK-14	9.00	20.59						Yamaç Molozu
		19.50	16.50	40.00	11.00	8.00	6.00		
	SK-15	22.50	18.56	0.00	41.00			Killi Kum	Gürpınar
		11.00	15.39	37.00	11.00	0.00	11.00		Yamaç Molozu
	SK-16	18.00	19.17	63.00	13.00			Siltli Kil	Gürpınar
		7.00	18.99	55.00	4.00	33.00	7.00	Kil	Alüvyon
	SK-17	10.50							
		12.00	18.40	13.00	44.00	6.00	37.00	Killi Kum	Gürpınar
	SK-18	13.00		13.00	33.00				
		18.00	18.00	49.00	10.00				
	SK-19	9.00	17.31	55.00	10.00	7.00	4.00	Kil	Alüvyon Güngören
		6.00	20.18	58.00	17.00			Killi Çakıl	Çukurçeşme
	SK-20							Kumlu Kil	
		18.00	16.94	83.00	16.00				Gürpınar
	SK-21	4.00	17.16	51.00	13.00	26.00	15.00	Kum	
		13.00	16.80	12.00	33.00			Siltli Kil	
	SK-22	5.50	17.45	16.00	17.00	14.00	7.00		Güngören
		14.50	18.46	80.00	8.00			Kil	
	SK-23	24.00	19.01						
		1.50	18.94	142.00	33.00			Çakıllı Kum	Çukurçeşme
	SK-24	4.00	17.32	17.00	28.00			Siltli Kil	Gürpınar
		14.00	16.58	7.00	20.00				
	SK-25	4.00	22.48	34.00	23.00	22.00	17.00	Kil	
		4.00	17.34	43.00	12.00	1.00	17.00	Siltli Kil	Güngören
		12.00							

Çizelge 7.4 (devam) : Fener bölgesinde yapılan sondajlar ve alınan örnekler üzerinde yapılan kesme deneyi sonuçları (Esay, 2018).

Model No	Numune		γ_n (kN/m ³)	Direkt Kesme Kutusu		Tekrarlı Direkt Kesme Kutusu		Litoloji	Model Katmanı
	Sondaj No	Derinlik (m)		c' (kPa)	ϕ' (°)	c_r (kPa)	ϕ_r (°)		
6 Fener	SK-26	13.50	17.57	114.00	9.00	25.00	8.00	Kum Kil	Yamaç Molozu Gürpınar
		12.50	18.58	46.00	17.00				
		26.00		0.00	37.00	0.00	22.00		
	SK-27	4.00	16.70	22.00	9.00	13.00	4.00	Kil	Güngören
		8.50	17.33	8.00	15.00	2.00	8.00		
		25.00	18.52	82.00	14.00				
	SK-28	29.00	22.17	45.00	14.00	49.00	12.00	Siltli Kil	Çukurçeşme
		22.00	18.51						
	SK-30							Killi Kum	Gürpınar
		4.00	17.42	0.00	41.00				

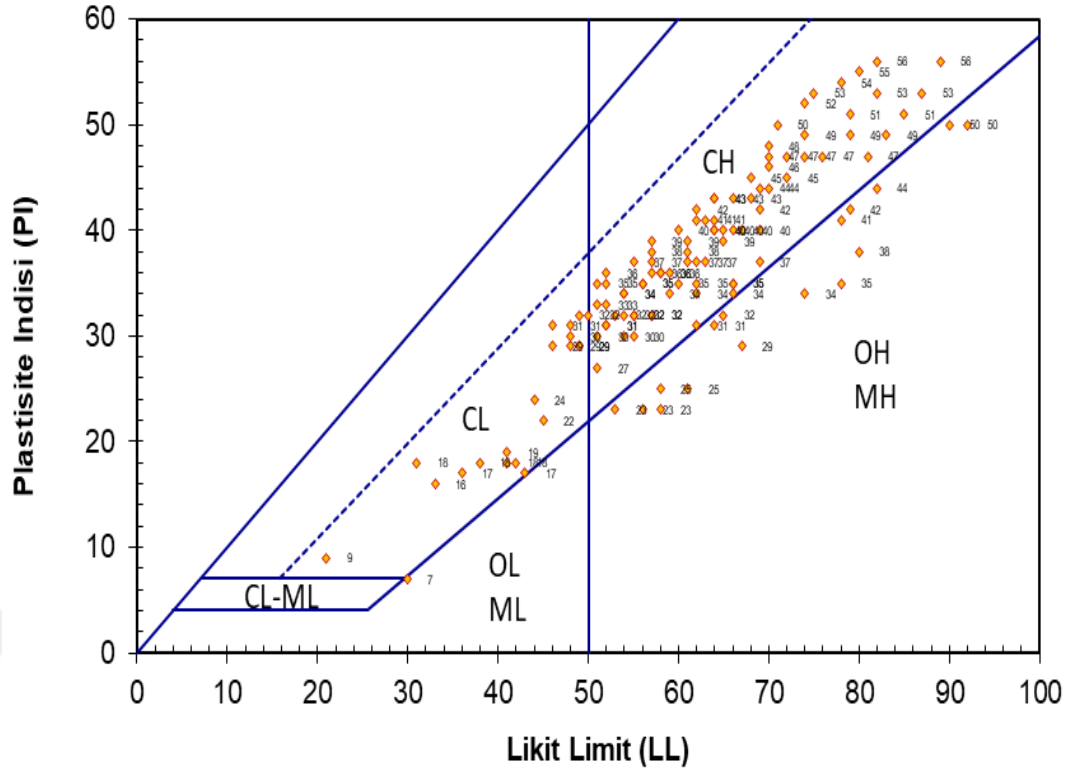
Çizelge 7.4 ile Fener bölgesinde yapılan araştırma sondajları ve alınan örnekler üzerinde Esay (2018) tarafından yapılan direkt ve tekrarlı kesme deneyleri sonuçları sunulmuştur.

İri ve ince taneli ayrık kayaların deformasyon modülü (E_d) ve içsel sürtünme açısı değerleri SPT-N değerlerinden hareketle belirlenmiştir (Terzaghi & Peck, 1974 ve Bowles, 1996). Gürpınar Formasyonu'nun üyesi Çantaköy Tüfü için model parametreleri karot örnekleri üzerinde gerçekleştirilen deney sonuçlarından hareketle seçilmiştir. Sondajlarda tespit edilen model katmanları ve bu katmanlara karşılık gelen doruk (ϕ_p , c_p) ve artık (ϕ_r , c_r) kesme mukavemeti parametreleri deney verilerinin istatistiksel değerlendirmesinden elde edilmiştir.



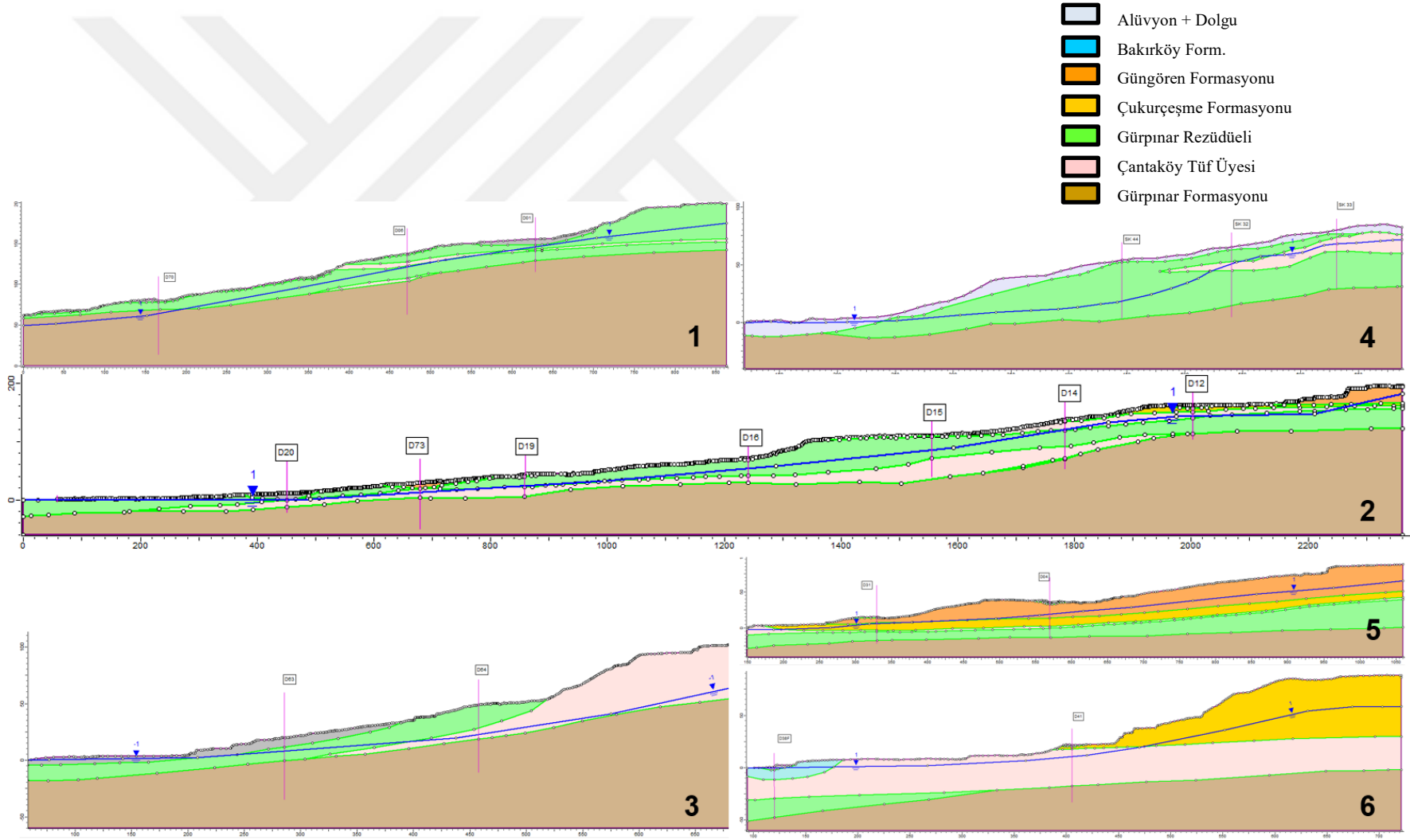
Şekil 7.3 : Gölyaka ve Fener bölgelerine ait SPT N_{30} değerlerinin derinlik ile dağılımları.

Gölyaka ve Fener bölgelerine ait araştırma sondajlarında yapılan SPT deneylerine ait N_{30} değerlerinin derinliğin fonksiyonu olarak dağılımları kıyaslamalı olarak Şekil 7.3 ile sunulmuştur.



Şekil 7.4 : Gürpınar formasyonu plastisite kartı.

Hesap modellerine ait Gürpınar formasyonunda yapılan zemin sınıflandırmaya yönelik kıvam limitlerinin belirlenmesine yönelik deneylerin sonuçları Şekil 7.4 ile sunulmuştur. Buna göre Gürpınar formasyonuna ait kil seviyelerinin CH (Yüksek plastisiteli inorganik kil) zemin sınıfında yoğunlaştığı görülmektedir. Şekil 7.5 ve Çizelge 7.5 ile de sunulan sayısal hesaplar için tasarlanan model kesitlerinde ve modellere ait jeomekanik parametrelerden de anlaşılabileceği gibi Gürpınar formasyonu hakim model katmanı durumundadır. Formasyona ait CH sınıfı kil seviyeleri de hareketin önemli bir etkeni olarak dikkat çekmektedir.



Şekil 7.5 : Sayısal analizlerde kullanılan ve altı farklı bölgeye karşılık gelen iki boyutlu numaralandırılmış mühendislik jeolojisi modelleri ve yararlanılan sondaj noktaları.

Çizelge 7.5 : Sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan analizlere ait sayısal kesit model katmanları için seçilen jeomekanik parametreler.

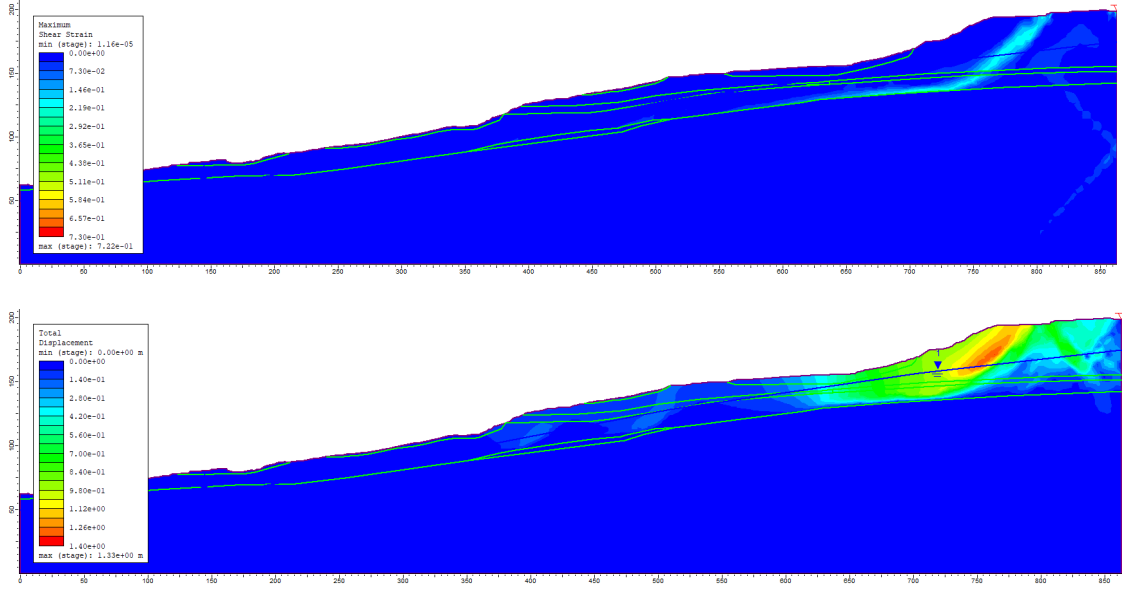
Model No	Lokasyon Adı	Model Katmanları	Jeoteknik Parametreler							Referans Veri
			γ_n (kN/m ³)	ϕ_p (°)	ϕ_r (°)	c_p (kPa)	c_r (kPa)	E_d (kPa)	ν	
1	Kemerdere	Dolgu	17	15	12	15	10	800	0.35	TUBİTAK, 2016
		Çantaköy Tüfü	18	40	35	400	30	30000	0.25	
		Gürpınar Rezidüel	18.3	13	10	35	20	8000	0.35	
		Gürpınar Form.	20	28	24	200	100	35000	0.27	
		Dolgu	17	13	12	100	10	5000	0.35	
2	Çukurlar	Bakırcıköy Form.	21	35	25	300	75	40000	0.25	TUBİTAK, 2016
		Güngören Form.	18.1	18.7	9.8	38.3	18.6	8700	0.33	
		Çukurçeşme Form.	18	25	19	150	100	20000	0.30	
		Gürpınar Kum	18	25	19	150	100	20000	0.30	
		Gürpınar Rezidüel	19	13	10	35	20	8000	0.35	
		Çantaköy Tüfü	18	40	35	400	30	30000	0.25	
		Gürpınar Form.	20	28	24	400	200	35000	0.27	
3	Pınartepe	Dolgu	17	12	10	30	15	5000	0.35	GEOMEK, 2020
		Gürpınar Rezidüel	18.3	13	10	35	20	8000	0.35	
		Gürpınar Form.	20.0	22	13	300	100	20000	0.33	
4	Pekmez	Dolgu	17	12	10	30	15	5000	0.35	GEOMEK, 2020
		Gürpınar Rezidüel	18.3	13	10	35	20	8000	0.35	
		Gürpınar Form.	20.0	22	13	100	10	20000	0.33	
5	Gölyaka	Dolgu	17	12	10	30	15	3000	0.35	MAVİ GİRİŞİM, 2018 GEOMEK, 2020
		Güngören Form.	18.1	18.7	9.8	38.3	18.6	8700	0.33	
		Çukurçeşme Form.	18.3	30	23	6	0	16300	0.30	
		Gürpınar Rezidüel	18.3	13	10	35	20	8000	0.35	
		Çantaköy Tüfü	18	40	35	400	30	30000	0.25	
		Gürpınar Form.	18.37	24	12	243	24	20000	0.27	
		Dolgu	17	12	10	30	15	4800	0.35	
6	Fener	Güngören Form.	18.1	18.7	9.8	38.3	18.6	10200	0.33	ESAY MÜH., 2018
		Çukurçeşme Form.	18.3	30	23	6	0	23000	0.32	
		Gürpınar Rezidüel	18.3	13	10	35	20	8000	0.35	
		Çantaköy Form.	18.0	30	35	83	30	30000	0.25	
		Gürpınar Form.	18.37	24	12	243	24	13500	0.33	

7.3 Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Yapılan Duraylılık Analizleri

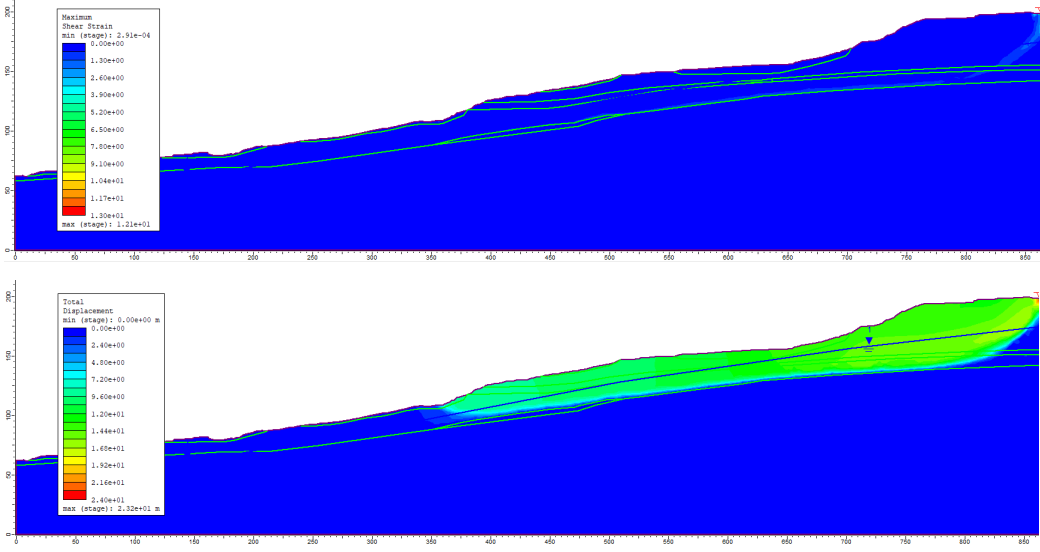
Analiz edilen 2-boyutlu modeller RS2 yazılımına (Rocscience, 2023) aktarılmıştır. Topografik kesit ve yeraltısuyu seviyeleri kullanılarak mühendislik jeolojisi modelleri kesit hattı üzerinde veya yakınındaki sondaj verilerinden yararlanılarak oluşturulmuştur. Tüm model katmanları için Mohr-Coulomb yenilme kriteri kullanılmıştır. Analizler statik ve dinamik durum için tekrarlanmıştır. Depremlilik durum için 17 Ağustos 1999 depreminde Avcılar'daki kayıt istasyonu verileri kullanılmıştır (Çelebi ve Diğ., 2000). Modellerin dış sınırı tabanda sabit tutulmuş ve her iki tarafta düşeyde harekete izin verilmiştir. FEM modellerinin ayrıklaştırılması için altı düğümlü üçgen üniform ağ seçilmiştir. Alan gerilmelerinin oranı (σ_h/σ_v) tüm durumlar için 1/3 olarak kabul edilmiştir. Aşağıda her bölgeyi temsil eden sayısal modellerin analiz sonuçları ayrı ayrı verilmiştir.

7.3.1 Kemerdere Yamacı (Model No 1)

1 Numaralı model kesit için depremsiz durumda elde edilen maksimum kesme deformasyonu ve toplam yerdeğıştirmeler Şekil 7.4'de, aynı büyüklükler depremlilik durum için ise Şekil 7.5 de sırayla gösterilmiştir. Bu şekillerden de görüleceğı gibi yamacın tepe kısmında maksimum 40-45 m'lik derinliğe ulaşan kısmının duraysız olduğu deprem durumunda yer yer 19 m ye ulaşan ötelenmelerin olabileceğı ortaya çıkmaktadır. Depremsiz durumda ise toplam yerdeğıştirme miktarı santimetreler mertebesinde dir. Her iki duruma karşılık gelen güvenlik sayısı (Kritik SRF) değ erleri sırasıyla 1.29 ve 0.53 olarak elde edilmiştir.

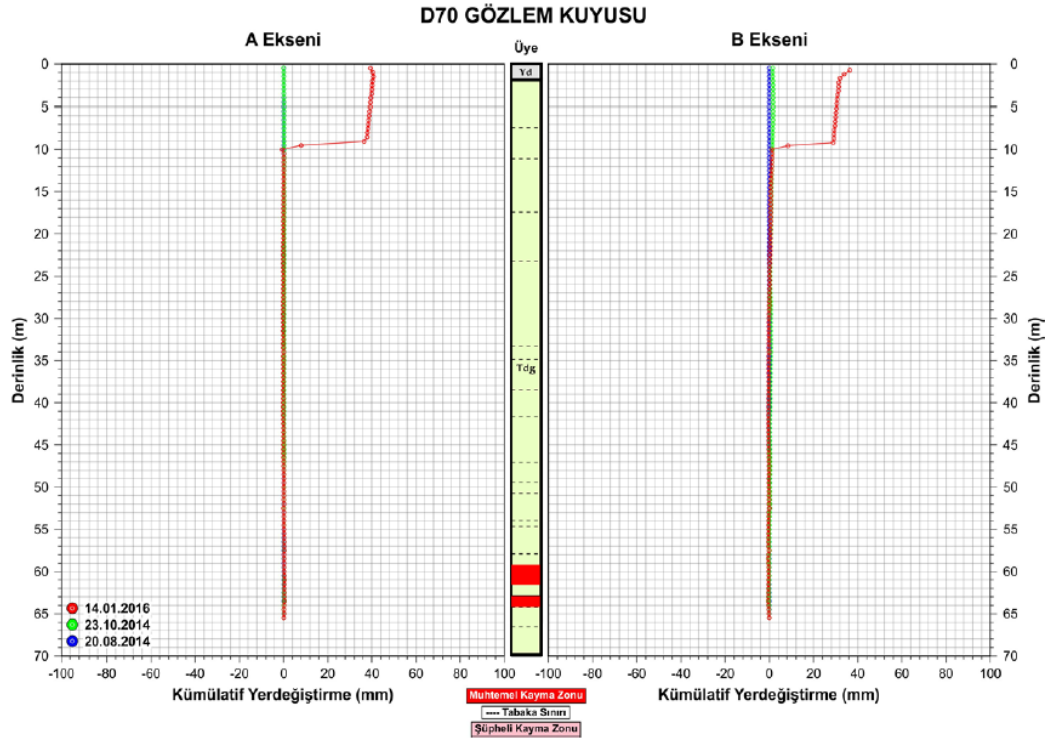


Şekil 7.6 : Kemerdere bölgesindeki yamacın depremsiz durumdaki FEM analizi sonuçları.



Şekil 7.7 : Kemerdere bölgesindeki yamacın depremlı durumdaki FEM analizi sonuçları.

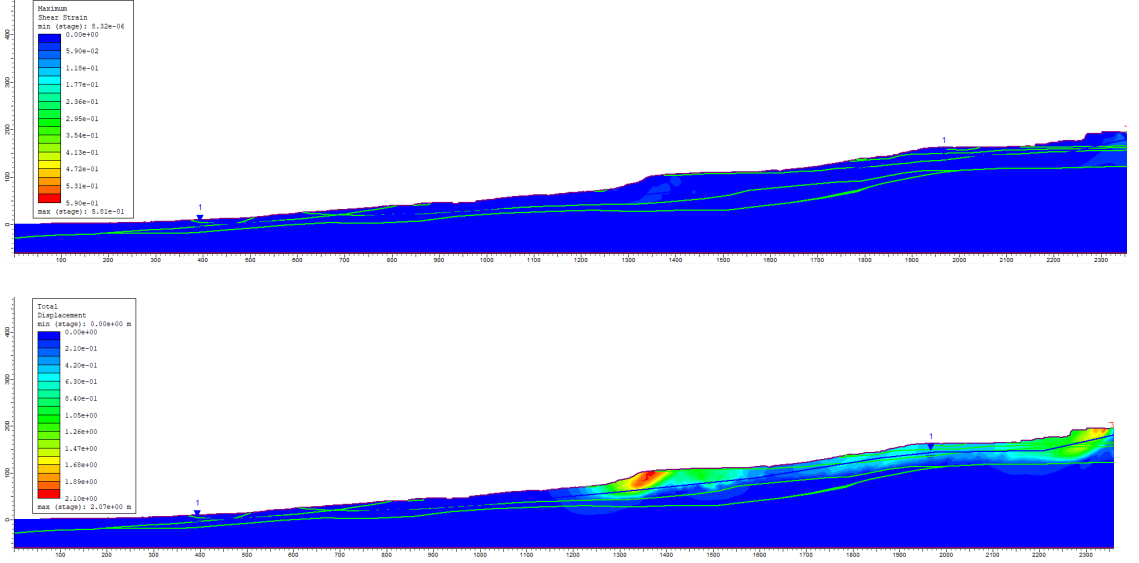
Kemerdere hesap modelinin kesit hattındaki D70 gözlem kuyusundan elde edilen inklinometre ölçüm sonuçları Şekil 7.6 – 7.7 ile sunulmuştur. Hareket miktarlarının ölçüm ve gözlemlerine yönelik bu izleme verilerinin elde edilen hesap sonuçları ile uyumlu olduğu görülmektedir (Şekil 7.8).



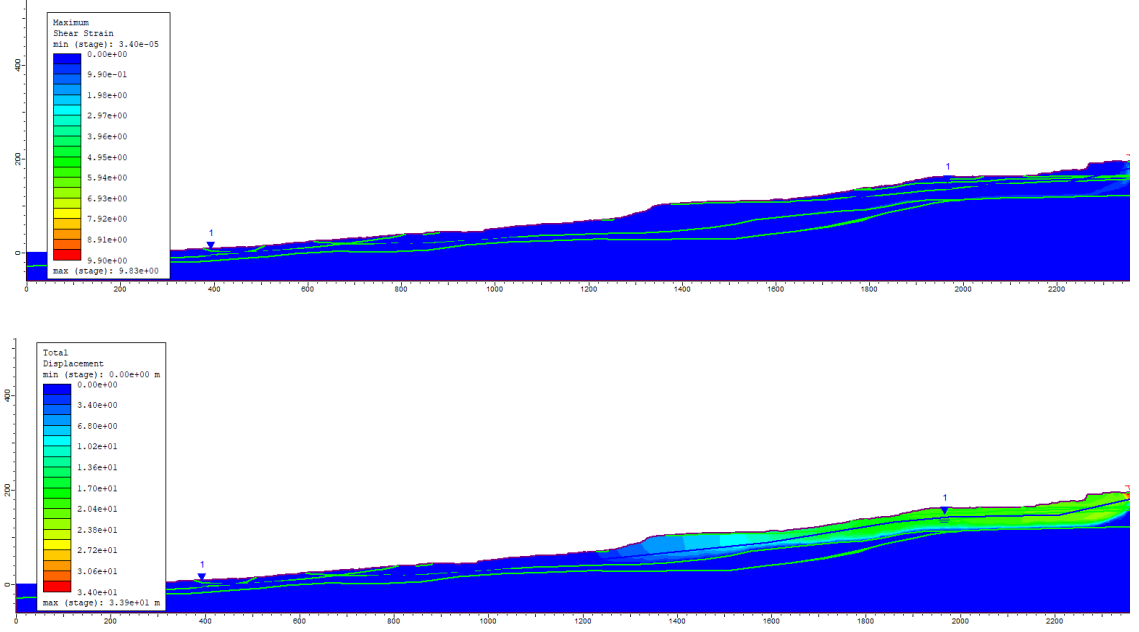
Şekil 7.8 : Kemerdere bölgesindeki hesap modelinden geçen inklinometre ölçümleri.

7.3.2 Çukurlar Yamacı (Model No 2)

FEM analizi sonuçları bu bölgede paleo heyelan çukurunun tepe kısmının hareketli diğer kesimlerinde ise yer yer ötelenmenin olabileceğini göstermektedir (Şekil 7.7). Ancak 17 Ağustos Gölçük Depremi ile aynı etkiye sahip olacak deprem durumunda yamacın önemli bir bölümünde hareketlenmenin olacağı görülmektedir (Şekil 7.8). Hareketli zonun kalınlığının 40 m'yi aşacağı, topuk bölgesine doğru yığılmanın olacağı aynı şekilden anlaşılmaktadır. Bölgedeki inklinometre ölçümleri FEM çözümünü destekler niteliktedir.

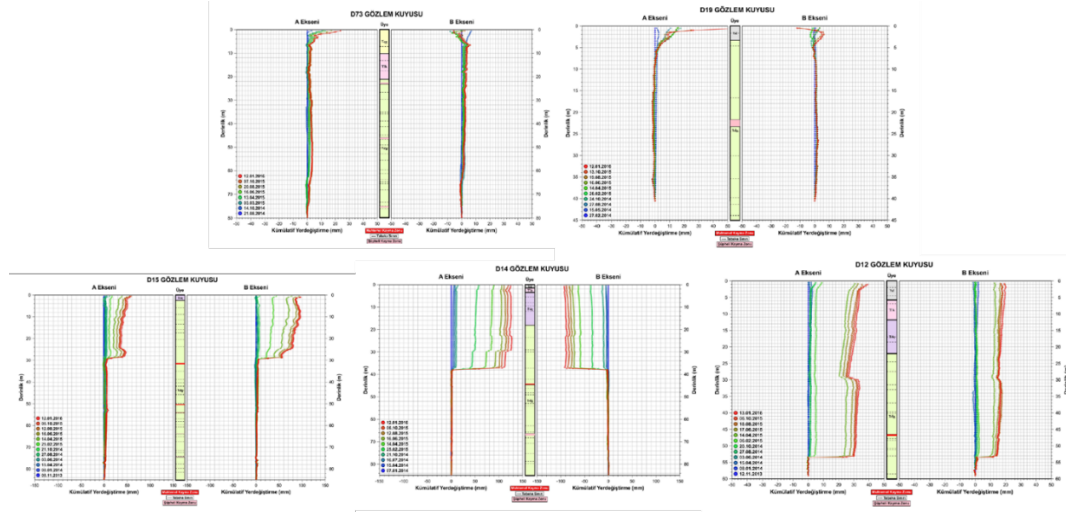


Şekil 7.9 : Çukurlar bölgesindeki yamacın depremsiz durumdaki FEM analizi sonuçları.



Şekil 7.10 : Çukurlar bölgesindeki yamacın depremlı durumdaki FEM analizi sonuçları.

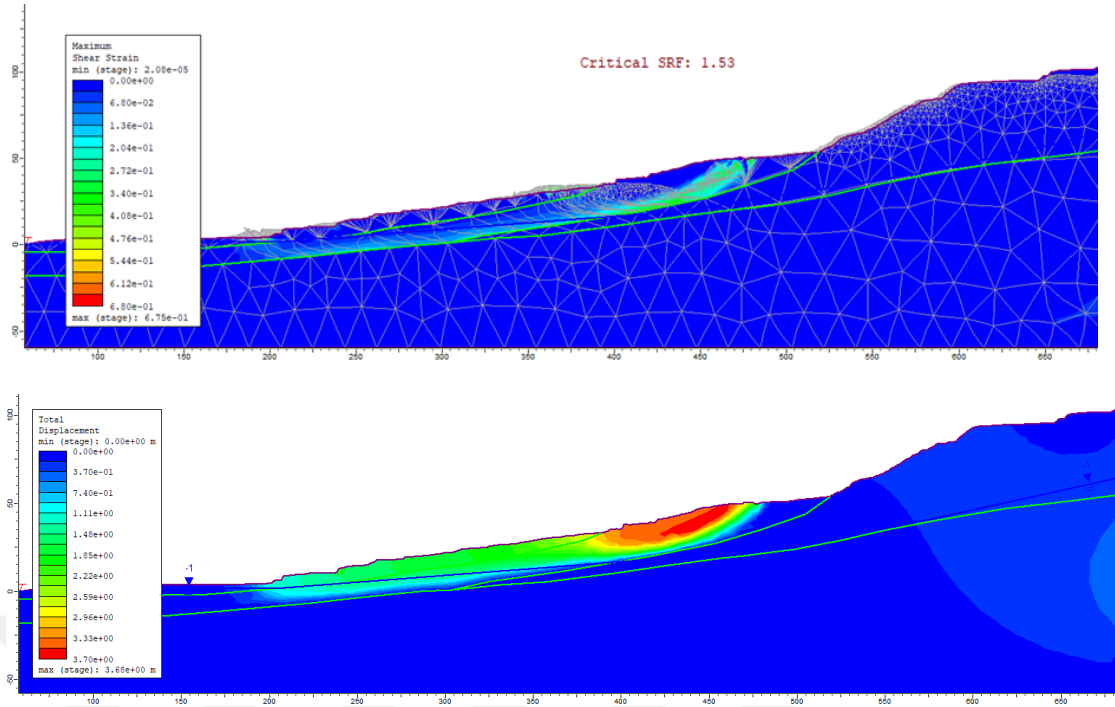
Çukurlar hesap modelinin kesit hattındaki gözlem kuyularından elde edilen inklinometre ölçüm sonuçları Şekil 7.9 – 7.10 ile sunulmuştur. Hareket miktarlarının ölçüm ve gözlemlerine yönelik bu izleme verilerinin elde edilen hesap sonuçları ile uyumlu olduğu görülmektedir (Şekil 7.11).



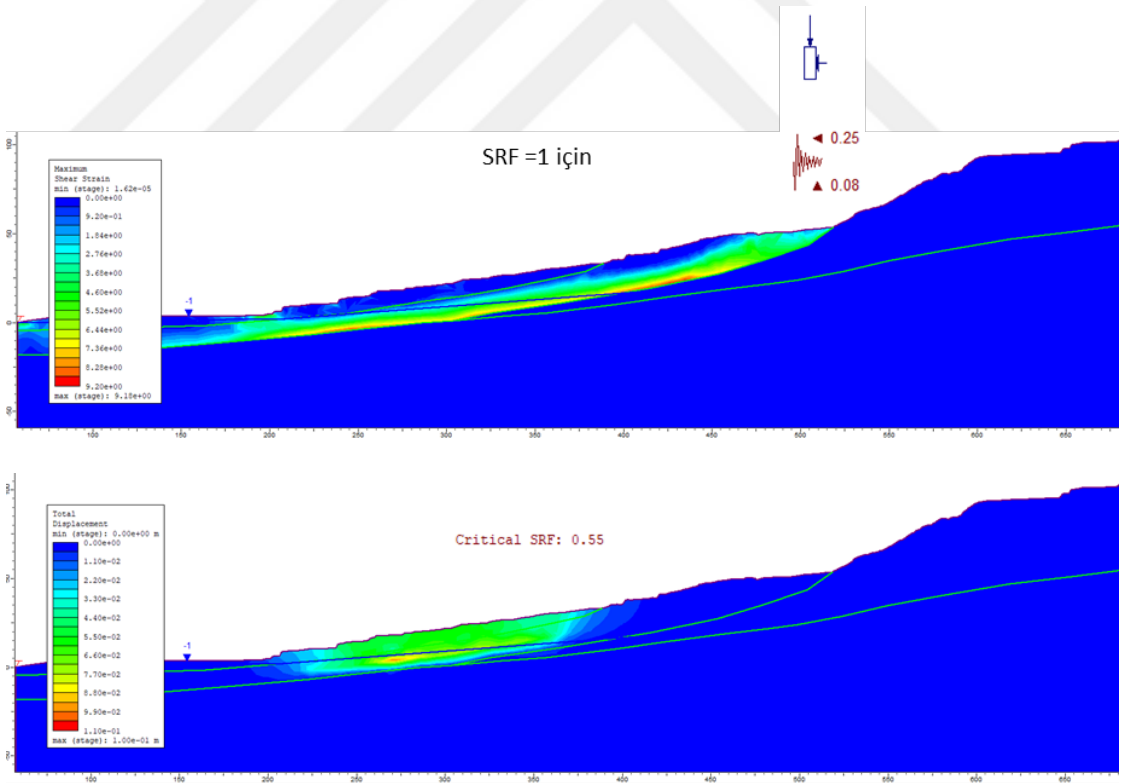
Şekil 7.11 : Çukurlar bölgesindeki hesap kesitinden geçen inklinometre okumaları.

7.3.3 Pınartepe Yamacı (Model No 3)

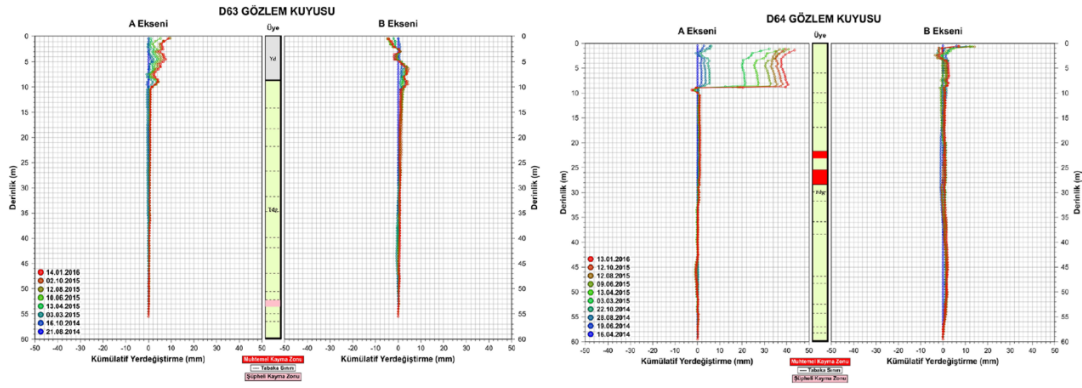
3 Numaralı model kesit için depremsiz durumda elde edilen maksimum kesme deformasyonu ve toplam yerdeğiştirmeler Şekil 7.10'da, aynı büyüklükler depremlı durum için ise Şekil 7.11 de sırayla gösterilmiştir. Bu şekillerden de görüleceği gibi yamaçta morfolojik anomali gösteren eski kopma bölgesi önündeki hareketten etkilenmiş kütlelerin Büyükçekmece Körfezi yönünde hareketine, çok düşük hızda olsa bile, devam ediyor olduğu anlaşılmaktadır. Bu bölgenin güneyinde bulunan Pekmez'deki inklinometre ölçümlerinde yıllık hareket miktarının yüzeyde 2 cm'yi aşmadığı belirlenmiştir (Çıkrıkçı vd., 2021). Derine doğru ise yıllık hareket miktarı giderek azalmaktadır. Diğer bir ifade ile sayısal analizden elde edilen durum izleme verileri ile uyumludur. Hesaplama sonucunda depremsiz durumda maksimum yerdeğiştirmenin 3.68 m yi aşmayacağı görülmüştür. Hareket miktarının ve yerdeğiştirme vektörü büyüklüğünün kopma bölgesinden itibaren topuk bölgesine ve derine (20-25 m) doğru azalmaktadır. Deprem durumunda $SRF = 1$ alındığında (Labil durum $GS = 1$) Çantaköy tüfleri ile Gürpınar formasyonunun rezidüel kısımlarının dokanağında maksimum kesme dayanımının aşıldığı görülmektedir. Sayısal analizden, depremlı ve depremsiz durumlara karşılık gelen güvenlik sayıları (Kritik SRF) sırasıyla 1.53 ve 0.55 olarak elde edilmiştir.



Şekil 7.12 : Pınartepe bölgesindeki yamacın depremsiz durumdaki FEM analizi sonuçları.



Şekil 7.13 : Pınartepe bölgesindeki yamacın depremlı durumdaki FEM analizi sonuçları.



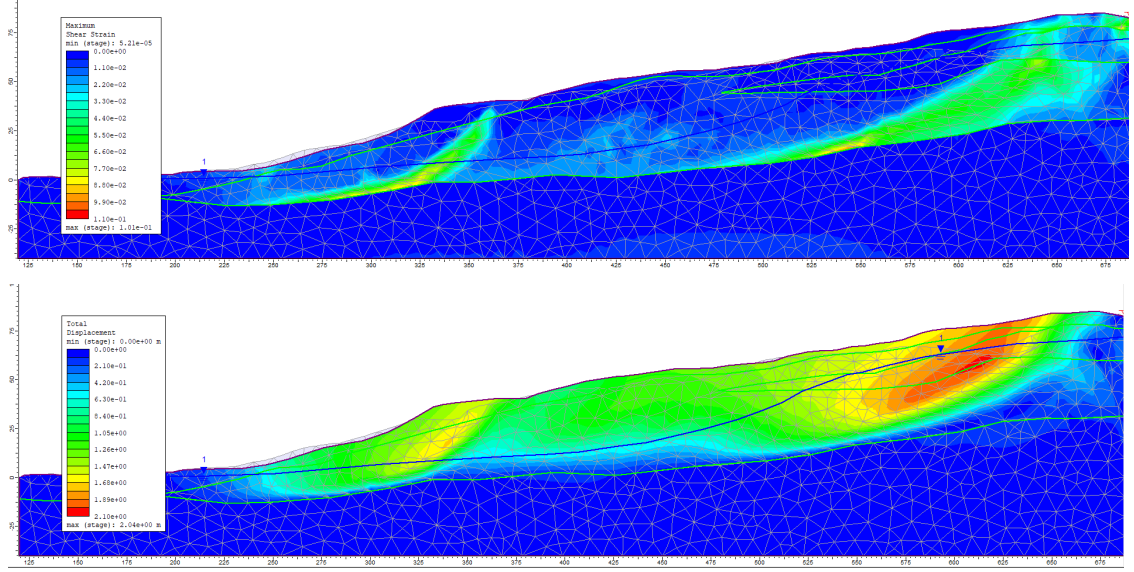
Şekil 7.14 : Pınartepe bölgesindeki hesap kesitinden geçen inklinometre sonuçları.

Pınartepe hesap modelinin kesit hattındaki D43 ve D64 gözlem kuyularından elde edilen inklinometre ölçüm sonuçları Şekil 7.14 ile sunulmuştur. Hareket miktarlarının ölçüm ve gözlemlerine yönelik bu izleme verilerinin elde edilen hesap sonuçları ile uyumlu olduğu görülmektedir (Şekil 7.12; Şekil 7.13).

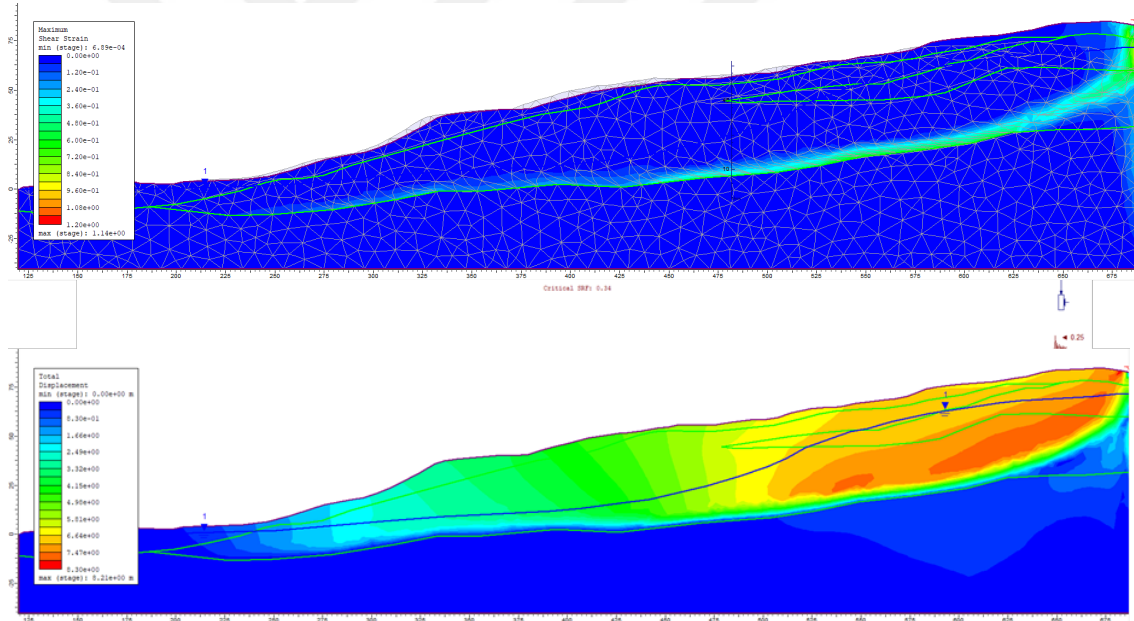
7.3.4 Pekmez Yamacı (Model No 4)

FEM analizi sonuçları bu bölgede yamacın tepe kısmından itibaren iki ayrı blok halinde yenilmelerin olacağını göstermektedir. Ayrıca, yamaç hareketinin Çantaköy tüfı ve Gürpınar rezidüeli model katmanları denetiminde olacağı görülmektedir (Şekil 7.15). 17 Ağustos Gölcük Depremi ile aynı etkiye sahip olan bir depremin olması durumunda yamacın önemli bir bölümünde hareketlenme belirgenleşmekte (Şekil 7.16) ve hareketli zonun kalınlığı yer yer 60 m'ye ulaşmaktadır.

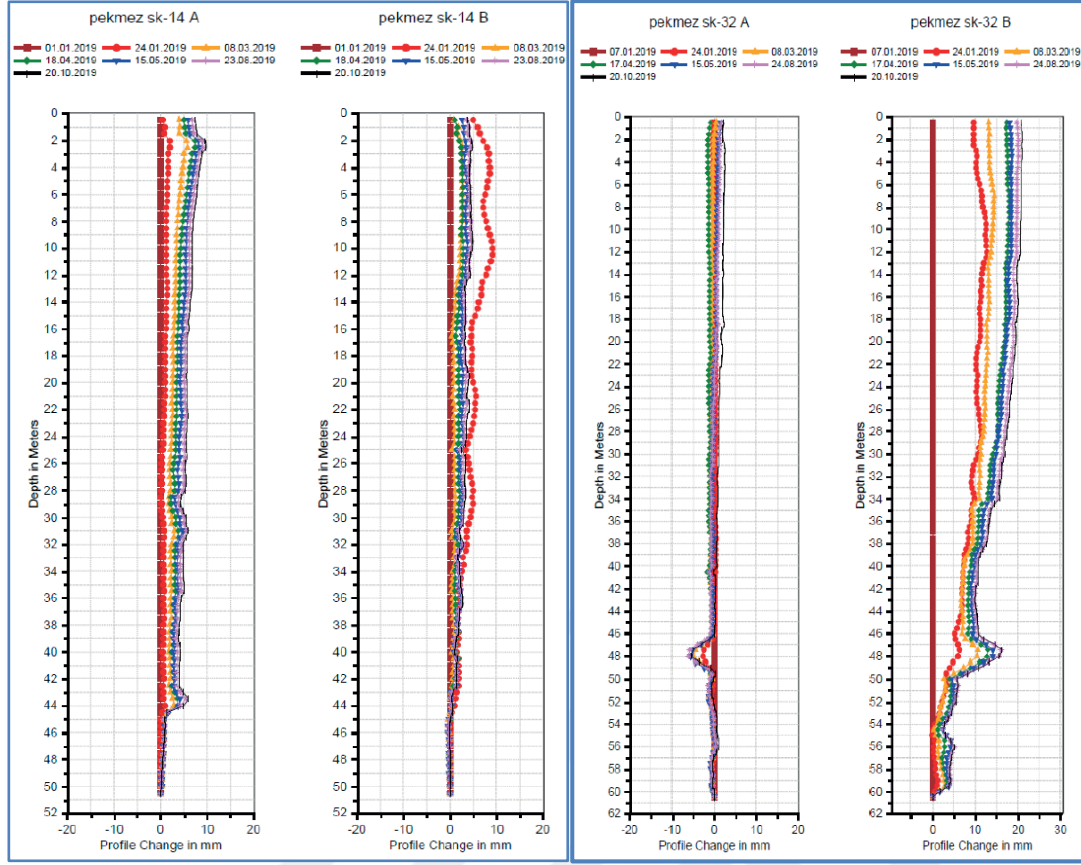
Model kesitin batı kesiminde hareketin miktarı derine doğru artmaktadır. Hareket türü rotasyoneldir. Bu kesite yakın inklinometre kuyularında ölçülen hareket miktarları FEM analizini destekler niteliktedir (Şekil 7.17'de SK-14 ve SK-32).



Şekil 7.15 : Pekmez bölgesindeki yamacın depremsiz durumdaki FEM analizi sonuçları.



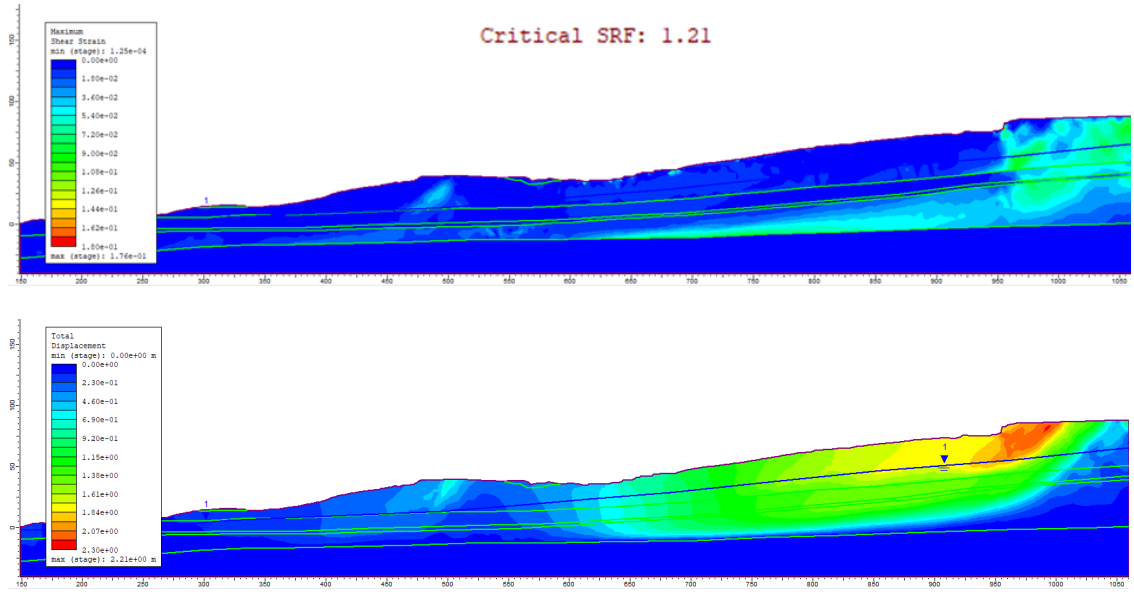
Şekil 7.16 : Pekmez bölgesindeki yamacın depremlı durumdaki FEM analizi sonuçları.



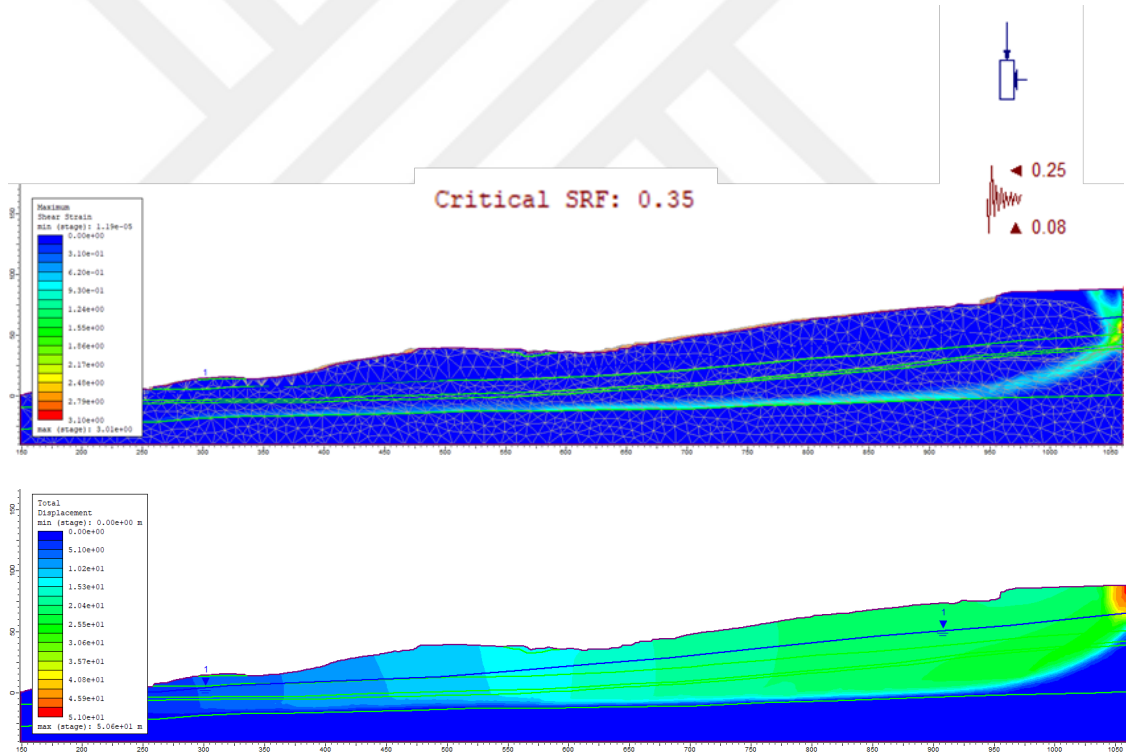
Şekil 7.17 : Pekmez bölgesinde analiz edilen model kesit hattına yakın inklinometre kuyularında zamana bağlı profil değişimleri (A+ güneyi, B+ yönü ise batıyı göstermektedir) (Geomek, 2020).

7.3.5 Gölyaka Yamacı (Model No 5)

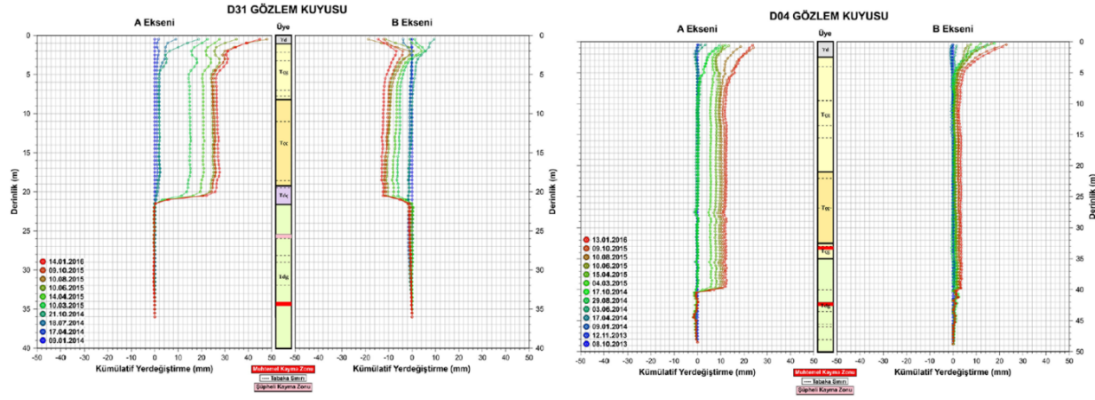
5 Numaralı model kesitin analiz sonucunda elde edilen maksimum kesme deformasyonu ve toplam yerdeğiştirme depremsiz durum için Şekil 7.18’ de, depremlilik durum için ise Şekil 7.19’ de sırayla gösterilmiştir. Bu şekillerden de görüleceği gibi yamacın tepe kısmında maksimum 70 m lik derinliğe ulaşan kısmının duraysız olduğu, deprem durumunda yer yer 50 m ye ulaşan ötelenmelerin olabileceği ortaya çıkmaktadır. Depremsiz durumda ise toplam yerdeğiştirme miktarı santimetreler mertebesinde. Depremsiz ve depremlilik durumlara karşılık gelen Kritik SRF değerleri sırasıyla 1.21 ve 0.35 olarak elde edilmiştir.



Şekil 7.18 : Gölyaka bölgesindeki yamacın depremsiz durumdaki FEM analizi sonuçları.



Şekil 7.19 : Gölyaka bölgesindeki yamacın depremlı durumdaki FEM analizi sonuçları.

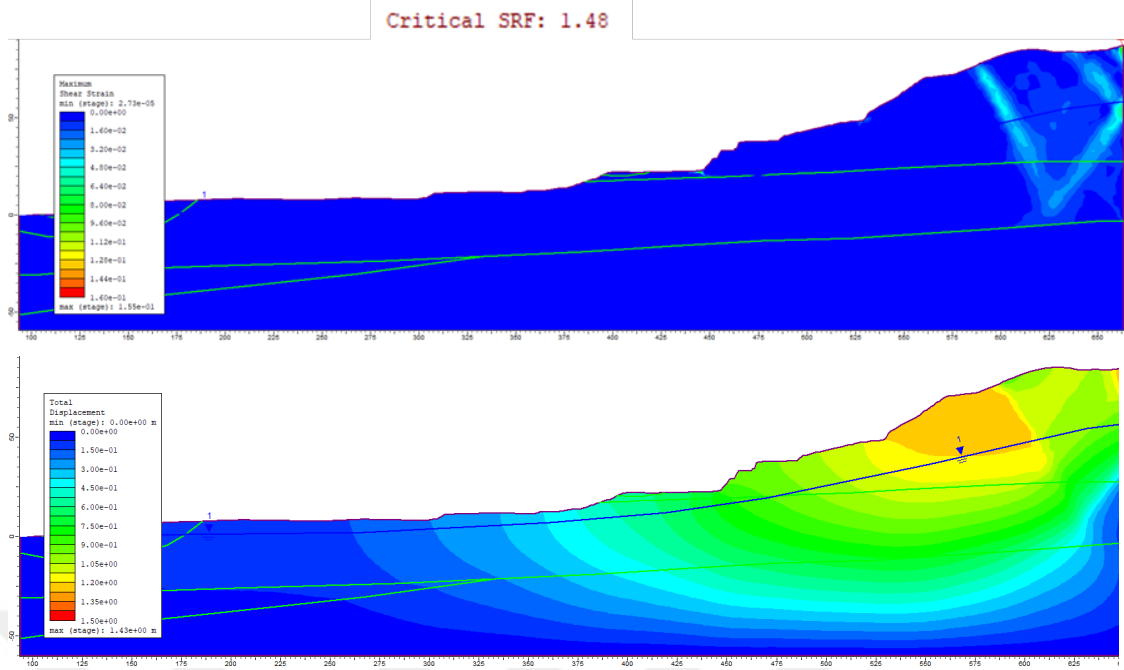


Şekil 7.20 : Gölyaka bölgesindeki hesap kesitinden geçen inklinometre okumaları.

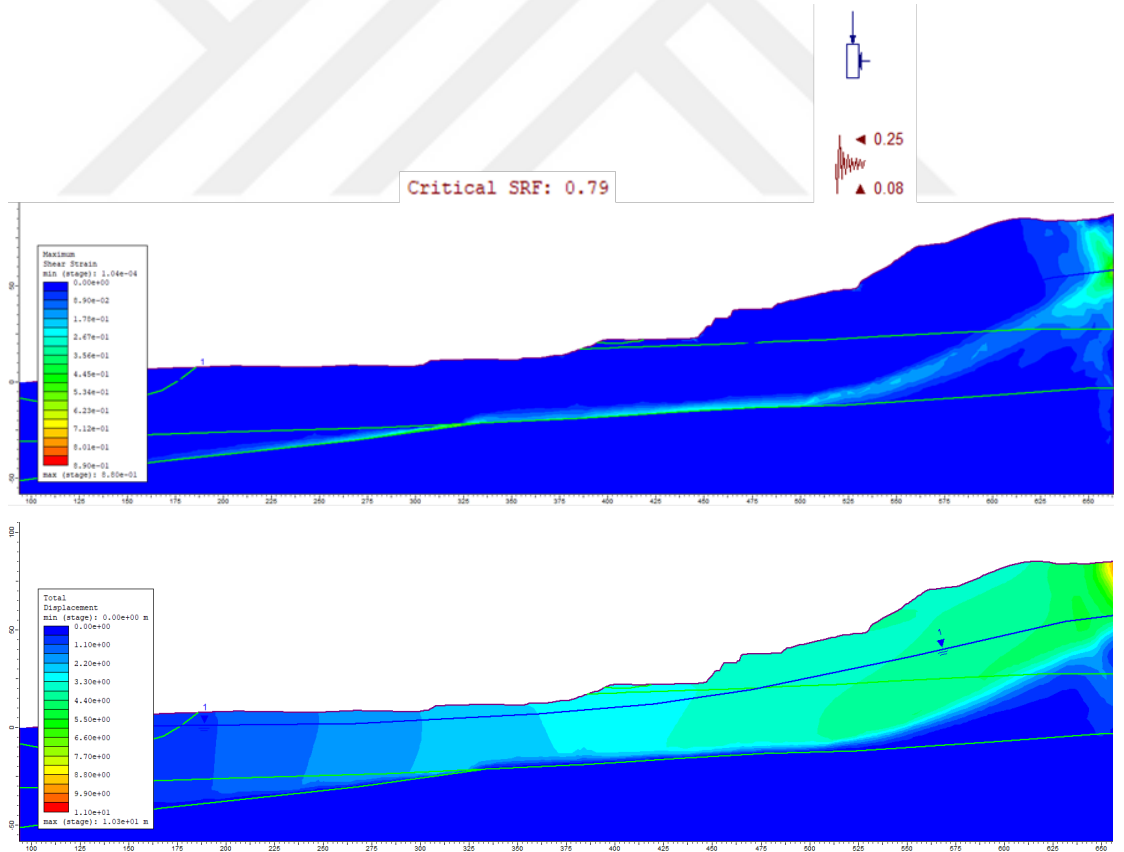
Gölyaka hesap modelinin kesit hattındaki D31 ve D04 gözlem kuyuslarından elde edilen inklinometre ölçüm sonuçları Şekil 7.20 ile sunulmuştur. Hareket miktarlarının ölçüm ve gözlemlerine yönelik bu izleme verilerinin elde edilen hesap sonuçları ile uyumlu olduğu görülmektedir.

7.3.6 Fener Yamacı (Model No 6)

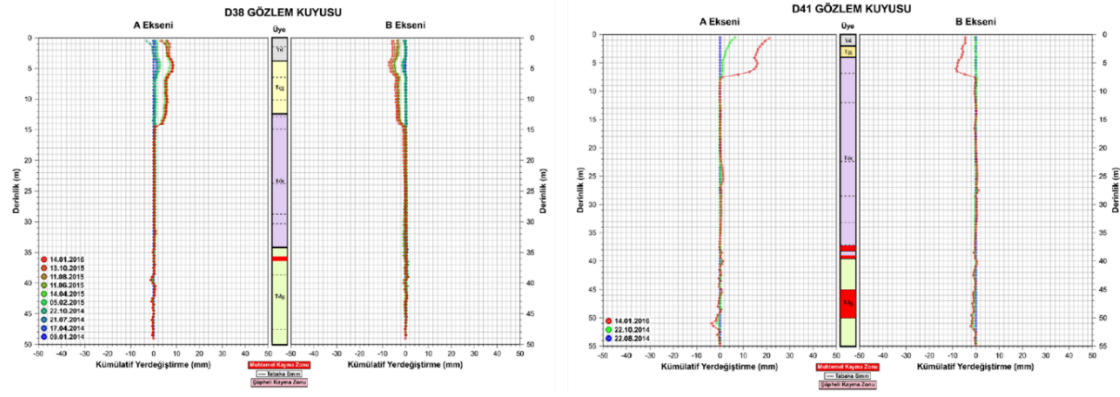
FEM analizi sonuçları bu bölgede yamacın tepe kısmından itibaren 125 m derinliğe ulaşan yaklaşık 1.4 m yerdeğiştirmelerin gelişebileceği bir hareket gözlenmektedir (Şekil 7.21). Ancak 17 Ağustos Gölçük Depremi ile aynı etkiye sahip olacak deprem durumunda yamacın önemli bir bölümünde hareketlenmenin olacağı görülmektedir (Şekil 7.22). Hareketli zonun kalınlığının 100 m'yi aşacağı aynı şekilde anlaşılmaktadır. Bölgedeki inklinometre ölçümleri FEM çözümünü destekler niteliktedir. Her iki duruma karşılık gelen güvenlik sayısı (Kritik SRF) değerleri sırasıyla 1.48 ve 0.79 olarak elde edilmiştir.



Şekil 7.21 : Fener bölgesindeki yamacın depremsiz durumdaki FEM analizi sonuçları.



Şekil 7.22 : Fener bölgesindeki yamacın depremlilik duruma karşılık gelen FEM analizi sonuçları.



Şekil 7.23 : Fener bölgesindeki hesap kesitinden geçen inklinometre sonuçları.

Fener hesap modelinin kesit hattındaki D38 ve D41 gözlem kuyularından elde edilen inklinometre ölçüm sonuçları Şekil 7.23 ile sunulmuştur. Hareket miktarlarının ölçüm ve gözlemlerine yönelik bu izleme verilerinin elde edilen hesap sonuçları ile uyumlu olduğu görülmektedir.

İnceleme alanındaki kütle hareketlerine duyarlı bölgelere ait hazırlanan mühendislik jeolojisi modeline dayanarak üretilen kritik hesap kesitlerinden sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak elde edilen hesap sonuçları arazideki izleme noktaları ile denştirildiğinde uyumlu bir korelasyon vermiştir. Bu değerlendirmeye dayanarak Çizelge 7.6 ile inceleme alanına ait izleme bilgileri kütle hareketlerinin hızlarına göre sınıflandırması (Varnes,1978 ve WP/WLI 1995) ile birlikte sunulmuştur. Çizelge 7.6’ deki okuma yönleri, Kuzey – A + Güney; Doğu – B + Batı olarak okunmalıdır. Çizelge 7.6’ ye göre hızların en yüksek olduğu bölge Kemerdere ve Çukurlar bölgeleridir. Bu iki kritik bölgeden sonra Pekmez ve Gölyaka bölgeleri gelmektedir.

Çizelge 7.6 : Kütle hareketlerinin hızlarına göre sınıflandırması (Varnes,1978 ve WP/WLI 1995) ve çalışma sahasına ait izleme bilgileri.

Varnes, 1978		WP/WLI, 1995		Doğaya Etkisi	Çalışma Sahası				
Hız	Hız Sınıfı	Hız Limitleri (mm/sn)	Hız Tanımı		İzleme No.	Maks. Yerdeğiştirme (mm)	Derinlik (m)	İzleme Periyodu (yıl)	Hız (mm/yıl)
Hız> 3 m/sn	7	> 5e+03 (5 m/sn)	Son derece hızlı	Büyük şiddetli afet, hareket eden malzemenin etkisiyle binaların yıkılması, birçok ölümler, mümkün olmayan kaçış.	Model I Kemerdere D70	A+38; B+28	10; 9	1	28
> 0.3 m/dk	6	> 50 (> 3 m/dk)	Çok hızlı	Can kaybı ve mal kaybı, mevcut hız tüm insanların kaçabilmesi için oldukça hızlı.	Model II Çukurlar D19 D15 D14 D12	A+10; B+5 A+50; B+60 A+130; B-90 A+30; B+15	3 26; 28 30;38 53	2	5 30 45 7.5
> 62.5 mm/saat	5	>0.5 (> 1.8 m/saat)	Hızlı	Maddi hasar meydana gelir, yapılar, evler ve diğer şeyler yıkılır. İnsanların bir yerlere tahliye edilmesi mümkündür.	Model III Pınartepe D63 D64	A+9; B+4 A+40; B+2	9; 10 9; 50	1.5 2	2.7 1
> 50 mm/gün	4	> 5e-03	Orta	Bazı hassas olmayan yapılar bir süre için (geçici) korunabilir.	Model IV Pekmez SK-44 SK-32	A+10; B+10 A-5; B+15	3; 11 48;47	1	10 15
> 4.1 mm/gün	3	> 5e10-05 (> 4.3 mm/gün)	Yavaş	Hareket sırasında iyileştirme yapıları oluşturulabilir; ancak toplam hareket özel bir hızlanma safhasında çok fazla değilse hassas olmayan yapıların bakımı yapılabilir.	Model V Gölyaka D31 D04	A+26; B-12 A+10; B+4	20.5; 21 40	2	20 5
> 0.164 mm/gün	2	> 5e-06 (> 0.043 mm/gün)	Çok yavaş	Hareketle bazı hassas olmayan yapılar zarar görmez.	Model VI Fener D38 D41	A+4; B-2 A+8; B-5	14 7	2 1.5	1 3.3
< 0.164 mm/gün	1	< 5e-06 (< 0.043 mm/gün)	Son derece yavaş	Aletsel ölçümler olmadan hissedilemez. Önlem alınarak inşaat yapmak olasıdır.					

7.4 FEM Analizi Sonuçlarının Krip Teorisine ile Açıklanması

Yukarıda sunulan analiz sonuçlarından anlaşılacağı üzere incelenen, sahada akma ve kayma türü hareketlerin dışında bu iki hareketin birlikte görüldüğü karmaşık kütle hareketlerinin de olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca, paleoheyelandan etkilenmiş kesimlerde örselenmiş ve ilksel özelliklerini önemli ölçüde kaybetmiş malzemeler bulunmaktadır. Analiz edilen ve izleme yapılan kesitlerde en yaygın hareket türünün akma olduğu görülmektedir. Aşağıda akma türü hareketlerin mekanması ve tipik özellikleri öncelikle verilmiş daha sonra ulaşılan sonuçlar açıklanmıştır.

Akma (krip) olarak adlandırılan olay gravitasyon ile şev ya da yamacın eğim aşağıya ve dışa doğru sürekli ve yavaş yer değiştirmesidir (Terzaghi, 1950). Böyle bir kütle hareketi sırasında sürekli bir kayma yüzeyi (rupture surface) oluşamaz. Hareket çok yavaştır ve uzun süreli gözlemlerin dışında dikkati çekmeyebilir (Sharpe, 1938). Bryon (1922) ise krip mekanizmasını ayırmış malzemenin eğim aşağıya doğru yavaş hareket etmesi olarak tanımlamıştır.

Gerçekte krip olarak isimlendirilen kütle hareketinin hızı çok geniş sınırlar içinde değişir. Bugüne kadar, birçok araştırmacının farklı zaman aralıklarındaki ölçümleri aşağıda Çizelge 7.7’ da gösterilmiştir. Birinci kolon ölçülen değerleri, ikincisi ise karşılaştırma yapmak amacıyla tümünü eş birim olarak cm/yıl cinsinden tanımlamaktadır. Dikkat edilmelidir ki, örnek olarak Müller’ in 7200 cm/yıl boyutundaki tanımı bütün bir yıl için ölçülen değer değildir.

Çizelge 7.7 : Farklı araştırmacılara göre ölçülmüş krip hızları.

Ölçümler	Eş birim (cm/yıl)	Araştırmacı
2-3 cm/yıl	2-3	
0.1 mm/gün	3.6	Doolds, 1966
1.8 cm/yıl – 6 m/yıl	1.8-600	Huffman, 1969
3-15 cm/yıl	150-750	Müller, 1931
3.9-20 cm/gün	1440-7200	Müller, 1964

Çizelge 7.7 ile sunulan bu eşik değerlerin kimi durumlarda aşıldığı Müller (1964) tarafından belirtilmiştir. “Krip” çatlaklı bloktan kile kadar her boyuttaki malzemedede

görülebilir, ancak oluş mekanizmasının farklılığı nedeniyle, “Zemin kribi” ve “kaya kribi” olarak adlandırılmaktadır. Zemin kribinde yalnızca yüzeysel kısım olaydan etkilenir. Bu derinlik çoğu yerde 20-25 cm mertebesinde dir. En iyimser bir görüşle 50 cm derinliğe kadar etkin olabilir (Young, 1960; Kirkby, 1967).

Krip olayını etkileyen en önemli neden yerçekimidir. Ancak, ortamdaki su miktarı, ıslanma ve kuruma, donma ve erime, bitki köklerinin büyümesi ve bunların zamanla çürümeleri, oyuncu hayvanların faaliyetleri yerçekiminin etkinliğini arttırıcı rol oynarlar.

Gilbert (1909) krip mekanizmasını şöyle özetlemiştir; parçacıkların başlangıçtaki konumlarını bozan, onların dizilimlerinin farklılaşmasına neden olan her hareket akmayı veya diğer bir deyişle krip olayını doğurur. Olayın yerçekimi ile lineer bağıntısı Şekil 7.18 de gösterilmiştir. Ancak, belirtilmelidir ki krip olayı çok az eğimli ($2-3^{\circ}$) yamaçlarda da gözlenir.

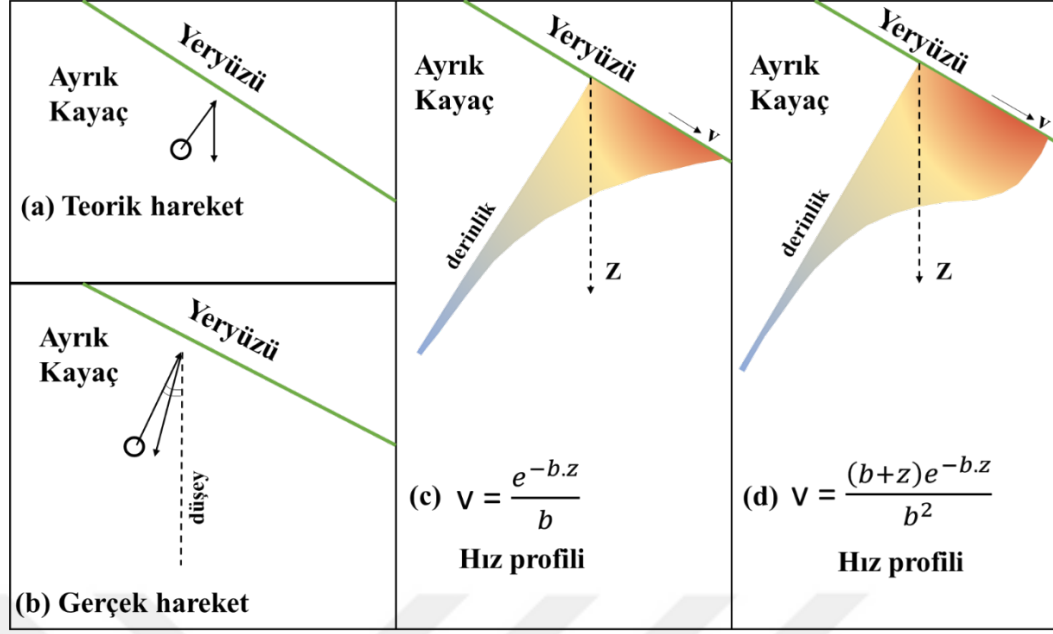
Doğada görülen krip olayı gerçekte yukarıda tanımlandığı kadar basit değildir ve bu olay için genelleştirilmiş evrensel bir mekanizma henüz saptanmamıştır. Kribin her örneği başlı başına bir sistem olarak ele alınır ve incelenir. Her bir örnekte malzeme bir diğerinden farklıdır ve ortam bununla da kalmayıp krip olayını hızlandırıcı biçimde çeşitli süreksizlikleri içerir. Ancak, doğada gelişen jeolojik olayları incelemede var olduğunu saydığımız homojen ve izotrop örneğe bakarak ayrık kayaç kribinin mekanizmasına bir yaklaşım getirebiliriz. Ancak böyle bir kabulde, $(dz)^3$ hacim elemanını çok küçük olarak boyutlandırıp düşünmemiz gerekir.

Bu çalışmanın ilk öncülüğünü Davison, 1889’ da yapmıştır. Bugün için daha iyi bir yaklaşım getirilemediği için Davison’ un teorisi hala güncelliğini korumaktadır. Davison, Gilbert’ in tanımladığı gibi parçacıkların başlangıçtaki konumlarını değiştiren faktörler için donma ve çözülme etkilerini parametre olarak almıştır. Zeminin donma ve çözünme sırasındaki genişleme durumunda hareketin yüzeye kesinlikle dik olacağını ancak büzülme halinde hareketin düşey olacağını düşünmüştür (Şekil 7.22.a). bu model ile genişleme sırasında zeminin kohezyonunun paralel atımı kesinlikle önleyecek büyüklükte olduğu ancak büzülme sırasında kohezyonun zemin için sıfır olacağını savunmuştur.

Deneyisel çalışmalarında Davison (1889) zeminin donması sırasında boşluklarda herbiri ankraj çubuğu gibi davranacak buz iğneciklerinin olmaması halinde bile genişlemenin yüzeye dik ve ancak büzülme halinde ise hareketin kohezyonun tamamıyla sıfır olmaması nedeniyle düşey ve yüzeye çıkılan diklik arasındaki bir doğrultuda kaldığını saptamıştır (Şekil 7.22.b).

Bu zigzag hareket zeminde yüzeye paralel bir yer değiştirmeye neden olur. Bu yer değiştirme yüzeyden derinlere doğru azalma eğilimindedir. Böylece gerçek hareket çok karışık bile olsa sonuçta “düzlemsel kesmeye” benzer biçimde sonuçlanmış olur. Ancak, burada yeniden gözlemin çok küçük bir eleman üzerinde yapıldığı hatırlanmalıdır. Bu teori, ayrık kayaç kribi nedeniyle iç kısımda beklenen hız profilini çizmeye yarar. Zeminin düzlemsel olarak kesilme hızı donma ve çözülme frekansı çarpı derinliğe bağlı olarak değişen bir genişleme faktörü ile orantılı olacaktır. Özet olarak, hareketin hızı yüzeyde en büyük değere ulaşırken derine inildikçe eksponensiyel olarak azalır.

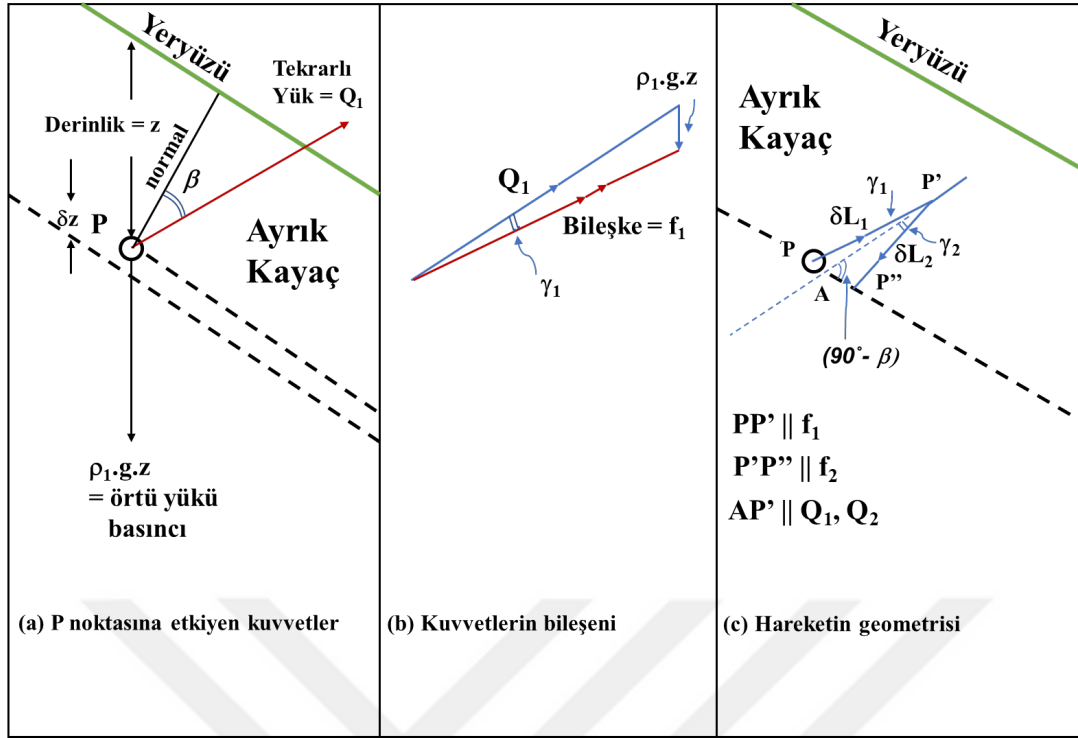
Davison’ un zemin kribi mekanizmasını ortaya çıkarmak için yaptığı analizler, ortama etkiyen kuvvetlerin zemini yamaç aşağıya hareket ettirmeye eğilimli olduklarını belirtmektedir. Bu hareketi gerçekleştirebilecek kuvvetin zemin örtüsü olduğunu savunmuştur. Zemin yüzeyinde, her ne kadar yüzeye dik hareket miktarı maksimum ise de zemin örtüsü bu noktanın üzerinde yoktur ve zeminin bu noktasında kesme oluşamaz. Derinlerde ise, örtü kalınlığının fazla olmasına karşı zemin genişleme ve büzülme maruz kalmadığından kesme bileşeni olamaz. Bu iki seviye arasında, belirli bir sonlu derinlikte kesme bileşeninin maksimum olduğu bir zon oluşacaktır. Bu analiz, fiziksel büyüklükleri daha açık belirtmek amacıyla matematiksel olarak tanımlanabilir. Teoride, zeminin ortalama davranışından söz edildiği bilinmelidir. Gerçek hareket her bir zemin elemanında dane kontağının kesilmesi, kopması ile oluşur. Hareket miktarında, bu nedenle, düzensiz farklılıklar göstermesi beklenmelidir. Teoriyi matematiksel kavramlara dönüştürmeden önce, ortam için yeni bazı sadeleştirmeler yapmak gerekmektedir. İlk olarak, örtü basıncının ortalama değerden hem yön hem de değer olarak farklılık gösterse de yerçekimi etkisinin her noktada aynı olduğu ve örtü kalınlığına bağlı olduğu kabul edilir. İkinci olarak, kesilme sırasında hareket yönünün maksimum gerilme yönünde olduğu ve bozulana kadar sürekli olarak arttığıdır.



Şekil 7.24 : a) Zemin parçacığının (danesinin) teorik hareketi (Davison, 1889); b) Zemin parçacığının (danesinin) gerçek hareketi (Davison, 1889); c) Davison teorisine göre tahmin edilen hız profili (1889); d) Güncel teoriye göre tahmin edilen hız profili (Kirkby, 1967).

Şekil 7.24.a da yüzeyle q açısı yapan bir yüzeyi göstermektedir. Yüzeyden düşey olarak z derinliğinde P noktasında genişleme sırasında oluşan gerilim Q_1 , yüzeye çıkılan dikle b açısı yapmaktadır. Hacim artması sırasında P zemin elemanı etrafında dz kalınlığında dl_1 kadar genişleme olacaktır. Şekil 7.24.b. Bozulmanın yönü Q_1 den eğim aşağıya doğru g_1 açısı kadar farklıdır. Bu açı üçgen bağıntılarından: $\sin g_1 = r_1 g z / f_1 \sin (b + q)$ yazılabilir.

Çoğu halde hacim artması sırasında zeminin kohezyonu diklikten sapma oluşturmayaacağı için, $c = 0$ olarak alınabilir ve $\sin q$ eğime bağlı tek değişken olarak kalabilir. Bu formül tek bir eleman için tanımlanmıştır. Z derinliğine bağlı olarak tüm elemanlar için integral olarak genelleştirilebilir. Sonuç olarak, bu teori üniform zemin ortamında ortalama hareketi belirtir. Zemin kribi teorisi için bir değişkene bağlı olarak tanımlama yapılmışsa da diğer litolojik ve yapısal etkenlerin herbiri için katsayılar koymak gerekir. Bu katsayıların sonsuz değişkenleri tanımlar ve integral çözülemez hale gelir.



Şekil 7.25 : a) P noktasına etkiyen kuvvetler; b) Kuvvetlerin bileşeni; c) Hareketin geometrisi (Kirkby, 1967).

Zemin kribi mekanizmasının gelişimini belirlemek amacıyla araziden alınan numunelerin belirli yük altında zamana bağlı olarak deformasyonları tanımlanır ve daha sonra bu verilerle tüm sistem için hareketin davranışı belirlenmeye çalışılır (Şekil 7.25). Ancak, yüzeye yakın sınırlar içinde zemin kribi için bu tip modeller gerçekçi çözüm vermemektedir. Yüzeye yakın derinliklerde sürekli olarak yön değiştiren (tekrarlı) gerilmeler vardır. Tüm bu hareketler en fazla 40-50 cm derinliğe değin gelişmekte ve bu sınırlar içinde atmosferik değişimler (güneş enerjisinden kaynaklı) daha etkin olarak olaya neden olmaktadır. Her donma ve erime olayı, mevsimsel ısı değişimlerinin de ötesinde gece-gündüz ısı farklılıkları, yağış sonucu ıslanma ve daha sonra kuruma, zemini sürekli olarak farklı yönde gerilmelere maruz bırakır. Bu nedenle zemin kribini sürekli olarak sabit yük altında yorulup akma yerine her çevrim sırasında bir kez yüklenip, bir kez de boşalma haline benzetilebilir. Olay mikromekanik açıdan ele alındığında herbir tane, farklı yönlerde gerilmeler sonunda sistemdeki konumunu değiştirmekte ve hareket ortamın boşlukları içinde sınırlı kalmaktadır. Krip olayının gerçekleştiği tüm hacim homojen ve elastik değildir. Zeminin bu tanımdan çok uzak olduğu doğaldır. Bu durumda yılda 2 cm ye varan hareketlerin bir seferinde ve çok küçük zaman aralığında olması beklenemez. Bunun

yanısıra sözü edilen akma hareketinin sabit ivmeyle tüm sistemin birlikte çalışarak gerçekleşmesi de olamaz. Bu sonuçlar gözlemlerden sabittir (Kirkby, 1967).

Kesme düzlemi sözü edilen gerilme birikmelerinin sonunda tüm sistem için, yani tüm yüzeysel örtü malzemesi için aynı anda gerçekleşmesi durumunda kesme düzlemi süreksiz olmaz düzlemsel olurdu. Çünkü böyle bir düzlem gerilme boşalımı için bir minimuma karşı gelmektedir. Akma için bir kez böyle bir kesme düzlemi belirlenince artık bu yüzey daha sonra oluşacak tüm gerilme boşalımları için bir zayıflık düzlemi olacaktır. Ancak, zemin kribi gözlemlerinin hiç birinde böyle bir yüzey tanımı yapılmış değildir. Bu sözü edilen farklı yönlerdeki hareketler ile tanecikler arasında hareket gelişmektedir. Tanelerin fiziksel, mekanik ve jeolojik özelliklerine bağlı olarak çok az bir hızla da olsa sistemin stabil olarak durmasını sağlayan tutucu kuvvetler yenilmekte ve bu olayda hareketin miktarı taneler arasındaki boşluklarda sınırlı kalarak dağınık bir şekilde her bir tane için farklı zamanlarda olmaktadır.

Krip mekanizmasının teorik açıklamasına ait yukarıda sunulan bilgiler kapsamında FM analizlerinden elde edilen değerler aşağıda yorumlanmaktadır. Analiz edilen mühendislik jeolojisi modelleri için elde edilen güvenlik sayısı, hareketli zonun kalınlığı (H), Maksimum hareket miktarları (L_m) ve derinliğe bağlı hareket miktarındaki değişimler (D_L) Çizelge 7.8' de topluca sunulmuştur. Çizelgeden anlaşılabacağı gibi inceleme alanında birbirinden farklı ve bağımsız yamaç hareketlerinin olduğu saptanmıştır.

Model 1 ile temsil edilen Kemerdere bölgesine ait hareket derinliği genellikle derine doğru artmaktadır. Çukurlar bölgesi (Model 2) Depremsiz durumda lokal; Depremlilikte yaygın ve derine doğru azalan bir durum sunmaktadır. Pınartepe kesitini içeren Model 3 den hareket miktarlarının derinliğe göre değişimi rezidüel malzemenin tabanında zorlanma ile kayma türünde hareket geliştiği görülmektedir. Model 4 Pekmez heyelan bölgesini içermektedir. Yapılan analiz sonuçları göre hareketin derinliğe bağlı değişimi derine doğru azalan krip türü harekete örnek bir çözümü sunmaktadır. Gölyaka bölgesi (Model 5) karmaşık hareketli zonları belirtmektedir. Model 6 ile temsil edilen Fener bölgesi kütle hareketleri derine doğru azalma mekanizmasını göstermektedir.

Çizelge 7.8 : Model kesitler için elde edilen kritik SRF, hareketli zon kalınlığı (H) ve derine doğru hareket vektöründeki değişim (D_L).

Model No	Kritik SRF		Lm (m)		H (m)	D _L
	Depremsiz Durum	Depremli Durum	Depremsiz	Depremli		
1	1.29	0.53	1.33	23.0	40-45	Azalma
2	0.84	0.55	2.07	33.9	>40	Azalma
3	1.53	0.55	3.68	10.0	20-25	Artma
4	1.53	0.34	2.04	8.21	60	Azalma
5	1.21	0.35	2.21	50.0	<70	Karmaşık
6	1.48	0.79	1.43	10.3	<100	Azalma

Çizelge 7.8’ de hareket vektörlerinin derinliğe bağlı değişimi ayrıca verilmiştir. Buradan görüleceği üzere model kesitlerinden; 1, 2 ve 6 nolu analizlerde azalma olup akma türü kütle hareketine işaret etmektedir. Ayrıca yamacın tepe noktasında Depremsiz durumda Çukurlar bölgesindeki paleoheyelan aynasına karşılık gelen yüksek eğimli taç kısmı dışındaki incelenen model kesitlerde güvenlik sayısı (SRF) 1’ den büyüktür. Ancak Kemerdere ve Gölyaka bölgelerinde kritik dengeye yakın durumun olduğu görülmektedir. Depremli durumda hem SRF değerleri hem de yer değiştirme miktarlarından da anlaşılabileceği gibi kritik haldeki yamaçların duraysız hale geleceği değerlendirilmektedir.

Bu tespit izleme verileri ile de desteklenmektedir (Şekil 7.15). Model 3’de depremsiz durumda paleoheyelanın aynasının önünde sığ derinlikte (15-20 m) rotasyonel kayma diğer kesimlerde ise akma türü bir hareket izlenmektedir. Depremli durumda hareket kayma şeklinde olup, miktarı ise artmaktadır. Dolayısıyla bu bölgede karmaşık bir hareketten söz edilebilir. Model 4’ ün batı kesiminde rotasyonel bir hareket gözlenirken doğu kesiminde ise akma hareketi beklenmektedir. Bu durum yamacın topuğundaki hareketi üst kotlarda izleyen akma türü bir yer değiştirme ile açıklanabilir. Model 5’ de ise karmaşık bir hareket beklendiği anlaşılmakta olup, yamacın tepe kesiminde sığ (20-30 m) derinlikte rotasyonel ve kayma türü bir hareket görülmektedir.

Yapılan FEM analiz sonuçlarından, incelenen yamaçlarda hareketin türünün, mekanizması ve hızı depremli ve depremsiz durumlarda değişebileceği anlaşılmıştır. Krip türü hareketlerde dönme noktası derinliğinin yüzeyden yer yer 50 m' yi aştığı saptanmıştır (Şekil 7.15; Çizelge 7.7). Bölgenin yapılaşma baskısı altında olması nedeniyle, lokal farklılıklar da dikkate alındığında yerleşime uygunluk çalışmalarının daha derin sondajlar ile hassas bir şekilde araştırılması ve izlenmesi önerilmektedir.





8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İstanbul Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği doktora programı içinde hazırlanan bu tez, inceleme alanı ve civarında üst ve alt yapıdaki büyük gelişmenin jeoteknik etkileşimi sonucunda bölgede süregelen kütle hareketleri sorununun tür ve mekanizmasının anlaşılmasını hedeflemektedir. Kütle hareketleri sürdürülebilir kentleşme için jeomorfolojik, jeolojik, hidrojeolojik, jeomekanik ve jeoteknik açıdan incelenmiştir.

Jeomorfolojik değerlendirmeler için sayısal yükseklik modeli hazırlanmış ve heyelanların arazideki izleri haritalanması için mevcut envanter çalışmalarından, eski hava fotoğrafı ve uydu görüntülerinden ve arazideki örselenmiş kütle hareketi izlerinden yararlanılmıştır. İnceleme alanının drenaj ağının anlaşılması için akarsular haritalanmıştır.

İstanbul Büyükçekmece-Küçükçekmece gölleri arasında kalan alanın jeolojik koşullarının anlaşılması için 1/25000 ölçeğinde litolojik birimleri gösterir genel jeoloji haritası ve boy kesiti hazırlanmıştır. Yüzeylenen birimlerin bütünü içindeki yerinin anlaşılabilmesi için bölgesel jeoloji araştırılmıştır. Litolojik birimler arazi gözlem, ölçümleri ve literatür çalışması ile desteklenmiştir. Bölgede kamu ve özel kuruluşların yaptığı su temini ve temel araştırma sondaj verileri de denetçi olarak yoğun kullanılan kayıtlardır.

Jeoteknik hesap kesitlerine ait sınır koşullarının bileşenleri olan bu veri takımları coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak sayısallaştırılmıştır. Böylece Büyükçekmece-Küçükçekmece gölleri arasındaki çökel birimlerin jeolojik ve mühendislik özelliklerinin yatay ve düşey değişimleri, benzerlikleri ve anomalileri değerlendirilme olanağı bulmaktadır. Buradan çıkan sonuçlar, In-Situ (arazideki yerli yerindeki koşullar) ölçüm, izleme ve gözlemler ışığında tımdengelim ilkesi ile değerlendirilerek önerilen rezidüel parametreler ile sayısal hesaplamalar yapılmıştır.

Bu çalışmanın amacı, depreme duyarlı, karma kütle hareketlerinin görüldüğü bir paleo heyelan bölgesinde süregelen uzun süreli kütle hareketlerinin (krip) çok parametrelili verilerden elde edilen rezidüel parametrelerin kullanımı ile mekanizmasının incelenmesidir. Çalışmanın özgün yanları üç ana kolda değerlendirilebilir. İlki süregelen kütle hareketlerinin türünün ve gelişim mekanizmasının yerbilimsel bütüncül veritabanı oluşturulması ve zemin bünye hipotezlerine dayanarak hesap kesitleri oluşturulmasıdır. Bu çalışmanın devamında kütle hareketi türlerine göre hazırlanmış kesitlerin önerilen rezidüel parametreler kullanılarak limit denge ve sonlu elemanlar sayısal yöntemler ile incelenmesi yapılmıştır. Sonuçta uzun süreli kütle hareketinin (krip) tımdengelim ilkesine uygun in-situ ölçüm ve izlemeleri ile deneştirilmesidir.

Jeoteknik parametreleri elde etmek için meydana getirilen veritabanı filtreden geçirilmiştir. Sayısal ortamda Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yöntemi ile tematik haritalar üretilmiş olup benzerlik ve anomali gösteren bilgi kümeleri oluşturulmuştur. İnceleme alanına ait sayısal yükseklik modeli verileri kullanılarak topografya, eğim, bakı, kütle hareketleri dağılım ve duyarlılık haritaları; temel araştırma sondajları kullanılarak yeraltısu seviye, derinliğe bağı SPT değerleri dağılımı tematik haritaları CBS ortamında hazırlanmıştır.

Bölgenin Kuzey Anadolu Fayı (K.A.F.)'nın aktif K kolunun etki alanı içinde kalmasına bağı olarak deprenselliğinin anlaşılmasında tarihsel ve aletsel depremleri araştırılmış fay mekanizması analizi ile inceleme alanında ivme değerinin dağılımı haritalanmıştır. Buradan elde edilen ivme dağılım değerleri dinamik etkiye dayalı sayısal çözümlerde kullanılmıştır.

Çok kriterli karar verme analiz teknikleri kullanılarak yapay sinir ağıları ve analitik hiyerarşi yöntemleri ile çalışma alanının kütle hareketleri açısından hassasiyeti değerlendirilmiştir. Analiz çıktılarının in-situ ölçüm ve izlemeleri ile deneştirilmesi sonucu jeoteknik sayısal hesaplarında kullanılacak kritik durumu belirten kavramsal hesap kesitleri hazırlanmıştır.

Belirlenen şişme potansiyeli değerleri, Güngören formasyonunun kumlu siltleri dışında Büyükçekmece ve Küçükçekmece göllerine bakan yamaçlarda ve Marmara denizi kıyılarında yüzeylenmiş ayrık kırıntılı kayaçların bulunduğu alanların şişme oranı açısından sınır ve kritik değerde olduğunu göstermiştir. Önerilen yöntem, herhangi bir sahada olası şişme yüzdesi için değerlerin belirlenmesi, aktif ve pasif

kütle hareketlerinin irdelenmesi ve etkisiz hale getirilmesi amaçlı ön değerlendirme ve karar mekanizmaları için yararlı olacaktır.

Zemin bünye özelliklerini belirlemeye yönelik olarak jeoteknik saha karakterizasyonu yapılması amacı ile temel araştırma sondajlarına ait arazi ve laboratuvar deney sonuçlarından istatistiksel olarak faydalanılmıştır. Litoloji sınıflamalı oluşturulan mühendislik özellikleri veritabanı mevcut zemin mekaniği teorileri yardımı ile örselenmiş malzeme nitelikleri de göz önünde tutularak parametre üretimi yapılmıştır.

Jeomorfolojik değerlendirmeler ve kütle hareketleri duyarlılık çalışmalarının da yardımı ile kritik hesap kesitleri hazırlanmış ve iki farklı jeoteknik analiz yöntemi ile değerlendirilmiştir. Bunlardan ilki sonlu elemanlar yöntemidir. Bu analiz yöntemi, sınır koşulları belirlenen bir ortamın malzeme türlerinin bünye parametrelerinin tariflenmesi ile çok bileşenli bir problem ağ yapısı ve düğüm noktaları ilkelerine bağlı gerilme-deformasyon cinsinden hesaplanmasına dayanmaktadır. Analizlerde boşluk suyu basıncı değişimleri ve sismik tetikleme etkisi gibi dinamik çözümler de uygulanmıştır. Seçilen sonlu elemanlar yönteminin değerlendirmesi uzun süreli kütle hareketi (krip) mekanizmasının anlaşılmasında bütüncül bir çözüm sunmaktadır. Güncel hareketin izlenmesine yönelik arazi gözlemi ve ölçümüne dayalı yapılan inklinometre okumaları elde edilen gerilme deformasyon oranları ve dağılımları ile uyumludur.

İnceleme alanında kütle hareketine duyarlı modellerde gerçekleştirilen sonlu elemanlar hesap sonuçları, derine doğru hareket vektörünün değişimi hakkında değerlendirmeler sunmuştur. Bu değerlere göre, derine doğru hareket Kemerdere, Çukurlar, Pekmez ve Fener modellerinde azalmaktadır. Pınartepe modelinde derine doğru hareket vektöründeki değişim artmaktadır. Gölyaka modeli karma kütle hareketleri davranışı göstermektedir.



KAYNAKLAR

- ACPA.** (2008). *Expensive Soils*. Concrete Pavement Technology Series. TS204.2P. Skokie, US.
- AFAD.** (2018). “Türkiye Deprem Tehlike Haritası”. Ulusal Deprem Araştırma Programı. Erişim: 26.04.2018, <https://deprem.afad.gov.tr/deprem-tehlike-haritasi>
- Akartuna, M.** (1953). Çatalca - Karacaköy bölgesinin jeolojisi hakkında, *İÜ Fen Fak. Mec.*, B, XIII, 3-4, 183-204.
- Altmeyer, W.T.** (1955). Discussion of Engineering Properties of Expansive Clays, *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division*, American Society of Testing and Materials. 81(2), 17-19.
- Altunkaynak, M. & Günay, C.** (1975). İstanbul içmesuyu projesi, Küçükçekmece Gölü ve dolayının hidrojeoloji incelemesi. DSİ Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltıları Dairesi Etüd ve Değerlendirme Fen Hy. Md., ÖE.110, Ankara.
- Amato G., Palombi L. & Raimondi V.** (2021). Data-driven classification of landslide types at a national scale by using artificial neural networks, *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 104:102549.
- Ambraseys, N. N.** (2002). The seismic activity of the Marmara Sea region over the last 2000 years, **Bulletin of the Seismological Society of America**, 92, 1-18.
- Ambraseys, N. N. & Finkel, C. F.** (1991). *Long-term seismicity of Istanbul and of the Marmara Sea region*. Terra Nova, 3, 539-527.
- Ambraseys, N. N. & Finkel, C. F.** (1995). *The Seismicity of Turkey and Adjacent Areas, İstanbul*. Eren Yayıncılık.
- Anon, O. H.** (1979). Classification of rocks and soils for engineering geological mapping part 1: rock and soil materials. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 19, 364-437. <https://doi.org/10.1007/BF02600503>.
- Anon, O. H.** (1981). Assessment of damage in low – rise buildings, with particular reference to progressive foundation movement. Digest 251, Building Research Establishment, Her Majesty’s Stationery Office, London.
- Ariç, C.** (1955). İstanbul Paleozoyik arazisinde bulunan oolitli ve fosilli demir madeni, *İTÜ Dergisi*. II, 3-4, 67-68.

- Arpat, E.** (1999). Büyükçekmece ile Küçükçekmece (İstanbul) Heyelanlarının Genel Özellikleri ve Yarattıkları Başlıca Sorunlar. 52. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiriler Kitabı*, 10-12 Mayıs, S.17-23, Ankara.
- Arpat, E. & Şentürk, K.** (2003). İstanbul Yöresinin, Orta Eosen'den bu yana, Jeolojik gelişiminin ana çizgileri, *İstanbulun Jeolojisi Sempozyumu (19-22 Aralık 2003) Bildiriler Kitabı*, 39-48, Jeol. Müh. Odası, İstanbul.
- ASTER GDEM (Global Digital Elevation Model V003).** (2019). NASA/METI/AIST/Japan Spacesystems and U.S./Japan ASTER Science Team
<https://cmr.earthdata.nasa.gov/search/concepts/C1711961296-LPCLOUD.html>
- ASTM D422.** (2007). *Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils*. ASTM International. US.
- ASTM D427-04.** (2010). *Test Method for Shrinkage Factors Of Soils By The Mercury Method*. ASTM International. US.
- ASTM D4318.** (2010). *Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils*. ASTM International. US.
- ASTM D4829-11.** (2011). *Standard test method for expansion index of soils*. Annual book of ASTM Standards. 04.08, 1-5.
- Bargu, S. & Sakıncı, M.** (1992). İstanbul Boğazı ile Silivri - Karacaköy hattı arasında kalan (İstanbul Yarımadası) bölgenin doğal agrega olanaklarının araştırılması, TÜBİTAK: TBAG-749 / YBAG-0002, 91 s., İstanbul.
- Barka, A. A. & Kadinsky-Cade, K.** (1988). Strike-Slip Fault Geometry in Turkey and Its Influence on Earthquake Activity, *Tectonics*, 7, 663-684.
- Barka, A.** (1992). The North Anatolian Fault zone, *Ann. Tectonicae* 6, 164-195.
- Barka, A.** (1996). Slip distribution along the North Anatolian Fault associated with the large earthquakes of the period 1939 to 1967, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 86 (5): 1238-1254.
- Barling, R.** (1992). *Saturation zones and ephemeral on arable land in southeastern Australia*. Unpublished Phd. Dissertation. University of Melbourne.
- Basma A.A.** (1993). Prediction of expansion degree for natural compacted clays, *Geotechnical Testing Journal*, 16 (4), 542-549.
- Beven, K.J. & Kirkby, M.J.** (1979). A physically based, variable contributing area model of basin hydrology, *Hydrological Sciences Bulletin*, 24, 43-69.
- Bilgin, T.** (1968). Samanlı dağları, *İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Yayınları*, 50, 196.
- Bowles J.E.** (1996). *Foundation Analysis and Design*. Mc Grow Hill, N.Y.
- Bryan, K.** (1922). Erosion and sedimentation in the Papago country, Arizona, *U.S. Geol. Survey Bull.*, 730, p. 19-90.
- Bui, D.T., Tsangaratos, P., Nguyen, V.T., Liem, N.V. & Trinh, P.T.** (2020). Comparing the prediction performance of a deep learning neural network model with conventional machine learning models in landslide susceptibility assessment, *CATENA* 188:104426.

- Chapi, K., Singh, V.P., Shirzadi, A., Shahabi, H., Bui, D.T., Pham, B.T. & Khosravi, K.** (2017). A novel hybrid artificial intelligence approach for flood susceptibility assessment, *Environ Model Softw*, 95:229– 245.
- Chaput, E.** (1933). Etudes sur l'Evolution du Modele de l'Anatolie et de la Thrace, *C.R. Congress Inter* (1931). Geol. Paris.
- Chaput, E.** (1936). *Voyages d'etudes geologiques et geomorphologiques en Turquie*. Mem Ins. Franc. D'Archeologie de Stamboul, 2, 1-312, Paris.
- Chen, F.H.** (1975). *Foundations on Expansive Soils*. Elsevier, Amsterdam, 280 p.
- Chen.** (1988). *Foundations on Expensive Soils*. 2nd Edition. Elsevier, NY.
- Coduto, D.P.** (2000). *Foundation Design Principles and Practice*. 2nd Edition. Prentice-Hall Inc., UK.
- Cormier, M.H. & Emre, Ö.** (2002). The Scientific Parties of Expeditions Marmara 2000 and Marmara 2001. *Symposium of the Faculty of Mines (İTÜ) on earth sciences and engineering*, Abstracts p.7, İstanbul.
- Çağlayan, M. A. & Yurtsever, A.** (1998). 1/100.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Burgaz-A3, Edirne-B2 ve B3; Burgaz-A4 ve Kırklareli-B4; Kırklareli B5 ve B6; Kırklareli-C6 paftaları. Ankara: Maden Tetkik Arama Enst.
- Çelebi, M., Toprak, S., Holzer, T.** (2000). Strong-motion, site-effects and hazard ilssues in rebuilding Turkey: in light of the 17 August, 1999 earthquake and its aftershocks. *Int J Hous Sci Appl Spec Issue Kocaeli Earthq*, 24(1):21–38.
- Çıkrıkçı, B., Tolun, K., Çetin, S., Şans, G. & Mahmutoglu, Y.** (2022). Büyükçekmece Pekmez (Beylikdüzü-İstanbul) Büyükçekmece körfezine bakan yamaçta gelişmiş kütle hareketinin mekanizması ve analizi, *MÜHJEO'2021: Ulusal Mühendislik Jeoloji ve Jeoteknik Sempzyumu*, 21-23 Ekim 2021, İTÜ, e-ISBN: 978-975-561-528-8, pp. 223-230. İstanbul.
- Das, M.B.** (1999). *Principles of Foundation Engineering*. 4th Edition, Brooks/Cole Publishing Co., USA.
- Dawson R.F.** (1956). Discussion on 'Engineering Properties of Expansive Clays' by Holtz and Gibbs, *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 121(1), 664-677, 1956.
- Davison, C.** (1889). On the creeping of the soil cap through the action of frost, *Geol. Mag.*, v. 6, p. 255.
- Dacı (Dizer), A.** (1951). Küçükçekmece ile Çatalca arasındaki nümmüliğin paleontolojik etüdü, *İ.Ü.F.F. Mecmuası*, Seri B, C. 16, S.3, 89-246, İstanbul.
- Doust, H. & Arıkan, Y.** (1974). The geology of the Thrace basin. *Türkiye İkinci Petrol Kongresi*, TPJD, 119-136.
- Druitt, C. E.** (1961). Report on the petroleum prospects of Thrace, Turkey. Turkish Gulf Oil Co.

- Duman, T. Y., Keçer, M., Ateş, Ş., Emre, Ö., Gedik, İ. & Karakaya, F.** (2004). *İstanbul Metropolü Batısındaki (Küçükçekmece-Silivri-Çatalca Yöresi) Kentsel Gelişme Alanlarının Yer Bilim Verileri*. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.
- Emre, Ö., Erkal, T., Tchepalyga, A. Kazancı, N., Keçer, M. & Ünay, E.** (1998). Doğu Marmara bölgesinin Neojen-Kuvaterner evrimi, *MTA Dergisi*, 120.
- Emre, Ö., Ateş, Ş. Toda, S., Okuna, M., Doğan, A., Özalp, S., Tsutsumi, H., Tokay, F., Haraguchi, T., Kondo, H., Sugito, N. & Nakamura, T.** (2001). Paleoseismologic Findings on the Düzce Fault: North Anatolian Fault Zone, NW Turkey, *American Geophysical Union AGU Fall Meeting, EOS Transactions*, 82 (47), Poster No. S52C-0651, San Francisco, California, USA.
- Emre, Ö., Toda, S., Duman, T. Y., Sugai, T., Doğan, A., Awata, Y., Okuna, M., Tsutsumi, H., Özalp, S. & Tokay, F.** (2003). Recurrence of the Large earthquakes on the 1999 Izmit and Duzce Surface Ruptures, North Anatolian Fault, Turkey. *EGS-AGU-EUG Joint Assembly*, 06-11 April 2003, Poster No: P0267, Nice, France.
- Ercan, T., Türkecan, A., Guillou, H., Satır, M., Sevin, D. & Şaroğlu, F.** (1998). Features of the Tertiary volcanism around sea of Marmara, *Mineral Research and. Exploration Bulletin*, 120, 97–118.
- Erdoğan, M., Eren, R.H. & Oktay, F.Y.** (1999). Silivri çevresindeki Ergene formasyonunun agrega potansiyeli ve özellikleri, *2.Ulusal Kırmataş Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 113-128, İstanbul.
- Erdoğan, M. & Mahmutoglu, Y.** (2009). Büyükkılıçlı (Silivri) Bentonitinin metal döküm sanayiinde kullanım olanaklarının araştırılması, *Mühendislik Jeolojisi Bülteni*, 28-29, 1-14.
- Erentöz, C.** (1949): Çatalca masifi ve dolayının jeolojisi hakkında, *İ.Ü. Fen Fak. Mecm. Seri B*, Cilt 14, Sayı 4.
- Ertek, T. A., Yıldırım, C., Güneysu, A. C., Sakıncı, M. & Yaltırak, C.** (2003). The marine terraces correlation on the sea of Marmara coasts (Turkey), *Geografia Fisica E Dinamica Quaternaria*, vol. 6, pp 55-58.
- Esay Mühendislik.** (2018). İstanbul İli, Beylikdüzü İlçesi, Fener Havzası, G21A 03C 1A-G21A 03C 1B-G21A 03C 1C-G21A 03C 1D-G21A 03D 2C-G21A 03D 2D-G21A 03D 3A-G21A 03D 3B- G21A 03C 4A nolu paftalarda sınırları çizilmiş ve koordinatlarla sınırlandırılmış alanının imar planına esas jeolojik-jeoteknik etüt raporu.
- Esenli, R. F.** (2022). Kişisel görüşme.18 Mayıs, İstanbul.
- Evans, R., Asudeh, I., Crampin, S. & Üçer, S.B.** (1985). Tectonics of the Marmara sea region of Turkey: New evidence from micro earthquake fault plane solutions, *Geophysics*, J.R. Ast. Soc. 83, p. 47-60.
- Ferstl, H.** (1961). İstanbul Batısında Silivri – Çatalca ve Küçükçekmece havalisinde linyit araştırmaları hakkında Rapor, M.T.A. Enst., Rapor No. 2853, 3 s., Ankara.

- Ferstl, H.** (1962). Silivri ve Büyükçekmece civarındaki linyit etüd sondajlarının sonuçları hakkında rapor, M.T.A. Rapor No. 2957, Ankara (yayınlanmamış).
- Fleiss, J.L.** (1981). *Statistical Methods for Rates and Proportions*. 1st ed. John Wiley & Sons, London, p. 218.
- Florya DMİ.** (2018). *Florya gözlem istasyonu, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü*. Erişim: 02 Şubat 2018, <https://istanbul.mgm.gov.tr/istasyonlar.aspx>
- Geomek Mühendislik.** (2020). Beylikdüzü Belediyesi Pekmez Heyelan Havzasını İçine Alan Bölgenin İmar Planına Esas Jeoloji - Mühendislik Jeolojisi - Jeofizik Araştırmaları - Sondaj, Yerleşime Uygunluk ve Jeoteknik Araştırma Raporu. İstanbul: Beylikdüzü Belediye Başkanlığı Plan Proje Müdürlüğü. 293s, Ankara.
- Gilbert, G. K.** (1909). The Convexity of Hilltops, *The Journal of Geology*, Vol. 17, No. 4 (May - Jun., 1909), pp. 344-350. The University of Chicago Press.
- Görür, N., Akkök R.** (1981). Trakya havzası doğusunda Eosen resifleri, *İst. Üniv. Yerbilimleri Dergisi*, Cilt 2, Sayı 3A.
- Green W.J., Lee G.F. & Jones R.A.** (1980). Impact of organic solvents on the integrity of clay liners for industrial waste disposal pits: Implication for groundwater contamination. Report to US. EPA Robert S. Kerr Environmental Laboratory, Ada, Oklahoma, USA.
- Gündüz, A.** (2006). *İstanbul Büyükçekmece-Küçükçekmece gölleri arası bölgede yerleşime uygunluk*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 140 sf.
- Holmes, A.W.** (1961). Stratigraphic review of Thrace: T.P.A.O. Arama Grubu Arşivi, 386, Ankara.
- Holtz W.G & Gibbs H.J.** (1956). Engineering Properties of Expansive Clays, *Transactions of the ASCE*, 121, 641-677.
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi.** (1994). İstanbul Metropolü' nün nazım imar planına altlık 1/50000 ölçekli derleme jeoloji haritası ve raporu, İBB İmar Daire Başkanlığı, Şehir Planlama Müdürlüğü. İstanbul. Yayınlanmamış.
- İTÜ, MJKM.** (1997). İstanbul-Avcılar belediyesi yoğun yapılaşma alanının yerleşime uygunluk amaçlı mühendislik jeolojisi ve geoteknik araştırma projesi, İTÜ Vakfı Ar Ge İşletmesi, Cilt I, II, III Rapor No. 90/020, İstanbul.
- İ.B.B.** (2001). İstanbul avrupa yakası güneyi 1/5000 ölçekli imar planlarına esas jeolojik-jeoteknik etüd raporu. İstanbul Büyükşehir Belediyesi Planlama ve İmar Daire Başkanlığı Zemin ve Deprem İnceleme Müdürlüğü, İstanbul.
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi.** (2005). İstanbul ili jeoloji haritası. İstanbul. Yayınlanmamış.
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi.** (2011). İstanbul ili 1/25000 ölçekli arazi kullanımına esas jeolojik etüd raporu. İstanbul. Yayınlanmamış.
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi.** (2017). İstanbul ili jeoloji haritası. Düzenleyen: Özgül, N. Kent Jeolojisi Projesi. İstanbul.

- IS 2720 (Part XL).** (1977). Indian Standard. Methods of Test for Soils Part XI Determination of Free Swell Index of Soils Methods of Test For Soils. (Third Reprint August 1997) UDC 624.131.434. Bureau of Indian Standard Soil Engineering Sectional Committee, BDC 23.
- Karsoliya, S.** (2012). Approximating Number of Hidden Layer Neurons in Multiple Hidden Layer BPNN Architecture, *Int. J. Eng. Trends Technol.*, 3(6), 714–717.
- Kaya, O.** (1971). İstanbul'un Karbonifer Stratigrafisi, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, C. 14, S. 2, 143-191, Ankara.
- Kemper, E.** (1961). The Kırklareli limestone (Upper Eocene) of the northern basin rim: Geological Report T 37., C. DEILMAN BERGBAU GMBH.
- Keskin, C.** (1966). Pınarhisar resif karmaşığının mikrofasiyes incelemesi, *İ.Ü.F.F. Mecmuası*, Seri B, Cilt XXXI, Sayı 3-4.
- Keskin, C.** (1974). Kuzey Ergene Havzasının Stratigrafisi, *Türkiye 2. Petrol Kongresi Tebliğleri*, Ed., Okay, H., ve Dileköz, E., 137-163, Ankara.
- Kirkby, M. J.** (1967). Measurement and theory of soil creep. *The Journal of Geology*. v. 75, n: 4. p. 359-378.
- Koçyiğit, A. Yusufoglu, H. & Bozkurt, E.** (1999). 17 Ağustos 1999 Gölcük Arifiye (Kuzeydoğu Marmara) depremi. Jeolojik Ön Raporu. ODTÜ.
- Kohonen, T.** (1982). Self-organized formation of topologically correct feature maps, *Biol. Cybern.*, 43(1), 59–69.
- Le Pichon, X., Şengör, A.M.C., Demirbağ, E., Rangin, C., İmren, C., Armijo, R., Görür, N., Çağatay, N., Mercier de Lepinay, B., Meyer, B., Saatçılar, R. & Tok, B.** (2001). The active main Marmara Fault. *Earth and Planetary Science Letters*. 192.
- MERKA, İnşaat-Taahhüt-Mühendislik-Ticaret** (2002). İstanbul Büyükçekmece ilçesi Kavaklı belediyesi büyükşehir konut alanının imar planına esas yerleşime uygunluk amaçlı mühendislik jeolojisi ve jeoteknik araştırma projesi, C.1.
- MacEwan D.M.C.** (1948). Complex formation between montmorillonite and halloysite and certain organic compounds. *Transactions of the Faraday Society*, 44, 349-367.
- Mackenzie R.C.** (1948). Complexes of clays with organic compounds. *Transactions of the Faraday Society*. 44, 368-375.
- Mavi Girişim Mühendislik.** (2020). İstanbul İli, Beylikdüzü ilçesi, Gölyaka havzası, G21A 02C 2B- G21A 02C 2C-G21A 03D 1A-G21A 03D 1B-G21A 03D 1CG21A 03D 1D-G21A 03D 2A-G21A 03D 2D no'lu paftalarda sınırları çizilmiş ve koordinatlarla sınırlandırılmış alanının imar planına esas jeolojik-jeoteknik etüt raporu. MGM Geoteknik.
- Min, D.H., & Yoon, H.K.** (2021). Suggestion for a new deterministic model coupled with machine learning techniques for landslide susceptibility mapping. *Sci. Rep.* 11: 6594.
- MTA.** (1997). Türkiye heyelan haritası projesi, 1/500 000 ölçekli İstanbul paftası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, *Ankara*. Seri: 6, 1-21.

- M.T.A.** (2004). İstanbul metropolü batısındaki kentsel gelişme alanlarının yer bilim verileri, *Özel Yayın Serisi-3*, Ankara.
- M.T.A.** (2005). 1/500 000 ölçekli Türkiye heyelan envanteri, İstanbul Paftası. Ankara.
- M.T.A.** (1994). İstanbul' un batı yakasının jeolojik haritası. Derleme. Ankara. Yayınlanmamış.
- M.T.A.** (2014). Trakya bölgesinin 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası. Ankara.
- Müller, L.** (1964). The rock slide in the Vaiont valley, *Rock Mech. Eng. Geol.*, 2 (1964), pp. 148-212
- Oktay, F. Y., Eren, R. H., & Sakıncı, M.** (1992). Karaburun-Yeniköy (İstanbul) çevresinde doğu Trakya Oligosen havzasının sedimenter jeolojisi, *Türkiye 9. Petrol Kongresi*, Ankara.
- Okumura, K., Yoshioka, T. & Kuşçu, İ.** (1994). Surface faulting on the North Anatolian Fault in these two millennia. Proceedings of the workshop on paleoseismology, Open-file report 94-568, 143-144.
- Özalp, S., Doğan, A. & Emre, Ö.** (2003). The last two faulting events on the southern strand of the North Anatolian fault zone, NW Turkey, *Eos, Transactions, American Geophysical Union*, December 08.
- Özata, A.** (2006). Silivri kuzeybatısı (İstanbul) hidrojeolojik incelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- Özgül, N.** (2011). *İstanbul İl Alanının Jeolojisi*. İstanbul Büyükşehir Belediyesi yayını, 305.
- Özgül, N., Üner, K., Akmeşe, İ., Bilgin, İ., Kokuz, R., Özcan, İ., Yıldız, Z., Yıldırım, Ü., Akdağ, Ö. & Tekin, M.** (2005). *İstanbul İl Alanının Genel Jeoloji Özellikleri*. İBB, Planlama ve İmar Daire Başkanlığı Zemin ve Deprem İnceleme Müdürlüğü, İstanbul, 79.
- Packelmann, W.** (1938). *Neue Beitrage zur Kenntnis der Geologie, Paleontologie und Petrographie der Umgegend von Konstantinopel*. Abh. Preuss. Geol. Landesanstalt N.F., 186, 220 p., Berlin.
- Parsons, T., Toda, S., Stein, R. S., Barka, A. & Deiterich, J. H.** (2000). Heighened odds of large earthquakes near İstanbul. An interaction based probability calculation, *Science*, v.288, 661-665.
- Penck, W.** (1919). *Boğaziçi Jeolojisinin Anahatları*. Veröffentlichungen von Institut für Meereskunde, N.F., A.4, 72, Berlin.
- Prasad, P., Loveson, V.J., Das, S. & Chandra, P.** (2021). Artificial intelligence approaches for spatial prediction of landslides in mountainous regions of western India, *Environ. Earth Sci.* 80(21):720.
- Rahmati, O., Moghaddam, D. D., Moosavi, V., Kalantari, Z., Samadi, M., Lee, S. & Bui, D.T.** (2016). An automated Python language-based tool for creating absence samples in groundwater potential mapping, *Remote Sens.* 11(11):1375.
- Rockwell, T., Barka, A., Dawson, T., Akyüz, S. & Throup, K.** (2001). Paleoseismology of the of the Gaziköy-Saros segment of the north anatolian fault, northwestern Turkey: comparison of the historical and

paleoseismic records implication on seismic hazard and models, of earthquake recurrence, *Journal of seismology* 5: 433-448.

- Rocscience RS2.** (2023). 2D Finite Element Method Analysis Software. Rocscience Inc. Toronto, Ontario-Canada.
- Sayar, M. & Pamir, H.N.** (1932). Une faunedes vertébres Miocénés pré D'Istanbul, *C. R. Soc. Geol.*, France.
- Sayar, A., M. & Pamir H., N.** (1933). Küçükçekmece fosil fıkralı hayvanlar mecmuası, *İÜ Fen Fak. Mec.*, 3-4, 127 s.
- Sayar, M.** (1951). İstanbul civarında Üst Miyosen omurgalılarına ait yeni müşahadeler, *İ.T.Ü. Dergisi*, C. 9/3, 9-12, İstanbul.
- Sayar (Arıç), C.** (1955). *Haliç-Küçükçekmece Bölgesinin Jeolojisi*. (Doktora Tezi). İ.T.Ü. Maden Fak.
- Sayar, C.** (1977). İstanbul yeni iskan yöreleri geoteknik ve sismik etüdü, ed. Tezcan, Boğaziçi Ü. Deprem Müh. Araştırma Enst., Cilt 1, 119s.
- Sayar, C.** (1989). İstanbul ve Çevresi Neojen Çökelleri ve Paratetis İçindeki Konumu, *35. Yıl Sempozyumu ve Kutlama Etkinlikleri*, İ.T.Ü. Maden Fakültesi, 250-266.
- Seed H.B., Woodward R.J. & Lundren R.** (1962). Prediction of swelling potential for compacted clays, *Journal of Soil Mechanics and Foundation Division*, ASCE, 88(4), 207-209.
- Sharpe, C. F. S.** (1938). *Landslides and Related Phenomena*. New York, Columbia Univ. Press, 137 p.
- Sivapullaiah P.V, Sitharam T.G & Rao K.S.S.** (1987). Modified free swell index for clays, *Geotechnical Testing Journal*, 10 (2), 80-85.
- Sönmez (Gökçen), N.** (1964). Çatalca (Trakya) civan Neojen' inden Congeria' lı serinin Ostracodlarda bulunan yeni yaşı, *M.T.A. Der.*, 63, 43 - 53.
- Sridharan A., Sudhakar M.R. & Murthy N.S.** (1985). Free swell index of soils: a need for redefinition. *Indian Geotechnical Journal*, 15(2), 94-99.
- Straub, C.** (1996). *Recent crustal deformation and strain accumulation in the Marmara Sea region, N.W. Anatolia, inferred from GPS measurements*. (Ph.D.). Swiss Fed. Inst. of Technol., 123 p.
- Şen, Ş.** (1994). Çekmece gölleri arasındaki bölgesinin jeolojisi ve sedimenter özellikleri. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 66.
- Şengör, A.M.C., Görür, N. & Şaroğlu, F.** (1985). Strike-slip faulting and related basin formation zones of tectonic escape: Turkey as a case study: Strik-slip deformation basin formation and sedimentation, Ed. By Biddle, K.T. and Mineralogists *Special Sublic.*, No. 37, 227-264.
- Tanrıverdi, B., Orhan, O. & Tekin, S.** (2021). Yapay sinir ağları yöntemi ile adıyaman gölbaşı-adıyaman merkez arasının heyelan duyarlılık değerlendirmesi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 36(3), 701-708.

- Tchihatcheff, P.** (1850). *Depot Nummulitiques et Diluvien de la Presque le de Thrace*. B.S.G.F., S. 2, 297-315, Paris.
- Tekin, S. & Çan, T.** (2019). Yapay sınır ağları yöntemi ile Ermenek havzası'nın (Karaman) kayma türü heyelan duyarlılık değerlendirmesi. *Bilge Int. J. Sci. Technol. Res.*, 3(1), 21-28.
- Tezcan, S. ve diğ.** (1977). İstanbul yeni iskan yöreleri geoteknik ve geodinamik etüdü, Boğaziçi Üni., İstanbul Belediyesi.
- Terzaghi K.** (1950). Mechanism of landslides, application of geology to engineering practice, *Geol. Soc. America, Berkley volume*, 83-123.
- Terzaghi, K. & Peck, R.B.** (1974). *Soil Mechanics in Engineering Practice*. Wiley, New York, 566.
- Toda, S., Tsutsumi, H., Duman, T. Y., Emra, Ö., Okuno, M., Özalp, S., Tokay, F., Doğan, A., Haraguchi, T., Kondo, H., Sugito, N., Nakamura, T., Parlak, O. & Çıplak, R.** (2001). Reccurence Intervall of the İzmit-Type Earthquakes along the Western North Anatolian Fault. *American Geophysical Union Fall Meeting*, EOS Transactions, 82 (47), Poster No. S52C-0650, San Francisco, California, USA.
- Tozak, A.** (1982). *İstanbul Küçükçekmece-Şamlar alanının jeoloji ve hidrojeoloji incelemesi*, (Diploma Çalış.). İ.Ü. Mühendislik Fak. Jeoloji Müh. Böl., İstanbul (yayınlanmamış).
- TÜBİTAK MAM.** (2016). Beylikdüzü ve Büyükçekmece ilçelerindeki muhtelif heyelan sahalarının araştırılması, incelenmesi ve izlenmesi projesi sahalarının araştırılması, incelenmesi ve izlenmesi projesi.
- Türkecan, A. & Yurtsever A.** (2002). İstanbul paftası, 1: 500 000 ölçekli Türkiye jeoloji haritası serisi. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Umut, M., Kurt, Z., İmik, M., Özcan, I., Sarıkaya, H., Saraç, G. & Keskin, İ.** (1983). Tekirdağ ili Silivri-Pınarhisar alanının jeolojisi. MTA Rapor No. 7349, Ankara (yayınlanmamış).
- Ülkümen, N. R.** (1960). Trakya ve Çanakkale mıntıklarında bulunan Neojen Balıklı formasyonları hakkında, *İÜ Fen Fak. Monografileri*, 16, 80, İstanbul.
- Ülkümen, N. R. ve diğ.** (1993). Neue Beitrage zur Tertiaer stratigraphie und oolithen-fauna der umgebung von İstanbul (Küçükçekmece und Büyükçekmece See), Türkei. Mitteilungen Bayer. Staatsslg. *Paleontologische und Histor. Geol.*, 33, 51-89, München.
- Varnes, D. J.** (1978). Landslides: analysis and control. Special Report. Transportation Research Board, Highway Research Council. 47, 176, 20.
- Varnes, D. J.** (1978). Landslide types and processes. In: Landslide and Engineering Practice. E. B. Eckel, (ed.). Highway Research Board, Special Report, 12- 13, 29, 20-47.
- Vijayvergiya, V. N & Ghazzaly, O. I.** (1973). Prediction of Swelling Potential of Natural Clays. *Proceedings, 3th International Research and Engineering Conference on Expansive Clays*, 227-234.

- Viquesnel, A.** (1847). Extrait une Lettre sur les Environ de Constantinople, *B.S.G.F.*, 2, 508-515, Paris.
- Wilson, J.P. & Gallant, J.C.** (2000). *Digital Terrain Analysis*. In: Wilson, J.P. and Gallant, J.C., Eds., *Terrain Analysis: Principles and Applications*, John Wiley & Sons, New York, 1-27.
- WP/WLI.** (1995). A suggested method for describing the rate of movement of a landslide, *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 52, 75-78.
- Xie, W., Li, X.S., Jian, W.B., Yang, Y., Liu, H.W., Robledo, L.F. & Nie, W.** (2021). A novel hybrid method for landslide susceptibility mapping-based geo-detector and machine learning cluster: a case of Xiaojin County, China, *ISPRS Int. J. Geo-Inf*, 10 (2), 93.
- Yenipazar, Y.** (2000). *Büyükçekmece (Silivri) bentonitinin döküm ve sondaj sanayi yönünden özelliklerinin incelenmesi*. (Y.L. Tezi). İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, , 83.
- Young, A.** (1960). Soil movements by denudational processes on slopes, *Nature*, 188, 120-122.
- Yurtsever, A., Çağlayan, A., Arda, A. & Özcan, I.** (1993). Yıldız dağları (İstranca Masifi) bütünleştirme ve yeniden gözden geçirim projesi raporu. MTA (Rapor No. 9929). 400 s. Ankara (yayınlanmamış).
- Yurtsever, A.** (1996). İstanbul yarımadasının (1/500 000 ölçekli haritasının) jeolojisi. MTA .(Rap. No. 9989). Ankara. (yayınlanmamış).
- Yurtsever, A. & Çağlayan, M.A.** (2002). Açınama nitelikli Türkiye jeoloji haritaları İstanbul F21 ve Bursa G21 (kısmen) paftaları jeoloji haritası, 1:100.000, Ankara: M.T.A.
- Zarif, İ. H.** (1996). *Küçükçekmece-Büyükçekmece gölleri arasındaki alanın yamaç stabilitesi*. (Doktora Tezi). İ.Ü. Fen Bilimleri Enst.,138, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Gökhan Şans

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2002, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü
- **Yükseklisans** : 2005, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2002-2024 yılları arası İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü' nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR VE SUNUMLAR:

- Bozkurtoğlu, E., Şans, G., Eyüboğlu, R. 2014. Kohezyonlu Zeminlerin Şişme Potansiyeli İçin Bir Yaklaşım: Avcılar-Esenyurt Örneği. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Jeolojisi Dergisi*. doi: 10.5505/pajes.2014.36025.
- Şans, G., Karagüzel, R., Mahmutoğlu, Y. 2016. Determination of the Swelling Potential and Behavior of Gürpınar Clay, Çekmece Basin, İstanbul. *5th Mediterranean Clay Meeting – MCM201625*. 25-29 09 2016. İzmir, Turkey.
- Şans, G., Karaoğlu T. G., Delibay, A. S., Karagüzel, R., Mahmutoğlu, Y., Akgün, G. 2019. İstanbul-Beylikdüzü, Gürpınar Bölgesi Kıyı Kesiminde Görülen Heyelanların (Pekmez, Gölyaka ve Fener) Kent Jeolojisi Açısından Değerlendirmesi. *Uluslararası Katılımlı 72. Türkiye Jeoloji Kurultayı*. Ankara.
- Şans, G., Karaoğlu T. G., Delibay, A. S., Karagüzel, R. 2019. İstanbul Beylikdüzü Sahil Kesiminin CBS Yardımı ile Yer Bilimsel Değerlendirmesi. *TMMOB 6. Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi*, 23-25 Ekim 2019, Ankara.
- Şans, G., Karagüzel, R., Mahmutoğlu, Y. 2020. İstanbul Büyükçekmece Heyelanının Mühendislik Jeolojisi ve Sismik Tetikleme Duraylılıklarının İncelenmesi. *TMMOB Uluslararası Katılımlı 73. Jeoloji Kurultayı*. 06- 10.04.2020. Ankara.
- Çıkrıkçı, B., Tolun, K., Çetin, S., Şans, G., Mahmutoglu, Y. 2022. Büyükçekmece Pekmez (Beylikdüzü-İstanbul) Büyükçekmece Körfzine Bakan Yamaçta Gelişmiş Kütle Hareketinin Mekanizması ve Analizi. *MÜHJEO'2021: Ulusal Mühendislik*

Jeoloji ve Jeoteknik Sempozyumu, 21-23 Ekim 2021, İTÜ, e-ISBN: 978-975-561-528-8, pp. 223-230. İstanbul.

- **Şans, G.**, Karagüzel, R., Mahmutoğlu, Y. 2023. İstanbul - Büyükçekmece-Gürpınar Kıyılarındaki Kütle Hareketlerinin Mekanizması. 6. İstanbul'un Jeolojisi Sempozyumu. ISBN: 978 605 71611 9 2T.C. Kültür Üniversitesi. İstanbul.

DİĞER YAYINLAR:

- Vardar M., **Şans G.**, Koçak B., Karaoğlu, H. 2004. Engineering geological and geomechanical reasons for time dependent excessive deformations on Hapan Tunnel/Black Sea Coastal Road Project. Eurock 2004 & 53rd Geomechanics Colloquium, Schubert W. (ed.), Salzburg, Austria.
- Mahmutoğlu, Y., Vardar, M., Koçak, C., **Şans, G.** 2006. Tunneling Difficulties under Squeezing and Flowing Conditions at AYAŞ Tunnel. FelsBau Rock and Soil Engineering. 5/2006 edition. VGE Verlag GmbH, Glueckauf Press. ISSN: 0174-6979. pp. 44-50.
- Kumral, M., **Şans, G.**, Yalçın, C., Kaya, M., Budakoğlu, M. 2019. Çatalca (İstanbul) Civarındaki Tarihi Küfeki Taşının Oluşumunda Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerin Etkileri. Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 7, Sayı 1, 475-482. ISSN: 2564-6605.
- Karagüzel, R., Mahmutoğlu, Y., Topçuoğlu, M. E., **Şans, G.**, Dikbaş A. 2020. Susceptibility mapping for sinkhole occurrence by GIS and SSI methods: A case study in Afsin-Elbistan coal basin. Pamukkale Univ. Muh. Bilim Derg, 26(8), 1353-1359. doi: 10.5505/pajes.2020.69812.
- Mahmutoğlu, Y., **Şans, G.** 2020. Comparison of post-failure strength of micro-cracked marble with Hoek-Brown failure criterion. Pamukkale Univ. Muh. Bilim Derg, 26(8), 1365-1372. Special Issue of the National Symposium on Engineering Geology and Geotechnics 2019-ENGGEOT2019. doi: 10.5505/pajes.2020.27543.