İLLER BANKASI ANONİM ŞİRKETİ

İMAR PLANINA ESAS MİKROBÖLGELEME ETÜT ÇALIŞMALARI TOKAT İLİ ERBAA İLÇESİ RAPOR ÖRNEĞİ

Caner SÖNMEZER

UZMANLIK TEZİ

EKİM 2015

İLLER BANKASI ANONİM ŞİRKETİ

İMAR PLANINA ESAS MİKROBÖLGELEME ETÜT ÇALIŞMALARI TOKAT İLİ ERBAA İLÇESİ RAPOR ÖRNEĞİ

Caner SÖNMEZR

UZMANLIK TEZİ

Tez Danışmanı (Kurum)

Dündar CAN

Tez Danışmanı (Üniversite)

Prof. Dr. Özgür ANIL

ETİK BEYAN

İller Bankası A.Ş. Uzmanlık Tezi Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Caner SÖNMEZER

05.10.2015

İMAR PLANINA ESAS MİKROBÖLGELEME ETÜT ÇALIŞMALARI TOKAT İLİ ERBAA İLÇESİ RAPOR ÖRNEĞİ

(Uzmanlık Tezi)

Caner SÖNMEZER

İLLER BANKASI A.Ş.

Ekim 2015

ÖZET

Ülkemiz geçmiş yıllarda defalarca büyük depremler yaşamış ve bu depremler sonucunda birçok can ve mal kaybı meydana gelmiştir. Afet riski olan bölgelerde hiçbir önlem alınmadan yapılaşmalara izin verilmesi can ve mal kayıplarının oluşmasında en önemli etkendir.

İmar Planına Esas Mikrobölgeleme Etüt çalışmalarının amacı potansiyel riskli alanlarda ayrıntılı bir şekilde zemin etüt çalışmaları yaparak, bölgede oluşabilecek afet risklerini ve zeminde meydana gelebilecek geoteknik sorunları ortaya koymaktır. Tüm bu çalışmalar sonucunda potansiyel afet riski olan bölgelerde alınacak önlemler belirlenerek daha sağlıklı imar planlarının yapılmasına katkı sağlamış olacaktır.

Bu tez kapsamında; mikrobölgeleme etüt çalışmalarının ne tür bir çalışma olduğu, Ülkemizde mikrobölgeleme adına neler yapıldığı ve bir mikrobölgeleme etüt raporunda hangi çalışmalar yapıldığı ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bir deprem sırasında en büyük sorunlardan birisi olan zemin sıvılaşması ve bir mikrobölgeleme etüt raporunda hangi çalışmaların nasıl yapıldığı Tokat İli Erbaa İlçesi Mikrobölgeleme Etüt raporu örneği ile ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Tüm bu çalışmalar sonucunda İmar Planına Esas Mikrobölgeleme çalışmalarının Ülkemiz ve İller Bankasına ne tür kazançlar sağlayacağı konusuna yer verilmiştir. Ayrıca afet riski olan bölgelerde İller Bankasının yapacağı her türlü altyapı ve üst yapı tesisleri için ne tür önlemler alabileceği yönünde tespitlerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler : mikrobölgeleme, deprem, sıvılaşma

Sayfa Adedi : 109 (Yüzdokuz)

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Özgür ANIL

MICROZONATION STUDY AS A BASIS FOR DEVELOPMENT PLAN

CASE STUDY FOR ERBAA DISTRICT OF CITY OF TOKAT

(M.S Thesis)

Caner SÖNMEZER

BANK OF PROVINCES INC.

October 2015

ABSTRACT

Our country had survived major earthquakes many times in recent years and as a result loss of life and property took place. Major factor leading to loss of life and property is allowing stuctures in regions with disaster risk without any measures.

Aim of microzonation investigation studies as a basis for development plan is to perform detailed soil investigation work in potentially risky areas and reveal disaster risks in region and geotechnical problems in soil. As a result of all these studies, measures to be taken for potentially risky disaster areas will be determined and contributions to preparation of more healthy development plans will be made.

Within the scope of this thesis, what kind of studies microzonation investigation studies are, what are done in our country for microzonation and what studies are included in a microzonation investigation report are studied in detail. Liquefaction ,which is one of major problems during an earthquake, and what studies are included in a microzonation investigation report are handled in detail with a case study for Erbaa district of city of Tokat. As a result of all these studies, what kind of profits microzonation studies as a basis for development plan will provide for our country and bank of provinces are included. In addition, evaluations regarding what kind of measures will be taken for infrastructure and superstructure works which bank of provinces will perform in regions with risk of disaster were made.

Key words	:	microzonation, earthquake, liquefaction
Number of pages	:	109 (onehundrednine)
Thesis Advisor	:	Prof. Dr. Özgür ANIL

TEŞEKKÜR

Çalışmamın başlangıcından beri sürekli bilgi ve yardımlarını esirgemeyerek, her zaman destekleyen ve güvenen, değerli zamanlarını bana ayıran, önerileriyle çalışmalarımı yönlendiren, bu çalışmanın oluşmasında çok önemli ve büyük bir yere sahip olan danışman hocam Sn. Prof. Dr. Özgür ANIL'a , kurum danışmanım Sn. Müdür Dündar CAN'a ve tez yazım sürecinde yardımlarını esirgemeyen mesai arkadaşlarım Öner ELİRİ ve Muhammet ÖZDEMİR' e en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ xii

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xv

RESİMLERİNLİSTESİ xvi

HARİTALARIN LİSTESİ xvii

SİMGELER VE KISALTMALAR xviii

1. GİRİŞ 1

2. MİKROBÖLGELEME 3

2.1.Ülkemizde Mikrobölgeleme Çalışmalarının Tarihçesi 4

2.2.Mikrobölgeleme Çalışmalarının Kapsamı 7

2.3. Mikrobölgeleme Çalışmalarının Aşamaları 8

2.3.1.Genel bölgeleme 8

2.3.2.Ayrıntı bölgeleme 9

2.3.3. Daha ayrıntı bölgeleme 10

2.4. Mikrobölgeleme Çalışmalarında Veri Toplama ve Veri Tabanı Oluşturma 10

3. ZEMİN SIVILAŞMASI BAZLI MİKROBÖLGELEME 13

3.1.Zeminlerde Sıvılaşma 13

3.1.1.Sıvılaşma türleri 14

Sayfa

3.1.1.1. Akma türü sıvılaşma 14

3.1.1.2.Devirsel hareketlillik..... 15

3.1.2. Sıvılaşmanın neden olduğu hasarlar 15

3.1.2.1.Kum kaynaması 16

3.1.2.2. Akma göçmesi 17

3.1.2.3. Yanal yayılma 18

3.1.2.4. İstinat yapısı yenilmesi 19

3.1.2.5. Taşıma gücü kaybı 20

3.1.2.6. Gömülü hafif yapıların yükselmesi..... 21

3.1.3. Sıvılaşmaya etki eden faktörler……..... 22

3.1.3.1. Sıvılaşmaya etki eden zemin faktörleri..... 22

3.1.3.1.1.Zemin tipi..... 22

3.1.3.1.2. Zeminin rölatif sıkılığı 23

3.1.3.1.3. Tane boyu dağılımı 24

3.1.3.1.4. Yerleştirme ve çökelme ortamı..... 24

3.1.3.1.5. Drenaj şartları..... 24

3.1.3.1.6 Çevre basınçları 25

3.1.3.1.7. Tane şekli..... 25

3.1.3.1.8. Yaş ve çimentolanma..... 25

3.1.3.1.9. Sismik geçmiş..... 25

3.1.3.2. Sıvılaşmaya etki eden dış faktörleri..... 26

3.1.3.2.1 Depremin büyüklüğü ve süresi 26

3.1.3.2.2. Bina yükleri..... 26

3.1.4. Sıvılaşma analizlerinde kullanılan laboratuvar ve arazi deneyleri 26

Sayfa

3.1.4.1. Sıvılaşma analizlerinde kullanılan laboratuvar deneyleri 27

3.1.4.1.1. Devirsel üç eksenli basınç deneyi 27

3.1.4.1.2. Devirsel basit kesme kutusu deneyi 27

3.1.4.2. Sıvılaşma analizlerinde kullanılan arazi deneyleri 28

3.1.4.2.1. Standart penetrasyon deneyi 28

3.1.4.2.2. Koni penetrasyon deneyi 28

3.1.4.2.3. Kayma dalga hızı deneyi 29

3.1.5. Sıvılaşma potansiyeli analiz yöntemleri 29

3.1.5.1. SPT verilerine göre sıvılaşma analizi 31

3.1.5.1.1.Seed ve Idriss 31

3.1.5.1.2 Tokimatsu ve Yoshimi 34

3.1.5.1.3. Iwasakı 36

3.1.5.2. CPT verilerine göre sıvılaşma analizi 38

3.1.5.2.1. Seed ve Alba 38

3.1.5.2.2. Suzuki 40

3.1.5.2.3.Robertson ve Wride 43

3.1.5.3.Kayma dalga hızına göre sıvılaşma analizi 45

4. TOKAT İLİ ERBAA İLÇESİ MİKROBÖLGELEME ETÜT RAPORU ÖRNEĞİ 48

4.1. Amaç ve Kapsam 48

4.2. İnceleme Alanının Tanıtılması 48

4.2.1. Mekansal bilgiler ve cografi konum 48

4.2.2.İklim ve bitki örtüsü 50

4.3.3. Sosyo ekonomik bilgiler 50

4.3. Çalışma Yöntemleri 51

Sayfa

4.3.1. Haritalama ve ölçek 51

4.3.2.Karelaj ve hücreleme 52

4.3.3. Arazi, laboratuvar, büro çalışma metotları ve ekipmanları..... 52

4.4. Jeomorfoloji 52

4.5. Jeoloji..... 54

4.5.1. Genel jeoloji..... 54

4.5.2. Stratigrafi 55

4.5.2.1. Paleozoik birimler..... 55

4.5.2.2.Mezozoyik birimler..... 55

4.5.2.3. Tersiyer birimler 56

4.5.2.4..Kuvarterner birimler 57

4.5.3. Yapısal jeoloji 58

4.5.4. İnceleme alanı jeolojisi 59

4.6. İnceleme Alanında Yapılan Araştırma Çukuru, Sondaj ve Arazi Deneyleri..... 62

4.6.1. Araştırma çukurları 62

4.6.2. Sondajlar 65

4.6.3. Arazi deneyleri..... 65

4.6.3.1. Standart penetrasyon deneyi 65

4.6.3.2. Pressiyometre deneyi 67

4.7.Jeoteknik Amaçlı Laboratuvar Deneyleri 68

4.7.1. Zemin indeks-fiziksel özelliklerinin belirlenmesi 68

4.7.2. Zeminlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi..... 70

4.8. Jeofizik Çalışmalar..... 71

4.8.1.Sismik yansıma çalışmaları..... 71

Sayfa

4.8.2. Sismik kırılma-çok kanallı yüzey dalgası analiz yöntemleri 72
4.8.3. Mikrotremor çalışmaları 73
4.8.4. Yer radarı çalışmaları..... 74
4.8.5. Düşey elektrik sondaj çalışmaları 75
4.8.6 Çok elektrotlu elektrik özdirenç çalışmaları 76
4.9. Zemin ve Kaya Türlerinin Jeoteknik Özellikleri 76
4.9.1. Yerel zemin koşullarının belirlenmesi 76
4.9.2. Zemin ve kaya türlerinin sınıflandırılması..... 76
4.9.3. Yerel zemin sınıfları 84
4.9.4. Mühendislik zonları ve zemin profilleri 87
4.9.5.Şişme-oturma ve taşıma gücü analizleri ve değerlendirme 88
4.9.5.1. Zeminlerin şişme özellikleri 88
4.9.5.2. Zeminlerin oturma özellikleri 90
4.9.5.3. Zeminlerin taşıma gücü özellikleri 92
4.10. Hidrojeolojik Özellikler..... 94
4.11. Doğal Afet Tehlikelerinin Değerlendirilmesi 94
4.11.1. Deprem durumu 94
4.11.2. Paleosismolojik çalışmalar..... 95
4.11.3. Sıvılaşma analizi ve değerlendirme 96
4.11.4. Zemin büyütmesi ve hakim titreşim periyodunun belirlenmesi 100
4.11.5. Heyelan 102
5.SONUÇ VE ÖNERİLER..... 103
KAYNAKLAR 107
ÖZGEÇMİŞ 109

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. Mikrobölgeleme Çalışmalarının Aşamaları 3

Çizelge 2.2. Mikrobölgeleme Çalışmalarında Veri Toplama, Veri Tabanı Oluşturma .. 10

Çizelge 2.3. Mikrobölgeleme Çalışmalarında Risk Seviyeleri 11

Çizelge 3.1. Rölatif Sıkılığa Göre Zemin Sınıflaması 23

Çizelge 3.2. Farklı İvme Değerlerinde Rölatif Sıkılıklarına Göre Sıvılaşma Riski..... 23

Çizelge 3.3. İnce Tane Oranı Düzeltme Katsayıları 36

Çizelge 3.4. Zemin Sınıflarının Birim Ağırlıkları ve Ortalama Tane Çapı 38

Çizelge 3.5. Iz'nin Fonksiyonu Olan f(Iz) Değerleri... 42

Çizelge 4.1. Çerkeş Formasyonu Üzerinde Yapılan Sondajlarda Geçilen Birimlerden Bazı Örnekler 63

Çizelge 4.2. Alüvyon Üzerinde Açılan Sondajlarda Geçilen Birimlerden Bazı Örnekler 64

Çizelge 4.3. Alüvyonda Yapılan SPT Deneylerinden Bazı Değerler 65

Çizelge 4.4. Çerkeş Formasyonunda Yapılan SPT Deneylerinden Bazı Değerler 66

Çizelge 4.5. Pressiyometre Deneyinden Elde Edilen Bazı Elastisite Modülü ve Limit Basınç Değerleri 67

Çizelge 4.6. Bazı Numunelere Ait Laboratuvar İndeks Özelliklerinin Toplu Gösterimi..... 69

Çizelge 4.7. Bazı Numunelere Ait Mekanik Özelliklerin Toplu Gösterimi 70

Çizelge 4.8. Çalışma Alanında Ölçülen Bazı Sismik Hızlar ve Olası Litolojiler 72

Çizelge 4.9. Sismik Profillerde Hesaplanan, Bazı Göreceli Yer Büyütme Faktörleri ve Yer Hakim Titreşim Periyotları..... 73

Çizelge 4.10. DES Ölçü Noktalarında Bazı Rezistivite, Tabaka Kalınlık Değerleri ve Olası Litoloji Tarifleri 75

Çizelge 4.11. Alüvyonların Zeminlerin Kıvamlılık İndeksine Göre Sınıflandırılması .. 79

Çizelge 4.12. İnce Taneli Zeminlerin Likitlilik İndeksine Göre Sınıflandırılması..... 79

Sayfa

Çizelge 4.13. Zeminlerin Sıkışabilirliği 80

Çizelge 4.14. Killerin Aktivite Değerlerine Göre Sınıflandırılması 80

Çizelge 4.15. Alüvyonda İnce Taneli Zeminlerin Kıvamlılık İndeksi Özelliklerinden Bazı Örnekler 81

Çizelge 4.16. Çerkeş Formasyonunda Zeminlerin Kıvamlılık İndeksi Özelliklerinden Bazı Örnekler 82

Çizelge 4.17. Kohezyonsuz Zeminlerde SPT ye Göre Relatif Sıkılık Değeri 83

Çizelge 4.18. Alüvyonda SPT'ye Göre Relatif Sıkılık Değerlendirmesinden Bazı Örnekler 83

Çizelge 4.19. Çerkeş Formasyonunda SPT'ye Göre Relatif Sıkılık Değerlendirmesinden Bazı Örnekler 84

Çizelge 4.20. Deprem Yönetmeliğine Göre Kaya ve Zeminlerin Gruplandırılması 85

Çizelge 4.21. Yerel Zemin Sınıfları 86

Çizelge 4.22. Birimlerin Vs Hızlarına Göre Zemin Grubu ve Yerel Zemin Sınıflarından Bazı Örnekler 86

Çizelge 4.23. Şişme Potansiyeli Tanımı 89

Çizelge 4.24. Konsolidasyon Deney Sonuçları ve Şişme Potansiyelinden Bazı Örnekler 89

Çizelge 4.25. İnceleme Alanındaki Zeminlerin Konsolidasyon Oturma Değerlerinden Bazı Örnekler 91

Çizelge 4.26. Laboratuvar Değerleri İle Hesaplanmış Taşıma Gücü Değerlerinden Bazı Örnekler 93

Çizelge 4.27. Yeraltısuyunun Gözlendiği Bazı Kuyular 94

Çizelge 4.28. Çalışma Alanındaki Allüvyon Zeminlerin Sıvılaşma Potansiyeli 97

Çizelge 4.29. Kayma Dalgası Hızları Yardımıyla Yapılan Derinliğe Bağlı Sıvılaşma Analizi Sonucunda Sıvılaşma Tespit Edilen Noktalar 99

Çizelge 4.30. Göreceli Yer Büyütme Faktörleri ve Yer Hakim Titreşim Periyotlarından Bazı Örnekler 100

Çizelge 4.31. (a) Yer Hakim Titreşim Periyotlarına Göre Mikrobölgeleme Ölçütleri (b) Spektral Büyütmelere Göre Mikrobölgeleme Ölçütleri 101

Sayfa

Çizelge 4.32. Şev Duraylılığı Analiz Sonuçları 103

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 3.1. Zemin Sıvılaşması Olayının Gerçekleşmesi 14

Şekil 3.2. Kum Kaynaması Oluşumu 16

Şekil 3.3 Akma Göçmesi Oluşumu 17

Şekil 3.4.Yanal Yayılma Oluşum Şekli 18

Şekil 3.5 İstinat Yapısı Yenilme Biçimi 19

Şekil 3.6. Taşıma Gücü Yenilme Biçimi 20

Şekil 3.7. Gömülü Hafif Yapıların Yükselme Biçimi 21

Şekil 3.8.Zeminlerde Sıvılaşabilir Granülometri Aralığı 24

Şekil 3.9. M=7.5 İçin Devirsel Direnç Oranı ve (N1)60 Arasındaki İlişki 33

Şekil 3.10. CPT Sıvılaşma Eğrileri 40

Şekil 3.11. Düzeltilmiş Uç Direncine Göre Sıvılaşma Eğrisi 43

Şekil 3.12. Kesme dalga hızı tabanlı değerlendirme çizelgesi……... 47

Şekil 4.1. İnceleme Alanı ve Yakın Çevresinin Genelleştirilmiş Stratigarfi Kesiti 58

Şekil 4.2. Sismik Yansıma Arazi Çalışması Serim Geometrisi 71

Şekil 4.3.Yer Radarı Genel Düzeneği 74

Şekil 4.4. Çalışma Alanındaki Bütün Zeminlerin Oranı 77

Şekil 4.5. Alüvyon Zeminlerin Oranları 78

Şekil 4.6. Çerkeş Formasyonunda Zeminlerin Oranı 78

Şekil 4.7. İnceleme Alanında B-D Yönlü Alınan Kesit 87

Şekil 4.8. İnceleme Alanında K-G Yönlü Alınan Kesit 88

RESİMLERİNLİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 3.1. Tottori Depreminde Oluşan Kum Kayması 16

Resim 3.2. Merced Gölü Kıyısında Meydana Gelen Akma Göçmesi 17

Resim 3.3. LomaPrieta Depreminde Meydana Gelen Yanal Yayılma 18

Resim 3.4. Sıvılaşma Sonrası Oluşan İstinat Duvarı Yenilmesi..... 19

Resim 3.5. Adapazarı Depreminde Sıvılaşma Sonucu Devrilen Binalar..... 20

Resim 3.6. Sıvılaşma Sonrası Muayene Bacası Yükselmesi 21

HARİTALARINLİSTESİ

Harita **Sayfa**

Harita 4.1. İnceleme Alanı Yer Bulduru Haritası 49

Harita 4.2. İnceleme Alanı ve Çevresinin Rölyef Haritası 54

Harita 4.3. İnceleme Alanının Jeoloji Haritası 60

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	Açıklamalar
SPT	Standart Penetrasyon Deneyi
CPT	Koni Penetrasyon Deneyi
ÇSB	Çevre Şehircilik Bakanlığı
AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı
TAMP	Türkiye Afet Müdahale Planı

1. GİRİŞ

İmar planlarına esas mikrobölgeleme çalışmalarına esas oluşturan çalışmaların amacı; "her tür, ölçek ve amaçla plan yapılması düşünülen mevcut ya da potansiyel yerleşim alanlarının; doğal afet tehlikelerini yer bilimsel veriler ışığında bölgesel olarak değerlendirmek, olası mühendislik problemlerini belirlemek, alanların arazi kullanımı - yerleşime uygunluk değerlendirmesini yapmak, teknik ve/veya idari gerekçelere bağlı olarak gerekli önlemleri önererek afet zararlarını azaltmaktır.

Mikrobölgeleme amaçlı değerlendirmeler; yerel zemin tepkisi, yamaç duraylılığı ve sıvılaşma gibi üç tur olgu için yapılmaktadır. Bu tez kapsamında ilk olarak mikrobölgeleme çalışmaları genel olarak bahsedilecektir. Ardından daha fazla alanda etkili olması, altyapı ve üstyapı tesislerinde çok büyük hasarlar meydana getirmesi nedeniyle zemin sıvılaşması konusu ayrıntılı olarak ele alınacaktır. Ayrıca Tokat Erbaa Mikrobölgeleme Etüt Raporu örneği ile bir mikrobölgeleme etüt çalışmasında yapılan arazi ve laboratuvar çalışmalarını, yapılan bu çalışmalar kapsamında doğal afet tehlikelerinin nasıl değerlendirildiği; buna bağlı olarak da yerleşime uygun alanların nasıl belirlendiği irdelenecektir.

2. MİKROBÖLGELEME

Mikrobölgeleme; deprem riskinin azaltılması amaçlı yapılan çalışmaların başlangıç aşamasını oluşturan, yer hareketi karakteristiklerinin belirlenmesi için deprem kaynağı, yol ve zemin şartlarının karşılıklı etkileşimini göz önüne alan disiplinler arası bir konudur.

Sismik mikrobölgeleme, zemin tabakalarının deprem etkileri altındaki davranışlarının tahmin edilmesi ve buna bağlı olarak zemin yüzeyinde deprem özelliklerindeki değişimlerin belirlenmesidir. Deprem hareketindeki değişim deprem kaynağı ve yol özelliklerinin yerel jeolojik ve geoteknik koşullar ile birlikte olasılıksal olarak değerlendirilmesi ile incelenmektedir. Ulusal ölçekteki makrobölgeleme haritaları, önceden tanımlanmış bir zemin ve kaya koşuluna göre olasılıksal deprem tehlikesini göstermektedir fakat küçük ölçekli haritaların yeterli detayda olmaması nedeni ile makrobölgeleme haritalarında yerel zemin koşulları dikkate alınmamaktadır. [1]

Mikrobölgeleme, bir bölgede olabilecek deprem özellikleri göz önüne alınarak zemin tabakalarının içinde nasıl bir değişim göstereceğinin belirlenmesi olarak tanımlanmaktadır. [2]

Mikrobölgeleme, yerel zemin şartlarının etkisini göz önüne alarak tasarım için sismik tehlike tahminlerinin geliştirilmesi prosedürüdür. [3] Mikrobölgelemenin amacı doğrultusunda deprem kuvvetlerine karşı yapı tasarımında etkili parametreler kullanılmaktadır. Ancak sismik mikrobölgeleme uygulamalarında amaç parsel bazında uygulamaya yönelik tasarım parametrelerinin kullanılması olmamalıdır. Bu çalışmalar öncelikli olarak, kent planlaması ve arazi kullanım amaçlı parametrelerin belirlenmesini hedeflemektedir[4]. Sismik mikrobölgelemenin temel hedefi gelecekteki deprem kayıplarının önlenmesi olmasına rağmen, bu tür çalışmaların çoğunun hasar verici bir depremden sonra yeniden yapılanma için uygun yerin seçilmesi amacıyla oluşturulduğu bilinmektedir[5].

Bir mikrobölgeleme çalışmasında ilk aşama, deprem kaynak ve yol karakteristiklerini göz önüne alarak olabilecek yer hareketi için tehlike analizidir. İkinci aşamada, geoteknik zemin şartları ve belirlenen yer hareketi altında zemin tabakalarının

davranışları belirlenmektedir. Son aşamada, ilk iki aşamadan elde edilen sonuçlara dayanan bir bölgeleme oluşturulmaktadır [6].

Mikrobölgeleme için ISSMFE Geoteknik Deprem Mühendisliği Teknik Komitesi tarafından hazırlanan el kitabı, bölgesel yer hareketi davranışı, şev stabilitesi ve sıvılaşma olmak üzere üç tip geoteknik olayın değerlendirilmesi için kabul edilmiş yaklaşımları içermektedir. Yer hareketi için mikrobölgeleme çalışmaları, içeriğine dayalı olarak üç farklı aşamada gruplanmaktadır. Birinci aşama, mevcut bilgilerin ve tarihi dokümanların derlenmesine ve yorumlanmasına dayalı genel bir bölgeleme ile tanımlanabilir. İkinci aşama, basit geoteknik çalışmaları ve mikrotremor ölçümlerini kapsamaktadır. Üçüncü aşama bölgeleme ise detaylı geoteknik araştırmalar ve sayısal analiz yöntemlerine dayanmaktadır [7].

2.1.Ülkemizde Mikrobölgeleme Çalışmalarının Tarihçesi

1966 Varto depreminden bu yana meydana gelen her deprem, doğru olmayan arazi kullanım kararlarının istenilmeyen sonuçlarını ülkemizde açıkça ortaya koymuştur. Örneğin, 1967 Adapazarı depreminde Sapanca gölünün kıyısındaki bir otel kompleksinde aşırı düzeyde görülen yana yatmalar zemin sıvılaşmasının getirdiği ek riskleri göstermiştir. 1970 Gediz, 1974 İzmir yakınlarında oluşan depremlerdeki hasar ve kayıplar da bunlara örnek olarak verilebilir. Türkiye'de yerel deprem tehlikelerinin belirlenmesinde jeolojik, jeofizik ve geoteknik verilerin bir bütün halinde kullanıldığı ve bunun bir kentin fiziksel planlamasına yansıtıldığı ilk arazi kullanım planlaması veya başka deyişle ilk mikrobölgeleme çalışması 1968 yılında İmar ve İskan bakanlığı Deprem Araştırma Bölümü tarafından yapılmıştır. Bu çalışmanın yapıldığı kent Aydın ilinde bulunan Kuyucak kasabasıdır (Kozacı ve diğ., 1969). Daha sonra mikrobölgeleme çalışması Gediz kasabası için yapılmıştır (Kozacı, 1970; Tabban, 1972, Tokay ve Doyuran, 1978). Benzeri çalışmalar 1970'de Adapazarı, 1974'de İzmit İli için, daha sonra da Bolu, Gerede ve Erzincan gibi kentler için yapılmıştır (İşcan ve diğ., 1970; Gençoğlu ve Ayhan, 1974; Gül, 1975).

Erdik ve diğ., (2000) deprem master planı bağlamında İzmir ilinin mikrobölgeleme çalışmasını yapmıştır. Uluslararası ortaklı ilk ciddi mikrobölgeleme çalışması, İstanbul Büyükşehir Belediyesi ve JICA (Japonya Uluslararası İşbirliği Ajansı) imzalan anlaşma

gereği, "İstanbul İli Sismik Mikrobölgeleme Dahil Afet Önleme / Azaltma" isim ile başlatılmıştır. Bu mikrobölgeleme projesi kapsamında, muhtemel bir depremde, İstanbul'da hasar riski yüksek alanların belirlenmesi konusunda mahalle bazında binaların (örnekleme yapılarak) ve alt yapının hasar görebilirliği incelemelerinin yapılması hedeflenmiş ve söz konusu çalışma, İstanbul için mevcut verilerin toplanması (Harita, zemin ve yapı bilgileri, nüfus verileri v.b. dökümanlar) tamamlanmış ve saha incelemeleri (sondaj, jeolojik-jeofizik-geoteknik ölçümler ve bina ölçümleri v.s) yapılmıştır.

Ülkemizde mikrobölgeleme kapsamında yapılan akademik çalışmalara bir göz atarsak, bu konuda ilk türkçe makalenin Ergünay (1973) tarafından yapıldığı görünmektedir. Mikrobölgelemenin ilkeleri ve kapsamı ile ilgili makale ölçeğinde değerlendirme çalışmalarına örnek olarak Özçep ve diğ. (2003) ile Yılmaz ve diğ. (2003) verilebilir. Ülkemizde bilinen ilk akademik çalışma Gül (1975) tarafından yapılmıştır. Yazar yaptığı yüksek lisans çalışmasında mikrobölgeleme çalışmalarının ana hatlarını değerlendirmiş ve İzmit bölgesi uygulamasını yapmıştır. Çakın (1988) mikrobölgeleme konusunda dünyada ve ülkemizde yapılan çalışmaları değerlendirerek konunun ilkelerini o zamanki bilgi düzeyine bağlı olarak ortaya koymuştur. Lav (1994) İstanbul ve Erzincan şehirlerinde zemin büyütme etkilerine göre mikrobölgeleme çalışması yapmıştır. Varol ve diğ. (2000), 17 Ağustos 1999 Depremi sonrası sürekli iskan alanlarının belirlenmesinde Bolu ve çevresinin jeoloji-geoteknik ve jeofizik verilerle bir mikrobölgeleme çalışması yapmışlardır.

Güllü (2001) tarafından saha deneyleri ve dinamik zemin davranış analiz yöntemleri ile belirlenen zemin büyütmesi ölçütü kullanarak coğrafi bilgi sistemi kavramıyla Dinar bölgesinde bir mikrobölgeleme çalışması yapılmıştır. Kuran (2001), Gürbüz (2002), Gürbüz ve diğ. (2002) Avcılar bölgesinde çeşitli jeofizik veriler (mikrotremor, sismik, elektrik) kullanarak Avcılar (İstanbul) bölgesi için mikrobölgeleme çalışması yapmıştır. Topal ve diğ. (2003) Bursa Yenişehir ilçesinde yaptıkları mikrobölgeleme çalışmasında bir çok sondaj verisi ile zemin özelliklerini incelemiş ve yerleşime uygun ve uygun olmayan alanları belirlemişlerdir. Özer ve diğ. (2003) İzmit ilinde Coğrafi Bilgi sistemleri tabanlı sismik mikrobölgeleme çalışması yapmışlardır. Çalışma kapsamında, Kocaeli İl sınırları için 1:25 000 ölçeğinde sınıflandırılmış jeolojik harita, ivme azalımı, eğim ve aktif fay katmanları birlikte analiz edilerek Kocaeli mikrobölgeleme haritası oluşturulmuştur. Ayrıca, İzmit yerleşim alanı için 1:5 000

ölçeğinde sınıflandırılmış jeolojik harita, İvme azalımı, S dalgası hızı dağılımı, topoğrafik eğim, yer altı suyu derinliği, yer büyütmesi birlikte sorgulanarak İzmit yerleşim alanı Sismik mikroölgeleme haritası oluşturulmuştur.

Keleşoğlu ve diğ. (2003), Bakırköy İlçesi Geniş Alan Arazi Güvenlik Değerlendirmesi Çalışmaları kapsamında bir mikrobölgeleme örneği yapmışlardır. Ceyhan (2004) Büyükçekmece (İstanbul) İlçesinde kayma dalgası hızı kullanarak mikro bölgeleme çalışması yapmıştır. Bu çalışmasında sondaj, laboratuvar ve sismik verileri (kayma dalgası hızı, SPT (N) değeri ve laboratuar verileri) kullanarak bölgeye ilişkin zemin sınıflama haritası, zemin hakim titreşim periyodu haritası, zemin büyütmesi ve sıvılaşma anazleri bunlara bağlı haritalar üretmiştir. Ansal (2004) İstanbul Bağcılar ilçesinde, Ansal ve Biro (2005) ise Silivri ilçesinde bir mikrobölgeleme uygulaması yapmıştır. Karabulut (2005) aynı ilçede (Büyükçekmece) bu kez mikrotremor ölçümleri kullanarak mikrobölgeleme çalışması yapmıştır. Mikrotremor ölçümleri kullanarak elde ettiği zemin hakim periyot ve zemin büyütme değerlerini mikrobölgeleme amaçlı haritalamış ve Ceyhan (2004) çalışmaları ile sonuçlarını karşılaştırmıştır. Koç (2006) ise Avcılar – Esenyurt arasındaki bir çok jeofizik ölçüm (sismik, mikrotremor ve elektrik ölçümler) kullanarak yaptığı mikrobölgeleme çalışmalarında Vs 30 haritası, zemin hakim titreşim periyodu ve zemin büyütmesi haritaları üretmiştir. Dikmen ve Mirzaoğlu (2005) Yenişehir-Bursa bölgesi için mikrotremor verileri kullanarak sismik mikrobölgeleme çalışmasını yapmışlardır. Araştırmacılar, adı geçen bölgenin zemin hakim periyot ve büyütme değerlerini kullanarak mikrobölgeleme haritalarını oluşturmuşlardır.

Gündüz (2006) İstanbul ili Avcılar, Esenyurt, Yakıplu, Beylikdüzü, Kıraç, Gürpınar ve Büyükçekmece belediye alanlarında 550'ye yakın sondaj (SPT darbe sayıları) verisi kullanarak bu veriden ampirik bağıntılar yardımıyla Eşdeğer kayma dalgası hızını türetmiş ve bu türetilen hızlardan bölgeye ilişkin çeşitli haritalar (vs 30 haritası, zemin büyütme haritaları, zemin hakim titreşim periyodu haritaları) oluşturmuştur. Gündüz (2006) ayrıca, bölgede daha önce yapılan Koç (2006) çalışmasının sonuçları ile de kendi bulgularını karşılaştırmıştır. Ansal ve diğ. (2003) Adapazarı ve Gölcük sismik mikrobölgeleme çalışmaları yapmıştır. Kılıç ve diğ. (2005) Küçükçekmece (İstanbul) bölgesi için zemin büyütmesi ölçütünü kullanarak bir mikrobölgeleme çalışması yapmıştır. Özaydın (2005) İstanbul tarihi yarımadanın jeolojik , geoteknik yapısı ve sismik mikrobölgelemesini yapmıştır. Yağcı (2005) Balıkesir için mikrobölgeleme çalışması

yapmıştır. Zarif ve diğ., (2005) , Özçep ve Zarif (2006) zemin sıvılaşma ölçütleri kullanarak Yalova bölgesi için mikrobölgeleme çalışması yapmıştır.

Aynı bölge için Ergin ve diğ. (2006) büyütme bazlı mikrobölgeleme çalışmasını yapmışlardır. Özener ve diğ. (2005) Küçükçekmece ve Sefaköy (İstanbul) bölgesi için zemin sıvılaşması bazlı bir mikrobölgeleme çalışması yapmıştır. Özçep ve diğ., (2006) Şişli (İstanbul) bölgesi için yer hareketi verileri ve büyütme verileri kullanarak mikrobölgeleme çalışması yapmıştır. İmre ve diğ. (2006) Silivri bölgesinde zemin büyütme ölçütlerine göre küçük ölçekte bir mikrobölgeleme örneği yapmıştır. Kaya ve Özçep (2006) ise zemin büyütme ve yamaç stabilite verilerinin mikrobölgeleme amaçlı olarak Esenyurt (İstanbul) bölgesinde küçük ölçekte kullanımını örneklemiştir. Demirci ve diğ. (2006) Çanakkale şehir merkezi mikrobölgeleme çalışmalarının ön sonuçlarını sunmuşlardır.

2.2. Mikrobölgeleme Çalışmalarının Kapsamı

Depremler nedeniyle oluşan riski azaltmak ve deprem yükleri altındaki yapıların güvenliğini sağlamak için, dinamik etkiler dünyanın birçok ülkesinde depreme dayanıklı yapı tasarımı yönetmeliklerinde hesaba katılmaktadır. Bölgeleme amaçlı değerlendirmeler; yerel zemin tepkisi, yamaç duraylılığı ve sıvılaşma gibi üç tur olgu için yapılmaktadır. Bu üç tur olgunun her biri için, mikrobölgeleme çalışmaları amacıyla üç aşama yada üç kategoride çalışmalar kabul edilmektedir.

2.3 Mikrobölgeleme Çalışmalarının Aşamaları

Çizelge 2.1 Mikrobölgeleme Çalışmalarının Aşamaları

Mikrobölgeleme Aşamaları			
	1. Aşama (Genel Bölgeleme)	2. Aşama (Ayrıntı Bölgeleme)	3. Aşama (Daha Ayrıntı Bölgeleme)
Zemin Büyütmesi	Tarihsel Depremler, Bölgenin tektonik ve jeolojik yapısı ve jeolojik haritalar, yöre haklı ile mülakatlar	Geoteknik İncelemeler, Mikrotremor Ölçümleri	Ayrıntılı Geoteknik incelemeler, Zemin davranışı analizi, zemn tabakaları 1 ve 2 boyutlu analizi
Şev Stabilitesi	Tarihsel Depremler, Bölgenin tektonik ve jeolojik yapısı ve jeolojik haritalar, yöre haklı ile mülakatlar	Hava fotoğrafları, uzaktan algılama, arazi incelemeleri, bitki örtüsü ve yağış bilgisi	Ayrıntılı Geoteknik incelemeler, Şev stabilitesi analizler
Sıvılaşma	Tarihsel Depremler, Bölgenin tektonik ve jeolojik yapısı ve jeolojik haritalar, yöre halkıyla mülakatlar	Hava fotoğrafları, uzaktan algılama, arazi incelemeleri, yöre haklıyla mülakatlar	Ayrıntılı Geoteknik incelemeler, Sıvışalma analizleri
Harita Ölçeği	1/ 1.000.000 ila 1/ 500.000	1/ 1.00.000 ila 1/ 10.000	1/ 25.000 ila 1/ 5.000

2.3.1 Genel bölgeleme

Bölgelemenin ilk seviyesi; tarihsel kaynaklardan, yayınlanmış raporlardan, diğer mevcut veri kaynaklarından elde edilen var olan bilginin derlenmesi ve yorumlanmasına dayanmaktadır. Bu yaklaşım; ülke, eyalet, kent, kasaba yada yerel alanlar gibi bir bölgeyi kapsayacak şekilde en genel ve en düşük maliyette bir yaklaşımdır. Yerel zemin tepkisinin bölgelendirilmesi için, aletsel olarak kaydedilmiş depremleri içeren kataloglar kullanılabilir. Bu kataloglar, hemen hemen dünyanın tüm bölgeleri için mevcuttur ve yakın zamanlarda olmuş büyük depremler için lokasyon, büyüklük; odak mekanizması vb. gibi bilgileri içermektedirler. Çeşitli hasar türleri üzerine tarihsel deprem verisi, birçok alan için mevcuttur ve bu veri tarihsel depremler sırasında sarsıntı şiddetinin alansal dağılımının bir görüntüsünü elde etmede kullanılabilir. Ayrıca geçmiş depremler üzerine bilgi sismik

kaynak zonlarının doğru değerlendirilmesini ve gelecek depremlerin sıklığının ve büyüklüğünün kestirilmesinin oluşturulması amacıyla da kullanılabilir.

Varolan yer hareketi azalım ilişkileri kullanılarak, yer hareketinin düzeyinin belirlenmesi için ilksel haritalar derlenebilir. Varolan jeolojik ve jeomorfolojik haritalar, zeminin yenilme (failure) potansiyelinin değerlendirilmesi için genelde çok önemli bilgi kaynaklarıdır ancak bunlar bir alandan diğerine ayrıntıda ve uygulanabilirlikte oldukça önemli oranda değişmektedir. Bu tip haritalar Kuvaterner yaşlı sedimentlerin jeolojik karakteristikleri üzerine yararlı bilgiler sağlamaktadır. Bölgedeki büyük inşaat projeleri için yapılmış zemin araştırma raporları ayrıca jeoloji ve zemin koşulları üzerine kullanışlı bilgi verebilmektedir. Farklı tehlike düzeyleri ile bölgesel jeoloji yada jeomorfolojinin korelasyonu ile; yamaç duraylılığı ve sıvılaşma tehlikesi için haritalar hazırlanabilir. Bölgeleme haritasının kalitesi veri kalitesine önemli oranda bağlı olarak değişmektedir. Bölgelemenin bu seviyesinde haritalama 1:1000000' dan 1:50000 ölçeği aralığında yapılır.

2.3.2 Ayrıntı bölgeleme

Genel Bölgeleme haritasının kalitesi, ek veri kaynakları kullanılarak orta seviyede bir maliyetle oldukça önemli oranda geliştirilebilir. Örneğin, hava fotoğrafları; fay yapılarını ve jeolojik koşulları daha iyi tanımlamada yardımcı olabilir. Bazı durumlarda, daha eski fotoğraflar, kent gelişiminin öncesinde, lokal jeolojik birimlerin yapısının anlaşılmasında daha yararlı olabilir. Ek saha çalışmaları; yer hareketinin yerel koşullarla büyütmesinin, yamaç duraysızlığı potansiyelinin ve sıvılaşma amacıyla jeolojik birimleri yerinde haritalamak için yapılabilir. Resmi kurumlardan, belediyeler ya da özel şirketlerden elde edilen geoteknik raporları; ek arazi ve laboratuvar test verilerini de oluşturabilir. Bölge sakinleri geçmiş depremler sırasında oluşmuş yamaç duraysızlıkları ve sıvılaşma üzerine ayrıntılı tarihsel bilgi sağlayabilir. Mikrotremor ölçümleri ayrıca, zemin titreşim özellikleri (karakteristik yapı yeri periyodu) ya da yer hareketinin büyütme karakteristikleri üzerine daha ayrıntılı bilgi elde etmede kullanılabilir. Bu yaklaşım genelde, makul bir maliyette uygulanabilir ve 1:100000 ile 1:10000 arasındaki ölçeklerde bölgeleme haritasının daha ileri gelişmiş formunun oluşmasına izin verir.

2.3.3 Daha ayrıntı bölgeleme

Çok yüksek ve çok ayrıntılı bir bölgeleme seviyesine (örneğin 1:25000 ile 1:5000 arasında bir ölçekte) ihtiyaç duyulduğunda, yani sorun olan zemin/kaya ortamına özel olmak üzere gereksinim duyulacaktır. Böyle araştırmalardan elde edilen bulgular; sismik yer tepkisi, yamaç duraysızlığı davranışı ya da sıvılaşma potansiyelinin bilgisayar destekli analiziyle biçimlendirilebilir. Ayrıntılı saha bazlı spesifik bilgiye gereksinim duyulan bu bölgeleme seviyesi genelde pahalıdır. Fakat tehlike potansiyelinin çok yüksek olarak düşünüldüğü ya da varolan / önerilen gelişmenin kritik / yüksek değerleri olduğunun hesaba katıldığı alanlar için bu yatırım düzeyi yapılmalıdır.

2.4 Mikrobölgeleme Çalışmalarında Veri Toplama ve Veri Tabanı Oluşturma

Çizelge 2.2 Mikrobölgeleme Çalışmalarında Veri Toplama, Veri Tabanı Oluşturma

Temel Giriş Verisi	**Önerilen Yöntem**
Topoğrafya	Sayısal Topoğrafik Temel Bilgi (1: 5,000 ölçeğinde)
Yeraltısuyu Seviyesi	Kuyular ve/veya jeoelektrik sondajlar, CPTU (mevsimsel değişimler üzerine bilgiyi de içerecek biçimde)
Geoteknik Birimler	Ayrıntılı Yüzey jeoloji haritalar Jeolojik/Geoteknik Deney verileri (Sondajlar, SPT, CPT, CPTU) Jeofizik Yöntemler (SASW, Cross-hole, In-hole sismik hız ölçümleri, Mikrotremorlar, Sismik CPT, vb.)
Anakayayada İyi Zemin Koşulları ($vs \geq 700$ m/s)	Sondajlar & Jeofizik Yöntemler
Basen/havza yapılarının belirlenmesi	Derin Sismik ölçümler yadamikrotremor dizilim yöntemleri
•Farklı Geoteknik birimlerin temel geoteknik ve jeofizik özellikleri: • Mukavemet parametreleri (stabilite problemi olan alanlarda kayma mukavemeti parametreleri) • Kayma Dalgası Hızı	Laboratuar Testleri SPT yada CPT/CPTU testleri ile Korelasyonlar Jeofizik Yöntemler (SASW, Cross-hole, In-hole sismik hız ölçümleri, Mikrotremorlar, Sismik CPT, vb.)

Mikrobölgeleme haritalarında her deprem etkisi için genellikle üç bölge (A, B ve C olmak üzere) tanımlanmaktadır. Bu üç bölgenin her biri ayrı bir risk seviyesine karşılık gelmektedir[8].

Çizelge 2.3 Mikrobölgeleme Çalışmalarında Risk Seviyeleri

	BÖLGE		
ETKİ	**YÜKSEK**	**ORTA**	**DÜŞÜK**
YER HAREKETİ/ BÜYÜTME	A	B	C
YAMAÇ DUYARSIZLIĞI	A	B	C
SIVILAŞMA	A	B	C
DEPREMLE İLİŞKİLİ SU BASKINLARI	A		C
YÜZEYSEL FAYLANMA	A		C

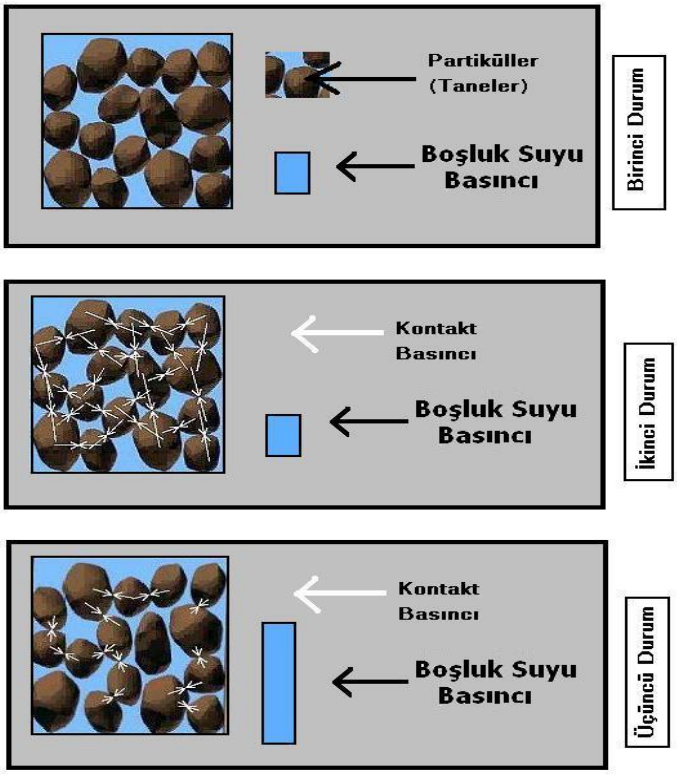
3. ZEMİN SIVILAŞMASI BAZLI MİKROBÖLGELEME

3.1.Zeminlerde Sıvılaşma

Depremler sırasında meydana gelen, mühendislik yapılarının önemli derecede hasar görmelerine ya da yıkılmasına neden olan sıvılaşma olayı, karmaşık ve üzerinde çok tartışılan konulardan biridir. İnsan hayatı ve yapılar üzerine olan olumsuz etkileri nedeniyle bu konuda yapılan çalışmalar günden güne artmaktadır. Ülkemizde meydana gelen önemli depremlerde de (1992 Erzincan, 1999 Adap azarı) görüldüğü üzere, sıvılaşma olayı önemli hasar sebepleri arasında kalmaya devam etmektedir. Gevşek suya doygun kum, siltli-kum veya çakıl zeminlerde görülen sıvılaşma olayının temel mekanizması; deprem etkisiyle, ana kaya formasyonundan kayma dalgalarının zemin yüzeyine doğru yayılması sonucunda meydana gelen tekrarlı kayma gerilmelerinin etkisiyle aşırı boşluk suyu basınçlarının oluşmasıdır. Kohezyonsuz zemin, deprem kaynaklı titreşimlere maruz kaldığında, sıkışma eğilimi ve hacimce küçülme gösterir. Suyun drenajı mümkün değilse, oluşan hacimdeki azalma eğilimi boşluk suyu basıncında artışa neden olur. Boşluk suyu basıncındaki bu artış düşey gerilmeye eşit olma noktasına erişirse, efektif gerilme sıfırlanır ve kayma mukavemetini tamamen kaybeder. Bu durumda sıvılaşma olayı gelişir [9].

Suya doygun gevşek zeminlerde, deprem gibi bir dinamik etki sonucunda gözlenen zemin sıvılaşması, yaygın biçimde araştırma konusu olmuştur. Geçmiş depremler sırasında meydana gelen olaylar incelendiğinde sıvılaşmanın çoğunlukla aşağıdaki zemin koşullarında oluştuğu gözlenmiştir;

- Doygun iri kum, siltli kum gibi zeminlerde drenaj koşulları yetersiz ise,
- Zeminin ortalama tane çapı D50=0,02 ile 1,00 mm arasında ve ince malzeme yüzdesi de (d≤0,005 mm) %10'unu geçmiyor ise,
- Üniformluk katsayısı (CU) <10 ise,
- Rölatif sıkılık, Dr< %75 ise, zemin sıvılaşmaya karşı duyarlı olur. Bu koşulları sağlayan zeminlerde sıvılaşma olayını tetikleyen mekanizma deprem özellikleridir. Diğer bir ifadeyle, yeterli bir büyüklükte deprem bu zeminlerde sıvılaşmaya neden olur [10].



Şekil 3.1 Zemin Sıvılaşması Olayının Gerçekleşmesi

3.1.1. Sıvılaşma türleri

Neden olduğu hasar tipleri göz önüne alındığında iki tür sıvılaşmadan bahsetmek mümkündür.

- Akma türü sıvılaşma
- Devirsel hareketlilik(mobilite)

3.1.1.1. Akma türü sıvılaşma

Akma türü sıvılaşma, zeminin statik dengesi için gerekli kayma gerilmelerinin, sıvılaşmış zeminin dayanımından büyük olduğu durumlarda oluşur ve büyük hasarların gözlendiği akma yenilmelerini oluşturur. Genellikle büyük bir zemin kütlesinin onlarca metre deplasman yapması şeklinde oluşan akma türü sıvılaşma, bir kez tetiklendikten (başladıktan) sonra, tamamen statik kayma gerilmeleri tarafından sürdürülür [11].

3.1.1.2 Devirsel hareketlilik (mobilite)

Devirsel hareketlilik deprem sarsıntısı sırasında kabul edilemeyecek düzeyde büyük ve kalıcı deformasyonlara neden olan diğer bir olaydır. Devirsel hareketlilik, akma sıvılaşmasının aksine statik kayma gerilmesinin, sıvılaşmamış zeminin kayma dayanımından küçük olduğu zaman gelişmektedir. Devirsel hareketlilik türü yenilmenin neden olduğu deformasyonlar, deprem sarsıntısı sırasında kademeli olarak gelişir. Akma sıvılaşmasının aksine devirsel hareketlilik ile oluşan deformasyonlara neden olan faktörler, hem devirsel gerilmeler, hem de statik kayma gerilmeleridir [12].

Yanal yayılma olarak adlandırılan bu tür deformasyonlar, su kütlelerinin yanındaki az eğimli veya hemen hemen düz yüzeyli zeminlerde görülür. Yapılaşmanın olduğu bölgelerde önemli hasarlara neden olabilirler [13].

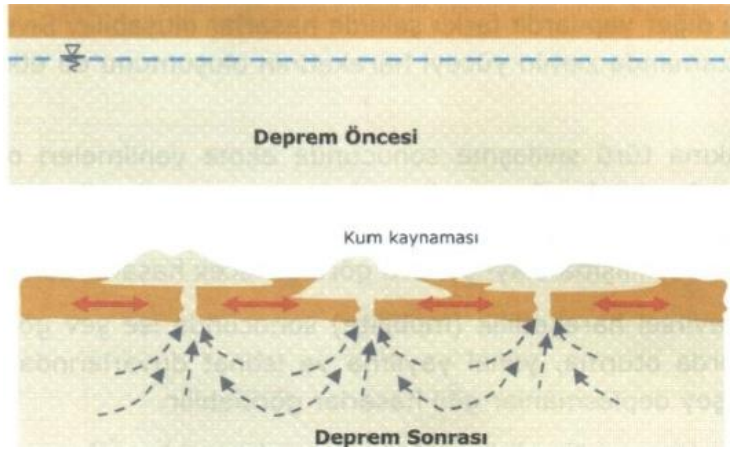
Devirsel hareketliliğin özel bir durumu düz yüzeyli zemin sıvılaşmasıdır. Yanal deformasyonları engelleyecek statik yatay kayma gerilmelerinin mevcut olmaması, bir deprem sırasında yer salınımı olarak bilinen büyük boyutlu ve düzensiz hareketler oluşturmakta, bunun sonucunda ise zemin de aşırı boşluk suyu basıncı oluşmaktadır. Oluşan aşırı boşluk suyu basıncının sönümlenme ihtiyacı, zemin içindeki suyun yukarı yönde hareket etmesine neden olur. Boşluk suyunun hareketi, zemindeki çatlaklar arasından kum tanelerinin taşınmasına, bu da kum kaynaması oluşumu ve aşırı düşey oturmalarına sebep olabilir.

3.1.2. Sıvılaşmanın neden olduğu hasarlar

Akma türü ve devirsel hareketlilik sıvılaşma türleri nedeniyle binalarda, köprülerde, boru hatlarında ve diğer yapılarda değişik şekillerde hasarlar meydana gelmektedir. Ağır yapıların batması veya devrilmesi, hafif gömülü yapıların yüzeye çıkması ve istinat yapılarının yıkılması akma türü sıvılaşma olayı sonucu görülebilecek hasarlardandır. Devirsel hareketlilik (mobilite) sonucunda ise şev göçmesi, binalarda oturma, yanal yayılma ve düşey deplasmanlar gibi hasarlar görülebilir [13].

3.1.2.1 Kum kaynaması

Deprem sarsıntısı sırasında ve sonrasında, boşluk suyu basıncındaki artış, hidrolik eğimi kritik bir değere ulaştırabilir. Bu durumda efektif gerilme değeri sıfır veya negatif olur. Su yüzeye doğru hareket ederken, zemin tanelerini de yüzeye taşır. Eğer yüzeye doğru hareket eden karışımın enerjisi yeterli olur ise, yüzeyde kum kaynamaları görülür.

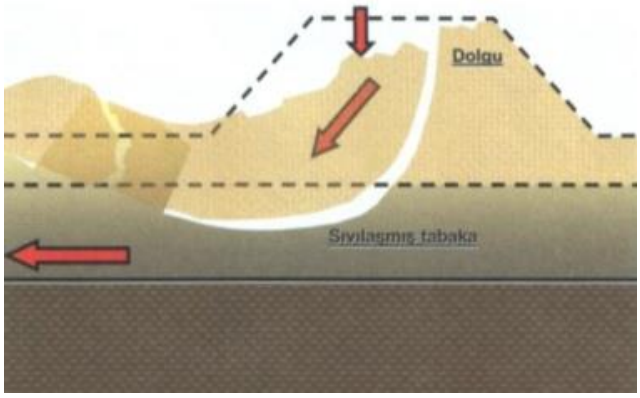


Şekil 3.2 Kum Kaynaması Oluşumu

Resim 3.1. 2000 Yılında Meydana Gelen Tottori Depreminde Oluşan Kum Kayması

3.1.2.2. Akma göçmesi

Akma göçmeleri genellikle 3 dereceden daha fazla eğimlerde meydana gelirler. Akma göçmeleri ansızın ortaya çıkmaları ve çabuk gelişmeleri nedeniyle, sıvılaşmanın meydana geldiği en kötü göçmelerden olup, toprak barajların ve şevlerin büyük derecede yenilmelerine neden olurlar.

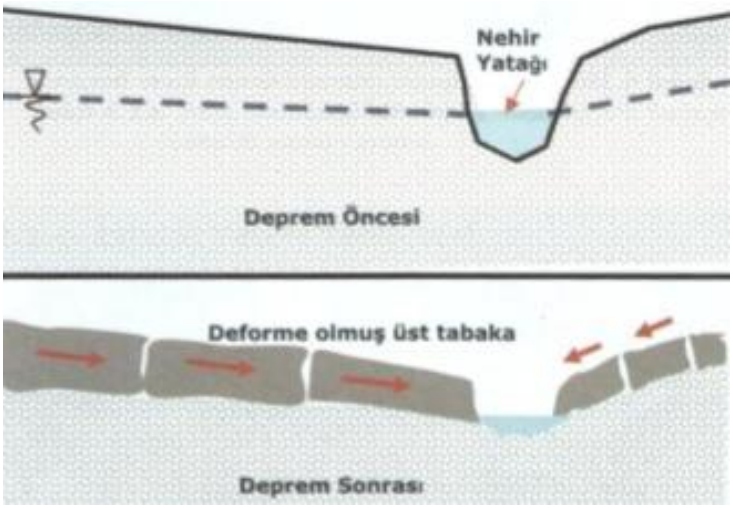


Şekil 3.3 Akma Göçmesi Oluşumu

Resim 3.2 San Francisco' daki Merced Gölü Kıyısında Meydana Gelen Akma Göçmesi

3.1.2.3. Yanal yayılma

Genellikle çok az eğimli yamaçlarda veya su kütlelerine komşu düzlüklerde gelişmektedir. Yanal yayılımlar, altta bulunan zeminin sıvılaşmasını ve yüzeysel sediment blokların yanal deplasmanını ihtiva eder. Bu yayılımlar genellikle birkaç metre ile sınırlıdır. Bu gibi hareketler, tipik olarak dolgu zeminlere, liman tesislerine, boru hatlarına, köprülere ve yüzeysel temellere sahip diğer yapılara zarar vermektedir.

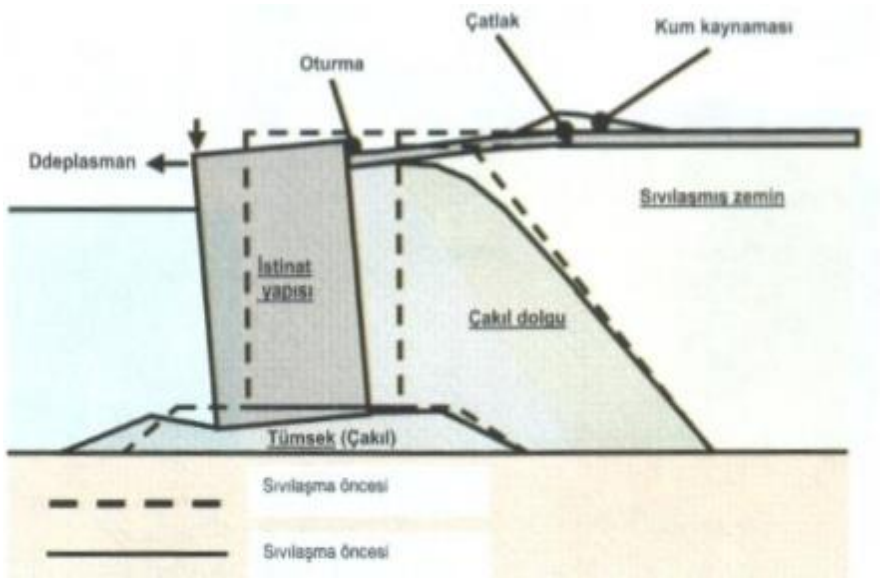


Şekil 3.4.Yanal Yayılma Oluşum Şekli

Resim 3.3. 1989 yılında LomaPrieta Depreminde Meydana Gelen Yanal Yayılma

3.1.2.4. İstinat yapısı yenilmesi

Sıvılaşmış temel zemininin destek kaybından veya istinat yapısı arkasındaki sıvılaşmış zeminden oluşan artan yanal yüklerden kaynaklanır. Bu etkiler sonucu istinat yapısı düşey ve/veya yatay yönde deplasmanlara maruz kalır [13].

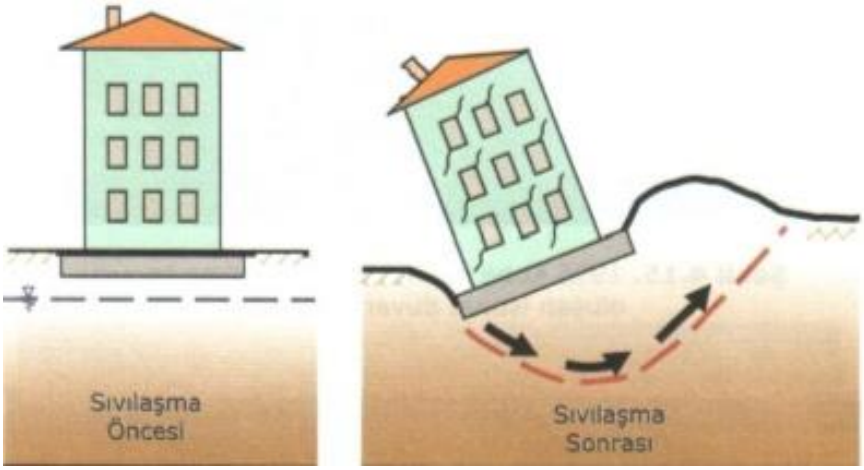


Şekil 3.5 İstinat Yapısı Yenilme Biçimi

Resim 3.4 Sıvılaşma Sonrası Oluşan İstinat Duvarı Yenilmesi

3.1.2.5. Taşıma gücü kaybı

Zeminlerin sıvılaşması sonucunda, temel zemininde taşıma gücü kaybı meydana gelmektedir. Bunun sonucunda yapılarda yan yatma, devrilme ya da batma gibi hasarlar görülebilmektedir.

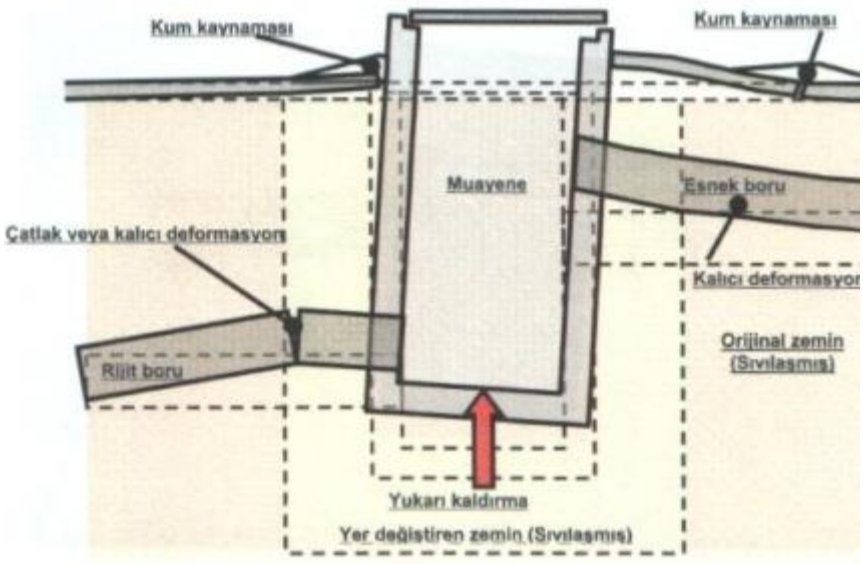


Şekil 3.6. Taşıma Gücü Yenilme Biçimi

Resim 3.5. 1999 Yılında Adapazarı Depreminde Sıvılaşma Sonucu Devrilen Binalar

3.1.2.6. Gömülü hafif yapıların yükselmesi

Gömülü tank, muayene bacası, boru gibi gömülü hafif yapılar, sıvılaşma sonucunda meydana gelen kaldırma kuvvetinin etkisiyle zemin yüzeyine doğru yükselebilmektedir.



Şekil 3.7. Gömülü Hafif Yapıların Yükselme Biçimi

Resim 3.6. Sıvılaşma Sonrası Muayene Bacası Yükselmesi

3.1.3. Sıvılaşmaya etki eden faktörler

Zeminde sıvılaşma olayının oluşmasına sebep olan birçok faktör bulunmaktadır. Laboratuar deneyleri ile arazi gözlem ve çalışmalarına dayanılarak belirlenen bu faktörler, zemin faktörleri ve dış faktörler olmak üzere 2 grupta incelenmektedir.

3.1.3.1.Sıvılaşmaya etki eden zemin faktörleri

3.1.3.1.1.Zemin tipi

Depremler esnasında zemin sıvılaşmasına en duyarlı zemin türü ince ve orta kum ile düşük plastisiteli ince taneler içeren kumlu zeminlerdir. Bununla birlikte, sıvılaşma zaman zaman çakıllı zeminlerde de görülebilmektedir [14].Sıvılaşan zeminleri daha geniş bir perspektifte inceleyecek olursak:

- Kumlu zeminler; Temiz kumlar sıvılaşmaya en uygun zeminlerdir.Kumların gevşek olması durumunda, aşırı boşluk suyu basıncı aniden artarak, dayanımların birden düşmesine, bunun sonucunda da büyük deformasyonların oluşmasına sebep olur. Orta ve sıkı kumlarda, deformasyonlar ve dayanım kayıpları büyük değildir.Siltli kumlar ya da kumlu siltlerde, ince tanelerin plastisitesi çok büyük önem arz etmektedir. Non plastik siltler temiz kumlarda olduğu gibi çok kolay sıvılaşırlar.
- Killi zeminler; Bu tür zeminlerde eğer plastisite indeksleri ve likit limit değerleri belirli bir sınırın altında ise sıvılaşma olayı meydana gelebilir. Youd ve Gilstrap (1999) tarafından açıklanan kriterlere göre, likit limit değeri 35'den küçük olmalıdır (LL<35).
- Çakıllı zeminler; Bu tür zeminler daha geçirimli olduklarından sismik yükleme sırasında oluşan tekrarlı boşluk suyu basıncı daha çabuk sönümlenebilir. Çakıllı zeminler, jeolojik oluşumlar sırasında, iri tanelerin ağır kütleleri nedeniyle gevşek halde nadir görülmektedir.

3.1.3.1.2. Zeminin rölatif sıkılığı (D_r)

Zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesinde en önemli faktörlerden biri kohezyonsuz zeminlerde zeminin sıkılık durumunu yansıtan bir terim olan rölatif sıkılıktır. Seed ve Idriss (1971)'e göre rölatif sıkılık-zemin sınıflaması yapılmıştır. Bu zemin sınıflandırması göz önüne alındığında rölatif sıkılık değeri %65'den büyük olan

zeminlerde sıvılaşmanın oluşmayacağı söylenebilir. Nitekim 1964 Niigata depreminde rölatif sıkılığı %50 olan kumlu zeminlerde sıvılaşma oluşmuş fakat rölatif sıkılığı yaklaşık %70 olan bölgelerde sıvılaşma oluşmamıştır [13].

Çizelge 3.1. Rölatif Sıkılığa Göre Zemin Sınıflaması

Rölatif Sıkılık (D_r) %	**Açıklama**
0-15	Çok Gevşek
15-35	Gevşek
35-65	Orta sıkı
65-85	Sıkı
85-100	Çok Sıkı

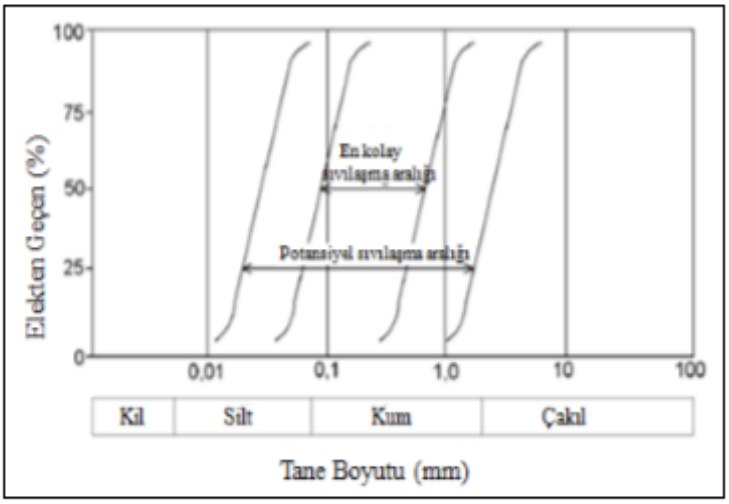
Zeminler, farklı ivme değerlerinde rölatif sıkılıkları göz önüne alınarak sıvılaşma riski açısından sınıflandırılmışlardır. İvme değeri arttıkça sıvılaşma riski sınıflamasına giren rölatif sıkılık değerleri de artmaktadır [15].

Çizelge 3.2. Farklı İvme Değerlerinde Rölatif Sıkılıklarına Göre Sıvılaşma Riski

Sıvılaşma Riski			
a_{maks}	**Yüksek**	**Orta**	**Düşük**
0.10 g	D_r<0.33	0.33<D_r<0.54	D_r>0.54
0.15 g	D_r<0.48	0.48<D_r<0.73	D_r>0.73
0.20 g	D_r<0.60	0.60<D_r<0.85	D_r>0.85
0.25 g	D_r<0.70	0.70<D_r<0.92	D_r>0.92

3.1.3.1.3. Tane boyu dağılımı

İyi derecelenmiş zeminlerde hacimsel deformasyona olan eğilim az olduğu için drenajsız koşullarda gelişebilecek olan aşırı boşluk suyu basıncı miktarı azdır. Bu nedenle iyi derecelenmiş zeminlerde sıvılaşma ihtimalinin az olduğu söylenebilir. Üniform derecelenmiş zeminler, dengesiz tane dizilimi oluşturma eğiliminde olduğu için, bunların sıvılaşmaya duyarlılığı iyi derecelenmiş zeminlerden daha fazladır.



Şekil 3.8.Zeminlerde Sıvılaşabilir Granülometri Aralığı [16].

3.1.3.1.4. Yerleştirme ve çökelme ortamı

Göllerde, nehirlerde veya denizlerde oluşan doğal çökeller, gevşek ve dağınık zemin yapısı oluşturma eğiliminde olup, sıvılaşmaya duyarlıdır.

3.1.3.1.5. Drenaj şartları

Suya doygun, gevşek kum / kumlu zeminler, tekrarlı yükler etkisinde, sıkışma ve hacim daralması eğilimi gösterirler. Bu eğilim drenajın olmadığı koşullarda boşluk suyu basıncını artırır. Aşırı boşluk suyu basıncı, hızlı bir şekilde sönümlenebilirse zeminde sıvılaşma olayı meydana gelmeyebilir.

3.1.3.1.6. Çevre basınçları

Çevre basıncı ne kadar büyük olursa, zeminin sıvılaşmaya karşı duyarlılığı o kadar az olur. Arazi incelemeleri, olası sıvılaşma bölgesinin genellikle zemin yüzeyinden yaklaşık 15 m'lik bir derinliğe indiğini göstermektedir. Daha derinde yer alan zeminlerin, genellikle yüksek çevre basınçlarından dolayı sıvılaşma potansiyelinin olmadığı düşünülmektedir. Bu durum 15 m'den daha derindeki zeminlerde sıvılaşma analizi yapılmayacağı anlamına gelmez. Birçok durumda, 15 m'den daha derin zeminlerin sıvılaşma analizi yapmak gerekebilir. Bir sıvılaşma analizinin hangi derinlikte sonlandırılması konusunda büyük tecrübe ve mühendislik yargısı gereklidir [13].

3.1.3.1.7. Tane şekli

Zeminin tane şekli de sıvılaşma potansiyelini etkileyen bir faktördür. Yuvarlak zemin taneleri içeren bir zeminde sıvılaşma olayının meydana gelme ihtimali, köşeli zemin taneleri içeren bir zemine göre daha yüksektir.

3.1.3.1.8. Yaş ve çimentolanma

Zeminlerin yaş özelliği zeminler için önemli bir faktördür. Yeni çökelmiş zeminlerin sıvılaşmaya karşı duyarlılığı, eski zemin çökellerinden daha fazladır [13].
Çimentolaşma olayı ise zaman içerisinde, zemin tanelerinin birbiriyle temas etmesi sonucu meydana gelebilir. Böyle bir durumda zemin daha sıkı hale geçeceği için sıvılaşma meydana gelme riski azalır.

3.1.3.1.9. Sismik geçmiş

Araştırmacılar, geçmişte sıvılaşmaya maruz kalmış zeminlerin yeni depremler ile birlikte tekrar sıvılaşma gösterme ihtimalinin yüksek olduğunu hem laboratuvar çalışmalarına hem de arazi gözlemlerine dayanarak kanıtlamışlardır.

3.1.3.2. Sıvılaşmaya etki eden dış faktörler

3.1.3.2.1 Depremin büyüklüğü ve süresi

Zeminlerin sıvılaşmasına neden olan en önemli faktör hiç kuşkusuz ki depremdir. Bu nedenle sıvılaşmaya etki eden faktörler incelenirken, depremlerin de bir takım özelliklerini dikkate almak gerekmektedir. Bu özellikler, deprem büyüklüğü ve deprem süresidir.

- Deprem büyüklüğü; sıvılaşmanın meydana gelmesinde deprem büyüklüğü önemli bir parametre olmaktadır. Deprem büyüklüğünün yüksek olması maksimum ivmenin büyük olmasına sebep olmakta, bu da sıvılaşma için ortam hazırlamaktadır.
- Depremin Süresi; deprem süresinin uzaması tekrarlı gerilmelerin zemine uygulanma süresini uzatacağından, sıvılaşma tehlikesini önemli ölçüde arttıran bir etkendir [17].

3.1.3.2.2. Bina yükleri

Bir kum çökeli üstüne ağır bir binanın inşası zeminin sıvılaşma direncini azaltabilir. Örneğin, zemin yüzeyinde bir radyenin ağır bir binayı desteklediğini düşünürsek, radye altındaki zemin, bina yükünün neden olduğu kayma gerilmelerine maruz kalır. Bina yükünün zeminde neden olduğu bu kayma gerilmeleri zemini sıvılaşmaya karşı daha duyarlı yapabilir. Bunun nedeni; zeminin hacimsel büzülmesi ve dolayısıyla sıvılaşma için gerekli deprem kökenli ilave kayma gerilmesinin daha küçük olmasıdır [13].

3.1.4. Sıvılaşma analizlerinde kullanılan laboratuvar ve arazi deneyleri

Deprem yüklemesinin (yer sarsıntısının) etkisi ile suya doygun gevşek kumlu zeminlerde sıvılaşma olması, zemin tabakalarının mukavemetini kaybetmesine sebep olmaktadır. Bu olay, zemin yüzeyinde bulunan yapılarda hasar meydana getirmektedir. Zemine oturtulan söz konusu yapıların güvenliğinin sağlanması için gevşek kumlu zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin önceden bilinmesi gerekmektedir. Kumlu zeminlerde, sıvılaşma olayının incelenmesi ve mühendislik uygulamalarında, bir bölgenin sıvılaşma olasılığının değerlendirilmesi isteniyor ise, laboratuar dinamik deney metotlarının kullanılması gerekmektedir. Bu deneylerin dışında, sıvılaşma potansiyelinin belirlenebilmesi için, bazı arazi deneylerinden de yararlanılmaktadır [18].

Sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesinde kullanılan laboratuar deneyleri yüksek deformasyonlu deneyler kategorisine girmektedir. Yüksek kayma deformasyonu genliklerinde zemin genellikle hacim değişimi eğilimindedir. Zemin davranışı efektif gerilme ile belirlendiğinden, yüksek deformasyon seviyelerinde yapılan deneylerde numunenin boşluk suyu drenajı kontrolü ve hacim ve/veya boşluk suyu basıncı değişiminin ölçümü kesinlikle sağlanmalıdır [16].

3.1.4.1. Sıvılaşma analizinde kullanılan laboratuar deneyleri

Sıvılaşma potansiyeli belirlemek amacıyla kullanılan en yaygın laboratuar deneyleri, devirsel üç eksenli basınç deneyi ve devirsel basit kesme kutusu deneyidir.

3.1.4.1.1. Devirsel üç eksenli basınç deneyi

Az örselenmiş suya doygun kum numunesi, çevre basıncı altında konsolide edilir. Konsolidasyon sırasında drenaja müsaade edilmektedir. Daha sonra devirseleksenel düşey basınç uygulanarak, numune deformasyona zorlanır. Devirsel yükleme süresince, eksenel deformasyon ve aşırı boşluk suyu basıncı, uygulanan devirsel gerilmenin devri ile birlikte ölçülmektedir. Bu ölçümlerde, boşluk suyu basıncının, çevre basıncına eşit olduğu an tespit edilir. Boşluk suyu basıncının çevre basıncına eşit olduğu durumda, zemin taneleri mukavemetini kaybettiğinden zeminde sıvılaşma olayı gerçekleşmektedir [13].

3.1.4.1.2. Devirsel basit kesme kutusu deneyi

Devirsel basit kesme kutusu deneyi, arazide oluşan deprem yüklerine çok benzer sonuçlar vermektedir. Deney, suya doygun kum numunesine, düşey yönde efektif gerilmenin uygulanması, daha sonra da devirsel kayma gerilmesinin zemin numunesine uygulanması şeklinde yapılmaktadır. Devirsel yükleme süresi boyunca, boşluk suyu basıncındaki artış ve eksenel deformasyon, yatay yönde uygulanan devirsel kayma gerilmesinin devri ile ölçülmektedir. Sıvılaşmaya neden olan gerilme; devir sayısı, uygulanan kayma gerilmesi ve başlangıç efektif gerilme değerlerinin büyüklüklerine bağlıdır [13] .

3.1.4.2 Sıvılaşma analizinde kullanılan arazi deneyleri

Arazi deneylerinin avantajı zemini doğal durumda test etmemizi sağlamasıdır. Arazi deneyleri ile yüzeyden itibaren istenilen derinliğe ulaşılabilir ve sürekli tanımlama yapılabilir. Fakat arazide sismik aktiviteyi göstermek zor olduğu için sıvılaşma potansiyelini ölçmek için yapılan deneylerde, sıvılaşma dayanımıyla doğrudan ilgili parametrelere ulaşılamaz. Değerlendirme kriterlerine ulaşmak için, sıvılaşma meydana gelmiş geçmiş depremler incelenerek ampirik ifadeler geliştirilmiştir [18]. Sıvılaşma analizlerinde en çok kullanılan arazi deneyleri, standart penetrasyon deneyi (SPT), koni penetrasyon deneyi (CPT) ve kayma dalga hızı (Vs) deneyidir.

3.1.4.2.1. Standart penetrasyon deneyi (SPT)

Geoteknik Mühendisliğinde, standart penetrasyon deneyi (SPT) geçmişten beri yaygın olarak kullanılan en eski arazi deneylerinden birisidir. Dünyanın birçok bölgesinde olduğu gibi ülkemizde de standart penetrasyon deneyi yaygın olarak kullanılmaktadır. Diğer arazi deneyleri ile karşılaştırıldığında, SPT'nin bazı üstünlükleri bulunmaktadır. Bu deneyde kullanılan mekanik donanım (tij, numune alıcı, tokmak vs.) genel olarak daha basit ve dayanıklıdır. SPT, sondaj işlemi sırasında kuyu içinde kolayca uygulanabildiğinden maliyeti daha düşüktür. Deneyin önemli üstünlüklerinden biri de SPT'nin yapılan sondaj çukurlarından numune alınabilmesidir. Ayrıca, bu deney, bütün zemin gruplarında ve yeraltı su seviyesi altında uygulanabilmektedir. Bahsedilen avantajların tümünü, başka bir arazi deneyinde bulmak mümkün değildir [19].

3.1.4.2.2. Koni penetrasyon deneyi (CPT)

Bu deneyde, bir çelik boru ile bunun içinden geçen ve ucunda bir koni bulunan çubuk, sıra ile zemine itilerek uç ve sürtünme dirençleri ayrı ayrı saptanmaktadır. Koni 3.6 cm çaplı ve 10 cm2 alanlı olup, uç açısı 60o ' dir. Boru dış çapı koni tabanı çapı kadardır. Deney için sondaj kuyusu açmaya gerek yoktur. Deneyde önce boru ve koni birlikte zemine itilir. Sonra uç tek başına itilerek penetrasyon için gerekli basınç ve ilerleme esnasında sürtünme direnci ölçülür. Gevşek ve üniform zeminlerde başarıyla yapılan bu deney, sıkı, köşeli, taneli ve çakıllı zeminlerde iyi sonuç vermemektedir. Deney derinliği boyunca zeminin kesintisiz profilini çıkarmak mümkün olsa da, deneyin en olumsuz yönü örnek alınamamasıdır [20].

3.1.4.2.3. Kayma dalga hızı (V_s) deneyi

Kayma dalgası hızı, kuyu yukarı, kuyu aşağı ve kuyudan kuyuya yöntemleri gibi birkaç farklı jeofizik teknik kullanılarak ölçülebilir. Ayrıca, sismik konik penetrometresi ve süspansiyon loglaması gibi diğer yöntemlerde kullanılabilmektedir [13].

3.1.5. Sıvılaşma potansiyeli analiz yöntemleri

Deprem bölgelerinde bulunan suya doygun gevşek granüler zeminlerde, sıvılaşma olayı büyük bir problemdir. Geçmişten günümüze kadar birçok araştırmacı bu konu üzerinde çalışmalar yapmış ve sıvılaşma analizleri için arazi ve laboratuardeneylerinedayanan çeşitli ampirik ifadeler türetmişlerdir.

Laboratuarda yapılan deneylerde, örselenmemiş numune alma sıkıntısı ve deneylerin uzun zaman alması nedeniyle, sıvılaşma analizlerinde genellikle arazi deneyleri kullanılmaktadır. Sıvılaşma analizlerinde tercih edilen arazi deneyleri Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) ve Koni Penetrasyon Deneyi (CPT)'dir. Ayrıca kayma dalga hızına bağlı analiz yöntemleri de sıvılaşma analizlerinde kullanılmaktadır.

Arazi deneyleri verilerine dayanılarak yapılan sıvılaşma analizlerini aşağıdaki gibi gruplandırmak mümkündür:

- SPT 'ye göre sıvılaşma analizi -Seed ve Idriss (1971) -Tokimatsu ve Yoshimi (1983) -Iwasaki vd. (1981)
- CPT'ye göre sıvılaşma analizi -Seed ve De Alba (1986) -Suzuki vd. (1997) -Robertson ve Wride (1998)
- Kayma dalga hızına göre sıvılaşma analizi Zeminlerin sıvılaşma dirençlerinin belirlenmesi, iki değişkenin hesaplanmasını veya tahmin edilmesini gerektirmektedir [13]. Bunlar: zemin tabakasındaki sismik talebi ifade eden devirsel gerilme oranı (DGO), zeminin sıvılaşmaya karşı direncini gösteren devirsel direnç oranı (DDO).

Sıvılaşma, deprem nedeniyle oluşan yüklerin, sıvılaşma direncini aştığı derinliklerde oluşmaktadır. Bu ifade, bir emniyet faktörü cinsinden açıklanmaktadır [13].

$$\mathrm{EF} = \frac{\mathrm{DDO}}{\mathrm{DGO}}\mathrm{MDF}$$

Burada,

EF =Emniyet faktörü,

DDO = Devirsel direnç oranı,

DGO =Deprem nedeniyle oluşan devirsel gerilme oranı,

MDF =Magnitüd düzeltme faktörüdür

Seed ve Idriss 1971'de önerdikleri sıvılaşma analiz yöntemlerini geliştirmek amacıyla çalışmalar yapmaya devam etmişlerdir. 1982'de sıvılaşmanın yüzey etkilerinin olduğu ya da olmadığı birkaç bölgede standart penetrasyon darbe sayılarını ölçmüş ve aynı bölgede büyüklüğü 7.5 olan depremleri de kaydetmişlerdir. Bu çalışma sonucunda büyüklüğü 7.5'den farklı deprem büyüklükleri için, düzeltme faktörünü önermişlerdir. Youd vd. (2001), Seed ve Idriss tarafından önerilen magnitüd düzeltme faktörünü yenileyerek aşağıdaki eşitliği önermişlerdir [12].

$MDF = 10^{2.24} / M^{2.56}$

MDF= Magnitüd düzeltme faktörü

M= Deprem büyüklüğü

Tokimatsu ve Yoshimi (1983) yönteminde deprem büyüklüğünün etkisi DGO hesabında dikkate alınmıştır. Bu nedenle bu yöntem hariç, diğer yöntemlerde sıvılaşma analizi yapılırken magnitüd düzeltme faktörünün dikkate alınması gerekmektedir.
Emniyet faktörünün 1'den küçük olduğu derinliklerde sıvılaşma olayının meydana geldiği kabul edilmektedir. Ancak emniyet faktörü 1'in az üzerinde olan zeminler yine de deprem anında sıvılaşabilir. Örneğin, alttaki tabakanın sıvılaşması durumunda yukarı doğru yükselen su akışı üstte yer alan ve emniyet faktörü 1'den biraz büyük olan tabakanın sıvılaşmasına neden olabilir [13].

3.1.5.1. SPT verilerine göre sıvılaşma potansiyeli analizi

Zeminlerin sıvılaşmaya karşı duyarlılığının hesaplanmasında en çok kullanılan arazi deneyi Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)'dir. Verilerin kolay elde edilişi, daha önceki depremlerde elde edilmiş verilerden hazırlanan veri tabanının olması ve bu verilerin oluşabilecek yeni depremlerle korelasyonun iyi olması nedeni ile sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesinde SPT yaygın olarak kullanılan bir arazi deneyi olarak önemli bir yer kazanmıştır [10]. Sıvılaşma potansiyeli, SPT verileri kullanılarak 3 ayrı yöntemle belirlenebilmektedir.

3.1.5.1.1. Seed ve Idriss (1971)

Devirsel gerilme oranının hesaplanması

Seed ve Idriss (1971) tarafından geliştirilen yönteme göre devirsel gerilme oranı aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$DGO = 0{,}65 \frac{a_{maks}}{g} \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} r_d$$

Burada,

DGO =Deprem nedeniyle oluşan devirsel gerilme oranı

a_{maks}= Zemin yüzeyindeki maksimum yatay yer ivmesi

g =Yerçekimi ivmesi

σ_{vo} =Düşey toplam gerilme

$ó_{vo}$ =Düşey efektif gerilme

r_d=Gerilme azaltma katsayısıdır.

Zemin yüzeyindeki maksimum yatay yer ivmesi (amaks) değerinin bulunması konusunda, Joyner ve Boore (1981), Fukushima vd. (1988), İnan vd. (1996), Aydan vd. (1996) çeşitli çalışmalar yapmışlardır. Aydan vd. (1996), Türkiye'de oluşabilecek depremler için aşağıdaki eşitliği önermişlerdir.

$$a_{maks} = 2.8 \left(e^{0.9M} * e^{-0.025\,R} - 1\right)$$

Burada,

M = Deprem büyüklüğü

R = Deprem odağından olan uzaklıktır.

Liao ve Whitman (1986) tarafından önerilen gerilme azaltma katsayısı (rd) aşağıdaki eşitlik yardımıyla da hesaplanabilmektedir:

rd = 1.0 – 0,00765 z; $z \leq 9{,}15$ m

rd = 1.174 – 0,0267 z ; $9{,}15 < z \leq 23$ m

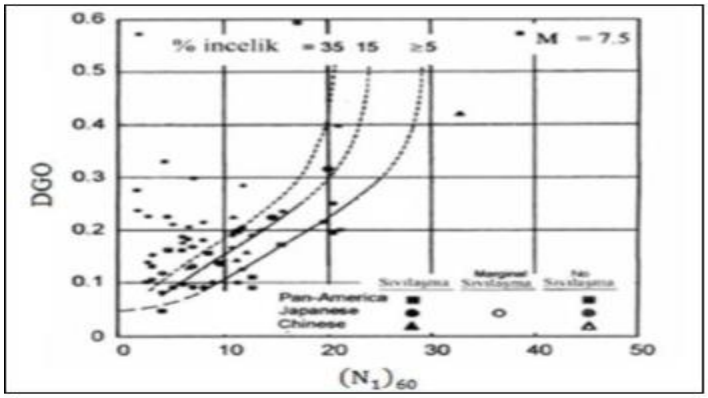
Burada; z, zemin yüzeyinden itibaren metre cinsinden derinliktir. Youd vd., (2001), Şekil 13'deki ortalama değer eğrisinden alınan rd değerlerini kullanarak aşağıdaki eşitliği oluşturmuşlardır.

$$r_d = \frac{1.0 - 0.4113z^{0.5} + 0.04052z + 0.001753z^{1.5}}{1.0 - 0.4177z^{0.5} + 0.05729z - 0.006205z^{1.5} + 0.00121z^2}$$

Bu eşitlik sıvılaşma analizlerinde kolaylık sağlamaktadır.

Devirsel direnç oranının hesaplanması

Devirsel direnç oranı (DDO), zeminin sıvılaşmaya karşı gösterdiği direnci ifade etmektedir. Seed vd. (1985) M=7.5 büyüklüğünde depreme maruz kalmış temiz ve siltli kumlu zeminlerde, sıvılaşmanın oluştuğu ve oluşmadığı bölgelerde SPT darbe sayısını araştırmışlardır. Bunun sonucunda, belirli SPT darbe sayılarında sıvılaşma oluşması için, gerekli minimum devirsel kayma gerilmeleri oranını, grafiksel olarak göstermişlerdir.



Şekil 3.9. M=7.5 İçin Devirsel Direnç Oranı ve (N1)60 Arasındaki İlişki

$(N_1)_{60}$ yaklaşık 100 kPa'lık üst tabaka yüküne göre ve %60 enerji oranına göre normalize edilmiş SPT darbe sayısını ifade etmektedir. Eğriler ince tane oranı %5 ve daha az, %15 ve %35 olan granüler zeminler için elde edilmiştir. İnce tane oranı %5 ve daha az olan kumlu zeminler, temiz kum olarak adlandırılmaktadır [21].

Youd vd. (2001), devirsel direnç oranının hesabında kullanılması için, kullanılabilecek olan bir eşitlik geliştirmişlerdir.

$$DDO = \frac{1}{34-(N_1)_{60}} + \frac{(N_1)_{60}}{135} + \frac{50}{(10(N_1)_{60}+45)^2} - \frac{1}{200}$$

Burada;

DDO = Devirsel direnç oranı

(N1)60 =%60 enerji oranına göre düzeltilmiş SPT- N_{arazi}değeri

Seed vd. (2003)' e göre, $(N_1)_{60}$30 olan siltli ve killi zeminler, sıvılaşmayan zemin olarak sınıflandırılmaktadır.

Seed vd. (1985) ince tane oranının artmasıyla sıvılaşmaya karşı direncin arttığını ortaya koymuşlardır. İnce tane oranının sıvılaşma direncine etkisini hesaplamak için aşağıda verilen eşitlikleri geliştirmişlerdir.

$$(N_1)_{60tk} = \alpha + \beta\,(N_1)_{60}$$

Burada;

(N1)60 =%60 enerji oranına göre düzeltilmiş SPT- Narazi değeri

$(N1)60_{tk}$ =İnce tane oranına göre düzeltilmiş SPT değerleri

ITO =İnce tane oranı

α ve β ince tane düzeltme katsayılarıdır ve aşağıdaki eşitliklerle belirlenmektedirler.

$\alpha = 0,\ ;\ ITO \leq \%5$

$\alpha = \exp\,[1.76-(190/IDO^2)]\ ;\ \%5 \leq ITO \leq \%35$

$\alpha = 5.0\ ;\ ITO \leq \%5$

$\beta = 1.0\ ;\ ITO \leq \%5$

$\beta = [0.99+(IDO^{1.5}/1000)]\ ;\ \%5 \leq ITO \leq \%35$

$\beta = 1.2\ ;\ ITO \leq \%5$

3.1.5.1.2. Tokimatsu ve Yoshimi (1983)

Devirsel gerilme oranının hesaplanması

Tokimatsu ve Yoshimi (1983), tarafından geliştirilen yönteme göre devirsel gerilme oranı aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$DGO = \frac{a_{maks}}{g} \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} r_d r_n$$

Burada,

DGO =Deprem nedeniyle oluşan devirsel gerilme oranı

amaks= Zemin yüzeyindeki maksimum yatay yer ivmesi

g =Yerçekimi ivmesi

σ_{vo}=Düşey toplam gerilme

$ó_{vo}$=Düşey efektif gerilme

rd =Gerilme azaltma katsayısı

rn=Deprem büyüklüğü düzeltme faktörüdür.

Aydan vd. (1996)'nin önerdiği aşağıdaki eşitlik kullanılarak amaks (Zemin yüzeyindeki maksimum yatay yer ivmesi) değeri hesaplanır.

$$a_{maks} = 2.8 \left(e^{0.9M} * e^{-0.025\,R} - 1\right)$$

Burada,

M = Deprem büyüklüğü

R=Deprem odağından olan uzaklıktır

rd ve rn değerleri aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilmektedir.

$$r_d = 1 - 0.0015\,z$$

$$r_n = 0.1\,(M - 1)$$

Burada,

z metre cinsinden derinlik ve M deprem büyüklüğüdür.

Devirsel direnç oranının hesaplanması

Tokimatsu ve Yoshimi (1983) yönteminde %80 enerji oranına göre düzeltilmiş SPT- Narazi değerleri kullanılmıştır [13].

$(N_1)_{80}$ değeri aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$(N_1)_{80} = \frac{170}{\sigma'_{vo+70}} N$$

Burada,

(N1)80 = %80 enerji oranına göre düzeltilmiş SPT- Narazi değeri

N = Ölçülen SPT darbe sayısı

$ó_{vo}$ =Düşey efektif gerilme

Tokimatsu ve Yoshimi (1983) yönteminde ince tane oranının etkisi de dikkate alınmıştır. ΔNf (ince tane oranı düzeltme katsayısı) ile ince tane oranı arasındaki ilişki aşağıdaki tabloda görülmektedir.

Çizelge 3.3. İnce Tane Oranı Düzeltme Katsayıları

İnce Tane Oranı (%)	ΔNf
0-5	0
5-10	ITO (%)-5
10-	0.1 ITO+4

$$DDO = aC_r \left[\frac{16\sqrt{(N_1)_{80} + \Delta N_f}}{100}\right] + \left(\frac{16\sqrt{(N_1)_{80} + \Delta N_f}}{C_s}\right)^n$$

Burada;

a =0.45

Cr=0.57

n =14, temiz kumlar için ΔNf = 0 ve siltli kumlar içinΔNf = 5 değerini almaktadır.

Cs= 80-90 arasında değerler alabilmektedir.

3.1.5.1.3.Iwasaki vd. (1981)

Devirsel gerilme oranının hesaplanması

Iwasaki vd. (1981), tarafından geliştirilen yönteme göre devirsel gerilme oranı aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$DGO = \frac{a_{maks}}{g} \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} r_d$$

Burada,

DGO =Deprem nedeniyle oluşan devirsel gerilme oranı

a_{maks}= Zemin yüzeyindeki maksimum yatay yer ivmesi

g=Yerçekimi ivmesi

σ_{vo}=Düşey toplam gerilme

$ó_{vo}$=Düşey efektif gerilme

rd=Gerilme azaltma katsayısıdır.

Aydan vd. (1996)'nin önerdiği aşağıdaki eşitlik kullanılarak a_{maks} (Zemin yüzeyindeki maksimum yatay yer ivmesi) değeri hesaplanır.

$$a_{maks} = 2.8 \left(e^{0.9M} * e^{-0.025\,R} - 1\right)$$

Burada,

M = Deprem büyüklüğü

R =Deprem odağından olan uzaklıktır

rd değerleri aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilmektedir.

$$r_d = 1 - 0.0015\,z$$

Burada, z metre cinsinden yüzeyden itibaren derinliği ifade etmektedir.

Devirsel direnç oranının hesaplanması

Iwasaki vd. (1981) arazi direnci olarak da tanımladıkları devirsel direnç oranını, drenajsızdevirsel kesme kutusu deney sonuçlarından yararlanarak elde ettikleri basit bir yaklaşımla belirlemişlerdir. Devirsel direnç oranını hesaplarken, ince tane oranı yerine ortalama tane çapını dikkate almışlar ve formülleri ona göre hesaplamışlardır [13].
Iwasaki vd. (1981), tarafından geliştirilen yönteme göre devirsel direnç oranı aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır.

$0.04\ mm \leq D_{50} \leq 0.6\ mm$ için;

$$DDO=0.0882\sqrt{\frac{N}{\sigma'_{vo}+0.7}}+0.225\log\frac{0.35}{D_{50}}$$

$0.6\ mm \leq D_{50} \leq 1.5\ mm$ için;

$$DDO=0.0882\sqrt{\frac{N}{\sigma'_{vo}+0.7}}-0.05$$

Deneysel yöntemlerle ortalama tane çapının belirlenemediği durumlarda, yardımcı olabilmek amacıyla, aşağıdaki tabloda verilmiştir. Bu tablo yardımıyla D50 değerleri zemin sınıfına göre tahmin edilebilmektedir [13].

Çizelge 3.4. Zemin Sınıflarının Birim Ağırlıkları ve Ortalama Tane Çapı

Zemin Sınıfı	Doğal Birim Ağırlığı γ_n (kN /m^3)	Ortalama Tane Çapı D_{50} mm
Yüzey zemini	17	0,02
Silt	17,5	0,025
Kumlu silt	18	0,04
Çok ince kum	18,5	0,10
İnce kum	19,5	0,15
Orta kum	20	0,35
İri kum	20	0,6
Çakıl	21	2,0

3.1.5.2. CPT verilerine göre sıvılaşma potansiyeli analizi

Koni penetrasyon deneyinden (CPT) elde edilen uç direnci sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesinde kullanılan önemli bir parametredir. CPT verileri kullanılarak sıvılaşma potansiyel analizi, Seed ve De Alba (1986), Suziki vd. (1997) ve Robertson ve Wride (1998) olmak üzere 3 farkı yöntemle yapılabilir.

3.1.5.2.1. Seed De Alba (1986)

Seed De Alba (1986)'ya göre sıvılaşma analizi şu şekilde yapılır.

- Devirsel gerilme oranı hesaplaması, Seed ve Idriss (1971) tarafından geliştirilen aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır

$$DGO = 0{,}65 \frac{a_{maks}}{g} \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} r_d$$

- Devirsel direnç oranının hesaplanması, Bu aşamada öncelikle CPT deneyi ile ölçülen uç direnci, üst tabaka yüküne göre düzeltilmelidir. Bu işlem aşağıda verilen eşitlik kullanılarak yapılır :

$$q_{c1}=C_Q q_c$$

Burada,

qc1=Düzeltilmiş uç direnç

CQ=Üst tabaka yükü düzeltme sayısı

qc=Pa cinsinden uç direncidir.

CQ aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$C_Q = \frac{1.8}{0.8+(\frac{\sigma'_{vo}}{Pa})}$$

Burada,

$Ó_{vo}$ =kPa cinsinden düşey efektif gerilme

Pa=100 kPa'lık referans gerilmesidir.

SPT deneyinde olduğu gibi, CPT deneyinde de zemindeki ince tanelerin etkileri göz önüne alınmalıdır. Bir başka ifadeyle, zemindeki ince tane oranının sıvılaşma direncini arttırıcı etkisi uç direncine de yansıtılmalıdır. Aşağıdaki eşitlikte ince tane düzeltmesi görülmektedir.

$$q_{c1tk} = q_{c1} + \Delta q_{c1}$$

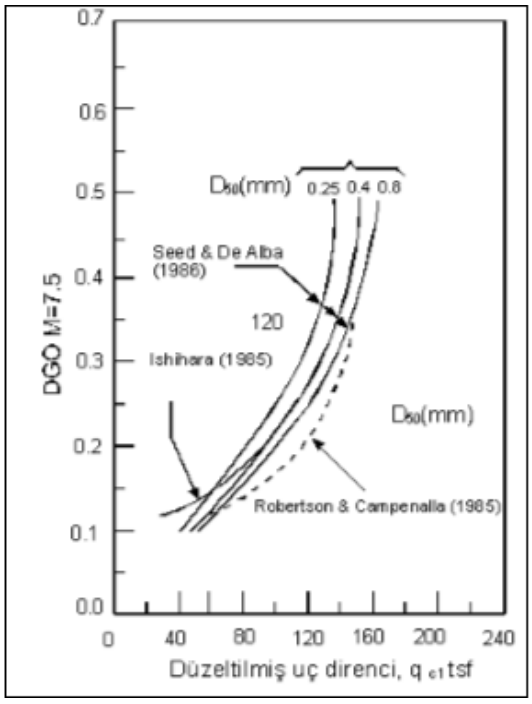
Burada; qc1tk ince tane oranına göre düzeltilmiş uç direnci, Δqc1 ise ince tane düzeltme katsayısını ifade eder ve aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanır.

$\Delta_{qc1}=0 \quad ITO \leq \%5$

$\Delta_{qc1}=0.2\ (İTO-5)\ \%\ 5 < ITO < \%35$

$\Delta_{qc1}= 6\ ITO \geq \%35$

Gerekli düzeltmeler yapıldıktan sonra devirsel direnç oranı (DDO), aşağıda verilen grafik yardımıyla hesaplanır.



Şekil 3.10. CPT Sıvılaşma Eğrileri [21]

3.1.5.2.2. Suzuki vd. (1997)

Seed De Alba (1986)'ya göre sıvılaşma analizi şu şekilde yapılır.

- Devirsel gerilme oranı hesaplaması, Seed ve Idriss (1971) tarafından geliştirilen aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır.

$$DGO = 0{,}65 \frac{a_{maks}}{g} \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} r_d$$

- Devirsel direnç oranının hesaplanması, Bu aşamada ilk olarak zemin indeksinin ve düzeltilmiş uç direncinin hesaplanması, düzeltilmiş uç direncin zemin indeksine göre yeniden düzenlenmesi gerekmektedir.

Zemin indeksi aşağıda verilen eşitlik kullanılarak hesaplanır:

$$I_z = [(3.47 - \log Q)^2 + (3.47 - \log Q)^2]^{0.5}$$

$$Q = \frac{q_c - \sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}}$$

$$F = \frac{f_s}{(q_c - \sigma_{vo})} 100$$

Burada;

qc=Ölçülen uç direnç

fs=Ölçülen çeper sürtünmesi

σ_{vo} =Düşey toplam gerimle

$ó_{vo}$ = Düşey efektif gerilme

Q =Normalize edilmiş uç direnç

F = Normalize edilmiş sürtünme oranıdır.

CPT uç direnci aşağıda verilen eşitlik kullanılarak hesaplanır.

$$q_{c1}=\frac{q_c}{p_a}\left(\frac{p_a}{\sigma'_{vo}}\right)$$

Burada;

qc1=Düzeltilmiş uç direnç

qc=Ölçülen uç direnç

$ó_{vo}$ = Düşey efektif gerilme

Pa=100 kPa'lık referans gerilmesidir.

Düzeltilmiş uç direncinin, zemin indeksine göre düzeltilmesi ise aşağıdaki eşitlik kullanılarak gerçekleştirilir:

$$q_{ca}=q_{c1}f(I_z)$$

Burada;

qc1=Düzeltilmiş uç direnç

qca= Zemin indeksine göre düzeltilmiş uç direnci

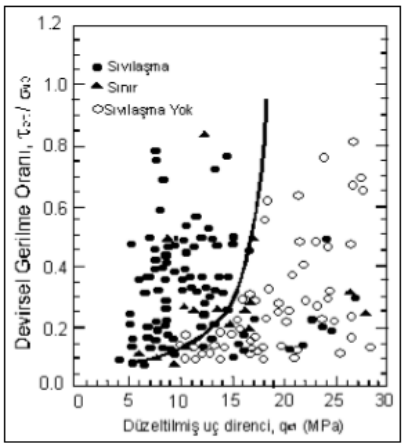
f(Iz) =Zemin indeksi' nin bir fonksiyonudur.

Robertson ve Fear (1995) tarafından önerilen (Iz) değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çizelge 3.5. Iz'nin Fonksiyonu Olan f(Iz) Değerleri

I_z	$f(I_z)$	I_z	$f(I_z)$
≤1.65	1.0	2.1	1.7
1.8	1.2	2.2	2.1
1.9	1.3	2.3	2.6
2.0	1.5	≥2.4	3.5

Gerekli hesaplamalar yapıldıktan sonra devirsel direnç oranı (DDO), aşağıda verilen grafik yardımıyla hesaplanır.



Şekil 3.11. Düzeltilmiş Uç Direncine Göre Sıvılaşma Eğrisi [13]

3.1.5.2.3. Robertson ve Wride (1998)

CPT verilerine dayanılarak yapılan sıvılaşma analizlerinde en çok kullanılan yöntem Robertson ve Wride (1998) yöntemidir. Bu yönteme göre sıvılaşma analizi şu şekilde yapılır.

- Devirsel gerilme oranı hesaplaması, Seed ve Idriss (1971) tarafından geliştirilen aşağıdaki eşitlikkullanılarak hesaplanır.

$$DGO = 0{,}65 \frac{a_{maks}}{g} \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} r_d$$

- Devirsel direnç oranının hesaplanması,

  Bu aşamada ilk olarak zemin indeksi (Iz) hesaplanır:

$$I_z=[(3.47 - \log Q)^2 + (1.22 + \log F)^2]^{0.5}$$

$$Q=[(q_c - \sigma_{vo})/P_a]*(P_a/\sigma'_{vo})^n$$

  Burada;

  qc=Ölçülen uç direnç

  fs=Ölçülen çeper sürtünmesi

  σ_{vo}= Düşey toplam gerilme

  $ó_{vo}$= Düşey efektif gerilme

  Q =Normalize edilmiş uç direnç

F = Normalize edilmiş sürtünme oranı

Pa=100 kPa'lık referans gerilmesi

n= Zemin sınıfını gösteren katsayısıdır.

Robertson ve Wride (1998), n katsayısını 1.0 (killer için tipik değer) kabul ederek, CPT uç direncini aşağıdaki eşitlikle hesaplamışlardır.

$$Q=\frac{q_c-\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}}$$

Temiz kumlarda n sabiti 0.5 değerini, silt ve siltli kumlarda da 0.5 ile 1.0 arasında değerler almaktadır [13].

Eğer n=1.0 sabiti ile hesaplanan Iz değeri 2.6'dan büyükse zemin kil sınıfına girer ve sıvılaşma meydana gelmez. Hesaplanan değeri 2.6'dan küçükse zemin ayrık taneli zemin sınıfına girer ve bu yüzden Q, n sabiti 0.5 alınarak tekrar hesaplanır. Elde edilen yeni değerler eşitlik (35)'de yerine konularak tekrar hesaplanır. Tekrar hesaplanan Iz değeri 2.6'dan büyükse n yerine 0.7 konularak yeni değer hesaplanır [13]. Zemin indeksi hesaplandıktan sonra CPT uç direnci üst tabaka yüküne göre düzeltilir.

$$q_{c1}= C_Q(q_c / P_a)$$

$$C_Q = (P_a/ \sigma'_{vo})^n$$

Burada;

qc1=Düzeltilmiş uç direnç

qc=Ölçülen uç direnç

$ó_{vo}$ = Düşey efektif gerilme

Pa=100 kPa'lık referans gerilmesi

CQ=Üst tabaka yükü düzeltme katsayısı

n = Zemin sınıfını gösteren katsayısıdır.

Robertson ve Wride (1998) ince tane etkisini dikkate alarak, düzeltilen uç dirençlerini ince tane etkisine göre yeniden hesaplamışlardır.

$$(q_c)_{tk}=K_c q_{c1}$$

Burada; $(qc)_{tk}$ ince tane oranına göre düzeltilmiş uç direnci, Kc granüler karakter için düzeltme katsayısıdır ve aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

$$K_c=0 \; ; \; I_z \leq 1.64$$

$$K_c=-0.403I_z^4+5.581I_z^3-21.63I_z^2+33.75I_z-17.88 \; ; \; I_z>1.64$$

Gerekli hesaplamalar yapıldıktan sonra devirsel direnç oranı (DDO), aşağıdaki eşitlikler yardımıyla bulunur:

$$DDO=0.883[(q_c)_{tk}/1000]+0.05 \; ; \; (q_c)_{tk}<50$$

$$DDO=93(q_c)_{tk}/1000]^3+0.08 \; ; 50\leq(q_c)_{tk}<160$$

3.1.5.3. Kayma dalga hızı (Vs)'nagöresıvılaşma analizi

Kayma Dalga Hızı (Vs) parametresi, bir arazi indisi olarak, (siltler ve kumlar gibi) numune alınması veya (çakıllar gibi) penetrasyonu zor olan zeminlerde, sıvılaşma olasılığının belirlenmesi çalışmalarında kullanılabilmektedir.

Kayma dalga hızına bağlı sıvılaşma potansiyel analiz yönteminde, temel olarak 3 parametrenin hesaplanması gerekmektedir.

- Deprem etkisiyle suya doygun gevsek zeminlerde meydana gelen tekrarlı yüklerin, Seed ve Idriss (1971) yöntemi ile hesabı (Devirsel Gerilme Oranı Hesabı),
- Yerinde elde edilen kayma dalga hızının referans bir gerilme ile düzeltilmesi, Düzeltmiş kayma dalga hızları aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanabilir.

$$V_{s1} = V_s C_v$$

Burada,

Vs1=Düzeltilmiş kayma dalga hızı (Üst tabaka yüküne göre)

Cv=Üst tabaka düzeltme katsayı,

Vs=Arazide ölçülen kayma dalga hızıdır.

Üst tabaka yükü düzeltme katsayısı (Cv) yardımıyla hesaplanmaktadır:

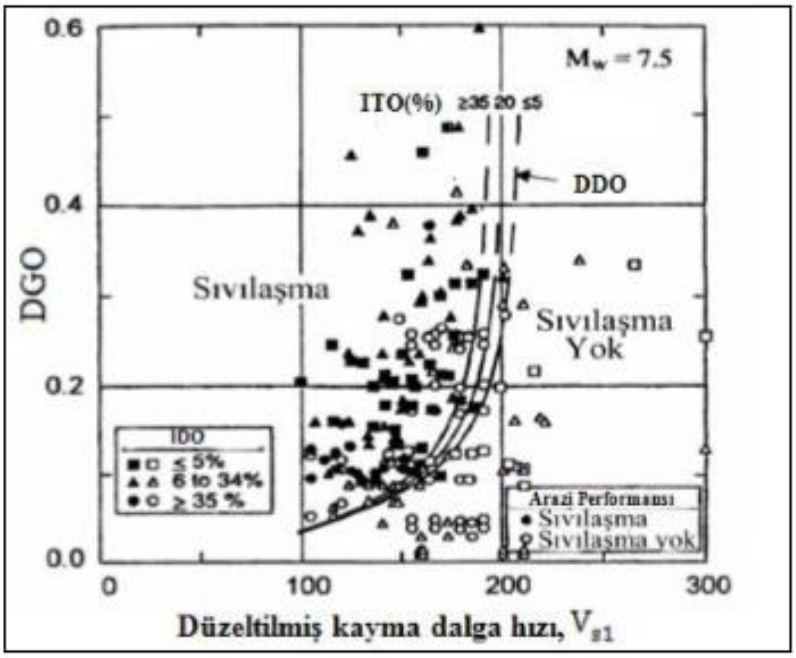
$$C_v = 100/\sigma'_{vo}$$

- Kayma dalga hızına bağlı sıvılaşma direnç oranının hesabı.

$$V_{s1} = V_s C_v$$

Yukarıdaki eşitlik kullanılarak elde edilen düzeltilmiş kayma dalga hızı V_{s1} değeri, ilgili ince tane eğrisi ile kesiştirilerek devirsel direnç oranı elde edilir [13].

Devirsel direnç oranı arazi performansı verilerine dayanılarak elde edilen eğriler vasıtasıyla aşağıdaki tablodan belirlenir.



Şekil 3.12. Kesme dalga hızı tabanlı değerlendirme çizelgesi [22].

4.TOKAT İLİ ERBAA İLÇESİ MERKEZİNDEKİ 1115,34 HEKTARLIK ALANIN MİKROBÖLGELEME ETÜT RAPORU ÖRNEĞİ

4.1 Amaç ve Kapsam

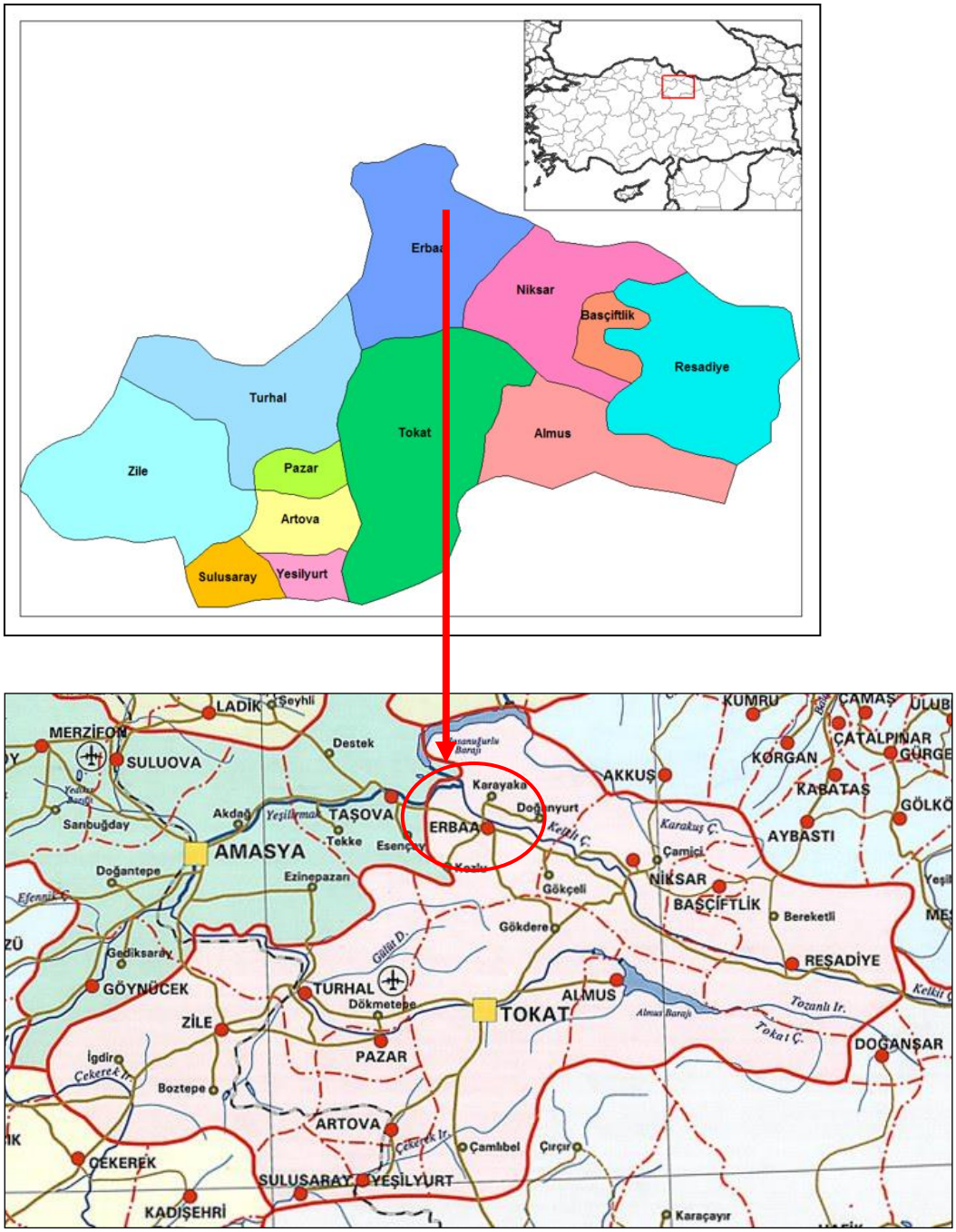
Bu rapor, 6306 sayılı "Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun" kapsamındaki riskli alan belirleme çalışmalarına yönelik Tokat İli Erbaa İlçe merkezinde 1115,34 hektar alanın imar planına esas mikrobölgeleme etüt raporu olarak Akademi Jeo. Jeot. Etüt Proje Müh. Müş. İnş. San. Ltd.Şti tarafından Aralık 2013' de hazırlanmıştır. Yapılan mikrobölgeleme etüt çalışmaları ile elde edilen veriler ışığında inceleme alanının yerleşime uygunluk değerlendirilmesinin yapılması ve imar planı çalışmasına girdi oluşturacak parametrelerin üretilmesi amaçlanmıştır.

Yapılan mikrobölgeleme etüt çalışması ile, İnceleme alanındaki olası doğal afet tehlikelerinin (heyelan, kaya düşmesi, deprem, su baskını vb.) ortaya konması ile sıvılaşma, şişme, oturma, taşıma, yerel zemin sınıfları gibi zeminlerin mühendislik parametrelerinin belirlenmesi ve çalışılan alanın yerleşilebilirlik durumunun tespit edilmesi hedeflenmiş ve sonuç olarak inceleme alanında yapılan tüm çalışmalar ile yapılacak imar planına altlık oluşturacak mikrobölgeleme etüt raporu hazırlanmıştır.

4.2. İnceleme Alanının Tanıtılması

4.2.1. Mekansal Bilgiler- Coğrafi Konum

Erbaa, Orta Karadeniz bölgesinde Tokat iline bağlıdır. Kelkit çayı kenarında kurulan ilçe, Kelkit Irmağı boyundaki bir ova ile bunu çevreleyen dağlık yerleri içine alan 1111 kilometrekarelik yüzölçüme sahip Erbaa baseninde yer almaktadır.
Batıda Taşova (Amasya) doğuda Niksar (Tokat) ve güneyde Turhal (Tokat) ilçeleri ile çevrilmiştir. Toprak bakımından ilin beş büyük ilçesinden birisidir.Tokat İline 84 km, Almus İlçesine 66 km, Taşova İlçesine 26 km, Niksar İlçesine 41 km mesafededir. İlçeye ulaşım karayolu ile sağlanmakta olup, karayolu yaz kış ulaşıma açıktır.



Harita 4.1. İnceleme Alanı Yer Bulduru Haritası

4.2.2. İklim ve bitki örtüsü

Karadeniz iklimi ile karasal iklimin geçiş bölgesinde bulunan Erbaa'da; yazları sıcak ve kuru, kışları ise yağmurlu ve ılıktır. En soğuk ay Ocak olup, yıllar ortalaması olarak en düşük sıcaklık 4 derecedir. En sıcak ay ise Temmuz'dur. Bu ayda ölçülen ortalama sıcaklık 23 derecedir. En düşük yağış 9 mm ile Ağustos ayında ve en yüksek yağış 68 mm ile Mayıs ayında gerçekleşmektedir. Yağış, özellikle bahar ve kış aylarında olmak üzere, hemen hemen her mevsimde görülmektedir. Bahar aylarında toplam yağış miktarı 70 mm/ay civarındadır.

Erbaa'nın zengin bir bitki örtüsü vardır. Narenciye harici tüm ürünler yetiştirilebilmektedir. Genellikle bölgeye hakim olan bitki türü orman formasyonlarıdır. İlçenin kuzey kısmında orman örtüsü 300 m. den başlar ve ilk sıralamalarda bir takım makilik ortamlarda yabani zeytin ağaçları, dişbudak ve kestane ağaçlarına rastlanır. Arazi yükseldikçe kızıl çam, meşe, gürgen, kayın gibi türler görülür.

4.2.3. Sosyo – Ekonomik Bilgiler

Erbaa ekonomisi geniş ölçüde tarıma dayalıdır. İklim tipi olarak bir geçiş yeri teşkil ettiğinden bir çok türden bitki ve meyvenin yetişmesine imkan tanır. Bunlardan bazıları; Tütün, buğday, arpa, çavdar, yulaf, ayçiçeği, nohut, fiğ, mercimek, bakla, fasulye, bezelye, burçak, soğan, pırasa, sarımsak, ıspanak, lahana, turp, patates, domates, biber, salatalık, nane, dereotu, maydanoz, bamya, marul,çay ve şeker pancarı, çilek, ceviz, erik, fındık, vişne, kiraz, kayısı, nar, üzüm, ayva, elma, armut, incir, kavun, karpuz, ivaz, ıhlamur, kızılcık, mahlep, muşmula, dut, yenidünya ve kivi'dir.

İlçe genelinde toplam fabrika sayısı 67'dır.Tekstil ve diğer iş kollarındaki yatırımların günümüzde de devam etmesiyle birlikte bugün ilçe genelinde toplam 67 adet fabrikada yaklaşık 7 bin 500 kişi çalışmaktadır. İlçede ana sanayi kolu toprak ve tekstildir. Tuğla ve kiremit fabrikaları halihazırda kapasitelerinin %30- %40'ı civarında üretim yapmaktadırlar.Son yıllarda istihdam alanı olarak 1997 yılında kurulan Erbaa Organize Sanayi Bölgesi önem kazanmakta olup OSB'de 10 adet tekstil fabrikası, 1 adet ambalaj fabrikası, 1 adet çelik eşya fabrikası, 1 adet salamuralık yaprak paketleme fabrikası, 1 adet küvet ve duşakabin fabrikası, 1 adet ekmek fabrikası, 1 adet poşet fabrikası olmak üzere tahsis edilenler dahil 25 tesis vardır. İlçenin muhtelif yerlerinde bu tekstil fabrikalarına hizmet veren 20 adet tekstil atölyesi bölgede hareketlenen yatırımların en temel

göstergeleri olmuştur. Erbaa Meslek Yüksekokulu da Tekstil Teknolojisi bölümünü açarak bu yatırımlara insan kaynağı, aktifişgücü ve kalifiye elaman bakımından katkı sağlamıştır.

Bunların yanında ilçemizde orman ürünlerine dayalı parke fabrikaları, kireç sanayi fabrikaları ve un fabrikaları mevcuttur.İlçede ayrıca 1976 yılında kurulan ve 416 işyeri, 1 adet Kooperatif idare binası ve 1 adet Çıraklık Eğitim Okulu bulunan bir Küçük Sanayi Sitesi de bulunmaktadır.

4.3.Çalışma yöntemleri

4.3.1. Haritalama ve Ölçek

Çalışma alanına ait 6adet 1/5000 ölçekli halihazır haritalar ile 52 adet 1/1000 ölçekli halihazır haritalar İller Bankası tarafından onaylanmıştır. Bu haritalar UTM- 3º Projeksiyonunda ve ITRF96 (GRS80 Elipsoidi) Datum'unda düzenlenmiş ve 30 derece dilim orta boylamı kullanılmıştır.Çalışmalar sonucunda aşağıdaki harita türleri üretilmeye çalışılmıştır.

Yer Hakim Titreşim Peryodu (To) haritası 75,9875 km2 (1 adet) (1/5000)
Kesme Dalgası (VS-VS30) haritası 75,9875 km2 (1 adet) (1/5000)
Yeraltısuyu Haritası 75,9875 km2 (1 adet) (1/5000)
Sıvılaşma Haritası 75,9875 km2 (1 adet) (1/5000)
Sismik Büyütme (Ak) Haritası 75,9875 km2 (1 adet)
Jeoloji Haritası 75,9875 km2 (1/5000)
Yerel Zemin Sınıfları Haritası 75,9875 km2 (1/5000)
Zemin Büyütme Haritası 75,9875 km2 (1/5000)
Eğim Haritası 75,9875 km2 (1/5000)
Yerleşime Uygunluk Haritası 75,9875 km2 (1/5000-1/1000)
Görünür Özdirenç Kat Haritası 75,9875 km2 (1 adet)

4.3.2. Karelaj – Hücrelendirme

Mikrobölgeleme çalışmaları, çalışılacak alanın belirlenen hücre boyutlarında eşit alanlara ayrılması ve her hücre alanı içerisinde yeterli yoğunlukta zemin bilgisi toplanması mantığı ile yürütülmektedir. Grid olarak adlandırılan bu hücreler, hesaplama ve değerlendirme problemlerini engellemek adına karesel alanlar olarak tasarlanırlar. Bu nedenle çalışılacak saha öncelikli olarak belirlenmiş grid boyutlarında eşit alanlara ayrılmıştır. Çalışma alanının gridlere bölünmesinde, teknik şartnamede belirtdiği şekilde; Alüvyon (Qal) ve Pliyosen Çerkeş Formasyonu (Tç) alanlarda; "250 m x 250 m" boyutlarında hücreler oluşturulmuştur. Bu bağlamda çalışma alanında 237adet grid bulunmaktadır.

4.3.3. Arazi, Laboratuvar, Büro Çalışma Metotları ve Ekipmanları

İnceleme alanında, yapılan çalışmalar arazi incelemeleri, arazi çalışmaları (sondaj, jeofizik çalışmalar, paleosismolojik çalışmalar), laboratuar çalışması, büro çalışması olarak yürütülmüştür.

4.4. Jeomorfoloji

Orta Karadeniz bölgesinde yer alan çalışma alanının güneyinde Kelkit Vadisi ve Orta Anadolu Platosu, batısında Niksar-Erbaa çöküntüsü, kuzeyinde Canik Dağ kuşağı yer almaktadır. Çalışma alanını da içine alan bölge jeomorfolojisi incelendiğinde, genel fizyografik özellikleri açısından Canik Dağları kuşağı, Kuzey Anadolu Fay Koridoru ve Orta Anadolu Platosu olmak üzere üç alt rölyef grubuna ayrıldığı görülmektedir.

Kuzey Anadolu Fay zonunun oluşturduğu tektonik oluklar, bölgesel anlamda morfolojik yapıları, kuzey ve güney kesimlerde yer alan farklı birimler şeklinde ikiye ayırmaktadır. Çalışma alanının kuzeyinde yer alan Canik Dağları Kuşağı'nın oluşturduğu yüksek rölyef gubunun kuzey yamaçları Karadeniz'e drene olan sık akarsu ağıyla parçalanmış durumdadır. Bu akarsu ağını oluşturan vadiler, kısa ancak yüksek eğime sahiplerdir. Dağ sırasının zirve kesimleri, Kelkit Vadisi'nin kuzeyinde dar alanlar boyunca, aşınım düzlüklerine karşı gelen platolar şeklindedir. Kuzey yamaçlarda gelişen akarsu sistemi aşındırması ile bu plato alanını güneye daraltmaktadır. Dağ sırasının güneyi ise

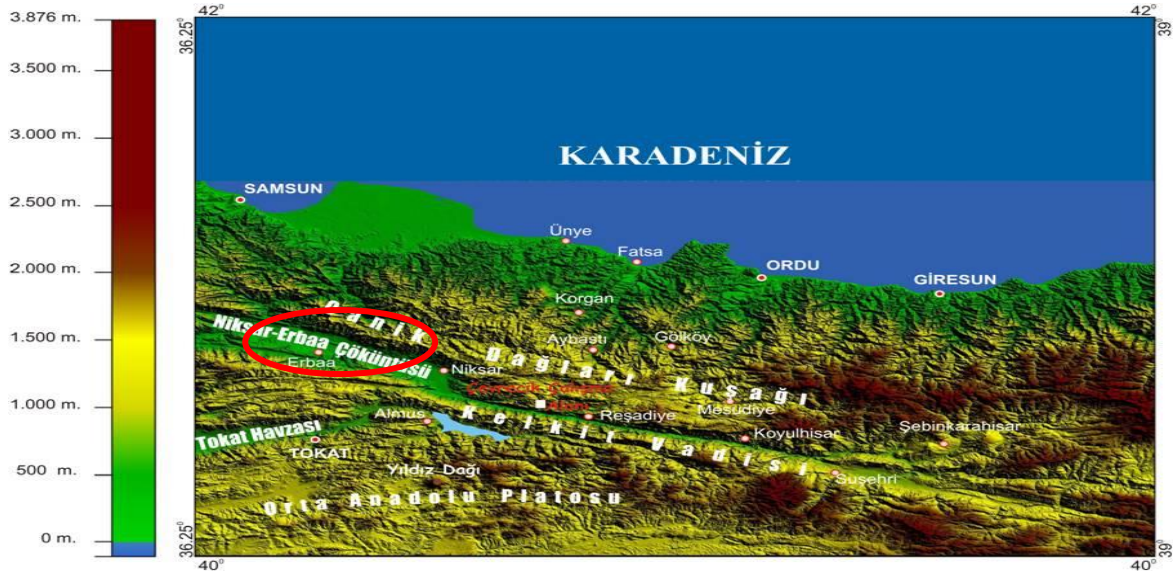
KAFS (Kuzey Anadolu Fay Sistemi) tarafından oluşturulan tektonik olukla sınırlandırılmaktadır. Bu rölyef grubunun orta ve batı kesimlerde Kelkit Vadisi ve Niksar-Erbaa çöküntü alanları keskin bir morfolojik sınırla yer alır. Ancak doğuda bu rölyef grubunun güney sınırı, Kelkit Çayı'nın KAFS oluğundan ayrılmasıyla daha yumuşak bir geçiş gösterirler. Bu kesimlerde Canik Dağları Kuşağı'nın güney yamaçlarının aşındırılmasına neden olan vadi sistemleri Kelkit Çayı'na birleşir.

Kelkit Çayı daha sonra KAFS boyunca, yaklaşık doğu-batı hattında Niksar'a kadar doğrusal bir vadi oluşturur. Kelkit Vadisi dar ve dik yamaçlara sahip, tektonik kontrollü gelişmiş bir vadidir. Vadi yamaçları sık fakat derin olmayan akarsu ağıyla aşındırılmaktadır. Bu bölgede Kelkit vadisi yaklaşık doğu-batı doğrultusunda, ancak yan kolları dik ve dike yakın konumda kuzey-güney yönünde sık ve kısa vadilerle temsil edilirler. Niksar'da KAFS'ne bağlı gelişen tektonik vadi sonlanır ve yine bu sisteme bağlı gelişen çöküntü alanları yer alır. Niksar-Erbaa çöküntü alanları, KAFS'nin açılmaya neden olacak şekilde sağa sıçramalarıyla meydana gelmiş alanlardır.

KAFS'nin güneyinde Orta Anadolu Platosu'nun kuzey kenar kesimleri yer alır. Bu platoyu drene eden Yeşilırmak, Kelkit Vadisi'nin hemen güneyindedir ve bu vadiye paralel konumludur. Birbirine çok yakın olan bu iki sistem arasında yaklaşık 500 m. yükseklik farkı vardır. Plato üzerinde Yeşilırmak yukarı havzasını oluşturan vadi sistemleri bulunur. Genelde doğuya doğru gelişen ana vadiye katılan yan vadilerin uzunlukları ve eğimleri kuzeydekilere göre daha azdır. Çalışma alanının doğusunda platonun kuzey sınırı KAFS tarafından sınırlanmaktadır. Bu nedenle platonun bu kesimlerinde kuzeye, Kelkit Çayı'na kavuşan kısa fakat yüksek eğimli vadi sistemleri bulunmaktadır. Platonun doğu kesimlerinde, Yeşilırmak Nehri'nin de içerisinden geçtiği dağ arası Tokat havzası bulunur. Daha doğuda, KAFS'nden ayrılan kollar nedeniyle bu kollara uyumlu, tektonik kontrollü gelişmiş vadi sistemleri gözlenir. Bunlara ek olarak, Yeşilırmak Nehri Karadeniz kıyısında 600 km2'lik alana sahip Yeşilırmak Deltasını oluşturur.

Rakımı ortalama 245 metre olan Erbaa, Tokat'ın en düşük rakım değerlerine sahip topraklarıdır.Bu rakım değerinin 32 km uzunluğa ve 10 km genişliğe sahip Erbaa Ovası ile birleşimi sonucu ise bugün Erbaa toprakları ziraate son derece uygundur. İlçe toprakları, kısmen Tozanlı çayı olmak üzere özellikle Kelkit Irmağı boyundaki bir ova ile bunu çevreleyen dağlık yerleri içine alan 1111 Kilometrekarelik yüzölçüme sahiptir.Erbaa'nın

kuzey kısmında yer alan Karınca dağı ile Güneyindeki Sakarat ile Boğatlı dağları aynı zamanda içerisinde oluşmuş, bu dağlar Kuzey Anadolu dağ silsilesi içerisinde bulunmaktadır. Bu dağlar ortalama yükseltileri olan 1000–1250 m ile Karadeniz Bölgesi ortalamasına göre gayet düşüktür ve denizellik etkisine imkanverir.



Harita 4.2. İnceleme Alanı ve Çevresinin Rölyef Haritası (MTA)

İnceleme alanının genel eğim değeri % 0->30aralığındadır. İnceleme alanında geniş ve büyük bir alanın eğim değeri %0-10, %10-20aralığındadır. İnceleme alanında alüvyonal düzlükler %0-10, Pliyosen Çerkeş Formasyonu %20->30 eğim aralığındadır.

4.5. Jeoloji

4.5.1. Genel jeoloji

Erbaa baseni yakın çevresinde, Permiyen ve Senozoyik yaşlı birimler yeralmaktadır. Temel kayasını, Turhal Grup metamorfikleri (Permiyen-Triyas) oluşturur.

Geç-Orta Jura aglomera-kumtaşı ve Geç Jura-Erken Kretase kireçtaşı birimleri temel kayalarını uyumsuzluk ile örterler. Bu birimlerin üzerine baskın olarak konglomera, kumtaşı, çamurtaşı, şeyl ve marn ardalanmasından oluşan Yumaklı formasyonu gelmektedir. Bu formasyonun yaşı Geç Kretase ’dir.Bu birim, iki farklı Tersiyer birimi (Akveren ve Kusuri) birimleri tarafından üzerlenir. Bu birimler de, karasal ortamda

oluşmuş Çerkeşformasyonu tarafından uyumsuzluk ile örtülür. Erbaa basenindeki en genç birim, vadi tabanlarını dolduran Kuvaterner alüvyon'dur.

4.5.2 Stratigrafi

4.5.2.1.Paleozoik birimler

Turhal grubu (Ttg)

Bu birim, Erbaa'ın güneyinde yüzeylenmektedir. Turhal grubu, kumtaşı, silttaşı, kireçtaşı, şist ve düşük dereceli metamorfizmaya uğramış şeyl ardalanmasından oluşur. Bu grup, sarımsı gri meta-kırıntılı malzeme içermektedir. Temel kayasının yaşı, Permiyen-Triyas'tır [23].

4.5.2.2.Mesozoyik birimler

Seyfe formasyonu (Js)

Seyfa formasyonu aglomera, gri-yeşilimsi kumtaşı, çamurtaşı, tüf, aglomera ve marn ardalanmasından oluşur. Bu birime ait bazı mostralar, Kelkit vadisinin kuzeyinde görülür. Bu birimin kalınlığı yaklaşık olarak 400 m olup, yaşı Erken-Orta Jura'dır.

Doğdu formasyonu (Jkd)

Doğdu formasyonu, Erbaa'ın yaklaşık olarak 5 km doğusunda yüzeylenmektedir. Bu birim, yer yer pembemsi kiltaşı ve marnlı seviyeleri içeren kireçtaşından oluşur. Doğdu formasyonunun kalınlığı 400-500 m civarındadır. Birim, Erbaa-Niksar karayolu boyunca ve Kelkit vadisinde görülür. Birimin yaşı Geç Jura-Erken Kretase'dir.

Yumaklı formasyonu (Ky)

Yumaklı formasyonu konglomera, kumtaşı, çamurtaşı, şeyl ve marn, tüf, aglomera ve killi kireçtaşı ardalanmasından oluşmaktadır. Formasyon kalınlığı 200 m olup, Senomaniyen-Kampaniyen yaşlıdır.

4.5.2.3. Tersiyer birimler

Akveren formasyonu (KPa)

Akveren formasyonu, Kelkit vadisinin kuzeyinde görülmektedir. Akveren formasyonu, kireçtaşı, kumtaşı, marn ve tüften oluşmaktadır. Formasyon kalınlığı 500 m'ye kadar çıkabilmektedir. Birimin yaşı, Geç Mestrihtiyen-Paleosen 'dir.

Kusuri formasyonu (Tk)

Kusuri formasyonu, Kelkit vadisinin kuzeyinde yüzeylenmektedir. Bu formasyon kireçtaşı, kiltaşı ve marn ardalanmasından oluşan fliş karakterli bir birimdir. Formasyonun yaşı Orta Miyosen'dir.

Tekkeköy formasyonu (Tt)

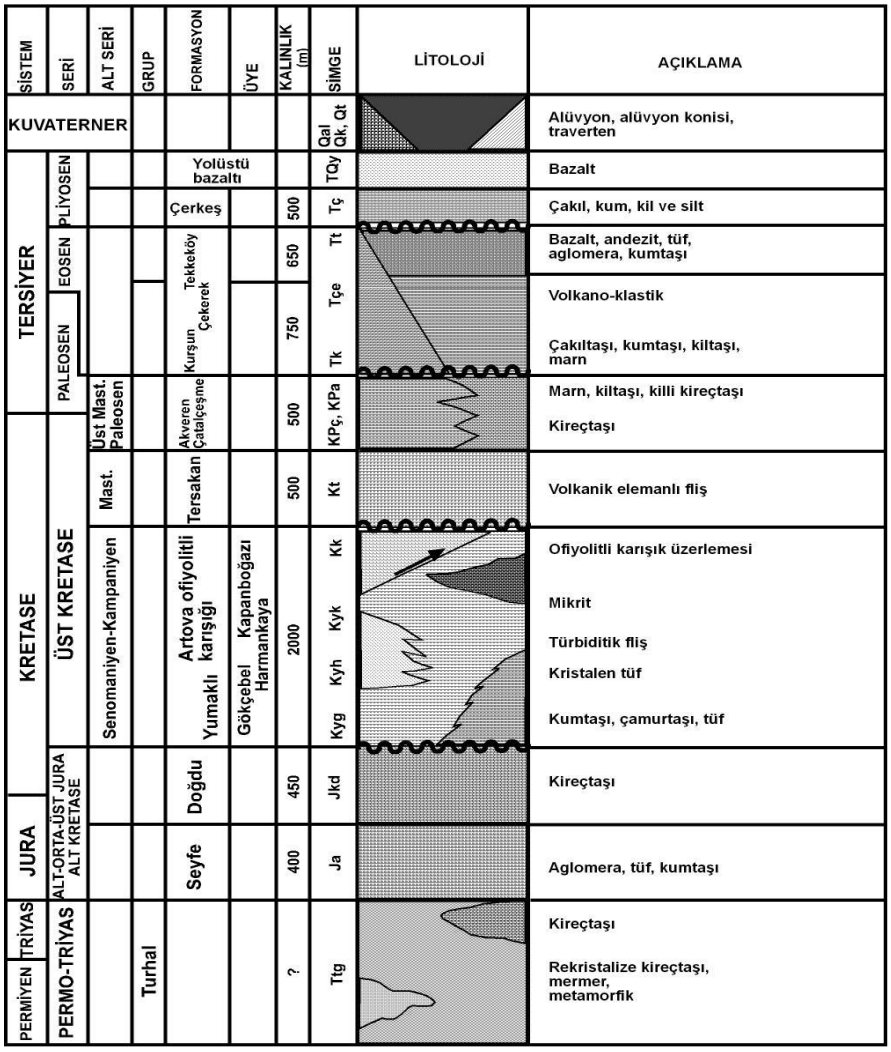
Tekkeköy formasyonu, bazalt, andezit, aglomera ve tüften oluşan volkanik kaya grupları ile kumtaşı-silttaşı ardalanmasından oluşmaktadır. Birimin kalınlığı yaklaşık 600 m, yaşı ise Orta-Geç Eosen'dir.

Çerkeş formasyonu (Tç)

Kuzey Anadolu Fayının aktivitesi nedeniyle çek-ayır basenleri (Taşova- Erbaa-Niksar) oluşmuştur. Bu basenler çakıllı, kumlu, siltli ve killli kırıntılarla doldurulmuştur. Özellikle Pliyosen sonrasında, bu malzemelerin kalınlıkları 500 m'lere ulaşmıştır. Bazı çakıllı seviyeler kalsiyum karbonat ile çimentolanmıştır. Basenlerin ortalarında, kırmızımsı kil ve siltten oluşan ince malzemeler görülmektedir. Bu malzemeler, günümüzde tuğla yapımında kullanılmaktadır. Çerkeş formasyonu, Erbaa, Niksar, Taşova ve Destek civarlarında gözlenmektedir. Kalınlığı yer yer 600 m'ye ulaşan bu formasyonun yaşı Pliyosen'dir ve bu birim alüvyonlu birimler tarafından uyumsuzluk ile üzerlenir [23].

4.5.2.4. Kuvaterner birimler (Qal, Qk, Qt)

Çakıl, kum, silt ve killi birimler ve bu malzemelerden oluşan taraçalar (Qal), Kelkit vadisi boyunca yüzeylenmektedir. Buna ek olarak, nehir yataklarında kum ve çakıl çökel kalınlıkları artmakta ve Kelkit nehri kenarında alüvyon malzemesi (Qk) ile birleşmektedir. Kuvaterner birimler, eski ve yeni alüvyon çökeller olarak ayırt edilebilir. Fay zonları yakınında, Kuvaterner traverten çökelleride (Qt) görülebilmektedir.



Şekil 4.1. İnceleme Alanı ve Yakın Çevresinin Genelleştirilmiş Stratigarfi Kesiti

4.5.3. Yapısal jeoloji

İnceleme alanı olan Erbaa baseni, KAFZ'nun doğu kısmında, 1942 ve 1943 depremlerinin kırdığı fay segmentinin ise kuzey kenarındadır. Taşova-Erbaa ve Niksar basenleri içerisinde, 1939, 1942 (M=7.2) ve 1943 (M=7.6) yüzey kırıkları meydana

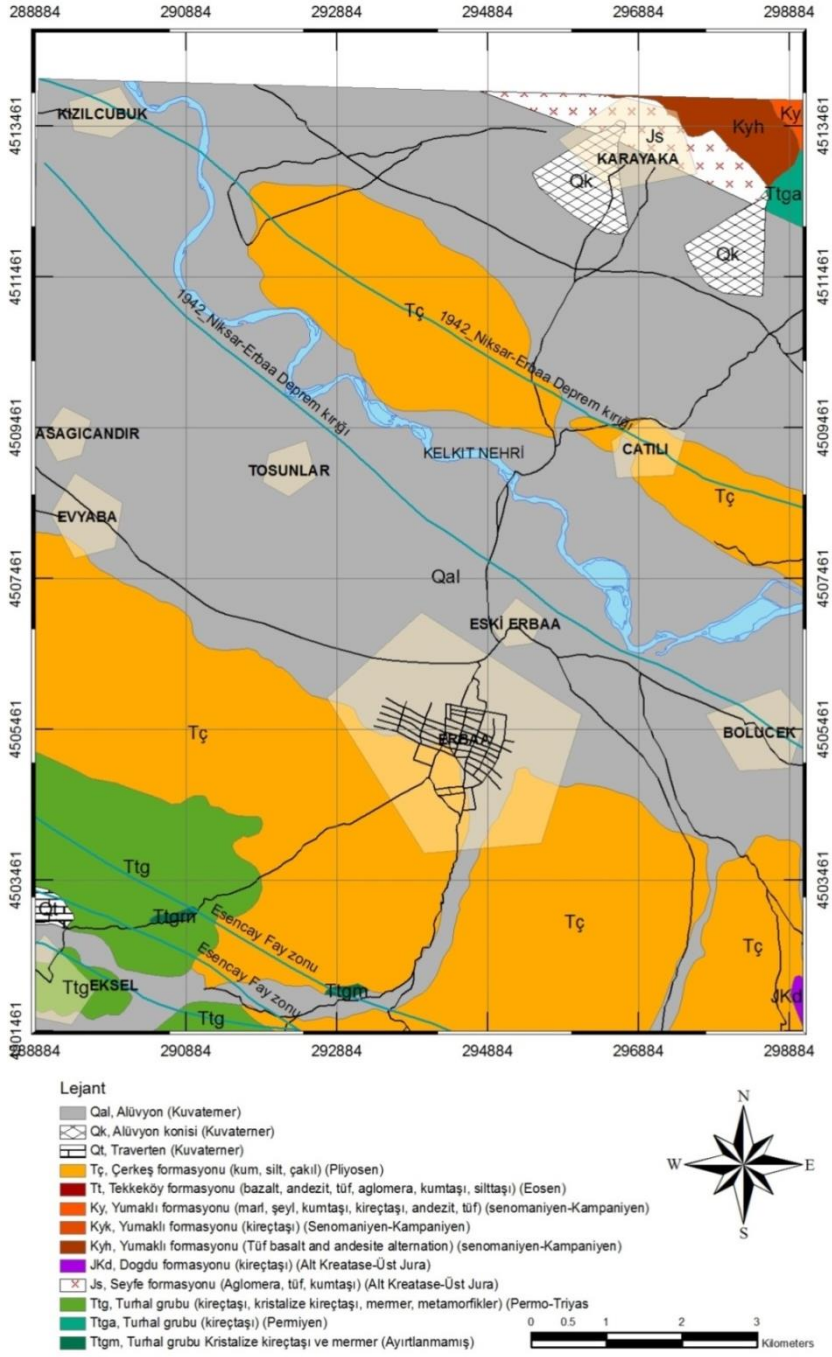
gelmiştir . Bu yazarlara göre, Taşova-Erbaa baseni günümüzde oluşmuş bir basendir. Bu basen 65 km uzunluğunda, 15-18 km genişliğinde ve faylarla sınırlandırılmış asimetrik şekillidir. Basen içindeki Neojen-Güncel çökellerde drenaj sistemi gelişmiştir. Eşençay fayı tarafından sınırlandırılmış güney kenarda belirgin bir yapı gözlenmektedir. Ancak, burada hiçbir aletsel ve/veya tarihsel depreme rastlanmamıştır.

Birçok araştırmacı, Erbaa civarındaki fay kollarını incelemiştir (Koçyiğit, 1989; 1990; Bozkurt ve Koçyiğit, 1995; 1996; Westaway, 1998; Toprak, 1994; Dirik ve Göncüoğlu, 1996; Koçyiğit ve Beyhan, 1998; Kaymakçı, 2000). KAFZ ile ilişkili çeşitli fay zonları (Almus, Yağmurlu- Ezinepazarı, Taşova - Çorum, Göksun - Yazıyurdu, Malatya - Ovacık ve Orta Anadolu Fay Zonu) belirlemişlerdir. Tarihsel ve aletsel kayıtlar, Orta Anadolu'nun doğu kısmı depremsellik açısından KAFZ ile kıyaslandığında daha az aktiftir [23].

4.5.4. İnceleme alanı jeolojisi

Yapılan arazi ve literatür çalışmalarına göre inceleme alanının jeolojisi, yaşlıdan gence doğru;Pliyosen çökelleri ve alüvyon bulunmaktadır.

- Pliyosen yaşlı Çerkeşformasyonuna ait (silt, kum, çakıl ve çimentolanmamış kumtaşı),
- Kuaterner yaşlı Alüvyon (Qal),



Harita 4.3. İnceleme Alanının Jeoloji Haritası

Çerkeş formasyonu (Tç)

Pliyosen yaşlı Çerkeş formasyonu (Tç) silt, kum, çakıl ve çimentolanmamış kumtaşı seviyeleri içermektedir.Erbaa yerleşim alanında görülen Pliyosen çökelleri, yoğunlukları/pekişmişlik durumları itibariyle ayırt edilebilmektedir. Bu çökeller, alüvyona göre daha yoğundur. Çimentolanmamış ve az pekişmiş seviyeler mevcuttur. Yeraltısu seviyesi oldukça derindedir. Açılan jeoteknik sondajlarda bu durum görülmektedir. Pliyosen çökelleri yerleşim alanının güneyinde görülmekte ve bu alanda tepeler oluşturmaktadır.

Alüvyon (Qal)

Alüvyon, inceleme alanının tamamına yakınını kapsamaktadır. Alüvyon kalınlığı inceleme alanının Kelkit nehrinedoğru artmaktadır. Bu birim, farklı su rejimlerinde Kelkit nehrinin taşıdığı malzemelerden oluşmaktadır. Bu nedenle, dikey ve yatay yönde iri malzemeden ince malzemeye geçiş görülebilmektedir. İnceleme alanındaki alüvyon çakıllı, kumlu, siltli ve killi malzemelerden oluşmaktadır. Çakıl boyutları genellikle 5-10 cm arasında değişmektedir. Çakıllar gri renkli, yuvarlak ve iyi derecelenmiştir. Ancak, bu malzemenin yanal ve dikey devamlılığı yoktur. Genelde mercekler halinde bulunurlar. Kumlu seviyeler ise, az olup, az miktarda küçük yuvarlak çakıl içermektedir. Kumlu birimler açık kahverenkli, orta sıkı-sıkı ve kötü boylanmıştır. Kumlu birimlerin yoğunlukları nehire doğru azalmaktadır. Kahverenkli siltli seviyeler ise, hem kum hemde kil tanecikleri içermekte olup, orta plastiktir. Killi seviyeler, koyu yeşil-açık kahverenkli ve orta-yüksek plastiktir. Alüvyondaki su seviyesi, Erbaa'nın kuzeyine özellikle de Kelkit nehrine doğru yüzeye yaklaşmaktadır.

4.6. İnceleme Alanında Yapılan Jeoteknik Amaçlı Araştırma Çukuru, Sondaj Çalışmaları ve Arazi Deneyleri

İnceleme alanlarında yüzeylenen jeolojik birimlerin yanal ve düşey değişimlerinin belirlenebilmesi için 173 farklı noktada sondaj çalışması ve paleosismolojik çalışma kapsamında ise 10 farklı güzergahta araştırma çukuru (hendek) çalışması yapılmıştır.

4.6.1.Araştırma çukurları (Paleosismolojik çalışmalar)

İnceleme alanında paelosismolojik araştırmalar kapsamında derinliği 2.00-4.00 m ve uzunluğu 36 - 52 m aralığında değişen 10 adet araştırma çukuru (hendek) açma çalışması yapılmıştır.

4.6.2. Sondajlar

İnceleme alanında yer alan Pliyosen Çerkeş Formasyonu ve Alüvyon birimlerinde derinlikleri 20,00-41,00 m arasında değişen 173 adet toplam 4.183,50 m sondaj yapılmıştır.

Sondajlar Pliyosen Çerkeş Formasyonunda (Tç) derinlikleri 20,00-33,50 m arasında değişen59 adet toplam 1.397,50 m., Alüvyonda (Qal) ise derinlikleri 20,00-41,00 m arasında değişen 114 adet toplam2.786,00 molarak yapılmıştır.
İnceleme alanında yapılan jeoteknik sondajlar zeminlerin litolojik özelliklerini, düşey doğrultudaki değişimlerini ve yeraltısuyu durumu ile mühendislik parametreleri gibi bilgileri elde etme amacıyla yapılmıştır.

Ayrıca 33 farklı kuyuda toplamda 262 adet pressiyometre deneyi yapılmıştır.

Pliyosen Çerkeş formasyonunda yapılan sondajlarda geçilen birimler

Pliyosen Çerkeş formasyonunda derinliği 20,00-33,50 m arasında değişen toplam 1.397,50 m.59 adet sondaj kuyusu açılmıştır. Çerkeş Formasyonunda açılan sondaj kuyularında genel olarak 0.00-0.60 m kalınlığında bitkisel toprak, bitkisel toprağın alt seviyelerinde ise siltli çakıllı kum, siltli kil, siltli kumlu kil geçilmiştir.

Çizelge 4.1. Çerkeş Formasyonu Üzerinde Yapılan Sondajlarda Geçilen Birimlerden Bazı Örnekler

KUYU NO	DERİNLİK (m)	Litoloji	Formasyon	KUYU NO	DERİNLİK (m)	Litoloji	Formasyon
SK1	26,00	0.00-0.60 m Bitkisel toprak 0.60-26.00 m Siltli kumlu kil	Çerkeş Formasyonu (Tç)	SK62	26,00	0.00-0.60 m Bitkisel toprak 0.60-26.00 m Siltli kumlu kil	Çerkeş Formasyonu (Tç)
SK2	26,00	0.00-0.60 m Bitkisel toprak 0.60-6.50 m Siltli kil 6.50-26.00 m Siltli çakıllı kum	Çerkeş Formasyonu (Tç)	SK63	20,00	0.00-0.60 m Bitkisel toprak 0.60-20.00 m Siltli kil	Çerkeş Formasyonu (Tç)
SK3	26,00	0.00-0.60 m Bitkisel toprak 0.60-9.00 m siltli kumlu kil 9.00-26.00 m siltli çakıllı kum	Çerkeş Formasyonu (Tç)	SK64	30,50	0.00-0.60 m Bitkisel toprak 0.60-5.00 m Siltli kil 5.00-30.50 m Siltli çakıllı kum	Çerkeş Formasyonu (Tç)
SK4	30,50	0.00-0.60 m Bitkisel toprak 0.60-30.5 m Siltli kumlu kil	Çerkeş Formasyonu (Tç)	SK65	30,50	0.00-0.60 m Bitkisel toprak 0.60-30.50 m Siltli kumlu kil	Çerkeş Formasyonu (Tç)
SK5	26,00	0.00-0.60 m Bitkisel toprak 0.60-7.50 m Siltli killi kum 7.50-26.00 m Siltli çakıllı kum	Çerkeş Formasyonu (Tç)	SK66	20,00	0.00-0.60 m Bitkisel toprak 0.60-15.00 m Siltli kil 15.00-20.00 m Siltli çakıllı kum	Çerkeş Formasyonu (Tç)
SK6	33,50	0.00-0.60 m Bitkisel toprak 0.60-33.50 m Siltli kumlu kil	Çerkeş Formasyonu (Tç)	SK67	20,00	0.00-0.60 m Bitkisel toprak 0.60-15.00 m Siltli kil 15.00-20.00 m Siltli çakıllı kum	Çerkeş Formasyonu (Tç)
SK18	21,50	0.00-0.60 m Bitkisel toprak 0.6-21.50 m Siltli killi kum	Çerkeş Formasyonu (Tç)	SK68	21,50	0.00-0.60 m Bitkisel toprak 0.60-20.00 m Siltli kil	Çerkeş Formasyonu (Tç)
SK19	26,00	0.00-0.60 m Bitkisel toprak 0.6-26.00 m Siltli killi kum	Çerkeş Formasyonu (Tç)	SK69	21,50	0.00-0.60 m Bitkisel toprak 0.60-21.50 m Siltli kil	Çerkeş Formasyonu (Tç)
SK20	20,00	0.00-0.60 m Bitkisel toprak 0.6-20.00 m Siltli killi kum	Çerkeş Formasyonu (Tç)	SK70	21,50	0.00-0.60 m Bitkisel toprak 0.60-21.50 m Siltli kil	Çerkeş Formasyonu (Tç)
SK25	26,00	0.00-0.60 m Bitkisel toprak 0.60-26.00 m Siltli kumlu kil	Çerkeş Formasyonu (Tç)	SK71	21,50	0.00-0.60 m Bitkisel toprak 0.60-21.50 m Siltli kil	Çerkeş Formasyonu (Tç)
SK26	26,00	0.00-0.60 m Bitkisel toprak 0.60-26.00 m Siltli kumlu kil	Çerkeş Formasyonu (Tç)	SK97	20,00	0.00-0.60 m Bitkisel toprak 0.60-15.50 m Siltli kil 15.50-20.00 m Siltli çakıllı kum	Çerkeş Formasyonu (Tç)

Alüvyonda yapılan sondajlarda geçilen birimler

Alüvyonda derinliği 20,00-41,00 m arasında değişen toplam2.786,00 m 114 adet sondaj kuyusu açılmıştır. Alüvyonda açılan sondaj kuyularında genel olarak 0.50m kalınlığında bitkisel toprak, alt seviyelerinde iseAlüvyona ait çakıllı siltli kumgeçilmiştir.

Çizelge 4.2. Alüvyon Üzerinde Açılan Sondajlarda Geçilen Birimlerden Bazı Örnekler

KUYU NO	DERİNLİK (m)	Litoloji	Formasyon
SK7	30.50	0.00-0.60 m Bitkisel toprak 0.60-30.5 m Siltli kil	Alüvyon (Qal)
SK8	30.00	0.00-0.60 m Bitkisel toprak 0.60-30.00 m Siltli kil	Alüvyon (Qal)
SK9	24.00	0.60-6.50m Siltli kil 6.50-24.00 m Siltli çakıllı kum	Alüvyon (Qal)
SK10	30.50	0.00-0.60 m Bitkisel toprak 0.60-8.50 m Siltli kil 8.50-15.00 Siltli çakıllı kum 15.00-30.50 m Siltli kil	Alüvyon (Qal)
SK11	26.00	0.60-9.00 m Siltli kil 9.00-26.00 Siltli çakıllı kum	Alüvyon (Qal)
SK12	26.00	0.00-0.60 m Bitkisel toprak 0.60-15.00 m Siltli kil 15.00-26.00 m Siltli çakıllı kum	Alüvyon (Qal)
SK13	26.00	0.00-0.60 m Bitkisel toprak 0.60-16.50 m Siltli kil 16.50-26.00 m Siltli çakıllı kum	Alüvyon (Qal)
SK14	21.00	0.00-0.60 m Bitkisel toprak 0.6-21.00 m Siltli çakıllı kum	Alüvyon (Qal)
SK15	26.00	0.00-0.60 m Bitkisel toprak 0.60-26.00 m Siltli kil	Alüvyon (Qal)

KUYU NO	DERİNLİK (m)	Litoloji	Formasyon
SK105	30.50	0.00-0.60 m Bitkisel toprak 0.60-30.50 m Siltli kil	Alüvyon (Qal)
SK106	29.00	0.00-0.60 m Bitkisel toprak 0.60-29.00 m Siltli kil	Alüvyon (Qal)
SK107	26.00	0.00-0.60 m Bitkisel toprak 0.60-26.00 m Siltli kil	Alüvyon (Qal)
SK108	25.00	0.00-0.60 m Bitkisel toprak 0.60-25.00 m Siltli kil	Alüvyon (Qal)
SK109	26.00	0.00-0.60 m Bitkisel toprak 0.60-26.00 m Siltli kil	Alüvyon (Qal)
SK110	23.00	0.00-0.60 m Bitkisel toprak 0.60-9.00 m Siltli kil 9.00-23.00 m Siltli çakıllı kum	Alüvyon (Qal)
SK111	21.50	0.00-0.60 m Bitkisel toprak 0.60-11.00 m Siltli çakıllı kum 11.00-13.00 m Siltli kil 13.00-21.50 m Siltli çakıllı kum	Alüvyon (Qal)
SK112	27.00	0.00-0.60 m Bitkisel toprak 0.60-27.50 m Siltli çakıllı kum	Alüvyon (Qal)
SK113	30.50	0.00-0.60 m Bitkisel toprak 0.60-7.00 m Siltli çakıllı kum 7.00-12.00 m siltli kil 12.00-30.50 siltli çakıllı kum	Alüvyon (Qal)

4.6.3. Arazi deneyleri

4.6.3.1 Standart Penetrasyon deneyi (SPT)

Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) esas olarak yerinde yapılan bir dinamik kesme deneyidir. Kesme direnci daneli zeminlerde zeminin izafi sıkılığına, kohezyonlu zeminlerde ise zeminin mukavemet parametrelerine bağlıdır. Bu sebeple penetrasyon deneyi sonuçları ile taşıma gücü arasında gerçeğe uygun bir bağlantı kurulabildiği gibi diğer jeoteknik hesaplamalarda da kullanılmaktadır. SPT deneyleri sırasında alınan örselenmiş örnekler 2" dış çaplı ve 1 ⅜" iç çaplı yarık numune alıcı ile alınmıştır. Alınan numuneler doğal özelliklerini kaybetmemesi için iç içe geçmiş iki ayrı naylon poşet içine konularak, etiketlenmiş ve ağızları hava almayacak şekilde sıkıca bağlanmıştır. SPT deneyleri sırasında % 60 enerjili serbest düşürmeli şahmerdan kullanılmıştır.

Çizelge 4.3. Alüvyonda Yapılan SPT Deneylerinden Bazı Değerler

Sondaj No	Derinlik (m)				SPT			Litoloji	Formasyon
					15-30 cm	30-45 cm	N30		
SK-7	30.50	3.00	-	3.45	10	13	23	Siltli kil	Qal
		4.50	-	4.95	10	14	24		
		6.00	-	6.45	9	12	21		
		7.50	-	7.95	9	10	19		
		9.00	-	9.45	8	13	21		
		10.50	-	10.95	5	7	12		
		12.00	-	12.45	11	18	29		
		13.50	-	13.95	13	21	34		
		15.00	-	15.45	15	24	39		
		16.50	-	16.95	13	25	38		
		18.00	-	18.45	17	25	42		
		19.50	-	19.95	16	24	40		
		21.00	-	21.45	19	27	46		
		22.50	-	22.95	18	26	44		
		24.00	-	24.45	20	26	46		
		25.50	-	25.95	22	23	45		
		27.00	-	27.45	19	27	46		
		28.50	-	28.95	18	23	41		
		30.00	-	30.45	23	25	48		
SK-8	29.00	3.00	-	3.45	9	16	25	Siltli kil	Qal
		4.50	-	4.95	10	19	29		
		6.00	-	6.45	17	30	47		
		7.50	-	7.95	20	36	56		
		9.00	-	9.45	19	36	55		
		10.50	-	10.95	8	10	18		
		12.00	-	12.45	21	37	68		
		13.50	-	13.95	22	39	61		
		15.00	-	15.45	22	20	42		
		16.50	-	16.95	15	21	36		
		18.00	-	18.45	18	21	39		
		19.50	-	19.95	19	23	42		
		21.00	-	21.45	20	23	43		
		22.50	-	22.95	24	27	51		
		24.00	-	24.45	24	28	52		
		25.50	-	25.95	25	29	54		
		27.00	-	27.45	23	28	51		
		28.50	-	28.95	25	27	52		
SK-9	24.00	3.00	-	3.45	5	8	13	Siltli kil	Qal
		4.50	-	4.95	9	14	23		
		6.00	-	6.45	17	25	42		
		7.50	-	7.95	15	19	34	Siltli çakıllı kum	
		9.00	-	9.45	11	19	30		
		10.50	-	10.95	12	15	27		
		12.00	-	12.45	10	14	24		
		13.50	-	13.95	50/10		R		
		15.00	-	15.45	19	26	45		
		16.50	-	16.95	17	23	40		
		18.00	-	18.45	19	24	43		
		19.50	-	19.95	24	29	53		
		21.00	-	21.45	21	32	53		
		22.50	-	22.95	20	32	52		
		24.00	-	24.45	28	26	54		

Çizelge 4.4. Çerkeş Formasyonunda Yapılan SPT Deneylerinden Bazı Değerler

SK1	26.00	3.00	-	3.45	6	10	16	İnce çakıllı kumlu kahve kil	Tç
		4.50	-	4.95	7	11	18		
		6.00	-	6.45	9	13	22		
		7.50	-	7.95	12	18	30		
		9.00	-	9.45	9	14	23		
		10.50	-	10.95	10	16	26		
		12.00	-	12.45	13	18	31		
		13.50	-	13.95	17	21	38		
		15.00	-	15.45	50/5	R	R		
		16.50	-	16.95	19	23	42		
		18.00	-	18.45	17	21	38		
		19.50	-	19.95	18	26	44		
		21.00	-	21.45	22	27	49		
		22.50	-	22.95	24	29	53		
		24.00	-	24.45	27	27	54		
		25.50	-	25.95	28	35	63		
SK2	26.00	3.00	-	3.45	7	7	14	Siltli kil	Tç
		4.50	-	4.95	6	9	15		
		6.00	-	6.45	9	15	24		
		7.50	-	7.95	50/0		R	Siltli çakıllı kum	
		9.00	-	9.45	50/0		R		
		10.50	-	10.95	50/0		R		
		12.00	-	12.45	50/0		R		
		13.50	-	13.95	13	17	30		
		15.00	-	15.45	14	20	34		
		16.50	-	16.95	17	24	41		
		18.00	-	18.45	19	30	49		
		19.50	-	19.95	17	28	45		
		21.00	-	21.45	19	31	50		
		22.50	-	22.95	20	32	52		
		24.00	-	24.45	50/12		R		
		25.50	-	25.95	28	37	65		
SK3	26.00	3.00	-	3.45	7	8	15	Siltli kumlu kil	Tç
		4.50	-	4.95	8	10	18		
		6.00	-	6.45	9	13	22		
		7.50	-	7.95	11	14	25		
		9.00	-	9.45	12	16	28		
		10.50	-	10.95	13	18	31	Siltli çakıllı kum	
		12.00	-	12.45	14	19	33		
		13.50	-	13.95	15	22	37		
		15.00	-	15.45	19	26	45		
		16.50	-	16.95	15	21	36		
		18.00	-	18.45	19	24	43		
		19.50	-	19.95	22	29	51		
		21.00	-	21.45	20	27	47		
		22.50	-	22.95	17	22	39		
		24.00	-	24.45	23	37	60		
		25.50	-	25.95	20	36	56		
SK4	30.50	3.00	-	3.45	50/2		R	Siltli kumlu kil	Tç
		4.50	-	4.95	18	25	43		
		6.00	-	6.45	11	16	27		
		7.50	-	7.95	10	18	28		
		9.00	-	9.45	11	13	24		
		10.50	-	10.95	8	13	21		
		12.00	-	12.45	7	8	15		
		13.50	-	13.95	6	8	14		
		15.00	-	15.45	9	12	21		
		16.50	-	16.95	13	17	30		
		18.00	-	18.45	12	17	29		
		19.50	-	19.95	8	17	25		
		21.00	-	21.45	11	16	27		
		22.50	-	22.95	9	13	22		
		24.00	-	24.45	10	15	25		
		25.50	-	25.95	11	16	27		
		27.00	-	27.45	15	18	33		
		28.50	-	28.95	12	16	28		
		30.00	-	30.45	12	18	30		

4.6.3.2. Pressiyometre deneyi (Prt)

İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarında zemin tabakalarının mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla 33 farklı kuyuda toplamda 262 adet pressiyometre deneyi yapılmıştır. Deneyin esasını, açılan sondaj kuyularında istenilen derinliğe indirilen 74 mm çapa sahip, üç hücreden oluşan silindirik bir tüpün şişirilmesi ve sondaj kuyusunun radyal olarak yüklenmesi oluşturmaktadır. Zeminin gerilme – deformasyon ilişkisinden faydalanılarak birimin elastisite modülü (Em) ve Limit basınç (P∟*) değerleri bulunmuştur.

Çizelge 4.5. Pressiyometre Deneyinden Elde Edilen Bazı Elastisite Modülü ve Limit Basınç Değerleri

4.7.

PRESSİYOMETRE DENEYİ SONUÇ TABLOSU

SK-1-1		
Deney Derinliği (m)	Net Limit Basınç P_L^* (kg/cm²)	Elastisite Modülü - E_M (kg/cm²)
3.00	7.8	156
6.00	7.4	161
9.00	8.5	354
12.00	9.5	102
15.00	9.1	76
18.00	9.3	170
21.00	9.4	94
24.00	8.8	167
27.00		
30.00		

SK-2-2		
Deney Derinliği (m)	Net Limit Basınç P_L^* (kg/cm²)	Elastisite Modülü - E_M (kg/cm²)
3.00	6.1	138
6.00	6.7	139
9.00	6.8	155
12.00	8	129
15.00	9.8	133
18.00	10.2	85
21.00	11	121
24.00	13.4	184
27.00		
30.00		

SK-3-2		
Deney Derinliği (m)	Net Limit Basınç P_L^* (kg/cm²)	Elastisite Modülü - E_M (kg/cm²)
3.00	7.1	162
6.00	9.9	92
9.00	8.9	171
12.00	10.6	133
15.00	13.3	116
18.00	14.7	206
21.00		
24.00		
27.00		
30.00		

SK-4-1		
Deney Derinliği (m)	Net Limit Basınç P_L^* (kg/cm²)	Elastisite Modülü - E_M (kg/cm²)
3.00	7	150
6.00	6.7	118
9.00	10.3	231
12.00	12.8	122
15.00	22.2	216
18.00	19.1	332
21.00		
24.00		
27.00		
30.00		

SK-5-2		
Deney Derinliği (m)	Net Limit Basınç P_L^* (kg/cm²)	Elastisite Modülü - E_M (kg/cm²)
3.00	9	162
6.00	11	282
9.00	7.3	155
12.00	11.9	143
15.00	10.8	287
18.00	15	255
21.00	14.4	177
24.00		
27.00		
30.00		

SK-6		
Deney Derinliği (m)	Net Limit Basınç P_L^* (kg/cm²)	Elastisite Modülü - E_M (kg/cm²)
3.00	13.6	132
6.00	12.2	141
9.00	10.6	122
12.00	8	161
15.00	10	84
18.00	8.8	154
21.00	10.1	82
24.00	14.6	184
27.00	9	135
30.00	11	203

SK-6-2		
Deney Derinliği (m)	Net Limit Basınç P_L^* (kg/cm²)	Elastisite Modülü - E_M (kg/cm²)
3.00	6	34
6.00	15.9	132
9.00	7.8	71
12.00	15.4	235
15.00	14.6	267
18.00	14	140
21.00	15.6	221
24.00	14.4	206
27.00		
30.00		

SK-7		
Deney Derinliği (m)	Net Limit Basınç P_L^* (kg/cm²)	Elastisite Modülü - E_M (kg/cm²)
3.00	9.5	74
6.00	8	166
9.00	9.8	118
12.00	10.1	93
15.00	11.5	257
18.00	8.9	86
21.00	12	412
24.00	10.4	103
27.00	11.8	113
30.00	13.2	119

SK-8-1		
Deney Derinliği (m)	Net Limit Basınç P_L^* (kg/cm²)	Elastisite Modülü - E_M (kg/cm²)
3.00	10	141
6.00	6.9	140
9.00	8.5	183
12.00	7.1	147
15.00	12.3	117
18.00	11.5	90
21.00	13.6	124
24.00	12.1	99
27.00	7.3	221
30.00	15.3	252

Jeoteknik Amaçlı Laboratuvar Deneyleri

Jeoteknik sondaj kuyularından alınan zemin numuneler, TS 1900-1, TS 1900-2, ASTM D 2216, ASTM D 4318 standartlarına uygun olarak laboratuvar deneylerine tabii tutulmuştur.

İnceleme alanında açılan jeoteknik kuyulardan alınan zemin numunelerin 1166 adedi üzerinde deney yapılmıştır. Yapılan laboratuvar çalışmaları;

- 1166 adet Su Muhtevası Deneyi,
- 253 adet Doğal Birim Hacim Ağırlığı Tayini,
- 697 adet Kıvam Limitleri Deneyi,
- 400 adet Elek Analizi,
- 81 adet Hidrometre Analizi,
- 81 adet Kayma Direncini Kesme Kutusu ile tayini (Ɣn ve Wn),
- 30 adet Bilgisayar Kontrollü Cihazda Tekrarlı Yüklü Kesme Kutusu Deneyi (Ɣs,Ɣn,Wn),
- 80 adet Bilgisayar Kontrollü Cihazda Üç Eksenli Basınç Deneyi (Ɣn ve Wn dahil) (Konsolidasyonsuz-Drenajsız) Boşluk Suyu Basıncı Ölçülmeden tayini (UU)
- 141 adet Bilgisayar kontrollü cihazda Konsolüdasyon (Odeometre) Deneyi (Ɣs,Ɣn,Wn) konsolidasyon +şişme basıncışeklindedir.

Örselenmemiş örneklerinden 252adedinde direk kesme ve üç eksenli deneyler sonucunda kohezyon (c) ve içsel sürtünme açıları (ϕ) elde edilmiştir.

4.7.1. Zemin indeks-fiziksel özelliklerinin belirlenmesi

Çalışma alanındaki zeminlerin fiziksel-indeks özelliklerinin belirlenmesi amacıyla 697 adet örnek üzerinde atteberg limitlerinin tayini deneyi, 81'inde hidrometre deneyleri yapılmıştır.

Ayrıca örneklerin tamamında, zeminin su içeriğini ve tane boyu dağılımını belirlemeye yönelik, su muhtevası ve elek analizi deneyleri de yapılmıştır.

Çizelge 4.6. Bazı Numunelere Ait Laboratuvar İndeks Özelliklerinin Toplu Gösterimi

Sondaj No.	Numune No	Derinlik (m)	Su İçeriği (%)	Elek Analizi		Atterberg Limitleri			Zemin Sınıfı	Formasyon
				No. 4 Kalan (%)	200 Geçen (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)	USCS	
SK-7	SPT	3,00-3,45	9.3	27.4	7.7		NP		SW-SM	Qal
SK-7	SPT	6,00-6,45	13.6	6.7	53.1	35.0	17.1	17.9	CL	Qal
SK-7	UD	7,00-7,50	26.1	0.6	70.6	38.5	20.2	18.3	CL	Qal
SK-7	UD	10,00-10,50	20.2	0.6	73.5	32.7	18.6	14.1	CL	Qal
SK-7	SPT	15,00-15,45	19.2	0.0	86.7	56.5	22.8	33.6	CH	Qal
SK-7	SPT	18,00-18,45	19.4	19.4	9.8		NP		SW-SM	Qal
SK-7	SPT	19,50-19,95	19.6	21.5	7.9		NP		SW-SM	Qal
SK-7	SPT	24,00-24,45	18.6	12.4	9.1		NP		SW-SM	Qal
SK-7	SPT	30,00-30,45	31.9	0.0	24.2	26.9	15.1	11.9	SC	Qal
SK-8	SPT	3,00-3,45	26.5	1.3	74.1	34.0	19.0	15.0	CL	Qal
SK-8	UD	5,50-6,00	22.0	2.0	66.5	35.2	19.0	16.2	CL	Qal
SK-8	SPT	7,50-7,95	22.1	0.0	21.2	25.1	13.1	12.0	SC	Qal
SK-8	SPT	13,50-13,95	17.8	7.9	45.8	31.1	16.6	14.5	SC	Qal
SK-8	SPT	18,00-18,45	21.3	14.2	34.8	34.7	17.7	17.0	SC	Qal
SK-8	SPT	22,50-22,95	9.0	6.7	53.3	34.3	17.3	17.0	CL	Qal
SK-8	SPT	27,00-27,45	12.2	8.2	45.7	33.7	17.2	16.5	SC	Qal
SK-9	SPT	3,00-3,45	10.3	1.3	77.6	36.2	19.4	16.8	CL	Qal
SK-9	UD	5,00-5,50	14.6	2.6	67.6	37.0	20.4	16.6	CL	Qal
SK-9	SPT	7,50-7,95	14.2	1.6	71.9	35.5	18.2	17.3	CL	Qal
SK-9	UD	8,50-9,00	9.3	10.2	37.2	33.8	17.5	16.3	SC	Qal
SK-9	SPT	15,00-15,45	4.7	16.7	16.3	27.7	14.3	13.4	SC	Qal
SK-9	SPT	16,50-16,95	15.6	17.4	9.3		NP		SW-SM	Qal
SK-9	SPT	19,50-19,95	10.6	33.4	5.5		NP		SP-SM	Qal
SK-9	SPT	22,50-22,95	4.5	30.4	5.2		NP		SW-SM	Qal
SK-10	SPT	1,50-1,95	7.2	27.2	4.9		NP		SW	Qal
SK-10	UD	4,00-4,50	27.4	1.7	65.5	47.6	22.4	25.1	CL	Qal
SK-10	SPT	7,50-7,95	7.1	0.0	24.2	26.4	13.4	13.0	SC	Qal
SK-10	SPT	12,00-12,45	7.7	29.2	6.3		NP		SW-SM	Qal
SK-10	SPT	15,00-15,45	9.1	29.1	5.8		NP		SW-SM	Qal
SK-10	SPT	18,00-18,45	13.3	2.6	70.6	35.4	19.4	16.0	CL	Qal
SK-10	SPT	24,00-24,45	16.5	3.7	64.8	33.9	17.9	16.0	CL	Qal
SK-10	SPT	30,00-30,45	17.5	1.3	72.1	41.8	22.9	18.9	CL	Qal
SK-11	SPT	3,00-3,45	19.7	0.0	93.6	54.5	25.4	29.1	CH	Qal
SK-11	UD	4,00-4,50	25.8	0.8	73.1	40.8	20.6	20.2	CL	Qal
SK-11	SPT	9,00-9,45	22.5	2.3	71.8	41.0	18.3	22.7	CL	Qal
SK-11	SPT	10,50-10,95	12.0	15.2	7.6		NP		SW-SM	Qal
SK-11	SPT	18,00-18,45	7.6	12.4	9.5		NP		SW-SM	Qal
SK-11	SPT	21,00-21,45	5.7	10.1	6.8		NP		SW-SM	Qal
SK-11	SPT	25,50-25,95	4.4	13.0	6.7		NP		SW-SM	Qal
SK-12	SPT	3,00-3,45	26.8	0.6	83.1	52.0	24.4	27.6	CH	Qal
SK-12	UD	4,00-4,50	21.2	1.3	73.1	52.0	24.4	27.6	CH	Qal
SK-12	SPT	4,50-4,95	23.1	1.4	69.2	56.9	20.5	36.4	CH	Qal
SK-12	SPT	6,00-6,45	12.9	16.2	7.9		NP		SW-SM	Qal
SK-12	SPT	9,00-9,45	22.4	1.9	74.2	64.1	27.0	37.1	CH	Qal
SK-12	SPT	10,50-10,95	22.9	0.0	89.8	59.2	24.9	34.3	CH	Qal
SK-12	SPT	12,00-12,45	14.1	17.4	15.3		NP		SM	Qal
SK-12	SPT	13,50-13,95	23.2	0.0	87.6	62.9	28.1	34.8	CH	Qal
SK-12	SPT	15,00-15,45	21.8	0.0	92.7	54.0	25.2	28.8	CH	Qal
SK-12	SPT	16,50-16,95	13.7	12.1	8.8		NP		SW-SM	Qal
SK-12	SPT	18,00-18,45	9.8	9.1	9.8		NP		SW-SM	Qal

4.7.2. Zeminlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi

Çalışma alanındaki zeminlerin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla jeoteknik sondaj kuyularından alınan 252 adet örselenmemiş örnekten (UD) elde edilen killi numunelerde konsolidasyon, direk kesme ve üç eksenli basınç dayanım deneyi yapılmıştır.

Çizelge 4.7.Bazı Numunelere Ait Mekanik Özelliklerin Toplu Gösterimi

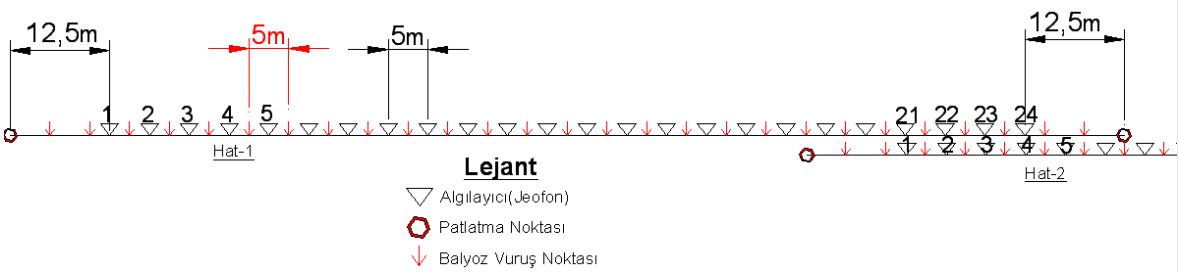
Sondaj No.	Numune No	Derinlik (m)	Su İçeriği (%)	Doğal Birim Hacim Ağırlık (kN/m^3)	Direk Kesme Deneyi (UU)		Direk Kesme Deneyi (Pik)		Direk Kesme Deneyi (Rezidüel)		Üç Eksenli Basınç Deneyi (UU)		Konsolidasyon Deneyi		Formasyon
					c (kgf/cm^2)	Φ (°)	c (kgf/cm^2)	Φ (°)	c (kgf/cm^2)	Φ (°)	c (kgf/cm^2)	Φ (°)	Şişme Yüzdesi (%)	Şişme Basıncı (kgf/cm^2)	
SK-7	SPT	3,00-3,45	9.3	19.04			0.081	29	0.024	19					Qal
SK-7	UD	7,00-7,50	26.1	18.22									1.42	0.161	Qal
SK-7	UD	10,00-10,50	20.2	18.10									1.69	0.193	Qal
SK-8	UD	5,50-6,00	22.0	17.96	0.440	10									Qal
SK-9	UD	5,00-5,50	14.6	18.03							0.46	6	1.38	0.156	Qal
SK-9	UD	8,50-9,00	9.3	19.18	0.248	21									Qal
SK-10	UD	4,00-4,50	27.4	18.18							0.43	6	1.52	0.176	Qal
SK-10	SPT	12,00-12,45	7.7	19.10			0.095	28	0.021	20					Qal
SK-11	UD	4,00-4,50	25.8	18.26							0.32	4	1.87	0.211	Qal
SK-12	UD	4,00-4,50	21.2	18.44							0.64	9	1.66	0.184	Qal
SK-13	UD	4,00-4,50	24.6	18.23							0.57	7	1.08	0.134	Qal
SK-13	UD	7,00-7,50	18.6	17.94									2.00	0.231	Qal
SK-15	UD	7,00-7,50	32.1	18.25							0.42	6	1.30	0.149	Qal
SK-15	SPT	25,00-25,45	8.2	18.87			0.114	27	0.030	18					Qal
SK-16	UD	10,00-10,50	23.1	17.69									1.78	0.193	Qal
SK-17	UD	4,00-4,50	17.5	18.31							0.53	6	1.75	0.199	Qal
SK-21	UD	5,50-6,00	17.6	18.01	0.443	8									Qal
SK-21	UD	8,50-9,00	29.5	18.35	0.498	10									Qal
SK-21	SPT	13,50-13,95	11.8	18.96			0.094	28	0.028	19					Qal
SK-22	UD	5,50-6,00	19.3	18.06									1.02	0.131	Qal
SK-23	UD	4,00-4,50	23.4	19.14	0.435	10									Qal
SK-23	UD	7,00-7,50	21.8	17.73									1.00	0.118	Qal
SK-46	UD	4,00-4,50	16.7	18.30									1.98	0.211	Qal
SK-46	UD	7,00-7,50	19.3	18.16							0.74	10	1.78	0.203	Qal
SK-47	UD	7,00-7,50	21.8	18.21							0.79	10	1.92	0.213	Qal
SK-47	SPT	9,00-9,45	13.1	19.09	0.113	23									Qal
SK-48	SPT	23,00-23,45	10.7	19.11			0.080	29	0.017	20					Qal
SK-49	UD	4,00-4,50	21.4	18.05							0.73	9	1.80	0.207	Qal
SK-49	UD	7,00-7,50	13.0	18.23									1.92	0.211	Qal
SK-50	UD	5,00-5,50	24.3	18.29							0.30	5	1.01	0.128	Qal
SK-50	UD	10,00-10,50	24.5	18.17									1.75	0.198	Qal
SK-50	SPT	15,00-15,45	14.0	18.91	0.113	21									Qal
SK-51	UD	5,50-6,00	17.8	18.01							0.67	9	2.11	0.234	Qal
SK-52	UD	4,00-4,50	19.3	18.18									1.92	0.231	Qal
SK-52	UD	7,00-7,50	18.6	18.20							0.73	10	2.08	0.234	Qal
SK-53	UD	5,50-6,00	14.4	17.87							0.51	6	1.47	0.166	Qal
SK-54	SPT	6,00-6,45	7.8	19.05			0.088	27	0.040	18					Qal
SK-55	UD	4,00-4,50	20.9	18.44									2.15	0.228	Qal
SK-55	UD	7,00-7,50	20.3	17.96							1.03	12	1.94	0.211	Qal
SK-55	SPT	12,00-12,45	7.3	18.96	0.047	22									Qal
SK-56	UD	4,00-4,50	24.1	18.08							0.75	10	2.13	0.234	Qal
SK-57	UD	4,00-4,50	30.6	18.37							0.59	7	1.70	0.187	Qal
SK-57	UD	7,00-7,50	23.1	17.75									1.97	0.218	Qal
SK-58	UD	4,00-4,50	42.6	18.14	0.407	9					su içeriği yüksek				Qal
SK-58	UD	7,00-7,50	21.6	18.06							0.59	9	2.01	0.231	Qal
SK-72	UD	4,00-4,50	19.5	18.38							0.62	8	1.98	0.218	Qal
SK-72	UD	7,00-7,50	24.5	17.95									2.16	0.234	Qal
SK-73	UD	4,00-4,50	17.1	18.45							0.73	11	2.20	0.237	Qal
SK-74	UD	4,00-4,50	22.7	17.98									2.01	0.218	Qal
SK-74	UD	7,00-7,50	20.9	18.21							0.70	9	1.74	0.192	Qal

4.8. Jeofizik Çalışmalar

Tokat ili Erbaa İmar Planına Esas Mikrobölgeleme Etütçalışmaları kapsamında, Erbaa ilçe merkezinin zeminin fiziksel parametrelerinin belirlemesi için 180 adet Sismik kırılma-aktif kaynaklı yüzey dalgası (Sis), 100 adet düşey elektrik sondaj (Des), 180 adet Mikrotremor (M), 40 adet çok elektrotlu elektrik özdirenç (Ert), 11 profilde toplam 4890 m uzunluğunda Yer radarı (Gpr), 8 profil üzerinde toplam 1239 m uzunluğunda Sismik yansıma ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

4.8.1. Sismik Yansıma(Reflection) Çalışmaları

Yerleşim alanlarıyada yerleşime açılması planlanan alanların yer altı yapısının belirlenmesi için yapılabilecek yöntemlerden biridir. Bu yöntem daha çok petrol ve doğalgaz araştırmalarında vazgeçilmezdir. Günümüzde yaygınbir şekilde yeraltının ayrıntılı sığ jeoteknik yapısını araştırmak için kullanılmaktadır. Bu yöntemde amaç yer altı katmanlarını görüntülemektir.



Şekil 4.2. Sismik Yansıma Arazi Çalışması Serim Geometrisi

Çalışma sahasında yapılan sismik yanısıma çalışmaları sonuçlarında; fay izine benzeyen herhangi bir anomali gözlenmemiştir. Sismik yansıma sonuçları yakınında yapılan elektirk özdirenç çalışmaları ve mekanik sondaj verileri ile birlikte yorumlandığında güncel alüvyon birimlerin derinliğe bağlı olarak yatay veya yataya yakın şekilde ardalanmalı olarak istiflendiği düşünülmektedir.

4.8.2. Sismik Kırılma-Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analiz Yöntemi

Mühendislik çalışmalarının kent içinde ve dar alanlarda gerçekleştirilmesi gerektiğinden, hedeflenen araştırma derinliği için sismik kırılma yönteminde gerekli serim uzunluğunu elde etmek her zaman olanaklı olmamaktadır. Alüvyon kalınlığının 30 metreden daha kalın olduğu durumlarda sismik kırılma yöntemi ile sismik temelin saptanması oldukça güçleşmektedir. Bu nedenlerden dolayı, yerleşim alanlarında düşük frekanslarda uzun dalga boyları ile seyahat eden yüzey dalgalarının kullanılması avantaj sağlamaktadır. Aynı zamanda, veri toplama ve işleme aşamaları daha hızlı ve kolaydır.

Çizelge 4.8. Çalışma Alanında Ölçülen Bazı Sismik Hızlar ve Olası Litolojiler (K-K: Kil-Kum, S-K: Silt-Kil,Ki-Ç: Kil-Çakıl, K-Ç: Kum-Çakıl.)

SERİM NO	Tbk.	V_p (m/s)	V_s (m/s)	h (m)	Vs30	Litoloji	SERİM NO	Tbk.	V_p (m/s)	V_s (m/s)	h (m)	Vs30	Litoloji
Sis-1	1	417	216	2	303	S-K	**Sis-16**	1	326	160	4	253	K-K
	2	529	235	6		S-K		2	490	225	6		S-K
	3	928	321	-		K-Ç		3	768	299	-		K-Ç
Sis-2	1	316	161	3	266	K-K	**Sis-17**	1	676	178	3	277	K-K
	2	671	212	6		S-K		2	865	246	6		S-K
	3	1075	251	-		Kİ-Ç		3	1815	306	-		K-Ç
Sis-3	1	331	207	3	280	S-K	**Sis-18**	1	471	171	4	241	K-K
	2	581	257	6		Kİ-Ç		2	618	226	8		S-K
	3	805	288	-		Kİ-Ç		3	1206	275	-		Kİ-Ç
Sis-4	1	389	223	7	264	S-K	**Sis-19**	1	523	197	3	255	K-K
	2	481	252	3		Kİ-Ç		2	677	236	6		S-K
	3	831	283	-		Kİ-Ç		3	1200	272	-		Kİ-Ç
Sis-5	1	575	213	3	280	S-K	**Sis-20**	1	462	244	4	311	S-K
	2	634	234	7		S-K		2	575	276	9		Kİ-Ç
	3	1194	326	-		K-Ç		3	1686	359	-		K-Ç
Sis-6	1	446	195	3	252	K-K	**Sis-21**	1	385	160	5	226	K-K
	2	562	240	7		S-K		2	555	223	8		S-K
	3	1173	269	-		Kİ-Ç		3	1241	245	-		S-K
Sis-7	1	381	219	4	283	S-K	**Sis-22**	1	642	196	4	310	K-K
	2	463	241	4		S-K		2	921	282	7		Kİ-Ç
	3	792	258	-		Kİ-Ç		3	1751	326	-		K-Ç
Sis-8	1	353	160	4	247	K-K	**Sis-23**	1	416	203	4	343	S-K
	2	495	229	6		S-K		2	522	250	7		Kİ-Ç
	3	934	267	-		Kİ-Ç		3	1328	481	-		K-Ç
Sis-9	1	361	168	3	269	K-K	**Sis-24**	1	540	246	5	335	S-K
	2	660	247	6		S-K		2	790	310	6		K-Ç
	3	1158	264	-		Kİ-Ç		3	1362	362	-		K-Ç
Sis-10	1	373	164	4	249	K-K	**Sis-25**	1	433	204	4	278	S-K
	2	598	224	7		S-K		2	555	262	7		Kİ-Ç
	3	1211	286	-		Kİ-Ç		3	1027	309	-		K-Ç
Sis-11	1	435	230	5	317	S-K	**Sis-26**	1	405	155	5	235	K-K
	2	788	316	7		K-Ç		2	522	221	7		S-K
	3	1125	343	-		K-Ç		3	1218	275	-		Kİ-Ç
Sis-12	1	551	211	4	318	S-K	**Sis-27**	1	442	171	4	295	K-K
	2	1163	293	7		Kİ-Ç		2	571	254	8		Kİ-Ç
	3	1318	341	-		K-Ç		3	1244	348	-		K-Ç

4.8.3. Mikrotremor Çalışmaları

Bir bölgedeki titreşimler, o bölgelerde yerin doğal gürültüsünü oluştururlar. Farklı yer koşullarına ait yerin doğal gürültüsü de farklı olacaktır. Yerin doğal gürültüsünün genlik ve frekans içeriklerini, yerin litolojisi ve geometrisi gibi faktörler etkileyecektir.Yerin çok küçük genlikli doğal salınımları incelenerek yerin etkin salınım periyotları saptanabilir ve bu şekilde yerin dinamik koşullar altında davranış özellikleri belirlenebilir. Bu durumda yerin bu doğal titreşimlerinden yararlanılarak elde edilecek parametrelere göre bölgesel olarak yer sınıflamaları yapılabilir.

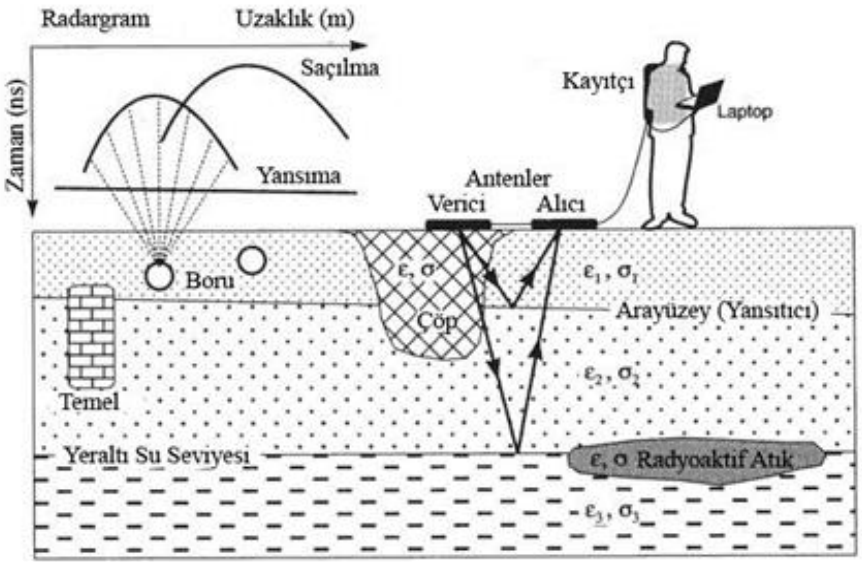
Çizelge 4.9. Sismik Profillerde Hesaplanan, Bazı Göreceli Yer Büyütme Faktörleri ve Yer Hakim Titreşim Periyotları

Ölçü No	To	Akm
M-1	0.67	2.45
M-2	0.71	2.19
M-3	0.49	2.02
M-4	0.58	2.17
M-5	0.68	3.13
M-6	0.57	2.01
M-7	0.78	3.25
M-8	0.67	2.26
M-9	0.65	2.23
M-10	0.77	3.43
M-11	0.79	3.62
M-12	0.57	1.90
M-13	0.6	2.08
M-14	0.24	1.89
M-15	0.33	1.53
M-16	0.31	1.77
M-17	0.4	1.90
M-18	0.3	1.51
M-19	0.28	2.05
M-20	0.55	1.41

4.8.4. Yer Radarı(GPR) Çalışmaları

Yer Radarı (GPR); araştırılan yüzeyin sığ derinliklerini yüksek çözünürlükte görüntüleyen elektromanyetik bir yöntemdir. Bu yöntemde bir kaynak tarafından araştırılan ortama gönderilen ve zaman içinde değişen yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar kullanılarak incelemeler yapılmaktadır.

GPR sinyalleri kuru kum, granit yada mermer gibi iletkenliği düşük malzemelerde veya ortamlarda yaklaşık 50-60 m derinliklere kadar ulaşabilmektedir. Islak kil, şeyl ve diğer yüksek iletkenlikli malzemeler GPR sinyallerini soğurmaktave dolayısıyla bu sinyalin ulaşabileceği derinliği (nüfuz derinliği) 1 m ya da daha az olarak sınırlandırmaktadır. Ayrıca nüfuz derinliği, kullanılan antenin frekansına da bağlıdır. 25-200 MHz lik düşük frekanslı antenler yeraltında daha derinden yansımalar alırken elde edilen radargramların çözünürlüğü düşük olmaktadır. Yüksek frekanslı antenlerde çözünürlük artarken araştırma derinliği azalmaktadır.



Şekil 4.3.Yer Radarı Genel Düzeneği

4.8.5. Düşey Elektrik Sondaj(Des) Çalışmaları

Özdirenç (Resistivity) yöntemi olarak da bilinen doğru akım özdirenç (DAÖ) yöntemi, aramajeofiziğinde kullanılan başlıca jeofizik yöntemlerdendir. Bu yöntemde amaç, yer içinin jeolojik yapısını, elektrik özelliğine (özdirenç) göre haritalamaktır. Yöntem, maden, mineral, jeotermal enerji kaynağı ve petrol aramaları ile hidrojeoloji ve mühendislik jeolojisi problemlerinin çözümünde kullanılır. Özellikle 1980 yılından sonra, arkeolojik yapıların aranmasında da kullanılan en etkili jeofizik yöntemlerdendir.

Çizelge 4.10. DES Ölçü Noktalarında Bazı Rezistivite, Tabaka Kalınlık Değerleri ve Olası Litoloji Tarifleri

Profil No	Des No	Özdirenç	Tabakalar Derinliği	Olası Litoloji	Birim
Profil-1	**Des-85**	85 8 250 20	2 4 17	Killi siltli kum Kil Kuru iri bloklu çakıl Kil	Qal
	Des-84	70 10 70 165	1 4 10	Çakıllı kumlu kil Kil Çakıllı kumlu kil	Qal
	Des-83	19 47 32 155	2 4.5 11	Kil Çakıllı kumlu kil Kumlu siltli kil Çakıl	Qal
	Des-82	130 180 43 80	2 5 8	Killi çakıllı kum Çakıl Çakıllı kumlu silt Killi siltli kum	Qal
	Des-81	340 110 45 160 70	2 5 11 26	Kuru iri bloklu çakıl Killi siltli kum Çakıllı kumlu kil Çakıl Çakıllı kumlu kil	Qal
	Des-80	65 120 42 250 10	2 4 10 22	Çakıllı kumlu kil Killi çakıllı kum Çakıllı kumlu kil Kuru iri bloklu çakıl Kil	Qal

4.8.6. Çok Elektrotlu Elektrik Özdirenç Çalışmaları

2-boyutlu elektrik özdirenç çalışmaları fayın muhtemel güzergâhı üzerinde yoğunlaştırılarak fay'a ait izler tespit edilmeye çalışılmıştır. Fakat araştırılan fayın doğrultu atımlı bir fay olması, sahanın genelinde derin dere yatağı malzemesinin bulunması nedeniyle, fayın ayırdığı iki blok arasında belirgin bir elektrik özdirenç farkının bulunmaması bu yöntemin ayrım gücünü zayıflatmıştır.

4.9. Zemin ve Kaya Türlerinin Jeoteknik Özellikleri

Bu bölümde çalışma alanı içerisinde yer alan Alüvyon ve Pliyosen Çerkeş formasyonunun özellikleri gösterilecektir.

4.9.1. Yerel zemin koşullarının belirlenmesi

Yerel zemin koşullarını belirlerken, sondajlarda SPT deneyi yapılmış, jeofizik çalışmalar sırasında düşey elektrik sondaj ile ana kaya derinliği belirlenmeye çalışılmış, yüzey dalgası yöntemi ile zeminlerin sismik hızları belirlenerek zemin sınıflamasında faydalanılmıştır.

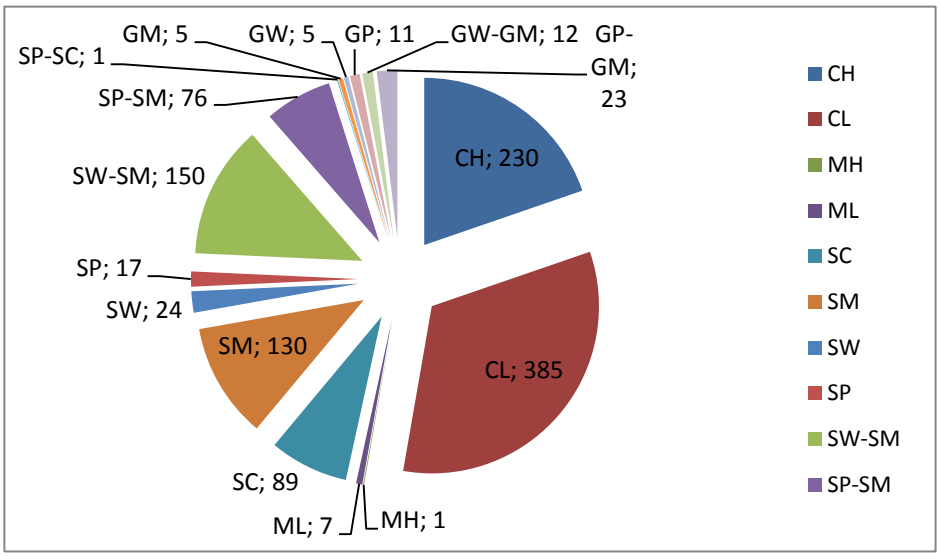
4.9.2. Zemin ve kaya türlerinin sınıflandırması

Zemin türleri

Çalışma alanında açılan sondajlardan alınan zemin numunelerinin laboratuvar sonuçlarına göre yaklaşık olarak %53 ince taneli %47 ise iri tanelidir.

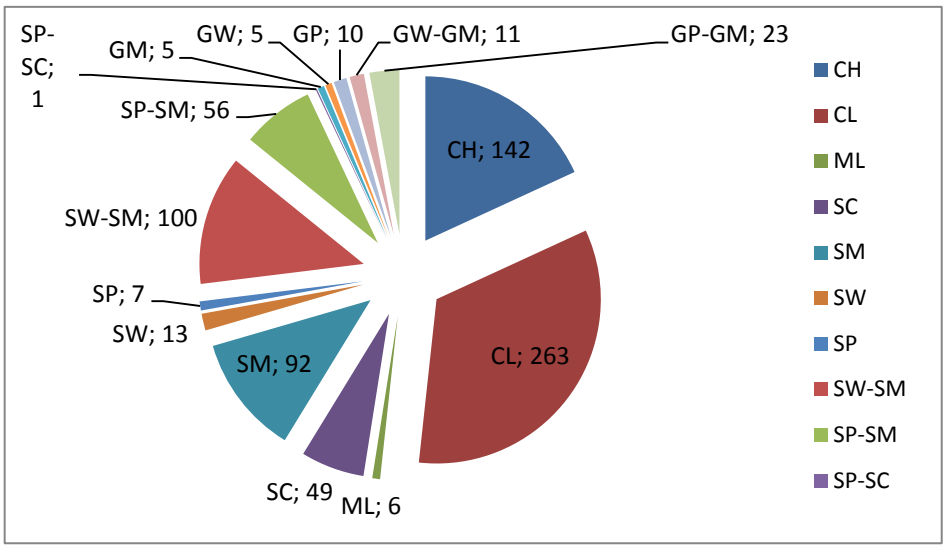
TS 1500' e göre yapılan birleşik zemin sınıflamasına göre, çalışma alanından alınan toplam 1166 numunenin;230'u yüksek plastisiteli kil (CH), 385'i plastisitesi düşük kil (CL), 1'i yüksek plastisiteli silt (MH), 7'si düşük plastisiteli silt (ML), 89'u killi kum (SC), 130'u siltli kum (SM), 24'ü iyi derecelenmiş kum (SW),17'si kötü derecelenmiş Kum (SP), 150'si iyi derecelenmiş siltli kum (SW-SM), 76'sı kötü derecelenmiş siltli kum (SP-SM), 1'i kötü derecelenmişkilli kum (SP-SC), 5'i siltli çakıl (GM), 5'i iyi derecelenmiş

çakıl (GW), 11'i kötü derecelenmiş çakıl (GP), 12'si iyi derecelenmiş siltli çakıl (GW-GM), 23'ü kötü derecelenmiş siltli çakıl (GP-GM)'dan oluşmaktadır.



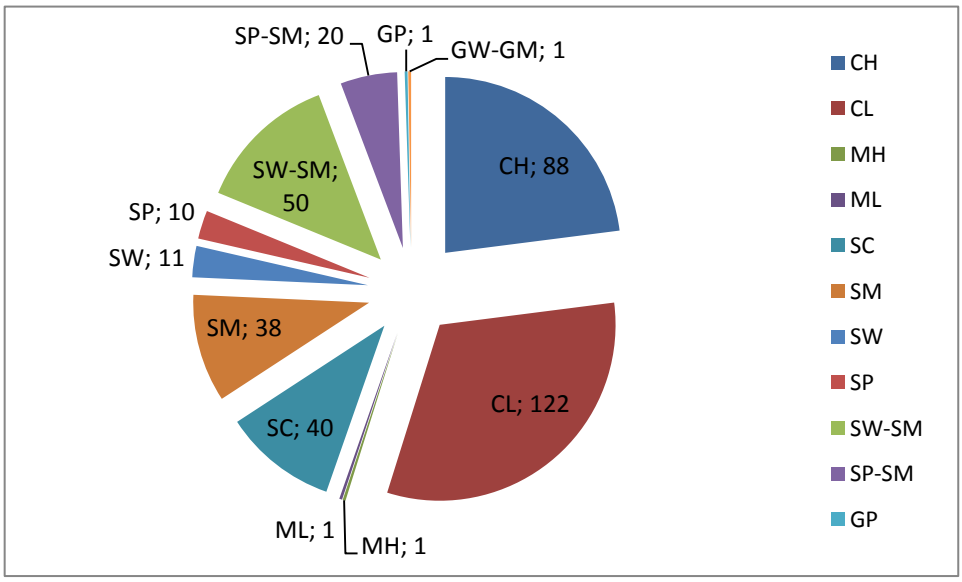
Şekil 4.4. Çalışma Alanındaki Bütün Zeminlerin Oranı

Alüvyon (Qal) biriminden alınan numunelerin;142'si yüksek plastisiteli kil (CH), 263'ü plastisitesi düşük kil (CL), 6'sı düşük plastisiteli silt (ML), 49'u killi kum (SC), 92'si siltli kum (SM), 13'ü iyi derecelenmiş kum (SW), 7'si kötü derecelenmiş kum (SP), 100'ü iyi derecelenmiş siltli kum (SW-SM), 56'sı kötü derecelenmiş siltli kum (SP-SM), 1'i kötü derecelenmiş killi kum (SP-SC), 5'i siltli çakıl (GM), 5'i İyi derecelenmiş çakıl (GW), 10'u kötü derecelenmiş çakıl (GP), 11'i iyi derecelenmiş siltli çakıl (GW-GM), 23'ü kötü derecelenmiş siltli çakıl (GP-GM)'dan oluşmaktadır.



Şekil 4.5.Alüvyon Zeminlerin Oranları

Çerkeş Formasyonundan(Tç) alınan numunelerin; 88'i yüksek plastisiteli kil (CH), 122'si plastisitesi düşük kil (CL), 1'i yüksek plastisiteli silt (MH), 1'i düşük plastisiteli silt (ML), 40'ı killi kum (SC), 38'i siltli kum (SM), 11'i iyi derecelenmiş kum (SW), 10'u kötü derecelenmiş kum (SP), 50'si iyi derecelenmiş siltli kum (SW-SM), 20'si kötü derecelenmiş siltli kum (SP-SM), 1'i kötü derecelenmiş çakıl (GP), 1'i iyi derecelenmiş siltli çakıl (GW-GM)'dan oluşmaktadır.



Şekil 4.6. Çerkeş Formasyonunda Zeminlerin Oranı

İnce taneli zeminlerde Atterberg limitleri esas alınarak sınıflandırma yapılmıştır. Birleşik zemin sınıflamasına göre ince daneli zeminlerin likitlilik indeksi (IL) ;

IL = (Wn - PL) / PI (Likitlilik İndeksi)

kıvamlılık indeksi (IC) ise,

IC = (LL - Wn) / PI (Kıvamlılık İndeksi)

formüllerinden hesaplanmıştır.

Çizelge 4.11. Alüvyonların Zeminlerin Kıvamlılık İndeksine Göre Sınıflandırılması

Tanım	**Kıvamlılık İndeksi I_C**	**Tanım**	**Plastisite İndeksi I_P**
Çok Yumuşak	<0,05	Plastik Değil	<1
Yumuşak	0,05-0,25	Az Plastik	1-7
Sıkı	0,25-0,75	Orta Plastik	7-17
Katı	0,75-1,00	Yüksek Plastik	17-35
Çok Katı	>1	Aşırı Plastik	>35

Çizelge 4.12. İnce Taneli Zeminlerin Likitlilik İndeksine Göre Sınıflandırılması

Tanım	**Likitlilik İndeksi, I_L**
Kırılgan katı	<0
Plastik katı	0 – 1
Sıvı	1 <

Zeminlerin sıkışabilirlik özellikleri standart laboratuvar deneyleriyle doğrudan ölçülebildiği gibi, likit limit ve tabii boşluk oranı değerlerine bağlı olarak amprik yaklaşımlarla da tahmin edilebilmektedir.

Normal konsolide olmuş killerde, sıkışma indeksi (Cc) ile likit limit (LL) arasında aşağıdaki ilişki vardır.

$$Cc = 0{,}009\ (LL-10)$$

Çizelge 4.13. Zeminlerin Sıkışabilirliği (Sovver, 1979)

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

Zeminlerde kil boyutundaki tanelerin plastiklik derecesi ‘aktivite’ ile tanımlanır.

$$A=Pl/C(\text{Kil yüzdesi})$$

Çizelge 4.14. Killerin Aktivite Değerlerine Göre Sınıflandırılması

Sınıflama	**Aktivite**
Aktif olamayan killer (kaolinit)	< 0,75
Normal killer (illit)	0.75<A<1.25
Aktif killer (montmorillonit)	A> 1.25

Çizelge 4.15. Alüvyonda İnce Taneli Zeminlerin Kıvamlılık İndeksi Özelliklerinden Bazı Örnekler

Sondaj No.	Derinlik (m)	Su İçeriği (%)	Elek Analizi (200%)	Atterberg Limitleri			Zemin Sınıfı	Ic	Kıvamlılık İndeksi-Ic	Plastisite İndeksi IP	IL	Likitlilik İndeksi, IL	Sıkışma İndisi (Cc)	Cc Değerlendirmesi	Zemin Aktivitesi (A)	Zemin Aktivitesi Değerlendirmesi
				LL (%)	PL (%)	PI (%)										
SK-7	6,00-6,45	13.6	53.1	35.0	17.1	17.9	CL	1.20	Çok Katı	Yüksek Plastik	-0.20	Kırılgan katı	0.22	Orta Sıkışabilirlik	0.34	Aktif Olmayan Killer
SK-7	7,00-7,50	26.1	70.6	38.5	20.2	18.3	CL	0.68	Sıkı	Yüksek Plastik	0.32	Plastik Katı	0.26	Orta Sıkışabilirlik	0.26	Aktif Olmayan Killer
SK-7	10,00-10,50	20.2	73.5	32.7	18.6	14.1	CL	0.89	Katı	Orta Plastik	0.11	Plastik Katı	0.20	Orta Sıkışabilirlik	0.19	Aktif Olmayan Killer
SK-7	15,00-15,45	19.2	86.7	56.5	22.8	33.6	CH	1.11	Çok Katı	Yüksek Plastik	-0.11	Kırılgan katı	0.42	Yüksek Sıkışabilirlik	0.39	Aktif Olmayan Killer
SK-7	30,00-30,45	31.9	24.2	26.9	15.1	11.9	SC	-0.42	Çok Yumuşa	Orta Plastik	1.42	Sıvı	0.15	Düşük Sıkışabilirlik	0.49	Aktif Olmayan Killer
SK-8	3,00-3,45	26.5	74.1	34.0	19.0	15.0	CL	0.50	Sıkı	Orta Plastik	0.50	Plastik Katı	0.22	Orta Sıkışabilirlik	0.20	Aktif Olmayan Killer
SK-8	5,50-6,00	22.0	66.5	35.2	19.0	16.2	CL	0.82	Katı	Orta Plastik	0.18	Plastik Katı	0.23	Orta Sıkışabilirlik	0.24	Aktif Olmayan Killer
SK-8	7,50-7,95	22.1	21.2	25.1	13.1	12.0	SC	0.25	Sıkı	Orta Plastik	0.75	Plastik Katı	0.14	Düşük Sıkışabilirlik	0.57	Aktif Olmayan Killer
SK-8	13,50-13,95	17.8	45.8	31.1	16.6	14.5	SC	0.92	Katı	Orta Plastik	0.08	Plastik Katı	0.19	Düşük Sıkışabilirlik	0.32	Aktif Olmayan Killer
SK-8	18,00-18,45	21.3	34.8	34.7	17.7	17.0	SC	0.79	Katı	Orta Plastik	0.21	Plastik Katı	0.22	Orta Sıkışabilirlik	0.49	Aktif Olmayan Killer
SK-8	22,50-22,95	9.0	53.3	34.3	17.3	17.0	CL	1.49	Çok Katı	Orta Plastik	-0.49	Kırılgan katı	0.22	Orta Sıkışabilirlik	0.32	Aktif Olmayan Killer
SK-8	27,00-27,45	12.2	45.7	33.7	17.2	16.5	SC	1.30	Çok Katı	Orta Plastik	-0.30	Kırılgan katı	0.21	Orta Sıkışabilirlik	0.36	Aktif Olmayan Killer
SK-9	3,00-3,45	10.3	77.6	36.2	19.4	16.8	CL	1.54	Çok Katı	Orta Plastik	-0.54	Kırılgan katı	0.24	Orta Sıkışabilirlik	0.22	Aktif Olmayan Killer
SK-9	5,00-5,50	14.6	67.6	37.0	20.4	16.6	CL	1.35	Çok Katı	Orta Plastik	-0.35	Kırılgan katı	0.24	Orta Sıkışabilirlik	0.25	Aktif Olmayan Killer
SK-9	7,50-7,95	14.2	71.9	35.5	18.2	17.3	CL	1.23	Çok Katı	Yüksek Plastik	-0.23	Kırılgan katı	0.23	Orta Sıkışabilirlik	0.24	Aktif Olmayan Killer
SK-9	8,50-9,00	9.3	37.2	33.8	17.5	16.3	SC	1.50	Çok Katı	Orta Plastik	-0.50	Kırılgan katı	0.21	Orta Sıkışabilirlik	0.44	Aktif Olmayan Killer
SK-9	15,00-15,45	4.7	16.3	27.7	14.3	13.4	SC	1.72	Çok Katı	Orta Plastik	-0.72	Kırılgan katı	0.16	Düşük Sıkışabilirlik	0.82	Aktif Olmayan Killer

Alüvyon zeminde alınan numunelerin laboratuvar sonuçlarına göre;

- LL değerine göresıkışabilirlik; genellikle “düşük sıkışabilirlik”-“orta sıkışabilirlik”-“yüksek sıkışabilirlik” özelliğindedir.
- İnce daneli malzemenin aktivite değerlerine göregeneli “Aktif olmayan killer” olarak ayırtlanmıştır.
- Kıvamlılık indeksine (IC) göre ince daneli zeminler; alüvyonlarda, genellikle “yumuşak”,“çok yumuşak”,“sıkı”, “katı”, “çok katı” olarak sınıflandırılmıştır.
- Likitlilik indeksi (IL) sınıflamasına göre belirtilen derinliklerde genel olarak, “sıvı” , “kırılgan katı” ve “plastik katı” özellikte olduğu tespit edilmiştir.
- Kıvam limitleri zeminlerin sınıflandırılmasını sağlamakta ve zeminin fiziksel özellikleri hakkında ön bilgiler vermektedir. Genel olarak zeminin plastisitesi arttıkça şişme potansiyeli artmakta, su geçirgenliği azalmakta, arazi kazı ve dolgu işlemleri sırasında zorluklarla karşılaşılmaktadır. Plastisite indeksine (IP) göre alüvyonunince daneli zeminleri, “orta plastik”, “yüksek plastik”“aşırı plastik” sınıfında olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.16. Çerkeş Formasyonunda Zeminlerin Kıvamlılık İndeksi Özelliklerinden Bazı Örnekler

Sondaj No.	Derinlik (m)	Su İçeriği (%)	Elek Analizi (200#)	Atterberg Limitleri			Zemin Sınıfı	Ic	Kıvamlılık İndeksi-Ic	Plastisite İndeksi IP	IL	Likitlik İndeksi, IL	Sıkışma İndisi (Cc)	Cc Değerlendirmesi	Zemin Aktivitesi (A)	Zemin Aktivitesi Değerlendirmesi
				LL (%)	PL (%)	PI (%)										
SK-1	3,00-3,45	11.1	67.2	33.2	17.7	15.5	CL	1.43	Çok Katı	Orta Plastik	-0.43	Kırılgan katı	0.21	Orta Sıkışabilirlik	0.23	Aktif Olmayan Killer
SK-1	4,00-4,50	17.4	37.5	43.0	21.5	21.5	SC	1.19	Çok Katı	Yüksek Plastik	-0.19	Kırılgan katı	0.30	Orta Sıkışabilirlik	0.57	Aktif Olmayan Killer
SK-1	7,50-7,95	15.9	67.1	45.8	21.4	24.4	CL	1.23	Çok Katı	Yüksek Plastik	-0.23	Kırılgan katı	0.32	Orta Sıkışabilirlik	0.36	Aktif Olmayan Killer
SK-1	10,00-10,50	23.5	93.2	63.8	27.5	36.3	CH	1.11	Çok Katı	Aşırı Plastik	-0.11	Kırılgan katı	0.48	Yüksek Sıkışabilirlik	0.39	Aktif Olmayan Killer
SK-1	13,50-13,95	11.6	55.4	34.3	17.3	17.0	CL	1.34	Çok Katı	Orta Plastik	-0.34	Kırılgan katı	0.22	Orta Sıkışabilirlik	0.31	Aktif Olmayan Killer
SK-2	3,00-3,45	19.7	81.7	39.7	18.3	21.4	CL	0.93	Katı	Yüksek Plastik	0.07	Plastik Katı	0.27	Orta Sıkışabilirlik	0.26	Aktif Olmayan Killer
SK-2	5,50-6,00	14.1	84.8	51.8	25.2	26.6	CH	1.42	Çok Katı	Yüksek Plastik	-0.42	Kırılgan katı	0.38	Orta Sıkışabilirlik	0.31	Aktif Olmayan Killer
SK-2	6,00-6,45	7.4	65.3	29.1	17.0	12.1	CL	1.79	Çok Katı	Orta Plastik	-0.79	Kırılgan katı	0.17	Düşük Sıkışabilirlik	0.19	Aktif Olmayan Killer
SK-3	3,00-3,45	16.6	83.3	51.7	25.3	26.4	CH	1.33	Çok Katı	Yüksek Plastik	-0.33	Kırılgan katı	0.38	Orta Sıkışabilirlik	0.32	Aktif Olmayan Killer
SK-3	6,00-6,45	15.8	75.3	55.0	26.1	28.9	CH	1.36	Çok Katı	Yüksek Plastik	-0.36	Kırılgan katı	0.41	Yüksek Sıkışabilirlik	0.38	Aktif Olmayan Killer
SK-4	4,50-4,95	6.4	38.7	33.0	18.7	14.3	SC	1.86	Çok Katı	Orta Plastik	-0.86	Kırılgan katı	0.21	Orta Sıkışabilirlik	0.37	Aktif Olmayan Killer
SK-4	6,00-6,45	15.8	67.6	34.8	17.5	17.3	CL	1.09	Çok Katı	Yüksek Plastik	-0.09	Kırılgan katı	0.22	Orta Sıkışabilirlik	0.26	Aktif Olmayan Killer
SK-4	7,00-7,50	16.8	82.0	47.7	23.5	24.2	CL	1.28	Çok Katı	Yüksek Plastik	-0.28	Kırılgan katı	0.34	Orta Sıkışabilirlik	0.29	Aktif Olmayan Killer
SK-4	7,50-7,95	9.2	35.1	26.6	14.1	12.5	SC	1.39	Çok Katı	Orta Plastik	-0.39	Kırılgan katı	0.15	Düşük Sıkışabilirlik	0.36	Aktif Olmayan Killer
SK-4	9,00-9,45	4.5	32.8	26.4	14.2	12.2	SC	1.80	Çok Katı	Orta Plastik	-0.80	Kırılgan katı	0.15	Düşük Sıkışabilirlik	0.37	Aktif Olmayan Killer
SK-4	10,50-10,95	13.8	21.3	26.4	14.3	12.1	SC	1.04	Çok Katı	Orta Plastik	-0.04	Kırılgan katı	0.15	Düşük Sıkışabilirlik	0.57	Aktif Olmayan Killer
SK-4	15,00-15,45	23.3	73.1	42.9	20.8	22.1	CL	0.89	Katı	Yüksek Plastik	0.11	Plastik Katı	0.30	Orta Sıkışabilirlik	0.30	Aktif Olmayan Killer
SK-4	16,50-16,95	5.3	35.7	28.7	16.1	12.6	SC	1.86	Çok Katı	Orta Plastik	-0.86	Kırılgan katı	0.17	Düşük Sıkışabilirlik	0.35	Aktif Olmayan Killer
SK-4	18,00-18,45	17.0	76.1	38.3	19.4	18.9	CL	1.13	Çok Katı	Yüksek Plastik	-0.13	Kırılgan katı	0.25	Orta Sıkışabilirlik	0.25	Aktif Olmayan Killer
SK-4	24,0-24,45	21.4	88.8	63.8	26.3	37.5	CH	1.13	Çok Katı	Aşırı Plastik	-0.13	Kırılgan katı	0.48	Yüksek Sıkışabilirlik	0.42	Aktif Olmayan Killer
SK-4	27,00-27,45	24.8	92.2	53.6	24.2	29.4	CH	0.98	Katı	Yüksek Plastik	0.02	Plastik Katı	0.39	Orta Sıkışabilirlik	0.32	Aktif Olmayan Killer
SK-4	28,50-28,95	17.8	21.3	28.0	16.8	11.2	SC	0.91	Katı	Orta Plastik	0.09	Plastik Katı	0.16	Düşük Sıkışabilirlik	0.53	Aktif Olmayan Killer
SK-4	30,00-30,45	16.2	24.5	25.7	13.9	11.8	SC	0.80	Katı	Orta Plastik	0.20	Plastik Katı	0.14	Düşük Sıkışabilirlik	0.48	Aktif Olmayan Killer

Çerkeş formasyonunda alınan numunelerin laboratuvar sonuçlarına göre;

- Çerkeş Formasyonunda; LL değerine göresıkışabilirlik; genellikle "düşük sıkışabilirlik"-"orta sıkışabilirlik"-"yüksek sıkışabilirlik" özelliğindedir.
- Çerkeş Formasyonundazeminlerin aktivite değerlerine göregeneli"Normal olmayan killer""Aktif olmayan killer" olarak ayırtlanmıştır.
- Kıvamlılık indeksine (IC) göre ince daneli zeminler; alüvyonlarda, genellikle "çok yumuşak", "yumuşak", "sıkı", "katı", "çok katı" olarak sınıflandırılmıştır. (IAEG, 1981).
- Likitlilik indeksi (IL) sınıflamasına göre belirtilen derinliklerde genel olarak,"sıvı" "kırılgan katı" ve "plastik katı" özellikte olduğu tespit edilmiştir.
- Plastisite indeksine (IP) göre Çerkeş Formasyonuzeminleri, "orta plastik", "yüksek plastik""aşırı plastik", sınıfında olduğu görülmektedir.

İnceleme alanında yapılan sondajlarda elde edilen SPT-N30 değerlerine göre Alüvyon ve Pliyosen Çerkeş Formasyonunda yer alan birimlerin gevşek-orta sıkı-sıkı-çok sıkı olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.17. Kohezyonsuz Zeminlerde SPT ye Göre Relatif Sıkılık Değeri

N30 Darbe Sayısı	Relatif Sıkılık	Nisbi Yoğunluk
< 4	< 0.15	Çok Gevşek
4-10	0.15 - 0.35	Gevşek
10-30	0.35 - 0.65	Orta Sıkı
30-50	0.65 - 0.85	Sıkı
> 50	> 0.85	Çok Sıkı

Çizelge 4.18.Alüvyonda SPT'ye Göre Relatif Sıkılık Değerlendirmesinden Bazı Örnekler

Sondaj No	Derinlik (m)			SPT-N30	Relatif Sıkılık	Nisbi Yoğunluk
SK-7	3.00	-	3.45	23	0,35-0,65	Orta Sıkı
	4.50	-	4.95	24	0,35-0,65	Orta Sıkı
	6.00	-	6.45	21	0,35-0,65	Orta Sıkı
	7.50	-	7.95	19	0,35-0,65	Orta Sıkı
	9.00	-	9.45	21	0,35-0,65	Orta Sıkı
	10.50	-	10.95	12	0,35-0,65	Orta Sıkı
	12.00	-	12.45	29	0,35-0,65	Orta Sıkı
	13.50	-	13.95	34	0,65-0,85	Sıkı
	15.00	-	15.45	39	0,65-0,85	Sıkı
	16.50	-	16.95	38	0,65-0,85	Sıkı
	18.00	-	18.45	42	0,65-0,85	Sıkı
	19.50	-	19.95	40	0,65-0,85	Sıkı
	21.00	-	21.45	46	0,65-0,85	Sıkı
	22.50	-	22.95	44	0,65-0,85	Sıkı
	24.00	-	24.45	46	0,65-0,85	Sıkı
	25.50	-	25.95	45	0,65-0,85	Sıkı
	27.00	-	27.45	46	0,65-0,85	Sıkı
	28.50	-	28.95	41	0,65-0,85	Sıkı
	30.00	-	30.45	48	0,65-0,85	Sıkı
SK-8	3.00	-	3.45	25	0,35-0,65	Orta Sıkı
	4.50	-	4.95	29	0,35-0,65	Orta Sıkı
	6.00	-	6.45	47	0,65-0,85	Sıkı
	7.50	-	7.95	56	>0,85	Çok Sıkı
	9.00	-	9.45	55	>0,85	Çok Sıkı
	10.50	-	10.95	18	0,35-0,65	Orta Sıkı
	12.00	-	12.45	68	>0,85	Çok Sıkı
	13.50	-	13.95	61	>0,85	Çok Sıkı
	15.00	-	15.45	42	0,65-0,85	Sıkı
	16.50	-	16.95	36	0,65-0,85	Sıkı
	18.00	-	18.45	39	0,65-0,85	Sıkı
	19.50	-	19.95	42	0,65-0,85	Sıkı
	21.00	-	21.45	43	0,65-0,85	Sıkı
	22.50	-	22.95	51	>0,85	Çok Sıkı
	24.00	-	24.45	52	>0,85	Çok Sıkı
	25.50	-	25.95	54	>0,85	Çok Sıkı
	27.00	-	27.45	51	>0,85	Çok Sıkı
	28.50	-	28.95	52	>0,85	Çok Sıkı

Çizelge 4.19. Çerkeş Formasyonunda SPT'ye Göre Relatif Sıkılık Değerlendirmesinden Bazı Örnekler

Sondaj No	Derinlik (m)			SPT-N30	Relatif Sıkılık	Nisbi Yoğunluk
SK1	3.00	-	3.45	16	0,35-0,65	Orta Sıkı
	4.50	-	4.95	18	0,35-0,65	Orta Sıkı
	6.00	-	6.45	22	0,35-0,65	Orta Sıkı
	7.50	-	7.95	30	0,65-0,85	Sıkı
	9.00	-	9.45	23	0,35-0,65	Orta Sıkı
	10.50	-	10.95	26	0,35-0,65	Orta Sıkı
	12.00	-	12.45	31	0,65-0,85	Sıkı
	13.50	-	13.95	38	0,65-0,85	Sıkı
	15.00	-	15.45	R	>0,85	Çok Sıkı
	16.50	-	16.95	42	0,65-0,85	Sıkı
	18.00	-	18.45	38	0,65-0,85	Sıkı
	19.50	-	19.95	44	0,65-0,85	Sıkı
	21.00	-	21.45	49	0,65-0,85	Sıkı
	22.50	-	22.95	53	>0,85	Çok Sıkı
	24.00	-	24.45	54	>0,85	Çok Sıkı
	25.50	-	25.95	63	>0,85	Çok Sıkı
SK2	3.00	-	3.45	14	0,35-0,65	Orta Sıkı
	4.50	-	4.95	15	0,35-0,65	Orta Sıkı
	6.00	-	6.45	24	0,35-0,65	Orta Sıkı
	7.50	-	7.95	R	>0,85	Çok Sıkı
	9.00	-	9.45	R	>0,85	Çok Sıkı
	10.50	-	10.95	R	>0,85	Çok Sıkı
	12.00	-	12.45	R	>0,85	Çok Sıkı
	13.50	-	13.95	30	0,65-0,85	Sıkı
	15.00	-	15.45	34	0,65-0,85	Sıkı
	16.50	-	16.95	41	0,65-0,85	Sıkı
	18.00	-	18.45	49	0,65-0,85	Sıkı
	19.50	-	19.95	45	0,65-0,85	Sıkı
	21.00	-	21.45	50	>0,85	Çok Sıkı
	22.50	-	22.95	52	>0,85	Çok Sıkı
	24.00	-	24.45	R	>0,85	Çok Sıkı
	25.50	-	25.95	65	>0,85	Çok Sıkı

4.9.3. Yerel zemin sınıfları

Çalışma alanı için zemin grupları, yerel zemin sınıfları ile spektrum karakteristik periyotları, kayma dalga hızları kullanılarak, mülga Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik (2007) göre;

Çizelge 4.20. Deprem Yönetmeliğine Göre Kaya ve Zeminlerin Gruplandırılması

Zemin Grubu	Zemin Grubu Tanımı	Standart Penetras.	Relatif Sıkılık (%)	Serbest Basınç Direnci (kPa)	Kayma Dalgası Hızı (m/s)
A	1. Masif volkanik, ayrışmamış sağlam metamorfik ve sert çimentolu tortul kayaçlar	-	-	>1000	>1000
	2. Çok sıkı kum, çakıl	50	-	-	>700
	3. Sert kil ve siltli kil	>32	85-100	>400	>700
B	1. Gevşek volkanik kayaçlar,süreksizlik düzlemleri bulunan ayrışmış çimentolu tortul kayaçlar	-	-	500-1000	700-1000
	2. Sıkı kum, çakıl…	30-50	65-85	-	400-700
	3. Çok katı kil ve siltli kil	16-32	-	200-400	300-700
C	1. Yumuşak, süreksizlik düzlemleri bulunan çok ayrışmış metamorfik kayaçlar ve çimentolu tortul kayaçlar	-	-	<500	400-700
	2. Orta sıkı kum, çakıl…	10-30	35-65	-	200-400
	3. Katı kil ve siltli kil	8-16	-	100-200	200-300
D	1. Yer altı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak, kalın alüvyon tabakaları…	-	-	-	<200
	2. Gevşek kum, çakıl…	<10	<35	-	<200
	3. Yumuşak kil ve siltli kil	<8	-	<100	<200

Çizelge 4.21. Yerel Zemin Sınıfları

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Grubu ve En Üst Zemin Tabakası Kalınlığı (h_1)
Z1	(A) grubu zeminler h_1<15 m olan (B) grubu zeminler
Z2	h_1>15 m olan (B) grubu zeminler h_1<15 m olan (C) grubu zeminler
Z3	15 m <h_1<50 m olan (C) grubu zeminler h_1<10 m olan (D) grubu zeminler
Z4	h_1>50 m olan (C) grubu zeminler h_1>10 m olan (D) grubu zeminler

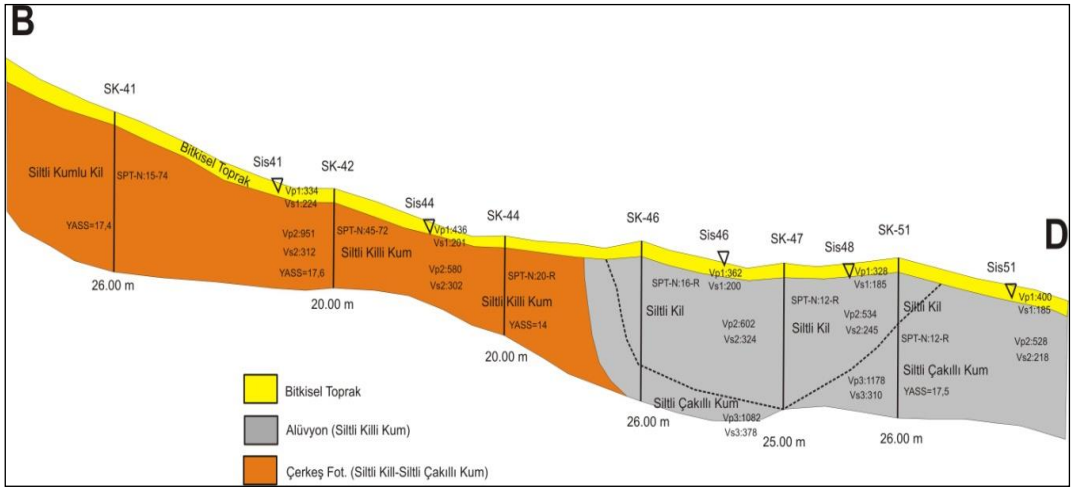
Çizelge 4.22. Birimlerin Vs Hızlarına Göre Zemin Grubu ve Yerel Zemin Sınıflarından Bazı Örnekler

SERİM NO	**Tbk.**	**V_s** (m/s)	**h** (m)	**Zemin Grubu**	**Yerel Zemin Sınıfı**	**Litoloji**
Sis-1	1	216	2	C	Z3	S-K
	2	235	6	C	Z3	S-K
	3	321	-	C	Z2	K-Ç
Sis-2	1	161	3	D	Z3	K-K
	2	212	6	C	Z3	S-K
	3	251	-	C	Z3	Ki-Ç

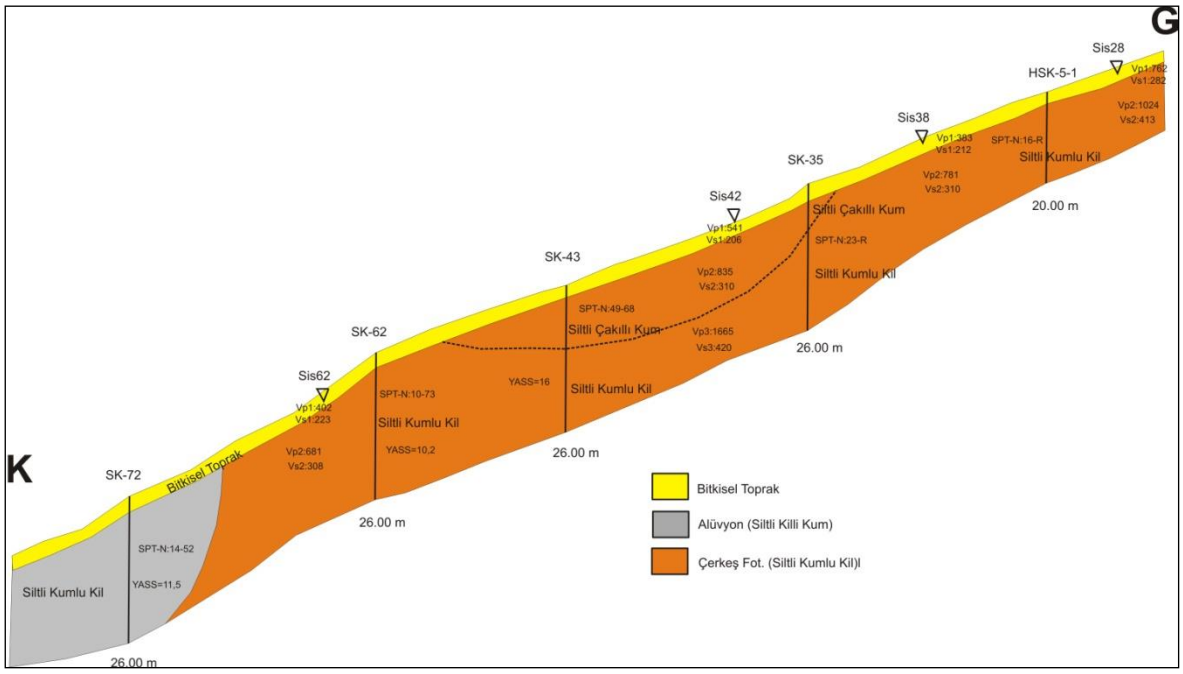
FORMASYON	ZEMİN GRUBU	YEREL ZEMİN SINIFI
ALÜVYON	C-D	Z3-Z4
ÇERKEŞ FORMASYONU	B-C	Z2-Z3

olarak belirlendiği görülmüştür.

4.9.4. Mühendislik zonları ve zemin profilleri



Şekil 4.7. İnceleme Alanında B-D Yönlü Alınan Kesit



Şekil 4.8. İnceleme Alanında K-G Yönlü Alınan Kesit

4.9.5. Şişme – oturma ve taşıma gücü analizleri ve değerlendirme

4.9.5.1.Zeminlerin şişme özellikleri

Zemin profili içerisinde yer alan potansiyel olarak şişebilen tabakaların kalınlığı ve lokasyonu, potansiyel şişme hareketini önemli ölçüde etkiler. Birleşik zemin sınıflandırma sisteminde CH ya da CL olarak, potansiyel olarak şişebilen zeminler olarak ifade edilmektedir. Ayrıca Birleşik zemin sınıflandırma sisteminde, ML, MH ve SC olarak gruplandırılan bazı zeminlerin de şişebildiğine dikkati çekilmektedir.

Çizelge 4.23. Şişme Potansiyeli Tanımı(Holtz ve Gibbs 1956)

Serbest Şişme (%)	Tanım
0 – 1,5	Düşük
1,5 – 5	Orta
5 – 25	Yüksek
>25	Çok Yüksek

Araziden alınan örselenmemiş (UD) numuneleri üzerinde yapılan konsolidasyon deneyi sonucunda killerin şişme miktarları (mm) ve şişme yüzdeleri bulunmuştur. Yapılan değerlendirmede Çerkeş Formasyonunda "düşük-orta-yüksek" şişme potansiyeli, Alüvyonda"düşük-orta-yüksek" şişme potansiyeli görülmüştür.

Çizelge 4.24. Konsolidasyon Deney Sonuçları ve Şişme Potansiyelinden Bazı Örnekler

Sondaj No.	Derinlik (m)	Konsolidasyon Deneyi		Zemin sınıfı	Şişme Potansiyeli	Formasyon
		Şişme Yüzdesi (%)	Şişme Basıncı (kg/cm²)			
SK-7	7,00-7,50	1.42	0.161	CL	Düşük	Qal
SK-7	10,00-10,50	1.69	0.193	CL	Orta	Qal
SK-9	5,00-5,50	1.38	0.156	CL	Düşük	Qal
SK-10	4,00-4,50	1.52	0.176	CH	Orta	Qal
SK-11	4,00-4,50	1.87	0.211	CL	Orta	Qal
SK-12	4,00-4,50	1.66	0.184	CH	Orta	Qal
SK-13	4,00-4,50	1.08	0.134	CH	Düşük	Qal
SK-13	7,00-7,50	2.00	0.231	CL	Orta	Qal
SK-15	7,00-7,50	1.30	0.149	CH	Düşük	Qal
SK-16	10,00-10,50	1.78	0.193	CH	Orta	Qal
SK-17	4,00-4,50	1.75	0.199	CH	Orta	Qal
SK-22	5,50-6,00	1.02	0.131	CL	Düşük	Qal
SK-23	7,00-7,50	1.00	0.118	CH	Düşük	Qal
SK-1	10,00-10,50	2.04	0.219	CH	Orta	Tç
SK-6	5,50-6,00	1.53	0.168	CL	Orta	Tç
SK-6	10,00-10,50	2.18	0.237	CL	Orta	Tç
SK-18	4,00-4,50	1.89	0.213	CL	Orta	Tç
SK-18	11,50-12,00	2.06	0.231	CL	Orta	Tç
SK-25	4,00-4,50	1.53	0.176	CL	Orta	Tç
SK-29	17,50-18,00	2.04	0.226	CL	Orta	Tç
SK-33	7,00-7,50	1.70	0.187	CH	Orta	Tç
SK-34	4,00-4,50	1.78	0.197	CH	Orta	Tç
SK-34	7,00-7,50	2.29	0.248	CL	Orta	Tç
SK-35	10,50-11,00	2.16	0.228	CH	Orta	Tç
SK-37	4,00-4,50	1.20	0.137	CH	Düşük	Tç
SK-38	10,50-11,00	0.88	0.113	CH	Düşük	Tç
SK-38	13,50-14,00	1.40	0.152	CH	Düşük	Tç

4.9.5.2. Zeminlerin oturma özellikleri

Çalışmanın imar planına esas olması ve sadece bir noktadan elde edilen sonuçların genel olarak kabul edilemeyeceği bilinmektedir.

$S=\Delta\sigma \times mv \times \Delta H$

S=oturma miktarı (cm),

Δσ=efektif gerilmedeki artış miktarı (kg/cm2)

mv= hacimsel sıkışabilirlik katsayısı (cm2/kg),

ΔH= kohezyonlu zeminin kalınlığı (cm)

Hesaplamalarda (en, boy, derinlik) (B=2) x (L=2) x (D=1.5) m dörtgen temel boyutları kullanılmış olup % 90 konsolidasyon düzeyi için gerekli olan süreye göre yapılmıştır. 2 m temel derinliğindeki bina temel tabanına aktarılacak yük 0.45 kg/cm2 olarak varsayılmıştır.

Örnek olarak SK-1 için konsolidasyon oturma hesaplaması

SK-1 için Konsolidasyon oturması

H = 1200 cm

Δσ = Derinliğe bağlı gerilme artışı

Z=H/2 = 12/2 = 6

Δσ = (B*L*Qyük)/(B+Z)(L+Z)

Δσ = (2*2*0.45)/(2+6)(2+6)= 0.028 kg/cm2

Mv= 0.01773 cm2 / kg (0,5-1,0 kg/cm2 arasındaki ortalama Mv değeri)

S = 0,028 * 0.01773 * 1200 = 0,60 cm olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.25. İnceleme Alanındaki Zeminlerin Konsolidasyon Oturma Değerlerinden Bazı Örnekler

Sondaj No.	Derinlik (m)	Δσ (kg/cm2)	Mv (cm2/kg)	H (cm)	S (cm)	Formasyon
SK-7	7,00-7,50	0.028	0.04711	1200	1.58	Qal
SK-7	10,00-10,50	0.028	0.03048	1200	1.02	Qal
SK-9	5,00-5,50	0.051	0.04273	1000	2.18	Qal
SK-10	4,00-4,50	0.051	0.01090	1000	0.56	Qal
SK-11	4,00-4,50	0.051	0.03986	1000	2.03	Qal
SK-12	4,00-4,50	0.051	0.01289	1000	0.66	Qal
SK-13	4,00-4,50	0.051	0.02980	1000	1.52	Qal
SK-15	7,00-7,50	0.051	0.03856	1000	1.97	Qal
SK-16	10,00-10,50	0.028	0.02859	1200	0.96	Qal
SK-17	4,00-4,50	0.051	0.02904	1000	1.48	Qal
SK-22	5,50-6,00	0.051	0.03868	1000	1.97	Qal
SK-23	7,00-7,50	0.051	0.03496	1000	1.78	Qal
SK-46	4,00-4,50	0.051	0.01729	1000	0.88	Qal
SK-47	7,00-7,50	0.051	0.02839	1000	1.45	Qal
SK-1	10,00-10,50	0.028	0.01773	1200	0.60	Tç
SK-6	5,50-6,00	0.028	0.02865	1200	0.96	Tç
SK-18	4,00-4,50	0.028	0.01872	1200	0.63	Tç
SK-25	4,00-4,50	0.051	0.03289	1000	1.68	Tç
SK-29	17,50-18,00	0.013	0.02262	2000	0.57	Tç
SK-33	7,00-7,50	0.051	0.03748	1000	1.91	Tç
SK-34	4,00-4,50	0.051	0.03468	1000	1.77	Tç
SK-35	10,50-11,00	0.028	0.01727	1200	0.58	Tç
SK-37	4,00-4,50	0.020	0.02587	1500	0.77	Tç
SK-38	10,50-11,00	0.020	0.04691	1500	1.40	Tç
SK-40	8,00-8,50	0.020	0.01552	1500	0.46	Tç
SK-41	4,50-5,00	0.051	0.01107	1000	0.56	Tç
SK-44	4,00-4,50	0.051	0.04792	1000	2.44	Tç
SK-45	4,00-4,50	0.051	0.03464	1000	1.77	Tç
SK-59	12,00-12,50	0.020	0.02598	1500	0.78	Tç
SK-61	7,00-7,50	0.051	0.02718	1000	1.39	Tç
SK-62	4,50-5,00	0.051	0.01930	1000	0.98	Tç
SK-63	7,00-7,50	0.051	0.01894	1000	0.97	Tç

4.9.5.3. Zeminlerin taşıma gücü özellikleri

Zeminlerin taşıma gücü hesabı

Çalışma alanındaki birimlerin taşıma gücü hakkında fikir edinmek amacıyla sondaj kuyularından elde edilen veriler kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Çalışma alanından elde edilen UD numuneler üzerinde yapılan üç eksenli ve direk kesme deneyleri sonuçlarından elde edilen "c" ve "Φ" değerleri kullanılarak taşıma gücü hesapları yapılmıştır. Taşıma kapasitesi hesapları Terzaghi ve Peck (1967) yöntemi kullanılmıştır. Hesaplamalarda Şerit temel tipi için izin verilebilir taşıma gücü değerleri belirlenmiştir. Temel derinliği 2,00 m, temel genişliği 2,00 m olarak kabul edilmiştir.

Buna göre;

$q_{net} = c*N_c*K1 + \gamma_1*Df*N_q + K2*N_\gamma*B*\gamma_2$ (Terzaghi)

Kı ve K2 : Temel tabanı Şekline bağlı katsayılar.

c : Kohezyon (kgf/cm2)

γ1 : Temel tabanı üzerindeki zeminin birim hacim ağırlığı (kg/cm3)

γ2 : Temel tabanı altındaki zeminin birim hacim ağırlığı (kg/cm3)

Df : Temel derinliği (cm)

B: Temel genişliği (cm)

L : Temel boyu (cm)

ϕ : İçsel sürtünme açısı

Nc, Nq, Nγ : İçsel sürtünme açısına bağlı taşıma gücü faktörleri

Örnek olarak SK-1 nolu kuyudan alınan UD numunesinin değerlerine göre taşıma gücü hesabı;

c = 0,99 kgf/cm2

ϕ = 120

γ = 0,00185 kg/cm3

Nc = 9,28

Nq = 2,97

Nγ = 0,76

B = 200 cm

Df = 200 cm

qnet = c*Nc*K1 + γ1*Df*Nq + K2*Nγ*B*γ2

qnet = 0,99*9,28*1 + 0,00185*200*2,97 + 0,5*0,76*200*0,00185

qnet = 10,43 kgf/cm2 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.26. Laboratuvar Değerleri İle Hesaplanmış Taşıma Gücü Değerlerinden Bazı Örnekler

Sondaj No.	Derinlik (m)	Doğal Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	Üç Eksenli Basınç Deneyi (UU)		Temel Tipi	Temel Derinliği (m)	Temel Genişliği (m)	Taşıma Gücü (kg/cm2)	Formasyon
			c (kgf/cm²)	Φ (°)					
SK-9	5,00-5,50	18.03	0.46	6	Şerit	2.00	2.00	3.78	Qal
SK-10	4,00-4,50	18.18	0.43	6	Şerit	2.00	2.00	3.58	Qal
SK-11	4,00-4,50	18.26	0.32	4	Şerit	2.00	2.00	2.51	Qal
SK-12	4,00-4,50	18.44	0.64	9	Şerit	2.00	2.00	5.96	Qal
SK-13	4,00-4,50	18.23	0.57	7	Şerit	2.00	2.00	4.80	Qal
SK-15	7,00-7,50	18.25	0.42	6	Şerit	2.00	2.00	3.52	Qal
SK-17	4,00-4,50	18.31	0.53	6	Şerit	2.00	2.00	4.26	Qal
SK-46	7,00-7,50	18.16	0.74	10	Şerit	2.00	2.00	7.16	Qal
SK-47	7,00-7,50	18.21	0.79	10	Şerit	2.00	2.00	7.57	Qal
SK-49	4,00-4,50	18.05	0.73	9	Şerit	2.00	2.00	6.66	Qal
SK-50	5,00-5,50	18.29	0.30	5	Şerit	2.00	2.00	2.54	Qal
SK-51	5,50-6,00	18.01	0.67	9	Şerit	2.00	2.00	6.18	Qal
SK-52	7,00-7,50	18.20	0.73	10	Şerit	2.00	2.00	7.07	Qal
SK-53	5,50-6,00	17.87	0.51	6	Şerit	2.00	2.00	4.11	Qal
SK-1	10,00-10,50	18.48	0.99	12	Şerit	2.00	2.00	10.43	Tç
SK-6	5,50-6,00	18.19	0.57	8	Şerit	2.00	2.00	5.09	Tç
SK-18	4,00-4,50	17.67	0.72	11	Şerit	2.00	2.00	7.40	Tç
SK-29	17,50-18,00	18.29	0.82	12	Şerit	2.00	2.00	8.84	Tç
SK-34	4,00-4,50	17.87	0.67	7	Şerit	2.00	2.00	5.50	Tç
SK-35	10,50-11,00	18.41	1.01	12	Şerit	2.00	2.00	10.57	Tç
SK-37	4,00-4,50	18.13	0.35	5	Şerit	2.00	2.00	2.86	Tç
SK-38	13,50-14,00	18.23	0.69	9	Şerit	2.00	2.00	6.35	Tç
SK-40	12,00-12,50	18.32	1.04	13	Şerit	2.00	2.00	11.57	Tç
SK-41	4,50-5,00	18.12	0.76	9	Şerit	2.00	2.00	6.90	Tç
SK-44	4,00-4,50	18.15	0.81	11	Şerit	2.00	2.00	8.22	Tç
SK-45	4,00-4,50	18.36	0.56	8	Şerit	2.00	2.00	5.02	Tç
SK-59	12,00-12,50	18.26	0.58	7	Şerit	2.00	2.00	4.88	Tç
SK-62	7,50-8,00	18.18	0.42	5	Şerit	2.00	2.00	3.31	Tç
SK-63	7,00-7,50	18.32	0.71	11	Şerit	2.00	2.00	7.35	Tç
SK-65	3,00-3,50	18.21	0.70	10	Şerit	2.00	2.00	6.82	Tç
SK-67	4,00-4,50	18.17	0.52	8	Şerit	2.00	2.00	4.71	Tç
SK-68	7,00-7,50	18.09	1.11	12	Şerit	2.00	2.00	11.51	Tç
SK-69	4,00-4,50	17.99	0.84	12	Şerit	2.00	2.00	9.00	Tç

4.10.Hidrojeolojik Özellikler

Yeraltısuyu durumu

İnceleme alanında Alüvyon ve Çerkeş formasyonunda açılan 31 kuyu hariç tamamında yeraltısuyuna rastlanmıştır. Yeraltısuyu seviyeleri Alüvyonda 2,3-19,80 m, Çerkeş formasyonunda 2,60-28,00 m aralığındadır.

Çizelge 4.27. Yeraltısuyunun Gözlendiği Bazı Kuyular

SK NO	KUYU DERİNLİĞİ (m)	YASS (m)		SK NO	KUYU DERİNLİĞİ (m)	YASS (m)
1	26	18		93	30.5	12.3
2	26	18		94	30.5	12.8
3	26	16		95	20	7.2
4	30.5	19		96	21.5	15.8
5	26	16		97	20	15.5
6	33.5	22		98	20	17
7	30.5	12.7		99	21.5	14.3
9	24	14.5		101	21.5	18.5
10	30.5	19.8		102	20	3
11	26	18.9		103	30.5	7.2
12	26	18.9		104	30.5	6.5
13	26	18		105	30.5	5.3
14	21	15.4		106	29	9
15	26	14		107	26	10.3
16	26	15.4		108	25	11.5
17	20	15.4		109	26	14
18	21.5	12		111	21.5	13.5
19	26	16.2		112	27	13.6
20	20	11.1		113	30.5	13.6
21	26	18		114	30.5	18.7
22	26	18.5		115	21.5	15.5
23	26	13		116	20	18.1
24	26	13.1		117	20	13.7

4.11. Doğal Afet Tehlikelerinin Değerlendirilmesi

4.11.1. Deprem durumu

İnceleme alanı 18.04.1996 tarih ve 96/8109 sayılı Bakanlar Kurulu Kararı ile yürürlüğe giren Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası'na göre 1. derece deprem bölgesi sınırları içerisinde kalmaktadır. Bu nedenle jeolojik birimlerin litolojik ve jeoteknik özellikleri de dikkate alınarak, yapılaşma esnasında depremsellik mutlaka önemsenmeli ve Deprem Yönetmeliklerine uyulması gerektiği görülmektedir.

4.11.2. Paleosismolojik çalışmalar

Tokat iline bağlı Erbaa ilçesi, kuzeyde bulunan KAFZ ile güneyde haritalanan Esençay Fayı arasında yer alır. Paleosismolojik çalışmaların amacı, Erbaa yerleşim yeri içinde aktif fayların olup olmadığının ortaya konması, yerleşim yeri içinde aktif faylar varsa fayların kesin yerlerinin ve faylar üzerindeki deformasyon zonu genişliğinin belirlenmesidir. Bu amaçla, yerleşim yerinin ve yakın çevresinin uydu görüntüleri incelenmiş, ayrıntılı arazi gözlemler yapılmış, arazi gözlemleri sonucu belirlenen lokasyonlarda jeofizik çalışmaları yapılmış ve bütün bu çalışmalar ışığında uygun görülen alanlarda hendek çalışmaları yapılmıştır.

Yapılan çalışmalar sonucunda çalışma alanı içinde birisi Kelkit nehrinin güneyinde diğeri ise Çamlık Tepe'nin kuzeyinde yer alan iki adet kuzeye eğimli morfolojik şev bulunduğu tespit edilmiştir.

Kelkit Nehri'nin güneyinde bulunan şev doğrusal olmadığı ve az çok nehrin yatağını takip ettiği tespit edilmiştir. Şevin yüksekliği kuzeybatı ve doğu yönünde gidildikçe azaldığı ve kaybolduğu görülmüştür. Şev üzerinde açılan hendeklerde, yüzeyde morfolojide farklılık oluşturan şevin tabanında bulunan alüvyal çökeller karşıdan karşıya devam etmektedirler. Hendeklerde faylanmaya ait herhangi bir veriye rastlanmamıştır.

Ayrıca, hendek duvarlarının ayrıntılı incelenmesinde, hendeklerde görülen birimlerde çatlak veya herhangi bir dolgu malzemesi görülmemiştir. Ayrıntılı arazi gözlemleri ve hendek çalışmaları, Kelkit Nehri'nin güneyinde görülen morfolojik şevin tektonik kökenli olmadığını, Kelkit Nehri'nin eski bir terası olduğunu ortaya koymuştur.

Çamlık Tepe'nin kuzeyinde görülen ve batıda sanayi alanı ile doğuda Horoz Tepe arasında uzanan morfolojik şevin ise kuzeybatıya ve güneydoğuya devamı yoktur. Horoz Tepe mevkiinde belirgin şekilde görülen morfolojik şev üzerinde açılan hendeklerde teras çökelleri görülmüştür ve birimleri kesen herhangi bir faya rastlanmamıştır. Bu morfolojik şevin sanayi alanına doğru uzanan kısmı üzerinde açılan hendeklerde gömülü kanal yapıları görülmüştür. Bunların dışında hendeklerde görülen birimlerde faylanmaya ait herhangi bir veriye rastlanmamıştır.

Sonuç olarak, çalışma alanında yapılan ayrıntılı arazi gözlemleri ve hendek çalışmaları, çalışma alanının sınırları içinde herhangi bir tampon bölge konulacak aktif fay olmadığını ortaya koymuştur.

4.11.3. Sıvılaşma analizi ve değerlendirme

Sıvılaşma analizlerinde güvenli tarafta kalma açısından, etkin yer ivme katsayısı 0.4 g, senaryo deprem büyüklüğü ise M= 7,5 alınmıştır. Sıvılaşma analizlerinde yeraltı su seviyesi ölçüldüğü şekliyle dikkate alınmıştır. Analizlerde kullanılan program (SPT verilerine göre analiz), Seed ve De Alba' nın yöntemi olan ve 1996 ve 1998' deki seminerlerde rapor edildiği şekilde Youd vd. (2001)' e göre hazırlanmıştır. Bu yöntem, sıvılaşma potansiyeli araştırılan zeminin tekrarlı gerilimler altındaki makaslama dayanımı ile bu zeminde deprem sırasında beklenen tekrarlı makaslama geriliminin karşılaştırma esasına dayanır ve bu karşılaştırmadan elde edilen güvenlik katsayısının büyüklüğüne göre incelenen zeminin sıvılaşma direnci değerlendirilir.

Deprem sırasında herhangi bir derinlikte zemini etkileyen ve depremin neden olduğu tekrarlı gerilim oranını hesaplamak için

$$(\tau_{av}/\sigma_o')_d = 0.65\ [\ (a_{max}/g)x\ (\sigma/\sigma_o')\ r_d\ ]$$

eşitliği verilmekte olup burada;

τ_{av} : Sıvılaşma analizi yapılan seviyeye etkiyen ortalama tekrarlı makaslama gerilimi

σ_o': Etkin (efektif) gerilim

σ : Toplam gerilim

r_d : Gerilim azaltma faktörü (rd=1-0.015z, z:derinlik)

a_{max}: zemine etkiyen en büyük (etkin) yer ivmesi dir.

Alüvyonda açılan jeoteknik sondaj kuyularında sıvılaşma analizi yapılmıştır. Elde edilen Sıvılaşma Şiddeti İndeksi (Ls) değerlerine göre sıvılaşma değerlendirmeleri yapılmıştır.

Olası sıvılaşma riskine karşı, yapının temelini oluşturan yapı elemanları sıvılaşmanın etkilerini karşılayabilecek şekilde tasarlanmalı veya zemin iyileştirmesi

yapılmalıdır. Çalışma alanı içerisinde su ve kanalizasyon borusu vb. gibi gömülü hafif alt yapı elemanlarının sıvılaşmadan zarar görmemesi veya hasarı en aza indirilmesi için boruların sıvılaşmadan kaynaklanan yanal hareketleri ve yer değiştirmeleri karşılayacak düzeyde esnekliğe sahip bağlantılarla birleştirilmesi tercih edilmelidir.

Çizelge 4.28. Çalışma Alanındaki Alüvyon Zeminlerin Sıvılaşma Potansiyeli

KUYU NO	DERİNLİK	YASS	Ls Değeri	Sıvılaşma Değerlendirmesi
SK-76	26.00	7.30	8.670	Çok Düşük
SK-88	26.00	6.40	0.000	Sıvılaşma Yok
SK-90	26.00	8.40	13.667	Çok Düşük
SK-92	26.00	6.20	7.018	Çok Düşük
SK-95	20.00	7.20	0.000	Sıvılaşma Yok
SK-102	20.00	3.00	24.762	Düşük
SK-103	30.50	7.20	13.297	Çok Düşük
SK-104	30.50	6.50	0.000	Sıvılaşma Yok
SK-105	30.50	5.30	31.517	Düşük
SK-106	29.00	9.00	0.000	Sıvılaşma Yok
SK-120	20.00	8.60	9.266	Çok Düşük
SK-121	21.50	8.30	2.668	Çok Düşük
SK-122	30.50	2.60	0.000	Sıvılaşma Yok
SK-123	30.50	5.70	8.991	Çok Düşük
SK-131	20.00	9.00	7.127	Çok Düşük
SK-132	20.00	8.40	0.000	Sıvılaşma Yok
SK-133	20.00	7.60	9.168	Çok Düşük
SK-134	29.00	7.80	19.765	Düşük
SK-135	20.00	7.00	4.017	Çok Düşük
SK-136	20.00	8.50	13.026	Çok Düşük
SK-137	20.00	8.90	0.000	Sıvılaşma Yok
SK-138	20.00	8.50	0.000	Sıvılaşma Yok
SK-139	20.00	8.90	0.000	Sıvılaşma Yok
SK-141	20.00	3.80	0.000	Sıvılaşma Yok
SK-142	20.00	3.60	12.005	Çok Düşük
SK-143	20.00	4.20	0.000	Sıvılaşma Yok
SK-144	20.00	5.50	17.591	Düşük
SK-145	20.00	5.50	0.000	Sıvılaşma Yok
SK-146	40.00	5.70	28.867	Düşük
SK-147	20.00	3.50	18.210	Düşük
SK-148	20.00	5.00	17.318	Düşük
SK-149	20.00	3.40	12.978	Çok Düşük
SK-150	20.00	3.40	12.697	Çok Düşük
SK-151	20.00	3.10	15.979	Düşük
SK-152	20.00	2.50	0.000	Sıvılaşma Yok
SK-153	20.00	2.30	15.706	Düşük
SK-154	20.00	3.40	7.622	Çok Düşük

Yapılan sıvılaşma potansiyeli çalışmaları esnasında; mekanik sondajlar ve geçilen birimler incelenmiş, alüvyon birimlerin bulunduğu kuyulardan alınan numunelerin elek analizi sonuçlarına göre yapılan bileşik zemin sınıflamalarından, kum ve çakıl(S ve G grubu zemin) birimlerin olduğu seviyelerin kayma dalgası hız değerleri, zemin jeofizik analiz programına girilerek sıvılaşma analizi yapılmıştır. Kayma dalgası hız değerlerinin yanında yazılıma, çalışma alanında beklenen maksimum deprem büyüklüğü; 7.2, maksimum deprem ivmesi: 0.4 g, mekanik sondajlar ve düşey elektrik sondajlardan

belirlenen YASS, ve ince taneli oranı alınarak farklı derinlikler için sıvılaşma analizi yapılmıştır.

Çalışma sahasında açılan mekanik sondaj verilerinden, bölgenin kum- çakıl birimlerinden oluştuğu ve yeraltı su seviyesinin yaklaşık 2,30-19,80 m arasında olduğu kesimler de yapılan Sismik lokasyonlarında alınan ölçümler sonucunda tespit edilen detaylı sismik hız kesitlerindeki kayma dalgası hızları yardımı ile sıvılaşma analizi yapılmıştır.

Çizelge 4.29. Kayma Dalgası Hızları Yardımıyla Yapılan Derinliğe Bağlı Sıvılaşma Analizi Sonucunda Sıvılaşma Tespit Edilen Noktalar

Sismik No	Y.A.S.S	Derinlik	SIVILAŞMA	Sismik No	Y.A.S.S	Derinlik	SIVILAŞMA
Sis-21	18	18.3-19.8	SO	**Sis-137**	8.9	9.3-10.8	SO
Sis-26	12	12.3	SO	**Sis-138**	8.5	9.3-10.8	SO
Sis-59	4.7	4.8-6.3	SV	**Sis-141**	3.8	4.8-6.3	SV
Sis-60	4.2	4.8-10.8	SV	**Sis-142**	3.6	6.3-7.8	SV
Sis-75	12.3	13.8-21.3	SV	**Sis-143**	4.2	4.8-6.8	SV
Sis-87	15.5	16.8-19.8	SV-SO	**Sis-144**	5.5	6.3-7.8	SV
Sis-95	7.2	7.8-9.3	SO	**Sis-146**	5.7	6.3-9.3	SV-SO
Sis-99	14.3	15.3-19.8	SO	**Sis-148**	5	6.3-7.8	SV
Sis-102	3	1.8-21.3	SV-SO	**Sis-149**	3.4	4.8-6.3	SV
Sis-103	7.2	1.8-19.8	SV-SO	**Sis-150**	3.4	4.8-6.3	SV
Sis-104	6.5	1.8-9.3	SV	**Sis-151**	3.1	3.3-4.8	SV
Sis-105	5.3	6.3-10.8	SV	**Sis-152**	2.5	3.3-6.3	SV
Sis-106	9	9.3-19.8	SV-SO	**Sis-153**	2.3	4.8-6.3	SV
Sis-111	13.5	13.8-15.3	SO	**Sis-155**	3.4	4.8-6.3	SV
Sis-115	15.5	16.8-21.3	SO	**Sis-156**	3.4	4.8-6.3	SV-SO
Sis-122	2.6	3.3-12.3	SV-SO	**Sis-157**	3.4	4.8-6.3	SV
Sis-130	11.8	12.3-21.3	SV-SO	**Sis-158**	2.3	3.3-4.8	SV
Sis-131	9	9.3-13.8	SV-SO	**Sis-159**	2.5	3.3-6.3	SV
Sis-132	8.4	9.3-18.4	SV-SO	**Sis-160**	2.5	3.3-4.8	SV
Sis-133	7.6	7.8-13.8	SV-SO	**Sis-161**	3.1	3.3-6.3	SV
Sis-134	7.8	9.3-13.8	SV	**Sis-162**	3.1	3.3-4.8	SV
Sis-135	7	7.8-10.8	SV	**Sis-179**	9	9.3-13.8	SV
Sis-136	8.5	9.3-21.3	SV	**Sis-180**	5.3	6.3-9.3	SV

Yüzeyi etkilemeyecek sıvılaşma

Yüzeyi etkileyecek sıvılaşma

4.11.4. Zemin büyütmesi ve hakim titreşim periyotunun belirlenmesi

Çizelge 4.30. Göreceli Yer Büyütme Faktörleri ve Yer Hakim Titreşim Periyotlarından Bazı Örnekler

Ölçü No	To	Akm	Ölçü No	To	Akm	Ölçü No	To	Akm
M-1	0.67	2.45	**M-31**	0.22	1.75	**M-61**	0.41	1.52
M-2	0.71	2.19	**M-32**	0.27	2.05	**M-62**	0.28	1.81
M-3	0.49	2.02	**M-33**	0.71	4.24	**M-63**	0.69	2.04
M-4	0.58	2.17	**M-34**	0.29	1.58	**M-64**	0.73	2.85
M-5	0.68	3.13	**M-35**	0.51	3.49	**M-65**	0.69	2.00
M-6	0.57	2.01	**M-36**	0.25	1.70	**M-66**	0.61	2.50
M-7	0.78	3.25	**M-37**	0.7	2.94	**M-67**	0.67	4.42
M-8	0.67	2.26	**M-38**	0.59	1.41	**M-68**	0.59	2.49
M-9	0.65	2.23	**M-39**	0.58	1.69	**M-69**	0.6	1.78
M-10	0.77	3.43	**M-40**	0.66	1.82	**M-70**	0.69	2.03
M-11	0.79	3.62	**M-41**	0.18	1.47	**M-71**	0.37	2.02
M-12	0.57	1.90	**M-42**	0.21	1.20	**M-72**	0.67	2.33

Depremlerde yapının oturduğu zeminin titreşmesi yada diğer bir deyişle sallanması durumunda mühendislik yapısı da salınıma uğramaktadır. Bir deprem durumunda mühendislik yapısı ile oturduğu zeminin periyodunun birbirine yakın olması halinde, rezonans nedeniyle, hasar beklenenden fazla olmaktadır.

Yerden yapıya aktarılan enerjinin büyüklüğü, o noktadaki şiddetin büyüklüğü ile, "yapı doğal periyodu" nun "yerin baskın periyodu'na yakınlığına bağlıdır. Bu nedenle, yapı "doğal" periyotlarının yerin "baskın" periyodundan uzak kılınması, başka bir deyimle "yapı-yer uyumu", bir mühendislik hedefi olan "güvenlik ve ekonominin bir araya getirilmesinde çok önemli bir anahtardır [23].

Çizelge 4.31. (a) Yer Hakim Titreşim Periyotlarına Göre Mikrobölgeleme Ölçütleri (b) Spektral Büyütmelere Göre Mikrobölgeleme Ölçütleri

(a)		(b)	
Zemin hakim titreşim periyodu aralığı	Ölçüt Tanımı	Spektral Büyütme	Tehlike Düzeyi
0.10 – 0.30 sn	A	0.0 – 2.5	A (Düşük)
0.30 – 0.50 sn	B	2.5 – 4.0	B (Orta)
0.50 – 0.70 sn	C	4.0 – 6.5	C (Yüksek)
0.70 – 1.00 sn	D		

Proje alanında yer hakim titreşim periyotları; sahanın Güney-batısında bulunan Pliyosen alüvyon birimlerin bulunduğu kesimlerde 0.10-0.50 sn arasında olmasından dolayı "A-B; Düşük-Orta tehlike düzeyi" sınıfına girmektedir. Sahanın kuzey ve doğu kesimelerinde bulunan kuvaterner alüvyonlar üzerinde hesaplanan hakim titreşim periyodu değerleri 0.30-0.80 sn arasında değerler alması sebebi ile "B-C; Orta-Yüksek tehlike düzeyi" sınıfına girmektedir.

Deprem esnasında oluşacak yatay ivmenin, büyütme oranında artarak mühendislik yapılarına etki edeceği unutulmamalıdır. Önerilen büyütme değeri dikkate alınarak yapının temel ve boyut analizi yapılmalı ve depreme dayanıklı yapı tasarımı ilkelerine bağlı kalınmalıdır. Bu değerleri inceleyen proje mühendislerine, statik hesaplamaya ilaveten uyguladıkları dinamik hesaplamalarda bu değerleri göz önüne almaları, özellikle ağırlık merkezleri ile (eğer varsa) simetri eksenleri çakışmayan yapılarda, büyütmesi dolayısı ile artacak olan ikinci mertebe burulma modülüne donatı boyutlandırma sırasında itibar etmeleri ve özen göstermeleri önerilmiştir.

4.11.5. Heyelan

Pliyosen Çerkeş formasyonunda yapılan sondaj çalışmalarından alınan örselenmemiş örnekler üzerinde üç eksenli basınç ve kesme kutusu deneyleri yapılarak zeminlerin mekanik özellikleri olan kohezyon ve içsel sürtüne değerleri bulunmuştur. Bu değerler Slide-6 programında yorumlanarak bu alanların şev stabilite analizleri yapılmıştır.

Yapılan analizler neticesinde güvenlik sayısı FOS >1.2 ise çalışılan alan şev duralılığı açısından duraylı (güvenli), güvenlik sayısı 1,2 > FOS > 1 ise, duraylılık açısından kritik bir durum söz konusudur, yapılaşma öncesinde ilgili bölge için önlemler alınmalıdır. Eğer güvenlik sayısı FOS<1 ise kaymanın devam ettiği güvensiz bir bölge olduğu anlaşılmaktadır.

İlçenin arazisinin eğimli olması, bozuşmuş ince taneli zeminin fazla olması, birinci derecede deprem bölgesinde yer alması ve bol yağış almasından dolayı bu alanlar yerleşime uygunluk durumu kısmında Önlemli Alanlar olarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.32. Şev Duraylılığı Analiz Sonuçları

KESİT NO	Birim Hacim Ağırlığı (g/cm3)	Kohezyon (kPa)	İçsel Sürtünme Açısı (0)	Deprem Etkisi (gal)	FOS	DURAYLILIK DURUMU
A-A'	2.5	44	11	0.2	1.108	KRİTİK
B-B'	1.8	44	10	0.2	1.088	KRİTİK
C-C'	1.8	41	8	0.2	1.086	KRİTİK
D-D'	1.9	48	6	0.2	1.039	KRİTİK
E-E'	1.9	34	14	0.2	1.189	KRİTİK
F-F'	1.8	78	10	0.2	1.671	STABİL
G-G'	1.8	78	10	0.2	1.931	STABİL
H-H'	1.9	36	13	0.2	0.985	KAYAR

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

İncelenen bu tez kapsamında Tokat İli Erbaa İlçesi Mikrobölgeleme Etüt raporu ile zeminin fiziksel ve mekanik bütün özellikleri ortaya konularak gerekli çalışmalar yapılmış, yapılan bu çalışmalardan elde edilen bilgiler ışığında olası afet risklerini en aza indirmek için gerekli çözüm önerileri sunulmuştur.

İncelenen Tokat İli Erbaa İlçesi Mikrobölgeleme Etüt raporu kapsamında yapılan tüm çalışmalar ve raporda sunulan çözüm önerileri doğrultusunda aşağıda belirtilen hususların mikrobölgeleme etüt çalışmalarında büyük önem arz ettiği anlaşılmıştır.

- Mikrobölgeleme haritalarının güvenilirliği, inceleme alanında yeterli miktarda verilerin toplanarak zemin tabakalarının net bir şekilde belirlenmesine bağlıdır. Bu nedenle çalışılacak alan belirlenen hücre boyutlarında eşit alanlara ayrılarak, her hücre alanı içerisinde yeterli yoğunlukta zemin verileri toplanmalıdır. Jeolojik ve topografik koşulların homojenliğine göre karelaj boyutları değişebilmektedir. Karelaj yoğunluğu arttıkça zemin hakkında toplanan bilgi ve hassasiyet artacaktır ancak buna bağlı olarak çalışmalar için gerekli süre uzayacak ve maliyet artacaktır. Bu yüzden en ekonomik yöntem zemin hakkındaki verileri karelaj formatı ile toplamaktır. Maliyeti azaltmak ve zaman kaybını önlemek için yalnızca riskli görülen alanlarda karelaj yoğunluğu arttırılmalıdır. Buna bağlı olarak karelajlar genel olarak aktif heyelanlı, karstik, bataklık özellik gösteren bölgelerde 50X50 metre, alüvyon alanlarda 250X250 metre, zemin kalınlığı fazla olmayan kaya ortamlarda 500X500 metre, kaya ortamlarda ise 1000X1000 metre olarak belirlenmelidir.

- İnceleme alanında, jeolojik birimler hakkında en sağlıklı ve en doğru bilgi sondajlar sayesinde elde edilir. Ancak sondajlar maliyetli ve zaman alıcı çalışmalardır. İmar Planına Esas Mikrobölgeleme Etüt Çalışmalarında sondajlar en fazla 30 m derinliğe kadar ekonomik sayılabilir. Bu yüzden inceleme alanındaki daha derin anakaya seviyeleri hakkında bilgiler gerekmesi durumunda optimum maliyet açısından jeofizik yöntemler kullanılmalıdır.

- Sondajlar sırasında arazide yapılan SPT deneyleri basit bir deney olmasına rağmen inceleme alanındaki jeolojik birimler hakkında önemli bilgiler vermektedir. SPT

deneyleri kumlu, siltli ve killi birimler için geliştirilmiştir. Çakıl içeriği yüksek olan birimlerde yapılan SPT deneylerinden alınan sonuçlar doğru bilgiler vermemektedir. Bu yüzden çakıl içeriği yüksek olan birimlerde SPT deneylerine alternatif olarak pressiometre deneyleri yapılabilir.

- Arazi deneylerinden birisi olan CPT deneyinin yapımı sırasında sondaja gerek olmadığı için bu deneyin maliyeti oldukça düşüktür. CPT deneyi ile yeraltısu seviyesi, boşluk suyu basıncı, içsel sürtünme açısı gibi parametreler elde edilebilir. Ancak deney sırasında zeminden numune alınamayıp, laboratuvar deneylerinin yapılamaması SPT deneyini daha güvenilir kılmaktadır.

- Sondajlar sırasında alınan örselenmiş ve örselenmemiş numuneler yetkili bir laboratuvara gönderilerek su muhtevası deneyi, doğal birim hacim ağırlığı tayini, kıvam limitleri deneyi, elek analizi, hidrometre analizi, kesme kutusu, üç eksenli basınç ve odeometre deneyleri yapılarak zeminin indeks-fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmelidir. Yer sarsıntısı büyütme analizi için yapılan tekrarlı numune deneylerinin maliyeti yüksek olduğundan, optimum maliyet açısından yalnızca kritik görünen alanlarda tekrarlı numune deneyleri yapılmalıdır. Sıvılaşma analizleri için ise tekrarlı numune deneylerine ihtiyaç yoktur. Arazi verileri kullanılarak ve laboratuvarda elek analizi yapılarak sıvılaşma analizleri güvenilir bir şekilde yapılabilir.

- Sıvılaşmada önemli olan sıvılaşmanın zemin yüzeyinde oluşturacağı etki olduğundan, sıvılaşma analizleri yapılırken sıvılaşmanın hangi derinliklerde meydana geleceği ve buna bağlı olarak zemin yüzeyinde ne kadarlık bir alanda etki yapacağı ayrıntılı bir şekilde irdelenmelidir. Böylece zemin yüzeyinde hasar oluşturmayacak olan sıvılaşmalar tespit edilerek, tesislerin yapımı sırasında gereksiz zemin iyileştirme çalışmalarının önüne geçilmiş ve tesislerin daha ekonomik olarak inşaa edilmesi sağlanmış olur.

- Zeminin fiziksel parametrelerinin belirlenebilmesi için sismik kırılma, düşey elektrik sondaj, mikrotremör, çok elektrotlu özdirenç, yer radarı ve sismik yansıma gibi jeofizik ölçümler yapılmalıdır. Kayma dalgası hızı profili için en iyi sonuçlar jeofizik ölçümlerle elde edilebilir.

- Yerleşim alanlarının yakınından veya içerisinden geçen aktif bir fay hattının olup olmadığını tespit edebilmek için, Üniversiteler ile işbirliği içerisinde paleosismolojik çalışmalar yapılmalıdır.

- Mikrobölgeleme çalışmaları sonucunda yüzeysel faylanma haritası, yer sarsıntısı haritası, sıvılaşma potansiyeli haritası, toprak kayması tehlike haritası, ve gerekli görüldüğü takdirde depreme bağlı su baskını tehlike haritaları hazırlanmalıdır. Bu sayede kentlerde yapılacak olan tüm yatırımların daha güvenilir ve daha sağlıklı alanlara yönlendirilmesi sağlanmış olur.

Ülkemizde bir afet sonrasında en büyük sorunlar içmesuyu, kanalizasyon şebekelerinde meydana gelen hasarlardan dolayı içmesuyu yetersizliği ve bulaşıcı hastalık tehlikesidir. Bu tip sorunların önüne geçmek amacıyla İlbank A.Ş. olarak bir deprem sırasında sıvılaşmadan dolayı farklı oturmaların oluşabileceği alanlarda içmesuyu ve kanalizasyon hatlarındaki boruların birleşim noktalarında belirli bir miktar hareket kabiliyetine sahip sistemler geliştirilmeli ve riskli bölgelerde daha esnek borular tercih edilmelidir. Böylece deprem anında altyapı tesislerinde meydana gelebilecek hasarlar en aza indirgenerek afet sonrası krizlerin mümkün mertebe önüne geçilmiş olur.

Deprem tehlikesi, faylar ve yerel zemin koşullarına bağlı olarak bir yerleşim yeri içerisinde farklı etkiler yaratabilir. Bu nedenle kentsel gelişimin daha güvenli bölgelere yönlendirilebilmesi için birinci derece deprem bölgesi olan yerleşim yerlerinde imar planına esas mikrobölgeleme çalışmaları yapılarak yerleşim alanları için daha güvenli bölgeler belirlenebilir.

İmar Planına Esas Mikrobölgeleme çalışmaları oluşabilecek doğal afet tehlikeleri hakkında detaylı bilgiler sunarak inşaat ve tasarım aşamalarında alınması gereken önlemler konusunda şehir plancıları, tüm kamu kuruluşlarını ve mal sahiplerini bilgi sahibi yapar.

Gelişmekte olan kentlerin yeni yerleşim alanlarını yönlendirmekte oldukça etkili olan üniversite, okul, hastane, organize sanayi bölgesi, karakol vb. gibi kamu tesislerinin olası doğal afetlere karşı en güvenli bölgelerde konumlandırılması önem arz etmektedir. Bu nedenle İmar Planına Esas Mikrobölgeleme Etüt Çalışmaları kritik önem taşıyan kamu

tesisleri için en güvenli alanları belirleyip kentlerin daha sağlıklı ve emniyetli alanlara doğru gelişmesini sağlar.

Belediyelerin hizmet birimleri, belediye çalışmalarında en önemli faaliyetler olduğundan elektrik dağıtım, içmesuyu şebeke, kanalizasyon şebeke, haberleşme ağ sistemleri gibi kritik önem taşıyan tesislerin sıvılaşma ve toprak kayması riski olan bölgelerden geçirilmemesine özen gösterilmedir. Ülkemizde mikrobölgeleme çalışmalarının yetersiz olmasından dolayı söz konusu tesislerin konumlandırılması maalesef genellikle riskli alanlarda yapılmıştır. Bu nedenle olası bir deprem anında söz konusu tesisler zarar görerek deprem sonrası kriz seviyesini üst seviyelere çıkarmaktadır. İmar Planına Esas Mikrobölgeleme Etüt çalışmaları kapsamında sıvılaşma ve toprak kayması riski olan bölgeler belirlenir ve böylece afet sırasında kritik önem taşıyan tesislerin en az hasarı görmesi sağlanabilir. Bu sayede ülke ekonomisinin zarar görmesi en aza indirgenerek, afet sırasındaki krizlerin de en düşük seviyede atlatılması sağlanmış olacaktır.

Ülkemizde AFAD kurumunun önderliğinde, tüm kamu kuruluşları ile ortaklaşa olarak yürütülen Türkiye Afet Müdahale Planı (TAMP) senaryoları hazırlanmaktadır. TAMP senaryoları kapsamında afet öncesi, afet anı ve afet sonrasında tüm kamu kurumlarının birbirleri ile koordineli olacak şekilde ayrı görev ve sorumlulukları vardır. Bu bağlamda İmar Planına Esas Mikrobölgeleme Etüt çalışmaları en büyük hasarın meydana gelebileceği bölgelerin belirlenmesinde temel teşkil eder. Mikrobölgeleme çalışmalarının sunduğu bu bilgiler, afet müdahalesinde kullanılacak malzeme, teçhizatın hazırlanmasında ve acil duruma yetiştirilen personelin eğitim programlarının geliştirilmesinde kullanılabilir.

İmar Planına Esas Mikrobölgeleme çalışmaları afet anında binaların hasar görebilirliği ile ilgili kesin bilgiler sunarak, emlak piyasa değerlerinin uygun bir şekilde oluşmasını sağlamaktadır. Tüm Belediyeler kendi arazi kullanım ilkeleri ile finansal araçlar ve mülkiyet haklarını entegre edebilirler. Böylece mikrobölgeleme haritaları ve uygun arazi kullanım politikaları; farklı vergilendirme, sigorta, mülki haklar ve yönetim üzerinde yerel kısıtlamaların uygulanabilmesinde güvenilir bir davranış için gerekli ön bilgileri sağlayabilir.

İmar Planına Esas Mikrobölgeleme Etüt çalışmaları zaman alıcı, maliyetli ve tecrübe gerektiren çalışmalar olduğundan her an deprem tehlikesi ile karşılaşabilecek olan metropol kentlerimizde bile yeterli düzeyde yapılamamıştır. Ülkemizin İmar Planına Esas Jeolojik Etüt çalışmalarında Belediyelere gerek teknik gerekse mali konularda destek olan İlbank A.Ş., tecrübeli teknik kadrosu ile mikrobölgeleme etüt çalışmalarında da Ülkemize öncülük etmelidir. Bu bağlamda öncelikle Belediyelere ve ilgili diğer kamu kuruluşlarına yönelik brifing ve konferanslar düzenlenerek İmar Planına Esas Mikrobölgeleme Etüt çalışmalarının önemi ve gerekliliği konusunda bilgilendirmeler yapılmalıdır. Ayrıca bu tip çalışmalarının yapılmasını teşvik etmek amacıyla uygun görülen Belediyelerimize hibe ödenekler ayrılmalıdır. Böylece Ülkemizde kent planlarının daha sağlıklı ve güvenli bir şekilde yapılmasına katkı sağlanmış olur.

İlbank A.Ş 'nin yapacağı tüm altyapı ve üstyapı tesisleri için İmar Planına Esas Mikrobölgeleme Etüt çalışmaları sonucunda hazırlanan yerleşime uygunluk haritaları, doğal afetlere ve zemin problemlerine karşı en güvenli alanların seçilmesi konusunda Bankamızı bilgi sahibi yapar. Böylece tüm tesislerimiz afet risklerine karşı en güvenilir alanlarda yapılarak, afet sırasında oluşacak maddi hasarlara karşı önlemlerin proje aşamasında alınması sağlanmış olur.

KAYNAKLAR

1- Belediyeler için Sismik Mikrobölgeleme, World İnstitutefor Disaster Risk Management (DRM), Türkiye Cumhuriyeti Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, AfetİşleriGenel Müdürlüğü, (2004).

2- Ansal, A.,Biro, Y., Erken, A., Gülerce, Ü., Özçimen, N., "Seismic zonation İn Istanbul: A casestudy" Geotechnical Earthquake Engineering and Microzonation Seminar, Istanbul, (2001).

3- Finn, W.,D., L. and Ventura, C., E., "Challenging issues in local microzonation", 5 th International Conference on Seismic Zonation, Nice, France, (1995).

4- Ansal, A., Springman, S., Studer, J., Demirba, E., Önalp, A., Erdik, M., Giardini, D., eetyan, K., Demirciolu, M., Akman, H., Fah, D., Christen, A., Laue, J., Buchheister, J., Çetin., Ö, Siyahi, B., Fahjan, Y., Gülkan, P., Bakır, S., Lestuzzi, P., Elmas, M., Köksal, D., Gökçe, O., "Adapazarı ve Gölcük için Mikrobölgeleme çalışmaları", 5. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, (2003).

5- Marcellini, A., Slejko, D., "State of the art of seismic hazard and microzonation in Italy", 10 th European Conference on Earthquake Engineering, Balkema, Rotterdam, (1995).

6- Ansal, A., Marcellini, A., "Variability of source and site factors in seismic factors in seismic microzonation, state-of-the-art report", Proc. Of 11th European Conference on Earthquake Engineering, Balkema, Rotterdam, (1998).

7- Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards, Technical Committee for Earthquake Geotechnical Engineering, TC4, ISSMFE, (1993).

8- World Institutefor Disaster Risk Management, Inc., 2004

9- Çavuş U. Ş., 2004. Deprem Sebebiyle Zeminlerin Sıvılaşma Potensiyelinin Bulanık Mantık Modellemesi (Fuzzy Logic Modelling) ile Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

10- Şişman, E., 2006. Fethiye Yerleşim Alanındaki Zeminlerin SPT ve Kayma Dalga Hızı Verileri ile Sıvılaşma Potansiyelinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

11- Kramer, S.L., 1996. Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice-Hall Civil Engineering and Engineering Mechanics.

12- Uyar, O., 2006. Kayma Dalga Hızı ve Basitleştirilmiş Prosedüre Bağlı Karşılaştırılmalı Olarak Sıvılaşma Direnç Değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

13- Mollamahmutoğlu, M. ve Babuçcu, F., 2006. Zeminlerde Sıvılaşma Analiz ve İyileştirme Yöntemleri, Gazi Kitabevi, Ankara.

14- Ishiara, K., 1985. Stability of Natural Deposits During Earthquakes, Proceedings of the Eleventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, l1, 321-376.

15- Seed, H. B. and Idriss, I. M., 1971. Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential, Journal of the Soil Mechanics and Foundation Div., ASCE, 97, 9, 1249- 1273.

16- Akkaş, Ü., 2006. Sıvılaşma Potansiyeli ve Etkilerinin Azaltılması, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

17- Dere, A., 2009. Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Sıvılaşma Analizi ve Adapazarı için Örnek Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

18- Yatman, Z. Ö., 2006. Sıvılaşma Sonucu Oluşan Zemin Yetersizliklerinin İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.

19- Sivrikaya, O. ve Toğrol, E., 2009. Arazi Deneyleri ve Geoteknik Tasarımda Kullanımları, Birsen Yayınevi, İstanbul.

20- Kılıç, R., 2009. Zemin ve Kaya Mekaniği Uygulama Notları.

21- Sağlam, M., 2008. Saruhanlı (Manisa) Belediyesi İmar Planına Esas Alanların Sıvılaşma Potansiyelinin İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

22- Şaylan, F. S., 2006. Erzincan Ovasının Kayma Dalga Hızına Bağlı Potansiyel Sıvılaşma Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

23- Tokat İli Erbaa İlçesi Merkezindeki 1135.54 Hektarlık Alanın Mikrobölgeleme Etüt Raporu, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2013

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı :SÖNMEZER Caner
Uyruğu :T.C.
Doğum tarihi ve yeri :17.09.1986 - Kırıkkale
Medeni hali :Evli
Telefon :0442 235 50 72
Faks :0442 235 50 71
e-mail :csonmezer@ilbank.gov.tr

Eğitim

Derece	**Eğitim Birimi**	**Mezuniyet tarihi**
Lisans	C.Ü. Jeoloji Mühendisliği	2010
Lise	Kırıkkale Anadolu Lisesi	2004

İş Deneyimi

Yıl	**Yer**	**Görev**
2010-2011	Pozitif Sondaj	Şantiye Şefi
2012-	İller Bankası A.Ş. Erzurum Böl. Müd.	Tek. Uzm. Yrd.

Yabancı Dil

İngilizce

İLBANK
TÜRKİYE'NİN YAPICI GÜCÜ