

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
GEOTEKNİK ANABİLİM DALI

(LİSANS TEZİ)

**İZMİR İLİ BORNOVA İLÇESİNDEN BULUNAN BİR
İNŞAAT ALANININ ZEMİN DİNAMİK DAVRANIŞI
VE SIVILAŞMA POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ**

Yusuf BATUGE

Danışman: Doç. Dr. Tuğba ESKİŞAR TEFÇİ

Geoteknik Anabilim Dalı

Tezin Sunulduğu Tarih: 2?-3?.07.2020

Bornova-İzmir

2020

Yusuf BATUGE tarafından lisans bitirme tezi olarak sunulan “İzmir İli Bornova İlçesinde Bulunan Bir İnşaat Alanının Zemin Dinamik Davranışı ve Sıvılaşma Potansiyelinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışma Ege Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Lisans Bitirme Tezi Yazım Kılavuzu kuralları uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 26/06/2020 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:**İmza**

Jüri Başkanı	: Prof. Dr. Selim Altun
Raportör Üye	: Doç. Dr. Tuğba Eskişar Tefçi
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Devrim Şüfa Erdoğan

ÖZET

İZMİR İLİ BORNOVA İLÇESİNDEN BULUNAN BİR İNŞAAT ALANININ TEK BOYUTLU ZEMİN DİNAMİK ANALİZİ İLE SİVİLAŞMA POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ

BATUGE, Yusuf

Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Tuğba ESKİŞAR TEFÇİ

Haziran 2020, 90 sayfa

Bu tez çalışması kapsamında, İzmir ili Bornova ilçesinde bulunan bir inşaat alanı için zemin dinamik davranış analizi ve sivilaşma analizi gerçekleştirilmiştir. Bu amaç doğrultusunda öncelikle sahada uygulanan sondaj ve jeofizik yöntemlerin verileri bir veri bankasında toplanmıştır. Bu veriler ışığında, sahanın 3 boyutlu modeli çıkartılmış ve sondajların konumlarına göre sahanın farklı açılardan geoteknik profillerine ulaşılmıştır. Sonrasında zeminin dinamik davranış analizi bir boyutlu analiz yöntemiyle frekans tanım alanında eşdeğer doğrusal analiz modeli kullanılarak yapılmıştır. Analizde 1977 İzmir, 1992 Doğanbey, 1995 Dinar ve 1999 Kocaeli depremleri kullanılmıştır. Son olarak SPT-N değerleriyle sivilaşma analizi yapılarak risk durumu belirlenmiştir. Alan içinde farklı deprem etkileri sonucu $0.4g$ ve üzeri seviyelerde en büyük yatay yüzey ivmelerinin oluşabileceği ve sivilaşma riskinin alan genelinde mevcut olmadığı, lokal olarak gözlemleneceği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar sözcükler: Zeminin dinamik davranışları, eşdeğer doğrusal analiz, sivilaşma analizi, SPT-N

ABSTRACT**INVESTIGATION OF 1-D SITE RESPONSE ANALYSIS AND
LIQUEFACTION POTENTIAL OF A CONSTRUCTION AREA IN
BORNOVA DISTRICT OF IZMIR CITY**

Batuge, Yusuf

BS in Civil Eng.

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Tuğba ESKİŞAR TEFÇİ

June 2020, 90 pages

Within the scope of this thesis, 1-D site response and liquefaction analysis have been performed for a construction site in Bornova district of Izmir. For this purpose, the soil properties derived from boreholes and the results of geophysical measurements were collected in a database. In the light of these data, a 3D model of the site was created and geotechnical profiles of the site were inspected via different cross sections considering the locations of the boreholes. Subsequently, site response analysis was performed by one dimensional analysis method using the equivalent linear analysis model in the frequency domain. In the analysis, acceleration-time records of 1977 Izmir, 1992 Doğanbey, 1995 Dinar and 1999 Kocaeli earthquakes were used. Finally, liquefaction analysis was performed with SPT-N values and the potential was evaluated. As a result of the application of different earthquake excitations in the area, it was concluded that the maximum horizontal ground surface accelerations may occur at levels of 0.4g and above, and the risk of liquefaction is valid for the total area, but local points in the area may be susceptible to liquefaction.

Keywords: Soil dynamic behavior, equivalent linear analysis, liquefaction analysis, SPT-N

TEŞEKKÜR

Bu çalışma süresince, başta bana manevi desteklerini hiç eksik etmeyen aileme, gerekli verilerin sağlanmasıında kolaylık gösteren Ege Temel Sondajcılık A.Ş'ye, özellikle kıymetli görüşlerinden yararlandığım ve yakın ilgisini esirgemeyen tez danışman hocam Doç. Dr. Tuğba ESKİŞAR TEFÇİ'ye, tez çalışması kapsamında kullandığım programı bana öğretmek için değerli zamanını esirgemeyen İnşaat Yük. Müh. Muhammed Mahmudi'ye teşekkürlerimi borç bilirim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
1. GİRİŞ	1
2. KONU İLE İLGİLİ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
3. BÖLGENİN VE İNCELEME ALANININ TANITILMASI, GENEL JEOLOJİ VE SİSMİSİTE	6
3.1. Bölge Tanıtımı	6
3.1.1. Bölgesel jeoloji	6
3.1.2. İzmir ili çevresindeki diri faylar ve sismisite.....	8
3.2. İnceleme Alanının Tanıtılması ve Zeminin Geoteknik Özellikleri.....	9
3.2.1. İnceleme alanı tanıtımı.....	9
3.2.2. Bölgelenin Geoteknik özelliklerı.....	10
4. DİNAMİK DAVRANIŞ ANALİZİ.....	17
4.1. Deepsoil Programına İlişkin Açıklamalar.....	18
4.1.1. Bir boyutlu eşdeğer doğrusal analiz ile frekans tanım alanında yapılan analiz metodunun tanıtılması	18
4.2. Analiz Aşaması.....	19
4.2.1. V_s - SPT-N arasında yapılan korelasyon.....	19
4.2.2. Anakayanın özellikleri.....	24
4.2.3. Analiz aşamasında kullanılan deprem kayıtlarına ait açıklamalar	24
4.2.4. Zemin sınıfına göre kayma modülü ve sönmüş oranları belirlenmesi.....	30
4.3. Dinamik Davranış Analizi Sonuçları	33
5. SİVILAŞMA ANALİZİ	40
5.1. Sıvılaşmanın Tanımı	40
5.2. Sahada Sıvılaşma Olgusu	40
5.3. Sıvılaşma Analizi İçin Kullanılan Yöntem ve Metotlar	40
5.3.1. 1996 NCEER ve 1998 NCEER/NSF Çalışma Gruplarının Zeminlerin Sıvılaşma Dayanımını Değerlendirmesi (Youd, vd., 2001).....	40
5.3.2. Iwasaki vd., 1984 Yöntemi	42
5.4. Sıvılaşma Analizi Sonuçları	43
6. GENEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA	45
EK AÇIKLAMALAR-A SONDAJ LOGLARI	48
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	86

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 İzmir geniş çevresinin sadeleştirilmiş jeoloji haritası. Türkiye Jeoloji Haritasından düzenlenmiştir. (Veri raporundan aynen alınmıştır.)	7
Şekil 3.2 Batı Anadolu'nun tektonik kuşakları ve Menderes Masifinde çalışılmış olan iki bölgenin yeri (Erdoğan ve Güngör, 1992).....	7
Şekil 3.3 İzmir ve çevresinin diri fay haritası (Emre vd., 2005).....	9
Şekil 3.4 100 Kilometre yarıçapındaki alan ve depremlerin merkez üsleri (AFAD 2020)	9
Şekil 3.5 İnceleme alanının MTA tarafından yayınlanan Türkiye Diri Fay Haritası üzerindeki konumu ve İzmir fay hattına olan mesafesi	10
Şekil 3.6 Sondajların alandaki konumları (Google Earth Pro, 2020)	12
Şekil 3.7 1:250 000 Ölçekli sismik profil krokisi (Google Earth, Görüntü tarihi:18.08.2015)	12
Şekil 3.8 Alanın 3 boyutlu görüntüsü (Üstten)	13
Şekil 3.9 Sondajların Konumları	14
Şekil 3.10 Alınan kesitlerin inceleme alanındaki konumları	14
Şekil 3.11 A-A' en kesitinin görüntüsü	15
Şekil 3.12 B-B' en kesitinin görüntüsü.....	15
Şekil 3.13 C-C' en kesitinin görüntüsü.....	15
Şekil 3.14 D-D' en kesitinin görüntüsü	16
Şekil 3.15 E-E' en kesitinin görüntüsü	16
Şekil 3.16 F-F' en kesitinin görüntüsü	16
Şekil 4.1 Vs-SPT-N grafiği, arasındaki korelasyon ve korelasyon katsayısının değerleri.	21
Şekil 4.2 MASW ile ölçülen kayma dalgası hızı değerleriyle eşitlikle bulunacak kayma dalgası hızı değerlerinin birbirleriyle olan farkları	22
Şekil 4.3 Thaker ve Rao (2011) çalışmasında bahsedilen C_d sınır değerleri ve inceleme alanında C_d değerlerinin değişimi	23
Şekil 4.4 Önceki çalışmaların ve Denklem 4.1'in karşılaştırılması	23
Şekil 4.5 1977 İzmir depremi ivme-zaman grafiği	26
Şekil 4.6 1977 İzmir depremi spektral ivme-periyot grafiği.....	26
Şekil 4.7 1992 Doğanbey depremi ivme-zaman grafiği	27
Şekil 4.8 1992 Doğanbey depremi spektral ivme-periyot grafiği.....	27
Şekil 4.9 1995 Dinar depremi ivme-zaman grafiği.....	28
Şekil 4.10 1995 Dinar depremi spektral ivme-periyot grafiği	28
Şekil 4.11 1999 Kocaeli depremi ivme-zaman grafiği	29
Şekil 4.12 1999 Kocaeli depremi spektral ivme-periyot grafiği.....	29

ŞEKİLLER DİZİNİ (devamı)

Şekil 4.13 1977 İzmir depremi etkisinde inceleme alanının PGA değerleri.....	35
Şekil 4.14 1992 Doğanbey depremi etkisinde inceleme alanının PGA değerleri	35
Şekil 4.16 1999 Kocaeli depremi etkisinde inceleme alanının PGA değerleri.....	36
Şekil 4.17 1977 İzmir depremi etkisinde inceleme alanının PSA değerleri	37
Şekil 4.18 1992 Doğanbey depremi etkisinde inceleme alanının PSA değerler.....	37
Şekil 4.19 1995 Dinar depremi etkisinde inceleme alanının PSA değerleri.....	38
Şekil 4.20 1999 Kocaeli depremi etkisinde inceleme alanının PSA değerleri.....	38

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 3.1 Arazi ve laboratuvar deneylerinin bir araya toplanmış bir sondaj kuyusuna ait örnek.....	11
Tablo 4.1 Farklı araştırmacıların zemin türlerine göre Vs-SPT-N korelasyon önerileri (Kirar vd., 2016'dan değiştirilerek)	20
Tablo 4.2 Vs-SPT-N korelasyonu için seçilen veriler.	20
Tablo 4.3 Zemin-anakaya modeli parametreleri (Pamuk vd., 2018'den değiştirilerek) ...	24
Tablo 4.4 Depremlerin verileri.....	25
Tablo 4.5 CL zemin sınıfı için deformasyon, G/Gmaks, sökümleme değerleri (Vucetic ve Dobry 1991).	30
Tablo 4.6 CH zemin sınıfı için deformasyon, G/Gmaks, sökümleme değerleri (Vucetic ve Dobry 1991)	31
Tablo 4.7 Kumlu zemin sınıfları (SC, SM, SW, SP) için kullanılan deformasyon, G/Gmaks, sökümleme değerleri (Seed ve Idriss 1970 ortalama değerleri).	31
Tablo 4.8 Siltli zemin sınıfları (MH, ML) için kullanılan deformasyon, G/Gmaks, sökümleme değerleri (Seed ve Idriss 1970)	32
Tablo 4.9 Çakılı zeminler (GC, GM, GW, GP) için kullanılan deformasyon, G/Gmaks, sökümleme değerleri (Ohta ve Goto 1976).	33
Tablo 4.10 Dinamik analiz veri bankası. (1977 İzmir depremi örneği)	34
Tablo 5.1 I_L ve sıvılaşma potansiyeli ilişkisi (Iwasaki vd., 1984)	43
Tablo 5.2 Sondaj kuyularının I_L değerleri ve Iwasaki vd., (1984) çalışmasına göre sıvılaşma riskleri	44

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
EERA	Equivalent Linear Earthquake Response Analyses
MASW	Multi-Channel Analysis of Surface Waves
MTA	Maden Tektik Arama
NCEER	National Centre for Earthquake Engineering Research
PEER	Pacific Earthquake Engineering Research Center
RADIUS	Risk Assessment Tools for Diagnosis of Urban Areas Against Seismic Disaster
SPT	Standart Penetrasyon Deneyi
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
a_{\max}	deprem sırasında zemin yüzeyinde oluşan maksimum yatay yer ivmesi
C_d	Normalize tutarlılık oranı
CH	Yüksek plastisiteli kil
CL	Düşük plastisiteli kil
CRR	Tekrarlı direnç oranı
CSR	Tekrarlı gerilme oranı
FS	Güvenlik katsayısı
GC	Killi çakıl
GM	Siltli çakıl
GP	Kötü derecelendirilmiş çakıl
GW	İyi derecelendirilmiş çakıl
I_L	Sıvılaşma potansiyeli indeksi
M	Magnitüd
M_s	Yüzey dalgası büyüklüğü

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (Devamı)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
M _w	Moment büyüklüğü
ML	Düşük plastisiteli silt
MH	Yüksek plastisiteli silt
MSF	Büyüklük düzeltme faktörü
NP	Non-plasticity
-No:200	200 No'lu elek altı danelerin yüzdesi
PI	Plastisite indeksi
PGA	En büyük yüzey ivmesi “Peak Ground Accelaration”
PSA	En büyük spektral ivme “Peak Spectral Accelaration”
r _d	Gerilme azaltma katsayısı
SC	Killi kum
SK	Sondaj kuyusu
SM	Siltli kum
SP	Kötü derecelendirilmiş kum
SW	İyi derecelendirilmiş kum
UD	Örselenmemiş numune
V _s	Kayma dalgası hızı (m/sn)
Z	Derinlik (m)
ω _n	Doğal su içeriği
σ _{v0}	Toplam düşey gerilme
σ' _{v0}	Efektif düşey gerilme

1. GİRİŞ

Deprem, yerkabuğunun kırılmasıyla ani olarak ortaya çıkan enerjinin sismik dalgalar halinde ilerleyerek geçtiği yüzeyleri sarsması sonucu oluşan yıkıcı bir doğal afettir. Depremler, Dünya'nın varlığından beri olagelen bir doğa olayıdır. Dünyada her yıl 700 kadar deprem meydana gelmektedir. Bu zamana kadar milyonlarca insanın ölümüne neden olmuş, fiziksel ve sosyo-ekonomik kayıplara yol açmıştır.

Depremlerin oluşumunu engellemek ve oluşacağı zamanı tespit etmek maalesef ki mümkün değildir. Ancak yaratabileceği hasarları asgariye indirmek elimizdedir. Depremlerin oluşturduğu sismik dalgalar zeminin farklı tabakalarından geçerken zeminin özelliklerine bağlı olarak düzensiz kayma gerilmelerine ve dayanım (mukavemet) kaybına neden olabilmektedir (Ansar, 1999). Zeminde meydana gelebilecek kayma gerilmeleri ve dayanım kayıpları üst yapıda büyük ölçütte hasarlar meydana getirebilir. Geoteknik deprem mühendisliğinde en çok karşılaşılan problem olan zeminin deprem gibi dinamik etkiler altındaki davranışının değerlendirilmesi, zeminin doğru analiz edilmesini ve üst yapıyı bu bilgiler doğrultusunda inşa etmeyi gerektirmektedir.

Sismik aktivitenin yüksek olduğu bir bölgede bulunan ve yerel zemin koşullarının deprem hareketinin etkisini büyütebilecek alüvyonel zeminlerden ibaret olması, bu özellikle sahaların dinamik analizinin yapılmasını gerektirmektedir. Alüvyonel özellikle zeminde kum ve silt grubu zeminler gevşek olarak yer alıyorsa zeminin sıvılaşma potansiyelinin incelenmesi de önem taşımaktadır.

Bu lisans tezi çalışmasının amacı sismik olarak aktif bir yerleşim alanı olan İzmir ili Bornova ilçesi'nde yer alan bir sahada, zemin dinamik davranışını analizi ve sıvılaşma analizi yaparak, seçilen sahanın farklı deprem hareketleri altındaki davranışını analiz etmektir. Bu amaçla, öncelikle, sahanın zemin özellikleri tanıtılmaya çalışılmış, zeminin üç boyutlu modeli kurularak, çeşitli kesitler alınarak sondajlarla belirlenemeyen alanların hangi tür zemin tabakalarından olduğu tahmin edilmiştir. Sahaya özgü hazırlanan veri raporu detaylı bir şekilde incelenerek saha içindeki kayma dalgası hızları ile ölçülen ham SPT-N darbe sayıları arasında bir korelasyon geliştirilmiştir. Ardından her sondaj noktasında eşdeğer lineer yöntem ile zeminin dinamik davranış analizi yapılmıştır. Saha içinde birkaç sondaj kuyusunda sıvılaşabilir zemin özelliklerine sahip ardışık

tabakalar tespit edilerek bu tabakaların sıvılaşma potansiyelleri değerlendirilmiştir.

Deprem hareketlerinin oluşturduğu en büyük zemin yüzeyi ivmeleri ve en büyük zemin yüzeyi spektral ivmeleri “kriging” yöntemi ile işlenerek sahanın her bir deprem kaydı için haritaları oluşturulmuş ve risk arz eden yerler saptanmıştır.

2. KONU İLE İLGİLİ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Eskişar (2008), çalışmasında İzmir ilinin kuzey körfezlerini inceleme alanı olarak almış, bölge zemininin geoteknik sorunlarını incelemiştir. İnceleme için öncelikle geoteknik veritabanı oluşturulmuştur. Zeminlerin sismik davranış analizi için tek boyutlu eşdeğer lineer analiz programı kullanılmıştır. 1977 İzmir Depremi ($M=5.3$), 2003 Urla Depremi ($M=5.6$) ve 2005 Urla Depremi ($M=5.9$)'nin ve bu depremlerin senaryo depremi hallerini ivme zaman kayıtlarının frekans içeriği sabit tutularak büyülüklüğü 6.5 olacak şekilde düzenleyerek kullanmıştır. Dinamik analizler sonucunda en büyük zemin yüzeyi ivmesi, en büyük taban kayası ivmesi, en büyük ivme oranı, en büyük zemin yüzeyi spektral ivmesi, en büyük taban kayası spektral ivmesi ve en büyük spektral ivme oranı değerleri belirlenmiştir. Sıvılaşma analizi için 4 farklı metot kullanılarak sıvılaşma potansiyel haritaları çıkartılmıştır. Sonuç olarak, İzmir ili kuzey körfezinin yerel zemin özellikleri çıkartılmış, bölgenin risk potansiyeli ortaya konulmuştur. Sunulan ivme ve spektral ivme haritalardaki kritik yerlerde mevcut yapıların yeniden değerlendirilmesi gerekebileceğini ve yerel olarak üretilen elastik tasarım spektrumları ile yüksek binaların tasarlanması uygun olacağını söylemiştir. Bu çalışma, İzmir'in kuzey körfezinin marjinal arazileri hakkında bilgi sağlamak için bir mikrobölgeleme çalışması niteliğindedir (Eskişar vd., 2014).

Kale (2008) tez çalışmasında inceleme bölgesi olarak İstanbul Zeytinburnu İlçesi'nde yer alan 3 adet en kesit üzerinde deprem sırasında oluşacak yüzey hareketlerinin değişimini belirlemek için bir ve iki boyutlu dinamik davranış analizleri yaparak sonuçları karşılaştırılmıştır. Bir boyutlu analizler için eşdeğer doğrusal analiz prensibine dayalı olarak çalışan EERA programı ile eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan çözüm yapabilen DEEPSOIL programı kullanılmıştır. İki boyutlu analizler ise Plaxis 8.5'in dinamik versiyonu kullanılarak yapılmıştır. Sonuç olarak arazi tepki analizlerinin birçok belirsizlik içerdigi, uygulamada sıkça kullanılan bir boyutlu eşdeğer lineer analiz yöntemi yatay tabakalardan oluşan düz sahalar için geliştirilmiş olup, eğimli bölgelerde özellikle şev etekleri ve topuğa yakın kesimlerde güvenli yönde olmayan sonuçlar verebileceği saptanmıştır. Diğer yandan iki boyutlu analiz yöntemlerinin de tam açıklığa kavuşmamış yanları bulunduğu, Sınır koşullarının doğru tanımı ve sönum katsayılarının sağılıklı belirlenmesi için ek araştırmalara gereksinim duyulduğu belirlenmiştir. Nümerik analiz sonuçlarının arazide gerçek depremlerde kaydedilmiş zemin hareketleri ile karşılaşılmasının analiz yöntemlerinin kalibrasyonu için çok yararlı olacağı söylemiştir.

Bozkurt (2010), geoteknik deprem mühendisliği açısından, İzmir körfezinin güney kıyısının dinamik zemin davranışlarının araştırılması amaçlamıştır. Geoteknik veritabanı, araştırma alanı için daha önceden yapılmış olan çeşitli geoteknik raporlar kullanılarak kurulmuştur. Çalışmada, tek boyutlu dinamik zemin tepki analiz yöntemi kullanılmıştır. Eşdeğer doğrusal model, EERA bilgisayar programı yardımıyla oluşturulmuş ve 1977 İzmir Depremi ($M = 5.3$) 2003 Urla Depremi ($M = 5.6$), 2005 Urla Depremi ($M = 5.9$) senaryoları için zemin tepki analizleri yapılmıştır. Sıvılaşma analizleri, SPT-N değerlerine bağlı olarak her sondaj ve derinlik için ayrı ayrı yapılmıştır. Bölgenin sıvılaşma riski 15 m derinliğe kadar iki farklı yöntem kullanılarak hesaplanmıştır. Tez çalışması, Tuzla ve Karaburun fay hatlarından kaynaklanabilecek depremlerin de araştırılmasını önermiştir.

Nar (2016), 1999 depremi sonucu oluşan çökмелere, yanal yayılmalar ve büyütme gibi zemin hasarları, üst yapı hasarları ve bölgeye ait verilerin çokluğu nedeniyle Kocaeli ili “Gölcük İlçesi Çöküntü Bölgesi” için zemin büyütmelerinin belirlenmesi ve tepki spektrumlarının geliştirilmesi amacıyla gerekli yer yüzeyi hareketlerinin belirlenmesi için bir boyutlu zemin (saha) davranış analizi yapılmıştır. Sondaj verileri ve bölgede daha önce yapılmış olan sismik profillerden elde edilen S kayma dalga hızı değerleri kullanılarak zemin profili çıkarılmış ve bir boyutlu saha davranış analizi programı olan DEEPSOIL programı kullanılarak Gölcük yöresinde olusablecek depremlere yönelik dinamik saha davranışları analizleri yapılmıştır. Elde edilen dinamik zemin davranışları sonuçları mevcut deprem yönetmeliği olan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik 2007'ye göre yorumlanmıştır. Saha davranış analizlerinde 1999 Kocaeli depreminde 5401 no'lu (Sakarya) istasyonunda kaydedilen 17 Ağustos ($M_w=7.4$) anakaya kaydı ve 2 büyük artçı deprem olan 13 Eylül ($M_w=5.7$) ve 11 Kasım ($M_w=5.7$) kayıtları kullanılmıştır. Tüm sonuçlar ışığında, Gölcük çöküntü bölgesi zemininin ana şok ve artçı şoklar esnasında deprem hareketinin süresini uzattığı anlaşılmaktadır. Gölcük çöküntü bölgesi gibi yakın sahada büyük magnitüdü depremlere maruz kalabilecek bölge zeminlerinin deprem hareketinin genliğini büyütmesi ve hareketin süresini uzatması açısından mutlaka çalışılması gereken bir konu olduğu ortaya konulmuştur.

Edinçliler ve Çalıkoğlu (2018), İzmir ilinin iki ilçesi Karşıyaka ve Çiğli'den alınan birer adet sondaj uygulamasından bulunan zemin profili için sismik davranış analizini gerçekleştirmiştir. Analiz için DEEPSOIL programı kullanılmıştır. Deprem ivme kayıtları olarak 2014 Gökçeada depremi ($M=6.5$) ve

2017 Bodrum depremi ($M=6.5$) kullanılmıştır. Sonuç olarak zeminin en büyük yüzey ivmeleri ve en büyük spektral ivme değerleri bulunmuştur. Deprem ivme kaydının karakteristiğine ve zemin profiline bağlı olarak, spektral ivme ve yüzey ivmesi gibi çıktı parametrelerinde büyük değişiklikler olabileceği saptanmıştır.

Mert (2018), Eskişehir ili Çifteler İlçesi’nde yer alan sıvılaşabilir özellikteki zeminlerden oluşan ve sondaj verileri bulunan 18 adet hücrenin DEEPSOIL programında frekans tanım alanında eşdeğer doğrusal yöntem ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan yöntem ile zemin dinamik davranış analizleri ve sıvılaşma analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda yüzeyde oluşacak ivme değerlerinin değişimi belirlenerek, söz konusu hücrelerin sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayıları ve sıvılaşma potansiyel indeksi değerleri hesaplanmıştır. Eşdeğer doğrusal analizler sonucu elde edilen sıvılaşma potansiyel indeksi değerleri kullanılarak belirlenen sıvılaşma potansiyeli dereceleri, doğrusal olmayan zemin dinamik analizleri sonucu elde edilen boşluk suyu basıncı oluşum değerleri ile karşılaştırılmak suretiyle, çalışma alanında yer alan zeminlerin sıvılaşma potansiyeli her iki analiz yöntemi için incelemiştir. Sıvılaşma analizi için ise basitleştirilmiş yöntem ve olasılıksal yöntem kullanılmıştır. DEEPSOIL programı kullanılarak gerçekleştirilen eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan analizler sonucunda elde edilen ivme değerleri incelediğinde maksimum yüzey ivme değerlerinin birbirine yakın olmakla birlikte eşdeğer doğrusal analiz ile elde edilen ivme değerlerinin doğrusal olmayan analize göre bir miktar yüksek olduğu görülmüştür.

Ceren (2019), Kahramanmaraş ilinde zemin dinamik davranışını değerlendirmesi yapmıştır. Yüksek kil içeriğine sahip Üngüt Mahallesi zemininin DEEPSOIL programı yardımı ile frekans alanında doğrusal, frekans alanında eşdeğer doğrusal ve zaman alanında doğrusal olmayan analizleri yapılmış, zeminin dinamik davranışının hakkında bilgiler elde edilmiştir. Seçili 54 adet sondaj kuyusu üzerinde yapılan analizler 1999 Kocaeli ($M_w=7.4$) ve Northridge ($M_w=6.7$) depremi ivme kaydıyla yapılmıştır. Zaman alanında doğrusal olmayan analiz sonuçları frekans alanında doğrusal ve frekans alanında eşdeğer doğrusal analizden daha düşük sonuçlar vermiştir. Zeminlerin dinamik davranış analizinin yapıldıktan sonra tek analiz türünün net sonuç vermeyeceğini, farklı analiz metodları kullanılarak zeminin dinamik davranış hakkında detaylı bilgiye sahip olabileceğini önermiştir.

3. BÖLGENİN VE İNCELEME ALANININ TANITILMASI, GENEL JEOLOJİ VE SİSMİSİTE

3.1. Bölge Tanıtımı

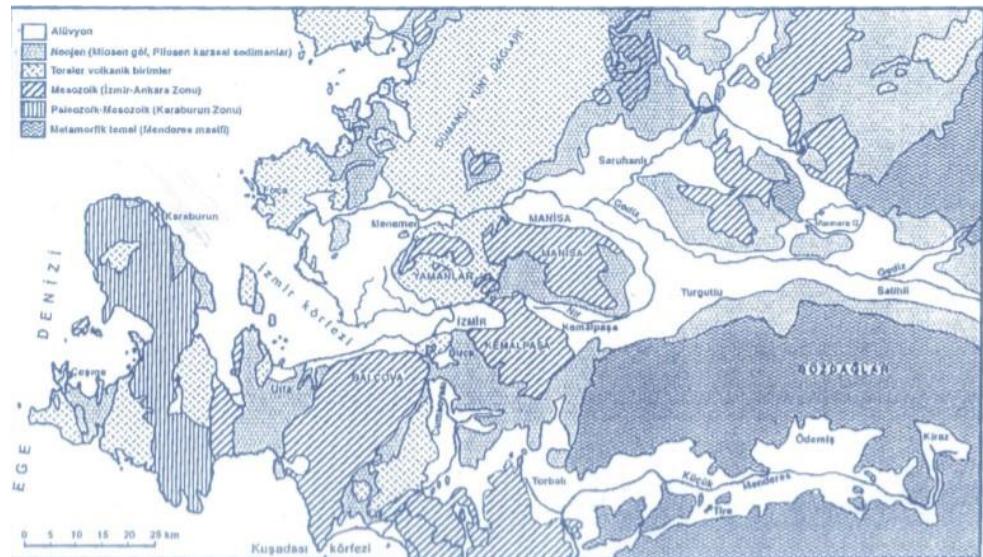
Bornova ilçesi, İzmir ilinin kuzeydoğusunda, Yamanlar Dağı eteğinde 38 derece kuzey enlemi ve 27 derece doğu boylamı üzerindedir. İzmir kent merkezine 8 kilometre uzaklıktadır ve deniz seviyesinden yüksekliği yerleşim alanlarında 20 ile 200 m arasında değişmektedir. Bu yükseklik dağlık bölgelerde 600 m'ye kadar çıkmakta hatta aşmaktadır. İlçe Merkezinin güneyinde yer alan geniş düzlük, Bornova Ovası; Bozalan, Hacılarkı, Karasuluk, Mersinli ve Bayraklı Ovalarının birleşmesinden oluşmaktadır. Bu ovalar genelde yamaçlardan inen suların getirdiği alüvyonların birikmesiyle oluşmuştur. İlçenin yüzölçümü 220 km²'dir.

3.1.1. Bölgesel jeoloji

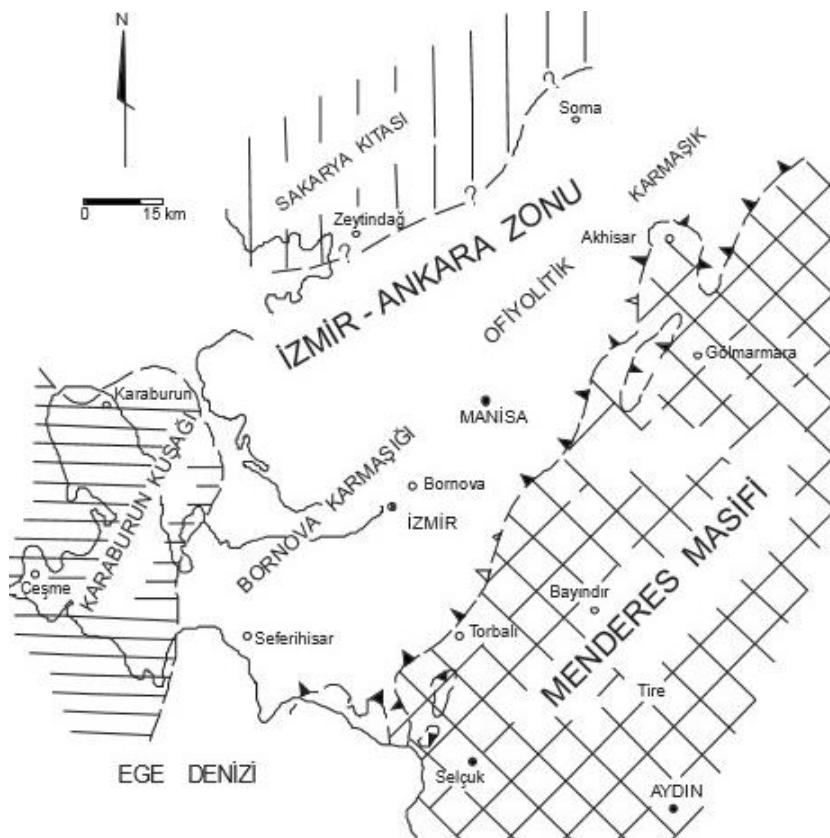
Bölgede ve yakın çevresinde Prekambriyenden günümüze kadar oluşmuş çeşitli yaş ve türdeki kaya toplulukları mevcuttur. İzmir ve çevresinin jeoloji haritası Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Bölgedeki kaya toplulukları paleotektonik dönem temel kayaları ile bunlar üzerinde örtü birimlerini oluşturan Neojen ve Kuvarterner birimleri olmak üzere iki gruptur.

Temel Kaya Birimleri: Bölgedeki Paleotektonik dönem temel kaya birimleri Menderes Masifi ve İzmir-Ankara zonu olmak üzere iki grupta toplanmıştır (Şekil 3.2). Tüm Batı Anadolu'nun temelini oluşturan Menderes masifi metamorfik kayalardan oluşur. Masifin çekirdeği yüksek derecede metamorfizma geçirmiş gnays ve şistlerden oluşur (Şengör vd., 1985).

İnceleme alanında ve yakın çevresinde yer alan kaya birimleri ise Bornova Karmaşığı, Neojen Yaşılı Karasal Çökeller ve Yamanlar Volkanitleridir. Bölgede gözlenen alüvyonlar, Gediz Deltası'nın üst seviyelerinde kumlu zeminler çok gevşek, derinlere doğru gevşek ve orta sıkılıklarda bulunmakta, killi zeminler çok yumuşak ve yumuşak kıvam durumu göstermektedir. Çakıllar ise genellikle andezit, aglomera bileşimlidir. Bu bölgede yeraltı suyu seviyesi çok yüksektir. İzmir körfezinin doğusunu oluşturan düzlüklerde Bornova Çayı, Manda Çayı, Kocasu Deresi ve Arap Deresinin alüvyonları mevcuttur. Bornova Ovası'nın büyük bir kısmını oluşturan Kuvarterner yaşılı alüvyonlar çeşitli irilikte blok, çakıl, kum, silt ve kilden meydana gelmiştir. Yüzeyde, genellikle dere yataklarında iri blok ve çakıllar halinde görürlüler.



Şekil 3.1 İzmir geniş çevresinin sadeleştirilmiş jeoloji haritası. Türkiye Jeoloji Haritasından
düzenlenmiştir. (Ege Temel Sondajcılık Ltd. Şti, 2015)



Şekil 3.2 Batı Anadolu'nun tektonik kuşakları ve Menderes Masifinde çalışılmış olan iki bölgenin
yeri (Erdoğan ve Güngör, 1992)

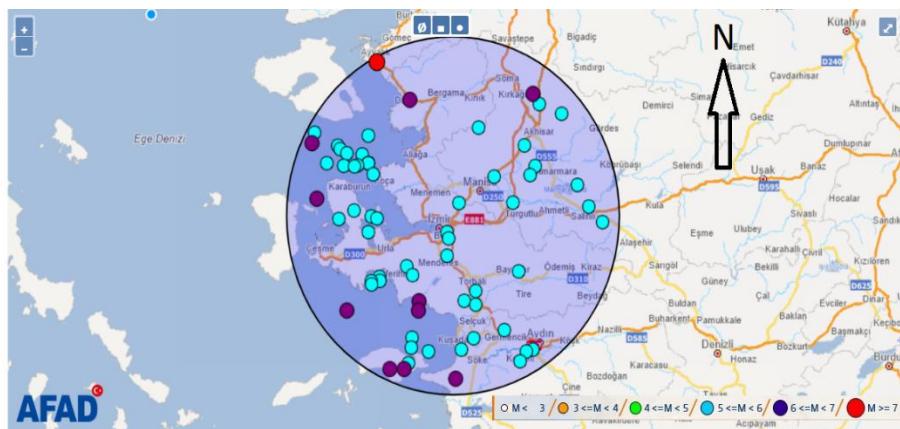
3.1.2. İzmir ili çevresindeki diri faylar ve sismisite

İzmir kent merkezi merkez alınmak üzere 50 kilometre yarıçapındaki bir dairenin oluşturduğu alanda 13 adet diri fayın varlığı belirlenmiştir (Emre vd., 2005). Fay hatlarının İzmir çevresindeki konumları Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Bu diri fayların deprem üretme kapasiteleri yüksektir. Hem aletsel dönemde hem de tarihsel dönemdeki İzmir yakınındaki depremlere bakıldığından bu savın doğru olduğu anlaşılmaktadır. İzmir merkez olmak üzere 100 km yarıçapındaki bir dairesel alanda, aletsel dönemde (1900-Günümüz) meydana gelmiş depremlerin istatistikleri Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) internet sitesinden araştırılmıştır (AFAD, 2020). Buna göre, bu alanda ve bu tarihlerde büyülüklüğü 5.0 ile 6.0 arasında 55 adet deprem kaydı, büyülüklüğü 6.0 ile 7.0 arasında 10 adet deprem kaydı, büyülüklüğü 7.0'dan büyük 1 adet deprem kaydı bulunmaktadır (Şekil 3.4). Ayrıca İzmir ili, Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasında birinci derece deprem bölgesi olarak tanıtılmıştır. Bölgenin sismik açıdan çok aktif olduğu bilinmektedir (Halıcıoğlu ve Özener, 2008).

İzmir şehrinde deprem tehlikesi için yapılan tek resmi araştırma ise, RADIUS (1999) projesidir. Çalışmanın amacı ve konusu, kentte meydana gelebilecek deprem zarar tespit ve zararların azaltılması için alınması gereken tedbirleri içерdiği Deprem Senaryosu ve Master Planı hazırlamaktır. Çalışma, şehrın genel durumunu sismolojik veriler dikkate alınarak deprem tehlikesinin değerlendirmesini gerçekleştirmiştir. Bu çalışmaya göre, İzmir için senaryo depremi olarak İzmir fayı üzerinde oluşabilecek $Ms=6.5$ büyülüğünde bir depremin göz önüne alınması uygun bulunmuştur.



Şekil 3.3 İzmir ve çevresinin diri fay haritası (Emre vd., 2005)

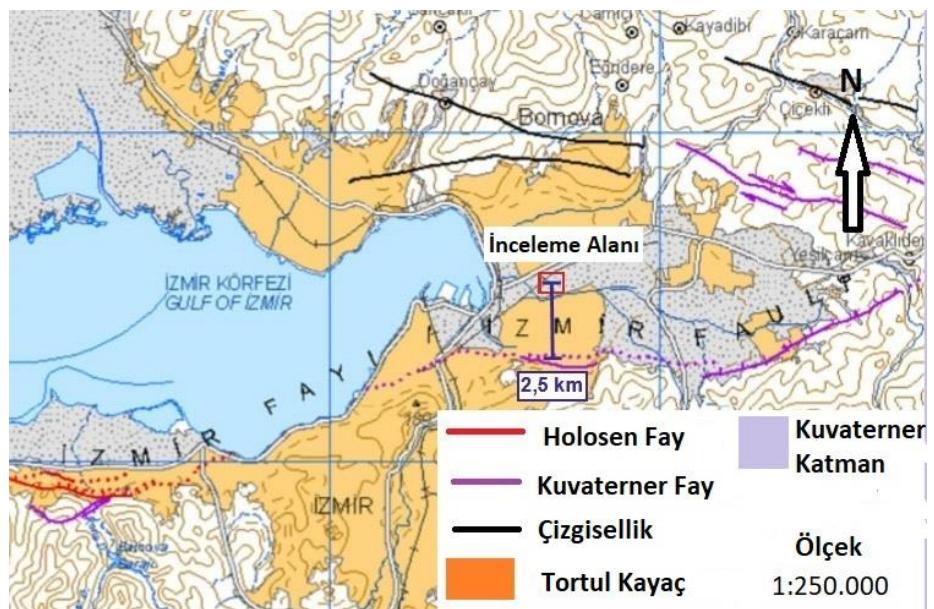


Şekil 3.4 100 Kilometre yarıçapındaki alan ve depremlerin merkez üsleri (AFAD 2020)

3.2. İnceleme Alanının Tanıtılması ve Zeminin Geoteknik Özellikleri

3.2.1. İnceleme alanı tanımı

İnceleme alanı Bornova ilçesinde 2610 m^2 alan içerisinde konumlanmıştır. Veri raporunda verilen bilgilere göre, parsel alanı düz arazidir. Alana 5 bloktan oluşan bir yapı topluluğu inşa edilmiştir. Yapıların bina yükseklik sınıfı BYS-6'dır. Bina kullanım sınıfı BKS-3, bina önem katsayıısı $I=1.0$ 'dır. Binaların temelleri radye temeldir. İnceleme alanının harita üzerindeki konumu ve en yakınındaki İzmir fay hattına uzaklığı Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) haritasından değiştirilerek veri raporunda sunulmuştur (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 İnceleme alanının MTA tarafından yayınlanan Türkiye Diri Fay Haritası üzerindeki konumu ve İzmir fay hattına olan mesafesi

3.2.2. Bölgenin geoteknik özellikleri

Veri raporunda verilen bilgilere göre, inceleme alanının zemin profili alüvyoneldir. Coğunlukla killi, siltli, kumlu ve az miktar çakılı bir görüntü sergilemektedir. Yer altı suyu seviyesinin derinliği 2.00 ile 4.55 m arasında değişmektedir. Zemin yatak katsayıları 1500-3000 t/m³, zemin büyütmesi 2.40-2.67, zemin hâkim titreşim periyodu 0.60 saniye değerlerinde ölçülmüştür. Zemin sınıfı ise ZE olarak değerlendirilmiştir.

Geoteknik çalışmalar kapsamında, 2015 yılında bölgede derinlikleri 30.45 m ile 50.45 m arasında değişen 16 adet sondaj kuyusu açılmıştır. Sondajlar sırasında zeminin geoteknik özelliklerini saptamak amacıyla standart penetrasyon (SPT) deneyleri yapılmıştır. Sondajlar sırasında örselenmiş (SPT), örselenmemiş (UD) ve korunmuş karot (KN) örnekler alınmıştır. Bu örnekler üzerinde doğal su içeriği (ω_n) ve doğal ve kuru birim hacim ağırlık değerleri belirlenmiş, zemin sınıflandırma simgelerini elde etmek üzere yıkamalı elek analizi ile Atterberg kıvam limiti deneyleri yapılmıştır. Jeofizik çalışmalar kapsamında 7 Serim aktif kaynaklı yüzey dalgası (MASW), 7 Serim Sismik Kırılma ölçümü, 2 noktada ise mikrotremor ölçümü alınmıştır. Arazi ve laboratuvar deneylerinin sonuçları tez çalışması başlangıcında dijital olarak işlenerek bir veri bankasında toplanmıştır (Tablo 3.1).

Tablo 3.1 Arazi ve laboratuvar deneylerinin bir araya toplanmış bir sondaj kuyusuna ait örnek

SONDAJ NO	ÖRNEK		İNDİRİM ÖZELLİKLERİ						USCS'YE GÖRE ZEMİN SINIFLANDIRMASI	STANDART PENETRASYON DENEYİ				
	ÖRNEK NO	DERİNLİK (m)	DOĞAL SU İÇERİĞİ ω_n (%)	ATTERBERG LİMİTLERİ			ELEK ANALİZİ			DARBE SAYISI				
				LL	PL	PI	+NO 10 (%)'	-NO 200 (%)	TS 1500'E GÖRE ZEMİN SINIFLANDIRMASI	0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N_{30}	
SK-1	SPT-1	3.00-3.45							DOLGU	DOLGU	3	2	2	4
	SPT-2	4.50-4.95	33.1	47	21	26	2	85.2	CL	CI	3	4	6	10
	SPT-3	6.00-6.45							CL	CL	5	5	4	9
	SPT-4	9.00-9.45	21.3	38	17	21	3.7	77.9	CL	CI	5	6	4	10
	SPT-5	10.50-10.95							CL	CI	6	6	6	12
	SPT-6	13.50-13.95	15.5	23	14	9	3.1	49.5	SC	SC	13	19	20	39
	SPT-7	16.50-16.95	10.1	22	15	7	37.4	20.3	SC	SC	13	13	17	30
	SPT-8	19.50-19.95	19.7	26	14	12	17.3	47.6	SC	SC	11	13	15	28
	SPT-9	21.00-21.45	24.5	39	18	21	19.5	59.3	CL	CI	10	12	14	26
	SPT-10	24.00-24.45	34.2	54	22	32	1	86.8	CH	CH	8	8	13	21
	SPT-11	27.00-27.45							CH	CH	1	11	10	21
	SPT-12	30.00-30.45							CH	CH	8	10	12	22

Bu tez çalışmasında, 16 adet sondaj kuyusunda belirli derinliklerde ölçülen SPT-N₃₀ darbe sayıları, 7 serim MASW uygulamasından bulunan kayma dalga hızları (V_s) ve zemin mekaniği laboratuvar deney sonuçları kullanılmıştır. Sondaj kuyularının ve MASW uygulamalarının bölgedeki konumları Şekil 3.6 ve 3.7'de gösterilmiştir.



Şekil 3.6 Sondajların alandaki konumları (Google Earth Pro, 2020)

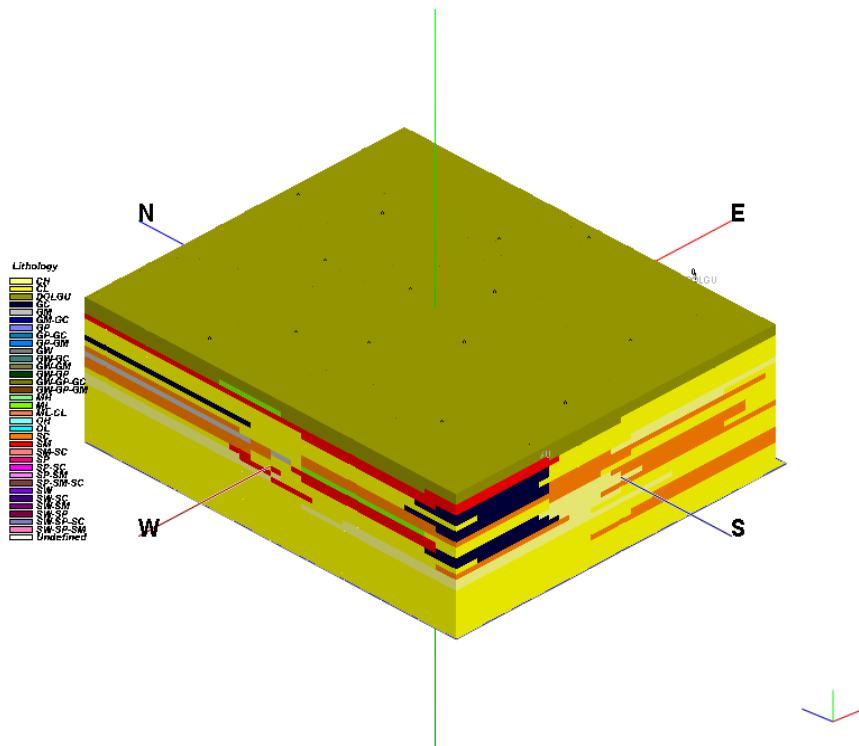


Şekil 3.7 1:250 000 Ölçekli sismik profil krokisi (Google Earth, Görüntü tarihi:18.08.2015)

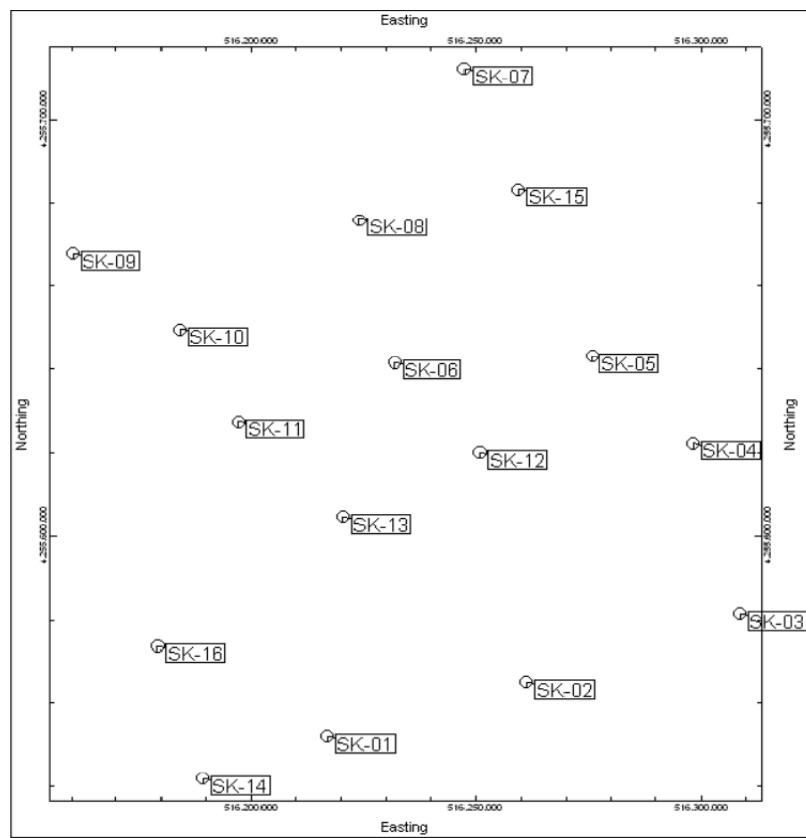
Alanın geoteknik profili harmasını çıkartmak için Rockworks programı kullanılmıştır. Rockworks, incelenen sahanın 2 ve 3 boyutlu modellemesini yapabilen kapsamlı bir yazılımdır. Ayrıca Rockworks programı, bilgisi bulunmayan derinliklerin zemin sınıfının ne olabileceğine dair bir yaklaşımda

bulunabilmektedir. Çalışmada derinliği 30.45 m ile 50.45 m arasında değişen sondajların bu taban derinliğinden anakaya derinliği olarak belirlenen 60 m derinliğe kadar olan tahmini zemin türleri Rockworks programına göre bulunmuştur. Program sayesinde arazinin 3 boyutlu modeli ve farklı konumlardan 6 adet en kesiti çıkartılmıştır. Elde edilen görüntüler aşağıda gösterilmiştir.

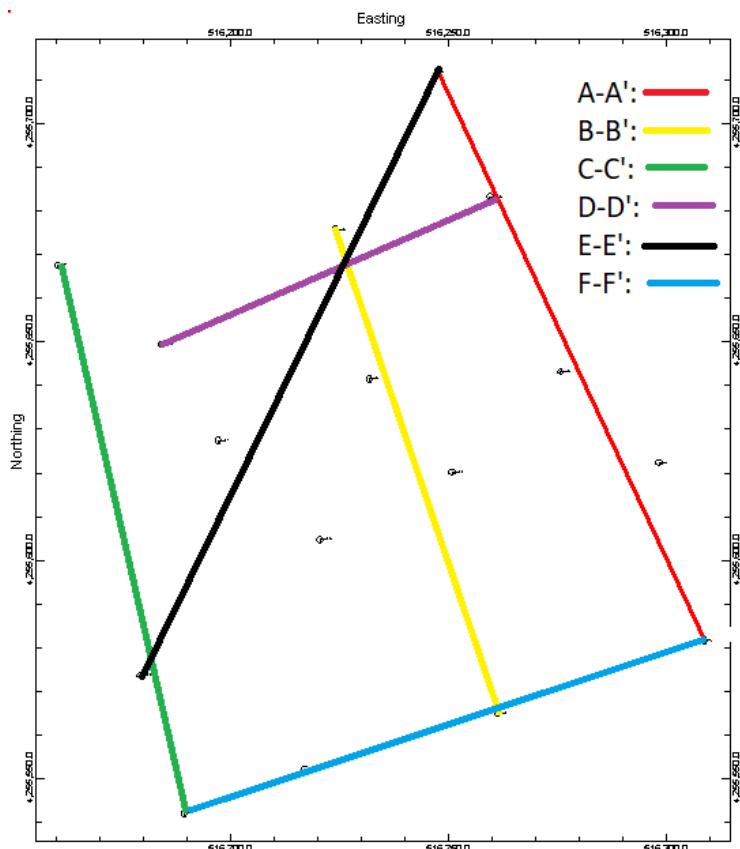
Elde edilen 3 boyutlu modelde dolgu tabakasının altında genellikle CL türü kil veya SM türü kum olduğu dikkati çekmektedir (Şekil 3.8). Daha derinlere inildikçe yoğunluklu olarak SC, CL, CH türü zeminlerin baskın olarak alan içinde yer aldığı gözlenmektedir. Arazide çakıllı zeminlere nadiren rastlanmakla beraber, birkaç lokasyonda ML türü zeminlerin var olduğu da görülmektedir. Bu model oluşturulduktan sonra, zeminlerin kesitlerini elde etmek mümkündür. Şekil 3.9'da belirtilen sondaj konumlarına uygun olarak Şekil 3.10'da 6 adet geoteknik zemin kesiti seçilmiştir. Bu kesitler dahilinde gözlenen zemin türleri Şekil 3.11-16'da sunulmaktadır.



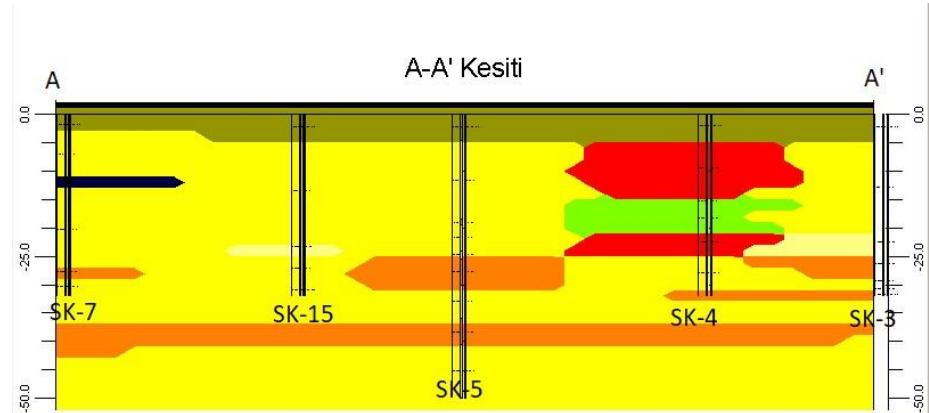
Şekil 3.8 Alanın 3 boyutlu görüntüsü (Üstten)



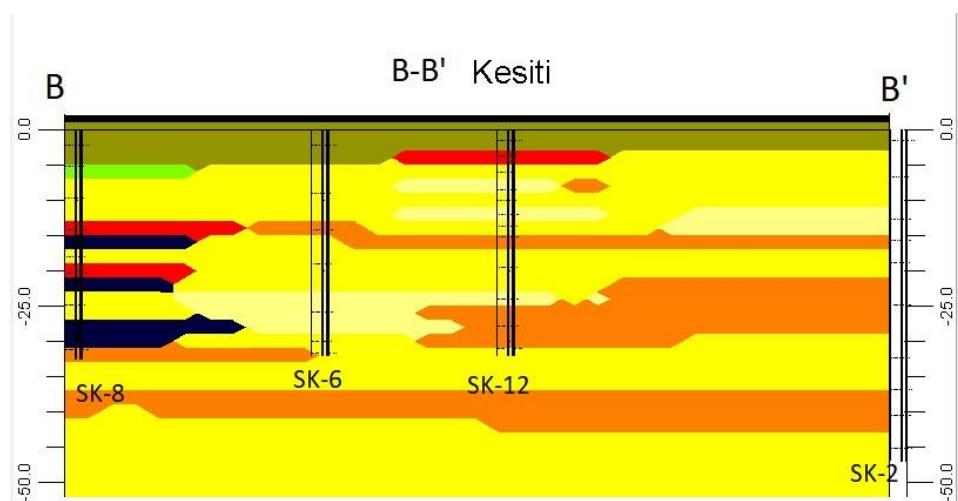
Şekil 3.9 Sondajların Konumları



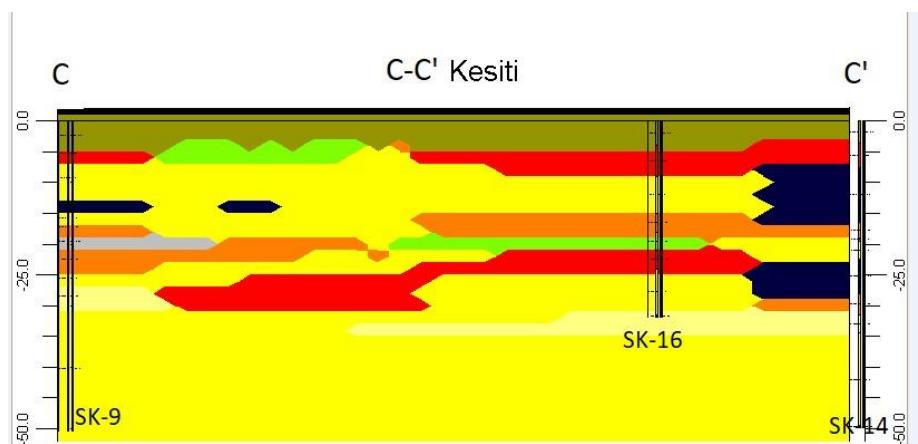
Şekil 3.10 Alınan kesitlerin inceleme alanındaki konumları



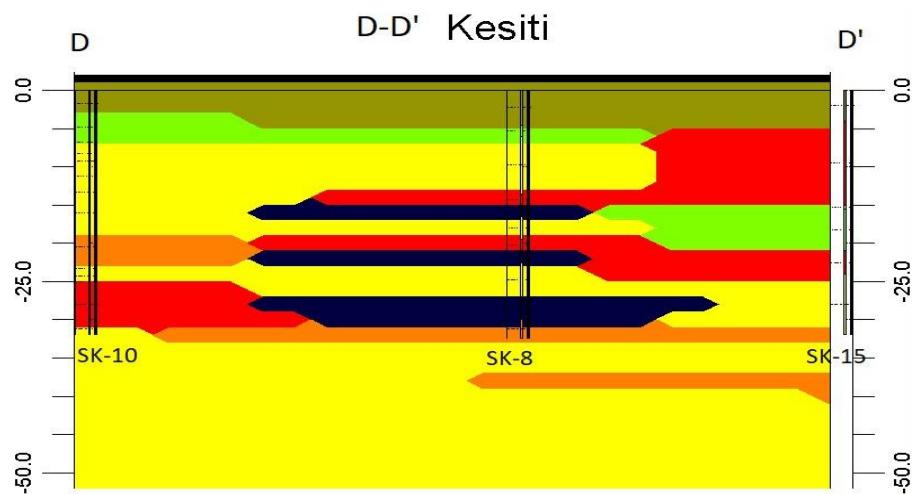
Şekil 3.11 A-A' en kesitinin görüntüsü



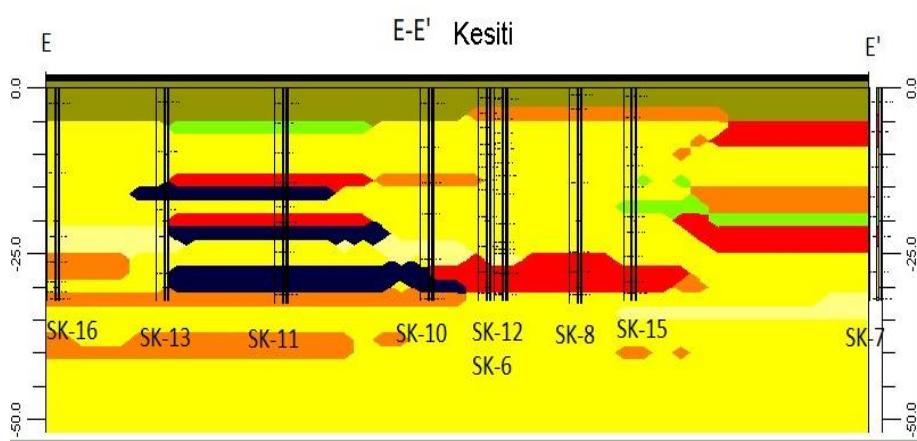
Şekil 3.12 B-B' en kesitinin görüntüsü



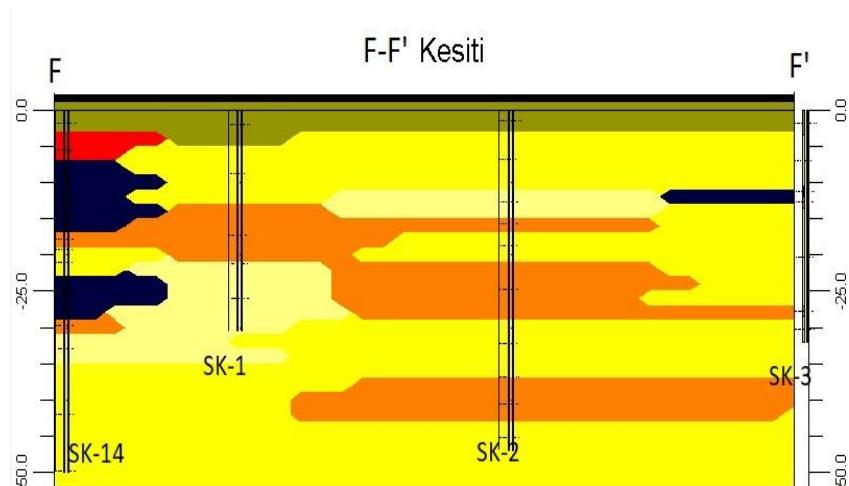
Şekil 3.13 C-C' en kesitinin görüntüsü



Şekil 3.14 D-D' en kesitinin görüntüsü



Şekil 3.15 E-E' en kesitinin görüntüsü



Şekil 3.16 F-F' en kesitinin görüntüsü

4. DİNAMİK DAVRANIŞ ANALİZİ

Zemin dinamik davranış analizi ya da diğer adıyla sismik davranış analizi, bir sahadaki zeminin deprem gibi sismik kuvvetler etkisinde davranışını incelemek ve tasarım tepki spektrumlarını belirlemektir. Bu dinamik özelliklerin belirlenmesi ile zemin büyütmesi, zemin hâkim titreşim periyodu, sıvılaşma, heyelan gibi birçok mühendislik problemin çözümüne katkı sağlanmış olur.

İdeal şartlar altında eksiksiz bir saha davranış analizinde deprem kaynağındaki yırtılma mekanizması, gerilme dalgalarının yer içinde yayilarak belirli bir sahanın altındaki anakayanın tepesine ulaşması modellenir ve yer yüzeyindeki hareketin anakaya üzerindeki zeminler tarafından nasıl etkilendiği belirlenir. Gerçekte fay kırılma mekanizmasının çok karmaşık ve kaynaktan ortama dalga aktarılmasının belirsiz olması, kabuksal hız ve sönümlük karakteristiklerinin yeterince bilinmemesi, deprem kaynağı ve yer yüzeyi arasındaki enerji transferinin belirsizliği nedeniyle mühendislik uygulamalarında bu davranış modeli kullanışlı olmamaktadır (Kramer, 1996).

Bu sebeplerden ötürü zeminin dinamik davranış analizi, ana kayadan iletilmeye başlanan deprem dalgalarına zemin tabakalarının verdiği tepkinin belirlenmesi olarak basitleştirilmiştir. Sismik dalgaların kaya ortamda yüzlerce kilometre ilerledikten sonra zemin içinde de çoğu zaman 100 m'den daha az yol aldığı gerçeği dikkate alındığında, yer yüzeyi hareketinin belirlenmesinde zeminin çok önemli rol oynayacağı açıklıktır.

Bu amaç doğrultusunda ise, incelenen zeminin tabakaları ve tabakaların derinliği, zemin sınırlarının birim hacim ağırlıkları gibi geoteknik verilere, kayma dalga hızları gibi jeofizik verilere, sahaya özgü deprem ivme kayıtlarına, anakayanın özelliklerine ve yer altı su seviyesi gibi bilgilere ve zemin dinamik davranış analizi gerçekleştiren programlara ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında, dinamik davranış analizi gerçekleştirilecek sahanın öncelikle verileri toplanmıştır. Analiz yöntemi olarak, uygulamada sıkça kullanılan, zeminde yüzey eğimi bulunmayan sahalar için geliştirilmiş, bir boyutlu eşdeğer doğrusal analiz metodu kullanılmıştır. Bu metodun uygulanması için ise DEEPSOIL programı kullanılmıştır.

4.1. Deepsoil Programına İlişkin Açıklamalar

DEEPSOIL programı ile frekans tanım alanında bir boyutlu doğrusal ve eşdeğer doğrusal analiz ile, zaman tanım alanında doğrusal ve doğrusal olmayan zemin davranışları analizleri yapılabilmektedir (Hashash vd., 2018).

Analiz yapılabilmesi için, öncelikle programa zeminlerin birim hacim ağırlıkları, tabakaların derinlikleri, kayma dalga hızları gibi özelliklerin tanıtılması gerekmektedir. Ardından istenilen depremlerin ivme-zaman kayıtlarıyla analiz yapılabilir. Analizin sonuçlarının Excel dosyası olarak çıkartılması mümkündür.

4.1.1. Bir boyutlu eşdeğer doğrusal analiz ile frekans tanım alanında yapılan analiz metodunun tanıtılması

Bir boyutlu analiz yöntemi, zemin yüzeyinin eğimsiz düz sonsuz bir arazi olduğu varsayımlına dayanır. Analizde tüm zemin sınırlarının yatay olduğu ve zemin tepkisini belirlemek için anakayadan düşey yönde yayılan deprem dalgalarıyla zeminlerin davranışları gözlemlenir. Eşdeğer doğrusal analiz, frekans tanım alanında ve zaman tanım alanında yapılabilen bir zemin dinamik analiz metodudur. Zaman tanım alanında, ölçekteme yöntemi olarak deprem kaydının frekans içeriği değiştirilmeksızın sadece deprem kaydının genliği ile oynanır. Frekans tanım alanındaki ölçekteme yöntemlerinde ise tasarım ivme spektrumuna bir eşlik bulmak için yer hareketi kaydının frekans içeriği değiştirilebilir.

Eşdeğer doğrusal analiz modeli, kesme modülünün ve sönüm oranının zemin özelliklerinin seçiminde tekrarlı bir hesaplama metodu uygulamaktadır. Bu özellikler ayrık noktalarla (Discrete Points), veya doğrusal olmayan modellerden birinin omurga eğrisi tanımlayan (Backbone Curve) zemin parametrelerini tanımlayarak tanımlanmaktadır.

2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne (TBDY) göre sivilaşma potansiyeli olmayan zeminlerde zemin dinamik davranış analizi için eşdeğer doğrusal analiz modeli ile frekans tanım alanında hesap yapılmasını önermektedir. Sivilaşma potansiyelinin yüksek olduğu durumlarda zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizin yapılmasını önermektedir. *İnceleme alanında sivilaşma potansiyelini belirlemek için bakılan ilk 20 m'de sivilaşmaz kabul edilen kil ve killi zemin tabakalarının sıklıkla yinelenmesi ve sivilaşmaz zeminlerin sondaj kuyusu derinliklerinin büyük bölümünü oluşturması sebebiyle, bu tez çalışmasında eşdeğer doğrusal analiz modeli ile frekans tanım alanında hesap yapılması uygun görülmüştür.*

4.2. Analiz Aşaması

Analize başlamadan önce gerekli zemin parametrelerinin eksiksiz bilinmesi gerekmektedir. Bu amaçla, kayma dalga hızları (V_s) ölçülememiş zemin tabakalarının kayma dalga hızlarının bulunması gündeme gelmiştir. Bu amaçla, her derinlikte kayma dalgası hızını tahmin etmeye yarayacak bir korelasyona ihtiyaç duyulmuştur. Tabaka tabaka zemin özellikleri saptandıktan sonra, anakaya özellikleri ile zemin tabakalarının sönüüm oranları belirlenmiştir. Analiz için gerekli olacak zemin parametrelerin bulunması işlemleri ve parametrelerin değerleri aşağıda sıralanmıştır.

4.2.1. V_s - SPT-N arasında yapılan korelasyon

Park vd. (1999) tarafından tanıtılan aktif kaynaklı yüzey dalgası (MASW) ölçümü bir sismik araştırma yöntemidir. MASW uygulaması zemin tabakalarının S kayma dalgası hızlarının derinlikle değişimini ölçümede yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle V_{S30} , yani ilk 30 m'nin kayma dalgası hızı ölçümünde sağlıklı sonuçlar vermektedir. İnceleme alanında MASW yöntemi uygulanmıştır. 7 adet serimle yapılan MASW çalışması sonucunda zemin yüzeyinden 30 m derinliğe kadar olan tabakaların kayma dalga hızı değerleri belirlenmiştir. İnceleme alanında, derinlikleri 30.45 m ile 50.45 m arasında değişen 16 adet sondaj kuyusunun açıldığı ve anakaya derinliğinin 60 m'de olduğu bilinmektedir. Sondaj kuyularının altındaki tahmini zemin tabakalarını belirlemek için de 3 boyutlu zemin modellemesi sonuçları detaylı bir şekilde incelenerek kullanılmıştır. Böylece derinlikleri 60 m olan 16 adet zemin profili oluşmuştur. DEEPSOIL programı, saha davranış analizi gerçeklestirebilmesi için kayma dalgası hızı verilerine ihtiyaç duymaktadır. İnceleme alanına özel V_s -SPT- N_{30} korelasyonu yapılarak 30-60 m derinlikleri arasındaki zemin tabakalarının kayma dalgası hızı değerleri saptanmıştır. Geçmiş çalışmalarla elde edilen kayma dalgası hızı – SPT-N korelasyonları da dikkate alınmıştır (Tablo 4.1).

Tablo 4.1 Farklı araştırmacıların zemin türlerine göre Vs-SPT-N korelasyon önerileri (Kirar vd., 2016'dan değiştirilerek)

Yazarlar	Tüm Zemin Tipleri İçin	Kum Zeminler İçin	Killi Zeminler İçin
Uma Maheswari vd., (2010)	$95.64N^{0.301}$	$100.53N^{0.265}$	$89.31N^{0.358}$
Ohba ve Toriumi (1970)	$84N^{0.31}$	-	-
Ohta ve Goto (1978)	$85.35N^{0.348}$	$88N^{0.33}$	-
Seed ve Idriss (1981)	$61N^{0.5}$	-	-
Hasancebi ve Ulusay (2007)	$90N^{0.309}$	$90.8N^{0.319}$	$97.9N^{0.269}$
İyisan (1996)	$51.5N^{0.516}$	-	-
Athanopoulos (1995)	$107.6N^{0.36}$	-	-
Kiku vd., (2001)	$68.3N^{0.292}$	-	-
Kirar vd., (2016)	$99.5N^{0.345}$	$100.3N^{0.338}$	$94.4N^{0.379}$

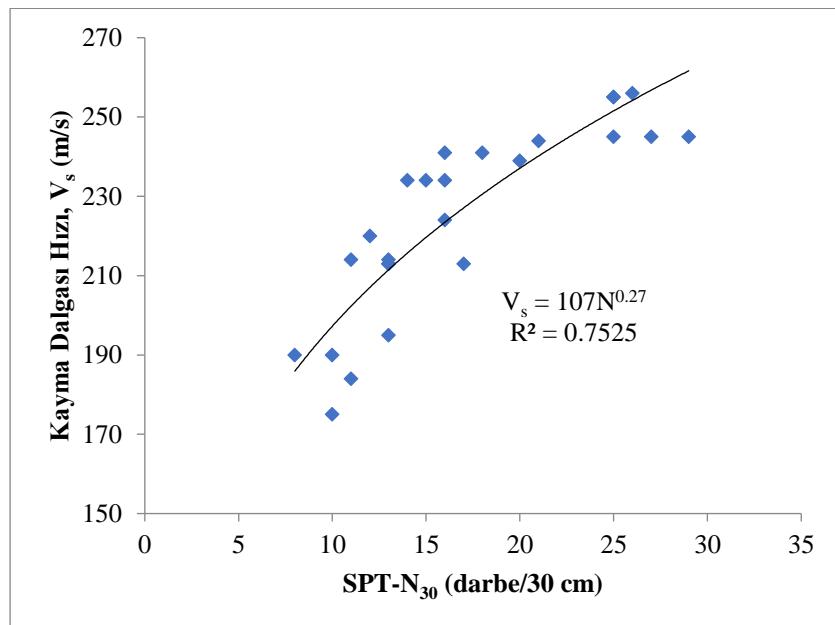
Tablo 4.2 Vs-SPT-N korelasyonu için seçilen veriler.

Sondaj No.	Ölçülen V_s değerleri (m/sn)	SPT-N	Derinlik (m)
SK-1	175	10	4.5
SK-1	220	12	11.5
SK-1	256	26	22
SK-2	184	11	4.5
SK-2	213	17	17
SK-2	244	21	24
SK-5	234	15	19
SK-5	245	27	24.5
SK-6	234	16	17.5
SK-6	245	29	21
SK-7	213	13	6
SK-7	255	25	14.5
SK-9	213	13	6.5
SK-9	255	25	12
SK-11	224	16	6
SK-11	234	14	15
SK-11	245	25	24
SK-12	195	13	6
SK-12	239	20	11
SK-13	190	8	6
SK-13	214	13	12
SK-13	241	18	25.5
SK-16	190	10	5
SK-16	214	11	17.5
SK-16	241	16	22

Korelasyonun geliştirilmesinde kullanılan MASW yöntemi ile ölçülen kayma dalgası hızı değerleri ve SPT-N değerleri Tablo 4.2'de, elde edilen denklem ise Şekil 4.1'de verilmiştir. Bu çalışmada,

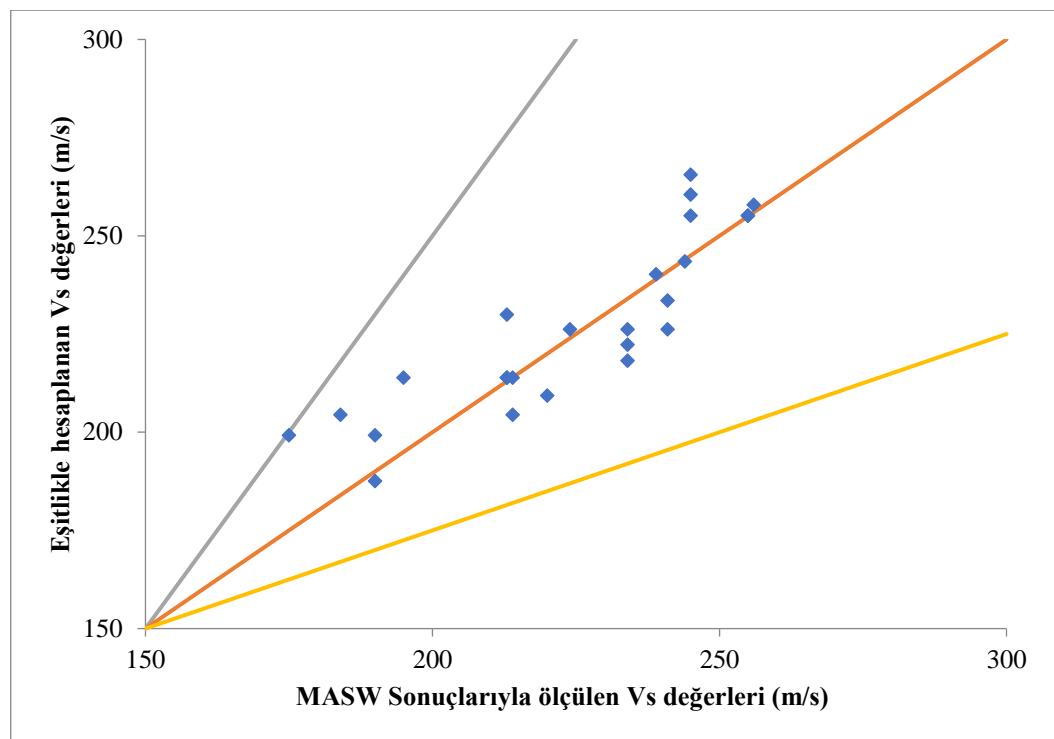
$$V_s = 107N^{0.27} \quad (4.1)$$

olarak hesaplanmıştır. Bu ilişkinin korelasyon katsayısı, $R^2=0.7525$ olarak bulunmuştur. Kum veya kil zemin ayrimı olmadan tüm zeminler dikkate alındığından 4.1 denklemi Athanasopoulos'un (1995) önerisine yakın bulunmaktadır (Tablo 4.1).



Şekil 4.1 Vs-SPT-N grafiği, arasındaki korelasyon ve korelasyon katsayısının değerleri.

Bulunan korelasyonun kullanılabilirliğini değerlendirmek için bazı kontrollerin yapılması gerekmektedir (Kirar vd., 2016). İlk, MASW uygulamasıyla bulunan kayma dalgası hızı değerleri ile eşitlikle bulunacak kayma dalgası hızı değerlerinin arasındaki farkı inceleyerek, bu farkın kabul edilebilir değerler arasında olduğunu göstermek gereklidir. Şekil 4.2'de yapılan kontrole ait grafik gösterilmektedir. Şekil 4.2'deki sarı ve gri ile çizilen %25 farkı ifade eden alt ve üst limitler arasında kalan kabul edilebilir değerlerin olduğunu göstermektedir.

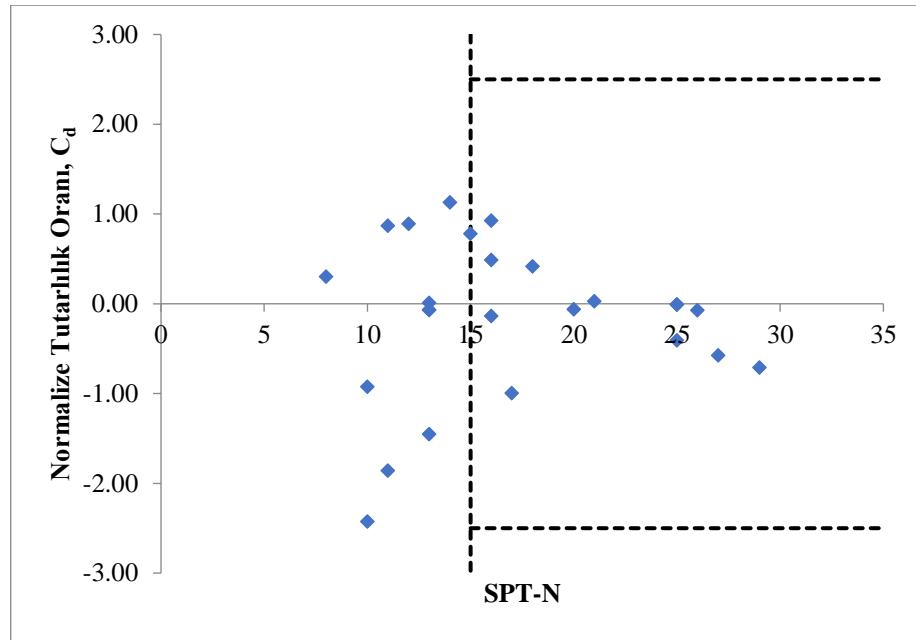


Şekil 4.2 MASW ile ölçülen kayma dalgası hızı değerleriyle eşitlikle bulunacak kayma dalgası hızı değerlerinin birbirleriyle olan farkları

Bir diğer kontrol ise, Thaker ve Rao (2011) çalışmasından alınan normalize tutarlılık oranı (C_d) sınırlarıdır. Buna göre C_d değeri aşağıdaki denklem 4.2 ile bulunmaktadır.

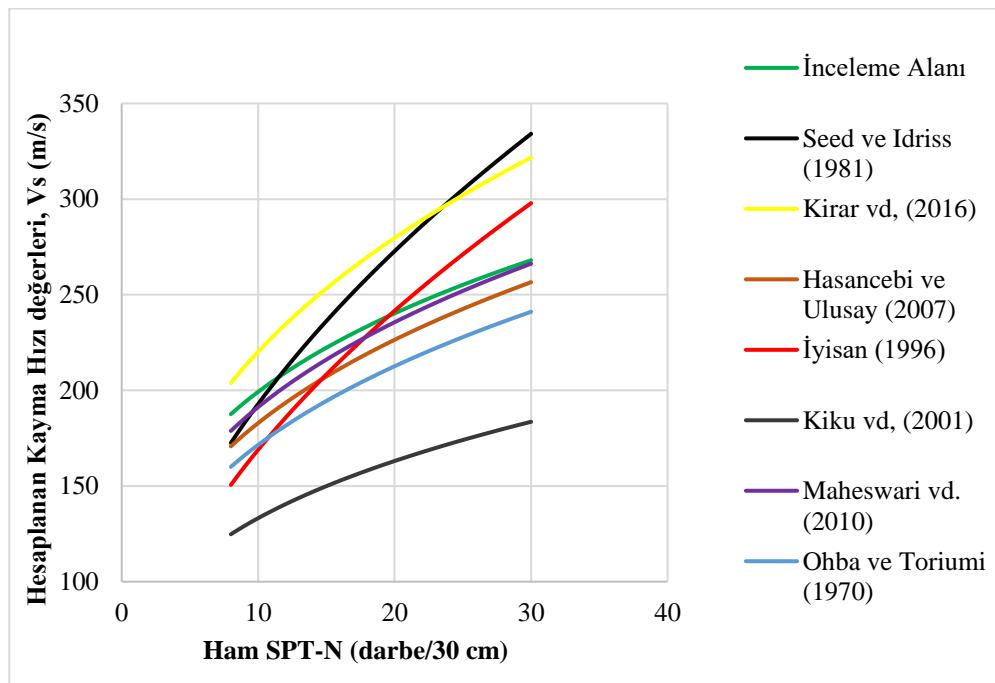
$$C_d = \frac{\text{MASW Uygulamasıyla bulunan } Vs \text{ değeri}}{\text{Eşitlikle bulunacak } Vs \text{ değeri}} \times \text{SPT-N değeri} \quad (4.2)$$

Bu çalışmada sınırlar SPT-N değerinin 15'ten fazla olduğu durumda C_d değerinin +2.5 ile -2.5 arasında bir değerde değişmesi yönündedir (Thaker ve Rao, 2011). İnceleme alanı için bulunan denklemin bu sınırlara uygunluğunu da gösterilmiştir (Şekil 4.3). Her iki kontrolü de sağlayan korelasyon (Denklem 4.1) kabul edilebilir sınırlar içerisindeştir.



Şekil 4.3 Thaker ve Rao (2011) çalışmasında bahsedilen C_d sınır değerleri ve inceleme alanında C_d değerlerinin değişimi

İnceleme alanı için bulunan Denklem (4.1) tüm zemin tipleri için yapılan önceki çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Buna göre; Maheswari vd., (2010) ve Hasancebi ve Ulusay (2007) ile yakınlık gösterdiği sonucuna varılmıştır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Önceki çalışmaların ve Denklem 4.1'in karşılaştırılması

Kullanılabilirliği farklı çeşitlerle sınınan bu eşitliğin inceleme alanı için kullanılması uygun görülmüştür. Buna göre, 60 m derinliğe kadar SPT-N değerleri bilinen kayma dalgası hızı değerleri bilinmeyen zemin tabakalarının kayma dalgası hızı değerleri bu eşitliğe göre bulunup kabul edilmiştir. Kabul edilen bu kayma dalgası hızı değerleri zeminlerin dinamik davranış analizinde kullanılmıştır.

4.2.2. Anakayanın özelliklerı

İzmir ve çevresi için jeolojik olarak anakaya, Üst Kretase yaşı Bornova Melanjı (karmaşığı) olarak tanımlanır (Özbek, 1981). Pamuk vd., (2018) yaptıkları çalışmada Bornova ovasının zemin-anakaya modellerini oluşturmuşlardır (Tablo 4.3). İnceleme alanının anakayasını mühendislik anakayası-1 olarak sınıflandırmak ve Vs değerini 1200 m/s almak uygun görülmüştür. Anakayanın derinliğinin 60 m olduğu bilgisi ise şirketin daha önceden yörede yaptıkları derin sondajlarla ulaşılmıştır (Ege Temel Sondajcılık A.Ş, 2020, sözlü görüşme).

Tablo 4.3 Zemin-anakaya modeli parametreleri (Pamuk vd., 2018'den değiştirilerek)

Tabakalar	Ortalama V_s (m/s)	Kalınlık Değişimi (m)	Ortalama Yoğunluk (gr/cm ³)
Zemin-1	200	15-120	1.66
Zemin-2	600	30-110	2.03
Zemin-3	400	40-100	1.87
Zemin-4	650	60-150	2.06
Mühendislik anakayası-1	1200	100-300	2.36
Mühendislik anakayası-2	2000	600-850	2.56
Mühendislik anakayası-3	860	300-400	2.17
Mühendislik anakayası-4	770	100-350	2.12
Sismik anakaya	>3000	-	2.78

4.2.3. Analiz aşamasında kullanılan deprem kayıtlarına ait açıklamalar

Zeminin hem dinamik davranış analizini hem de sıvılaşma analizini gerçekleştirebilmek için 4 adet depremin ivme-zaman kaydı kullanılmıştır. Deprem kayıtları Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (The Pacific Earthquake Engineering Research Center-PEER) veri bankasından temin edilmiştir. Bu depremler; 1977 yılında meydana gelen İzmir depremi, 1992

yılında meydana gelen Doğanbey depremi, 1995 yılında meydana gelen Dinar depremi ve 1999 yılında meydana gelen Kocaeli depremidir. Depremlerin meydana geldiği tarihler, hangi fay hattının aktifliği sebebiyle oluştuğu, fay mekanizmaları, deprem büyüklükleri, ivme değerleri gibi depremlerin özelliklerini tablo 4.4'te verilmiştir. Özellikle bu depremlerin seçilme nedenleri arasında, kaydedildikleri istasyonların inceleme alanına yakın olmaları, farklı fay mekanizmalarıyla oluşmaları, deprem büyüklüklerinin 5.0 ve üzeri oluşları gibi faktörler etkili olmuştur.

Tablo 4.4 Depremlerin verileri

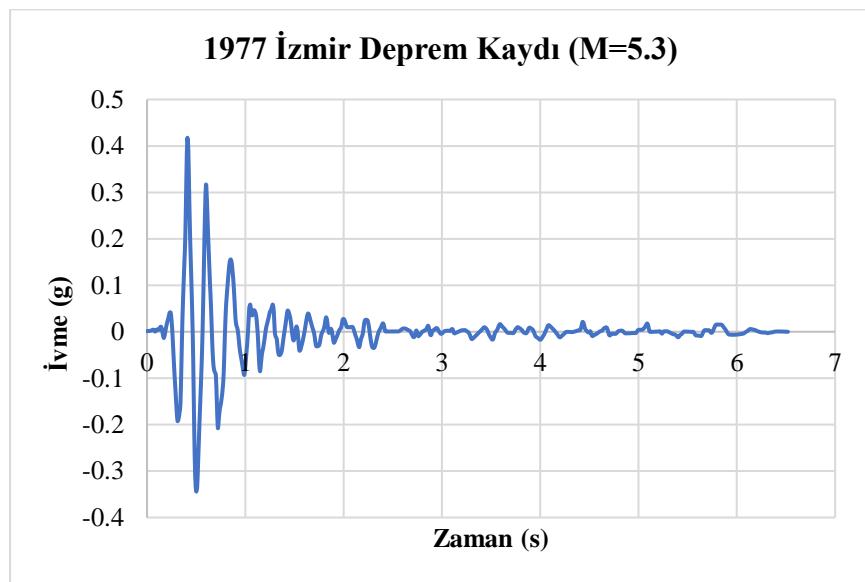
Depremler	Tarihler	İstasyon	Fay Hattı	Fay Mekanizması	Büyüklük (M)	PGA (g)
1977 İzmir	16.12.1977	Poligon, İzmir	İzmir	Normal Fay	5.3	0.42
1992 Doğanbey	6.11.1992	Kuşadası, İzmir	Tuzla	Doğrultu atımlı sağ yönlü	6.0	0.2
1995 Dinar	1.10.1995	İzmir	Dinar	Verev atımlı Normal Fay	6.4	0.2
1999 Kocaeli	17.08.1999	Bornova, İzmir	Kuzey Anadolu	Doğrultu atımlı	7.5	0.2

Belirli bir bölgedeki en büyük taban kayası ivmesi ilgilenilen fayın bölgeye olan mesafesini dikkate alan ivme azalım ilişkileri kullanılarak tahmin edilebilir. Ivme azalım ilişkileri yer hareketini büyülüklük, mesafe, faylanma mekanizması ve bölgedeki kaya/zemin koşullarının fonksiyonu olarak tanımlamaktadır. Azalım ilişkileri kullanılarak tahmin edilen en büyük taban kayası ivme değerleri, bölgenin deterministik zemin davranışları analizlerinde esas alınan ivme kayıtlarının ölçeklendirilmesinde kullanılabilir (Eskişar, 2008). Ancak bu tez çalışması kapsamında ivme azalım ilişkisi hesaplamalarına girilmemiştir. 1977 İzmir depreminin olduğu İzmir fay hattı ve depremin kaydedildiği istasyon inceleme alanına çok yakın olduğu için bu deprem verisinde düzeltme yapılmamıştır. Diğer 3 deprem kayıtlarında ivme azalım ilişkisi kapsamında, anakaya ivme değerlerinin

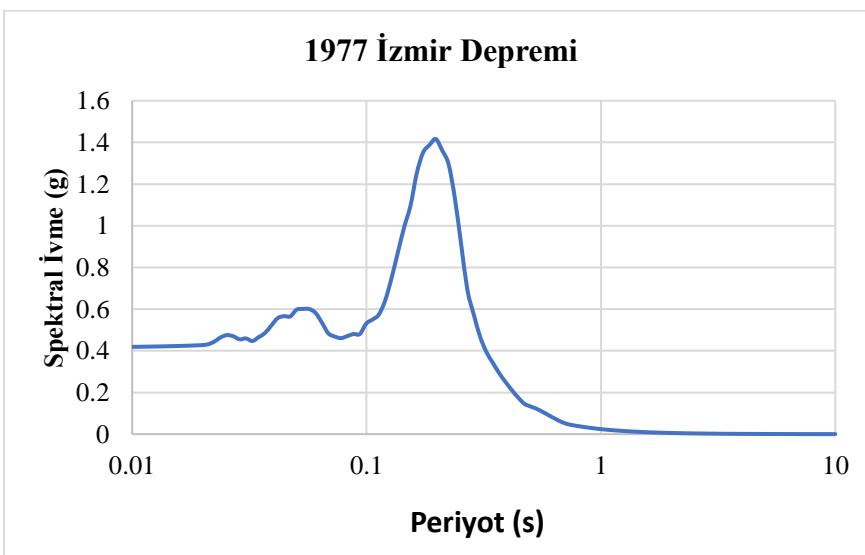
0.20 g alınması Eskişar (2008) çalışmasındaki hesaplamalar göz önünde bulundurularak uygun görülmüştür.

4.2.3.1.Depremler hakkında bilgiler

1977 İzmir Depremi: İzmir Fayı ile ilgili olarak elde edilebilen tek gerçek ivme kaydı 16.12.1977 İzmir Depremi ($M=5.3$) sırasında alınmıştır (Eskişar 2008). Deprem kaydının ivme-zaman grafiği ve spektral ivme-periyot grafiği şekil 4.5 ve 4.6'da gösterilmiştir.

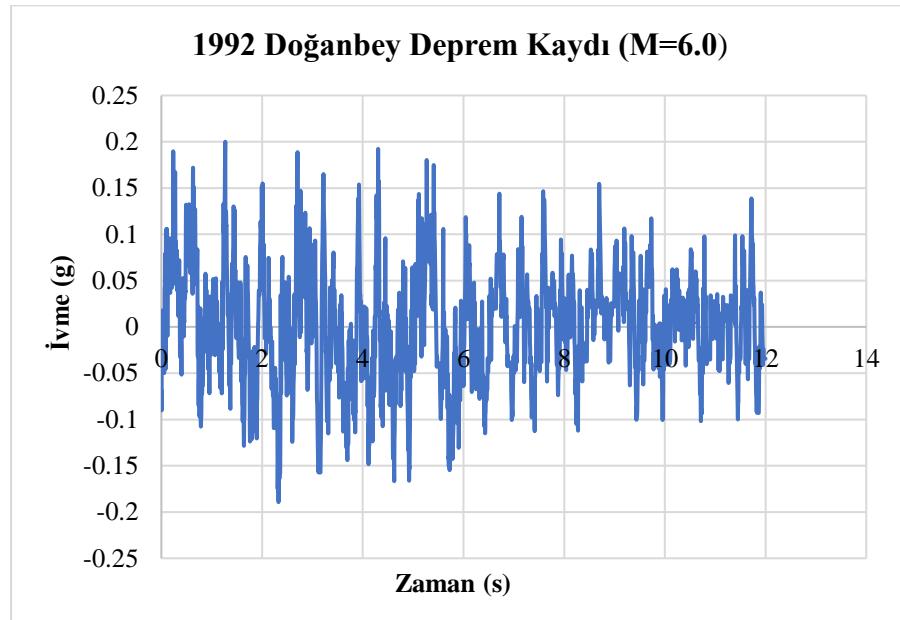


Şekil 4.5 1977 İzmir depremi ivme-zaman grafiği.

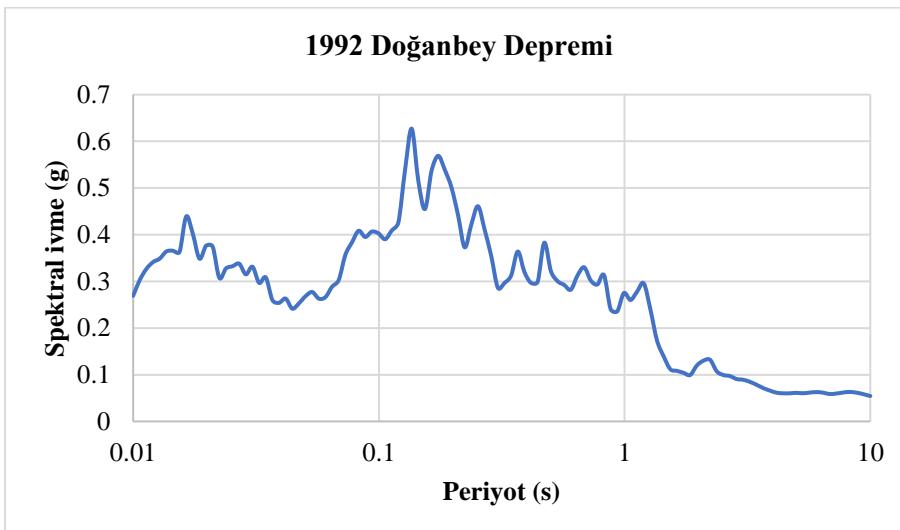


Şekil 4.6 1977 İzmir depremi spektral ivme-periyot grafiği.

1992 Doğanbey Depremi: Depremin merkez üssü Seferihisar ilçesi Doğanbey burnu açıkları olarak belirlenmiştir. Kandilli Rasathanesi'nin verdiği bilgilere göre, depremde can kaybı oluşmazken 55 adet bina hasar görmüştür. İvme azalım ilişkileri göz önüne alındığında depremin anakayasının en büyük ivme değerinin yaklaşık 0.20 g büyüklüğünde olabileceği düşünülmektedir (Erdik ve Yüzügüllü, 1992). Deprem kaydının ivme-zaman grafiği ve spektral ivme-periyot grafiği şekil 4.7 ve 4.8'de gösterilmiştir.

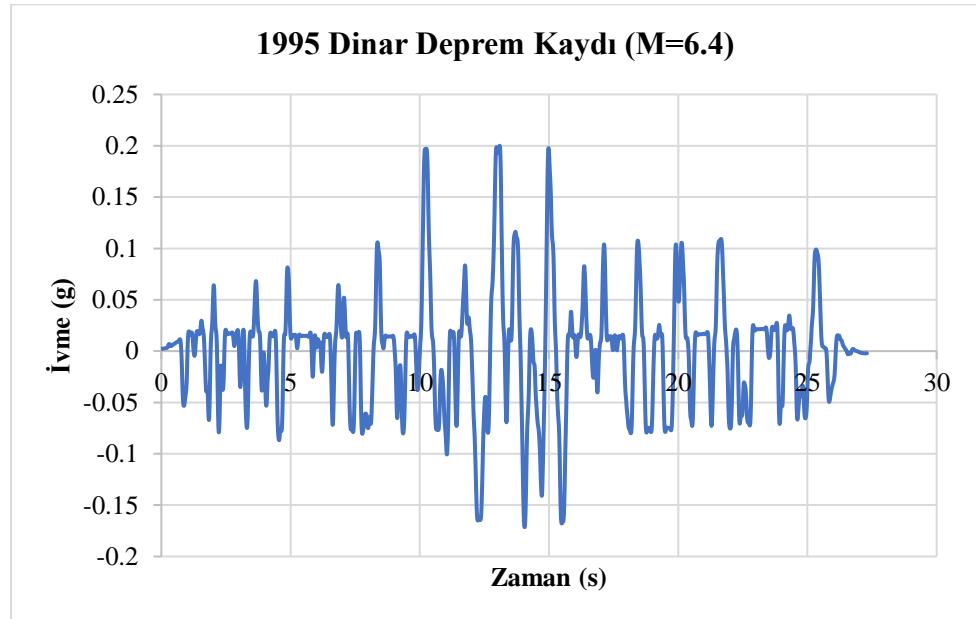


Şekil 4.7 1992 Doğanbey Depremi ivme-zaman grafiği.

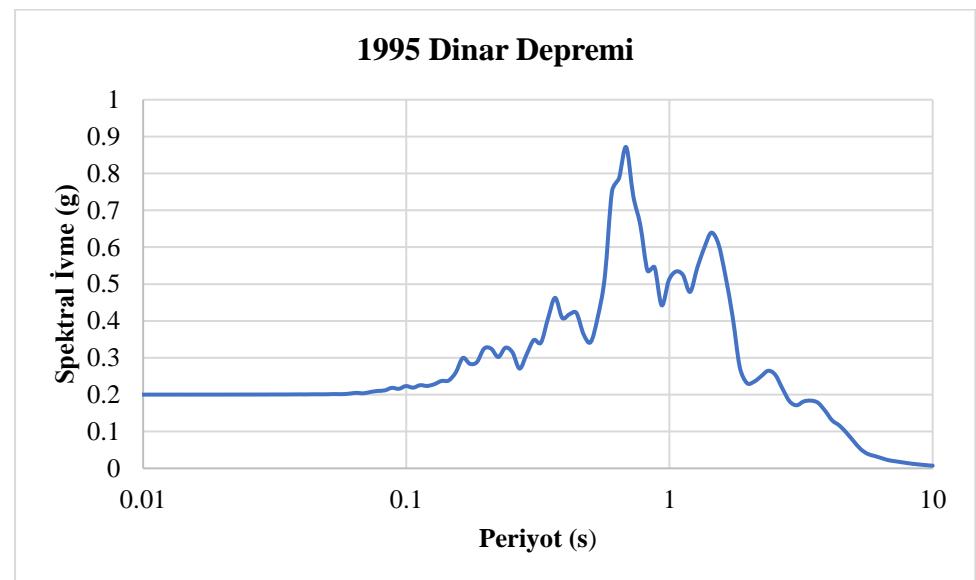


Şekil 4.8 1992 Doğanbey Depremi Spektral Ivme-Periyot Grafiği

1995 Dinar Depremi: Dinar kasabasında meydana gelen, 101 kişinin ölümüne ve 4500 binanın hasarına sebep olan depremin merkez üssü Dinar-Çivril fayı yakınında bulunmaktadır. Deprem sırasında Dinar-Çivril fayının 10 kilometrelik kesimi boyunca yüzey çatıtlakları gelişmiştir (Koral vd., 1997). Deprem kaydının ivme-zaman grafiği ve spektral ivme-periyot grafiği şekil 4.9 ve 4.10'da gösterilmiştir.

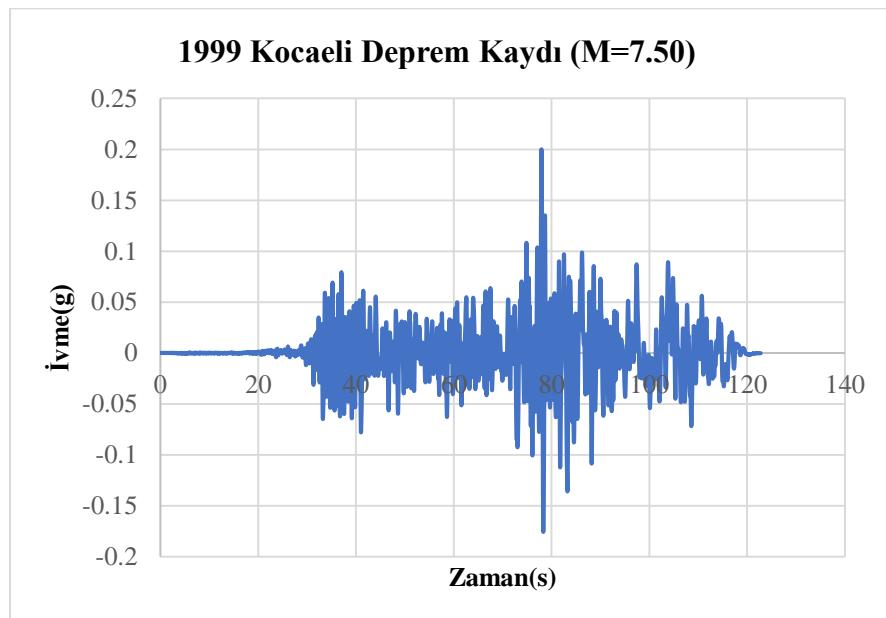


Şekil 4.9 1995 Dinar depremi ivme-zaman grafiği.

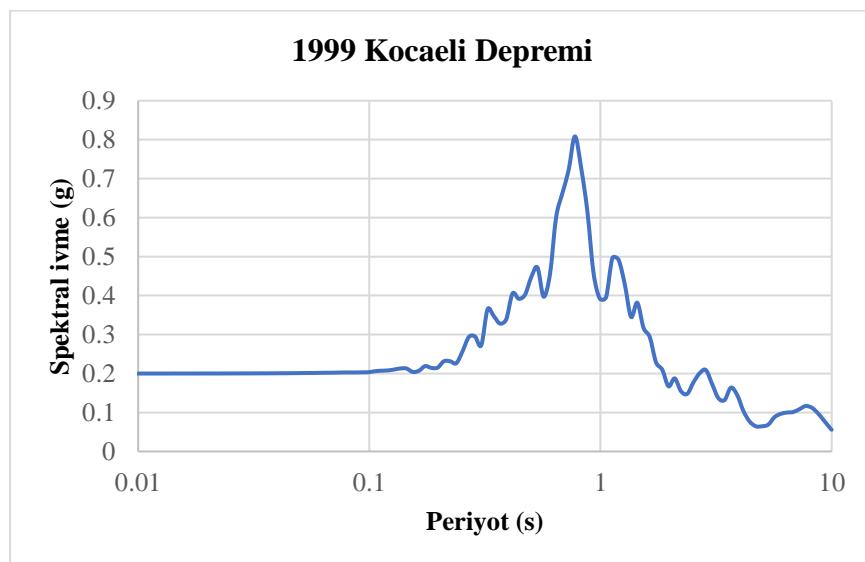


Şekil 4.10 1995 Dinar depremi spektral ivme-periyot grafiği

1999 Kocaeli depremi: 17 Ağustos 1999 tarihinde İzmit Körfezi civarında oluşan deprem 16 bin kişinin ölümüne ve 25 bin kişinin yaralanmasına neden olmuştur. Depremde yaklaşık 75 bin ev tamamen yıkılmış ve 150 bin ev orta ve hafif derecede hasar görmüştür (Demirtaş, 1999). Deprem, Türkiye'nin tarihinde yaşadığı en şiddetli ve yıkıcı olay olmuştur. Depremin büyüklüğü 7.5 olarak belirlenmiştir. Deprem kaydının ivme-zaman grafiği ve spektral ivme-periyot grafiği şekil 4.11 ve 4.12'de gösterilmiştir.



Şekil 4.11 1999 Kocaeli depremi ivme-zaman grafiği.



Şekil 4.12 1999 Kocaeli depremi spektral ivme-periyot grafiği.

4.2.4. Zemin sınıfına göre kayma modülü ve sönüm oranları belirlenmesi

Eşdeğer doğrusal analiz modelinde, kesme modülünün ve sönüm oranı zemin özelliklerinin seçiminde yinelemeli bir prosedür uygular. Zemin eğrilerini ayrık noktalar kullanarak tanımlama seçeneği sadece eşdeğer doğrusal analiz için geçerlidir. Bu seçenekle, G/G_{maks} ve sönüm oranı, kesme geriliminin işlevleri olarak tanımlanır.

TBDY (2018) bu parametrelerin arazi ve laboratuvar deneylerine ve benzer zemin koşulları için literatürde yer alan ve genel kabul gören bilgilere göre tanımlanması gerektiğini zorunlu görmüştür.

DEEPSOIL programı içinde, killi ve kumlu zemin tabakaları için deformasyon, G/G_{maks} ve sönüm değerleri bulunmaktadır. Bu değerler bazı önceki çalışmalardan alınmış değerlerdir. Bu çalışmada killi zeminler için, yani CL ve CH zemin sınıfları için Vucetic ve Dobry (1991) yaklaşımı, kumlu zeminler, yani SC, SW, SP, SM zemin sınıfları için Seed ve Idriss (1970) ortalama değerleri kullanılmıştır. Vucetic ve Dobry'nin çalışması kullanılırken CL zemin sınıfı için plastisite indeksi 25, CH zemin sınıfı için plastisite indeksi 35 seçilmiştir. Bu seçilen parametreler ışığında kullanılan veriler aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 4.5 CL zemin sınıfı için deformasyon, G/G_{maks} , sönümleme değerleri (Vucetic ve Dobry 1991).

Deformasyon (%)	G/G_{maks}	Sönüm (%)
0.0001	1	1
0.0003	0.998	1
0.001	0.995	1
0.003	0.946	2.32
0.01	0.822	4.34
0.03	0.656	7.11
0.1	0.413	11.27
0.3	0.226	15.48
1	0.086	19.58

Tablo 4.6 CH zemin sınıfı için deformasyon, G/G_{maks}, söküme deðerleri (Vucetic ve Dobry 1991)

Deformasyon (%)	G/G _{maks}	Söküm (%)
0.0001	1	1
0.0003	1	1
0.001	0.999	1
0.003	0.977	2
0.01	0.904	3.55
0.03	0.763	5.54
0.1	0.545	8.25
0.3	0.352	11.69
1	0.164	16.51

Tablo 4.7 Kumlu zemin sınıfları (SC, SM, SW, SP) için kullanılan deformasyon, G/G_{maks}, söküme deðerleri (Seed ve Idriss 1970 ortalama deðerleri).

Deformasyon (%)	G/G _{maks}	Söküm (%)
0.0001	1	0.48
0.0003	0.99	0.8
0.001	0.96	1.5
0.003	0.9	3.2
0.01	0.76	5.7
0.03	0.57	9.5
0.1	0.3	15.2
0.3	0.15	20.5
1	0.06	24.6
3	0.04	27
10	0.03	28.5

Siltli (ML, MH) ve çakılı (GC, GW, GP, GM) zemin sınıfları için DEEPSOIL programının içinde önceki çalışmalara ait deformasyon, G/G_{maks} ve söküme deðerleri bulunmamaktadır. Bunun yerine, programda “kullanıcı tanımlı” seçeneði bulunmaktadır. Bu seçenekle istenilen değerler programa tanıtılp kullanılabilmektedir. Bu çalışmada, siltli zeminler için Seed ve Idriss ’in (1970) siltli zeminler için önerdiği parametreler kullanılmıştır. Çakılı zeminler için ise, Ohta ve Goto’nun (1976) çakılı zeminler için önerdiği parametreler kullanılmıştır.

Tablo 4.8 Siltli zemin sınıfları (MH, ML) için kullanılan deformasyon, G/G_{maks}, söküme değerleri (Seed ve Idriss 1970)

Deformasyon (%)	G/G _{maks}	Söküm (%)
0.0003	1	1.271
0.0005	0.999	1.312
0.0007	0.995	1.366
0.0009	0.990	1.428
0.001	0.985	1.495
0.003	0.929	2.278
0.005	0.879	3.092
0.007	0.836	3.870
0.009	0.799	4.597
0.011	0.767	5.272
0.031	0.580	9.997
0.051	0.486	12.857
0.071	0.426	14.904
0.091	0.381	16.492
0.111	0.347	17.782
0.311	0.190	24.203
0.511	0.134	26.759
0.711	0.104	28.167
0.911	0.085	29.066
1.111	0.072	29.692
3.111	0.029	31.822
5.111	0.018	32.363
7.111	0.013	32.613
9.111	0.011	32.756
10	0.010	32.802

Tablo 4.9 Çakılı zeminler (GC, GM, GW, GP) için kullanılan deformasyon, G/G_{maks}, sökümeleme değerleri (Ohta ve Goto 1976).

Deformasyon (%)	G/G _{maks}	Söküm (%)
0.0003	1	1.153
0.0005	1	1.153
0.0007	1	1.153
0.0009	1	1.153
0.001	1	1.164
0.003	0.984	1.500
0.005	0.954	1.912
0.007	0.926	2.323
0.009	0.902	2.715
0.011	0.880	3.085
0.031	0.741	5.850
0.051	0.661	7.769
0.071	0.603	9.319
0.091	0.557	10.647
0.111	0.519	11.816
0.311	0.316	18.968
0.511	0.230	22.474
0.711	0.182	24.573
0.911	0.151	25.977
1.111	0.129	26.984
3.111	0.053	30.602
5.111	0.034	31.571
7.111	0.025	32.025
9.111	0.020	32.288
10	0.018	32.373

4.3. Dinamik Davranış Analizi Sonuçları

3. Bölümde bilgileri aktarılan Bornova ilçesindeki inceleme alanı zemininin dinamik davranış analizi gerçekleştirılmıştır. Analiz için, frekans tanım alanında bir boyutlu eşdeğer doğrusal analiz yöntemi kullanılmıştır. Bu kapsamda, aletsel dönemde gerçekleşmiş önemli depremler olan 1977 İzmir, 1992 Doğanbey, 1995 Dinar ve 1999 Kocaeli depremleri incelenmiştir. 16 adet sondajdan bulunan zemin profiliin bu 4 depremde göstereceği en büyük yer ivmesi değerleri (PGA) ve en büyük spektral ivme değerleri (PSA) ile ivme ve spektral ivme cinsinden zemin büyütmesi değerleri bir dinamik analiz veri bankasında toplanmıştır (Tablo 4.10).

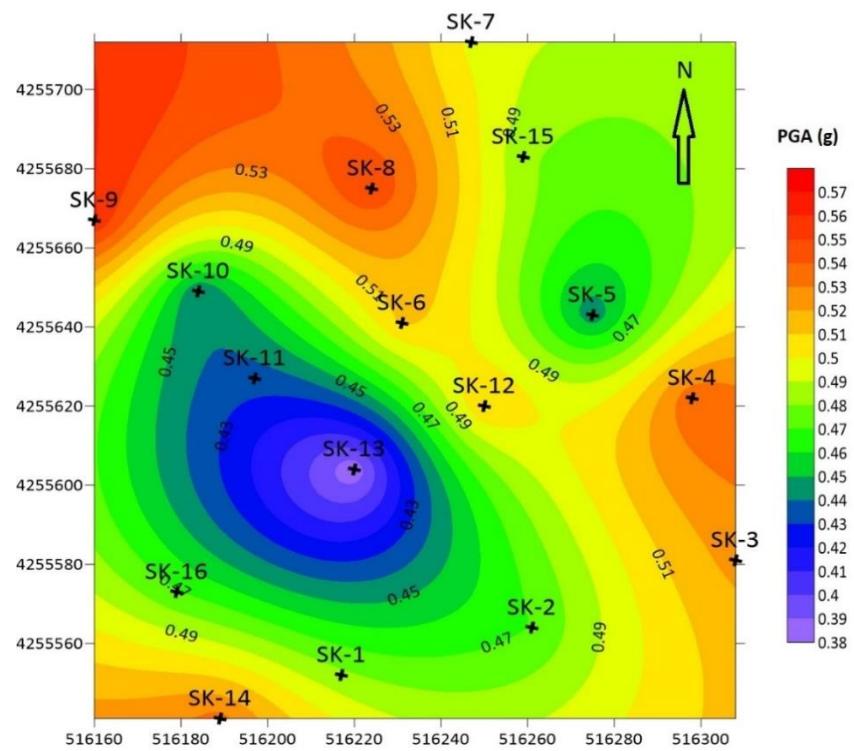
Bu veriler ışığında tüm alanda deprem etkilerinde ivme değerlerinin nasıl bir dağılım göstereceği belirlenebilmiştir. Bu amaçla haritalama programı olan

Surfer V. 18.00, Surface Mapping System yazılımı kullanılmıştır. Veriler X, Y koordinatları ile tanımlanmış ve haritası oluşturulacak parametre de değişken olarak seçilmiştir.

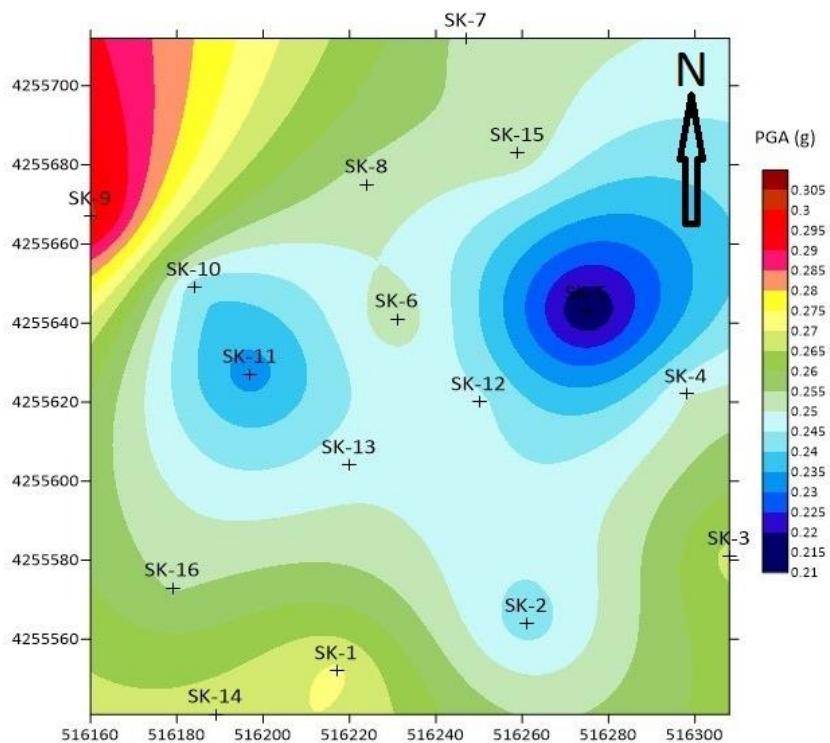
Aşağıdaki haritalarda (Şekil 4.13-4.20) analizi yapılan 4 adet deprem kuvvetinin oluşturacağı en büyük yer ivmesi (PGA) ve en büyük spektral ivme (PSA) değerlerinin inceleme alanında nasıl bir dağılım sergilediği belirlenmiştir.

Tablo 4.10 Dinamik analiz veri bankası. (1977 İzmir depremi örneği)

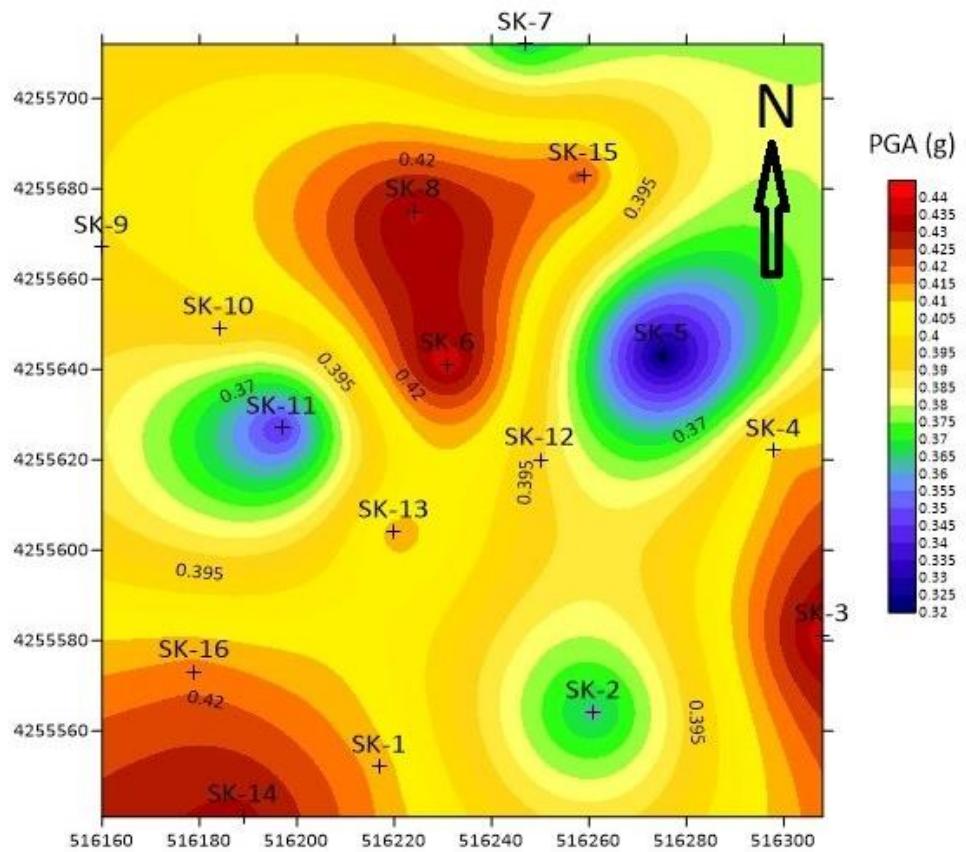
Sondaj No.	PGA Değerleri	Yüzey/Anakaya İvme Değeri	PSA Değerleri	Yüzey/Anakaya Spektral İvme Değerleri
SK-1	0.48	1.16	1.91	1.35
SK-2	0.47	1.13	1.80	1.27
SK-3	0.52	1.26	2.11	1.49
SK-4	0.54	1.29	2.12	1.50
SK-5	0.44	1.06	1.73	1.22
SK-6	0.51	1.23	2.01	1.42
SK-7	0.50	1.19	2.02	1.43
SK-8	0.55	1.32	2.19	1.55
SK-9	0.56	1.35	2.25	1.59
SK-10	0.44	1.06	1.72	1.22
SK-11	0.44	1.05	1.71	1.20
SK-12	0.51	1.23	2.01	1.42
SK-13	0.38	0.92	1.45	1.02
SK-14	0.53	1.28	2.23	1.57
SK-15	0.48	1.16	1.92	1.36
SK-16	0.47	1.13	2.00	1.41



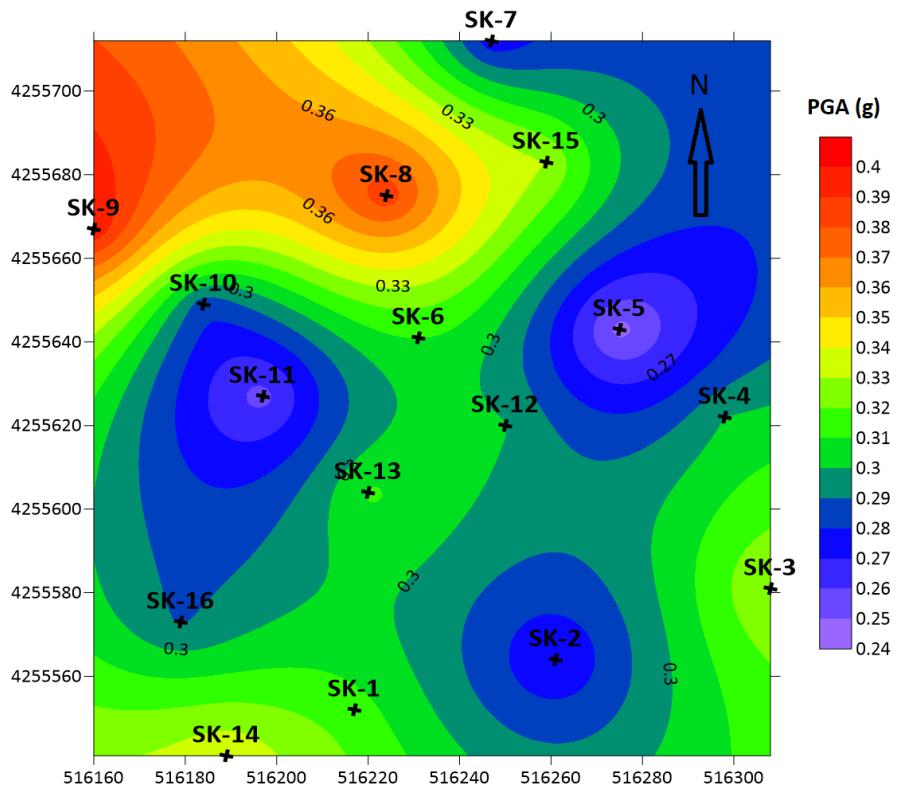
Şekil 4.13 1977 İzmir depremi etkisinde inceleme alanının PGA değerleri



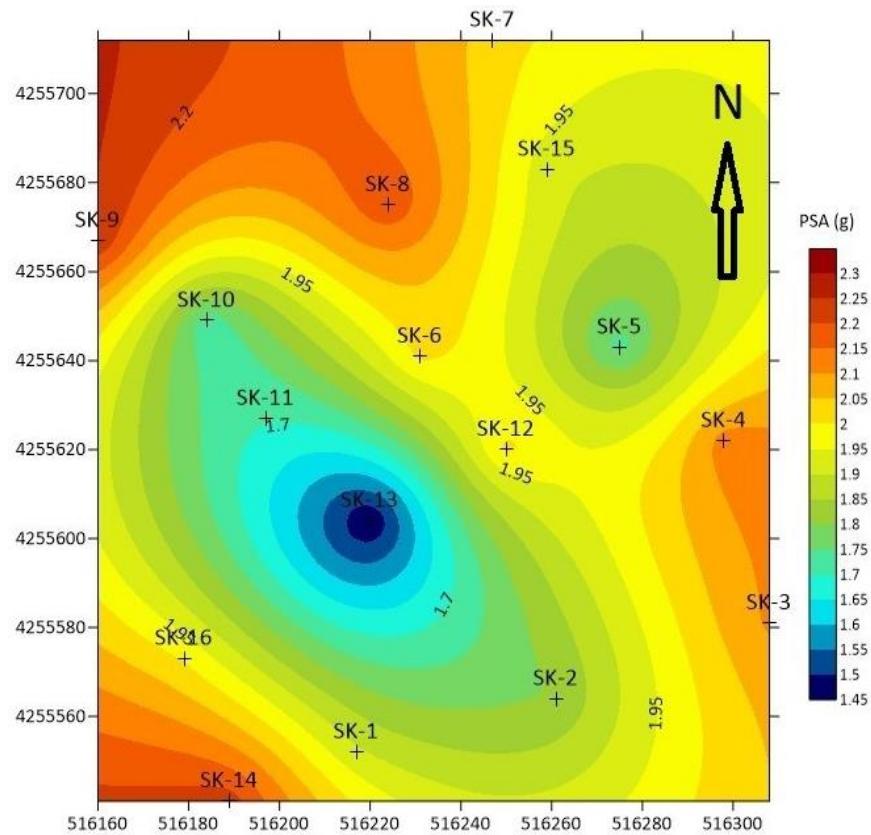
Şekil 4.14 1992 Doğanbey depremi etkisinde inceleme alanının PGA değerleri



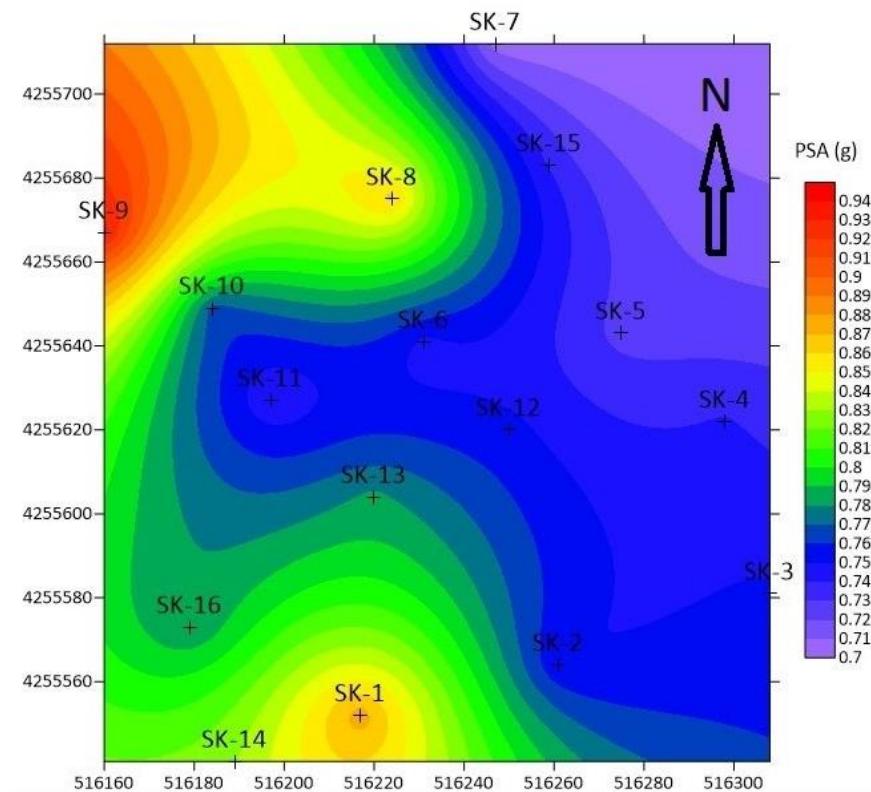
Şekil 4.15 1995 Dinar depremi etkisinde inceleme alanının PGA değerleri



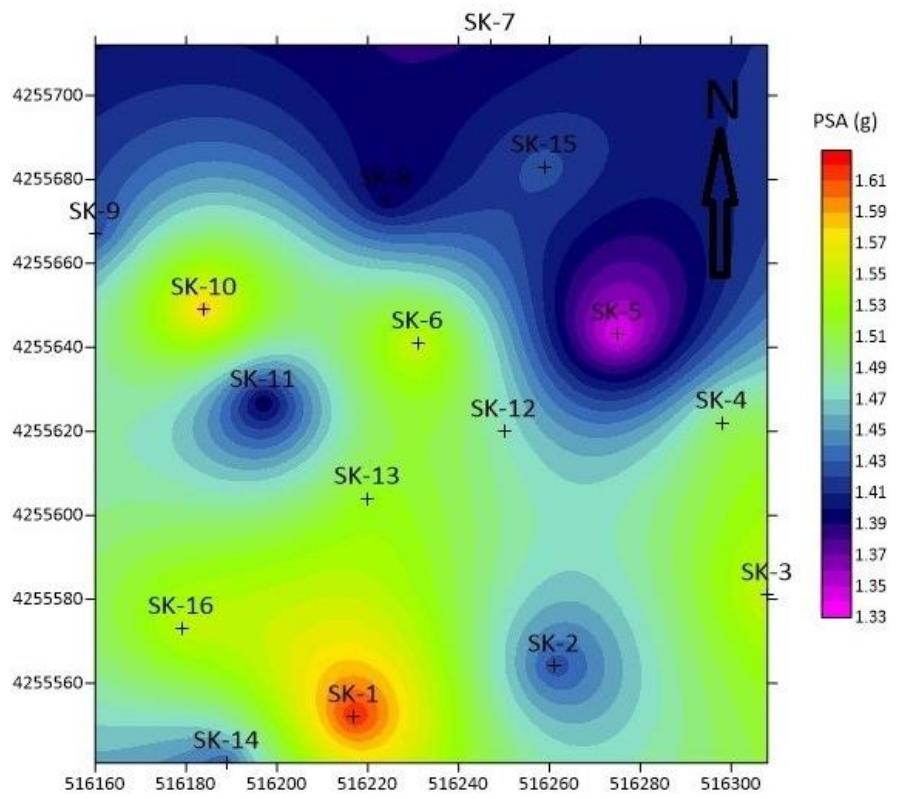
Şekil 4.16 1999 Kocaeli depremi etkisinde inceleme alanının PGA değerleri



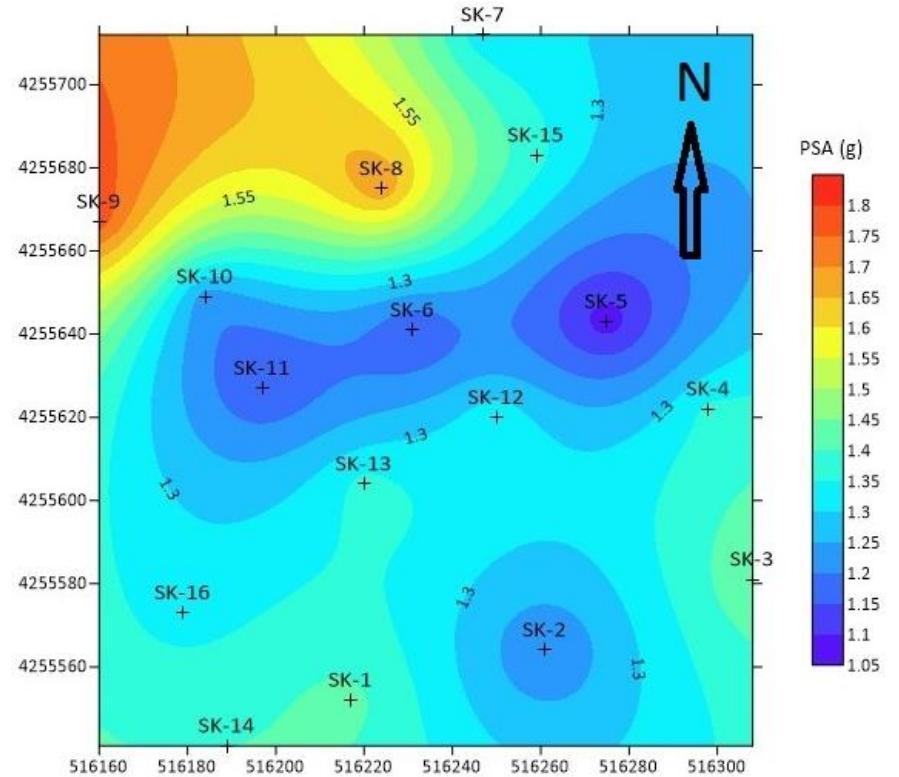
Şekil 4.17 1977 İzmir depremi etkisinde inceleme alanının PSA değerleri



Şekil 4.18 1992 Doğanbey depremi etkisinde inceleme alanının PSA değerler



Şekil 4.19 1995 Dinar depremi etkisinde inceleme alanının PSA değerleri



Şekil 4.20 1999 Kocaeli depremi etkisinde inceleme alanının PSA değerleri

1977 depremi etkisinde PGA değerleri 0.38 g ile 0.56 g, PSA değerleri ise 1.45 g ile 2.25g aralığında değerler almıştır. 1992 Doğanbey depremi etkisinde PGA değerleri 0.21 g ile 0.3 g, PSA değerleri ise 0.7 g ile 0.94 g aralığında değerler almıştır. 1995 Dinar depremi etkisinde PGA değerleri 0.32 g ile 0.44 g, PSA değerleri ise 1.33 g ile 1.66 g aralığında değerler almıştır. 1999 Kocaeli depremi etkisinde PGA değerleri 0.24 g ile 0.4 g, PSA değerleri ise 1.05 g ile 1.8 g aralığında değerler almıştır. Bu sonuçlara göre, en büyük PGA ve PSA değerleri 1977 İzmir depreminde, en küçük PGA ve PSA değerleri 1992 Doğanbey depreminde gözlemlenmiştir. 16 sondajdan elde edilen PGA değerleri incelenecel olursa, bir istisna hariç (SK-13, 1977 İzmir depremi) tüm sondaj loglarında ve tüm deprem kayıtlarında alüvyonel özellikteki zemin profilleri anakayadan gelen ivme değerlerini büyütme eğilimi göstermiştir.

Her depremde 16 sondaj kuyusunun PGA ve PSA değerlerinin ortalaması alınırsa ve anakaya ivme değeriyle, yani depremin ivme değerleriyle karşılaştırılırsa 4 depremde de ivme değerlerinin ortalama artışının, yani sahadaki yerel zemin özelliklerinin 4 deprem için zemin büyütme değerlerinin sayısal bir karşılığı bulunabilir. Buna göre;

Sahada hâkim olan alüvyonel zemin, 1977 İzmir depreminde yer ivmesi değerini %16.67, spektral ivme değerini %37.32, 1992 Doğanbey depreminde yer ivmesi değerini %26.5, spektral ivme değerini %24.47, 1995 Dinar depreminde yer ivmesi değerini %99.9, spektral ivme değerini %68.96, 1999 Kocaeli depreminde yer ivmesi değerini %54.4, spektral ivme değerini %66.67 oranında arttırmıştır.

Dinamik zemin davranışları hesapları ile yüzey ivmesi zemin büyütme değerleri 0.9 ile 2.2 arasında değişmektedir. Bu değerlere göre, zemin büyütmenin saha ölçümü ile bulunan 2.40-2.67 arasında değişen değer aralığından bir miktar küçük olduğunu söylemek mümkündür.

5. SİVİLAŞMA ANALİZİ

5.1. Sıvılaşmanın Tanımı

Sıvılaşma olayı, deprem gibi dinamik kuvvetlerin sebep olduğu tekrarlı kayma gerilmelerine maruz kalan suya doygun, gevşek, kohezyonsuz zemin tabakalarının drenajsız koşullarda artan boşluk suyu basıncı ve azalan efektif gerilme değerleri sonucu kayma mukavemetini kısmen veya tamamen kaybetmesi sebebiyle, katı özellikten sıvı özelliğe geçiş yapması olarak tanımlanmıştır.

TBDY (2018) göre ise zeminde sıvılaşma olayı, yeraltı su seviyesinin altında yer alan ve yüzeyden 20 m derinliğe kadar olan kohezyonsuz ya da düşük kohezyonlu ($PI < %12$) zeminlerin deprem sarsıntısı altında, boşluk suyu basıncındaki artışa paralel kayma mukavemeti ve rijitliğinden önde oranda azalış olarak tanımlanmıştır. Ayrıca, Potansiyel olarak sıvılaşabilir zeminler, yer altı su tablasının altında yer alan kum, çakılı kum, siltli killi kum, plastik olmayan silt ve silt-kum karışımıları olarak tanımlanmıştır.

5.2. Sahada Sıvılaşma Olgusu

İnceleme alanında, sondaj kuyuları sonucu elde edilen sonuçlara göre, farklı seviyelerde bulunan killi kum, NP siltli kum ve NP silt birimleri gözlemlenmiştir. Bu tabakaların sıvılaşma riski taşıyabileceği, ancak sıvılaşabilecek tabakaların sürekli bir tabaka halinde bulunmaması bilgileri, bölgede sıvılaşma riskinin düşük olabileceği kanısında bulunmamızı katkıda bulunmuştur. Bu çıkarım sayesinde 4. Bölümde aktarıldığı gibi eşdeğer doğrusal analiz ile frekans tanım alanında hesap yapılmıştır.

5.3. Sıvılaşma Analizi İçin Kullanılan Yöntem ve Metotlar

5.3.1. 1996 NCEER ve 1998 NCEER/NSF Çalışma Gruplarının Zeminlerin Sıvılaşma Dayanımını Değerlendirmesi (Youd, vd., 2001)

Sıvılaşma analizi için kullanılan onlarca farklı yöntem vardır. Bu yöntemlerden en çok kullanılan ve en pratik yöntem olan basitleştirilmiş sıvılaşma analiz yöntemi, Seed ve Idriss (1971) tarafından önerilmiştir. Yöntem, ülkemiz de dahil çoğu ülkede yaygın olarak kullanılmaktadır ve TBDY'de (2018) sıvılaşma analizi için kullanılması istenen bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. SPT-N değerlerini dikkate alarak uygulanan bu yöntem, yıllar içinde farklı araştırmacılar tarafından değiştirilmiştir. Bu değiştirilen yöntemlerden biri olan Youd vd., (2001) yöntemi, zeminin sıvılaşması için gerekli tekrarlı direnç oranının (CRR),

depremin oluşturduğu tekrarlı gerilme oranıyla (CSR) karşılaştırılması sonucu zeminin sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısının (FS) belirlenmesi esasına dayanmaktadır.

Tekrarlı gerilme oranının formülü aşağıda gösterilmiştir (Denklem 5.1).

$$\text{CSR} = 0.65(a_{\text{maks}}/g) (\sigma_{v0} / \sigma'_{v0}) r_d \quad (5.1)$$

Burada; a_{maks} deprem sırasında zemin yüzeyinde oluşan maksimum yatay yer ivmesi, g yerçekimi ivmesi, σ_{v0} ve σ'_{v0} toplam ve efektif yüzey gerilmeleri ve r_d gerilme azaltma katsayısidır.

Gerilme azaltma katsayı (r_d) , denklem 5.2'de verilen formülle bulunmaktadır. Formüldeki z değeri derinliği (m) göstermektedir.

$$r_d = \frac{(1.000 - 0.4113z^{0.5} + 0.04052z + 0.001753z^{1.5})}{(1.000 - 0.4177z^{0.5} + 0.05729z - 0.006205z^{1.5} + 0.001210z^2)} \quad (5.2)$$

Tekrarlı direnç oranı moment büyüğlüğü 7.5 olan depreme göre düzenlenmiştir. Buna göre kum zeminlerde tekrarlı direnç oranı hesaplanırken ($CRR_{M7.5}$) formülü kullanılmıştır (Denklem 5.3). Formüldeki $N_{1(60)CS}$ değeri temiz kum düzeltmesi yapılmış SPT-N değeridir.

$$CRR_{M7.5} = \frac{1}{34 - N_{1(60)CS}} + \frac{N_{1(60)CS}}{135} + \frac{50}{[10N_{1(60)CS} + 45]^2} - \frac{1}{200} \quad (5.3)$$

Temiz kum düzeltmesi sadece kum zeminlerde uygulanmaktadır. CRR değerlerinin ince dane oranının artması ile artmasının ve bu artışın sebebinin sıvılaşma dayanımının artması veya penetrasyon direncinin azalması nedeniyle olabileceği düşünülmektedir. Bu sebeple, ince dane oranının tekrarlı dayanım oranı üzerindeki etkisini ifade etmek üzere $N_{1(60)CS}$ değerinin bulunması ve kullanılması önerilmiştir (Youd vd, 2001). Bu değerin nasıl bulunacağı aşağıda gösterilmiştir (Denklem 5.4).

$$N_{1(60)CS} = \alpha + \beta N_{1(60)} \quad (5.4)$$

Burada, α ve β değerleri katsayılardır. Bu katsayılar ince dane oranına göre, yani No:200 no'lu eleğin altında kalan yüzdelik kısma göre belirlenir.

No:200 \leq %5 ise,

$$\alpha=0, \beta=1.0 \quad (5.5)$$

%5<No:200<%35 ise,

$$\alpha=\exp [1.76-(190/(No:200)^2)], \beta=[0.99+((No:200)^{1.5} / 1,000)] \quad (5.6)$$

No:200 \geq %35

$$\alpha=5.0, \beta=1.2 \quad (5.7)$$

Sıvılaşma güvenlik faktörü (FS) aşağıda verilen denklem 5.8 ile bulunur.

$$FS=(CRR_{M7.5}/CSR) * MSF \quad (5.8)$$

Buradaki MSF, büyülüklük düzeltme faktörüdür. MSF hesaplaması için kullanılan formül aşağıda denklem 5.9'da verilmiştir. (M_w : Deprem moment büyülüklüğü).

$$MSF= 10^{2.24} / M_w^{2.56} \quad (5.9)$$

Bu hesaplamağalara göre, FS değeri 1'ten küçük olması durumunda tabakanın sıvılaşmasının mümkün olabileceği söylenebilmektedir.

5.3.2. Iwasaki vd., 1984 Yöntemi

Bu yöntemde, 20 m'ye kadar bir derinlik için, zeminin sıvılaşmaya karşı gösterdiği dirence bakılır. Bu yöntem sayesinde bulunacak sıvılaşma potansiyeli indeksi (I_L) sıvılaşmanın derecesini göstermektedir. Yöntemi kullanmak için gerekli parametrelerden biri olan D50 değeri yani, %50 kümülatif yüzdeye karşılık gelen boyut verilerimizde bulunmadığından ve D50 değeriyle bulunacak parametreler yaklaşık olarak bir değer alınamayacağından ötürü, I_L formülünde aslında D50 değeriyle bulunan sıvılaşma emniyet faktörü (F_L) yerine basitleştirilmiş sıvılaşma analizinden elde edilen güvenlik katsayıısı (FS) değerleri kullanılmıştır. Buna göre I_L değeri denklem 5.10'daki gibi hesaplanmıştır. Bulunacak I_L değerinin yorumlanması ise aşağıdaki tablodaki gibidir (Tablo 5.1).

$$I_L = \int_0^{20} FS * W(Z) dZ \quad (5.10)$$

$$W(Z)=10-0,5*Z \quad (5.11)$$

Tablo 5.1 I_L ve sıvılaşma potansiyeli ilişkisi (Iwasaki vd., 1984)

I_L	Risk
$I_L=0$	Sıvılaşma riski çok düşük
$0 < I_L \leq 5$	Sıvılaşma riski düşük
$5 < I_L \leq 15$	Sıvılaşma riski yüksek
$I_L > 15$	Sıvılaşma riski çok yüksek

5.4. Sıvılaşma Analizi Sonuçları

İnceleme alanının sıvılaşma analizini yapmak için yukarıda bölüm 5.3.1. ve 5.3.2.'de bahsedilen yöntemler kullanılmıştır. İnceleme alanında yukarıda yöntemlerde ve TBDY'de (2018) bahsedilen sıvılaşma potansiyelinin olduğu, yani zemin yüzeyinden 20 m derinliğe kadar olan bölgede, yer altı su seviyesinin altında yer alan, kum, çakıllı kum, siltli killi kum, plastik olmayan silt ve silt-kum karışımlarının oluşturduğu toplam 41 adet zemin tabakası bulunmuştur. Bu 41 zemin tabakasına bölüm 5.3.1'de bahsedilen yöntem, dinamik analizde kullanılan dört adet depremin ivme ve moment büyüklükleri değerleriyle uygulanmıştır.

Buna göre, en çok sıvılaşabilir zeminlerin olduğu, yani güvenlik katsayısının 1'den küçük çıktığı senaryo, moment büyülüğünün ($M=7.5$) ve anakaya ivmesinin ($a_{maks}=0.2g$) olduğu 1999 Kocaeli depremi senaryosu olmuştur. Bu senaryoda 41 sıvılaşma potansiyeli bulunan zemin tabakalarının 30 tanesi sıvılaşabilir çıkmıştır. 1977 İzmir depreminden 26 adet, 1992 Doğanbey depreminden 8 adet, 1995 depreminden 14 adet sıvılaşabilir tabaka çıkmıştır. Bir diğer sonuç ise, inceleme alanındaki bütün düşük plastisiteli siltlerin (ML) 4 deprem senaryosunda da sıvılaşabilir çıkmasıdır.

Bölüm 5.3.2.'de anlatılan Iwasaki vd., (1984) yöntemi bu sonuçların ardından uygulanmıştır. Aslında bölüm 5.3.1.'de anlatılan yöntemle bir bağlantısı bulunmayan bu yöntemi uygulayabilmek için ilk yöntemin değerlerinin kullanılması kararlaştırılmıştır. Buna göre, 1999 Kocaeli depreminden bulunan 30 sıvılaşabilir zeminin güvenlik katsayıları, bu yöntemde kullanılmıştır. İnceleme alanındaki SK-8,9,10,12,13,14,15,16 no'lu sondaj kuyularından elde edilen I_L değerleri ve bu değerlere karşılık gelen sıvılaşma riskleri aşağıda tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.2 Sondaj kuyularının I_L değerleri ve Iwasaki vd., (1984) çalışmasına göre sivilaşma riskleri

Sondaj No.	I_L	Sivilaşma Riski
SK-8	6.64	Yüksek
SK-9	1.15	Düşük
SK-10	7.07	Yüksek
SK-12	1.58	Düşük
SK-13	19.58	Çok Yüksek
SK-14	6.98	Yüksek
SK-15	12.89	Yüksek
SK-16	7.66	Yüksek

Bu yöntem, sadece üstte verilen birden fazla sivilaşabilir zemin tabakasının bulunduğu sondaj kuyularında uygulanabilmiştir. Diğer sondaj kuyularında birden fazla sivilaşabilir tabaka bulunmadığından ve bu sondaj kuyularında eğer olacaksa sadece noktasal sivilaşmanın oluşabileceği gözönüne alındığında I_L değerlerinin hesaplanması gereklidir. Bu sonuçlara göre, SK-1, 2, 3 ve 4'te sivilaşma riski bulunmazken, SK-5, 6 ve 11'de sadece tek tabakada oluşan noktasal bir sivilaşma gözlemlenmiştir. SK-9 ve 12'de düşük sivilaşma riskleri gözlemlenirken, SK-8, 10, 14, 15, 16'da yüksek sivilaşma riskleri, SK-13'te çok yüksek sivilaşma riski gözlemlenmiştir.

6. GENEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Tez çalışması kapsamında, İzmir ili Bornova ilçesinde bulunan bir inşaat alanında, veri raporundaki zeminin parametrelerini belirlemeye yönelik yapılan laboratuvar, sondaj ve MASW çalışmalarından, İzmir çevresinde önceden yapılan çalışmalar sayesinde bulunan zemin parametre değerlerinden ve inceleme alanına özel yaklaşımlar geliştirilerek bulunan zemin parametre değerlerinden yararlanılarak, sahanın dinamik davranış analizi ve sivilaşma analizi gerçekleştirılmıştır. Analizler yapılmaya başlanmadan önce gerekli tüm zemin parametreleri belirlenmekte çalışılmış, belirlenen zemin parametreleri bir veri bankasında toplanmış, İzmir çevresinde oluşan 4 adet depremin ivme-zaman kayıtları araştırılmış, ardından analizler yapılmaya başlanmıştır.

Zeminin dinamik davranış analizi için kullanılacak yöntem ve metodun seçiminde, arazi ve TBDY (2018) uygunluk çerçevesinde, bir boyutlu analiz programı DEEPSOIL içindeki frekans tanım alanında eşdeğer doğrusal analiz metodu kullanılması uygun görülmüştür. Dinamik davranış analizlerinin sonucuyla, zemindeki en büyük yer ivmesi değeri ve spektral ivme değerinin sahadaki değişimi gözlemlenebilmiş ve SURFER programı sayesinde parametrelerin sahadaki değişimi harita üzerinde belirlenmiştir.

Sivilaşma analizini gerçekleştirebilmek için iki farklı yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemlerin tercih edilme nedenleri uygulanabilirliği yaygın olan, arazi çalışmalarında sıkça tercih edilen yöntemler olmasıdır. Sivilaşma analiz yöntemleri sayesinde 16 sondaj kuyusundaki zemin profillerinin sivilaşma riskleri belirlenmiştir.

Saha davranış analizinden bulunan sonuçlar ele alınacak olursa, inşaat alanının yerel zemin özelliklerini tanımlayan alüvyonel zemin profilinin deprem esnasında yer ivmesi ve spektral ivme değerlerini artıracagi söylenebilir. 3 Deprem kaydının da (1992 Doğanbey, 1995 Dinar, 1999 Kocaeli) anakaya yer ivmesi değerlerinin eşit, yani 0.2 g alındığında aynı zemin profillerinde oluşan en büyük yer ivmesi ve en büyük spektral ivme değerlerine bakılırsa, deprem karakteristiklerinin bu iki parametreyi çok farklı şekilde değiştirebileceği saptanmıştır. Aynı şekilde iki farklı zemin profiline bir depremin kaydının çıktı parametreleri çok farklı sonuçlar verebilmiştir. Alanın ivme haritaları gözönüne alındığında ise incelenen 4 depremde de SK-3, 8, 9, 14 gibi inceleme alanının sınırlarına yakın konumların en yüksek ivme değerleri aldığı gözlemlenmiştir. Bu yüksek ivme değerlerinin inşaat alanının sınırlarında bulunması ve merkeze doğru

gidildikçe ivmelerin küçülmesi, alan merkezinde yer alan binaların güvenliğini artırmaktadır.

İnceleme alanındaki gibi suya doygun alüvyon zemin profillerinde, alana göreceli olarak daha uzak bir mesafede oluşacak depremin etkilerinin incelenmesi bir sonraki adımda faydalı olacaktır. Bu sayede, deprem hareketi inceleme sahasına ulaştığında kısa periyot harmoniklerinin filtre olması ve uzun periyot harmoniklerinin, hâkim periyotları yüksek olan alüvyon profillerinde rezonans etkisi oluşturma potansiyelleri incelenebilir.

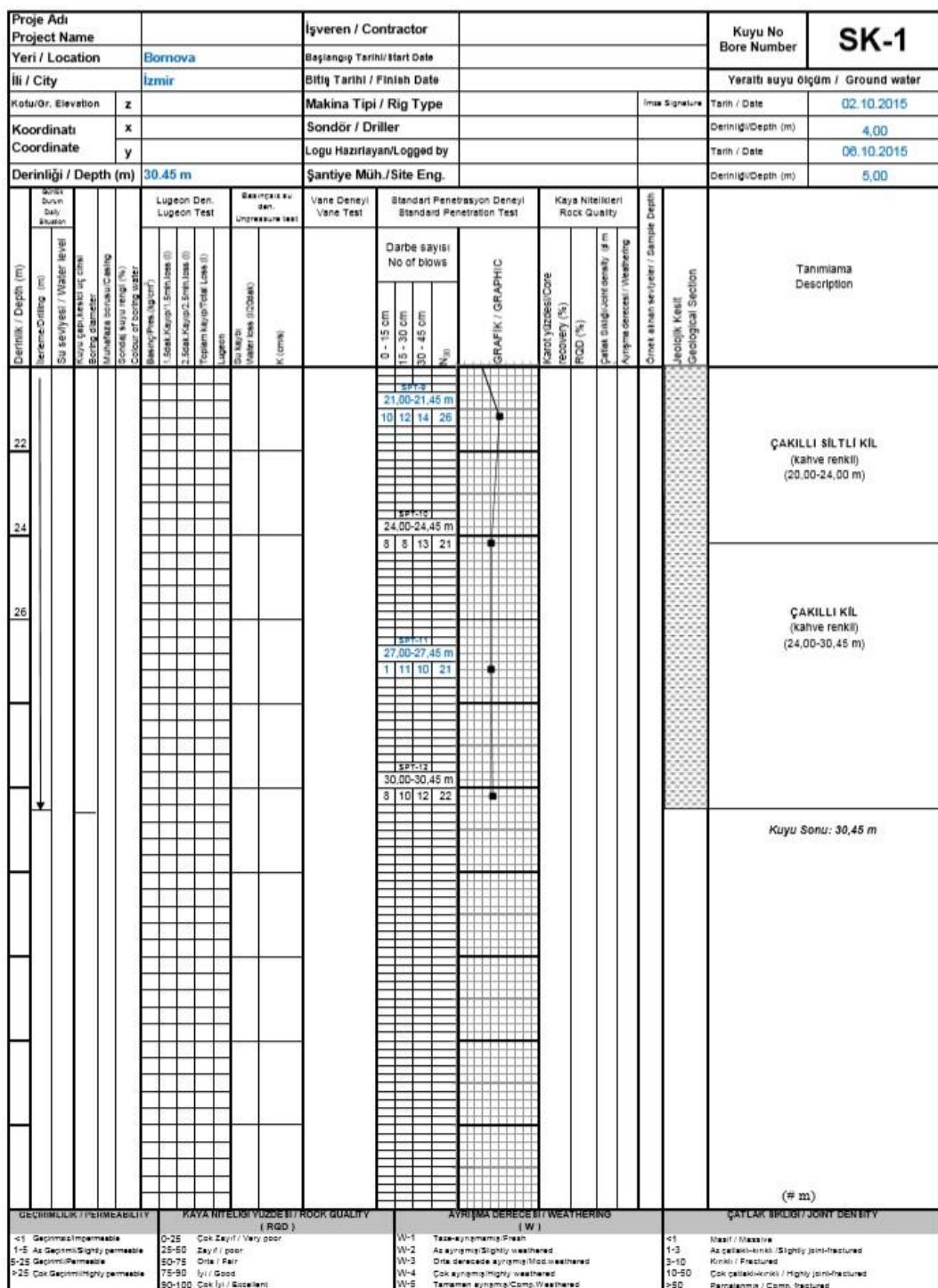
4 Depremin de en büyük yüzey ivmesi (PGA) değerleri ele alındığında, bu değerlerin 0.21 g ile 0.56 g arasında değiştiği gözlemlenmiştir. TBDY'de (2018) deprem verilerini tahmini olarak tanımlamak için Türkiye Deprem Tehlike Haritası bulunmaktadır. Bu haritaya <https://tdth.afad.gov.tr/> internet sitesinden erişilebilmektedir. Bu haritayla beraber, istenilen bölgenin deprem verilerini bir rapor halinde görüntüleyebilmek mümkündür. Bu raporda, inşaat alanı için yaklaşık olarak PGA değerini 0.454 g almıştır. Bu değer, en çok 1977 İzmir depreminin ortalama en büyük yüzey ivmesi değeriyle yakınlık göstermiştir.

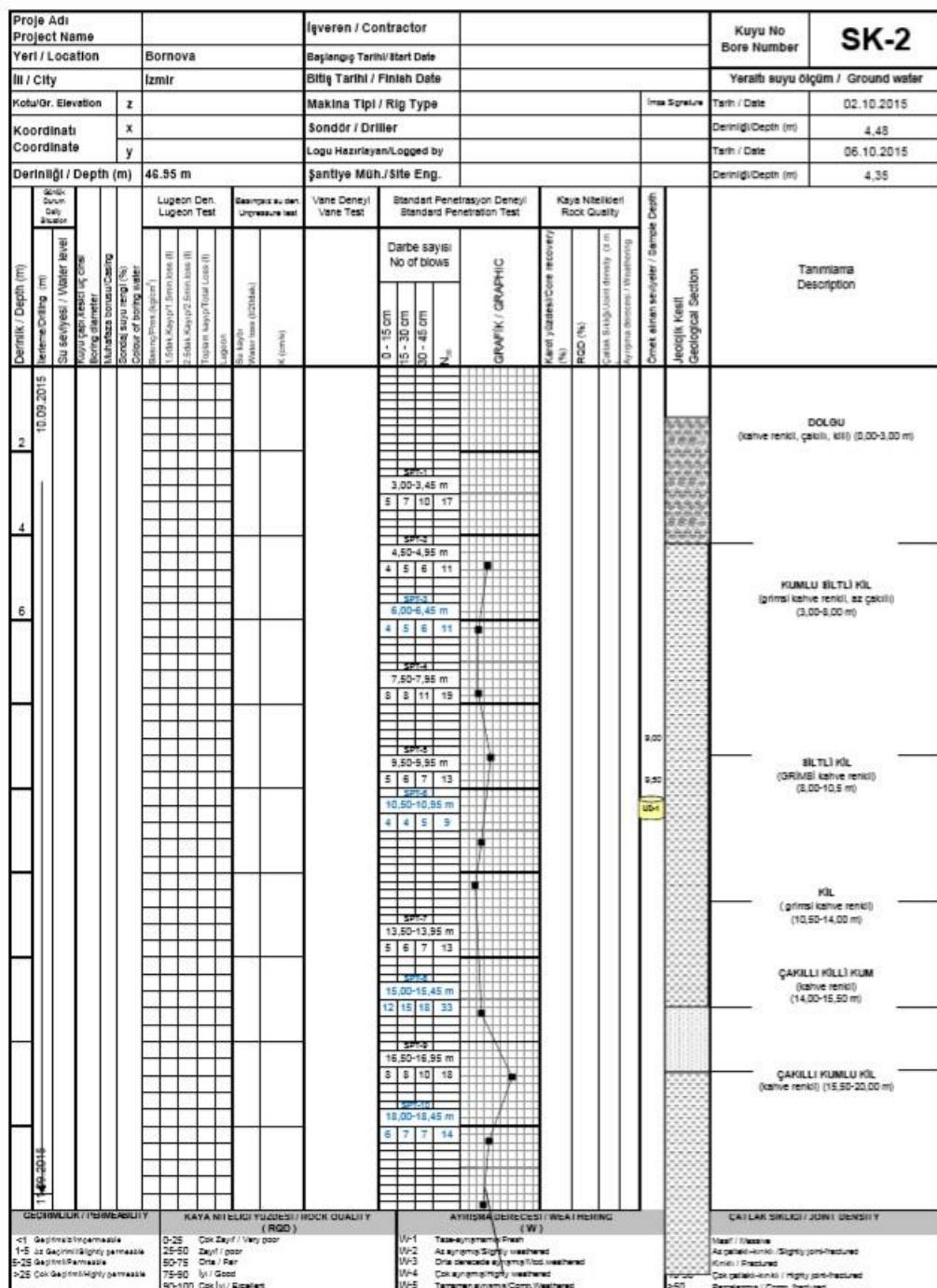
Sıvılaşma analizi yöntemleriyle sonuçlar bulunmadan önce, inceleme alanı için veri raporunda sıvılaşma potansiyelinin düşük olduğunu belirtilmesi ve sondaj kuyularından çıkartılan zemin profilleri incelendiğinde ilk 20 m'de gözlemlenen “sıvılaşmaz” kabul edilen killi zemin profilinin de çoğunlukta olması, inceleme alanında sıvılaşma riskinin düşük olabileceğinin söylenmesini haklı kılmıştır. Ancak yapılan analizler sonucunda, 1999 Kocaeli depreminden 30 adet sıvılaşabilen tabaka çıkması, ayrıca Iwasaki yöntemi ile 5 sondaj kuyusunun zemin profilinde sıvılaşma riski yüksek ve 1 sondaj kuyusunun zemin profilinde sıvılaşma riskinin çok yüksek çıkması incelenen bölgede sıvılaşmanın birkaç lokasyonda gözlemlenebileceğinin bir işaretidir. Ancak, sadece iki metot sonuçlarıyla bir alanda sıvılaşmanın olup olmayacağı söylemek doğru olmayacaktır. Bu alanda sıvılaşma riski açısından bir kaniya varmak için farklı analiz yöntemlerinin de sonuçlarının karşılaştırılması gereklidir. Ayrıca *günümüze deðin olan depremler altında incelenen alan içinde veya yakınılarında sıvılaşma raporlanmamıştır.*

Hem sıvılaşma hem de zeminin dinamik davranışının analizi sonucu en riskli görünen iki sondaj kuyusu olan SK-8 ve 14'ün de yapıların sınırlarına yakın olmaması mevcut hallerinde yapıların güvenle faaliyetlerini sürdürübileceklerini göstermektedir.

EK AÇIKLAMALAR-A SONDAJ KUYULARI

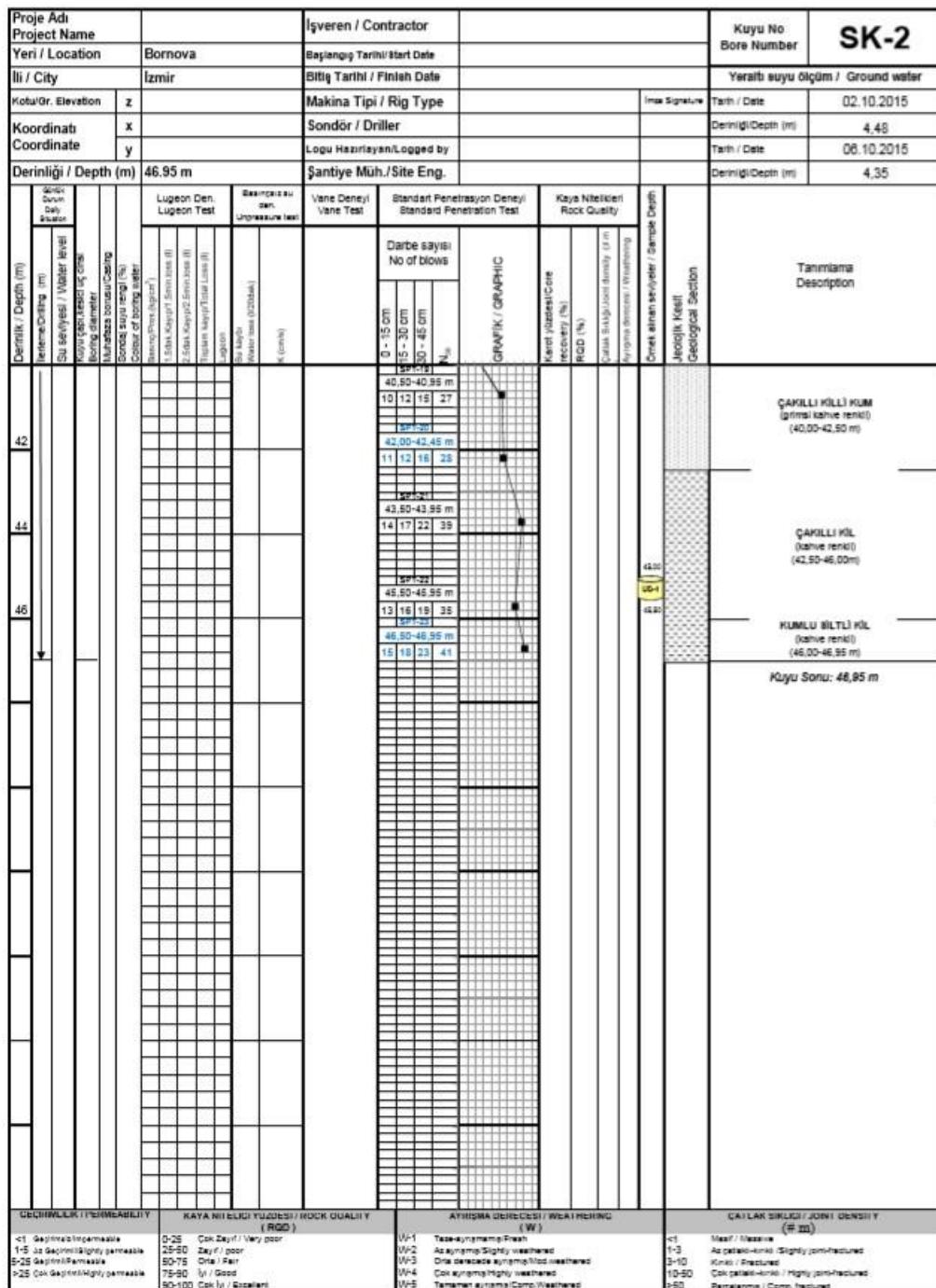
Şekil A.1 SK-1 Sondaj kuyusu





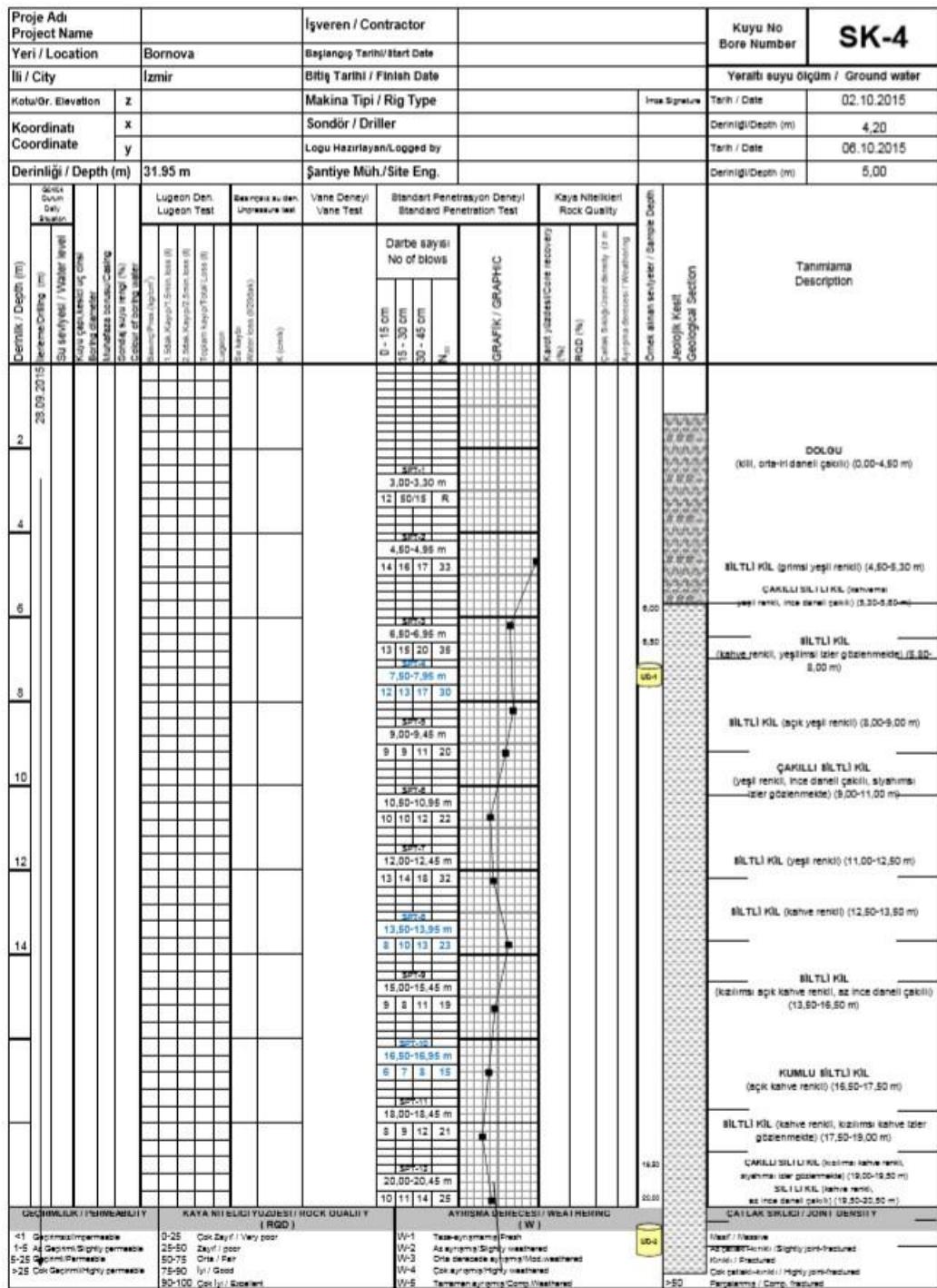
Şekil A.3 SK-2 Sondaj kuyusu

Şekil A.4 SK-2 Sondaj kuyusu

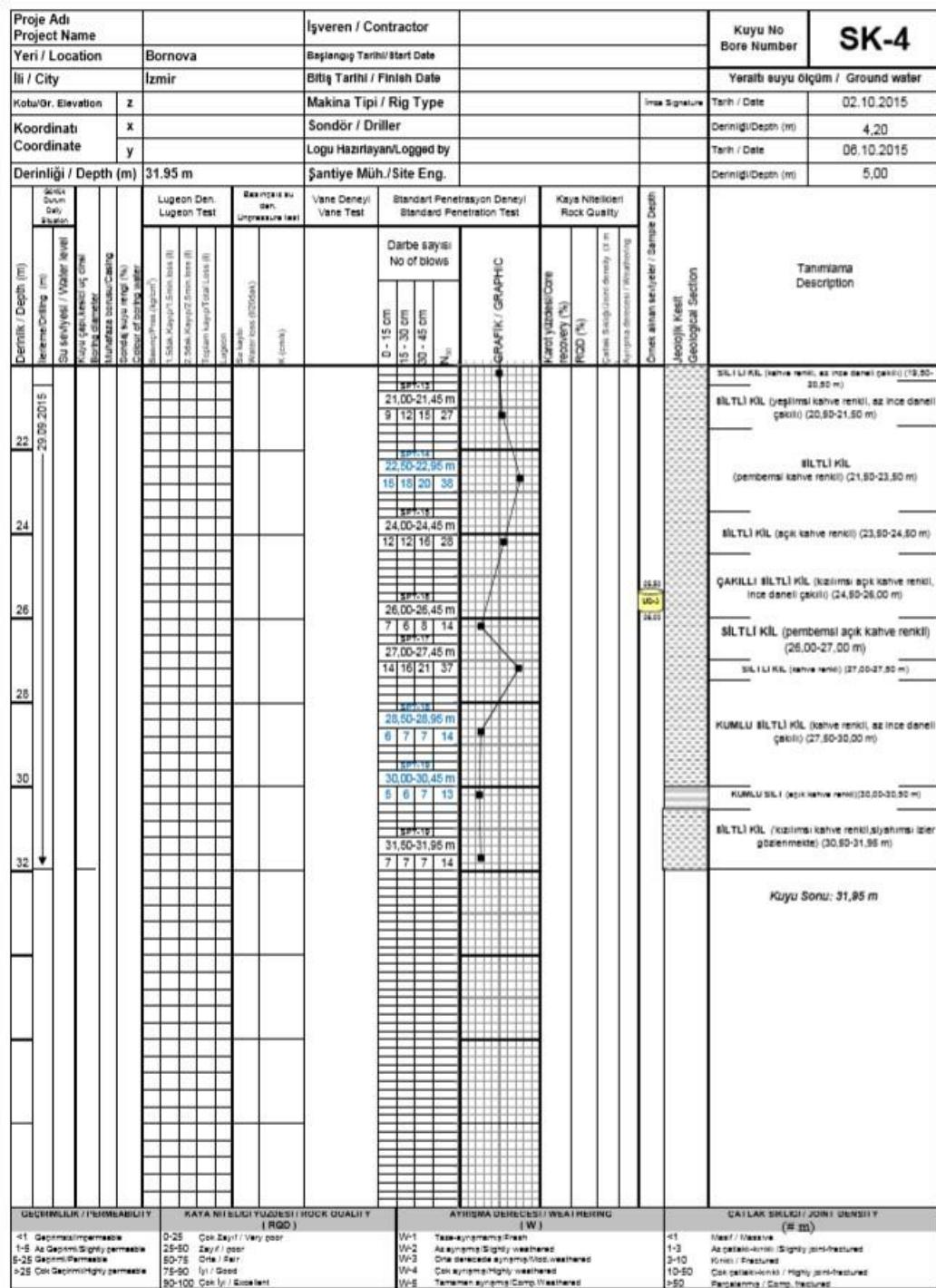


Şekil A.6 SK-3 Sondaj kuyusu

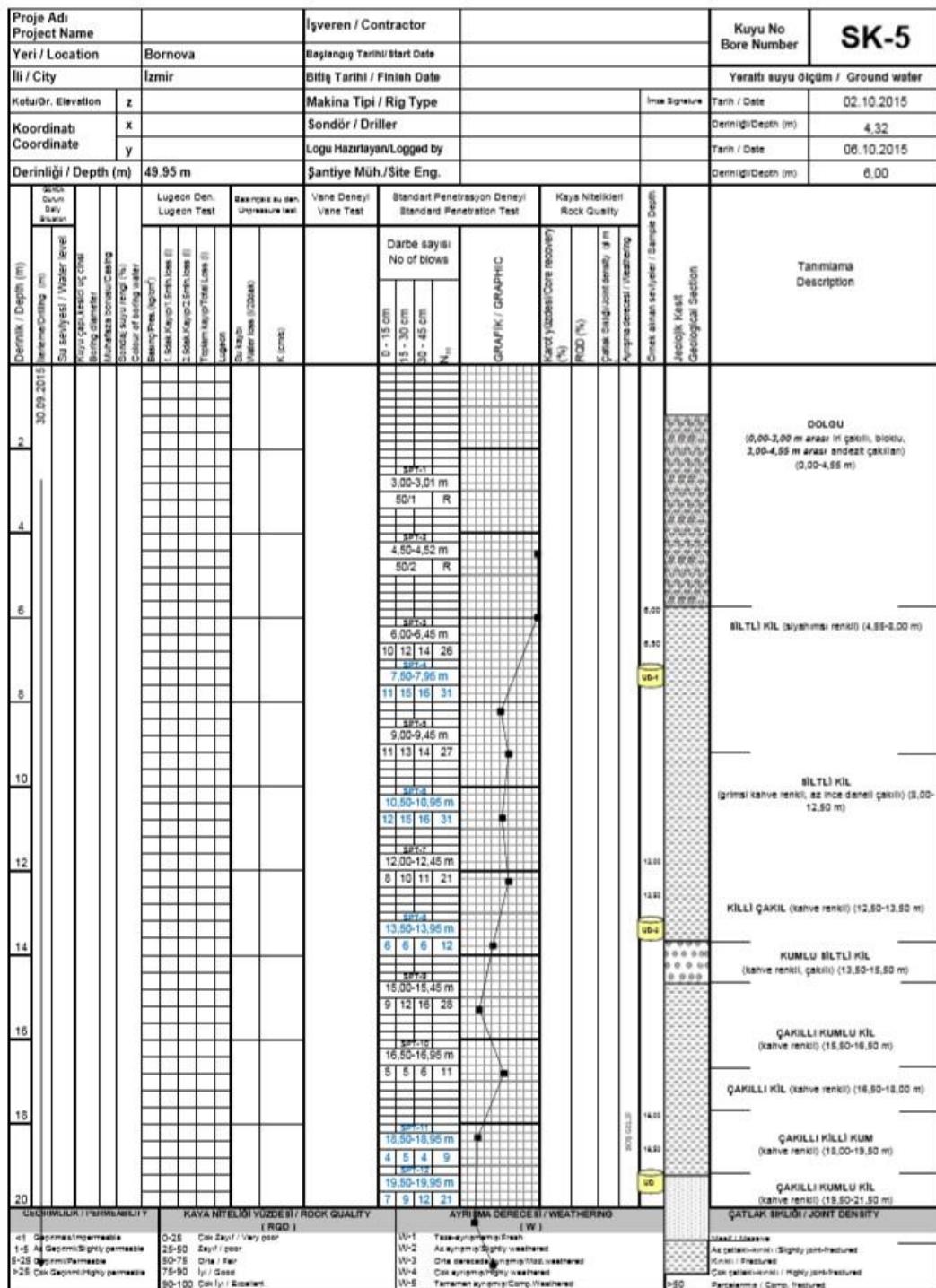
Şekil A.7 SK-3 Sondaj kuyusu



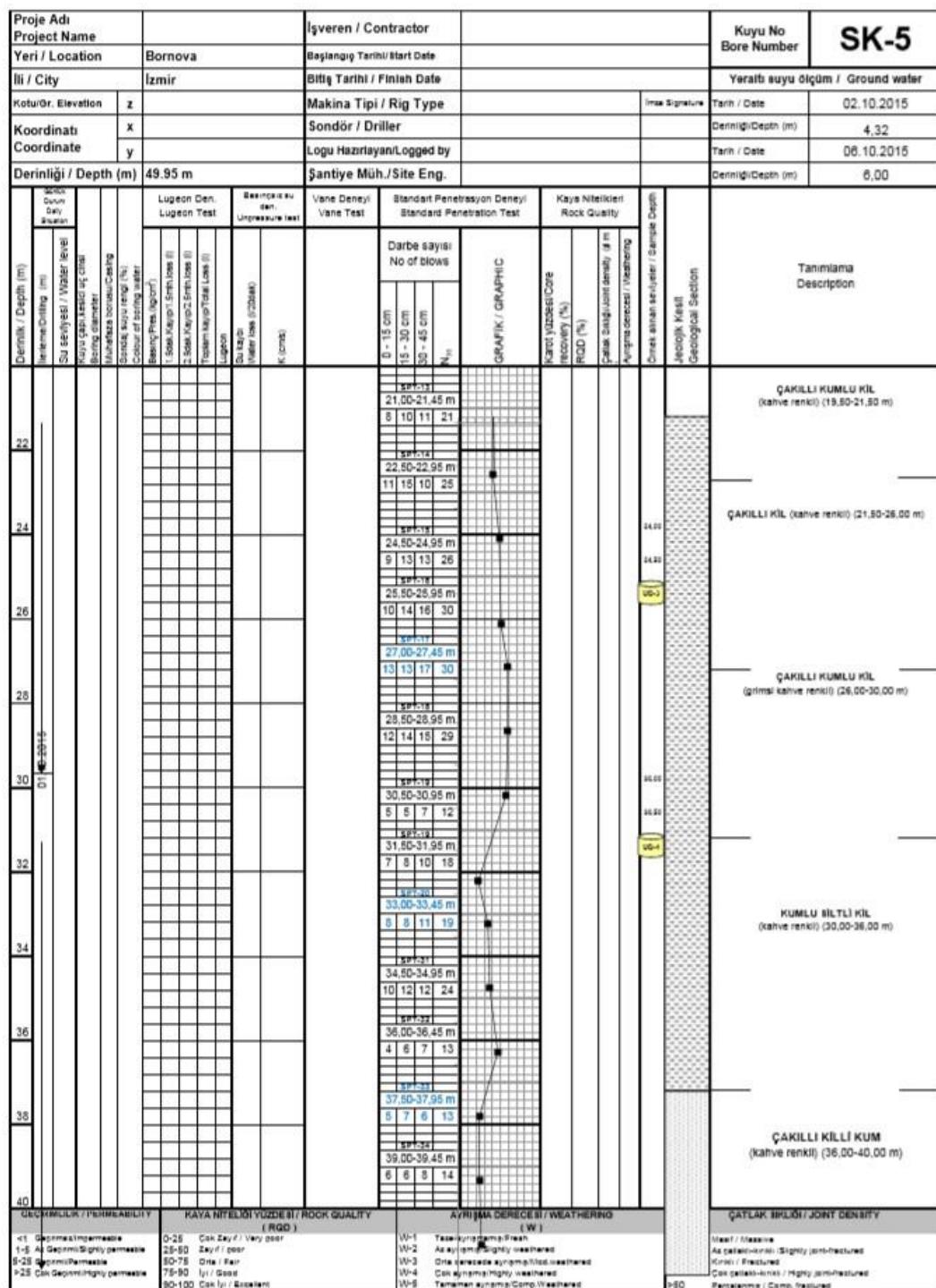
Şekil A.8 SK-4 Sondaj kuyusu



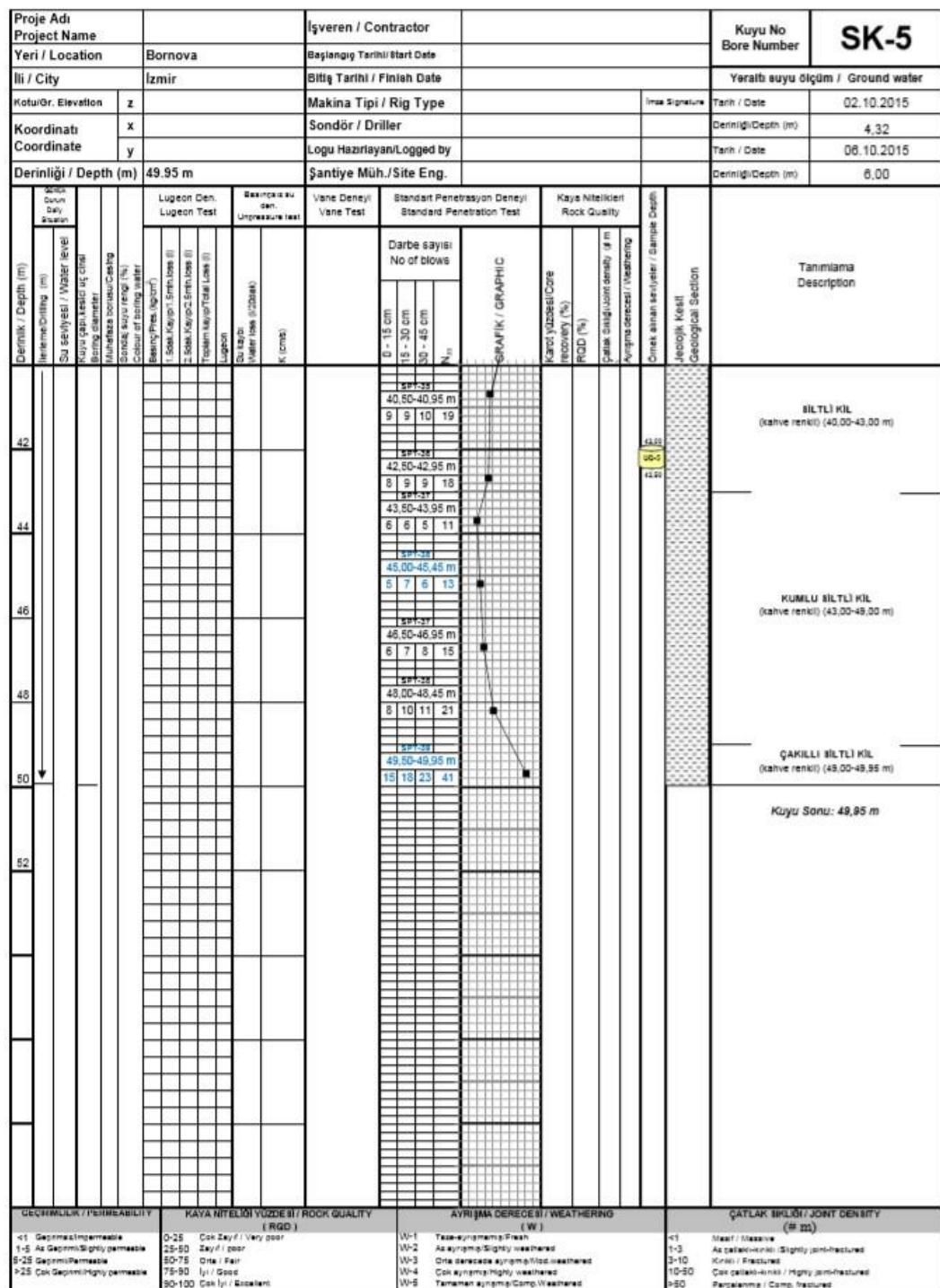
Şekil A.9 SK-4 Sondaj kuyusu



Şekil A.10 SK-5 Sondaj kuyusu



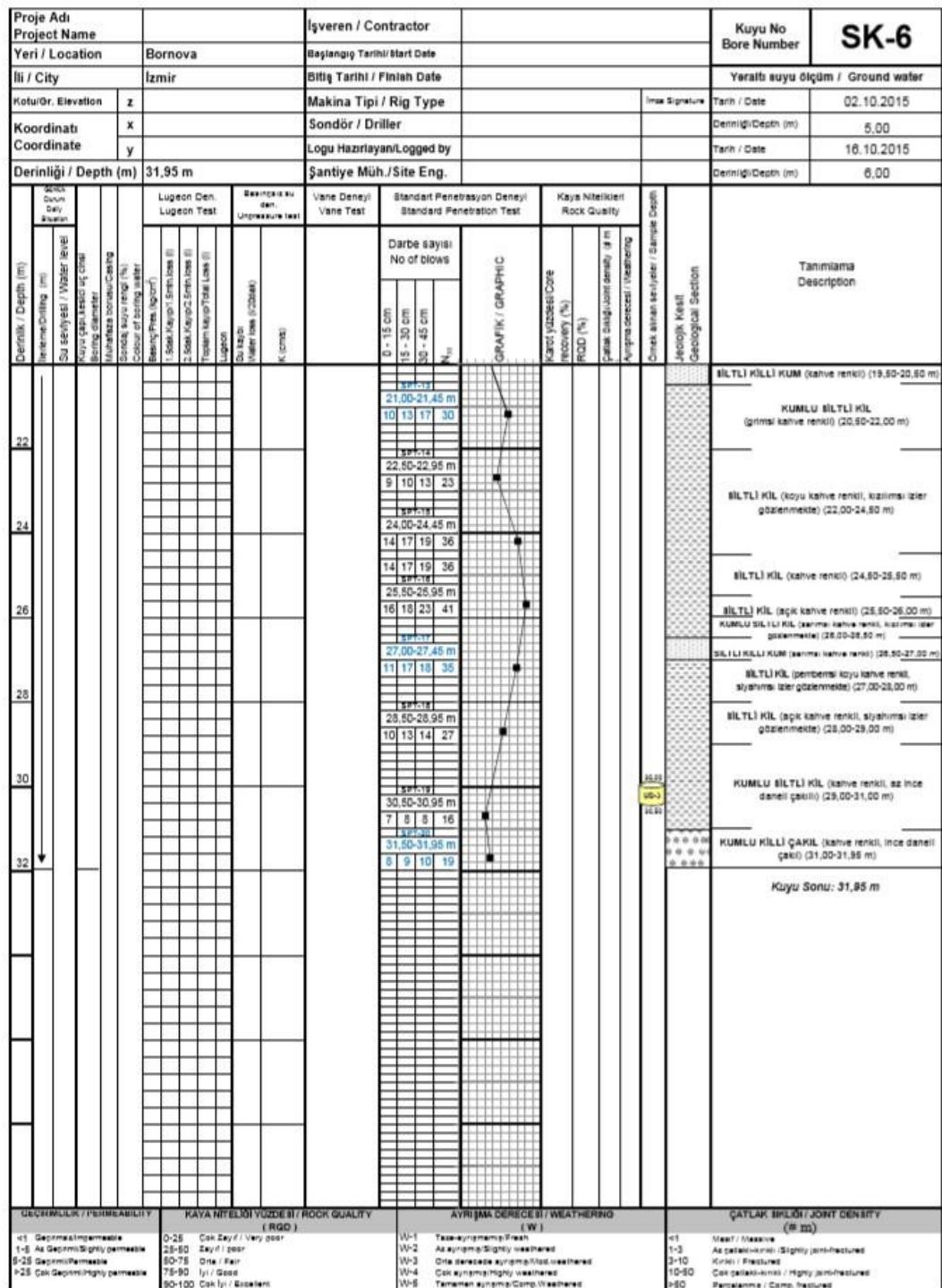
Şekil A.11 SK-5 Sondaj kuyusu



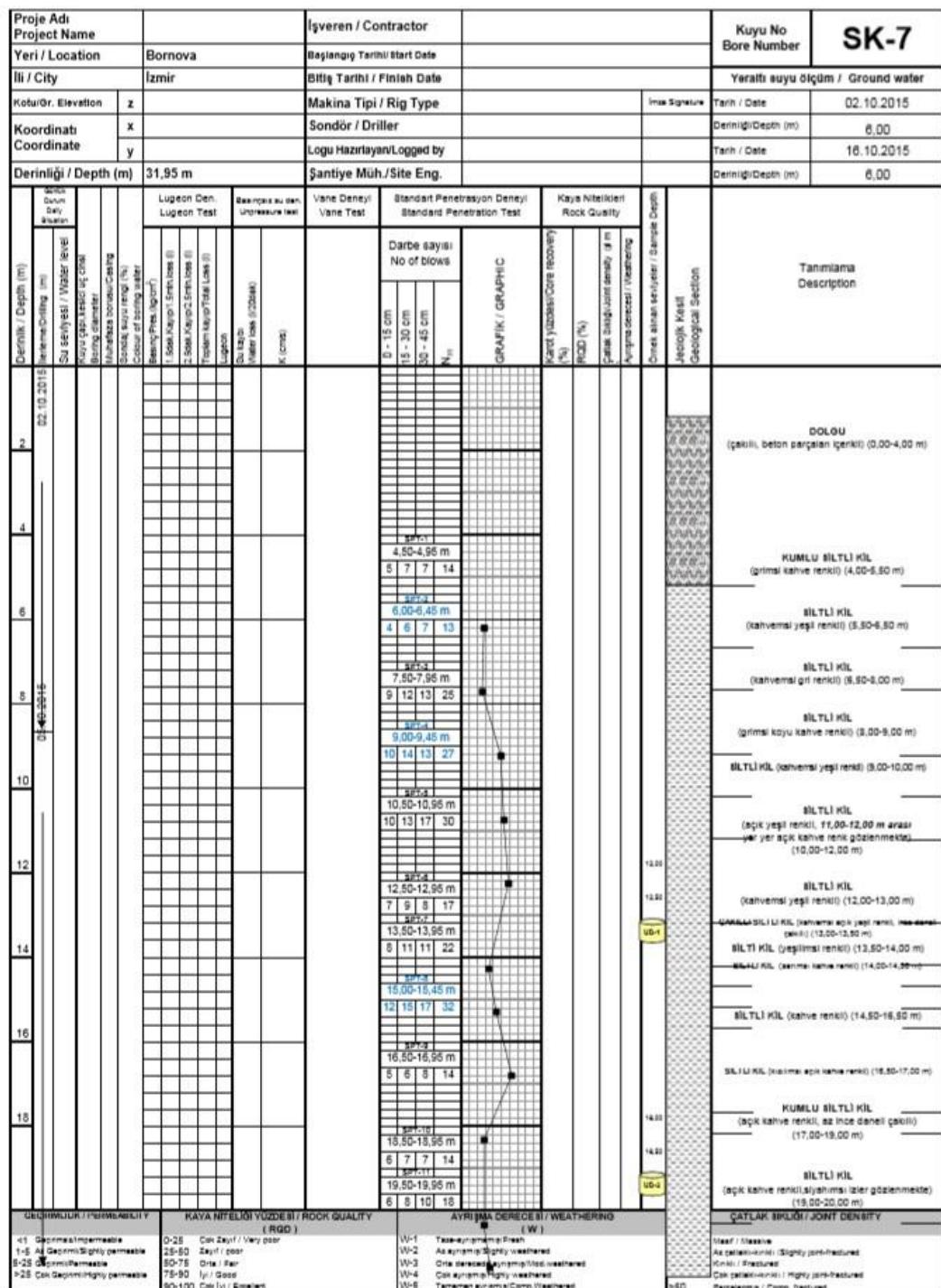
Şekil A.12 SK-5 Sondaj kuyusu

Proje Adı / Project Name				İşveren / Contractor				Kuyu No / Bore Number	SK-6		
Yeri / Location		Bornova		Başlangıç Tarihi / Start Date				Yeraltı suyu ölçüm / Ground water			
İl / City		İzmir		Bitiş Tarihi / Finish Date							
Koordinat / Elevation	Z			Makina Tipi / Rig Type				İmza Signature	Tarih / Date		
Koordinat / Coordinate	X	Sondör / Driller							Derinliği / Depth (m)		
	Y	Logu Hazırlayan / Logged by							Derinliği / Depth (m)		
Derinliği / Depth (m)		31,95 m		Şantiye Müh./Site Eng.					Derinliği / Depth (m)		
Düzenlik / Depth (m)		İnşâme/Çalışma / Daily working		Lugeon Den. / Lugeon Test		Standart Penetrasyon Deneyi / Standard Penetration Test		Kaya Nitelikleri / Rock Quality		Tanımlama / Description	
Düzenlik / Depth (m)		Su Seviyesi / Water level		Kaya çökeliği su den. / Water content		Vane Deneyi / Vane Test		Kard yüzdesi / Core recovery (%)		Çıkarılan testler / Sample Depth	
Düzenlik / Depth (m)		Sondör / Sondör / Drilling		Borucu çap / Boring diameter		Baskın testi / Sounding		RHO (%)		Jeolojik Kattı / Geological Section	
Düzenlik / Depth (m)		Muhafazası / Protection		Muhafazası boyutları / Size		Baskın renk / Sounding colour		Çıkarılan testler / Sample Depth		DOLGU	
Düzenlik / Depth (m)		Sondör / Sondör / Drilling		Borucu çap / Boring diameter		Baskın testi / Sounding		RHO (%)		(0,00-1,50 m arası ince danielli çatlaklı, 1,50-3,00 m arası kılıçlı, ince danielli çatlaklı, 3,00-4,00 m arası kılıçlı, 4,00-6,50 m arası ince danielli çatlaklı blok gözlənilmekte) (0,00-4,50 m)	
Düzenlik / Depth (m)		Sondör / Sondör / Drilling		Borucu çap / Boring diameter		Baskın testi / Sounding		RHO (%)		SILTЛИ KIL (kahvesimi giz renkli) (4,50-8,50 m)	
Düzenlik / Depth (m)		Sondör / Sondör / Drilling		Borucu çap / Boring diameter		Baskın testi / Sounding		RHO (%)		SILTЛИ KIL (kahvesimi yeşil renkli) (7,50-10,50 m)	
Düzenlik / Depth (m)		Sondör / Sondör / Drilling		Borucu çap / Boring diameter		Baskın testi / Sounding		RHO (%)		SILTЛИ KIL (kahvesimi açık kahve renkli) (7,50-9,50 m)	
Düzenlik / Depth (m)		Sondör / Sondör / Drilling		Borucu çap / Boring diameter		Baskın testi / Sounding		RHO (%)		KUMLU SILTILI KIL	
Düzenlik / Depth (m)		Sondör / Sondör / Drilling		Borucu çap / Boring diameter		Baskın testi / Sounding		RHO (%)		(kahvesimi yeşil renkli, ince danielli kumlu) (9,50- 12,00 m)	
Düzenlik / Depth (m)		Sondör / Sondör / Drilling		Borucu çap / Boring diameter		Baskın testi / Sounding		RHO (%)		SILTILI KIL (şeylîmî renkli) (12,00-13,50 m)	
Düzenlik / Depth (m)		Sondör / Sondör / Drilling		Borucu çap / Boring diameter		Baskın testi / Sounding		RHO (%)		KUMLU SILTILI KIL (kahve renkli) (13,50-14,50 m)	
Düzenlik / Depth (m)		Sondör / Sondör / Drilling		Borucu çap / Boring diameter		Baskın testi / Sounding		RHO (%)		SILTILI KIL (kahve renkli) (14,50-15,50 m)	
Düzenlik / Depth (m)		Sondör / Sondör / Drilling		Borucu çap / Boring diameter		Baskın testi / Sounding		RHO (%)		KUMLU SILTILI KIL (kahve renkli) (15,50-16,00 m)	
Düzenlik / Depth (m)		Sondör / Sondör / Drilling		Borucu çap / Boring diameter		Baskın testi / Sounding		RHO (%)		SILTILI KIL (kahve renkli) (16,00-18,00 m)	
Düzenlik / Depth (m)		Sondör / Sondör / Drilling		Borucu çap / Boring diameter		Baskın testi / Sounding		RHO (%)		SILTILI KIL (kahve renkli) (18,00-19,50 m)	
Düzenlik / Depth (m)		Sondör / Sondör / Drilling		Borucu çap / Boring diameter		Baskın testi / Sounding		RHO (%)		KUMLU KUM KIL (kahve renkli) (19,50-20,50 m)	
DÜZENLİK / PERMEABİLİTE		KAYA NİTELİĞİ YAZDEMI / ROCK QUALITY		AYRIŞIK DERECİDE İ / WEATHERING (RQD)		AYRIŞIK DERECİDE İ / WEATHERING (%)		ÇATLAK BRÜTÜ / JOINT DENSITY			
<1 Geçmiş / Impenetrable		0-25 Çatı Zayıf / Very poor		V1-1 Taze kumlu kum / Fresh sand		V1-2 Az geçmiş / Slightly weathered		Az geçmiş / Slightly joint-weathered		Yazılı / Masonry	
1-5 Geçmiş / Sıkça geçmiş		25-50 Zayıf / Poor		V2-1 Çıra / Fair		V2-2 Çok geçmiş / Highly weathered		Çıra / Weathered		Kireç / Plastered	
5-25 Geçmiş / Uzun geçmiş		50-75 Ort / Good		V3-1 Dök / Poor		V3-2 Çok geçmiş / Highly weathered		Dök / Weathered		Çelik patlamalı / Highly joint-weathered	
>25 Çok Geçmiş / Hırgızlı geçmiş		75-90 İyi / Good		V4-1 Çök / Very good		V4-2 Çok geçmiş / Highly weathered		Çök / Weathered		Parke / Pavement	
>90-100 Çok iyi / Excellent		90-100 Çok iyi / Excellent		V5-1 Taz / Very good		V5-2 Çok geçmiş / Highly weathered		Taz / Weathered		Cimento / Cement	

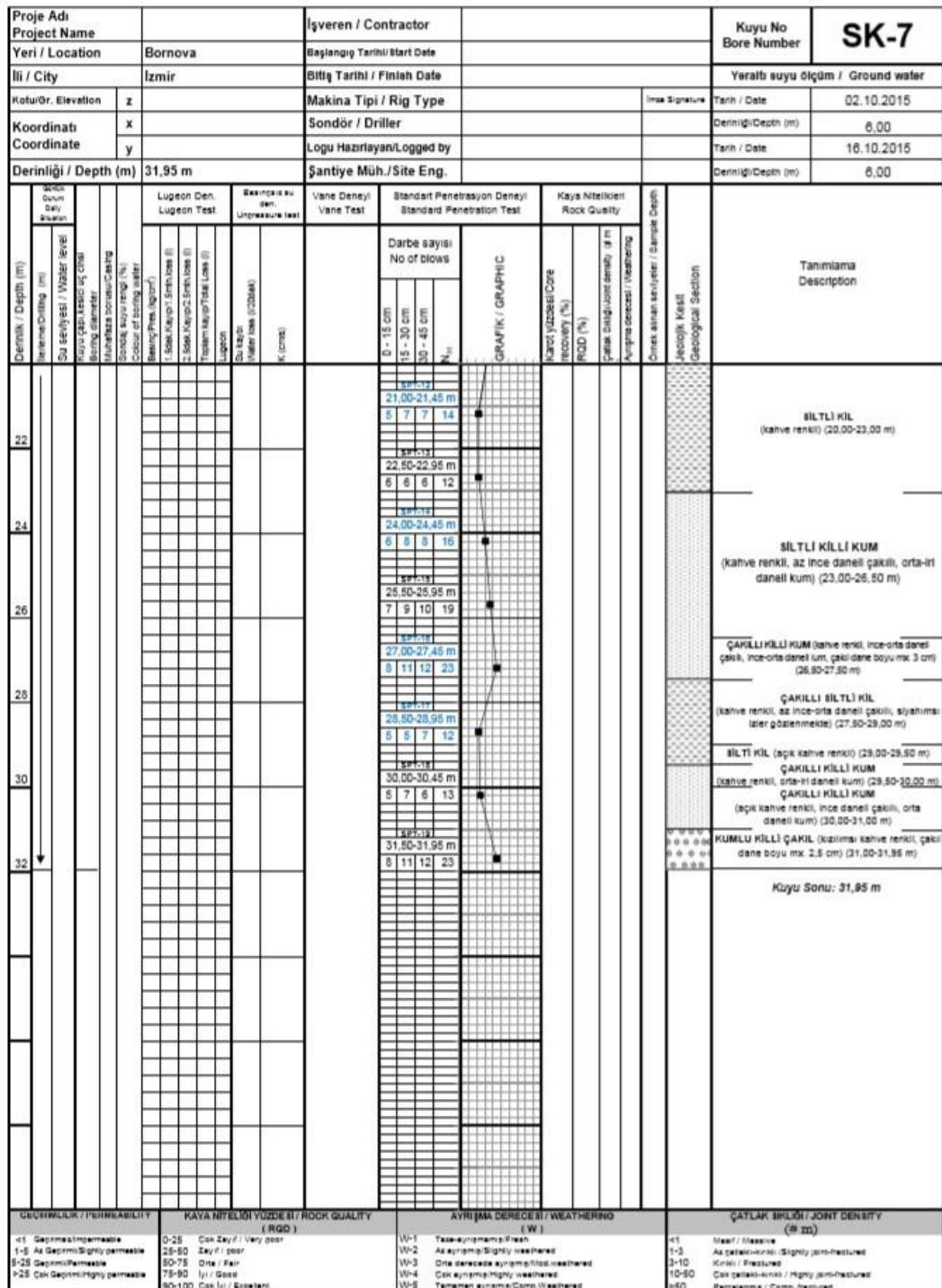
Şekil A.13 SK-6 Sondaj kuyusu



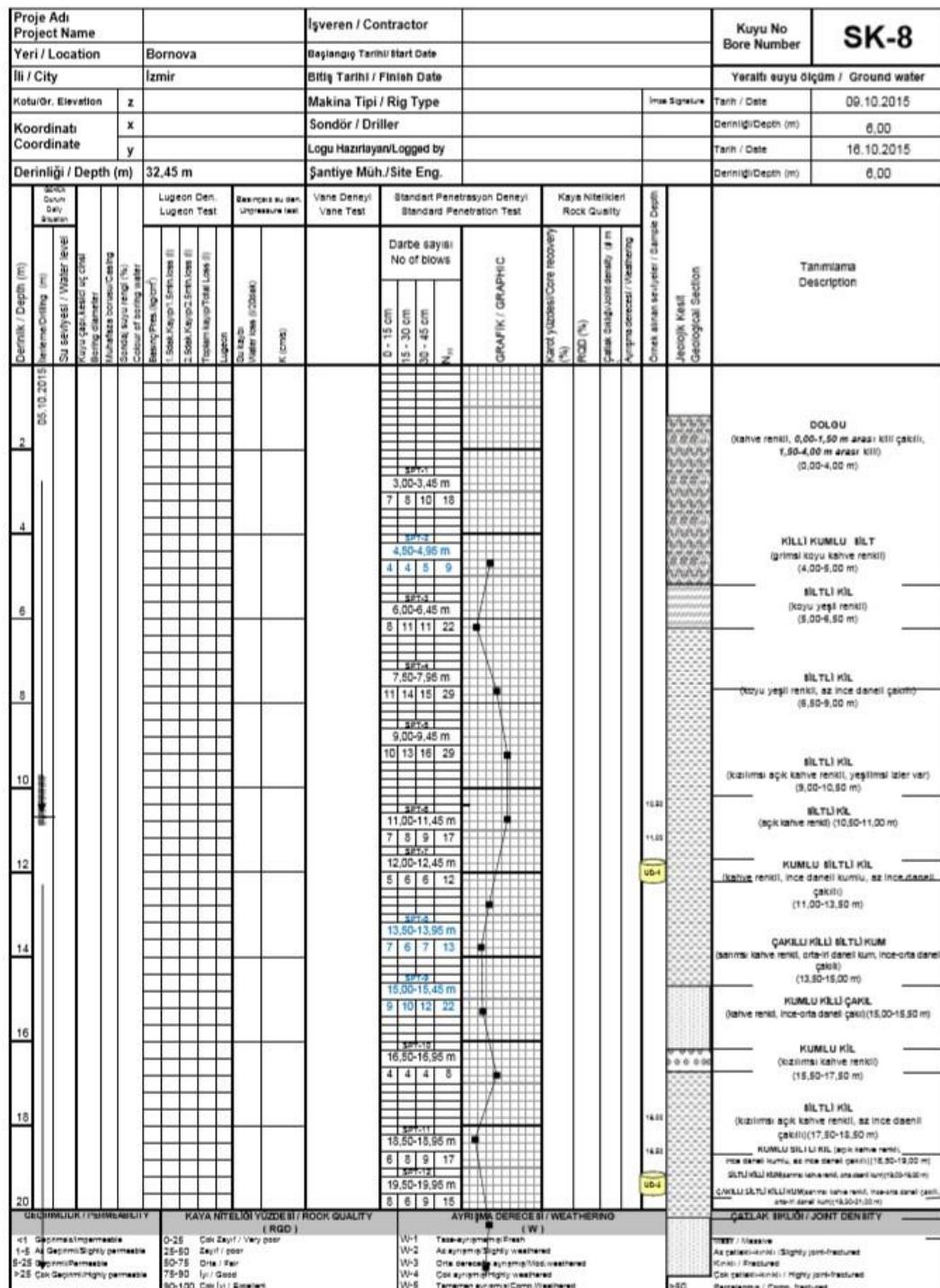
Şekil A.14 SK-6 Sondaj kuyusu

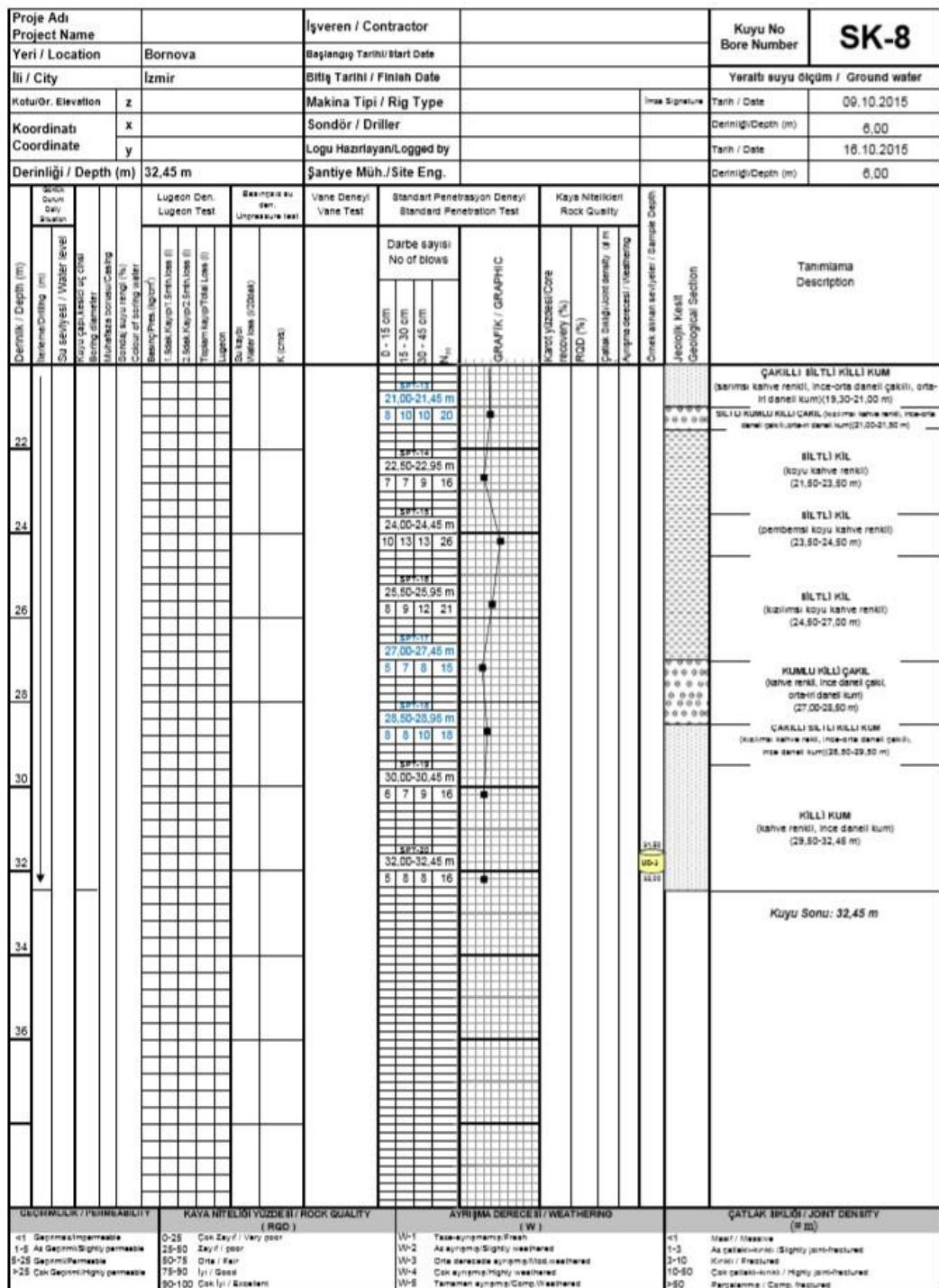


Şekil A.15 SK-7 Sondaj kuyusu

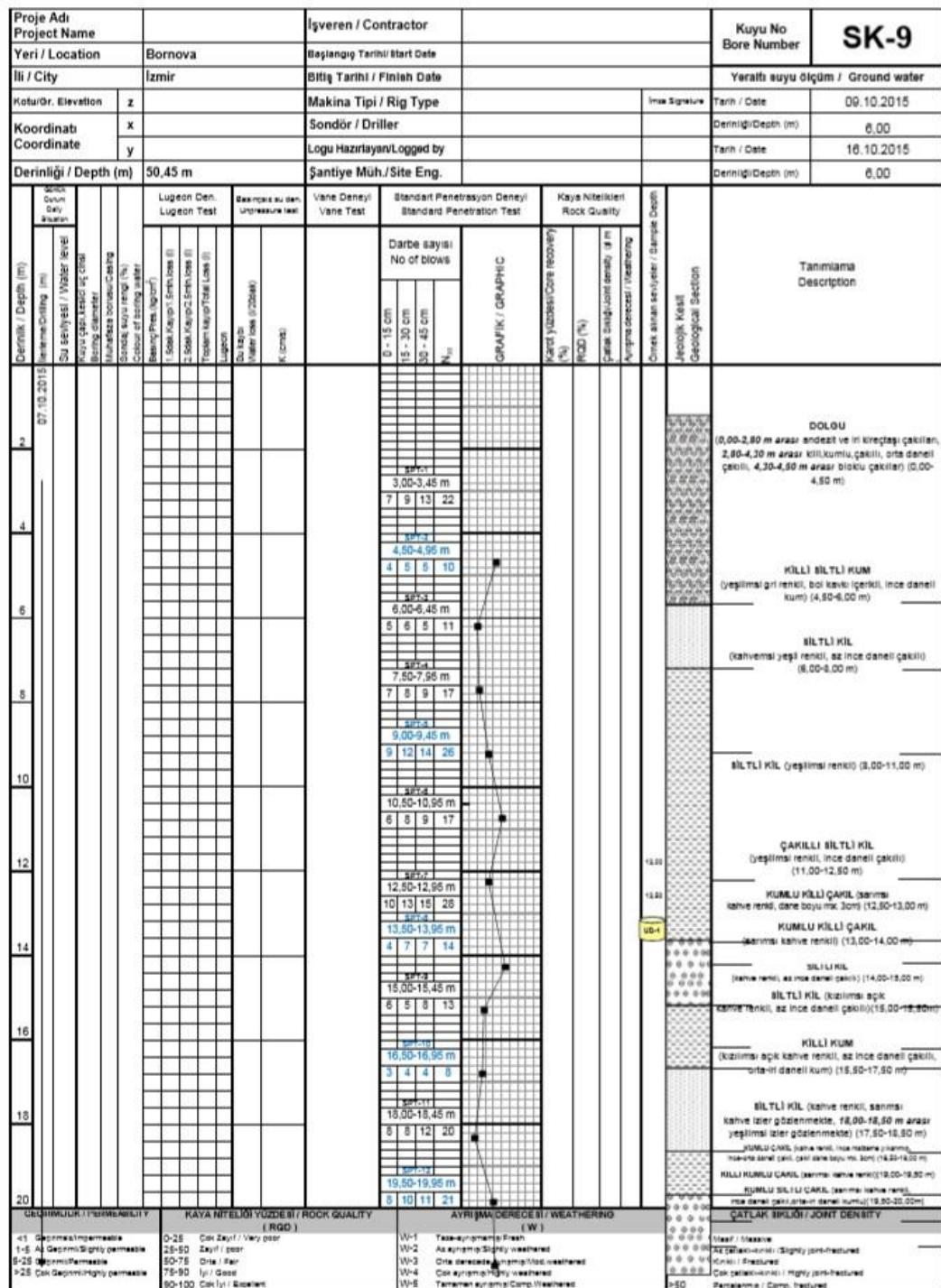


Şekil A.16 SK-7 Sondaj kuyusu



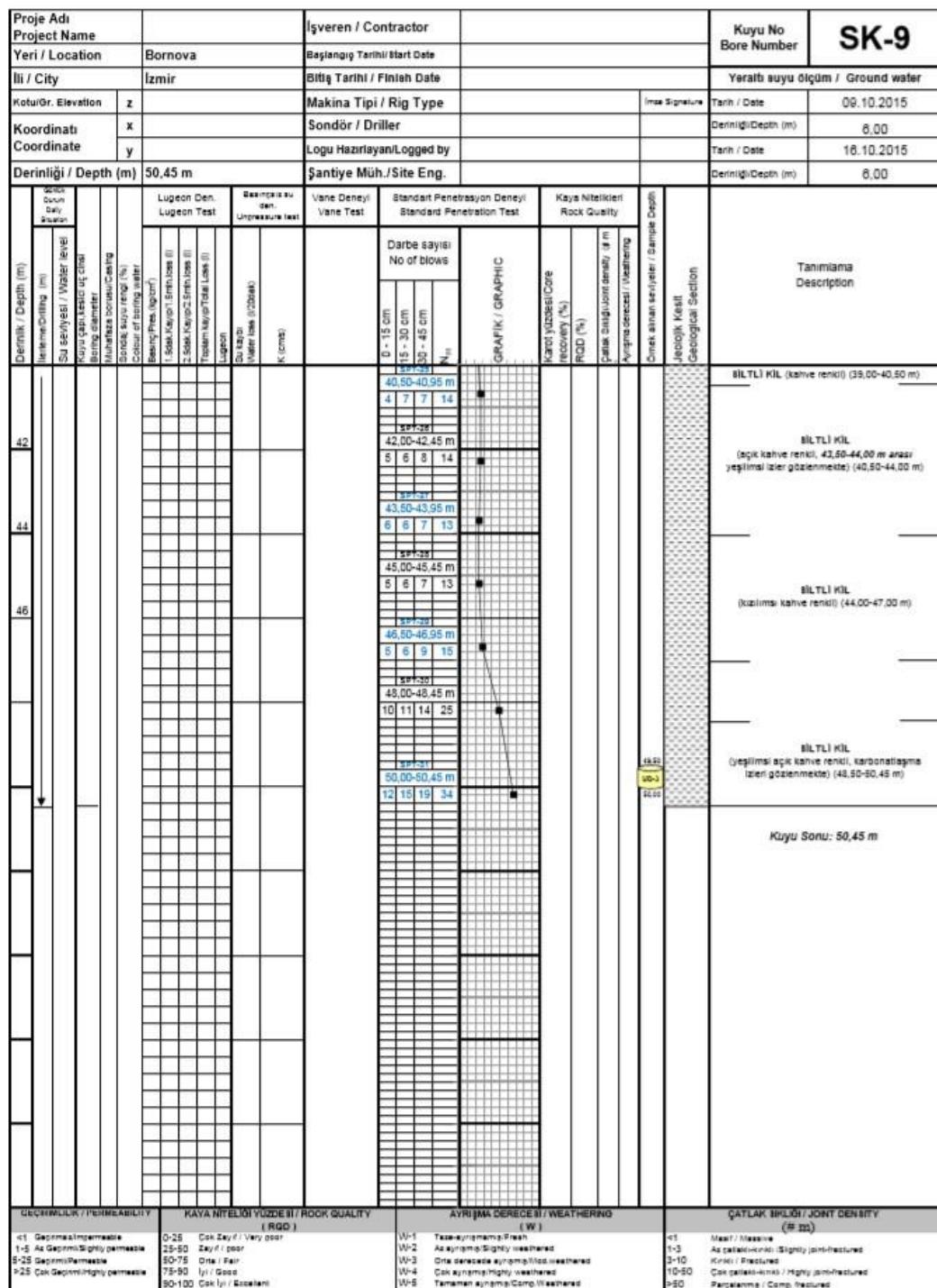


Şekil A.18 SK-8 Sondaj kuyusu

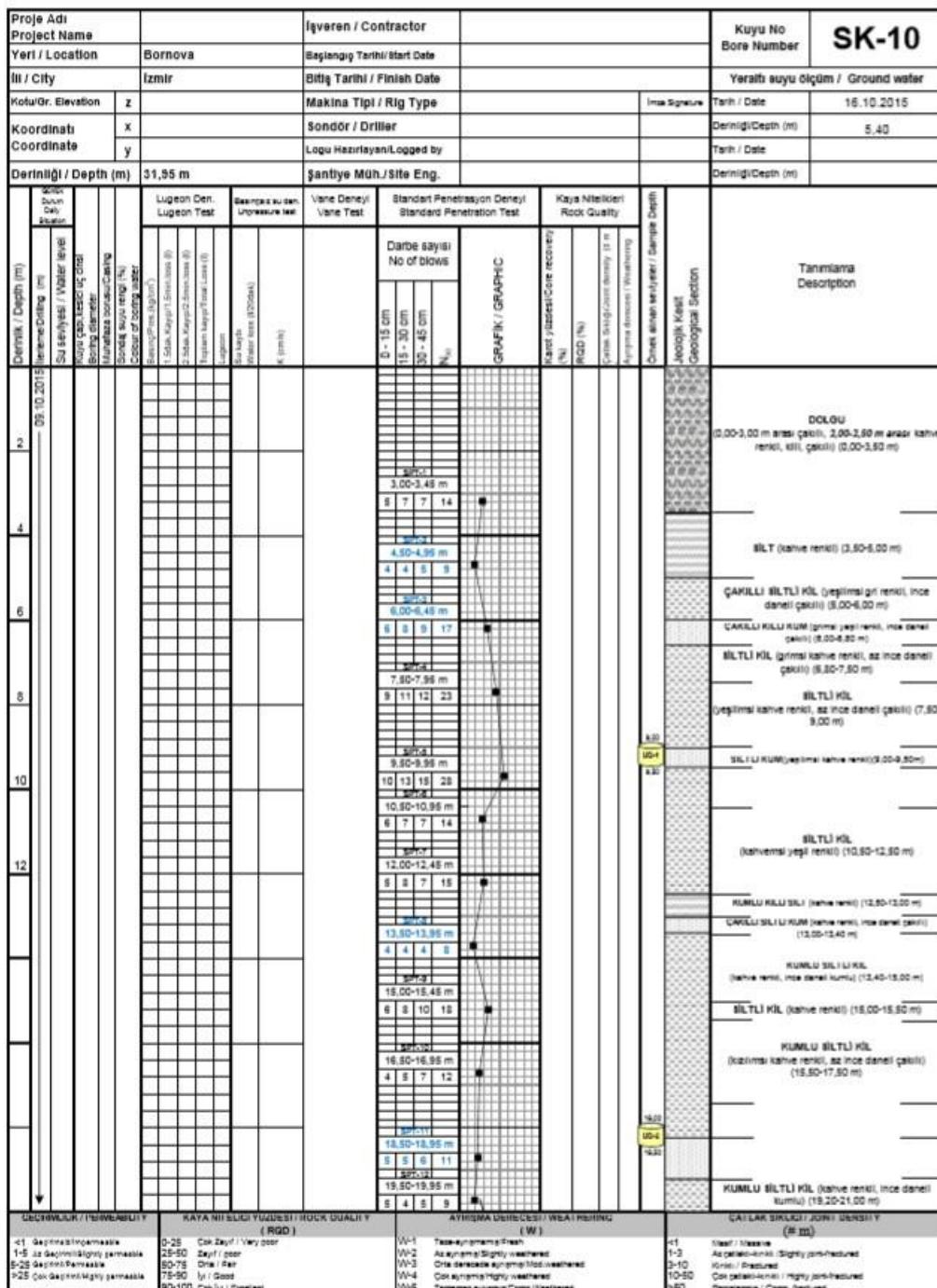


Şekil A.19 SK-9 Sondaj kuyusu

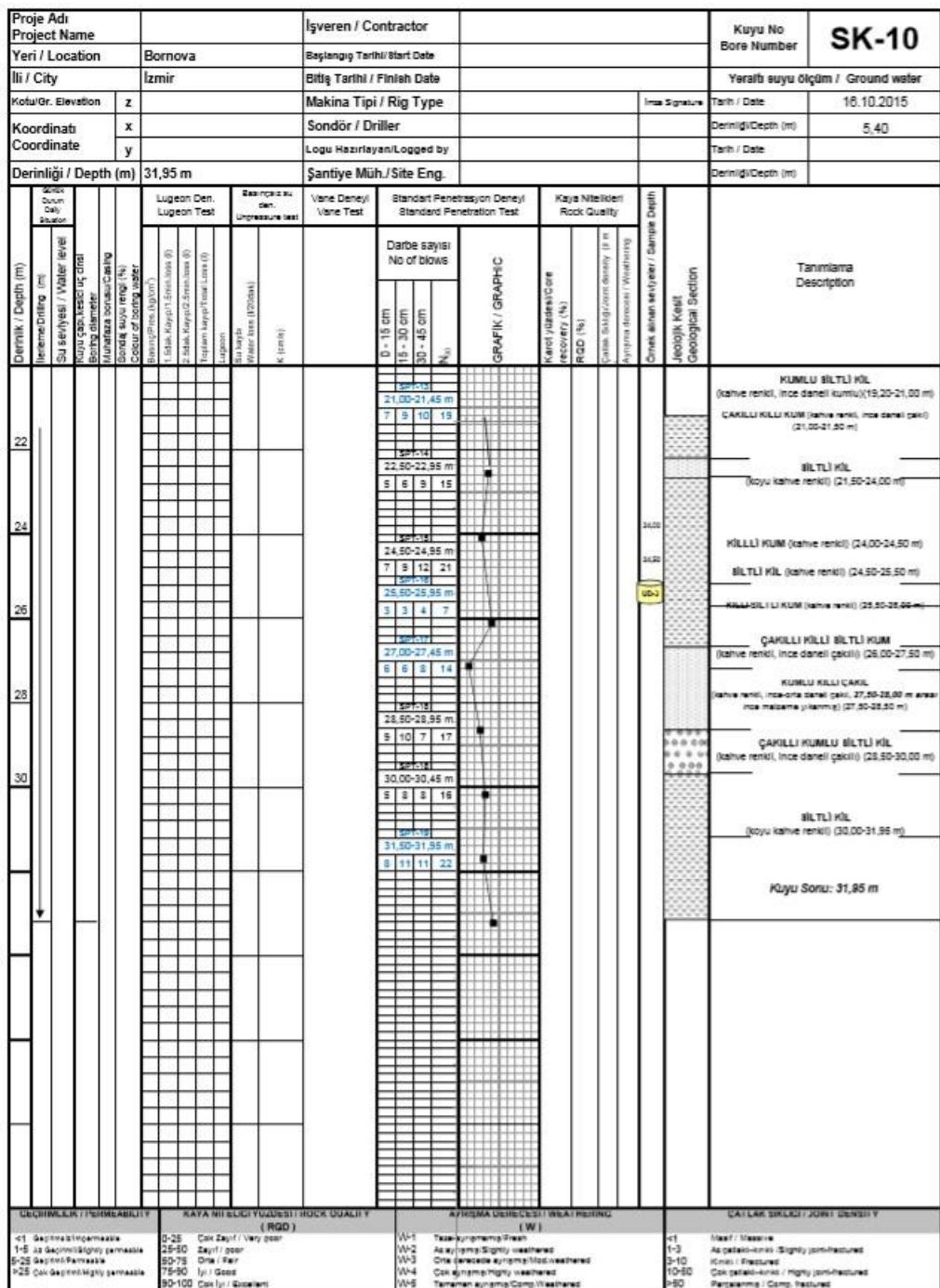
Şekil A.20 SK-9 Sondaj kuyusu

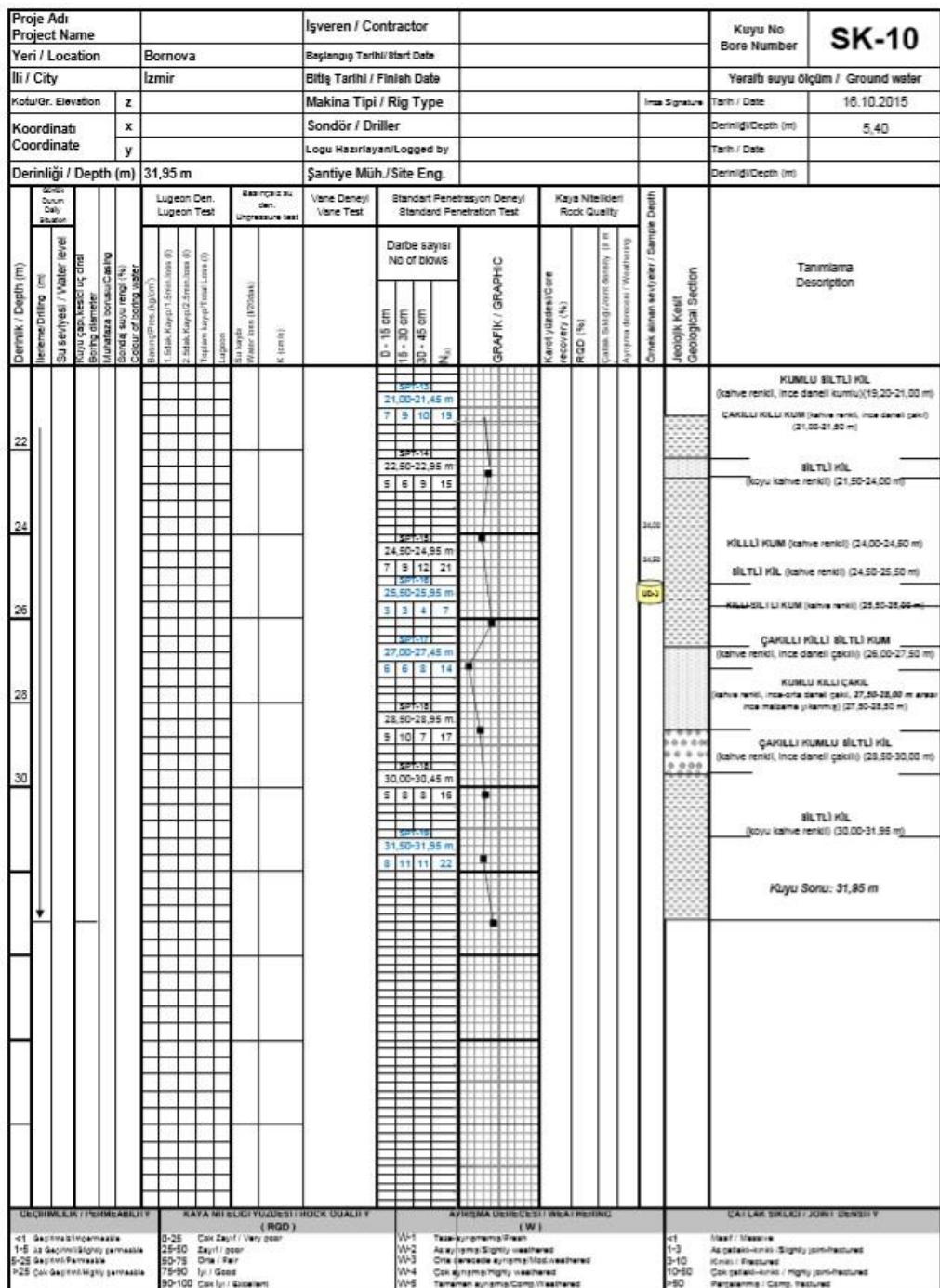


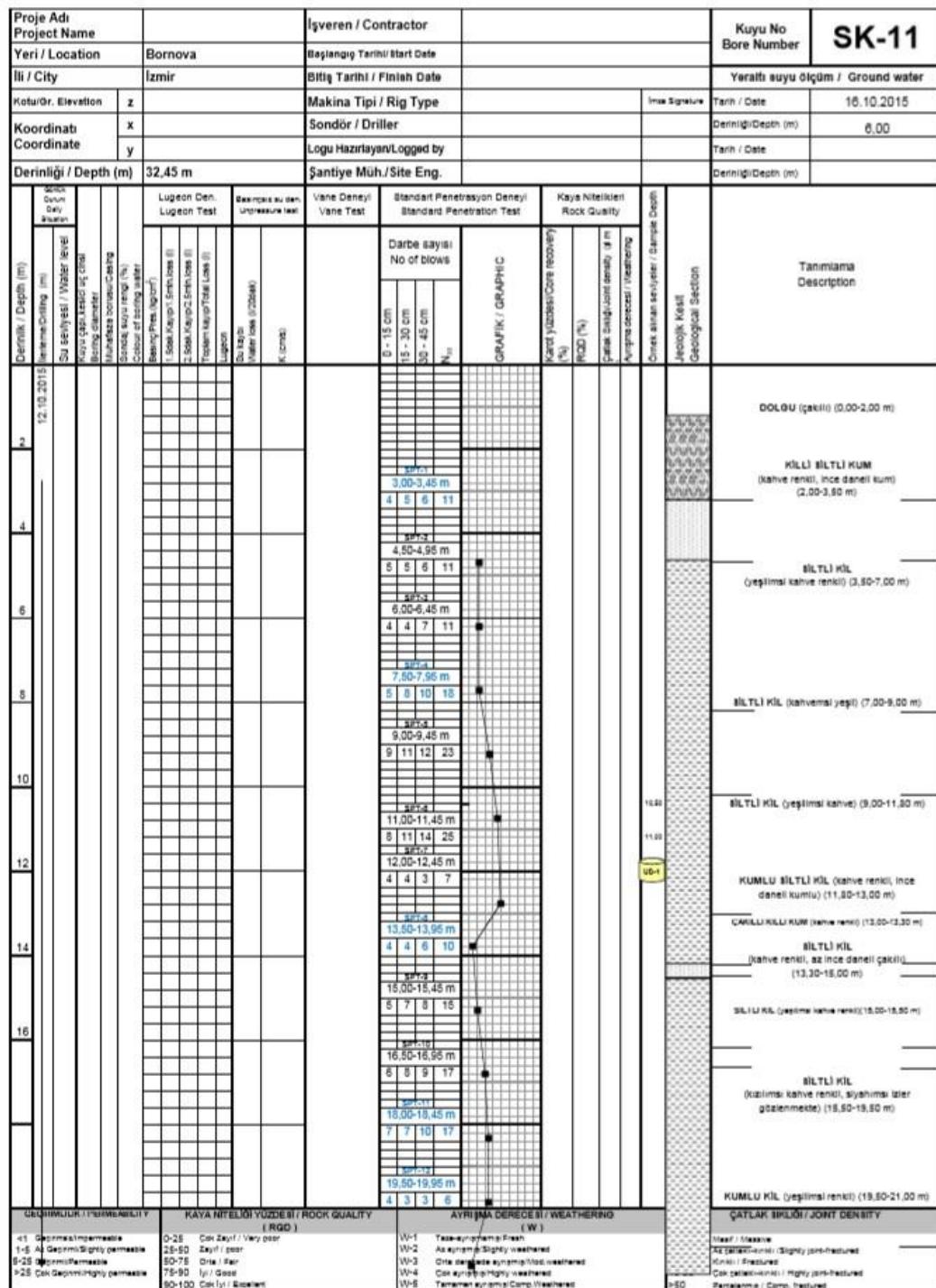
Şekil A.21 SK-9 Sondaj kuyusu



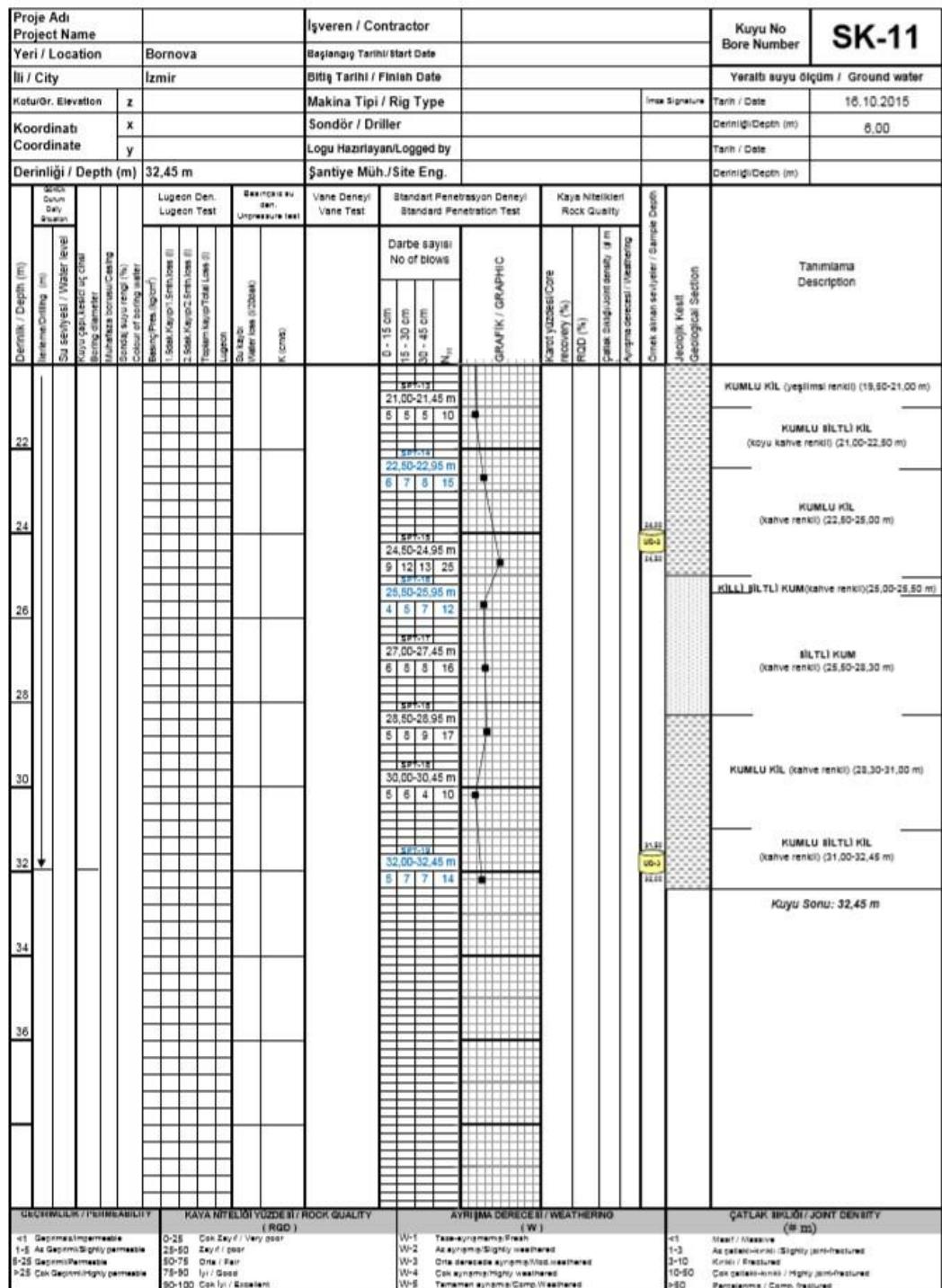
Şekil A.22 SK-10 Sondaj kuyusu



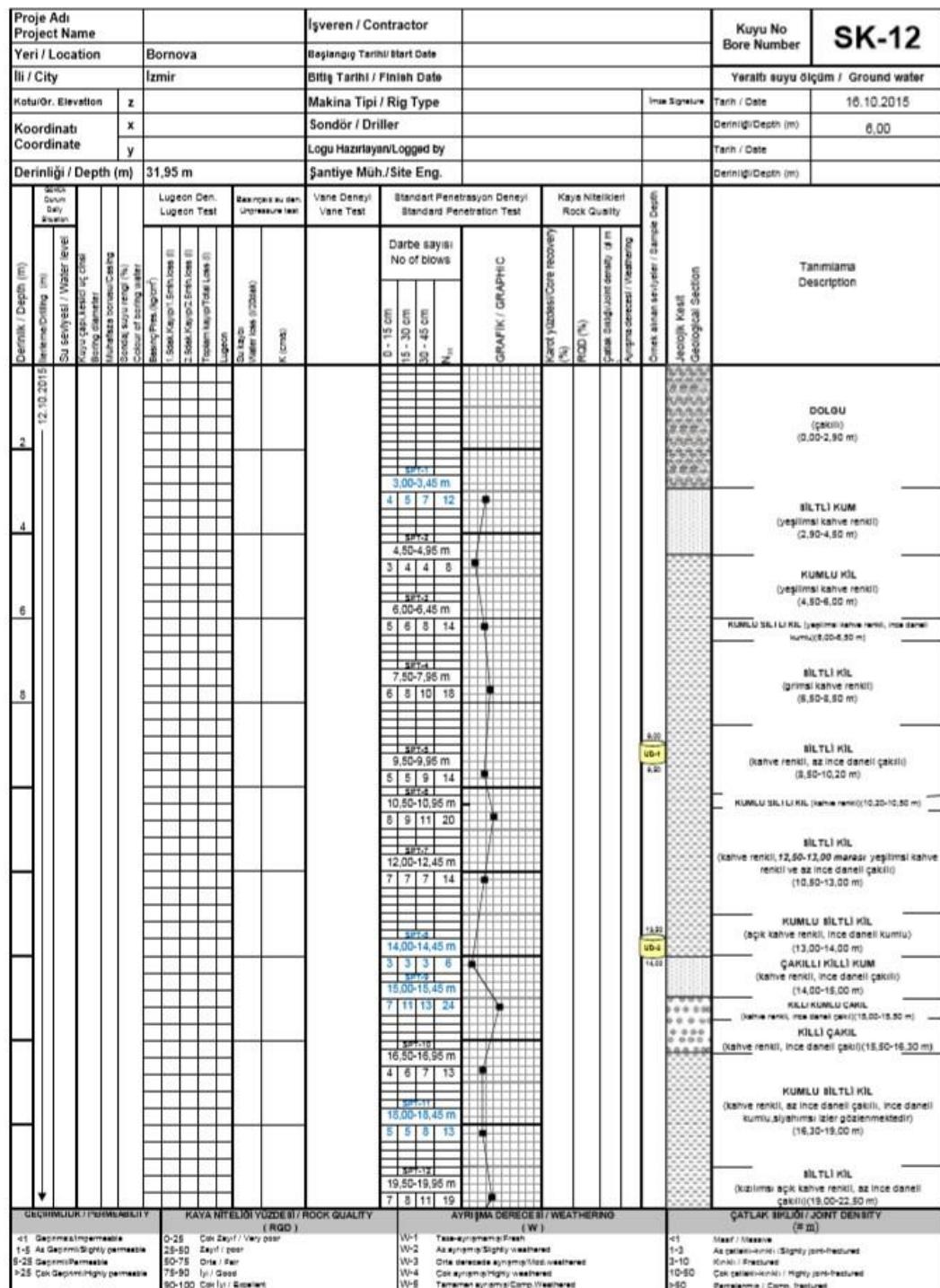




Şekil A.25 SK-11 Sondaj kuyusu



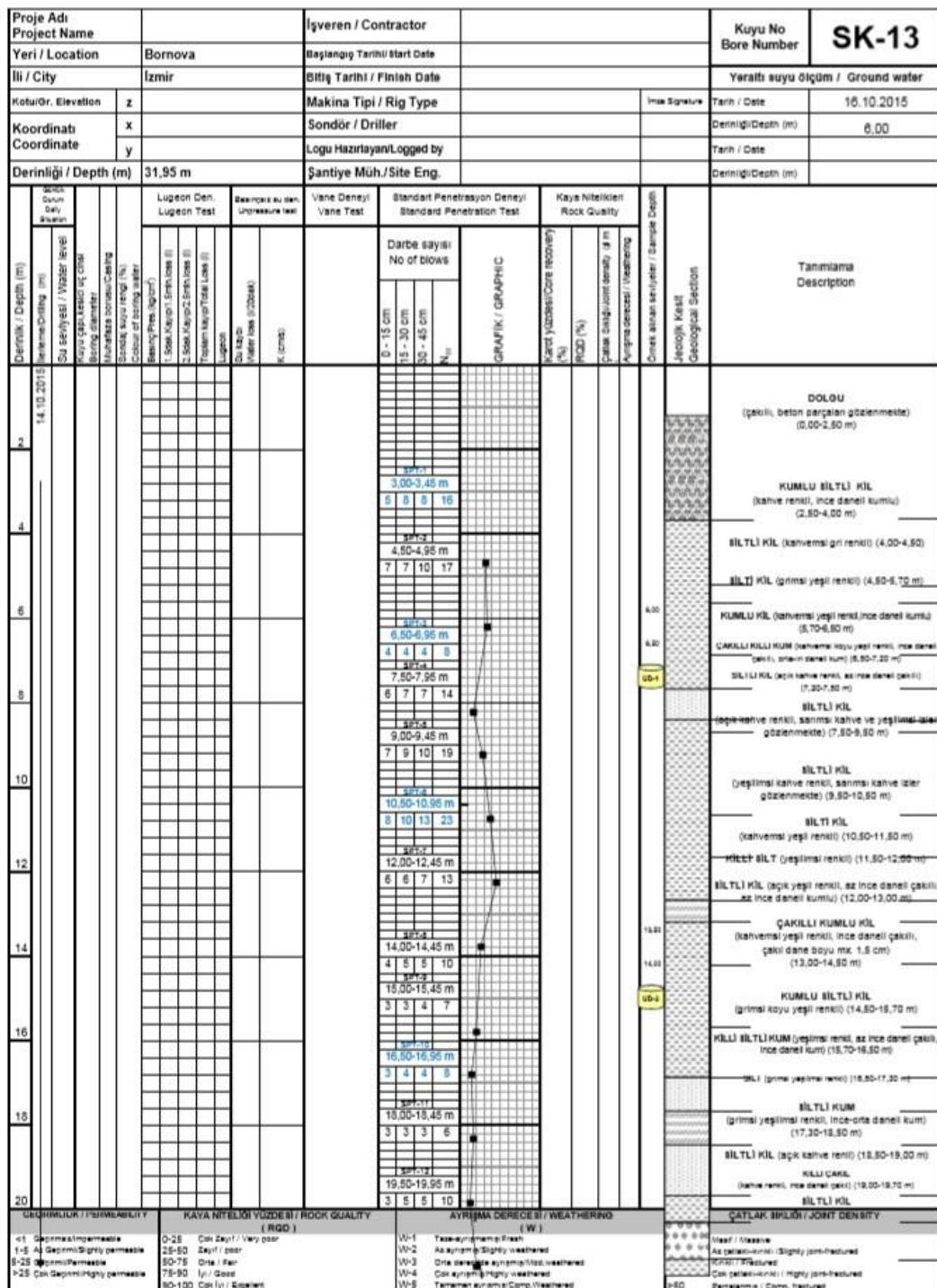
Şekil A.26 SK-11 Sondaj kuyusu



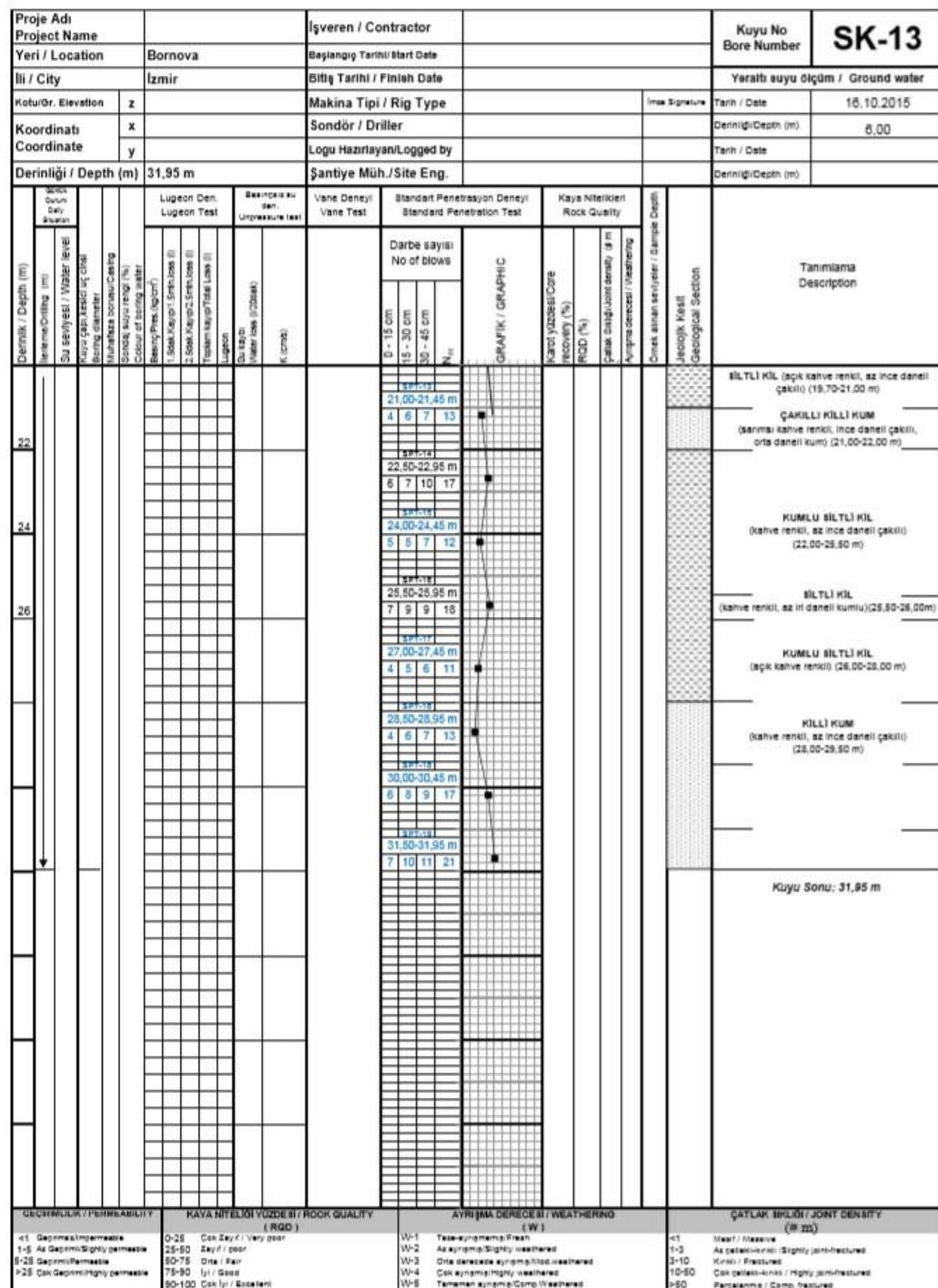
Şekil A.27 SK-12 Sondaj kuyusu

Proje Adı Project Name			İşveren / Contractor						Kuyu No Bore Number	SK-12
Yeri / Location			Bornova			Başlangıç Tarihi/ Start Date				
İli / City			İzmir			Bitiş Tarihi / Finish Date				
Kotu/Dr. Elevation	z		Makina Tipi / Rig Type			İmza Signature			Tarih / Date	16.10.2015
Koordinatı Coordinate	x		Sondör / Driller			Derinliği/Depth (m)			Derinliği/Depth (m)	8.00
	y		Logu Hazırlayan/Logged by						Tarih / Date	
Derinliği / Depth (m)			Şantiye Müh./Site Eng.						Derinliği/Depth (m)	
Derinlik / Depth (m)	Su seviyesi / Water level (m)		Lugeon Den. Lugeon Test	Başparca su yanı/ Unpenetrated test	Vane Deney/ Vane Test	Standart Penetrasyon Deney/ Standard Penetration Test	Kaya Nitelikleri Rock Quality		Tanımlama Description	
						Darbe sayısı No of blows				
22						0-15 cm				
						15-30 cm				
						30-45 cm				
						N ₆₀				
24									SILTLİ KIL (İzotermi açık kahve renkli, az ince danelli çakılı) (19.00-22.50 m)	
									ÇAKIL KUMLU KIL (kahve kahve renkli) (23.50-25.00 m)	
26									SILTLİ KIL (kahve kahve renkli) (23.00-24.50 m)	
									ÇAKIL KILLİ KUM (yatılmış kahve renkli, ince danelli çakılı) (24.50-26.00 m)	
									KUMLU KUMLU ÇAKIL (kahve kahve, ince ince kürekli) (26.00-27.50 m)	
									ÇAKIL KILLİ KUM (kahve renkli, ince danelli çakılı) (28.50-29.50 m)	
									SILT KIL (kahve renkli, az ince danelli çakılı) (28.50-29.00 m)	
									ÇAKIL KILLİ KIL (kahve renkli, ince danelli çakılı, orta-ri danelli kum) (29.00-31.50 m)	
									Kuyu Sonu: 31.85 m	
GÜCÜNLÜK / PENETRABILITY			KAYA NİTELİĞİ VÜZDEHİ / ROCK QUALITY (RQD)			AVRULMA DERECESİ / WEATHERING (W)			ÇATLAK İKLİMİ / JOINT DENSITY	
0-5 Geçmemiş/never 1-5 Az Geçmiş/Slightly permeable 6-25 Geçmiş/Permeable 26-100 Çok Geçmiş/Highly permeable	0-25 Çok Zayıf / Very poor 26-50 Zayıf / poor 50-75 Ortalı / Fair 75-90 İyi / Good 90-100 Çok İyi / Excellent	0-100% Çök Zayıf / Very poor 101-200 Zayıf / poor 201-300 Ortalı / Fair 301-400 İyi / Good 401-500 Çok İyi / Excellent	W-1 Tamamen sağlam/kayalı W-2 Az sağlam/Slightly weathered W-3 Ortalı ortaya çıkan/mildly weathered W-4 Çok sağlam/highly weathered W-5 Tamamen yumuşak/Completely weathered	0-50 Mezit / Mezzanine 1-3 Az patellovarin / Slightly jointed 3-10 Kurul / Jointed 10-50 Çok patello-kurul / Highly jointed 50-100 Paralelizm / Completely fractured						

Şekil A.28 SK-12 Sondaj kuyusu

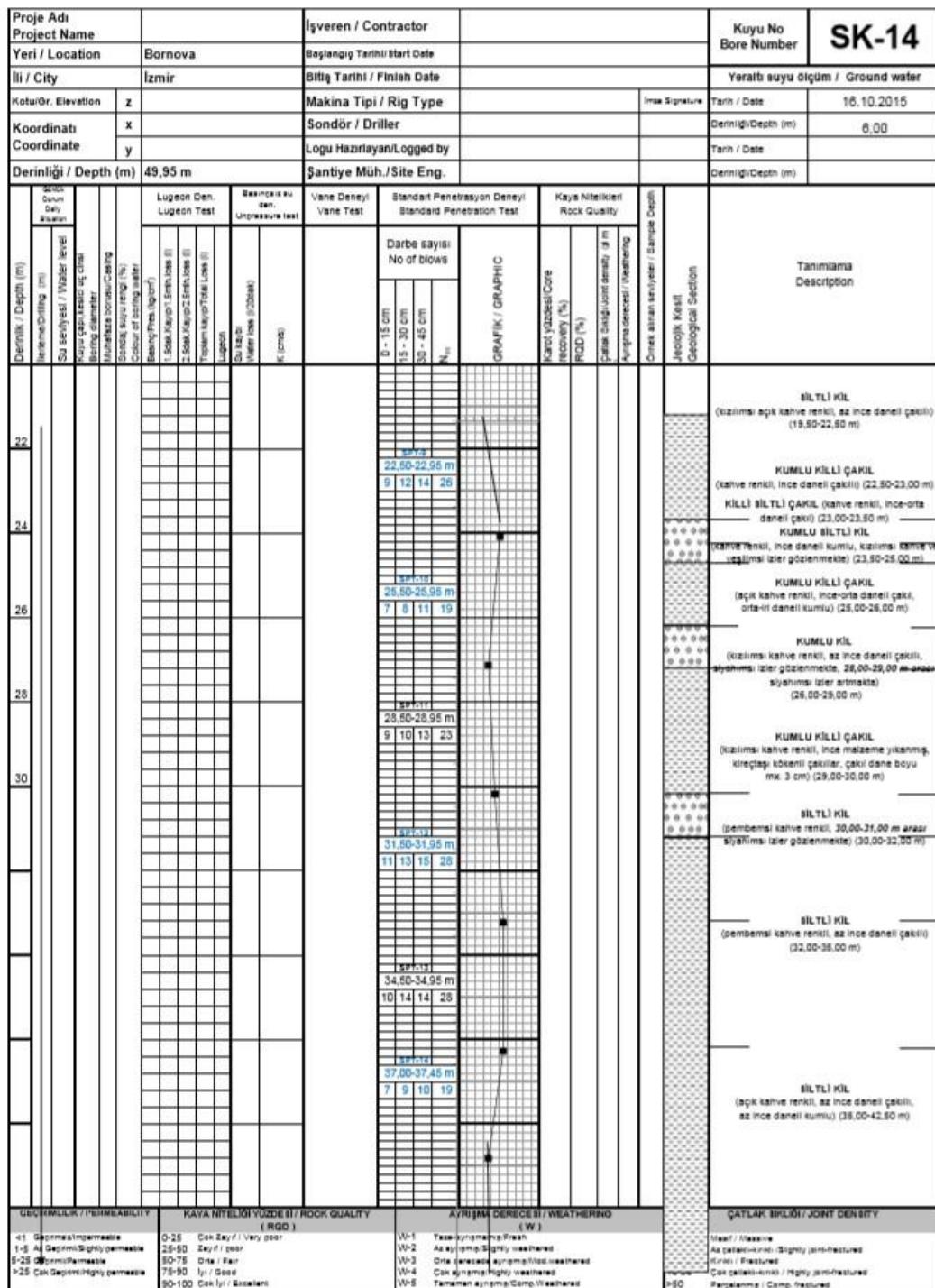


Şekil A.29 SK-13 Sondaj kuyusu



Şekil A.30 SK-13 Sondaj kuyusu

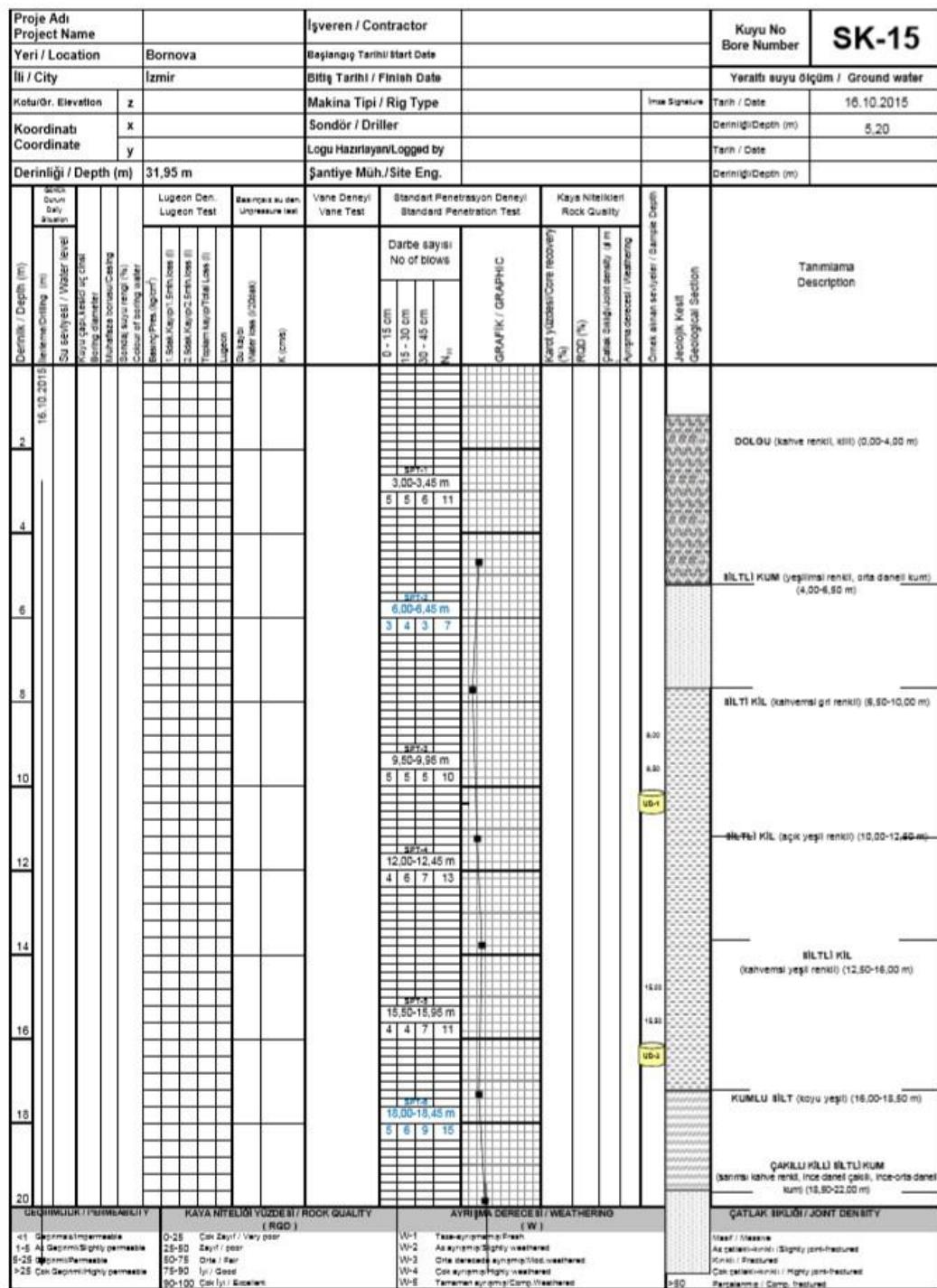
Şekil A.31 SK-14 Sondaj kuyusu



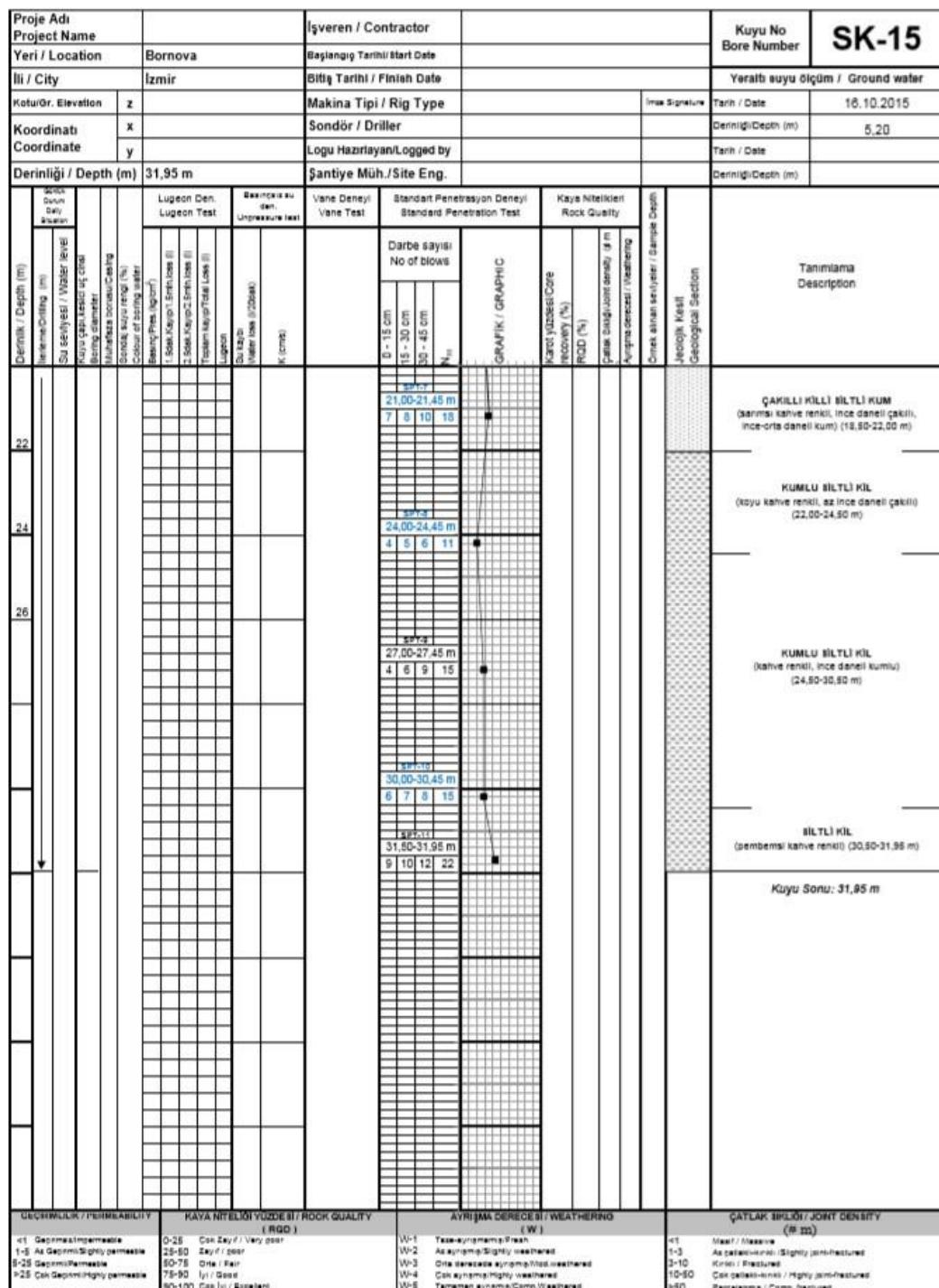
Şekil A.32 SK-14 Sondaj kuyusu

Proje Adı / Project Name		İşveren / Contractor		Kuyu No / Bore Number	SK-14
Yeri / Location	Bornova	Başlangıç Tarihi / Start Date		Yeraltı suyu ölçümü / Ground water	
İli / City	Izmir	Bittiş Tarihi / Finish Date		Tarih / Date	
KotuGr. / Elevation	Z	Makina Tipi / Rig Type		Derinliği / Depth (m)	16.10.2015
Koordinat / Coordinate	X	Sondör / Driller		Derinliği / Depth (m)	6,00
	y	Logu Hazırlayan / Logged by		Tarih / Date	
Derinliği / Depth (m)	49,95 m	Şantiye Müh./Site Eng.		Derinliği / Depth (m)	
Diamond Diameter Daily Drill Bit Inches		Lugeon Den. Lugeon Test	Vane Deneyi Vane Test	Kaya Nitelikleri Rock Quality	Tanımlama Description
İntreme Dörtlüğü (m)		Basınçlı su den. Unpressure test	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test		
Su Seviyesi / Water level			Darbe sayısı No of blows		
Nüv. Çaplı Kerecic uç Cihazı Boring diameter		Başılıkta su renkli (%) Colour of Boring water			
Muhafazası bulutucusu/cezge Sonic / su renkli (%)		Basing Pres. (kg/cm²)			
Su / Nefes / Vaz (m)		1. Sekiz (Kapalı / Sıfırloss) (l)	0 - 15 cm		
		2. Sekiz (Kapalı / Dörtloss) (l)	15 - 30 cm		
		Toplam Kaya / İthal (lise) (l)	30 - 45 cm		
		Lageton	N_{60}		
		Su / Nefes / Vaz (m)	K. (cm/s)		
Diamond / Depth (m)	42				KUMLU SİLTLİ KIL (şık kahve renkli, az ince danieli çakılı, az ince danieli kumu) (35,00-42,50 m)
	44				
	46				SİLTLİ KIL (kahve renkli, az ince danieli çakılı) (42,50-46,00 m)
	48				
	50				KILLİ KUM (şık kahve renkli, ince danieli kum) (46,00-48,50 m)
					Kuyu Sonu: 49,95 m
Geçirgililik / Permeability		KAYA NİTELİĞİ / YÜZDE (%) / ROCK QUALITY	AYRILMA DEREĞİSI / WEATHERING	CATLAK / SİLİL / JOINT DENSITY	
<1 Geçirmez / impermeable		(RGD)	(W.)	(W. III)	
1-5 Az Geçirmez / slightly permeable	0-25 Çok Zayıf / Very poor	W-1 Taze / young / fresh	<1 Mezit / Massive		
B-25 Geçirmez / permeable	25-50 Zayıf / poor	W-2 Az ayılmış / Slightly weathered	1-3 As paltalı / horiz. / Slightly joint-fractured		
>25 Çok Geçirmez / highly permeable	50-75 Orta / Fair	W-3 Ortasında ayılmış / Not weathered	3-10 Kirinc / Fractured		
	75-90 İyi / Good	W-4 Çok ayılmış / Highly weathered	10-30 Çoc paltalı-kırık / Highly joint-fractured		
	80-100 Çok İyi / Excellent	W-5 Tamamen ayılmış / Comp. Weathered	>30 Parçalama / Camo. fractured		

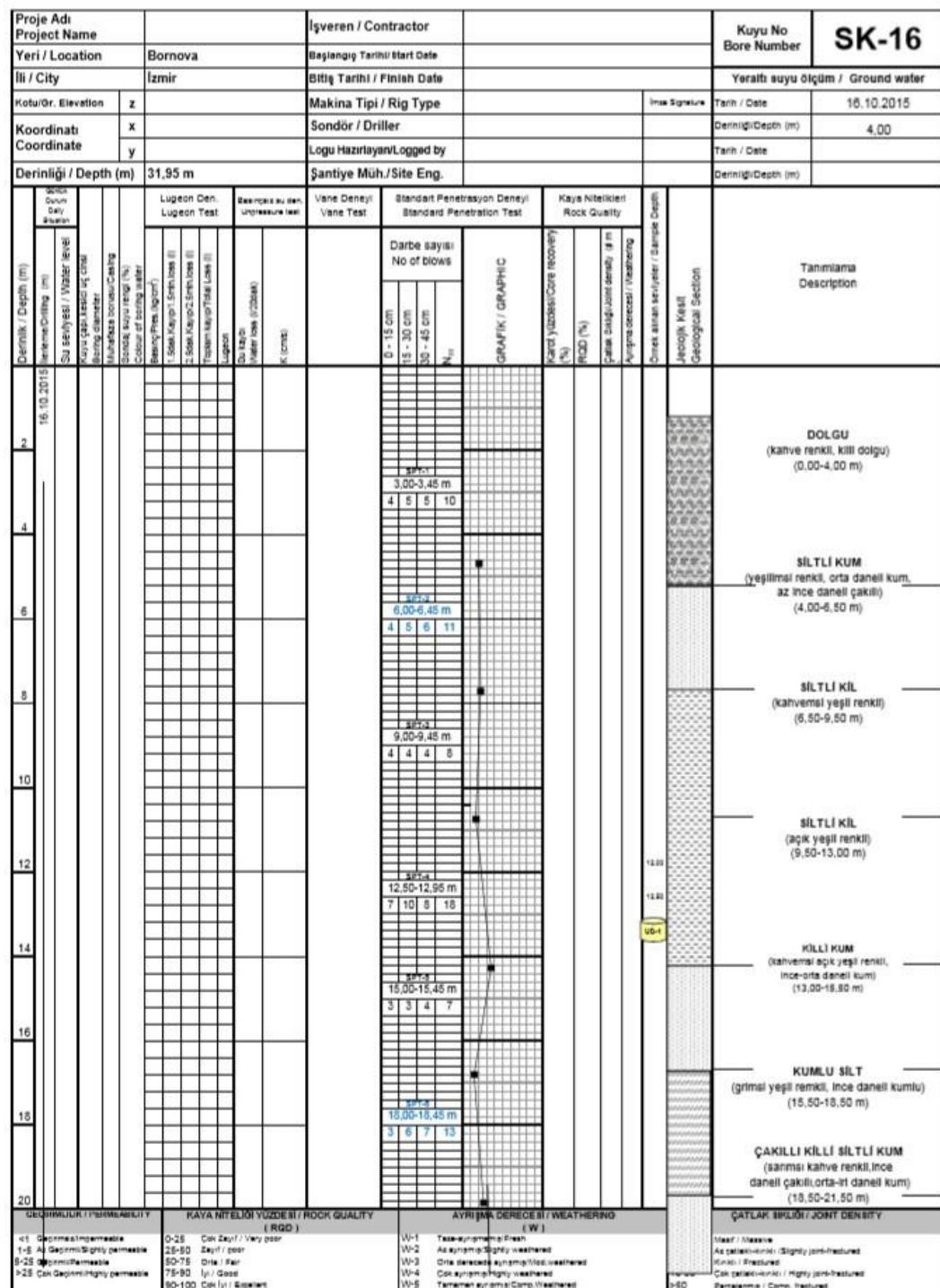
Şekil A.33 SK-14 Sondaj kuyusu

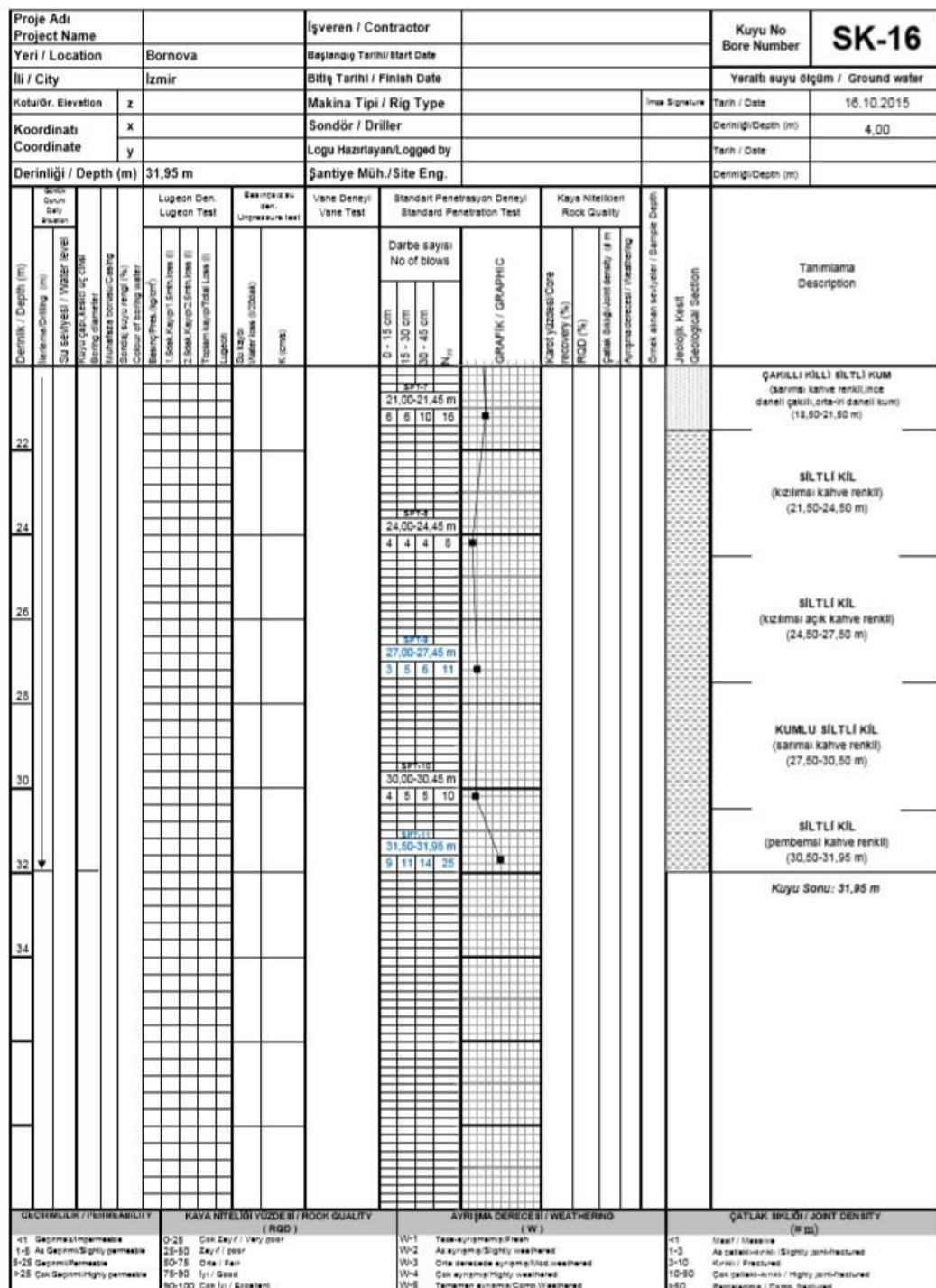


Şekil A.34 SK-15 Sondaj kuyusu



Şekil A.35 SK-15 Sondaj kuyusu





KAYNAKLAR DİZİNİ

Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), 1900-2020 Deprem kataloğu ($M \geq 4.0$) <https://deprem.afad.gov.tr/depremkatalogu> (Erişim Tarihi: 28/03/2020).

Ansal, A., 1999, Depremlerde Yerel Zemin Davranışları, TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi, Sayı: 384, s.64-68.

Athanasopoulos, G.A., 1995, Empirical correlations V_{so} - N_{SPT} for soils of Greece: a comparative study of reliability, Proceedings of the 7th International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering Computation Mechanics Publications, Southampton, Boston, 19-25 pp.

Bozkurt, B.H., 2010, A Geotechnical Earthquake Engineering Investigation For Soils of Southern Coast of Izmir Bay, Doctoral dissertation, DEU Graduate School of Natural and Applied Sciences., 119 pages.
<http://hdl.handle.net/20.500.12397/8053>

Ceren, K. ve **KARAKAN, E.** 2020, Zemin Analizleriyle Dinamik Davranış Özelliklerinin Belirlenmesine Yönelik Pilot Bir Çalışma: Kahramanmaraş İli Üngüt Mahallesi Örneği, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 6(1), 1-11 s.

Demirtaş, R., 1999, Ağustos 1999 İzmit Körfezi depremi; hasarın ağır olmasında ne etkili oldu?, Jeoloji Mühendisleri Odası Haber Bülteni, Ekim Sayısı, 27-31.

https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/9dfa2df42d9e3d4_ek.pdf?dergi=HABER%20B%DCLTEN%DD

DEEPSOIL, 2016, Hashash, Y.M.A., Musgrove, M.I., Harmon, J.A., Groholski, D.R., Phillips, C.A., and Park, D. "DEEPSOIL 7, User Manual". Urbana, IL, Board of Trustees of University of Illinois at Urbana-Champaign.

Edincliiler, A. and **Çalıkoglu, M.**, 2018, Nonlinear site response analysis for the Izmir region: A case study, Eurasian Journal of Civil Engineering and Architecture, 2(2): 51-58 pp.

Ege Temel Sondajcılık Ltd. Şti, 2015 İzmir ili Bornova İlçesinde bir parsele ait veri Raporu.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Emre, Ö. Özalp, S. Doğan A. Özaksoy V. Yıldırım C. ve Göktaş F.**, 2005, İzmir yakın çevresinin diri fayları ve deprem potansiyelleri, MTA Rapor No: 10754, 86 s.
- Erdik, M. ve Yüzügüllü, Ö.**, 1992, 6 Kasım 1992 İzmir Depremi, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Haber Bülteni, Sayı 44, 5-8 ve 26-28 s.
- Erdoğan, B. and Güngör, T.**, 1992, Menderes Masifi'nin kuzey kanadının stratigrafisi ve tektonik evrimi, Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni 4(1), 9–34 s.
- Eskişar, T.**, 2008, İzmir Körfezi Kuzey Kıyılarının Zemin Özelliklerinin ve Geoteknik Sorunlarının İncelenmesi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ege Üniversitesi, İzmir.
- Eskisar, T. Karakan, E. and Altun, S.**, 2014 Evaluation of cyclic stress strain and liquefaction behavior of Izmir sand, Arabian Journal Science Engineering 39(11), 7513–7524 pp.
- Halıcıoglu, K. and Ozener, H.**, 2008, Geodetic network design and optimization on the active Tuzla fault (Izmir, Turkey) for disaster management, Sensors 8(8), 4742-4757 pp.
- Hasancebi, N. and Ulusay, R.**, 2007, Empirical correlations between shear wave velocity and penetration resistance for ground shaking assessments, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 66(2), 203–213 pp.
- Iyisan, R.**, 1996, Correlations between shear wave velocity and in situ penetration test results, Teknik Dergi-tmmob İnşaat Mühendisleri Odası, 7: 371-374 pp.
- Iwasaki, T., Arakawa, T., and Tokida, K.I.**, 1984, Simplified procedures for assessing soil liquefaction during earthquakes, International Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 3(1), 49–58 pp.
- Kale, P.**, 2008, Yerel Arazi Etkilerinin Bir ve İki Boyutlu Analizlerle İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 161sayfa.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kiku, H. Yoshida, N. Yasuda, S. Irisawa, T. Nakazawa, H. Shimizu, Y. Ansal, A. Erkan, A.** 2001, In situ penetration tests and soil profiling in Adapazarı, Turkey, Proceedings of the ICSMGE/TC4 satellite conference on lessons learned from recent strong earthquakes, 259–265 pp.
- Kirar, B. Maheshwari, B.K. and Muley, P.** 2016, Correlation between shear wave velocity (V_s) and SPT resistance (N) for Roorkee region, International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering, 2(1), 9 pp.
- Koral, H., Laçin, D., Şakir, Ş..** 1997. 1 Ekim 1995 Dinar depreminin yüzey çatlakları. Jeoloji Mühendisliği, 50, 50-58 s.
- Kramer, S.L..** 1996, Geotechnical Earthquake Engineering, Pearson Education India
- Mert, M..** 2018, Zeminlerin Sıvılaşma Potansiyelinin Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Analizlerle Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 140 sayfa.
- Nar, D..** 2016, Kocaeli Gölcük İlçesi Çöküntü Bölgesi Yerel Zemin Özelliklerinin Sismolojik ve Bir Boyutlu Zemin Davranış Analizleri ile Karşılaştırmalı Olarak Araştırılması, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 176 sayfa.
- Ohba, S. and Toriumi, I.** 1970, Dynamic response characteristics of Osaka Plain, In: Proceedings of the annual meeting, AIJ (in Japanese).
- Ohta, Y. and Goto, N..** 1976, Estimation of s-wave velocity in terms of characteristic indices of soil, Butsuri-Tanko, Vol. 29, No. 4, pp. 34-41.
- Ohta, Y. and Goto, N..** 1978, Empirical shear wave velocity equations in terms of characteristics soil indexes. Earthquake Engineering and Structural Dynamics 6(2), 167–187 pp.
- Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER) Ground Motion Database,** <https://ngawest2.berkeley.edu/> (Erişim Tarihi: 21/12/2019).
- RADIUS Projesi,** 1999, İzmir Deprem Senaryosu ve Deprem Master Planı, <http://www.izmir.bel.tr/izmirdeprem/> (Erişim Tarihi: 23/02/2020).

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

RockWorks, 2020, Golden CO USA: RockWare, Inc.

Seed, H. B. and **Idriss, I. M.**, 1970, Soil Moduli and Damping Factors for Dynamic Response Analysis, Report No. UCB/EERC-70/10, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, December, 48 p.

Seed, H.B., and **Idriss, I.M.**, 1971, Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential, Journal of Soil Mechanics and Foundations Div, Vol. 97, Issue 9, Pg. 1249-1273.

Seed, H.B. and **Idriss, I.M.**, 1981, Evaluation of liquefaction potential sand deposits based on observation of performance in previous earthquakes, ASCE National Convention, Missouri, 481–544 pp.

Sengör, A.M.C. Görür, N. and **Şaroğlu, F.**, 1985, Strike slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study, in strike-slip faulting and basin formation, Soc. Ecan. Paleont. Min. Sec., 37, 227-264 pp.

Surfer, 2020, Contouring, Gridding, & 3D Surface Mapping, Surfer® from Golden Software, LLC (www.goldensoftware.com)

Thaker, T.P. and **Rao, K.S.**, 2011 Development of statistical correlations between shear wave velocity and penetration resistance using MASW technique, Pan-Am CGS. Geotechnical Conference.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY), Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, 2018.

Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması,
<https://tdth.afad.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 01/06/2020)

Uma Maheswari, R. Boominathan, A. and **Dodagoudar, G. R.**, 2010, Use of surface waves in statistical correlations of shear wave velocity and penetration resistance of Chennai soils, Geotechnical and Geological Engineering 28(2), 119–137 pp.

Vucetic, M. and **Dobry, R.**, 1991, Effect of Soil Plasticity on Cyclic Response, Journal of the Geotechnical Engineering 117.1, 89-107 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Youd, T. L., Idriss, I. M., Andrus, R. D., Arango, I., Castro, G., Christian, J. T., Dobry, R., Finn, W. D. L., Harder, L. F., Hynes, M. E., Ishihara, K., Koester, J. P., Liao, S. S. C., Marcuson, W. F., Martin, G. R., Mitchell, J. K., Moriwaki, Y., Power, M. S., Robertson, P. K., Seed, R. B., Stokoe, K. H., 2001, Liquefaction resistance of soils: Summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering., 127(4), 297-313 pp.