

**ADANA ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİNDEKİ KALIŞLARIN
JEOMEKANİK ÖZELLİKLERİNİN VE İÇ YAPI ÇÖKME
MEKANİZMASININ İNCELENMESİ**

**INVESTIGATION OF GEOMECHANICAL PROPERTIES
AND INTERNAL STRUCTURE COLLAPSE MECHANISM
OF THE CALICHES IN ADANA INDUSTRIAL PARK**

Kıvanç Zorlu

131106

Hacettepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetmeliğinin
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü
DOKTORA TEZİ
olarak hazırlanmıştır.

Ekim, 2003

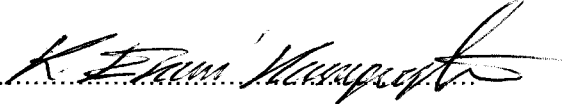
Ankara

TC YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

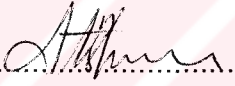
Bu çalışma Jürimiz tarafından JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'nda
DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan : 
Prof. Dr. Vedat DOYURAN

Üye (Danışman) : 
Prof. Dr. K. Erçin KASAPOĞLU

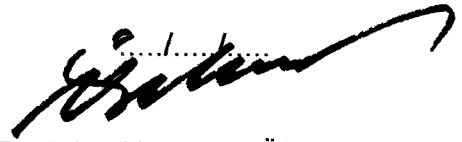
Üye : 
Prof. Dr. Reşat ULUSAY

Üye : 
Doç. Dr. Candan GÖKÇEOĞLU

Üye : 
Yrd. Doç. Dr. Sedat TÜRKMEN

ONAY

Bu tez / / tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca belirtilen yukarıdaki jüri
üyeleri tarafından kabul edilmiştir.


Prof. Dr. Ahmet R. ÖZDURAL

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ


FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ
DOKÜMANLARI VE KİTAPLARI



SEVGİCİ AİCEM
ve
CANIM KIZIM DENİZ'e

ADANA ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİNDEKİ KALIŞLERİN JEOMEKANİK ÖZELLİKLERİNİN VE İÇ YAPI ÇÖKME MEKANİZMASININ İNCELENMESİ

Kıvanç Zorlu

ÖZ

27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan Depremi sonrasında, Adana Organize Sanayi Bölgesi ve yakın çevresinde geniş bir yayılıma sahip olan kalışlar üzerinde kurulmuş yapıların ağır hasar görmesi, kalışların mühendislik ve dinamik özelliklerine dikkat çekmiştir. Bu çalışmanın temel amacı, Adana Organize Sanayi Bölgesi'nde yüzeyleyen kalışların jeomekanik özelliklerinin, iç yapı çökme mekanizmasının ve bazı dinamik özelliklerinin belirlenmesini kapsamaktadır. Kalış profilinin en iyi izlenebildiği yer olması nedeniyle Adana Organize Sanayi Bölgesi çalışma alanı olarak seçilmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında saha gözlemleri ve ölçümlerinin yanı sıra, bazı arazi deneyleri yapılmıştır. Bu aşamada, inceleme alanında yüzeyleyen kalışların yayılımı ortaya konmuş, ayrıca kalışın dayanım ve deformasyon özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak, kalış profilinin çakıllı, bloklu seviyesinde, 9 adet plaka yükleme deneyi gerçekleştirilmiştir. Buna ek olarak, laboratuvar deneyleri ile malzemenin jeomekanik özellikleri belirlenmiş ve iç yapı çökme mekanizması incelenmiştir. İç yapı çökme mekanizmasının malzemede meydana getirdiği mikroyapısal değişimleri gözlemek amacıyla da SEM analizleri yapılmıştır. Daha sonra, İkinci Derecede Deprem bölgesi içinde yer alan çalışma alanının bazı dinamik özelliklerini belirlemek amacıyla, saha genelinde sınırlandırılmış bir bölgede, toplam 27 noktada mikrotremör ölçümü alınmıştır. Bunun yanı sıra, kalış profilinin derinlikle değişiminin belirlenebilmesi amacıyla, bir adet sismik kırılma ve bir adet elektrik sondaj ölçümü yapılmıştır. Çalışmanın en son aşamasında, laboratuvar deneylerinden elde edilen parametreler ile çökme potansiyelini tahmin etmede kullanılmak üzere bir kestirim modeli oluşturulmuş ve bu modelin performansı sınanarak pratik amaçlarla kullanılabilecek ölçüde yeterli hassasiyete sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, çalışma kapsamında, çökme mekanizmasının geliştiği seviyedeki oturma miktarının belirlenebilmesi için görgül ilişkiler üretilmiştir. Laboratuvar çalışmaları sonucunda, siltli, kumlu seviyenin "çok az" ve "orta derecede" çökme potansiyeline sahip olduğu, bunun da yük ve ıslanma koşullarındaki değişime bağlı olarak, temellerde "orta derecede" oturma sorunu yaratacağı belirlenmiştir. Ayrıca, mikrotremör ölçüm sonuçlarına göre, kalış profilinin yumuşak kalış ve sert kalış seviyelerinin rezonans farkının, 1998 Adana-Ceyhan Depremi sonrasında bu bölgedeki binaların ağır hasar görmesinin nedenlerinden biri olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Adana, kalış, iç yapı çökmesi, plaka yükleme deneyi, mikrotremör, SEM

Danışman: Prof. Dr. K. Erçin KASAPOĞLU, Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

INVESTIGATION OF GEOMECHANICAL PROPERTIES AND INTERNAL STRUCTURE COLLAPSE MECHANISM OF THE CALICHES IN ADANA INDUSTRIAL PARK

Kivan Zorlu

ABSTRACT

After Adana-Ceyhan earthquake of June 27, 1998, heavily damaged buildings constructed on the caliche formations at Adana Industrial Park attracted the attentions to engineering and dynamic properties of caliches in this region. Therefore, in this study it is aimed to evaluate the geomechanical properties, internal structure collapse mechanism and some dynamic properties of caliches outcrops in the Adana Industrial Park. For this purpose, beside field observations and measurements, some laboratory and in-situ tests are performed on the caliches in this area. Nine plate loading tests are carried out to determine the strength and deformation characteristics of the gravelly-blocky levels of the caliche in the area. A series of laboratory tests were carried out on the caliche samples taken from the area to determine their geomechanical properties and the mechanism of internal structural collapsing. Scanning Electron Micrography (SEM) analyses were also carried out to observe the structural changes due to internal collapsing. A total of twentyseven microtremor measurements were taken to determine some dynamic properties of the caliches in the area which is located in 2nd Degree Earthquake Hazard region in Turkey. Furthermore, geophysical survey utilizing seismic refraction and electrical methods were also made to determine the changes in caliche profile with depth. Finally, a model was developed to predict internal structure collapsing potential of the caliches in the area using the parameters obtained from the laboratory tests. Performance analyses of the proposed model showed that it can be used to predict the internal structure collapsing potential of caliches for practical purposes. In addition, some empirical relations were developed to determine the amount of settlement of some levels of the caliche formations having collapsing potential. The results obtained from this study showed that silty-sandy levels of the caliche formation have “very low” and “moderate” collapsing potential, respectively, on the other hand, “moderate” settlement problems can be expected in the caliche formation depending on changes in loading and wetting conditions. According to the results of the microtremor measurements, resonance differences between hard pan and soft pan caliche levels can be evaluated as one of the main causes of the heavy damages observed on the buildings during the 1998 Adana-Ceyhan earthquake.

Key words: Adana, caliche, internal structure collapsing, plate loading test, microtremor, SEM

Advisor : Prof.Dr. K. Ercin KASAPOGLU, Hacettepe University, Faculty of Engineering, Geological Engineering Department

TEŞEKKÜR

Tez çalışmasının her aşamasında bana yön gösteren ve desteğini esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. K. Erçin KASAPOĞLU'na katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Tez çalışması boyunca, çalışmanın içeriği, kullanılan yöntemlerin yapılandırılması ve yaptıkları öneri ve eleştirilerle değerli katkılar sağlamış olan tez izleme jüri üyelerim, Prof Dr. Vedat DOYURAN ve Prof. Dr. Reşat ULUSAY'a,

Saha çalışmaları ve verilerin değerlendirilmesi aşamasında görüş ve önerilerinden yararlandığım ve tezime değerli katkılar sağlayan Doç. Dr. Candan GÖKÇEOĞLU'na,

Tez çalışmam boyunca fikirlerimi paylaştığım ve önerilerinden yararlandığım Dr. Harun SÖNMEZ'e,

Saha çalışmaları ve sayısal verilerin değerlendirilmesi aşamasındaki yardımlarından dolayı Dr. Murat ERCANOĞLU'na,

Saha çalışmaları sırasındaki yardımları için Yük. Müh. M. Celal TONOZ'a, teknisyen Ahmet BAY'a,

Arazi deneylerimi gerçekleştirmemde bana sağladıkları ekipman ve yardımlardan dolayı öncelikle Adana Organize Sanayi Bölge Müdürü Mustafa UĞURSAL'a, ayrıca, Mehmet PEKTAŞ'a, Hacı İdris ÇAM'a ve bütün Atölye çalışanlarına,

Mikrotremor ve jeojifik etüdülerdeki katkılarından dolayı, Dr. Murat NURLU başta olmak üzere, Mustafa GÜRBÜZ'E, Yük. Müh. Ünal DİKMEN'e ve Özcan SİPAHİ'ye,

SEM analizlerini yürütmemde yardımcı olan Yük. Müh. Abdullah ÖNER'e,

101Y123 no'lu araştırma projesine sağlamış oldukları maddi destekten nedeniyle TÜBİTAK'a,

Tez çalışmalarımın değişik aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, Dr. B. Teoman MERİÇ'e, Dr. Hidayet TAGA'ya (Çukurova Üniversitesi), Yrd. Doç. Dr. Tolga ÇAN'a (Çukurova Üniversitesi), Yük. Müh. Ergün TUNCAY'a, teknik ressam Ayhan DEDEOĞLU'na, Yük Müh. Yavuz SÜTÇÜ'ye ve teknisyen Özgür EROL'a,

Ve tezim boyunca hep yanımda olan, bana destek veren ve daima güvenen SEVGİLİ AİLEME ve CANIM KIZIM DENİZ'e

TEŞEKKÜR EDERİM

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZ	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Amaç ve Kapsam	1
1.2. Önceki Çalışmalar	2
2. ÇALIŞMA ALANININ TANITIMI	11
2.1. Coğrafi Konum.....	11
2.2. İklim	11
2.3. Sanayi	13
2.4. Bölgenin Jeolojik Özellikleri	13
2.5. Adana ve Yakın Çevresinin Tektonik Özellikleri	22
2.6. Çalışma Alanının Sismotektoniği.....	20
3. KALİŞ TANIMI, OLUŞUMU ve İÇ YAPI ÇÖKME MEKANİZMASI	28
3.1. Kalışın Tanımlanması ve Oluşum Mekanizması	28
3.2. Kalışın Oluşumuna İlişkin Modeller	28
3.2.1. Süzülme modeli	28
3.2.2. Kapiler yükselme modeli.....	29
3.2.3. Kırıntı modeli	30
3.3. Kalış Profili.....	30
3.3.1. Karbonat kabuk	30
3.3.2. Laminallı kalış.....	31
3.3.3. Yumrulu kalış	31
3.3.4. Yumrulu kireçli seviye	32
3.3.5. Kireçli seviye.....	32
3.3.6. Geçiş seviyesi.....	32
3.3.7. Temel kaya	32
3.4. Kalış Oluşumu	33

3.4.1. Çözünme süreci.....	33
3.4.2. Kabuk gelişim süreci.....	34
3.4.3. Karbonat eklenmesi süreci	34
3.4.4. Orjinal profilin bozunma süreci	35
3.5. Kaliş Oluşumunu Etkileyen Faktörler	36
3.5.1. İklim	37
3.5.2. Toprak örtüsü	37
3.5.3. Temel kaya	38
3.5.4. Zaman	38
3.6. İç Yapı Çökme Mekanizması	38
4. SAHA ÇALIŞMALARI	49
4.1. Kaliş Profillerinin Yerinin Belirlenmesi	49
4.2. Kaliş Profillerinin Ölçümü ve Kesitlerin Hazırlanması	50
4.3. Plaka Yükleme Deneyleri	62
4.4. Örneklemeye Çalışmaları	69
4.5. Fotoğraf Çekimi	70
4.6. Jeofizik Etüdler	72
5. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI	76
5.1. Yumuşak Kaliş Örnekleri Üzerinde Gerçekleştirilen Deneyler	77
5.1.1. Tane özgül ağırlığı	77
5.1.2. Tane boyu dağılımı	77
5.1.3. Birleştirilmiş toprak sınıflaması	80
5.1.4. Birim hacim ağırlık	81
5.1.5. Odometre deneyleri	83
5.2. Sert Kaliş Örnekleri Üzerinde Gerçekleştirilen Deneyler	85
5.2.1. Birim hacim ağırlık	88
5.2.2. Görünür gözeneklilik	89
5.2.3. Tek eksenli sıkışma dayanımı	91
5.2.4. Tek eksenli sıkışma dayanımı, birim hacim ağırlık ve görünür gözeneklilik arasındaki ilişki.....	92
5.2.5. Elastisite modülü ve poisson oranı	96
5.3. X-Işınları Kırınım Çözümlemeleri.....	97
5.4. Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) Analizleri	97

6. ADANA ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİNDEKİ KALİŞİN	
BAZI DİNAMİK ÖZELLİKLERİ	104
6.1. Kalış Profiline Zemin Hakim Titreşim Periyodunun	
Belirlenmesi ve Zemin Büyütmesi Etkisinin İncelenmesi	104
6.1.1. Mikrotremör ölçüm yöntemleri	106
6.1.2. Kullanılan yöntemler ve verilen işlenmesi	106
6.1.3. Geleneksel Spektral Oranlar Tekniği	108
6.1.4. Nakamura Tekniği	110
6.2. Verilerin Değerlendirilmesi.....	111
7. ÇÖKME POTANSİYELİ İÇİN GÖRGÜL İLİŞKİLER VE	
GERİYE DÖNÜK ANALİZLER.....	127
7.1. Çökme Potansiyelini Tahmin Etmeye Yönelik Çalışmalar	127
7.1.1. Yöntem	128
7.2. Çökme Potansiyeli Modelinin Performans Analizi.....	134
7.2. Görgül ilişkiler Kullanılarak Oturmanın Hesaplanması.....	139
7.2.1. $P_o + \Delta P \neq 200$ kPa Gerilim Seviyesinde Toplam Oturmanın	
Belirlenmesi.....	140
7.2.2. $P_o + \Delta P = 200$ kPa Gerilim Seviyesinde Toplam Oturmanın	
Belirlenmesi.....	143
8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	144
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	148
ÖZGEÇMİŞ	
EKLER	

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası	12
Şekil 2.2. Adana ili 1961-2001 yılları arasındaki ortalama sıcaklık değişimleri	14
Şekil 2.3. Adana ili 1961-2001 yılları arasındaki ortalama yağış miktarı	14
Şekil 2.4. İnceleme alanı ve yakın çevresinin genelleştirilmiş stratigrafik istifi	15
Şekil 2.5. İnceleme alanı ve yakın çevresinin jeoloji haritası	17
Şekil 2.6. Çalışma alanının ve yakın çevresinin eğim haritası	19
Şekil 2.7. Doğu Akdeniz Bölgesi'nin başlıca fayları ve bunların sınırladığı havzalar	21
Şekil 2.8. Çalışma alanı ve yakın çevresinin deprem risk haritası	23
Şekil 2.9. Çalışma alanı merkez olmak üzere 150 km çapındaki alan içerisinde tarihsel ve aletsel dönemde meydana gelmiş depremlerin dağılımları	24
Şekil 2.10. Adana-Ceyhan bölgesinde 1881-2003 yılları arasında meydana gelmiş ve büyüklükleri 4.2 ve üzeri depremlerin, büyüklükleri ile oluş sayıları arasındaki ilişki	25
Şekil 2.11. Adana-Ceyhan depreminin ivme kaydı	26
Şekil 3.1. Süzülme ile oluşan kalış modeli	29
Şekil 3.2. Kapiler yükselme ile oluşan kalış modeli	29
Şekil 3.3. Kırıntılarla oluşan kalış modeli	30
Şekil 3.4. İdeal bir kalış profili	31
Şekil 3.5. Çözünme süreci	34
Şekil 3.6. Kabuk gelişim süreci	34
Şekil 3.7. Karbonat eklenmesi süreci	35
Şekil 3.8. Orijinal profilin bozunma süreci	35
Şekil 3.9. Kalış oluşumunda zaman, iklim, toprak ve temel kaya arasındaki ilişki	36
Şekil 3.10. Tipik toprak profili	37
Şekil 3.11. Çökebilir toprakların dünya üzerindeki genel dağılımı	40
Şekil 3.12. Yük artışı ile oluşan çökme deformasyonunun mikroyapısal görünümü	41

Şekil 3.13. Islanma ile oluşan çökme mekanizması.....	41
Şekil 3.14. Çökebilir topraklardaki bağlayıcı malzemelere ve dokulara örnekler	42
Şekil 3.15. Toprağın çökebilirlik eğilimin tahmin etmede kullanılan grafik	43
Şekil 3.16. Tek ve çift odometre deneyi.....	45
Şekil 3.17. Yerinde çökme deneyi için düşey gerilim deformasyon profili ve geleneksel plaka yükleme deneyi.....	47
Şekil 3.18. Oransal limitin ve deformasyon modülünün seçiminde kullanılan grafik.....	48
Şekil 4.1. İnceleme alanında belirlenen kazı lokasyonları	51
Şekil 4.2. Hava fotoğrafları kullanılarak çizilen sert kalış ve yumuşak kalış sınırları.....	52
Şekil 4.3. Adana Organize Sanayi Bölgesi ve yakın çevresi için genelleştirilmiş kalış profili.....	54
Şekil 4.4. Çakıl bloklu seviyedeki kalınlık değişimi ve SK seviyesi ile yanal geçişi	55
Şekil 4.5. Kalınlığı 6 m'ye ulaşan sert kalış seviyesi	55
Şekil 4.6. Kalış profilini oluşturan seviyeler ve kalınlık değişimleri.	55
Şekil 4.7. Kalış profilindeki seviyelerin kalınlıklarının ölçümünü gösteren şematik çizim	56
Şekil 4.8. İnceleme alanında kesit yerlerini gösteren harita	57
Şekil 4.9. 3 boyutlu karelej ağı ve kontur haritası üzerinde topoğrafyanın gösterimi	58
Şekil 4.10. 3 boyutlu karelej ağı üzerinde ve kontur haritası üzerinde sert kalış seviyesinin taban kotunun gösterimi	59
Şekil 4.11. 3 boyutlu karelej ağı üzerinde ve kontur haritası üzerinde çakıllı, bloklu seviyenin taban kotunun gösterimi	60
Şekil 4.12. 3 boyutlu karelej ağı üzerinde ve kontur haritası üzerinde siltli, kumlu seviyenin taban kotunun gösterimi	61
Şekil 4.13. Plaka yükleme deney düzeneği	64
Şekil 4.14. Ölü yük olarak kullanılan CAT kepçe ve deneyin yapılışı.....	65
Şekil 4.15. İnceleme alanındaki plaka yükleme deneyi ve örnekleme lokasyonları.....	66

Şekil 4.16. Çalışma alanında blok boyutunu belirlemek için çekilen fotoğrafa bir örnek ve bu fotoğraflar üzerinde görüntü işleme tekniği ile yapılan sınıflamada kullanılan yöntemle ayırt edilmiş bloklar ve bağlayıcı malzemenin görünüşü	71
Şekil 4.17. Çalışma alanında yapılan sismik kırılmanın P fazı için ters ve düz atış yayılma zamanı-mesafe grafiği	73
Şekil 4.18. Çalışma alanında yapılan sismik kırılmanın S fazı için ters ve3 düz atış yayılma zamanı-mesafe grafiği	75
Şekil 4.19. Çalışma alanında yapılan sismik kırılmanın P ve S dalga hızlarına ilişkin zaman-uzaklık grafiklerinden yararlanılarak çizilen derinlik kesiti	74
Şekil 4.20. Çalışma alanında yapılan sismik kırılmanın ve elektrik sondaj ölçümünden elde edilen veriler ile çizilen derinlik kesiti	74
Şekil 5.1. Çakıllı, bloklu ve siltli, kumlu seviyenin tane boyu dağılım araklıkları	80
Şekil 5.2. Lokasyon 9 için sıkışma eğrisi ve normal gerilm (e-LogP) grafiği ...	86
Şekil 5.3. Farklı lokasyonlardan alınan sert kalış karot örneklerinin çakıl miktarındaki değişim	89
Şekil 5.4. Birim hacim ağırlık (γ) ve görünür gözeneklilik (GG) arasındaki en yüksek korelasyon katsayısının elde edildiği basit regresyon	91
Şekil 5.5. Tek eksenli sıkışma dayanımı ile birim hacim ağırlık arasındaki basit regresyon	93
Şekil 5.6. Tek eksenli sıkışma dayanımı ile görünür gözeneklilik arasındaki basit regresyon	94
Şekil 5.7. Tek eksenli sıkışma dayanımı ile birleştirilmiş parametre arasındaki ilişki	95
Şekil 5.8. Çalışma kapsamında yapılmış olan elastisite modülü deneyleri için tipik bir gerilim-birim deformasyon eğrisi	96
Şekil 5.9 Çökme öncesi siltli-kumlu seviyenin SEM görüntüsü	101
Şekil 5.10 Çökme sonrası siltli-kumlu seviyenin SEM görüntüsü	102
Şekil 6.1. Zemin hakim titreşim periyodu ve zemin büyütmesini belirlemek amacıyla yapılan mikrotremor ölçüm lokasyonları	105
Şekil 6.2. Çalışmada kullanılan mikrotremor ölçüm ekipmanı	107

Şekil 6.3. Çalışma alanındaki 11. ölçüm noktasına ait üç bileşenli, K-G (kuzey- güney), D-B (doğu batı) ve UD (düşey) bileşenleri gösteren 3 dakikalık mikrotremor kaydı	107
Şekil 6.4. Çalışma alanındaki 11. ölçüm noktasına ait üç bileşenli K-G (kuzey-güney), D-B (doğu batı) ve UD (düşey bileşen) mikrotremor kaydının Fourier genlik spektrumları	108
Şekil 6.5. Çakıllı-bloklı seviye ile sert kalış seviyesi üzerinde elde edilen kayıtların “Geleneksel Spektral Oranlar Tekniği” kullanılarak hesaplanan spektrumları ve bu spektrumlardan elde edilen sert kalış'e (STK) göre çakıllı-bloklı seviye'de (Ç) oluşan zemin periyodu ve büyütme farkı	109
Şekil 6.6. Sert kalış ile siltli kumlu seviye üzerinde elde edilen kayıtların “Geleneksel Spektral Oranlar Tekniği” kullanılarak hesaplanan spektrumları ve bu spektrumlardan elde edilen sert kalış'e (STK) göre siltli-kumlu seviye'de (SK) oluşan zemin periyodu ve büyütme farkı	110
Şekil 6.7. Mikrotremor kaydının Nakamura (1989) tekniği ile elde edilen H/V spektrumları	113
Şekil 6.8. Sert kalış üzerinde alınan kaydın Fourier spektrumu ve Nakamura yöntemi ile elde edilen H/V spektrumu	114
Şekil 6.9. Çakıllı-bloklı seviye üzerinde alınan kaydın Fourier spektrumu ve Nakamura yöntemi ile elde edilen H/V spektrumu	116
Şekil 6.10. Siltli-kumlu seviye üzerinde alınan kaydın Fourier spektrumu ve Nakamura tekniği ile elde edilen H/V spektrumu	117
Şekil 6.11. Organize Sanayi Yönetim binasının bahçesinde alınan ilk kayıt	118
Şekil 6.12. Organize Sanayi Yönetim binasının bahçesinde alınan ikinci kayıt	119
Şekil 6.13. Hasarlı yönetim binası yumuşak kalış/sert kalış geleneksel spektral oran tekniği uygulandığında oluşan büyütme farkı	120
Şekil 6.14. Nakamura spektrumundan elde edilen zemin hakim periyod değerlerinin çalışma alanındaki alansal gösterimi ve ölçüm alanının dışında kalan bazı hasarlı binaların zemin hakim periyotları ...	123

Şekil 6.15. Nakamura spektrumundan elde edilen zemin büyütmesi değerlerinin çalışma alanındaki alansal gösterimi ve ölçüm alanının dışında kalan bazı hasarlı binaların zemin büyütmesi değerler	124
Şekil 6.16. Adana Organize Sanayi Bölgesinde 27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan Depreminde hasar gören (a) fabrikalardan birinin ve (b) Bölge yönetim binasının fotoğrafları	125
Şekil 6.17. Adana Organize Sanayi Bölgesinde 27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan Depreminde hasar gören (a) atölye binası ve (b) yönetim binası kazan dairesinin fotoğrafları.....	126
Şekil 6.18. Adana Organize Sanayi Bölgesinde 27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan Depreminde hasar gören ve çatısı yıkılan fabrika inşaatlarından birinin fotoğrafı	126
Şekil 7.1. Çökme potansiyeli ile, ince tane yüzdesi, başlangıçtaki boşluk oranı, birim hacim ağırlık-özellik ağırlık oranı ve sıkışabilirlik katsayısı arasındaki basit regresyonlar.....	130
Şekil 7.2. Çökme potansiyeli (C_p) ile ince tane-başlangıçtaki boşluk oranı, ince tane-birim hacim ağırlık, özellik ağırlık oranı parametreleri kullanılarak oluşturulan birleştirilmiş parametreler ($BP_{1,2}$) arasındaki ilişki.....	133
Şekil 7.3. Çökme potansiyelini kestirim abacı	135
Şekil 7.4. Çökme potansiyelini belirlemeye yönelik oluşturulan modelin ince tane yüzdesi-birim hacim ağırlık, özellik ağırlık oranı için , ve ince tane yüzdesi-başlangıçtaki boşluk oranı için elde edilen sonuçların ve ölçülen değerlerin karşılaştırılması	136
Şekil 7.5. Çökme potansiyelini belirlemeye yönelik ölçülen ve oluşturulan modeller ile tahmin edilen değerlerin karşılaştırılması	137
Şekil 7.6. Çökme potansiyeli modeline ait % hata değerlerinin BP1 ve BP2 için gerçekleştirilen karşılaştırması.....	138
Şekil 7.7. Gerilim seviyeleri ve boşluk oranlarını gösteren e-log-P grafiği	141

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. İnceleme alanı ve yakın çevresinde tarihsel ve aletsel dönemlerde meydana gelen depremlere ait veriler	26
Çizelge 3.1 Temel problemleri ve C_p arasındaki ilişki	44
Çizelge 4.1. Çakıllı seviye için plaka yükleme deneyinden elde edilen deformasyon modülü, E, değerleri ve 25 mm'lik oturmaya karşılık gelen gerilim değerleri	68
Çizelge 4.2. Çalışma alanında yapılan elektrik sondaj yöntemindeki elektrod açılımları ve görünür öz direnç değerleri	75
Çizelge 4.3. Kalış profiline ait seviyelerin ve ana kayanın Vs, Vp dalga hızları ve öz direnç değerleri	75
Çizelge 5.1. Yumuşak kalış'e ait örnekler üzerinde gerçekleştirilen deneylerden elde edilen parametreler ve istatistiksel değerlendirmeler	82
Çizelge 5.2. Yumuşak kalış'e ait siltli kumlu seviye ve çakıllı, bloklu seviyenin tane boyu dağılım deneyi sonuçlarının istatistiksel değerlendirmesi	82
Çizelge 5.3. Çökme indeksi, I_e , sınıflaması	84
Çizelge 5.4. Odometre deneylerinden elde edilen sonuçlar	87
Çizelge 5.5. Sert kalış'e ait örnekler üzerinde gerçekleştirilen deneylerden elde edilen parametreler ve istatistiksel değerlendirmeler	90
Çizelge 5.6. Birim hacim ağırlık ile görünür gözeneklilik arasındaki basit regresyonlarda elde edilen eşitlikler ve korelasyon katsayıları	94
Çizelge 5.7. Sert kalış örnekler üzerinde gerçekleştirilen tek eksenli sıkışma dayanımı deney sonuçları	92
Çizelge 5.8. Tek eksenli sıkışma dayanımı ile, birim hacim ağırlık ve görünür gözeneklilik arasındaki basit regresyonlarda elde edilen eşitlikler ve korelasyon katsayıları	93
Çizelge 5.9. Sert kalış seviyesinin elastisite modülü ve Poisson's oranı değerleri	96
Çizelge 5.10. Yumuşak kalış seviyelerinin yarı kantitatif olarak mineral içerikleri	98

Çizelge 6.1 . Haritaları oluşturmada kullanılan veriler ve koordinatları	121
Çizelge 7.1. Çökme potansiyeli ile, ince tane arasındaki basit regresyonlarda elde edilen eşitlikler ve korelasyon katsayıları	129
Çizelge 7.2. Çökme potansiyeli ile, başlangıçtaki boşluk oranı arasındaki basit regresyonlarda elde edilen eşitlikler ve korelasyon katsayıları	129
Çizelge 7.3. Çökme potansiyeli ile, birim hacim ağırlık ile özgül ağırlık oranı arasındaki basit regresyonlarda elde edilen eşitlikler ve korelasyon katsayıları	129
Çizelge 7.4. Çökme potansiyeli ile, sıkışabilirlik katsayısı arasındaki basit regresyonlarda elde edilen eşitlikler ve korelasyon katsayıları	131
Çizelge 7.5. Çökme potansiyeli ile, birim hacim ağırlık ile özgül ağırlık oranı ile ince tane oranı arasındaki basit regresyonlardan elde edilen eşitlikler ve korelasyon katsayıları	132
Çizelge 7.6. Çökme potansiyeli ile, başlangıçtaki boşluk oranı ile ince tane oranı arasındaki basit regresyonlarda elde edilen eşitlikler ve korelasyon katsayıları	132

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ASTM	American Society for Testing and Materials
BP	Birleştirilmiş Parametre
BSI	British Standard Methods of Test for Soils for Civil Engineering Purposes
C_p	Çökme potansiyeli
Ç	Çakıllı, bloklu seviye
D.A.D.	Deprem Araştırma Dairesi
E	Deformasyon/Elastisite modülü
e_o	Başlangıçtaki boşluk oranı
GG	Görünür gözeneklilik
G_s	Özgül ağırlık
ISRM	International Society for Rock Mechanics
m_v	Sıkışabilirlik katsayısı
r	Korelasyon katsayısı
RMSE	Root Mean Square Error
SEM	Scaninig Electron Micrography
SK	Siltli, kumlu seviye
STK	Sert kalış
VAF	Variance Account For
YK	Yumuşak kalış
ϕ	İçsel sürtünme açısı
γ	Birim hacim ağırlık
σ_c	Tek eksenli sıkışma dayanımı
ν	Poisson oranı

1. GİRİŞ

1.1. Amaç ve Kapsam

Ekonomik ve güvenli yapı tasarımı, öncelikle, yapı temelini oluşturan zeminin fiziksel ve mekanik özelliklerinin doğru bir şekilde belirlenmesini gerektirir. Ancak, fiziksel açıdan sınıflandırmanın ve temsil edici örnekleme gücü olduğu, aşırı heterojenlik gösteren litolojik birimlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi dünya literatüründe hala tartışma konusudur. Bağlayıcı içerisinde blok içeren kayaçlar, fış vb. gibi ardalama gösteren birimler ve toprak-kaya geçişinde yer alan zayıf kaya-sert topraklar bu malzemelere örnek olarak gösterilebilir. Mümkün olduğunca homojen özellikte kabul edilebilecek doğal malzemelerde dahi kısa mesafelerde mekanik özellikler değişim gösterebilmektedir. Bu durum, aşırı heterojen ve karmaşık malzeme özellikleri de dikkate alındığında, daha güçlü bir hale gelmektedir. Profilinde fiziksel özellikler, dayanım ve deformabilite açısından son derece önemli farklılıklar gösteren seviyelerin yer aldığı ve bazı seviyelerinden temsil edici örnekleme yapılamadığı kalıplar da karmaşık jeolojik malzemelerdendir. Dünya literatüründe kalıpların mekanik davranışına ilişkin önerilmiş yöntem, ya da yapılmış vaka çalışmasına rastlanmamıştır. Ancak, kalıpların oluşum mekanizmasına ilişkin sınırlı sayıda çalışma mevcuttur (Harrison, 1977; Goudie and Pye, 1983). Bu husus dikkate alınarak, bu çalışma kapsamında tipik bir kalıp profili sunan, 27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan depremi sırasında binalarda ağır hasar meydana gelişir. Hasarların yoğunlaştığı bir birim olan ve bazı seviyelerinde jeomekanik deney amaçlı örnekleme olanaksız olduğu kalıpların jeomekanik özelliklerinin, iç yapı çökme mekanizmasının ve dinamik özelliklerinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, Adana Organize Sanayi Bölgesi gerek saha kullanım amaçları ve gerekse kalıp profilinin tipik olarak izlenebildiği en iyi alan olması nedeniyle çalışma alanı olarak seçilmiştir.

Tez çalışması kapsamında; literatür araştırması, kalıp profillerinin belirlenmesine yönelik saha ölçümleri, yerinde deneyleri, örnekleme çalışmaları, fotoanaliz için fotoğraf çekimi, jeomekanik parametrelerin tayini için laboratuvar deneyleri ve elde edilen verilerin değerlendirilmesi aşamaları gerçekleştirilmiştir. Bunların yanı sıra,

Çalışmanın diğ er bir aşamasını da, çalışılan alandaki kalışların bazı dinamik özelliklerine belirlemeye ilişkin mikrotremör ölçümleri ile kalış profiline ait seviyelerin derinliklerinin ortaya konmasını amaçlayan jeofizik çalışmaları oluşturmaktadır.

Çalışmanın son aşamasında, laboratuvar ve saha deneylerinden elde edilen verilerin istatistiksel değ erlendirmesi yapılmıştır. Saha alışmaları sırasında, örselenmemiş örnek alımında karşılaşılan g  l kler de gözönünde tutularak, laboratuvar deney verilerinden yararlanılmış ve çökme potansiyelini belirlemeye yönelik görgül eşitlikler elde edilmiştir. Ayrıca, bu eşitliklerin kullanımda kolaylık sağlanması amacıyla bir abak da önerilmiştir.

1.2.  nceki alışmalar

Bu çalışmanın konusunu oluşturan kalışlar ve çökebilir toprak zeminlerle ilişkin çalışmalar, dünya ve Türkiye literatürü taranarak derlenmiş ve aşağıda bu çalışmalara özetle değinilmiştir.

Terzaghi ve Peck (1948)'e göre, sert topraklar, tek eksenli sıkışma dayanımı 400 kPa'lı aşan malzemelerdir. Clayton and Serratrice (1997), "sert toprak" ve "zayıf kaya" olarak adlandırılan malzemelerin, toprak ve kaya arasındaki sınırdaki yer aldığını belirtmişlerdir. Bu araştırmacılar göre; sert toprak ve zayıf kayaların dayanımları çeşitli laboratuvar deneyleri ile belirlenmekle birlikte, bu iki malzeme arasındaki tanımlamalarda halen bir belirsizlik söz konusudur. Daha  nceki yıllarda, bu tür malzemelerin mühendislik özellikleri göz ardı edilirken, günümüzde hızla artan yapılaşma ile birlikte yaşanan mühendislik sorunları nedeniyle, bu malzemelerin özellikleri daha ayrıntılı incelenmeye başlanmıştır (Clayton and Serratrice, 1977).

Barden et al. (1973) dünyanın farklı bölgelerinden (Güney Afrika, Avrupa ve A.B.D) derledikleri çökebilir toprak zemin örneklerinin çökme mekanizmasını elektron mikroskobu yardımıyla incelemişlerdir. Önceleri, çökmenin sadece kum ve silt içeren taneli zeminlerde meydana gelebileceği düşünülürken, bu

araştırmacılar, bu davranışın topaklanmış yapıya sahip killerde de meydana gelebileceğini öne sürmüşlerdir.

Popescu (1986), Romanya'daki toprak zeminlerin %11.5'ini çökebilir topraklardan oluştuğunu, bu nedenle inşaat öncesinde çökebilir topraklara ilişkin tanımlama, sınıflama, sayısal veriye dönüştürme ve tasarım seçeneklerinin değerlendirilmesi aşamasında dikkat edilmesi gerektiğini belirtmiştir. Bunun yanı sıra, çökmeyi etkileyen faktörleri: (1) potansiyel olarak duraysız ve yarı doymuş toprak zeminlerin varlığı, (2) toprağın su içeriğindeki kritik artışlar ve (3) toprak zemine uygulanacak gerilimler şeklinde sınıflamıştır.

El-Ehwany and Houston. (1990), çökme potansiyelinin doğru bir şekilde tahmin edilebilmesinin, toprağın doymuş hale geçme sınırının duyarlı olarak tayin edilebilmesiyle yakından ilişkili olduğunu belirtmişlerdir. Bu sınırın belirlenebilmesi için yerinde gölcük oluşturma (ponding) ve laboratuvarda süzülme deneyi sonuçları ile çökme kapasitesini tahmin etmeye çalışmışlardır. El-Ehwany et al. (1990), çökebilir toprakların genelde örselenmeye karşı duyarlı bir yapıya sahip olduğunu, bu nedenle laboratuvar süzülme deney verilerinin iyi sonuç verdiğini, ancak bu deneyin tek boyutta bir çalışmaya izin vermesinin sonuçlar üzerinde bir sınırlamaya neden olduğunu söylemişlerdir. Bu araştırmacılar, yerinde gölcük oluşturma deneyi verileri ile çökme kapasitesi arasında anlamlı ilişkiler olduğunu ve çökme kapasitesinin tahmini amacıyla kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Basma and Tuncer (1992), toprak tipinin, su içeriğinin, kuru birim hacim ağırlık değerinin ve ıslanma anında uygulanan basıncın çökme potansiyeli üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla sekiz farklı toprak örneği üzerinde 138 adet tek odometre deneyi yapmışlardır. Araştırmacıların elde ettiği sonuca göre; aynı koşullar altında, kötü derecelenmiş toprak zeminlerin, iyi derecelenmiş toprak zeminlere göre daha fazla çökme eğiliminde olduğu gözlenmektedir. Ayrıca bu araştırmacılar, çökme potansiyelinin: (1) kum ve kil oranı arasındaki değişimler, (2) su içeriği ve (3) başlangıçtaki kuru birim hacim ağırlık değerinin (ıslanma anındaki basınçla artış gösteren) artması ile azaldığını belirtmişlerdir. Basma and Tuncer. (1992), bir çökme modeli oluşturmak amacıyla, elde ettikleri deney sonuçlarını kullanarak, çoklu regresyon analizleri yapmışlardır. Araştırmacılar tarafından

önerilen grafik yardımıyla; (1) toprağın çeşitli koşullardaki (yük koşulları) çökme potansiyeli ve (2) çökme gözlenmediği durumlarda, olası çökmeye neden olabilecek kritik su içeriğinin belirlenmesi mümkün olmaktadır.

Reznik (1993), çökebilir topraklar üzerinde yaptığı çalışmada, yerinde deneylerin, özellikle plaka yükleme deneyinin, sonuçlarının ölçek etkisinden ve örnekteki örselenmeden mümkün olabilecek en az miktarda etkilendiğini vurgulamış ve bunun yapı temellerinin seçiminde çok önemli olduğunu belirtmiştir. Araştırmacıya göre, çökme potansiyeli değerleri, laboratuvarındaki deney ekipmanı ve uyarlanmış deney tekniklerine bağlıdır. Hataları en aza indirmek ve gerçeğe en yakın değerlere ulaşabilmek amacıyla çökebilir topraklar üzerinde gerçekleştirilen plaka yükleme deneyi sonuçları ile temel tasarımıda çok önemli yeri olan parametrelere ulaşan araştırmacı, daha sonra bu parametreleri laboratuvarında, aynı su içeriği ve yük koşullarında yaptığı deneylerden elde ettiği sonuçlarla karşılaştırmıştır. Reznik (1993) sonuç olarak; plaka yükleme deney sonuçlarının, çökme potansiyeli, zeminin su içeriği ve temel boyutları arasındaki ilişkileri açıklamaya yardımcı olacağını belirtmiştir.

Rollins et al., (1993), yaptıkları çalışmada çakıllardaki çökme mekanizmasını incelemiştir. Araştırmacılar altı farklı bölgedeki çakıllar üzerinde yaptıkları çalışmada, çökme mekanizmasının gelişmesinde rol oynayan malzeme özelliklerini ortaya koymuşlardır. Rollins et al., (1993), çökebilir çakılların özelliklerini; kurak iklim, düşük nem içeriği, alüvyon yelpazeleri, çamur akması sonucu oluşan çökeller ve ince taneli çökebilir toprakların yakınında bulunan lokasyonlar olarak sıralamıştır. Araştırmacıların deney sonucunda elde ettiği verilere göre çökebilir çakıllara ait elde ettiği en önemli parametreler; (1) birim hacim ağırlık değeri 18.8 kN/m^3 'ün üzerinde bulunmakta, (2) çökebilir çakıllar, tipik olarak, GM (siltli çakıl) toprak sınıfında ve %12-30 ince taneli malzeme içermekte, (3) çökme, yüksek geçirgenliğe bağlı olarak ani gelişmekte, ancak bu mekanizma ince taneli çökebilir topraklarda daha az olumsuz sonuçlar vermekte ve (4) arazide yapılan plaka yükleme ve presiyometre gibi deneyler çökebilir çakılların, çökme mekanizmasının anlanması ve açıklanmasında çok önemli bir rol oynamaktadır.

Sert topraklar ve zayıf kayaların sınıflamasına ilişkin en önemli çalışmalardan biri Johnston ve Novello (1993)'ya aittir. Bu tür malzemeler, yumuşak kil ve gevşek kumdan sert kayaya uzanan geniş bir yelpazenin ortasında bulunmaktadır. Buna göre; zayıf kayaların tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri 0.5 MPa ile 25 MPa arasında değişmektedir. Araştırmacılar, tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri 0.5 MPa'dan küçük olan malzemeleri "toprak" ve 25 MPa'dan büyük olan malzemeleri ise "sert kaya" olarak tanımlamışlardır.

Rozos and Koukis (1993), Neojen çökellerinde yaptıkları çalışmada, yaptıkları rutin kaya mekaniği deney sonuçlarını kullanarak marnların sınıflamasını yapmışlardır. Araştırmacılar, ayırt edilen bütün fasiyeslere ait fiziksel özelliklerin, kil minerallerinin tipi ve bunların yapı içerisindeki düzeninden etkilendiğini vurgulamışlardır. Elde edilen sonuçlara göre; malzemenin hem "çok sıkıdan sert toprağa," hem de "zayıftan orta derecede dayanımlı kayaya" kadar karakterize edilmesi mümkün olmuştur. Bu durum, kaya-toprak sınırının kesin sınırlarla çizilemediğini göstermektedir.

Rey and Schindler (1993), yol yapımı sırasında oluşan bir heyelan konusunda yaptıkları çalışmada; heyelanın bir bölümünü aşırı konsolide olmuş kilde geliştiğini gözlemlemişlerdir. Araştırmacılar, bu seviyelerde çok düşük artık makaslama dayanımına sahip iki kayma yüzeyi belirlemişler ve duraysızlığın mekanizmasını açıklamışlardır. Bu çalışma, sert toprakların sadece oluşumları ile ilgili bilgilerin elde edilmesi malzemeyi tanımlamaya yönelik çalışmalar için yetmemekte, neden olabilecekleri problemlerin de göz önünde bulundurulması ve amaca yönelik olarak belirlenmesi gerektiğini göstermektedir.

Tsutiya et al. (1993), ıslanma sonucu dağılan şeyllerin neden olduğu şev duraysızlıklarını incelemişlerdir. Çalışmada, rutin toprak mekaniği ve tek eksenli sıkışma dayanımı deneylerinin yanı sıra, X-ışınları kırınım analizleri de yapılmıştır. Şeylin dağılmasındaki en önemli rolün su olduğunu vurgulayan araştırmacılar, şişme özelliği gösteren kil minerallerinin olmaması ve düşük kohezyonlu, taneli malzemenin bulunması halinde de dağılma/parçalanma olayının gelişeceğini belirtmişlerdir. Bu çalışmadaki bir diğer önemli konu ise, bu tür malzemelerin tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin sınıflamada yeterli bir parametre

olmadığıdır. Bu noktada, tek eksenli sıkışma değerleri çok geniş bir aralıkta değerlendirilmektedir. Toprak ve kaya arasındaki sınır dayanım değerleri; Bieniawski (1981)'ye göre 1 MPa, Rocha (1977)'ya göre 20 MPa, Morgenstern et al. (1974)'a göre ise 3.6 MPa ile sınırlandırılmıştır (Tsutiya et al., 1993). Bu geniş aralık değerleri toprak ve kaya arasındaki geçişi belirlemede oldukça kuşkulu durumlar yaratmaktadır.

Yılmaz (1993), Adana bölgesindeki kalıpların şev duraylılığı açısından mühendislik ve jeolojik özelliklerini incelemiştir. Bu çalışmaya göre, karasal bir oluşuk olan kalış, mineralojik ve mühendislik özellikleri bakımından farklı litolojik seviyelere ayrılan bir profil sergilemektedir. Profilin en üstünde bulunan ve zayıf kaya niteliğindeki sert kalış (hard-pan) seviyesi ve bunun altında ve toprak niteliğindeki yumuşak kalış (soft-pan) seviyesi birbirlerinden farklı davranışlar sergilemektedir. Şev duraylılığı ve temellerde zemin duraylılığını yumuşak kalış seviyesi kontrol etmektedir. Araştırmacı yapmış olduğu geriye dönük analiz sonuçlarına göre, yumuşak kalış seviyesinin artık makaslama dayanım parametrelerinden içsel sürtünme açısını $\phi=5^\circ$ ve kohezyonu $c=20$ kPa olarak belirlemiştir.

Reddy and Sastri (1993), sert topraklarda jeoteknik amaçlı yaptığı bir çalışmada, örnekleme sırasında ve laboratuvar deneylerinde karşılaştıkları güçlüklerle değinmişlerdir. Özellikle çakıllı-killi, kumlu seviyelerden örselenmemiş örnek alımında yaşanan güçlükleri vurgulayan araştırmacılar, sert toprak ve zayıf kayalar için, örselenmemiş örnek alımı, ayrıca laboratuvar ve arazi deneyleri konusunda yeni yöntemlerin (kestirim modelleri gibi) geliştirilmesinin gerekliliğini belirtmişlerdir. Buna ek olarak, gelecekte geliştirilecek yöntemlerin standart haline getirilmesinin de kaçınılmaz olduğunun altını çizmişlerdir.

Zayıf kayalar ve sert topraklarda yürütülen çalışmalar arasındaki örnek alımı ayrıca arazi ve laboratuvar deneylerinde yaşanan zorluklar ve kısıtlamalar ile ilgili olarak; Kolaiti et al. (1993), Zahao and Broms (1993), Josseume et al. (1991), Akai et al. (1993), Bertuccioli (1993), Bedian and Khera (1993), Czakja (1993), Poulto et al. (1991), De and Saha (1993), Tatsuoka et al. (1993) ve Viana de Fonseca (1993)'da yaptıkları çalışmalarda laboratuvar ve arazi deneyleri

konusunda yeni yöntemlerin (zemin modellemesi gibi) geliştirilmesinin gerekliliğine değinmektedirler (Clayton and Serratrice, 1993'den).

Krauter (1993), özellikle sert toprakların jeoteknik özelliklerinin; oluşumlarına, içsel ve dış etkilere (tektonik, aşırı konsolidasyon vb.), ana kaya ve iklimsel koşullara, dolayısıyla bozunmaya bağlı olduğunu belirtmiştir.

Attalla (1993), karbonatlı siltli kil, karbonatlı killi silt, marn ve karbonatlı zayıf çamurtaşı gibi farklı malzemeler üzerinde laboratuvar deneyleri ve mineralojik analizler yapmıştır. Araştırmacı, bütün bu malzemeleri "karbonatlı kaya benzeri toprak" olarak adlandırmıştır. Çalışmanın sonucunda; malzemelerin tane boyu, mineralojik bileşimleri, jeoteknik özellikleri ve sert kaya niteliklerine göre bir sınıflama sistemi geliştirmiştir.

Kohata and Kim (1993), arazide makaslama hızı ölçümü ile depremi benzeşim modeli oluşturup, dinamik analizler yapmışlardır. Zayıf kayada yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara göre, oluşan deformasyonların elastik limiti aştığını belirlenmiştir.

Assalay et al. (1993), çökebilir topraklarda meydana gelen çökme mekanizmasının, malzemenin "açık yapı" özelliğinden kaynaklandığını söylemişler ve bu konu üzerindeki çeşitli görüşlerin, Monte Carlo gibi benzeşim yöntemleriyle modellenebileceğini belirtmişlerdir. Yapay örnekler üzerinde yürütülen laboratuvar ve odometre deneyleri ile belirlenen çökme potansiyeli verilerine göre, büyük boşluk oranı ($e > 1$) değerlerine sahip toprakların yüksek çökme potansiyeline sahip olduğunu belirten bu araştırmacılara göre yapay örnekler, doğal örnekler kadar iyi sonuç vermektedir. Aynı araştırmacılar, yapısal çökmeyi kontrol eden en önemli faktörlerin; tane boyu ve şekli, bağ/ağırlık oranı (R), taneler arası dokanak bağları ve kil içeriği olduğunu vurgulamışlar ve jeometrik modeller arasında dört gözenek tipi, altı yapısal özellik ve üç çökme tipi belirlemişlerdir. Bu araştırmacılar tarafından belirlenen gözenek tipleri; küçük gözenekler ($P1$), orta boy gözenekler ($P2$) ve büyük gözenekler ($P3$), yapısal özelliklerine göre gözenekler; merdiven tipi yapılar, yığın ipi yapılar, durağan Y tipi yapılar durağan olmayan Y tipi yapılar, durağan olmayan odak noktaları ile kemer yapıları, çökme tipleri ise; (1)

başlangıçtaki blok çökmesi, (2) ufalanma ve yuvarlanma çökmesi ile P2/P3 gözenek azalması şeklinde meydana gelen çökme olarak sıralanmaktadır.

Habibagahi and Mokhberi (1998), yaptıkları çalışmada, çökebilir topraklardaki hacim değişimini hiperbolik bir modelle temsil etmeyi amaçlamışlardır. Çalışmalarını iki ana grupta toplayan araştırmacılar, ilk olarak çökme potansiyelini etkileyen faktörleri tanımlamak ve mekanizmayı açıklayabilmek için bir araştırma programı hazırlamışlar, daha sonra çökme davranışını tahmin etmeye yönelik kurumsal bir model önermişlerdir.

Houston et al. (1998), kuru olduklarında oldukça yüksek dayanıma sahip, ancak gerilim altında iken ve ıslandıklarında gözeneklilik oranında hızlı ve büyük bir azalma gösteren çökebilir toprakların çökme davranışını arazi koşullarında incelemişlerdir. Araştırmacılar Jennings and Knight (1975) tarafından önerilen çift odometre deneyini arazi deney koşullarına uyarlamışlardır. Araştırmacılara göre, Jennings and Knight (1975) deneyinin araziye modifikasyonu, temel in oturdugu malzemenin çökme mekanizmasını belirlemede başarıyla kullanılabilmektedir. Houston et al. (1998), bu deneyi arazi koşullarına uyarlamasındaki en önemli nedenlerin; örnekleme sırasındaki, örselenme, örnek hazırlama ve laboratuvardaki çökme dayanımının arazi koşullarındaki kadar gerçekçi değerler vermemesi olarak sıralamaktadırlar. Topraklardaki çökme sorununun üstesinden genellikle laboratuvar ve saha deneyleri ile gelinebileceğini belirten araştırmacılar, uyguladıkları saha yöntemin kolay ve ucuz bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir.

Türkmen ve Yılmaz (1998), çalışmalarında, Tarsus-Adana-Gaziantep otoyolunda, kalışlarda meydana gelen şev duraysızlıklarını incelemişlerdir. Bu amaca yönelik olarak güzergah boyunca yüzeylenen formasyonların litolojik özellikleri ile Atterberg limitleri, birim hacim ağırlık ve makaslama dayanım parametreleri gibi mühendislik özelliklerini tanımlamışlardır. Araştırmacılar, 141+000 km'sinde oluşan kayma yüzeylerini belirlemiş ve haritalamışlardır.

Houston et al. (2001), kurak ve yarı kurak iklimlerin en sorunlu biriminin, çeşitli şekillerde oluşabilen çökebilir topraklar olduğunu belirtmişlerdir. Çökebilir toprakların, nem içeriklerinin çok hassas bir dengede olduğunu söyleyen yazarlar,

bu dengenin bozulması, diğer bir deyişle nem içeriğinin artması ve hacimsel azalma ile çökme mekanizmasının tetiklendiğine dikkat çekmişlerdir. Bu durumda, jeoteknik mühendisleri için (1) çökebilir toprak alanlarının belirlenmesi ve tanımlanması, (2) doygunluk derecesinin tahmin edilmesi, (3) çökme potansiyelinin ve çökme oturmasının tahmin edilmesi ve (4) iyileştirme yöntemlerinin seçilmesi gibi çalışmaların önemini vurgulayan bu araştırmacılar, çalışmalarında en iyi yöntemleri belirlemeyi hedeflemişlerdir. Sonuç olarak, çökebilirliğin hem laboratuvar da hem de arazide saptanabileceğini öne süren araştırmacılar, çökme potansiyelinin ve ıslanma koşullarının da aynı yöntemlerle (laboratuvar ve arazi deneyleri) ortaya konabileceğini söylemişlerdir. Çalışmada, iyileştirme yöntemlerinin, iyileştirmenin zamanlaması, yükün kaynağı, ıslanmanın kaynağı ve maliyet gibi pek çok faktöre bağlı olduğunun altı çizilmiştir.

Azam (2001), karbonatlı toprakların çökme ve sıkışma davranışlarını incelemiş, bu amaca yönelik olarak bir dizi laboratuvar deneyi yapmıştır. Şişme ve oturma potansiyelini belirlemek için konsolidasyon ve hacimdeki değişim özelliklerini belirlemek amacıyla da odometre deneylerini gerçekleştiren Azam (2001), malzemenin deney sonrasındaki yapısını ortaya koymak için ise, SEM analizleri yapmıştır. Topraktak zemindeki kimyasal değişimlerin malzemenin mekanik ve fiziksel özelliklerini de değiştirdiğini belirten araştırmacı, Ca^{2+} miktarının artması ve SO_4^{2-} miktarının azalması ile suyun malzeme içerisindeki hareketinin kolaylaştığını ve yapının daha gevşek bir hale gelerek çökme potansiyelini arttırdığını söylemiştir.

Alawaji (2001), çalışmasında lölöslerin çökebilirliği ile dayanım ve deformasyon özellikleri üzerinde durmuştur. Bu amaçla, kurak iklimi temsil edecek nitelikte aldığı lölös örneklerinin, fiziksel ve mühendislik özelliklerini belirlemeye yönelik olarak çeşitli laboratuvar deneyleri yapan araştırmacı; odometre deneyi ile malzemenin çökme potansiyelini ve makaslama deneyi ile ise, dayanım özelliklerini belirlemiştir. Sonuç olarak, ıslanma süreci çökme potansiyelini arttırmakta ve geri dönüşümsüz bir deformasyon meydana getirmektedir.

Dipova (2002), çalışmasında Antalya'da yüzeylenen tufa çökellerinin çökme mekanizmasını belirlemeyi amaçlamıştır. Araştırmacı, Antalya tufa falezlerinin

gerisinde kalan yüksek yapıların temellerinde meydana gelen duraysızlık sorununu, bazı tufa türlerinde ortaya çıkan çökme davranışından kaynaklandığını belirtmiş ve tufanın indeks özellikleri ile çökme potansiyelinin belirlenmesine yönelik laboratuvar deneyleri yürütmüştür. Araştırmacı ayrıca çökme potansiyelini pratik olarak belirlemeye yönelik çoklu regresyon analizleri yapmış ve görgül ilişkiler önermiştir. Çalışmanın daha sonraki aşamasında ise çökme mekanizmasının geliştiği Antalya tufa çökellerinde zemin iyileştirme yöntemleri tartışılmış ve uygun yöntemler önerilmiştir.

Literatür araştırmaları sonucunda, genelde kalışlar üzerinde yapılmış olan önceki çalışmaların, kalışların salt sedimantolojik ve yapısal özelliklerinin belirlenmesi ile sınırlı kalmış olduğu; kalışların jeomekanik özellikleri ve iç yapı çökme mekanizmasına ilişkin ayrıntılı herhangi bir çalışmanın yapılmamış olduğu belirlenmiştir.

2. ÇALIŞMA ALANININ TANITIMI

Çalışma alanı, Doğu Akdeniz Bölgesi'nde, Adana ili ve Ceyhan ilçesi arasında kalan bölgede yer almaktadır (Şekil 2.1). Türkiye'de kentleşme sürecinin en hızlı olduğu yerleşimlerden biri olan Adana, Akdeniz Bölgesi'nin ticaret ve sanayi bakımından en önemli merkezidir.

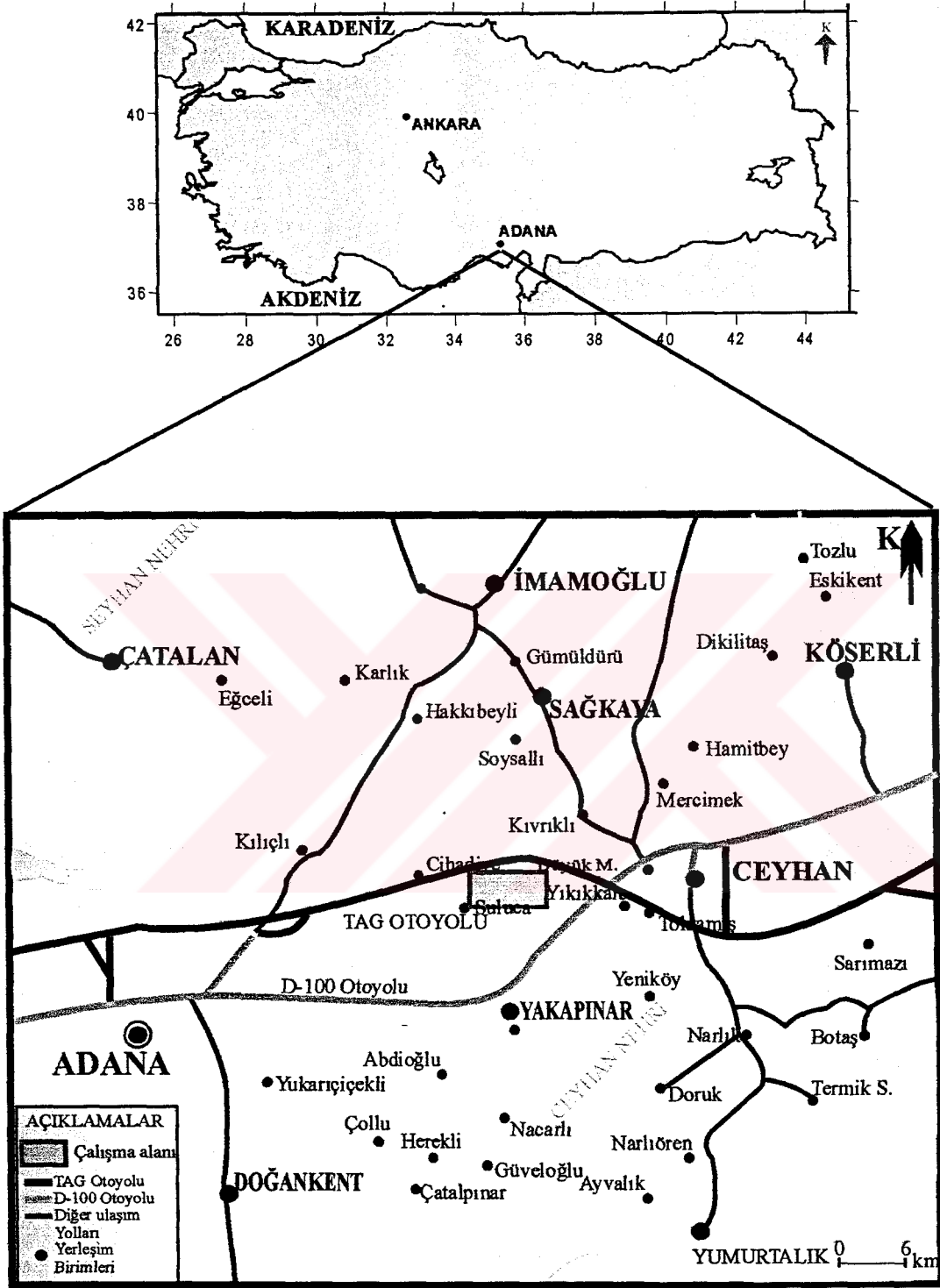
2.1. Coğrafi Konum

Adana ilinin sınırları, Akdeniz kıyılarından, kuzeyde Toros Dağlarının tepelerine kadar uzanır. Güneyde, il alanının yaklaşık %27'sini kaplayan alçak ve verimli ovalar yer alır. Bunların başlıcaları; Seyhan, Ceyhan ve Tarsus nehirlerinin oluşturduğu Çukurova Deltası (Adana ovası), ve Ceyhan Nehri'nin açtığı boğaz ile Adana Ovasından ayrılan Ceyhan Ovasıdır. İlin kuzeyi tepelikler, yaylalar ve büyük bir bölümü Toros Sistemi'ne bağlı ve yer yer 2500-3000 m'yi aşan sıradağların bulunduğu çok engebeli bir bölgedir. İl merkezinin denizden ortalama yüksekliği ise 23 m'dir.

İnceleme alanını kapsayan Adana-Ceyhan arasında kalan bölge, kuzeybatısında ve güneydoğusunda yüksekliği 350-780 m arasında değişen yükseltiler arasında yer alan bir ovadır. Adana ilinin deniz seviyesinden olan ortalama yüksekliği 50 m civarındadır .

2.2. İklim

Adana ili ve çevresinde, yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı olan Akdeniz iklimi hüküm sürmektedir. Bölgede meydana gelen yağışlar, genellikle yamaç yağışları ve yerdeğıştiren hava kütlelerinin karşılaşması ile oluşmaktadır. Metrekareye düşen ortalama yağış miktarı 625 mm dir. Yılın ortalama 74 günü yağışlı geçmekte ve yağışların %51'i kış, %26'sı ilkbahar, % 18'i sonbahar, %5'i yaz mevsimlerinde meydana gelmektedir. Yaz mevsiminde nem miktarının çok yüksek olmasına rağmen, bazı yılların yağışsız geçtiği de görülmektedir. Ortalama nem miktarı % 66 olmakla beraber, yazın % 90'ın üzerine çıkmaktadır. Bölgede, ortalama sıcaklık 18.7 C°'dir. En soğuk ay, 9 C° sıcaklık ortalaması ile Ocak, en



Şekil 2.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası

sıcak ay 28 C° sıcaklık ortalaması ile Ağustos ayıdır. Ovanın sıcak olmasına karşılık, topoğrafyaya bağlı olarak iklim şartlarında ve yağışlarda değişiklikler gözlemektedir. Ovalara göre dağlık kesimde yağışlar daha fazladır. Ovada ender olarak görülen kar, dağlarda erken başlar ve bazan aylarca kalır. Adana'da yılın 195.6 günü yaz günüdür ve bu günlerin 134.4'ü tropik gün olarak belirlenmiştir. Adana ili için 1961-2001 yılları arasındaki yıllık sıcaklık değişimleri ile bu aynı yıllardaki yağış miktarlarının grafiksel olarak sunumu Şekil 2.2 ve Şekil 2.3'de verilmiştir (DMİ, 2003).

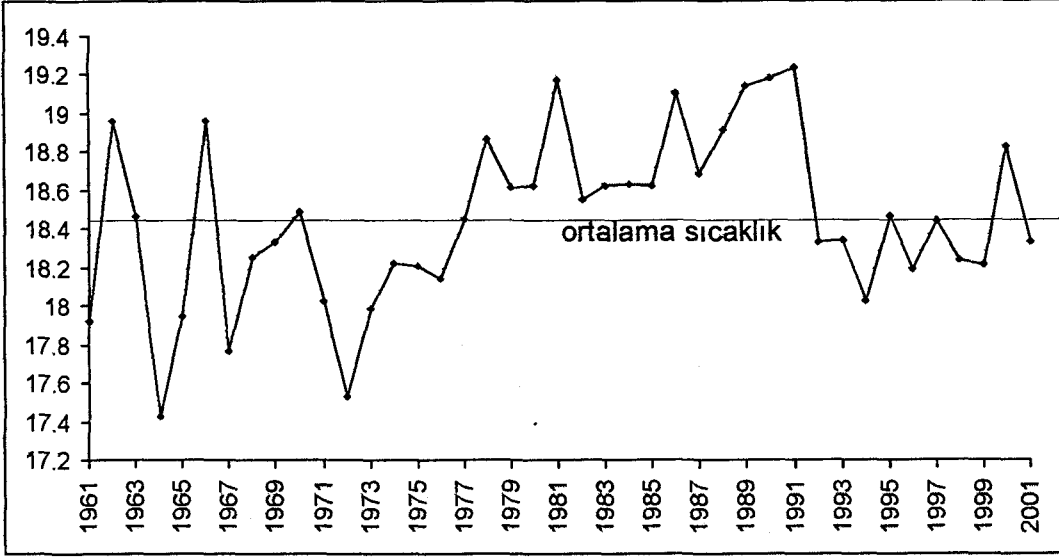
2.3. Sanayi

Adana ilinde, 1930-1940 yıllarında tarıma ve tüketime dayalı sanayileşme ile başlayan sanayi faaliyetleri 1940 yılından itibaren büyük ölçekli fabrikalara geçiş sürecine girmiştir. 1950'li yıllarda hızlı kentleşmeye bağlı olarak, inşaat malzemesi üreten fabrikalar da faaliyete başlamıştır ve 1956 yılında Osmaniye, Gaziantep, İçel, Konya yollarının birinci sınıf yol durumuna gelmesi Adana'nın transit bir geçiş merkezi olmasını sağlamış ve ilin önemi artmıştır. 1960'lı yıllarda farklı sektörlerde birçok fabrika faaliyete geçmiş, 1970'li yıllarda ise sanayi sektöründe holdingleşme başlamıştır. Bugün Sasa, Çukurova Elektrik, Marsa, Bossa, Güney Sanayi, Temsa, Adana Çimento, Çukobirlik, Mensa, Pilsa, Güney Biracılık, Paksoy, Özbucak gibi ülke genelinde faaliyet gösteren 500 sanayi kuruluşu içinde yer almaktadır.

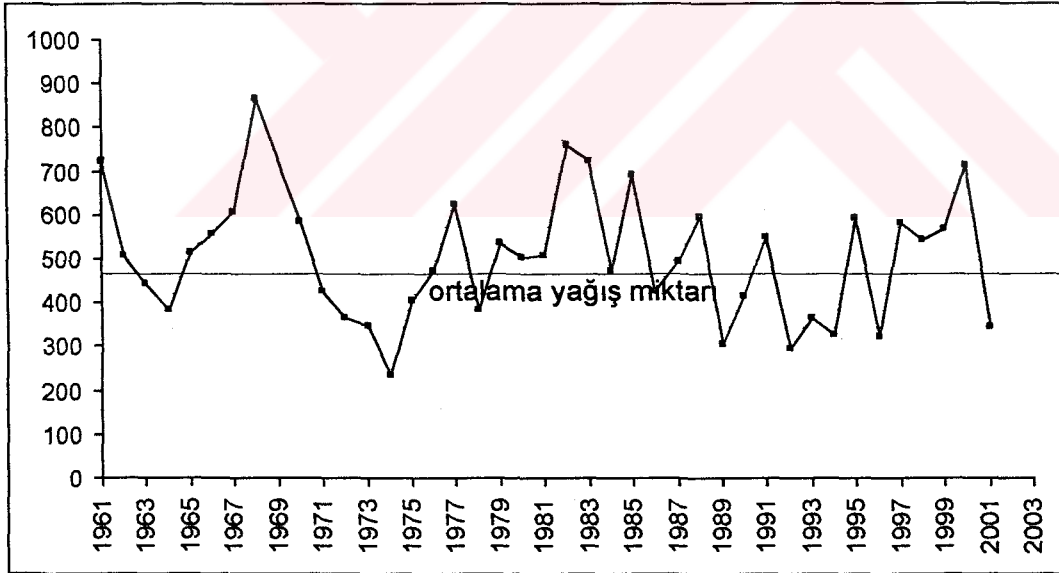
1980'li yıllardan sonraki sanayileşme sürecinde gerek iç Pazar, gerekse dış pazarda rekabet gücünü artırıcı yeni düzenlemelere gidilmiştir. Girişimcilere kolaylık sağlamak, imalat sanayiini dağınıklıktan kurtarmak, verimli tarım arazileri üzerinde sanayi yapılaşması ve sağlıksız kentleşmeyi önlemek amacıyla Adana Organize Sanayi Bölgesi kurulmuştur (<http://adana.cu.edu.tr>).

2.4. Bölgenin Jeolojik Özellikleri

İnceleme alanında genel olarak, Geç Kretase, Oligo-Miyosen, Miyosen, Pliyosen ve Kuvaterner yaşlı kayalar ile yine aynı yaştaki kalıplar yer almaktadır (Şekil 2.4).



Şekil 2.2. Adana ili 1961-2001 yılları arasındaki ortalama sıcaklık değişimleri (D.M.I., 2003)



Şekil 2.3. Adana ili 1961-2001 yılları arasındaki ortalama yağış miktarları (D.M.I., 2003)

YAŞ	FORMASYON	KALINLIK (m)	SEMBOL	LİTOLOJİ
KUVATERNER				Taraça, kaliş, alüvyon
PLİYOSEN	HANDERE	400-800		Konglomera ve kumtaşı lensleri içeren kumlu şeyl
MİYOSEN	KUZGUN	600-1000		Konglomera ve kumtaşı
	GÜVENÇ			Kumtaşı bantlı şetl
	CİNGÖZ	1200-3500		Şeyl bantlı kumtaşı
	KÖPEKLI	0-400		Kumlu marn
	KARAIŞALI	0-250		Kireçtaş; kalın tabakalı,
OLIGO-MİYOSEN	GİLDİRLİ	10-500		Marn, killi-kumlu kireçtalı
GEÇ KRETASE				Temel birimleri

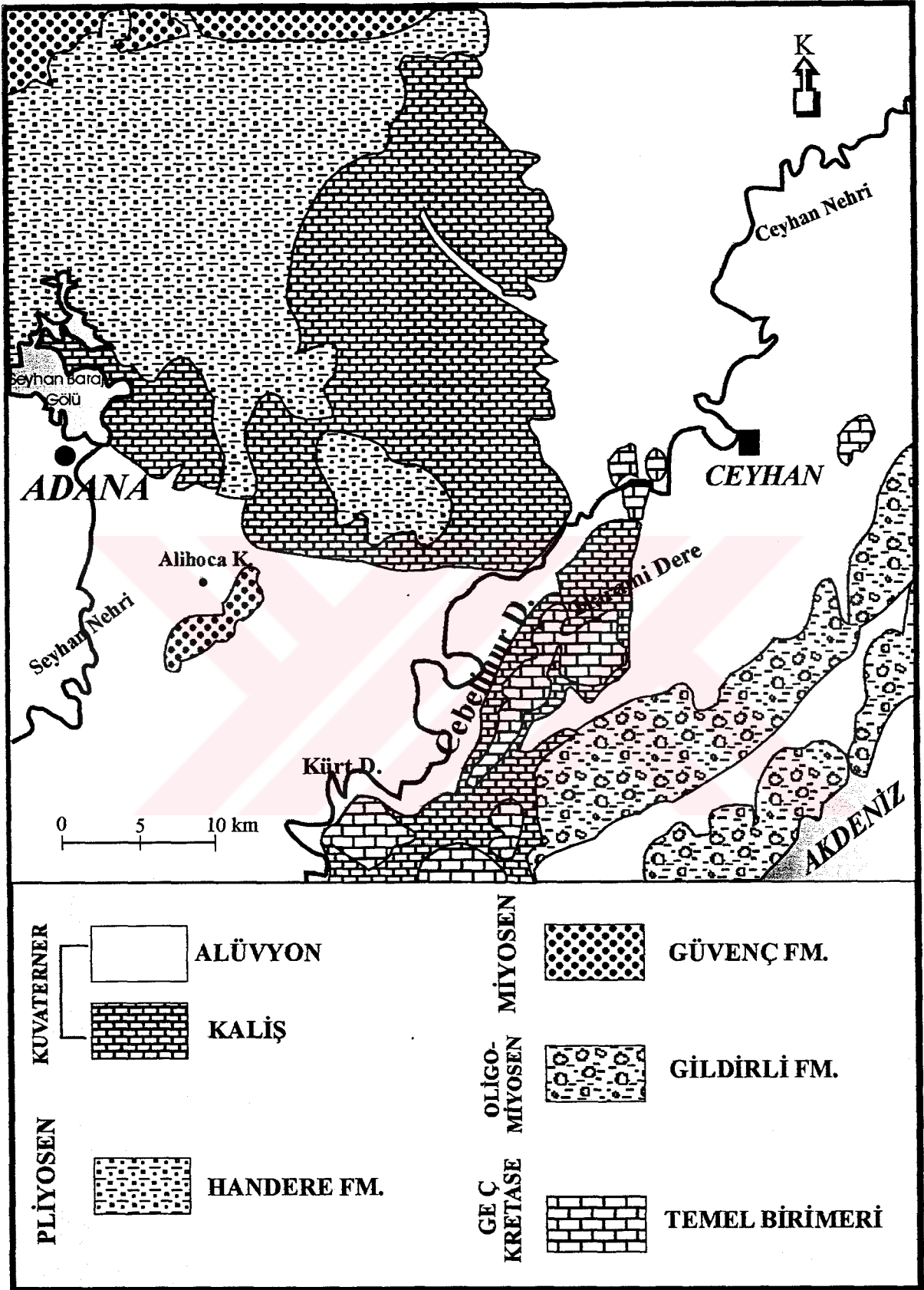
Şekil 2.4. İnceleme alanı ve yakın çevresinin genelleştirilmiş stratigrafik istifi (ölçeksiz) (Kozlu, 1987)

Üst Kretase: Şekil 2.5'te verilen başitleştirilmiş jeoloji haritasından da görüldüğü gibi Üst Kretase yaşlı kayaçlar inceleme alanının yakın çevresinde yer alan Haramidağ, Cebelinur Dağı ve Kürtdağı boyunca büyük bloklar halinde gözlenmektedir. Volkanosedimanter özelliğe sahip bu birim; manganezli kireçtaşı içeren tuf, volkanik kumtaşı, killi kireçtaşı ve aglomeralarla temsil edilmektedir. Topografik açıdan yüksek eğimli alanlarda gözlenen Üst Kretase yaşlı kayaçların dokanağı genellikle tektoniktir. Genellikle bloklar halinde gözlenen birimde kireçtaşları bol çatlaklı, kırılğan bir yapıya sahiptir (Nurlu, 1998).

Oligo-Miyosen: Oligo-Miyosen yaşlı birim, olistostromal karaktere sahip olup farklı blokların biraraya gelmesinden oluşmuştur. Birimin matriksi, türbditlerden oluşma bol planktonik fosilli ve kırıntılı bir yapıya sahiptir. Genelde olistostrom çakıltaşlarıyla kuşatılmış irili ufaklı bloklar, istifin değişik seviyelerinde dağınık halde bulunurlar. Orta derecede eğimli topografik alanlarda gözlenen birim, çevredeki değişik sedimanter ve ofiyolitik kayaçların aşınması ve daha sonra akarsularla taşınarak, dar ve uzun bir havzada hızlı bir şekilde çökmesiyle oluşmuştur (Kozlu, 1987).

Miyosen: Miyosen yaşlı birimlerden, Güvenç formasyonu inceleme alanının kuzeybatı kesimlerinde Alihoca Köyü yakınlarında (bkz. Şekil 2.5) gözlenmektedir. Orta-kalın tabakalı ve yer yer çapraz tabakalanma gösteren Güvenç formasyonu, Yetiş (1987)'in bulgularına göre Burdigaliyen-Serravaliyen zaman aralığında çökelmiştir. Gri renkli çakıltaşı ve kumtaşından oluşan birim, yüksek eğimli topografyaya sahip alanlarda gözlenir. İnceleme alanında, yüzeylenmeyen, Karaisalı, Köpekli, Cingöz ve Kuzgun formasyonları da bölgenin stratigrafik istifinde yer alan Miyosen yaşlı birimlerdenidir (Kozlu, 1987).

Pliyosen: İnceleme alanında Pliyosen yaşlı birimler Handere Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Handere Formasyonu Adana ve Misis'in kuzeyinde ve genellikle orta derecede eğimli topoğrafyaya sahip bölgelerde yüzeylenmektedir (bkz. Şekil 2.5). Başlıca; kumtaşı, silttaşı, marn, çamurtaşı ve çakıllı kumtaşlarından oluşan bu formasyon genellikle açık kahverengi ve açık gri olup, toplam kalınlığı yaklaşık 700 m civarındadır (Yetiş, 1987). Orta kalınlıkta tabakalanmaya sahip olan formasyonun içerdiği birimlerde yer yer çapraz tabakalanma gözlenir. Bu birimler,



Şekil 2.5. İnceleme alanı ve yakın çevresinin jeoloji haritası (Nurlu, 1998'den düzenlenmiştir)

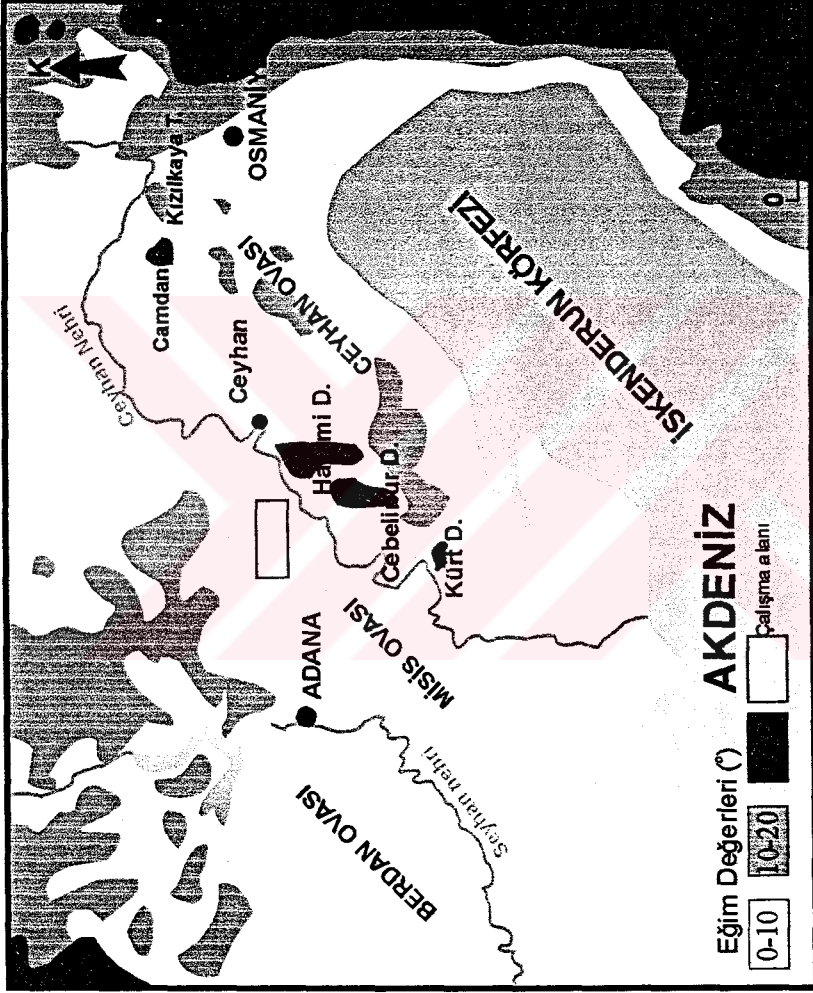
Toros Dağları'nın orojenezi sonrasındaki aşınma evresinde yüksek yerlerdeki birimlerin aşınarak taşınması ve daha sonra düşük kotlarda çökmesiyle oluşmuştur. Bu sedimanter istifte çakılları oldukça yaygındır. Handere formasyonunun üst dokanağı Adana Havzası'nda yaygın olarak gözlenen kalış ve yer yer genç alüvyonlarla örtülmüştür.

Kuvaterner: Kuvaterner yaşlı çökeller kalış ve alüvyon istiflerden oluşmaktadır. Adana-Ceyhan arasındaki bölgede oldukça geniş bir yayılım gösteren (bkz. Şekil 2.5) Kuvaterner yaşlı kalışın özellikle eğimin düşük olduğu, yerleşim bölgelerinde bulunduğu dikkat çekmektedir. Sözü edilen bölgede, kalışlar yaklaşık 400 km²'lik alansal bir yayılıma sahiptir. Bu açıdan değerlendirildiğinde, bölgede kalışların önemli bir alansal yayılıma sahip olduğu görülmektedir. 400 km²'lik alana yayılan kalışların oluşturduğu topoğrafyanın alansal olarak %81'i eğimin 10°'den az olduğu yerlerde gözlenirken, % 16'sı 10°-20°, %3'ü ise 20°'den daha yüksek eğimli alanlarda gözlenmektedir (Şekil 2.6). Adana Organize Sanayinin üzerinde bulunduğu alan ise; genelde 10°'den daha düşük eğimli topoğrafyaya sahip olup, tümüyle kalışlardan oluşmaktadır .

Adana Havzasındaki paleosolik kalışlar, Pleyistosen'deki iklim salınımları ve karbonatça zengin yüzey suları ile birlikte, süzülme, kapillarite ve ayrışma olaylarını takiben, önce sedimantolojik daha sonra da pedolojik bir mekanizma sonucu oluşan kalışlarının yaşı ise, Kuvaterner olarak kabul edilmektedir (Şenol, 1989).

Kalış oluşumundaki en önemli unsurlardan biri olan temel kaya, bu bölge için Pliyosen yaşlı Handere Formasyonudur. Temel kayanın litolojik özelliklerindeki farklılıklar, oluşan kalış profilinde de, lokal ölçekte değişimlere neden olabilmektedir (Şenol, 1989).

Alüvyon: İnceleme alanında, Adana ve Misis-Andırın havzalarını oluşturan eski alüvyonlar ile dere boylarında gözlenen genç alüvyonlar yer almaktadır. Eski alüvyonlar genellikle bitkisel toprak ile örtülü bulunmaktadır. Yeni alüvyonlar ise, akarsular boyunca gelişmiş olup, genellikle kötü boylanmış, çimentolanmış çakıl, kum ve silt ve kiltane boyundadır .



Şekil 2.6. Çukurova Havzası'nın eğim haritası (Efe ve Sekin, 1998'den düzenlenmiştir).

2.5. Adana ve Yakın Çevresinin Tektonik Özellikleri

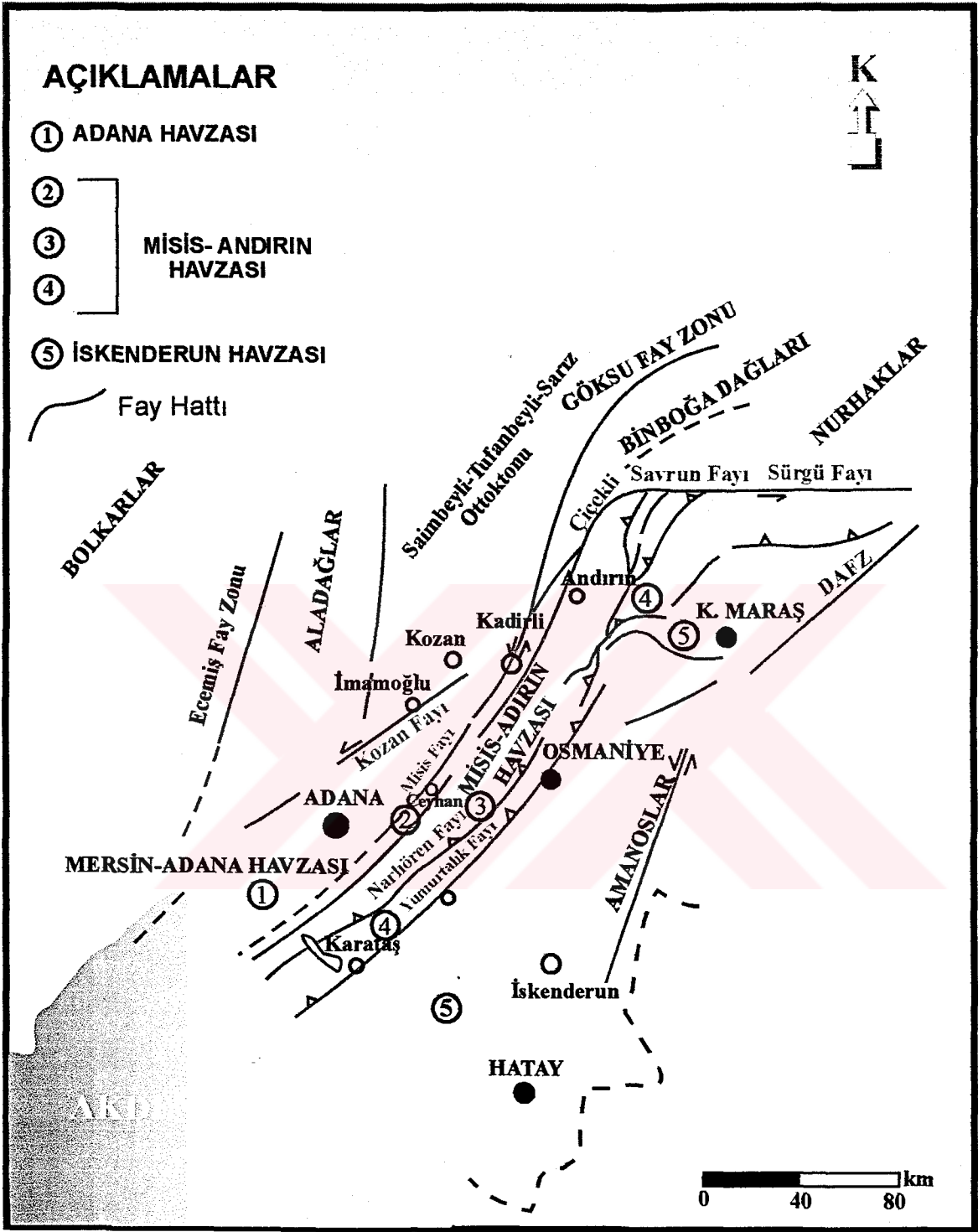
Adana ve yakın çevresi tektonik özellikleri açısından oldukça karmaşık bir bölgede yer almaktadır. Bölge batıda Ecemiş Fay Zonu'nun, Doğuda ise Bitlis Bindirmesi ve Doğu Anadolu Fay zonlarının devamı niteliğindeki zonlar arasında, tektonik açıdan bir geçiş zonunda bulunmaktadır. Böylece bölge, hem Güneydoğu Anadolu'nun hem de bir bindirme zonu olan Torosların tektonik özelliklerini taşımaktadır. İnceleme alanı ve yakın çevresinde gözlenen en önemli faylar; Yumurtalık bindirme fayı, Misis-Ceyhan fayı ile Narlıören, Çiçekli-Savrun ve Fay Zonlarıdır (Şekil 2.7). Bu fayların genel özelliklerine aşağıda değinilmiştir.

Yumurtalık Bindirme Fayı: Adana'nın Karataş ilçesi civarında, denizden karaya çıkan bindirme karakterli bu fay, kuzeydoğuya doğru Yumurtalık ilçesinin kuzeyinden devam eder. Yaklaşık KD-GB doğrultusunda uzanan Yumurtalık bindirmesi, İskenderun Havzası ile Misis-Andırın Havzası'nı ayıracak şekilde gelişmiştir (bkz. Şekil 2.7; Kozlu, 1987).

Misis-Ceyhan fayı: Adana-Ceyhan depremine neden olan bu fay, ilk başta Yumurtalık fayının önünde, Geç Miyosen'e kadar gelişimine devam etmiş, daha sonra, Erken Eosen ve Geç Oligosen'de biçim değiştirerek, sol yanal atımlı, doğrultu fay şekline dönüşmüştür (Kozlu, 1987).

Narlıören Fayı: Bu fay ters fay karakterine sahip olup, Yumurtalık fayına paralel olarak uzanmaktadır. Narlıören fayı, Ayvalık köyü batısından başlayarak Narlıören, Kurtpınar ve Sarımezi köyleri boyunca devam eder (bkz. Şekil 2.7), (Kozlu, 1987).

Çiçekli-Savrun Fayı: Göksun Ovası'nı güneyde D-B doğrultusunda sınırlayan Çiçekli-Savrun fayı; Andırın ilçesinin kuzeyinde KD-GB doğrultusunu kazanır. Güneybatıya doğru alüvyon örtü altında devam eden fay, Karataş ilçesinin kuzeyinden denize ulaşır (bkz. Şekil 2.5). Bu tektonik hattın, Erken Eosen-Alt Oligosen süresince muhtemelen bir sürüklenme hattı olduğu ve daha sonra doğrultu atımlı fay sistemine dönüştüğü, ayrıca fayın Erken Miyosen sırasında ve



Şekil 2.7. Doğu Akdeniz Bölgesi'nin başlıca fayları ve bunların sınırladığı tektonik havzalar (Kozlu, 1987'den düzenlenmiştir).

sonrasındaki hareketinin, Misis-Andırın Havzası'nın bugünkü konumunu almasına neden olduğu da bilinmektedir (Kozlu, 1987).

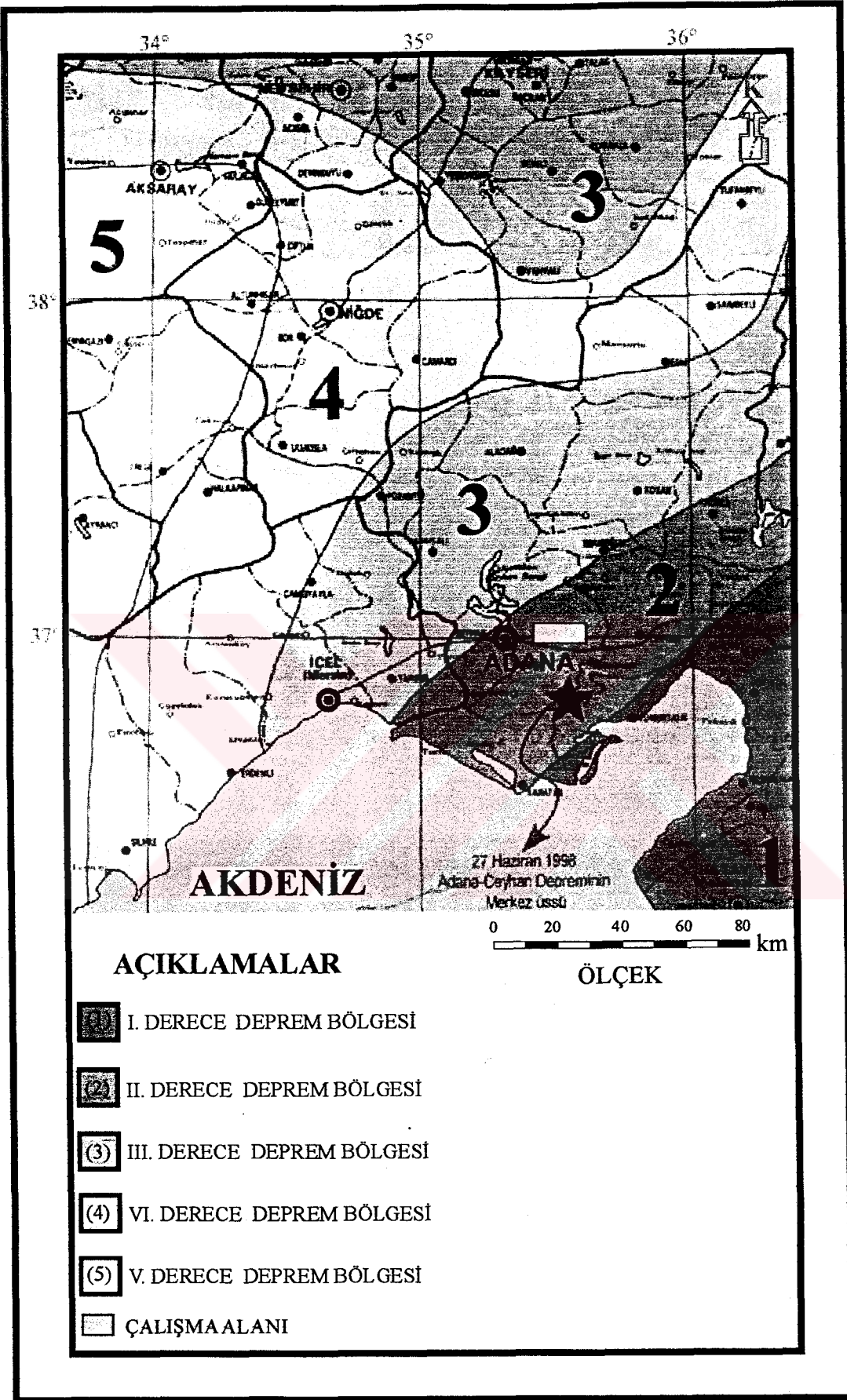
Misis'in güneydoğusundaki Cebelinur sıradağları boyuca bu fay zonunun izleri görülebilir. Bu zonda yer alan fayları, genellikle KD-GB doğrultulu verev (eğim atımlı normal) atımlı faylar oluşturmaktadır (bknz. Şekil 2.7).

2.6. Çalışma Alanının Sismotektoniği

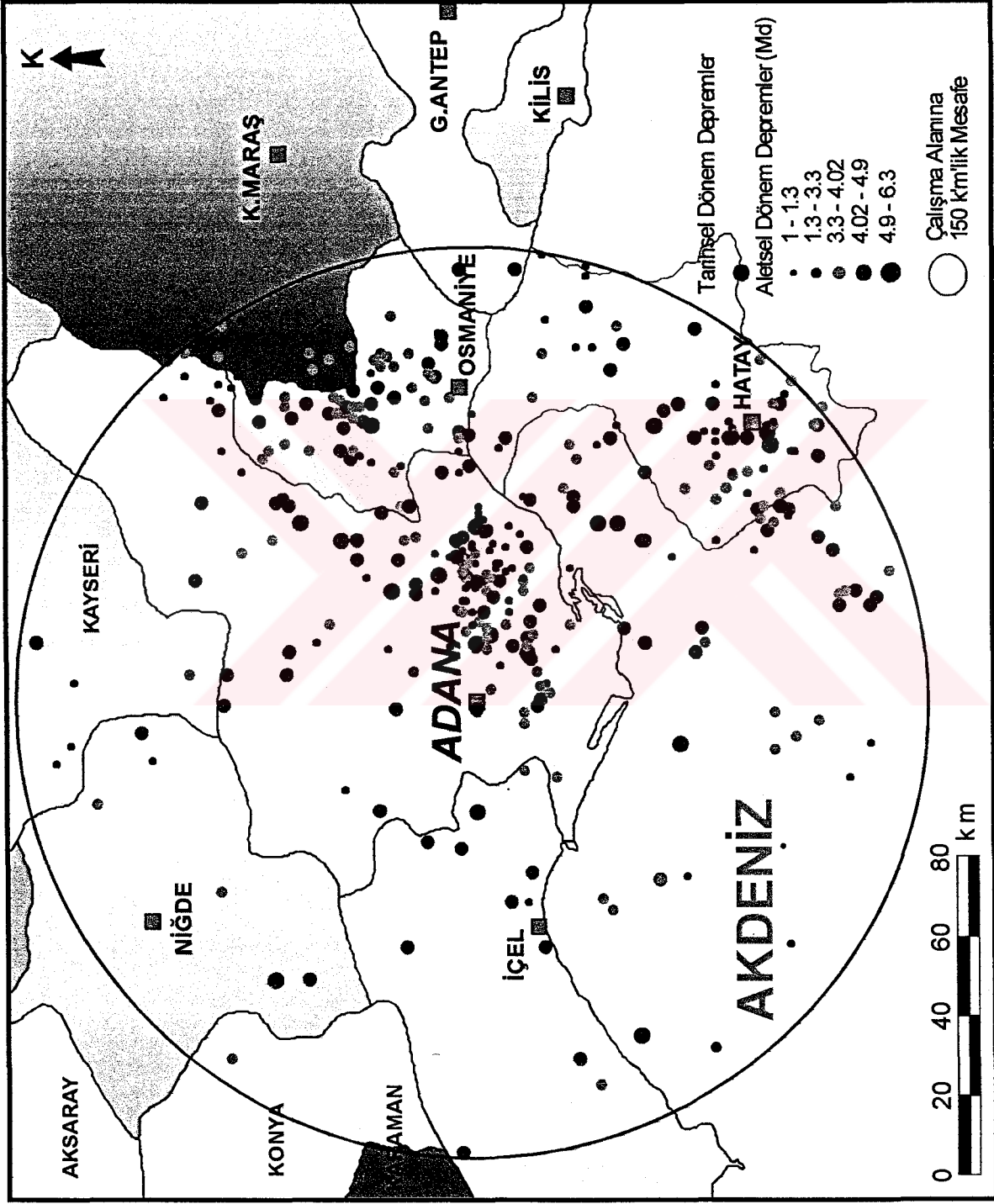
Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi (DAD) tarafından hazırlanan Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası'a göre Türkiye'nin toplam yüzölçümünün %96'sının ilk dört derecedeki deprem bölgelerinde yer aldığı ve toplam nüfusun %98'inin bu bölgelerde yaşadığı anlaşılmaktadır (Özmen ve diğ, 1997). Çukurova Havzası ise, bu haritada 1. ve 2. derecedeki deprem bölgelerinde olup (Şekil 2.8), bu bölgeleri ayıran sınır yaklaşık olarak Yumurtalık fayının yakınından geçmektedir .

Çalışma alanı aktif bir deprem bölgesinde olup, tarihsel ve aletsel dönemlerde pek çok depreme sahne olmuştur. Çalışma alanı merkez olmak üzere 150 km çapındaki alan içerisinde tarihsel ve aletsel dönemde meydana gelmiş depremlerin mevcut kayıtları büyüklüklerine göre merkezüstlerinin dağılımı Şekil 2.9'da gösterilmiştir.

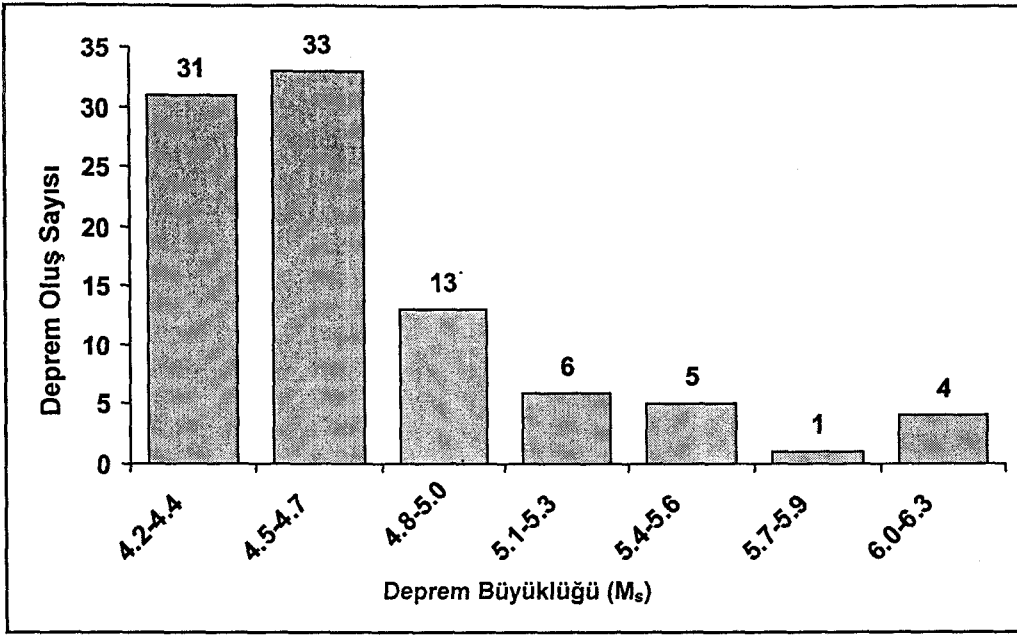
Adana-Ceyhan bölgesinde 1881-2003 yılları arasında meydana gelmiş ve büyüklükleri 4.2 ve üzerinde olan depremlerin, büyüklükleri ile oluş sayıları arasındaki ilişki Şekil 2.10'deki grafikte görülmektedir (Gürbüz, 2003). Buna göre bölgede, en fazla tekrarlanan depremlerin büyüklüğünün 4.5 ile 4.7 arasında olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 2.8. Çalışma alanı ve yakın çevresinin deprem bölgeleri haritası (DAD,1996).



Şekil 2.9. Çalışma alanı merkez olmak üzere 150 km çapındaki alan içerisinde tarihsel ve aletsel dönemde meydana gelmiş depremlerin merkez üstlerinin dağılımları (DAD, 2002)



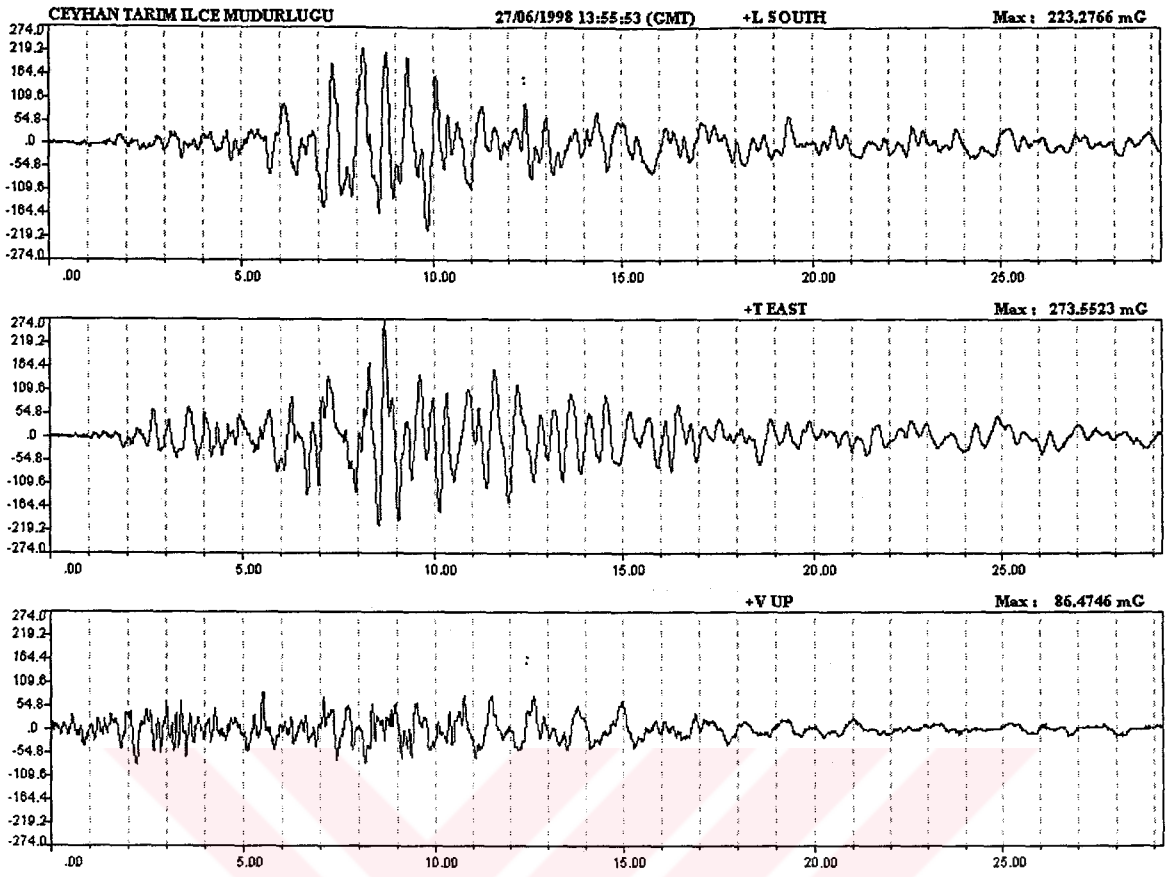
Şekil 2.10. Adana-Ceyhan bölgesinde 1881-2003 yılları arasında meydana gelmiş ve büyüklükleri 4.2 ve üzerinde olan depremlerin, büyüklükleri ile oluş sayıları arasındaki ilişki (DAD, 2002).

Çalışma alanı ve yakın çevresinde meydana gelmiş, tarihsel ve aletsel dönemlere ait depremlerin lokasyon, büyüklük ve derinlikleri mevcut kayıtlardan derlenmiş ve Çizelge 2.1'de sunulmuştur.

Çalışma alanı ve yakın çevresinde büyük ve ciddi hasarlara neden olan 27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan depreminin odak mekanizması çözümlemeleri sonucunda depreme neden olan fay düzleminin KD-GB doğrultusunda olduğu anlaşılmaktadır. KD-GB doğrultulu bu fay düzlemi ve artçı depremlerin dağılımı, Misis fayı ile uyum göstermektedir. Ancak bu depremde, yüzeyde çok belirgin bir yüzey kırığı görülmemiştir. Bunun nedeni ise muhtemelen depremin meydana geldiği alanlarda çok kalın bir alüvyon örtünün bulunmasından kaynaklanmaktadır (Aydan et al., 1998; Barka ve Akyüz, 1998). Adana-Ceyhan depreminde ölçülen en büyük yer ivmesi değerleri; K-G yönünde 223.27 gal, D-B yönünde 273.55 gal ve düşey yönde 86.47 gal dir (Şekil 2.11). Depremden sonra ise, büyüklüğü 2.0 ile 5.0 arasında değişen yaklaşık 224 artçı deprem meydana gelmiştir.

Çizelge 2.1. İnceleme alanı ve yakın çevresinde tarihsel ve aletsel dönemlerde meydana gelen depremlere ait veriler (Ergin vd., 1967, Gençoğlu vd., 1990 DAD, 2000; Kuru 2001'den alınmıştır).

Tarih	Büyüklik (M_s)	Odak Derinliği (m)	Merkez
290	6.3	-	Ceyhan-Tarsus
517	-	-	Anavarza-Adana
524	6.3	-	Misis-Ceyhan
1114	-	-	Ceyhan-K.Maraş
1268	6.2	-	Kozan-Ceyhan
1855	5.4	-	Kozan
1896	5.4	-	Adana-Mersi
1908	6.0	-	Kozan
1915	5.2	10	İskenderun
1918	5.3	-	İmamoğlu-Adana
1925	4.6	-	Adana
1928	4.8	-	İskenderun
1929	4.3	-	Adana
1933	5.0	30	Adana
1941	4.6	100	Kozan
1945	6.0	60	Ceyhan-Misis
1950	4.5	-	Hatay civarı
1952	5.6	70	Ceyhan-Misis
1961	4.7	100	Anavarza
1964	4.6	4	Adana
1966	4.8	58	Ceyhan
1981	4.4	36	İskenderun
1987	4.2	10	Anavarza
1994	4.3	17	Ceyhan-Anavarza
1994	4.8	26	Ceyhan-Anavarza
1998	6.2	23	Adana-Ceyhan
2000	4.8	14.7	K.Maraş
2000	4.6	13.6	K.Maraş
2000	4.8	10	Osmaniye



Şekil 2.11. 1998 Adana-Ceyhan depreminin Ceyhan Meteoroloji İstasyonunda alınmış ivme kaydı (DAD, 1998).

3. KALIŞ TANIMI, OLUŞUMU VE İÇ YAPI ÇÖKME MEKANİZMASI

Kaliş ile ilgili yapılmış çalışmaların büyük bir kısmı, kalişin kökeni ve oluşum mekanizmasını ortaya koymaya yöneliktir. Büyük oranda kalsiyum karbonattan oluşan kaliş, farklı araştırmacılar tarafından, jeolojik açıdan değişik şekillerde tanımlanmıştır. Çalışmanın bu bölümünde, araştırmanın temel malzemesini oluşturan kalişlerin tanımı, oluşumu ve çökme mekanizması literatürden derlenmiş ve ilgili başlıklar altında kısaca tartışılmıştır.

3.1. Kalişin Tanımlanması ve Oluşum Mekanizması

"Caliche" sözcüğü İspanyolca kökenli olup, ilk kez yaygın olarak Güneybatı Amerika'da bağlayıcı malzemesi kalsiyum karbonat olan çakıl ve benzeri oluşumlar için kullanılmıştır (Palta, 1997).

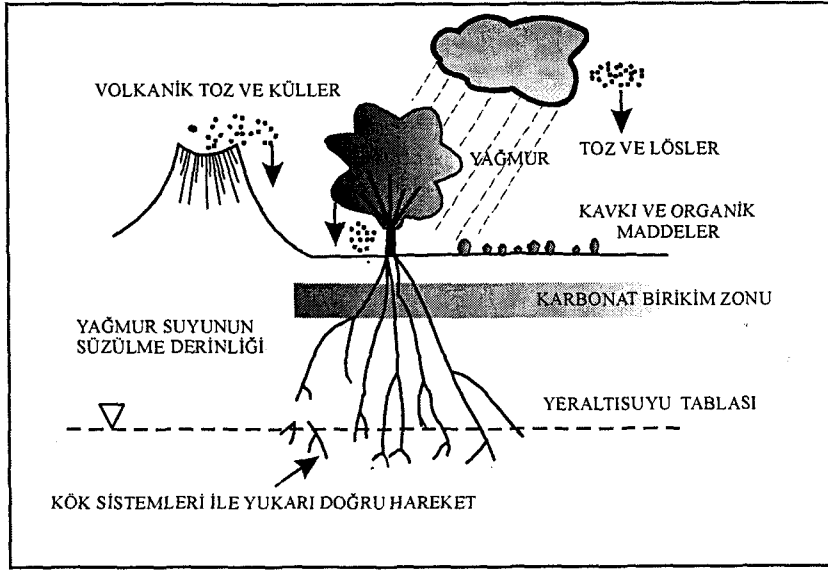
Goudie and Pye (1983), tarafından düşey yönde zonlanma gösteren ve yatay veya yataya yakın konumda bulunan, kalsiyum karbonatın baskın olduğu karasal bir oluşum olarak tanımlanan kaliş, gevşek durumdan oldukça sıkışmış durumlara geçiş gösterir. Çoğunlukla doymuş olmayan zonlarda, toprak, kaya ve bozunmuş malzemenin yer değiştirme ve/veya çimentolanmasına işaret eder. Bunun yanı sıra, karbonat çimentolu rüzgar çökelleri de kaliş olarak sınıflandırılmaz. Çünkü kaliş dokusu, basit çimentolanmada olduğu gibi tane destekli ve iri kristalli dokudan oldukça farklıdır. Kalişler genellikle ince kristaller ve mikrosparit içerirler. Goudie and Pye (1983), kalişin oluşum modelleri ile ilgili farklı yaklaşımlarda bulunmuşlardır. Bu yaklaşımlara göre, kaliş oluşumu üç farklı model ile açıklanabilmektedir.

3.2. Kalişin Oluşumuna İlişkin Modeller

3.2.1. Süzülme modeli (Per Descensum)

Süzülme ile oluşan kaliş modelinde, atmosferdeki toz, bitki kalıntıları ve hayvan kavkılarındaki karbonat, yağmur suları ile aşağı doğru süzülür ve toprak profilinin

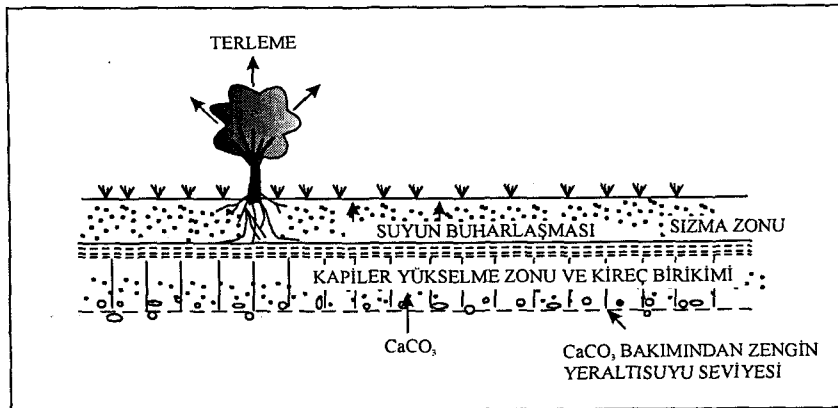
alt seviyelerinde çökeler (Şekil 3.1). Daha sonraki buharlaşma, karbonatın yüzeyde birikmesine ve kalış oluşumuna neden olur.



Şekil 3.1. Süzülme ile oluşan kalış modeli (Goudie ve Pye, 1983'den)

3.2.2. Kapiler yükselme modeli (Per Ascrrsum)

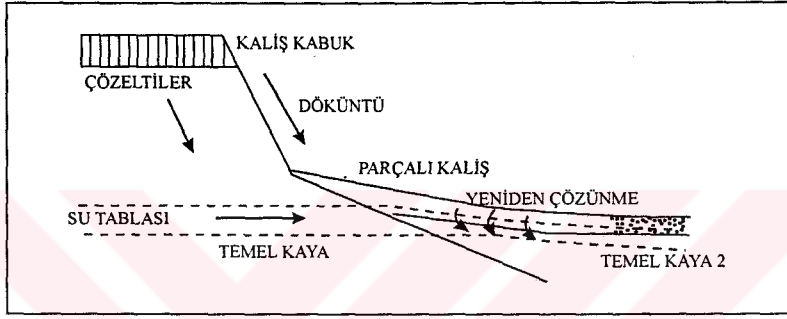
Yüzey sularının süzülerek aşağı doğru inmesi, ortamdaki kalsiyum karbonatın çözünmesine neden olur. Su, kapiler kuvvetler etkisiyle yukarı doğru hareket eder ve buharlaşır. Suyun buharlaşması sonucu kalsiyum karbonat çökelişi meydana gelir (Şekil 3.2). Bu model, yeraltısuyunun kalsiyum karbonatça zengin ve yüzeye yakın olduğu durumlarda oluşmaktadır.



Şekil 3.2. Kapiler yükselme ile oluşan kalış modeli (Goudie ve Pye, 1983'den)

3.2.3. Kırıntı modeli (Detrial)

Bu modelde, kalışın bozunmaya uğramış parçaları taşınmakta ve uygun bir yerde tekrar depolanmaktadır (Şekil 2.3). Yüksek topoğrafyada oluşan kalış kabuk, fiziksel ve/veya kimyasal bozunma sonucu parçalanarak daha düşük topağrafyaya sahip bölgelerde birikmekte ve burada yeniden çözünerek yeraltısuyuna karışmaktadır. Bunun yanı sıra, kalış kabuk çözelti yoluyla çözünerek de yeraltısuyu tablasına kadar ulaşır. Bu süreçlerin sonunda, ya da devamında yeni kalış oluşumu gerçekleşmektedir.



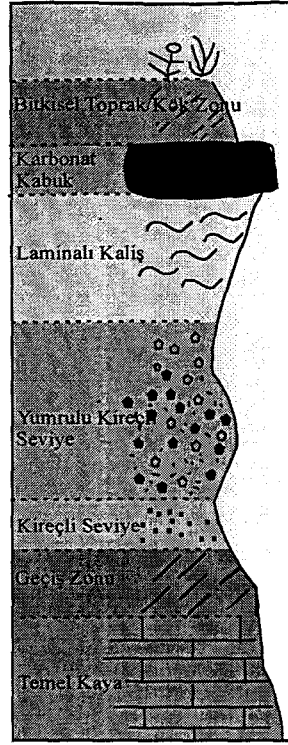
Şekil 3.3. Kırıntılarla oluşan kalış modeli (Goudie ve Pye, 1983'den)

3.3. Kalış Profili

Scholle et al;(1983)'a göre ideal bir kalış profilinde olması gereken seviyeler; temel kaya, geçiş zonu, kireçli seviye, yumrulu kireçli seviye, laminar kalış, karbonat kabuk ve bitkisel toprak şeklindedir (Şekil 3.4).

3.3.1. Karbonat kabuk (hardpan)

Karbonat kabuk; oldukça iyi çimentolanmış bir seviye olup genellikle bozunmaya karşı diğer seviyelere göre daha dayanımlıdır. Bu seviye, iyi çimentolanmış mikrokristalin ve kriptokristalin kalsitten oluşur. Kalın karbonat kabukta çatlama, tektonik olmayan breşleşme, çözünme ve yeniden çimentolanma gözlenir. Ayrıca,



Şekil 3.4. İdeal bir kaliş profili (ölçeksiz) (Scholle et al., 1983'den).

seviye içerisinde pizolit ve rizolitlere de rastlanır. Genellikle beyaz veya krem renginde olup, makroskopik olarak masif, laminallı, breşik veya yumru olabilir (Harrison, 1977).

3.3.2. Laminallı (platy) kaliş

Her zaman kalsiyum karbonat kabuğun altında bulunur. Karbonat kabuk olmadığı durumlarda ise, kalkerli seviyenin en üst kısmında veya toprak örtünün altında yer alır. Yatay, yataya yakın veya dalgalı ince tabakalı yapısı ile karbonat kabuktan ayrılır. Alveoler doku, uzun lifli doku ve bitki kök boşluğu veya dolgusu gözlenir. Laminallı kalişin ileri aşamalarında karbonat kabuk oluşur (Harrison, 1977).

3.3.3. Yumrulu (nodüler) kaliş

Az miktarda kalsiyum karbonat içeren bir matriks içinde toz veya taşlaşmış halde kalsiyum karbonat birikimi ile oluşur. Yumruların şekilleri ve boyutları değişik olabilir. En büyük yumru boyutu 10-15 cm olmakla birlikte, bazı profillerde daha

büyük boyutlu nodüllere rastlamak da mümkündür. Profil içerisindeki hem nodül-matriks oranı, hem de nodül boyutu, profilin yukarı kesimine doğru bir artış göstermektedir. Bununla birlikte, ender de olsa, bunun tam tersinin gözleendiği profillere de rastlanmaktadır (Harrison, 1977).

3.3.4. Yumrulu, kireçli seviye

Pek çok profilde, yumrulu seviye ile kireçli seviye arasındaki sınırı gözle ayırt edilmesi oldukça güçtür. Bu iki seviye arasında mineralojik özellikleri bakımından farklılık mevcuttur. Bazen bu sınır, ayrı bir seviye olarak da değerlendirilmektedir (Harrison, 1977).

3.3.5. Kireçli seviye

Bu seviye, çimentolanmış silt boyutunda beyaz ve krem renkli kalsit tanelerinden meydana gelmekte olup, yapısal ve dokusal olarak homojen kabul edilebilir. Buharlaşma derecesine göre bazı kalış profillerinde hiç gelişmez ve buharlaşmanın yoğun olduğu bölgelerde kirecin bu seviyede birikmediği gözlenmiştir (Harrison, 1977).

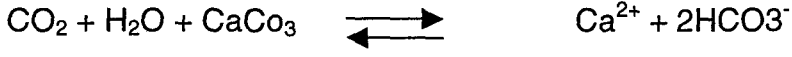
3.3.6. Geçiş seviyesi

Geçiş seviyesi, bozunmamış temel kaya ile kalış seviyeleri arasında yer alır. Bir bozunma zonu olduğu için temel kayaya ait özelliklerin gözleendiği profil zonu olarak önem taşımaktadır (Harrison, 1977).

3.3.7. Temel kaya

Temel kaya farklı bileşim, doku ve yaşa sahip olabilir. Kalış profilinin gelişmesi için duraylı bir temel kaya gereklidir. Diğer bir ifadeyle, kalış profilinin oluşmasını sağlayacak yeterli miktarda CaCO_3 getiriminin temel kaya tarafından karşılanması gerekmektedir (Harrison, 1977).

Harrison (1977)'a göre bozunma sonucu oluşan iki önemli karbonat fasiyesi bulunmaktadır. Bunlar; kaliş ve karst fasiyesleridir. Her iki fasiyeste de kalsiyum karbonatın hareketliliği söz konusudur. Bu tür fasiyeslerde, çözünme ve çökelme olayları kimyasal olarak, aşağıdaki kimyasal reaksiyonlarla ifade edilir.



SICAKLIK ↓ ⇒ pCO₂ ↑, pH ↓ → ÇÖZÜNME

SICAKLIK ↑ ⇒ pCO₂ ↓ → ÇÖKELME

Karst ve kaliş fasiyesleri aynı bölgelerde gözlenebilir. Zamanla, kaliş fasiyeslerinde karstlaşma gelişirken, karstik yüzeylerde de kaliş oluşabilmektedir. Her iki oluşum arasında bazı önemli farklılıklar vardır. Kaliş; yarı kurak iklim koşullarında oluşurken, karst fasiyesi su bulunan bütün iklimlerde gözlenebilir. Ayrıca kaliş, yüzeyde veya yüzeye yakın doygun olmayan bölgelerde oluşur. Genellikle yağışın buharlaşmadan fazla olduğu bölgelerde ise; karst gelişimi gözlenirken, buharlaşmanın yağıştan fazla olduğu bölgelerde kaliş oluşur.

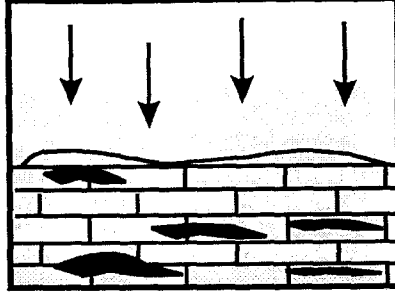
3.4. Kaliş Oluşumu

Kaliş oluşumuna bakılacak olursa; iklim toprak, temel kaya ve zaman arasındaki karmaşık ilişki kaliş için genel bir model oluşturulmasını engellemektedir. Buna rağmen pek çok kaliş profili için ortak diyajenetik süreçler söz konusudur. Bu süreçler, Harrison (1977) tarafından; çözünme süreci, kabuk gelişim süreci, karbonat eklenmesi süreci ve orijinal profilin bozunma süreci olarak gruplandırılmış olup, bunlar aşağıda ayrı başlıklar altında açıklanmıştır.

3.4.1. Çözünme süreci

Bu süreç; karbonat kayaçların aşınma yüzeyleri, tektonik hareketler ve deniz seviyesindeki düşüş nedeniyle oluşabilir. Yüzeye çıkan kayaçlar, yağış sularının etkisiyle çözünmeye uğrarlar. Yağış sularının bozunma yüzeyine yakın yerlerde birikip, buharlaşması, daha kalın kalsiyum karbonat çökelimine olanak sağlar (Şekil 3.5) .

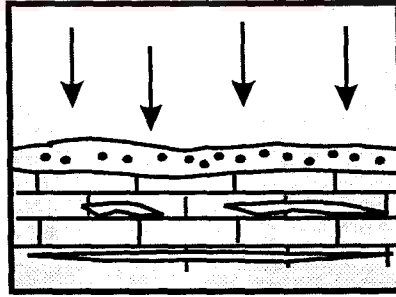
Bozunma yüzeylerindeki karbonat çökelleri yağmur ile çözünür. Kalsiyum karbonat yüzeyde veya yüzeye yakın seviyelerde düzensiz siyah merccekler şeklinde çökeler.



Şekil 3.5. Çözünme süreci (Harrison 1977'den)

3.4.2. Kabuk gelişim süreci

Zaman içerisinde kalsiyum karbonat kaynağı çözünmeye ve kalış içerisinde çökme sürecine devam eder. Bu süreç sonunda, yeterli miktarda ikincil karbonat birikir ve meteorik suyun aşağıya doğru dolaşımı engellenir. Böylece, suyun yüzeye yakın bir yerden buharlaşmasıyla kalsiyum karbonatın çökelişi için uygun ortam hazırlanmış olur (Şekil 3.6).

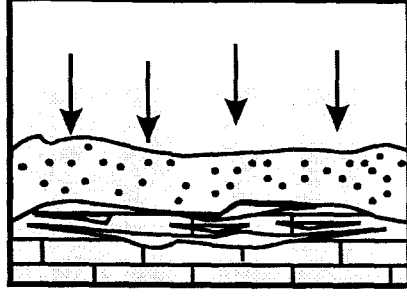


Şekil 3.6. Kabuk gelişim süreci (Harrison 1977'den)

3.4.3. Karbonat eklenmesi süreci

Geçirimsiz seviyelerin oluşması ile kalsiyum karbonat çökelişi sınırlanır. Karbonatın eklenmesi, üst kısımda bulunan kalsiyum karbonat kaynağı

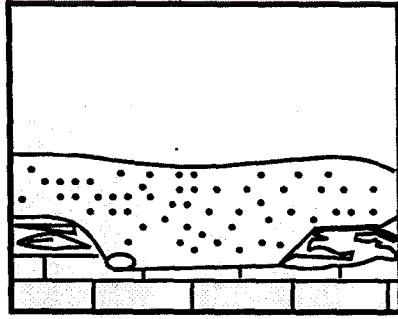
tükeninceye kadar devam eder. Bu, çökelme seviyesi ile çözünme seviyesinin yüzeylerinin birleşmesi olarak tanımlanabilir (Şekil 3.7.).



Şekil 3.7. Karbonat eklenmesi süreci (Harrison 1977'den)

3.4.4. Orijinal profilin bozunma süreci

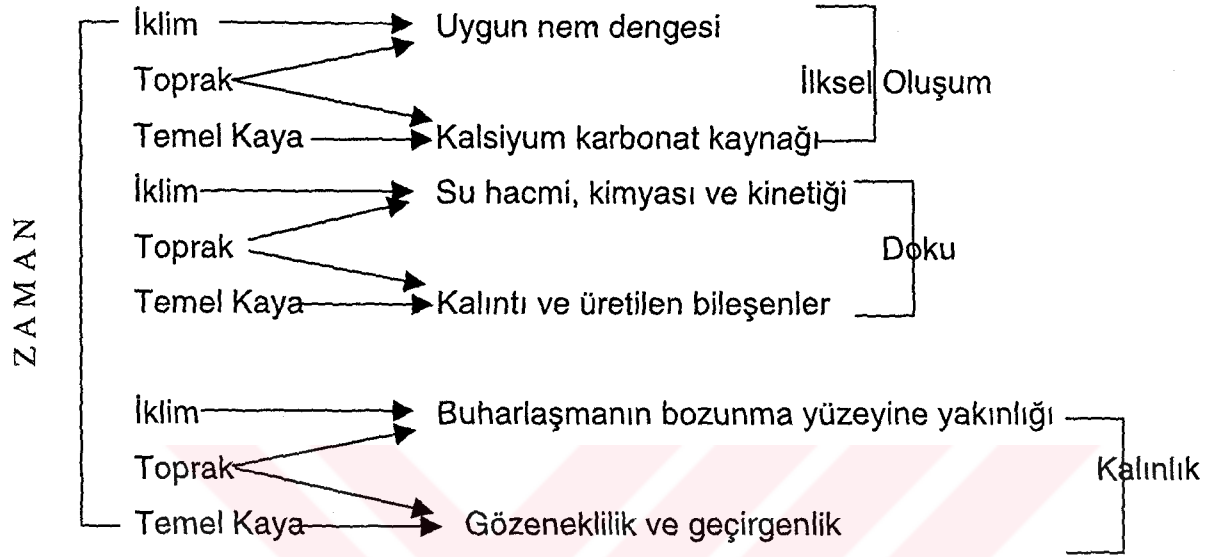
Orijinal profilin bozunması süreci; çözünme-çökelme öncesi oluşmuş kalış profilinin üst kısmında meydana gelir. İdeal istif, kalış profilinin oluşması için gerekli süreçlerin tümünü kapsıyor gibi görünse de, yerel kalış evrimi kendi kendini sınırlar. Orijinal kalışın yokolumu, başka bir profil oluşumunun başlangıcına işaret eder. Eğer yağış suları bozunma yüzeyine yakın, aşağı doğru hareketine devam ederse, kalışın gelişimi de buna bağlı olarak devam eder (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Orijinal profilin bozunma süreci (Harrison 1977'den)

Harrison (1977), kalış oluşum ve evrimini etkileyen, iklim, zemin, temel kaya ve zaman olmak üzere dört ana faktör belirlemiştir. Bu faktörlerden hiç biri tek başına kalış oluşumunu, dokuyu ve kalış profilinin kalınlığını belirleyemez. Kalış oluşumu için gerekli parametrelerin rolü zamana bağlı olarak incelendiğinde, oldukça

karmaşık bir hal alır. Kalişin oluşum süreci boyunca doğal koşullar duraylı kalmaz. İklim, toprağın doğası, nem dengesi ve kalsiyum karbonat sağlanabilme olanakları değişim gösterebilir. İklim, toprak ve temel kayanın zamana bağlı kaliş oluşumuna etkisi ve aralarındaki ilişki Şekil 3.9'da özetlenmiştir.



Şekil 3.9 Kaliş oluşumunda zaman, iklim, toprak ve temel kaya arasındaki ilişki (Harrison, 1977'den)

Kaliş oluşumu uygun nem oranı ve kalsiyum karbonat kaynağı gerektirir. Kalsiyum karbonat topraktan veya doğrudan temel kayadan sağlanabilmektedir. Kaliş profilinin kalınlığı, nem oranına, kayacın gözeneklilik ve geçirimliliğine ayrıca, kalsiyum karbonat kaynağının malzeme sağlama olanağına bağlıdır.

3.5. Kaliş Oluşumunu Etkileyen Faktörler

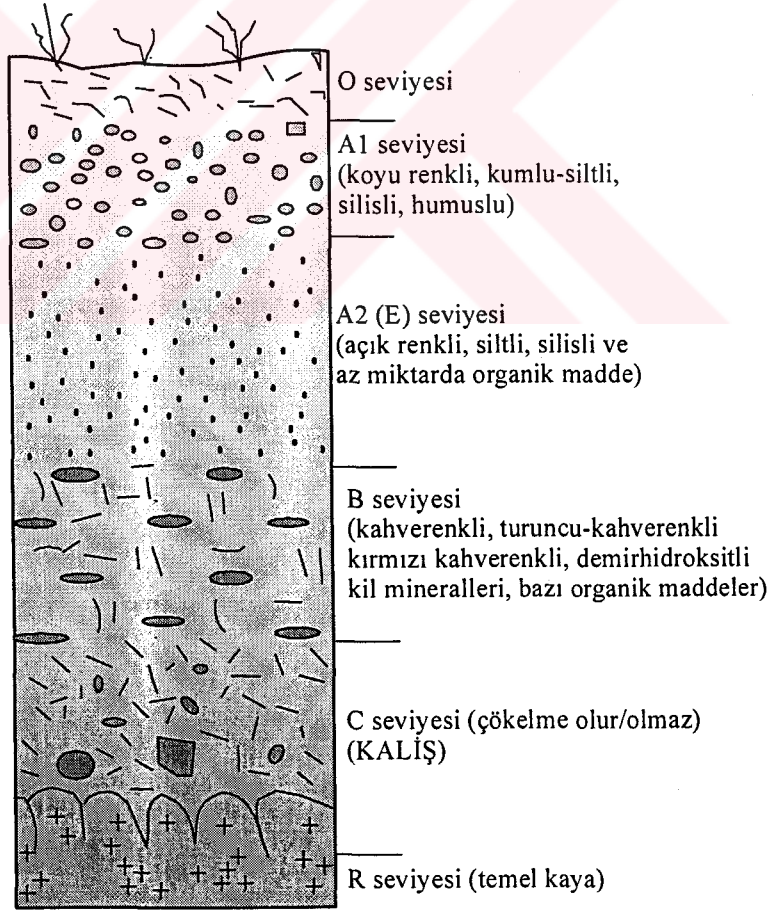
Daha önceden de söz edildiği gibi, kaliş oluşumunu denetleyen başlıca dört faktör olup, bunlara aşağıda ayrı başlıklar altında değinilmiştir.

3.5.1. İklim

Kaliş oluşumu için uygun nem dengesinin sağlanması gereklidir. Suyun çok az olması, sert yüzey gelişimini zorlaştırmakla birlikte, çok fazla su, sızmaya ve çözünmeye neden olacağından karst gelişimi meydana gelecektir. Kaliş gelişimi için en uygun koşul, kısa süreli fazla yağışı izleyen eden, uzun süreli hızlı buharlaşma ve kuraklıktır. Bu koşul, yıllık ortalama yağışın düşük olduğu ve yarı kurak iklimler için çok tipiktir (Harrison, 1977).

3.5.2. Toprak örtüsü

Tipik bir toprak profili O, A, E, B ve R seviyelerinden oluşur (Şekil 3.10). Kaliş toprak profili içinde C seviyesi olarak adlandırılan, kil ve humus içermeyen kısımda oluşur .



Şekil 3.10. Tipik toprak profili (Harrison, 1977'den)

Toprak örtüsü kalış oluşumu için çok önemlidir. Toprak, kalış profilinin gelişimi için gerekli kalsiyum karbonatın sağlandığı bir kaynak olabilir. Ayrıca toprak, yağış sularının kimyasal özelliklerini değiştirebilmekte, diğer bir değişle, sızma ve buharlaşma sırasında, topraktaki mineral ve bileşikler çözünme yolu ile suyun kimyasına etki etmektedir.

3.5.3. Temel kaya

Kalış oluşumunda temel kayanın iki önemli rolü vardır. Bunlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- 1- Kalsiyum karbonat kaynağı olabilir. Temel kayadaki kalsiyum karbonat, yüzeyden sızan sular yardımıyla çözeltilir ve daha sonra buharlaşma ile kalış olarak çöker.
- 2- Temel kayanın gözeneklilik ve geçirimsizliği fasiyes ve çimentonma derecesinin bir fonksiyonudur. Gözeneklilik ve geçirimsizlik kalış profilinin kalınlığına etki etmektedir.

3.5.4. Zaman

Kalış oluşumu üzerinde zamanın etkisi oldukça değişkendir. Aynı yaştaki birimler, birbirleriyle aynı kalınlıkta olmak zorunda değildir. Temel kayanın sağladığı CaCO_3 miktarı, iklimsel koşullar, farklı kimyasal özellikteki toprak örtü, aynı zaman aralığında, farklı bölgelerde oluşan kalış profilinin özelliklerini ve kalınlığını etkilemektedir. Kalış oluşumunu sağlayan faktörlerin, zaman içindeki etkinliği profilin özellikleri bakımından oldukça büyük bir önem taşır (Harrison, 1977).

3.6. İç Yapı Çökme Mekanizması

Çökebilir topraklar, tüm dünya üzerinde alansal açıdan geniş bir yayılıma sahip olan jeolojik malzemelerdir (Rogers, 1995). Genel olarak dünya literatürüne

bakıldığında çökebilir toprakların dağılımı Şekil 3.11'de verilen harita üzerinde gösterilmiştir.

Çökme potansiyeline sahip toprakların daha çok; artık granitik malzemeler, tüfler, alüvyon yelpazeleri, lösler ve karbonatlı kayaçların olduğu literatürde belirtilmiştir (Rogers, 1995). Bu tür topraklar genellikle çok az miktarda kil içeren, silt ve ince kum tane boyundaki malzemelerdir. Kil içeriğinin %10 ile %20 arasında olması çökme açısından idealdir. Kil miktarının bu oranları aşması durumunda, malzeme tipik plastik kil davranışı sergilemekte ve çökme mekanizması oluşmamaktadır. Çok az miktardaki kil içeriği ve parçacıklar arasındaki bağın yetersiz olması, çökme için gerekli olan duraysız yapıyı sağlamaktadır (Steven, 1998).

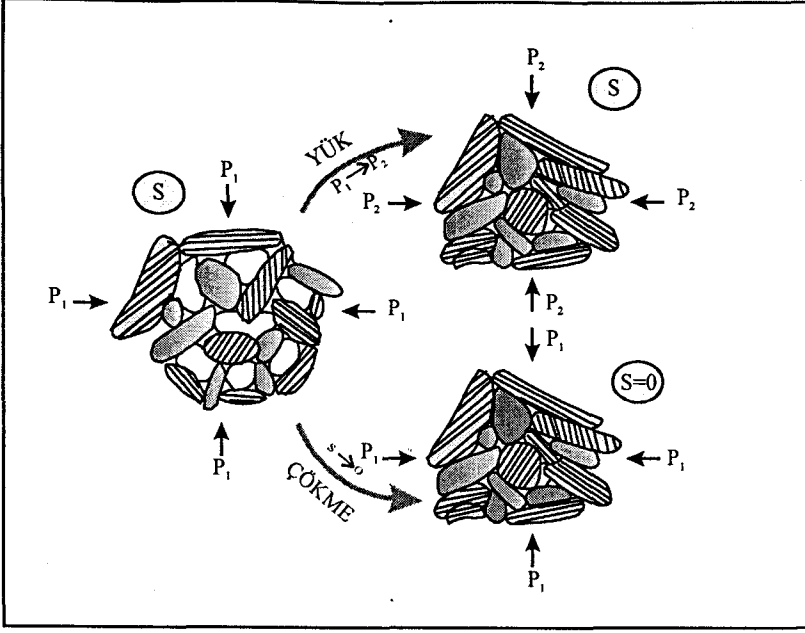
Çökebilir topraklar; sabit gerilim altında, doygun duruma geçtiklerinde çok büyük hacimsel değişme (hacimde azalma) uğramaları ile karakterize edilir. Bu tür malzemeler, kuru durumda yüksek bir dayanım sergilemekle birlikte, çok düşük yoğunluğa, gözenekli bir yapıya ve ıslanmaları halinde dayanımlarını kaybetme özelliğine sahip malzemelerdir.

İç yapı çökmesi; parçacıklar arasındaki gerilimin, köprülenme ile sağlanan bağ dayanımını aştığı durumlarda meydana gelmektedir. Bu mekanizmanın oluşmasına yük artışı (Şekil 3.12), ya da ıslanma (Şekil 3.13) veya bunların her ikisi birden neden olmaktadır. Yük artışı ya da gerilimlerdeki artış, uzun zaman süresince oluşan depolanmadan kaynaklanmakla birlikte, bunun diğer nedenleri arasında depremlerin neden olduğu dinamik gerilimler ve inşaattan kaynaklanan gerilim artışları sayılabilir. Islanma ise doygunluk derecesinin artışı olarak tanımlanmaktadır. Gözenek suyu basıncının artışına depremden kaynaklanan dinamik gerilimlerin yanı sıra, kapilaritenin neden olduğu bilinmektedir.

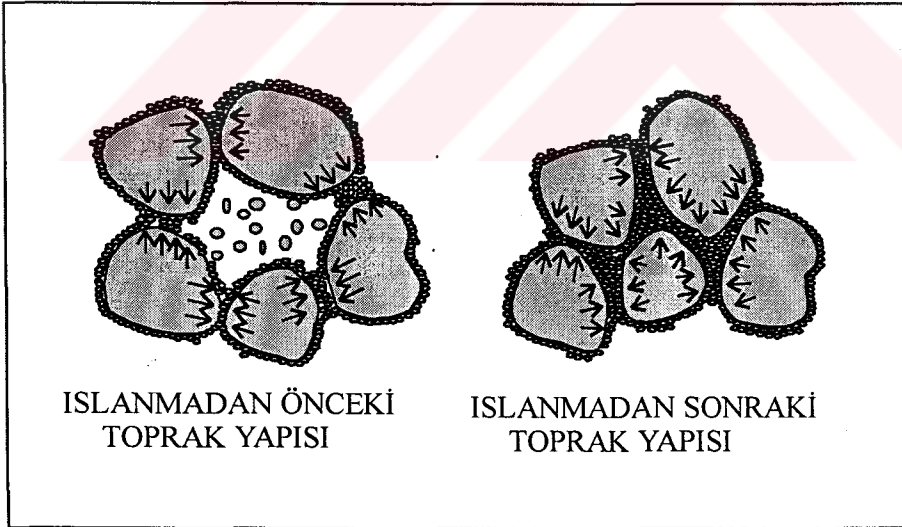


Çökebilir toprakların alansal yayılımı

Şekil 3.11. Çökebilir toprakların dünya üzerindeki genel dağılımı (Rogers, 1995'dan alınan verilerle düzenlenmiştir).



Şekil 3.12. Yük artışı ile oluşan çökme deformasyonunun mikroyapısal görünümü (Rogers, 1995'den).



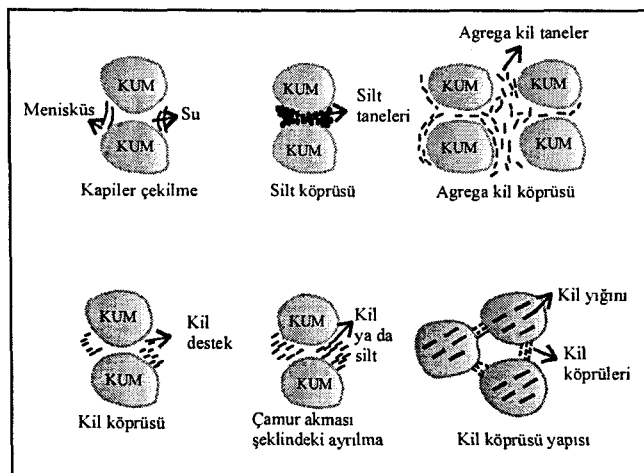
Şekil 3.13. Islanma ile oluşan çökme mekanizması (Houston et al., 1998'den)

Çökebilir toprakların tanımlanmasına yönelik, aşağıda verilen bazı özelliklerin belirlenmesi önemlidir.

- a) Yüksek boşluk oranı ve gözeneklilik
- b) Düşük kuru yoğunluk
- c) Jeolojik olarak genç, ya da güncel bozunmuş çökeller
- d) Açık bir yapı.

Bu dört özellik, taneler arasındaki yeniden düzenlenme, hacimsel azalma ve sıvı dolaşımını kolaylaştırıcı özelliklerdir. Malzemenin jeolojik olarak genç olması, ya da güncel bir bozunmaya maruz kalması, doğal süreçler yoluyla çökmenin meydana gelme olasılığını arttırmaktadır.

Parçacıkların şekli, gevşek paketlenmiş/istiflenmiş bir yapının oluşabilmesi için önemli bir unsurdur. Parçacıklar arası kuvvetler ve tanelerin daha küçük parçacıklarla dolması/dolmaması çökmeyi meydana getirici etkenler olarak kabul edilmektedir. Çökebilir toprakların tipik tane boyutu, genellikle silt ve ince kum ile sınırlı olmasına karşın bağlayıcı malzemenin boyutu ise değişkendir. Bunlar Şekil 3.14'de gösterildiği gibi; kil, silt, çamur tane boyutunda olduğu gibi, kil köprü yapılarında da gözlenebilir. Çökme mekanizmasını kontrol eden belirleyici faktörlerden birisi malzemenin boyutudur. Diğer bir deyişle, toprağın veya ana kayanın türünün önemi yoktur.

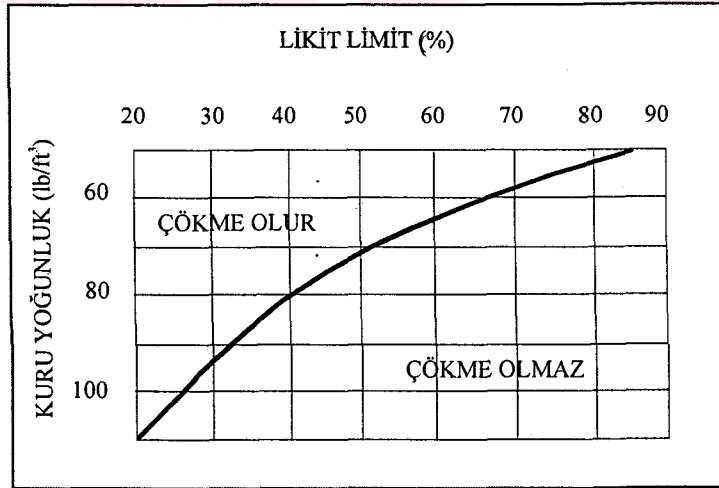


Şekil 3.14. Çökebilir topraklardaki bağlayıcı malzemelere ve dokulara örnekler (Rogers, 1995).

Bütün bu doğal malzemelere ek olarak, dolgular ve optimum nem içeriğinde sıkıştırılmış taneli malzeme ile yol agregaları da çökmeye duyarlı malzemelerdir.

Çökme mekanizmasının beklenmediği toprak zeminler, konsolide olma özelliği gösteren malzemelerdir. Killer ve kil gibi davranan tüm toprak zeminler bu sınıfa dahil edilebilmektedir. Kohezyonlu doygun zeminler artan yükler/gerilim altında gözeneklerindeki suyu dışarı atarlar ve böylece taneler birbirine yaklaşır, bu şekilde malzemede düşey yönde hacimsel bir azalma meydana gelir. Kilin tamamen doygun olmadığı durumlarda, taneler arasındaki kapiler tansiyon kuvvetleri gelişecektir ve bu da oldukça sıkı paketlenmiş bir yapı oluşturacaktır. Böyle bir durumda/yapıda çökme olayının gerçekleşmesi mümkün değildir (Rogers, 1995).

Toprakların çökebilirlik eğilimini tahmin etmede çeşitli yöntem ve deneylerden yararlanılmaktadır. Çökebilen toprakların belirlenmesine yönelik ölçütlerin bir kısmı yoğunluk ölçümlerine, kıvamlilik limitlerine, ya da her ikisine birden dayandırılmıştır. Örneğin; kuru yoğunluk ve likit limiti belirlenmiş toprakların bir grafik yardımıyla çökebilirlik eğiliminin tahmin edilmesi mümkündür (Şekil 3.15) (Lutenegger and Saber, 1988).



Şekil 3.15. Toprağın çökebilirlik eğilimin tahmin etmede kullanılan grafik (Lutenegger and Saber, 1988'den)

Çökme eğiliminin yanı sıra, toprakların çökme potansiyelinin (C_p) de belirlenmesi mümkündür. Çökme potansiyeli, doğal nem içeriğindeki örselenmemiş örnek üzerinde yapılan konsolidasyon deneyi ile belirlenmektedir. Aşamalı olarak 200 kPa gerilim değerine kadar yükleme yapılır ve örnek bu basınç aşamasında 24 saat doyurulur. Doyurulmuş örneğin yük altındaki e_1-e_2 (gözeneklilik oranı) belirlenir ve çökme potansiyeli, C_p , hesaplanır (Lutenegger and Saber, 1988).

$$C_p = \frac{e_1 - e_2}{1 + e_0} \quad (3.1)$$

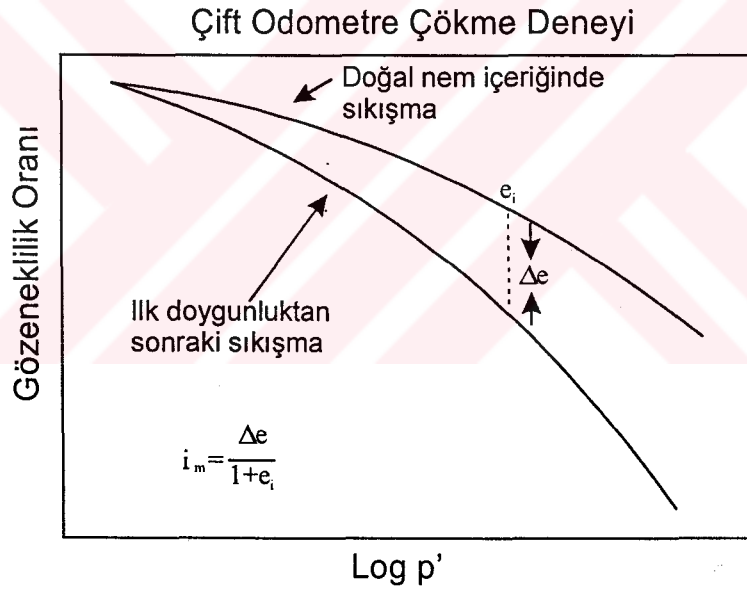
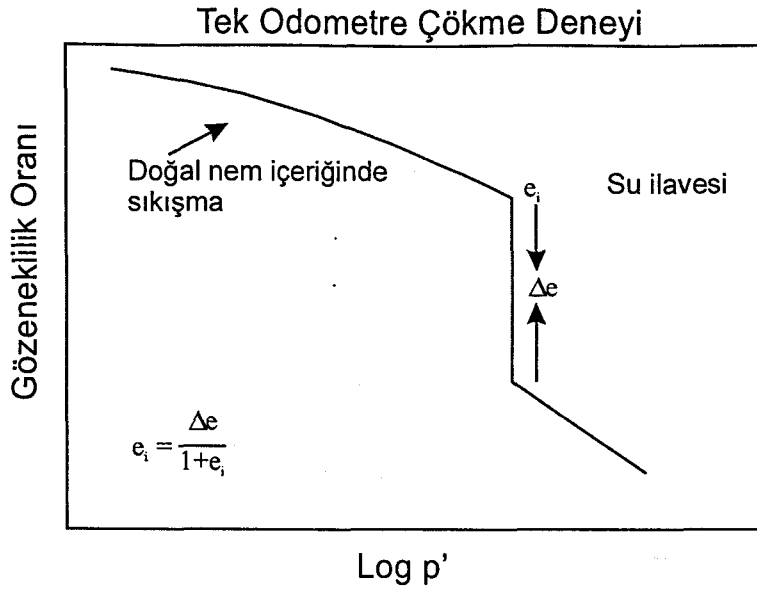
- e_0 : doğal boşluk oranı
- e_1 : örneğin doyurulmadan önceki gözeneklilik oranı
- e_2 : örneğin doyurulduktan sonraki gözeneklilik oranı

Temel problemleri ve C_p arasındaki ilişki; Clemence and Finbarr (1981) tarafından aşağıdaki şekilde sınıflandırılmıştır (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1 Temel problemleri ve C_p arasındaki ilişki (Clemence and Finbarr, 1981)

C_p (%)	Sorun
0-1	Temelde sorun olmaz
1-5	Orta derecede sorun olur
5-10	Temelde sorun olur
10-20	Temelde ciddi sorun olur
20	Çok ciddi sorunlu temel

Çökme potansiyelinin belirlenmesinde çift odometre deneyi sonuçları kullanılmaktadır. Bu yöntemde; biri doğal nem içeriğindeki, diğeri yarı doygun örnek üzerinde, iki odometre deneyi yapılmaktadır. Deformasyon miktarı, sıkışma eğrileri arasındaki farktır. Deformasyon, ıslatılmaya başlanan örneğin yüklenmesi süresince her gerilim seviyesinde oluşmaktadır (Şekil 3.16) (Lutenegger and Saber, 1988).



Şekil 3.16 Tek ve çift odometre deneyi (Lutenegger and Saber, 1988).

Çökmeye yönelik laboratuvarda yapılan deneylerin birtakım sınırlamaları bulunmaktadır. Bunlar;

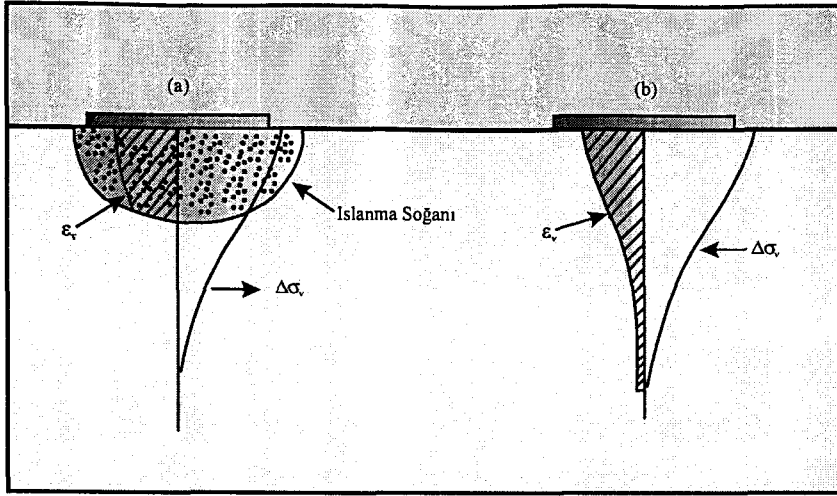
- (a) Örneğin örselenmesi
- (b) Örneğin ıslatma işleminin arazideki koşulları tam olarak yansıtmamasıdır.

Örneğin örselenmesi ile çökme potansiyelinin azalması ya da artırılması mümkün olabilmektedir.

Arazide çökme deneyi, plaka yükleme düzeneğiyle gerçekleştirilebilmektedir. Arazi çökme deneyinin üstünlükleri;

- (a) Örneğin örselenmesi en aza indirilir.
- (b) Islanma derecesi gerçeğe daha uygun olmaktadır.

Plaka yükleme deneyi; sığ hendeklerde, toprak yüzeyinde ve kuyularda yapılmaktadır. Toprak, derinliğe bağlı olarak ıslanmakta, ancak ıslanma derinliği belirlenmemektedir. Bu nedenle, sabit nem içeriğindeki toprak zeminlerde geleneksel plaka yükleme deneyinde etki zonu plakanın yarattığı gerilimlerle ilişkilendirilebilmektedir (Şekil 3.17a). Çökebilir topraklarda, çökebilme eğiliminin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen plaka yükleme deneyinde zemine yüklemeyle birlikte su verilmekte ve zeminin çökme eğilimi ortaya konulmaktadır. Bu nedenle, çökebilir topraklar içerisinde oluşan etki zonu, ıslanma zonuna eşittir (Şekil 3.17b). Plaka yükleme deneyinin en önemli üstünlüğü, “gerilim-deformasyon” ilişkisinin elde edilebilmesidir.



Şekil 3.17 (a) Yerinde çökme deneyi için düşey gerilim deformasyon profili , (b) geleneksel plaka yükleme deneyi (Houston et al., 1995)

Çökebilir topraklarda yapılan plaka yükleme deneyi, çökebilir toprakların tanımlanması ve çökebilirliğin yüksek-orta-düşük gibi derecelerinin belirlenmesi açısından son derece yararlıdır (Reznik, 1993).

Plaka yükleme deneyi sonuçları kullanılarak çökme potansiyeli (i_e) aşağıdaki eşitlikten hesaplanır.

$$i_e = \left(\frac{1}{E_w} - \frac{1}{E_N} \right) \times \Delta\sigma \quad (3.2)$$

E_N : çöken toprak zeminin deformasyon modülü (doğal halde)

E_w : çöken toprak zeminin deformasyon modülü (hedeflenmiş nem içeriğinde)

$\Delta\sigma$: ölü ve uygulanan yüklerin toplamı ile toprağın ilksel çökme basıncı arasındaki fark

İlksel çökme basıncı (toprağın çökmesi anında ölçülebilen basınç) örtü yükü basıncından küçük olmayacaktır. Oransal limit P_{pr} , ilksel çökme basıncı olarak kabul edilmektedir (Reznik, 1993).

Şekil 3.18'de tipik plaka yükleme-oturma eğrisi görülmektedir. Buna göre, deformasyon modülü aşağıdaki (Eş.3.3) eşitlikten hesaplanmaktadır.

$$EF = (1 - \mu^2) w d x \frac{\Delta P}{\Delta \varepsilon} \quad (3.3)$$

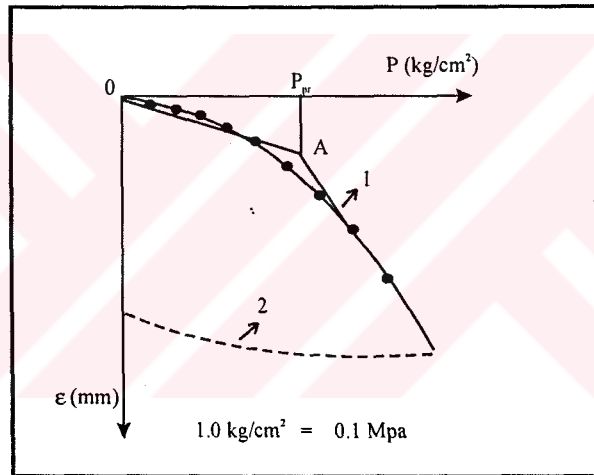
μ : Poisson oranı (0.3-0.35 arasında kabul edilir)

w : 0.785 (yuvarlak rijit plaka için)

d : yükleme plakasının çapı

ΔP : P_{pr} ile P_o arasındaki fark

$\Delta \varepsilon$: plaka yükleme sırasında meydana gelen oturma



Şekil 3.18. Oransal limitin ve deformasyon modülünün seçiminde kullanılan grafik (Reznik, 1993'den).

4. SAHA ÇALIŞMALARI

Adana-Ceyhan arasında kalan bölgede yer alan Adana Organize Sanayi Bölgesi ve yakın çevresindeki kalışların jeomekanik özelliklerinin ve iç yapı çökme mekanizmasının incelenmesi amacıyla hazırlanan bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen saha çalışmaları aşağıda sıralanan ana başlıklar altında yürütülmüştür.

- a) Kalış profillerinin yerlerinin belirlenmesi
- b) Kalış profillerinin ölçümü ve kesitlerin hazırlanması
- c) Plaka yükleme deneyleri
- d) Örnekleme çalışmaları
- f) Fotoanaliz çalışmaları için fotoğraf çekimleri
- g) Jeofizik etüdler

4.1. Kalış Profillerinin Yerlerinin Belirlenmesi

Kurak ve yarı kurak iklimin egemen olduğu bölgelerde oluşan kalışlar, Türkiye’de en fazla Doğu Akdeniz Bölgesi’nde, özellikle Adana ve Mersin illerinde gözlenmektedir. Bu bölgelerde gözlenen kalış profillerinin 200 m kalınlığa kadar ulaştığı bilinmekle birlikte, Trakya Bölgesi, Batı Akdeniz Bölgesi, Eskişehir ile Ankara’da olduğu gibi tanımlanamayan ve profil oluşturmeyen kalış oluşumlarına da rastlamak mümkündür (Palta, 1997).

Literatür çalışmaları ve Doğu Akdeniz Bölgesi’ndeki saha gözlemleri sonucunda kalış oluşumunun en yaygın olarak yüzeylendiği bölgenin, Adana ili Ceyhan ilçesi ile bu bölgelerin hemen kuzeydoğu kesimleri olduğu belirlenmiştir. Tez kapsamında yürütülen saha çalışmaları, inceleme alanının tümüyle kalışlardan oluşmasına rağmen, yüzeyde genellikle sadece sert kalış seviyesinin gözlenmesi, buna bağlı olarak kalış profilin tamamının belirlenememesi ve ayrıca sondaj yaptırma olanağının olmaması nedeniyle, mevcut inşaat kazılarının devam ettiği Adana Organize Sanayi Bölgesinde yoğunlaştırılmıştır. Bu bölgede, derinlikleri 20 m’ye ulaşan kazıların varlığı, kalış profilin tümünü gözlemlemeye ve kalış seviyelerinin belirlenmesine olanak sağlamıştır. Yukarıda belirtilen sınırlamalardan

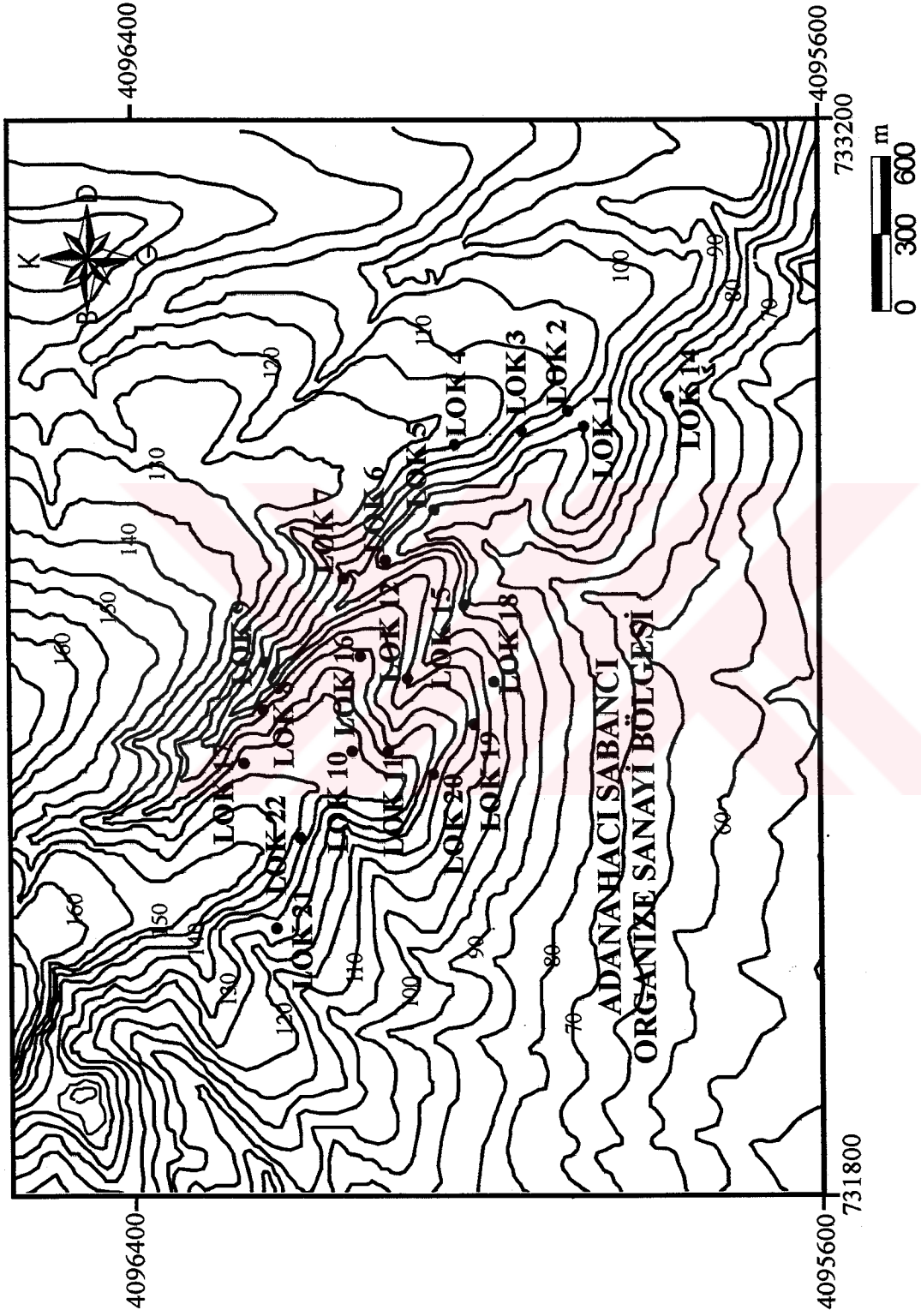
dolayı, saha çalışmaları sırasında belirlenen lokasyonlar sadece kazı sahaları ile sınırlı kalmıştır. Kalış profillerinin hazırlanması amacıyla incelenen lokasyonlarının konumları Şekil 4.1’de görülmektedir.

4.2. Kalış Profillerinin Ölçümü ve Kesitlerin Hazırlanması

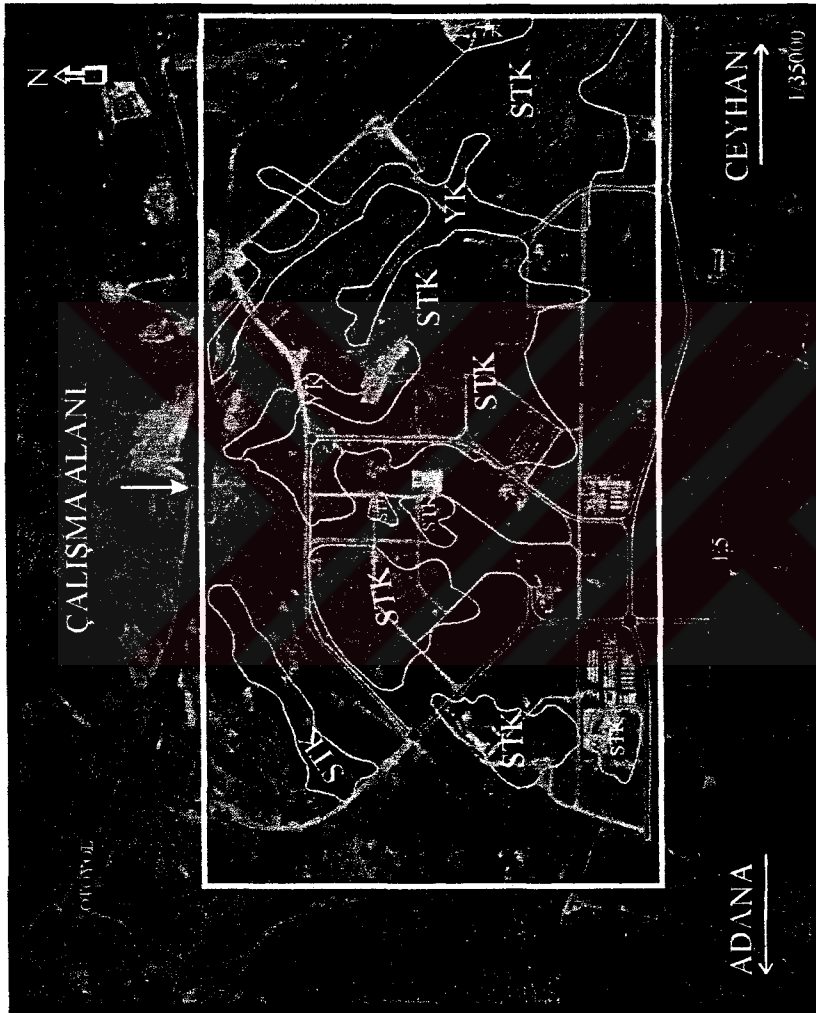
Kalış profilleri; oluşum mekanizmasına bağlı olarak, birbirinden farklı özellikteki seviyelerden oluşmasının yanı sıra, bu seviyelerin kalınlıkları ve yanal devamlılıkları değişimler göstermektedir. Kalış profilindeki bu değişimlerin neden kaynaklandığı, ya da böyle bir yapının gelişmesinde hangi koşulların etkin olduğu henüz kesin olarak açıklanamamaktadır. Halen araştırmaya açık bir konu olan “Adana ve yakın civarındaki kalış profilinin oluşum mekanizması” ile ilgili araştırmalar devam etmektedir. Bu tez çalışmasının inceleme malzemesini oluşturan kalış profilindeki seviyelerin kalınlık ve yanal devamlılıklarındaki değişimlerin de daha iyi anlaşılabilmesinde oluşum mekanizmasının açıklığa kavuşturulması önemli rol oynayacaktır. Ancak, doktora tezi kapsamında kalışların jeomekanik özelliklerinin ve iç yapı çökme mekanizmasının araştırılması amaçlandığı için, oluşum mekanizmasına yönelik bir çalışma yapılmamıştır.

Tünel, şev ve bina gibi jeolojik malzeme içerisinde ve/veya üzerinde gerçekleştirilen kazılar ve inşa edilen mühendislik yapıları, ortamın gerilim dağılımında değişimlere neden olur. Bu değişim zeminin dayanım ve deformasyon özellikleri ile dengelenmeye çalışılır. Ancak, kimi zaman küçük deformasyonlarla yeni gerilim dağılımı altında duraylılık sağlayabilirken, bazı durumlarda ise duraysızlıklar gelişir. Kısacası, iyi bir mühendislik tasarımı için ortamda yer alan birimlerin dayanım ve deformasyon özelliklerini kontrol eden parametrelerin doğru bir şekilde belirlenmesi gereklidir. Bu nedenle, tez çalışmasına konu olan kalış profilini oluşturan seviyelerin dayanım ve deformasyon parametrelerinin ayrı ayrı dikkate alınması gerektiği düşünülmüştür.

İnceleme alanında yüzeylenen kalışların alansal yayılımlarının belirlenmesi amacıyla, bölgenin 1/35 000 ölçekli hava fotoğrafları incelenmiş ve sert kalış ile yumuşak kalış sınırları çizilmiştir (Şekil 4.2). Daha önceki saha gözlemlerinden, yumuşak kalışın sadece vadilerde gözlenebildiği, alanın geri kalan kısımlarını ise



Şekil 4.1. İnceleme alanında belirlenen kazı lokasyonları



STK : Sert Kalış
YK : Yumuşak Kalış

Şekil 4.2. Hava fotoğrafları kullanılarak çizilen sert kalış ve yumuşak kalış sınırları

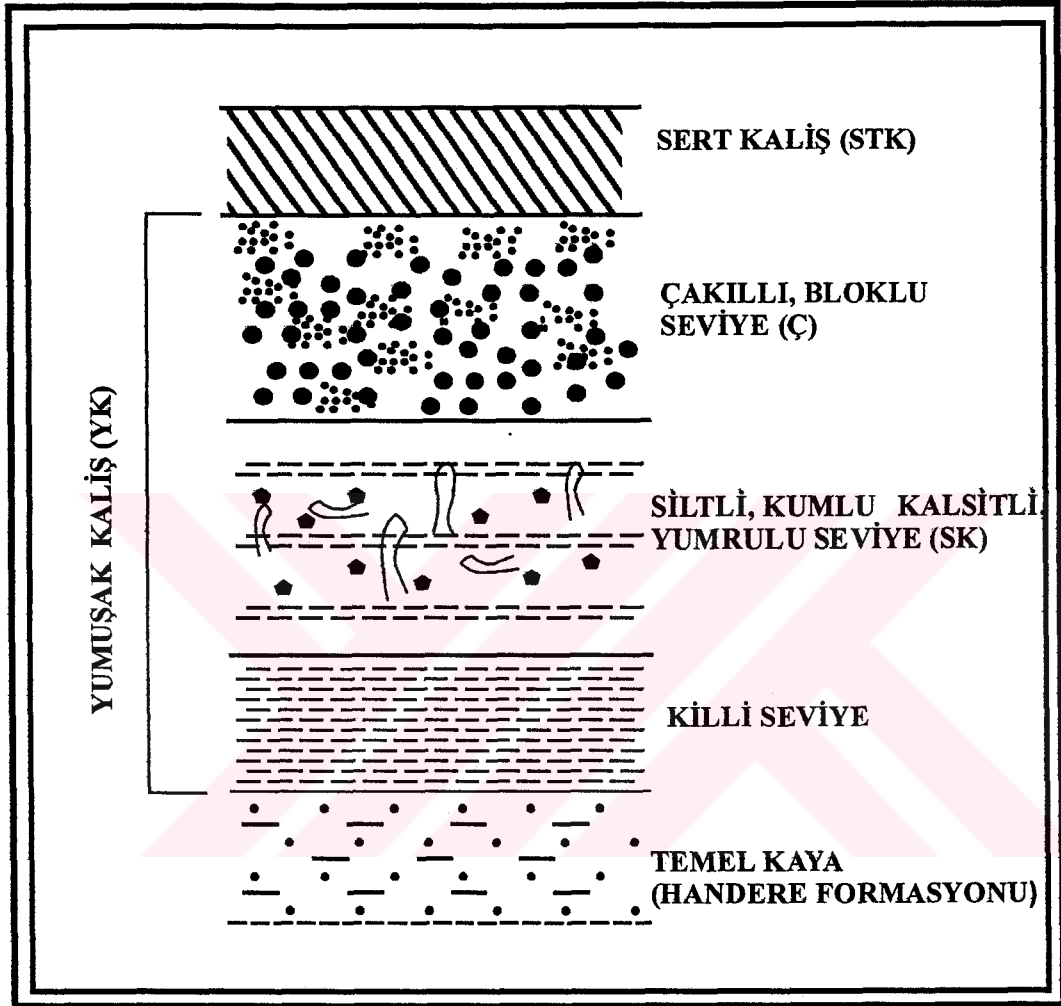
sert kalışın ve sert kalış üzerindeki toprak örtünün oluşturduğu bilinmekteydi. Saha gözlemlerinin yanı sıra, hava fotoğraflarındaki renk ve yapısal unsurlar dikkate alınarak çizilen sınırlar, daha sonraki saha çalışmaları sırasında denetlenmiştir. Sert kalış seviyesi hava fotoğraflarında açık renk tonu ve drenaj ağının gelişmemiş olmasıyla tipik bir biçimde ayırtlanabilmiştir. İnceleme alanındaki vadilerde ise daha koyu renk tonuyla yumuşak kalış seviyeleri gözlenmektedir.

Profil ölçümlerinin ilk aşamasında, tüm saha içerisindeki kazılarda gözlenen seviyeler, litolojik özellikleri dikkate alınarak ayırtlanmış ve genel bir dikme kesit tanımlaması yapılmıştır (Şekil 4.3).

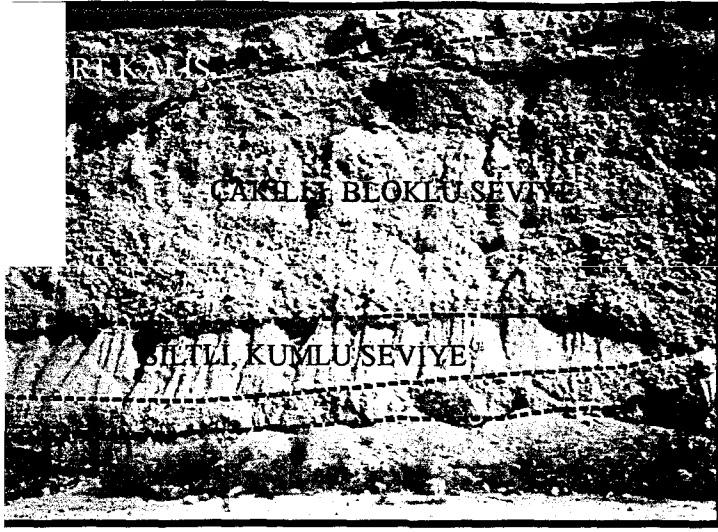
Saha çalışmaları sırasında, inceleme alanı içerisinde, sert kalış seviyesinin altında yeralan ve yumuşak kalışı oluşturan; çakıllı, bloklu seviye, siltli, kumlu seviye ve killi seviye olmak üzere üç farklı litolojik seviye ayırtlanmıştır. Temel kayanın Handere Formasyonu olduğu profilin en alt seviyesi, inceleme alanının kuzey kesimlerinde ve haritalanamayacak kadar küçük bir alanında gözlenmektedir. Temel kayanın üzerinde, yine alanın kuzey ve güneydoğu kesimlerinde, çok derin kazılarda ancak 1m'den az bir kalınlıkta gözlenebilen, bölgenin diğer kısımlarında ise hemen hemen hiç yüzeylenmeyen killi seviye yer almaktadır. Bu seviyenin üzerinde, kalınlığı ve yayılımı oldukça değişken olan kumlu, siltli, kalsitli ve yumrulu (SK) seviye bulunmaktadır (Şekil 4.3). Bu seviyenin üzerinde ve bazen SK seviyesi ile yanal geçiş gösteren, blok boyutunda malzemeden ve daha ince taneli bağlayıcıdan oluşan Çakıllı, bloklu (Ç) seviye yer almaktadır (Şekil 4.4). Profilin en üst seviyesini oluşturan sert kalış (STK) seviyesine inceleme alanının bazı yerlerinde hiç rastlamazken, bazı yerlerde kalınlığının 6 m'ye ulaştığı gözlenmiştir (Şekil 4.5).

Bu seviyeler, genel olarak tüm inceleme alanında birarada gözlenmekle birlikte, bazı lokasyonlarda profili oluşturan bu seviyelerden bir ya da birkaçının hiç oluşmadığı, ya da kalınlıklarının diğer lokasyonlara oranla çok az olduğu gözlenmektedir (Şekil 4.6).

Kalış profilinin kalınlığındaki ve aynı zamanda litolojik seviyelerin dağılımındaki bu farklılıklar, profilin tüm alan içerisindeki yayılımını belirleme zorunluluğunu



Şekil 4.3. Adana Organize Sanayi Bölgesi ve yakın çevresi için genelleştirilmiş kalış dikme kesiti (Ölçeksiz).



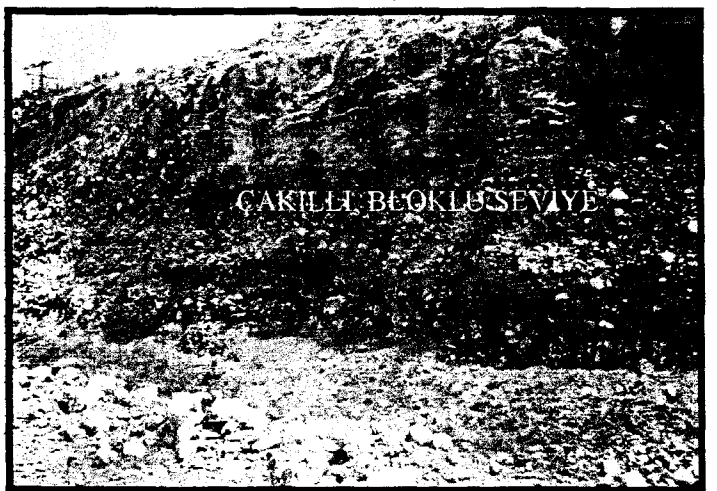
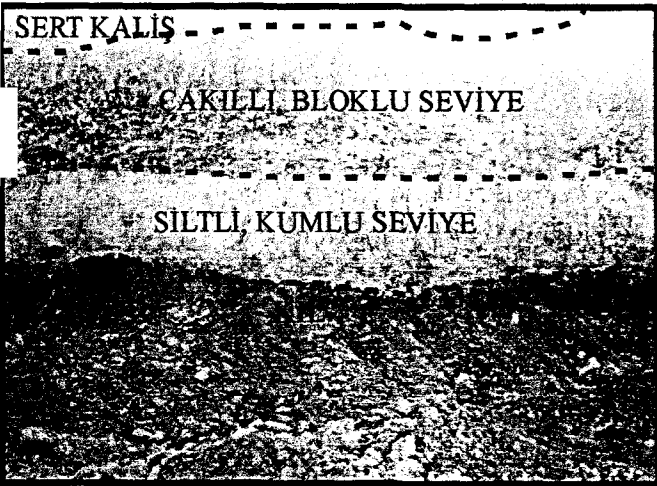
Şekil 4.4. Çakıl bloklu seviyedeki kalınlık değişimi ve SK seviyesi ile yanal geçişi (Lok. 5)



Şekil 4.5. Kalınlığı 6 m'ye ulaşan sert kaliş seviyesi (Lok. 12)

(a)

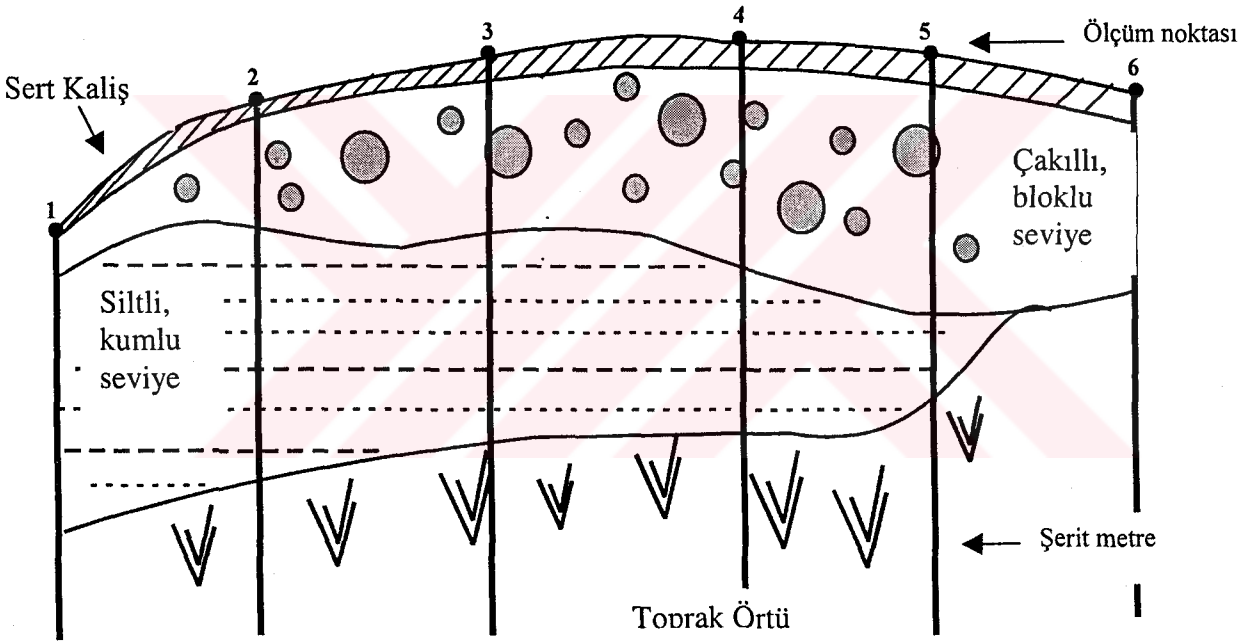
(b)



Şekil 4.6. Kalış profilini oluşturan seviyeler ve kalınlık değişimleri. (a) Lokasyon 3, (b) Lokasyon 6

getirmiştir. Çünkü, inceleme alanı içerisinde kalan bölgede, kazılar dışında kalan yerlerde profilin sadece yüzeyde bulunan sert kaliş kısmı gözlenmekte, vadi yamaçları hariç, yumuşak kalişe ait seviyelerin hiç biri görülememektedir.

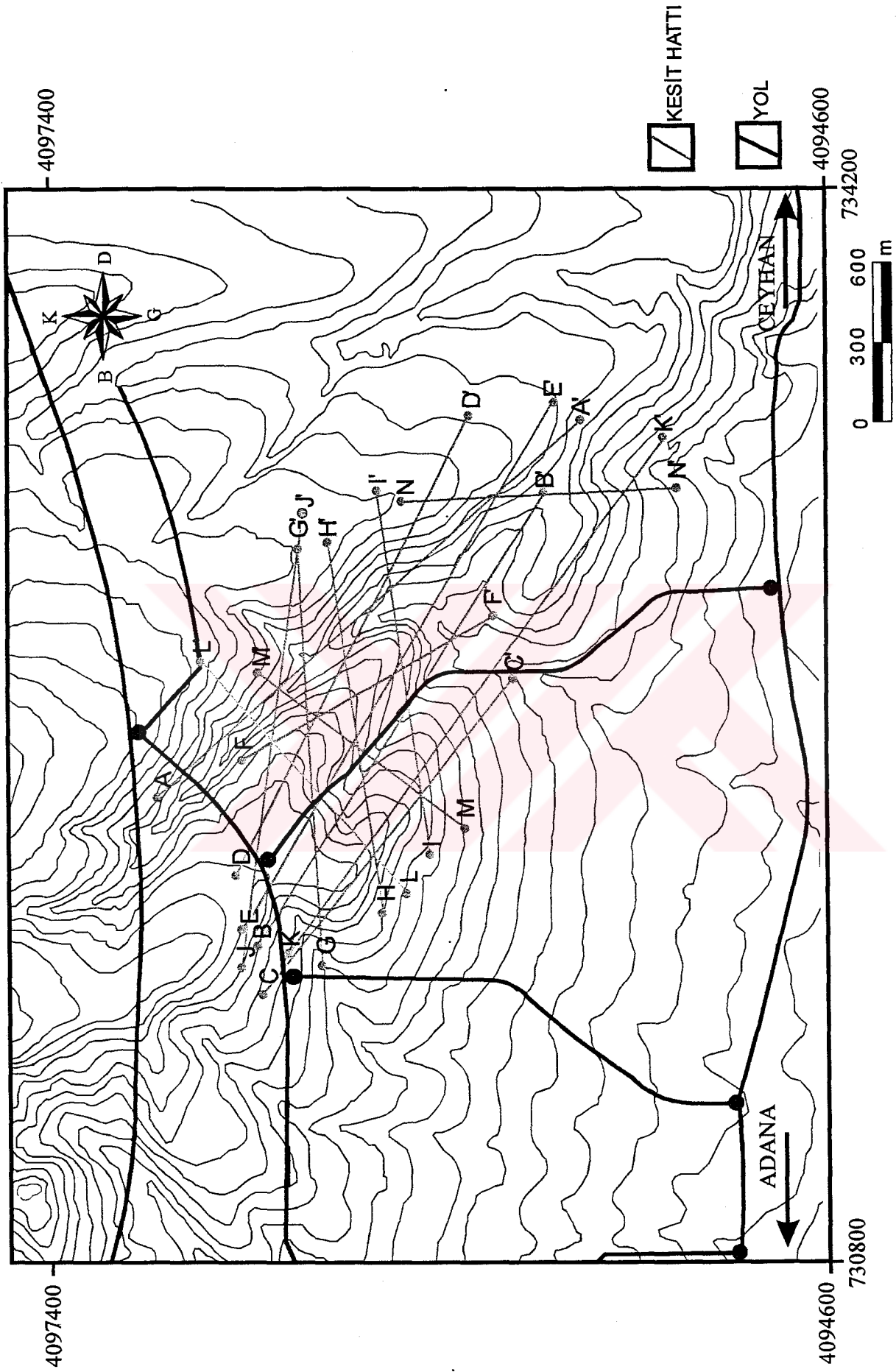
Kaliş profilini oluşturan litolojik seviyelerin ve bunların kalınlıklarının, inceleme alanının tümündeki dağılımını ortaya konması amacıyla, daha önceden belirlenmiş olan kazı lokasyonlarının şevlerinde ve şev boyunca yaklaşık 5 m aralıklarla profil seviyelerinin kalınlıkları şerit metre kullanılarak ölçülmüş, bunun yanı sıra, ölçümlerin alındığı noktaların koordinatları GPS ile belirlenerek kesitler üzerine işaretlenmiştir (Şekil 4.7).



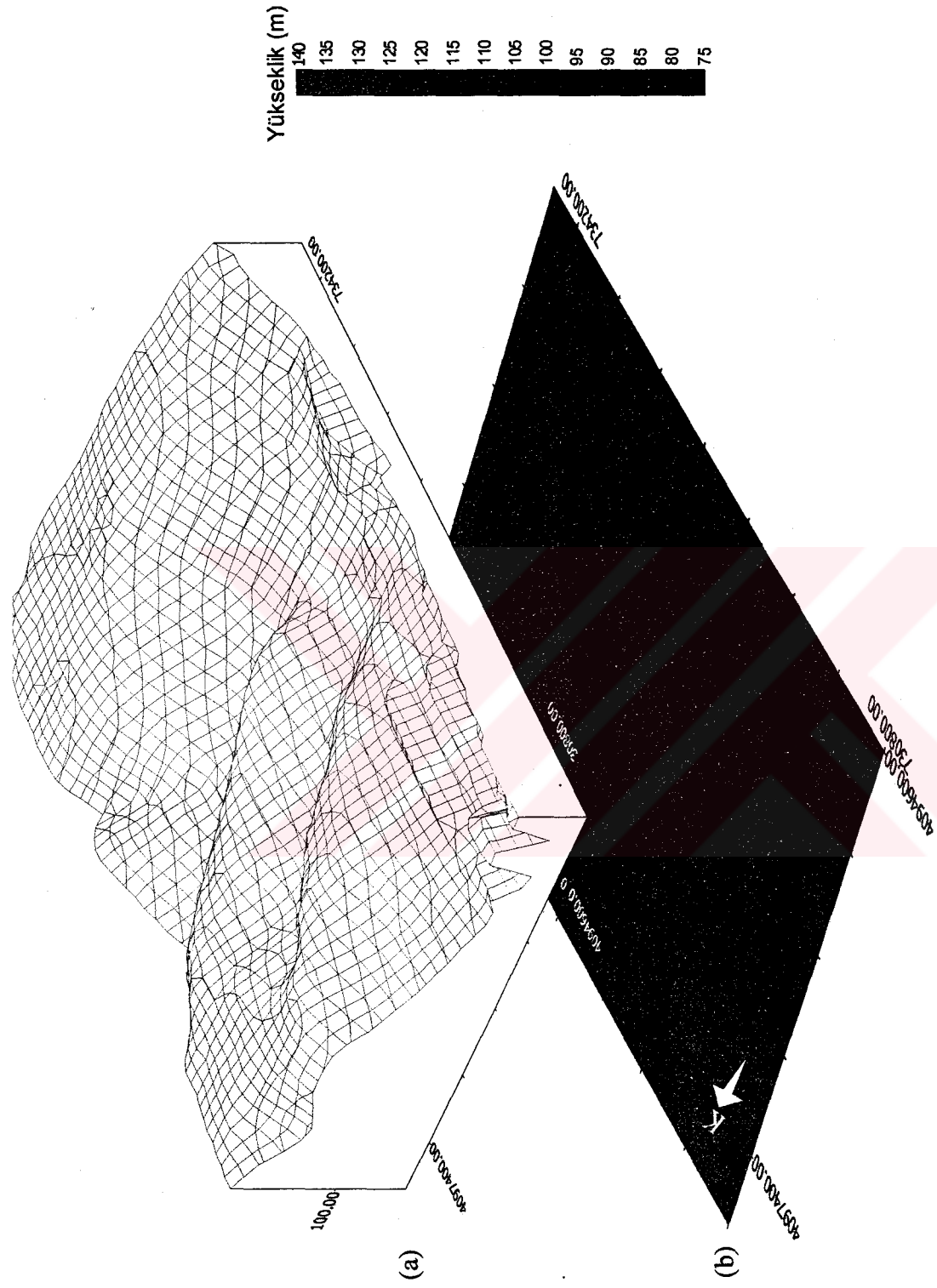
(ÖLÇEKSİZ)

Şekil 4.7. Kaliş profilindeki seviyelerin kalınlıklarının ölçümünü gösteren şematik çizim

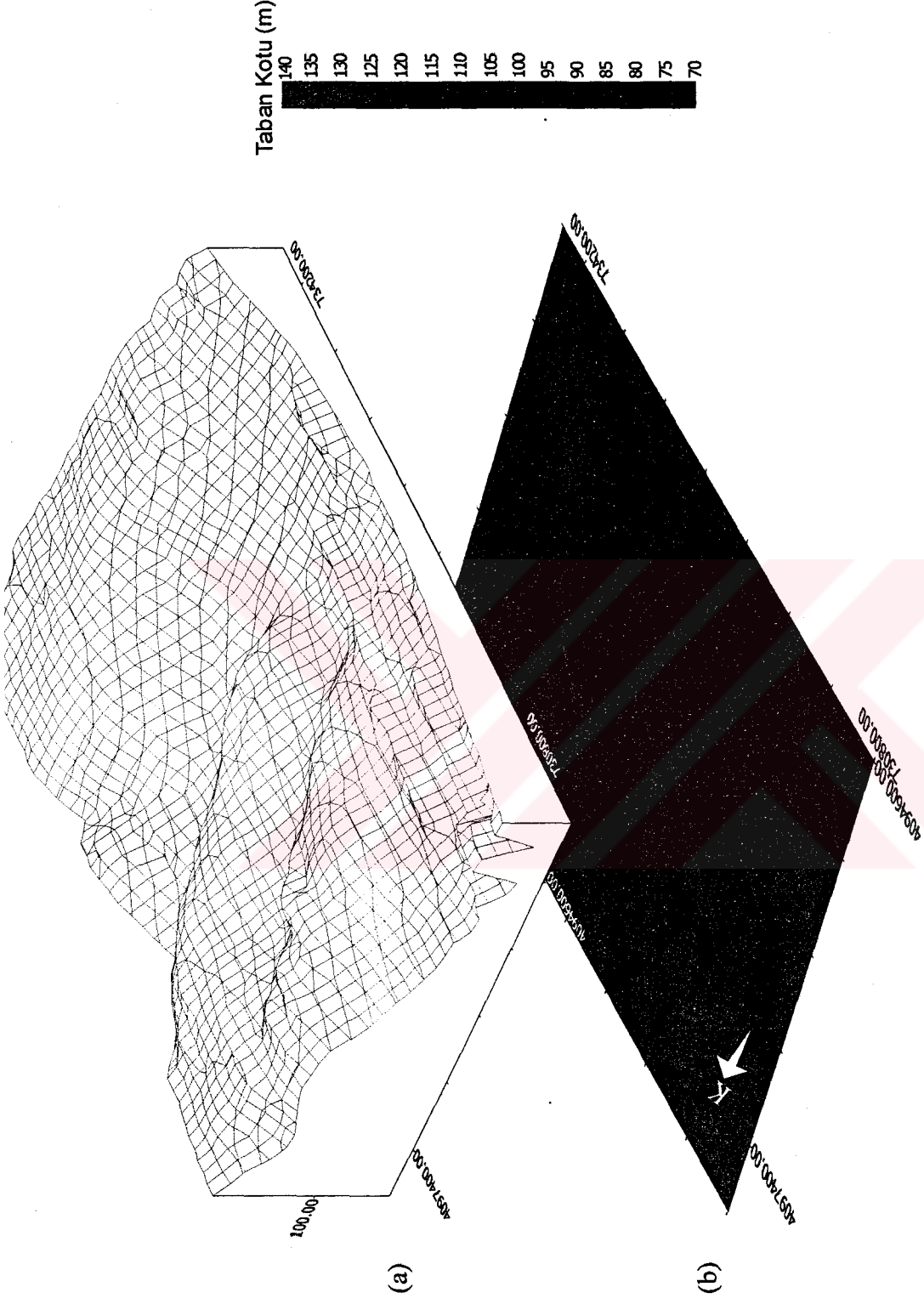
Kaliş profilinin tüm sahadaki yayılımını ve seviyelerin kalınlıklarını belirlemek amacıyla, inceleme alanının 1/25 000'lik topoğrafik haritası sayısallaştırılmış (ArcView GIS3.2 programı ile) ve saha profil ölçüm noktaları arasındaki kesitler hazırlanmıştır (Şekil 4.8). Elde edilen kesitlerden, tüm saha genelinde, kaliş profiline ait seviyelerin yayılımı (Şekil 4.9-4.12) ortaya konmaya çalışılmıştır. Blok ve kontur diyagramların oluşturulmasında kullanılan yöntem, enterpolasyon



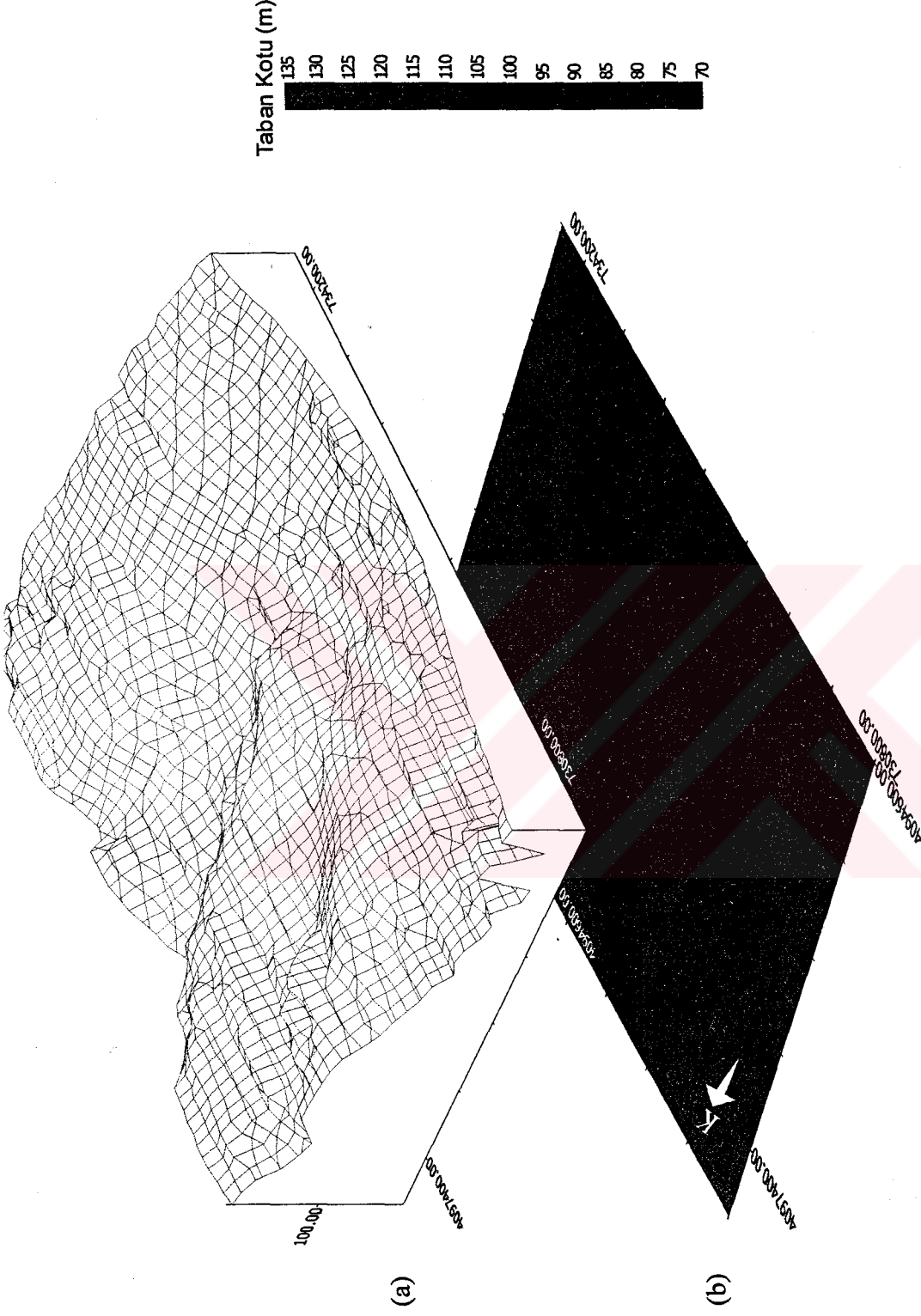
Şekil 4.8. İnceleme alanında kesit yerlerini gösteren harita



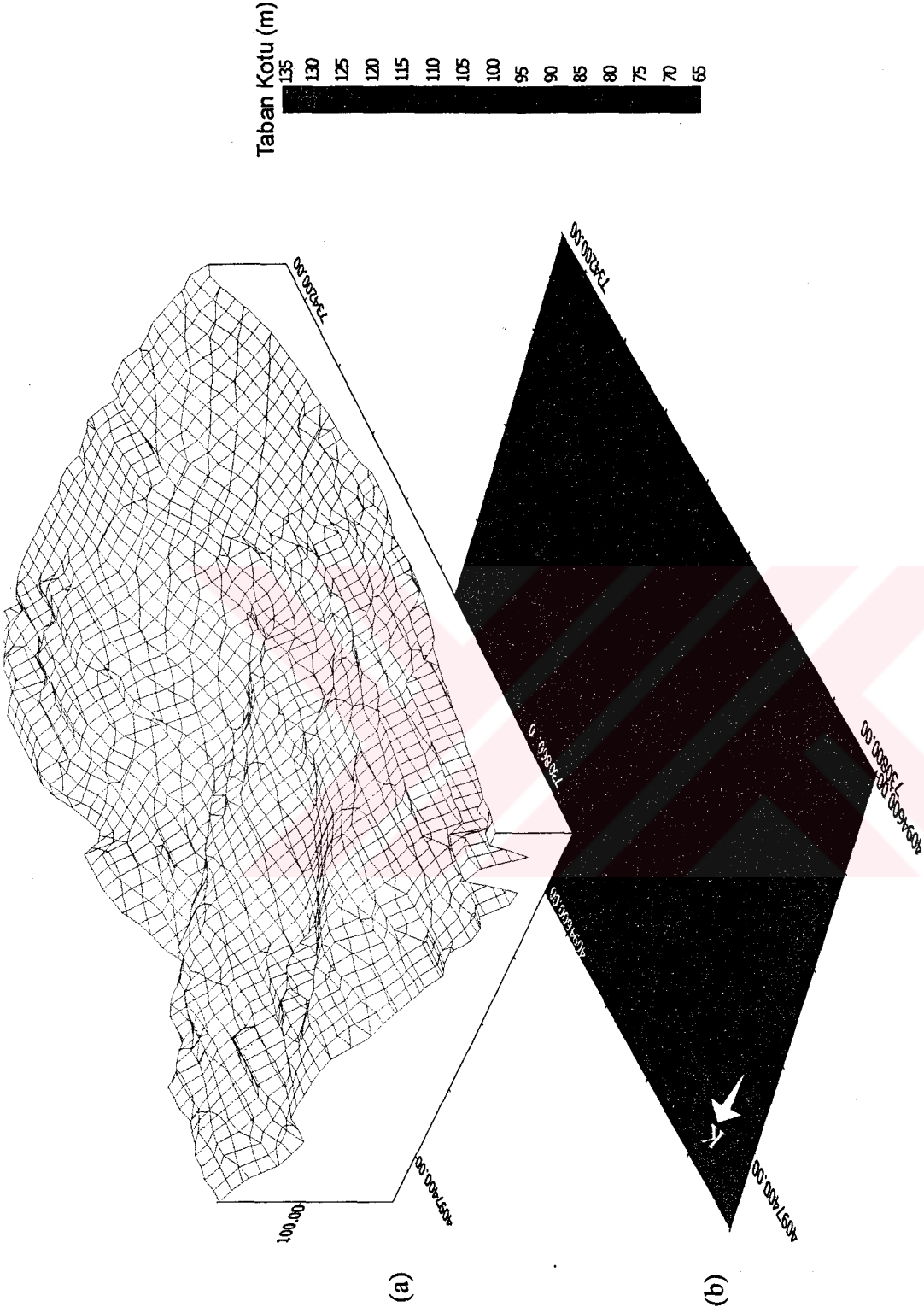
Şekil 4.9. (a) 3 boyutlu karelej ağı üzerinde topoğrafyanın gösterimi, (b) kontur haritası üzerinde topoğrafyanın gösterimi



Şekil 4.10. (a) 3 boyutlu karelej ağı üzerinde sert kalış seviyesinin taban kotunun gösterimi, (b) kontur haritası üzerinde sert kalış seviyesinin taban kotunun gösterimi



Şekil 4.11. (a) 3 boyutlu karelaj ağı üzerinde çakıllı, bloklı seviyenin taban kotunun gösterimi, (b) kontur haritası üzerinde çakıllı, bloklı seviyenin taban kotunun gösterimi



Şekil 4.12. (a) 3 boyutlu karelaj ağı üzerinde siltli, kumlu seviyenin taban kotunun gösterimi, (b) kontur haritası üzerinde siltli, kumlu seviyenin taban kotunun gösterimi

yöntemi olmakla beraber, kalış profilini oluşturan seviyelerin kısa mesafede değişim gösteren kalınlıkları için tam bir kalınlık değeri vermek mümkün olamamıştır. Bu yöntemle, seviyelerin kalınlıklarının saha genelindeki dağılımının gösterilmesi amaçlanmıştır. Buna ek olarak, saha genelinde gözlenen profil seviyelerinden; sert kalış, çakıllı, bloklu ve siltli-kumlu seviyelerin taban kotları da oluşturulan kontur haritaları ile belirlenmiştir. Çalışma alanının kuzeybatı kesiminde, sadece çok küçük bir alanda gözlenen killi seviye için yeterli kalınlık ölçümleri alınamadığı için enterpolasyon yöntemi kullanılamamıştır.

4.3. Plaka Yükleme Deneyleri

Malzemenin dayanım ve deformasyon özelliklerinin belirlenmesinde, laboratuvar deneylerinin yanı sıra, sahada yapılan yerinde deneylerden de yararlanılmaktadır. Bu deneyler özellikle heterojen malzemelerde, ölçek etkisini ve örselenmeyi en aza indirmek amacıyla tercih edilmektedir (Reznik, 1993; Nilo et al., 1998; Houston et al., 2001). Bu amaca yönelik olarak sahada yapılan yerinde deneylerden en çok kullanılanlar; standart penetrasyon deneyi, presiyometre deneyi, konik penetrasyon deneyi ve plaka yükleme deneyidir.

Kalış profili, çalışma alanı içerisinde, üçü gözlenebilen, dört farklı seviyeden oluşmaktadır. Sert kalış ve siltli-kumlu seviyeden standartlara uygun örnek alınabilmiş olmasına rağmen, çakıllı, bloklu seviyenin sadece bağlayıcı malzemesinden örselenmemiş örnek alınması mümkün olmuştur. Bu çalışma kapsamında, heterojen bir yapıya sahip olduğu ve tüm malzemeyi temsil edebilecek laboratuvar deneyleri için örneklemenin yapılamadığı çakıllı, bloklu seviyenin dayanım ve deformasyon özelliklerini belirlemek amacıyla presiyometre veya plaka yükleme deneylerinden birinin yapılması düşünülmüştür. Ancak, malzemenin çok büyük bloklar ve bağlayıcısının da daha çok kum ve silt içeren gevşek bir malzemedan oluşmasından dolayı sondaj kuyusunun duraylılığının sağlanamayacağı düşünüldüğünden presiyometre deneyinden vazgeçilmiştir. Malzemenin dayanım ve deformasyon özelliklerinin belirlenmesi amacıyla plaka yükleme deneyinin yapılmasına karar verilmiştir. Diğer bir deyişle, çakıllı, bloklu seviyede sondaj kuyusu açmak yerine plaka yükleme deneyinin yapılması hem

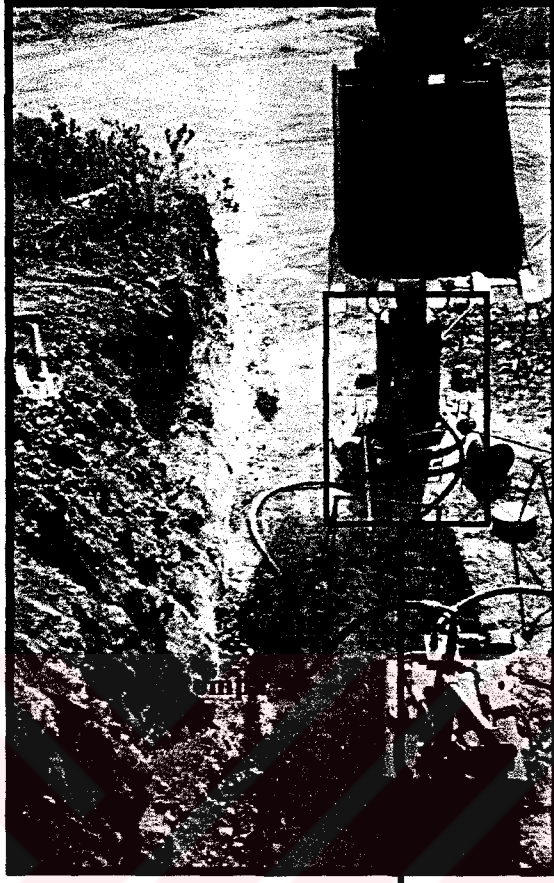
ekonomik anlamda hem de uygulanabilirlik bakımından daha uygun bir yöntem olarak öngörülmüştür.

Çalışmanın amacına yönelik olarak, örnek alımının mümkün olmadığı kalış profilinin çakıllı, bloklu seviyesinde, 12 adet plaka yükleme deneyi gerçekleştirilmiştir. Ancak 12 deneyin 3'ünde, deneyler sırasında ekipmanda meydana gelen sorunlar nedeniyle başarılı sonuçlara ulaşılamamıştır.

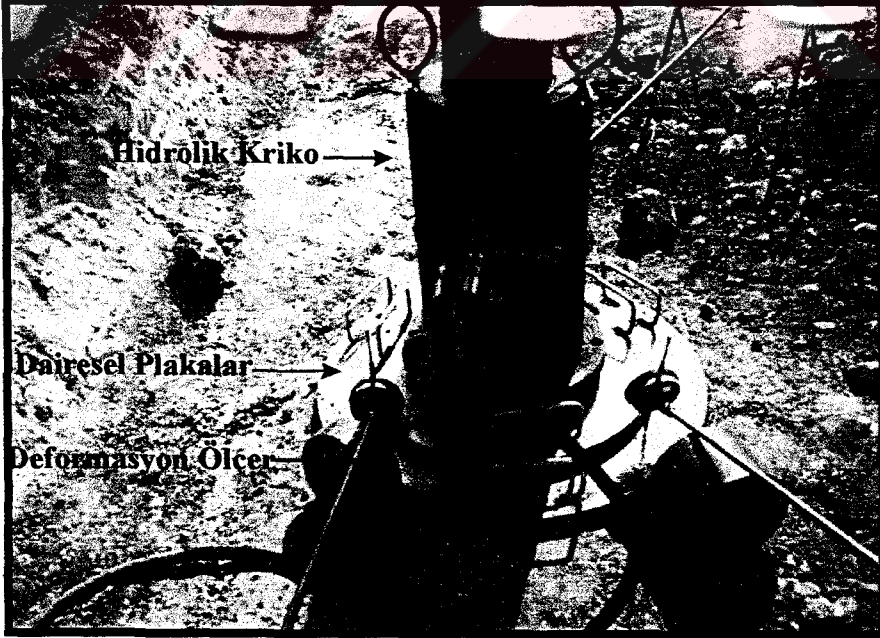
Plaka yükleme deneyi ekipmanı Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği, Mühendislik Jeolojisi Laboratuvarında bulunan, 300 mm, 600 mm, 762 mm olmak üzere, 3 değişik çapta dairesel yükleme plakası, 10 ton yükleme kapasiteli hidrolik krika ve 50 mm yerdeğiştirme okuma kapasitesine sahip 3 adet deformasyon ölçerden oluşmaktadır (Şekil 4.13). Değişik boyutlarda çakıl ve bloklardan ve aralarındaki bağlayıcı malzemeden oluşan çakıllı seviyenin dayanım ve deformasyon özelliklerinin belirlenmesi amacıyla 9 farklı lokasyonda yapılan deneylerde, hidrolik krika ile sağlanan yükün plaka üzerine iletilebilmesi için gerekli olan tepki kuvveti (ölü yük) 8 ton'luk bir kepçe ile sağlanmıştır (Şekil 4.14).

Plaka yükleme deneyleri, 762 mm çaplı yükleme plakası kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Plaka yükleme deneyinin yapılması öngörülen lokasyonlar, kullanılan 762 mm çaplı yükleme plakasının etki derinliğinin (basınç soğanının etki derinliği) 1.5 m'ye ulaşabileceği düşünülererek, kalış profilindeki çakıllı, bloklu seviyenin en az 2 m kalınlığa sahip olduğu ve uygulama kolaylığı sağlaması bakımından üzerinde sert kalış seviyesinin gelişmediği, ya da inşaat kazıları sırasında örtünün kaldırıldığı yerler olarak seçilmiştir (Şekil 4.15). Bunlara ek olarak, deneyin gerçekleştirildiği yerlerde, kepçe ile açılan deney çukurlarının kazısı plakanın yerleştirileceği kottan yaklaşık 15 cm önce durdurulmuş, daha sonraki kısım örselenmeyi önlemek amacıyla daha dikkatli bir biçimde kazılmıştır. Ancak inşaat kazıları sırasında hafriyat yapılmış olan seviyelerde deney çukuru açılmamış, sadece plakanın yerleştirileceği kısım kazılmıştır.

Deneyler sonrasında, yük-oturma eğrisinin elde edilebilmesi için üç yük aşaması uygulanmıştır. Her bir yükleme aşamasında zamana karşılık oturma değerleri, 120° açı yapacak şekilde sabitlenen ve 0.05 mm hassasiyette 500 mm okuma



(a)

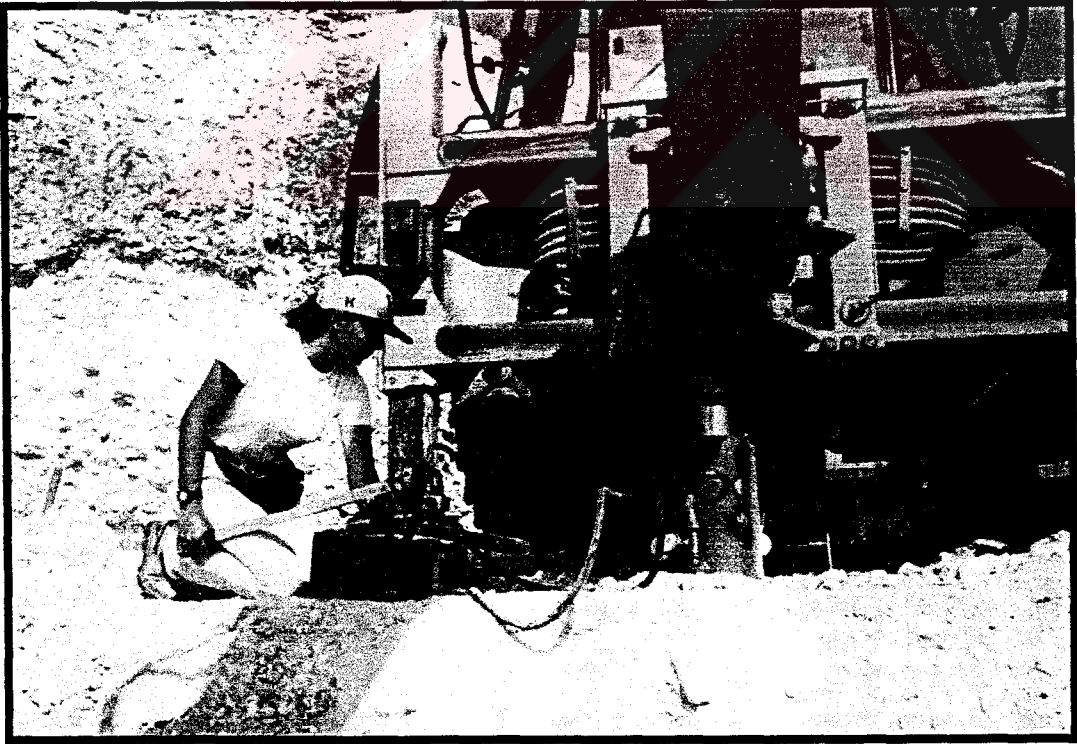


(b)

Şekil 4.13. (a) Plaka yükleme deney düzeneği ,(b) plaka yükleme deneyi ekipmanının ayrıntılı görünüşü

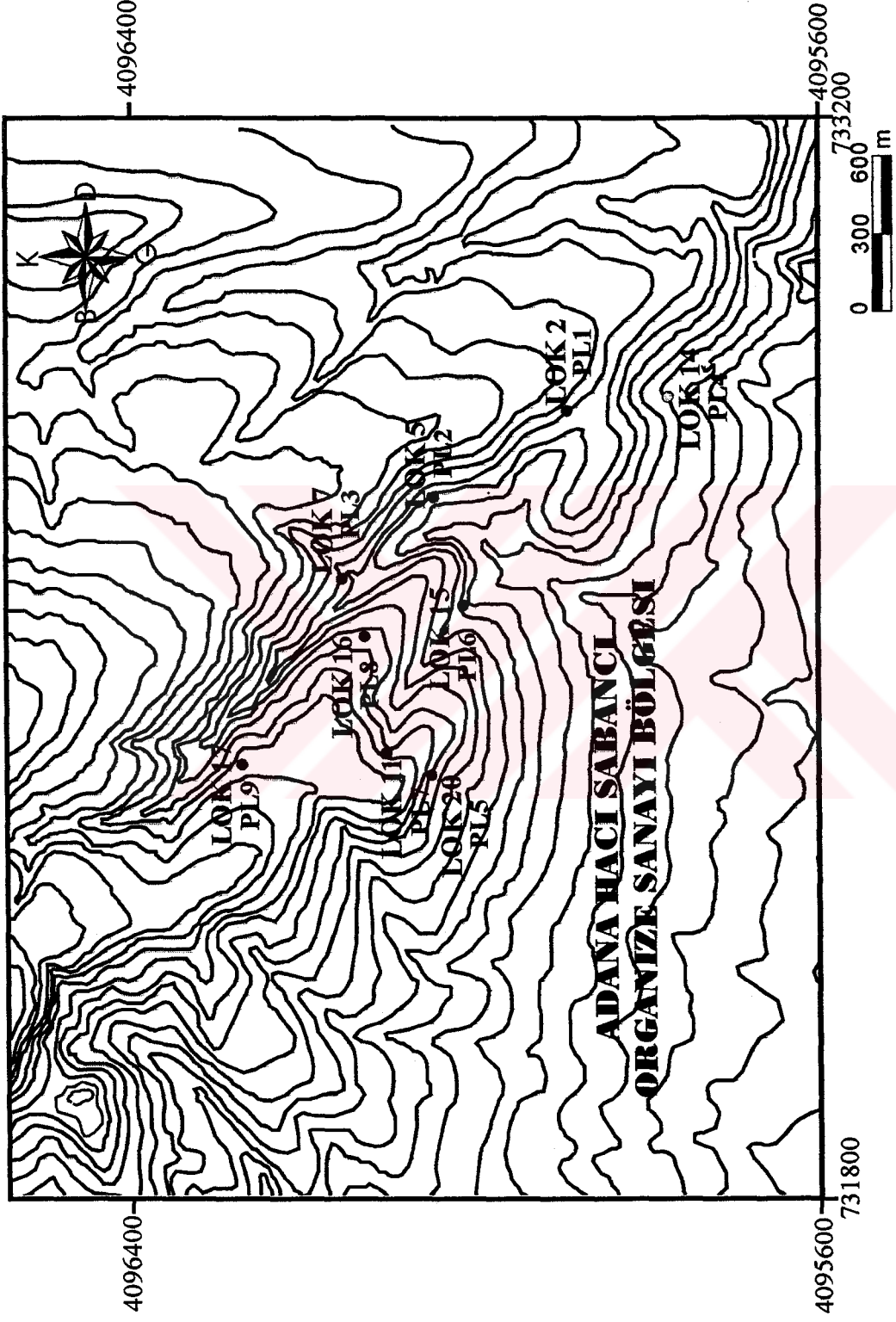


(a)



(b)

Şekil 4.14. (a) Ölü yük olarak kullanılan kepçe,(b) deneyin yapılışı



Şekil 4.15.. İnceleme alanındaki plaka yükleme deneyi ve örnekleme lokasyonları

kapasiteli üç adet deformasyon ölçer ile belirlenmiştir (bkz. Şekil 4.14). Yüklemler, izin verilebilir oturma düzeyi olan 25 mm'lik oturmaya (Bowles, 1988) ulaşınca kadar devam ettirilmiştir. Deneyler her bir yükleme aşaması için toplam 60 ile 120 dakika arasında gerçekleştirilmiştir.

Deneyler BSI (1990) standartlarına göre yürütülmüştür. Elde edilen deney verileriyle hazırlanan zaman-oturma grafiklerinin tamamı EK-1'de verilmiştir. Çizelge 4.1'de, yük-oturma grafikleri kullanılarak hesaplanan deformasyon modülü değerleri görülmektedir. Deformasyon modülü ise, aşağıdaki eşitlik kullanılarak belirlenmiştir.

$$E = 0.75d \frac{\Delta\sigma_o}{\Delta s} \quad 4.1$$

E : Deformasyon modülü (MPa)

d : Plaka çapı (mm)

$\Delta\sigma_o$: Yük aralığı (kPa) (yük-oturma grafiğinden)

Δs : Oturma aralığı (mm) (yük-oturma grafiğinden)

Çizelge 4.1'de verilen deformasyon modülü ve 25 mm'lik izin verilebilir oturma anındaki gerilim değerlerinin ayrı ayrı istatistiksel değerlendirmeleri gerçekleştirilmiştir. Deformasyon modülü değerleri 28.6-65.3 MPa arasında değişim gösterirken, 25 mm'lik izin verilebilir oturma anındaki gerilim ise, 1500-2030 kPa arasında değişim göstermesinin yanı sıra, standart sapma değerleri yenilme anındaki gerilim için 189.72 kPa, deformasyon modülü için de 12.19 MPa olarak saptanmıştır. Yenilme anındaki gerilim için ortalama değer ise 1757.7 kPa, deformasyon modülü için de 39.8 MPa olarak elde edilmiştir.

Çizelge 4.1. Çakıllı seviye için plaka yükleme deneyinden elde edilen deformasyon modülü, E, değerleri ve 25 mm'lik oturmaya karşılık gelen gerilim değerleri

Lok	σ_{o2} (kPa)	σ_{o1} (kPa)	s_2 (mm)	s_1 (mm)	$\Delta\sigma_o$ (kPa)	Δs (mm)	E (MPa)	İzin Verilebilir Oturma Anındaki Gerilim (kPa)
PL1	1600	1000	17	8.5	600	8.5	40.3	2030
PL2	2000	1200	22	15	800	7	65.3	1620
PL3	1800	1400	22	14.5	400	7.5	30.5	1610
PL4	1800	1200	23	15	600	8	42.9	1830
PL5	1800	1200	23	13.5	600	9.5	36.1	1980
PL6	1800	1200	24	14	600	10	34.2	1900
PL7	2200	1200	21	14	1000	11	51.9	1770
PL8	1400	800	23	11	600	12	28.6	1500
PL9	2200	1600	20	8	600	12	28.6	1580

σ_{o2} , σ_{o1} : yük-oturma grafiklerinden belirlenen gerilim değerleri; s_2 , s_1 : yük-oturma grafiklerinden belirlenen oturma değerleri; $\Delta\sigma_o$: yük-oturma grafiklerinden belirlenen gerilim değerleri arasındaki fark; Δs : yük-oturma grafiklerinden belirlenen oturma değerleri arasındaki fark; E: Elastisite modülü

4.4. Örnekleme Çalışmaları

Bu çalışmanın amaçlarından biri de kalışın jeomekanik özelliklerinin belirlenmesi olup, bu amaca yönelik olarak laboratuvar deneylerinde kullanılmak üzere sahada yürütülen örnekleme çalışmaları, profile ait sert kalış seviyesi ile yumuşak kalış seviyelerinde gerçekleştirilmiştir.

Örnekleme lokasyonları, plaka yükleme deneylerinin yapılmış olduğu 9 lokasyonun yanı sıra, inşaat kazılarının yapılmış olduğu ve yumuşak kalış seviyelerinin gözlenebildiği toplam 20 yerden seçilmiştir (bkz. Şekil 4.1 ve 4.15). Örnekleme lokasyonlarının belirlenmesinde, kalış profilinin her bir seviyesi için elde edilen jeomekanik parametrelerin karşılaştırılması amacıyla, özellikle yumuşak kalış seviyelerinin tümünün gözlemlendiği yerlerin seçilmesine dikkat edilmiştir. Sert kalış seviyesine ait blok örnekler, yine aynı lokasyonlardan alınmış olup, kalış profilinde sert kalış seviyesinin gelişmediği yerler mevcut olduğu için örnekleme toplam 12 lokasyonla sınırlı kalmıştır.

Saha çalışması yapılan her bir lokasyonda, kalış profilinin çakıllı, bloklu ve siltli, kumlu seviyelerinden, laboratuvarda yapılacak sınıflama deneylerinde, ayrıca kalış profilinin yumuşak kalış seviyelerine ait toprakların mineral içeriklerinin yarı-nicel olarak belirlenebilmesi amacıyla X-ışınları kırınım çözümlemelerinde kullanılmak üzere örselenmiş örnekler alınmıştır.

Kalış profilinin zayıf kaya niteliğindeki sert kalış seviyesinin tek eksenli sıkışma dayanımını ve elastisite modülünün yanı sıra, birim hacim ağırlık ve görünür gözeneklilik gibi fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla, 12 ayrı lokasyondan blok örnekler alınmıştır.

Çökme potansiyelinin belirlenmesi amacıyla yapılacak olan odometre deneyleri için siltli-kumlu (SK) seviyeden, kesici kalıplarla 20 adet örselenmemiş örnek alınmış ve bu örnekler parafinlenerek laboratuvara nakledilmiştir.

Sınıflama deneyleri için çakıllı, bloklu (Ç) seviyenin bağlayıcısından alınan örnekler, örnekleme yapıldığı lokasyonu temsil etmesi amacıyla, seviyenin farklı

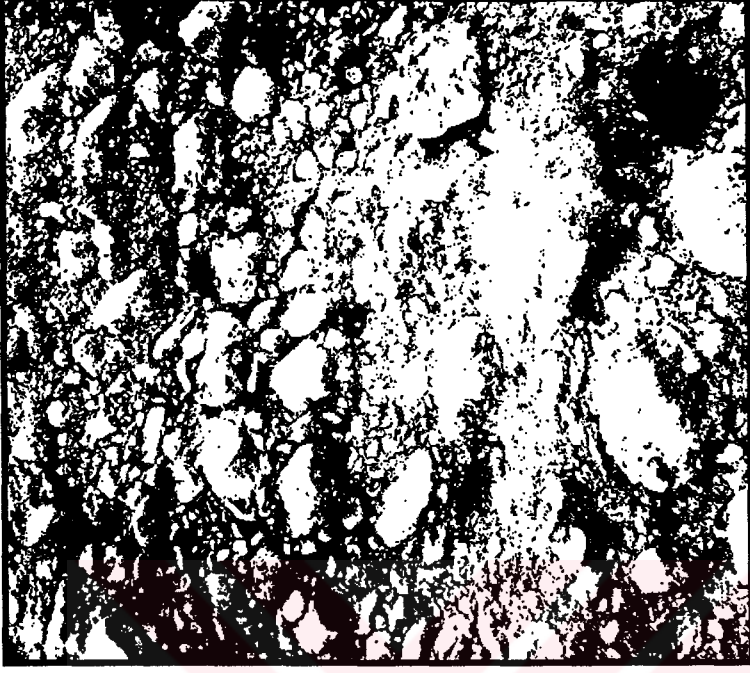
kesimlerinden alınmış ve bu örnekler daha sonra karıştırılmıştır. Bu şekilde alınan örneklerin bağlayıcıyı daha iyi temsil ettiği ve laboratuvar deneyleri ile elde edilecek verilerin daha sağlıklı olacağı düşünülmüştür. Bunun yanı sıra, çakıllı, bloklu seviyenin blok boyutunu belirlenmesinde ve tane boyu dağılım eğrisinin yeniden düzenlenmesinde kullanılan fotoanaliz yönteminde kullanılmak üzere yürütülen birim hacim ağırlık deneyleri için de, bu seviyenin bağlayıcısından kesici kalıplar ile örselenmemiş örnekler alınmıştır.

4.5. Fotoğraf Çekimi

Kaliş profilinin, çakıllı, bloklu seviyesinin mekanik ve deformabilite özelliklerinin belirlenmesi amacıyla bu seviyenin içerdiği bloklar nedeniyle temsil edici örnek alımı mümkün olamamaktadır. Tane boyu dağılımının belirlenebilmesi için bu seviyenin sadece ince-orta tane boyutuna sahip kesimlerinden örnek alınabilmektedir. Bu örnekler ise, malzemenin ancak çakıl, kum, silt ve kil tane boyutunu yansıtacaktır. Blok boyutundaki malzeme miktarının da tane boyu dağılımı eğrisinde gösterilebilmesi için fotoanaliz tekniğinden yararlanılması öngörülmüştür. Sahada blok boyutu malzemenin daha küçük tane boyutlu malzemeden renk açısından belirgin biçimde ayrıldığı, diğer bir deyişle, blok boyutu malzemenin daha açık bir renge sahip olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.16). Bu amaçla, sahada örnekleme ve plaka yükleme deneylerinin yapıldığı lokasyonlarda gri ölçekte değerlendirme yapılmasına olanak sağlayacak biçimde fotoğraf çekimleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen fotoğraflar üzerinde görüntü işleme tekniği ile denetimli (supervised) sınıflamalar yapılmış ve blok boyutu oranı elde edilerek, tane boyu dağılım eğrisi tamamlanmıştır. Tane boyu dağılım analizleri ağırlıkça yüzdelerin tayini şeklinde gerçekleştirilmektedir. Burada, iki boyutta (bir düzlem) üzerinde alansal olarak çakıl boyutu malzemenin oranı çıkarılmış ve üçüncü boyutu 1 birim olarak kabul edilerek, daha sonraki bölümde değinileceği gibi ağırlıkça yüzdeye çevrilmiştir.



(a)



(b)

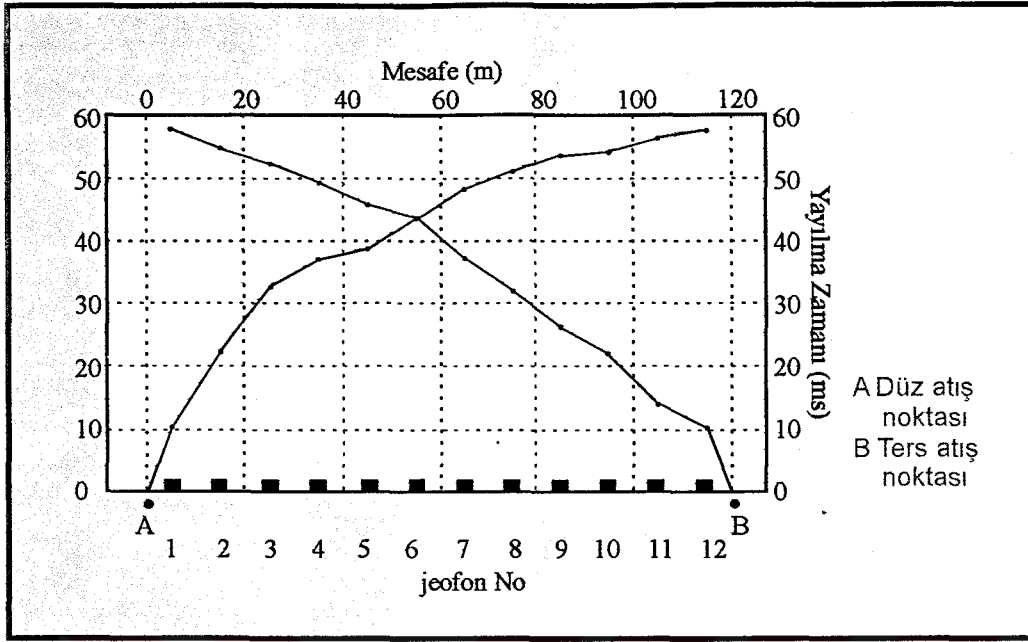
Şekil 4.16. Çalışma alanında blok boyutunu belirlemek için (a) çekilen fotoğrafa bir örnek (b) bu fotoğraflar üzerinde görüntü işleme tekniği ile yapılan sınıflamada kullanılan yöntemle ayırt edilmiş bloklar ve bağlayıcı malzemenin görünüşü

4.6. Jeofizik Etüdler

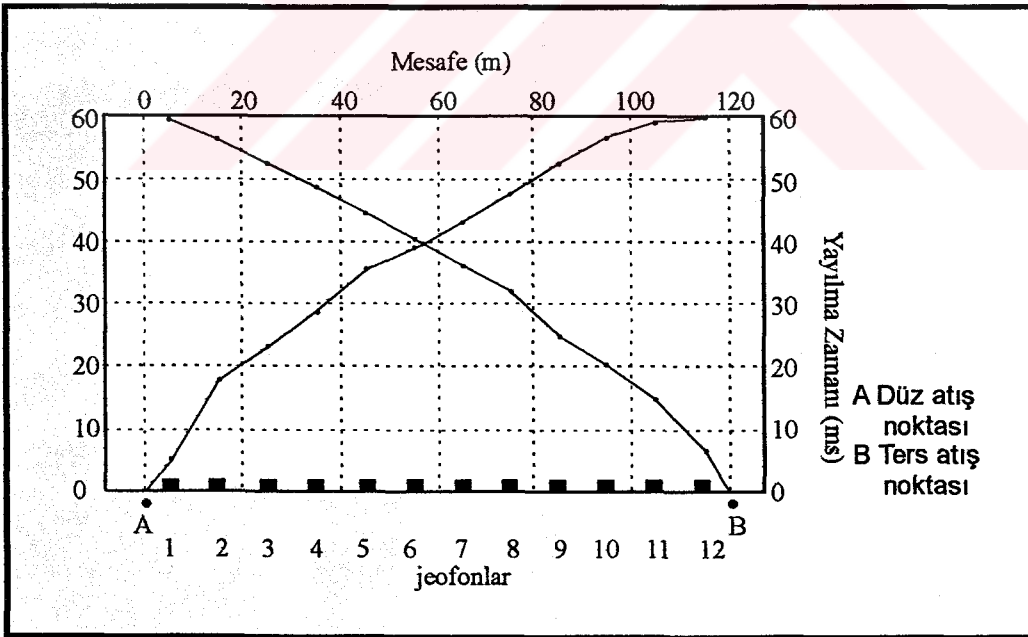
Çalışma kapsamında, kalış profilinin yüzeyden gözlenemeyen yumuşak kalış seviyelerinin kalınlıklarını belirlemeye yönelik olarak sondaj yaptırma olanağı bulunamamıştır. Bu nedenle, kalış profilinin derinlikle değişiminin belirlenebilmesi amacıyla, jeofizik incelemelerin yapılmasına karar verilmiştir. Adana Organize Sanayi Bölgesinde, bir adet *sismik kırılma* ve bir adet *elektrik sondaj* ölçümü yapılmıştır. Bu çalışmalar, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi'nin desteği ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan jeofizik incelemeler kapsamında sismik kırılma için, atış noktası ilk alıcı (jeofon) aralığı (ofset) 5 m ve her bir alıcı aralığı 10 m olmak üzere, toplam 120 m'lik serim uygulanmıştır. Sismik dalga yaratmak amacıyla 10 kg ağırlığında balyoz kullanılmıştır. Toplam 12 kanallı SmartSeis marka sismograf ile serimin sol ve sağ uç noktalarına ulaşan P ve S dalga fazları kayıt edilmiştir. Şekil 4.17 ve Şekil 4.18'da sırasıyla, P ve S dalga fazlarına ilişkin yayılma zamanı-uzaklık grafikleri ve Şekil 4.19'de bu grafikler kullanılarak elde edilen derinlik kesiti verilmiştir.

Derinlik kesitinin elde edilmesinde "her bir jeofon altı derinlik yöntemi", (Hagiwara and Omere, 1939) kullanılmıştır (Hagiwara and Omere, 1939). Hesaplama işleminde yumuşak kaya niteliğindeki sert kalış seviyesini temsil eden dalga formları altta bulunan birime göre yüksek sismik hıza sahip olup, sismik dalganın saçılmasına neden olduğundan, işleme bir alt seviyeyi temsil eden yumuşak kalış seviyesinden başlanmıştır. Bu nedenle, Şekil 4.19 'de verilen sismik kesit üzerinde sert kalış seviyesi gösterilememiştir.

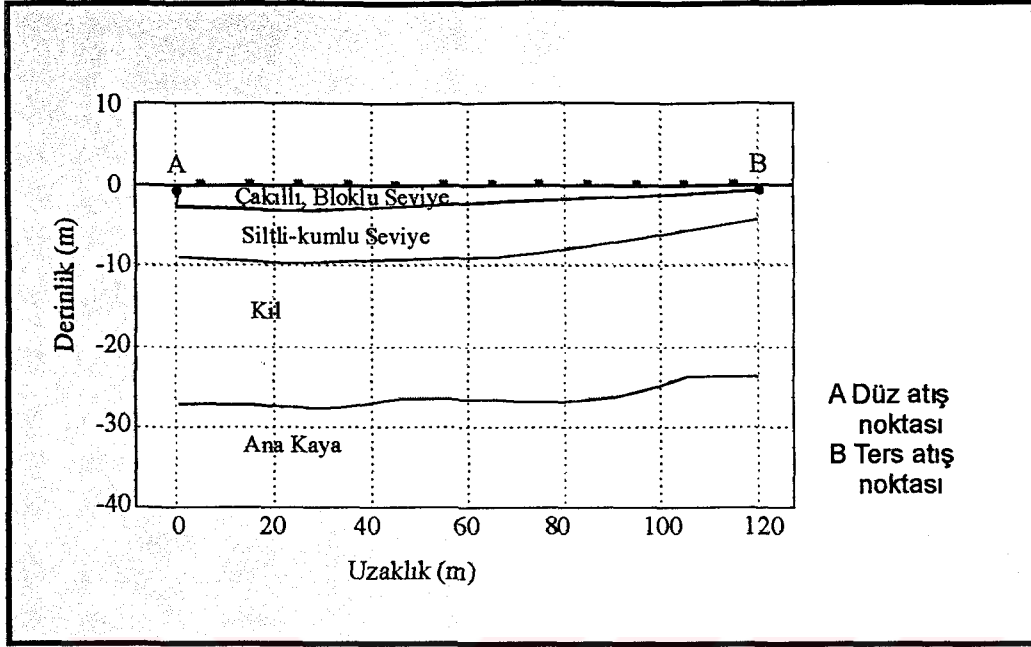
Çalışma alanında uygulanan bir diğer jeofizik yöntem olan elektrik sondaj ölçümünde Schlumberger açılım yöntemi kullanılmıştır. Schlumberger yönteminde, çalışma alanında seçilen 80 m'lik hat üzerindeki elektrod açılımları ile belirlenen görünür öz direnç değerleri Çizelge 4.2'de verilmiştir. Sismik kırılma ve elektrik sondaj yöntemi ile belirlenen kalış profilinin derinlik kesiti (sert kalış seviyesi gösterilmemiştir) Şekil 4.20'de sunulmuştur. Her iki yöntemin birlikte kullanıldığı Şekil 4.20'de, sismik kırılma ve elektrik sondaj ile belirlenen seviyelerin derinlikleri uyumlumluluk göstermektedir.



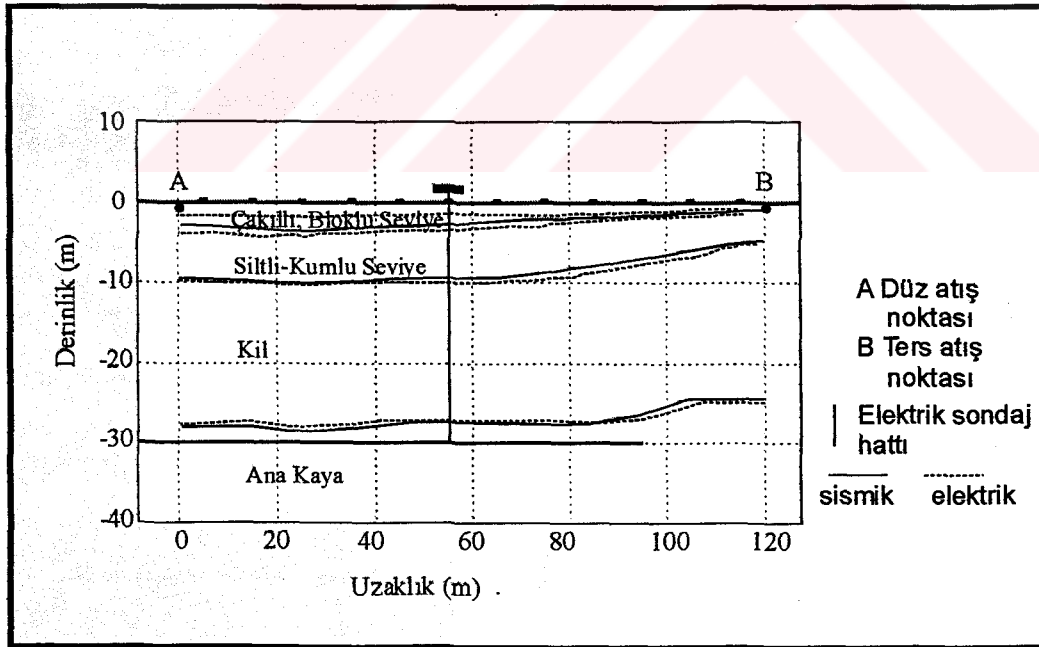
Şekil 4.17. Çalışma alanında yapılan sismik kırılma uygulamasının P fazı için ters ve düz atış yayılma zamanı-mesafe grafiği



Şekil 4.18. Çalışma alanında yapılan sismik kırılma uygulamasının S fazı için ters ve düz atış yayılma zamanı-mesafe grafiği



Şekil 4.19. Çalışma alanında yapılan sismik kırılma uygulamasından elde edilen P ve S dalgı hızlarına ilişkin zaman-uzaklık grafiklerinden yararlanılarak çizilen derinlik kesiti



Şekil 4.20. Çalışma alanında yapılan sismik kırılmanın ve elektrik sondaj ölçümlerinden elde edilen veriler ile çizilen derinlik kesiti

Çalışma alanında yapılan jeofizik incelemelerden elde edilen derinlik kesitlerinin yanı sıra, pek çok mühendislik uygulamasında girdi parametresi olarak kullanılan makaslama (V_s) ve sıkışma (V_p) hızları da her bir seviye için ayrı ayrı belirlenmiştir. Sismik kırılma yöntemi ile elde edilen V_s ve V_p dalga hızlarının yanı sıra, belirlenen öz direnç değerleri Çizelge 4.3'de sunulmuştur

Çizelge 4.2. Çalışma alanında yapılan elektrik sondaj yöntemindeki elektrod açılımları ve görünür öz direnç değerleri

AB/2	RHO (Ohm-m)	MN/2	AB/2	RHO (Ohm-m)	MN/2
1	138	0.25	12.5	67	2
1.5	141	0.25	12.5	79	1
2	121	0.25	15	79	2
2.5	105	0.25	18	85	2
3	105	0.5	20	92	2
3	90	0.25	25	93	2
4	90	0.5	25	95	2
5	72	0.5	30	95	5
5	62	0.5	30	92	2
6	62	1	35	92	5
6	61	0.5	40	88	5
8	61	1	45	88	5
10	63	1	50	89	5
10	67	1	60	88	5

AB/2 : Akım elektrodları arası mesafe (m)/2; MN/2: Potansiyel elektrodları arası mesafe (m)/2;
RHO: Görünür öz direnç (Ohm-m)

Çizelge 4.3. Kalış profiline ait seviyelerin ve ana kayanın V_s , V_p dalga hızları ve öz direnç değerleri

	V_p (m/s)	V_s (m/s)	Öz direnç (Ohm-m)
Çakıllı, bloklu seviye	476	310	151
Siltli, kumlu seviye	1081	606	23
Killi seviye	2415	1035	247
Ana kaya	4088	2017	49

5. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Saha çalışmalarının yürütüldüğü lokasyonlardan alınan örselenmiş ve örselenmemiş örnekler üzerinde, çalışmanın amacı doğrultusunda laboratuvar deneyleri ASTM (1994) standardına, ve ISRM (1981) tarafından önerilmiş yöntemlere uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar çalışmaları sırasında üzerinde çalışılan kalışın bazı seviyelerinin jeomekanik özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla aşağıda belirtilen deneyler yapılmıştır. Bu deneyler zayıf kaya özelliğindeki sert kalış ve toprak zemin özelliğindeki çakıllı, bloklu ve siltli-kumlu seviyelerde gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanı içerisinde bir tek lokasyonda ve en fazla 50 cm kalınlıkta gözlenebilen killi seviye için örnekleme işlemi gerçekleştirilememiş ve dolayısıyla bu zeminde laboratuvar deneyleri yapılmamıştır.

Örselenmiş örnekler üzerinde:

- (a) Özgül ağırlık tayinleri
- (b) Tane boyu dağılımı çözümlemeleri
- (c) Atterberg limitleri

Örselenmemiş örnekler üzerinde:

- (a) Birim hacim ağırlık (γ) tayinleri.
- (b) Çökme potansiyelini, (I_e), belirlemeye yönelik odometre deneyleri

Kaya türü örnekler (sert kalış) üzerinde:

- (a) Tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_c) deneyleri
- (b) Elastisite modülü (E) tayinleri
- (c) Birim hacim ağırlık tayinleri
- (d) Görünür gözeneklilik tayinleri

Bu deneylerin yanı sıra, X-ışınları kırınım çözümlemeleri (XRD) ve Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analizleri de yapılmıştır.

(SEM) çözümlmeleri malzemenin;

- a) Mineral türleri
- b) Mineral morfolojisi
- c) Kristal boyutu
- d) Tanelerin bağ özellikleri
- e) Çimento malzemesinin özellikleri
- f) Boşlukların dağılımı ve şeklini belirlemeye yönelik olarak planlamıştır.

5.1. Yumuşak Kalış Örnekleri Üzerinde Gerçekleştirilen Deneyler

Çalışma kapsamında, yumuşak kalış seviyelerin; özgül ağırlık, tane boyu dağılımı çözümlmeleri ve Atterberg limitleri deneyleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2'de sunulmuştur. Laboratuvar çalışmaları kapsamında yapılan deneyler ve elde edilen sonuçlar aşağıda ayrı başlıklar altında sunulmuştur.

5.1.1. Tane özgül ağırlığı

Hidrometre çözümlmelerinde ve çökme potansiyelini belirlemeye yönelik, odometre deneylerinde kullanılmak üzere yapılan örnekleme çalışmalarının yapıldığı 20 lokasyonda, kalış profiline ait her bir seviye için özgül ağırlık değerleri ASTM (1994) standartlarına uygun olarak gerçekleştirilen piknometre deneyleri ile belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.1'de verilmiştir. Belirlenen tane özgül ağırlık değerlerinin siltli-kumlu (SK) seviye için 2.32 ile 2.54 arasında, çakıllı, bloklu (Ç) seviye için ise 2.31 ile 2.44 arasında değiştiği görülmektedir. Siltli ve kumlu seviye için ortalama tane özgül ağırlık değeri 2.46 iken, bu değer çakıllı, bloklu seviye için 2.36'dır (Çizelge 5.1).

5.1.2. Tane boyu dağılımı

İnceleme lokasyonlarındaki yumuşak kalışe ait çakıllı, bloklu seviye ve siltli-kumlu seviye için örselenmiş örnekler üzerinde ASTM (1994) standartlarına uygun olarak

gerçekleştirilen, iri ve ince elek ile hidrometre deneylerinden, örneklerin tane boyu dağılım eğrileri belirlenmiştir. 20 lokasyondan ve ilgili iki seviyeden alınan örneklerdeki çakıl, kum, silt ve kil oranları Çizelge 5.2'de, verilmiştir. Her bir lokasyon için ayrı ayrı çizilen tane boyu dağılım grafikleri EK-1'de çakıllı, bloklu ve siltli, kumlu seviyelerin tane boyu dağılım aralıkları ise Şekil 5.1'de verilmiştir. Siltli-kumlu seviye ortalama olarak %9 kil, %39 silt, %41 kum ve %11 çakıldan oluşmaktadır. Bu değerlerin standart sapmaları incelendiğinde, siltli-kumlu seviyenin kum ve silt açısından daha homojen, kil ve çakıl açısından ise önemli değişkenlikler gösterdiği söylenebilir.

İnceleme lokasyonlarındaki yumuşak seviyelerine ait örneklerin, kil oranları dikkate alındığında, 10 lokasyonun (Lok 2, 3, 6, 7, 9, 10, 11, 15, 16, 20) birimlerin kil içeriğinin, diğer lokasyonlara oranla nispeten yüksek olduğu görülmektedir. Ancak bu lokasyonlarda dahi kil oranının %20'ye ulaşmadığı görülmüştür. Çalışılan tüm lokasyonlara ait örneklerin hiç birinde, düşük kil oranlarından dolayı Atterberg limitleri tayin edilememiş ve örneklerin plastik olmadığı (NP) belirlenmiştir.

Çalışılan malzemenin tümünün, ya da bir bölümünün boyutlarının doğrudan laboratuvarda ya da sahada belirlenememesi durumunda, malzeme boyutlarının alansal veya hacimsel olarak belirlenebilmesi amacıyla, farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden en yaygın ve uygulaması en kolay olanlardan biri de fotoanaliz yöntemidir (Vallebuona, 2003). Bu yöntem, boyutları bilinen sınırlandırılmış bir alan içerisinde, çalışılan malzemenin ya da doğal unsurların (bitki örtüsü, drenaj, litoloji gibi) görüntü işleme teknikleri ile dağılımı/yüzdesinin belirlenmesi esasına dayanmaktadır (Sommer, 2003).

Çakıllı, bloklu seviyenin tane boyu dağılım çözümlemelerinde, çakıl bloklarının ağırlıkça yüzdelerinin laboratuvar deneyleri ile belirlenebilmesi mümkün değildir. Blokların ağırlıkça yüzdelerinin belirlenebilmesi için fotoanaliz yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, yüksek kontrastlı (400 ASA) siyah-beyaz fotoğraf filmi kullanılarak, örnekleme yapılan her bir lokasyonda çakıllı, bloklu seviyenin ölçekli fotoğrafları çekilmiş ve bu fotoğraflarlar görüntü işleme tekniği ile yapılan sınıflamada kullanılmıştır. Görüntü işleme tekniği ile bloklar (B) ve bağlayıcı malzeme (M) birbirinden ayırt edilmiştir. Blokların iki boyutta, alansal olarak,

oranları belirlenmiş ve üçüncü boyut 1 birim kabul edilmiştir. Tane boyu dağılım grafiğine blok boyutunun işaretlenebilmesi amacıyla, alansal olarak belirlenen blok yüzdeleri, ağırlıkça yüzdeye çevrilmiştir. Laboratuvarında yapılan iri ve ince elek ile hidrometre deneylerinden elde edilen tane boyu dağılım eğrileri, fotoanaliz sonucunda elde edilen blok yüzdeleri ile birlikte değerlendirilerek, çakıllı, bloklu seviyeyi karakterize edecek olan tane boyu dağılım eğrileri yeniden oluşturulmuştur. Bu amaçla yapılan işlemler, aşağıdaki ifadelerle verilmiştir. formüllerle açıklanmaya çalışılmıştır.

$$\gamma = m/v \Rightarrow \gamma_B = m_B/B(\%) \quad (5.1a)$$

$$\gamma_m = m_M/M(\%) \quad (5.1b)$$

m_B : blokların ağırlığı

m_M : bağlayıcının ağırlığı

$B\%$: blok yüzdesi

$M\%$: bağlayıcının yüzdesi

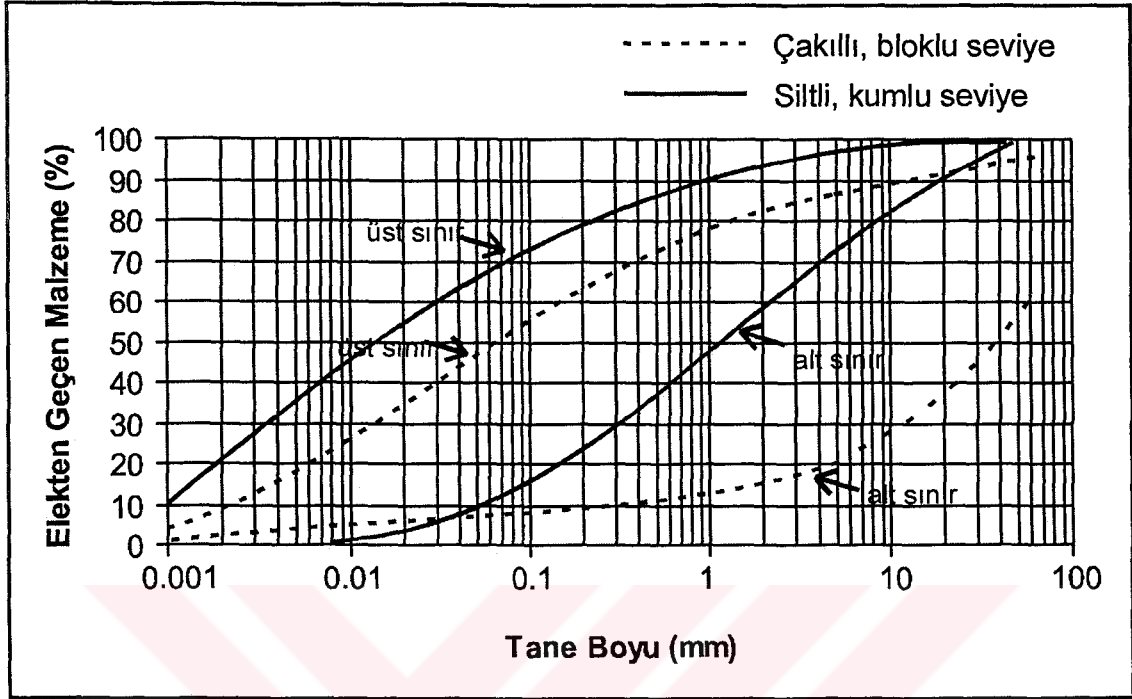
Buradan, birim hacim ağırlıkları (γ) ve görüntü işleme tekniği ile belirlenmiş olan alansal blok ($B\%$) ve bağlayıcı ($M\%$) yüzdelерinin fotoanalizlerde kullanılmak üzere çekilen fotoğraflarla sınırlandırılan alan içerisindeki ağırlıkları, ayrı ayrı ve toplam ağırlık olarak belirlenmiştir (Eş. 5.1a ve 1b).

$$B_A(\%) = m_B/m_{(B+M)} \quad (5.2)$$

Alansal olarak belirlenen blok yüzdelерinin, ağırlıkça yüzdeye çevrilmesi için ($B_A\%$), Eş. 5.1'a ile belirlenen blok ağırlıkları, toplam ağırlığa oranlanmıştır (Eş. 5.2).

Çakıllı, bloklu seviyeyi karakterize edecek olan tane boyu dağılım eğrilerinin yeniden oluşturulması amacıyla, Eş. 5.2'den elde edilen blokların ağırlıkça yüzdeleri, iri ve ince elek ile hidrometre deneylerinden elde edilen tane boyu değerleri ile birlikte değerlendirilmiş ve nihai tane boyu dağılım eğrisi elde edilmiştir. Buna göre; fotoanaliz değerlendirmeleri sonucunda çakıllı, bloklu

seviyenin ortalama olarak %3 kil, %14 silt, %14 kum ve %43 çakıl ve %24 blok boyutundaki malzemeden oluştuğu belirlenmiştir.



Şekil 5.1. Çakıllı, bloklu ve siltli, kumlu seviyelerin tane boyu dağılım araklıkları.

5.1.3. Birleştirilmiş toprak sınıflaması

Tane boyu çözümlmeleri ve Atterberg limitleri deney sonuçları dikkate alınarak örnekler "Birleştirilmiş Toprak Sınıflamasına" göre sınıflandırılmıştır. Buna göre zemin sınıfları, siltli-kumlu seviye %50'den fazla iri çakıl taneleri ve çok az kil içeriği ile SM ve çakıllı, bloklu seviyenin zemin sınıfı ise, iyi dercelenmiş çakıllar, ya da kumlu çakıl içeriği ile GW olarak belirlenmiştir.

Kalış profiline ait seviyelerin, dayanım ve deformasyon davranışlarını ortaya koymaya yönelik olarak, siltli-kumlu (SK) ve çakıllı, bloklu (Ç) seviyelere ait örselenmemiş örnekler üzerinde (çakıllı, bloklu seviyeden alınan örselenmemiş örnekler, bloklar arasındaki ince-orta tane boyutundaki bağlayıcı malzemeden alınmıştır) doğal birim hacim ağırlık tayinleri gerçekleştirilmiştir. Buna ek olarak, siltli-kumlu seviyeden alınan örselenmemiş örnekler üzerinde çökme potansiyelini belirlemek amacıyla odometre deneyleri gerçekleştirilmiştir. Örselenmemiş örnekler üzerinde yapılan bu deneyler, aşağıda ayrı başlıklar altında sunulmuştur.

5.1.4. Birim hacim ağırlık

Toprak zeminlerin birim hacim ağırlık değerleri taşıma kapasitesinin, örtü yükü basıncının, konsolidasyon oturmasının ve istinat duvarlarındaki yatay basıncın hesaplanması (Bowles, 1988) gibi hemen her türlü jeoteknik değerlendirmede kullanılan temel bir girdi parametresidir. Bu çalışma kapsamında, odometre deneyleri için örneklemenin yapılmış olduğu 20 lokayondan örselenmemiş örnekler alınmış ve parafinlenerek laboratuvara nakledilmiştir. Bu örnekler üzerinde ASTM (1994) standartlarına uygun olarak birim hacim ağırlık tayinleri yapılmış olup, belirlenen birim hacim ağırlık değerlerinin siltli-kumlu seviye için 16.16 kN/m^3 ile 19.48 kN/m^3 arasında, çakıllı, bloklu seviye için ise 17.11 kN/m^3 ile 19.60 kN/m^3 arasında değiştiği görülmektedir. Siltli ve kumlu seviye için ortalama birim hacim ağırlık değeri 17.46 kN/m^3 iken, bu değer çakıllı, bloklu seviye için 18.41 kN/m^3 'tür (Çizelge 5.1). Siltli, kumlu seviye ile çakıllı, bloklu seviyenin özgül ağırlık ile birim hacim ağırlık değerleri bir arada değerlendirildiğinde, siltli, kumlu seviyenin çakıllı, bloklu seviyeye göre daha boşluklu bir yapıya sahip olduğu söylenebilir. Çünkü, doğal halde daha düşük birim hacim ağırlığa sahip olan siltli, kumlu seviyenin katı tanelerinin özgül ağırlık değerleri daha yüksektir.

Bunlara ek olarak, çakıllı, bloklu seviyenin tane boyu dağılım eğrisini tamamlamak amacıyla yapılmış olan fotoanaliz sonuçlarından elde edilen, iki boyutlu düzlemdeki alansal blok yüzdelerinin ağırlığına bağlı olarak belirlenmesi için, ilgili seviyenin çakıllarının da birim hacim ağırlık değerleri elde edilmiştir. Çalışmanın yapıldığı her bir lokasyondan, örnekleme alanını temsil edebileceği düşünülen miktarda çakıl örneği alınmıştır. Büyük bir çoğunluğu karbonatlı malzemeden oluşan çakılların birim hacim ağırlık değerleri 18.16 ile 26.63 kN/m^3 arasında değişmekte olup, fotoanalizlerde ortama birim hacim ağırlık değeri olan 23.94 kN/m^3 kullanılmıştır (Çizelge 5.1).

Çizelge 5.1. Yumuşak kalıŖe ait örnekler üzerinde gerçekerleştirilen deneylerden elde edilen parametreler ve istatistiksel değerkendirmeler

Parametre	Seviye	Örnek sayısı	En Düşük	En Yüksek	Ortalama	Standart Sapma
G_s	SK	20	2.32	2.54	2.46	0.0584
	Ç	20	2.31	2.44	2.36	0.375
γ_n (kN/m ³)	SK	20	16.16	19.48	17.46	1.0565
	Ç	20	17.11	19.60	18.41	0.865
w (%)	SK	20	9.00	20.00	12.70	2.91
	Ç	20	8.50	20.00	12.30	2.83
γ_ϕ (kN/m ³)*	Çakıl	20	18.16	26.63	23.94	1.92

* Çakıllı, bloklu seviyenin çakılları

Çizelge 5.2. Yumuşak kalıŖ'e ait siltli kumlu seviye ve çakıllı, bloklu seviyenin tane boyu dağılım deneyi sonuçlarının istatistiksel değerkendirmesi

	Kil (%)	Silt (%)	Kum (%)	Çakıl (%)	Blok (%)
Siltli Kumlu Seviye	1-18	12-60	11-65	1-30	----
	(9)	(39)	(41)	(11)	
	5.44	14.11	16.12	6.83	
Çakıllı Bloklu Seviye	1-9	8-42	8-44	15-80	----
	(4)	(17)	(17)	(62)	
	2.19	10.59	8.82	19.01	
Çakıllı Bloklu Seviye*	1-9	4-42	4-40	14-57	5-52
	(3)	(14)	(14)	(43)	(24)
	2.24	10.38	9.27	11.91	14.68

*fotoanalizden elde edilen tane boyları

Parantez içindeki değerkler ortalamayı, koyu yazılar standart sapmayı gösterir

5.1.5. Odometre deneyleri

Toprak zeminlerin çökme potansiyelini (I_c), belirlemede genel olarak iki tür laboratuvar deneyinden yararlanılmaktadır. Bunlarda ilki çift odometre çökme deneyi, ikincisi ise tek odometre çökme deneyidir (Lutenegger and Saber, 1988). Çift odometre deneyinde, farklı gerilim aşamalarında, yarı ve tamamen doymuş örnekler arasındaki deformasyon farklılıkları belirlenmektedir. Ancak, yapılan deneyin amacı, yarı doymuş örneğin, sabit bir gerilim altında ıslatıldığı andaki hacimsel değişimin belirlenmesi olduğu için tek odometre deneyinin kullanılması çok daha uygun görülmüştür. Buna ek olarak, örneklerdeki heterojenlik ve aynı boşluk oranına sahip iki örneğin hazırlanmasında yaşanan güçlükler nedeniyle, odometre deneyleri, tek odometre çökme yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemde deneyler, çift odometre çökme deneyinden farklı olarak doğal nem içeriğindeki örselenmemiş tek bir örnek üzerinde gerçekleştirilmektedir.

Tek odometre çökme deneyinde, örneği ıslatmada kullanılan suyun bazik ya da asidik olma gibi özellikleri de önemli bir etkidir. Doğal ortamda, çökme oturması yüzey ya da yeraltı sularının etkisiyle oluşmaktadır. Çalışma alanında, malzemenin ıslanması yağış yoluyla gerçekleşmektedir. Çünkü, sahada 30 m derinliğe kadar yapılan jeofizik incelemelerde yeraltı suyu rastlanmamıştır. Laboratuvarda gerçekleştirilen çökme potansiyeli deneyinde kullanılan suyun, doğal ortamı temsil etmesi amacıyla, örnekleme yapılan bölgeden alınması, deneyden daha gerçekçi bir performans elde edilmesine olanak sağlayacaktır. Ancak, bu suyun deney ekipmanına özellikle gözenekli taşlara zarar vermesi, ayrıca, bunun standart bir deney yöntemine uygun olmayacağı diğer bir deyişle, farklı bölgeler için gerçekleştirilecek deneylerin karşılaştırılmasında güçlüklerle karşılaşılacağı düşünüldükçe, deneylerde saf su kullanılmıştır (ASTM, 1992).

Çökme potansiyeli deneyi için örselenmemiş örneklerin tümü 7 cm çaplı ve 1.98 cm yüksekliğindeki kesici kalıplarla alınmıştır. Daha sonra bu örnekler, doğal nem içeriklerini kaybetmemeleri için parafinlenmiş ve deney aşamasına kadar laboratuvardaki nem odasında muhafaza edilmiştir.

Çökme potansiyelini belirlemeye yönelik deneyler ASTM D5333 (1992), standartlarına uygun olarak yürütülmüştür. Deneylerin sonunda malzemenin çökme potansiyeli aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$I_e = \frac{\Delta e_c}{1 + e_1} \quad (5.3)$$

I_e : çökme potansiyeli (indeksi)

Δe_c : ıslanma nedeniyle değişen boşluk oranı

e_1 : başlangıçtaki boşluk oranı

Burada tanımlanan I_e parametresi, ıslanma sonucu şişmeyen, 200 kPa düşey gerilim altında deneyin yürütüldüğü, belli bir bölgeye ait çökebilir topraklar için kullanılan bir parametredir. Çökme potansiyeli kavramı daha genel bir kavram olduğu ve bütün çökebilir topraklar için kullanıldığından, bu özel toprak durumu ve basınç koşulları için çökme indeksi, I_e , olarak tanımlama yapılmasının daha doğru olduğu düşünülmüştür (ASTM , 1992). ASTM (1992) tarafından önerilen çökme indeksi sınıflaması, Çizelge 5.3'de verilmiştir.

Çizelge 5.3. Çökme indeksi, I_e , sınıflaması (ASTM, 1992)

Çökme İndeksi, I_e , (%)	Çökme Derecesi
0	Çökme olmaz
0.1-2.0	Çok az çökme olur
2.1-6.0	Orta derecede çökme olur
>10	Şiddetli çökme olur

Jennings and Knight (1975), toprak zeminlerin çökme potansiyelini belirlemede kullanılan bir yöntem önermişlerdir. Bu yöntem, ASTM (1992)'nin yöntemi ile önemli benzerlikler göstermektedir. Bu yöntemde de doğal nem içeriğindeki örselenmemiş örnekler kullanılmakta olup, örneğe uygulanan gerilim aşaması 200 kPa ile sınırlandırılmakta ve örnek bu yük aşamasında suya doymun koşullarda 24

saat bekletilmektedir. Bu yöntemin uygulanması sonucunda çökme potansiyeli aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$C_p = \frac{e_1 - e_2}{1 + e_0} \quad (5.4)$$

e_0 : doğal boşluk oranı

e_1 : örneğin doyurulmadan önceki boşluk oranı

e_2 : örneğin doyurulduktan sonraki boşluk oranı

Bu çalışmada, 200 kPa gerilim aşamasında gerçekleştirilen ıslanma sonrasında, yük artışına devam edilmemiş, deney çökmenin meydana gelmesinden hemen sonra kesilmiştir. Teorik olarak, yüklemenin başlangıç noktası ile 200 kPa'da sonlandırılan deney sonunda boşluk oranı değerinin birleştirilmesi ile, ıslanma sonrası boşluk oranındaki değişim belirlenebilmektedir.

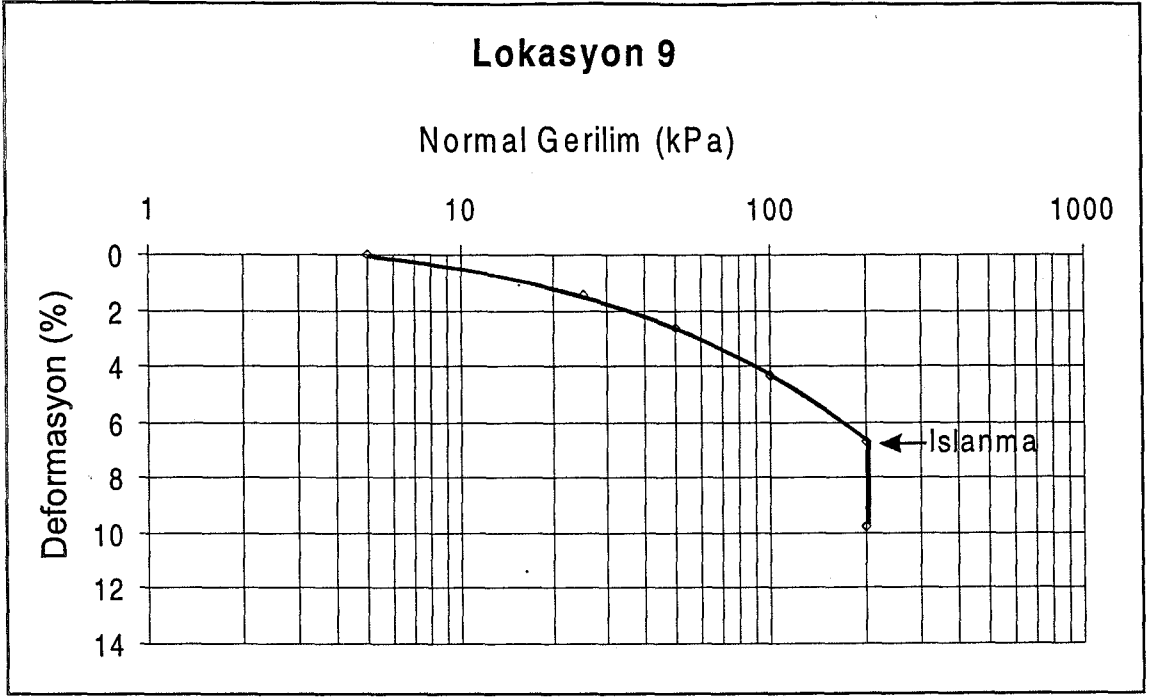
Çalışma kapsamında yapılmış olan toprakların çökme potansiyelinin belirlenmesine yönelik deneyler sonunda elde edilen sıkışma eğrileri ve e-log – P grafikleri EK-1'de verilmiştir. Şekil 5.2'de ise, bu grafiklere örnek olarak Lokasyon 9'a ait sıkışma eğrisi ve boşluk oranı-normal gerilim (e-Log P) grafiği verilmiştir.

Çalışma sahası içerisinde, 20 farklı lokasyondan alınan örselenmemiş örnekler üzerinde yapılan çökme potansiyelini belirlemeye yönelik odometre deneylerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 5.4'de özetlenmiştir.

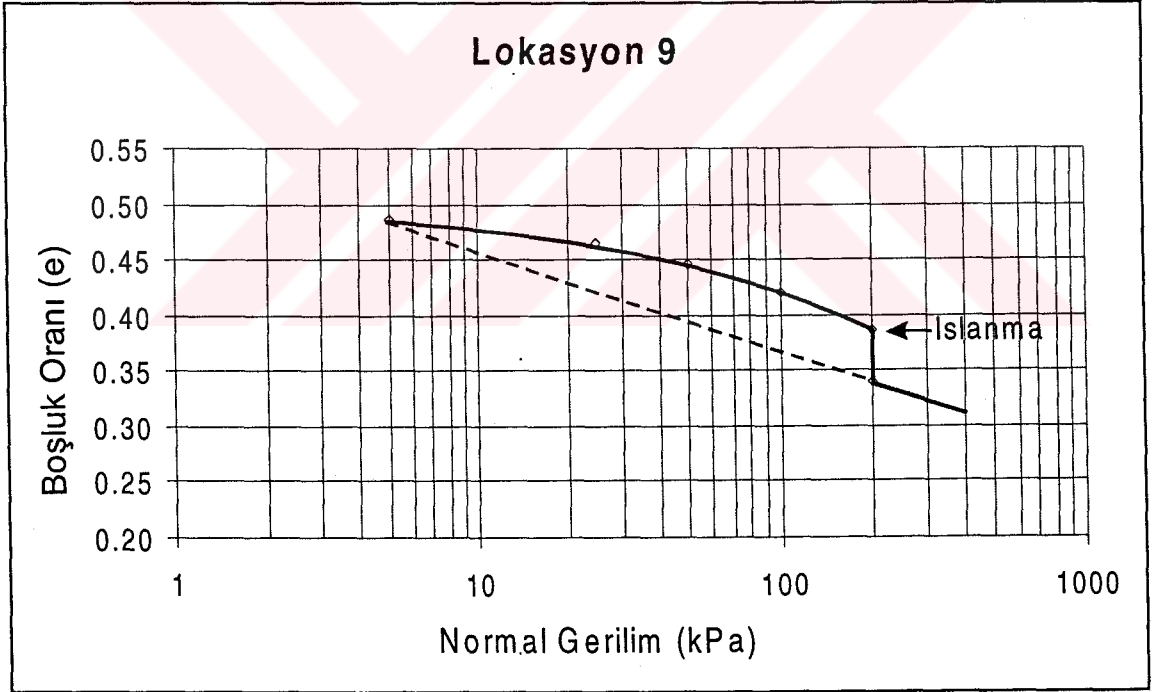
5.2. Sert Kaliş Örnekleri Üzerinde Gerçekleştirilen Deneyler

Kaliş profilinin en üstte bulunan seviyesini yumuşak kaya niteliğindeki ve kalınlıkları 5-6 m'ye kadar ulaşan sert kaliş seviyesi oluşturmaktadır.

(a)



(b)



Şekil 5.2. Lokasyon 9 için (a) sıkışma eğrisi ve (b) normal gerilim (e-LogP) grafiği

Çizelge 5.4. Odometre deneylerinden elde edilen sonuçlar

Lokasyon	İnce Tane (%)	m_v (m^2/kN)	e_0	C_p (%)
L1	27	0.000169	0.354	1.77
L2	66	0.000557	0.417	2.58
L3	53	0.000371	0.427	2.53
L4	65	0.000507	0.529	2.73
L5	12	0.000199	0.345	1.62
L6	47	0.000419	0.411	2.22
L7	64	0.000491	0.476	2.68
L8	18	0.000317	0.348	1.82
L9	55	0.000492	0.489	3.13
L10	82	0.000877	0.720	3.79
L11	77	0.000671	0.599	3.38
L12	52	0.000378	0.400	2.82
L13	39	0.000346	0.453	2.32
L14	28	0.000319	0.312	1.67
L15	54	0.000495	0.604	2.68
L16	45	0.000414	0.439	2.32
L17	42	0.000374	0.381	2.27
L18	48	0.000513	0.478	2.47
L19	52	0.000627	0.537	2.78
L20	46	0.000357	0.410	2.37

m_v : Hacimsel sıkışabilirlik katsayısı (100-200 kPa arası); e_0 : başlagıçtaki boşluk oranı;
 C_p : çökme potansiyeli

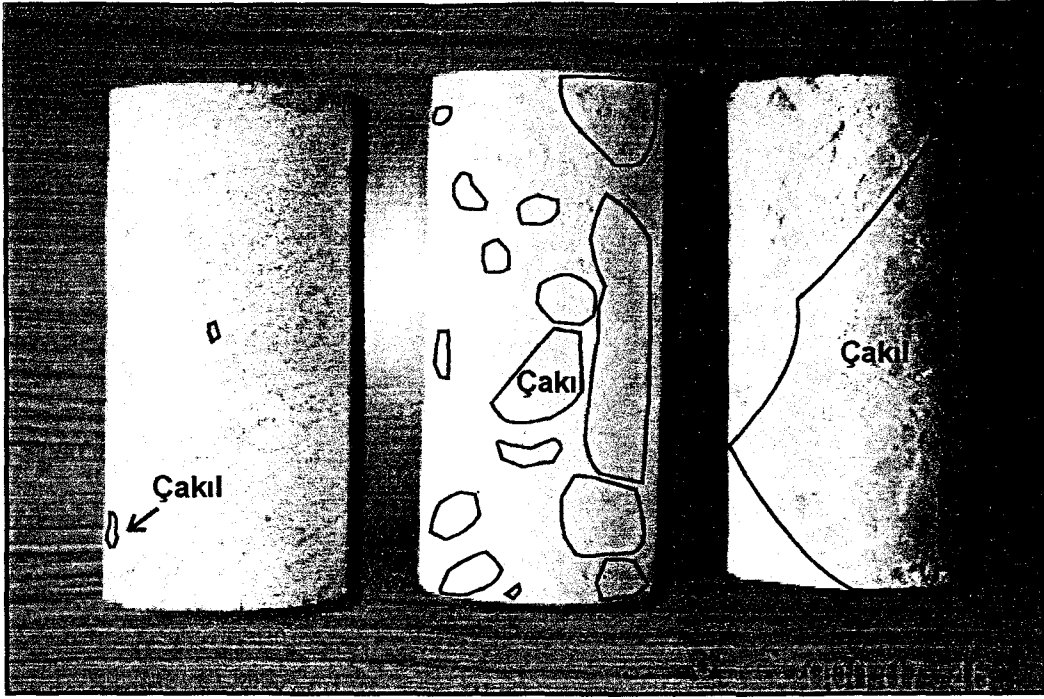
Adana Organize Sanayi Bölgesi'nde binaların temelleri genellikle sert kalış seviyesine oturmakta, ancak kalınlığın az olduğu yerlerde, bu seviye kaldırılarak temellerin yumuşak kalış seviyelerine oturması sağlanmaktadır. Ancak, kalınlığın daha fazla olduğu kesimlerde temel sert kalış seviyesi üzerinde yer alabilmektedir. Bu nedenle, yumuşak kalış seviyelerinin dayanımlarının belirlenmesine ek olarak sert kalış seviyesinin dayanımının da belirlenmesine gerek görülmüştür. Bu amaçla tek eksenli sıkışma dayanımı ve elastisite modülünün yanı sıra, birim hacim ağırlık ve görünür gözeneklilik gibi fiziksel parametrelerin belirlenmesine yönelik gerçekleştirilen laboratuvar deneyleri aşağıda ayrı başlıklar halinde sunulmuştur.

5.2.1. Birim hacim ağırlık

Kalış profilinin en üst seviyesini oluşturan ve yumuşak kaya niteliğindeki sert kalış seviyesinden tek eksenli sıkışma dayanımı deneyinde kullanılmak üzere alınmış olan karot örnekler kullanılarak birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir (Çizelge 5.5).

Sert kalış seviyesinin tek eksenli sıkışma dayanımını belirlemek amacıyla toplam 12 karot örneğinden, ISRM (1981)'e göre belirlenen birim hacim ağırlık değerleri, 18.84 ile 22.45 kN/m³ arasında değişmekte olup, ortalama birim hacim ağırlık değeri 20.68 kN/m³'tür.

Birim hacim ağırlık değerlerindeki geniş değişim aralığının nedeni; sert kalış seviyesinin, altında bulunan yumuşak kalış seviyelerindeki kalınlık ve devamlılıklarıdaki değişimden kaynaklanan yapısal farklılıklardır. Çakıllı, bloklu seviyenin kalınlığının ve devamlılığının fazla, ayrıca blok boyutunun daha büyük olduğu lokasyonlardan alınan blok örneklerinden elde edilen karotların, diğer lokasyonlara göre daha büyük ve hacimsel olarak daha fazla blok içerdği ile yoğunluğunun, dolayısıyla birim hacim ağırlık değerinin arttığı belirlenmiştir (Şekil 5.3).



Şekil 5.3. Farklı lokasyonlardan alınan sert kalış karot örneklerinin çakıl miktarı ve boyutlarındaki değişim.

5.2.2. Görünür gözeneklilik

Adana Organize Sanayi Bölgesi'ndeki sert kalış seviyesinden alınan blok örnekler üzerinde görünür gözeneklilik deneyleri de gerçekleştirilmiştir. Sert kalış seviyesinin belirlenen görünür gözenekliliği, %14 ile %25 arasında değişmekte olup, ortalama görünür gözeneklilik ise %19' dur. (Çizelge 5.5).

Birim hacim ağırlık ve görünür gözeneklilik parametreleri, malzemenin içerdği boşluk miktarına ve tanelerin dizilimine göre değişim göstermekte ve bu çalışma kapsamında her iki parametre arasında önemli bir ilişki gözlenmektedir (Şekil 5.4). Birim hacim ağırlık ile görünür gözeneklilik arasında yapılan basit regresyon analizlerinde doğrusal, logaritmik, üssel ve eksponansiyel ilişkiler ayrı ayrı araştırılmıştır (Çizelge 5.6). Buna göre, Birim hacim ağırlık ve görünür gözenekliliğin basit regresyon analizinden elde edilen en yüksek korelasyon katsayısı 0.95 olup, aralarında logaritmik bir ilişki bulunmakta ve görünür gözeneklilikteki azalma, birim hacim ağırlıkta artışa neden olmaktadır.

Çizelge 5.5. Sert kalış'e ait örnekler üzerinde gerçekleştirilen deneylerden elde edilen paratetreler ve istatistiksel değerdirmeler

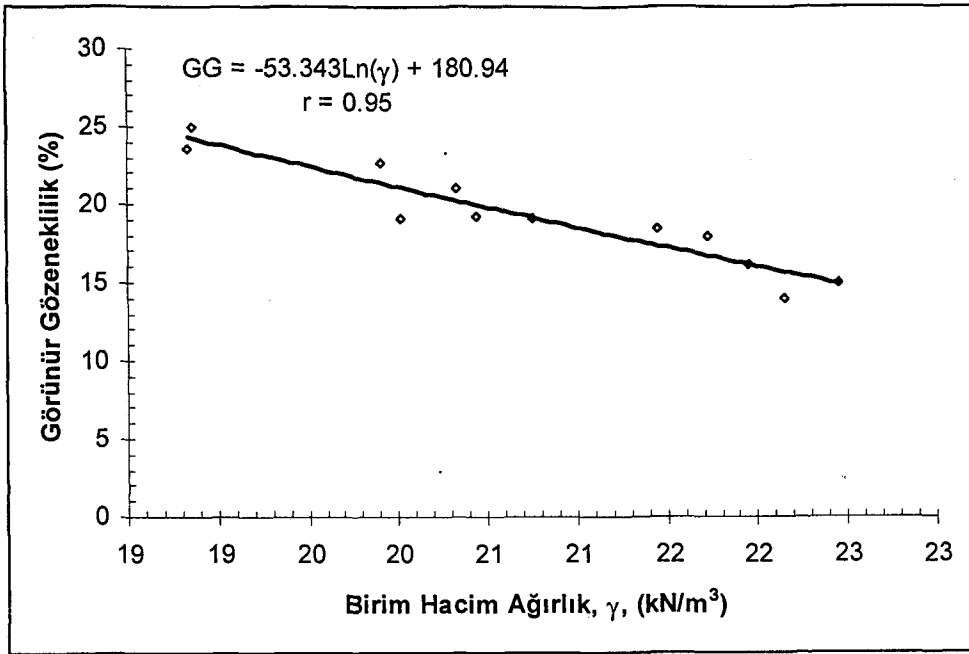
Parametre	Örnek sayısı	En Düşük	En Yüksek	Ortalama	Standart Sapma	Seviye
γ_n (kN/m ³)	12	18.84	22.45	20.68	1.26	STK
GG (%)	12	13.98	24.97	19.28	3.35	STK

γ_n : Birim hacim ağırlık; GG: görünür gözeneklilik

Çizelge 5.6. Birim hacim ağırlık ile görünür gözeneklilik arasındaki basit regresyon analizlerinden elde edilen eşitlikler ve korelasyon katsayıları

İlişki	Eşitlik	r
Doğrusal	$GG = -2.5936 (\gamma) + 73.074$	0.93
Logaritmik	$GG = -53.343 \ln (\gamma) + 180.94$	0.95
Üssel	$GG = 8566 (\gamma)^{-2.7762}$	0.94
Eksponansiyel	$GG = 314.33 e^{-0.135 (\gamma)}$	0.94

GG: Görünür gözeneklilik; γ : birim hacim ağırlık; r: regreson katsayısı



Şekil 5.4. Birim hacim ağırlık (γ) ve görünür gözeneklilik (GG) arasında en yüksek korelasyon katsayısının elde edildiği basit regresyona dayalı ilişki.

Şekil 5.4'teki ilişkinin güvenilirliğini sınamak için F-testi yapılmıştır. Elde edilen sonuca göre, hesaplanan f değeri 1.114 olup, %95 güvenirlilikte eşitliğin anlamlı olduğuna karar verilmiştir.

5.2.3. Tek eksenli sıkışma dayanımı

Kaya malzemesinin tek eksenli sıkışma dayanımı pek çok sınıflama sisteminin bir girdi parametresi olmakla birlikte, tasarım aşamasında da doğrudan kullanılan bir girdi parametresidir. Bu nedenle, temel bir jeomekanik parametre olan tek eksenli sıkışma dayanımı deneyleri yine sert kalış seviyesinden alınmış karot örnekler üzerinde yapılmıştır. Deneylere ilişkin sonuçlar Çizelge 5.7'da verilmiş olup, ortalama tek eksenli sıkışma dayanımı ortalama 11.9 MPa olarak belirlenmiştir. Sert kalış seviyesi için belirlenen ortalama tek eksenli sıkışma dayanımı değeri Deere ve Miller (1966) tarafından önerilen sınıflamaya göre "çok düşük dayanımlı" kaya sınıfında yer almaktadır.

Çizelge 5.7. Sert kalıŖe ait örnekler üzerinde gerekleŖtirilen tek eksenli sıkıŖma dayanımı deneyi sonuçları

Parametre	Örnek sayısı	En Düşük	En Yüksek	Ortalama	Standart Sapma	Seviye
σ_c (MPa)	12	6.99	19.48	11.89	2.91	STK

σ_c : Tek eksenli sıkıŖma dayanımı

5.2.4. Tek eksenli sıkıŖma dayanımı, birim hacim ağırlık ve görünür gözeneklilik arasındaki ilişkiler

Sağlam kayanın tek eksenli sıkıŖma dayanımı, kaya mühendisliğı ve mühendislik jeolojisi projeleri için önemli bir parametredir. Ancak, zayıf kaya niteliğindeki sert kalıŖ seviyesine ait karot örneklerin hazırlanması sırasında kırılma, erime v.b. gibi bir takım sorunlarla karşılaŖılmıştır. Bu nedenle, standarda uygun boy sağlam karot örneklerine gereksinin duyulmadan gerekleŖtirilebilen laboratuvar deneylerinden olan, birim hacim ağırlık ve görünür gözeneklilik değıerleri kullanarak, tek eksenli sıkıŖma dayanımı kestirilmeye yönelik eŖitlikler geliŖtirilmeye alıŖılmış ve bu amacla basit ve çoklu regresyon analizleri yapılarak bir kestirim modeli oluŖturulmuŖtur. Pek çok araŖtırmacı tarafından karot örneklerin elde edilmesinde yaŖanan güçlüklerin aŖılabilmesinde, Schmidt geri sıçrama değıeri, nokta yükü dayanım indeksi, disk makaslama dayanım indeksi gibi basit indeks deneyler ile petrografik özellikler kullanarak kestirim modelleri oluŖturulmuŖtur (Bell, 1978; Shakoor and Bonelli, 1991; Edet, A., 1992; Ulusay et al., 1994; Howarth and Rowland, 1996; Gökeoglu, 2002).

Bu alıŖma kapsamında tek eksenli sıkıŖma dayanımını kestiriminde kullanılan modeli oluŖturmak için basit ve çoklu regresyon analizleri yapılmıştır. Öncelikle, tek eksenli sıkıŖma dayanımı ile birim hacim ağırlık ve görünür gözeneklilik arasındaki ilişkinin belirlenmesi amacıyla basit regresyon analizleri olup, bu analizler sonucunda elde edilen eŖitlikler Çizelge 5.8'de ve kestirim modelinde elde edilen fonksiyonların grafikleri Ŗekil 5.5 ve Ŗekil 5.6'da verilmiştir.

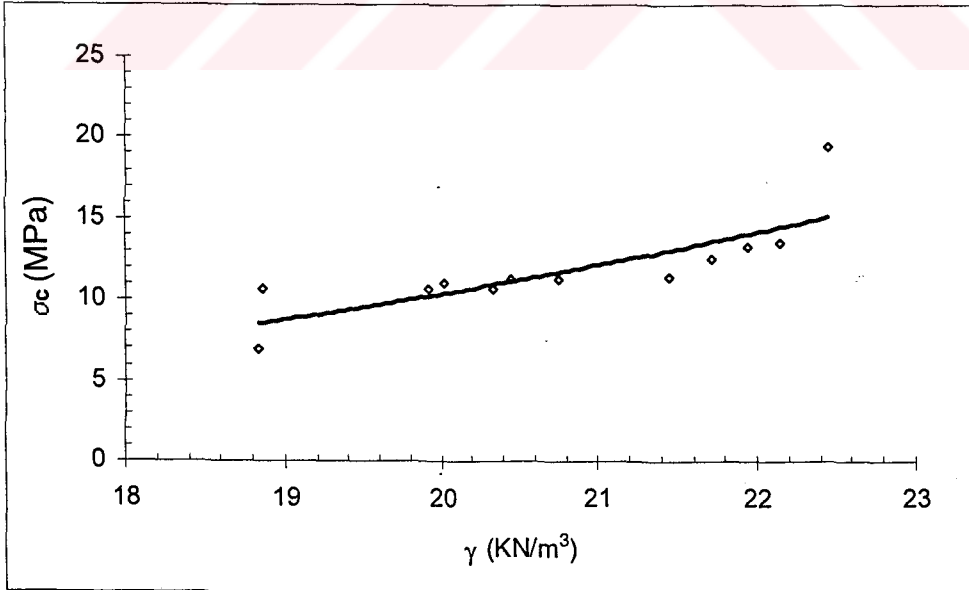
Çizelge 5.8. Tek eksenli sıkışma dayanımı ile birim hacim ağırlık ve görünür gözeneklilik arasındaki basit regresyon analizleriyle elde edilen eşitlikler ve korelasyon katsayıları

Fonksiyon	ilişki (γ)	r	İlişki (GG)	r
Doğrusal	$\sigma_c = 1.9022 (\gamma) - 27.566$	0.80	$\sigma_c = -0.6799(GG) + 24.42$	0.75
Logaritmik	$\sigma_c = 38.812 \ln(\gamma) - 105.73$	0.79	$\sigma_c = -12.578 \ln(GG) + 48.96$	0.76
Üssel	$\sigma_c = 0.0006(\gamma)^{3.2546}$	0.82	$\sigma_c = 243.45(GG)^{-1.0339}$	0.78
Eksponansiyel	$\sigma_c = 0.4303 e^{0.1588(\gamma)}$	0.83	$\sigma_c = 37.731 e^{-0.0539(GG)}$	0.77

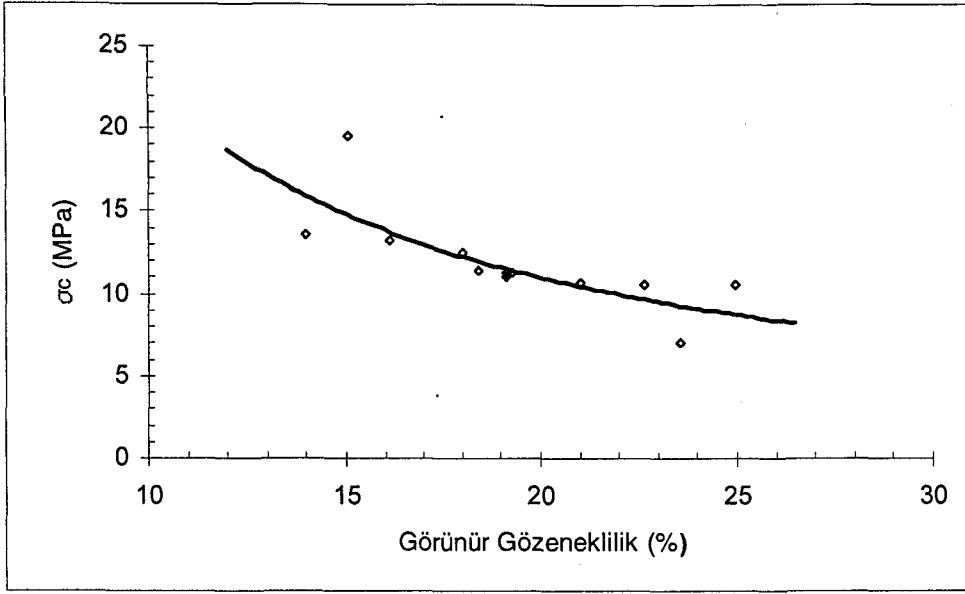
σ_c : Tek eksenli sıkışma dayanımı, γ : Birim hacim ağırlık, GG: Görünür gözeneklilik; r: korelasyon katsayısı

Tek eksenli sıkışma dayanımı ile birim hacim ağırlık ve görünür gözeneklilik arasında yüksek bir korelasyon katsayısı olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle her iki parametrenin birlikte kullanıldığı çoklu regresyon analizi yapılmıştır. (Eş. 5.5).

$$\sigma_c = 2.052 (\gamma) + 0.06853 (GG) - 32.617 \quad r=0.8 \quad (5.5)$$



Şekil 5.5. Tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_c) ile birim hacim ağırlık (γ) arasındaki basit regresyona dayalı ilişki.



Şekil 5.6. Tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_c) ile görünür gözeneklilik arasındaki basit regresyona dayalı ilişki.

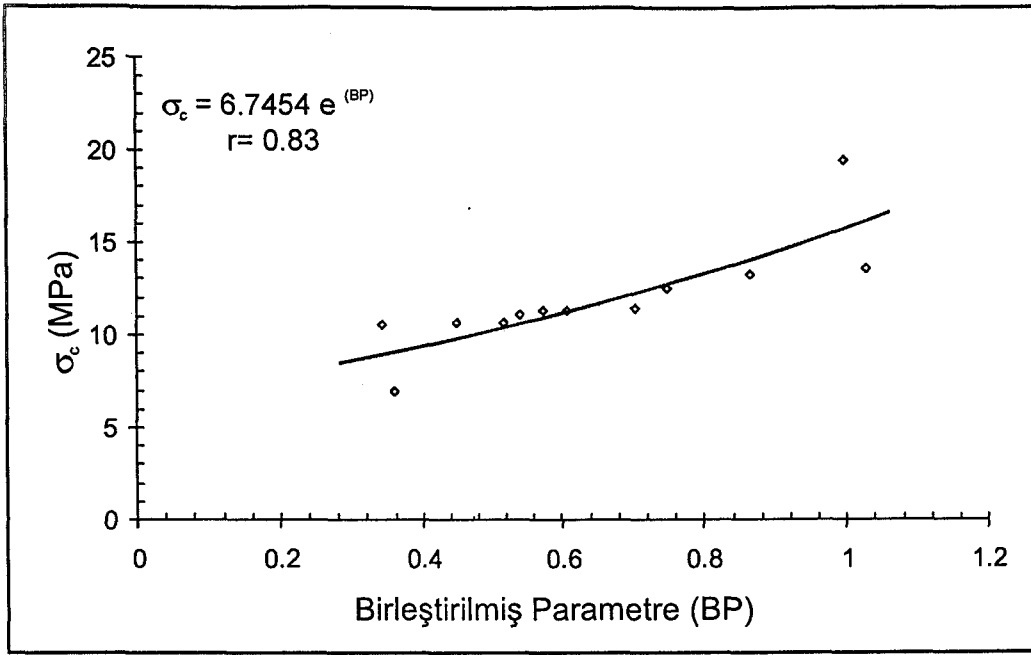
Tek eksenli sıkışma dayanımı ile birim hacim ağırlık arasındaki en yüksek korelasyon katsayısının eksponensiyel fonksiyonda elde edilmiş olmasına karşın, kestirim modelinde daha yüksek bir tahmin kapasitesi sağladığı gözlenen üssel fonsiyon eşitliği kullanılmıştır. Tek eksenli sıkışma dayanımı ile görünür gözeneklilik arasında ise, en yüksek korelasyon katsayısı yine üssel fonksiyon ile elde edilmiştir.

Buna ek olarak, basit regresyon eşitlikleri kullanılarak yeniden yapılandırılan ve birim hacim ağırlık ve görünür gözenekliliğin bir arada kullanıldığı (Birleştirilmiş Parametre, BP) bir eşitlik geliştirilmiştir.

Birleştirilmiş parametre kullanılarak oluşturulan ilişki, Eş. 5.6'da ve tek eksenli sıkışma dayanımı ile arasındaki ilişkiyi gösteren grafik ise Şekil 5.7'de sunulmuştur.

$$\sigma_c = 6.7454 e^{0.0005 (\gamma) 3.2546 / GG} \quad r = 0.83 \quad (5.6)$$

$$\sigma_c = 6.7454 e^{(BP)}$$



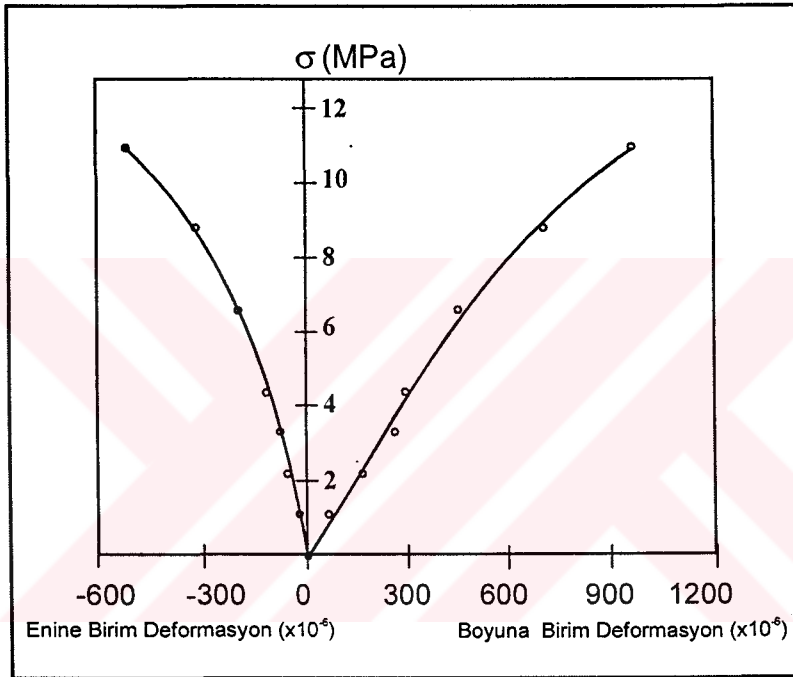
Şekil 5.7. Tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_c) ile birleştirilmiş parametre (BP) arasındaki ilişki.

Birleştirilmiş Parametre ile yapılan analizlerde elde edilen korelasyon katsayısının çoklu regresyon analizi ile elde edilen korelasyon katsayısından daha yüksek olduğu belirlenmiş ve tek eksenli sıkışma dayanımını belirlemeye yönelik geliştirilen kestirim modelinde bu eşitliğin kullanılmasına karar verilmiştir. Ayrıca, çoklu regresyon analizlerinde bağımsız değişken ile bağımlı değişkenler arasındaki ilişki doğrusal kabul edilmektedir. Ancak tek eksenli sıkışma dayanımı ile birim hacim ağırlık ve görünür gözeneklilik arasındaki basit regresyon analizlerinden elde edilen ilişkilerin eğrisel olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, oluşturulan kestirim modeli olarak çoklu regresyon eşitliği önerilmemektedir.

Eşitliğin güvenilirliğini sınamak için F-testi yapılmıştır. Elde edilen sonuca göre, hesaplanan f değeri sıfıra çok yakın olup, %95 güvenirlilikte eşitliğin anlamlı olduğuna karar verilmiştir.

5.2.5. Elastisite modülü ve Poisson oranı

İnceleme alanındaki kalış profilinin zayıf kaya özelliğindeki sert kalış seviyesine ait örneklerin deformabilite parametreleri de belirlenmiştir. Sınırlı sayıda gerçekleştirilen deneyler sonucunda Poisson oranının 0.13-0.34, elastisite modülünün ise 4.5 GPa ile 14.2 GPa arasında değiştiği belirlenmiş (Çizelge 5.9) olup deneylere ait tipik bir gerilim-deformasyon eğrisi Şekil 5.8’ de verilmiştir.



Şekil 5.8. Elastisite modülü deneyleri için örnek gerilim-birim deformasyon eğrisi.

Çizelge 5.9. Sert kalış seviyesinin elastisite modülü ve Poisson oranı değerleri

Örnek No	ν	E (GPa) (ortalama)	σ_c (MPa)
1	0.13	5.9	11.43
2	0.19	4.5	6.99
3	0.34	14.2	12.49

Elastisite modülü deneylerinden elde edilen değer ve tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin Deere ve Miller (1966)'in önermiş olduğu "Birleştirilmiş Mühendislik Sınıflaması" grafiğine yerleştirilerek "yüksek modül oranı" sınıfında yer aldığı görülmektedir.

5.3. X-Işınları Kırınım Çözümlemeleri

Yumuşak kalış seviyelerine ait toprakların mineral içeriklerinin yarı-nicel olarak belirlenebilmesi amacıyla örnekleme yapılan lokasyonların her birinde, tüm kayaç ve kil bileşenleri analizleri gerçekleştirilmiştir. X-ışınları kırınım difraktogramları, Hacettepe Üniversitesi X-Işınları Mikro Analiz Laboratuvarında, 2^o dakika hızlı gonyometreye sahip PW-1140 model difraktometre kullanılarak elde edilmiştir. Difraktogramlar, normal, fırınlanmış ve etilen-glikol ile hazırlanmış örnekler kullanılarak elde edilmiş ve sonuçlar yarı niceliksel olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre siltli, killi seviyeye ait örnekler ortalama %12.5 ve çakıllı, bloklu seviyeye ait örnekler ortalama %6.3 oranında kil minerali (kaolinit, illit, simektit grubu) içermektedir. Örnekler her üç kil minerali türünü (kaolinit, illit, simektit) içermekle birlikte, baskın olan kil minerali türü simektit grubudur (Çizelge 5.10). X-ışınları kırınım çözümlemelerinden belirlenen kil yüzdesinin, tane boyu dağılım analizlerinde belirlenen ortalama kil yüzdesinden daha fazla olması, hidrometre analizlerinde topaklanma nedeniyle kil tane boyutundaki malzemenin belirlenememesinden kaynaklanmaktadır. Her iki seviye için tüm kaya analizlerinde belirlenen diğer mineraller ise kalsit ve kuvarstır.

5.4. Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) Analizleri

Çökme mekanizmasının gelişmesinde, tanelerin şekli ve taneler arası bağlar çok önemli bir rol oynamaktadır (Barden et al., 1973). Bu çalışma kapsamında kalışın içerisindeki kil ve kalsiyum karbonat çimentosu en önemli bağlayıcıları oluşturmaktadır. Bu yapısal özellikler sadece X-ışınları kırınım analizleri ile desteklenen Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) analizleri ile değerlendirilebilmektedir. Makroskopik boyutta belirlenemeyen çökebilir toprak

Çizelge 5.10 Yumuşak kalış seviyelerinin yarı kantitatif mineral içerikleri

Yumuşak Kalış Seviyesi	Simektit (%)	İllit (%)	Kaolinit (%)	Kalsit (%)	Kuvars (%)
<u>Siltli-Kumlu Seviye</u>					
PL1 (L2)	8.60	2.50	1.10	69.30	18.50
PL2 (L5)	9.20	3.14	1.20	71.30	15.16
PL3 (L7)	7.50	3.30	1,60	68,20	19.40
PL4 (L14)	7,30	2.30	1.10	66.60	22.70
PL5 (L20)	8.20	2.24	1.60	70.20	17.76
PL6 (L15)	8.50	3.20	1.22	68.78	18.30
PL7 (L11)	9.10	2,50	1.30	68.40	18.70
PL8 (L16)	8.50	3.10	1,20	70,20	17.00
PL9 (L17)	8.10	2.65	1.50	67.95	19.80
Ortalama	8.30	2.80	1.40	68.90	18.60
<u>Çakıllı, bloklu Seviye (bağlayıcı için)</u>					
PL1 (L2)	7.30	1.20	2.60	68.80	20.10
PL2 (L5)	3.20	2.50	2.30	73.30	18.70
PL3 (L7)	1.10	2.20	1.30	72.90	22.50
PL4 (L14)	2.40	1.30	1.25	79.65	15.40
PL5 (L20)	3.10	2.30	1.40	74.70	18.50
PL6 (L15)	3.15	1.25	1.30	75.40	18.90
PL7 (L11)	1.30	1.40	1.20	76.30	19.80
PL8 (L16)	2.40	1.50	2.50	74.20	19.40
PL9 (L17)	1.30	2.50	1.20	74.80	20.20
Ortalama	2.81	1.79	1.67	74.45	19.28

zeminlerin yapısal açıdan ayırt edici olan, “gözenekli ve açık yapı” özellikleri, ancak SEM analizleri ile ortaya konabilmektedir (Rollins, 1994). Buna ek olarak, laboratuvar da ya da arazide yapılan çökme potansiyeli deneylerinden sonra, malzemenin mikroskopik yapısının ve tanelerin dağılım/dizilim özelliklerindeki değişiminin ortaya konulabilmesi açısından da SEM analizleri büyük önem taşımaktadır (Azam, 2001).

Bazı özel durumlarda, toprak zeminlerin hangi tür etki altında (ıslanma ya da yük artışı) çökme mekanizmasının tetikleneceği konusunda önceden bilgi edinilebilmesi, malzeme içeriğindeki minerallerin cinsi ve miktarının tayini ile mümkün olabilmektedir (Knight, 1960; Barden et al., 1973'den).

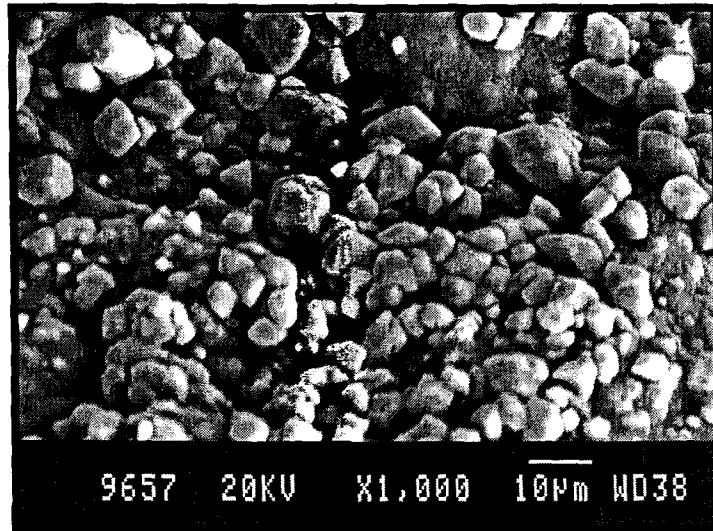
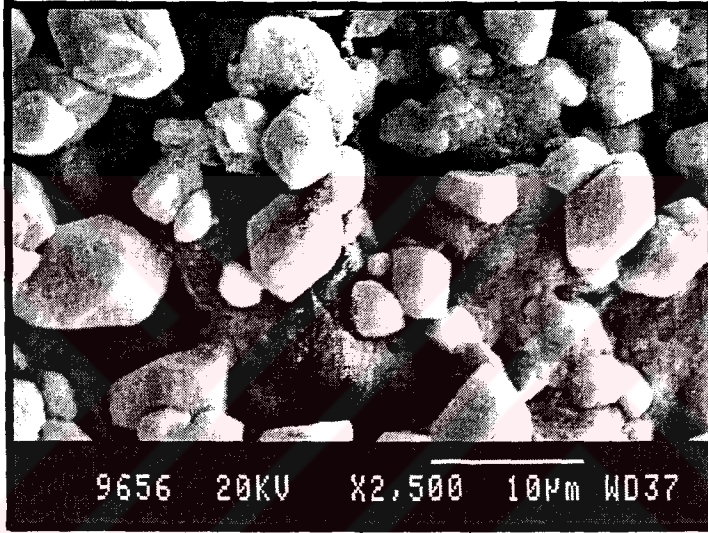
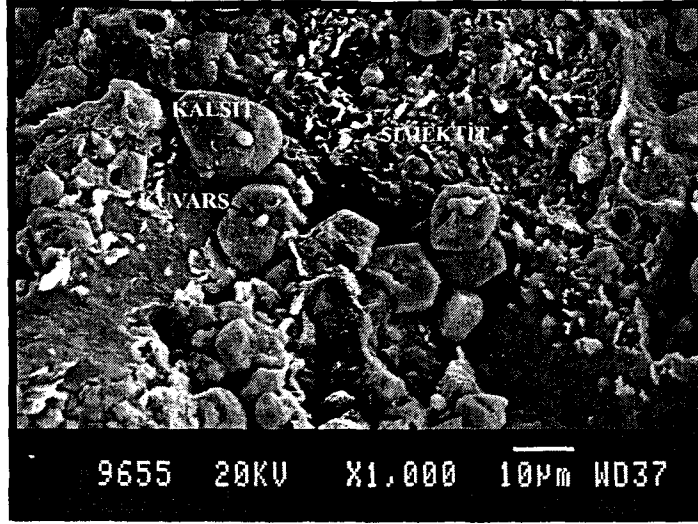
Bu çalışma kapsamında, çökme mekanizmasının geliştiği kalış seviyesi olan siltli, kumlu seviyeden alınan ve çökme potansiyeli deneylerinde kullanılan örselenmemiş örnekler için ayrıca SEM analizleri de yapılmıştır. Bu analizlerinin yapılmasının amacı öncelikle, yük artışı ve ıslanma sonucu çökme mekanizmasının geliştiği siltli-kumlu malzemedeki tanelerin, çökme öncesi ve çökme sonrası değişen yapısal özelliklerinin ortaya konması olmuştur. Bunun için, her deneyden önce ve sonra malzemedan örnekler alınmış ve analizleri yapılmıştır. SEM analizleri TPAO Araştırma Merkezi SEM Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiş olup, örnekler, fırında kurutma-altın paladyum kaplama tekniği ile hazırlanmıştır.

Analiz sonuçlarına göre, çökme potansiyelinin geliştiği SK seviyesinde en çok gözlenen mineral türü kalsit olmakla birlikte (ortalama %60), daha az miktarda (ortalama %20) kuvars mineraline de rastlanmıştır. Malzeme içindeki hem kalsit hem de kuvars minerallerinin özşekli olduğu ve kalsit minerallerinin boyutunun 50 µm ile 200 µm arasında değiştiği gözlenmiştir. Taneler arasındaki bağlayıcı malzenin simektit grubu kil minerali olduğu belirlenmiş ancak, yer yer de olsa illit türü kil mineralinin de bağlayıcı özelliği taşıdığı saptanmıştır. Bu sonuçlar, X-ışınları kırınım analizleri ile uyum göstermektedir. Bunlara ek olarak, tarama sırasında gözlenen taneler arasındaki boşlukların, birbirlerine bağlantılı boşluklar olduğu ve boşluk oranının yüksek olduğu da söylenebilir.

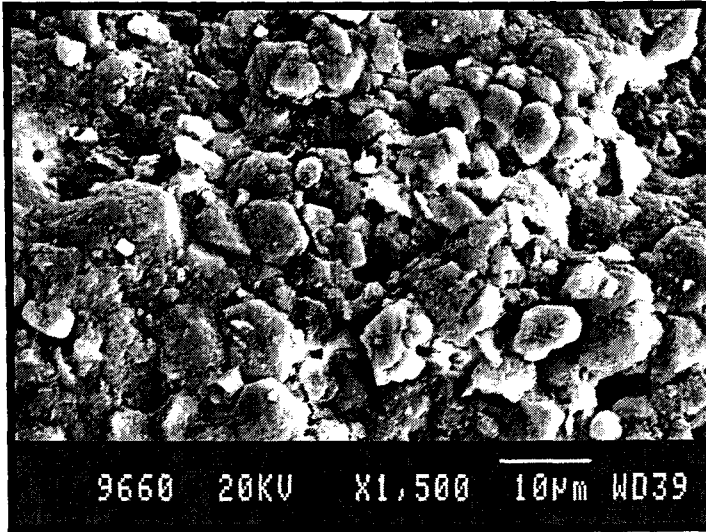
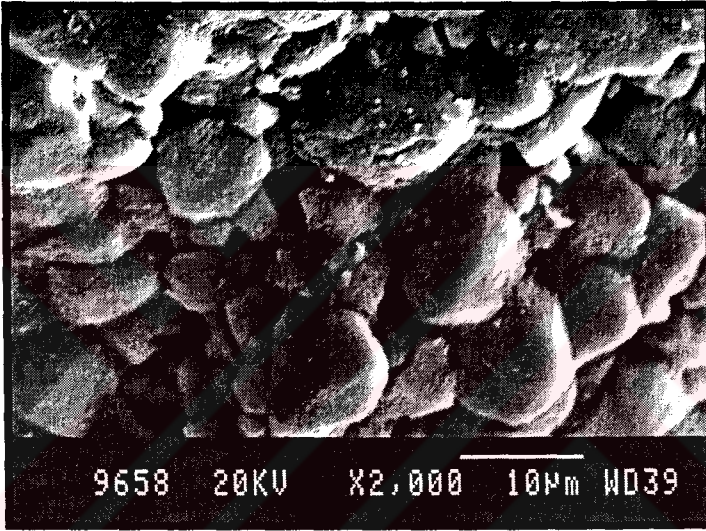
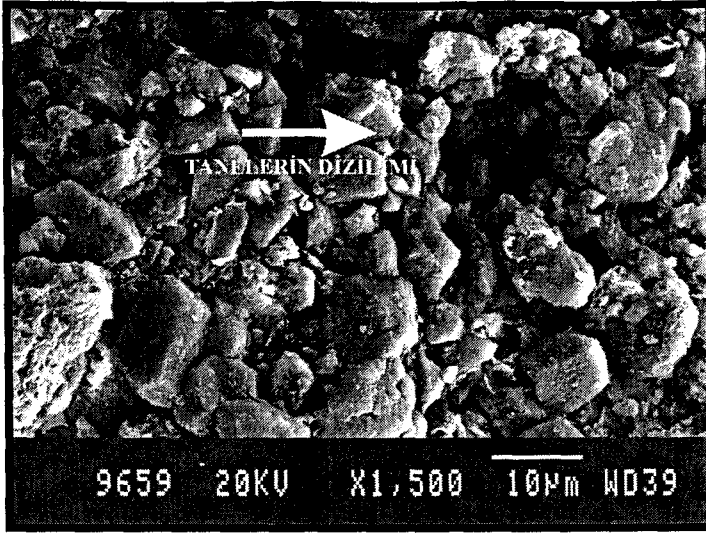
Çökme mekanizmasının gelişmesinden önce alınan örnekler üzerinde gerçekleştirilen analizlerde, taneler arasındaki boşlukların belirgin olduğu ve tanelerin düzenli bir dizilim göstermedikleri gözlenmiştir (Şekil 5.9) .

Çökebilir toprakların tipik özelliklerinden biri de yük ve ıslanması sonrası meydana gelen, iç yapı çökmesi sonrasında tanelerin birbirlerine yaklaşmaları ve bir dizilim göstermelerinin yanı sıra, taneler arasındaki boşlukların azalmasıdır. Kalışın siltli, kumlu seviyesinden alınmış örneklerde yapılan SEM analizlerinde, tanelerin konusu geçen mikroyapısal değişimleri gözlenmiş ve bu değişimler görüntülenmiştir (Şekil 5.10).

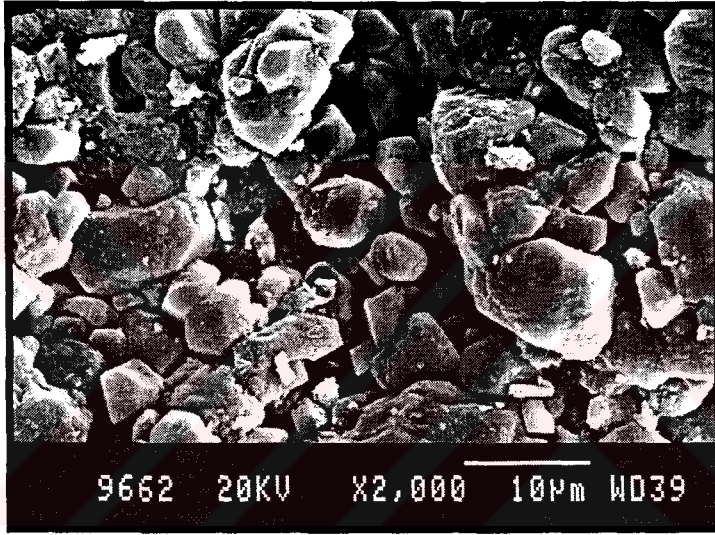
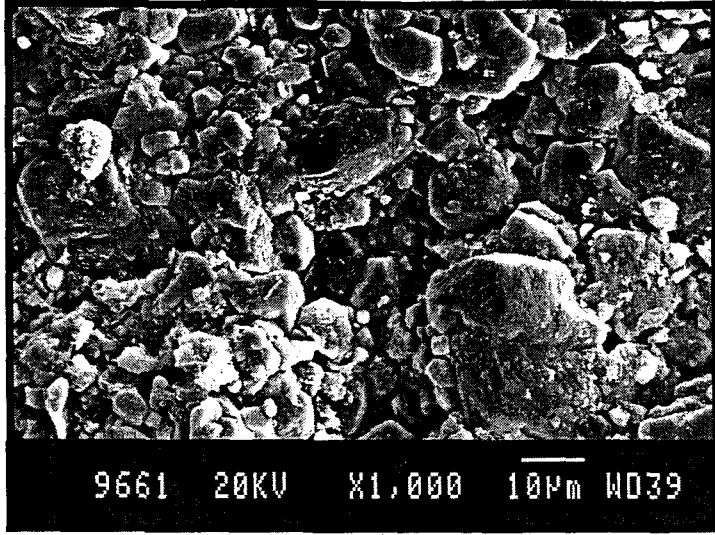
SEM analizleri ile belirlen tüm bu özellikler, çökebilir toprak zeminler için tipik olan; açık yapı, gevşek paketlenme ve yüksek boşluk oranı gibi özelliklerin tümünü sergilemekte ve çökme sonrası tanelerin dizilim ve yer değiştirmeleri ile değişen yapıyı açıkça göstermektedir.



Şekil 5.9 Çökme öncesi siltli-kumlu seviyenin SEM görüntüsü



Şekil 5.10 Çökme sonrası siltli-kumlu seviyenin SEM görüntüsü



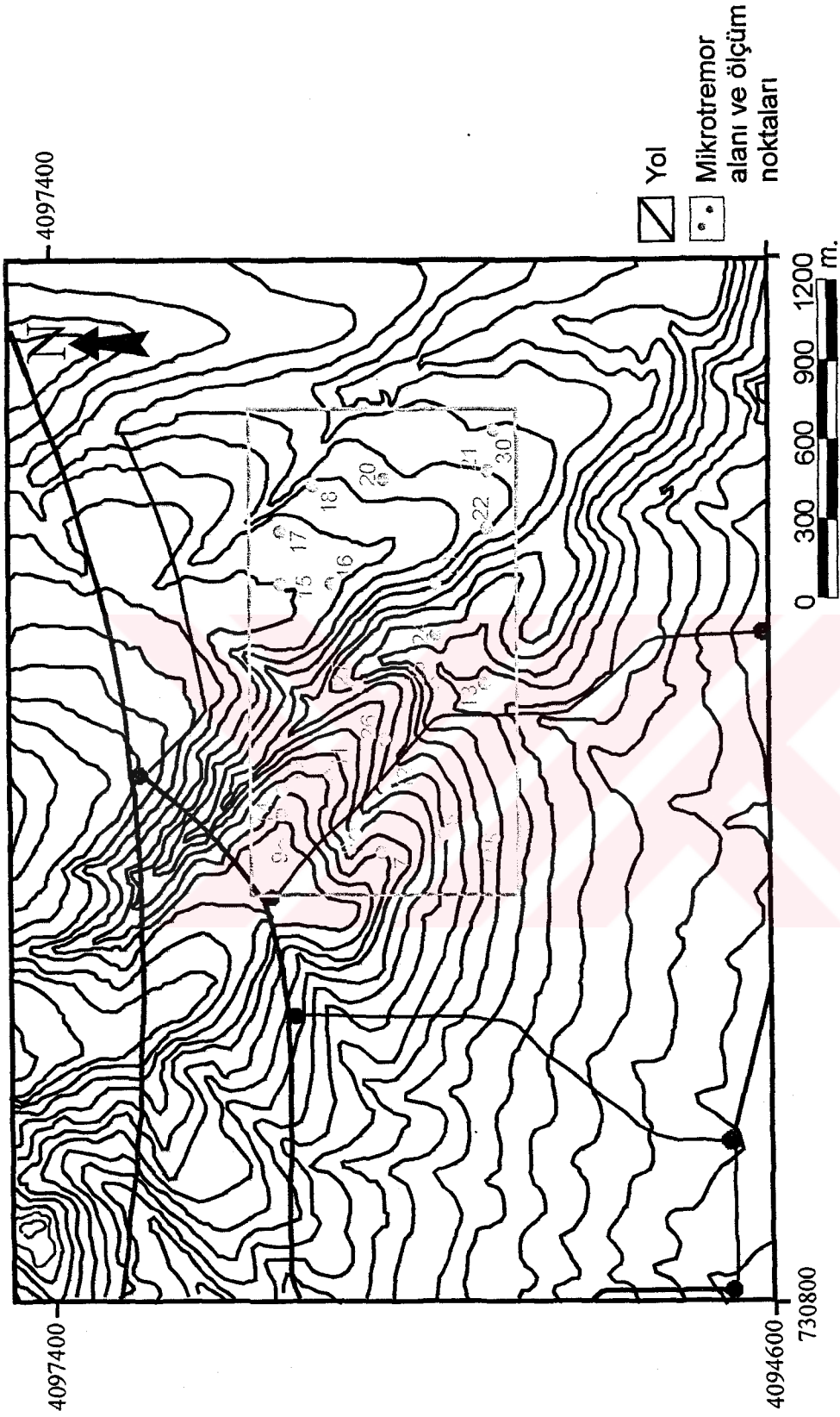
Şekil 5.10. devam ediyor

6. ADANA ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİNDEKİ KALIŞIN BAZI DİNAMİK ÖZELLİKLERİ

Tez çalışması kapsamında 2. ve 3. derece deprem bölgeleri içerisinde kalan Adana ve yakın civarında yüzeylenen ve 27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan depreminde üzerinde bulunan binaların hasar gördüğü (Aydan et al., 1998), kalişin bazı dinamik özelliklerinin de değerlendirilmesi amaçlanmış ve bu amaç doğrultusunda mikrotremor çalışmaları yapılmıştır. Mikrotremor ölçümleriyle zemin hakim titreşim periyodu ve bunun zemin büyütmesine olan etkisi değerlendirilmiştir. Bu ölçüm ve incelemeler, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Daprem Araştırma Daire'sinin katkılarıyla gerçekleştirilmiştir.

6.1. Kaliş Profilinin Zemin Hakim Titreşim Periyodunun Belirlenmesi ve Zemin Büyütmesi Etkisinin İncelenmesi

Bu çalışmada, Adana Organize Sanayi Bölgesinde gözlenen kalişlerin bazı dinamik özelliklerinin ortaya konması amacıyla zemin hakim titreşim periyodu ile zemin büyütmelerinin belirlenmesi için 24 adet mikrotremor (mikro titreşimcik) kaydı alınmıştır (Şekil 6.1). Mikrotremor kayıtlarının yorumlanmasında Nakamura (1989) yöntemi kullanılmıştır. Çalışma alanının genelinde yapılan mikrotremor ölçümlerinin yanı sıra, 1998 Adana-Ceyhan depremi sırasında bu alanda hasar gören yapıların çevresinde de ölçümler alınmıştır. Sert kaliş ve yumuşak kaliş arasındaki büyütme farkının ortaya konabilmesi amacıyla, sert kaliş üzerinde ve sert kalişin olmadığı, profilin doğrudan yumuşak kaliş ile başladığı yerlerde alınan kayıtlara, Geleneksel Spektral oranlar ve Nakamura (1989), teknikleri uygulanarak sert kaliş'in zemin büyütmesine olan etkisi araştırılmıştır. Mikrotremor ölçümleri, Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi tarafından yapılmış olup, buna ilişkin analizler ve elde edilen sonuçlar bir rapor halinde ayrıca sunulmuştur (DAD, 2003). Kaliş profilinin zemin hakim titreşim periyodunun belirlenmesini ve zemin büyütmesi etkisinin incelenmesini konu alan bu bölümde Deprem Araştırma Dairesi'nce hazırlanan bu rapor esas alınmıştır.



Şekil 6.1. Zemin hakim titreşim periyodu ve zemin büyütmesini belirlemek amacıyla Adana Organize Sanayi Bölgesi'nde yapılan mikrotremor ölçümlerine ait lokasyonlar.

6.1.1. Mikrotremor Ölçüm Yöntemleri

Mikrotremor; okyanusal, atmosferik ya da yapay kaynaklardan (trafik, endüstriyel makineler) ortaya çıkan, her zaman ve her yerde oluşabilen düşük genlikli (1-10 mikron) salınımlardır. Mikrotremorlar, blinen (S, P, yüzey dalgası vb.) sismik dalga tiplerinden ikisinin, ya da birkaçının bileşimi olabilirler (Udwadia and Trifunac 1973).

Bilindiği gibi, depremlerde yapının üzerinde bulunduğu zeminin titreşmesi, diğer bir deyişle sallanması durumunda mühendislik yapısı da titreşime maruz kalmaktadır. Mühendislik yapısı ile üzerinde bulunduğu zeminin periyotlarının birbirine yakın olması halinde, bir rezonans oluşmakta ve buna bağlı olarak da hasar beklenenden fazla olmaktadır. Günümüzde meydana gelen depremlerden sonra yapılan incelemelerde yapı-zemin rezonans etkisinin hasarı arttırıcı bir etkisi olduğu gözlenmiştir (Wenk et al., 1998). Wenk et al. (1998), 1998 Adana-Ceyhan depremi sonrası, hasar gören 65 binada yaptıkları çalışmada en çok hasar gören binaların, en fazla beş ile yedi katlı oldukları ve bina frekanslarının 1.5-2 Hz arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Buna ek olarak, Çelebi (1998) de Ceyhan istasyonu ivme kaydını esas alarak Nakamura yöntemi kullanmış ve elde ettiği transfer fonksiyonunun 1-1.5 Hz de pik yaptığını belirtmiştir.

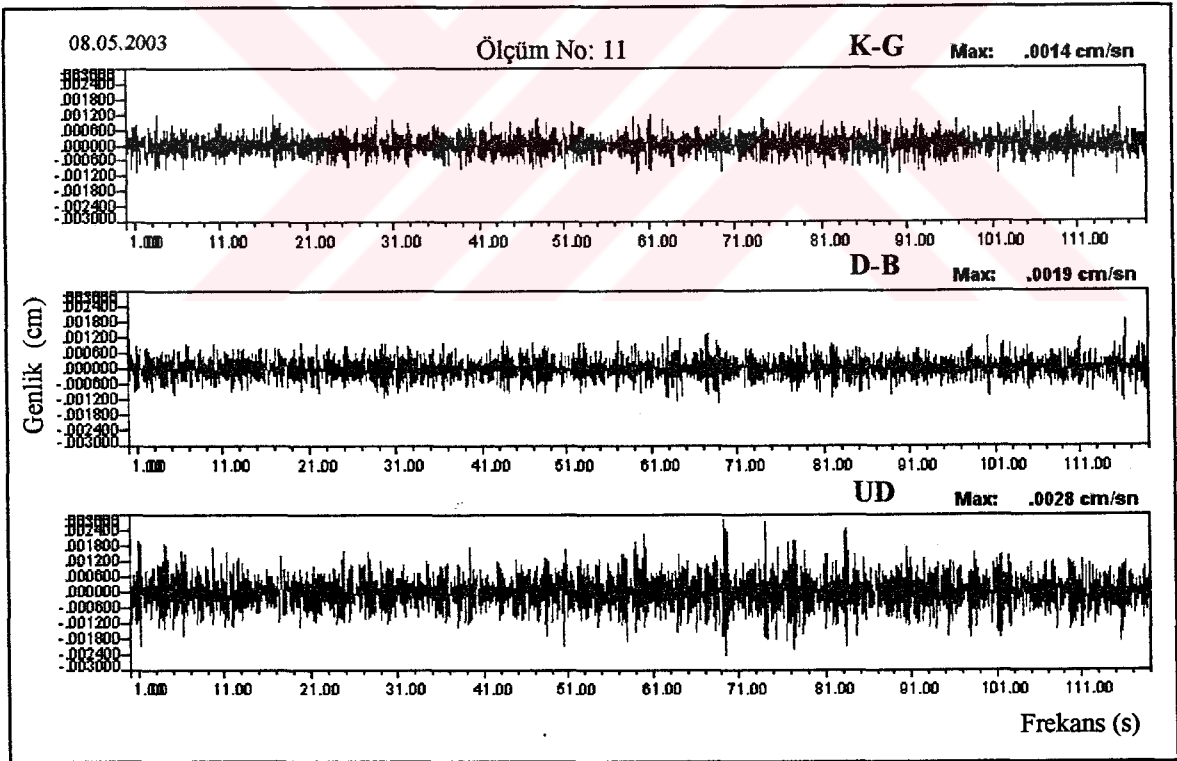
6.1.2. Kullanılan Yöntemler ve Verilerin İşlenmesi

Çalışma kapsamında yürütülen mikrotremor ölçümlerinde, Akashi marka JEP-6A3 model, 3 bileşenli ve frekans bandı 0.2-20 Hz arasında düz olan algılayıcılar kullanılmıştır. Bu algılayıcılar ile kaydedilen ivme verileri, bir Datamark LS-8000WD model bir veri kayıtçısında depolanmıştır (Şekil 6.2). Kayıtlara, 1Hz-10 Hz arasında band geçişli Butterworth tip filtre uygulaması yapılmıştır.

Alınan mikrotremor kayıtları, sıfır ekseninden kayma (off-set) düzeltmesi ve 1-10 Hz band geçişli Butterworth tipi filtre uygulaması yapılarak çizdirilmiştir (Şekil 6.3).

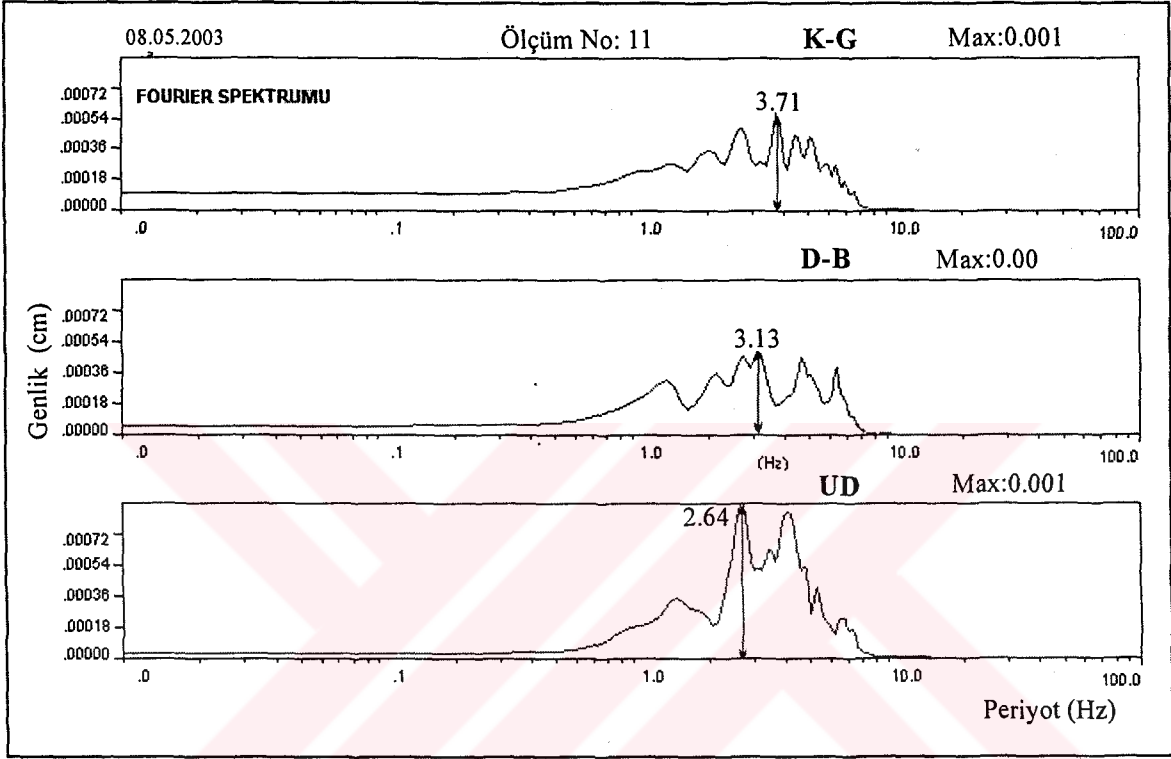


Şekil 6.2. Çalışmada kullanılan mikrotremor ölçüm ekipmanı



Şekil 6.3. Çalışma alanındaki 11 nolu ölçüm noktasına ait üç bileşenli, K-G (kuzey-güney), D-B (doğu-batı) ve UD (düşey) bileşenleri gösteren 3 dakikalık mikrotremor kaydı (DAD, 2003).

Bir sonraki aşamada, her bir bileşenin frekans ortamında Fourier genlik spektrumları (Şekil 6.4) elde edilmiş olup, bu spektrumların elde edilmesinde, 0.4 band aralıklı Parzen pencere uygulaması yapılmıştır. Mikrotremor kayıtları yukarıdaki işlemlerden geçirilerek değerlendirmeye hazır hale getirildikten sonra Nakamura spektrumu ve Geleneksel Spektral Oran yöntemi uygulanmıştır.

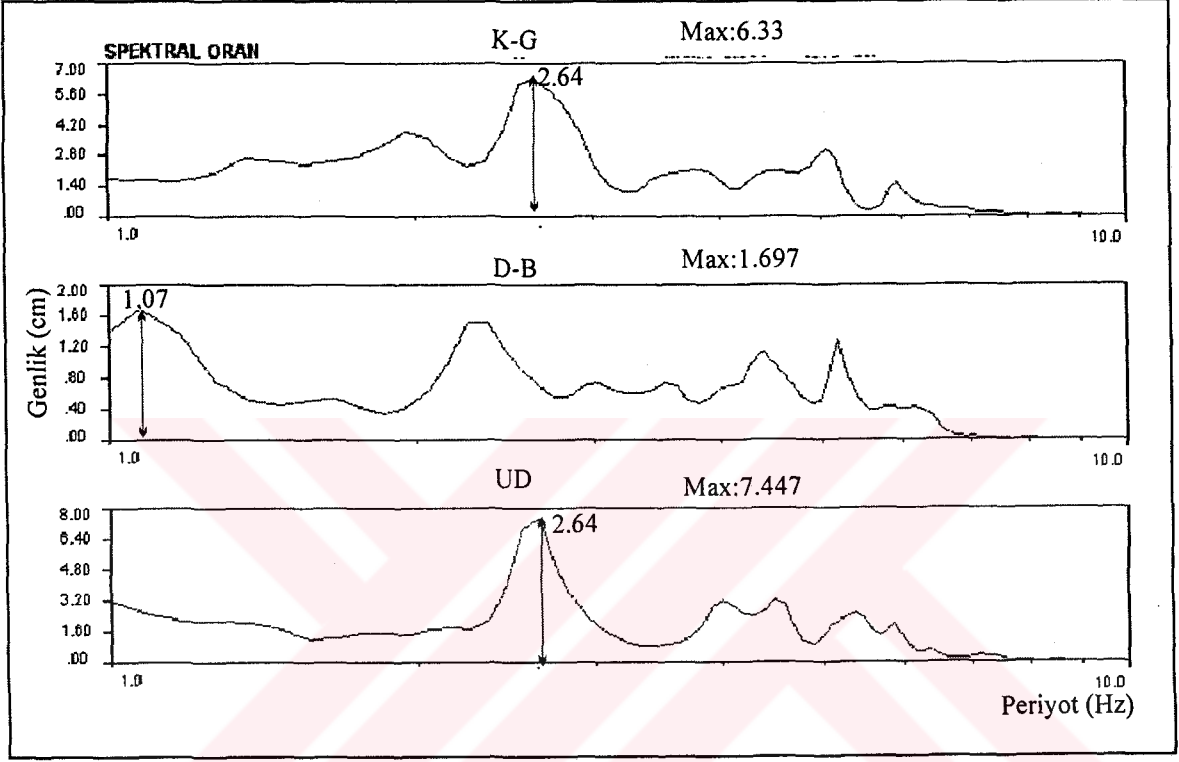


Şekil 6.4. Çalışma alanındaki 11. ölçüm noktasına ait üç bileşenli K-G (kuzey-güney), D-B (doğu-batı) ve UD (düşey bileşen) mikrotremor kaydının Fourier genlik spektrumları (DAD, 2003).

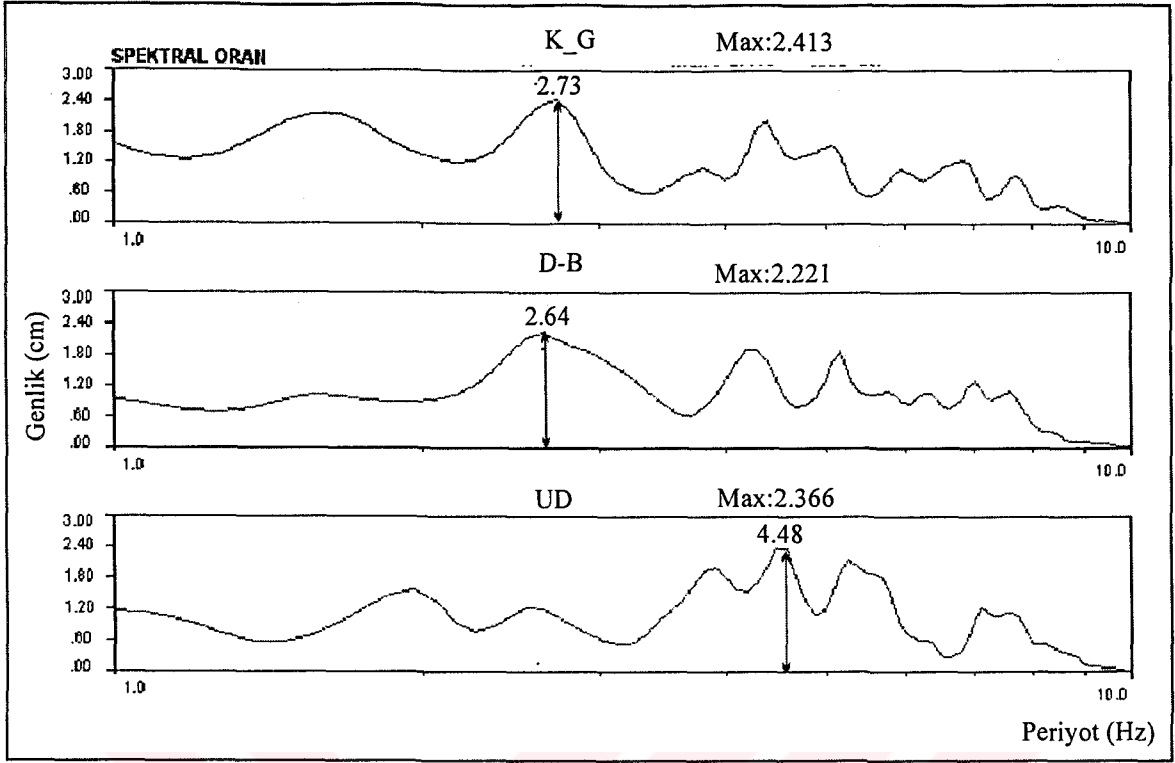
6.1.3. Geleneksel Spektral Oranlar Tekniği

Bu yöntemde, mikrotremor kaydından elde edilen verilerin değerlendirileceği yerdeki spektrumlar, belirli bir referans noktasından elde edilen spektruma oranlanır. Bu tekniği uygulamak üzere kayda, sıfır ekseninden kayma (off-set) düzeltilmesi ve 0.25-25 Hz band geçişli Butterworth tip filtre uygulaması yapılmıştır. Daha sonra, frekans ortamında her bir bileşenin spektrumları elde edilmiştir. Sert kalış ve yumuşak kalış için elde edilen spektrumlar, bileşenlerine göre frekans

ortamında oranlanarak kaynak ve yol etkisi giderilerek tekrar hesaplanmıştır. Ayrıca 0.5 Hz band genişliğine sahip Parzen penceresi ile spektrum düzlemesi (smoothing) yapılmıştır (Şekil 6.5 ve 6.6).



Şekil 6.5. Çakıllı-bloklı seviye ile sert kalış seviyesi üzerinde elde edilen kayıtların “Geleneksel Spektral Oranlar Tekniği” kullanılarak hesaplanan spektrumları ve bu spektrumlardan elde edilen sert kalışe göre çakıllı-bloklı seviyede oluşan zemin periyodu ve büyütme farkı (DAD, 2003).



Şekil 6.6. Sert kalış ile siltli, kumlu seviye üzerinde elde edilen kayıtların “Geleneksel Spektral Oranlar Tekniği” kullanılarak hesaplanan spektrumları ve bu spektrumlardan elde edilen sert kalışe göre siltli-kumlu seviye’de oluşan zemin periyodu ve büyütme farkı (DAD, 2003).

6.1.4. Nakamura Yöntemi

Nakamura yöntemi (Nakamura, 1989), mikrotremor ölçümleri ve yatay ve düşey spektrumların (H/V) oranlanması esasına dayanır. Yapay titreşim kaynakları çoğunlukla düşey hareketlerde hakimdirler ve Rayleigh dalgalarına neden olurlar. Düşey bileşende Rayleigh dalgalarının etkisi açıkça görülür. Bu nedenle, Rayleigh dalgaları mikrotremorların gürültüsü olarak varsayılırlar ve etkileri giderilmeye çalışılır.

Çalışmanın amacına uygun olarak kullanılan bu yöntemde, gürültü olarak kabul edilen Rayleigh dalgalarının etkisi en aza indirilmiştir. Ayrıca temel kaya ve üzerindeki kalış profilinde yapılan sürekli ölçümlerde H/V oranları farklılık göstermektedir.

Yapılan çalışmada mikrotremor ölçümlerinden elde edilen zaman verisinin Fourier genlik spektrumları alınarak frekans ortamında her bir bileşenin spektrumları elde edilmiştir. Daha sonra yatay spektrumlar, her bir frekans aralığı için, düşey spektrumlara oranlanmış olup bu işlem sırasında Eş. 6.1 kullanılmıştır. Ayrıca, yatay bileşen genliğinin geometrik ortalaması ile düşey bileşene oranlaması da yapılmıştır. Buna ek olarak, 0.5 Hz bant genişliğine sahip Parzen penceresi ile spektrum düzlemesi yapılmıştır (Şekil 6.7).

$$H/V = \sqrt{S_{NS}^2 + S_{EW}^2} / S_{UD} \quad (6.1)$$

H/V : Yatay ve düşey spektrum oranı

S_{NS} : Kuzey-güney bileşeni

S_{EW} : Doğu-batı bileşeni

S_{UD} : Düşey bileşen

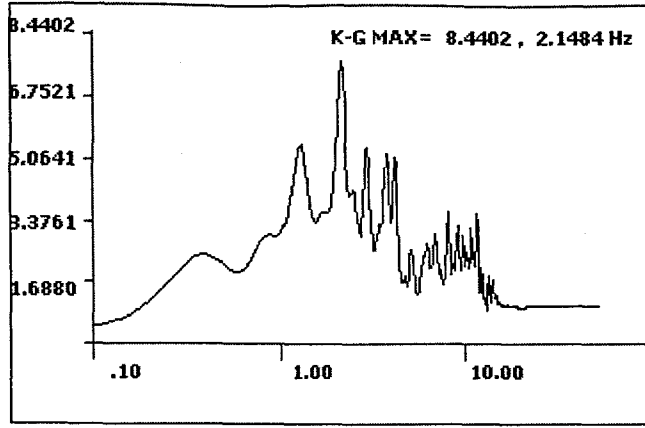
6.2. Verilerin Değerlendirilmesi

Sert kalış ve yumuşak kalış seviyelerinin zemin büyütmesi üzerindeki etkisinin araştırıldığı bu bölümde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

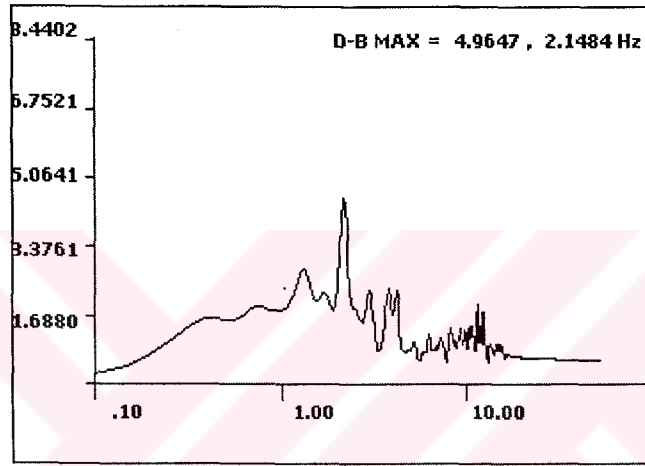
- Yapılan mikrotremor ölçümlerinden elde edilen verilerin Fourier spektrumlarına bakıldığında, bir tek hakim moddan bahsetmek mümkün olamamaktadır. Elde edilen spektrumların geneline bakıldığında, bu durum açıkça gözlenmektedir (EK 2).
- Hakim olarak gözlenen üç moddan, diğer bir deyişle, üç frekans aralığından söz etmek mümkündür. Birinci mod olarak, 5-7 Hz aralığında (0.2-0.1s periyot) sert kalış etkisi, ikinci mod olarak, yumuşak kalış seviyelerinden ; 2-3 Hz aralığında (0.5-0.3 s periyot) çakıllı-bloklı seviye ve siltli-kumlu seviyenin etkisi ve son olarak da 1-2 Hz aralığında (0.9-0.5 s periyot) en altta bulunan ve saha genelinde gözlenemeyen killi birimin etkisi elde edilen spektrumlarda gözlenmektedir (EK 2).

- c) Sert kalış üzerinde alınan ölçünün Fourier spektrumundan zemin hakim periyodu yaklaşık 7 Hz (0.14 s) olarak belirlenmektedir (Şekil 6.8b). Nakamura spektrumu alındığında ise, bu hakim frekansın 5.5 Hz (0.18 s) olduğu ve 1.5 kat zemin büyütmesi verdiği görülmektedir (Şekil 6.8c).
- d) Sert kalış seviyesinin bulunmadığı, ya da kaldırılmış olduğu yerlerde, yüzeyde bulunan çakıllı-bloklu seviyenin üzerinde alınan ölçüm incelendiğinde ise, Nakamura spektrumunda 2.8 Hz (0.37 s) zemin hakim periyodunda (Şekil 6.9b), 1.25 kat zemin büyütmesi verdiği görülmektedir (Şekil 6.9c).
- e) Sert kalış ve çakıllı-bloklu seviyenin olmadığı, profilin siltli-kumlu seviyesi üzerinde alınan ölçümlerin ise, 1.75 Hz (0.57 s) zemin hakim periyodu ve 1.8 kat büyütme verdiği görülmektedir (Şekil 6.10c).
- f) Geleneksel Spektral Oranlar yöntemi sert kalış ve yumuşak kalış seviyelerine uygulandığında, çakıllı-bloklu seviyede, sert kalışe göre 1.79 Hz'de (0.56 s) 6-7 kat zemin büyütmesi oluşturduğu gözlenmektedir . Buna karşılık, siltli-kumlu seviye, sert kalışe göre 2.5 Hz (0.4 s) periyotta 2.4 kat maksimum büyütme oluşturmaktadır.

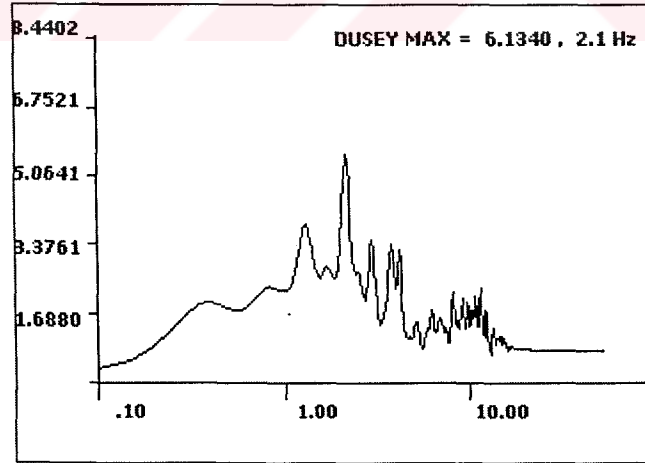
Bu veriler, sert kalış, çakıllı-bloklu seviye ve siltli-kumlu seviyelerin aynı anda bulunduğu bir yarmada alınmış olup, her üç kaydın da aynı kaynağın etkisinde olduğunu söylemek mümkündür. Dolayısıyla, büyütmelerdeki ve periyotlardaki değişim jeolojik birimlerdeki değişimden kaynaklanmaktadır.



a) $X(f)/Z(f)$

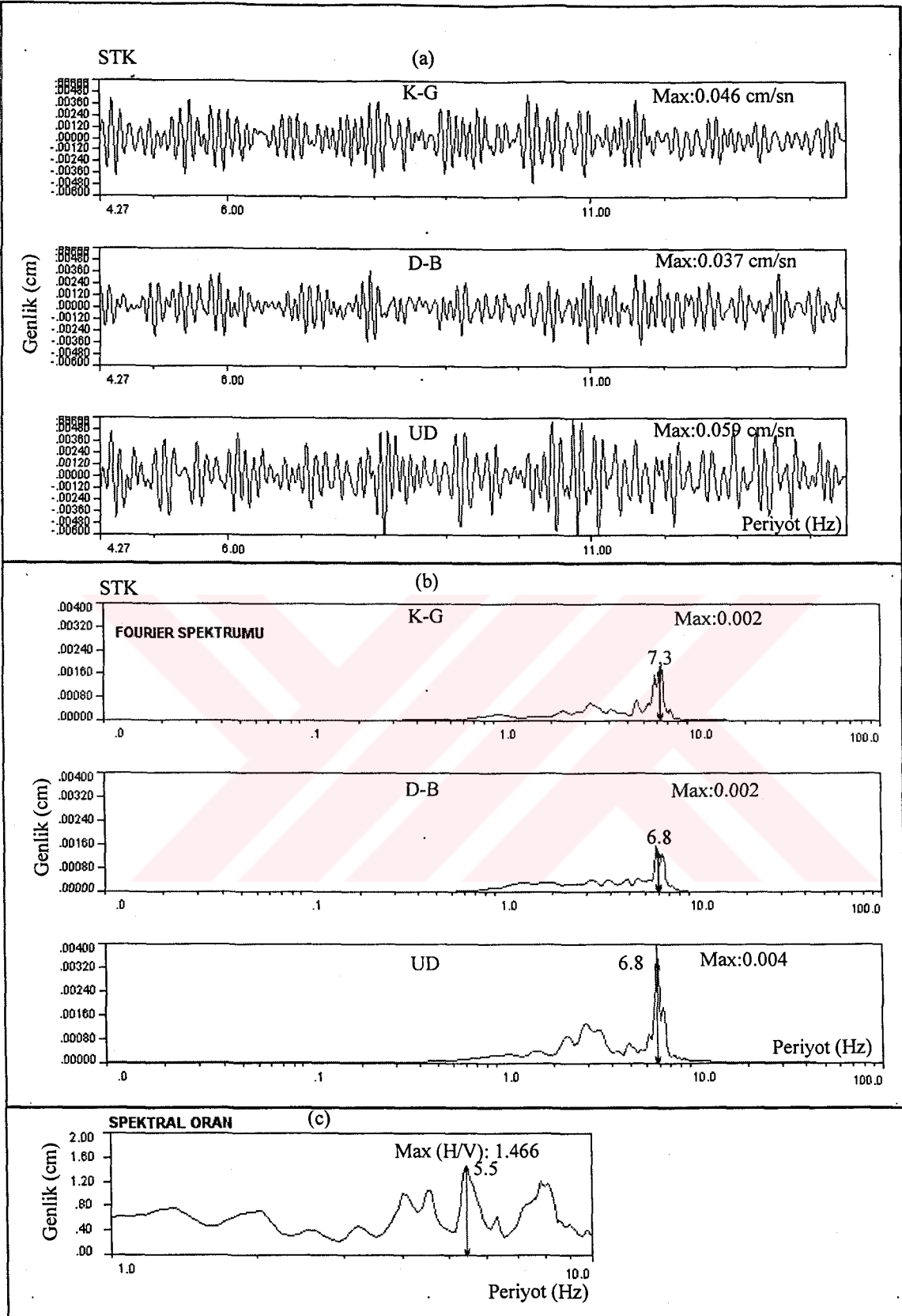


e) $Y(f)/Z(f)$



e) $(X(f) * Y(f))^{0.5} / Z(f)$

Şekil 6.7. Mikrotremor kaydının Nakamura (1989) tekniği ile elde edilen tipik H/V spektrumları (yatay eksen : periyot, düşey eksen : genlik).



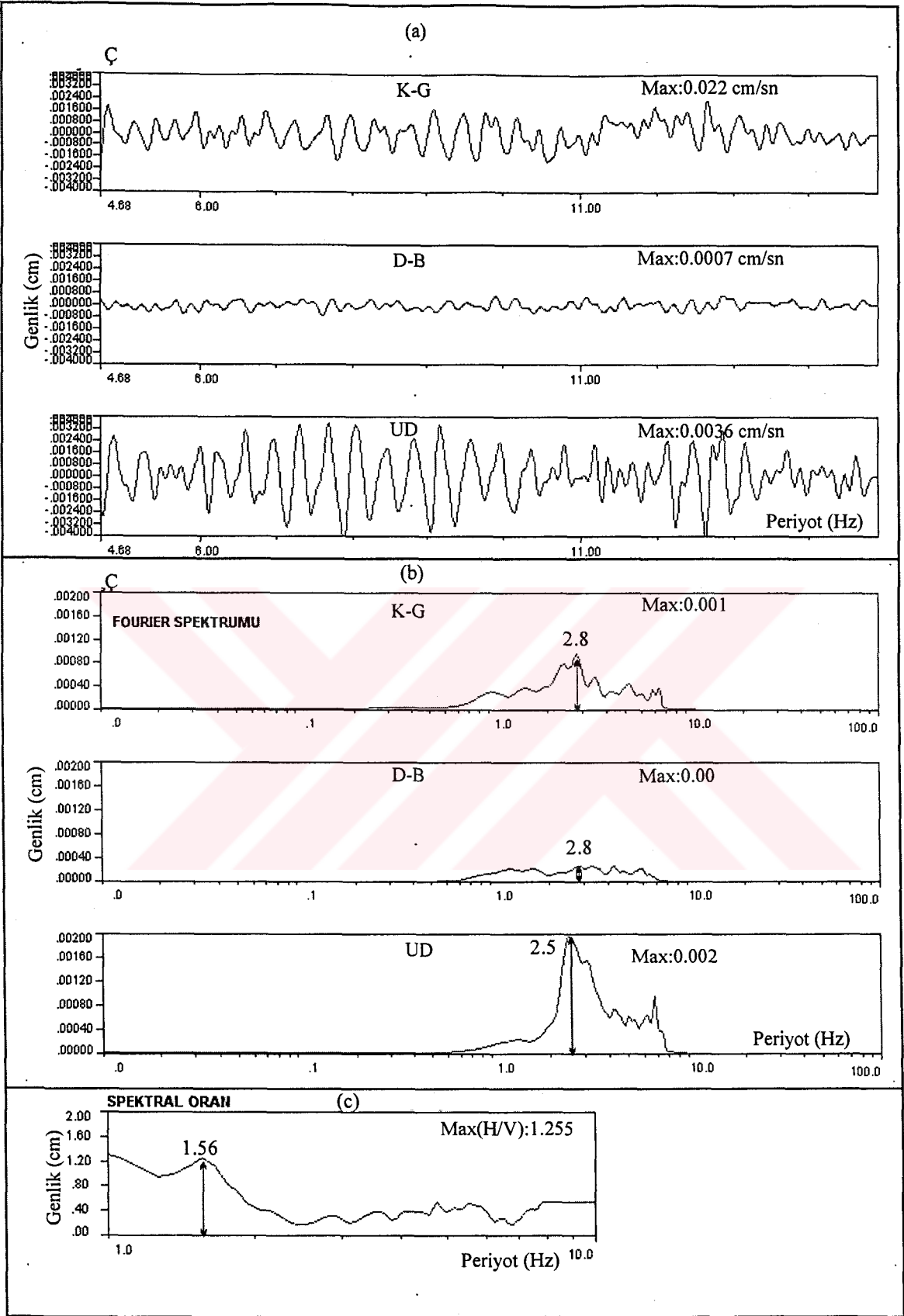
Şekil 6.8. Sert kalış üzerinde alınan kaydın Fourier spektrumu ve Nakamura (1989) yöntemi ile elde edilen H/V spektrumu (DAD, 2003).

Nakamura spektrumuna göre, Geleneksel Spektral Oran yöntemiyle belirlenen zeminlerin periyot değerleri aynı aralıkta kalmasına rağmen, büyütme değerleri arasındaki fark sert kalışın yüksek geçişli bir filtre gibi davranması ve dolayısıyla kendi doğal periyodundaki (10-4 Hz) genlikleri büyütüp diğerlerini bastırmasının doğal bir sonucudur. Benzer şekilde, çakıllı-bloklı ve siltli-kumlu seviyeler de kendi hakim periyot aralıklarındaki (3.3-1.6 Hz) sinyalleri büyütme eğilimindedir. Sonuç olarak, sert kalışdaki spektrum ile diğerleri oranlandığında, aynı frekas değeri için oran büyüyeceğinden, büyütme değerleri de farklı olacaktır. Buna ek olarak, çakıllı-bloklı seviyenin periyodu ve büyütme değeri siltli-kumlu seviyeden daha büyüktür ve çakıllı-bloklı seviye üzerine yapılacak yüksek katlı veya yüksek periyotlu yapılar açısından üzerinde durulması gereken bir konudur.

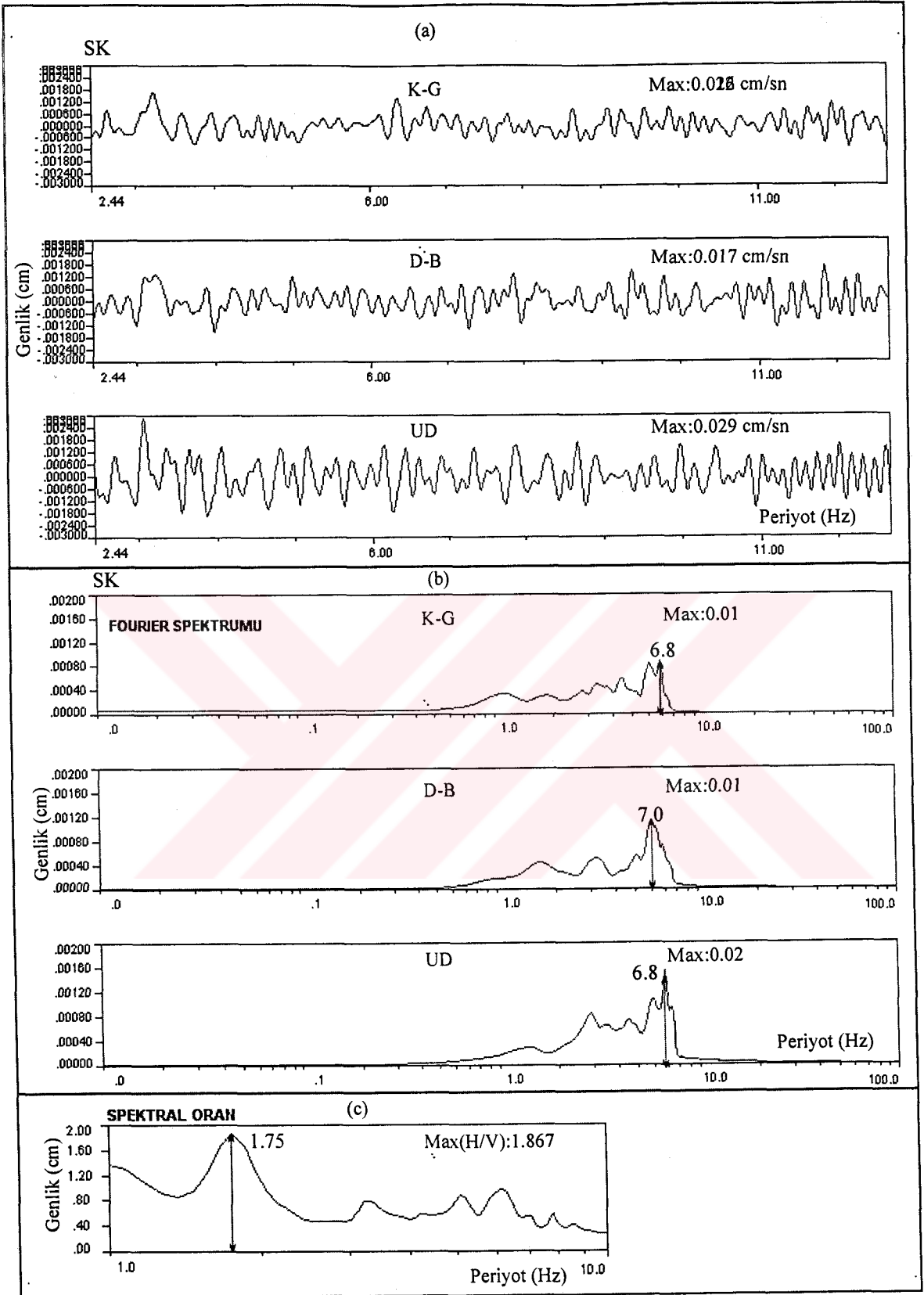
Adana -Ceyhan depreminde ağır hasar gören Organize Sanayi Yönetim binasının ön ve arka bahçesinde de iki adet mikrotremor ölçümü yapılmıştır. Ön bahçede alınan birinci kaydın Nakamura Spektrumuna bakıldığında (Şekil 6.11) 0.23 s (4.3 Hz) zemin periyodunda 3.1 kat, ikinci kayıt ise 0.27s'de (0.37 Hz) 2.7 kat zemin büyütmesi verdiği görülmektedir (Şekil 6.12).Yönetim binasının bulunduğu yerdeki yumuşak kalış ile sert kalış üzerinde alınan bir ölçü referans kabul edilip Geleneksel Spektral Oran Tekniği uygulandığında, Şekil 6.13'te görüldüğü gibi, K-G yönünde 0.23 s'de (4.3 Hz) 11 kat, D-B yönünde 0.2 s'de (5.2 Hz) periyotta 8 kat, düşeyde ise 0.17s'de (5.9 Hz) 6.7 kat büyütme vermektedir. Bu sonuçlar, yönetim binasının zemininin 0.23-0.3 s (4.3-3.3 Hz) hakim periyot aralığında ortalama 3 kat büyütme verdiğini göstermektedir. Bayülke (1978)'in Türkiye'deki yapılar için önerdiği Eş. 6.2'deki yaklaşıma göre, yönetim binasının 3 katlı betonarme bir bina olduğu ve yaklaşık 0.2-0.3 s (5-3.3 Hz) periyodu olduğu kabul edilirse, zeminle aynı periyot aralığında kaldığı anlaşılmaktadır. Oluşan hasar da büyük bir olasılıkla yapının zeminle rezonansa girmesinin bir sonucudur.

$$T_a = 0.1 \times N \quad (6.2)$$

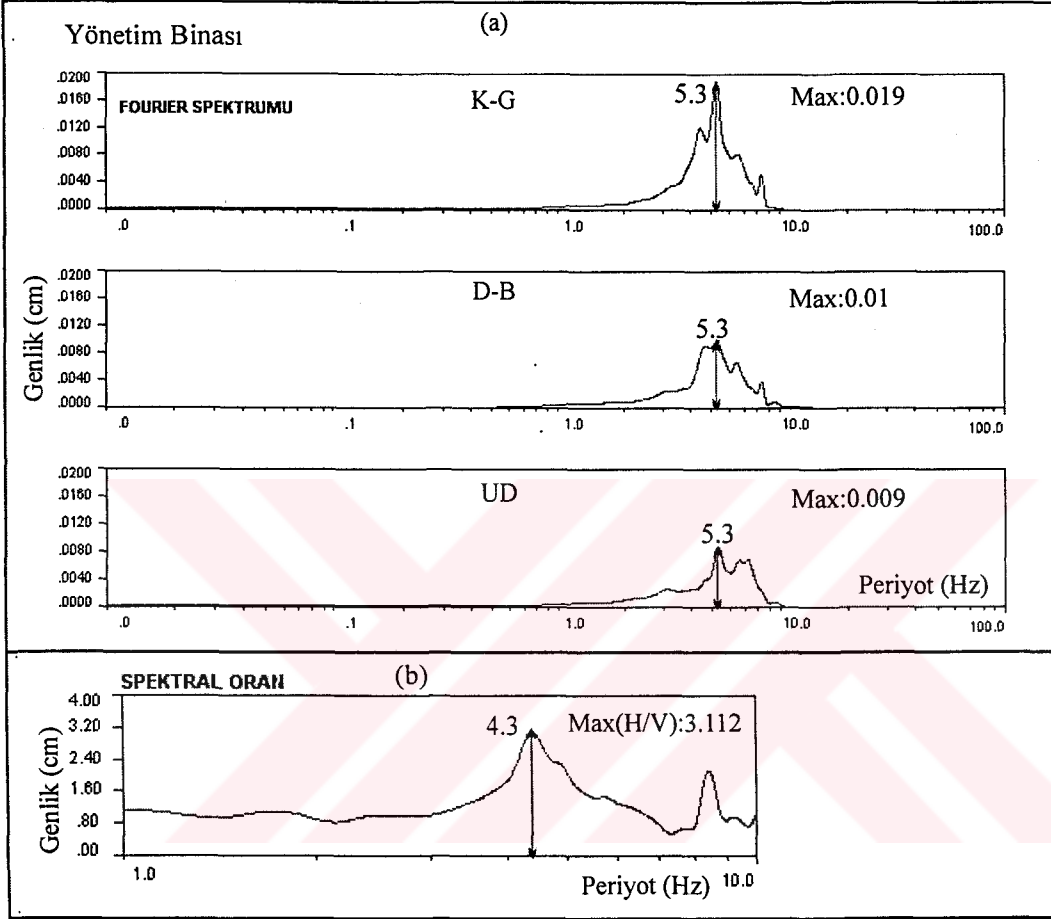
Burada; T_a , bina periyodu (s) ve N, binanın kat sayısı'dır.



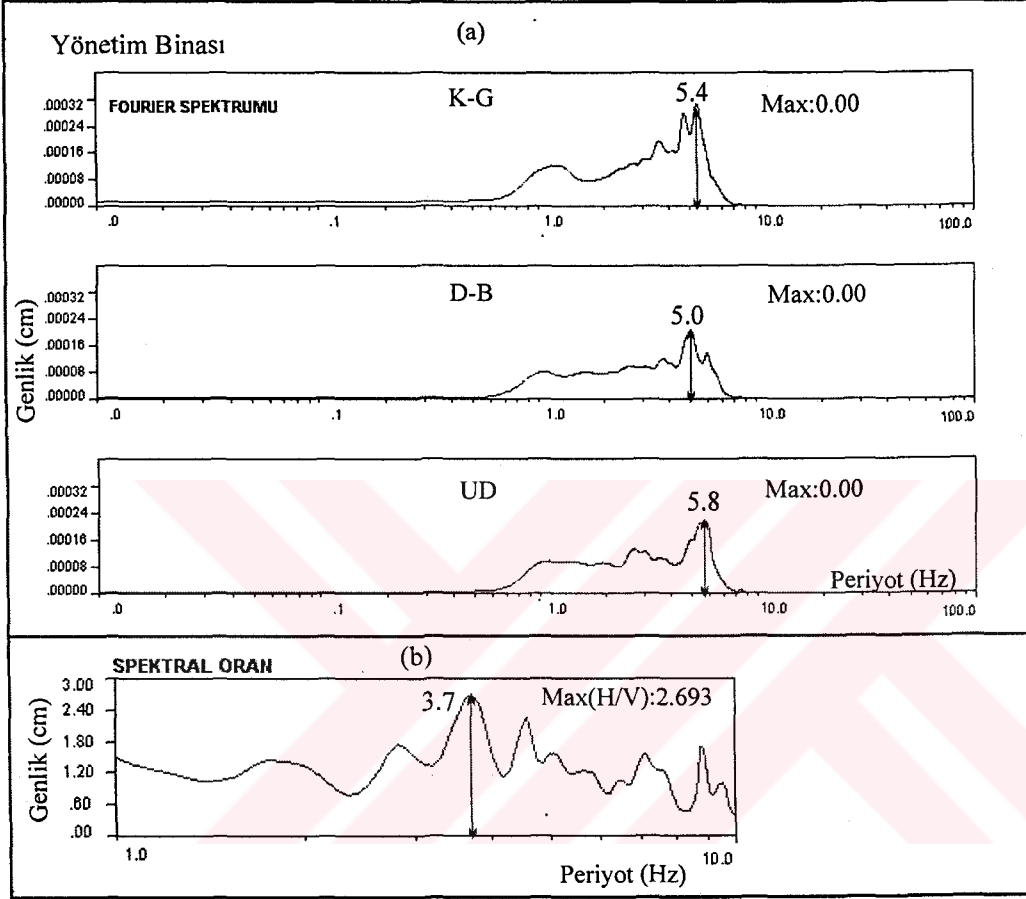
Şekil 6.9. Çakıllı-bloklı seviye üzerinde alınan kaydın Fourier spektrumu ve Nakamura (1989) yöntemi ile elde edilen H/V spektrumu (DAD, 2003).



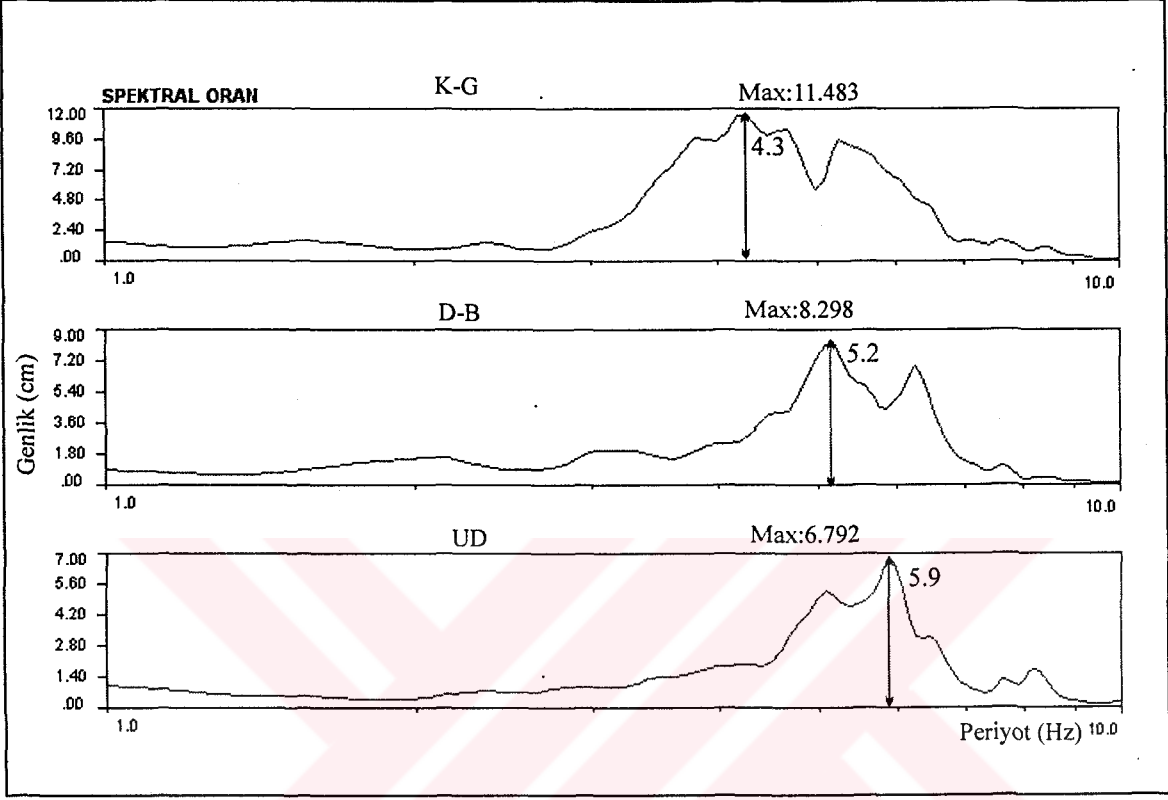
Şekil 6.10. Siltli-kumlu seviye üzerinde alınan kaydın Fourier spektrumu ve Nakamura (1989) tekniği ile elde edilen H/V spektrumu (DAD, 2003).



Şekil 6.11. Adana Organize Sanayi Bölgesi Yönetim binasının bahçesinde alınan ilk kayıt (K-G yönü binanın uzun eksenine paralel) (DAD, 2003).



Şekil 6.12. Adana Organize Sanayi Bölgesi Yönetim binasının bahçesinde alınan ikinci kayıt (K-G yönü binanın uzun eksenine paralel) (DAD, 2003).



Şekil 6.13. Hasarlı yönetim binası zemini olan yumuşak kalış seviyesinin sert kalış seviyesine göre, Gelenekel Spektral Oran tekniği uygulandığında oluşan büyütme (DAD, 2003).

Ölçüm yapılan noktalara ait koordinatlar, zemin hakim periyotları ve zemin büyütmesi değerleri Çizelge 4.1'de sunulmuştur. Bu verilerin Nakamura spekturmlarından elde edilen zemin hakim periyodu ve bu periyotlardaki zemin büyütmelerinin alansal yayılımı ise Şekil 6.13 ve Şekil 6.14 'deki haritalarda gösterilmiştir. Ölçüm alınamayan noktalardaki değerlerin tahmininde, yeterli sayıda ölçüm noktasının bulunmaması nedeniyle yanlışlıklar olacağı düşünülerek, zon haritası oluşturulmamış ve değerlerin noktasal olarak verilmesi daha uygun görülmüştür.

Çizelge 6.1 . Zemin hakim periyodu ve bu periyotlardaki zemin büyütmelerinin için oluşturulan haritalarda kullanılan veriler ve koordinatları (DAD, 2003).

Ölçüm Noktası	Zemin Türü	Boylam	Enlem	Büyütme	Hakim Periyot (sn)
1	STK	731952	4095601	1.3	0.1
2	STK	732038	4095778	2.4	0.2
3	STK	731969	4096017	3.3	0.1
8	STK	732039	4096118	1.2	0.2
5	STK	732000	4096383	1.5	0.2
6	YK	732205	4096394	1.4	0.7
7	Ç	732264	4096210	1.1	0.5
8	Ç	732218	4096000	1.9	0.6
9	STK	732617	4095612	2.8	0.1
10	STK	732109	4096400	1.5	0.1
11	T.Ö (STK)	733000	4096400	1.7	0.5
12	T. Ö (STK)	733000	4096200	1.4	0.1
13	T. Ö (STK)	733200	4096400	1.3	0.8
14	T.Ö (STK)	733376	4096269	1.2	0.8
15	STK	733156	4096200	1.6	0.1
15	T.Ö (STK)	733400	4096000	1.2	0.8
17	STK	733432	4095600	3.8	0.5
18	STK	733210	4095600	2.2	0.7
19	STK	733000	4095800	1.4	0.6
20	STK	732800	4095800	2.7	0.8
21	YK	732615	4095800	1.4	0.2
22	Ç	732400	4096000	1.2	0.7
23	STK	732600	4096100	2.0	0.3
24	STK	733589	4095578	2.4	0.1

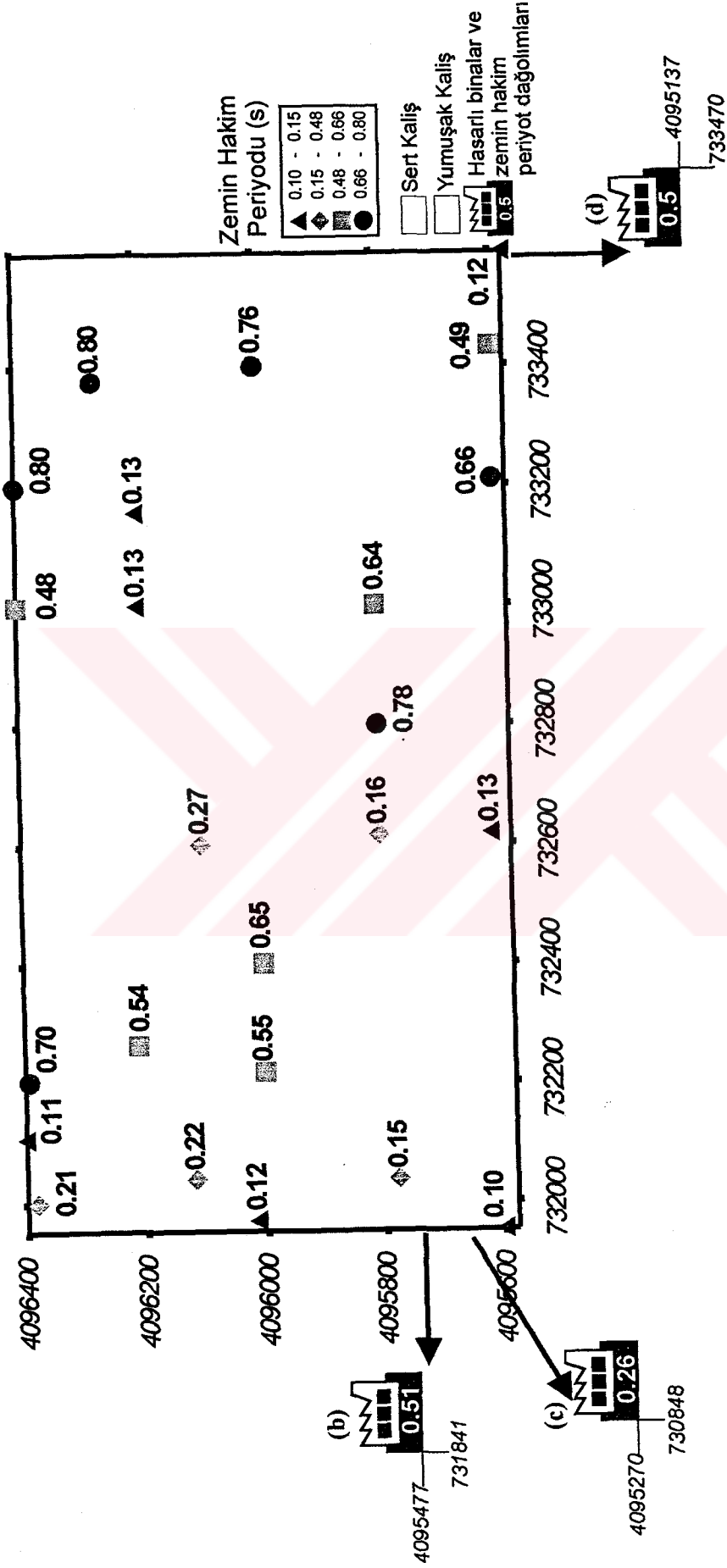
STK: sert kalış; YK: yumuşak kalış; TÖ: toprak örtü; Ç: çakıllı-bloklu seviye

Çalışma alanının belirli bir bölümünde gerçekleştirilen mikrotremör ölçümlerinin yanı sıra, 1998 Adana-Ceyhan depreminde ağır hasar gören ve yönetim binasının

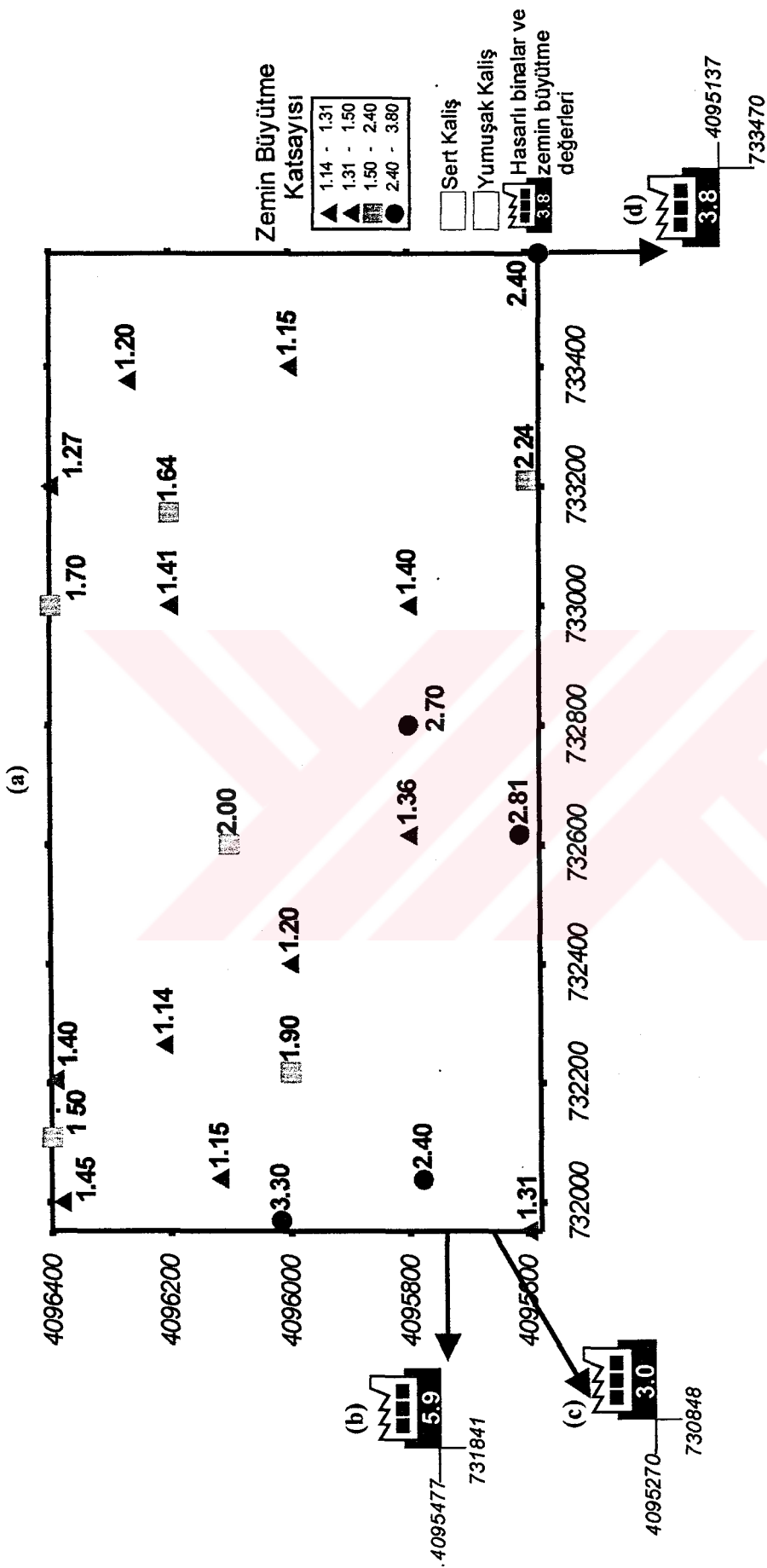
da aralarında bulunduğu, hasarlı binaların yanlarında da ölçümler alınmış ve bu kesimlerdeki zeminlerin de, zemin hakim periyodu ile bu periyotlardaki zemin büyütme değerleri belirlenmiştir. Ağır hasarlı binalar yaklaşık 3 ile 4 katlı betonarme binalar olup, bina periyodu ile zemin periyodu aynı aralıkta kalmakta ve hasarlar, yapının zeminle rezonansa girmesi sonucu oluşmaktadır. Mikrotremör ölçümleri için seçilen alanın dışında kalan hasarlı binalar ve bunların zemin hakim periyotları ve bu periyotlardaki zemin büyütme değerleri, bina koordinatları ile birlikte Şekil 6.14 ve Şekil 6.15'te gösterilmiştir. Zemin hakim periyotları ve bu periyotlardaki zemin büyütme değerleri noktasal olarak gösterilmiş, konturlama yapılmamıştır. Çünkü, konturlama sonunda ölçüm yapılamayan yerlerdeki kontur değerlerinin bilgisayar programı tarafından rastgele verileceği ve bunun da daha sonra değerleri kullanacak olan çalışmacıları yanıltacağı düşünülmüştür.

Sonuç olarak, elde edilen haritalardan, zemin hakim periyotlarının, 0.1-0.8 s arasında ve zemin büyütme değerlerinin 1.14-3.8 kat arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Sert kalış üzerinde alınan ölçümlerin zemin büyütme değerlerinin, yumuşak kalışe ait seviyelerde alınandan daha yüksek değerlere sahip olması, sert kalış'ın zemin büyütmesini artırıcı yönde etki yaptığını göstermektedir. Sert kalışteki büyütmenin nedeni olarak, sert kalış ile alttaki süreksizlikler (kalış profilinin kendi içindeki farklı seviyeler arasındaki geçişler) arasındaki tekrarlı yansımalar ve dalga saçılımları nedeniyle, dalga genliklerinin girişimi gösterilebilir (DAD, 2003). Dalga fazları üst üste binerek genlikleri armakta ve tekrar yüzeye ulaşmaktadır. Bu da, büyütmenin asıl nedeni olarak düşünülmektedir.

Şekil 6.16, 6.17 ve 6.18'de 27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan Depreminde hasar gören binaların fotoğrafları verilmiştir.

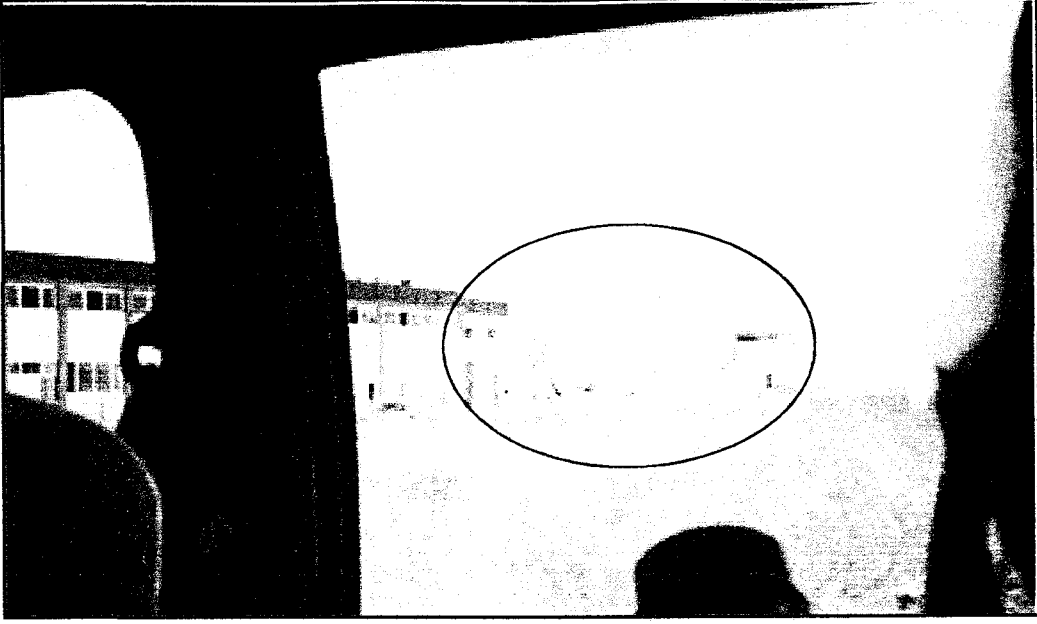


Şekil 6.14. Nakamura spektrumundan elde edilen zemin hakim periyot değerlerinin (a) çalışma alanındaki alansal dağılımı ve (b, c, d) ölçüm alanının dışında kalan bazı hasarlı binaların bulunduğu alanın hakim periyotları.



Şekil 6.15. Nakamura spektrumundan elde edilen zemin büyütmesi değerlerinin (a) çalışma alanındaki alansal dağılımı ve (b, c, d) ölçüm alanının dışında kalan bazı hasarlı binaların üzerinde bulundukları zeminlerin büyütmesi değerler

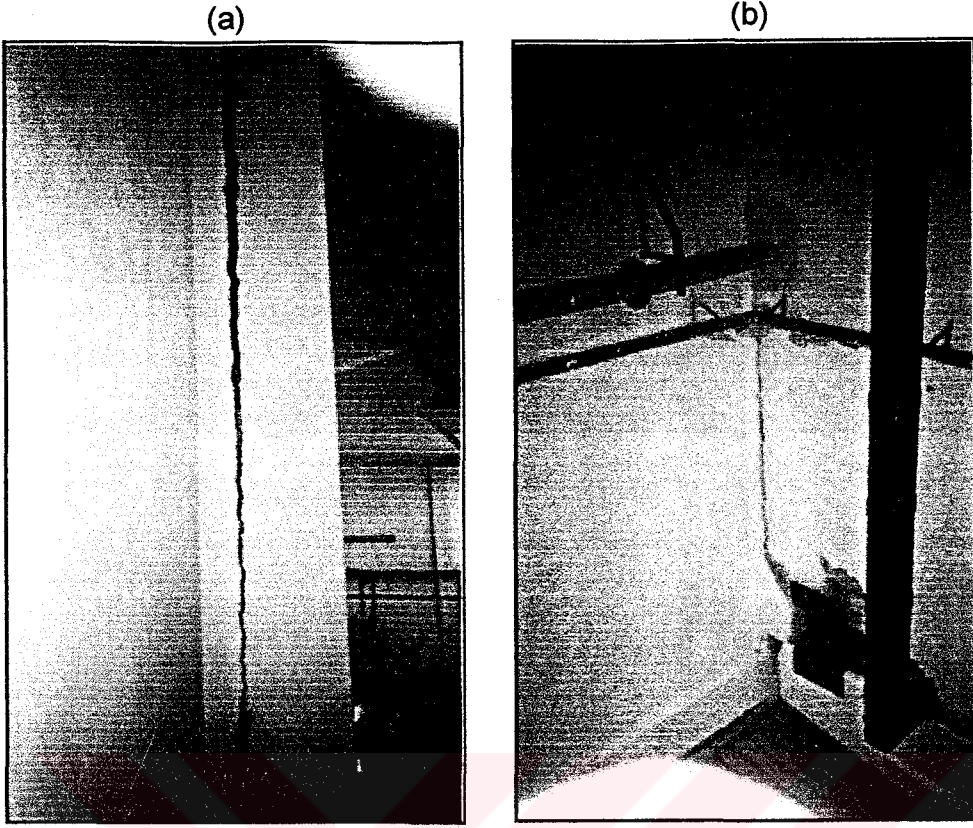
(a)



(b)



Şekil 6.16. Adana Organize Sanayi Bölgesinde 27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan Depreminde hasar gören (a) fabrikalardan birinin ve (b) Bölge yönetim binasının fotoğrafları (Foto: Reşat Ulusay)



Şekil 6.17. Adana Organize Sanayi Bölgesinde 27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan Depreminde hasar gören (a) atölye binası ve (b) yönetim binası kazan dairesinin fotoğrafları (Foto: Reşat Ulusay)..



Şekil 6.18. Adana Organize Sanayi Bölgesinde 27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan Depreminde hasar gören ve çatısı yıkılan fabrika inşaatlarından birinin fotoğrafı (Aydan et.al, 1998).

7. ÇÖKME POTANSİYELİ İÇİN GÖRGÜL İLİŞKİLER

Mühendislik projelerinde zaman ve ekonomi çok önemli iki unsurdur. Zeminin çökme potansiyelini belirlemek için yapılan odometre deneyleri için gerekli olan örselenmemiş örneklerin alınması ve örneklerin deneye hazırlanması oldukça güç olmakta ve sınırlı sayıdaki örnek üzerinde gerçekleştirilen deneylerle sonuca gidilmektedir. Bu sınırlamaların aşılabilmesi amacıyla, çökme potansiyelinin daha pratik olan görgül ilişkiler yardımıyla kestirimine yönelik eşitliklerin geliştirilmesi öngörülmüştür.

7.1. Çökme Potansiyelini Kestirimine Yönelik Önceki Çalışmalar

Çökme potansiyelini belirlemeye yönelik görgül ilişkilerin geliştirildiği çalışmalardan biri Basma and Tuncer (1992)'e aittir. Araştırmacılar, aldıkları örnekleri, 105 C°'de kuruttuktan sonra karıştırmış ve aynı nem içeriği ve birim hacim ağırlıkta sıkıştırmış, tek ve çift odometre deneylerini bu örnekler üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca, örneklerin uniformluk katsayısı (C_u), başlangıçtaki nem içeriği, w_i , tane boyu dağılımı ve sıkıştırılmış örneğin birim hacim ağırlığı, γ_d , da belirlenmiştir. Deney sonuçlarından elde edilen veriler kullanılarak yapılan çoklu regresyonanalizlerinde en yüksek korelasyon katsayısının elde edildiği eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$C_p = 48.496 + 0.102 C_u - 0.457 w_i - 3.533 \gamma_d + 2.8 \ln(\rho_w) \quad (r = 0.94) \quad (7.1)$$

Araştırmacılar, aynı veriler kullanarak farklı bir çoklu regresyon eşitliği (İTO, ince tane yüzdesi ρ_w) suyun yoğunluğu daha üretmişlerdir (Eş. 7.2).

$$C_p = 47.506 - 0.072 (İTO\%) - 0.439 w_i - 3.123 \gamma_d + 2.851 \ln(\rho_w) \quad (r = 0.84) \quad (7.2)$$

Sonuç olarak, oldukça yüksek korelasyon katsayılarına sahip bu görgül eşitlikler kullanılarak oluşturulan modelin yüksek bir kestirim kapasitesine sahip olduğu söylenebilir.

Örnek almanın ve örnekleri deneye hazırlamanın güç olduğu odometre deneylerin bu sınırlaması, sıkıştırılmış örnek hazırlayarak aşılabilmektedir. Bu deneylerden elde edilen sonuçların da güvenilir olduğu söylenebilir. Ancak, bu yöntemin denetimi sınırlı sayıda deney yerine, farklı lokasyonlarda alınan çok sayıda örnek üzerinde yapılmalıdır.

Görgül eşitliklerin kullanıldığı bir başka çalışma da Dipova (2002) tarafından gerçekleştirilmiştir. Antalya tufalarında çalışan araştırmacı, laboratuvar deneylerinden elde ettiği parametreleri kullanarak görgül bir eşitlik geliştirmiştir. Araştırmacının kullandığı parametreler; başlangıçtaki boşluk oranı, (e_o) ile ıslak elek ve kuru elekten geçen ince tane yüzdeleri arasındaki fark olan, PFAW'dir. Önce, her iki parametrenin çökme potansiyeli ile olan ilişkisini belirlemek için basit regresyon analizleri (Eş. 7.3a ve 7.3b) yapan araştırmacı, daha sonra çoklu regresyon analizleri yaparak çökme potansiyelini tahmin etmeye yönelik görgül bir eşitlik önermiştir (Eş. 7.4).

$$C_p = 15.59 e_o - 13.708 \quad (r = 0.78) \quad (7.3a)$$

$$C_p = 157.18 (1/PFAW) - 0.2886 \quad (r = 0.89) \quad (7.3b)$$

$$C_p = 4.203 e_o + 128.303 (1/PFAW) - 4.471 \quad (r = 0.90) \quad (7.4)$$

Ölçülen ve tahmin edilen çökme potansiyeli verileri karşılaştırıldığında, araştırmacının önerdiği görgül eşitliğin kestirim kapasitesinin oldukça yüksek olduğu söylenebilir.

7.1.1. Yöntem

Çökme potansiyelini tahmin etmeye yönelik amaçlarla yapılan kestirim çalışmalarında, örneklemenin kolay olduğu örselenmiş örnekler üzerinde yürütülen laboratuvar deneylerinden elde edilen, birim hacim ağırlık (γ), özgül ağırlık (G_s), başlangıçtaki boşluk oranı (e_o), sıkışabilirlik katsayısı (m_v) ve ince tane yüzdesi (i) değerleri kullanılarak istatistiksel analizler gerçekleştirilmiştir. İstatistiksel analizlerin ilk aşamasında, C_p ile birim hacim ağırlık, özgül ağırlık, başlangıçtaki boşluk oranı ve ince tane yüzdesi gibi değişkenler arasında yapılan basit regresyonlar (Şekil

7.1) sonucunda en yüksek korelasyon katsayıları C_p ile sırasıyla i , e_o , m_v ve γ/G_s arasında elde edilmiştir (Çizelge 7.1 ve Çizelge 7.4.).

Çizelge 7.1. Çökme potansiyeli ile; ince tane arasındaki (i) basit regresyonlarda elde edilen eşitlikler ve korelasyon katsayıları (r).

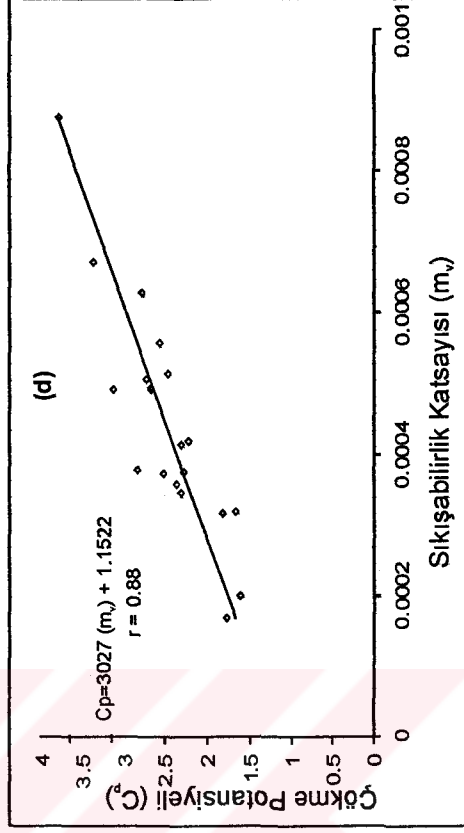
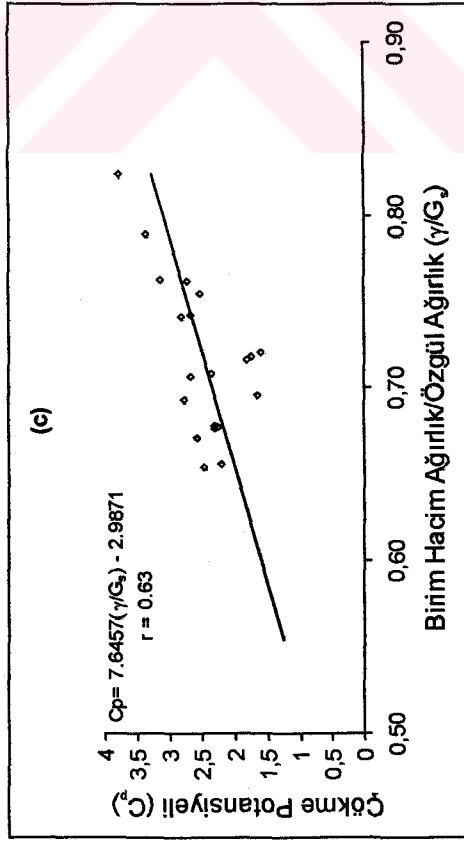
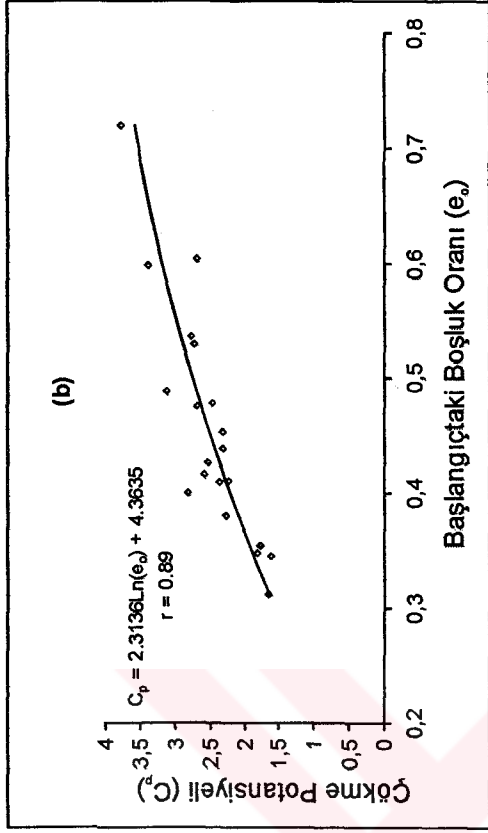
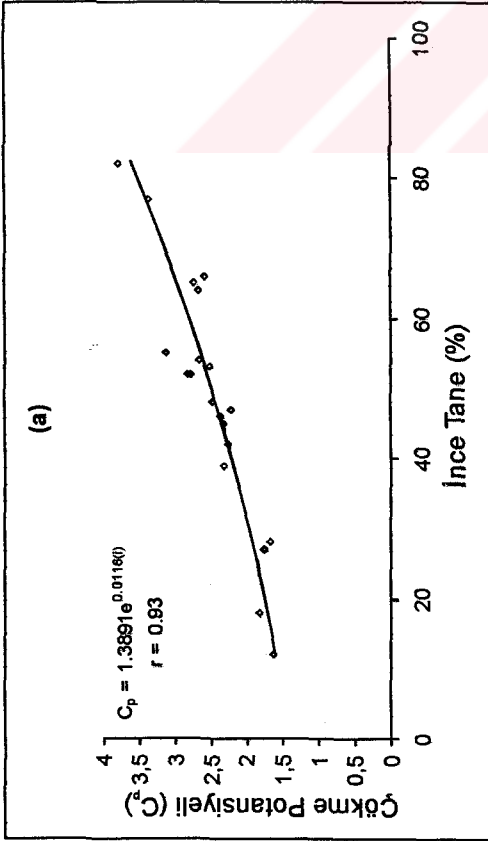
Fonksiyon	Eşitlik	r
Doğrusal	$C_p = 0.0282 (i) + 1.1287$	$r=0.91$
Geometrik	$C_p = 0.9899 \ln (i) - 1.2587$	$r=0.85$
Üssel	$C_p = 0,4934 (i)^{0.4212}$	$r=0.89$
Eksponansiyel	$C_p = 1.3891 e^{0.0116 (i)}$	$r=0.93$

Çizelge 7.2. Çökme potansiyeli ile, başlangıçtaki boşluk oranı (e_o) arasındaki basit regresyonlarda elde edilen eşitlikler ve korelasyon katsayıları (r).

Fonksiyon	Eşitlik	r
Doğrusal	$C_p = 4.7729 (e_o) + 0.3195$	$r=0.87$
Geometrik	$C_p = 2.3136 \ln (e_o) + 4.3635$	$r=0.89$
Üssel	$C_p = 5.17 (e_o)^{0.9313}$	$r=0.88$
Eksponansiyel	$C_p = 1.0315 e^{1.8862 (e_o)}$	$r=0.85$

Çizelge 7.3. Çökme potansiyeli ile, birim hacim ağırlık ve özgül ağırlık oranı (γ/G_s) arasındaki basit regresyonlarda elde edilen eşitlikler ve korelasyon katsayıları (r).

Fonksiyon	Eşitlik	r
Doğrusal	$C_p = 7.6457 (\gamma/G_s) - 2.9871$	$r=0.63$
Geometrik	$C_p = 5.4196 \ln (\gamma/G_s) + 4.308$	$r=0.61$
Üssel	$C_p = 4.6268 (\gamma/G_s)^{1.9162}$	$r=0.53$
Eksponansiyel	$C_p = 0.3496 e^{2.7083 (\gamma/G_s)}$	$r=0.54$



Şekil 7.1. Çökme potansiyeli (C_p) ile (a) ince tane yüzdesi (i), (b) başlangıçtaki boşluk oranı (e_0), (c) birim hacim ağırlık/özümlü ağırlık (γ/G_s) ve sıkışabilirlik katsayısı (m_v) arasında basit regresyon analizleriyle belirlenen ilişkiler.

Çizelge 7.4. Çökme potansiyeli ile, sıkışabilirlik katsayısı (m_v) arasındaki basit regresyonlarda elde edilen eşitlikler ve korelasyon katsayıları (r).

Fonksiyon	Eşitlik	r
Doğrusal	$C_p = 3027 (m_v) + 1.1522$	$r=0.88$
Geometrik	$C_p = 1.2443 \ln (m_v) + 12.184$	$r=0.86$
Üssel	$C_p = 129.31 (m_v)^{0.5101}$	$r=0.87$
Ekspansiyon	$C_p = 1.4323 e^{1197.9 (m_v)}$	$r=0.86$

Kestirim modelinin oluşturulmasında, belirlenmesi ya da analitik eşitliklerle hesaplanması en kolay olan ve basit regresyon analizlerinde en yüksek korelasyon katsayısına sahip olan i , e_o ve γ/G_s parametrelerinin kullanılmasına karar verilmiştir. Birim hacim ağırlığın özgül ağırlığa oranı ile başlangıçtaki boşluk oranı analizlerde birlikte kullanılmamıştır. Çünkü, e_o , γ ve G_s arasında analitik bir ilişki vardır ve eşitliğe göre γ/G_s 'in "1" olduğu durumda, e_o 'ın "0" olması gerekmektedir. Oysa, pratikte böyle bir koşulun sağlanması mümkün değildir. Bu nedenle, bu iki parametre aynı anda analizlerde kullanılmamıştır.

Çökme potansiyeli ile i , e_o ve γ/G_s arasında yapılan çoklu regresyon analizlerinden elde edilen sonuçlar Eş. 7.5. ve 7.6.'da verilmiştir.

$$C_p = 2.86 (\gamma/G_s) + 0.02489 (i) - 0.764 \quad (r=0.94) \quad (7.5)$$

$$C_p = 0.0184 (i) + 2.153 (e_o) + 0.62 \quad (r=0.95) \quad (7.6)$$

Kestirim modelinin oluşturulmasında, daha yüksek korelasyon katsayılarının elde edildiği çoklu regresyon analiz sonuçları yerine basit regresyondan elde edilen eşitlikler kullanılarak yeniden yapılandırılan ve değişken olarak iki parametrenin de bir arada bulunduğu eşitliklerden yararlanılmıştır. Çoklu regresyon yerine basit regresyonun tercih edilmesinin nedeni; çoklu regresyon analizlerinde, bağımsız değişken ile bağımlı değişkenler arasındaki korelasyonun doğrusal olduğunun kabul edilmesidir. Ancak, C_p ile i , e_o arasındaki korelasyon doğrusal değildir. Bu nedenle, modeli oluşturmada basit regresyon analizleri kullanılmış ve sonuç olarak

elde edilen birleştirilmiş parametre (BP) eşitlikleri Çizelge 7.5 ve 7.6'da ve grafikleri ise Şekil 7.2'de verilmiştir.

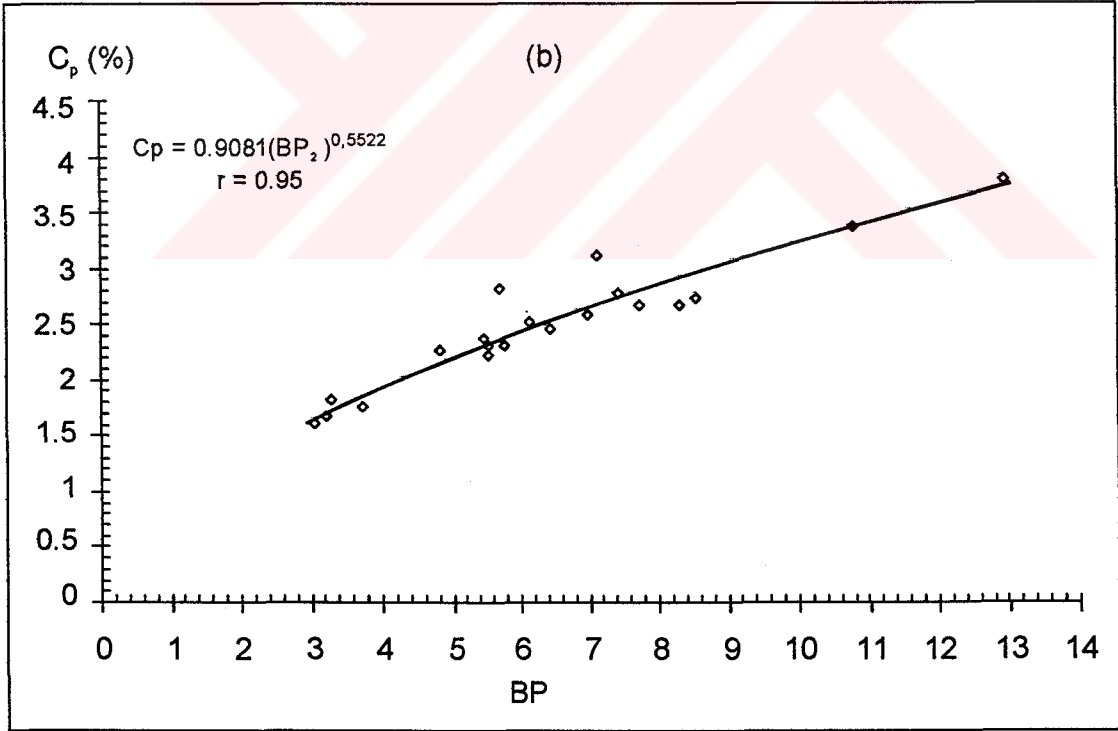
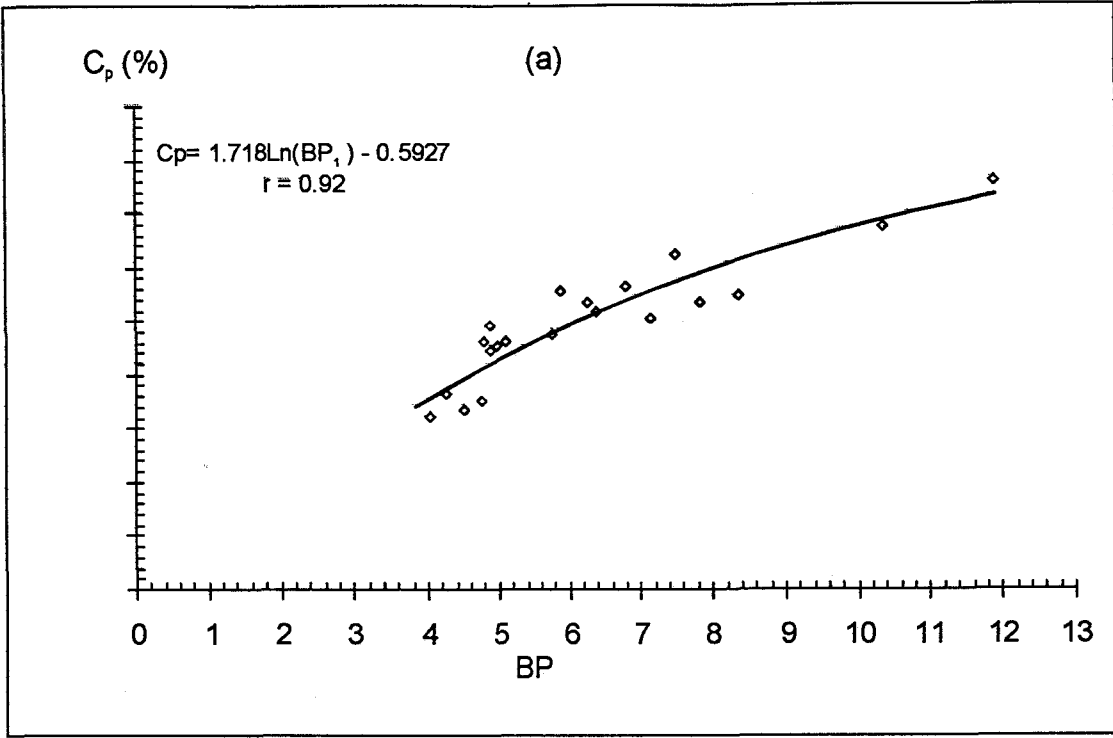
Çizelge 7.5. Çökme potansiyeli ile, "birim hacim ağırlık özgül ağırlık oranı" ve ince tane oranı (BP₁) arasındaki basit regresyonlardan elde edilen eşitlikler ve korelasyon katsayıları (r).

Fonksiyon	Eşitlik	r
Doğrusal	$C_p = [(0.334 e^{0.0116(i)}) * (1.838 (\gamma/G_s) - 0.7184)] + 0.9784$	r=0.90
Geometrik	$C_p = 1.718 \ln [(1.3891 e^{0.0116(i)}) * (7.6457 (\gamma/G_s) - 2.9871)] - 0.5928$	r=0.92
Üssel	$C_p = [(1.0 e^{0.0116(i)}) * (5.5186 (\gamma/G_s) - 2.156)]^{0.677}$	r=0.89
Eksponansiyel	$C_p = 1.3584 e^{[(0.986(\gamma/G_s) e^{0.0116(i)}) - 2.9871]}$	r=0.85

Çizelge 7.6. Çökme potansiyeli ile başlangıçtaki boşluk oranı ve ince tane oranı arasındaki basit regresyonlarda elde edilen eşitlikler ve korelasyon katsayıları (r)

Fonksiyon	Eşitlik	r
Doğrusal	$C_p = [(0.289 e^{0.0116(i)}) * (0.482 \ln(e_o) + 0.9085)] + 1.1607$	r=0.93
Geometrik	$C_p = 1.3464 \ln [(1.3891 e^{0.0116(i)}) * (2.3136 \ln(e_o) + 4.3635)] + 0.0879$	r=0.94
Üssel	$C_p = [(1.26 e^{0.0116(i)}) * (2.1 \ln(e_o) + 3.6907)]^{0.5524}$	r=0.95
Eksponansiyel	$C_p = 1.4365 e^{0.0825[(1.3891 e^{0.0116(i)}) * (2.3136 \ln(e_o) + 4.3635)]}$	r=0.91

Modelin ve çökme potansiyelini kestiriminde kullanılacak abağın oluşturulmasında birleştirilmiş parametre ile çökme potansiyeli arasındaki en yüksek korelasyon katsayısının elde edildiği eşitlikler kullanılmıştır. Bu eşitlikler; çökme potansiyeli ile "birim hacim ağırlık, özgül ağırlık oranı" ve ince tane yüzdesi için geometrik buna karşın başlangıçtaki boşluk oranı ile ince tane oranı için ise üssel fonksiyonlardır. Bu eşitlikler kullanılarak çift taraflı abağın oluşturulmasında iki model kullanılmıştır. Bu modellerden ilki, "çökme potansiyeli ile, birim hacim ağırlık, özgül ağırlık oranı" ve ince tane yüzdesinin yer aldığı BP₁ ve başlangıçtaki boşluk oranı ile ince tane oranı için ise BP₂ olarak adlandırılmıştır.



Şekil 7.2. Çökme potansiyeli (C_p) ile (a), ince tane-başlangıçtaki boşluk oranı, (b) ince tane, birim hacim ağırlık/ özgül ağırlık oranı parametreleri kullanılarak oluşturulan birleştirilme parametreleri ($BP_{1,2}$) arasındaki ilişkiler

Çökme potansiyelini, i , e_o ve γ/G_s parametrelerini kullanarak kestirimi amacıyla oluşturulan abak Şekil 7.3'de sunulmuştur. Bu abak, toprak zeminde, çökme mekanizmasının gelişebilmesi için sınır kabul edilen %20 ve daha az kil miktarı için geçerlidir.

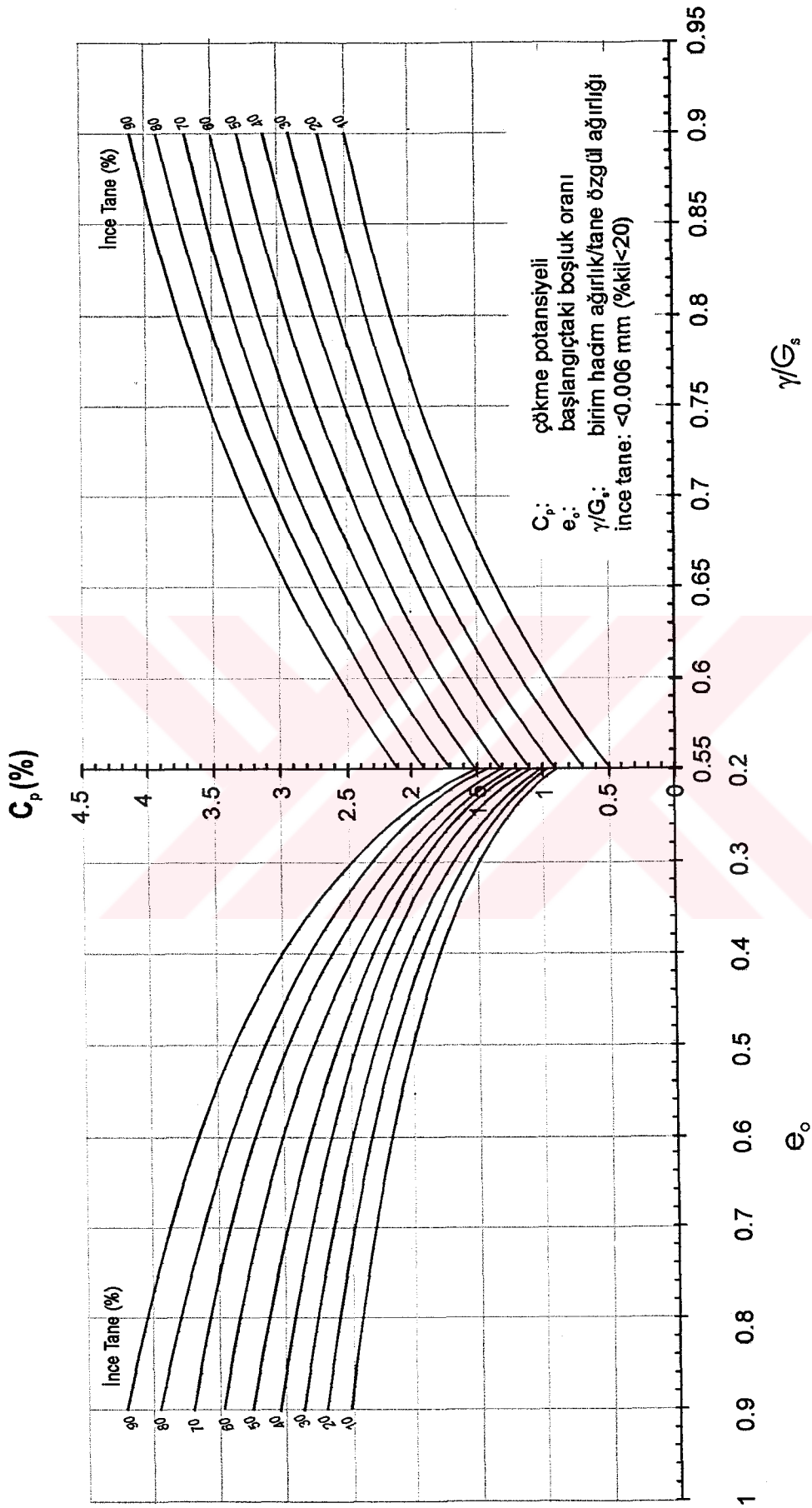
7.1.2. Çökme Potansiyeli Kestirim Modelinin Performans Analizi

Çökme potansiyelinin kestirimine yönelik oluşturulan modelin güvenilirliğinin belirlenebilmesi amacıyla, öncelikle modelden elde edilen sonuçların ve ölçülen değerlerin çapraz kontrolleri yapılmıştır (Şekil 7.4). Buna göre, çökme potansiyeli için hesaplanan korelasyon katsayıları (r); ince tane yüzdesi-başlagıçtaki boşluk oranı için, 0.94 ve ince tane yüzdesi-birim hacim ağırlık, özgül ağırlık oranı için, 0.90 olarak belirlenmiştir.

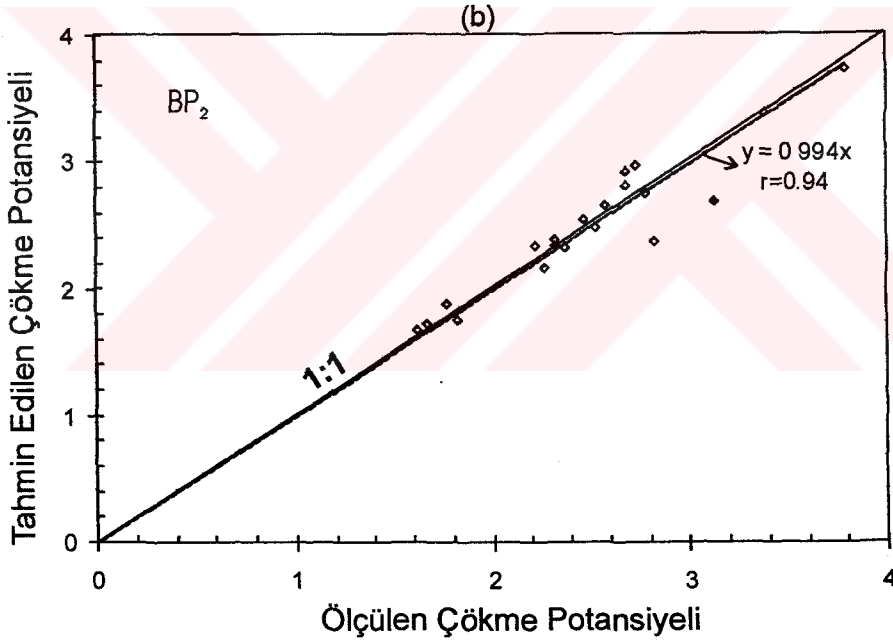
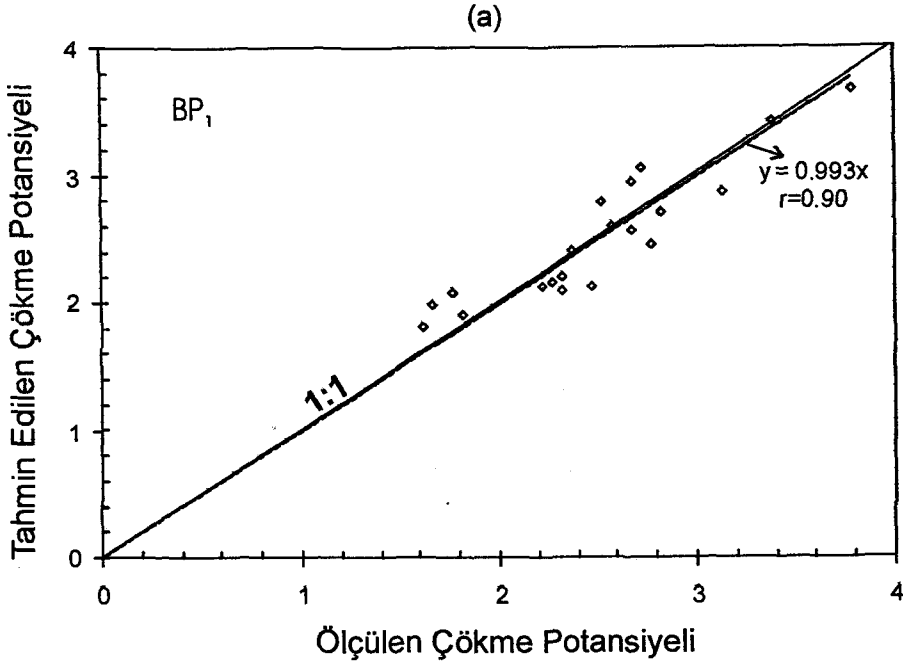
Çökme potansiyelinin kestirimi amacıyla oluşturulan her iki model için, ölçülen ve hesaplanan çökme potansiyeli değerleri örnekleme lokasyonlarına göre Şekil 7.5'de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Bu karşılaştırma sonucunda, ölçülen ve oluşturulan modeller ile elde edilen çökme potansiyeli değerlerinin birbirine çok yakın olduğu gözlenmekle birlikte her iki model için de tahmin edilen değerlerdeki sapmalar Eş. 7.7'de verilen % hata miktarı olarak hesaplanış ve Şekil 7.6'da sunulmuştur.

$$\%Hata = \left(\frac{C_{pö} - C_{pt}}{C_{pö}} \right) \times 100 \quad (7.7)$$

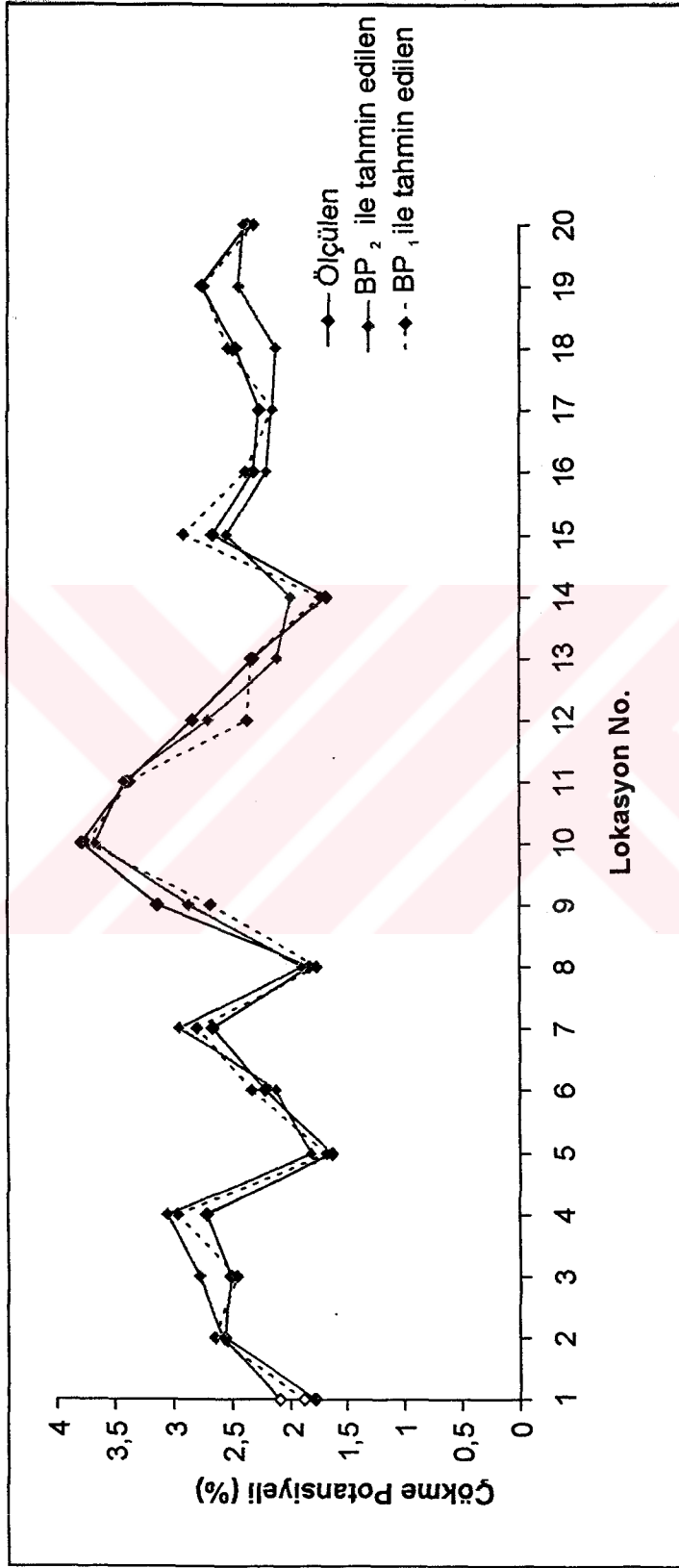
Burada, $C_{pö}$ ölçülen, C_{pt} tahmin edilen çökme potansiyeli değerleridir. Hata yüzdelerine bakıldığında, her iki model için %hatanın $\pm$ %15 sınırları arasında değiştiği gözlenmekle birlikte, ağırlıklı olarak hata oranı %10'dan daha düşüktür. Oluşturulan her iki modelin ölçülen çökme potansiyeli değerlerini hangi ölçüde yansıttığını belirlemek amacıyla, modellere ait VAF (Variance Account For) (Eş. 7.8) ve RMSE (Root Mean Square Error) (Eş. 7.9) değerleri hesaplanmıştır.



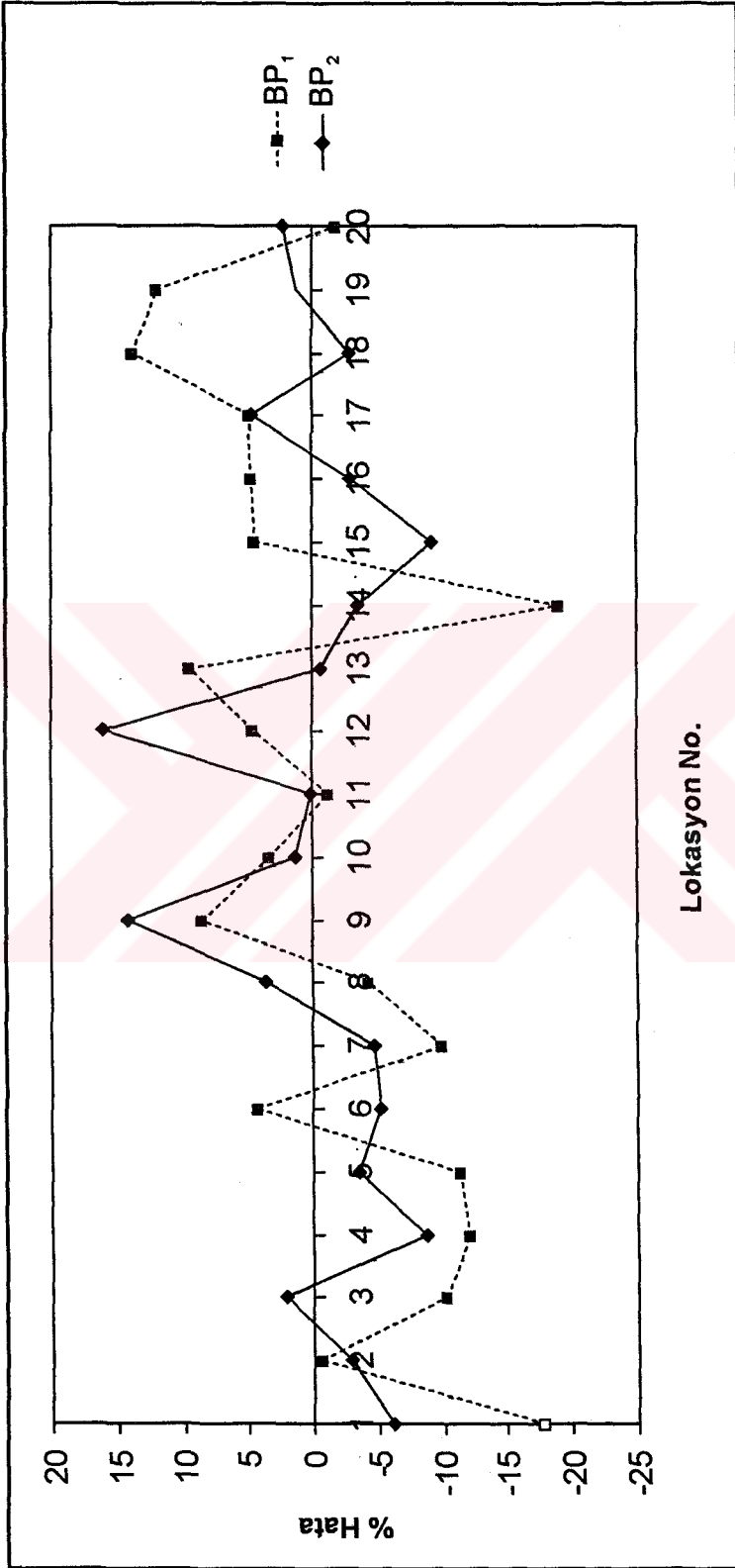
Şekil 7.3. Çökme potansiyelini kestirim abacı



Şekil 7.4. Çökme potansiyelini belirlemeye yönelik oluşturulan modelin
(a) ince tane yüzdesi-birim hacim ağırlık, özgül ağırlık oranı için ,
(b), ince tane yüzdesi-başlangıçtaki boşluk oranı için elde edilen sonuçların
ve ölçülen değerlerin çapraz kontrolleri.



Şekil 7.5. Çökme potansiyelini belirlemeye yönelik ölçülen ve oluşturulan modellerinden tahmin edilen değerlerin örnekleme lokasyonu bazında karşılaştırılması



Şekil 7.6. Çökme potansiyeli modeline ait % hata değerlerinin BP₁ ve BP₂ için gerçekleştirilen karşılaştırması

$$VAF = \left[1 - \frac{\text{var}(y - y')}{\text{var}(y)} \right] \times 100 \quad (7.8)$$

$$RMSE = \sqrt{\left(\frac{1}{N} \right) \times \sum_{i=1}^N (y - y')^2} \quad (7.9)$$

Burada; y, ölçülen çökme potansiyeli, y', tahmin edilen çökme potansiyeli, N ise veri sayısıdır.

İlk model BP₁ için (çökme potansiyeli ile, birim hacim ağırlık ile özgül ağırlık oranı ile ince tane oranı) hesaplanan VAF ve RMSE değerleri sırasıyla, %84.36 ve 0.21 ikinci model BP₂ için (çökme potansiyeli ile başlangıçtaki boşluk oranı ile ince tane oranı) ise sırasıyla %89.53 ve 0.1 olarak belirlenmiştir. Mükemmel bir kestirim kapasitesi için, VAF %100 ve RMSE 0 olmalıdır. Hesaplanmış olan performans indeksleri, önerilen eşitliklerin yüksek kestirim sağladığını göstermektedir.

7.2. Görgül ilişkiler Kullanılarak Oturmanın Hesaplanması

Çökme mekanizmasının geliştiği bilinen siltli, kumlu seviyede, kuru halde ve ıslanma ile gelişebilecek olan oturma miktarının önceki bölümde önerilen görgül ilişkilerden belirlenmesi öngörülmüştür. Bu amaca yönelik olarak oluşturulan görgül ilişkilerde, laboratuvar deneylerinde çökmenin oluşturulduğu 200 kPa seviyesindeki e_o ve m_v değerleri esas alınmış ve 200 kPa sınır gerilim değerine göre aşağıdaki hesaplama adımları öngörülmüştür.

Oturma hesaplamaları, 200 kPa seviyesi, 200 kPa'dan düşük ve 200 kPa'dan yüksek gerilim seviyeleri için yapılmıştır.

Oturmanın hesaplanacağı seviye için, seviyenin üzerindeki gerilim artışına bağlı oluşacak oturmanın yanı sıra, ıslanma sonrası gelişecek bir oturma da söz konusudur. Aşağıda, her iki oturmanın da görgül ilişkiler esas alınarak hesaplanması ayrı ayrı ele alınmış olup, bu oturma miktarlarının toplamı ise toplam oturma olarak ifade edilmiştir. Bu durumda toplam oturma miktarı Eş. 7.10'da verilmiştir.

$$S = S_{i\ddot{o}} + S_{is} \quad (7.10)$$

S : toplam oturma miktarı (cm)

$S_{i\ddot{o}}$: ıslanma öncesi meydana gelen oturma (cm)

S_{is} : ıslanma sonrası meydana gelen oturma (cm)

Geliştirilen görgül eşitliklerin yanı sıra, basit laboratuvar deneyleriyle belirlenen ince tane oranı, doğal birim hacim ağırlık, nem içeriği ve özgül ağırlık değerleri de kullanılan diğer girdi parametrelerdir. $P_o + \Delta P \leq 200$ kPa gerilim seviyesi için normal gerilim ve boşluk oranları, Şekil 7.7a ve $P_o + \Delta P > 200$ kPa gerilim seviyesi için normal gerilim ve boşluk oranları ise Şekil 7.7b'de gösterilmiştir.

7.2.1. $P_o + \Delta P \neq 200$ kPa Gerilim Seviyesinde Toplam Oturmanın Belirlenmesi

Laboratuvar deneyleriyle belirlenen ince tane oranı, doğal birim hacim ağırlık, nem içeriği ve özgül ağırlık değerleri kullanılarak, ıslanma öncesi ve ıslanma sonrası oluşacak oturma miktarının belirlenmesi için aşağıdaki eşitlikler üretilmiştir.

e_o 'ın belirlenmesi;

$$\gamma_n = \frac{G_s(1+w)}{1+e_o} \gamma_w \quad \Rightarrow \quad e_o = \frac{[G_s(1+w)\gamma_w] - \gamma_n}{\gamma_n} \quad (7.11)$$

γ_n : doğal birim hacim ağırlık (kN/m³)

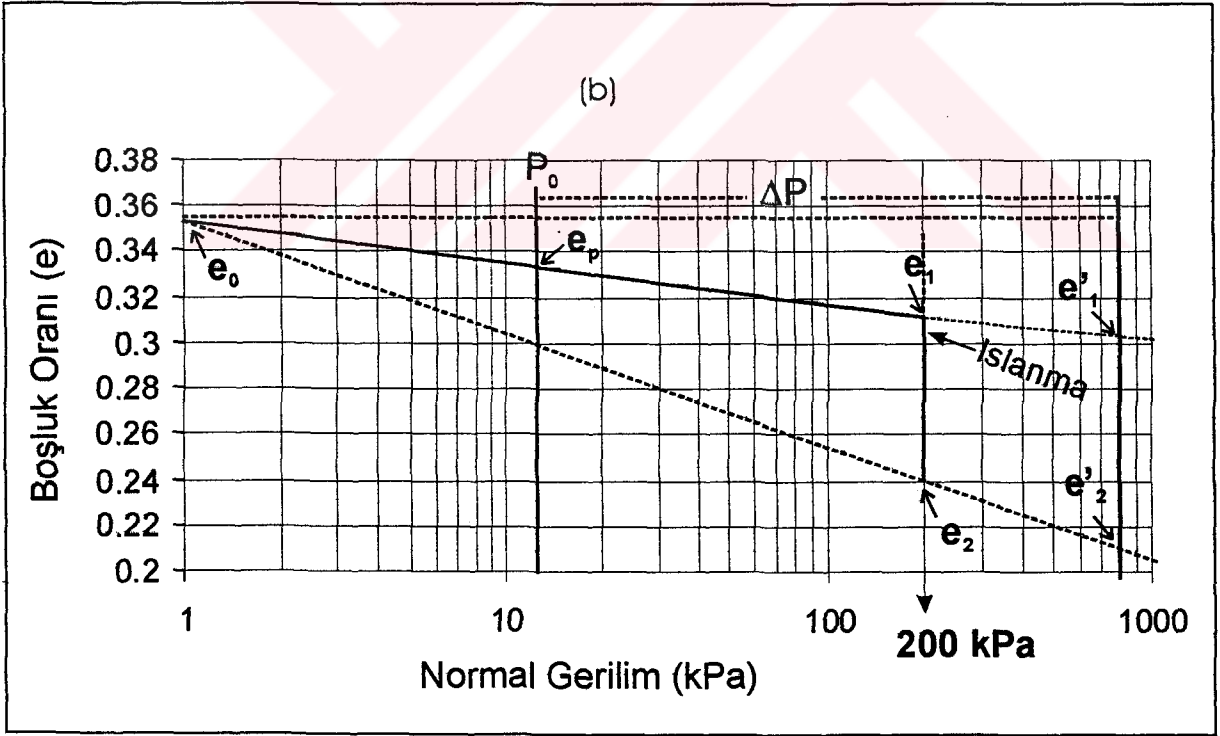
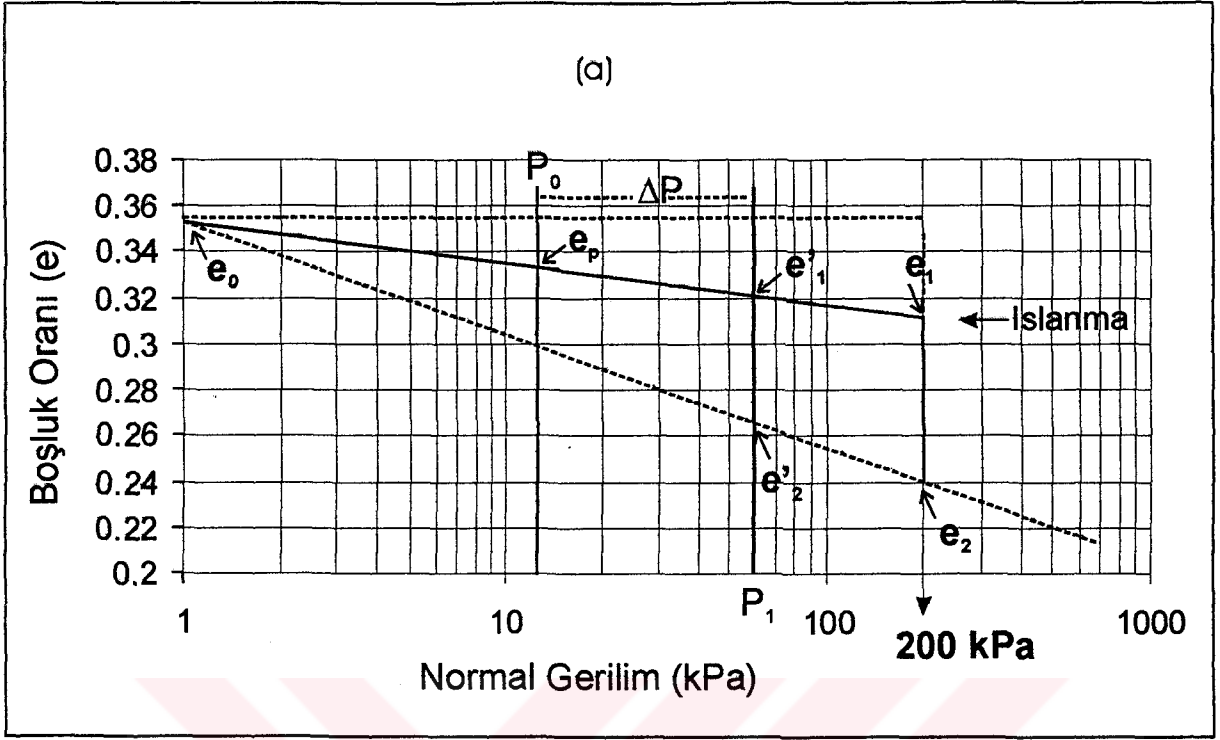
G_s : özgül ağırlık

w : nem içeriği (%)

γ_w : suyun birim hacim ağırlığı (kN/m³)

C_p 'nin belirlenmesi;

Çökme potansiyeli, Şekil 7.3'te verilen çökme potansiyelini belirleme abağından belirlenmektedir. Bunun için, abağın ince tane yüzdesi ve başlangıçtaki boşluk



Şekil 7.7. (a) $P_0 + \Delta P \leq 200$ kPa, (b) $P_0 + \Delta P > 200$ kPa için gerilim seviyeleri ve boşluk oranlarını gösteren e-Log-P grafiği

oranı veya ince tane yüzdesi ve birim hacim ağırlık, özgül ağırlık oranı parametrelerini içeren eksenlerden birinin kullanılması yeterli olacaktır. Belirlenen C_p değeri, ıslanma anındaki 200 kPa gerilim seviyesi için geçerlidir.

$$C_p = \frac{e_1 - e_2}{1 + e_0} \Rightarrow (e_1 - e_2) = \frac{C_p (1 + e_0)}{100} \quad (7.12)$$

200 kPa'dan küçük veya daha büyük herhangi bir $P_0 + \Delta P$ gerilim seviyesi için (bkz. Şekil 7.7) çökme potansiyelinin belirlenmesi için, bu gerilim seviyesindeki e'_1 ve e'_2 değerleri arasındaki fark aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir

$$e'_1 - e'_2 = \frac{(P_0 + \Delta P)(e_1 - e_2)}{200} \quad (7.13)$$

e'_1 : herhangi bir $P_0 + \Delta P$ gerilim seviyesi için ıslanmadan önceki boşluk oranı

e'_2 : herhangi bir $P_0 + \Delta P$ gerilim seviyesi için ıslanmadan sonraki boşluk oranı

Bu koşuldaki çökme potansiyeli aşağıdaki eşitlikten belirlenmektedir (Eş. 7.14),

$$C'_p = \frac{e'_1 - e'_2}{1 + e_0} \quad (7.14)$$

H kalınlığıdaki çökebilir bir toprak zemin için ıslanma sonrası oturmasının hesaplanması için ise Eş. 7.15 önerilmiştir.

$$S_{is} = C'_p \times H \quad (7.15)$$

Islanma öncesi, oluşacak oturmanın hesaplanması için 100-200 kPa seviyesi için gereken hacimsel sıkışabilirlik katsayısı (m_v) değeri, çökme potansiyeli ile m_v arasındaki görgül ilişkinden belirlenebilir (Eş. 7.16). Bu ilişki çalışmanın bu bölümünde gerçekleştirilmiş olan basit regresyonlar ile ortaya konmuştur (bkz. Çizelge 7.4).

$$C_p = 1.4323e^{1197.9(mv)} \quad (7.16)$$

Bu ilişkidenden çökme potansiyeli bilinen bir toprak zemin için 200 kPa gerilim seviyesi için m_v değeri hesaplanabilmektedir

Toprak zeminde ıslanma öncesi meydana gelen oturma miktarı ise aşağıda verilen eşitliklerden hesaplanabilmektedir.

$$m_v = \frac{1}{1 + e_0} \left(\frac{e_0 - e_1}{P_1 - P_0} \right) \quad (7.17)$$

e_0 , $P_1 - P_0$ (200-100 kPa=100 kPa) bilinen parametreler olup, bu eşitlikten e_1 hesaplanabilmektedir.

Oturmanın hesaplandığı gerilim seviyesi için boşluk oranı değerlerinin belirlenmesi için Şekil 7.7'deki benzer üçgenler kullanılarak aşağıdaki eşitlik türetilmiştir.

$$e_0 - e'_1 = \frac{(P_0 + \Delta P)(e_0 - e_1)}{200} \quad (7.18)$$

Islanma öncesi oluşan oturma miktarı Eşitlik 7.19'dan hesaplanabilmektedir.

$$S_{i0} = \left(\frac{e_0 - e'_1}{1 + e_0} \right) \times H \quad (7.19)$$

Toplam oturma ise çökme oturmasının ve ıslanma sonucu doygun hale geçen toprak zeminde meydana gelen oturma miktarının toplamı şeklindedir.

$$S = S_{i0} + S_{is}$$

7.2.2. $P_o + \Delta P = 200$ kPa Gerilim Seviyesinde Toplam Oturmanın Belirlenmesi

200 kPa seviyesi, tüm ilişkilerin geliştirildiği ve hesaplamaların yapıldığı seviye olmasından dolayı, önerilen eşitliklerde, bu gerilim seviyesine ait çökme potansiyeli ve m_v değerleri kullanılmıştır.

İslanma sonrası meydana gelen Eş. 7.20 ve ıslanma öncesi meydana gelen oturma miktarları da Eş. 7.20 ve Eş. 7.21'de verilmiştir.

$$S_{is} = C_p \times H \quad (7.20)$$

$$S_{iö} = \left(\frac{e_0 - e_1}{1 + e_0} \right) \times H \Rightarrow S_{iö} = m_v \times \Delta P \times H \quad (7.21)$$

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma, Adana-Ceyhan çevresinde yüzeyleyen kalıpların jeomekanik özelliklerinin ve iç yapı çökme mekanizmasının yanı sıra, bazı dinamik özelliklerinin belirlenmesini amaçlamıştır. Bu amaca yönelik olarak yürütülen saha, laboratuvar çalışmaları ile değerlendirmelerden elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

- a) Plaka yükleme deneylerden elde edilen sonuçlara göre; deformasyon modülü değerleri 11.3-16.9 MPa arasında değişim gösterirken, 25 mm'lik izin verilebilir oturma anındaki gerilim ise, 1500-2030 kPa arasında değişim göstermektedir.
- b) Taşıma gücü kapasitesi hesaplamalarında kullanılan ve bu çalışmada geriye dönük analizlerle hesaplanan makaslama dayanım parametrelerinden içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerlerinin aralıkları sırasıyla, 38-47° ve 5-15 kPa olarak belirlenmiştir.
- c) Laboratuvar deney sonuçlarına göre; siltli, kumlu seviye ile çakıllı, bloklu seviyenin özgül ağırlık ile birim hacim ağırlık değerleri bir arada değerlendirildiğinde, siltli, kumlu seviyenin çakıllı, bloklu seviyeye göre daha gözenekli bir yapıya sahip olduğu söylenebilir. Çünkü, doğal halde daha düşük birim hacim ağırlığa sahip olan siltli, kumlu seviyenin katı tanelerinin özgül ağırlık değerleri daha yüksektir. Siltli-kumlu seviyenin zemin sınıfı SM ve çakıllı, bloklu seviyenin zemin sınıfı ise, GW olarak belirlenmiştir.
- d) Siltli, kumlu seviyenin çökme potansiyeli, 200 kPa gerilim altında, %1.62 ve % 3.79 arasında değişmekte olup, “çok az” ve “orta derecede” çökme potansiyeli sınıfında yer almaktadır. Bu da yük ve ıslanma koşullarındaki değişime bağlı olarak, temellerde “orta derecede” oturma sorun yaratacağına işaret etmektedir.
- e) Tek eksenli sıkışma dayanımı ile birim hacim ağırlık ve görünür gözeneklilik arasında da yüksek korelasyon katsayısı elde edilmiştir.

- f) Çalışma kapsamında yapılan SEM analizlerine göre; siltli kumlu seviyede en çok gözlenen mineral türü kalsit olmakla birlikte, daha az miktarda kuvars mineraline de rastlanmıştır. Taneler arasındaki bağlayıcı malzenin simektit grubu kil minerali olduğu belirlenmiş ancak, yer yer de olsa illit türü kil mineralinin de bağlayıcı özelliği gösterdiği tespit edilmiştir.
- g) Çalışma kapsamında, yapılan jeofizik incelemeler sonunda kalış profiline ait seviyelerin kalınlıkları ile; V_s ve V_p dalga hızları belirlenmiştir.
- h) Mikrotremor ölçüm sonuçlarına göre, kalış profilinin yumuşak kalış ve sert kalış seviyelerinin rezonans farkları, 1998 Adana-Ceyhan Depremi sonrasında bu bölgedeki binaların ağır hasar görmesine neden olduğu düşünülmektedir.
- i) Doktora tezi kapsamında, çökme potansiyelinin kestirimine yönelik bir abak oluşturulmuştur. Kestirim modelinin oluşturulmasında, i , e_o ve γ/G_s parametreleri kullanılmıştır
- j) Kalışın siltli, kumlu seviyesi için, ıslanma öncesi ve ıslanmadan sonra oluşabilecek oturmanın belirlenmesine yönelik olarak, görgül ilişkiler geliştirilmiş ve eşitliklerde laboratuvar deney sonuçlarından elde edilen parametreler ile bu çalışmada oluşturulan çökme potansiyelini belirleme abağı kullanılmıştır.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar çerçevesinde, konuyla ilgili olarak gelecekte yapılacak çalışmalar açısından dikkate alınmasında yarar görülen hususlar, öneriler halinde aşağıda sunulmuştur.

- a) Kalışları içeren alan genişletilerek diğer kalış lokasyonlarında benzer çalışmalar yapılması, elde edilen sonuçların bu çalışmadaki sonuçlarla birlikte değerlendirilmesinde yarar vardır.

- b) Çökme potansiyelini belirlemeye yönelik yapılan deneylerin sayısı arttırılmalı ve farklı litolojideki çökebilir topraklarla birlikte değerlendirilerek bu tez kapsamında oluşturulan model sınanmalı ve gerekiyorsa modifiye edilmelidir.
- c) Plaka yükleme deneyleri, her bir lokasyon için farklı çaplardaki plakalarla yapılmalı ve makaslama dayanımı belirlenmelidir.
- d) İç yapı çökmesine yönelik iyileştirme teknikleri araştırılmalı ve bu bölge için en uygun yöntem belirlenmelidir.



YARARLANILAN KAYNAKLAR

- Alawaji, H. A., 2001, Shear induced collapse settlement of arid soils, *Geotechnical and Geological Engineering*, 19, 1-19.
- Assalay, A. M., Rogers, C. D. F. and Smalley, I. J., 1993, Formation and collapse of metastable particle packing and open structure in loess deposits, *Engineering Geology*, 48, 101-115.
- ASTM (American Society of Testing and Materials), 1992, *Annual Book of ASTM Standards*, 04.08, 1391-1393.
- ASTM, 1994, *Annual Book of ASTM Standards-Soil and Rock, Building Stones, Section-4, Construction*, 04.08, ASTM Publication, 972p.
- Attalla, M., 1993, Description, classification and testing of calcareous rock-similar soils, *Proceedings of Geotechnical Engineering of Hard Soils - Soft Rocks Symposium*, Athens, Greece, 1, 21-27.
- Aydan, Ö., Ulusay, R., Kumsar, H., Sönmez, H. and Tuncay, E., 1998, A site investigation of Adana-Ceyhan Earthquake of June 27, 1998. *Turkish Earthquake Foundation*, Report No: TDV/DR006-30 131p.
- Azam, S., 2001, Collapse and compressibility behaviour of arid calcareous soil formations, *Bulletin. Engineering Geology and Environment*, 59, 211-217.
- Barden, L., McGown, A. and Collins, K., 1973, The collapse mechanism in partly saturated soils, *Engineering Geology*, 7, 49-60.
- Basma, A. A. and Tuncer, E. R., 1992, Evaluation and control of collapsible soils. *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, 118, 1491-1504.
- Bell, F.G., 1978, The physical and mechanical properties of the Fell sandstone, Northumberland, England. *Engineering Geology* 12, 1-29.
- BSI, 1990, *British Standard Methods of Test for Soils for Civil Engineering Purposes. Part 7: Shear strength tests (total stresses)*, p.46.
- Bayülke, N., 1978, Tuğla yığma yapıların depremdeki davranışı. *Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni*, 6 (22), 26-41.
- Bowles, J. E., 1988, *Foundation Analysis and Design*, McGraw-Hill Book Company, Singapore, 1004 p.
- Clayton, C. R. I., and Serratrice, J. F., 1977. The mechanical properties and behaviour of hard soils and soft rocks. *Proceedings of Geotechnical Engineering of Hard Soils - Soft Rocks Symposium*, Athens, Greece, 2, 1839-1875.

- Clemence, S. P. and Finbarr, A. O., 1981, Design consideration for collapsible soils, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 107, (GT3), 305-317.
- Çelebi, M., 1998. The Adana-Ceyhan Earthquake of June 27, 1998, Learning From Earthquakes. EERI Special Earthquake Report, Earthquake Engineering Research Institute Newsletter, 32, (9) 1-5
- Çukurova Üniversitesi, Adana tanıtım sitesi, <http://adana.cu.edu.tr>.
- DAD (Deprem Araştırma Dairesi), 1996 Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası.
- DAD (Deprem Araştırma Dairesi), 1998, Adana-Ceyhan Depremi Raporu, <http://www.deprem.gov.tr>.
- DAD (Deprem Araştırma Dairesi), 2003, Kalış Profiline Zemin Hakim Titreşim Periyodunun Belirlenmesi ve Zemin Büyütmesi Etkisinin İncelenmesi Raporu (yayımlanmamış).
- Deere, D. U., and Miller, R. P., 1966, Classification and index properties of intact rock. Technical Report on AFWL-TR-65-116 AF Special Weapons Center, Kirtland Air Force Base, New Mexico.
- D.M.İ., 2003, Adana ili 1961-2001 yılları arasındaki yıllık sıcaklık ve yağış verileri, 13 s.
- Dipova, N., 2002, Antalya tufa çökellerinin çökme mekanizması, Doktora tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 197s, (yayımlanmamış).
- Edet, A., 1992. Physical properties and indirect estimation of microfractures using Nigerian carbonate rocks as examples. Engineering Geology 33, 71-80.
- Efe, R., ve Sekin, S., 1998, 27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan Depremi, Fatih Üniversitesi Yayınları, 2, 80s.
- El-Ehwany, M and Houston, S. L., 1990, Settlement and moisture movement in collapsible soils, Journal of Geotechnical Engineering, 116, 10, 1521-1535.
- Goudie, P. A. and Pye, K., 1983, Chemical sediments and geomorphology, Academic Press, London, 93-131.
- Gökçeoğlu, C., 2002, A fuzzy triangular chart to predict the uniaxial compressive strength of Ankara agglomerates from their petrographic composition. Engineering Geology 66,39-51.

- Gürbüz, M., 2003, Yazlı görüşme, Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi, Lodumlu, Ankara, gurbuz@deprem.gov.tr.
- Habibagahi, G., and Mokhberi, M., 1998, A hyperbolic model for volume change behaviour of collapsible soils, Canadian Geotech. Journal, 35, 264-272.
- Hagiwara, M. and Omori, J. A., 1939. Land creep at Mt. Tyausu-Yama (Determination of slip plane by seismic prospecting). Tokyo Univ. Earthquake Res.Inst. .Bull., 17, 118-137.
- Harrison, R. S., 1977, Caliche Profiles: Indicators of near surface subaerial diagenesis, Barbados, West Indies Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 25, 1, 123-173.
- Houston, S. L., Houston, W. N. and Mahmoud, H. H., 1995, Interpretation and comparison of collapse measurement techniques, in: Derbyshire, E., Dijkstra, T. and Smalley, I. (eds), "Genesis and properties of collapsible soils", 217-224., NATO Asi Series, Kluwer Academic Publisher, Netherlands.
- Houston, S. L., Houston, W. N. And Spadola, D. J., 1998. Prediction of field collapse of soils due to wetting, Journal of Geotechnical Engineering, 114, 1, 40-58.
- Houston, S.L., Houston, W. N., Zapata, C. E. and Lawrence, C., 2001, Geotechnical engineering practice for collapsible soils, Geotechnical and Geological Engineering, 19, 333-355.
- Howarth, D.F., Rowlands, J.C., 1986. Development of an index to quantify rock texture for qualitative assessment of intact rock properties. Geotechnical Testing Journal 9, 169-179.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1981, Rock Characterization, Testing and Monitoring: ISRM Suggested Methods. Pergamon Press, Oxford, E.T. Brown (ed.), 217p.
- Jennings, J. E. and Knight, K., 1975, A guide to construction on or with materials exhibiting additional settlement due to collapse of grain structure, Proc. of Sixth Regional Conf. for Africa on Soil Mech. and Foundation Eng. Society, Durban, South Africa, 1, 99-105.
- Kohata, Y. and Kim, Y., 1993, Measuring small strain stiffness of soft rocks, Proceedings of Geotechnical Engineering of Hard Soils - Soft Rocks Symposium Under the Auspices of the ISSMFE, Athens, Greece, 1, 809-816

- Kozlu, H., 1987, Misis-Andırın dolaylarının stratigrafisi ve yapısal evrimi, Türkiye 7. Petrol Kongresi Bildiriler Kitabı, 104-117.
- Krauter, E., 1993, General co-report session 1: Geological and geotechnical features, Proceedings of Geotechnical Engineering of Hard Soils - Soft Rocks Symposium Under the Auspices of the ISSMFE, Athens, Greece, 2, 1819-1827.
- Kuru, T., 2001, Adana-Ceyhan Depreminde Alüvyal Zeminlerin Sıvılaşma Davranışı ve Yapısal Hasar Üzerindeki Etkisinin Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Ün. Fen Bil. Ens. 128s. (yayınlanmamış).
- Lutenegger, A. J. and Saber, R. T., 1988, Determination of collapse potential of soils. Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, 11, 3, 173-178.
- Nakamura, Y., 1989, A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, Quaterly Report of RTRI, Railway Technical Research Institute (RTRI) , 30, 1, 25-33.
- Nilo, C. C., Fernando, S. And Jarbaş, M., 1998, Interpretation of plate load tests on residual soil site, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 124, 9, 857-867.
- Nurlu, M., 1998, 27 Haziran Adana-Ceyhan Depremi ön raporu. Afet İşleri Gn. Md., Deprem Arş. Dai. Bşk. RaporNo. DEP2, 852/1 (yayınlanmamış).
- Özmen, B., Nurlu, M. ve Güler, H., 1997, Coğrafi bilgi sistemi ile deprem bölgelerinin incelemesi, Afet İşleri Genel Müdürlüğü Yayını, 89s.
- Palta, Ç., 1997, Gaziantep Yöresinde Yer Alan Kuvaterner Kalışlar ve Toprak Stratigrafisi ile İlişkileri, Yüksek Lisans Tezi, Harran Ün. Fen Bil. Ens. 82s. (yayınlanmamış).
- Popescu, M. E., 1986, A comparision between the behaviour of swelling and collapsing soils. Eng. Geo. , 23, 145-163.
- Reddy, E. S. B. And Sastri, K. R., 1993, Geotechnical investigation in hard soils of Hyderabad region, Proceedings of Geotechnical Engineering of Hard Soils - Soft Rocks Symposium Under the Auspices of the ISSMFE, Athens, Greece, 1, 243-252.
- Rey, R. And Schindler, K. R., 1993, Some effects of glacial overriding on the geotechnical properties on fine-grained sediments, Proceedings of Geotechnical Engineering of Hard Soils - Soft Rocks Symposium Under the Auspices of the ISSMFE, Athens, Greece, 1, 253-260.
- Reznik, Y. M., 1993, Plate load test of collapsible soils, Journal of Geotechnical Engineering, 119, 3, 608-615.

- Rogers, C. D. F., 1995, Types and distribution of collapsible soils, in: Derbyshire, E., Dijkstra, T. and Smalley, I. (eds), "Genesis and properties of collapsible soils", 1-17., NATO ASI Series, Kluwer Academic Publisher, Netherlands.
- Rollins, K. M., 1994. Mitigation measure for small structures on collapsible alluvial soils, *Journal of Geotechnical Engineering*, 120, 9, 1533-1553.
- Rollins, K. M., Rollins, R. L., Smith, T. D. and Beckwith, G. H., 1993, Identification and characterization of collapsible gravels, *Journal of Geotechnical Engineering*, 120, 3, 528-542.
- Rozos D. and Koukis, G., 1993, Slake durability and geomechanical behaviour of the fine grained neogene sediments of the NW Peloponnesus, Greece. *Proceedings of Geotechnical Engineering of Hard Soils - Soft Rocks Symposium Under the Auspices of the ISSMFE, Athens, Greece*, 1, 261-268.
- Scholle, P. A., Bebout, D. G. and Moore, C. H., 1983, Carbonate Depositional Environments. *American Assoc. of Geo. Mem.*, 33, 2-54.
- Shakoor, A., Bonelli, R.E., 1991, Relationship between petrographic characteristics, engineering index properties and mechanical properties of selected sandstone. *Bulletin of the Association of Engineering Geologists XXVIII* (1), 55-71.
- Steven, L., 1998, Evaluation design and mitigation of project sites in collapsible soils areas in Western Colorado. Project Report 45 p. (unpublished).
- Sommer M., Wehrhan M., Zipprich M., Weller U., Zu Castell W., Ehrich S., Tandler B. and Selige, T., 2003, Hierarchical data fusion for mapping soil units at field scale, *Geoderma*, 112, 3-4, 179-196.
- Şenol, M., 1989, Adana-Balcalı/Çatalan Bölgesinin Genç Tersiyer-Kuvaterner İstifinin Lito-Pedolojik ve Sedimentolojik İncelemesi. Doktora Tezi, Ç.Ü Fen Bilimleri Ens., 128s. (yayımlanmamış).
- Terzaghi, K., Peck, B.R., 1948, *Soil Mechanics in Engineering Practice*. John Willey and Sons Inc., 729 p.
- Tsutiya, A. M., Tanaka, A., Giacheti, H. L., Campos, J. O., Nóbrega, C. A. And Barelli, N., 1993, Disaggregatability of indurated soils in southeastern Brazil, *Proceedings of Geotechnical Engineering of Hard Soils - Soft Rocks Symposium Under the Auspices of the ISSMFE, Athens, Greece*, 1, 315-318.
- Türkmen, S., and Yilmazer, Ö., 1998, Engineering geology of a caliche unit which caused noticeable slope failures along the TAG motorway, Turkey. *Environmental and Engineering Geoscience*, IV (4), 519-523.

- Udwadia, F.,E., Trifunac, M.D., 1973. Comparison of earthquake and microtremor ground motions in El Centro, California. Bull. Seism. Soc. Am., 63, 1227-1253.
- Ulusay, R., Tureli, K., Ider, M.H., 1994, Prediction of engineering properties of a selected litharenite sandstone from its petrographic characteristics using correlation and multivariate statistical techniques. Engineering Geology 37, 135-157,
- Vallebuona G., Arburo K. and Casali A., 2003, A procedure to estimate weight particle distributions from area measurements, Minerals Engineering, 16, 323-329.
- Wenk, T., Lacave, C., Peter, K., 1998, The Adana-Ceyhan earthquake of June 27, 1998. Swiss Society for Earthquake Engineering and Structural Dynamics (report), 1-47.
- Yetiş, C., 1978, Adana kuzeyinin jeolojisi ve şehir merkezinin bazı temel sorunlarına ilişkin gözlemler. Çukurova Üniversitesi, Müh-Mim. Fak. Dergisi, 115-123.
- Yılmaz, İ., 1993, Engineering geological properties of caliche consisting of softpan and hardpan levels (Adana region, Turkey), Proceedings of Geotechnical Engineering of Hard Soils - Soft Rocks Symposium Under the Auspices of the ISSMFE, Athens, Greece, 1, 319-323.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyad : Kıvanç ZORLU

Doğum Yeri ve Yılı : Zonguldak 19.04.1968

Medeni Durumu: Bekar

Öğrenim Durumu:

(1982-1985): Lise (Zonguldak Mehmet Çelikel Lisesi)

(1985-1990): Lisans (Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü)

(1994-1998): Yüksek Lisans (Mersin Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü)

(1998-2003): Doktora (Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü)

Yabancı Dil: İngilizce

Yüksek Lisans Tezi: *Mersin bölgesinde bir kireçtaşı ocağında süreksizlik tanımlamaları ve mühendislik uygulamaları*

Yayınları:

A.Yurtiçi Kongre Bildiri Kitabı

Zorlu (ÖZ), K., Aydın, A., 1998. Limonlu (Mersin) kireçtaşı ocağındaki süreksizlikler ve mühendislik uygulamalarına etkisi. 4. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Zonguldak 195-205.

B.Yurtiçi Kongre Bildiri Özleri

Zorlu K., Gökçeoğlu C., Sömez H., 2003. Ankara grovaklarının tek eksenli sıkışma dayanımı için kestirim modelleri, Mersin Üniversitesi 10. Yıl Sempozyumu Bildiriler Kitabı (basımda).

Sönmez, H., Gökçeoğlu, C. ve Zorlu, K., 2003. Parametre kestirimi için kural tabanlı bir bulanık algoritma. Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü 10. Yıl Sempozyumu Bildiri Özleri Kitabı, s.132.

Araştırma Projeleri:

Ulusay R., Ekmekçi, M., Gökçeoğlu C., Sisman, M., Sönmez H., ZORLU (ÖZ), K., Sülükçü S., Ergüler Z., ve Tonoç M.C., 1999. TKİ-ELİ Eynez Sahası Açık İşletme Projesinin Yapılabilirliğinin Şev Duraylılığı Açısından Değerlendirme Etüdü. Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama Araştırma Merkezi, Proje No: H.Ü YUVAM 99.001., 250 s.

KASAPOĞLU E., ZORLU K., 2003. Adana-Ceyhan bölgesindeki kalışlerin jeomekanik özellikleri ve çökme mekanizmasının incelenmesi. TÜBİTAK Araştırma Projesi. Proje No: 101 Y 123, 153 s.

ÜYELİKLER:

- TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası
- Ulusal Kaya Mekaniği Derneği

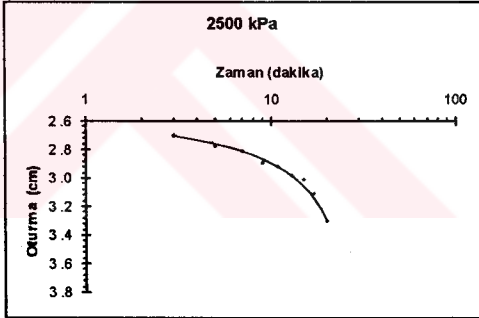
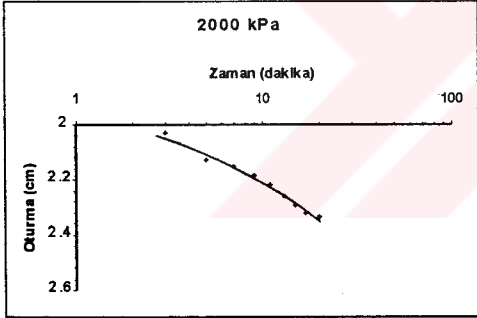
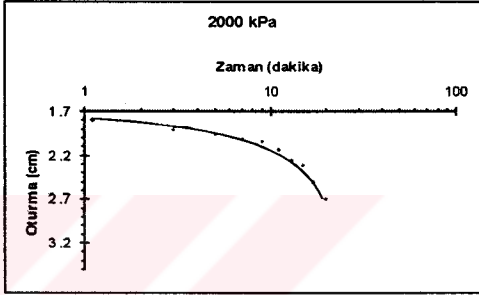
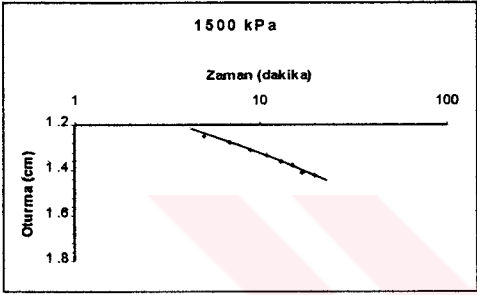
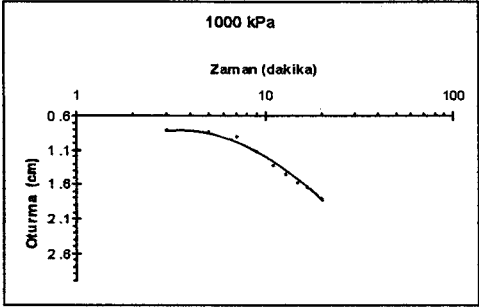
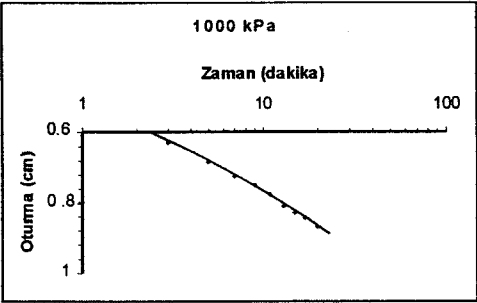
EK-1

ARAZİ VE LABORATUVAR DENEY SONUÇLARI

Ek1-1:PLAKA YÜKLEME DENEYLERİNDEN ELDE EDİLEN ZAMAN-OTURMA GRAFİKLERİ

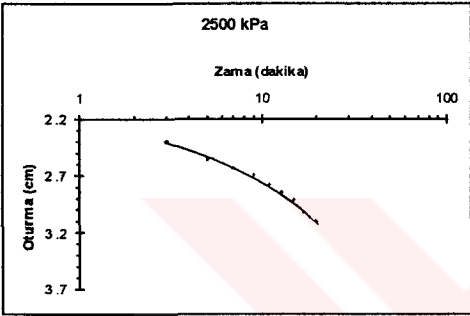
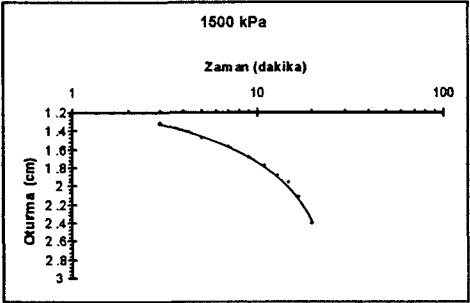
LOKASYON 1

LOKASYON 2

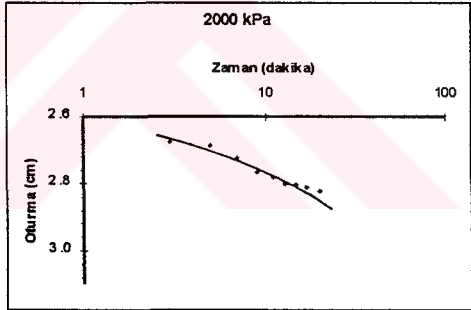
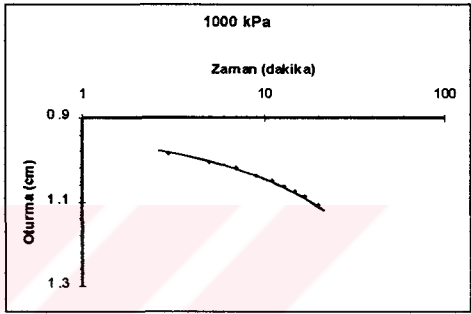
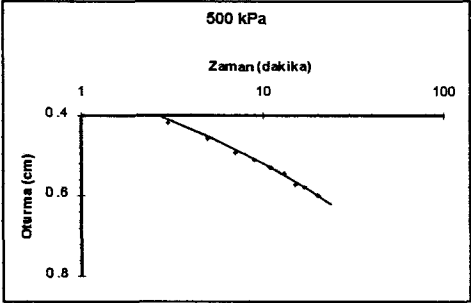


PLAKA YÜKLEME DENEYLERİNDEN ELDE EDİLEN ZAMAN-OTURMA GRAFİKLERİ

LOKASYON 3

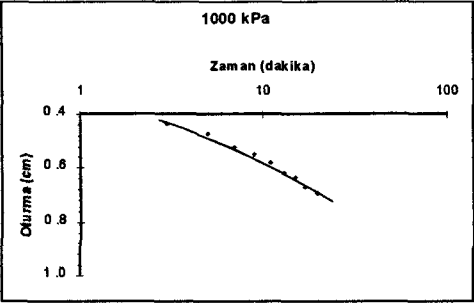


LOKASYON 4

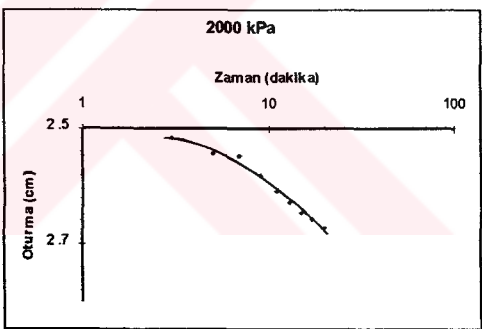
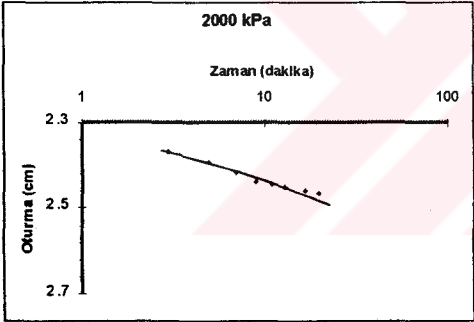
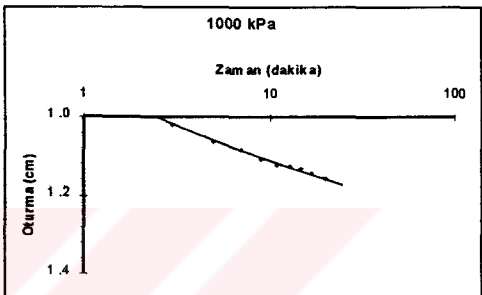
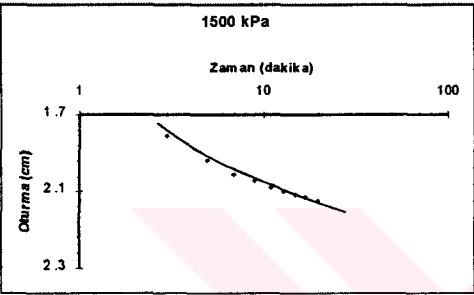
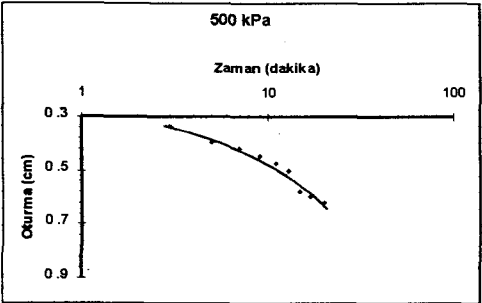


PLAKA YÜKLEME DENEYLERİNDEN ELDE EDİLEN ZAMAN-OTURMA GRAFİKLERİ

LOKASYON 5

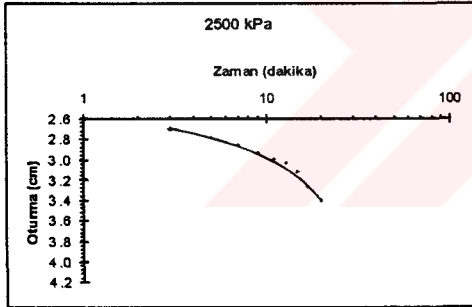
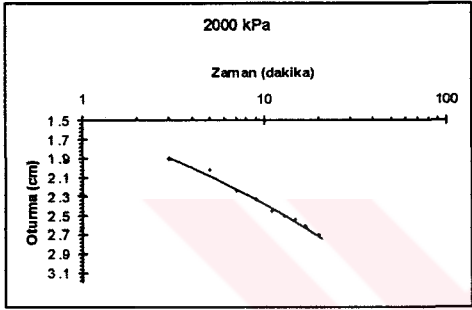
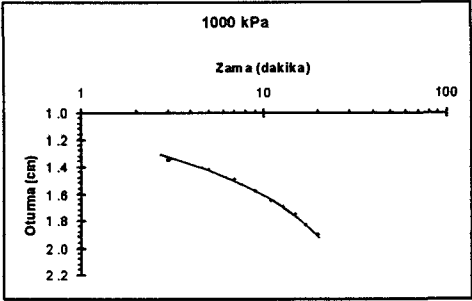


LOKASYON 6

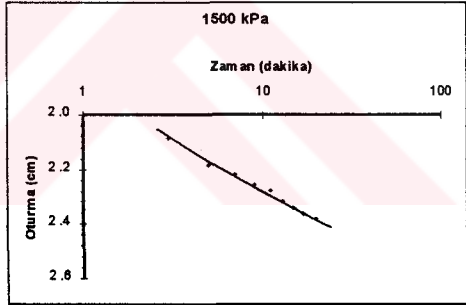
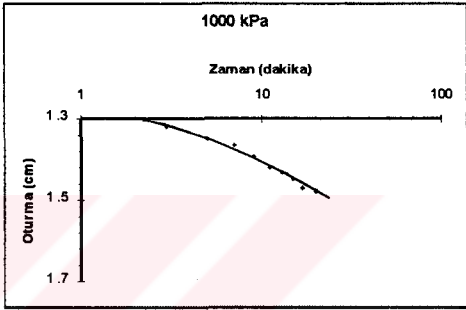
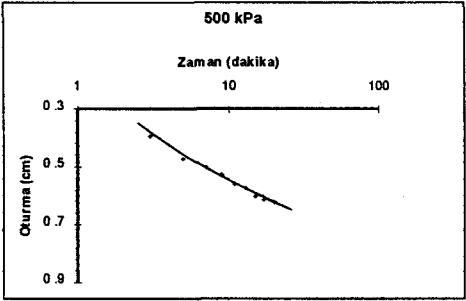


PLAKA YÜKLEME DENEYLERİNDEN ELDE EDİLEN ZAMAN-OTURMA GRAFİKLERİ

LOKASYON 7

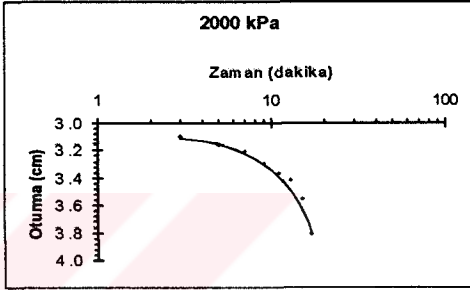
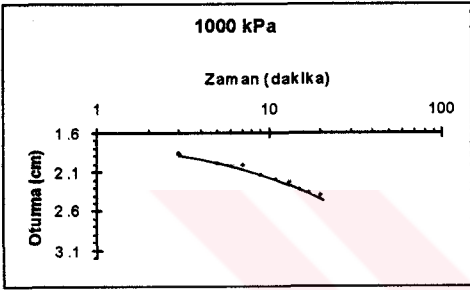
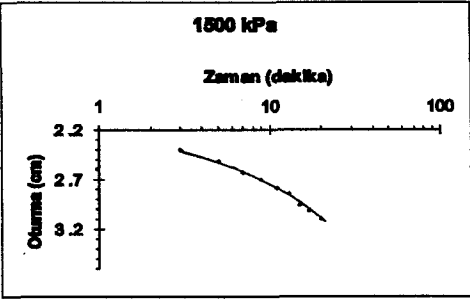
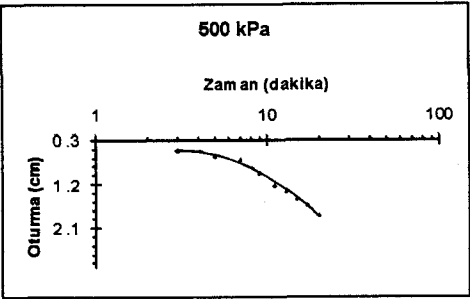


LOKASYON 8

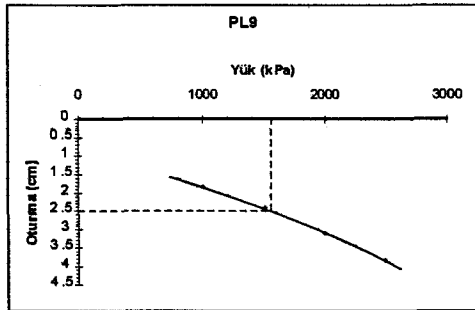
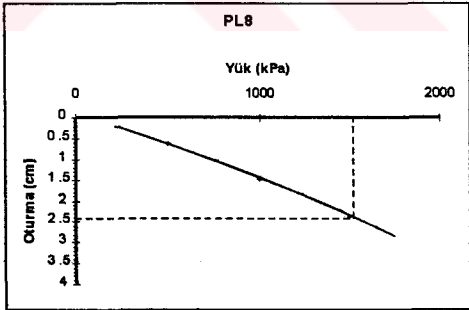
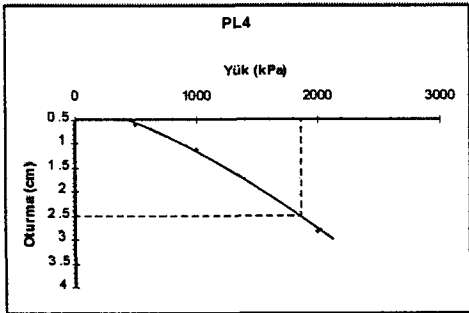
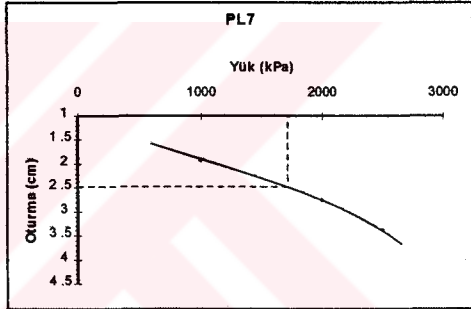
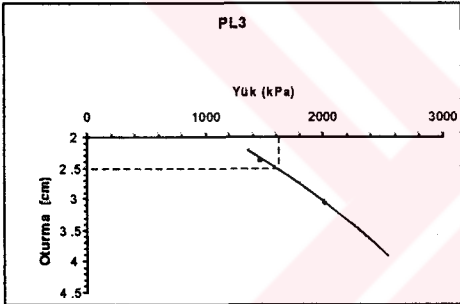
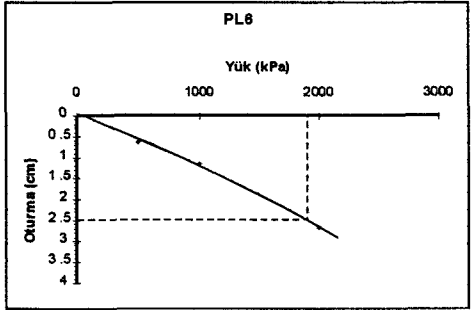
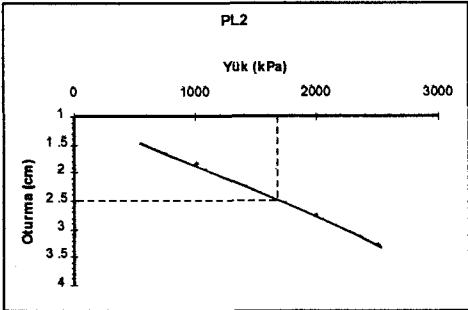
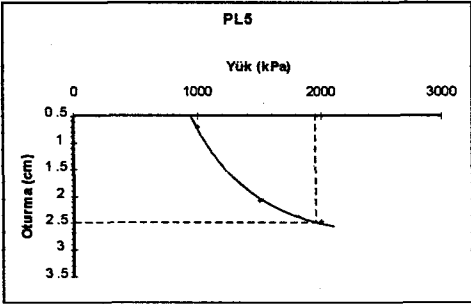
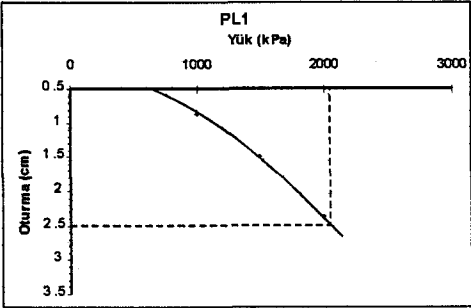


PLAKA YÜKLEME DENEYLERİNDEN ELDE EDİLEN ZAMAN-OTURMA GRAFİKLERİ

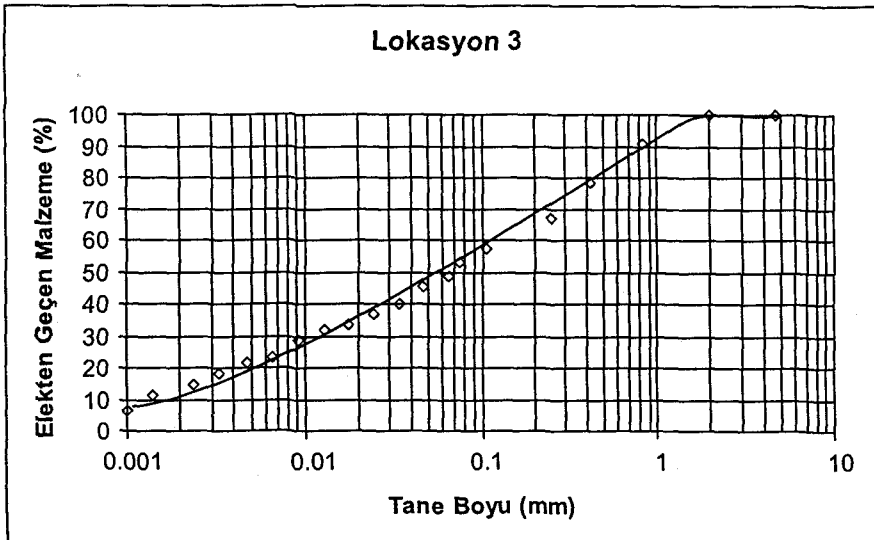
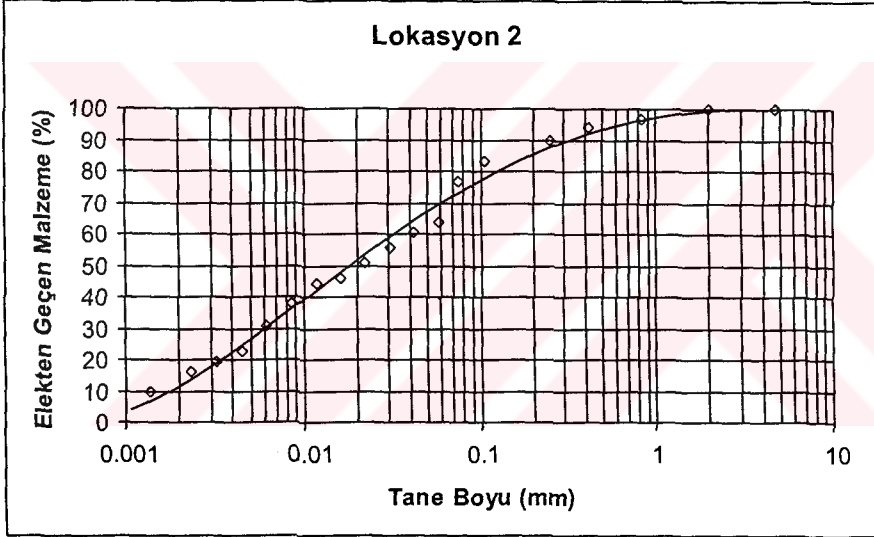
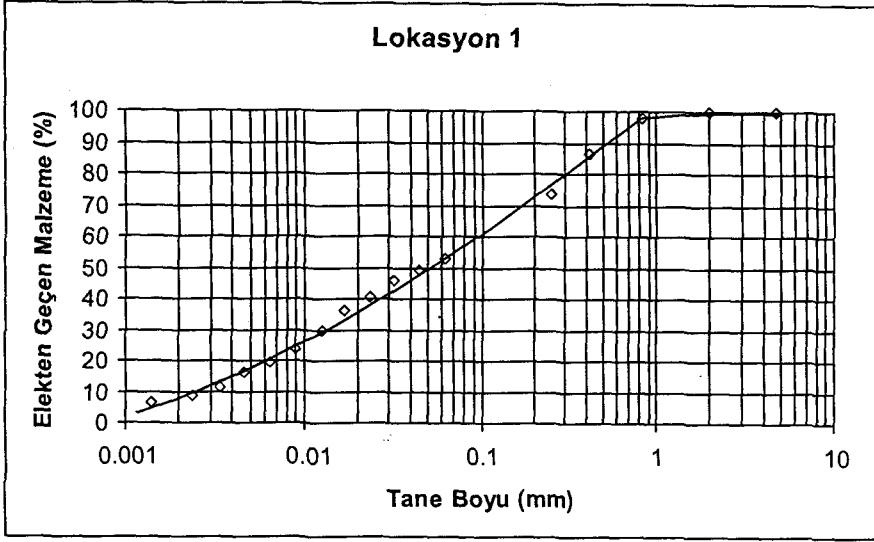
LOKASYON 9



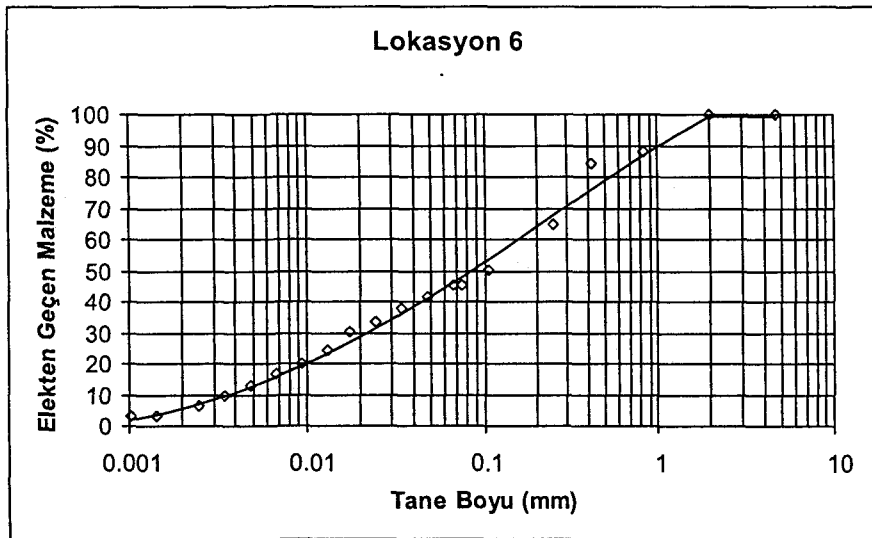
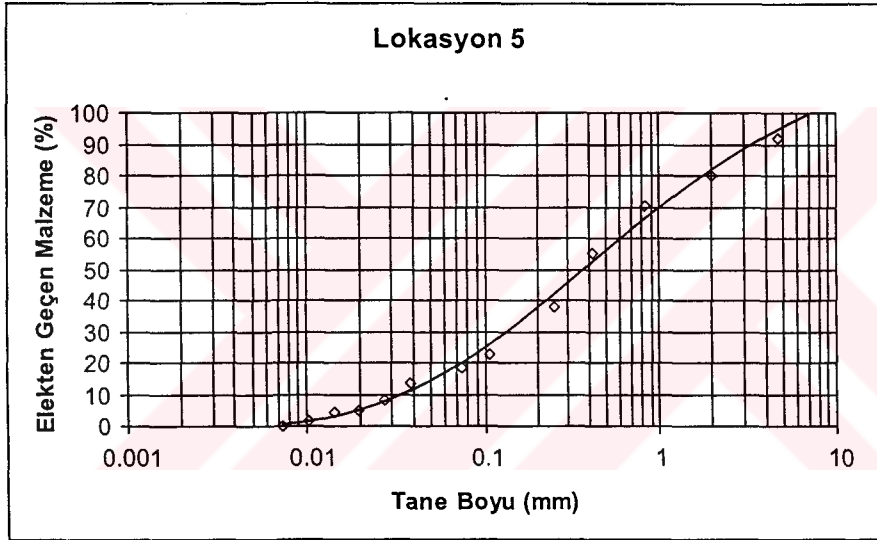
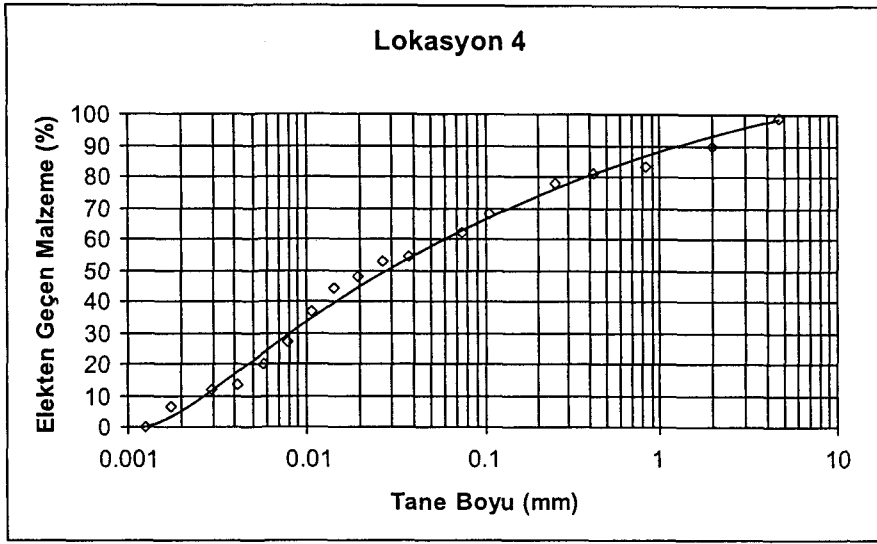
PLAKA YÜKLEME DENEYLERİNDEN ELDE EDİLEN YÜK--OTURMA GRAFİKLERİ



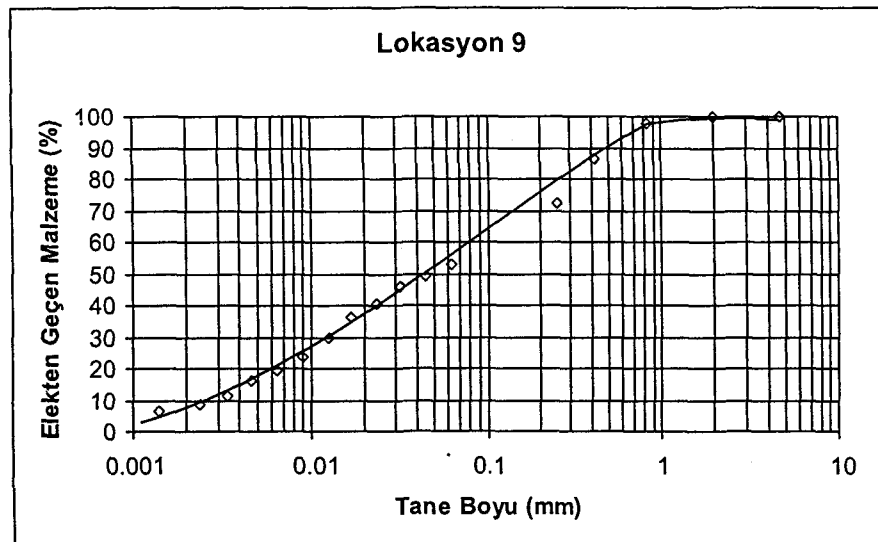
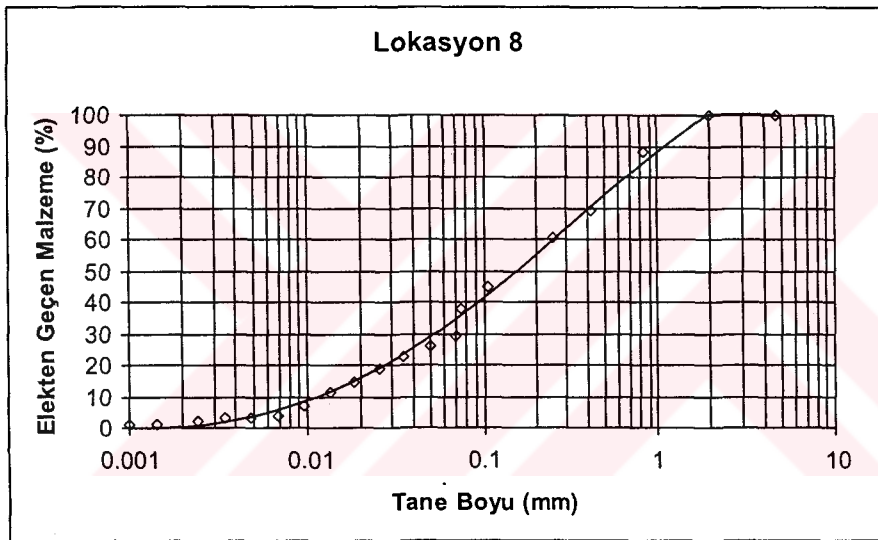
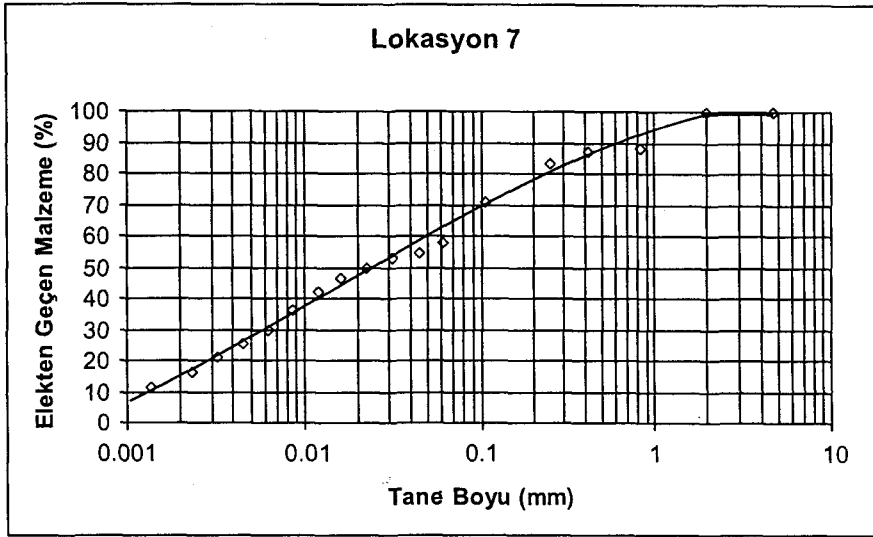
Ek1-2:
SİLTİ-KUMLU (SK) SEVİYENİN TANE BOYU DAĞILIM GRAFİKLERİ



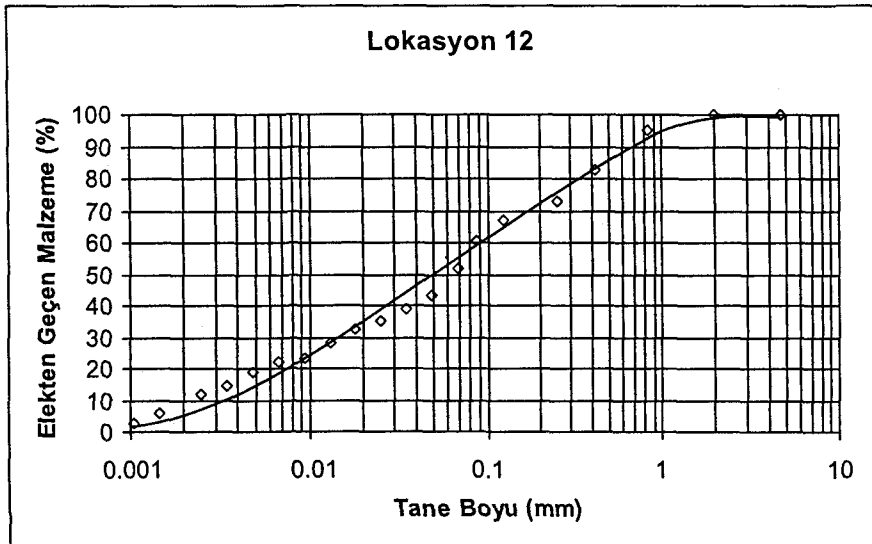
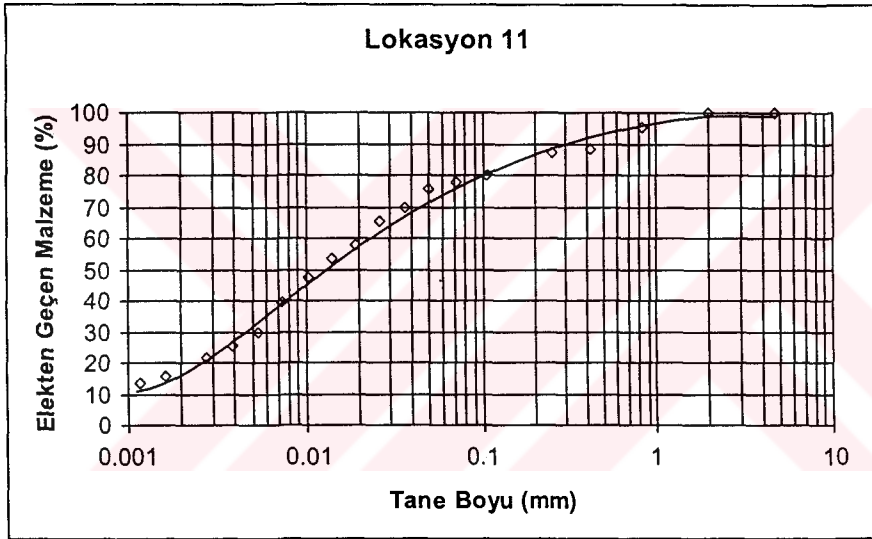
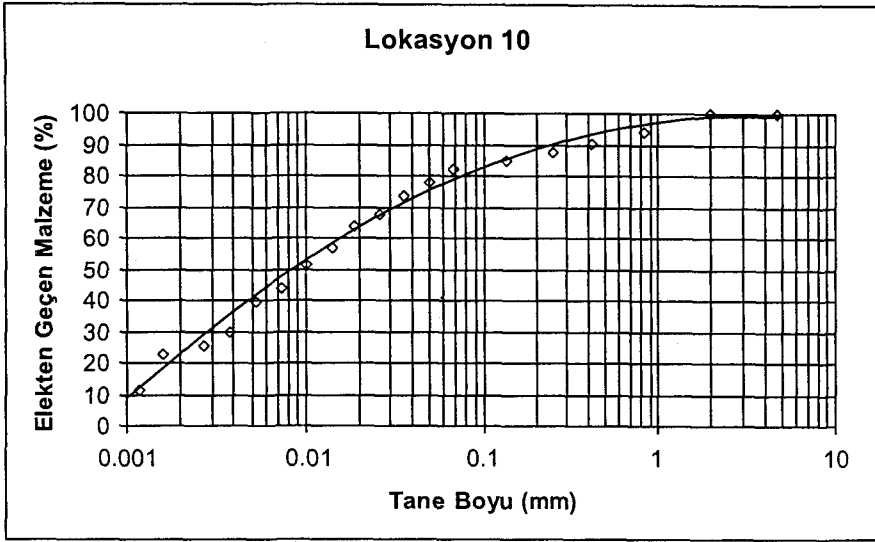
SİLTİLİ-KUMLU (SK) SEVİYESİNİN TANE BOYU DAĞILIM GRAFİKLERİ



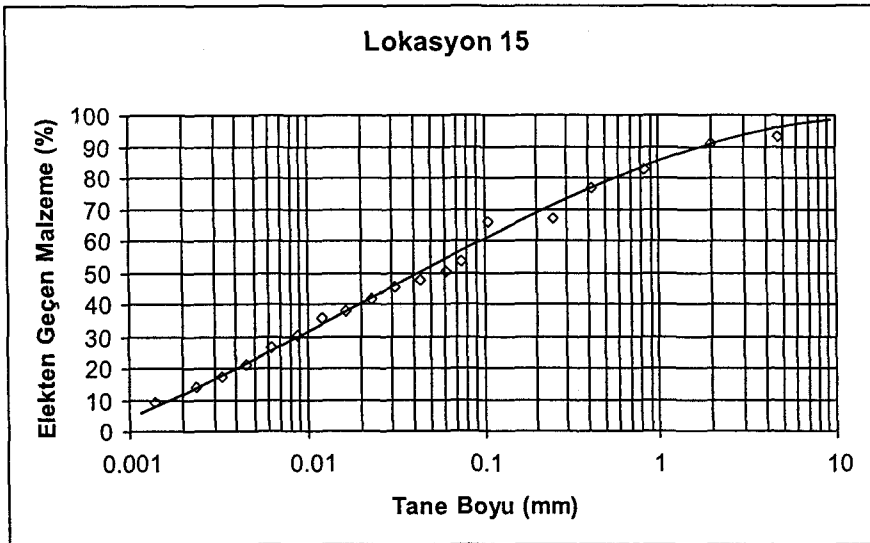
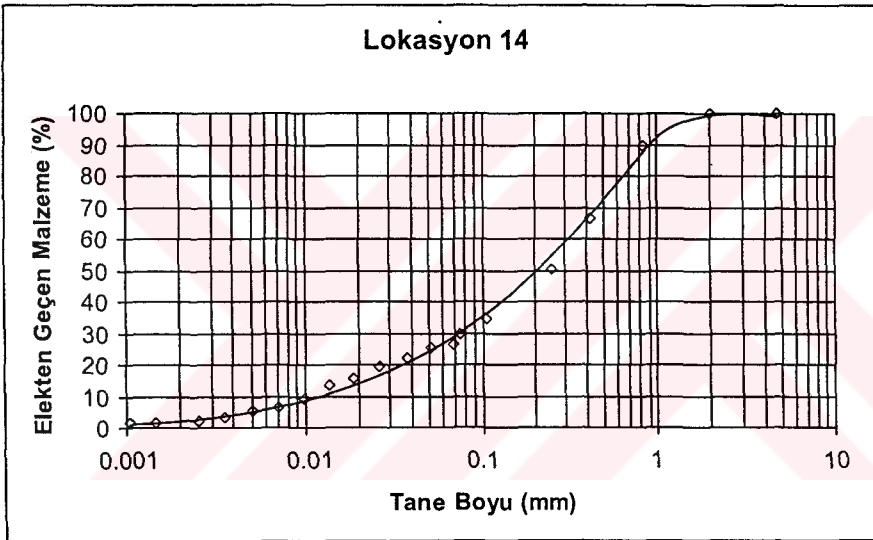
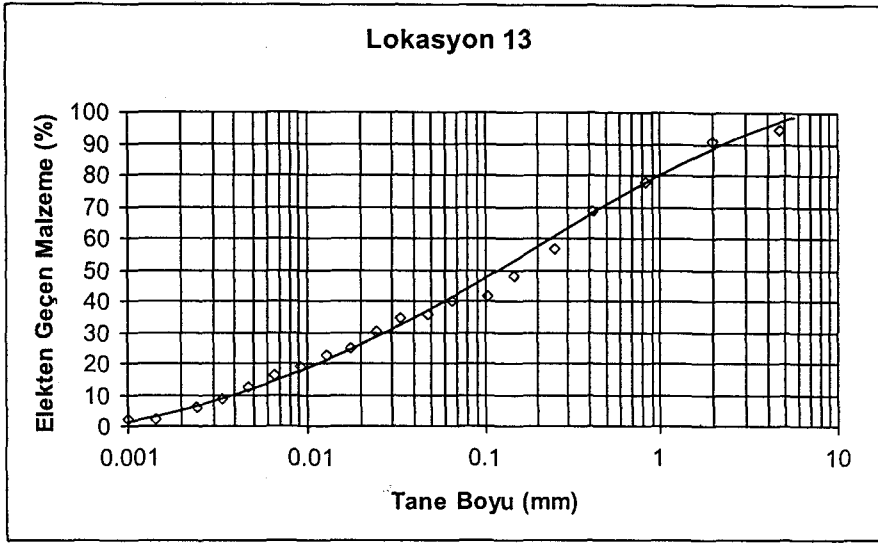
SİLTİLİ-KUMLU (SK) SEVİYESİNİN TANE BOYU DAĞILIM GRAFİKLERİ



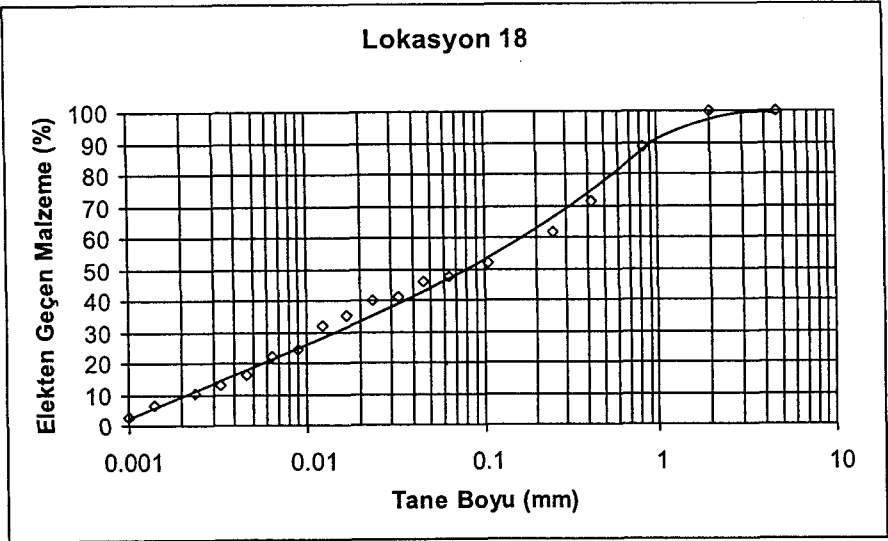
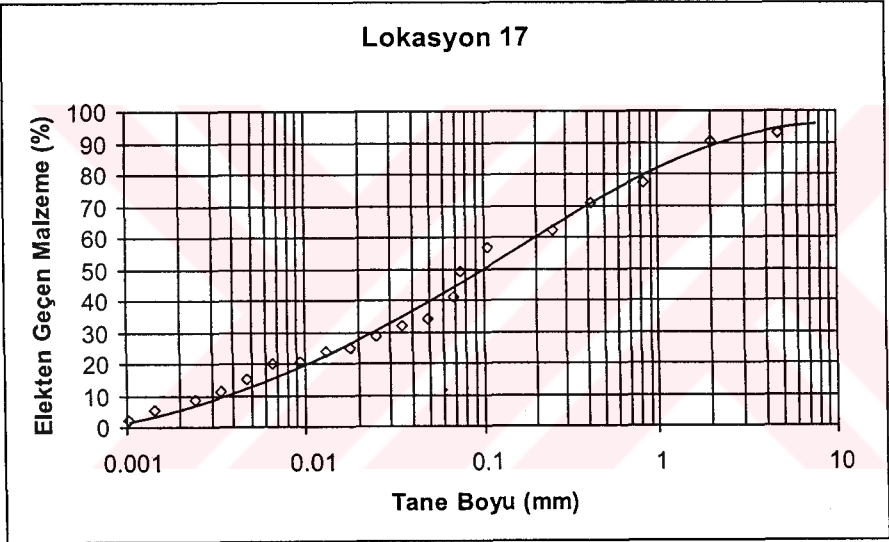
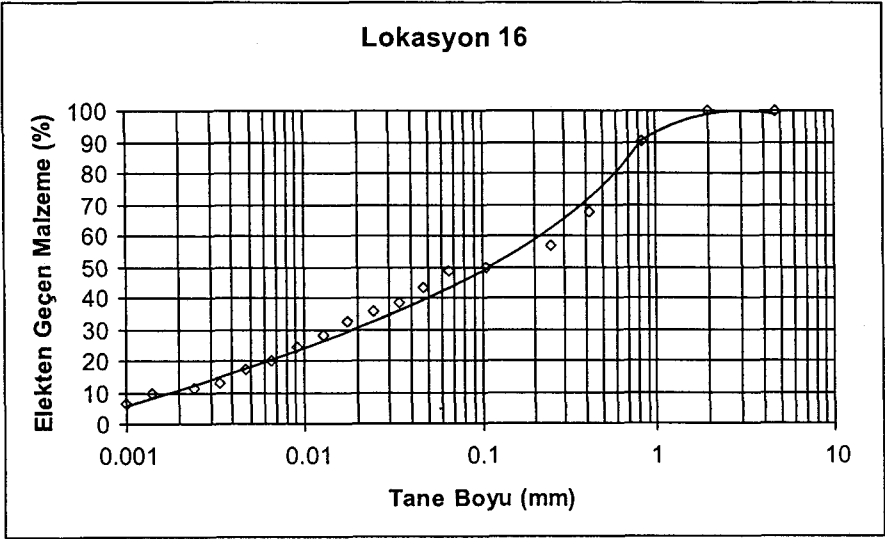
SİLTİLİ-KUMLU (SK) SEVİYESİNİN TANE BOYU DAĞILIM GRAFİKLERİ



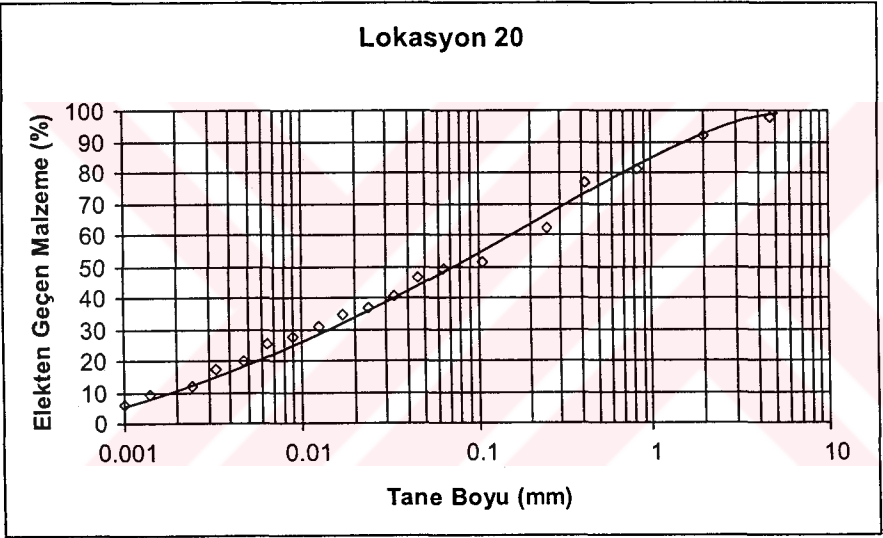
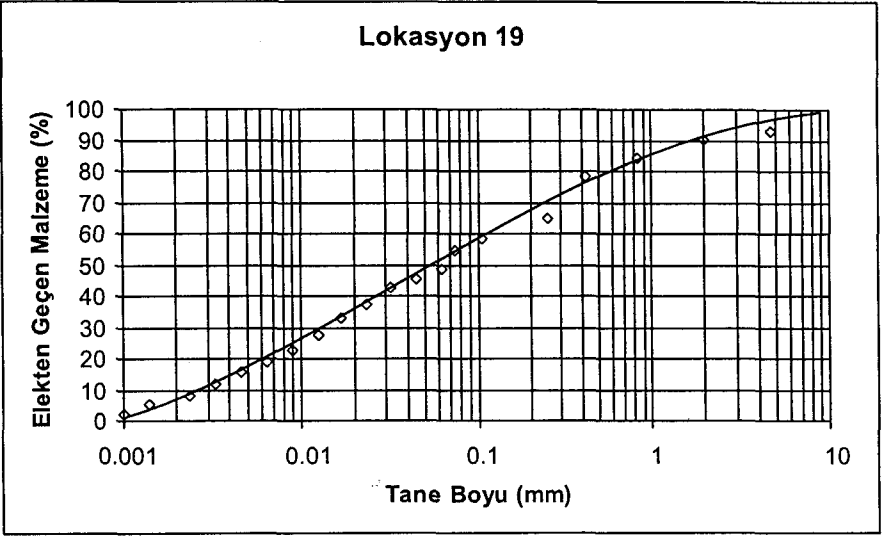
SİLTİ-KUMLU (SK) SEVİYESİNİN TANE BOYU DAĞILIM GRAFİKLERİ



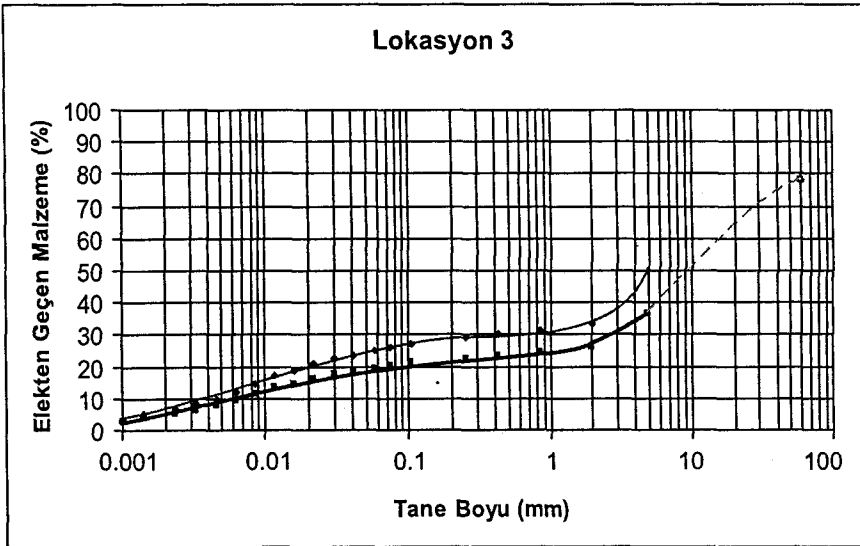
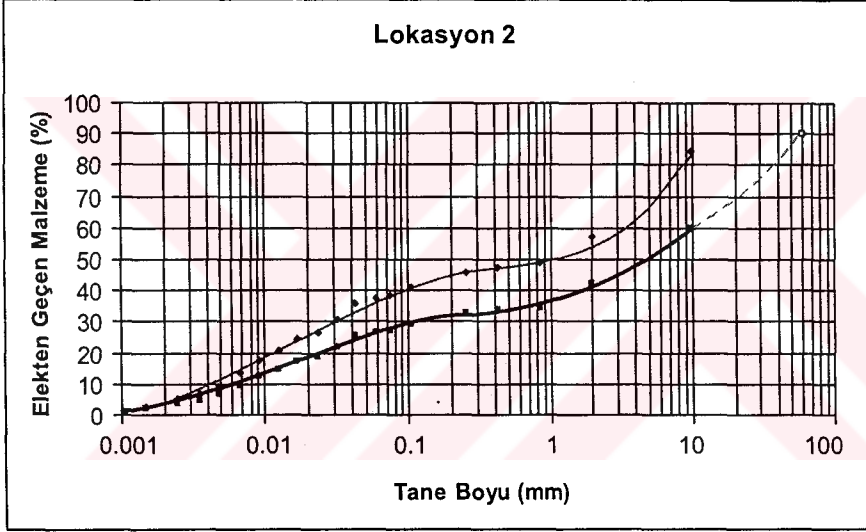
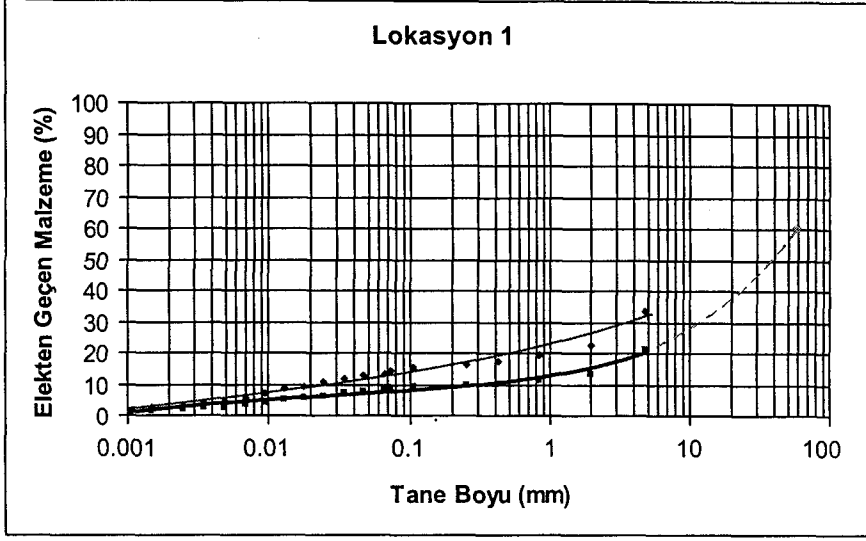
SİLTİLİ-KUMLU (SK) SEVİYESİNİN TANE BOYU DAĞILIM GRAFİKLERİ



SİLTİLİ-KUMLU (SK) SEVİYESİNİN TANE BOYU DAĞILIM GRAFİKLERİ

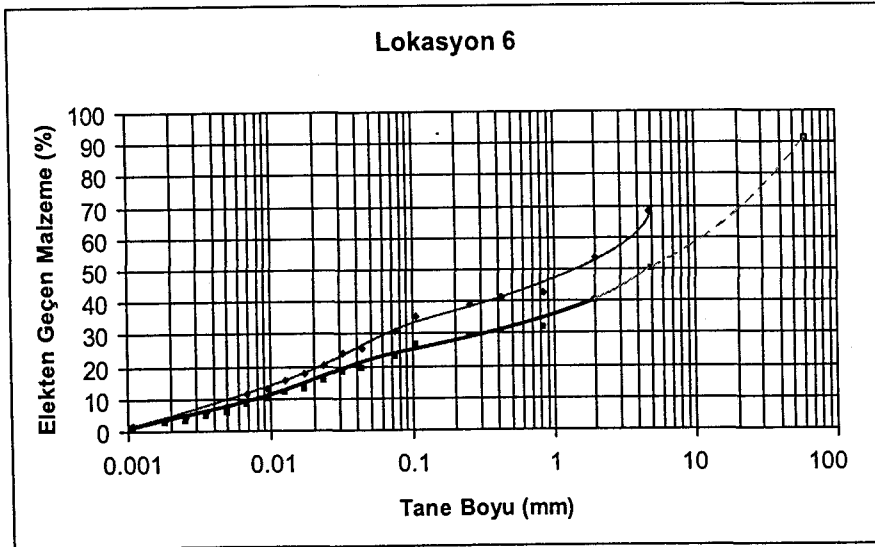
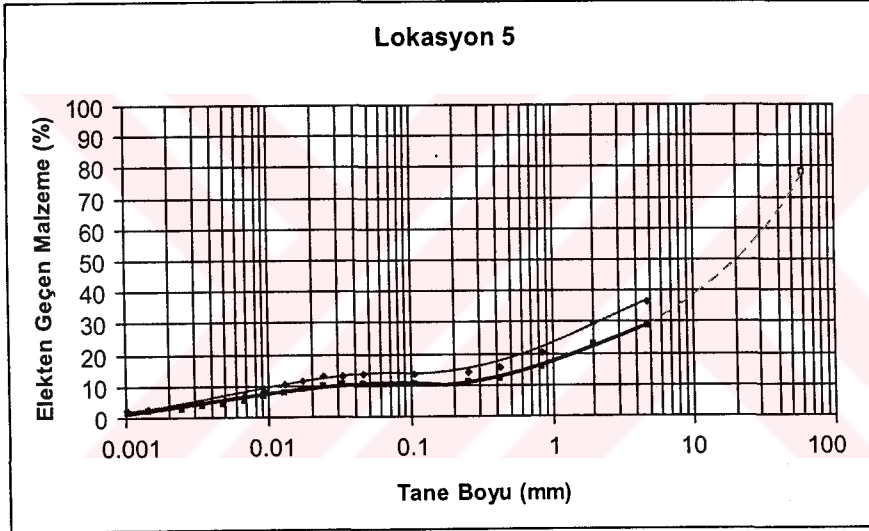
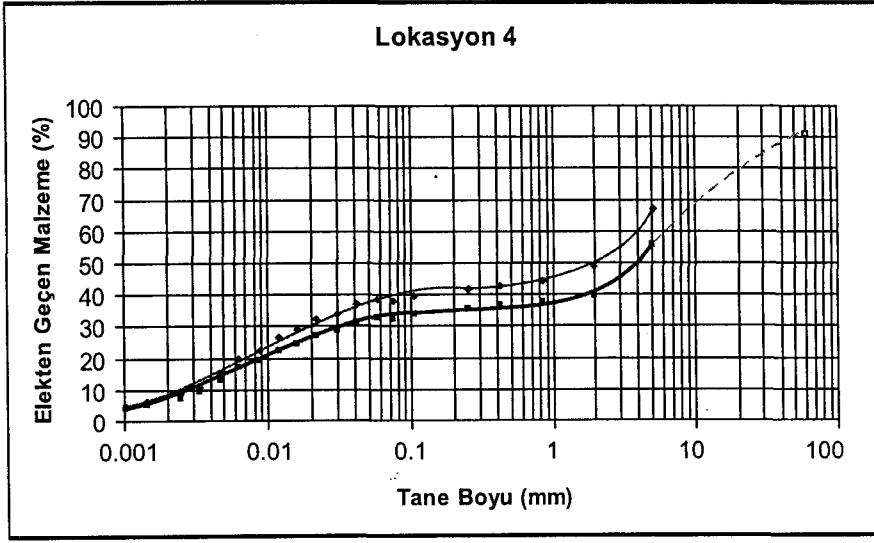


ÇAKILLI, BLOKLU (Ç), SEVİYENİN TANE BOYU DAĞILIM GRAFİKLERİ

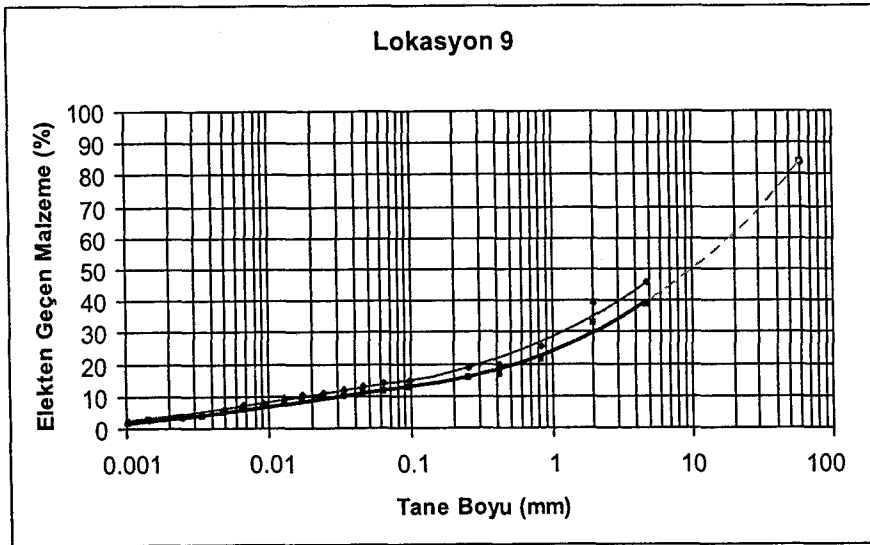
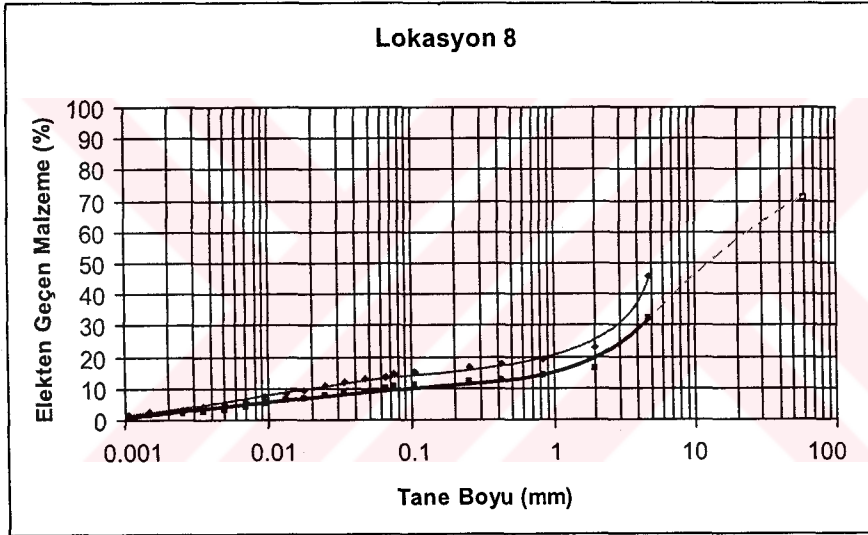
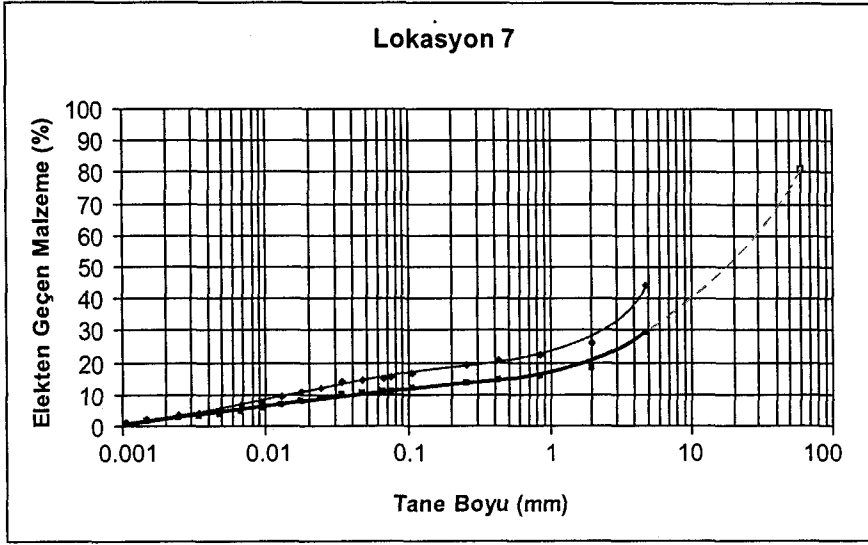


- Laboratuvar deneyleri ile elde edilen tane boyu eğrisi
- Fotoanaliz sonuçlarına göre düzeltilmiş tane boyu eğrisi
- Fotoanaliz ile elde edilen blok boyutu

ÇAKILLI, BLOKLU (Ç), SEVİYENİN TANE BOYU DAĞILIM GRAFİKLERİ

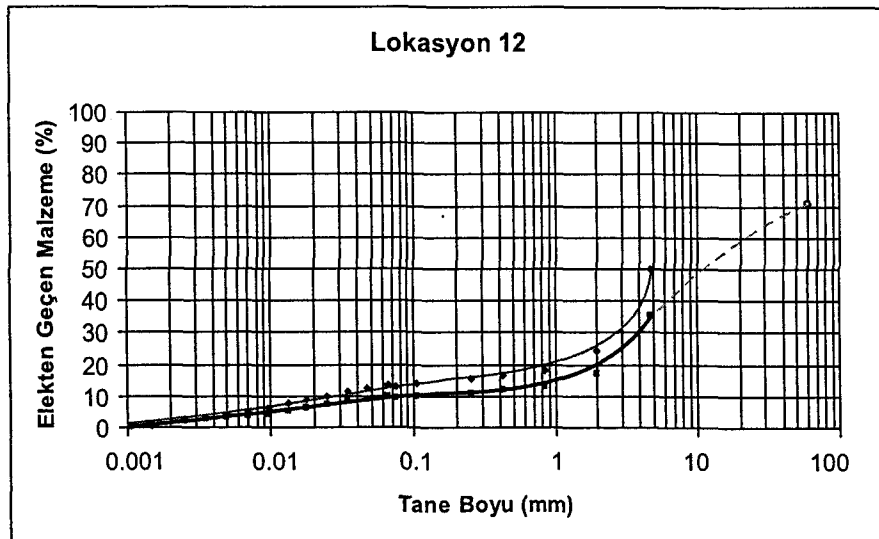
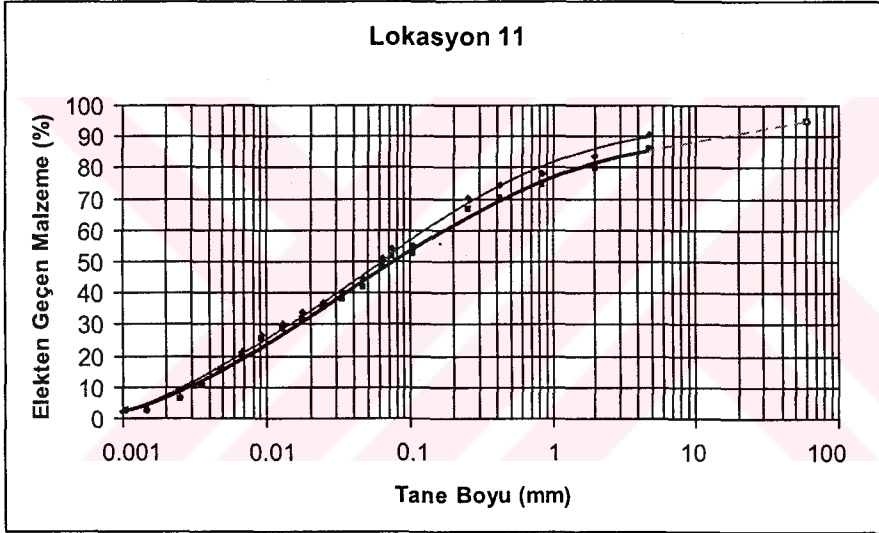
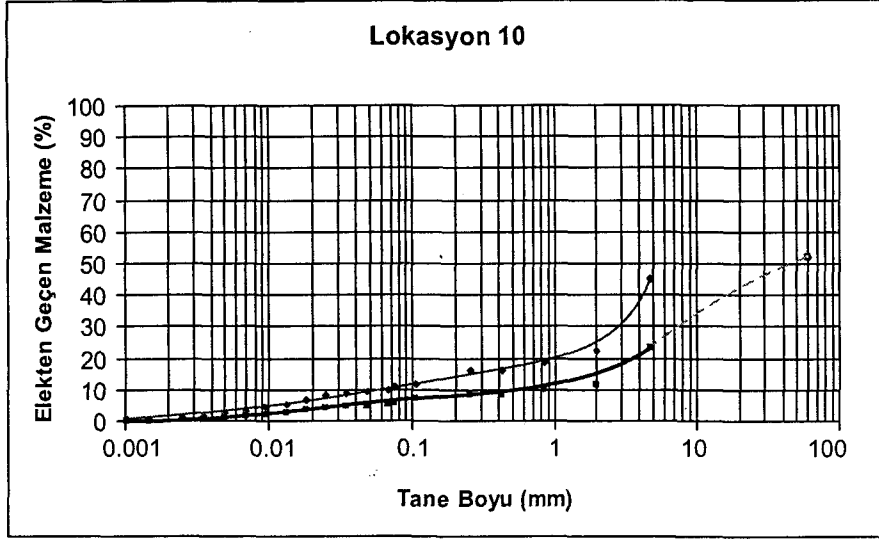


ÇAKILLI, BLOKLU (Ç), SEVİYENİN TANE BOYU DAĞILIM GRAFİKLERİ



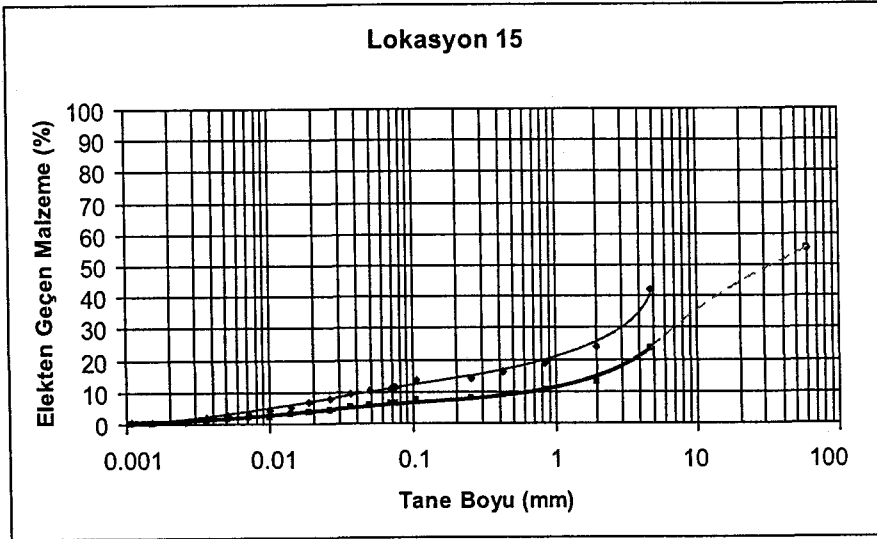
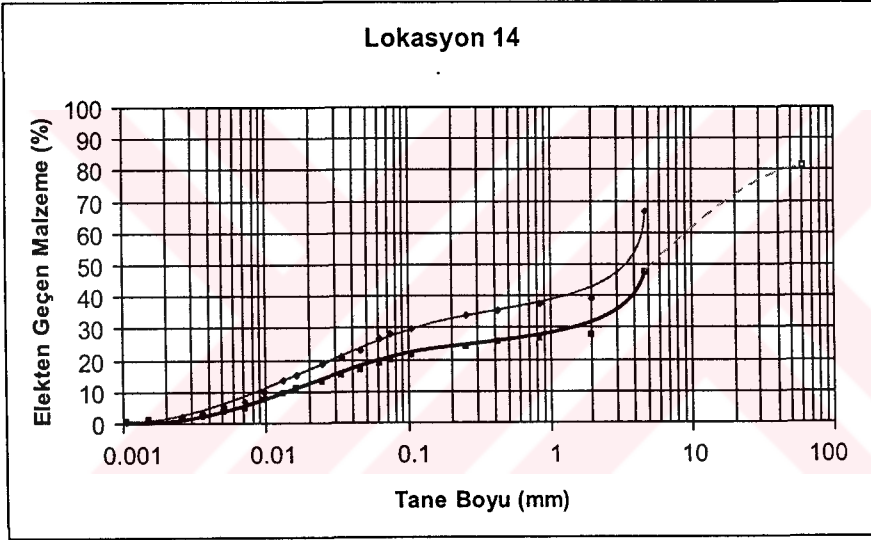
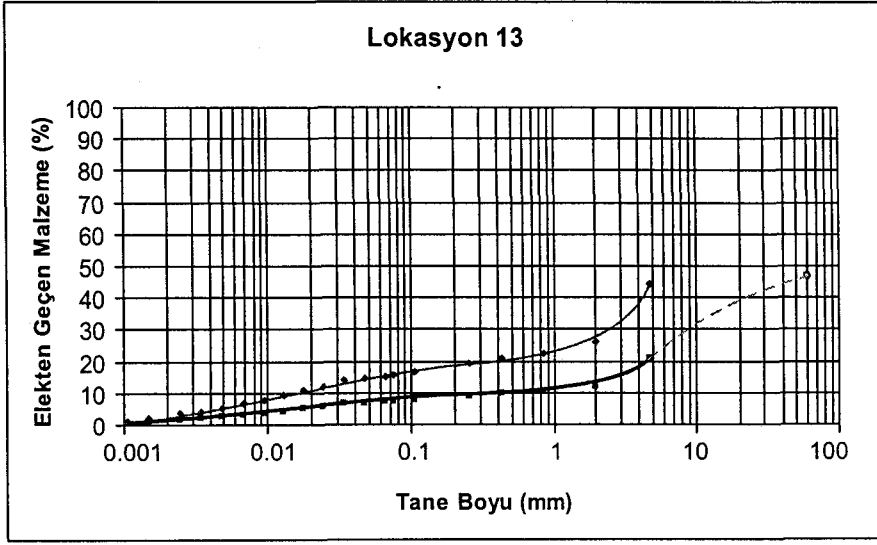
- Laboratuvar deneyleri ile elde edilen tane boyu eğrisi
- Fotoanaliz sonuçlarına göre düzeltilmiş tane boyu eğrisi
- Fotoanaliz ile elde edilen blok boyutu

ÇAKILLI, BLOKLU (Ç), SEVİYENİN TANE BOYU DAĞILIM GRAFİKLERİ



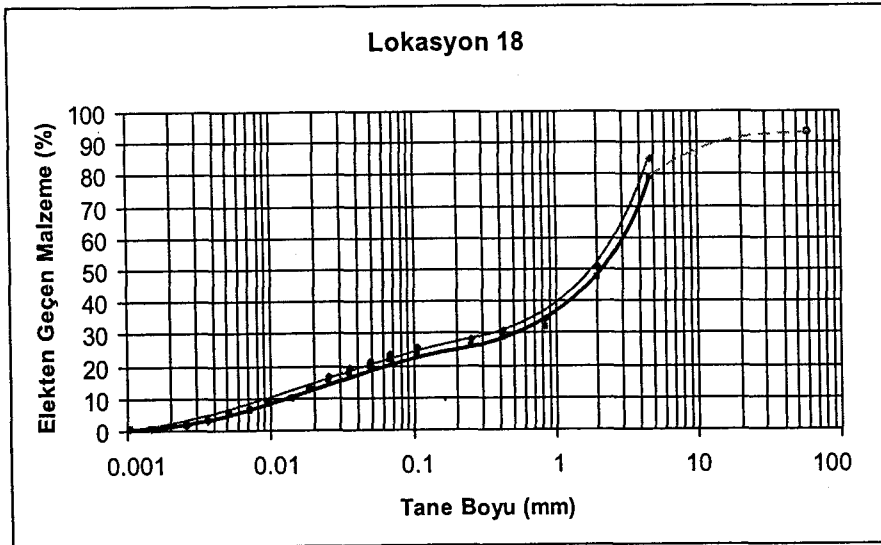
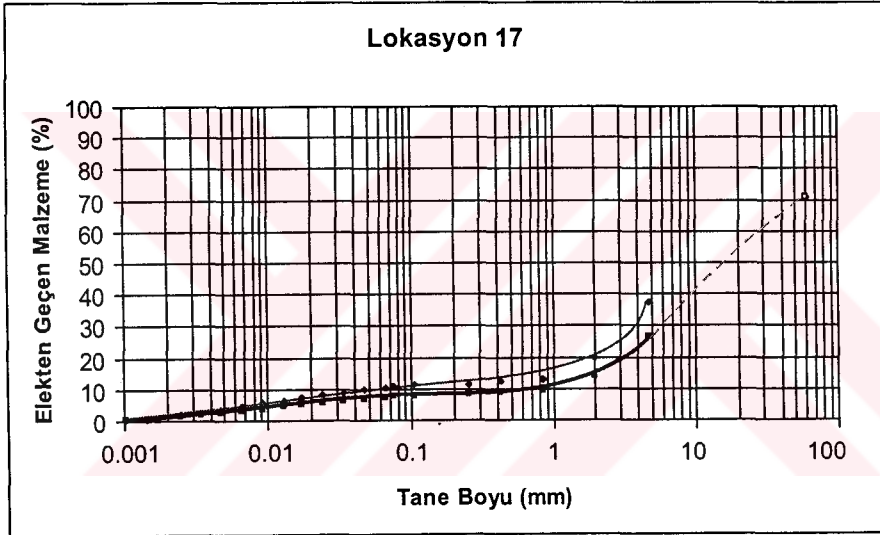
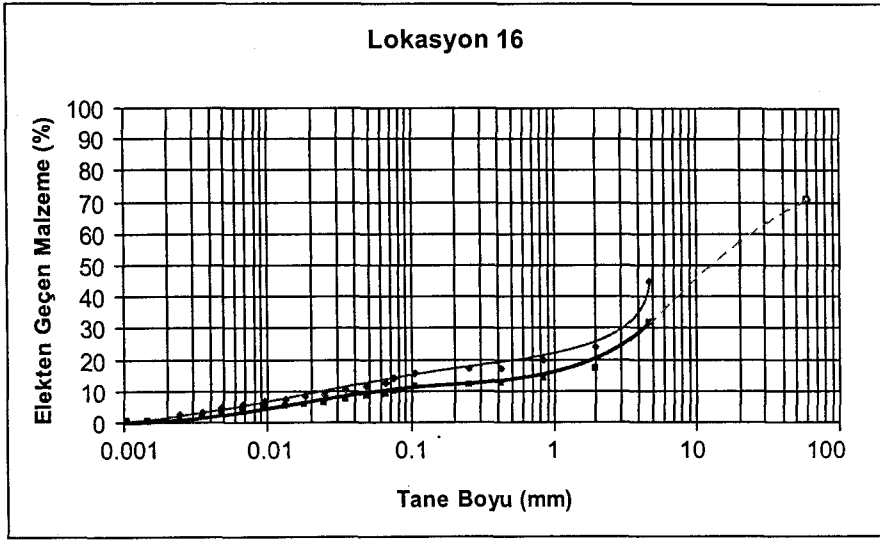
- Laboratuvar deneyleri ile elde edilen tane boyu eğrisi
- Fotoanaliz sonuçlarına göre düzeltilmiş tane boyu eğrisi
- - - Fotoanaliz ile elde edilen blok boyutu

ÇAKILLI, BLOKLU (Ç), SEVİYENİN TANE BOYU DAĞILIM GRAFİKLERİ



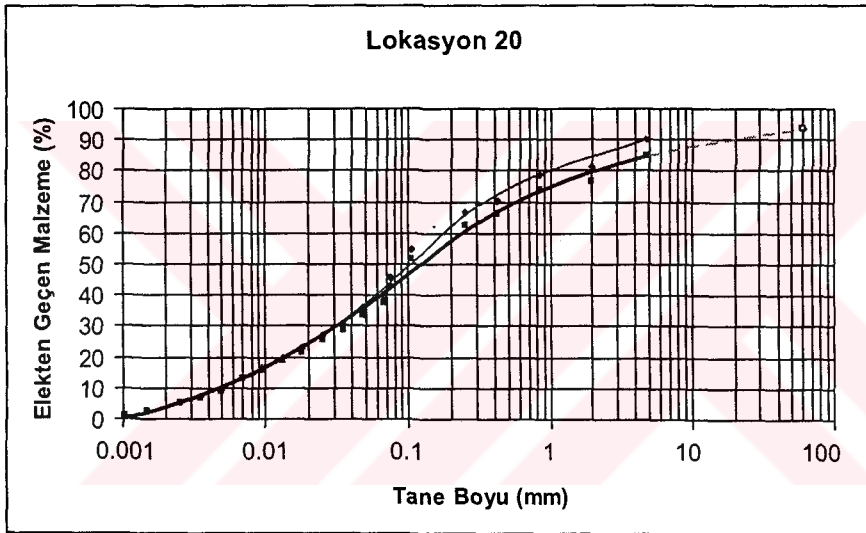
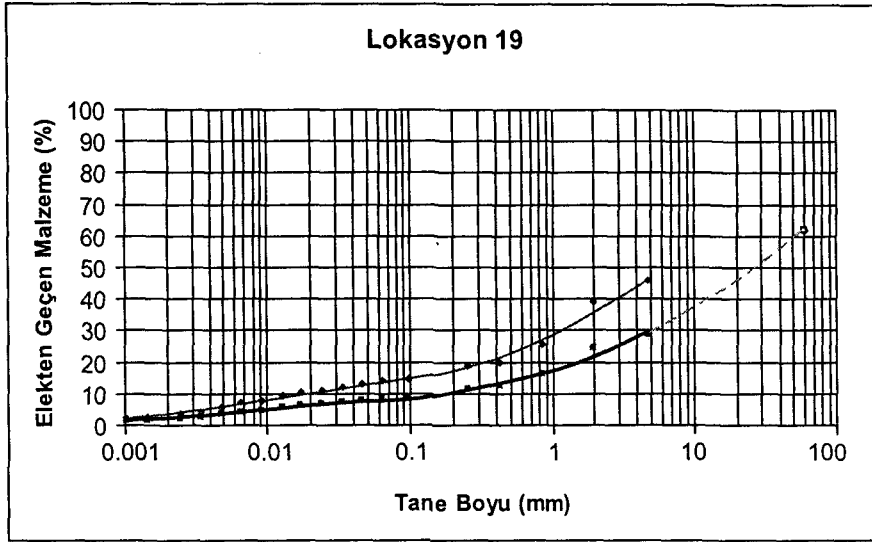
- Laboratuvar deneyleri ile elde edilen tane boyu eğrisi
- Fotoanaliz sonuçlarına göre düzeltilmiş tane boyu eğrisi
- - - Fotoanaliz ile elde edilen blok boyutu

ÇAKILLI, BLOKLU (Ç), SEVİYENİN TANE BOYU DAĞILIM GRAFİKLERİ



- Laboratuvar deneyleri ile elde edilen tane boyu eğrisi
- Fotoanaliz sonuçlarına göre düzeltilmiş tane boyu eğrisi
- Fotoanaliz ile elde edilen blok boyutu

ÇAKILLI, BLOKLU (Ç), SEVİYENİN TANE BOYU DAĞILIM GRAFİKLERİ



- Laboratuvar deneyleri ile elde edilen tane boyu eğrisi
- Fotoanaliz sonuçlarına göre düzeltilmiş tane boyu eğrisi
- Fotoanaliz ile elde edilen blok boyutu

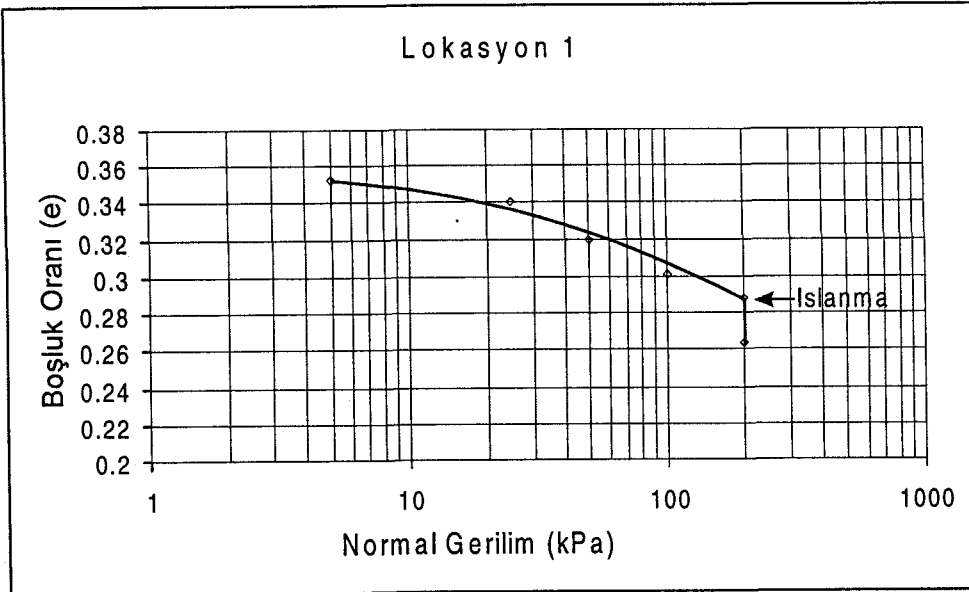
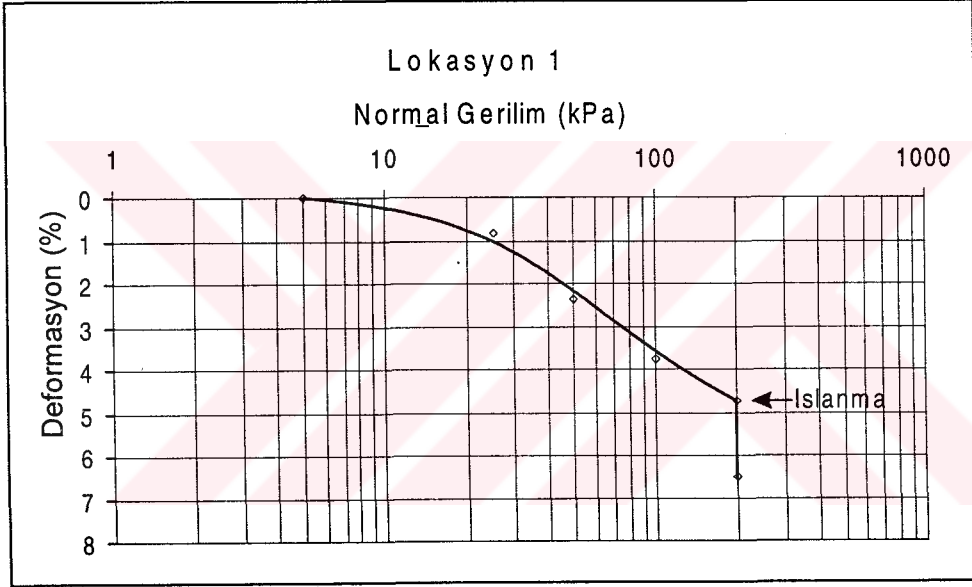
Ek1-3: ODOMETRE DENEY SONUÇLARI

Su içeriği, w (%) : 12

Özgöl Ağırlık, G_s : 2

C_p :2.77

Basınç (kPa)	H_0 (mm)	ΔH (mm)	Δe	e	M_v	Deformasyon (%)
0	19.80	1.32	0.0903	0.3543		
5	19.77	1.29	0.0882	0.3522	0.0005558	0
25	19.60	1.12	0.0766	0.3406	0.0007862	0.86
50	19.30	0.82	0.0561	0.3201	0.0011003	2.37
100	19.02	0.54	0.0369	0.3009	0.0005056	3.79
200	18.83	0.35	0.0239	0.2879	0.000169	4.75
200	18.48	0.00	0.00	0.2640		6.52



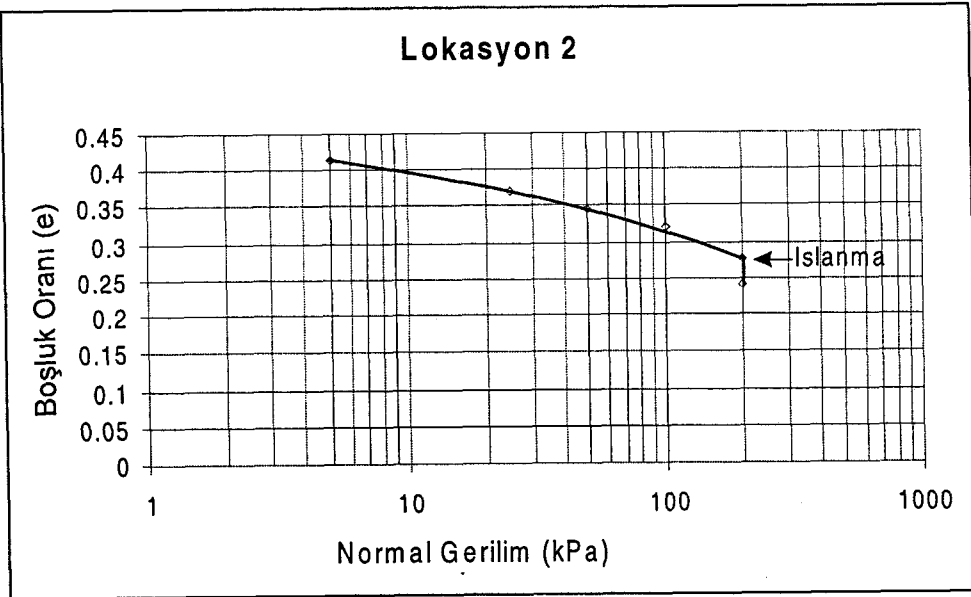
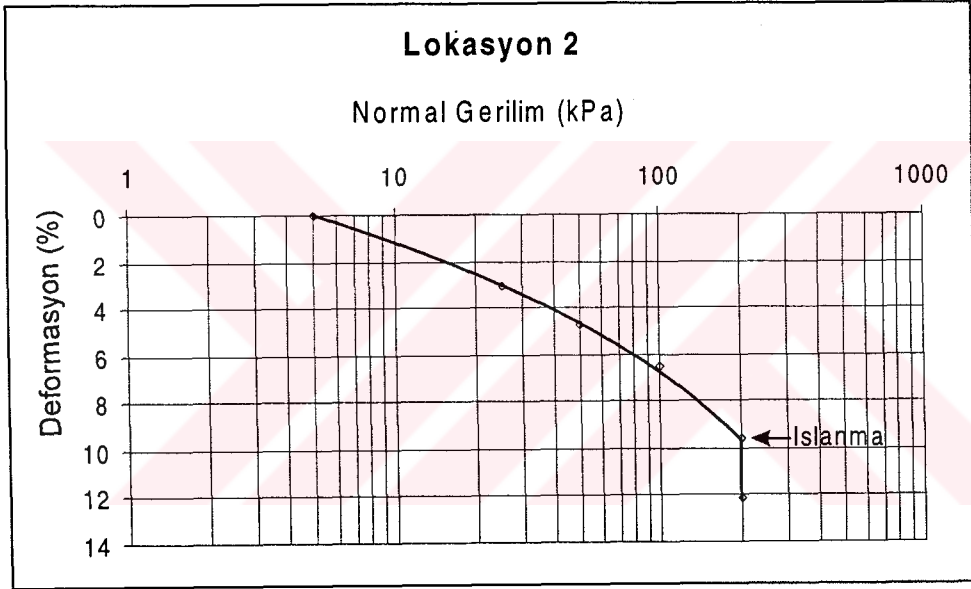
ODOMETRE DENEY SONUÇLARI

Su içeriği, w (%) : 12

Özgöl Ağırlık, G_s : 2.44

C_p : 2.53

Basınç (kPa)	H_o (mm)	ΔH (mm)	Δe	e	M_v	Deformasyon (%)
0	19.80	2.45	0.1753	0.4166		
5	19.75	2.40	0.1717	0.4130	0.0010135	0
25	19.15	1.80	0.1288	0.3701	0.0030328	3.03
50	18.81	1.46	0.1045	0.3458	0.0013331	4.75
100	18.45	1.10	0.0787	0.3200	0.0006932	6.57
200	17.86	0.51	0.0365	0.2778	0.0005570	9.55
200	17.35	0.00	0.00	0.2413		12.12



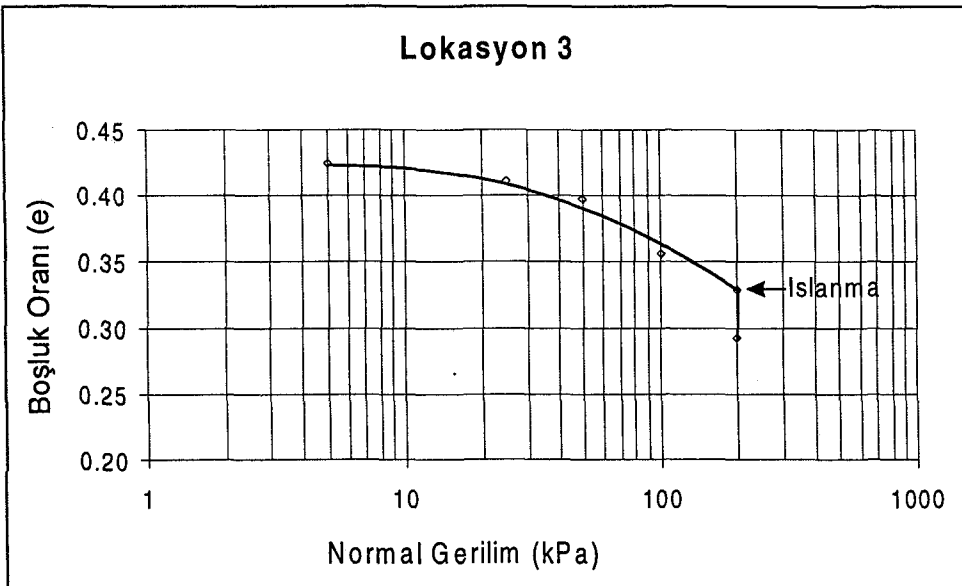
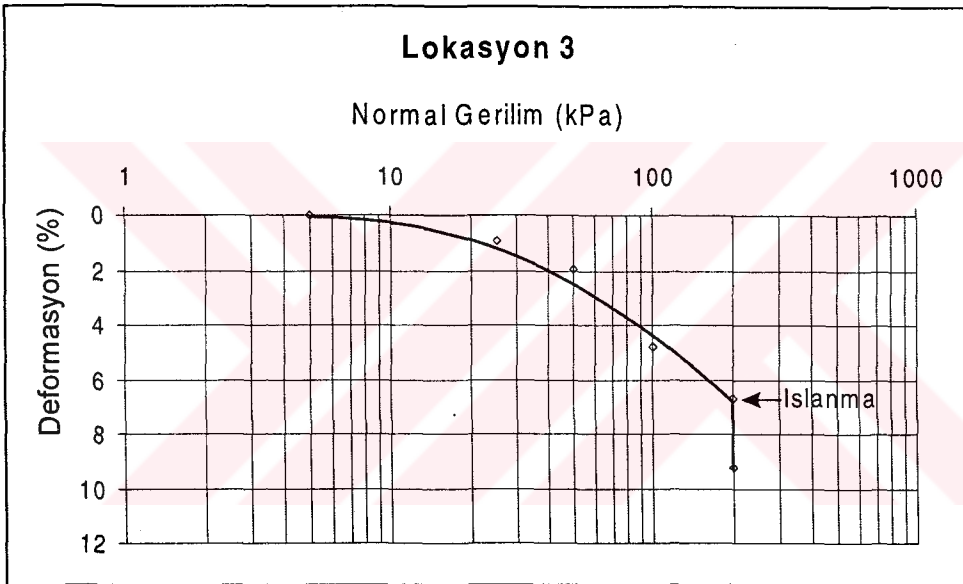
ODOMETRE DENEY SONUÇLARI

Su içeriği, w (%) : 14

Özgöl Ağırlık, G_s : 2.5

C_p : 2.73

Basınç (kPa)	H_o (mm)	ΔH (mm)	Δe	e	M_v	Deformasyon (%)
0	19.80	1.86	0.1340	0.4268		
5	19.77	1.83	0.1315	0.4243	0.0007198	0
25	19.58	1.64	0.1182	0.4110	0.0009494	0.93
50	19.38	1.44	0.1038	0.3966	0.0008134	1.94
100	18.82	0.88	0.0634	0.3562	0.0011272	4.77
200	18.44	0.50	0.0360	0.3288	0.0003714	6.69
200	17.94	0.00	0.00	0.2928		9.22



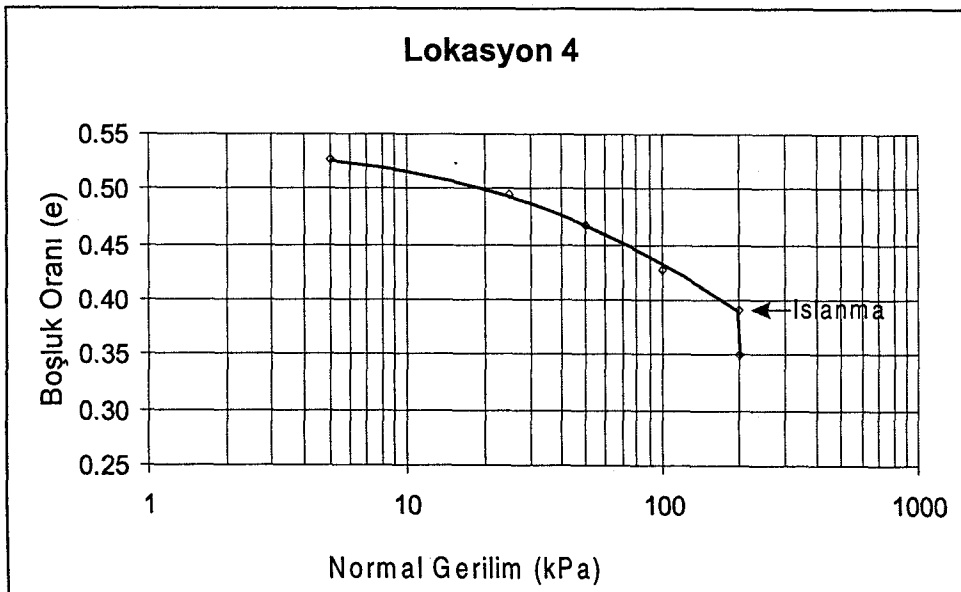
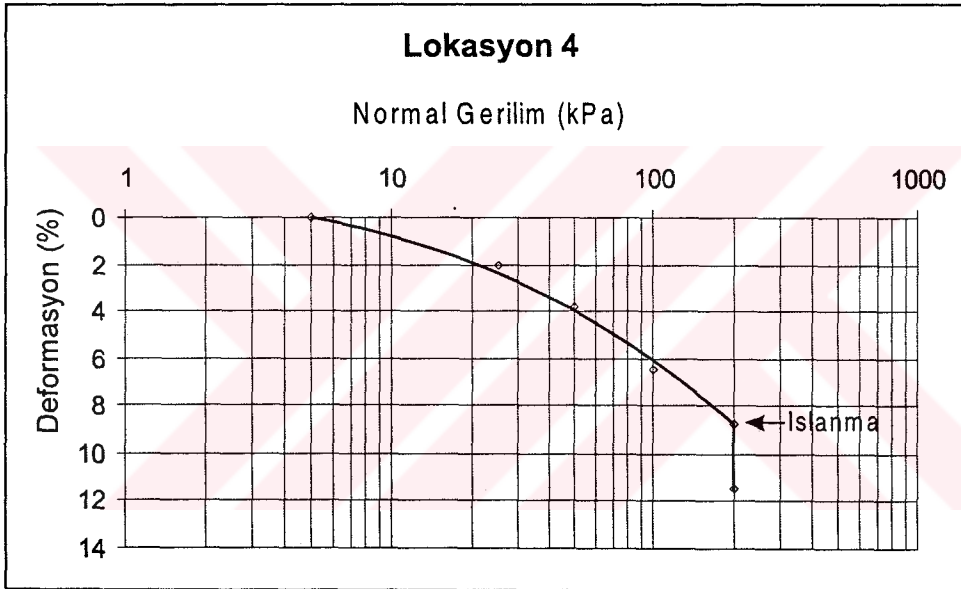
ODOMETRE DENEY SONUÇLARI

Su içeriği, w (%) : 14

Özgöl Ağırlık, G_s : 2.5

C_p : 2.73

Basınç (kPa)	H_o (mm)	ΔH (mm)	Δe	e	M_v	Deformasyon (%)
0	19.80	2.32	0.1792	0.5292		
5	19.75	2.27	0.1753	0.5253	0.0011810	0
25	19.35	1.87	0.1444	0.4944	0.0023561	2.02
50	19.00	1.52	0.1174	0.4674	0.0016158	3.79
100	18.48	1.00	0.0772	0.4272	0.0011786	6.41
200	18.02	0.54	0.0417	0.3917	0.000507	8.74
200	17.48	0.00	0.00	0.3500		11.46



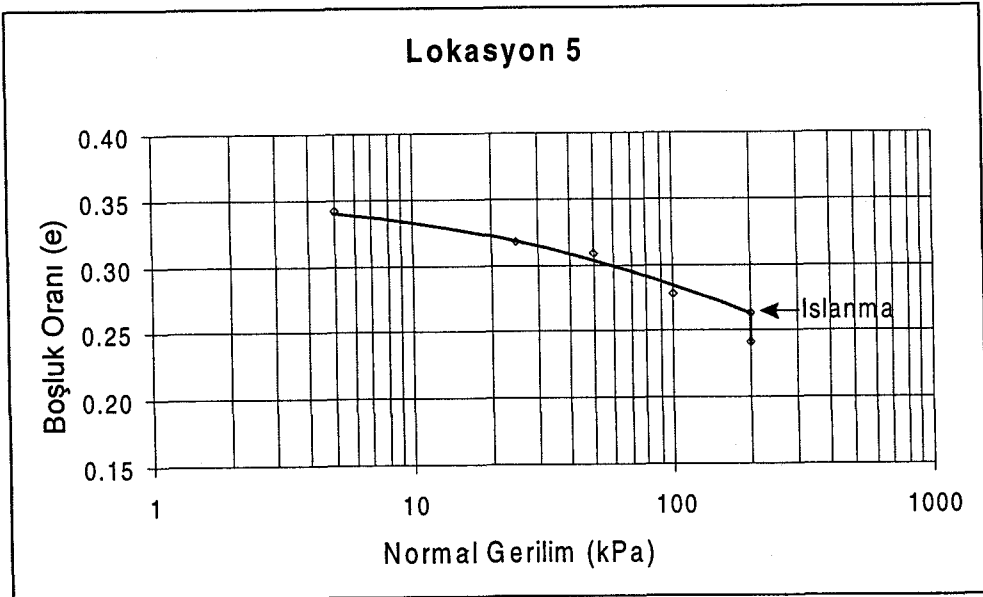
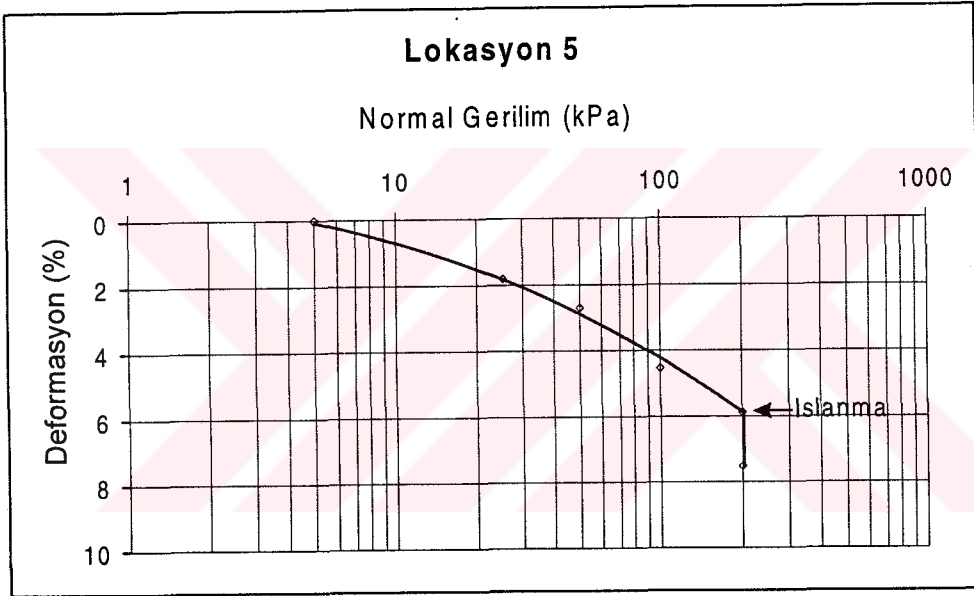
ODOMETRE DENEY SONUÇLARI

Su içeriği, w (%) : 10

Özgül Ağırlık, G_s : 2.41

C_p : 1.62

Basınç (kPa)	H_o (mm)	ΔH (mm)	Δe	e	M_v	Deformasyon (%)
0	19.80	1.53	0.1038	0.3449		
5	19.76	1.49	0.1012	0.3422	0.0007308	0
25	19.40	1.13	0.0768	0.3178	0.0016410	1.82
50	19.26	0.99	0.0672	0.3082	0.0005013	2.53
100	18.82	0.55	0.0374	0.2784	0.0007820	4.75
200	18.59	0.32	0.0327	0.2627	0.0001997	5.91
200	18.27	0.00	0.00	0.2410		7.53



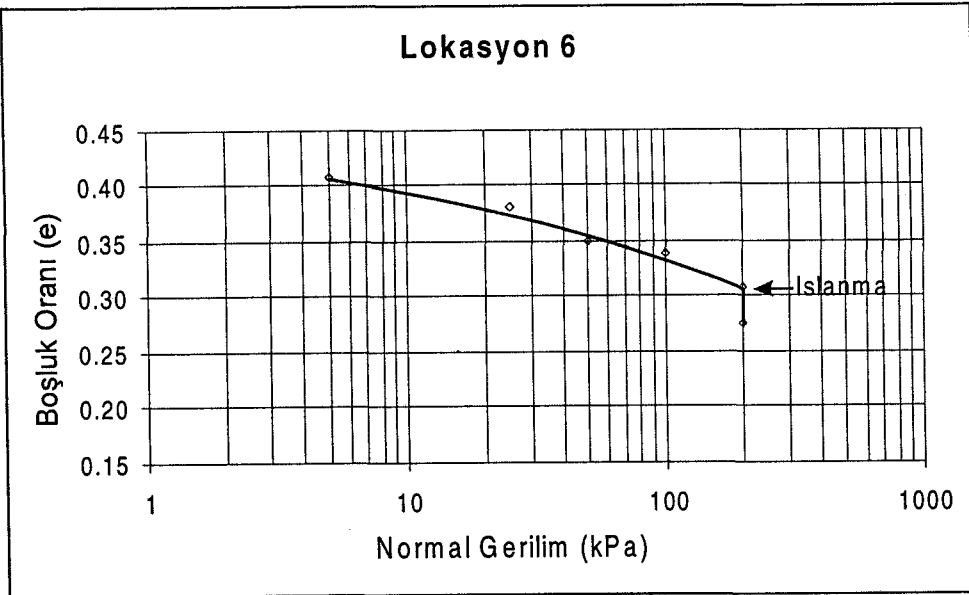
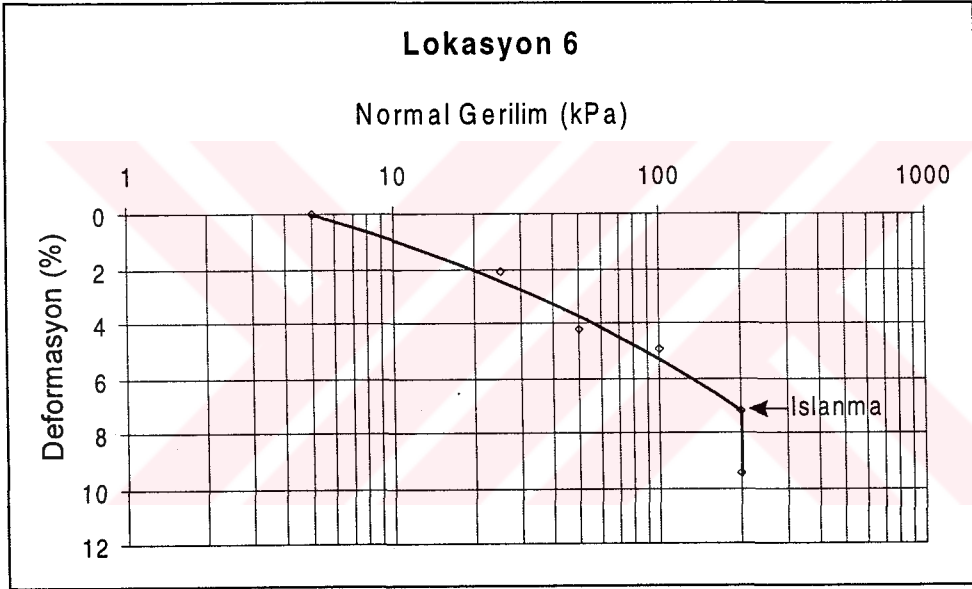
ODOMETRE DENEY SONUÇLARI

Su içeriği, w (%) : 11

Özgül Ağırlık, G_s :2.51

C_p :2.22

Basınç (kPa)	H_0 (mm)	ΔH (mm)	Δe	e	M_v	Deformasyon (%)
0	19.80	1.89	0.1347	0.4108		
5	19.78	1.87	0.1329	0.4090	0.0005026	0
25	19.38	1.47	0.1047	0.3808	0.0019826	1.99
50	19.94	1.03	0.0734	0.3495	0.0001731	4.22
100	18.79	0.88	0.0627	0.3388	0.0002884	4.97
200	18.35	0.44	0.0313	0.3074	0.0004197	7.20
200	17.91	0.00	0.00	0.2761		9.42



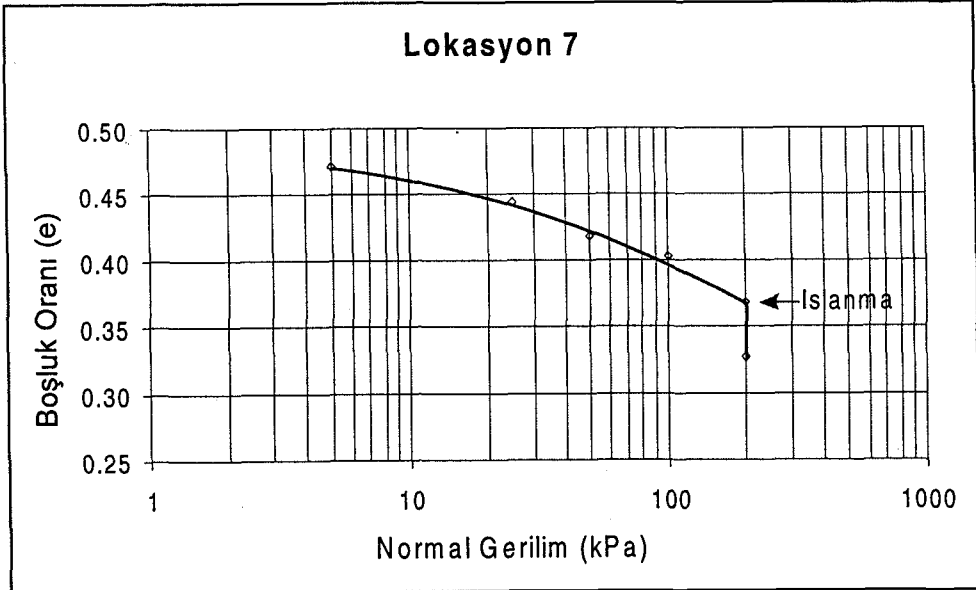
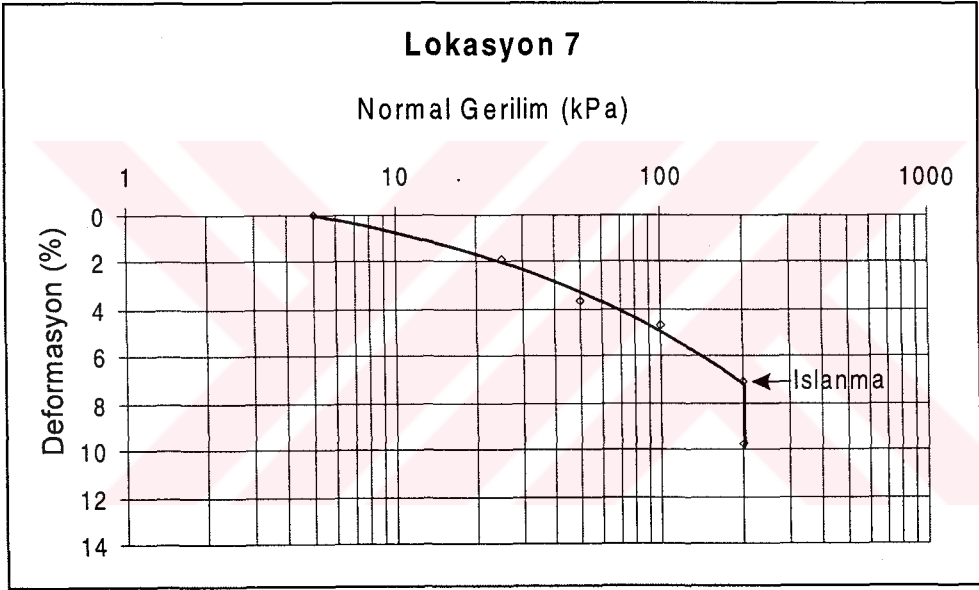
ODOMETRE DENEY SONUÇLARI

Su içeriği, w (%) : 13

Özgül Ağırlık, G_s : 2.52

C_p : 2.68

Basınç (kPa)	H_o (mm)	ΔH (mm)	Δe	e	M_v	Deformasyon (%)
0	19.80	1.98	0.1476	0.4756		
5	19.75	1.93	0.1438	0.4718	0.0010996	0
25	19.37	1.55	0.1155	0.4435	0.0020840	1.92
50	19.02	1.20	0.0894	0.4174	0.0015060	3.69
100	18.82	1.00	0.0745	0.4025	0.0004225	4.70
200	18.35	0.53	0.0395	0.3675	0.0004912	7.07
200	17.82	0.00	0.00	0.3280		9.75



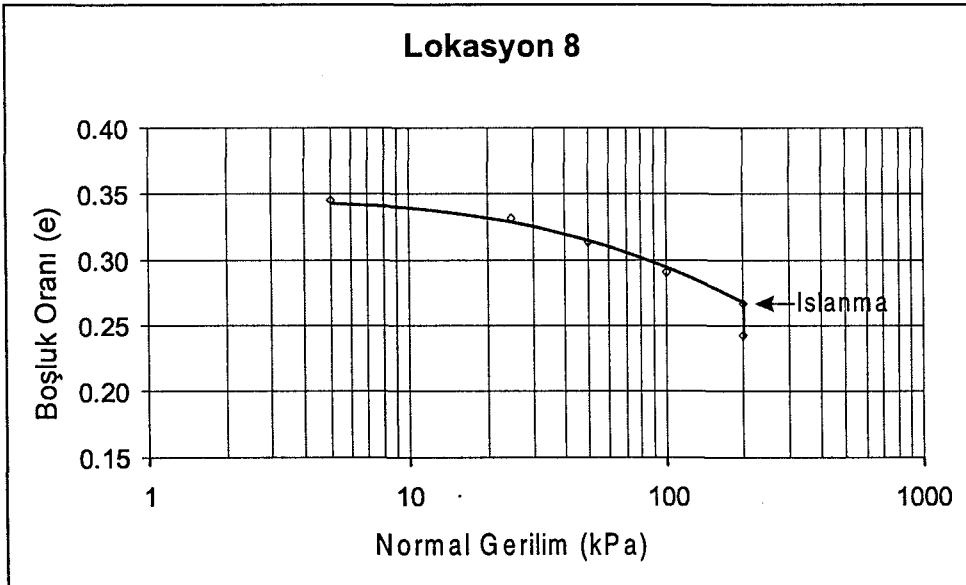
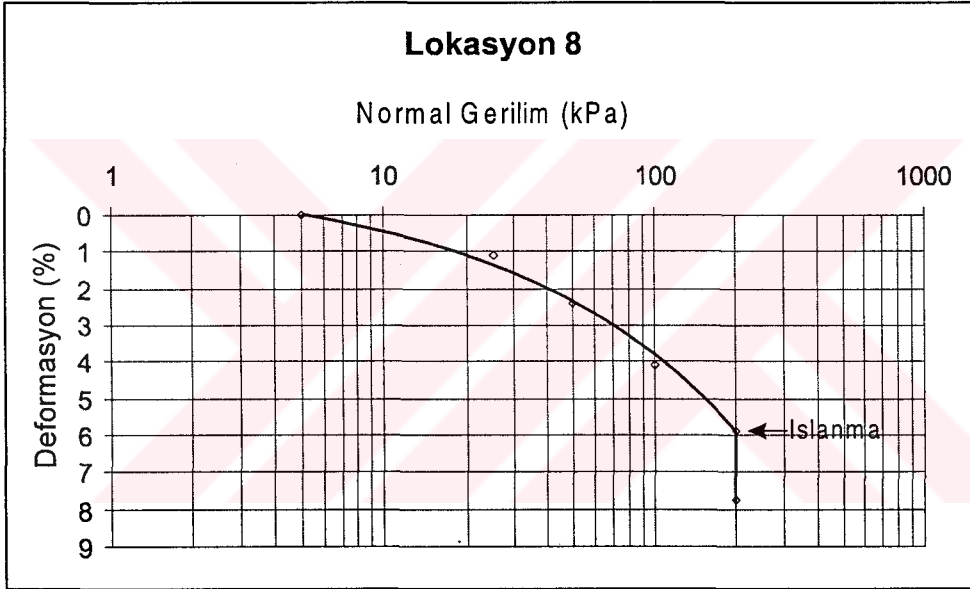
ODOMETRE DENEY SONUÇLARI

Su içeriği, w (%) : 10

Özgül Ağırlık, G_s : 2.42

C_p : 1.82

Basınç (kPa)	H_o (mm)	ΔH (mm)	Δe	e	M_v	Deformasyon (%)
0	19.80	1.56	0.1062	0.3482		
5	19.77	1.53	0.1042	0.3462	0.0005508	0
25	19.55	1.31	0.0892	0.3312	0.0010083	1.11
50	19.30	1.06	0.0722	0.3142	0.0009064	2.37
100	18.96	0.72	0.0490	0.2910	0.0006085	4.09
200	18.60	0.36	0.0245	0.2665	0.0003165	5.91
200	18.24	0.00	0.00	0.2420		7.73



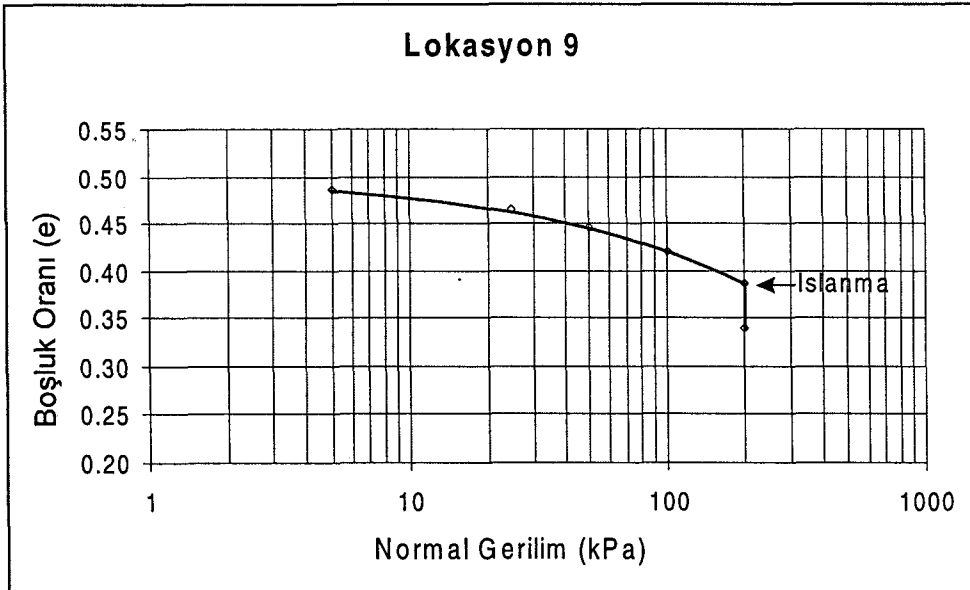
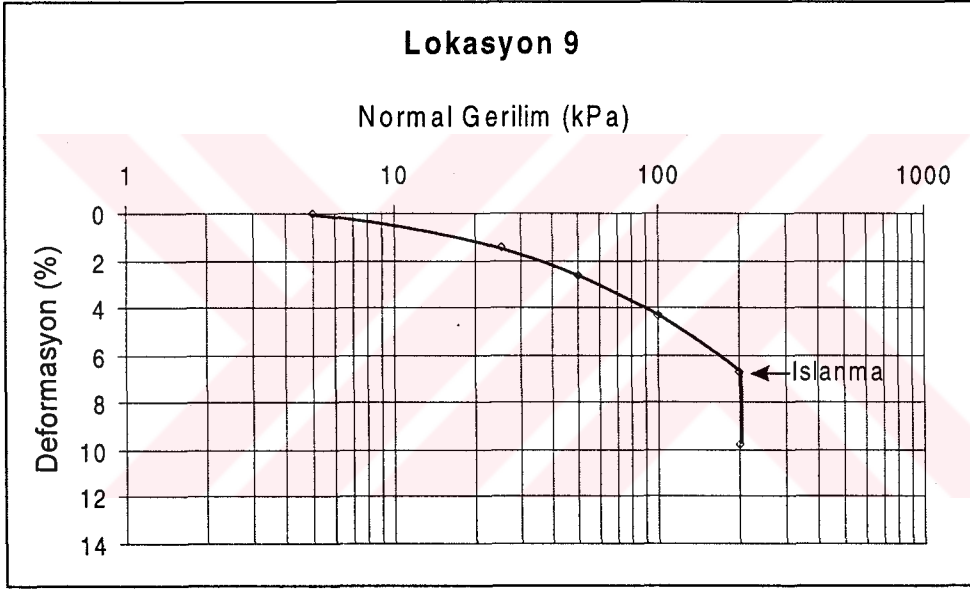
ODOMETRE DENEY SONUÇLARI

Su içeriği, w (%) : 14

Özgül Ağırlık, G_s : 2.43

C_p : 3.13

Basınç (kPa)	H_o (mm)	ΔH (mm)	Δe	e	M_v	Deformasyon (%)
0	19.80	1.98	0.1489	0.4889		
5	19.76	1.94	0.1459	0.4859	0.0008957	0
25	19.48	1.66	0.1248	0.4648	0.0015643	1.41
50	19.24	1.42	0.1068	0.4468	0.0010574	2.63
100	18.90	1.08	0.0812	0.4212	0.0007398	4.34
200	18.44	0.62	0.0466	0.3866	0.0004916	6.67
200	17.82	0.00	0.00	0.3400		9.80



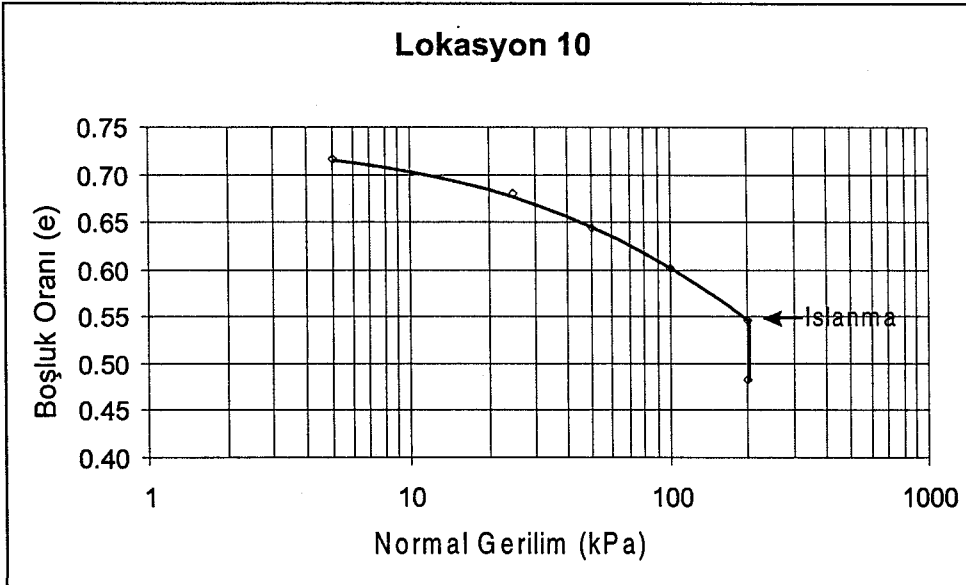
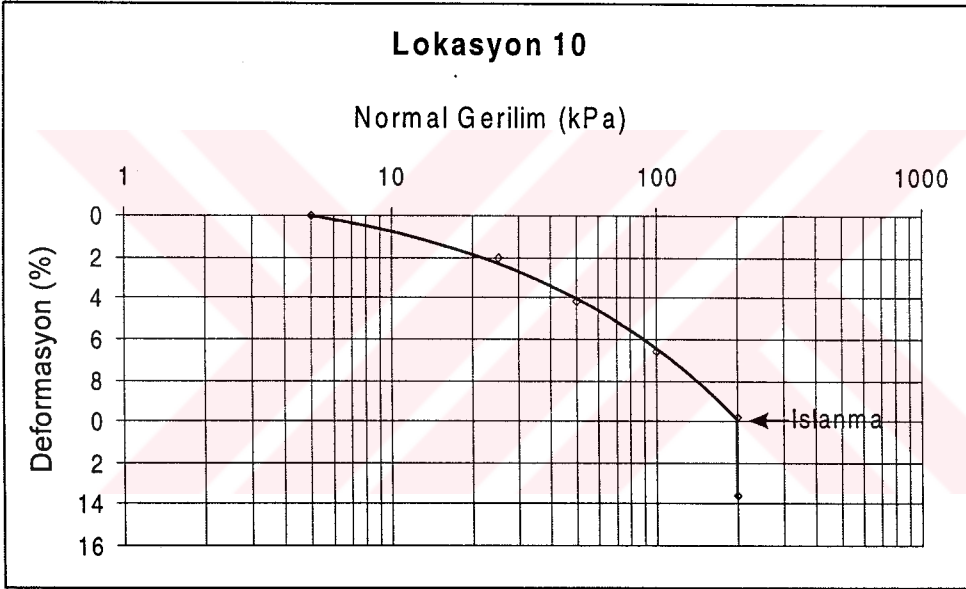
ODOMETRE DENEY SONUÇLARI

Su içeriği, w (%) : 20

Özgül Ağırlık, G_s :2.41

C_p :3.79

Basınç (kPa)	H_0 (mm)	ΔH (mm)	Δe	e	M_v	Deformasyon (%)
0	19.80	2.74	0.2380	0.7200		
5	19.75	2.69	0.2337	0.7157	0.0014942	0
25	19.34	2.28	0.1981	0.6801	0.0030553	2.07
50	18.93	1.87	0.1624	0.6444	0.0023935	4.14
100	18.44	1.38	0.1199	0.6019	0.0013999	6.62
200	17.81	0.75	0.0652	0.5472	0.0008767	9.80
200	17.06	0.00	0.00	0.4820		13.59



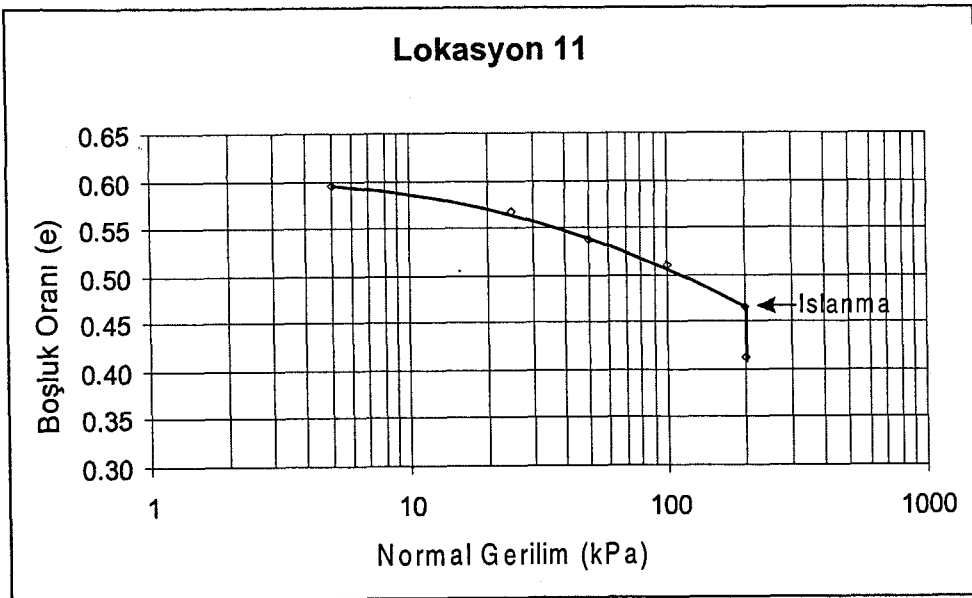
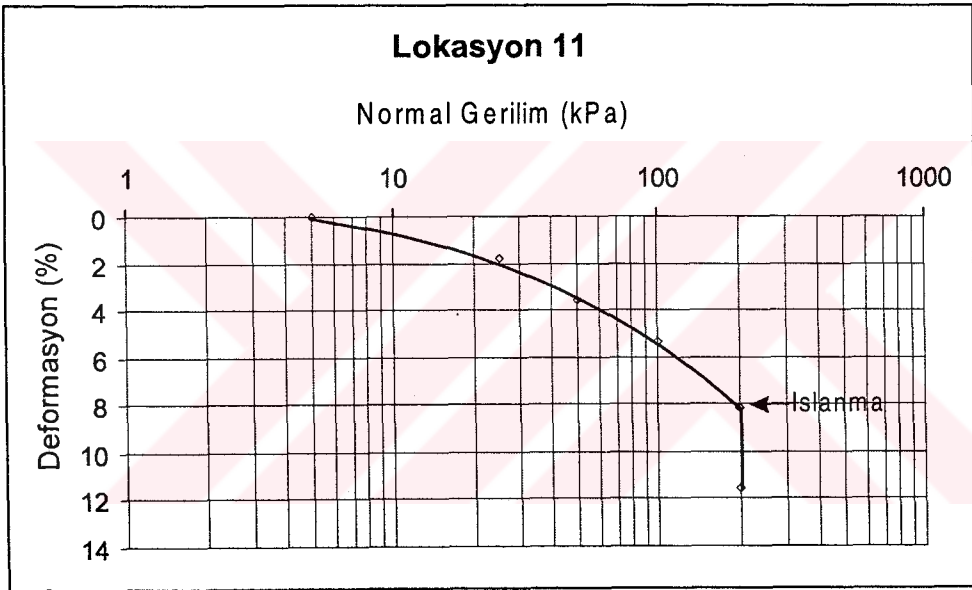
ODOMETRE DENEY SONUÇLARI

Su içeriği, w (%) : 17

Özgül Ağırlık, G_s :2.42

C_p :3.38

Basınç (kPa)	H_o (mm)	ΔH (mm)	Δe	e	M_v	Deformasyon (%)
0	19.80	2.32	0.1873	0.5987		
5	19.76	2.28	0.1841	0.5955	0.0010327	0
25	19.41	1.93	0.1558	0.5672	0.0022545	1.77
50	19.05	1.57	0.1268	0.5382	0.0018222	3.59
100	18.70	1.22	0.0985	0.5099	0.0008694	5.35
200	18.15	0.67	0.0541	0.4655	0.0006705	8.13
200	17.48	0.00	0.00	0.4114		11.52



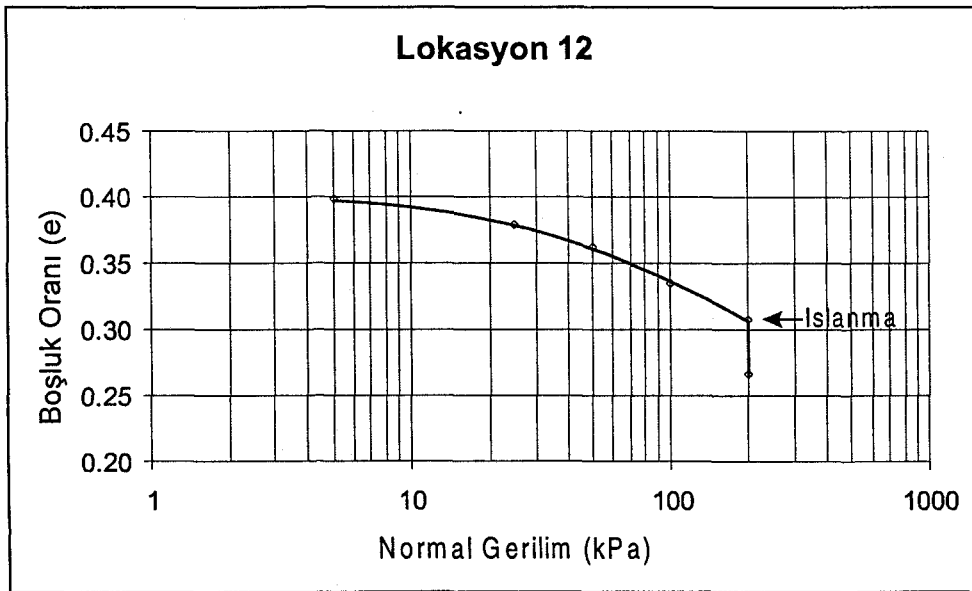
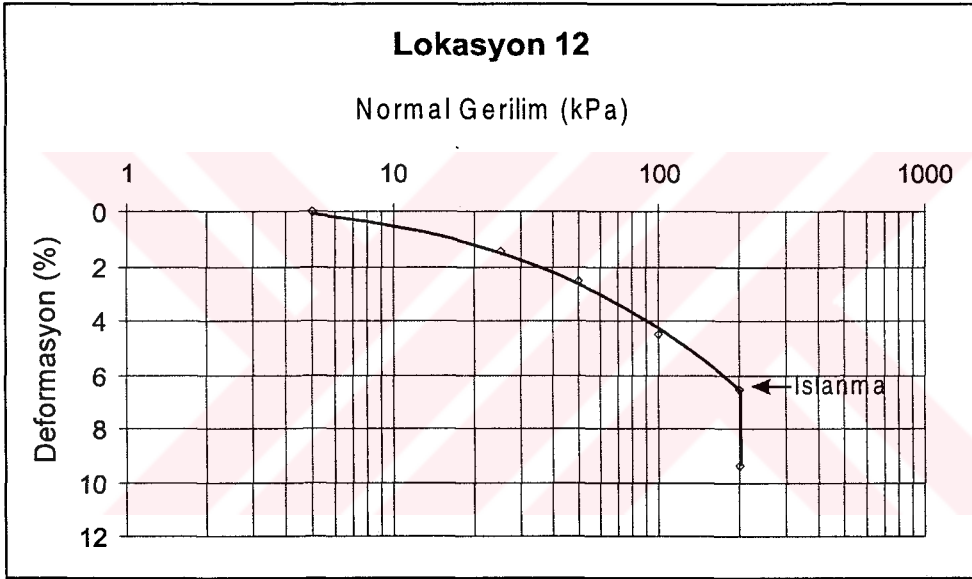
ODOMETRE DENEY SONUÇLARI

Su içeriği, w (%) : 11

Özgöl Ağırlık, G_s :2.43

C_p :2.83

Basınç (kPa)	H_o (mm)	ΔH (mm)	Δe	e	M_v	Deformasyon (%)
0	19.80	1.88	0.1330	0.4003		
5	19.78	1.86	0.1312	0.3985	0.0004951	0
25	19.49	1.57	0.1110	0.3783	0.0014093	1.44
50	19.27	1.35	0.0955	0.3628	0.0008578	2.55
100	18.88	0.96	0.0679	0.3352	0.0007517	4.52
200	18.48	0.56	0.0396	0.3069	0.0003777	6.54
200	17.92	0.00	0.00	0.2673		9.37



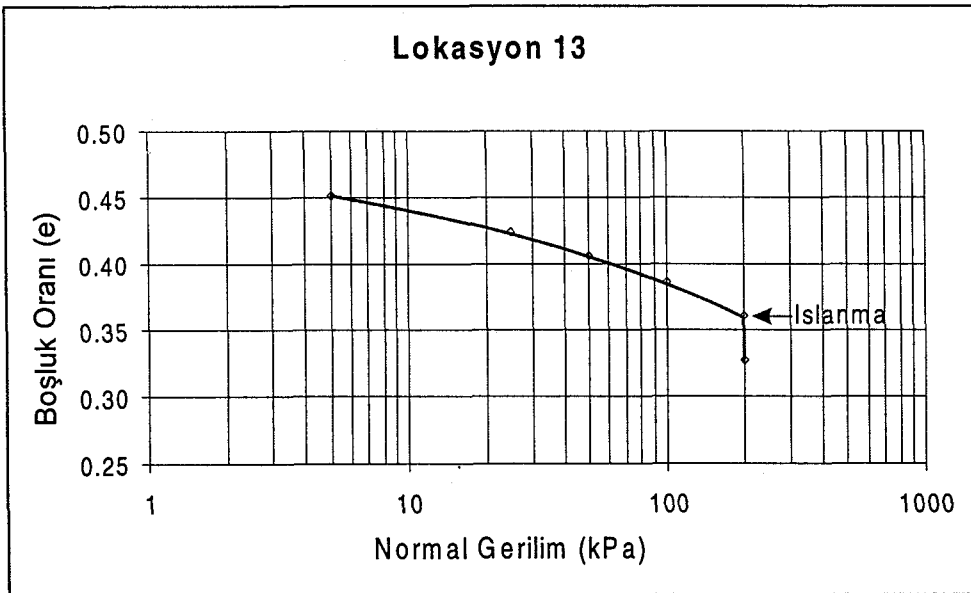
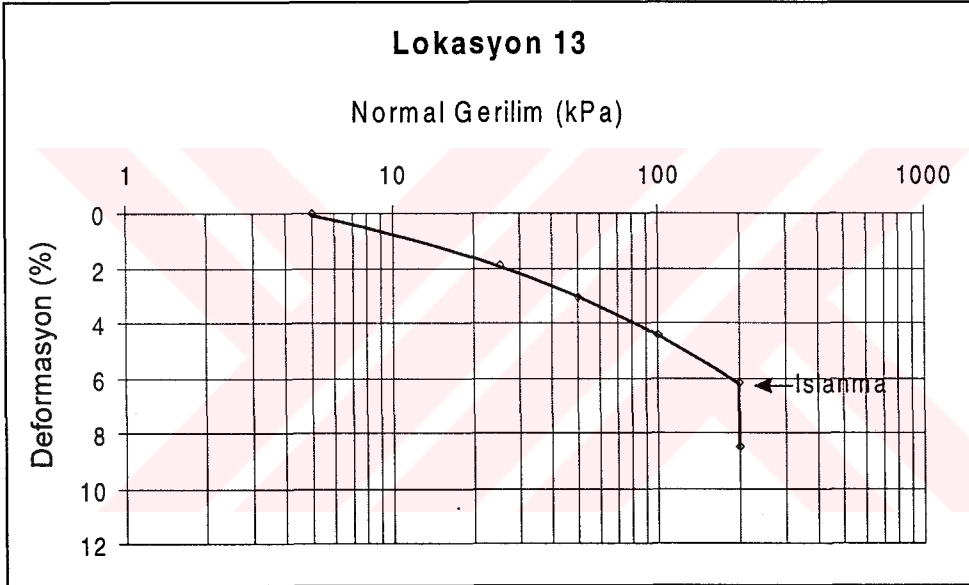
ODOMETRE DENEY SONUÇLARI

Su içeriği, w (%) : 13

Özgöl Ağırlık, G_s :2.52

C_p :2.32

Basınç (kPa)	H_o (mm)	ΔH (mm)	Δe	e	M_v	Deformasyon (%)
0	19.80	1.71	0.1255	0.4531		
5	19.77	1.68	0.1233	0.4509	0.0006398	0
25	19.40	1.31	0.0961	0.4237	0.0019699	1.87
50	19.16	1.07	0.0785	0.4061	0.0010031	3.08
100	18.89	0.80	0.0587	0.3863	0.0005573	4.44
200	18.55	0.46	0.0338	0.3614	0.0003459	6.16
200	18.09	0.00	0.00	0.3276		8.48



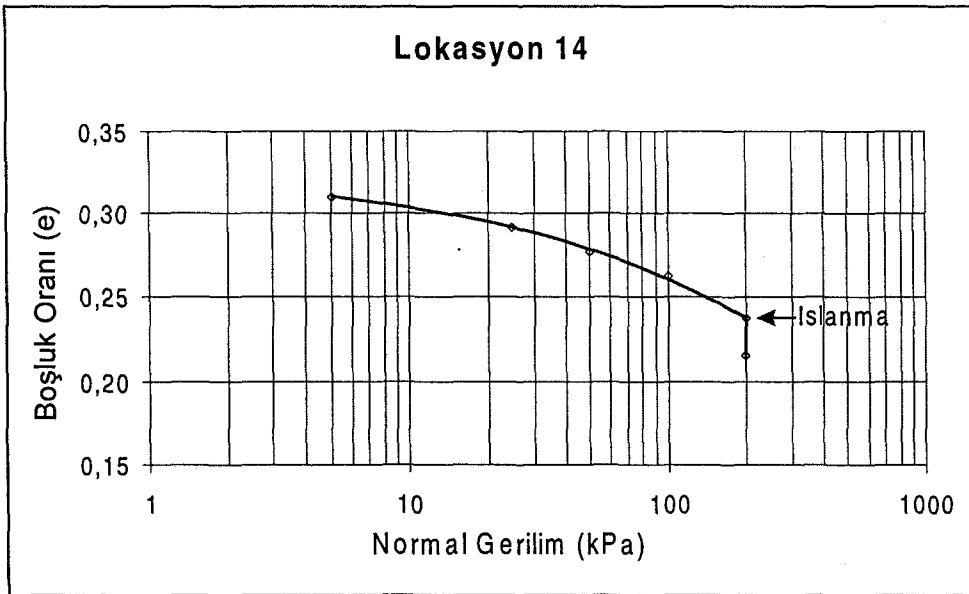
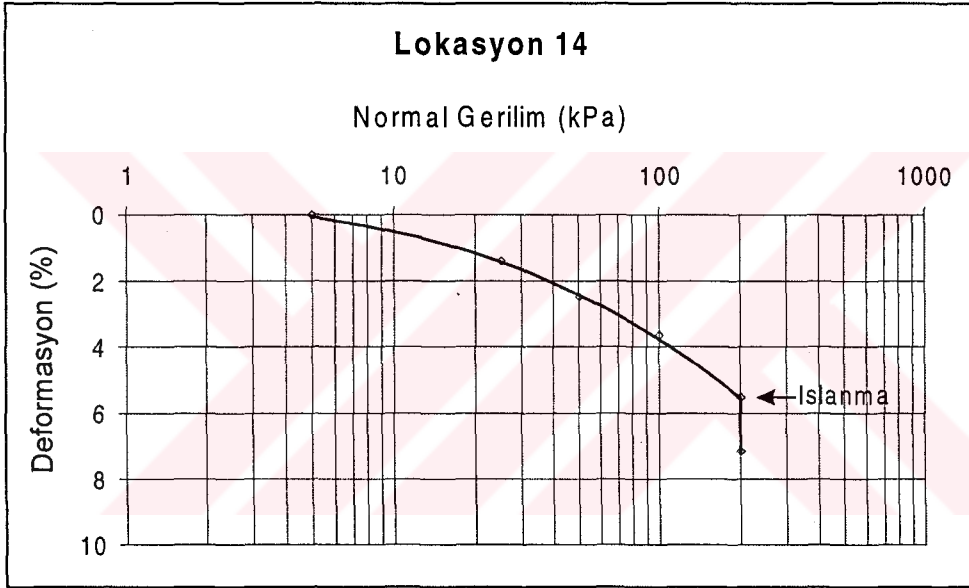
ODOMETRE DENEY SONUÇLARI

Su içeriği, w (%) : 9

Özgül Ağırlık, G_s : 2.4

C_p :1.67

Basınç (kPa)	H_o (mm)	ΔH (mm)	Δe	e	M_v	Deformasyon (%)
0	19.80	1.45	0.0961	0.3121		
5	19.77	1.42	0.0941	0.3101	0.0005217	0
25	19.50	1.15	0.762	0.2922	0.0011720	1.36
50	19.28	0.93	0.0616	0.2776	0.0007535	2.47
100	19.05	0.70	0.0464	0.2624	0.0003895	3.64
200	19.68	0.33	0.0219	0.2379	0.0003095	5.51
200	18.35	0.00	0.00	0.2160		7.17



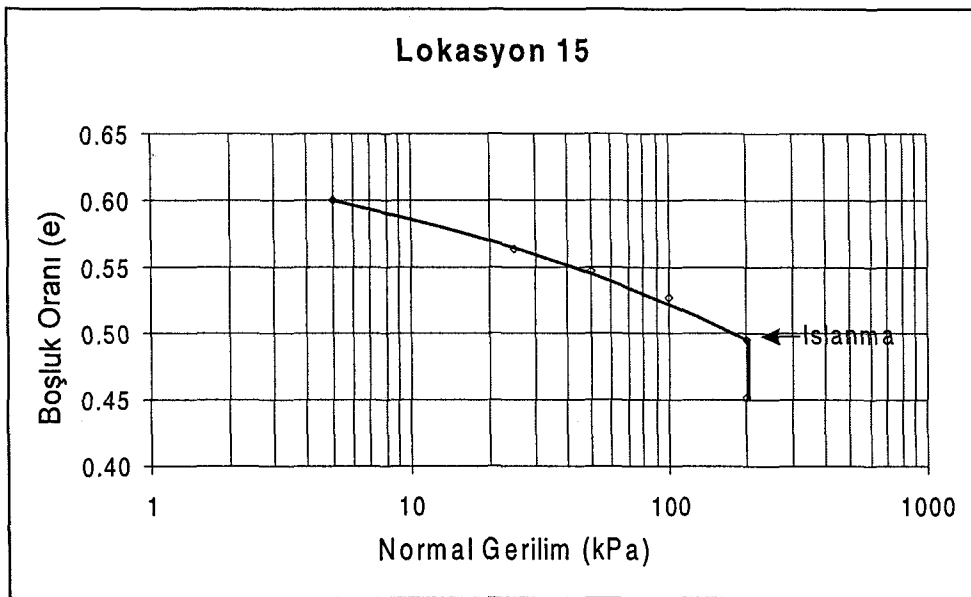
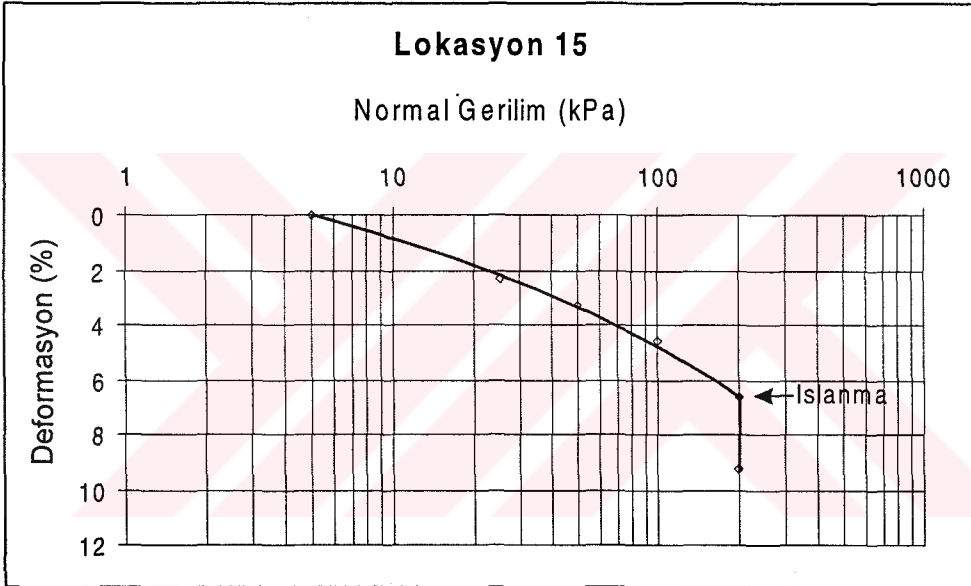
ODOMETRE DENEY SONUÇLARI

Su içeriği, w (%) : 18

Özgöl Ağırlık, G_s : 2.51

C_p : 2.68

Basınç (kPa)	H_o (mm)	ΔH (mm)	Δe	e	M_v	Deformasyon (%)
0	19.8	1.88	0.1523	0.6041		
5	19.76	1.84	0.1487	0.6005	0.0011696	0
25	19.30	1.38	0.1118	0.5636	0.0029498	2.30
50	19.10	1.18	0.0956	0.5474	0.0010134	3.31
100	18.85	0.93	0.0753	0.5271	0.0006268	4.57
200	18.45	0.53	0.0429	0.4947	0.0004949	6.56
200	17.92	0.00	0.00	0.4518		9.27



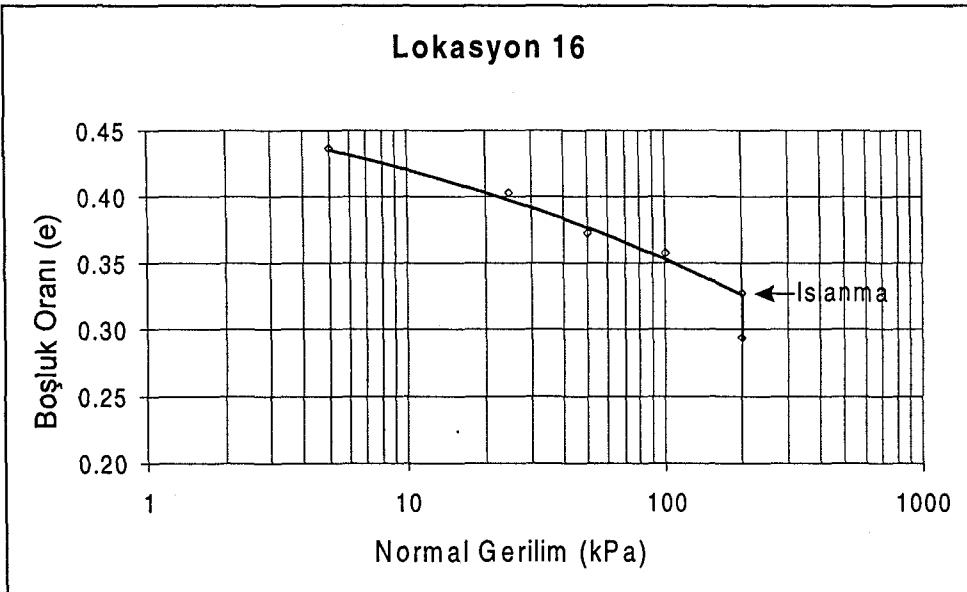
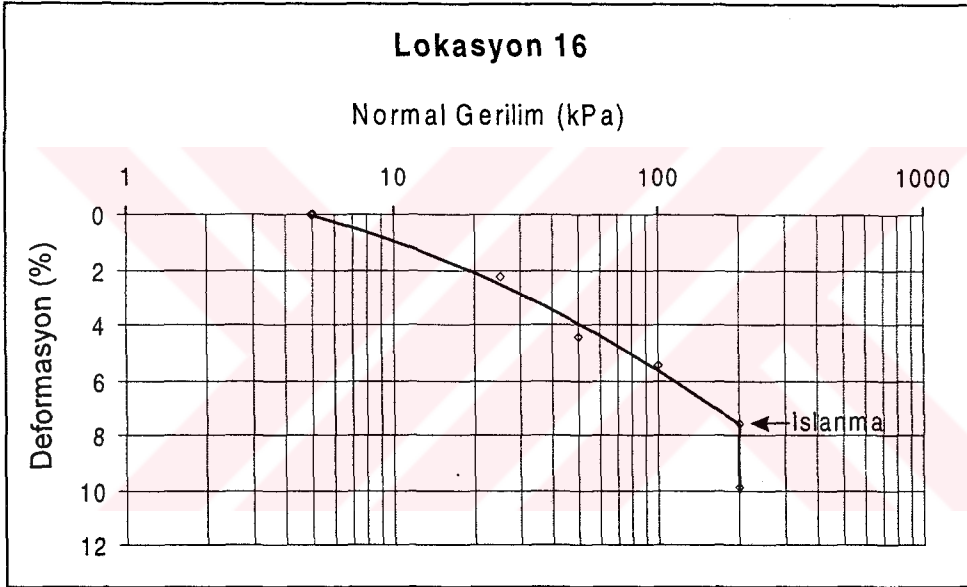
ODOMETRE DENEY SONUÇLARI

Su içeriği, w (%) : 12

Özgöl Ağırlık, G_s : 2.45

C_p : 2.32

Basınç (kPa)	H_o (mm)	ΔH (mm)	Δe	e	M_v	Deformasyon (%)
0	19.80	1.99	0.1446	0.4386		
5	19.77	1.96	0.1424	0.4364	0.0006271	0
25	19.32	1.51	0.1097	0.4037	0.0023482	2.27
50	18.89	1.08	0.0785	0.3725	0.0017540	4.44
100	18.69	0.88	0.0639	0.3579	0.0003989	5.45
200	18.27	0.46	0.0334	0.3274	0.0004144	7.58
200	17.81	0.00	0.00	0.2940		9.90



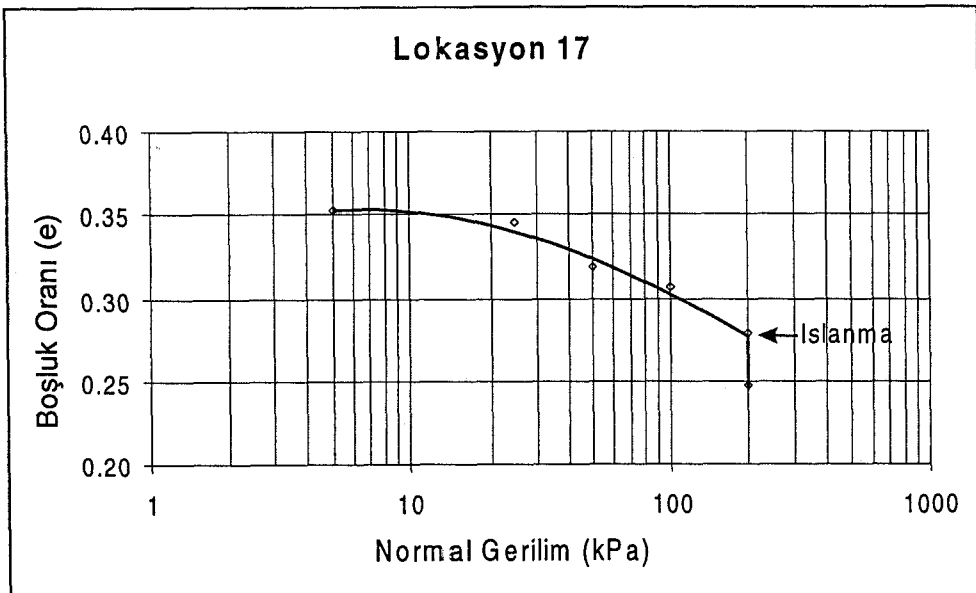
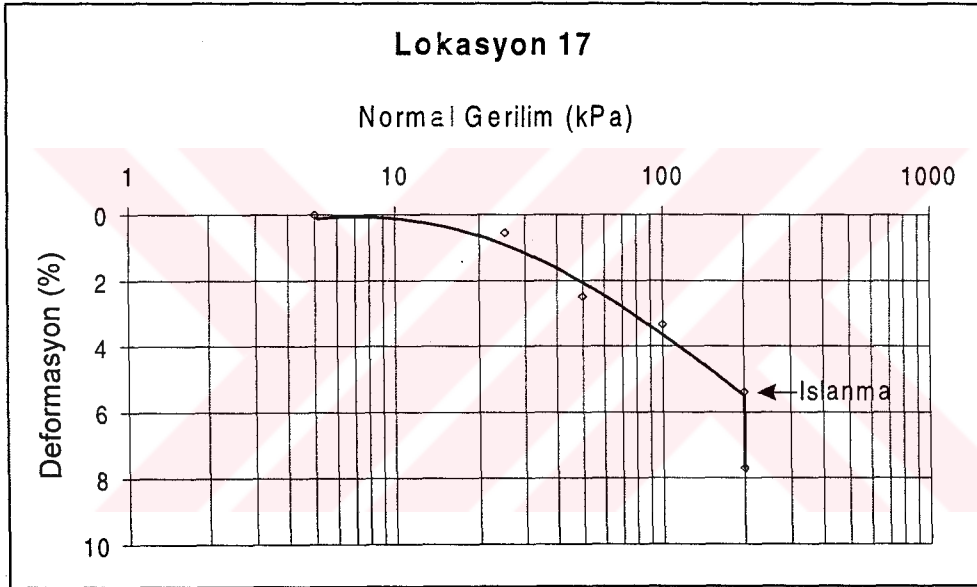
ODOMETRE DENEY SONUÇLARI

Su içeriği, w (%) : 10

Özgöl Ağırlık, G_s : 2.47

C_p : 2.27

Basınç (kPa)	H_o (mm)	ΔH (mm)	Δe	e	M_v	Deformasyon (%)
0	19.80	1.92	0.1339	0.3809		
5	19.40	1.52	0.1060	0.3530	0.0077047	0
25	19.29	1.41	0.0983	0.3453	0.0005189	0.56
50	18.91	1.03	0.0718	0.3188	0.0014260	2.47
100	18.74	0.86	0.0600	0.3070	0.0003127	3.33
200	18.33	0.45	0.0314	0.2784	0.0003737	5.40
200	17.88	0.00	0.00	0.2470		7.68



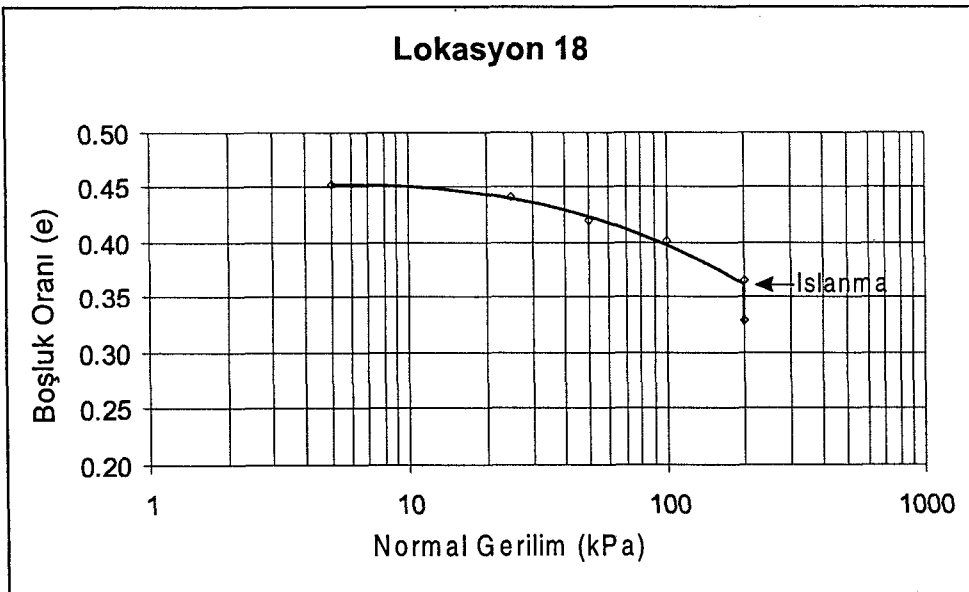
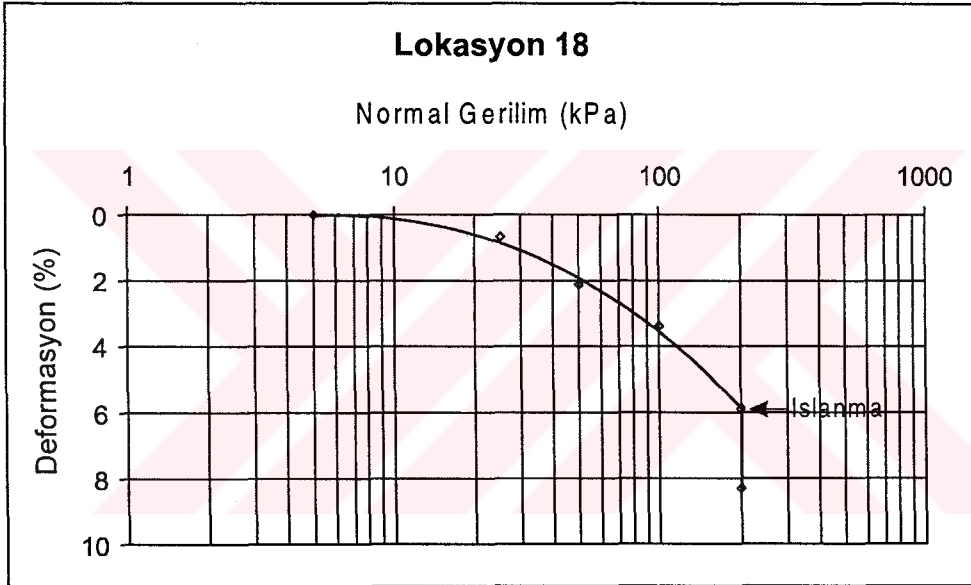
ODOMETRE DENEY SONUÇLARI

Su içeriği, w (%) : 13

Özgöl Ağırlık, G_s : 2.53

C_p : 2.47

Basınç (kPa)	H_o (mm)	ΔH (mm)	Δe	e	M_v	Deformasyon (%)
0	19.80	2.00	0.1493	0.4783		
5	19.45	1.65	0.1232	0.4522	0.0077263	0
25	19.32	1.52	0.1135	0.4425	0.0007048	0.66
50	19.03	1.23	0.0918	0.4208	0.0012490	2.12
100	18.78	0.98	0.0732	0.4022	0.0005304	3.38
200	18.29	0.49	0.0366	0.3656	0.0005130	5.86
200	17.80	0.00	0.00	0.3290		8.33



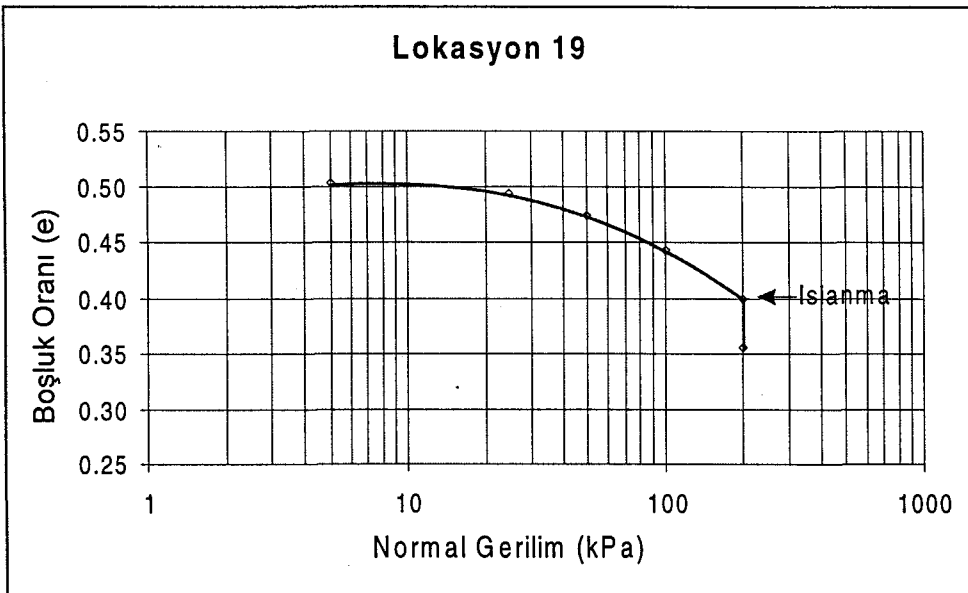
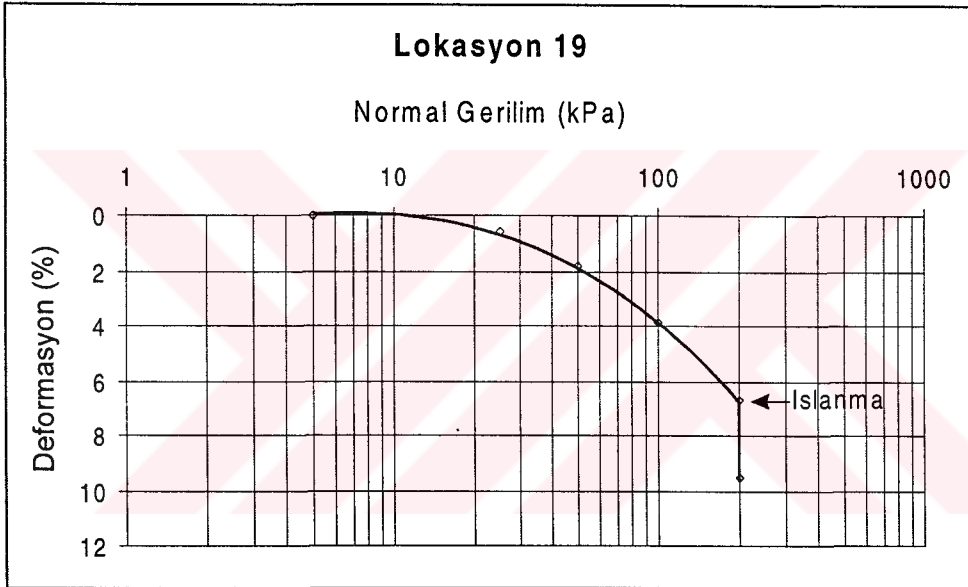
ODOMETRE DENEY SONUÇLARI

Su içeriği, w (%) : 14

Özgül Ağırlık, G_s : 2.54

C_p : 2.78

Basınç (kPa)	H_0 (mm)	ΔH (mm)	Δe	e	M_v	Deformasyon (%)
0	19.80	2.33	0.1809	0.5369		
5	19.35	1.88	0.1459	0.5019	0.0107359	0
25	19.24	1.77	0.1374	0.4934	0.0006412	0.56
50	18.99	1.52	0.1180	0.4740	0.0011590	1.82
100	18.58	1.11	0.0862	0.4422	0.0009382	3.89
200	18.02	0.55	0.0427	0.3987	0.0006270	6.72
200	17.47	0.00	0.00	0.3560		9.49



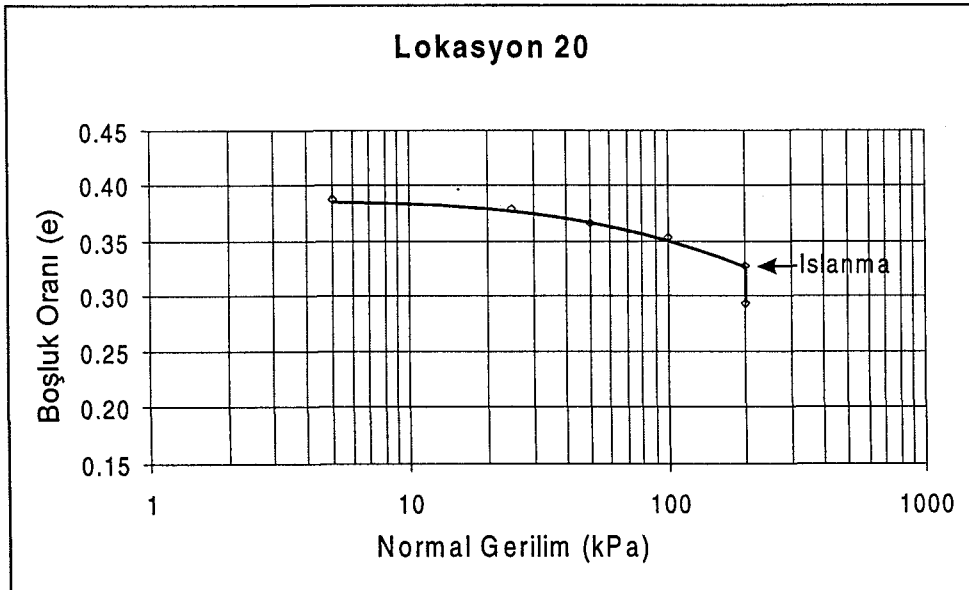
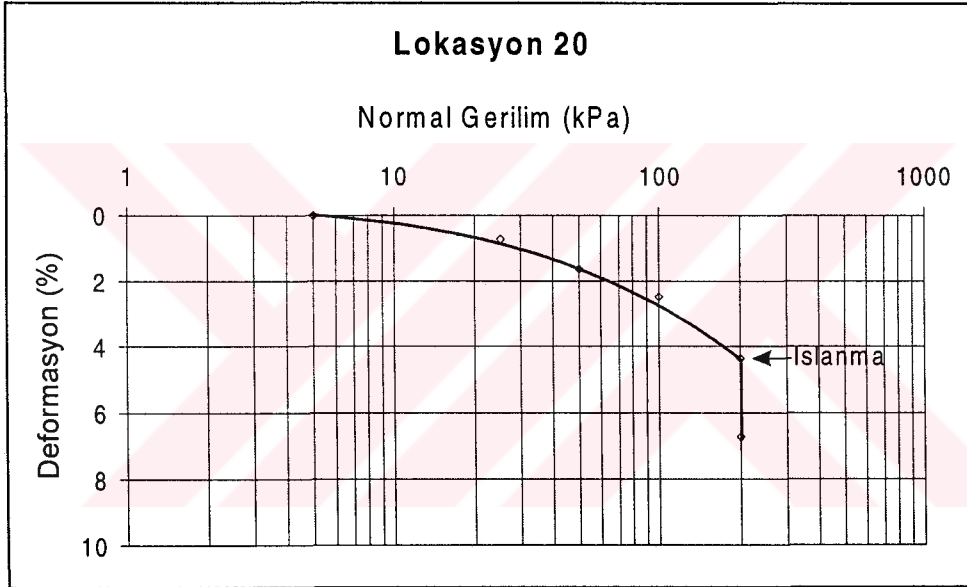
ODOMETRE DENEY SONUÇLARI

Su içeriği, w (%) : 12

Özgül Ağırlık, G_s :2.45

C_p :2.37

Basınç (kPa)	H_o (mm)	ΔH (mm)	Δe	e	M_v	Deformasyon (%)
0	19.80	1.63	0.1161	0.4101		
5	19.50	1.33	0.0947	0.3887	0.0060253	0
25	19.36	1.19	0.0847	0.3787	0.0006923	0.71
50	19.18	1.01	0.0719	0.3659	0.0007070	1.62
100	19.01	0.84	0.0598	0.3538	0.0003307	2.47
200	18.64	0.47	0.0335	0.3275	0.0003567	4.34
200	18.17	0.00	0.00	0.2940		6.72



Ek1-4: İnceleme lokasyonlarından alınan örneklerin özgül ağırlıkları (G_s)

Lokasyon	G_s	
	Siltli-Kumlu Seviye (SK)	Çakıllı, bloklu Seviye (Ç)*
L1	2.4	2.31
L2	2.54	2.37
L3	2.44	2.44
L4	2.50	2.35
L5	2.41	2.32
L6	2.51	2.40
L7	2.52	2.37
L8	2.42	2.35
L9	2.43	2.37
L10	2.41	2.41
L11	2.42	2.34
L12	2.43	2.35
L13	2.32	2.35
L14	2.4	2.32
L15	2.51	2.31
L16	2.45	2.37
L17	2.47	2.42
L18	2.53	2.35
L19	2.54	2.32
L20	2.45	2.40
Ortalama	2.46	2.36
Standart Sapma	0.0584	0.375

*çakıllı, bloklu seviyenin bağlayıcı malzemesiden alınan örnekler

Ek1-5: Plaka yükleme deneyleri ile odometre deneylerinin yapılmış olduğu lokasyonlardan alınan örneklerin doğal birim hacim ağırlık (γ) ve su içeriği (w) değerleri

	Siltli- Kumlu Seviye (SK)	Siltli- Kumlu Seviye (SK)	Çakıllı, bloklü Seviye (Ç)	Çakıllı, bloklü Seviye (Ç)
Lokasyon	γ_n (kN/m ³)	w (%)	γ_n (kN/m ³)	w (%)
L1	16.90	11.0	19.60	8.5
L2	16.72	9.5	17.26	9.0
L3	18.07	12.0	17.55	11.0
L4	18.67	14.0	19.44	12.0
L5	17.05	10.0	18.25	13.0
L6	16.16	11.0	19.21	10.0
L7	18.35	13.0	17.21	11.0
L8	17.01	10.0	17.11	15.0
L9	18.18	14.0	18.13	9.5
L10	19.48	20.0	19.35	12.0
L11	18.74	17.0	19.22	13.0
L12	17.67	11.0	18.12	10.0
L13	16.76	13.0	19.25	11.0
L14	16.39	9.0	18.75	17.0
L15	17.39	18.0	17.66	20.0
L16	16.25	12.0	19.35	11.0
L17	16.42	10.0	18.87	13.0
L18	16.23	13.0	18.81	11.0
L19	17.28	14.0	17.75	14.0
L20	17.02	12.0	17.35	15.0
Ortalama	17.46	12.7	18.41	12.3
Standart sapma	1.0565	2.91	0.865	2.83

Ek1-6: Çakıllı, bloklı seviyenin çakıllarına ait birim ortalama hacim ağırlık değerleri

Çakıllı, bloklı Seviyenin Çakılı		Çakıllı, bloklı Seviyenin Çakılı	
Lokasyon	γ_n (kN/m ³)	Lokasyon	γ_n (kN/m ³)
L1	24.87	L11	26.63
L2	24.59	L12	25.67
L3	26.28	L13	22.73
L4	22.84	L14	18.16
L5	25.24	L15	24.9
L6	23.72	L16	23.46
L7	23.62	L17	25.09
L8	22.23	L18	22.20
L9	25.36	L19	22.21
L10	25.12	L20	22.44
Ortalama	23.94		
Standart sapma	1.92		

Ek1-7: Sert kalış seviyesinin ortalama birim hacim ağırlık değerleri

Örnek No	Ortalama Birim Hacim Ağırlık, γ (kN/m ³)	Örnek No	Ortalama Birim Hacim Ağırlık, γ (kN/m ³)
S1	22.15	S7	20.76
S2	21.95	S8	18.84
S3	22.45	S9	18.86
S4	20.33	S10	20.02
S5	20.45	S11	21.72
S6	19.91	S12	21.45
Ortalama	20.68		
Standart Sapma	1.26		

Ek1-8: Sert kalış seviyesinin ortalama görünür gözeneklilik değeri

Örnek No	Ortalama Görünür Gözeneklilik (%)	Örnek No	Ortalama Görünür Gözeneklilik (%)
P1	13.98	P7	19.12
P2	16.14	P8	21.02
P3	15.04	P9	19.29
P4	24.97	P10	19.14
P5	23.59	P11	18.00
P6	22.66	P12	18.42
Ortalama	19.28		
Standart Sapma	3.35		

Ek1-9: Hard-pan seviyesinin tek eksenli sıkışma dayanımı değeri

Örnek No	Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı, UCS (MPa)	Örnek No	Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı, UCS (MPa)
S1	11.43	S7	11.28
S2	6.99	S8	13.22
S3	19.48	S9	10.65
S4	10.58	S10	12.49
S5	10.60	S11	13.55
S6	11.05	S12	11.32
Ortalama	11.89		
Standart Sapma	2.91		

Ek1-10: İnceleme lokasyonlarından alınan örneklerin çakıl, kum,silt ve kil yüzdeleri

Lokasyon	Siltli-Kumlu Seviye (SK)				Çakıllı, bloklu Seviye (Ç)				Çakıllı, bloklu Seviye (Ç)*			
	Kil (%)	Silt (%)	Kum (%)	Çakıl (%)	Kil (%)	Silt (%)	Kum (%)	Çakıl (%)	Kil (%)	Silt (%)	Kum (%)	Blok (%)
L1	1	26	65	8	4	8	15	73	3	5	7	40
L2	10	56	31	3	4	33	17	46	4	22	14	10
L3	15	38	39	8	8	17	8	77	7	13	8	21
L4	5	60	25	10	9	30	11	50	9	23	8	9
L5	0	12	58	30	4	10	16	70	4	6	12	21
L6	10	37	46	7	4	26	23	47	4	18	18	9
L7	18	46	31	5	3	12	14	71	3	7	10	30
L8	5	13	75	7	3	10	12	75	2	8	10	29
L9	10	45	44	1	3	10	21	66	2	10	18	16
L10	18	64	11	7	2	8	14	76	1	5	8	49
L11	17	60	13	10	8	42	35	15	7	42	31	5
L12	9	43	43	5	3	9	13	75	2	8	10	30
L13	4	35	42	19	2	14	12	72	2	7	4	52
L14	3	25	64	8	2	25	15	58	1	19	11	19
L15	12	42	30	16	1	9	14	76	1	4	9	45
L16	10	35	46	9	2	12	11	75	1	9	10	20
L17	8	34	38	20	2	8	10	80	2	7	5	29
L18	9	39	41	11	3	18	25	54	2	18	28	8
L19	8	44	35	13	4	11	20	65	3	5	13	38
L20	12	34	37	17	5	35	44	16	5	34	40	7
Ortalama	9	39	41	11	4	17	17	62	3	14	14	24
Standart sapma	5.44	14.11	16.12	6.83	2.19	10.59	8.82	19.01	2.24	10.38	9.27	14.68

*fotoanalizden elde edilen tane boyları

EK-2

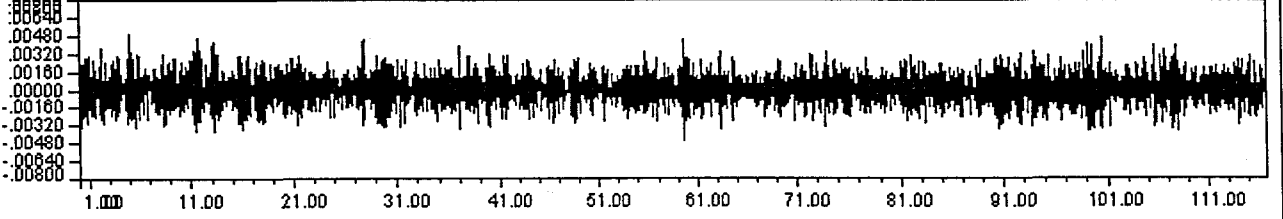
MİKROTREMOR KAYITLARI

ölçü no:1

07.05.2003

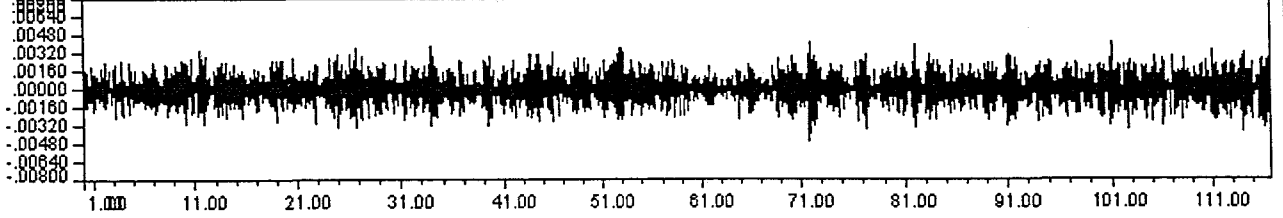
K

Max: .0050 cm/sn



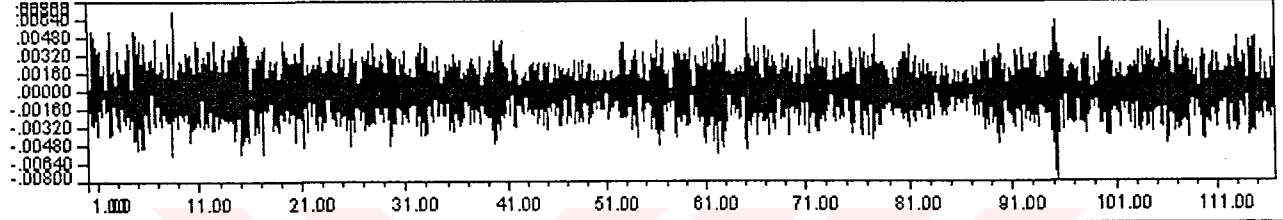
D

Max: .0041 cm/sn



Y

Max: .0072 cm/sn



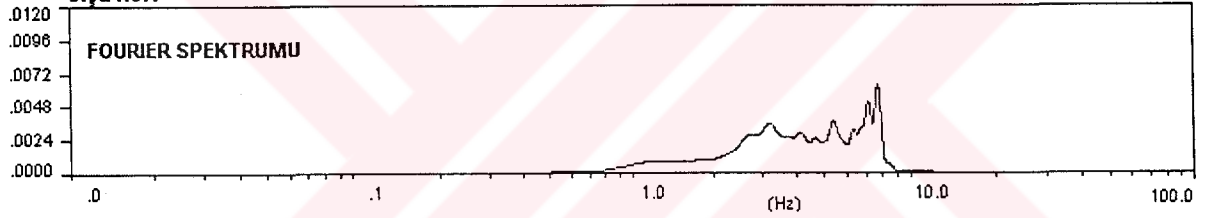
ölçü no:1

07.05.2003

K

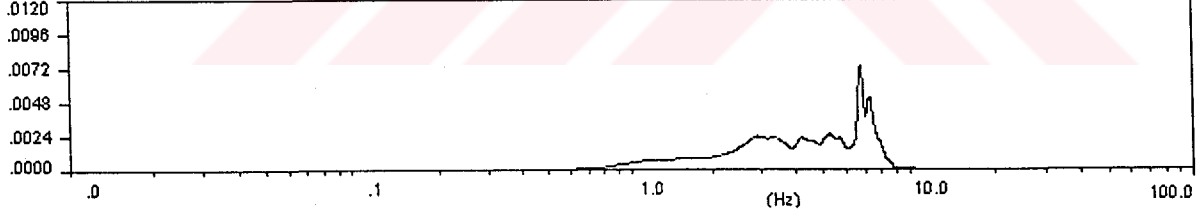
Max: .006 -- .130 sn

FOURIER SPEKTRUMU



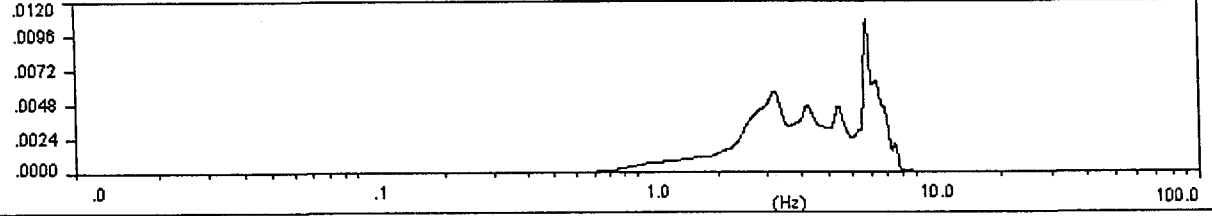
D

Max: .007 -- .148 sn



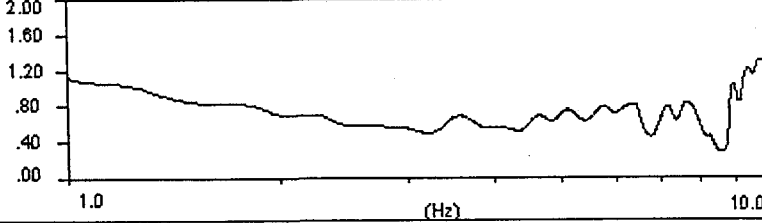
Y

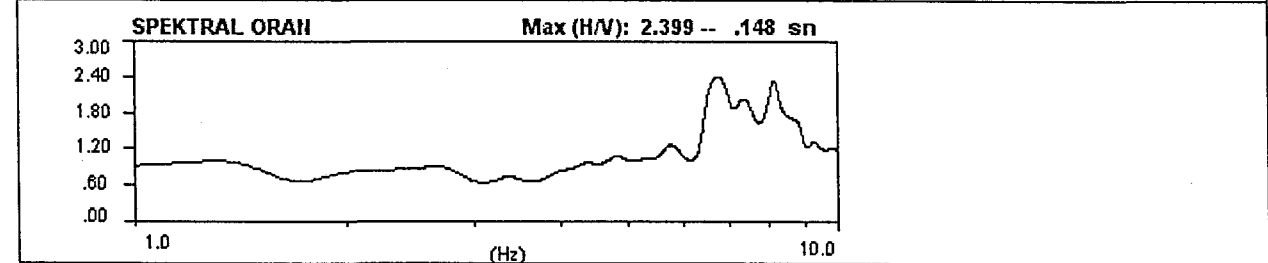
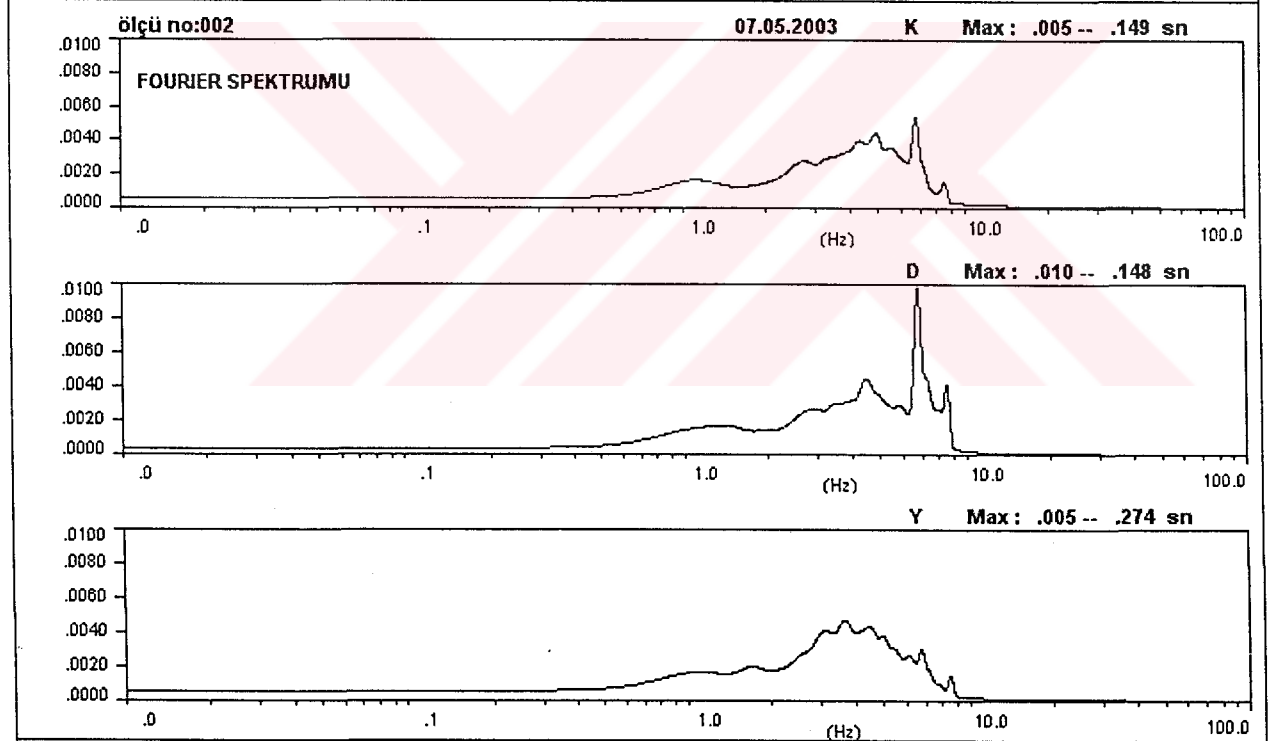
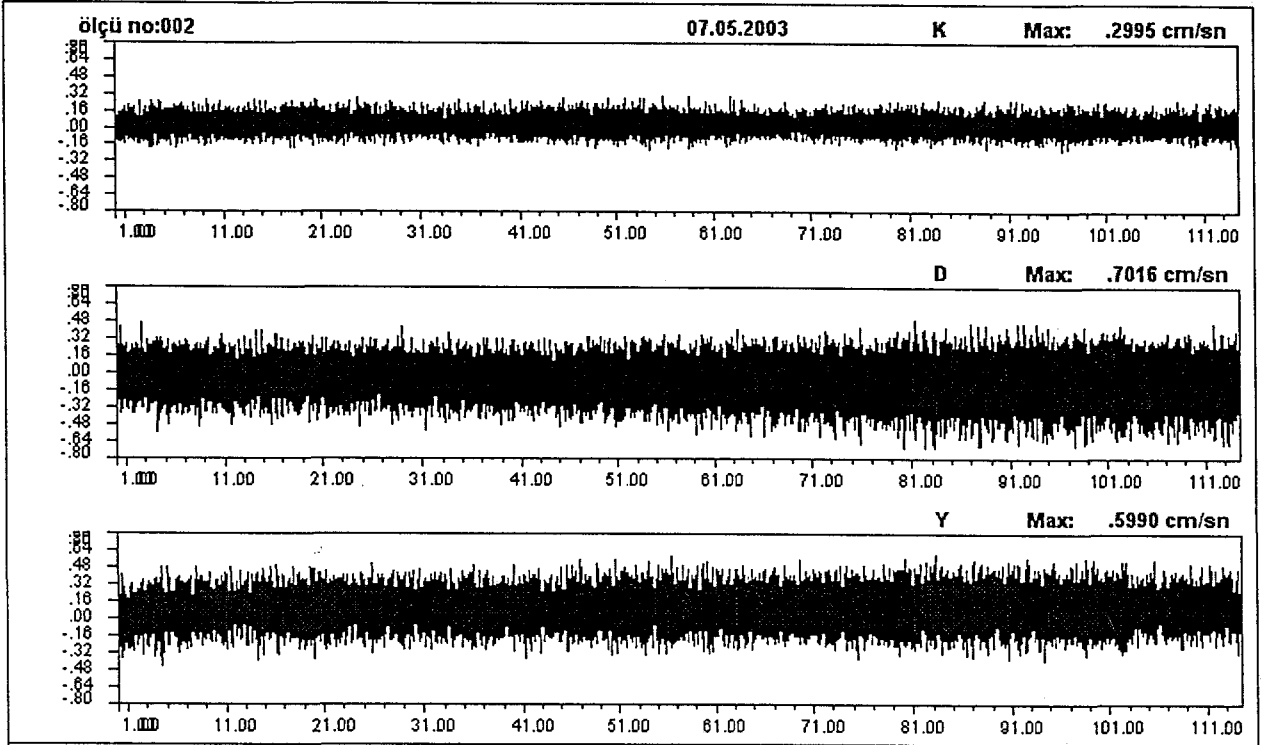
Max: .011 -- .148 sn

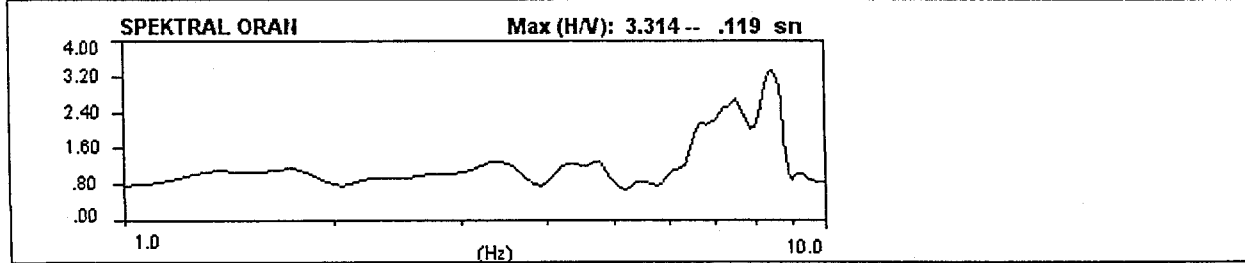
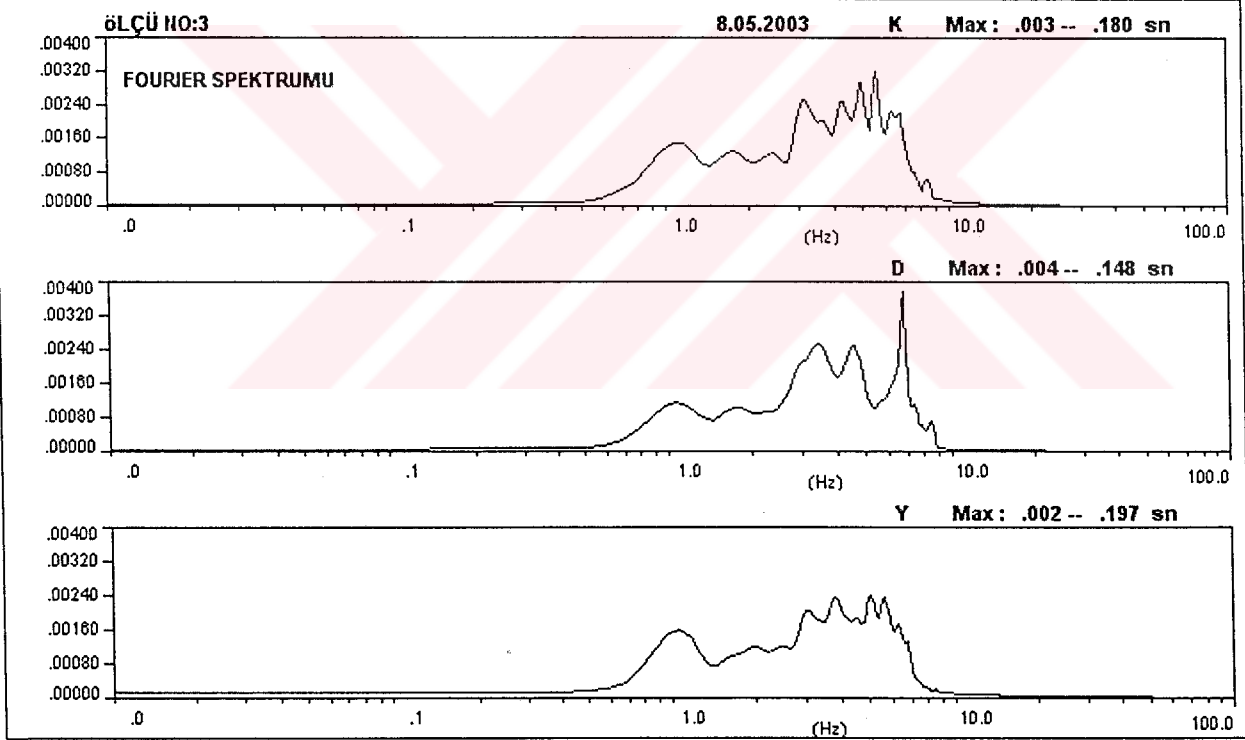
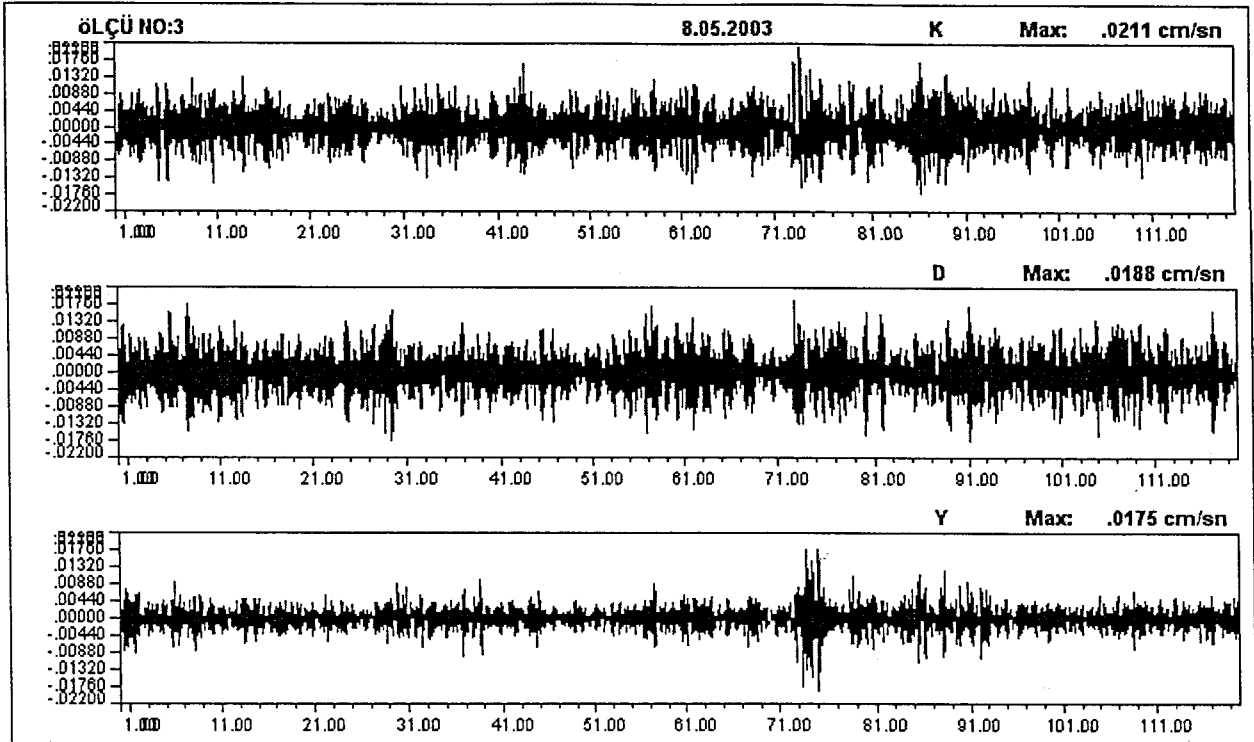


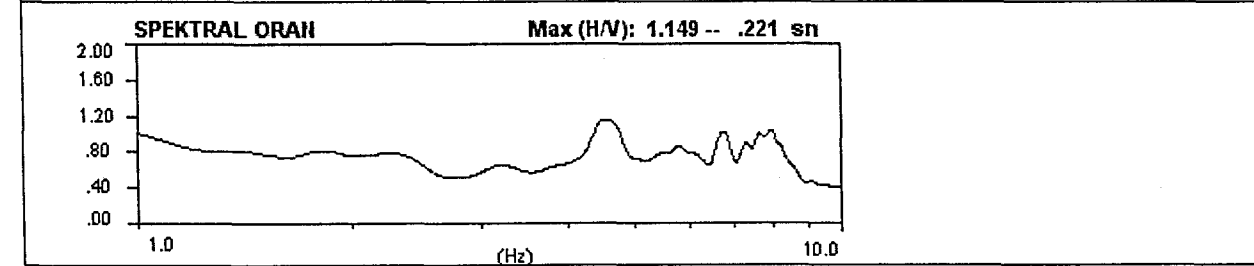
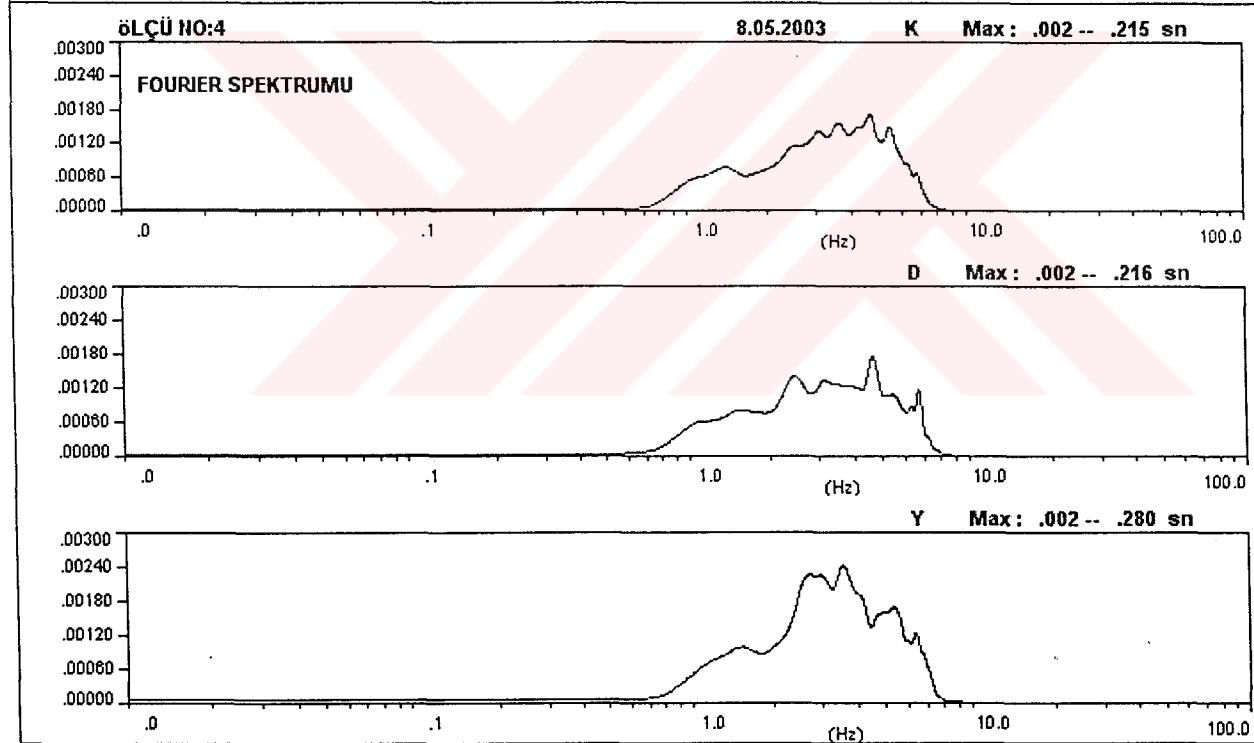
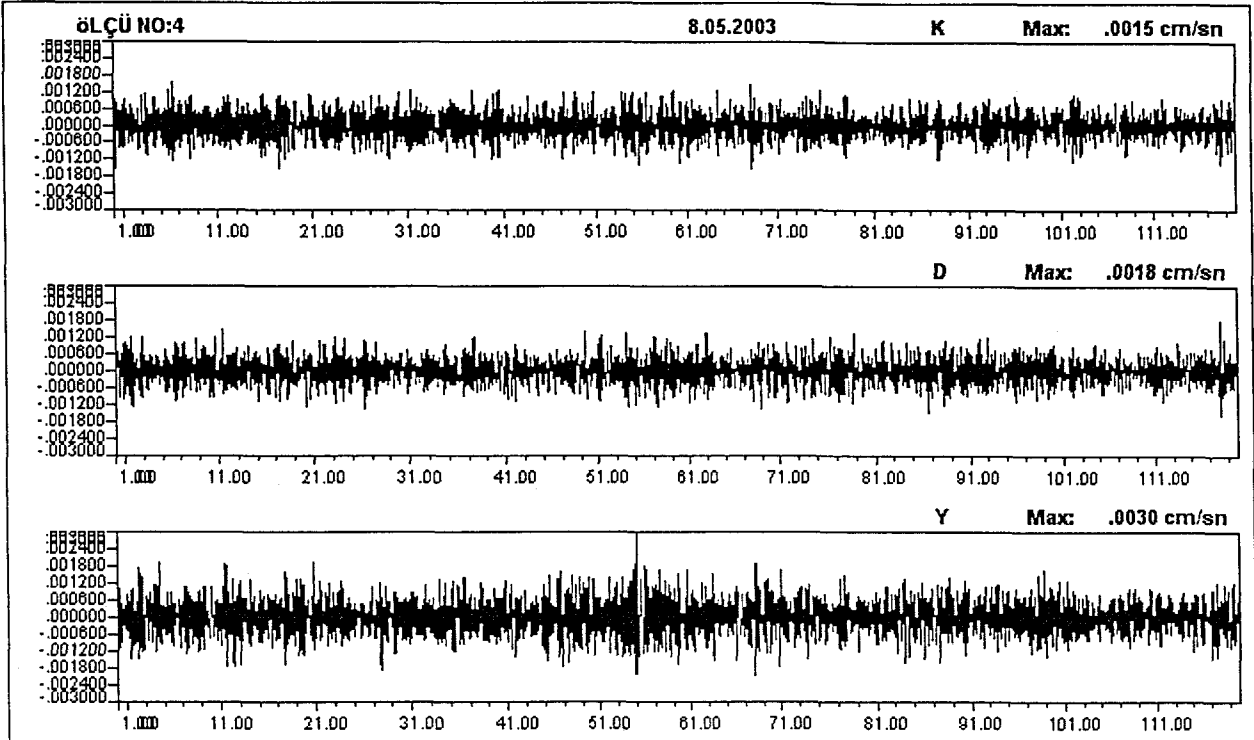
SPEKTRAL ORAN

Max (H/V): 1.314 -- .102 sn







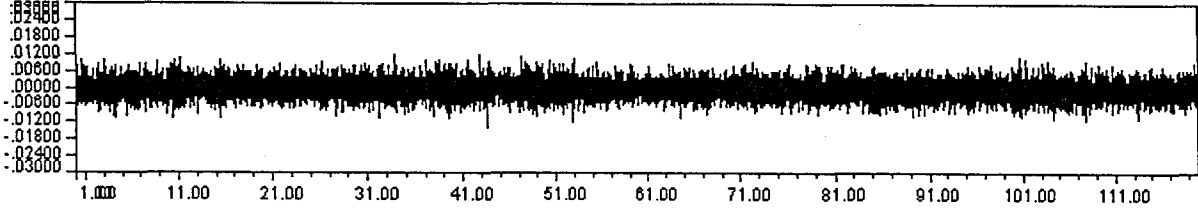


ÖLÇÜ NO:5

08.05.2003

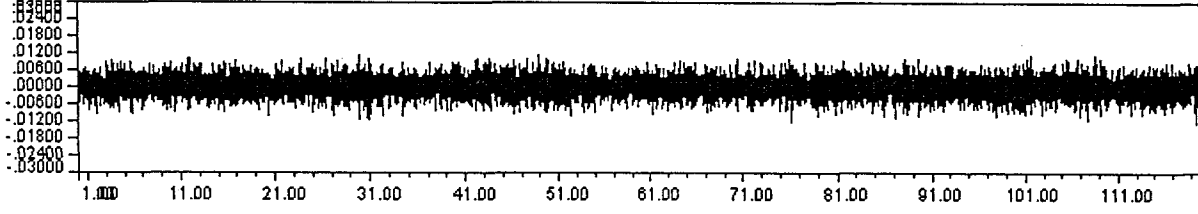
K

Max: .0138 cm/sn



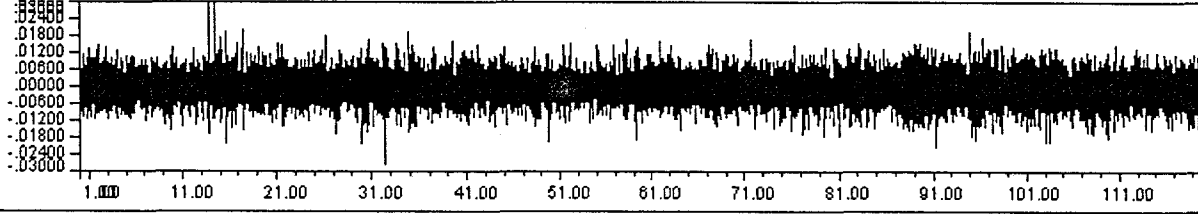
D

Max: .0126 cm/sn



Y

Max: .0295 cm/sn



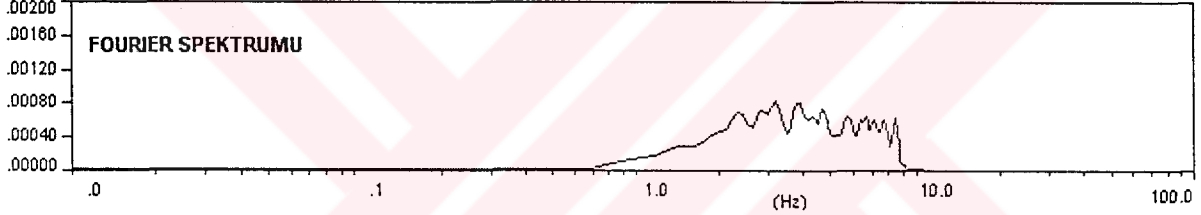
ÖLÇÜ NO:5

08.05.2003

K

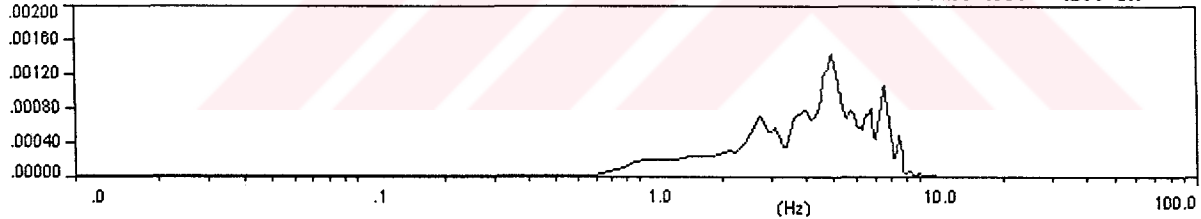
Max: .001 -- .310 sn

FOURIER SPEKTRUMU



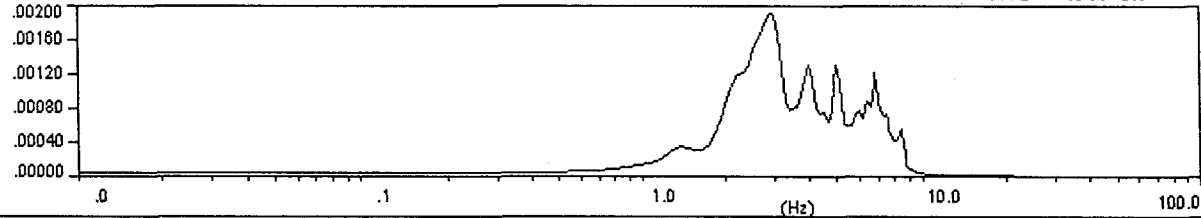
D

Max: .001 -- .201 sn



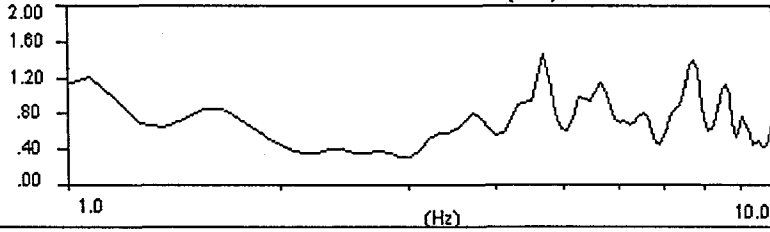
Y

Max: .002 -- .341 sn



SPEKTRAL ORAN

Max (H/V): 1.450 -- .213 sn

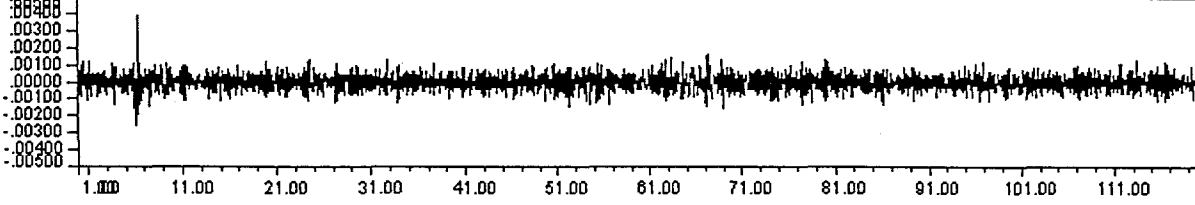


ÖLÇÜ NO:6

8.05.2003

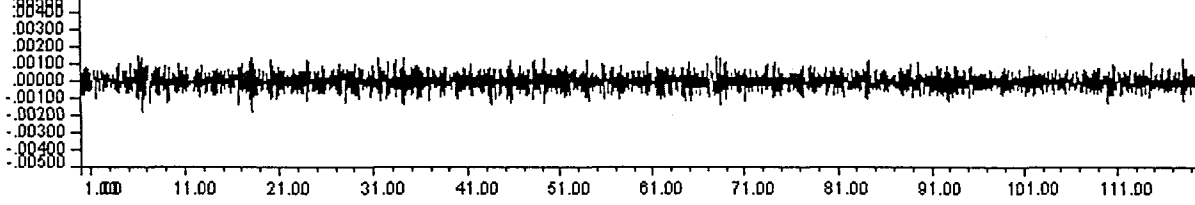
K

Max: .0039 cm/sn



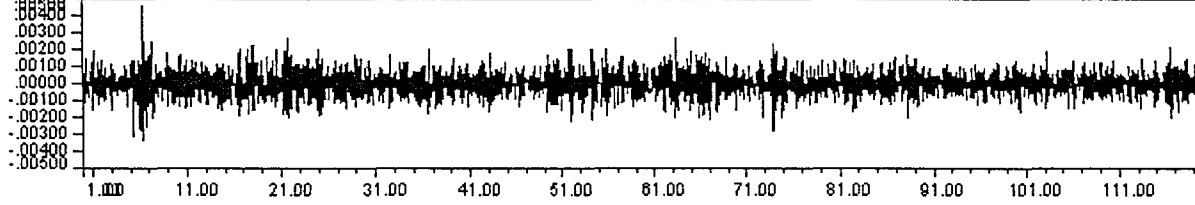
D

Max: .0015 cm/sn



Y

Max: .0046 cm/sn



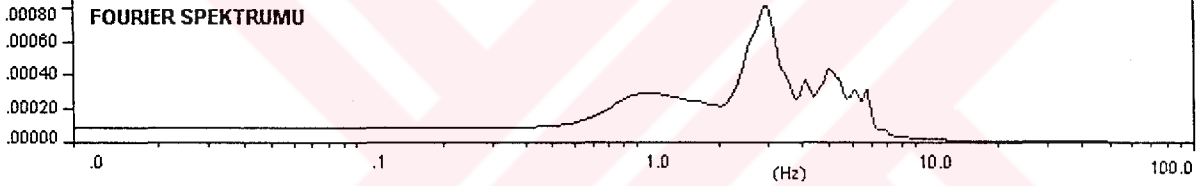
ÖLÇÜ NO:6

8.05.2003

K

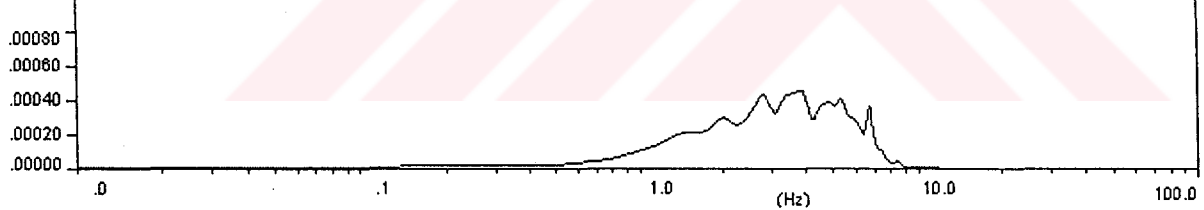
Max: .001 -- .330 sn

FOURIER SPEKTRUMU



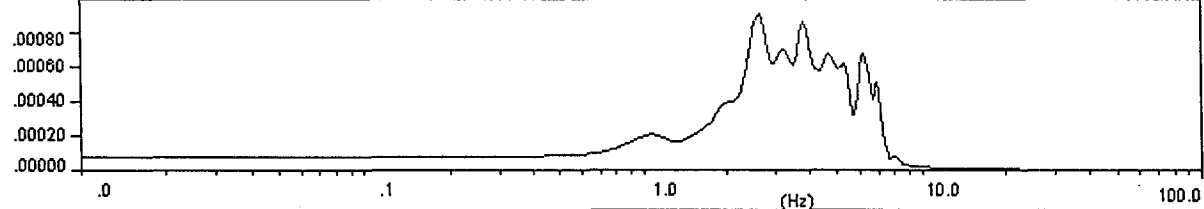
D

Max: .000 -- .263 sn



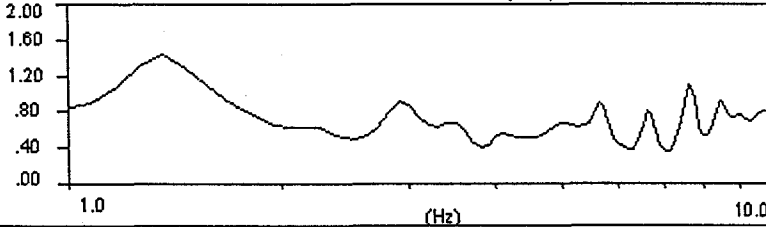
Y

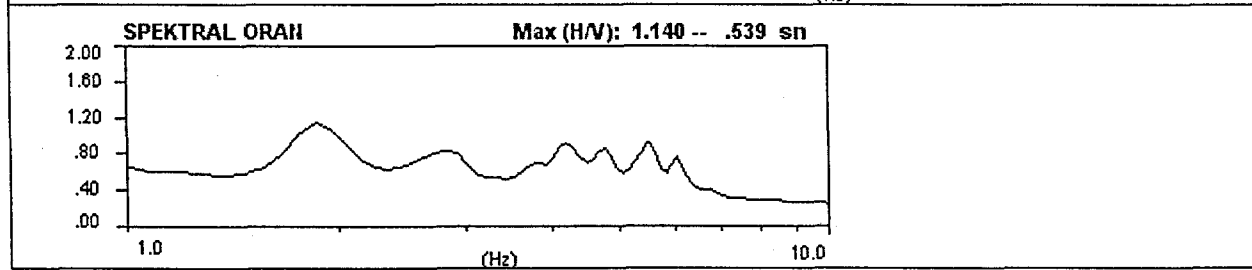
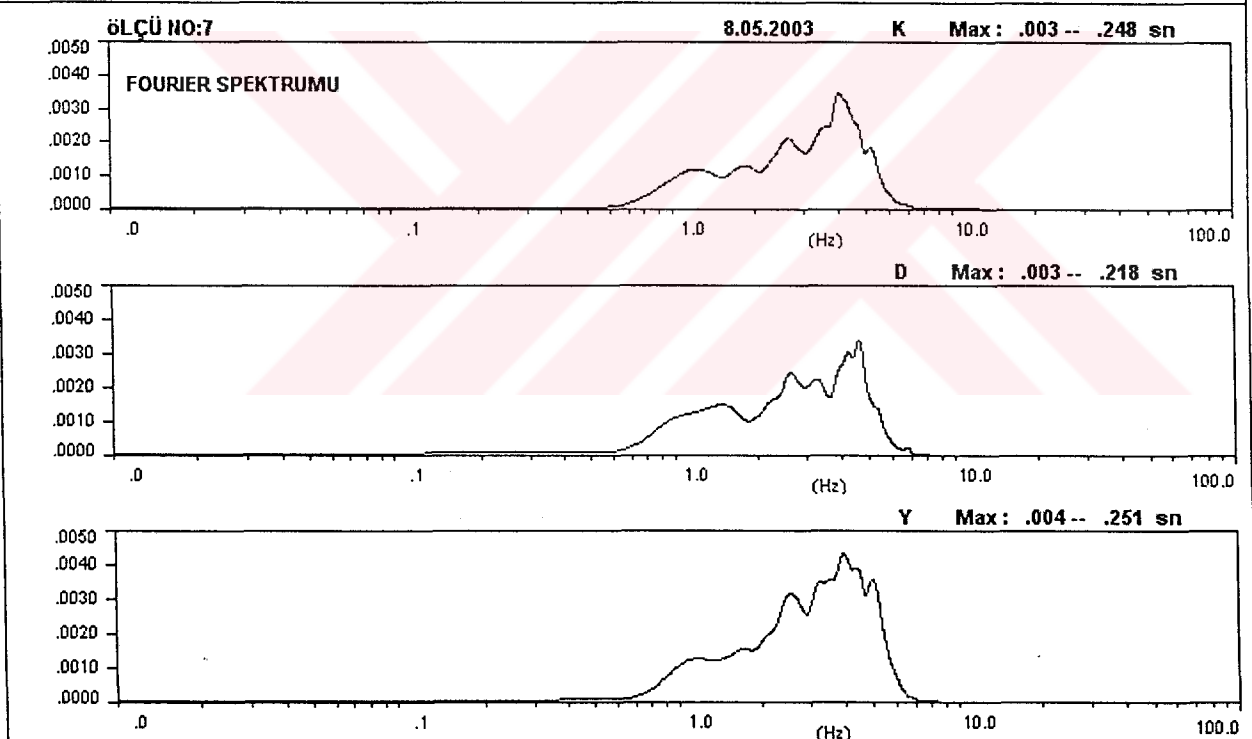
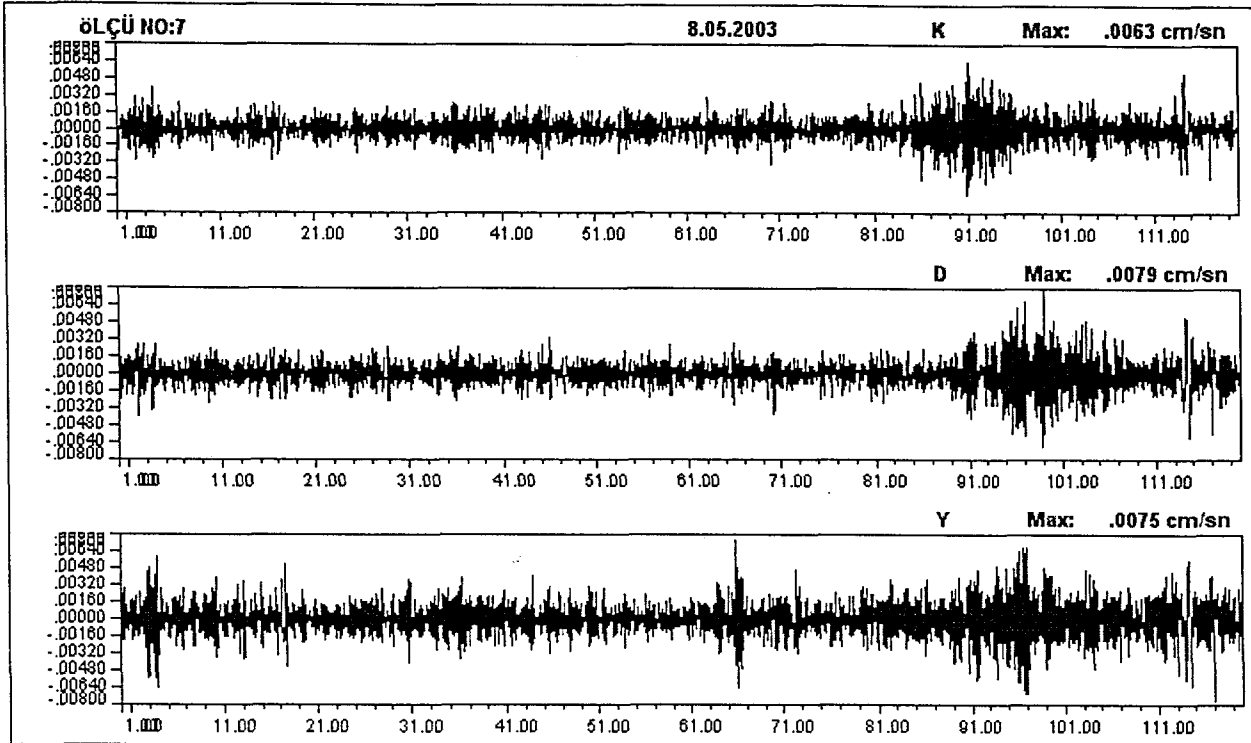
Max: .001 -- .379 sn

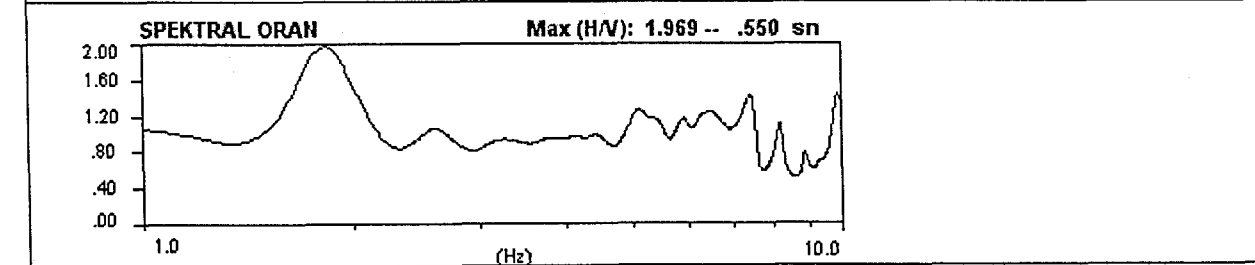
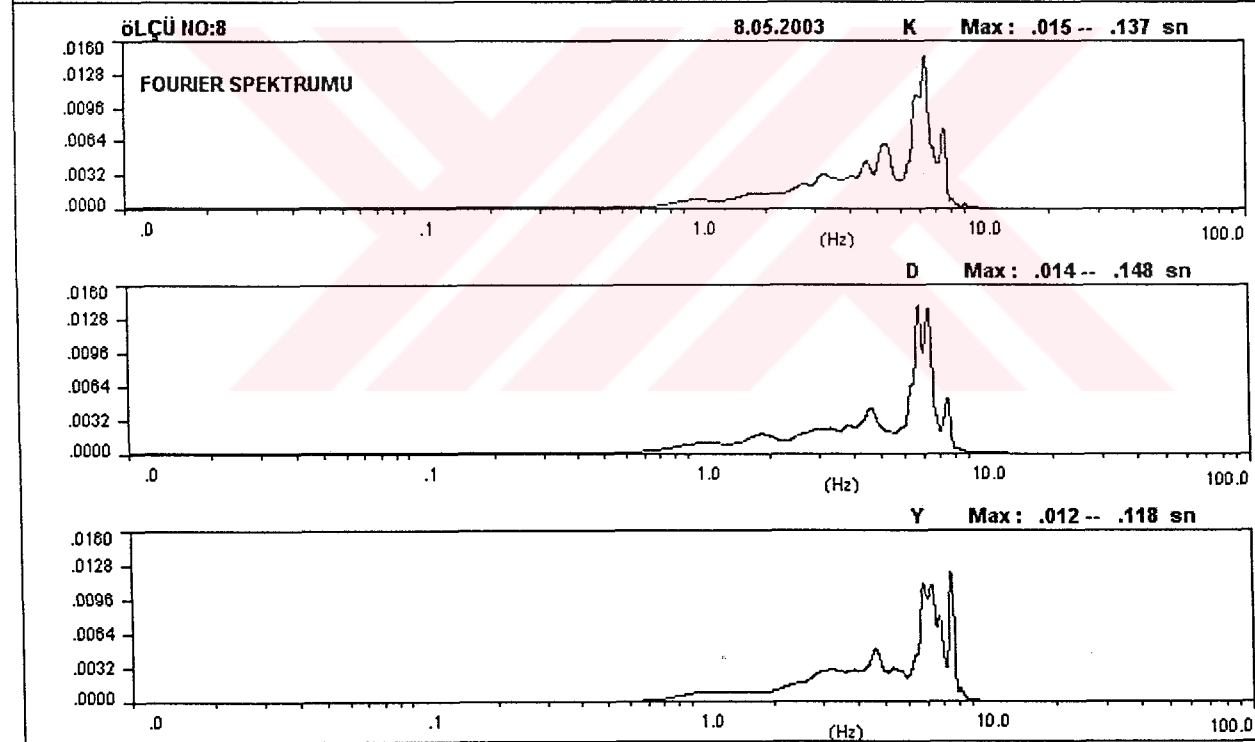
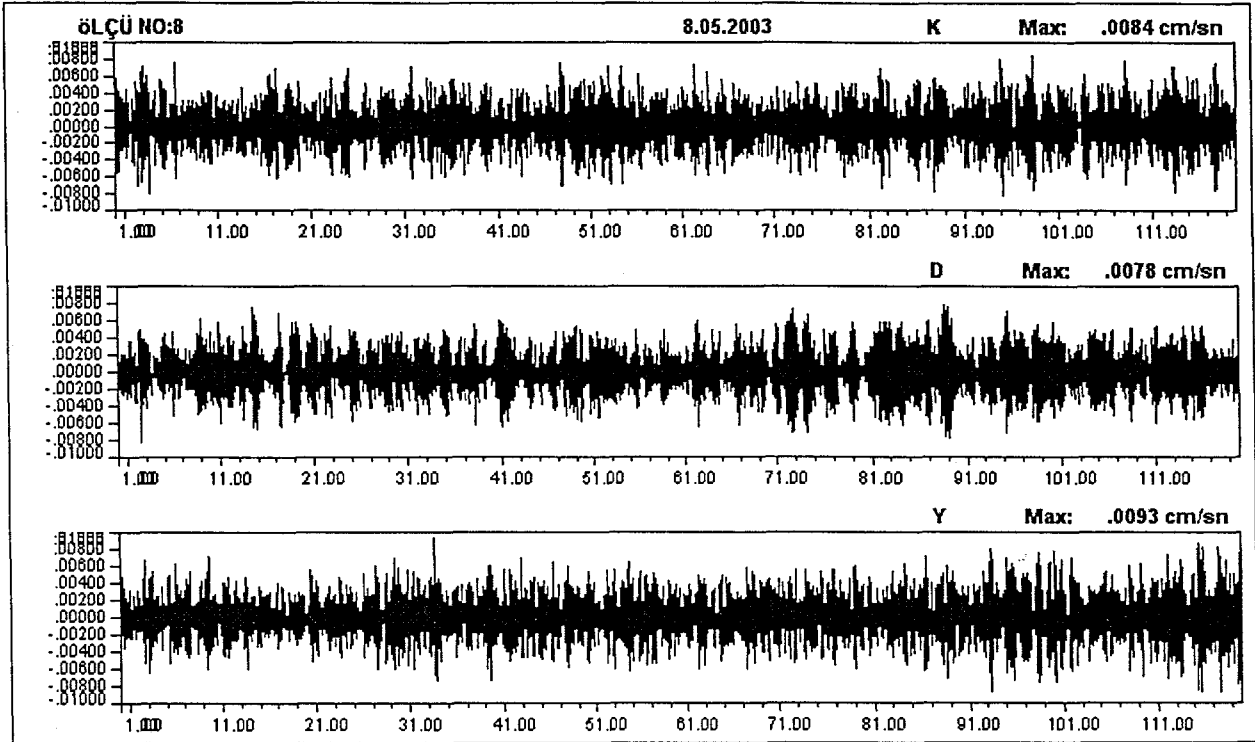


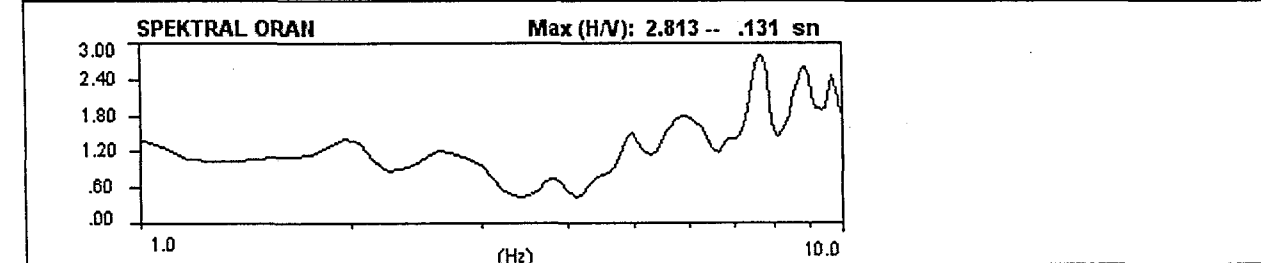
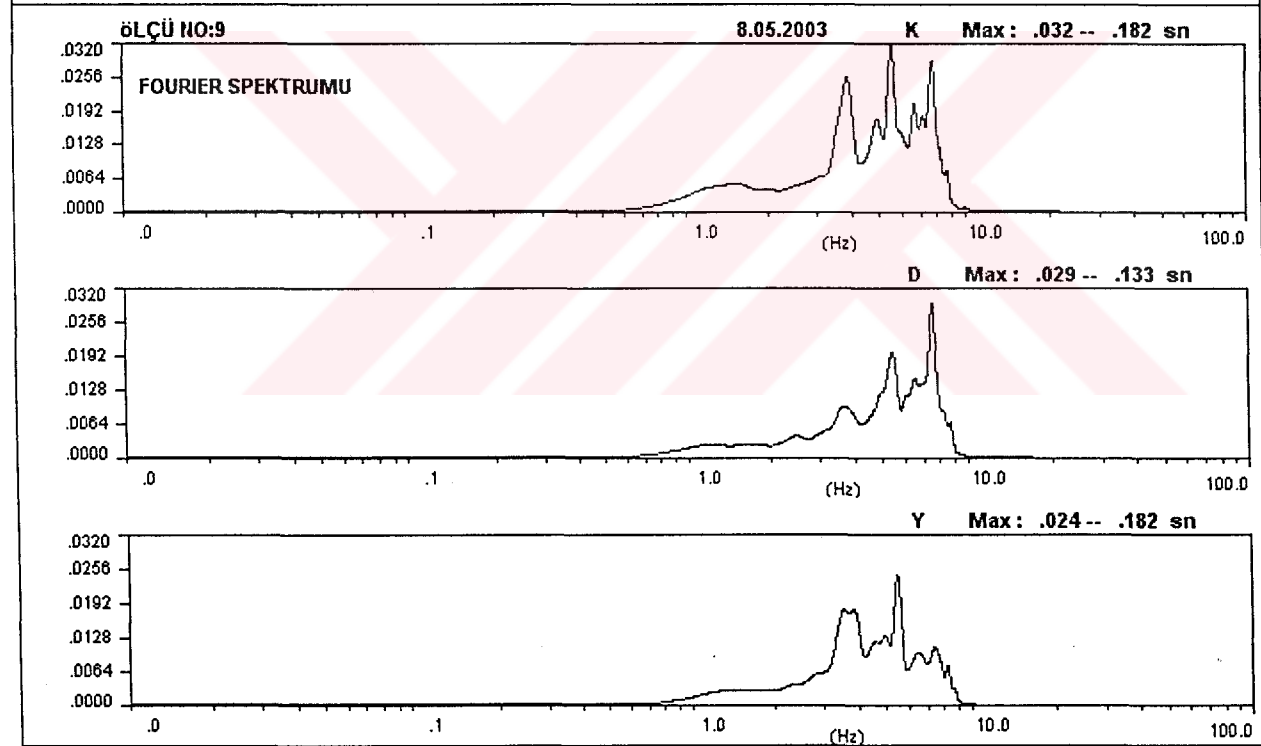
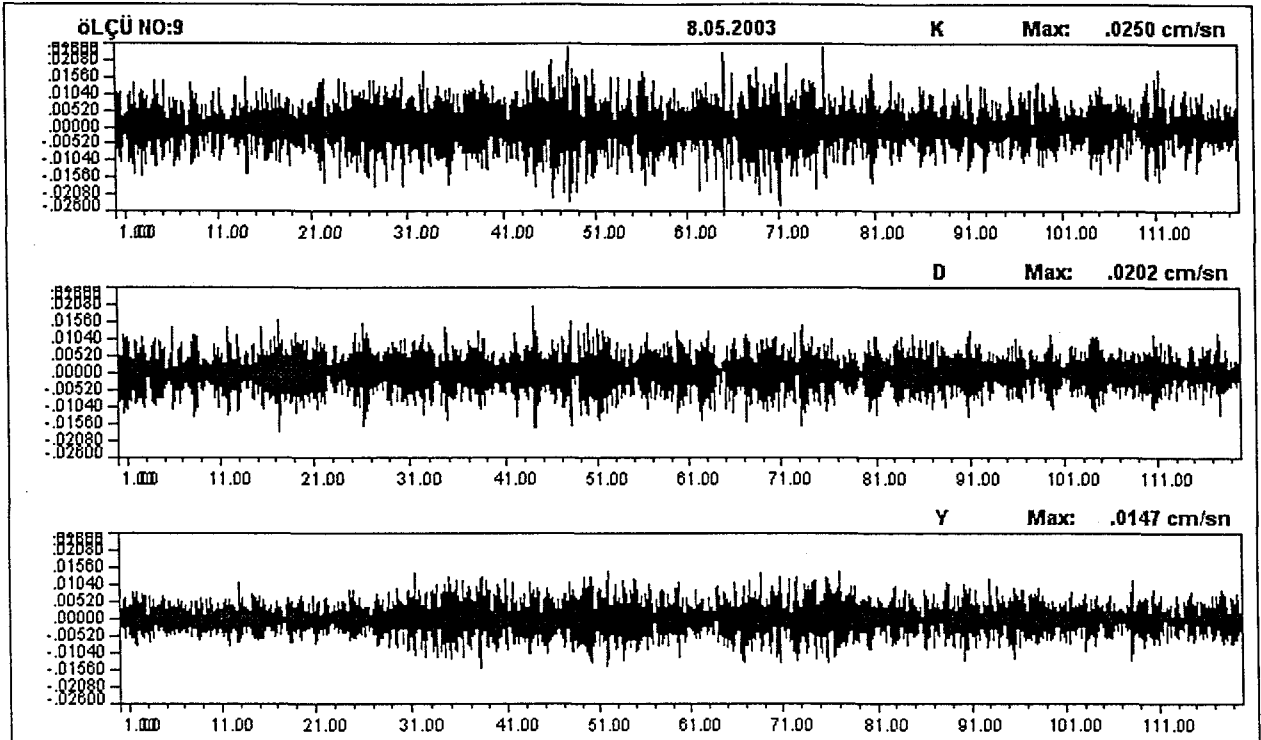
SPEKTRAL ORAN

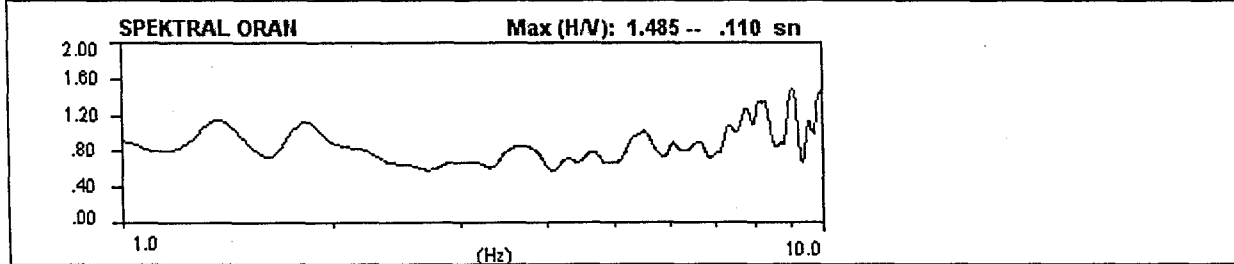
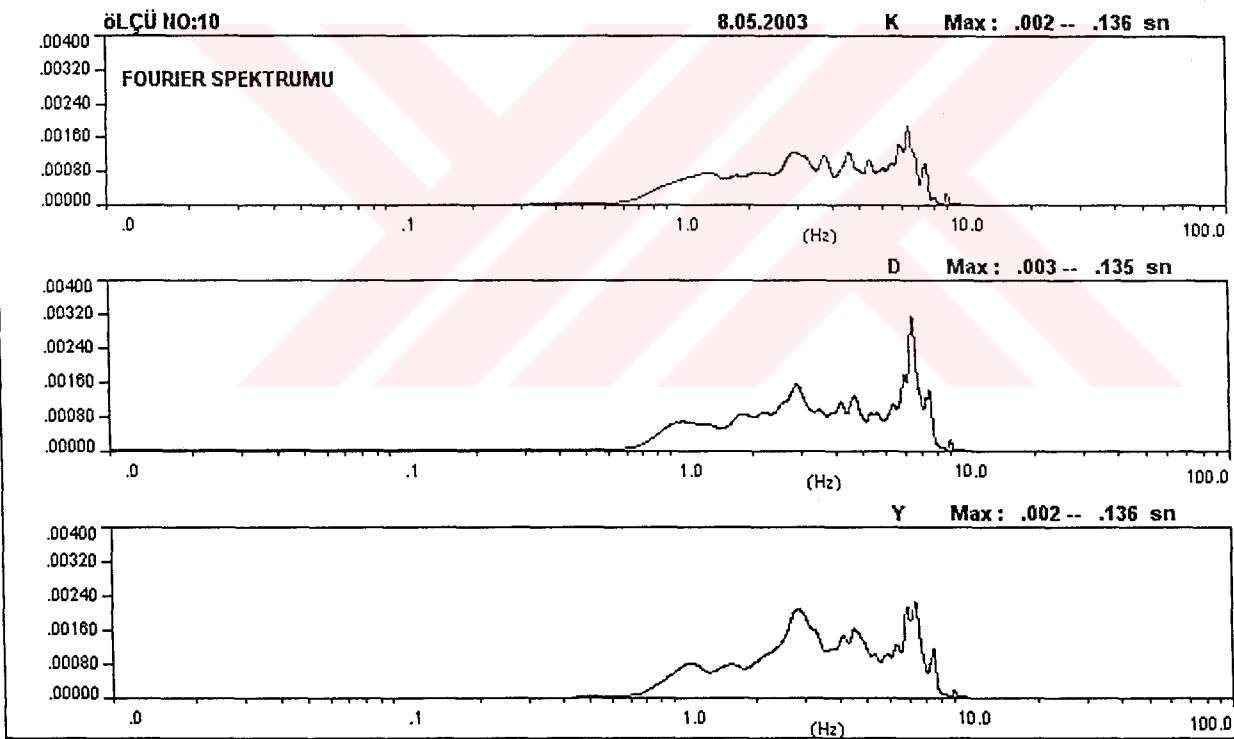
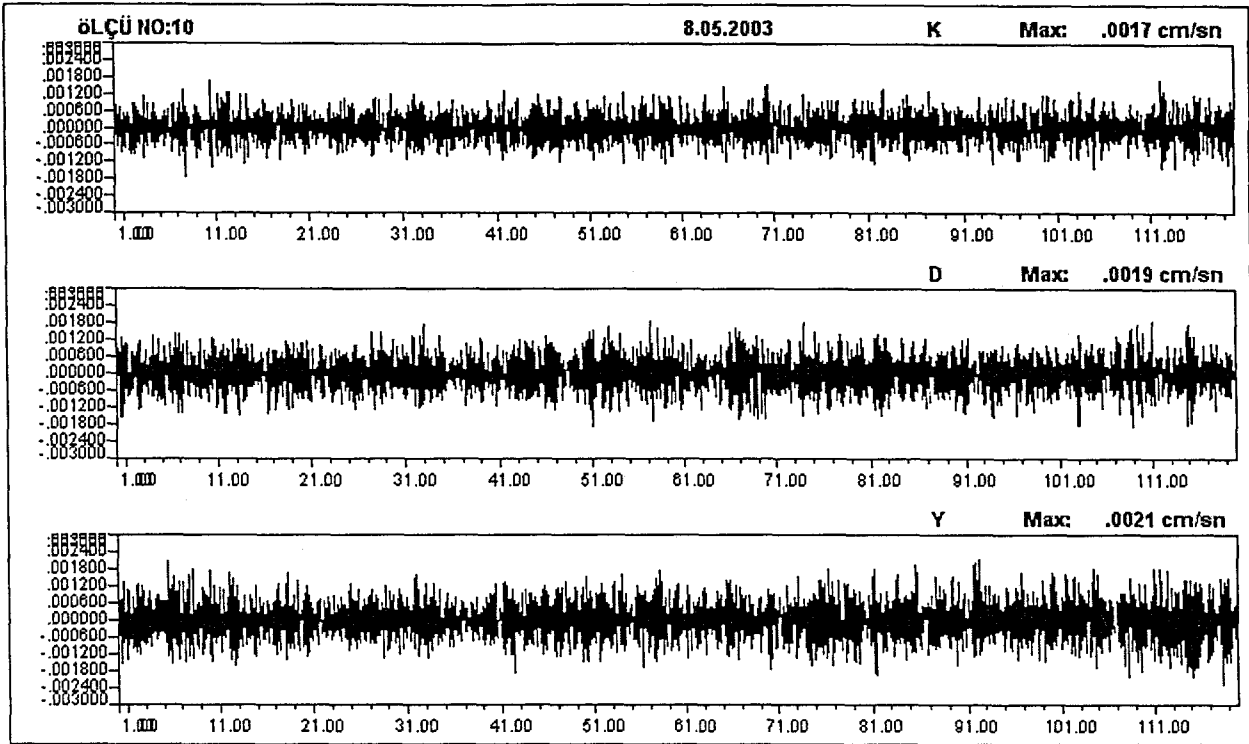
Max (H/V): 1.430 -- .731 sn









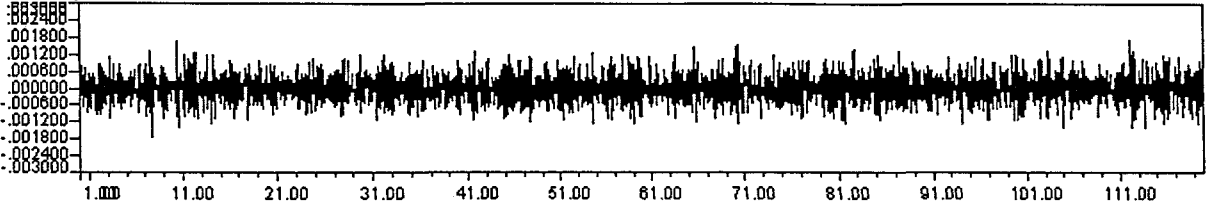


ÖLÇÜ NO:10

8.05.2003

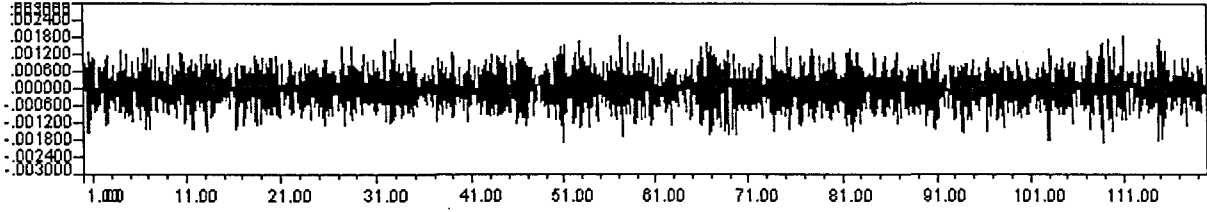
K

Max: .0017 cm/sn



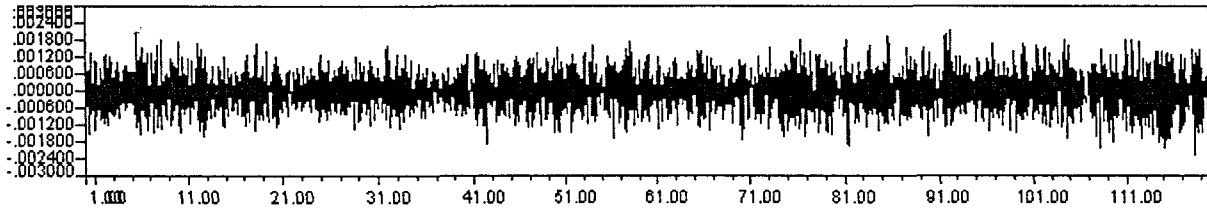
D

Max: .0019 cm/sn



Y

Max: .0021 cm/sn



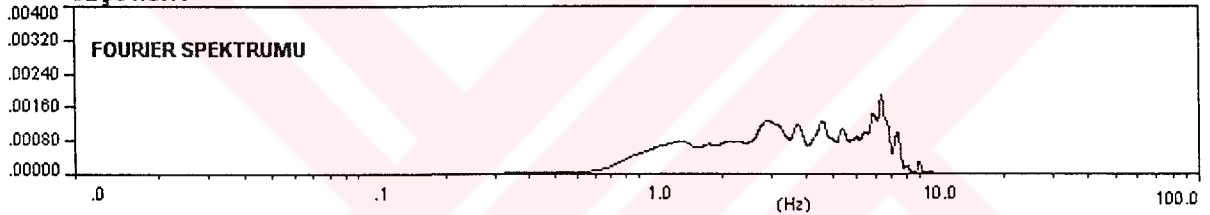
ÖLÇÜ NO:10

8.05.2003

K

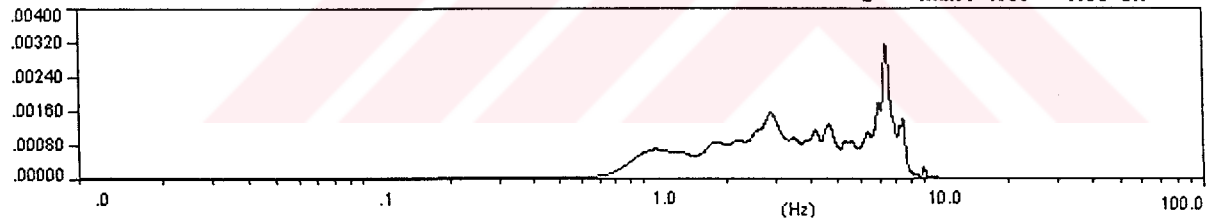
Max: .002 -- .136 sn

FOURIER SPEKTRUMU



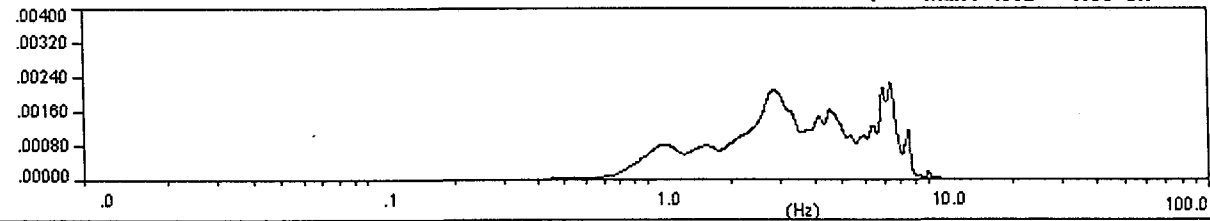
D

Max: .003 -- .135 sn



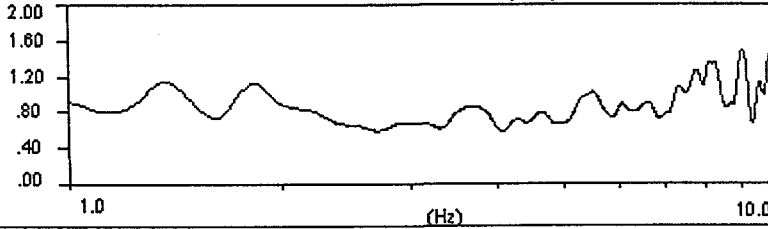
Y

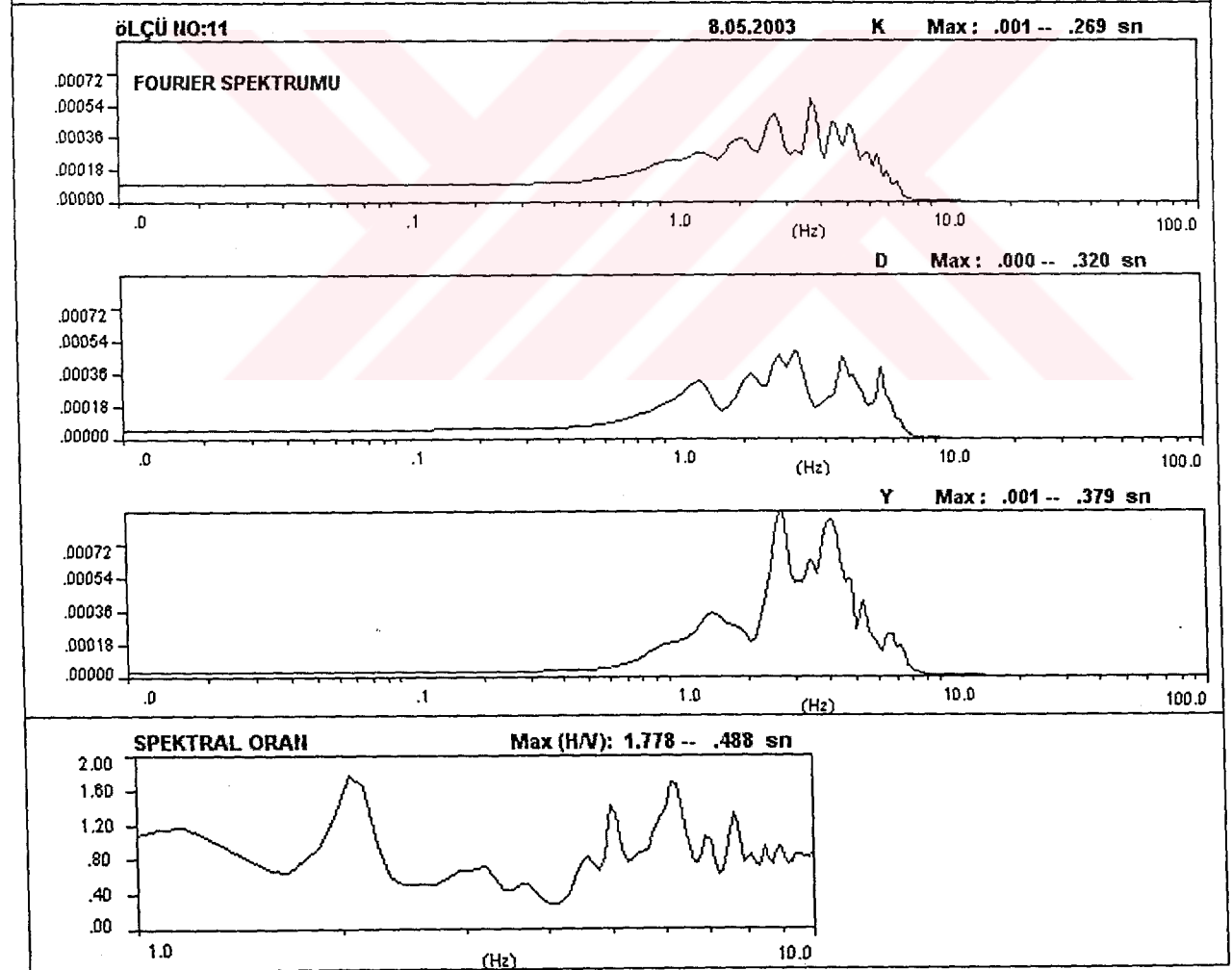
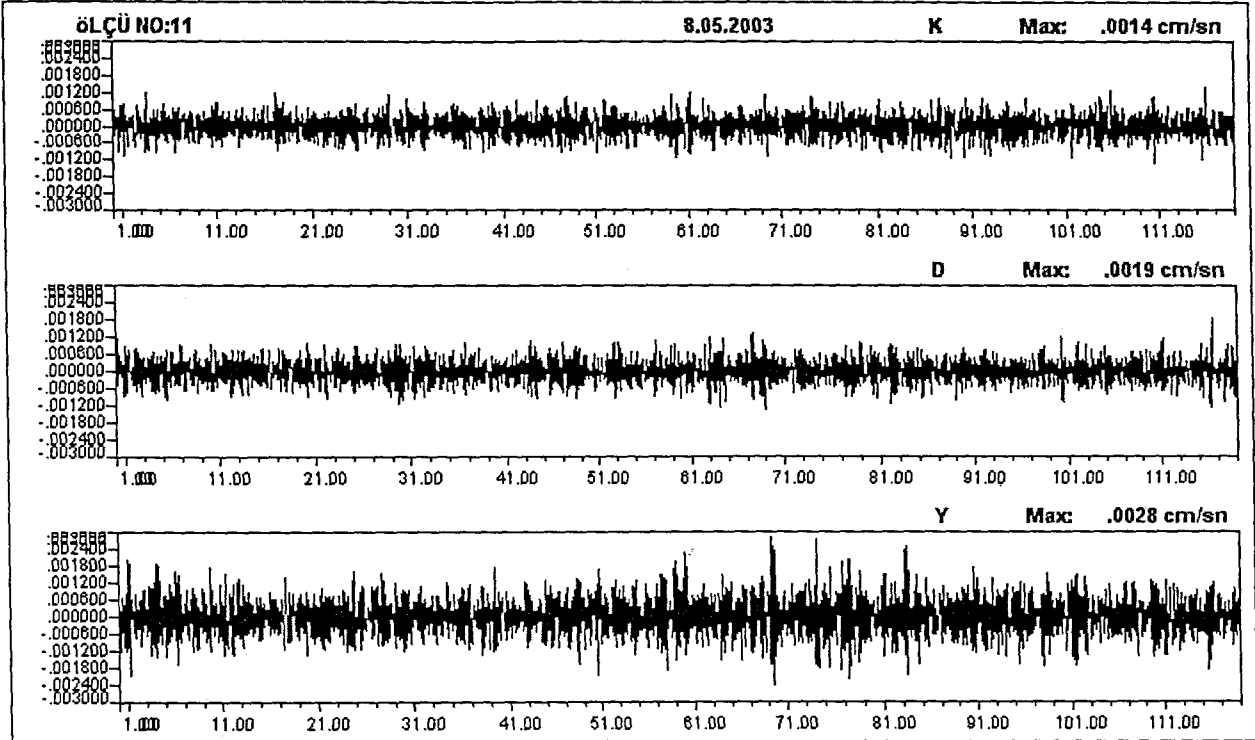
Max: .002 -- .136 sn

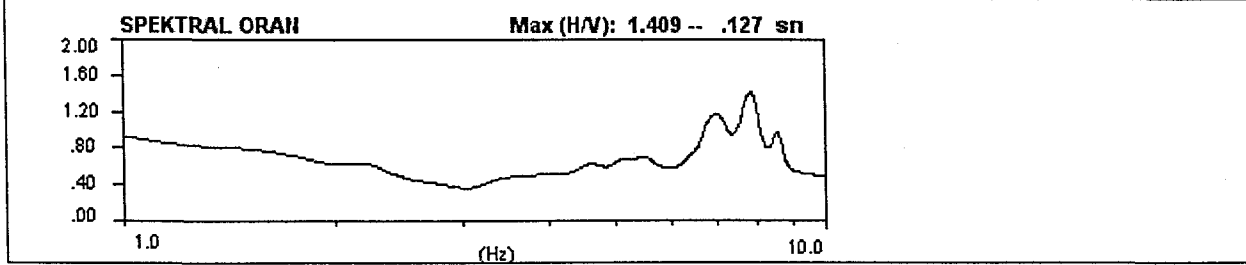
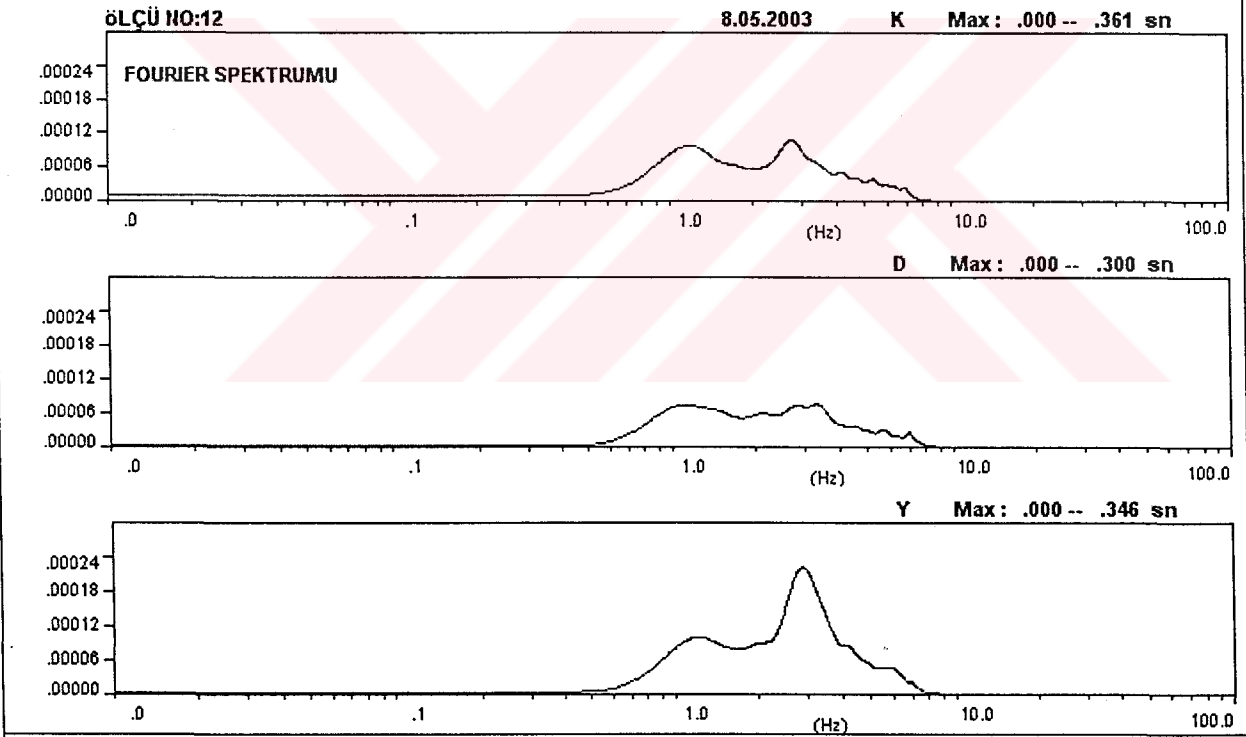
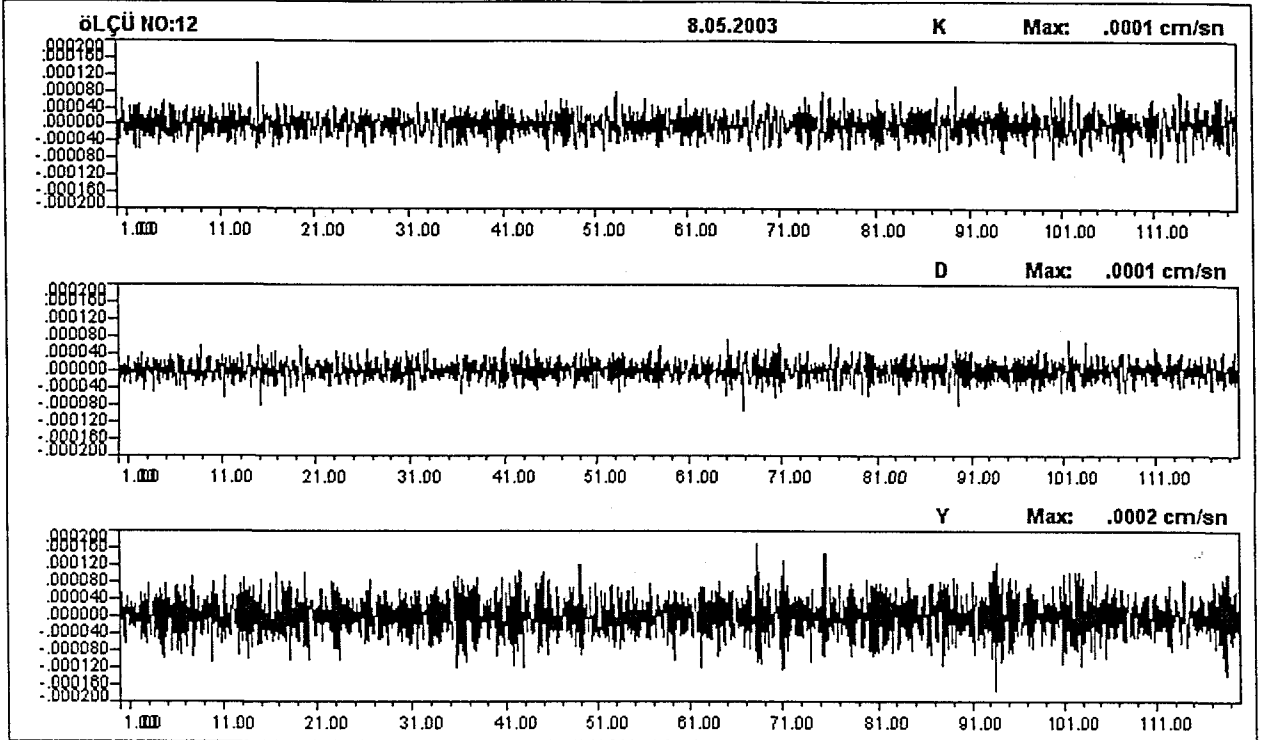


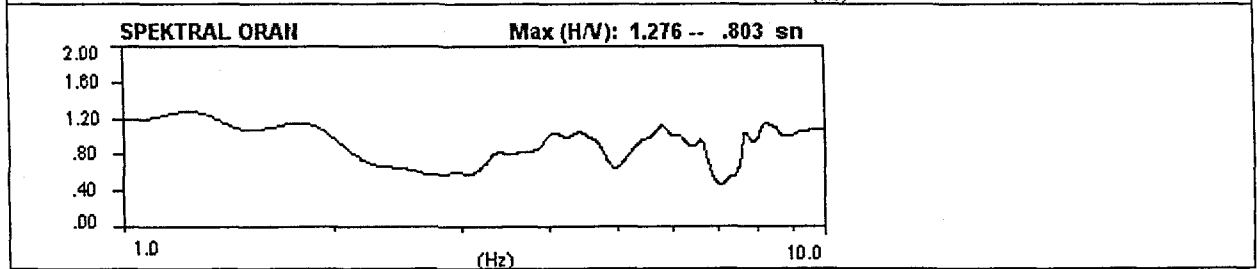
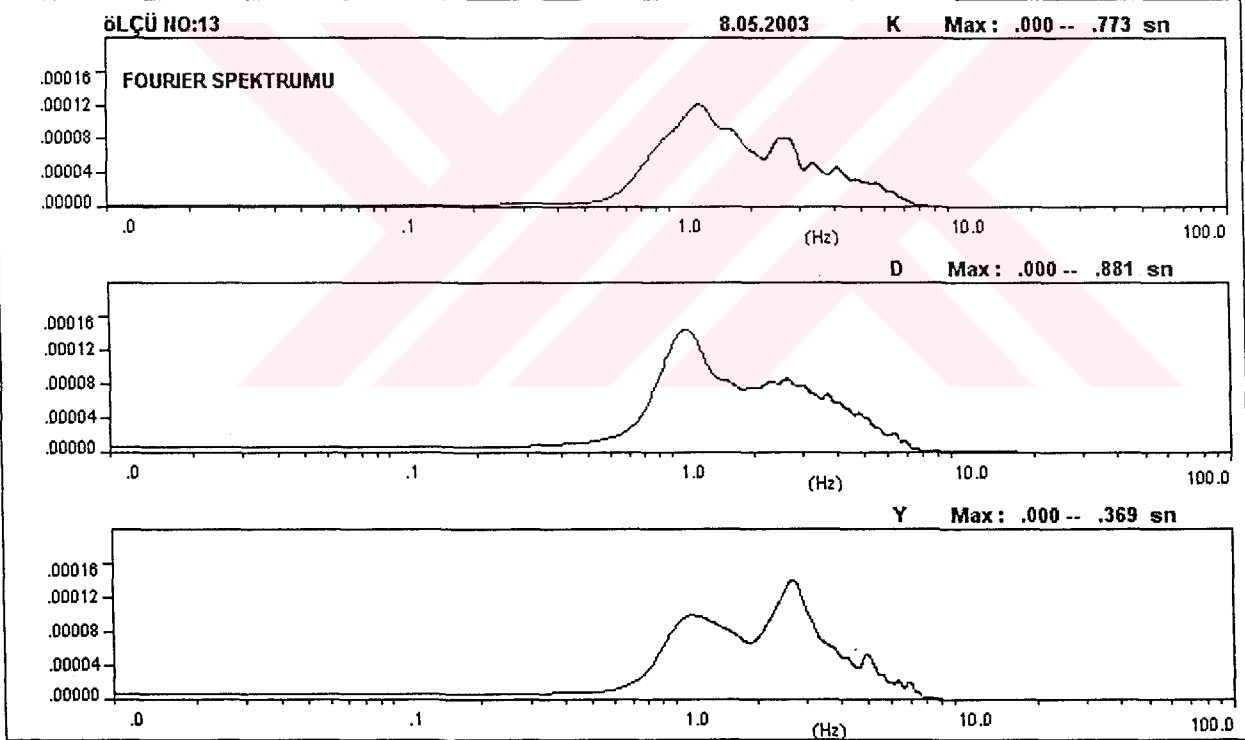
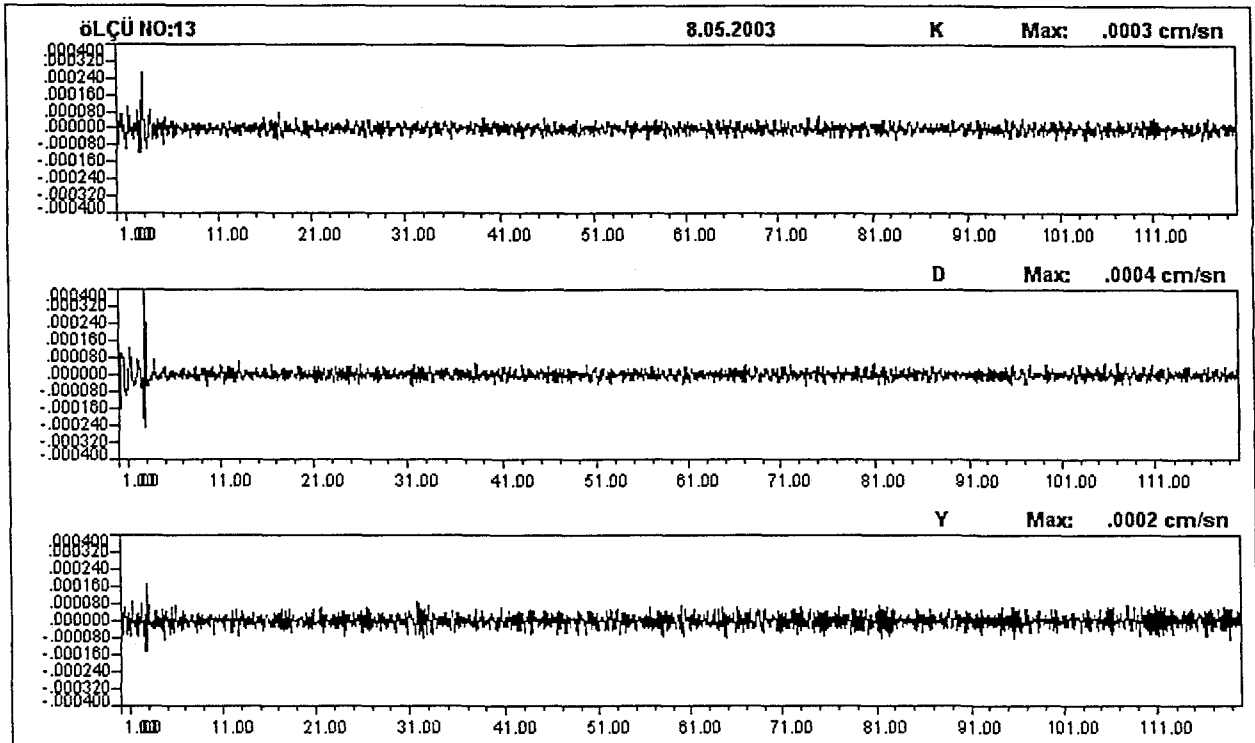
SPEKTRAL ORAN

Max (H/V): 1.485 -- .110 sn







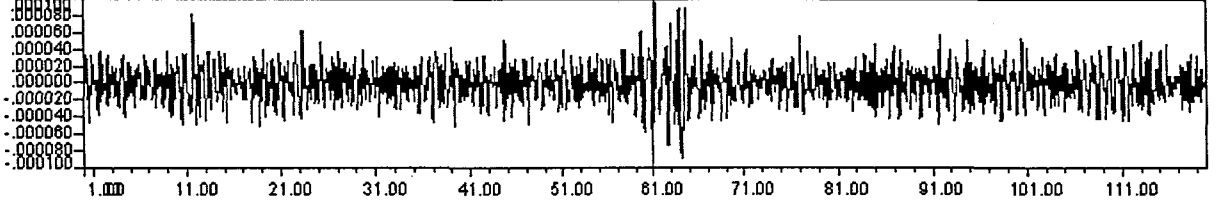


ÖLÇÜ NO:14

8.05.2003

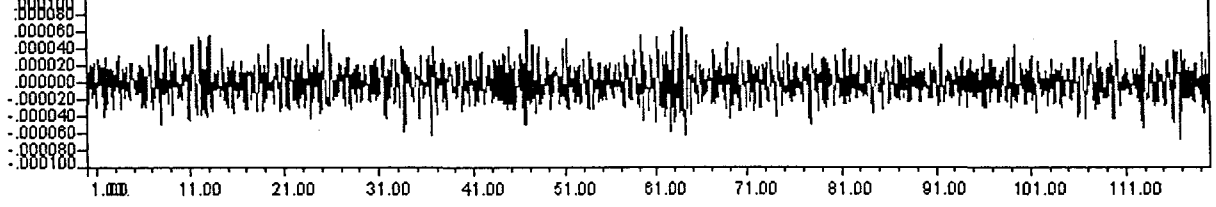
K

Max: .0001 cm/sn



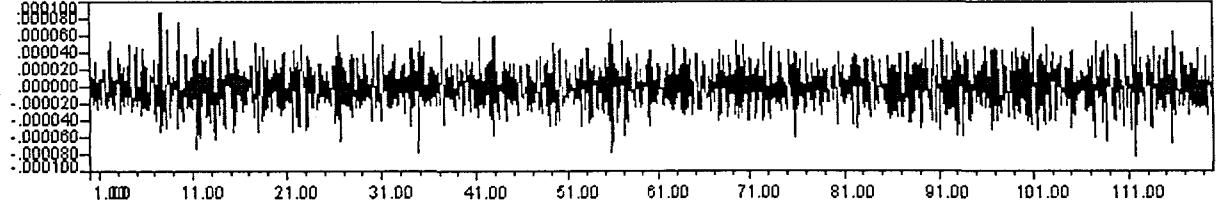
D

Max: .0001 cm/sn



Y

Max: .0001 cm/sn



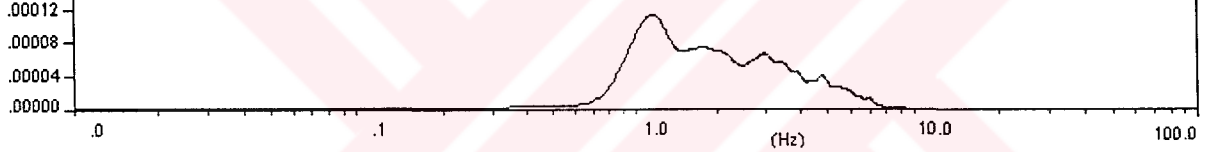
ÖLÇÜ NO:14

8.05.2003

K

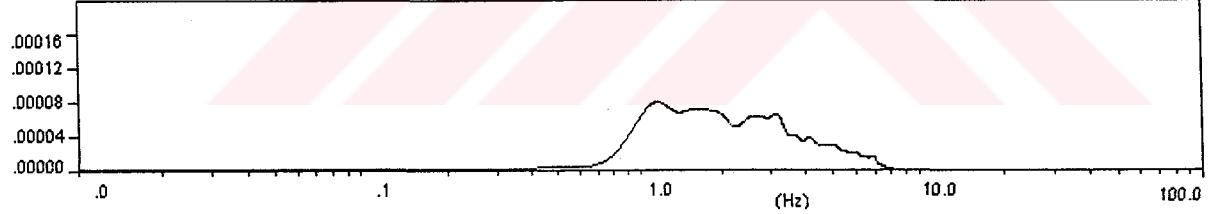
Max: .000 -- .862 sn

FOURIER SPEKTRUMU



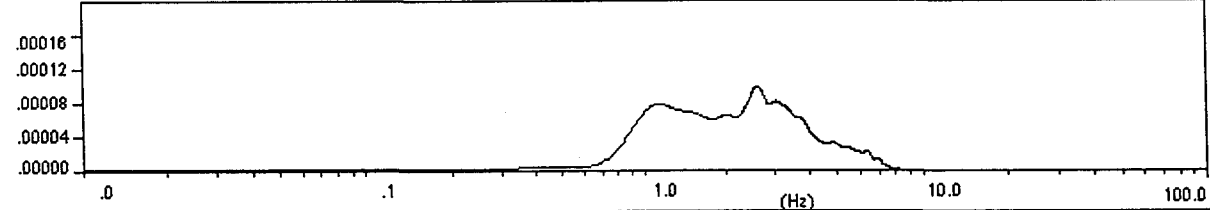
D

Max: .000 -- .853 sn



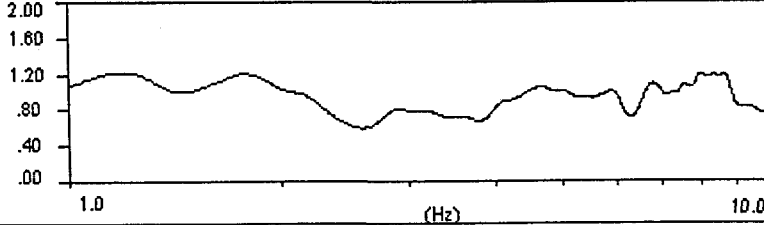
Y

Max: .000 -- .379 sn



SPEKTRAL ORAN

Max (H/V): 1.223 -- .836 sn

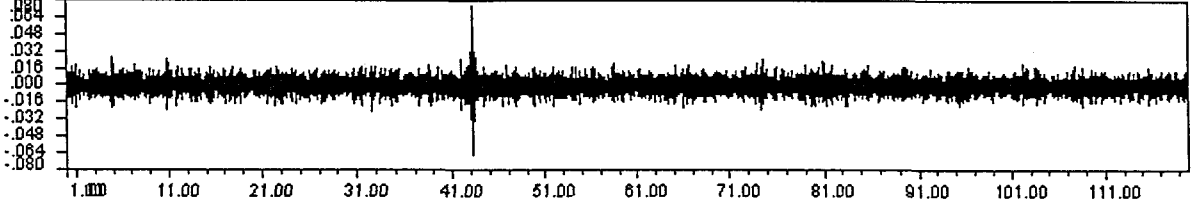


6LCÜ NO:15

8.05.2003

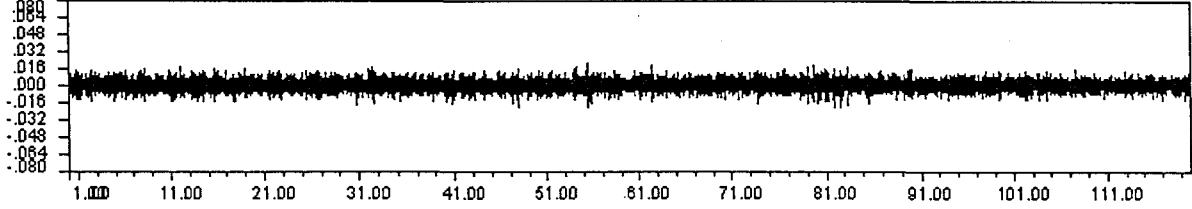
K

Max: .0739 cm/sn



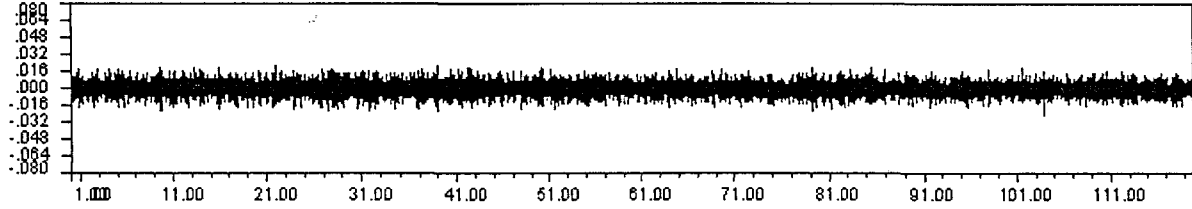
D

Max: .0212 cm/sn



Y

Max: .0243 cm/sn

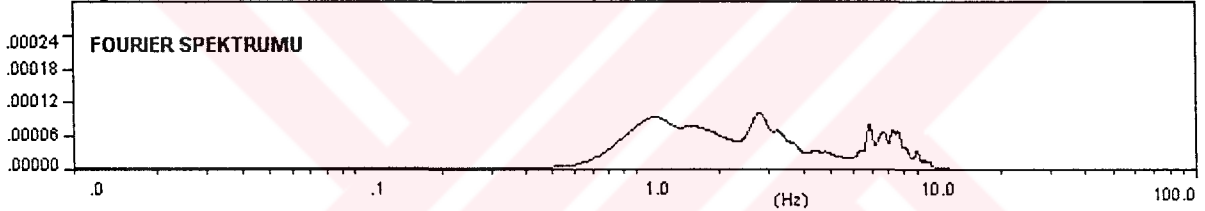


6LCÜ NO:15

8.05.2003

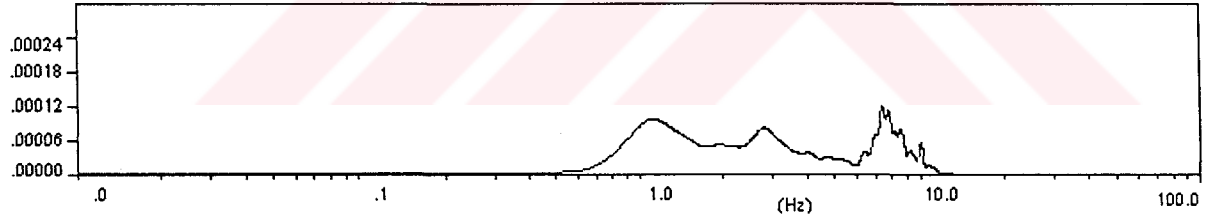
K

Max: .000 -- .358 sn



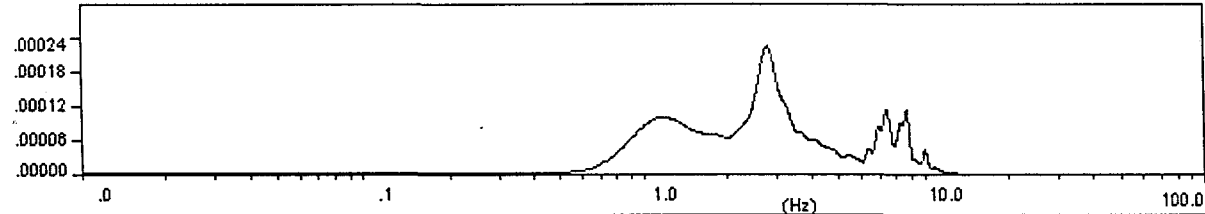
D

Max: .000 -- .136 sn



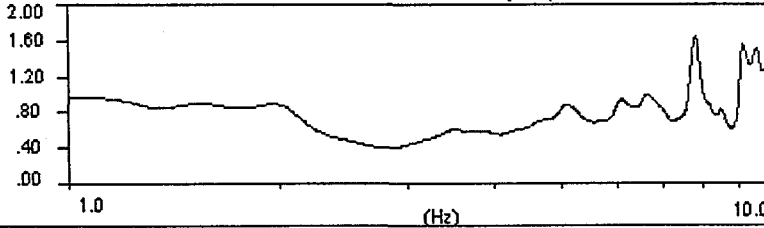
Y

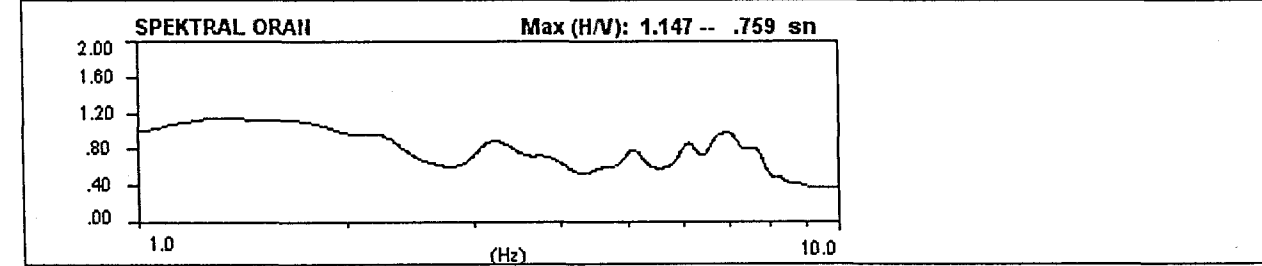
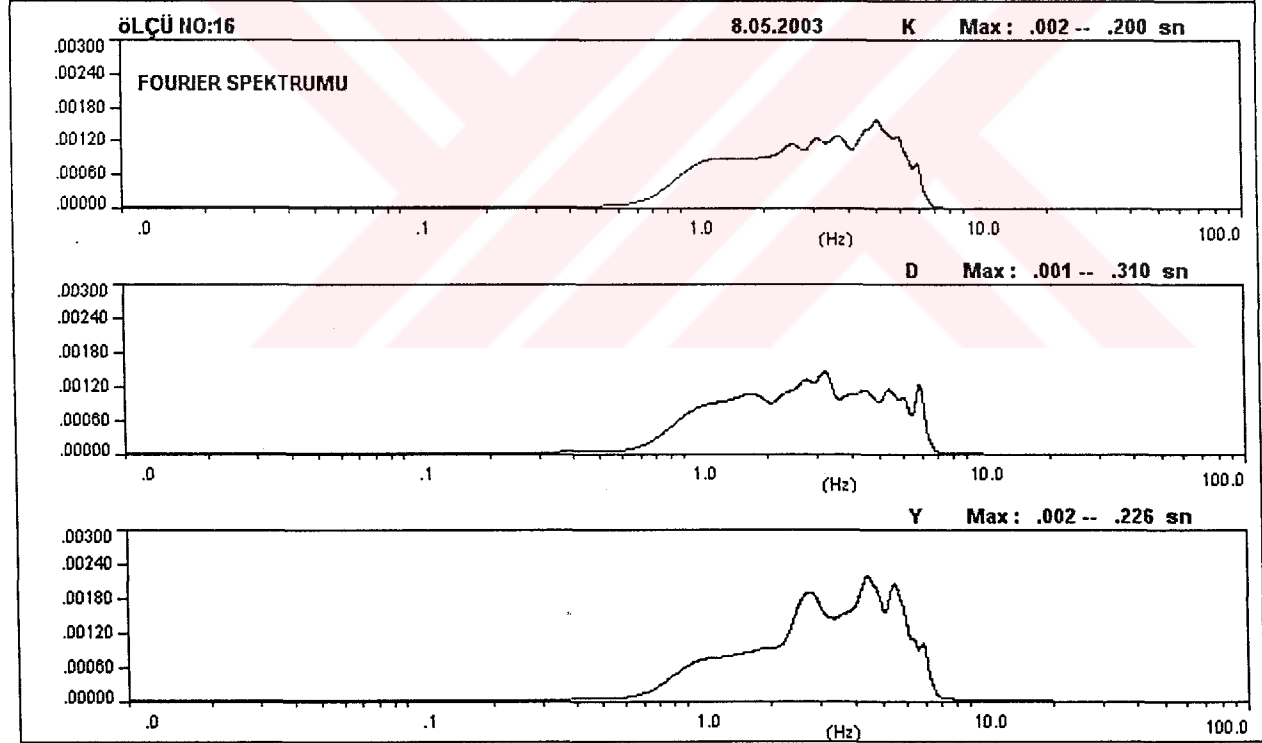
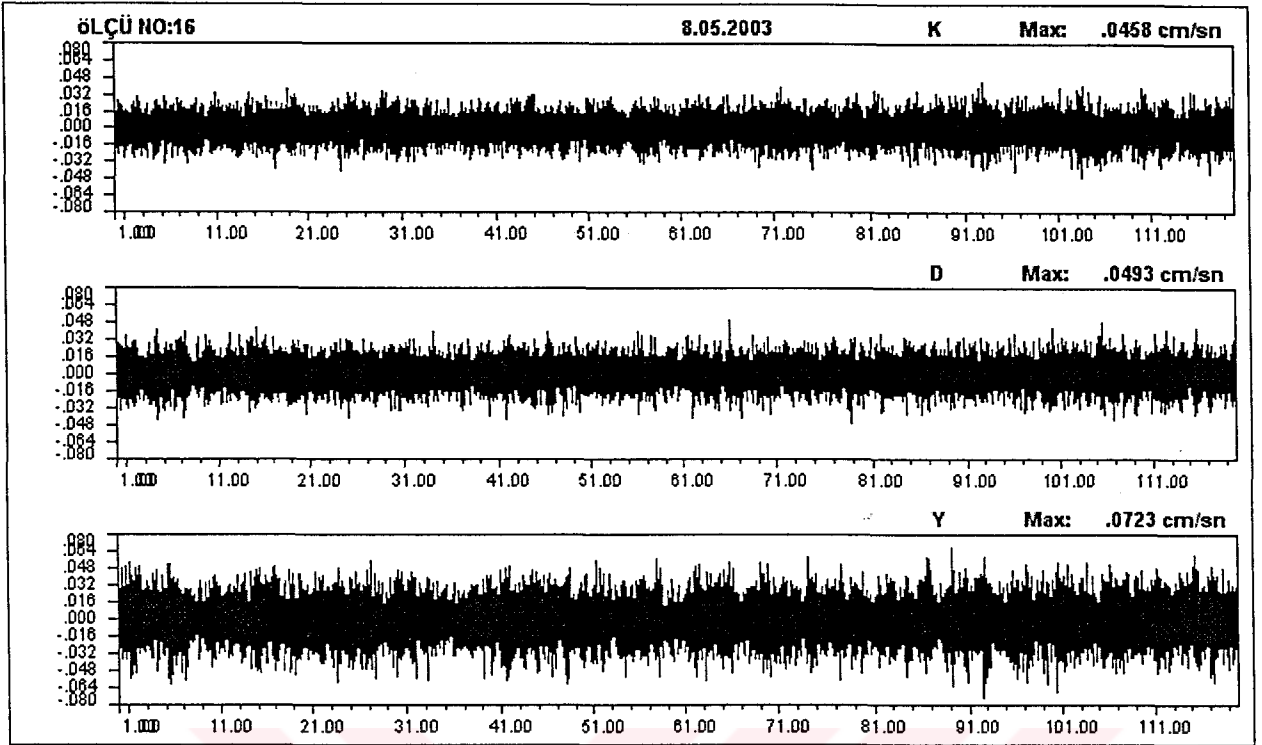
Max: .000 -- .356 sn



SPEKTRAL ORAN

Max (H/V): 1.643 -- .128 sn



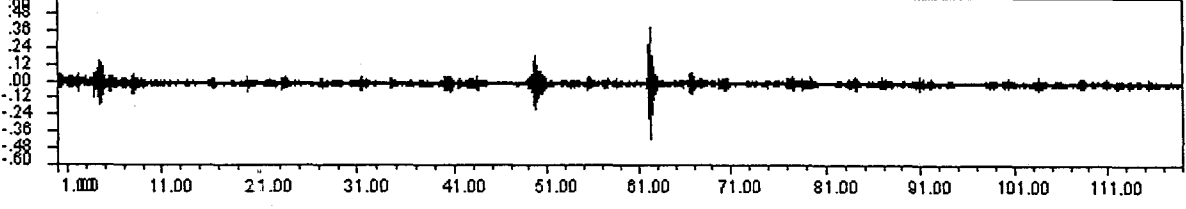


ölçü NO:17

8.05.2003

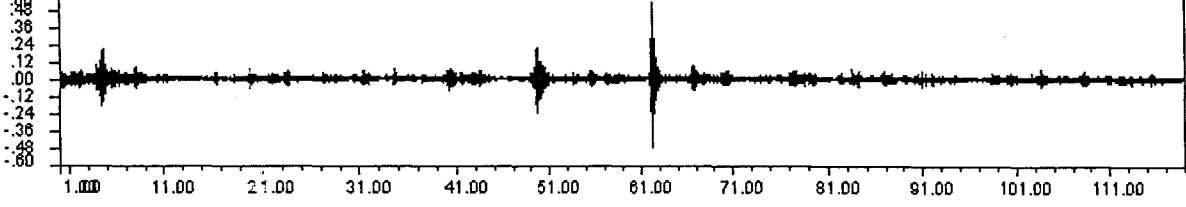
K

Max: .4104 cm/sn



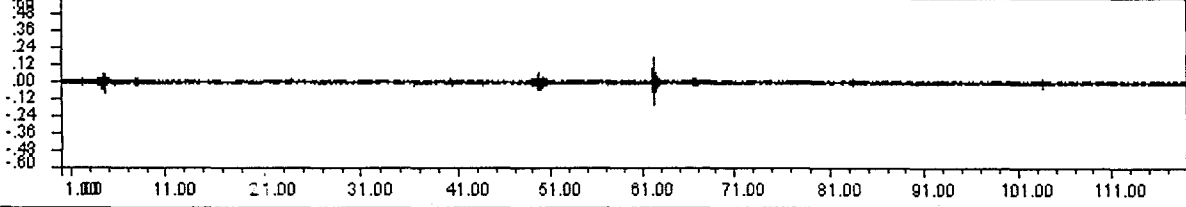
D

Max: .5521 cm/sn



Y

Max: .1749 cm/sn



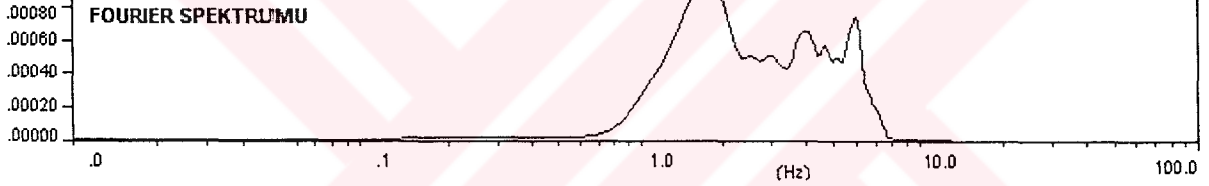
ölçü NO:17

8.05.2003

K

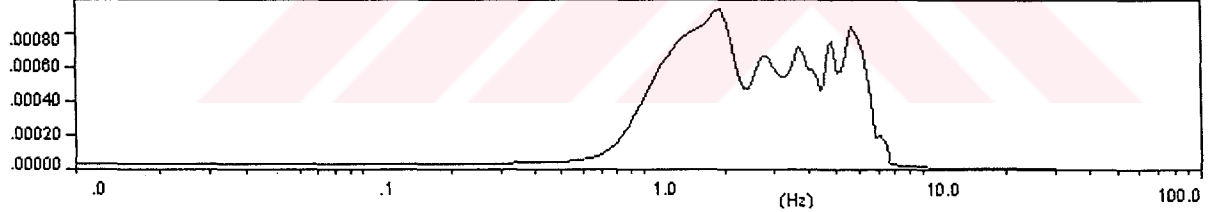
Max: .001 -- .539 sn

FOURIER SPEKTRÜ/MU



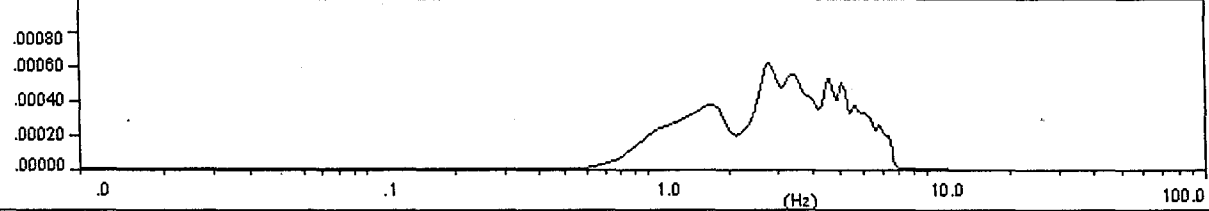
D

Max: .001 -- .512 sn



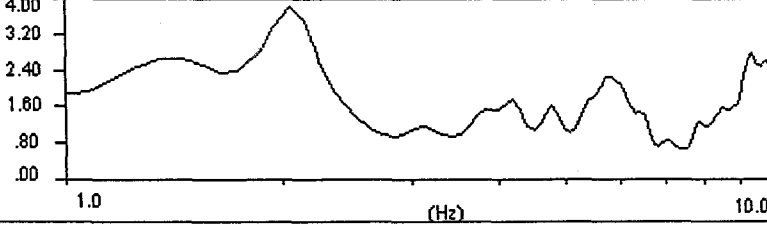
Y

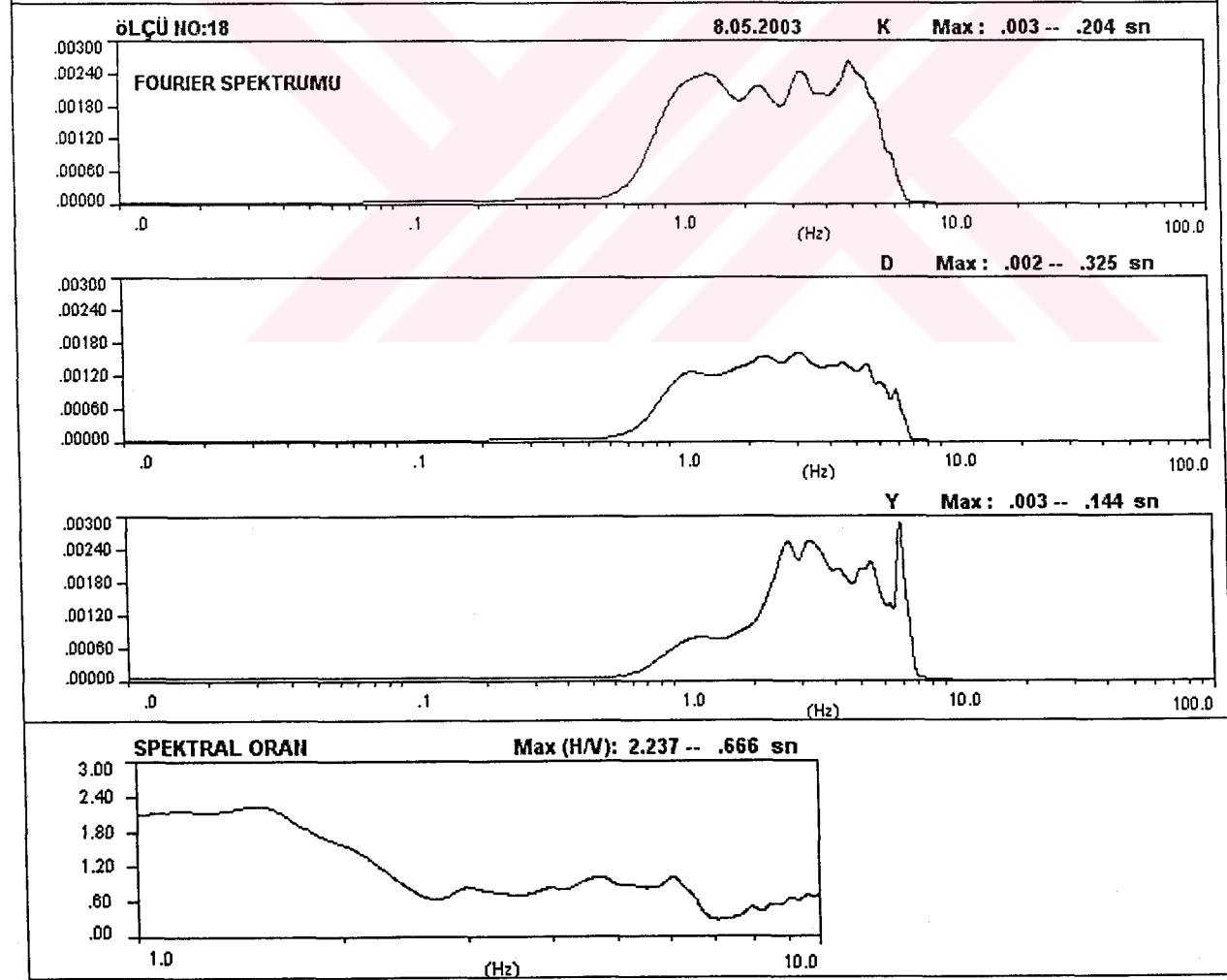
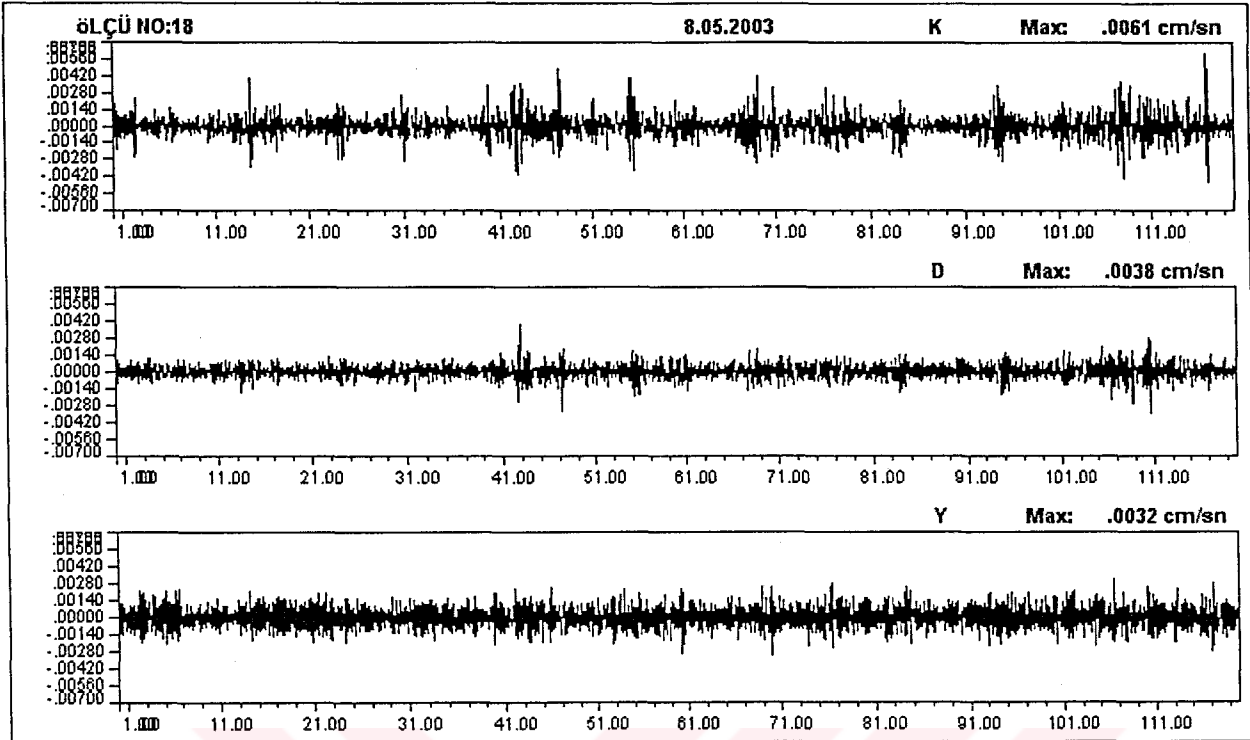
Max: .001 -- .353 sn



SPEKTRAL ORAN

Max (H/V): 3.842 -- .488 sn



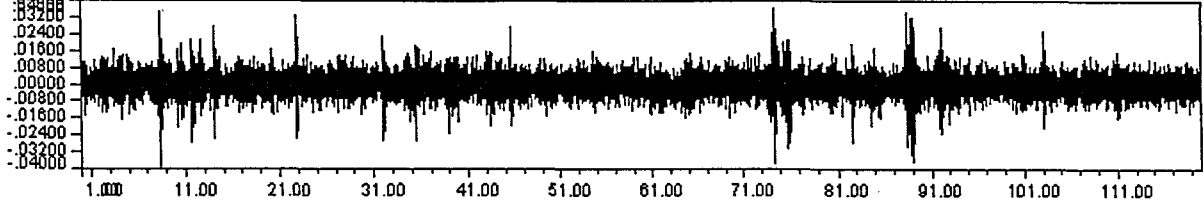


6LÇÜ NO:19

8.05.2003

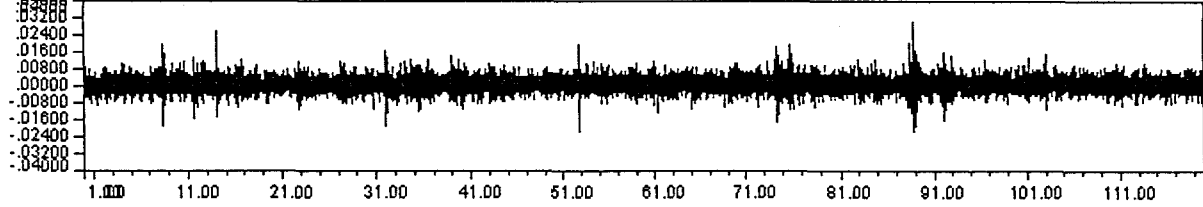
K

Max: .0390 cm/sn



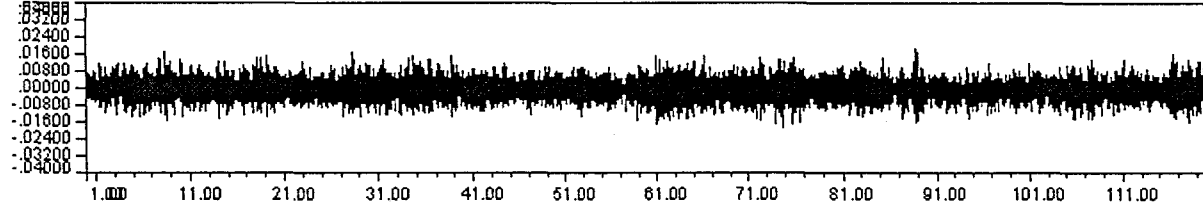
D

Max: .0301 cm/sn



Y

Max: .0185 cm/sn



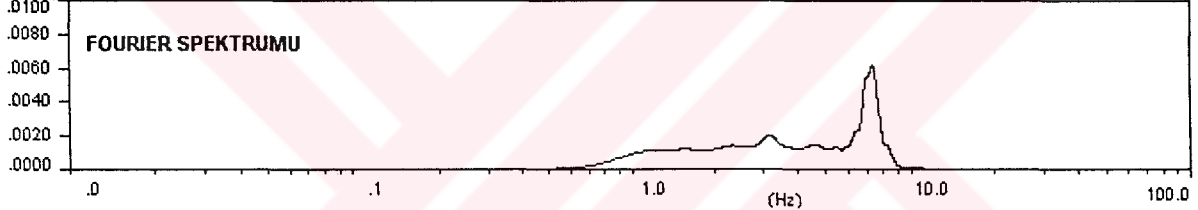
6LÇÜ NO:19

8.05.2003

K

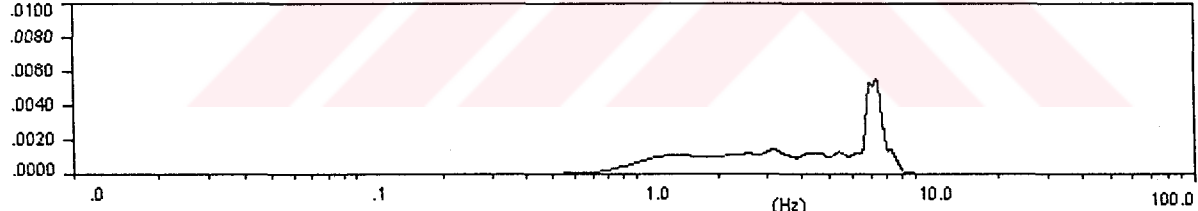
Max: .006 -- .136 sn

FOURIER SPEKTRUMU



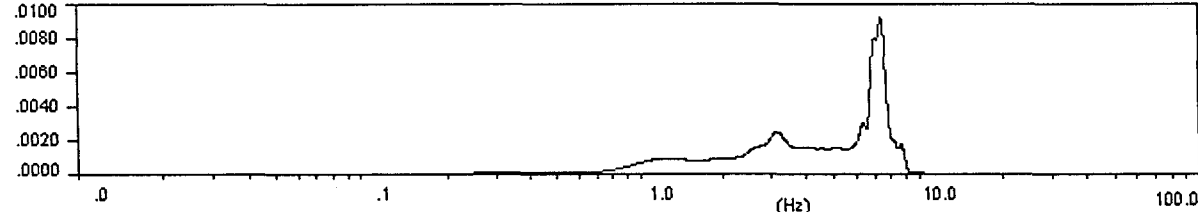
D

Max: .006 -- .136 sn



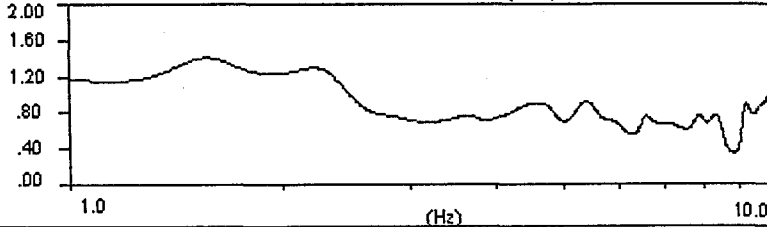
Y

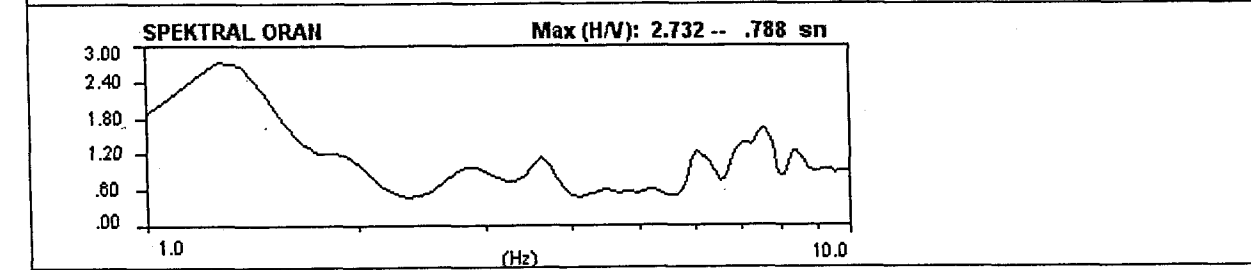
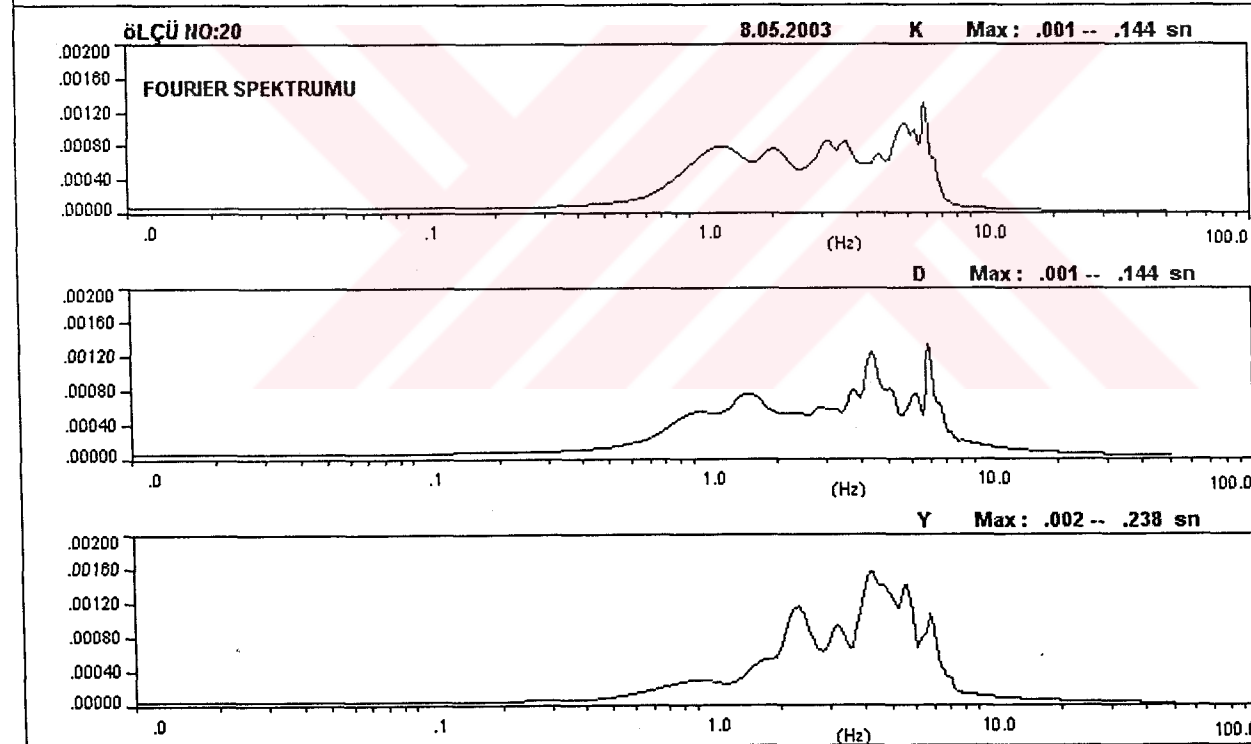
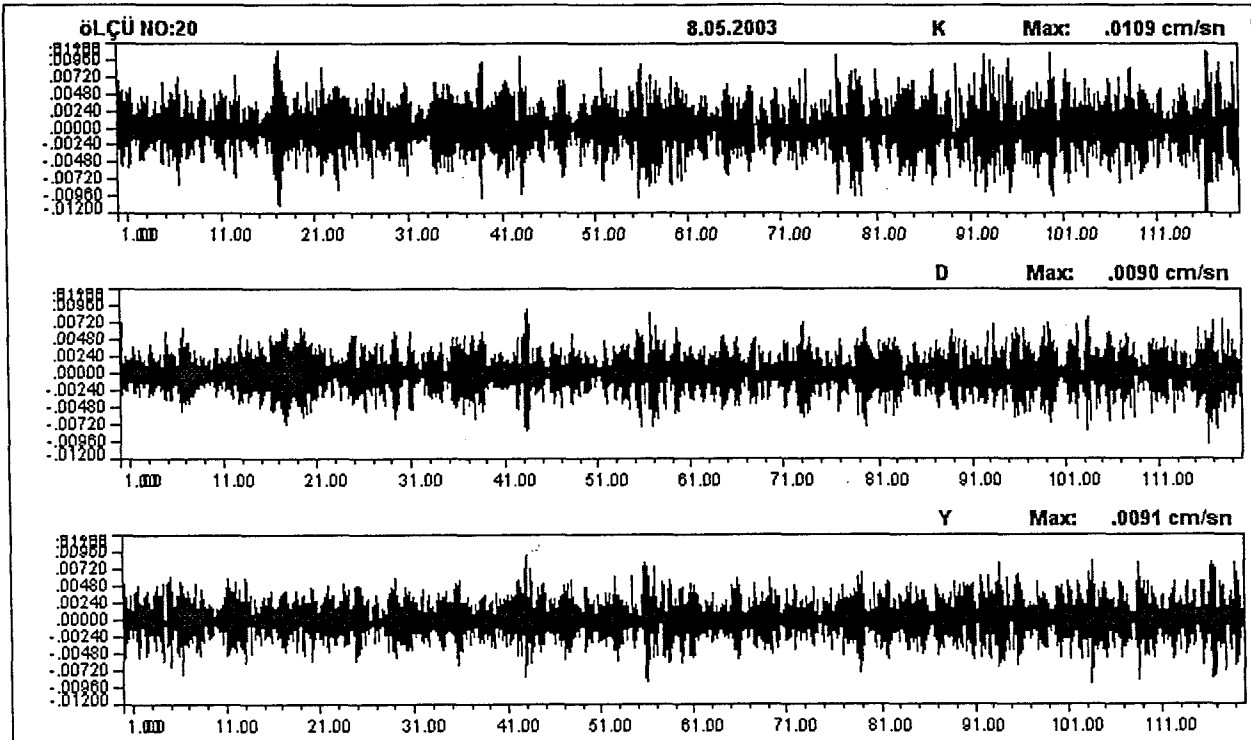
Max: .009 -- .136 sn



SPEKTRAL ORAN

Max (H/V): 1.406 -- .640 sn



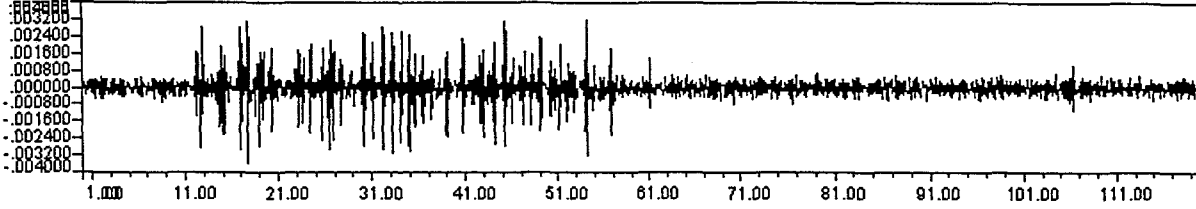


6LÇÜ NO:21

8.05.2003

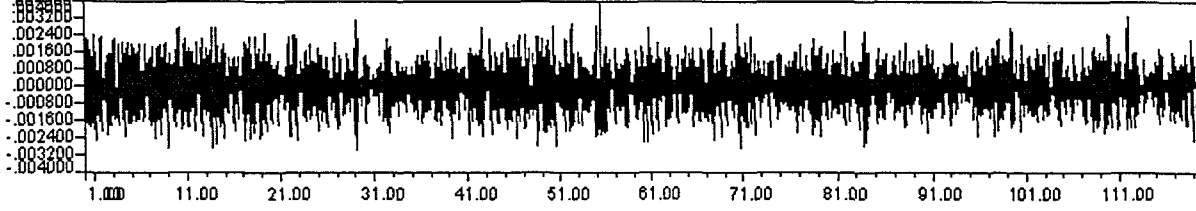
K

Max: .0032 cm/sn



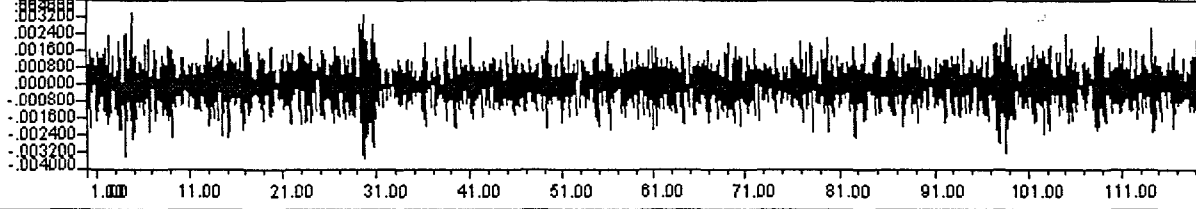
D

Max: .0040 cm/sn



Y

Max: .0034 cm/sn

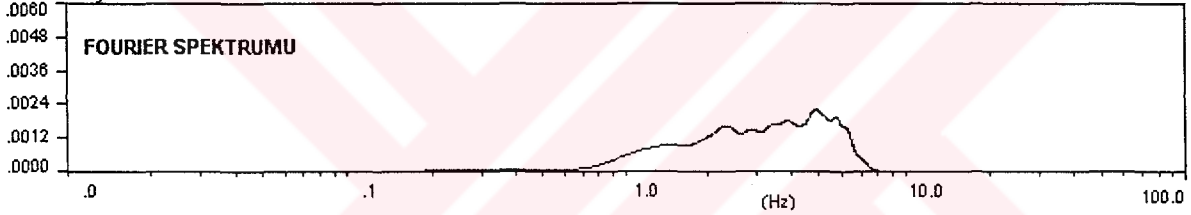


6LÇÜ NO:21

8.05.2003

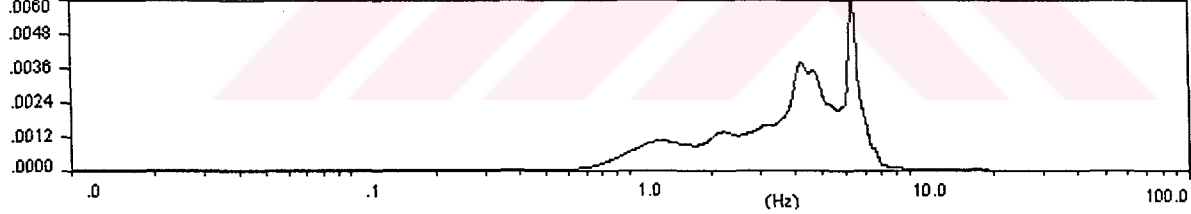
K

Max: .002 -- .206 sn



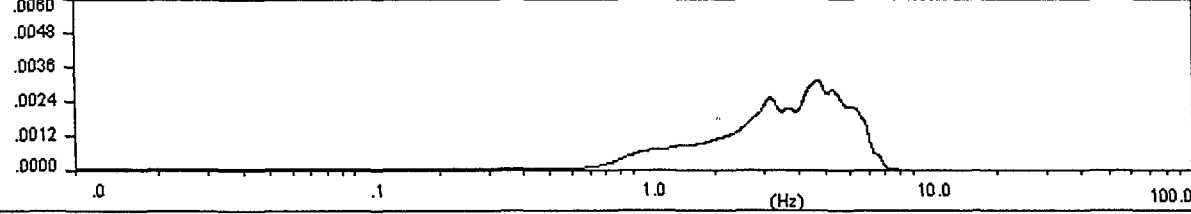
D

Max: .006 -- .158 sn



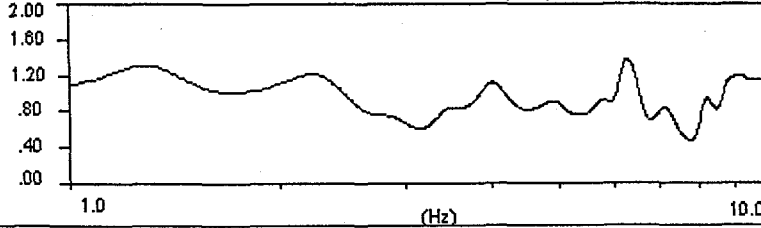
Y

Max: .003 -- .213 sn



SPEKTRAL ORAN

Max (H/V): 1.369 -- .158 sn

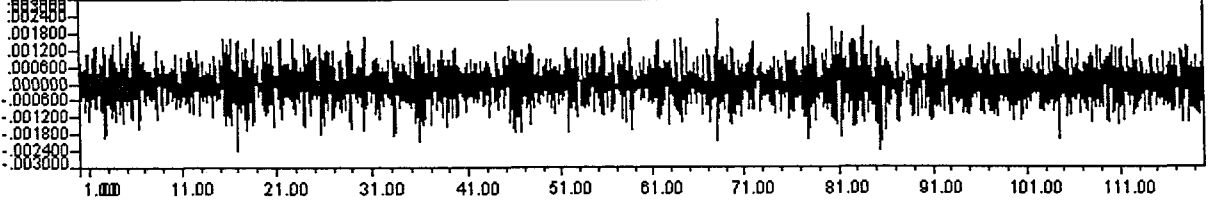


ÖLÇÜ NO:22

8.05.2003

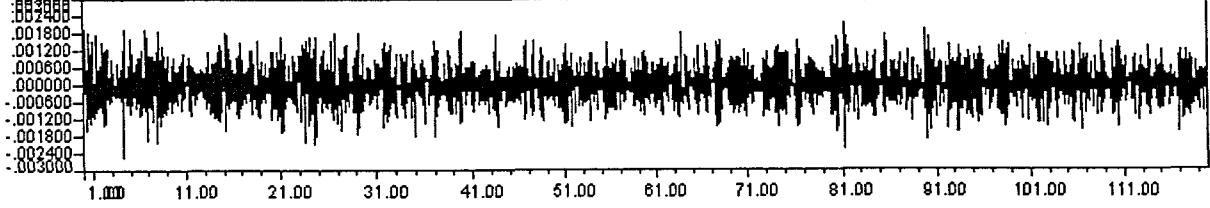
K

Max: .0025 cm/sn



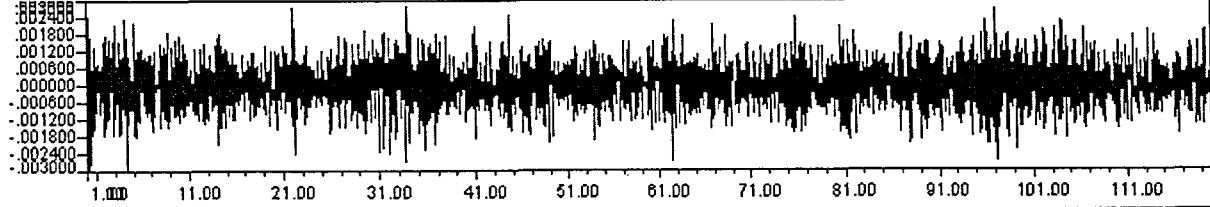
D

Max: .0021 cm/sn



Y

Max: .0028 cm/sn

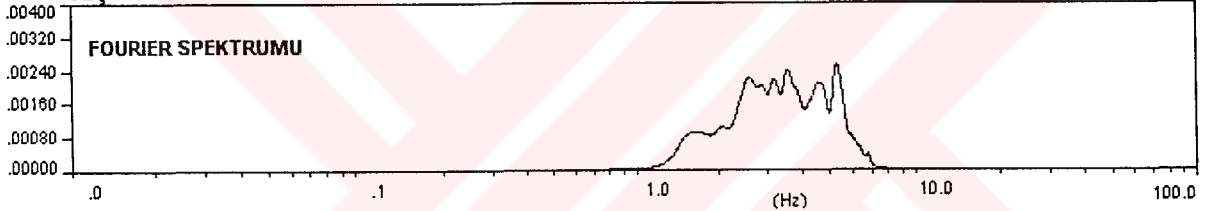


ÖLÇÜ NO:22

8.05.2003

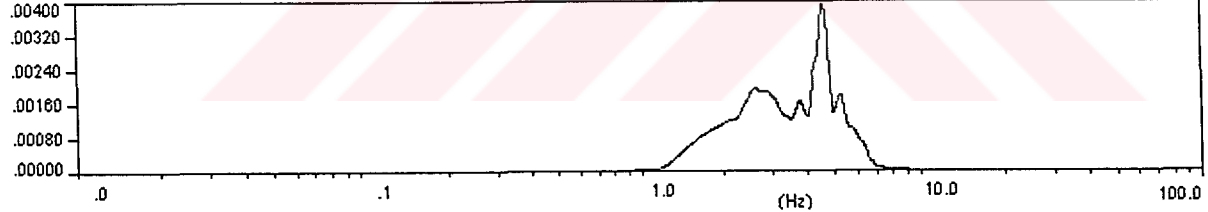
K

Max: .003 -- .189 sn



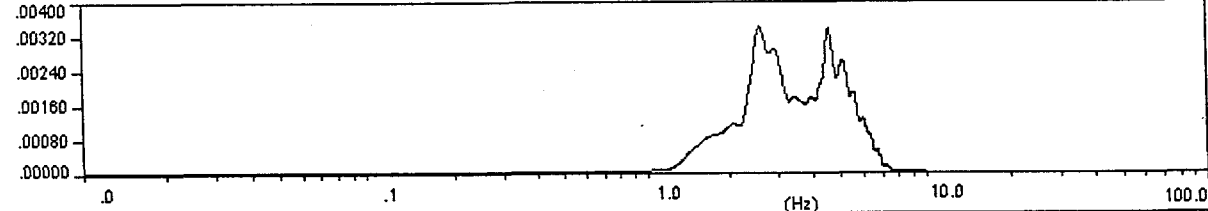
D

Max: .004 -- .219 sn



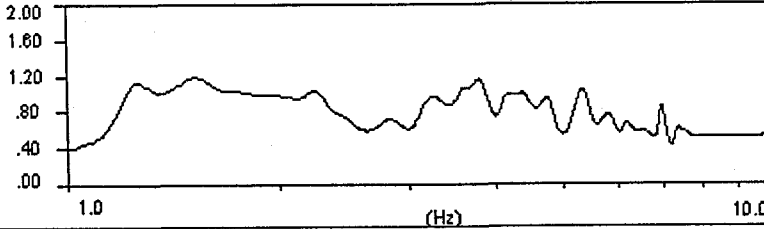
Y

Max: .003 -- .381 sn



SPEKTRAL ORAN

Max (H/V): 1.188 -- .655 sn

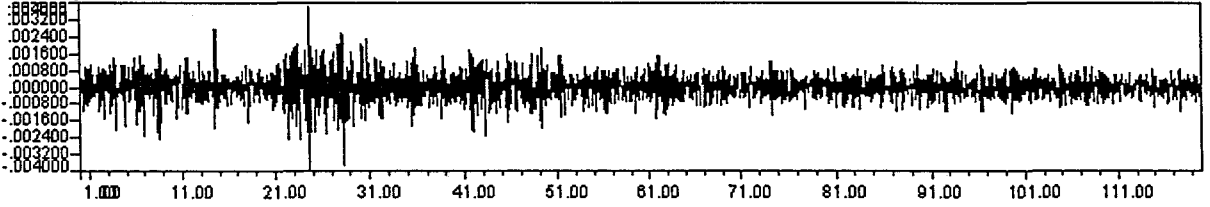


6LÇÜ NO:23

8.05.2003

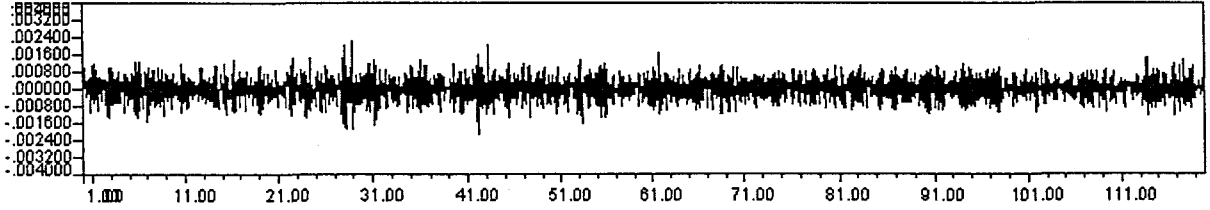
K

Max: .0038 cm/sn



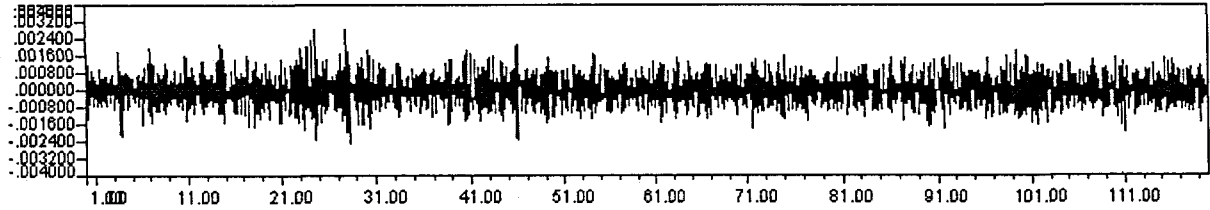
D

Max: .0022 cm/sn



Y

Max: .0028 cm/sn



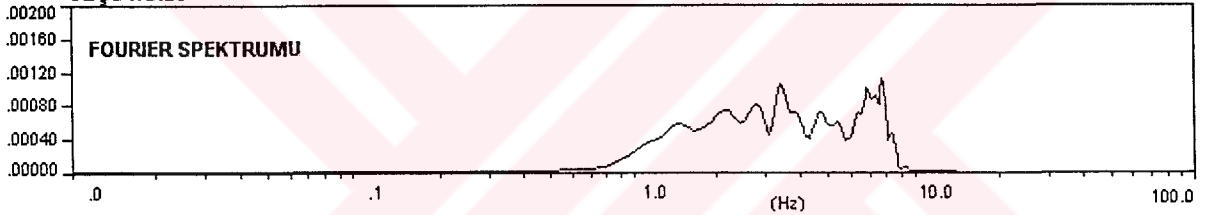
6LÇÜ NO:23

8.05.2003

K

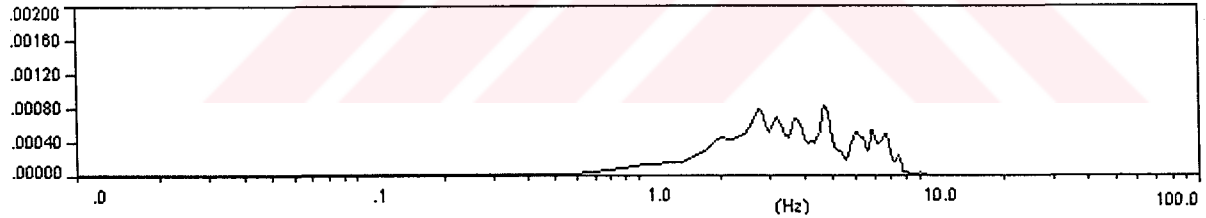
Max: .001 -- .130 sn

FOURIER SPEKTRUMU



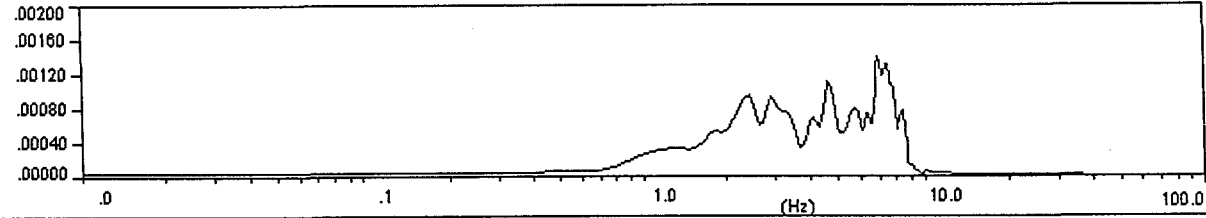
D

Max: .001 -- .213 sn



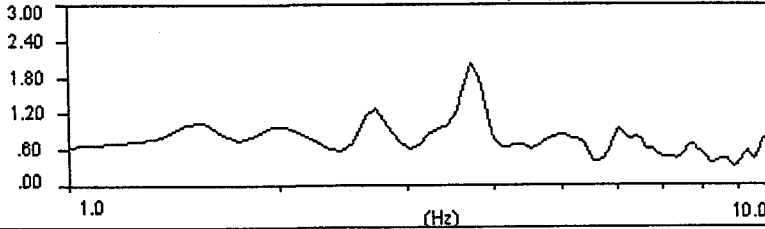
Y

Max: .001 -- .144 sn



SPEKTRAL ORAN

Max (H/V): 2.017 -- .269 sn

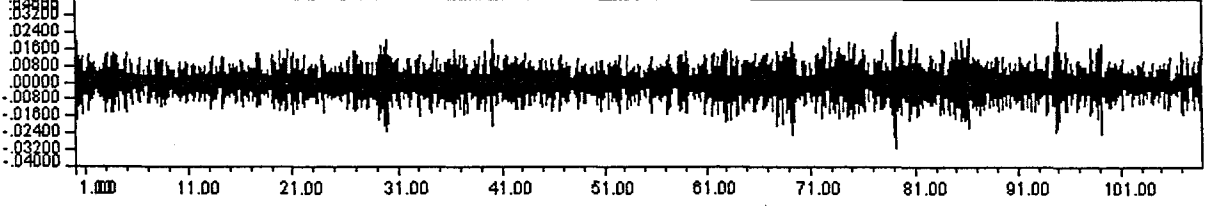


HB1/18 YÖNETİM BİN.

07.05.2003

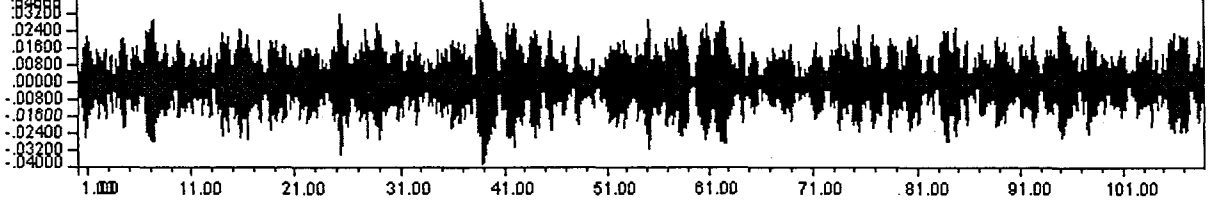
K

Max: .0290 cm/sn



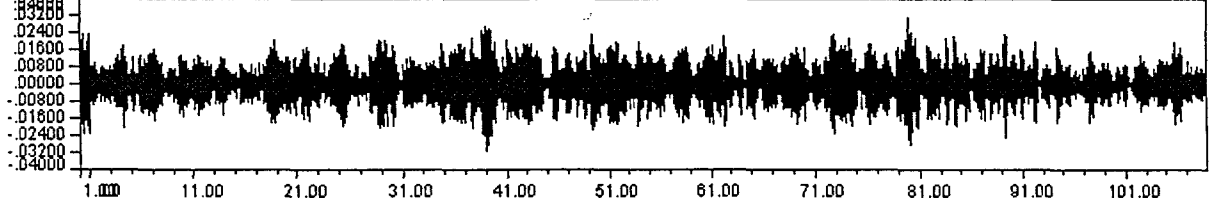
D

Max: .0398 cm/sn



Y

Max: .0311 cm/sn



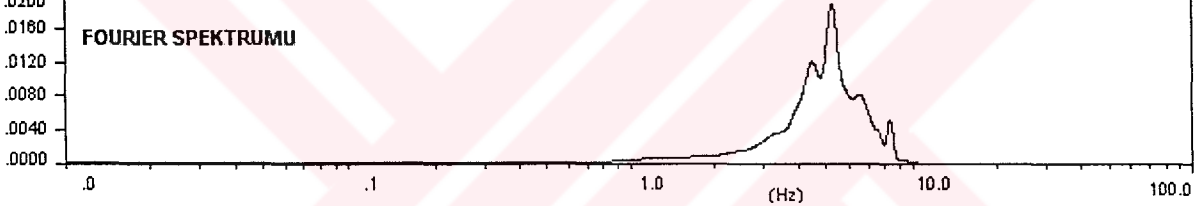
HB1/18 YÖNETİM BİN.

07.05.2003

K

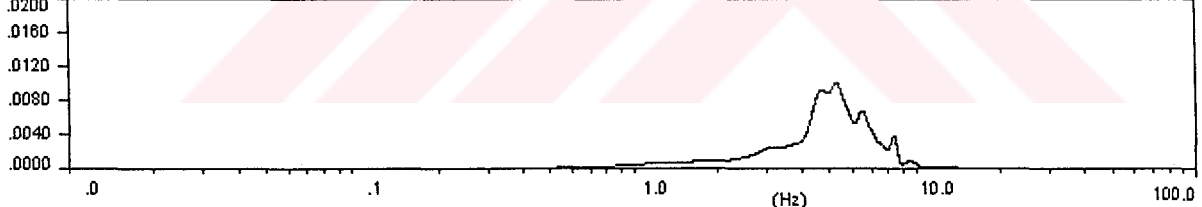
Max: .019 -- .191 sn

FOURIER SPEKTRUMU



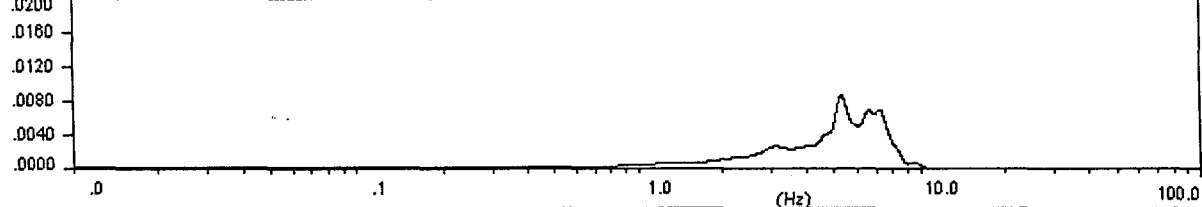
D

Max: .010 -- .189 sn



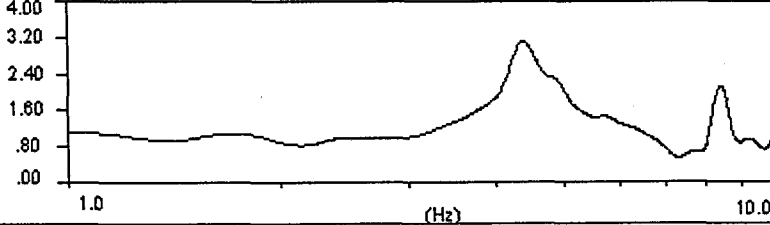
Y

Max: .009 -- .188 sn



SPEKTRAL ORAN

Max (H/V): 3.112 -- .228 sn

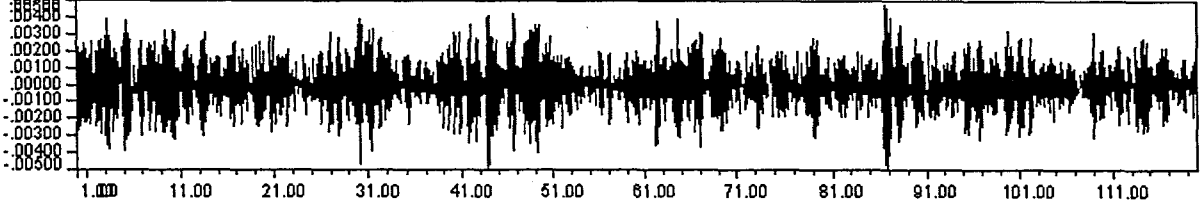


HB1/19 YÖNETİM BİN.

07.05.2003

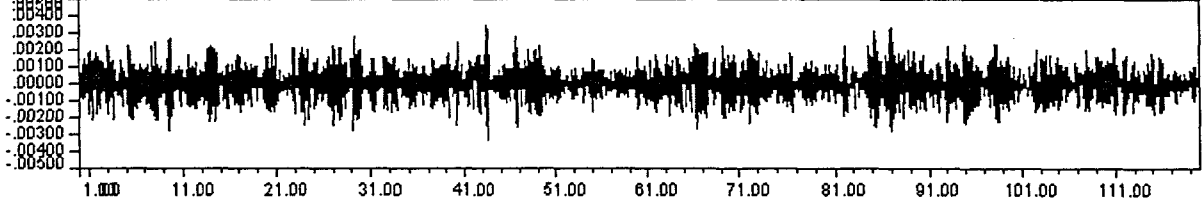
K

Max: .0048 cm/sn



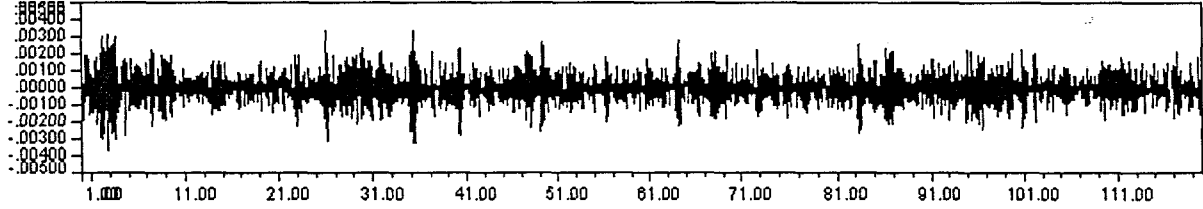
D

Max: .0034 cm/sn



Y

Max: .0033 cm/sn



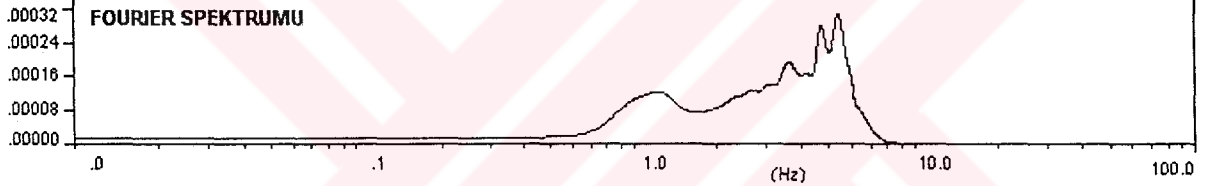
HB1/19 YÖNETİM BİN.

07.05.2003

K

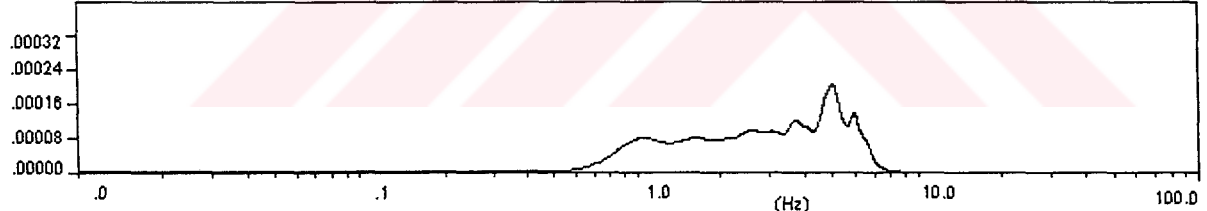
Max: .000 -- .185 sn

FOURIER SPEKTRUMU



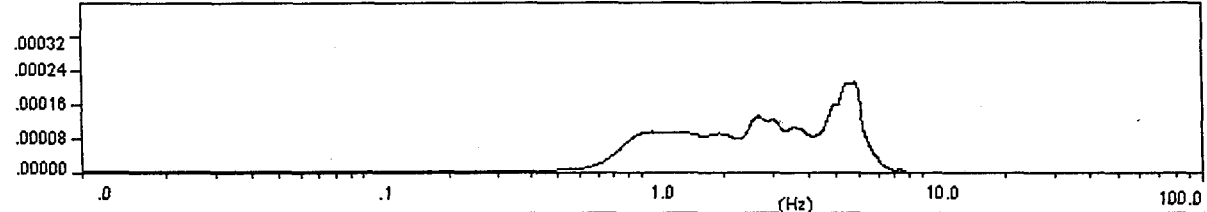
D

Max: .000 -- .199 sn



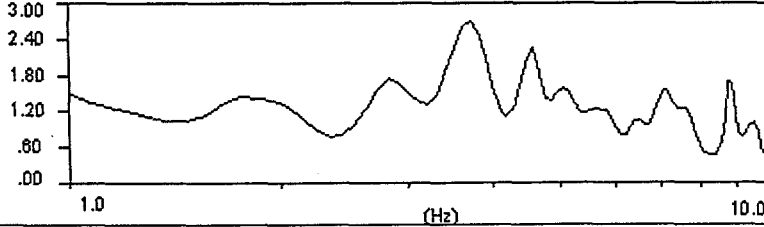
Y

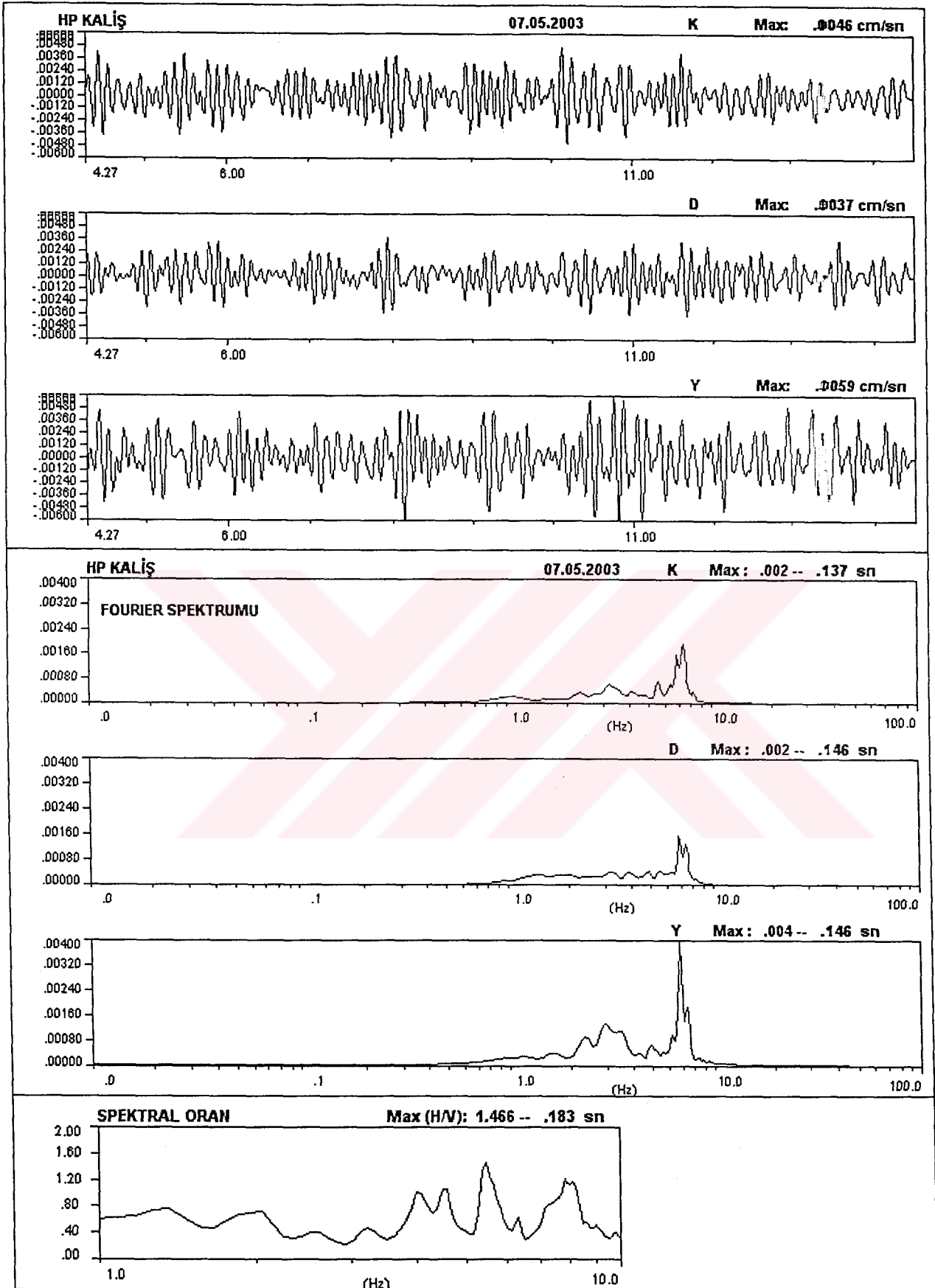
Max: .000 -- .172 sn

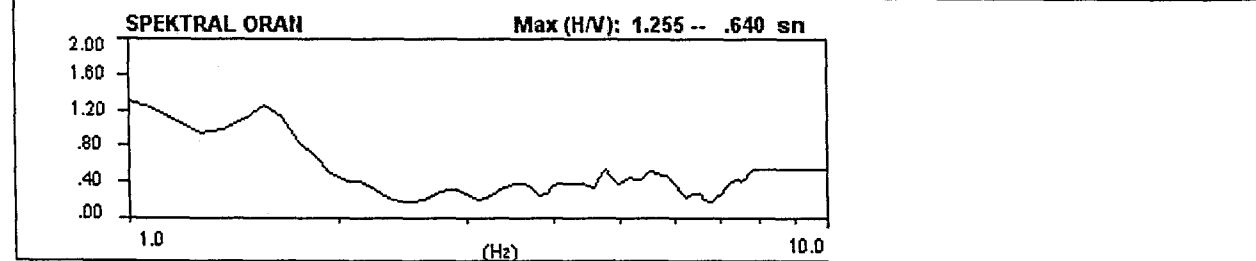
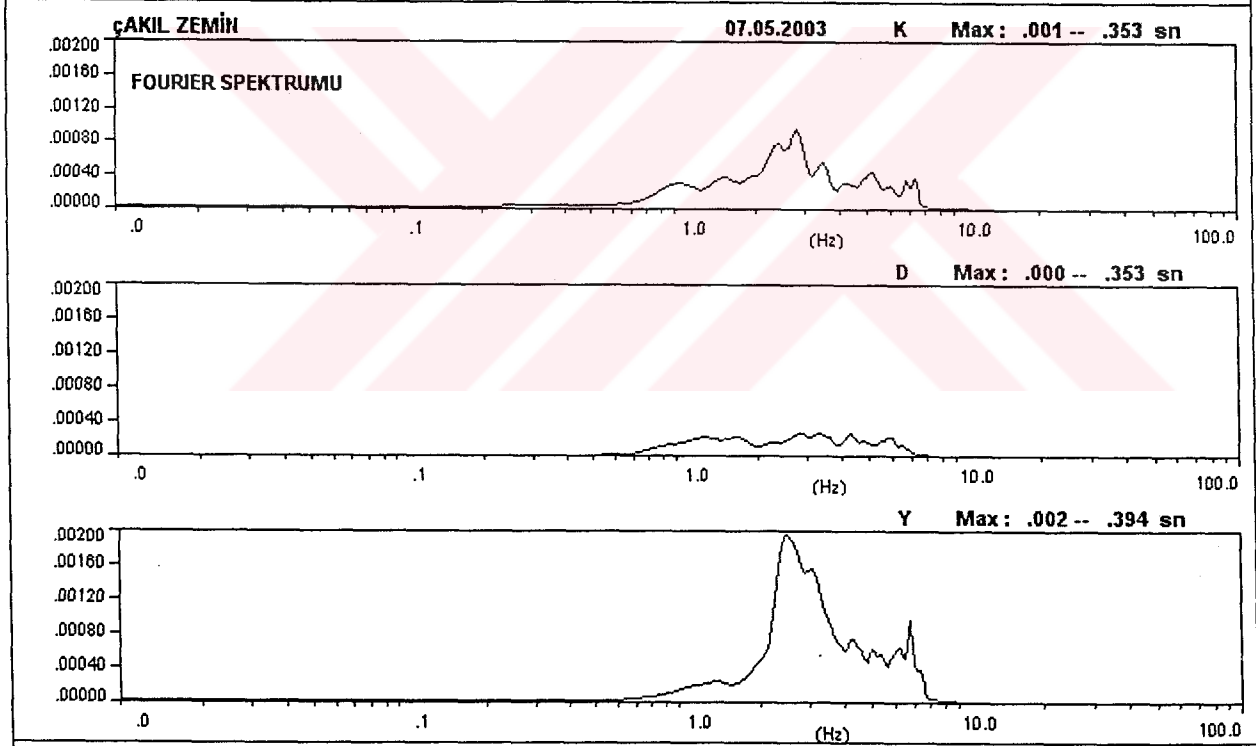
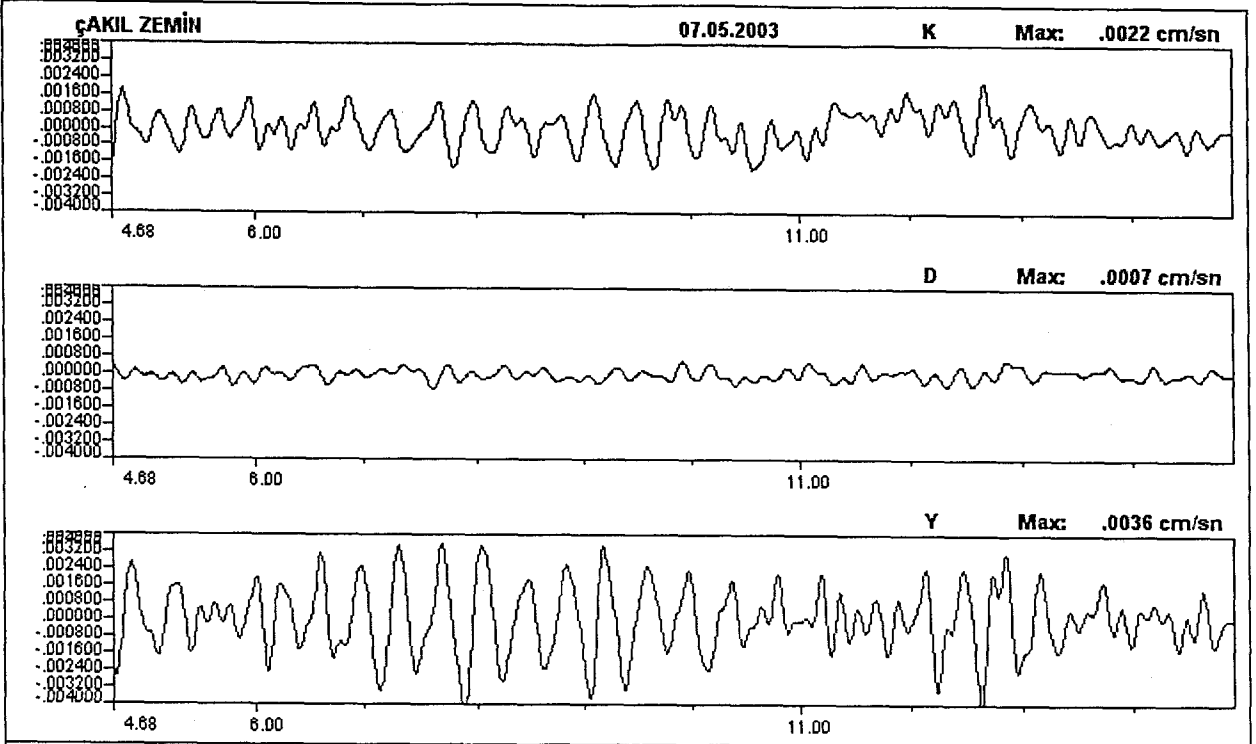


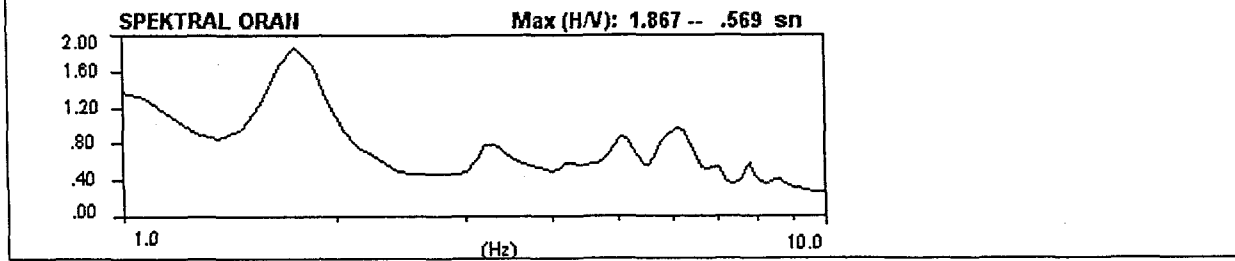
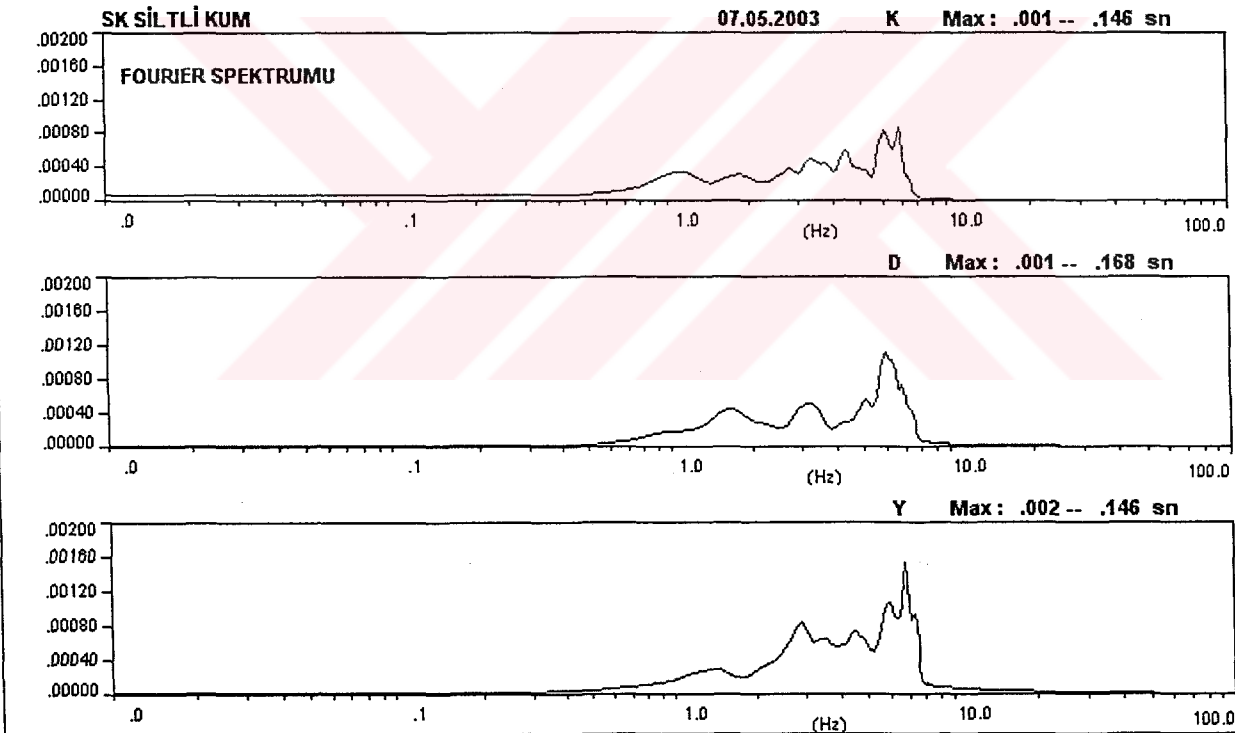
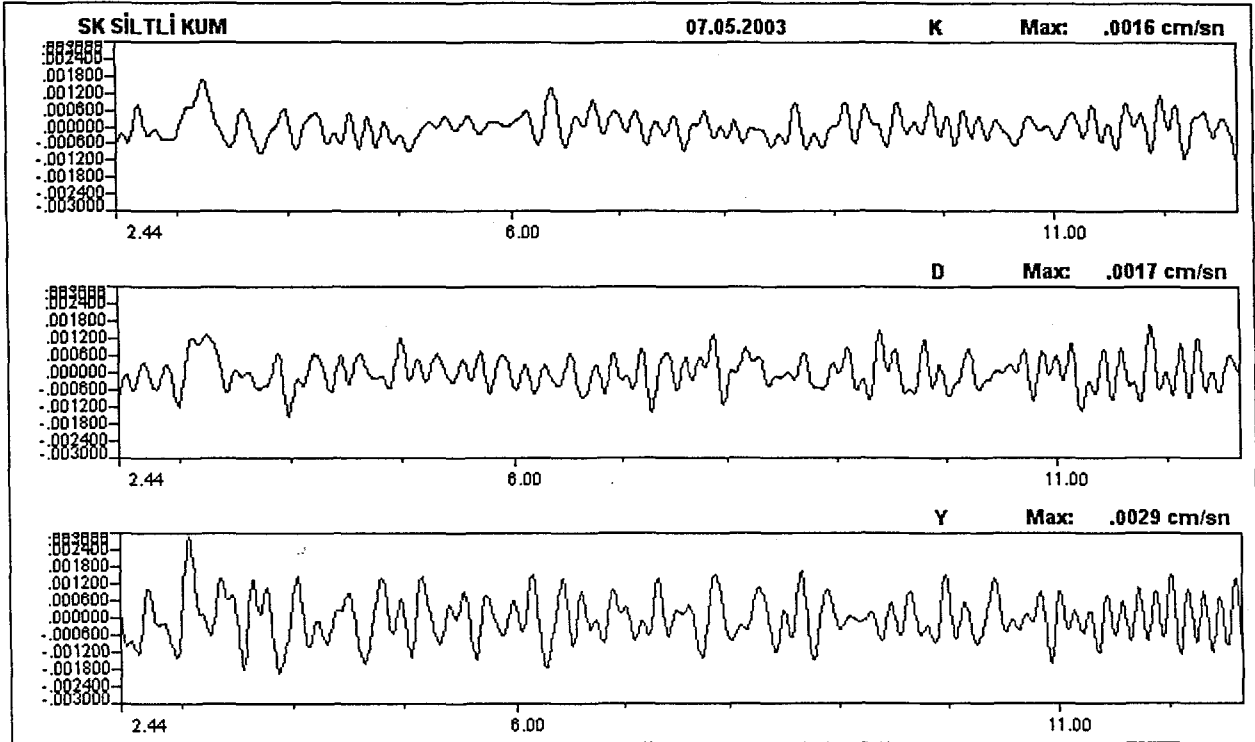
SPEKTRAL ORAN

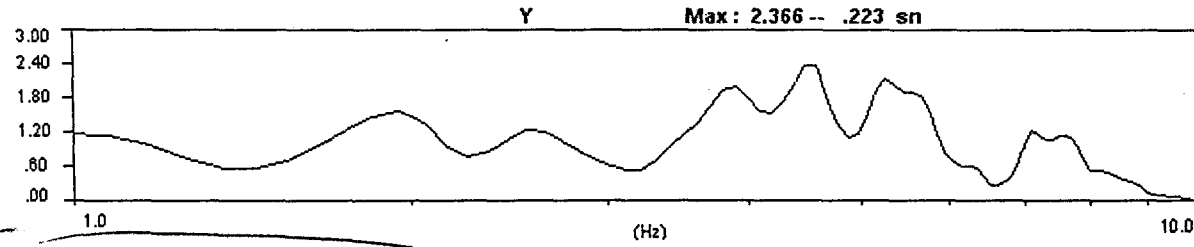
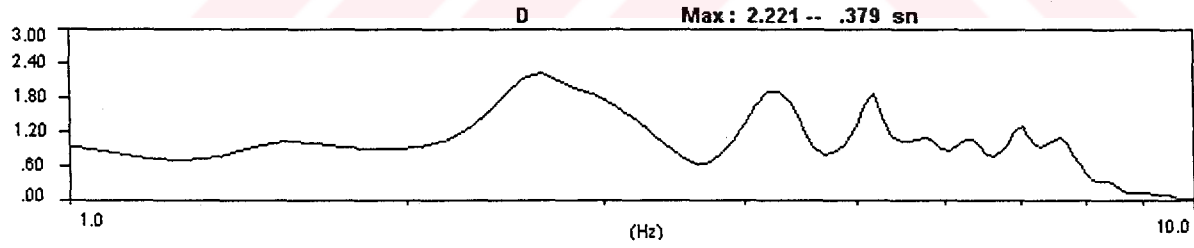
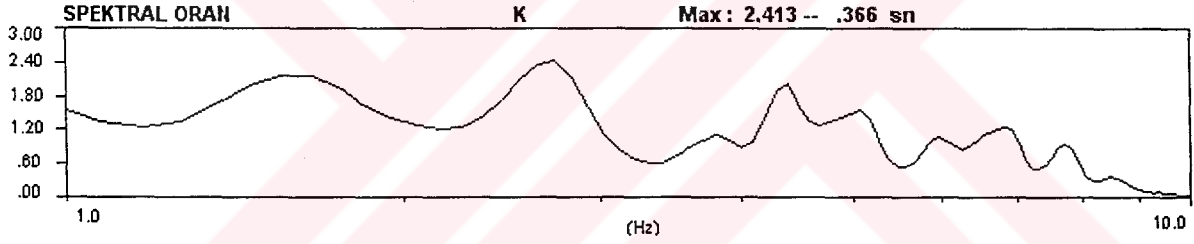
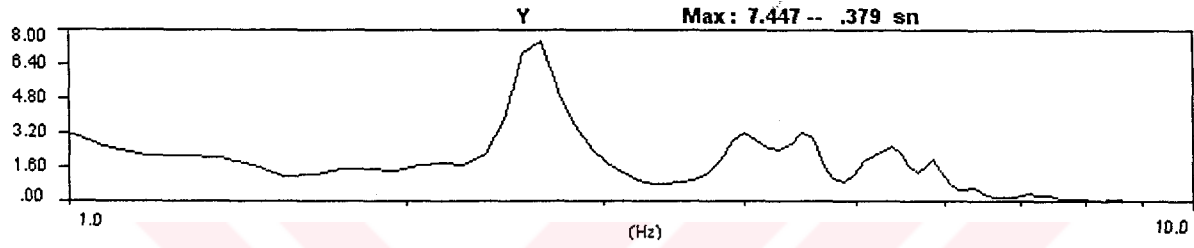
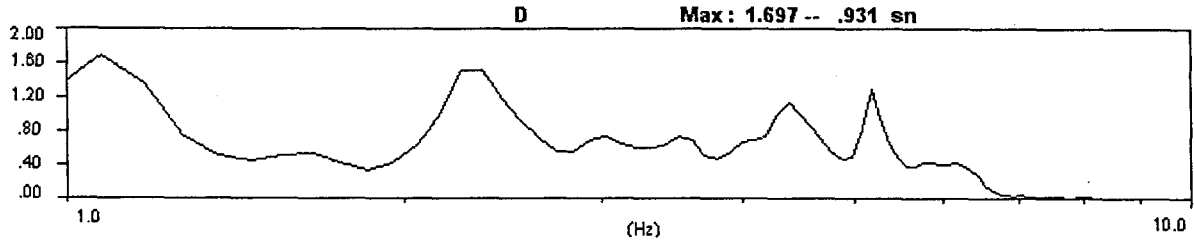
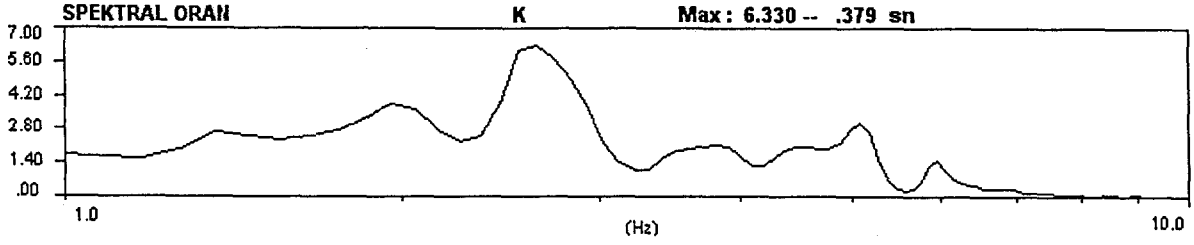
Max (H/V): 2.693 -- .269 sn











*SP/HP Arasındaki büyütme değerleri

