



**COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ TEMELLİ SIVILAŞMA
POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI: BAYBURT
ÖRNEĞİ**

Narin AYENGİN

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Dr. Öğr. Üyesi Fatih YILMAZ
2022
(Her Hakkı Saklıdır)**

T.C.
BAYBURT ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI

**COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ TEMELLİ SIVILAŞMA POTANSİYELİNİN
ARAŞTIRILMASI: BAYBURT ÖRNEĞİ**

(Investigation of the Liquefaction Potential Based on the Geographic Information System:
The Case of Bayburt)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Narin AYENGİN

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Fatih YILMAZ

Bayburt

Ocak, 2022

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Dr. Öğr. Üyesi Fatih YILMAZ danışmanlığında, 172004027 numaralı Narin AYENGİN tarafından hazırlanan “Coğrafi Bilgi Sistemi Temelli Sıvılaşma Potansiyelinin Araştırılması: Bayburt Örneği” konulu bu çalışma 19.01.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Erol ŞADOĞLU

İmza:

Jüri Üyesi : Dr. Öğr. Üyesi Hakan Alper KAMILOĞLU

İmza:

Jüri Üyesi : Dr. Öğr. Üyesi Fatih YILMAZ

İmza:

Bu tezin Bayburt Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

...../...../.....

Doç. Dr. Fatih GÜRBÜZ

Enstitü Müdürü

ETİK VE BİLDİRİM SAYFASI

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Coğrafi Bilgi Sistemi Temelli Sınıvlaşma Potansiyelinin Araştırılması: Bayburt Örneği” başlıklı çalışmanın tarafımdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını ve yararlandığım eserleri kaynakçada gösterdiğimi beyan ederim.

19/01/2022

Narin AYENGİN

TEŞEKKÜR

Araştırmamın hayata geçirilmesi sürecinde başta bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım, örnek aldığım, bana ve düşüncelerime inanan, samimiyetini her zaman hissettiren, yüksek lisans çalışmamda birçok aksama yaşamama rağmen çalışmamın tamamlanması için beni destekleyen ve teşvik eden saygı değer danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Fatih YILMAZ’a,

Önlerinde duran en genç örnek olmam dolayısıyla duyduğum sorumlulukla bu gibi çalışmalarda beni sabırlı, soğukkanlı ve yürekli olmaya iten sebeplerim, sevgili kardeşlerim Tuba AYENGİN, Buse AYENGİN ve Ecrin Şevval AYENGİN’e,

Teşekkürlerin az kalacağı, hayatım boyunca kazandırdıkları her şey için minnettar olduğum ve benim bu günlere gelmemde en büyük rolü oynayan her daim ilgilerini ve sevgilerini gördüğüm bu hayattaki en büyük şansım, haklarını asla ödeyemeyeceğim, ifade etmekte kelimelerin kifayetsiz kaldığı destekleri için sevgili annem Songül AYENGİN’e ve sevgili babam Şükrü AYENGİN’e,

Her konuda ve her zaman çizgisinden gitmeye çalıştığım ömrümce yüreğimden özlemini silemeyeceğim en büyük şansım, bitmeyen özlemim, çocukluğum sevgili babaannem rahmetli Hatice AYENGİN’e

En içten duygularıyla teşekkür ederim.

Narin AYENGİN

Ocak/2022

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ TEMELLİ SIVILAŞMA POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI: BAYBURT ÖRNEĞİ

Narin AYENGİN

Ocak 2022, 215 Sayfa

Bu çalışmada Bayburt ili, ilçeleri ve beldelerine ait zeminlerin $M_w=5.5$, $M_w=6.0$, $M_w=6.5$, $M_w=7.0$ ve $M_w=7.5$ deprem büyüklükleri için sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Sondaj loglarından elde edilen SPT değerleri kullanılarak sıvılaşma potansiyeli Prosivı programı aracılığıyla Seed ve Idriss (1971) yöntemi kullanılarak araştırılmıştır. Türkiye deprem haritaları dikkate alınarak en büyük yer ivmesi değeri (a_{max}) bölgesel olarak hesaplanmıştır. Çalışma sahasının sıvılaşma potansiyelini gösterir haritalar, yeraltı su seviyelerini gösterir haritalar ve zemin oturma durumunu gösterir haritalar Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yardımıyla oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Bayburt, sıvılaşma, SPT, CBS, deprem, sıvılaşma potansiyeli.

ABSTRACT

MASTER THESIS

INVESTIGATION OF THE LIQUEFACTION POTENTIAL BASED ON THE GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM: THE CASE OF BAYBURT

Narin AYENGİN

January 2022, 215 Pages

In this study, it was aimed to determine the liquefaction potential of the soils of Bayburt province, its districts and towns for earthquake magnitudes $M_w=5.5$, $M_w=6.0$, $M_w=6.5$, $M_w=7.0$ and $M_w=7.5$. Using the SPT values obtained from the drilling logs, the liquefaction potential was investigated using the Seed and Idriss (1971) method through the ProSivı program. Considering the earthquake maps of Turkey, the maximum ground acceleration value (a_{max}) was calculated regionally. The liquefaction potential maps, the groundwater level maps and the soil settlement maps of the study area were created with the help of Geographic Information System (GIS).

Keywords: Bayburt, liquefaction, SPT, GIS, earthquake, liquefaction potential.

İÇİNDEKİLER

ETİK VE BİLDİRİM SAYFASI.....	i
TEŞEKKÜR.....	ii
ÖZ.....	iii
ABSTRACT	iv
İÇİNDEKİLER	iv
TABLolar DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ	xviii

BİRİNCİ BÖLÜM

Giriş	1
Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	3
Literatür	4

İKİNCİ BÖLÜM

Kuramsal Temeller	29
Deprem	29
Deprem dalgaları.	31
Türkiye'nin depremselliği.	33
Sıvılaşma	35
Sıvılaşma türleri.	38
Sıvılaşma Asıllı Hasar Tipleri.	39
Kum kaynaması.....	39
Akma göçmesi.....	40
Yanal yayılma.	41
İstinat yapısı yenilmesi.....	42
Taşıma gücü kaybı.	43
Gömülü hafif yapıların yüzeylemesi.	44
Sıvılaşmaya Etki Eden Faktörler	45
Deprem şiddeti ve süresi.	45
Yeraltı su seviyesi.	45

Zemin tipi.....	46
Zeminin relatif sıkılığı.....	46
Tane boyu dağılımı.	47
Yerleştirme ve çökelme ortamı.	48
Drenaj koşulları.....	48
Çevre basınçları.....	48
Tane şekli.	49
Yaş ve çimentolanma.	49
Tarihsel ortam.	49
Bina yükleri.	49
Sıvılaşma Analizlerinde Kullanılan Laboratuvar ve Arazi Deneyleri	49
Sıvılaşma analizinde kullanılan laboratuvar deneyleri.....	50
Sıvılaşma analizinde kullanılan arazi deneyleri.	54
Sıvılaşma Potansiyeli Analiz Yöntemleri	68
Seed ve Idriss (1971).....	69
Sıvılaşma Öncesi Önlemler.....	72
Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS)	73
Coğrafi bilgi sistemleri bileşenleri.	74
Coğrafi bilgi sistemlerinin çalışma yöntemi.	75
Coğrafi bilgi sistemlerinin temel işlevleri.....	76
Coğrafi bilgi sistemlerinin kullanıldığı alanlar ve sağladığı kolaylıklar.....	78
Oturma Hesapları	78
Doygun zeminlerde oturma hesapları.	78
Kuru kumlarda oturma hesapları.....	80
Toplam Oturma Hesabı	81

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

Materyal ve Yöntem	82
Materyal	82
İnceleme alanının coğrafi konum ve özellikleri.....	82
Genel jeoloji.....	83
Stratigrafi.....	84
İklim ve bitki örtüsü.	92
Depremsellik.	94
Haritalar.....	97
Yöntem.....	97

Çalışmada kullanılan sınılaşma ve oturma hesabı analiz yazılımı.	97
Ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon yönteminin uygulanması (Inverse Distance Weighted- IDW).	100

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

Araştırma Bulguları ve Tartışma	102
Araştırma Bulguları.....	102
Bayburt demirözü ilçesi arazi çalışmaları.	102
Demirözü ilçesi gökçedere beldesi beldesi arazi çalışmaları.	121
Bayburt Aydıntepe ilçesi arazi çalışmaları.	129
Bayburt ili Arpalı Beldesi arazi çalışmaları.	140
Bayburt merkez ilçesi arazi çalışmaları.	145
Bayburt il merkezine ait genel sınılaşma analizi ve oturma hesabı.	193

BEŞİNCİ BÖLÜM

Sonuç ve Öneriler	197
Kaynakça	199
Ekler	199
Özgeçmiş	215

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Sivilaşma Olasılığı (PL) ve Sınıfları (Chen,& Juang, 2000).	7
Tablo 2. Rölatif Sıklılığa Göre Zemin Sınıflandırılması (Mollamahmutoğlu,&Babuçcu, 2006).	47
Tablo 3. Relatif Sıklılığa Bağlı Olarak Sivilaşma Potansiyeli (Mollamahmutoğlu, &Babuçcu, 2006).	47
Tablo 4. Almanya ve Amerikan ASTM Standartlarında Kullanılan Elek ve Açıklıkları (ASTM,1994).	52
Tablo 5. Deneyin Avantaj ve Dezavantajları.	58
Tablo 6. Bayburt İli Aylık Ölçüm Periyodu 1959-2019 Yıllarına Ait Ortalama Meteorolojik İstatistikleri (MGM, 2021).	94
Tablo 7. Bölgelere Ait Sondaj Kuyuları	104
Tablo 8. Çalışma Alanında 1. Bölgede Açılan Sondaj Noktalarının Koordinatları.	105
Tablo 9. Çalışma Alanında 2. Bölgede Açılan Sondaj Noktalarının Koordinatları.	105
Tablo 10. Çalışma Alanında 1. 2. ve 3. Bölgelerde Yapılan Sondajlarda Gözlenen Birimler	106
Tablo 11. İnceleme Alanında Yapılan Sondajlarındaki Yer Altı Su Seviyeleri	107
Tablo 12. Çalışma Alanında 2. Bölgede (Demirözü) Yapılan Sondajlardaki SPT Değerleri .	107
Tablo 13. Çalışma Alanında 1. Bölgede Yapılan Sondajlardaki SPT Değerleri	108
Tablo 14. Sondaj Kuyu Koordinatları	109
Tablo 15. İnceleme Alanına Ait Zemin Profili.	110
Tablo 16. Laboratuvar Deney Sonuç.	110
Tablo 17. Arazi Deney Sonuçlar.	110
Tablo 18. Çalışma Alanında Açılan Sondaj Noktalarının Koordinatları.	112
Tablo 19. Çalışma Alanında Yapılan Sondajlarda Gözlenen Birimler	112
Tablo 20. Spt Deney Sonuçları.	113
Tablo 21. Zeminlerin Mekanik Özellikleri.	114
Tablo 22. Zeminlerin İndeks-Fiziksel Özellikleri	114
Tablo 23. Labaratuvar Deney Verileri.	115
Tablo 24. Baraj Yeri Jeolojisi.	116
Tablo 25. Sondaj Kuyularına Ait Derinlik ve Formasyonlar	121

Tablo 26. <i>Gökçedere Sondaj Koordinatları ve Yeraltı Su Seviyesi.</i>	122
Tablo 27. <i>Sondaj Çalışmalarındaki Ait SPT Değerlerini Gösteren Tablo.</i>	123
Tablo 28. <i>Elek Analizi Deney Sonuçları.</i>	124
Tablo 29. <i>Sıvılaşma Hesabı Sondaj Girdi Verileri.</i>	124
Tablo 30. <i>İnceleme Alanı Sıvılaşma Analizi İçin Arazi ve Laboratuvar Deneyleri Girdi Verileri.</i>	124
Tablo 31. <i>İnceleme Alanında Büyüklüğü 5,5 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları.</i>	125
Tablo 32. <i>İnceleme Alanında Büyüklüğü 6 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları.</i>	125
Tablo 33. <i>İnceleme Alanında Büyüklüğü 6,5 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları.</i>	126
Tablo 34. <i>İnceleme Alanında Büyüklüğü 7 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları.</i>	126
Tablo 35. <i>İnceleme Alanında Büyüklüğü 7,5 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları.</i>	127
Tablo 36. <i>Gökçedere Sondaj Koordinatları ve Yeraltı Su Seviyesi.</i>	130
Tablo 37. <i>Sondaj Kuyularına Ait Derinlik ve Formasyonlar</i>	130
Tablo 38. <i>Labaratuvar Deney Verileri</i>	131
Tablo 39. <i>Aydıntepe Yaylası Sondaj Koordinatları ve Sondaj Verileri.</i>	132
Tablo 40. <i>Zemin Profili.</i>	133
Tablo 41. <i>Labaratuvar Deney Verileri.</i>	134
Tablo 42. <i>Sıvılaşma Hesabı Sondaj Girdi Verileri.</i>	135
Tablo 43. <i>İnceleme Alanı Sıvılaşma Analizi İçin Arazi ve Laboratuvar Deneyleri Girdi Verileri.</i>	135
Tablo 44. <i>İnceleme Alanında Büyüklüğü 6 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları.</i>	136
Tablo 45. <i>İnceleme Alanında Büyüklüğü 6,5 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları.</i>	137
Tablo 46. <i>İnceleme Alanında Büyüklüğü 7 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları.</i>	137
Tablo 47. <i>İnceleme Alanında Büyüklüğü 7,5 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları.</i>	138
Tablo 48. <i>Çalışma Alanında Açılan Jeoteknik Sondaj Noktalarının Koordinatları ile Alınan Numunelerin Dağılımı.</i>	141

Tablo 49. Çalışma Alanında Yapılan Sondajlarda Gözlenen Birimler	142
Tablo 50. Çalışma Alanında Yapılan Sondajlardaki SPT Değerleri.....	143
Tablo 51. Çalışma Alanı Zemin Numunelerine Ait İndeks Özelliklerinin Toplu Gösterimi...	144
Tablo 52. Polis Eğitim Merkezi Sondaj Koordinatları.....	146
Tablo 53. Polis Eğitim Merkezi Etütsahasında açılan temel sondaj kuyularına ait yeraltı suyu Rasatları.	147
Tablo 54. Zemin Profili.	148
Tablo 55. Zeminin Atterberg Limit Özellikleri.	149
Tablo 56. Zeminlerin İndeks Ve Fiziksel Özellikleri.	150
Tablo 57. Sıvılaşma Hesabı Sondaj Girdi Verileri.....	151
Tablo 58. İnceleme Alanı Sıvılaşma Analizi İçin Arazi Ve Laboratuvar Deneyleri Girdi Verileri.....	151
Tablo 59. İnceleme Alanında Büyüklüğü 5,5 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları.	152
Tablo 60. Tablo 13. İnceleme Alanında Büyüklüğü 6 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları.....	152
Tablo 61. İnceleme Alanında Büyüklüğü 6.5 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları	153
Tablo 62. İnceleme Alanında Büyüklüğü 7 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları.....	153
Tablo 63. İnceleme Alanında Büyüklüğü 7.5 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları.	154
Tablo 64. Küçük Sanayi Sitesi Sondaj Koordinatları.....	158
Tablo 65. Zemin Profili.	159
Tablo 66. Zeminlerin İndeks ve Fiziksel Özellikleri.	160
Tablo 67. Sıvılaşma Hesabı Sondaj Girdi Verileri.....	160
Tablo 68. Yüksek Öğrenim Kredi Yurtlar Kurumu 750 Kişilik Yurdun Sondaj Koordinatları.	162
Tablo 69. Zemin Profili.	163
Tablo 70. Zeminlerin İndeks ve Fiziksel Özellikleri.	164
Tablo 71. Zeminin Atterberg Limit Özellikleri.	164
Tablo 72. Zeminin Su İçeriği ve Birim Hacim Ağırlık Özellikleri.....	165
Tablo 73. Bayburt Belediyesi Kapalı Otopark Sondaj Koordinatları Ve Yeraltı Su Seviyeleri.	166
Tablo 74. Zemin Profili.	167

Tablo 75. Zeminin Elek Analiz Deney Sonuçları ve Atterberg Limit Özellikleri.	169
Tablo 76. Sıvılaşma Hesabı Sondaj Girdi Verileri.....	169
Tablo 77. İnceleme Alanı Sıvılaşma Analizi İçin Arazi Ve Laboratuvar Deneyleri Girdi Verileri.....	170
Tablo 78. İnceleme Alanında Büyüklüğü 5,5 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları.	170
Tablo 79. İnceleme Alanında Büyüklüğü 6 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları.....	170
Tablo 80. İnceleme Alanında Büyüklüğü 6,5 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları.	171
Tablo 81. İnceleme Alanında Büyüklüğü 7 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları.....	171
Tablo 82. İnceleme Alanında Büyüklüğü 7,5 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları.	171
Tablo 83. Zahit Mahallesi Küçükbüyük Mevkii 395 Ada 24 Parsel Sondaj Koordinatları Ve Yeraltı Su Seviyesi	174
Tablo 84. Zemin Profili.	174
Tablo 85. İnceleme Alanı Su Oranı ve Birim Hacim Ağırlığı Tayini	175
Tablo 86. İnceleme Alanı Elek Analizi Değerleri.....	176
Tablo 87. İnceleme Alanı Kıvam Limitleri.	176
Tablo 88. Sıvılaşma Hesabı Sondaj Girdi Verileri.....	176
Tablo 89. İnceleme Alanı Sıvılaşma Analizi İçin Arazi ve Laboratuvar Deneyleri Girdi Verileri.....	177
Tablo 90. İnceleme Alanında Büyüklüğü 5,5 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları.	177
Tablo 91. İnceleme Alanında Büyüklüğü 6 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları.....	177
Tablo 92. İnceleme Alanında Büyüklüğü 6,5 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları.	178
Tablo 93. İnceleme Alanında Büyüklüğü 7 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları.....	178
Tablo 94. İnceleme Alanında Büyüklüğü 7,5 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları.	178
Tablo 95. Kaleardı Mahallesi Yurt Binası Sondaj Koordinatları ve Yeraltı Su Seviyesi.	181
Tablo 96. Zemin Profili.	183

Tablo 97. <i>Su İçeriği ve Doğal Yoğunluk Deney Değerleri</i>	183
Tablo 98. <i>Labaratuvar Deney Verileri</i>	184
Tablo 99. <i>Sıvılaşma Hesabı Sondaj Girdi Verileri</i>	184
Tablo 100. <i>İnceleme Alanı Sıvılaşma Analizi İçin Arazi ve Laboratuvar Deneyleri Girdi Verileri</i>	184
Tablo 101. <i>İnceleme Alanında Büyüklüğü 5,5 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları</i>	185
Tablo 102. <i>İnceleme Alanında Büyüklüğü 6 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları</i>	185
Tablo 103. <i>İnceleme Alanında Büyüklüğü 6,5 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları</i>	185
Tablo 104. <i>İnceleme Alanında Büyüklüğü 7 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları</i>	186
Tablo 105. <i>İnceleme Alanında Büyüklüğü 7,5 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları</i>	186
Tablo 106. <i>Bayburt Stadı Batı Tribün Sondaj Koordinatları ve Yeraltı Su Seviyesi</i>	188
Tablo 107. <i>Zemin Profili</i>	189
Tablo 108. <i>Su İçeriği ve Doğal Yoğunluk Deney Değerleri</i>	190
Tablo 109. <i>Labaratuvar Deney Verileri</i>	190
Tablo 110. <i>Sıvılaşma Hesabı Sondaj Girdi Verileri</i>	191
Tablo 111. <i>İnceleme Alanı Sıvılaşma Analizi İçin Arazi ve Laboratuvar Deneyleri Girdi Verileri</i>	191
Tablo 112. <i>İnceleme Alanında Büyüklüğü 5,5- 6,0 - 6,5 -7,0 -7,5 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları</i>	192

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Son 70 yıl içinde ülkemizde meydana gelen doğal afetler neticesinde yıkılan yapıların tür bazında dağılımı (Karagöz, 2007)	2
Şekil 2. İnce taneli sedimanların sıvılaşma duyarlılığı kriterleri (Bray, & Sancio, 2006).....	13
Şekil 3. Odak noktası, dış merkez ve sismik deprem dalgalarının yayılışı (Onur, 2007).	30
Şekil 4. P dalgası yayılımı (Reynolds, 1997).	31
Şekil 5. S dalgası yayılımı (Reynolds, 1997).	32
Şekil 6. Rayleigh dalgası yayılımı (Ünüşok, 2007).	32
Şekil 7. Love dalgası yayılımı (Ünüşok, 2007).	33
Şekil 8. Depremin neden olduğu makaslama yer değiştirmesiyle zemin taneciklerinde sıvılaşma sürecinin gelişimi (Youd, 1984).	36
Şekil 9. Taneler arası etki kuvvetleri (Özsoy, 2012).	36
Şekil 10. Sıvılaşmanın fiziksel süreci (Mollamahmutoğlu, & Babuçcu, 2006).	37
Şekil 11. Gömülü alt yapı elemanlarında oluşan hasar (Ulusay, 2000).	38
Şekil 12. Kum kaynaması oluşma biçimi (Mollamahmutoğlu, & Babuçcu, 2006).	40
Şekil 13. Kum kaynaması 2000 yılı Tottori depremi(Mollamahmutoğlu, & Babuçcu, 2006).	40
Şekil 14. (a) Akma göçmeleri şematik gösterimi ve (b) San Francisco'daki Merced Gölü kenarında oluşan bir akma göçmesi (Mollamahmutoğlu, & Babuçcu, 2006).	41
Şekil 15. Yanal yayılma; (a) az eğimli zemin durumunda, (b) serbest zemin durumunda (Rauch, 1997).	41
Şekil 16. Haiti'de 2010 yılında deprem sonrasında meydana gelen yanıl deplasman (Desroces, Comerio, Eberhang, Mooney, & Rix, 2011).	42
Şekil 17. İstinat yapısı yenilmesi (Lai, 1998).	42
Şekil 18. Gömülü hafif yapılarda yükselmeye bağılı hasarlar (Sönmez, 2006).	44
Şekil 19. 2000 Tottori depreminde sıvılaşma sebebiyle muayene bacasında oluşan hasar (Mollamahmutoğlu, & Babuçcu, 2006).	45
Şekil 20. Zeminlerde sıvılaşabilir tane boyutu aralığı (Akkaş, 2006).	48
Şekil 21. Kohezyonlu zeminlerin kuruma esnasında kıvam sınırları ve hacim değişimi (Yılmaz, Yıldırım, & Keskin, 2014).	52
Şekil 22. Elek üzerinde kalan zemin tanelerinin tartılması.	54
Şekil 23. Arazi deneylerinin zemin sınıflarına uygulanabilirliği (Mayne, Christopher, &	

Dejong, 2014).	56
Şekil 24. Standart penetrasyon deney şeması (Coduto, 2000).	57
Şekil 25. Standart penetrasyon deneyinin aşamaları Seed, Idriss, & Arango,1983).	58
Şekil 26. Sempler ve çarık.	59
Şekil 27. Sondaj makinesinin önden görünüşü.	59
Şekil 28. Sondaj makinesinin Çakma borusu,başlığı ve kılavuz üzerine düşürülmesi.	60
Şekil 29. Çinko numune alma tüpleri.	61
Şekil 30. UD tüpü.	61
Şekil 31. SPT deneyi ve SPT kaşığının gösterim şeması (Çolak, 2007).	62
Şekil 32. Tijlerin işaretlenmesi ve çakma balığı üzerine şahmerdanın yerleştirilmesi.	62
Şekil 33. Numunelerin alınması.	63
Şekil 34. Numunelerin paketlenip, parafinlenerek etiketlenmesi.	63
Şekil 35. Numune kabı ve alınan zemin örneğinin alınması.	64
Şekil 36. Alınan zemin örneğinin kurutulması.	64
Şekil 37. Elek seti ve elek üstü numune.	65
Şekil 38. Derinlik- SPT sayısı arasındaki bağlantı ilişkisi(Uzuner, 2000).	65
Şekil 39. C_N 'in σ'_{IV} değerine göre değişimi(Uzuner, 2000).	67
Şekil 40. Gerilme azaltma katsayısının derinliğe göre değişimi(Unutmaz, 2008).	70
Şekil 41. $M=7,5$ için devirsel direnç oranı ve $(N_1)_{60}$ arasındaki ilişki (Youd, 2008).	71
Şekil 42 .Olası CBS tabakaları (Seven, 2008).	74
Şekil 43. Vektör veri tipleri(ESRI, 2010).	75
Şekil 44 .Coğrafi verilerin raster veri üzerinde görünüşü (ESRI, 2010).	76
Şekil 45. CBS genel işlevleri (Aksoy, 2011).	76
Şekil 46. CBS analiz yöntemleri (Aksoy, 2011).	77
Şekil 47. CSR ve düzeltilmiş SPT değerlerine göre hacimsel deformasyonlar.	79
Şekil 48. Sıvılaşma sonrası hacimsel değişim ile güvenlik katsayısı arasındaki ilişki (Ishihara & Yoshimine, 1992).	79
Şekil 49. Kesme deformasyon grafiği (Tokimatsu, & Seed, 1987).	80
Şekil 50. Hacimsel deformasyon grafiği (Tokimatsu, & Seed 1987).	80
Şekil 51. Manyetüd Düzeltme Faktörü (Civil Tech 2002).	81
Şekil 52. İnceleme alanı yer bulduru haritası.	82
Şekil 53. Doğu Pontidler'in başlıca tektonik ve litolojik birlikleri (Eyüboğlu, Bektaş, Seren, Nafiz, Jacoby, & Özer , 2006).	83
Şekil 54. Bayburt ili CBS temelli oluşturulan topoğrafya haritası.	84
Şekil 55. Çalışma alanından Kuzdağı Formasyonu görünümü (Aydın, 2019).	86

Şekil 56. Çalışma alanından Kapıkaya Formasyonu görünümü (Aydın, 2019).	87
Şekil 57. İnceleme alanı ve yakın çevresinin genelleştirilmiş dikme kesiti (Keskin, Korkmaz, Gedik, Ateş, Gök, Küçümen, & Erkal, 1990'dan değiştirilmiştir.).	92
Şekil 58. İnceleme alanı ve yakın çevresindeki etkin diri faylar (MTA, 2021).	95
Şekil 59. 1900-2021 yılları arasında ülkemizde meydana gelen büyüklüğü 4-7 arasında olan depremler (AFAD, 2021).	95
Şekil 60. Türkiye deprem tehlike haritası (AFAD, 2021).	96
Şekil 61. Bayburt merkezli 100 km yarı çaplı $10 < M > 5$ aralığında aletsel dönem için (1900-2021) günümüze kadar gelen depremler (AFAD, 2021).	96
Şekil 62. Prosıvı programı örnek deprem karakteristikleri sekmesi (Babuçcu, 2002).	98
Şekil 63. Prosıvı programı örnek analiz yöntemleri sekmesi (Babuçcu, 2002).	98
Şekil 64. Prosıvı programı örnek zemin profili tanımlama sekmesi (Babuçcu, 2002).	99
Şekil 65. Prosıvı programı örnek grafiksel sonuç ekranı (Babuçcu, 2002).	99
Şekil 66. Prosıvı programı örnek sonuç ekranı (Babuçcu, 2002).	100
Şekil 67. IDW yöntemi için 3 örnek nokta (Gisgeography, 2021).	101
Şekil 68. Örnek IDW yöntemi hesap sonucu 3 boyutlu gösterimi (Gisgeography, 2021).	101
Şekil 69. Çalışma alanı görüntüsü	103
Şekil 70. İnceleme Alanına Ait Uydu Görüntüsü	109
Şekil 71. Çalışma Alanı morfolojik görünümü	111
Şekil 72. İnceleme alanının görüntüsü.	117
Şekil 73. Sahada çeşitli derinliklerde ölçülen SPT vuruş sayıları.	118
Şekil 74. Derinliğe karşı düzeltilmiş SPT vuruş sayıları.	119
Şekil 75. Dane çapı dağılım eğrileri- sıvılaştan iki kum-çakıl zemin ve Demirözü alüvyonu.	119
Şekil 76. Çalışma Alanın Uydu Görünümü	121
Şekil 77. Gökçedere beldesine ait yeraltı su seviyesi haritası.	122
Şekil 78. Gökçedere beldesine ait büyüklüğü 5,5-6-6,5 olan deprem senaryosunun sıvılaşma potansiyeli haritası.	127
Şekil 79. Gökçedere beldesine ait büyüklüğü 7,0 olan deprem senaryosunun sıvılaşma potansiyeli haritası.	128
Şekil 80. Gökçedere beldesine ait büyüklüğü 7,5 olan deprem senaryosunun sıvılaşma potansiyeli haritası.	128
Şekil 81. Gökçedere beldesine ait büyüklüğü 5,5-6-6,5-7,0-7,5 olan deprem senaryosunun oturma potansiyeli haritası.	129
Şekil 82. İnceleme alanının uydu görüntüsü.	130
Şekil 83. İnceleme alanının uydu görüntüsü.	132

Şekil 84 .Aydıntepe göletine ait yeraltı su seviyesi haritası.	135
Şekil 85. Aydıntepe göletine ait büyüklüğü 5,5-6,0-6,5 olan deprem senaryosunun sıvılaşma potansiyeli haritası.	138
Şekil 86. Aydıntepe göletine ait büyüklüğü 7,5 olan deprem senaryosunun sıvılaşma potansiyeli haritası.....	139
Şekil 87. Aydıntepe göletine ait büyüklüğü 5,5-6-6,5-7,0-7,5 olan deprem senaryosunun oturma potansiyeli haritası.....	139
Şekil 88. Çalışma alanı ve yakın çevresinin uydu görüntüsü.	140
Şekil 89. İnceleme alanının uydu görüntüsü.	146
Şekil 90.Polis meslek eğitim merkezi sahasına ait yeraltı su seviyesi haritası.	147
Şekil 91. Polis meslek eğitim merkezi sahasına ait büyüklüğü 5,5 olan deprem senaryosunun sıvılaşma potansiyeli haritası.....	154
Şekil 92. Polis meslek eğitim merkezi sahasına ait büyüklüğü 6,0 olan deprem senaryosunun sıvılaşma potansiyeli haritası.....	155
Şekil 93. Polis meslek eğitim merkezi sahasına ait büyüklüğü 6,5 olan deprem senaryosunun sıvılaşma potansiyeli haritası.....	155
Şekil 94. Polis meslek eğitim merkezi sahasına ait büyüklüğü 7,0 olan deprem senaryosunun sıvılaşma potansiyeli haritası.....	156
Şekil 95. Polis meslek eğitim merkezi sahasına ait büyüklüğü 7,5 olan deprem senaryosunun sıvılaşma potansiyeli haritası.....	156
Şekil 96. Polis meslek eğitim merkezi sahasına ait büyüklüğü 5,5-6-6,5-7,0-7,5 olan deprem senaryosunun oturma potansiyeli haritası.....	157
Şekil 97. İnceleme alanının uydu görüntüsü.	158
Şekil 98.Çalışma alanı yeraltı su seviyesi haritası.	161
Şekil 99. İnceleme alanının uydu görüntüsü.	162
Şekil 100. İnceleme alanının uydu görüntüsü.	165
Şekil 101. Bayburt Belediyesi kapalı otoparka ait çalışma alanı yeraltı su seviyesi haritası.	167
Şekil 102. Bayburt Belediyesi kapalı otoparka ait büyüklüğü 5,5-6,0-6,5-7,0 olan deprem senaryosunun sıvılaşma potansiyeli haritası.	172
Şekil 103. Bayburt Belediyesi kapalı otoparka ait büyüklüğü 7,5 olan deprem senaryosunun sıvılaşma potansiyeli haritası.....	172
Şekil 104. Bayburt Belediyesi kapalı otoparka ait büyüklüğü 5,5-6-6,5-7,0-7,5 olan deprem senaryosunun oturma potansiyeli haritası.....	173
Şekil 105. İnceleme alanının uydu görüntüsü.	173
Şekil 106. Zahit mahallesi küçükbük mevkii 395 ada 19 parsel ait yeraltı su seviyesi haritası.	

.....	175
<i>Şekil 107.</i> Zahit mahallesi küçükbük mevkii 395 ada 19 parsel e ait büyüklüğü 5,5-6 olan deprem senaryosunun sınılaşma potansiyeli haritası.....	179
<i>Şekil 108.</i> Zahit mahallesi küçükbük mevkii 395 ada 19 parsel e ait büyüklüğü 6,5 olan deprem senaryosunun sınılaşma potansiyeli haritası.....	179
<i>Şekil 109.</i> Zahit mahallesi küçükbük mevkii 395 ada 19 parsel e ait büyüklüğü 7,5 olan deprem senaryosunun sınılaşma potansiyeli haritası.....	180
<i>Şekil 110.</i> Zahit mahallesi küçükbük mevkii 395 ada 19 parsel e ait büyüklüğü 5,5-6-6,5-7,0-7,5 olan deprem senaryosunun oturma potansiyeli haritası.....	180
<i>Şekil 111.</i> Kaleardı yurt binasına ait yeraltı su seviyesi haritası	182
<i>Şekil 112.</i> İnceleme alanının uydu görüntüsü.	182
<i>Şekil 113.</i> Kaleardı yurt binasına ait Büyüklüğü 5,5 -6-6,5-7 olan deprem senaryosunun sınılaşma potansiyeli haritası.....	186
<i>Şekil 114.</i> Kaleardı yurt binasına ait Büyüklüğü 7,5 olan deprem senaryosunun sınılaşma potansiyeli haritası.....	187
<i>Şekil 115.</i> Kaleardı yurt binasına ait Büyüklüğü 5,5-6-6,5-7,0-7,5 olan deprem senaryosunun oturma potansiyeli haritası.....	187
<i>Şekil 116.</i> İnceleme alanının uydu görüntüsü.	189
<i>Şekil 117.</i> Bayburt stadı batı tribününe ait Çalışma alanı yeraltı su seviyesi haritası	191
<i>Şekil 118.</i> Bayburt stadı batı tribününe ait Büyüklüğü 5,5-6,0-6,5-7,5 olan deprem senaryosunun sınılaşma potansiyeli haritası.....	192
<i>Şekil 119.</i> Bayburt stadı batı tribününe ait Büyüklüğü 5,5-6-6,5-7,0-7,5 olan deprem senaryosunun oturma potansiyeli haritası.....	193
<i>Şekil 120.</i> Bayburt il merkezine ait büyüklüğü 5,5 olan deprem senaryosunun sınılaşma potansiyeli haritası.....	194
<i>Şekil 121.</i> Bayburt il merkezine ait büyüklüğü 6 olan deprem senaryosunun sınılaşma potansiyeli haritası.....	194
<i>Şekil 122.</i> Bayburt il merkezine ait büyüklüğü 6,5 olan deprem senaryosunun sınılaşma potansiyeli haritası.....	195
<i>Şekil 123.</i> Bayburt il merkezine ait büyüklüğü 7,0 olan deprem senaryosunun sınılaşma potansiyeli haritası.....	195
<i>Şekil 124.</i> Bayburt il merkezine ait büyüklüğü 7,5 olan deprem senaryosunun sınılaşma potansiyeli haritası.....	196
<i>Şekil 125.</i> Bayburt il merkezine ait büyüklüğü 5,5-6,0-6,5-7,0-7,5 olan deprem senaryolarına ait oturma analiz haritası.....	196

KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

Simgeler

$(N_1)_{60tk}$: %60 enerji oranı, örtü gerilmesi ve ince tane oranına göre düzeltilmesi yapılmış SPT-N değeri

a : Devirsel direnç oranının hesabında kullanılan katsayı

a_{max} : Maksimum yatay yeryüzü ivmesi

C_B : Kuyu çapı düzeltme katsayısı

C_E : Enerji oranı düzeltme katsayısı

C_N : Efektif düşey basınç düzeltme katsayısı

C_r : Devirsel direnç oranını hesabında kullanılan katsayı

C_R : Tij uzunluğu düzeltme katsayısı

C_s : Devirsel direnç oranını hesabında kullanılan katsayı

C_s : Numune alma metodu katsayısı

$C_{\&c}$: Düzeltme faktörü

D_{50} : %50'den geçen (ortalama) dane çapı

D_r : Rölatif sıkılık

e_0 : Zeminin en tabii boşluk oranı

e_{maks} : Zeminin en gevşek durumundaki boşluk oranı

e_{min} : Zeminin en sıkı durumundaki boşluk oranı

E_R : Enerji iletim oranı

E_x : Kullanmak istenen enerji oranı

E_y : Örnek alıcıya iletilen ortalama enerji oranı

g : Yer çekimi ivmesi

LI : Likidite indeksi

LL : Likit limit

M_s	: Yüzey dalgası büyüklüğü
M_w	: Deprem magnitüdü
n	: Devirsel direnç oranının hesabında kullanılan katsayı
N	: Ölçülen SPT darbe sayısı
N_1	: Efektif düşey basınca göre düzeltilmiş SPT-N değeri
N_{60}	: %60 enerji oranı ve örtü gerilmesi düzeltilmesi yapılmış SPT-N değeri
N_x	: Kullanmak istenen enerji oranına göre düzeltilmiş SPT-N sayısı
N_y	: Arazide kaydedilen SPT- N sayısı
P_a	: Yaklaşık 100 kPa değerindeki referans gerilmesi
PL	: Plastik limit
P_L	: Sıvılaşma indeks sayısı
$q_{c1N,cs}$	: İnce dane oranına göre düzeltme
Qal	: Alüvyon
r_d	: Gerilme azaltma katsayısı
R_e	: Deprem odağına olan uzaklık (km)
r_n	: Deprem büyüklüğü düzeltme katsayısı
S_A	: Maksimum yatay yeryüzü ivmesi hesabı için zemin katsayısı
S_B	: Maksimum yatay yeryüzü ivmesi hesabı için zemin katsayısı
S_{doygun}	: Suyu doygun zemindeki oturma
$SPT-N$	: Ölçülen SPT vuruş sayısı
U_d	: Dinamik boşluk suyu basıncı
V_p	: Birincil kayma dalgası hızı
V_s	: İkincil kayma dalgası hızı
z	: Derinlik
α	: İnce tane oranı düzeltme hesabında kullanılan katsayı
β	: İnce tane oranı düzeltme hesabında kullanılan katsayı
γ	: Doğal birim hacim ağırlık

γ_s	: Tane birim hacim ağırlığı
γ_w	: Suyun birim hacim ağırlığı
ΔN_f	: İnce tane oranı düzeltme değişkeni
E_v	: Hacimsel deformasyon
σ'_{vo}	: Düşey efektif gerilme
σ_{vo}	: Düşey toplam gerilme
ω	: Su muhtevası

Kısaltmalar

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
ASTM	: Amerikan Standartlar Enstitüsü
BAF	: Batı anadolu fay hattı
BS	: İngiliz Standartlar Enstitüsü
CBS	: Coğrafi bilgi sistemleri
CH	: Yüksek plastisiteli silt
CHT	: Kuyudan-kuyuya deneyleri
CL	: Düşük plastisiteli kil
CPT	: Konik penetrasyon deneyi
CRR	: Devirsel direnç oranı
CRR_{7,5}	: 7,5 şiddetindeki deprem için devirsel direnç oranı
CSR	: Devirsel gerilme oranı
DAF	: Doğu anadolu fay hattı
DDO	: Devirsel direnç oranı
DGO	: Devirsel gerilme oranı
DHT	: Kuyu-aşağı deneyleri
DIN	: Alman Standartlar Enstitüsü
DMT	: Düz dilotometre deneyi

DPT	: Dinamik penetrasyon testi
DSI	: Sıvılaşma hasar şiddeti
DSİ	: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
EF	: Emniyet faktörü
EF	: Emniyet faktörü
ESRI	: Çevre Sistemleri Araştırma Enstitüsü
F_s	: Birim hacim deformasyonu güvenlik katsayısı
GM	: Siltli çakıl
GM	: İyi derecelenmiş siltli çakıl
GS	: Güvenlik sayısı
GW	: İyi derecelenmiş çakıl
İTO	: İnce tane oranı
KAF	: Kuzey anadolu fay hattı
KKD	: Kuzey kutup dairesi
LPI	:Sıvılaşma potansiyel indeksi
LPT	: Büyük penetrasyon deneyi
LSI	: Sıvılaşma şiddeti indeksi
MASW	: Derinlik kayma dalgası hızı
MDF	: Magnitüd düzeltme değişkeni
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MH	: Yüksek plastisiteli silt
ML	: Düşük plastisiteli silt
MPT	: Menard presiyometre deneyi
MSF	: Magnitüd düzeltme faktörü
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
NCEER	: Ulusal Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (National Center for Earthquake Engineering Research)

PGA	: En büyük yer ivmesi
PMT	: Presiyometre deneyi
SAWS	: Yüzey dalgaları spektral analizi
SC	: Killi kum
SK	: Sondaj Kuyusu
SK	: Sondaj Kuyusu
SM	: Siltli kum
SP	: Kötü derecelenmiş kum
SPT	: Standart penetrasyon deneyi
SR	: Sismik kırılma
SW	: İyi derecelenmiş kum
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
ÜJHk	: Hamurkesen formasyonu
VST	: Kanatlı kesme deneyi
YASS	: Yer altı su seviyesi
Yy	:Yüzyıl

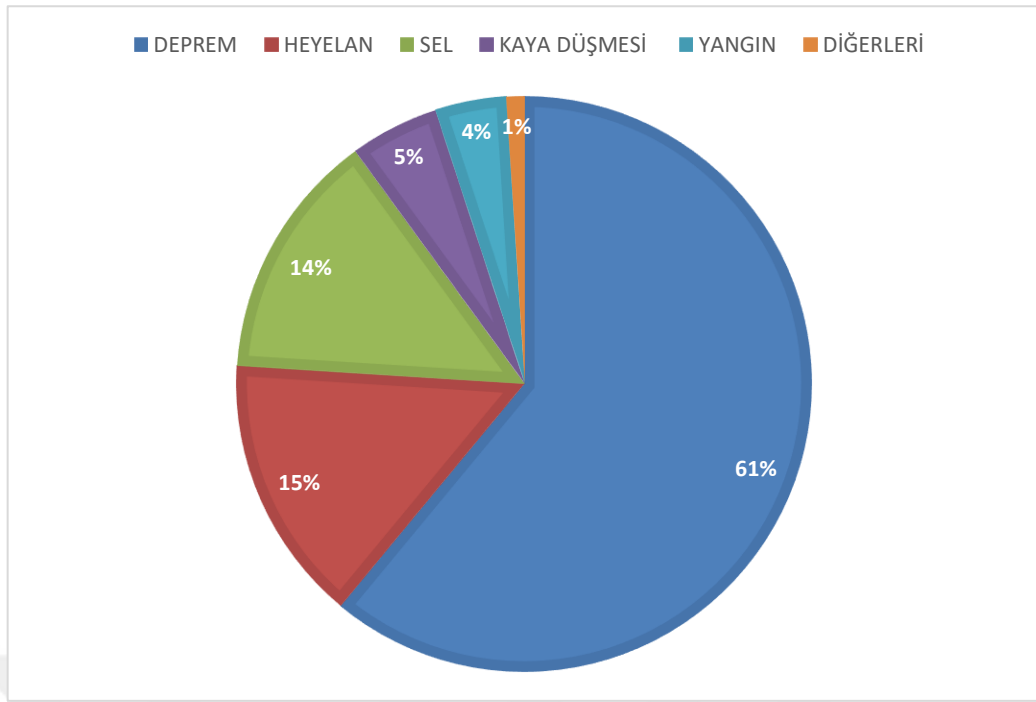
BİRİNCİ BÖLÜM

Giriş

Dünya nüfusunun sürekli artması ve ilerleyen teknolojik gelişmelere dayanarak insanların yaşam kalitesi gün geçtikçe farklılıklar göstermekte ve yeni arayışlar ortaya çıkmaktadır. Bu değişim sonucunda insanoğlu barınma amaçlı basit yapıların yanı sıra eğitim, sağlık, kültür, spor, işyeri, otel gibi nitelikli binalara ihtiyaç duymuşlardır. Gelişen ve büyüyen şehirlerin gereksinimlerini karşılayacak alt yapı sistemleri, ulaşım yolları, enerji hatları, su hatları ve depolama sistemleri gereksinim duyulan diğer mühendislik yapılarındandır. Yapıların geçmişten günümüze kadar yapılmış çalışmalar ışığında emniyetli, ekonomik ve estetik olarak projelerini tasarlamak ve uygulamasını yapmak mühendisliğin esas görevini teşkil etmektedir. Deprem, yağmur, sel, fırtına, yangın gibi önceden sezilebilen veya bir şekilde kendisinden kaçabildiğimiz doğal afetlerden değildir.

Geçmişten günümüze insanoğlu doğal afetler nedeniyle kayıplar yaşamış, maddi zararlara maruz kalmıştır. Engellenemez olması, ilaveten etkilediği kesimdeki yapıları çok kısa zamanda genellikle yıkım derecesine varacak şekilde zarar vererek; insan yaşamını tehdit etmesi sebebiyle, depremler en yıkıcı doğal afet türüdür. Türkiye en aktif deprem kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya deprem kuşağı üzerinde bulunmaktadır. Bu kuşakta deprem potansiyeli oldukça yüksek fay hatları bulunmaktadır. Bu kuşağın Türkiye sınırları içerisindeki fay hatları; Doğu Anadolu Fay Hattı, Batı Anadolu Fay Hattı ve Kuzey Anadolu Fay Hattıdır. KAF hattı, Saroz Körfezi'nden başlayıp Marmara Denizi, Sapanca Gölü, Adapazarı, Tosya ve Erzincan üzerinden Van Gölü kuzeyine kadar uzanır. Uzunluğu 1400-1500 km arasında olan bu fay birçok farklı faydan meydana gelen fay zonudur. Bu fay zonu üzerinde ezilmiş kayalara, genç volkan konilerine ve sıcak su kaynaklarına rastlanır.

Türkiye sismik olarak aktif bir bölgedir. Depremlerin sebep olduğu dinamik yük kaynaklı gerilimler, sığ derinliklerde yer alan taşıma gücü düşük zeminlerde, yıkıcı zemin davranışlarının gelişmesine neden olur. Türkiye'nin yüz ölçümünün yaklaşık %93'ü deprem bölgesi içinde, %42'si 1. derece deprem bölgesi içinde yer almaktadır. Bu bilgiler Türkiye'de deprem tehlikesinin ne derece büyük olduğunu göstermektedir.



Şekil 1. Son 70 yıl içinde ülkemizde meydana gelen doğal afetler neticesinde yıkılan yapıların tür bazında dağılımı (Karagöz, 2007, s.34).

Ülkemizde yaşanan büyük depremleri sıralayacak olursak; büyük yıkıcı hasarlara neden olmuş Erzincan, Elazığ, İzmir, Van ve Marmara depremleri anımsanacaktır. Bu ve benzeri birçok depremde, depreme dayanıksız binaların yıkılmasının yanı sıra, depremin tetiklemesiyle başlayan zemin sıvılaşması sonucu yapıların çerçeve sistemlerinde büyük hasarlar oluşmaksızın devrilmelerin, yan yatma ve batma gibi olayların meydana geldiği görülmüştür. Oluşan hasarın derecesi sismik etkinin, üst yapının ve zeminin mühendislik niteliklerine bağlı olarak değişmektedir. Dünyadaki taşıma gücü düşük zeminler üzerine birçok şehir inşa edilmiştir. Deprem kökenli afet risklerinden biri olan sıvılaşma, granüller zeminlerin deprem tesiriyle boşluk suyu basıncının artması ve azalan efektif gerilmeler zeminin katı halden sıvı benzeri davranış gösteren durum alması olarak tarif edilebilir. Depremlerde arazi zemin tabakalarında sıvılaşma olayının oluşması, üzerindeki ve gömülü yapılarda ciddi hasara yol açabilmektedir. Bu nedenle geoteknik zeminlerde sıvılaşmanın ortaya çıkmasına neden olan değişkenlerin, sıvılaşma tehlikesinin belirlenebilmesi olası yıkıcı etkilerin önemli araştırma konuları arasında bulunmaktadır. Sıvılaşma deprem sırasında dinamik hareketler sonucunda oluşmaktadır. Bu yüzden zeminlerin sıvılaşma potansiyellerini belirlemek ve sonrasında meydana gelecek oturmaları tahmin etmek Geoteknik mühendisliği için önemli bir araştırma konusudur. Sıvılaşma sırasında ve sonrasında zemin taşıma güçlerinin yitilmesiyle zeminde oturmalar biçiminde çeşitli yer değiştirmeleri gözlemlenebilir, bu deformasyonlar zemin üzerinde bulunan yapıya aksederek yapının zemin içersine batmasına neden olur.

Yeraltı ve yerüstü mühendislik yapılarının dinamik davranış incelemelerinde önemli hususlardan biri, zeminin sürekli yükler etkisinde gerilme-birim şekil değiştirme ve mukavemet davranışının oluşturulmasıdır. Elde edilecek model, zeminin sürekli yükler etkisinde davranışını, daha önce belirlenen birim kayma genliği aralıklarında mümkün mertebe gerçeğe yakın tekrarlamalıdır. Depremler sonrasında oluşan yapısal hasarın bir bölümü bazı durumlarda ise tamamı, zemin tabakalarının sürekli yüklemeler altında gösterdikleri davranışa bağlıdır. Düşük genlikli titreşimlerin oluşturduğu, dalga yayılımı gibi yüklemelerde zemin tabakaları tamamen elastik bir davranış gösterirken, deprem ve patlamalar gibi büyük genlikli tekrarlı yükleme durumlarında, tanelerin temas yüzeylerinde oluşan kaymalardan kaynaklanan elasto-plastik ve plastik şekil değiştirmeler söz konusudur.

Proje sahasında yapılan zemin çalışmaları sonrasında zemin profilinin iyi yorumlanması, yapılardaki sabit yüklerden kaynaklı oluşabilecek deformasyonların önceden tespitini sağlar ve engellenmesine ışık tutar. Ayrıca deprem tesirindeki binalar için ön görülen minimum performans hedeflerine ulaşabilmek için realist ve ekonomik tasarımlar yapmamıza projelerin uygulanacağı zeminleri detaylı olarak incelenmesine yardımcı olur. Mühendislik yapılarının tasarımı; kullanım amacı, bulunduğu yerin iklim koşulları, tarihsel kimliği, kültürel ve estetik kaygılar gibi birçok parametreye bağlıdır. Tasarımın en önemli bileşenlerinden biri ise, yapı temelini taşıyan zeminin mühendislik özelliklerinin belirlenmesidir.

Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Bu çalışmada Bayburt ili, ilçe ve beldelerinin deprem kökenli zemin sıvılaşmasına bağlı tehlike haritalarının oluşturulması ve olası zemin oturma değerlerinin hesaplanması amaçlanmıştır.

Bayburt ili, ilçe ve beldeleri genelinde yapılan zemin etütlerinde gerek özel firmalar gerekse kamu kurumları tarafından temin edilecek sondaj ve laboratuvar sonuçları ile veri tabanı oluşturulmuştur. Temin edilen raporlara ait laboratuvar sonuçları araştırma sondajı ve SPT testi değerleri kullanılacaktır. SPT deney verileri ile alınan örneklerdeki tane boyu dağılım analizleri, Atterberg Limitleri ve birim hacim ağırlık deneyleri mevcuttur.

Elde edilen deney sonuçları PROSıvı (Babuçcu, 2002) analiz programında girdi değer olarak kullanılıp, Seed ve Idriss (1971)'in geliştirdiği metot ile sıvılaşma güvenlik parametreleri elde edilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen güvenlik katsayıları ArcGIS 10.7 programına aktararak deprem sırasında meydana gelebilecek deprem kaynaklı zemin sıvılaşmasına bağlı tehlike haritalarının oluşturulmuştur. Muhtemel zemin oturma değerlerinin hesaplanması

amaçlanmış olup mühendislik yapılarının tasarımına dayanak teşkil edecek ön değerlendirme haritaları oluşturulacaktır.

Literatür

Bu kısımda, önceki yıllarda yapılmış olan tez ile benzer konuların değinildiği akademik çalışmalar üzerine bilgi verilmiştir.

Sıvılaşma 1918 yılında ilk olarak California Caleveras barajında meydana gelen göçmelerin detaylı incelenmesi sonucunda Allen Hazen tarafından zeminlere uygulanan yük esnasında oluşan boşluk suyu basıncı nedeniyle meydana gelen ani düşüş ile oluşan zemin davranışı olarak açıklanmıştır.

Bilimsel kaynaklardaki ilk ayrıntılı sıvılaşma kavramının tanımını Karl Terzaghi 1925 yılında yapmıştır. Suyu doymun zeminin çökmesi esnasında zemini oluşturan katı kütlelerin ağırlığının, zemini kuşatan suya iletilmesi durumunda meydana gelmektedir. Zeminde herhangi bir derinlikte bu durum sonucunda hareketsiz haldeki su basıncı artarak büyüklüğü suya batmış haldeki zeminin birim hacim ağırlığına yaklaşır biçiminde açıklanmıştır.

1936 yılında Arthur Casagrande tarafından yapılan çalışmalarda kum çökellerinin kritik denge boşluk oranının boşluk oranından düşük olduğuna, kesme gerilmeleri tesiri altında kaldığı durumlarda hacimsel olarak küçülmesine rastlanılmıştır. Zamanla zemin dayanımının yok olup zeminin sıvı gibi davranacağı tespit edilmiştir. Tahmini efektif gerilmenin artacağı, diğer taraftan kritik denge boşluk düzeyinde daha az boşluklu duruma geçmesi, bununla birlikte kumların gerilmeleri altında hacimsel genişleme ile boşluk suyu basıncının azalacağı belirtilmiştir.

Mogomi ve Kuba (1953) tarafından sıvılaşma [Liquefaction] kavramı, kohezyonsuz zeminlerde düzenli olmayan, drenajsız ve tekrarlı yükler altında gerçekleşen deformasyonları açıklamak için kullanılmıştır.

1964 yılında Japonya'da meydana gelen [$M_s=7,5$] Niigata ve Büyük Alaska [ABD $M_w=9,2$] depremlerinden sonra sıvılaşma kavramına yoğunlaşılmıştır. Bu iki şiddetli deprem tüm mühendislik yapılarına zarar vermiş ve sıvılaşma kavramını detaylı incelenmesine neden olmuştur. Bilhassa binaların yana doğru yatması, toprak kaymaları istinat duvarlarının devrilmesi, yollarda meydana gelen yarılmalar, diğer ulaşım ağlarındaki gözle görülür deformasyonlar, alt yapı elemanlarının bozulması gibi yıkıcı tesirlerinin, araştırmacıların sıvılaşma kavramını dikkate alarak incelemesine neden olmuştur. Profesör H.B.Seed ile öğrencileri deprem yükleme koşullarını modellemek için dengeli ve dengeli olmayan

konsolidasyon drenajsız üç eksenli basınç deneylerini kullanarak bu problem ile ilgilenmeye başlamışlardır.

Seed ve İdriss 1971 yılında depreme tesirinde kalan kumların sıvılaşmasını etkileyen önemli değişkenleri açıklamışlar ve potansiyel sıvılaşma risk analizlerini ortaya koymuşlardır. SPT deneyi sonucunda elde ettiklerini bilgilerle sıvılaşma hesaplarını mümkün kılan çalışmalar ortaya çıkarmışlardır.

Castro, 1975 yılında sıvılaşma kavramını daha evvelden açıkladığı haliyle doymuş kumlardaki klasik sıvılaşma ve dinamik deneyler esasında meydana gelen hareketlilik ikiye ayırmıştır. Boşluk suyu basıncı doymuş gevşek kumlarda dinamik yükleme sırasında aniden arttığı, çevresel hareketliliğin ise dinamik yük altındaki sıkı kumlarda pozitif boşluk suyu basıncının gelişmesine tanelerin yer değiştirmesine ve hacmin azalmasına sebep olduğunu belirtmiştir. Castro, sıvılaşma kavramını doymuş kumlardaki dinamik deney ve klasik sıvılaşma esnasında çevrimsel hareketlilik ile ikiye ayırmış, gevşek ve sıkı kumlardaki boşluk suyu ve tanelerin yer değiştirmesini, hacim değişimlerini incelemiştir.

Seed (1976), çalışmalarında relatif sıklık faktörünün sıvılaşma analizindeki etkisini incelemek amacıyla deneyler yapmışlardır. Deprem sırasında ve deprem olduktan sonra boşluk suyu basıncının niteliklerini yorumlamak ve sonrasında ise kumlu zeminlerde oluşacak muhtemel yayılmaları çözümlemişlerdir. Yapılan analizler sonucunda deprem sonrasında kum tabakalarında hidrostatik basınç etkisinin uzun zaman devam edeceği belirlenmiştir. Kumlu tabakalarının drenaj koşullarının iyileştirilip artırılması zeminin dengelenmesinde etkili bir yöntemdir.

Youd ve Perkins (1978), zemin yenilmelerine karşı sıvılaşma kaynaklı duyarlılık haritaları hazırlamışlardır. Bölgesel haritaların oluşturulmasında zeminin jeolojik, jeoteknik, depremsellik, topoğrafik niteliklerini içeren geçmişinin önemli olduğunu belirtmişlerdir.

Castro, Enos, France ve Poulos (1982), deprem etkisindeki zeminlerin gözenek suyu basıncının artmasıyla makaslama direncinin aniden düşmesini çalışmalarında zemin sıvılaşması olarak adlandırmışlardır. Statik yüklemeden dolayı depremden önce var olan makaslama gerilmelerinden kaynaklı deprem sırasındaki zeminlerin davranış tiplerinin sınıflandırılması önerilmiştir. Gözenek suyu basıncındaki artışı araştırmacılar zeminin sıkışmaya yönelik eğiliminden kaynaklandığını açıklamışlardır.

Tokimatsu ve Yoshima, 1983 yılında yaptığı çalışmalarda SPT darbe sayısı ve ince tane oranına bağlı olarak sıvılaşma bağıntısı vermişlerdir. Çalışmada benzer SPT darbe sayısına sahip %10'dan fazla ince tane içeren kumların, temiz kumlara kıyasla sıvılaşmaya karşı daha

fazla mukavemete sahip referans gerilmeye göre darbe sayıları 25'ten yüksek olan kumlarda, 20'den büyük olan %10'dan fazla ince tane içerikli siltli kumlarda ve %20 kil içerikli kumlu siltlerde geniş kapsamlı hasar ortaya çıkmayacağı sonucuna varılmıştır. Ayrıca aynı SPT darbe sayısına sahip çakıllı kumların, temiz kumlara kıyasla sıvılaşmaya karşı daha az dirençli olduğu belirtilmiştir.

Youd ve Wieczorek (1984), ABD'nin Kaliforniya eyaletine bağlı bir köy olan Westmorland'da 1981 yılında meydana gelen deprem sonrasında 150 km²'lik bir bölgede sıvılaşmanın etkilerini gözlemlemişlerdir. Zemin hareketinin yoğunluğu ve sıvılaşma potansiyelinin etkisi sismik odak noktasına yaklaştıkça artmaktadır.

Iwasaki (1984), moment büyüklüğü ve odak uzaklığı açısından sıvılaşan alanlarla alakalı tahminlerde bulunarak daha önce yapılan çalışmalar üzerinde değerlendirmeler yapmışlardır. Daha önceden meydana gelen depremlerin etki ettiği sıvılaşma bölgelerinin tekrar oluşabilecek depremler sonucu sıvılaşmaya maruz kalabileceğini belirtmiştir.

Erken, Yıldırım, Savar, Kılıç ve Ansal (1985), çalışmalarında 6.8 büyüklüğündeki Erzincan depremi sonrası Ekşi su bölgesindeki suya doymuş siltli, killi zeminlerin sıvılaştığı tespit edilmiş, inceleme alanında SPT, CPT deneyleri sonucunda potansiyel sıvılaşma analizleri için araştırmalar yapıp çalışma alanının jeoteknik özellikleri araştırılmıştır. Yapılan sondaj sonuçları bölge zeminini, gevşek siltli kum tabakaları ile yumuşak siltli, killi ve organik zeminlerden oluştuğu tespit edilmiştir.

Ishihara (1985), kaba ve ince taneli zeminlerde sismik hareketlerin sebep olduğu döngüsel gerilmeleri ve sıvılaşma analizi üzerinde çalışmıştır. Araştırmacılar sıvılaşma direncinin relatif yoğunluk arttıkça artacağını belirtmiştir.

Seed, Tokimatsu, Harder ve Chang (1985), sıvılaşma analizlerinde girdi veri olarak kullanılan SPT deneyinin parametresinin belirlenmesinde etkin rol oynadığı gözlemlenmiştir.

Kayen, vd. (1992), çalışmalarında kayma dalga hızlarını sismik penetrasyon testiyle belirlemişlerdir. Kayma dalga hızlarını efektif düşey gerilmeye göre düzenlemişlerdir. 1989 yılında $M_w=7.0$ büyüklüğündeki Loma Prieta diğer adıyla 89 Sarsıntısı depreminde farklı bölgelerden elde edilen verileri inceleyip analiz etmişlerdir.

Ishihara (1993), ince malzemenin uç direnci ve miktarındaki artış arasındaki bağlantıyı açıklamış ve tablo oluşturmuştur. Bu bağlamda, %5'ten fazla ince tane oranına sahip siltli kumlarda, benzer miktarda temiz kumun uç direncini belirlemek için tabloda gösterilen uç direnç artışlarını önceden ölçülen uç dirence ekleyerek ince taneli malzeme etkisinin ölçülebildiğini göstermiştir. Plastik olmayan siltlerin arazide ve laboratuvarında yapılan deneyler

sonucu sıvılaştığı gözlenmiştir. Bunun yanı sıra, sıvılaşma duyarlılığını etkilemede tane boyutundan çok plastisiteninde önemli olduğu gözlenmiştir. Kohezyonsuz, plastik olmayan iri silt parçacıklarının tümüyle sıvılaşmaya duyarlı olduğunu yaptığı çalışmada ifade etmiştir.

Robertson ve Wride (1998), çalışmalarında kumlu ve benzeri yapıların sıvılaşma açısından risk teşkil ettiğini vurgulayarak sıvılaşma potansiyeninin tanımlarını gözden geçirmişlerdir. Elde ettikleri bu verileri CPT deneyini kullanarak değerlendirmelerde bulunmuşlardır. İnce tane oranı ve plastisite gibi özelliklerde düzeltmelerin hem SPT hem CPT için kullanılabilirliğini öne sürmüşlerdir.

Ulusay ve Tosun (1999), 27 Haziran 1998 tarihinde Adana’da meydana gelen 6.2 deprem büyüklüğündeki depremde zemin ve kaya düşmelerinin sıvılaşma kaynaklı olduğunu belirtmişlerdir. Deprem bölgesinde açılan 6 adet sondaj logunda elde edilen sonuçlara dayanarak zemindeki kum katmanlarının çoğunda güvenlik katsayısının 1’ den daha düşük olduğu ve sıvılaşmaya karşı yüksek oranda duyarlı olduğu belirlenmiştir.

Chen ve Juang (2000), çalışmalarında sıvılaşma potansiyeli için yapılan araştırmalarda verileri oluşturan deprem ve zemin indekslerinde mevcut olan bazı değişkenliklerin sıvılaşma için olasılığa dayalı bir yorumlama yapılmasındaki önemini vurgulamışlardır. Araştırmacılar çalışmalarında sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı ile ilişkili P_L (sıvılaşma olasılığı) kavramını önermişlerdir. Sıvılaşmanın sayısal değerlendirmesini deterministik yöntemlerini özetleyerek zeminlerin olasılıksal sıvılaşabilirliğini sınıflandırmışlardır.

Tablo 1. *Sıvılaşma Olasılığı (P_L) ve sınıfları (Chen & Juang, 2000, s.25).*

Sıvılaşma Olasılığı (P_L)	Tanımlama	Sıvılaşmaya Karşı Güvenlik Katsayısı (F_L)
$0.85 \leq P_L < 1$	Sıvılaşma olasılığı kesin	$0.653 \geq F_L < 0.00$
$0.65 \leq P_L < 0.85$	Sıvılaşma olasılığı çok	$0.837 \geq F_L < 0.653$
$0.35 \leq P_L < 0.65$	Sıvılaşma=sıvılaşmama	$1.102 \geq F_L < 0.837$
$0.15 \leq P_L < 0.35$	Sıvılaşma olası değil	$1.411 \geq F_L < 1.102$
$0.00 \leq P_L < 0.15$	Sıvılaşmama olasılığı kesin	$\infty \geq F_L < 1.411$

Aydan, Ulusay ve Kumsar (2000), çalışmalarında 1992 Erzincan depremine kadar meydana gelen depremlerde sıvılaşma meydana geldiğini ancak Erzincan depreminde öneminin anlaşıldığına vurgu yapmışlardır. Türkiye’de 1998’e kadar oluşan depremlerde sıvılaşma eğilimli olan alanlarda tanımlanıp sıvılaşma etkisinde kalan zeminlerin jeolojik, jeoteknik özellikleri incelenmiş, belirli alanlardan alınan numuneler laboratuvarında deneye tabi tutularak

incelenmiştir. İncelemeler sonucu depremlerin odak noktasına mesafeleri, deprem büyüklükleri ile ilgili deneysel yaklaşımlarda bulunmuşlardır.

Çetin, Seed, Kiureghian ve Tokimatsu (2000), sıvılaşmanın etkilerine karşı direncin yorumlanması ya da tekrar eden sıvılaşmanın başlangıcı için SPT datalarının kullanımında, olasılık temelli korelasyonların geliştirilmesine yönelik çalışmalar yapmışlardır. Standart Penetrasyon Testi tabanlı sıvılaşma tetikleme korelasyonu sunmak için 7.5 deprem büyüklüğünde $\sigma_v' = 1$ atm için plastik limit değeri % 20'yi temel alan ince tane içeriği düzeltmesi yapmışlardır. Önerilen korelasyonların çeşitli çalışmalarda ortaya çıkan olasılık ve deterministik kaynaklı faydaları irdelemişlerdir.

Broughton, Arsdale ve Broughton (2001), Memphis ve Shelby alanlarına ait Orta ve Doğu Amerika'nın aktif sismik zonlarına yakın bölgelerdir. Araştırmacılar yer radarı kullanarak Memphis ve Shelby bölgelerinde sıvılaşma ve deformasyon verileri elde etmek için çalışmalar yapmışlardır. Bölgenin sıvılaşma duyarlılık haritalarını hazırlamış olup yüksekten düşük duyarlılığa doğru sınıflandırma yapmışlardır. Bölgedeki dolgu kaplı alanların yüksek duyarlılık derecesinde olduğunu belirlemişlerdir.

Hadush, Yashima, Uzuoka, Moriguchi ve Sawada (2001), sıvılaşma kaynaklı zemin hasarları üzerine yapılan çalışmalarda Tayvan'ın başkenti Taipei bölgesinde yer alan Taipei Hızlı Geçiş Sistemi tünellerinde analiz yapmışlardır. Özellikle yapılan çalışmalarda yeraltı yapıları hakkında sıvılaşma analizlerinin kısıtlı olduğunu gözlemlemiş ve bu alana yönelmişlerdir. Çalışma alanındaki sıvılaşma değerlendirmesi yaparak zeminde enjeksiyon yöntemi ile iyileştirme yapılması önerilmiştir.

Köleoğlu (2002), araştırmasında Adapazarı'nda yapılmış olan 43 adet sondaj logu kullanılarak zeminlerdeki potansiyel sıvılaşma analizleri hakkında değerlendirmeler yapılmıştır. Sıvılaşma olayında efektif düşey gerilmenin etkisi olduğunu belirten araştırmacı çalışma bölgesinde meydana gelen sıvılaşma olayının gözlemlendiği yerlerde yeraltı su seviyesinin 3 metreden daha derinde olmadığını belirtmiştir. Zeminlerde oturma ve sıvılaşma risklerinin belirlenmesinde relatif sıkılığın etkili bir parametre olduğunu vurgulamaktadır. Araştırmacı çalışmasında relatif sıkılığın artmasıyla deprem esnasındaki sismik hareketler sebebiyle oturma ve efektif düşey gerilmenin azaldığını vurgulamıştır.

Polat (2002), yaptığı çalışmada İstanbul bölgesinde bulunan genç alüvyon sahalarda İzmit ve Düzce' de oluşan depremler sonrasında zeminin özelliklerini belirleyerek, taşıma güçlerini hesaplayıp sıvılaşma potansiyelini tespit etmiştir. Analiz sonrasında Marmara Denizi içerisinde KAF hattının devamının kırılması halinde depreme bağlı sıvılaşmanın oluşacağı sonucuna varmıştır.

Çetin, Işık ve Unutmaz (2002), 1999 yılında meydana gelen İzmit depreminde sıvılaşma sebebiyle oluşan yanal yer değiştirme şeklindeki zemin deformasyonlarını gösterir haritaları hazırlamışlardır.

Atak (2003), 1999 yılında Kocaeli İzmit depreminden önce ve sonrasında elde edilen hava fotoğrafları karşılaştırılarak Sapanca Gölü ve çevresinde zeminde sıvılaşma ve yer değiştirmeleri yorumlamışlardır. Farklı ölçekteki fotoğraflar fotogrametrik prosedürler ile büyüklük ve yönleri açısından kıyaslanmıştır.

Ündül ve Gürpınar (2003), araştırmalarında hala çökelişi devam eden Çokal vadisindeki alüvyon çökellerin sıvılaşma potansiyelini araştırmışlardır. Çalışmada DSI tarafından yapılan sondaj değerleri kullanılarak tane boyu dağılımları incelenmiştir. SPT verilerine göre inceleme alanında mevcut olan alüvyal zeminlerin sıvılaşma durumunun daha önce sıvılaşma meydana gelen zeminlerle kıyaslandığında uyumlu olduğu ifade edilmiştir.

Seed, vd. (2003), çalışmalarında zeminlerde potansiyel sıvılaşma durumunun temelini oluşturan konuların öneminden, sıvılaşmaya etkiyen durumlardan, zemin türlerine göre sıvılaşma olayından bahsetmişlerdir. Sıvılaşma analizlerinde kullanılan “ r_d ” (gerilme azaltma katsayısı) değerinin derinlik, deprem büyüklüğü, sismik sarsıntı şiddetine ve arazi dayanımına bağlı belirlenmesi için deneysel bağıntı ortaya koymuşlardır.

Youd (2003), genellikle depremin sebep olduğu tekrar eden gerilmelerin tesiriyle bilhassa suya doygun kohezyonsuz zeminlerde, zeminin temel özelliklerinin çeşitli deformasyonlara neden olduğunu belirtmiştir. Sıvılaşmadan dolayı hasarlı olan bölgelerde temel zemin katmanlarının çoğunlukla benzer yapıda, kalın, suya doygun kumlu seviyelerde olduğunu belirtmiştir. Zeminde sıvılaşma meydana geldiği durumda dinamik ve statik yükler kaynaklı zeminde deformasyonlar olduğunu ifade etmiştir. Bu deformasyonların ölçütünün, dinamik, sismik ve statik dalgaların sıklık, genlik, sıvılaşan zemin katmanının kalınlığına zemin türüne bağlı olduğunu belirtmiştir. Sıvılaşma olayının gerçekleşmesi için çalışmada sismik enerji noktası ve bu noktanın malzeme yoğunluğu, sertliği ve deprem süresine bağlı bir durum olduğunu ortaya koymuştur. Sıvılaşma olayından ötürü yer değiştirmeler olarak analiz edilen zemin yenilmeleri de; akma yenilmesi, yanal yayılma ve yer salınımı olarak üç grupta toplanmıştır.

Kanıbir (2003), 1999 yılında Kocaeli’nde meydana gelen depremden etkilenen şehir merkezinde ve Sapanca Gölü’nün kıyı şeridinde sıvılaşmadan kaynaklı zemin deformasyonlarını değerlendirmek için fotogrametrik tekniklerle gözlemlenmiştir. Çalışma sahasında elde edilen 55 adet sondaj logu verileri, SPT ve laboratuvar deneyleri sıvılaşma analizlerinde kullanılmıştır. Youd ve Idriss tarafından önerilen yöntemler kullanılmıştır.

Çalışma sonucunda 1-14 m aralığında alüvyon zeminler başta olmak üzere kıyı ve dereler boyunca sıvılaşmanın görüldüğü tespit edilmiştir.

Sivrikaya ve Toğrol (2003), Türkiye’de ince taneli zeminler üzerinde düzeltme yapılan SPT deneyi sonuçları bu deney yapılırken kullanılan ekipmanlarında üzerinde durulduğu detaylı detaylı araştırmalara değinilmiştir. Deneyin yapılışında kullanılan teknikler ve ekipmanlardaki farklılıklardan doğan değışkenlikler olduğu ifade edilmiştir. SPT-N değeri için düzeltmelerin dikkatli olarak yapılması gerektiğı belirtilmiştir. Daha önce yapılan deneyleri inceleyerek değışkenler ve SPT(N) düzeltmeleri hakkında en uygun yöntem için değlendirmeler yapılmış olup, SPT ve q_u (serbest basınç değeri) arasındaki ilişki irdelenmiştir.

Lin ve Chang (2004), çakıllı zeminlerde sıvılaşma olmadığı düşünülmesine rağmen, 1999 yılında Tayvan’da meydana gelen Chi Chi depremi ve 1988’de Ermenistan’daki depremde çakıllı zeminlerde de sıvılaşma olduğu ifade edilmiştir. Çakıllı zeminler SPT ve CPT deneylerinin yapılması güç olduğu için, çakıllı zeminlerde V_s (kayma dalgası) ve LPT (büyük penetrasyon deneyi) kullanarak Chi Chi depreminde sıvılaşma gerçekleşmiş çakıllı zemin üzerinde araştırmalar yapılmıştır. Yine bu araştırmaları doğrulamak adına laboratuvar ortamında üç eksenli deneyler yapılmıştır. Sıvılaşma analiz sonuçları kıyaslandığında LPT ve V_s yöntemleri ile örtüştüğü görülmüştür.

Özdemir ve İnce (2004), çalışmalarında Konya ili Ilgın ilçesinde 45 adet sondaj kuyusu incelenerek SPT verileri, yeraltı su seviyesi ve laboratuvar testleri yerleşim alanının sıvılaşma analiz hesabında kullanılmıştır. Hesaplamalarda $PGA = 0,1-0,2-0,3-0,4$ g ivme değeri, $M_w=6$ deprem büyüklüğü, derinlik 12 m girdi veri olarak kullanılıp hesaplamalar sonucu oluşan sıvılaşma duyarlılığı yüksek - çok yüksek, orta ve düşük şeklinde ifade edilmiştir. Sıvılaşma analiz haritaları 2,4,6,8,10 ve 12 m derinlikler için oluşturulmuştur.

Aydan, Hamada, Bardet, Ulusay ve Kanıbir (2004), Sapanca Gölü’nün bulunduğu bölgede yanal yayılma oranının çeşitli yatay yer ivmesi değeri için eşitlikler ortaya koymuşlardır. Çalışmada Masanori Hamada tarafından kalıcı zemin bozulmalarını belirlemek için farklı bölgelerde fotogrametrik yöntemlerden faydalanmışlardır. Adapazarı’nda meydana gelen depremin verileri ve sıvılaşma potansiyeli üzerine yapılan analizler Japon Karayolu ve Köprüler Derneğı (JRBS) tarafından tavsiye edilen teknik kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen değeri ile Japonya’da meydana gelen Nihonkai-Chubu, Niigata ve Hyogo Ken-Nabu (Kobe) depremlerine ait bazı değeri kıyaslanmıştır.

Chu, Stewart, Lee, Tsai, Lin, Seed, Hsu, Yu ve Break (2004), Tayvan’da meydana gelen 7,6 büyüklüğündeki 1999 yılı Chi Chi depremi sonrası o bölgede geniş sahada zemin yenilmeleri olduğu tespit edilmiştir. Araştırmacılar çalışma sahasında sıvılaşma ve zemin

yenimleri görülen sahalarda çalışmalarını başlatmışlardır. Çalışma sahasının sıvılaşmaya bağlı yorumlanması için 25 adet sondaj çalışması, 6 adet konik penetrasyon deneyi verisi kullanılmıştır. Çalışmalarında Youd ve Idris'e ait prosedür olan NCEER yöntemi kullanılmıştır.

Erken, Özay, Kaya, Ülker ve Elibol (2004), tarafından yapılan bu çalışmada yumuşak killer, suya doymuş siltli kumlar, düşük plastisiteli siltlerin gerilme, şekil değiştirme ve boşluk suyu basıncından söz edilmiştir. Sonrasında modifiye edilen sıvılaşma yöntemlerinden bahsedilip, kullanımı ve dinamik yükleme sonucundaki mukavemet kayıpları ile taşıma gücü kayıplarının nasıl meydana geldiği açıklanmıştır.

Çetin ve Unutmaz (2004), Bursa ilinde zemin özellikleri değerlendirilmek amacıyla 354 adet sondaj çalışması incelenerek, çalışma sahasında tehdit oluşturacak diri faylarla ilgili bilgiler kullanılarak yer ivmesi ve spektral ivme değerleri kullanılarak haritalar oluşturulmuştur. Elde edilen sondaj verileri ve zemin özelliklerine göre ivme değerlerinin değişiminin etkileri kıyaslanmıştır. Çalışma alanında yer ivme değerleri 0,34-0,48 aralığında olduğu ifade edilmiştir. SPT verileri kullanılarak bölgenin sıvılaşma risk dağılım haritaları oluşturulmuştur.

Çetin, Işık ve Unutmaz (2004a), 1999 yılındaki Kocaeli depreminde Değirmendere'de 0,35 g yatay yer ivmesi kullanılarak sismik yönden kıyaslamalar yapıp, 8-11 m arasında sıvılaşabilir tabakaların mevcut olduğu ifade edilmiştir. Çalışmalarında Değirmendere'de meydana gelen sismik sarsıntılardan kaynaklı heyelanın sıvılaşmaya bağlı olduğu ifade edilmiştir.

Çetin, vd. (2004b), çalışmalarında potansiyel sıvılaşma analizinin belirlenmesinde kullanılan metotlara ait girdi değerlerin geçmiş dönem verileri olduğunu ifade ederek, sıvılaşmanın meydana gelme olasılığının değerlendirilmesi için araştırmacılar tarafından yeni yöntemler sunulmuştur. Bu yöntemde sıvılaşma olup olmadığını analiz ederken, sayısal yöntemlerin kullanılması gerektiği belirtilmiştir. Gerilme azaltma faktörü için önemli etkenler deprem büyüklüğü, derinlik ve en büyük yer ivmesidir. Bu etkenler göz önünde bulundurularak 2153 farklı lokasyon da arazinin sıvılaşma analizi yapılmıştır. Youd ve Idriss tarafından önerilen yönteme ek olarak veri tabanına 300 adet farklı veri ekleyip, bu veriler öncülüğünde potansiyel sıvılaşmanın olasılıksal değerlendirmesine yön vermişlerdir.

Yılmaz ve Çetin (2004), 1999 yılında meydana gelen Kocaeli depremi için deprem kaynaklı yapısal hasarlara ait jeoteknik verileri değerlendirmek için CBS temelli zemin sıvılaşmasını analiz etmek amaçlanmıştır. Bu sebeple veriler CBS programına aktarılmış olup, potansiyel sıvılaşma parametresi sıvılaşan tabaka kalınlığına, tabaka derinliğine ve sıvılaşma sonrasında oturma gibi indekslerin önemli mühendislik değerleri oldukları ifade edilmiştir.

Çalışmada olasılık kaynaklı yeni bir kavram olan LSI (sıvılaşma şiddeti indeksi) önerilmiştir. Yeni sunulan bu öneride riskler çok düşük, düşük, yüksek ve çok yüksek olarak sınıflandırılmıştır.

Ulusay ve Kuru (2004), 1998 yılında 6,2 büyüklüğünde Adana'da meydana gelen Ceyhan depreminde potansiyel sıvılaşma duyarlılığı incelenmiştir. Farklı deprem büyüklüklerinde SPT bazlı veriler kullanılmıştır. Çalışmalar sonucunda Ceyhan çevresinde Osmaniye iline yakın alanlardan elde edilen verilere göre kum tabakalarını sıvılaşmaya daha yatkın olduğu ortaya çıkarılmıştır. Sıvılaşma indeksini gösterir 6,2 ve 7 deprem büyüklüklerinde mikro bölgeleme haritaları oluşturulmuştur. Çalışmada elde edilen denklemler yardımıyla Türkiye'nin eş ivme haritası oluşturulmuştur.

Ulusay, Tuncay, Sönmez ve Gökçeoğlu (2004), çalışmalarında 2002 tarihinde meydana gelen Çay-Eber depreminin genel jeoteknik özellikleri, zemin durumu, deprem koşulları ve potansiyel sıvılaşma riski incelenmiştir. Sıvılaşmanın Çay-Eber depreminde sınırlı bir alanda meydana geldiği gözlemlenmiştir. Sıvılaşma kaynaklı yanal yayılma, çatak ve kum kaynamalarının yalnızca sıvılaşmaya duyarlı siltli kum tabakalarının yüzeye yakın derinliklerinde olduğu görülmüştür. Sıvılaşma verilerini incelemek için üç eksenli basınç deney sonuçları irdelenmiş, sıvılaşma meydana gelmesi için ivme değerinin 0,21 g olması gerektiğini belirtmişlerdir. Yapılan çalışmada sıvılaşma analizleri hesaplanırken Youd ve Idriss (2001) tarafından ortaya konulan yöntem kullanılmıştır.

Yılmaz ve Yavuzer (2005), araştırmalarında KAF hattında yer alan Yalova'daki zeminlerin sıvılaşma potansiyelini Standart Penetrasyon Testi kullanılarak irdelenmişlerdir. 7,4 büyüklüğü için elde edilen girdi değerler kullanılarak sıvılaşma analiz haritaları oluşturulmuştur. Gelecekte meydana gelebilecek depremler için sıvılaşma oluşabilecek alanlar belirtilmiştir.

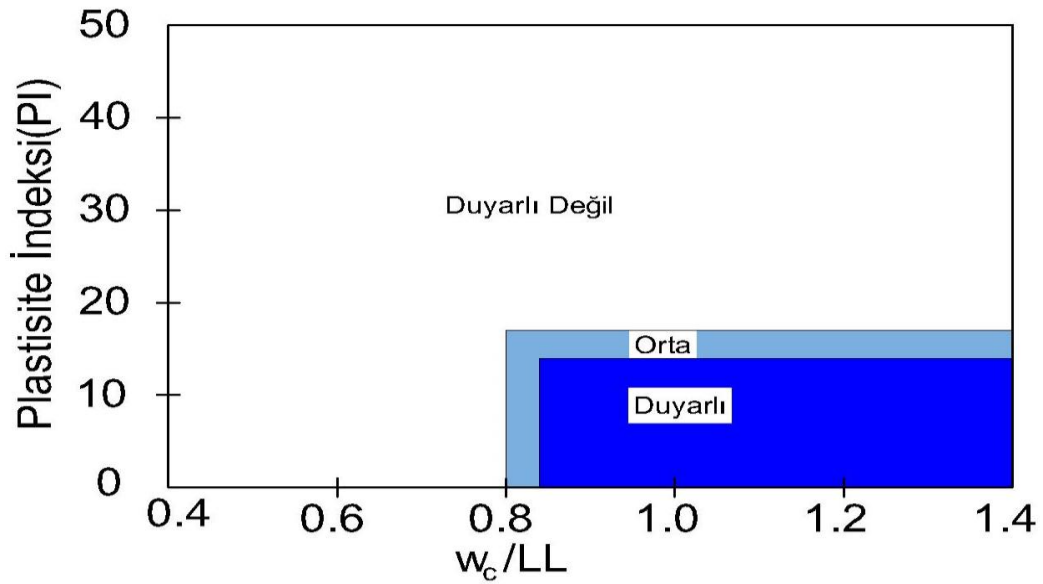
Audemard, Gomez, Tavera ve Orihueala (2005), 2001 yılında $M_w = 8,4$ büyüklüğündeki Arequipa'da meydana gelen deprem sonrası elde edilen verilerden yola çıkarak sıvılaşma üzerine incelemeler yapılmıştır. Şili ve batı Bolivya'yı etkisi altına alan depremin 29 km derinlikte meydana geldiği ve zemin tabakaları arasında sıvılaşmayı tetiklediği belirtilmiştir. Sıvılaşma özelliklerinin dağılımı, kum kaynamalarının dağılımını bölgesel olarak irdelleyerek, kum kaynama çapına karşılık odak uzaklığına ilişkin grafikler oluşturulmuştur.

Juang, Yuan, Li, Yang ve Christopher (2005), mevcut yapıların temellerinde ya da yapı yakınlarında sıvılaşmadan dolayı zeminin hasarının önemini önceden belirlemek adına amprik bir yöntem ileri sürmüşlerdir. Önerilen prosedürler, Kocaeli depremi (1999) ve Chi Chi (Tayvan) depremine ait 30 adet olgu geçmişine dayanarak elde edilmiştir. Bu veriler, sıvılaşma

kaynaklı hasarların ve CPT ile elde edilen zemine ait bilgilerin gözlemlenmesinden oluşmaktadır. Bu veriler kullanılarak, çalışmada P_G (zemin hasar olasılığı) değerine karşı potansiyel sıvılaşma grafiğinden yola çıkılarak hasar sınıfına göre değerlendirilmiştir. Sıvılaşmadan dolayı oluşan hasarın şiddetinin değeri DSI olarak adlandırılıp sınıflama kriterlerinin; eğimi $< 1^\circ$ olan, $M_w=7,4 - 7,6$ deprem büyüklüğü ve sıvılaşma derinliği < 20 m olan alanlar için geçerli olduğu belirtilmiştir.

Ergüven (2005), tarafından yapılan bu çalışmada sıvılaşma kapsamında yapılan araştırma ve çalışmaları anlatarak sıvılaşmanın tarihsel süreci hakkında bilgi vermiştir. Çalışmasında; sıvılaşmayı etkileyen temel faktörleri, laboratuvar ve arazi deney sonuçlarını açıklayarak, elde edilen sonuçların nasıl kullanıldığına ve sıvılaşma tahmin metotlarından detaylı olarak bahsetmiş, Eurocode ve Japan metotları ayrıntılı incelenmiştir. Sıvılaşma riski olan bölgelerde yapılaşmanın nasıl olması gerektiği hakkında bilgi verilmiştir.

Bray ve Sancio (2006), Adapazarı'nda meydana gelen deprem sonrasında elde edilen verilerle kil ve silt karışımları üzerinde yapılan dinamik deney sonuçları ile aşağıdaki şekilde gösterilen saha koşulları göz önünde bulundurularak bir abak önerilmiştir.



Şekil 2. İnce taneli sedimanların sıvılaşma duyarlılığı kriterleri (Bray, & Sancio, 2006, s.87).

Mollamahmutoğlu ve Babuçcu (2006), sıvılaşma analiz ve yöntemlerini esas alan kitap çıkarmışlardır. Kitapta; sıvılaşmanın tanımı, sıvılaşma olgusu, sıvılaşma türleri, sıvılaşma kökenli hasar tipleri, sıvılaşmayı etkileyen değişkenler, sıvılaşma potansiyel analizinde kullanılan laboratuvar ve arazi deneyleri, analiz yöntemleri, sıvılaşma kökenli hasarları azaltma yöntemlerinden söz edilmiştir. Kitapta en son bölümde ise araştırmacılar tarafından oluşturulmuş sıvılaşma analiz programı anlatılarak hesaplama ve grafik çizimleri sunulmuştur.

Karanlık (2006), çalışmasında Hatay, Samandağ, Altinköy ve çevresinin Standart Penetrasyon Deney sonuçlarını kullanarak zemin sıvılaşma analiz sonuçları elde etmiştir. Yer ivmesi, derinlik ve SPT değerleri arasındaki bağlantı tablolar yardımı ile değerlendirilmiştir. Daha önce meydana gelen depremler sonucunda oluşan tane boyu dağılımı, bilinen tane boyu dağılımı ile karşılaştırılmıştır.

Sönmez (2006), Kocaeli-Körfez bölgesinde yapılan sondaj verilerini kullanarak potansiyel sıvılaşma durumu araştırılmıştır. Araştırmada sıvılaşma durumu tespit edilmiş ve haritalar oluşturulmuştur. Zeminlerin örtü tabakalarında yüzeyde oluşabilecek sıvılaşma etkileri incelenerek, hem Kocaeli-Körfez bölgesi hem de Chi Chi depremine ait veriler dikkate alınmıştır. Buna ek olarak örtü tabakasının kalınlığı ile ilgili bir abak oluşturulmuştur.

Yılmaz ve Bağcı (2006), çalışmalarında Kütahya ilinin sıvılaşma durumunu değerlendirmiş olup, sıvılaşma tehlikesine göre haritalandırma yapılmıştır. Sıvılaşma haritasında alüvyon zemin tabakasında sıvılaşabilir ve marjinal sıvılaşabilir alanları ve $M_w=6,5$ deprem büyüklüğü için Neojen birimlerde sıvılaşamaz bölgeleri göstermektedir. Sıvılaşma tehlike haritası çok düşük ve yüksek kategoride hazırlanmış olup, mühendislik açısından planlama aşamasında oluşturulan haritaların çalışmaya yön vermesi gerektiği belirtilmiştir.

Taylan, Uysal, Lav ve Erken (2007), 1999 yılında Adapazarı depremi sonrasında Adapazarı ve yakın bölgelerde gözlemlenen oturma, göçme ve dönme gibi yapı hasarları göz önüne bulundurularak çalışma alanı olarak Adapazarı Erenler seçilmiştir. Bölgedeki sismik hareketli yükler değerlendirilip, çalışma alanının zemine ait taşıma gücü ve potansiyel sıvılaşma tehditleri incelenmiştir.

Unutmaz ve Çetin (2007), çalışmalarında yapı ile zemin arasındaki etkileşimi inceleyerek, üzerinde yapı bulunan zeminlerin sıvılaşma potansiyelini irdelleyip analiz yapmıştır. Yapı temel zeminlerinin sıvılaşma potansiyelinin tespiti için, çevrimsel kayma mukavemeti olarak adlandırılan CSR değişkeninin maksimum değeri ve hesaplama metodu sayısal olarak anlatılmıştır.

Özaydın (2007), deprem hareketleriyle meydana gelen zemin sıvılaşmasını araştırmıştır. Çalışmada; SPT ve CPT deneylerinden deprem dolaylı çevrimsel kayma mukavemeti oranının elde edilmesini açıklanmış, sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı belirlenerek formülize edilmiştir. Yüzeysel ve kazık temeller sıvılaşma etkisi altında anlatılmıştır.

Lenz ve Baise (2007), araştırmalarında çalışma alanı olarak San Francisco Körfezi'nin doğu şeridi seçilmiştir. Bölgesel olarak CPT ve SPT kaynaklı sıvılaşma potansiyel indeksleri kıyaslanmış, LPI istatistiksel ve mekânsal değişkenliği irdelenmiştir. Araştırmacılar, LPI

değerinin kümülatif dağılımına dayalı bölgesel haritalamanın, kullanılan verilere bağlı farklı sonuçlar gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Tosun ve Orhan (2007), Eskişehir ilinde 30 km²'lik bir alanda CBS tabanlı zemin özelliklerini göstermek amacıyla inceleme sahasına ait haritalar oluşturulmuştur. İnceleme alanına ait 170 adet sondaj verileri, 383 adet örselenmemiş numune ve 1394 adet örselenmiş numunelerin üzerinde değerlendirmeler yapılmıştır. Çalışma alanında SPT deney profilleri oluşturulmuştur. Profillerden yola çıkarak inceleme alanında SPT zon haritaları hazırlayarak dağılım ortaya koyulmuştur. Alınan veriler üzerinde tek eksenli basınç deneyleri yapılarak serbest basınç dayanımına bağlı CBS ortamında haritalar hazırlanmıştır.

Koç (2007), çalışmasında Seed ve Idriss (1971) tarafından önerilen metodu kullanarak LiquefyPro yazılım aracılığıyla Kocaeli ili Gölcük ilçesinin çevresinin sıvılaşma potansiyeli değerlendirilmiştir.

Özaydın (2007), çalışmasında zeminlerde sıvılaşmayı etkileyen parametreler, analizler ve tanımlamalarla ilgili değerlendirmelerde bulunmuştur. Potansiyel sıvılaşma analizlerini belirlemek adına Seed ve Idriss (1971) yılındaki çalışmalar temel alınarak, arazi deney sonuçları ile ilişkilendirilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Hasançebi ve Ulusay (2007), sıvılaşma sonrasında yanal yayılma etkisinin yüzeydeki yapılar ile gömülü yapılarda ciddi derecede deformasyona sebep olduğunu ifade ederek, yanal yayılma kaynaklı yer değiştirme durumunun analizlerde hata oranlarını en aza indirmek için yeni bir yöntem ileri sürmüştür. 6907 adet sondaj verisinden faydalanan yapılan araştırmalar çerçevesinde yalnızca serbest yüzey, yine sadece topoğrafik eğim hem de serbest yüzey açısından çalışma alanı incelenerek öngörülerde bulunulmuştur. Bütün sondaj loglarında sıvılaşma analizleri hem Youd ve Idriss (2001) hem de Çetin vd. (2004) prosedürlerine göre yapılmıştır.

Yılmaz, Yıldırım ve Keskin (2008), çalışmalarında Beydağı Barajı için, sıvılaşma potansiyeli olan bölgelerde, alüvyon tabakası kaldırılmadan zeminde iyileştirmeler yaparak değerlendirmede bulunmuşlardır. Yapılan analizlerde Seed ve Idriss (1971) yöntemi aracılığıyla CRR değeri CPT ve SPT bağlı olarak ayrı ayrı hesaplanmıştır. Analizi etkileyen gerilim azaltma katsayısı hesabı için sıvılaşma potansiyeli olan zemin üzerinde kurulan barajın etkisi de değerlendirmeye alınmıştır. QUAD4M yazılımı potansiyel sıvılaşma analiz hesabı için kullanılmıştır.

Unutmaz (2008), sıvılaşma potansiyeli açısından üst yapı etkisi, FLAC-3D yazılımıyla üç boyutlu analizler sonucu değerlendirilmiştir. Tekrarlı gerilme oranlarını tanımlayan yeni bir

yöntem, sıvılaşma potansiyeli açısından üst yapı etkisinin araştırılması için önerilmiştir. Zemin üzerindeki statik ve dinamik durumlar değerlendirilip farklı senaryolar için yaklaşımlarda bulunulmuştur. Çalışma sonucunda zemin deprem etkisinde yapı için ortalama tekrarlı gerilme oranı sunulmuştur.

Sönmez ve Ulusay (2008), Kocaeli depremi esnasında İzmit Körfezi'nde meydana gelen sıvılaşma potansiyelini irdeledikleri çalışmalarında, analizler sonucu elde edilen veriler kullanılarak LSI (sıvılaşma şiddeti indeksi)'ne dayalı mikro bölgeleme haritaları oluşturulmuştur. Elde edilen mikro bölgeleme haritaları 1999 yılında deprem sonrasında öngörülen ve gözlemlenen sonuçlarla örtüştüğü ifade edilmiştir. Sıvılaşma analizleri Seed ve Idriss (1971) yöntemi ve Youd ve Idriss (2001) tarafından önerilen güncellemeler göz önüne alınarak hesaplanmıştır. LSI değerini belirlemek için farklı sondaj loglarında hesaplanan sıvılaşma güvenlik katsayısı değerleri Sönmez ve Gökçeoğlu (2005) tarafından ortaya konulan şiddet sınıflarına göre değerlendirilmiştir.

Yalçın, Gökçeoğlu ve Sönmez (2008), çalışmalarında Tuz gölü fay hattı üzerinde bulunan Aksaray ilinin Sönmez ve Gökçeoğlu (2005) tarafından önerilen yöntem baz alınarak şehir merkezinin sıvılaşma analiz haritaları hazırlanıp irdelenmiştir. Aksaray ilinin zemin jeolojik özellikleri, sıvılaşmayı etkileyen parametreler 20 m içerisindeki tüm seviyelerde incelenip, çalışma alanının $M_w=5,2$ deprem büyüklüğünde meydana gelmesi durumunda sıvılaşma potansiyelinin çok yüksek olduğu belirtilmiştir.

Sağlam (2008), yapmış olduğu çalışmada Manisa ili Saruhanlı ilçesi imar planına esas alanlarda jeolojik çalışmalar sonucunda CPT deneyi kullanılarak, $M_s=7,0$ deprem büyüklüğündeki sıvılaşma analizleri yapılmış ve potansiyel sıvılaşma haritaları oluşturulmuştur.

Akın (2009), Tokat ilinin Erbaa ilçesinde zeminin özellikleri dinamik analizlerle belirlenerek KAF hattında bulunan bölgenin mikro-bölgeleme araştırmaları gerçekleştirilmiştir. Bu araştırmalar ile bölgenin potansiyel sıvılaşma analizleri irdelenmiş, sıvılaşma sonrasında oluşabilecek olası oturma, yanal yayılma gibi zemin üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

Pehlivan (2009), CL, ML, CH, MH sınıfı zemin özellikleri üzerinde dinamik analizler yaparak ince taneli zeminlerin boşluk suyu basınçlarının oluşumu sırasındaki davranışları irdelenmiştir. Kum zeminlerin suya doymuş hallerinde boşluk suyu basıncı oranına karşılık makaslama deformasyonlarının LL, PI ve w/LL değerlerine bağlı bir durum olduğu ifade edilmiştir.

Bol, Önalp, Arel, Sert ve Özocak (2010), çalışmalarında 2006 yılında Bray ve Sancio'nun yapmış olduğu araştırmaları inceleyip güncelleyerek CPT temelli çalışmalarında 1999 yılında meydana gelen Marmara depremi sondaj verilerini kullanarak deprem esnasında siltli zeminlerin sıvılaşma durumu değerlendirilmiştir. Çalışmalarına göre Çin kriterlerini geliştirmeyi amaçlayan Adapazarı kriterini ortaya koymuşlardır. Bu kriterde mevcut sınıflamaya benzer olup, kil içeriği üzerinde daha fazla durulmuştur. Adapazarı havzasında aşağıda ifade edilen durumlar meydana gelirse, $M_w \geq 7$ olan sismik hareketlerde sıvılaşmanın meydana geldiği ifade edilmiştir. Sıvılaşabilen bir silt;

$$\text{Likit Limit (LL)} \leq \% 33,$$

$$\text{Likidite İndeksi (LI)} > 0.9,$$

$$\text{Kil İçeriği} < \%10 [(D < 0.002\text{mm})] \text{ ve}$$

$$\% 10\text{'dan daha az killi ve ortalama } D_{50} \geq 0.06 \text{ mm}$$

özelliklerini taşımaktadır. [$LI = [\text{doğal su içeriği} - \text{plastik limit (PL)}] / [\text{plastikite indisi (PI)}]$ oranı olarak tanımlanmıştır.]

Mhaske ve Choudhury (2010), Youd ve Idriss (2006) tarafından önerilen yöntem kullanılarak sıvılaşma güvenlik katsayısı hesaplanmış, Hindistan Mumbai'de yaptıkları çalışmalarında yeraltı suyu derinliği, SPT verileri, yoğunluk ve özgül ağırlık değerleri dikkate alınarak GRAM++ yazılım ile $M_w = 5.0 - 7.5$ büyüklükleri arasındaki deprem senaryoları için muhtemel sıvılaşma gerçekleşme durumu olan alanlar belirlenmiştir.

Cao, Hou, Xu, Yuan ve Vibration (2010), çalışmalarında Çin'de meydana gelen $M_w = 8.0$ büyüklüğündeki Wenchuan depreminde ayrıntılı saha çalışmaları incelenerek sıvılaşma dağılımını gösterir haritalar oluşturmuşlardır. Jeolojik zemin profilleri incelenerek çakıllı zeminlerde sıvılaşma etkisini belirlemek için sondaj çalışmaları, dinamik analizler V_s (kayma dalgası hızı) deneyler yapmak için dört farklı alan seçilip detaylı saha araştırmaları yapılmıştır. SPT ve CPT deneylerinin çakıllı zeminlerde uygun olmadığını, DPT(dinamik penetrasyon testi) ve V_s (kayma dalgası hızı) yöntemlerinden elde edilen ve bu çalışmada değerlendirilen verilerin mühendislik uygulamalarında yardımcı kaynak olacağı belirtilmiştir.

Holzer, Jayko, Hauksson, Fletcher, Noce, Bennte, Dietel ve Hudnut (2010), 2003 yılında Kaliforniya'da meydana gelen $M_w = 5.2$ büyüklüğündeki Olancho depreminin sonucunda meydana gelen sıvılaşma kaynaklı deformasyonlar incelenmiş sıvılaşma analizleri Seed ve Idriss (1971) yöntemi ile hesaplanmıştır. Çalışma bölgesinde kumlu zemin profillerinde kanatlı kesici direnci verilerinin makaslamaya karşı dayanım değerine yaklaşmış olduğunu kabul ederek, SPT darbe sayıları açısından analizler yapılmıştır.

Aslan (2010), Kocaeli ili Gebze ilçesinde yapılacak olan atık su arıtma tesis alanının sıvılaşma durumu incelenmiştir. Girdi veri olarak çalışmalarında 21-28 m aralığında değişiklik gösteren 8 adet sondaj loguna ait değerler kullanılmıştır. Çalışma sahasındaki alüvyonun zeminin jeolojik özellikleri arazi ve laboratuvar deneyleri ile belirlenmiştir. Elde edilen veriler sonucunda muhtemel sıvılaşma durumu farklı araştırmacılara ait yöntemlerle değerlendirilip sıvılaşma kaynaklı haritalar oluşturulmuştur. Arazi ve laboratuvar deneylerinden faydalanarak Gebze’de inşa edilmesi planlanan Atık su Arıtma Tesis alanındaki jeomekanik nitelikler tespit edilerek sıvılaşma potansiyel analizi araştırılmıştır. Çalışmada iri taneli zeminlerin, 1999 Kocaeli depreminin değeri $M_s=7,4$ deprem büyüklüğü ve SPT deney verileri kullanılmıştır. Çalışılan bölgede sıvılaşma meydana geleceği fakat yüzeyde ise örtü zemin tesiriyle sıvılaşmanın görülmeyeceği sonucu çıkarılmıştır.

Orhan ve Ateş (2011), çalışmasında 28 adet sondaj logu incelenerek CPT verileri kullanılarak Manisa ili Saruhan ilçesinde alüvyon zeminlerde sıvılaşma durumu Iwasaki (1982) yöntemine göre irdelenmiştir. $M_w=7.1$ büyüklüğündeki deprem ve 0,28 g yer ivmesi değerleri kullanılarak sıvılaşma analizi yapılmıştır. İnceleme alanında sıvılaşma potansiyeli yüksek olan sahalarda belirlenmiştir.

Tosun, Seyrek, Orhan, Savaş ve Türköz (2011), Eskişehir’de 232 adet sondaj logundan elde edilen SPT(N) değerlerine bağlı bir çalışma yapmışlardır. Bunun yanında 106 adet araştırma çukuru jeoteknik bilgi edinmek için açılmıştır. $M_w=6.4$ büyüklüğündeki deprem senaryosunda SPT verileri kullanılarak muhtemel sıvılaşma durumu incelenmiştir. Analizler 0,19 g, 0,30 g ve 0,47 g yer ivmesi değerleri için hesaplanmış olup yeraltı su seviyesinin ve alüvyon zeminlerin varlığının, bölgenin sismik nitelikleri ile beraber sıvılaşma olasılığını artırdığı belirtilmiştir.

Akdeniz, vd. (2011), Eskişehir ili Güllük, Yeni Bağlar ve Bahçelievler mahallelerinin zeminlerine ait mühendislik özellikleri CBS temelli değerlendirilmiştir. 136 adet sondaj logundan elde edilen numunelere ait veriler değerlendirilmiştir. Çalışma sahasındaki zemine ait veriler kullanılarak zeminin üç boyutlu modellemesi oluşturulmuştur. Çalışmalarında SPT(N) değeri ve serbest basınç dayanımı arasında doğrusal bir bağlantı olduğu ifade edilmiştir.

Papathanassiou, Seggis ve Pavlides (2011), deprem riski yüksek olan Yunanistan’ın Larissa kasabasındaki Teselya Ovası’nda meydana gelebilecek muhtemel sıvılaşma durumu incelenmiştir. Çalışma sahasında yapılan 53 sondaj logundan elde edilen SPT verileri kullanılarak potansiyel sıvılaşma indeksi yöntemi ile analiz edilmiştir. Sıvılaşma olabilecek katmanların özellikleri ve sıvılaşma durumunu gösterir haritalandırma çalışmaları yapılmıştır. Sıvılaşma durumuna karşı güvenlik katsayısı Youd ve Idriss (2001) tarafından önerilen yöntem

ile hesaplanmıştır. Bu bağlamda toprak zeminin sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı değeri hesaplanmıştır. Larissa kasabasının Teselya Ovası'nda sıvılaşma hesabı için tasarım ivmesi 0,249 olarak alınmış, %10'luk bir ihtimal ile 50 senelik bir zaman dilimi boyunca asılma olasılığı ile beraber irdelenmiştir. Çalışmanın sonucunda elde edilen verilere dayalı olarak sıvılaşmanın Pinios Nehri'ne yakın yalnızca iki bölgede oluşabileceği belirtilmiştir.

Chang, Kuo, Shau ve Hsu (2011), Tayvan'da meydana gelen Chi- Chi depremi sonrası sıvılaşma oluşmuş ve oluşmamış alanlara ait değerler kullanılarak sıvılaşma durumunu değerlendirmek için kullanılan SPT(N) kaynaklı analizleri incelemişlerdir.

Bhattacharya, Hyodo, Goda, Tazoh ve Taylor (2011), araştırmalarında Tokyo Körfezi bölgesinde fay hattını ve sismik hareketleri inceleyip dolgu sahalarındaki sıvılaşma etkilerini değerlendirmişlerdir. Dolgu sahalarında alüvyon alanlarda ve ıslah edilmiş zemin profillerinde sıvılaşmanın etkisi ciddi olarak gözlemlenmiştir. Dolgu sahalarında sıvılaşma tabanlı hasarların derecesi dolgu yaşına, dolgu tipine ve kullanılan zemin iyileştirme yöntemine bağlı olduğu belirtilmiştir.

Kolat, Ulusay ve Suzen (2011), araştırmalarında amaçlarının yerleşim alanlarının yerleşime uygun olup olmadığına ilişkin jeoteknik bir mikro bölgeleme analizi yapmışlardır. Bursa ilinde Yenişehir ilçesinde sismik açıdan aktif bir alanda kuvaterner alüvyon zeminlerin özellikleri ve dinamik davranışları irdelenmiştir. Iwasaki vd. (1982) tarafından önerilen yöntemle hesaplanıp sıvılaşma şiddet haritası hazırlanmıştır.

Sönmezer, Çeliker ve Kılınç (2012), çalışmalarında Kırklareli Bahçelievler Fabrikalar mahallesinde jeolojik zemin etüt çalışmaları yapıp 21 adet sondaj verisi elde edilmiştir. Sıvılaşma potansiyeli CBS tabanlı YASS ve muhtemel sıvılaşma haritaları oluşturulmuştur. YASS 2m-4m arasında değişiklik gösterdiği sahalardan olan Bahçelievler ve fabrikalar mahallesinde oluşabilecek deprem sonucunda zemin taşıma gücünün azalacağı belirlenmiştir.

Dixit, Deweikar ve Jangid (2012), çalışmalarında $M_w=6.5$ deprem büyüklüğü, iki farklı PGA ivme değeri için 475 ve 2475 yıllık tekrarlama periyotları için sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı irdelenmiştir. Mumbai şehrinin sıvılaşma analizini değerlendirmek için Seed ve Idriss (1971) tarafından önerilen SPT(N) darbe sayısına bağlı olarak hesaplama yapılmıştır. $M_w=6.5$ deprem büyüklüğü için çalışma alanında sıvılaşma durumunu gösterir haritalar hazırlanmıştır.

Habibullah, Pokhrel, Kuwano ve Tachibana (2012), çalışmalarında yoğun deprem bölgesi olan ve aynı zamanda deprem sonucu fazla hasarın olduğu Japonya'nın Sate Bölgesi değerlendirilmiştir. Bu bölgede sıvılaşma değerlendirmeleri yapılmış olup CBS tabanlı sıvılaşma potansiyeli irdelenmiştir. 10-50 m aralığındaki farklı derinliklerden elde edilen veriler

ve laboratuvar sonuçları kullanılmıştır. 50 adet sondaj verisi değerlendirilmiş; SPT(N), YASS ve tane büyüklüğü dağılımı kullanılarak çalışma alanı potansiyel sıvılaşma durumunu gösterir haritalar üretilmiştir.

Sharma ve Hazarika (2013), Guwahati (Hindistan) şehri için $M_w = 7.5$ deprem büyüklüğünde sıvılaşma durumunu değerlendirmek amacıyla 200 adet sondaj logu incelenmiştir. Çalışma alanının sıvılaşma durumunun hesabı için Seed ve Idriss (1971), Seed vd. (1983) ve Boulanger ve Idriss (2004) prosedürleri dikkate alınıp hesap sonuçları her bir yöntem için değerlendirilmiş, kıyaslanmıştır.

Akın, Özvan ve Topal (2013), Van Gölü'nün doğu kıyısında 2011 yılında meydana gelen $M_w = 7.2$ büyüklüğündeki deprem sonrası etkilenen araştırma sahasında, sıvılaşma ve yanal yayılma oluşumlarının incelenmesini destekleyen çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bölgenin en büyük akarsularından biri olan Karasu Nehri'nin setlerinde, sıvılaşma kaynaklı kum kaynamaları ve yanal yayılmalar gözlemlenmiş, zemine ait veriler değerlendirilmiştir. İncelenen deney verileri sonucunda zemin sınıfının siltli kum olduğu tespit edilmiş, LPI ve LSI yöntemleri dikkate alınarak potansiyel sıvılaşma durumu değerlendirilmiştir. Örtü zemin kalınlığının sıvılaşma olayı üzerindeki etkisinin var olduğunu belirtmişlerdir.

Aydan, Ulusay ve Kumsar (2013), 2011 yılında Van'da meydana gelen Edremit ve Erciş depremleri hakkında sıvılaşma durumu ve sıvılaşma olayı sonrasında zeminde meydana gelen deformasyonlar irdelenmiştir.

Huang ve Yu (2013), çalışmalarında 21.yy başlangıç zamanlarında meydana gelen 12 farklı deprem verileri incelenerek sıvılaşma ve sıvılaşmaya dayalı hasarları değerlendirmişlerdir.

Duman ve İkizler (2014), KAF hattına yakın olan, dağlık ve sismik hareketlerin oldukça aktif olduğu Erzincan ilinin sıvılaşma risk durumunun belirlenmesi üzerine çalışmalar yapmışlardır. Yapılan analizlerin hesapları SPT tabanlı olup Seed ve Idriss (1971) yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. Sönmez ve Gökçeoğlu (2005) prosedürü temel alınarak, sıvılaşma potansiyeli haritaları ile sıvılaşma potansiyel indeks haritaları farklı deprem büyüklükleri ve farklı derinlikler için hazırlanmıştır.

Akın, Akkaya, Özvan ve Şengül (2015), Van Gölü yakınlarında bulunan Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi sahasında, zemine ait etüt çalışmaları jeofizik yöntemler aracılığıyla çalışma alanına ilişkin dinamik zemin parametreleri tespit edilmiştir. Çalışma sahasına ilişkin Pilya-Kuvaterner tortuların proje alanındaki durumlar irdelenerek farklı jeolojik niteliklere sahip çeşitli birimlerin meydana geldiği ve doğru mikro bölgelere çalışma yapmadan evvel litolojik

açından alt birimleri gruplandırmak için jeoteknik çalışmaların (sondaj ve laboratuvar deneyleri) yapılmasını ifade etmişlerdir. Jeoteknik çalışmalar 45 adet sondaj logu ve SPT deneyleri yapılarak tamamlanmıştır. Sıvılaşma durumu hesaplanırken $M_w = 7.2$, PGA değeri 0,4 g alınarak Standart Penetrasyon Testi dikkate alınarak hesaplanmıştır. Farklı araştırmacıların önerdiği yöntemler kullanılarak elde edilen verilerden kaynaklı olarak sıvılaşma haritaları oluşturulmuştur. Sıvılaşma haritaları incelendiğinde çalışma sahasında sıvılaşma risk durumunun çok düşük ya da sıvılaşmaz diye nitelendirilebileceği belirtilmiştir.

Esin ve Ceryan (2015), Balıkesir ili Burhaniye ilçesinin sıvılaşma potansiyelini değerlendirmek için 97 adet sondaj verisi kullanılıp $M_w = 7.2$ deprem senaryosunda ve PGA 0,37 g değeri temel alınarak sıvılaşma potansiyel haritaları, yeraltı su seviyesi, eğim ve SPT(N) değeri dağılım haritaları oluşturulmuştur.

Papathanassiou, vd. (2015), Kuzey İtalya’da meydana gelen Emilia- Romagna depremleri sonrasında iki farklı alan için potansiyel sıvılaşma riski değerlendirilmiş, LSN ve LPI indeksleri kullanılarak elde edilen sonuçlar irdelenmiş ve inceleme sahasında gözlemlenen sıvılaşmaya dayalı deformasyonlar ile kıyaslanmıştır.

Rahman, Siddiqua ve Kamal (2015), Dakka şehri için LPI değerleri, 53 adet sondaj logu, farklı jeolojik birimleri incelenerek potansiyel sıvılaşma tehlike haritaları hazırlanmıştır. Çalışma sahasına ait analizlerde LPI değeri, çok düşük ve çok yüksek riski olan 0-19,33 değerleri arasında değişmektedir. Dakka şehri için $M_w = 7$ deprem senaryosu için sıvılaşma analiz haritaları hazırlanmıştır.

Sönmez, Dağdelenler, Özcan ve Ercanoğlu (2015), 1999 yılında Tayvan’da meydana gelen Chi Chi depreminden sonra sıvılaşma meydana gelen ve sıvılaşmanın oluşmadığı alanlarda CPT deney verileriyle Robertson ve Wride (1998) tarafından önerilen prosedürde kullanılan q_{c1N} (uç direnç) ve CSR (tekrarlı gerilim oranı) girdi değerlerini göz önünde bulundurarak değerlendirme yapmışlardır. Araştırmalarında, sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısının hesaplanmasında kullanılmak üzere ANN adlı yapay sinir ağı modellemesi kullanılarak CPT Kaynaklı sıvılaşma durumunu değerlendirmek için abak oluşturulmuştur.

Ilgaç (2015), araştırmasında sıvılaşmaya yönelik farklı veri tabanlarını ve sunulan yöntemleri kıyaslayarak çalışmalarda olan farklılıkların sebepleri üzerinde incelemeler yapılmıştır. SPT verileri dikkate alınarak zemin sıvılaşmasını etkileyen yöntemler üzerinde yapılan incelemelerde; sıvılaşma meydana gelecek derinliklerin, SPT(N) ve CSR değerlerini hesaplamada kullanılan değişkenlerin ve gerilim azaltma indeksi düzeltme değeri ile örtü yük düzeltme değerlerinin çalışmalar yapan araştırmacılar tarafından farklı seçilmesinin, araştırmalarda farklı sonuçların elde edilmesinin asıl sebebi olduğu ifade edilmiştir.

Kang, Louis ve Kuang (2016), Japonya’da Niigata – Chuetsu depreminin merkezine 20 km uzaklıktaki Nagaoka şehrinde potansiyel sıvılaşma analizleri yapılmış LPI değeri kalibre edilerek sıvılaşma risk haritaları incelenmiştir. SPT testleri ile zemin profillerine ait sıvılaşma riskleri “Çin Kriterleri” ve “Bray-Sancio Kriterleri” olmak üzere iki farklı prosedür kullanılarak incelenmiştir.

Kokusho (2016), araştırmasında performansa bağlı tasarım için mühendislik uygulamasını iyileştirmek amacıyla sıvılaşma başlangıcı ve sonrasında zemin yenilmelerinin detaylı şekilde incelenmesi gerektiğini ifade etmişlerdir. 1964 yılında Niigata’da meydana gelen deprem sonrası incelenen sıvılaşma bölgelerinde ince tane içeren kumlarında temiz kumlar kadar sıvılaştığını, yaş ince tane içeriği çakıl içeriği başlangıç makaslama gerilmesi gibi durumların sıvılaşma yönünden ayrıntılı olarak irdelenmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Çalışmada sıvılaşma durumu analiz edilirken saha ve laboratuvar deneyleri incelenerek elde edilen analizlerle kıyaslanmıştır.

Shahien (2016), çalışmasında SPT(N) değeri ile ince tane içeriği düzeltme katsayılarını inceleyerek, ince tane içeriği ile alakalı yeni bir düzeltme faktörü açıklanmıştır. %35’ten daha büyük aralıkta düzeltme faktörleri geçerli kılınmış olup, çalışma sonucunda araştırmacı ince tane içeriğinin artması, SPT(N) değerinin azalmasına yol açtığı belirtilmiştir.

Sana ve Nath (2016), Kaşmir Vadisi alüvyonlarına ait sıvılaşma durumunu incelemek için 64 adet SPT verisi incelenmiş potansiyel sıvılaşma indeksi (LPI) prosedürü dikkate alınarak inceleme sahasına ait potansiyel sıvılaşma durumunu gösterir haritalar hazırlanmıştır.

Dipova ve Cangir (2017), Antalya Lara’da sıvılaşma durumunu incelemek için 20 m derinliğinde 20 adet sondaj logu ve SPT verileri derlenmiştir. Elde edilen veriler incelenerek zeminin fiziksel ve kimyasal özellikleri laboratuvar deneyleri ile belirlenmiş, sıvılaşma olasılığı SPT ve CPT deneyleri kullanılarak ifade edilmiştir. CBS kullanılarak sıvılaşma potansiyellerini gösterir haritalar hazırlanmıştır.

Gautam, Magistris ve Fabbrocino (2017), 2015 yılında Nepal’de meydana gelen $M_w=7$ büyüklüğündeki Gorkha depremi nedeniyle zeminde meydana gelen sıvılaşma durumunun analizi yapılmıştır. Çalışma sahasında 12 bölgede kum kaymaları ve yanal yayılma kaynaklı zemin hasarlarının olduğu gözlemlenmiştir. SPT kaynaklı sıvılaşma analizleri ile yüzey bulguları karşılaştırılıp örtüştüğü ifade edilmiştir.

Yang, Chen, Sun, Chen ve Wang (2017), araştırmalarında Christchurch (Yeni Zelanda)’nın güneybatısında sıvılaşma oluşmamış üç farklı lokasyon için siltli zeminlerin, sismik hareketler altında etkisi yorumlanmıştır. Doğal siltli zemin örnekleri için laboratuvar

elde edilen değerler ile CPT'ye dayalı sıvılaşma durumu kıyaslanmıştır. Siltli zeminlerin tekrar eden yüklerin etkisiyle tepkilerinin değerlendirilmesinin, sıvılaşma potansiyel analizlerinde sayısal modelleri ölçüm için öngörüler sunmuştur.

Akkaya, Özvan, Övün ve Akın (2017), Van ili Erciş ilçesinde farklı deprem senaryolarında sıvılaşma durumunu analiz etmek için V_s kayma dalgası hızları kullanılmış olup, sığ derinliklerin incelenmesinde MASW prosedürü kullanılmıştır. 21 nokta için sismik kırılma değerleri ve yüzey dalgası ölçülmüştür. Erciş'te meydana gelen depremde inceleme sahasında yanal yayılma ve zemin deformasyonlarının, sıvılaşma analizleri yapılan sınırlarla uyumlu olduğu görülmüştür. İnceleme sahasının batısında diğer kesimlere nazaran daha fazla sıvılaşma görülmüştür. İnceleme sahasında yer alan YASS ve zemin sıkılığının sıvılaşma potansiyelini etkilediği ifade edilmiştir.

Bilge ve Çetin (2017), zemine ait doğal su içeriği ve Atterberg limitleri ile silt ve kil içeren birimlerin sıvılaşma durumu incelemiş olup, örselenmiş silt, kil karışımını zemin örnekleri üzerinde laboratuvarında yapılan tekrarlı yükleme deney verileri ile olasılıksal prosedürlere bağlı yeni yöntemler ortaya koyulmuştur.

Zeng, vd. (2017), Çin'de meydana gelen Wenchuan depremi esnasında sıvılaşmalar görülmüş olup, 502 adet bölgede 216 adet sıvılaşan alan için değerlendirmeler yapılmıştır. Depremiın genel durumu ortaya konularak üç ana başlık altında drenaj sistemine yönelerek alüvyon sahalardaki sıvılaşma sonrasında meydana gelen durumlar irdelenmiştir. Sıvılaşma gözlemlenen alanın %58'i Beichuan fayına 20-35 km yakınlıkta olduğu ifade edilmiştir.

Kayabaşı ve Gökçeoğlu (2018), Eskişehir ili Tepebaşı ilçesindeki sıvılaşma durumunu farklı deprem büyüklüğü olasılıklarına göre SPT ve jeofizik prosedürlere dayalı araştırmalar yapmışlardır. MPT olarak ifade edilen Menard Presiyometre deneyi kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler ile inceleme sahasında gözlemlenen durumlar kıyaslamalar yapılmıştır. Yatay ivme değerinin artış göstermesi ile sıvılaşan tabakanın kalınlığında artacağı ortaya konulmuştur. SPT ve jeofizik prosedür kaynaklı sıvılaşma analiz metotlarından elde edilen verilerin farklı olduğu fakat genel SPT bulgularına dayalı analizlerin ikincil dalga hızı (V_s) yöntemi ile örtüştüğü ifade edilmiştir.

Rashidian ve Gillins (2018), araştırmalarında Yeni Zelanda'da meydana gelen Christchurch depremine ait en büyük yer ivmesini kullanarak, bölgedeki 1200 adetten fazla CPT bulgusundan yararlanılarak potansiyel sıvılaşma indeksi için yeni bir kuram elde edilmiştir. Sonrasında bu değerler baz alınarak sıvılaşmaya dayalı tehlike haritaları oluşturulmuştur.

Tunusluoğlu ve Karaca (2018), Çanakkale ili için jeolojik ve jeoteknik veriler ile farklı iki olasılıksal depremin durumu kullanılarak alüvyon zeminlerin sıvılaşma potansiyeli irdelenmiştir. YASS'ı belirlemek için 3000 m derinlikte 151 adet sondaj çalışması yapılmıştır. Sıvılaşma potansiyeli, Seed ve Idriss (1971)' e ait prosedüre göre SPT'ye dayalı yöntem ile değerlendirilip, Youd ve Idriss (2001)'de ayrıca dikkate alınmıştır. Çanakkale yerleşim alanında sıvılaşma potansiyeli Sönmez ve Gökçeoğlu (2005) ve Sönmez (2003) tarafından önerilen prosedürler göz önünde bulundurularak irdelenmiş olup çalışma sahasına özgü farklı ivmeler için sıvılaşma şiddeti haritaları hazırlanmıştır. Çalışma alanında alüvyon sahalarda ivme değerleri açısından beş farklı sınıfa ayrılmıştır. Ve çalışma sonucunda alüvyon sahaların sıvılaşmaya meyilli olduğu açıklanmıştır.

Karakan, Tanrinian ve Sezer (2019), araştırmasında tekrar eden yükler etkisinde siltlerin sıvılaşma öncesi ve sonrası hacimsel değişimleri değerlendirilmiştir. Silt içeriğinin sıvılaşma mukavemetini gözlemlemek için, laboratuvar da üç eksenli deneyler yapılmış ve deney sonucunda hacimsel deformasyonların nitelikleri irdelenmiştir. Siltli katmanların sıvılaşma durumu ve hacimsel değişimlerinin durumu yorumlanmıştır.

Akın (2019), Kuzey Anadolu Fay hattına olan yakınlığı il Düzce ve çevresinde siltli ve kumlu zemine sahip inceleme sahasının yeraltı su seviyesi konumundan yola çıkılarak sıvılaşma durumu irdelenmiştir. Sıvılaşma sonrası zemin deformasyonları ve zeminin durumu araştırılmıştır. LPI ve LSI değerleri dikkate alınarak sıvılaşma potansiyeli değerlendirilmiştir. Farklı deprem büyüklükleri esas alınarak CBS kullanılarak sıvılaşma risk haritaları oluşturulmuş ve elde edilen bulgular değerlendirilmiştir.

Gouxing, Mengyun ve Khoshnevisan (2019), sıvılaşma analizlerinde SPT, CPT ve V_s (kayma dalgası) verilerinin tamamının CRR değerini elde etmek için kullanılsa da, V_s kayma dalgası hızına bağlı olan prosedürün SPT ve CPT kullanılmayan inceleme sahalarında kolayca veri elde edilebileceğini ifade etmişlerdir. Farklı araştırmalardan elde edilen bilgileri kullanarak bu verilerin 49 deprem içeren 618 vaka geçmişini kapsamaktadır. V_s kayma dalgası hızı kaynaklı sıvılaşmayı etkileyen bağlantı ve baside indirgenmiş olasılıksal sürümü geliştirmişlerdir. Çalışmalarında sıvılaşma bölgesini sınıflandırmışlardır. Bu sınıflandırma sırasıyla, sıvılaşma olmayan, geçiş ve sıvılaşma sahası olup, sıvılaşma ihtimalleri $\leq \% 9$, $\% 9 - \% 95$ ve $\geq \% 95$ olarak ifade edilmiştir.

Dağdeviren (2019), deprem sonucu meydana gelen hasarların bazı durumlarda sıvılaşma kaynaklı olduğunu, sıvılaşmayı etkileyen faktörler dikkate alınarak sıvılaşma hassasiyetinin belirlenmesi gerektiğini ve bu durumlara yönelik önlem alınması vurgulanmıştır. Sıvılaşma potansiyelini belirlemek için gerilmeye dayalı sıvılaşma analizi TBDY'ye eklenmiş

bu prosedürün kullanımında deprem verileri, jeoteknik özellikler, YASS ve deney yapımında kullanılan ekipmanlara ait birçok veriye gerek duyulmuştur. Çalışmalarında TBDY'ye göre tanımlanan SPT kaynaklı sıvılaşma analizlerinin kolaylıkla yapılabilmesi için grafikler hazırlanmıştır. Bunun yanı sıra sıvılaşma potansiyeli mevcut olan zeminlerin iyileştirilmesi için zemin içerisinde kolon teşkili prosedüründe kullanılacak kolonların dayanımını ve yerleşim aralığı gibi verileri belirlemek adına kartlar geliştirilmiştir.

Mert, Arel ve Önalp (2020), 1999 yılında Adapazarı'nda meydana gelen deprem verileri kullanılarak sıvılaşma durumunun irdelenmesi için bir regresyon modeli ortaya koyulmuştur. $q_{c1N,cs}$ değeri ve deprem büyüklüğü oranlanarak elde edilen P_L olasılıksal sıvılaşma durumu regresyon modeli, CPT verileri kullanılarak hesaplanmıştır. Çalışmalarında farklı derinliklerin sıvılaşma durumu üzerindeki etkisi incelenmek istenerek üç farklı derinlik katmanı oluşturulmuştur. Her bir derinlik aralığı için ilçelerdeki sıvılaşma riskleri, Adapazarı'nda meydana gelen sıvılaşan ve sıvılaşma görülmeyen sahalarda içerisinde kıyaslamalar yapılmıştır.

Yürekli ve Karaca (2020), yaşanabilir şehirlerin geoteknik ve deprem risk derecesi göz önünde bulundurularak planlamasının yapılması gerektiğini ifade ederek bu alanlara ait sıvılaşma risk durumlarını gösterir haritaların önemini vurgulamışlardır. Çalışmalarında yer altı su seviyesi yüzeye yakın olan alüvyon sahada yerleşim gösteren Aydın ili Nazilli ilçesinin sıvılaşma durumu irdelemek için 110 adet sondaj verisi ve zeminlere ait jeoteknik özellikler incelenmiştir. Çalışmanın sıvılaşma risk durumu belirlenirken SPT verileri kullanılmış ve LI potansiyel sıvılaşma indeksi hesaplanmıştır. Bu verilerin CBS ortamında sıvılaşma indeksine bağlı haritalar hazırlanmıştır. Elde edilen verilere göre çalışma sahasının çoğu yüksek sıvılaşma riskine sahip olduğu ifade edilmiştir.

Kayabalı, Selçuk ve Beyaz (2020), çalışmalarında enerjiye dayalı sıvılaşma yaklaşımı genel çerçevede ele alınmıştır. Uygulanan prosedür de, zemin sıvılaşması için şekil değiştirme enerjisinin deprem esnasında zemine uygulanan şekil değiştirme enerjisi ile kıyaslanmasını içerdiği belirtilmiştir. SPT tabanlı veriler kullanılarak araştırma yapılmıştır. Çalışmalarında enerji bazlı yöntemde PGA yer ivmesinin dikkate alındığı gerilmelerden kaynaklı yaklaşımın aksine sismolojik değişkenlere bağlı sıvılaşma risk durumunu değerlendirmede etkin olduğu ifade edilmiştir.

Timur ve Sarı (2020), 1971 yılına kadar sıvılaşma riskinin hesaplanmasında kullanılan SPT deney verilerinin kullanımının aksine CPT yöntemi, Becker penetrasyon yöntemi ve S dalgası hızı ölçümlerindeki gelişmelerden sonra önemini yitirdiği ifade edilmiştir. S dalgası hızı ölçümleri çakıllı ve konsolide olmayan zeminlerde sıvılaşma durumunun araştırılması için

uygun bir yöntem olduğu belirtilmiştir. Zeminin sıvılaşma direnci ve taşıma kapasitesini belirlemek adına S dalgasına ait değerler kullanılmış sonuçları da kıyaslanmıştır.

Yaran ve Özden (2020), Marmara depreminde sonrasında Kocaeli ili Derince ilçesinde kıyı liman yapılarından birisi olan Derince Limanı'nda geriye dönük çalışmalar yapılmış sıvılaşma kaynaklı hasar gören limanda rıhtımın sismik hareketler sonucu davranışı dinamik sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak irdelenmiştir. Çalışmalarında deprem davranışının taban kayasında olduğu ifade edilmiştir. KAF kaynaklı üç deprem etkisinde yapılan hesaplar rıhtım duvarı arkasındaki sıvılaşma oluşabilen alanda geri dolgu tepkisinin zemin - yapı etkileşimi ve deprem frekansı ile beraber yorumlanmasının önemi vurgulanmıştır.

Erdoğan, Tanrıman, Sezer ve Karakan (2020), çalışmalarında sıvılaşmanın en basit tabirle boşluk suyu basıncının aniden artmasıyla bunun sonucunda da aşırı zemin deformasyonlarıyla, zemin üzerinde veya gömülü yapılarda ciddi hasarlara neden olan kavram olarak nitelendirilmiştir. Kümeleme algoritmalar yardımıyla bu çalışmada sıvılaşma hassasiyetinin irdelenmesi için alternatif bir yaklaşım hedeflenmiştir. Sıvılaşma sonrasında hacimce meydana gelen değişimler de dâhil olmak üzere plastik olmayan bir silt zemin üzerindeki 54 adet üç eksenli test sonuçları, test sonrası sıvılaşma durumunun irdelenmesi ve sınıflandırılması için kullanılmıştır.

Uyanık (2020), çalışmasında 22 adet depremden toplanan 315 adet veri kullanılmış sıvılaşma analiz yöntemleri arasındaki sonuçlar karşılaştırılmıştır. Söz konusu yöntem kayma direnci oranına bağlı olarak geliştirilmiştir. Kayma direnci bağıntısı çevrimsel gerilme oranı ve zemin kalınlığı parametreleri oranlanarak elde edilmiştir. Bu yöntemle göre sıvılaşan bölgelerden elde edilen verilerin sıvılaşma risk derecesinden %100 güvenilirlik beklenirken sıvılaşma görülmeyen sahalardan elde edilen sonuçlara göre %66 oranında güvenilir olduğu düşünülmektedir.

Bonab, Asadiyan, Tohidvand ve Mahmudi (2021), İran'ın kuzeybatısında bulunan Tebriz şehri sismik hareketlerinin aktif olduğu bir bölge olup, deprem tarihi incelendiğinde en az 6 büyüklüğünde depremlerin tekrar ettiği ifade edilmiştir. Bu sebeple sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilip sıvılaşma tehlike haritalarının hazırlanması Tebriz'de meydana gelebilecek depremlere karşı önlem alınması gerektiğinin önemini vurgulanmaktadır. Çalışmalarında SPT verileri kullanılarak Tebriz'in sıvılaşma risk durumu irdelenmiştir. Bu çalışmada incelenen bazı yerleşim yerlerinin sıvılaşabilir alanda olduğu inşa edildiği bu yüzden şehir yetkililerinin önlem alması gerektiği belirtilmiştir.

Sünnetçi ve Ersoy (2021), çalışmalarında Samsun ili Bafra ilçesi Sahilkent yöresindeki sıvılaşma potansiyeli CPT verileri kullanılarak irdelenmiştir. Bafra ilçesindeki 15 m

derinliğinde 20 adet sondaja ait veriler, örselenmiş ve örselenmemiş numunelerle laboratuvar deneyleri incelenmiştir. Farklı derinliklerde bazı sahalarda sıvılaşma riskinin olduğu belirlenmiş ve detaylı bir şekilde araştırma yapılabilmesi için 5 adet sondaj kuyusu yakınında 15 metrelik kuyuda CPT deneyi yapılmıştır. 7.2 büyüklüğünde deprem senaryosunda sıvılaşma durumu irdelenmiştir. Alüvyon zeminlerin ince tanelerinin fazla olması mevcut kum ve silt oranlarının ise çok sıkı ince taneli zemin tabakaları arasında bulunmasının, zeminin sıvılaşmaya karşı dayanımını artırdığı ifade edilmiştir.

Selçukhan ve Ekinci (2021), çalışmalarında yapıların uzun süre ayakta kalması için eski çağlardan beri uygulanan zemin iyileştirme metotları artan nüfus karşısında insanların yeni yerleşim yerlerine talebinin arttığını yapılaşma için elverişli zeminlerin bulunamadığını ifade etmişlerdir. Elverişsiz olan bu zeminlerde oturma, şişme, sıvılaşma, taşıma kapasitesi gibi problemlerin var olduğu belirtilmiştir. Bu problemlerin ortadan kalkması için gelişen teknolojinin olanaklarından söz edilmektedir. Sıvılaşmaya yönelik dinamik kompaksiyon, vibro kompaksiyon (flatasyon), kum kompaksiyon kazıklar, katkı maddeleri ile karıştırma, jet harç enjeksiyonu gibi yöntemlerin sıvılaşma riskini ve geçirimliliğini azalttığı belirtilmiştir.

Beyaz vd.(2021), çalışmalarında kohezyonsuz zeminlerin sıvılaşma risklerinin SPT, CPT, üç eksenli dinamik kesme, burulmalı kesme, rezonant kolon, bender eleman gibi arazi ve laboratuvar deneyleri ile ilişkili olduğu ifade edilmiştir. Kumlu zeminlerin sıvılaşma durumunun tahmininde enerji kavramları son zamanlarda önem kazanmış bu ifadeyi destekleyen veri olarak zeminlerin rölatif sıkılığı ve efektif gerilme değerleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda bu değerler dikkate alınarak kumların sıvılaşması durumu incelenmiş ince taneli deniz kumuna etkidiği ortaya konulmuştur. Kesme birim deformasyonlarının artması sıvılaşma riskinin %3 oranda azalttığı ifade edilmiştir. Rölatif sıkılıktaki artış kumun kesme direncini arttırmakla birlikte sıvılaşmanın gecikmesine, devir sayısının ise artmasına sebep olmuştur.

Gücek ve Zorluer (2021), depremlerin sebep olduğu yıkımlar can, mal, maddi ve manevi tüm kayıpları engellemelerin mümkün olmadığını fakat deprem öncesi oluşabilecek yıkımlara karşı hasarları en aza indirmenin mümkün olduğu ifade edilmiştir. Deprem kuvvetleri etkisinde tekrarlı kayma gerilmelerinde boşluk suyunun hızlıca artmasına bağlı olarak doygun silt, kil ve kum oranı az olan zeminlerde efektif gerilmeye bağlı olarak zeminin dayanımının azalarak sıvı gibi davranış göstermesi nedeniyle yapısal olarak hasarlar oluştuğu ifade edilmiştir. Aktif fayların bulunduğu Türkiye'nin tektonik olarak ciddi bir konumunda yer alan Afyonkarahisar ilinin sıvılaşma durumu 11 farklı deprem kaydı ve 124 sondaj verisi kullanılarak yerel zemin değerleri elde edilmiştir. Arazi ve laboratuvar çalışmaları dinamik

analizlerde kullanılmış Deep Soil v6.1 yazılımı ile dinamik davranışa etkisi incelenmiştir. TBDY göre sıvılaşma durumu mevcut olan zeminlerde zaman tanım alanlarında bir boyutlu doğrusal olmayan analiz yöntemi tercih edilmiştir. Bu alışma sonucunda analizler değerlendirilerek risk haritaları oluşturulmuştur. Mevcut inşa edilen yapıların ve planlanan yapıların temel zeminlerinin dinamik davranışlarının hesaplanması hedeflenmiştir.



İKİNCİ BÖLÜM

Kuramsal Temeller

Deprem

Üzerinde yaşadığımız yerkabuğu yapısal olarak sürekli değişen, hareket eden bir katmandır. Günlük yaşantımızda hızlı ve yavaş olarak gelişen hareketlerin birçoğundan haberdar olamayız. Kıta hareketleri olarak bilinen bu yer değiştirmeler yıllarca devam etmektedir. Fakat insanoğlu tarafından şiddetle hissedilen ve saniyeler içinde değişen yerkabuğu hareketlerini deprem olarak adlandırıyoruz. Dünyanın oluşumundan beri, sismik yönden aktif bölgelerde depremlerin sıralı olarak meydana geldiği ve sonucunda birçok insanın ve yaşam alanının varlığı sona ermektedir.

Depremlerin nasıl ve neden oluştuğunu anlamak için öncelikle yer kürenin içyapısını bilmek gerekir. Dünyamız çekirdek, manto ve yer kabuğu olmak üzere iç içe üç ana katmandan oluşur. Yer içi hakkındaki bilgiler daha çok jeofizik ve sismik yöntemlerle yapılan çalışmalardan elde edilmektedir.

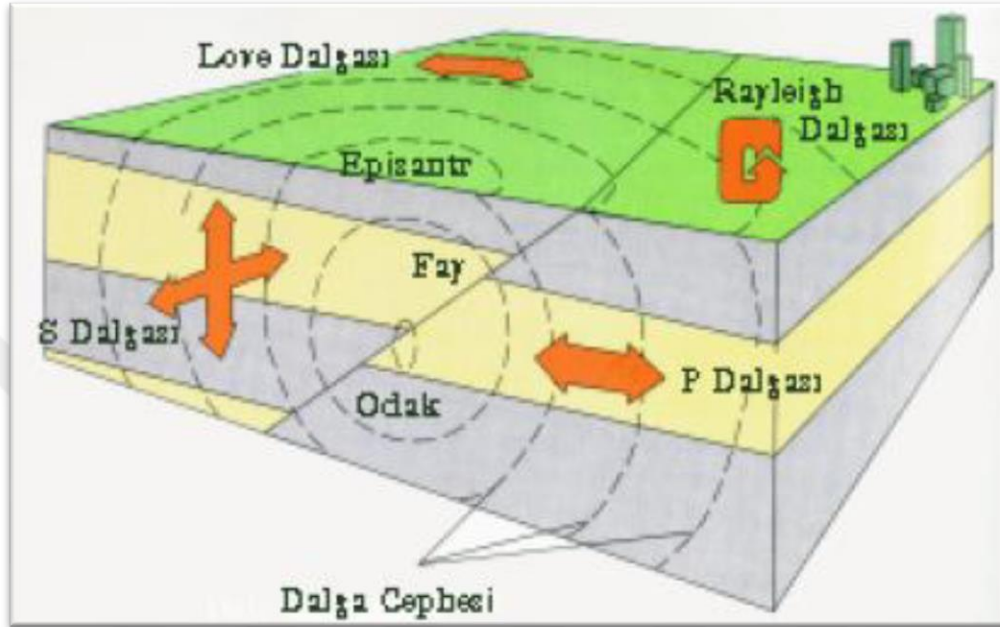
Yeryüzüne bakıldığında sıradağların, volkanların ve deprem üst merkezlerinin gelişigüzel dağılmadığı, bir düzen içerisinde birbiriyle ilişkili olduğunu görmek mümkündür. Genellikle dar zonlar boyunca birbirine paralel olarak uzanan volkanik aktivite ile deprem üst merkezlerinin dağılışı konusunda ortaya atılan varsayımların en çok kabul gören ve bugün artık bilim insanlarının çoğunu tarafından benimsenmiş olanı kıtaların kayma teorisidir. Günümüzde birbirinden binlerce kilometre uzakta olan kıtaların daha önceki dönemlerde yan yana ve hatta bir bütün olduklarını kanıtlayan pek çok ipucu bulunmaktadır.

Yapılan araştırmalar göstermektedir ki bugün litosfer, yani yer kabuğu, 70-100 km kalınlıkta ve rijit özellikte, katı kayalardan oluşan kabuk şeklindeki yaklaşık yedi adet büyük ve pek çok küçük levhacıktan meydana gelmektedir. Bu parçalar, altta bulunan yumuşak özellikli üst manto üzerinde yüzer durumdadır.

Depremlerin birçoğu yer kabuğundaki katmanların birbirleriyle temas halinde oldukları sınır bölgelerinde oluşmaktadır. Levhalar arasında birbirlerini engelleyen mevcut sürtünme

kuvvetleri bulunmaktadır. Sürtünme kuvvetini aşacak gerilmeye sahip olursa bir plaka hareket eder. Çok uzak mesafelere kadar iletilen deprem dalgaları ortaya çıkar (Onur, 2007).

Deprem olduğunda, depremi anlamak ve tarif etmek için deprem parametreleri olarak adlandırdığımız bazı kavramların bilinmesi gerekmektedir. Bu kavramların bilinmesi deprem mühendisliği esaslarındandır.



Şekil 3. Odak noktası, dış merkez ve sismik deprem dalgalarının yayılışı (Onur, 2007, s.25).

Deprem olduğunda sismik dalgalar odak noktasından bütün yönlerde dağılır. İç merkez depremin başladığı yerdir. Deprem odağındaki enerji titreşimleri dalga hareketi olarak yüzeye erişir. Litosferde fay adını verdiğimiz zayıf düzlemler mevcuttur. Plaka hareketleri sebebiyle litosferin değişik bölgelerinde meydana gelen gerilmeler fay hattı boyunca, taşıma gücünü aşacak kadar arttığında, var olan fay hattı boyunca ya da yeni fay düzlemi oluşturacak şekilde kırılır. Kırılma veya kaymanın başladığı noktaya deprem odağı (hiposantr), bu noktanın düşey izdüşümü noktasına ise yüzey merkezi (episantr) denmektedir (Tonaroğlu, 2006).

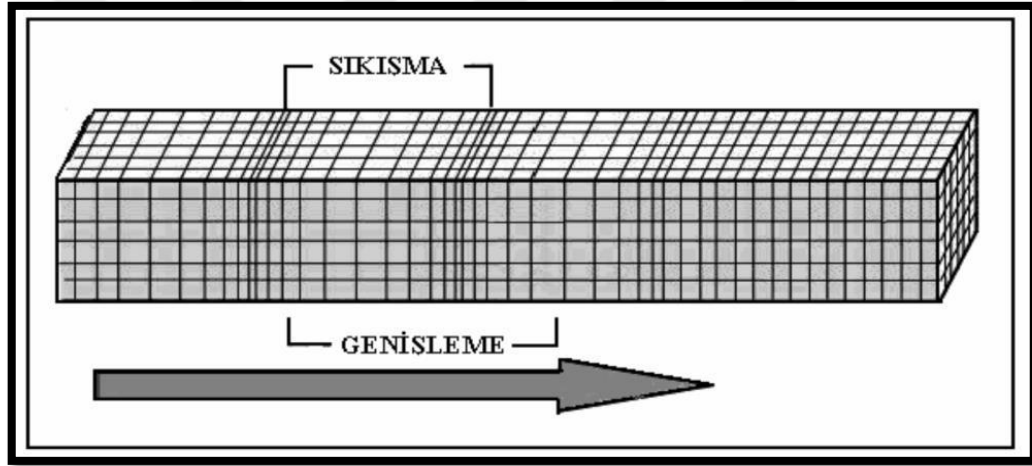
Depremlerin büyük bir kısmı yerin 30 km'lik üst kısmında, tektonik kuvvetlerin bir sonucu olarak uzun bir zaman zarfında biriken enerjinin, kayaçların kırılma direncini aştığı anda, faylanmanın başlangıç kısmındaki ani boşalmayla meydana gelir. Birikmiş gerilmenin tümü deprem anında boşalmayabilir. Gerilmenin bir kısmı, asıl depremi izleyen artçı sarsıntıda boşalabilir. Büyük depremin ardında aynı bölgede meydana gelen daha küçük depremler artçı depremler, belirli büyüklükteki depremin öncesinde aynı zonda meydana gelmiş daha küçük büyüklükteki depremlere de öncü depremler adı verilir.

Depremelerin nasıl oluştuğunu, deprem dalgalarının yeryuvarı içinde ne şekilde yayıldığını, ölçü aletleri ve yöntemlerini, kayıtların değerlendirilmesini ve depremlerin oluşum ve yayılımı ile ilgili diğer konuları inceleyen sismoloji bilim dalı bize birçok bilgi vermektedir.

Deprem dalgaları.

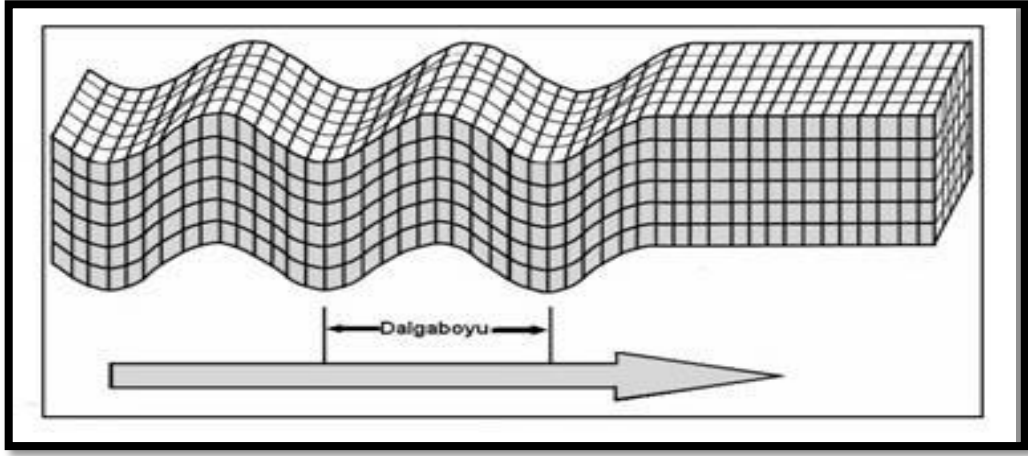
Deprem sırasında açığa çıkan enerji, depremin odak noktasından bütün yönlerde, iki dalga türü biçiminde yayılır. Bu dalgalar; cisim dalgaları ve yüzey dalgalarıdır. Cisim dalgaları P dalgaları (Birincil Dalgalar), S dalgalar (İkincil Dalgalar) olmak üzere ikiye ayrılır. Yüzey dalgaları ise Rayleigh (kayma dalgaları) ve Love dalgaları diye isimlendirilir.

P dalgaları, en hızla yayılan bu yüzden deprem kayıt aletlerinde en önce kaydedilen dalgadır. P dalgalarında, titreşim hareketi dalganın yayılma doğrultusu ile aynıdır. Bu dalgalar katı sıvı ve gazların içinde yol alabilirler. P dalgalarının hızı, dalganın yayıldığı ortamın rijidite, yoğunluk ve elastik özelliklerine göre değişmektedir.



Şekil 4. P dalgası yayılımı (Reynolds, 1997).

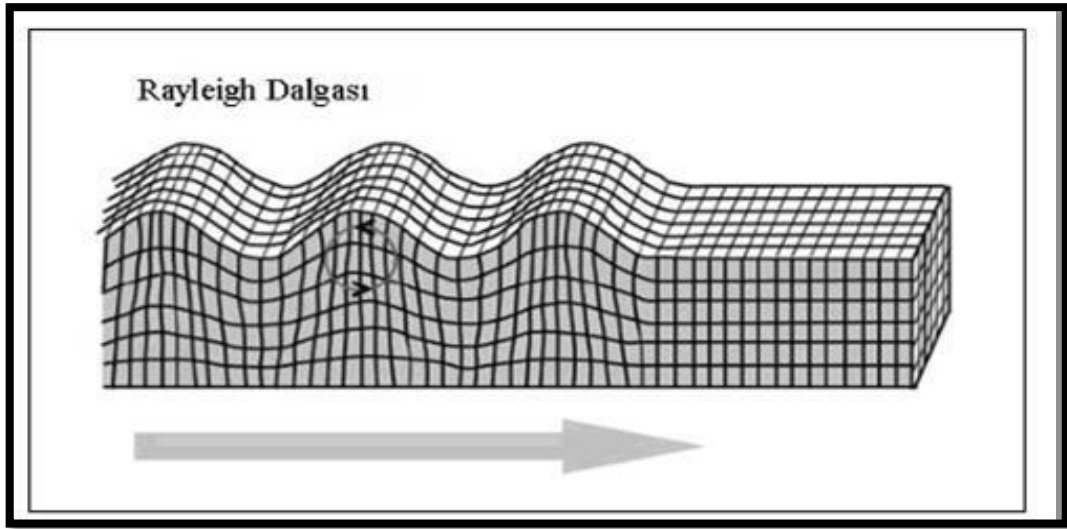
P dalgalarına göre daha yavaş yayılma hızına sahip olan S dalgaları, kayıt aletlerinde ikincil olarak kaydedilip görülen ve titreşim hareketi, dalga yayılma doğrultusuna dik olan dalgalardır. S dalgaları rijiditesi bulunmayan sıvı maddeler içinde oluşamazlar. S dalgaları, kayaları aynı anda hem yukarı hem aşağı hem de iki yana doğru hareket ettirir.



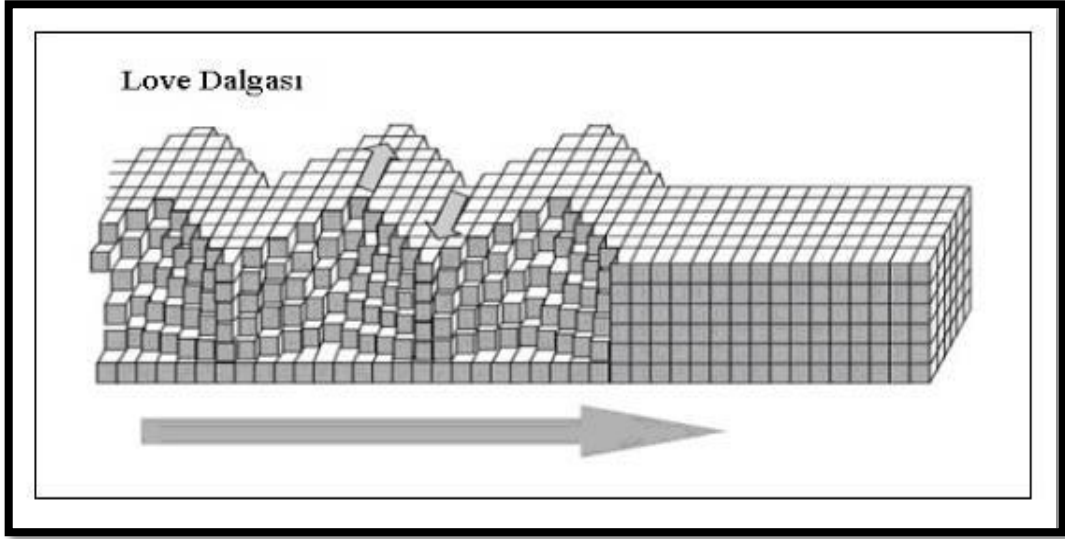
Şekil 5. S dalgası yayılımı (Reynolds, 1997).

Yüzey dalgaları ise Cisim dalgalarına göre daha yavaş olan ve diğer dalgaların yerin içinde yansımasından sonra yüzeye çıkması ve cismin serbest yüzeyi boyunca yayılması ile meydana gelirler ve genlikleri daha büyüktür. Hızları yaklaşık 1.5 km/sn'dir. Ölçüm istasyonlarına en son gelen dalgalardır. Sismogramlarda en şiddetli hareketleri gösterirler. Hızı daha fazla olan Love ve genliği daha büyük olan Rayleigh dalgaları olarak ikiye ayrılırlar. Bazı yüzey dalgaları, kayaları oluşturan tanecikleri, dalgalarda olduğu gibi dairesel hareket ettirir. Yapılarda yıkıma yol açan dalgalar S dalgaları ile Yüzey dalgalarıdır.

P ve S dalgalarının hızları içlerinde hareket ettikleri maddelerin yoğunluk ve esnekliklerinden yararlanılarak belirlenir.



Şekil 6. Rayleigh dalgası yayılımı (Ünüçok, 2007,s.42).



Şekil 7. Love dalgası yayılımı (Ünüçok, 2007,s.43).

Türkiye'nin depremselliği.

Türkiye jeolojik özellikleri, topoğrafik yapısı ve iklimi nedeniyle doğal afetleri sıkça yaşayan ülkelerden birisidir. Doğal afetler sebep oldukları can kaybı yanı sıra ciddi ekonomik kayıplar da oluşturmaktadırlar. Bu konudaki istatistikler incelendiğinde, doğal afetlerin her yıl Türkiye gayri safi milli hasılasının %1'i oranında doğrudan ekonomik kayba yol açtığı görülmektedir. Fakat doğrudan ekonomik kayıpların yanı sıra dolaylı kayıplarda rastlanmaktadır.

Türkiye, depremler başta olmak üzere heyelanlar, su baskınları, çığ ve kaya düşmeleri gibi afetlerle çok yoğun olarak karşı karşıya kalmış ve ciddi kayıplara uğraşmıştır. Bu afetlerin zararları alınacak önlemlerle indirgenebilir. Bu önlemlerden bir tanesi de yapıların deprem bölgeleri haritaları ve afet yönetmeliklerine uygun olarak ve zemin özellikleri de dikkate alınarak inşa edilmesidir.

Türkiye Alp-Himalaya veya Akdeniz Çevresi Deprem Kuşağı olarak isimlendirilen ve her yıl Dünya'da oluşan depremlerin takriben % 20-25'inin meydana geldiği bölgenin en tehlikeli kesiminde yer almaktadır. Jeolojik dönemler, tarihsel dönemler ve güncel dönem deprem izlenimleri incelendiğinde bu ülkede deprem riskinin fazlasıyla yüksek olduğu açıkça görülmektedir.

Türkiye'nin, güneyinde Arap – Afrika Levhaları ile olan sınırı boyunca meydana gelen tektonik hareketler görülmektedir. Bu levhaların sıkıştırması sebebiyle batıya doğru kaçmaya zorlanan Anadolu levhacığının hareketi, batıda Ege levhası engeli ile karşılaştığı için bölgede kuzey-güney yönlü gerilmeler etkisiyle batıda normal faylar oluşmakta ve buna bağlı olarak da

bölge genişlemektedir. Ege graben sistemi kabaca bu mekanizma ile oluşmuş ve yıkıcı depremlere kaynaklık etmektedir.

Ülkemizde oluşan depremlerin çok büyük bir kısmı Anadolu levhacığının çevresindeki levhalarla olan sınır zonlarında oluşmaktadır. Bu zonlar Kuzey Anadolu Fay sistemi, Doğu Anadolu fay sistemi ve Güneydoğu Anadolu bindirme kuşağı ve Ege graben sistemidir.

Türkiye'nin deprem açısından çok tehlikeli bir bölgede bulunduğunu ve çok sık olarak hasar yapan depremlere maruz kaldığını ve bundan sonrada kalacağını, ülkede bulunan tüm yapıların ve bu yapılar içinde bulunan insanların ciddi risk altında bulunduğunu söylemek mümkündür. Depremler engellenemeyeceğine göre toplum olarak depremlerle baş edebilmeyi öğrenmeli, olası bir depreme her an hazırlıklı olmalı ve deprem zararlarını azaltma çalışmaları bilimsel ilkelerden ödün verilmeden kararlı ve eksiksiz bir şekilde, her kademede uygulanmalıdır.

Depremler jeolojik hadiselerdir ve bu durumlara biz insanoğlu sebep olmaktayız. Depremlerin afete dönüşmesinde katmerli hatalar yapılmaktadır. Tasarım ve proje safhasında, gerek yapım aşaması sırasında seçilen malzemelerde gerekse yer tercihi gibi birçok hata rol oynamaktadır.

Bilindiği gibi Türkiye'nin önemli yerleşim sahalarında takriben tamamı, altta aktif faylar tarafından kontrol edilen alüvyon ovalar üzerine oturmuştur. Bu tür yerleşim mekânları yapılaşmada zemin ve deprem açısından oldukça uygunsuzdur. Ne yazık ki aktif faylar üzerine şehirlerin kurulmasına en özgün örnek Kuzey Anadolu Fay hattı üstündeki 18 defa şiddetli deprem yaşayan Erzincan'dır.

Türkiye'de oluşan depremlerde zemin şartlarına bağlı olarak sarsıntı esnasında riskin 2-3 kat arttığı gözlenmekte olup, ilkinde 1967 Mudurnu Depremi ile ilgili yapılmış olan çalışmalarda rastlanmıştır(Kalafatçıoğlu, 1968).

Ardından 1970 Gediz depreminde hasar oluşmamış, inşaatı devam eden Fiat-Tofaş otomobil fabrikası yapılarındaki deformasyonlar ile Ekim 1983 Erzurum- Kars depreminde Otluktepe ve Koyunören köyleri arasındaki hasar farkı zemin-hasar bağlantısına örnek teşkil etmektedir (Ansal ve Erken, 1987).

Türkiye'de yıkıcı etki gösteren depremler devam ettikçe yapılan çalışmaların dünya genelindeki araştırmalara paralel olarak arttığı görülmüştür. Depremin sebep olduğu tekrarlı kayma gerilmelerinin zeminin özellikleriyle ilişkili olarak oldukça farklı hasarlara neden olduğu ve zeminin kayma mukavemetinin azalmasına, gerilme-deformasyon niteliklerinin değişmesine yol açtığı bilinmektedir.

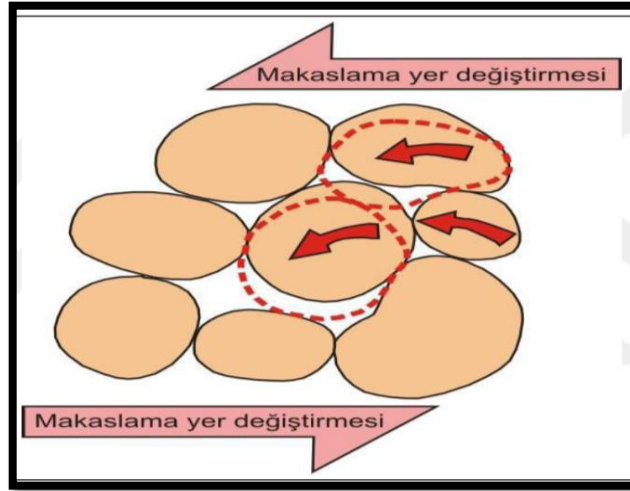
Sıvılaşma

Su tablası altındaki sedimanların dayanımlarını geçici olarak yitirerek katı davranıştan viskoz davranış göstermeleri sıvılaşma olarak tanımlanmaktadır. Bu tür davranış gösteren sedimanlar kil oranı düşük kum ve silt çökelleri; kısmen de ince orta çakıllardır. S dalgaları suya doymuş granüler zeminlerde hareketleri sırasında taneler arasında distorsiyona neden olurlar. Bu ise gevşek sedimanların iskelet yapılarının çökmesine yol açar. Bu çökme, suyun drene edilememesi durumunda taneler arasında boşluk suyu basıncında ani artışlara neden olur. Eğer boşluk suyu basıncı örtü basıncı düzeyine yükselirse granüler malzeme viskoz davranış kazanır ve sıvılaşır. Sıvılaşma durumunda zemin az bir kayma direnci altında deformasyona uğrar. Mühendislik yapılarında önemli hasarlara neden deformasyonlara zemin yenilmesi denir. Zeminin sıvılaşma potansiyeli, taneler arasındaki çimento ya da kil miktarına zeminin gevşeklik derecesine ve suyun drenajının kısıtlanmasına bağlıdır. Sıvılaşmaya bağlı zemin deformasyonu ise malzemenin gevşeklik derecesine sıvılaşabilen tabakanın derinliğine, kalınlığına ve yanal devamlılığına, topoğrafik eğime binalar ya da diğer yapılar tarafından uygulanan yüklerin dağılımına bağlıdır. Sıvılaşma, kumlu ve siltli, suya doymuş güncel sedimanlarda gözlenir. Örneğin, delta sedimanları, akarsu taşkın alanları ve akarsu yataklarındaki alüvyonel malzemeler, rüzgârlar tarafından taşınmış sedimanlar ve gevşek suni dolgularda sıvılaşma tehlikesi yüksektir.

Suya doymuş kumlu ve siltli zeminlerin, depremler sebebiyle meydana gelen kuvvetli yer hareketi tesiriyle taşıma gücünü yitirerek sıvı gibi davranması olayını ifade eder. Deprem olduğunda yüzeye yakın kum tanecikleri arasında denge bozulur ve kumla beraber su yüzeye doğru ilerleyerek zemin yüzeyine çıkmaya başlar. Çoğunlukla, jeolojik anlamda genç ve gevşek çökellerin, özellikle kum ve silt tane boyundaki malzemenin depolandığı ve yeraltı suyunun sık olduğu ortamlar sıvılaşma için uygun ortamlardır. Sıvılaşmaya karşı en duyarlı çökeller, holosen yaşlı (10000 yıldan daha genç) delta, akarsu, taşkın ovası, taraça ve kıyı ortamlarındaki çökeltme süreçleri sonucunda birikmiş sedimanlardır.

Sıvılaşma, yeraltı su tablasının yüzeyden itibaren en fazla 10 metre derinlikte bulunduğu ortamlarda yaygın bir şekilde meydana gelebilmektedir. Ender de olsa bu derinlik 20 m'ye çıkabilmektedir. Zemin sıvılaşması; suya doymuş ve uygun dane boyu dağılımına sahip kumlu seviyelerde meydana gelmektedir. Deprem sırasında daneler birbirine yaklaşmak istemekte, yani sıkışma eğilimi göstermekte, ancak daneler arasında bulunan suyun bölgeyi terk etmesi mümkün olmadığı durumlarda, hacim azalması isteği boşluk suyu basıncının artmasına neden olmakta ve boşluk suyu basıncında meydana gelen bu artış, düşey yönde etkili olan jeolojik

basınca eşit mertebeye ulaştığında efektif gerilmeler sıfırlanmakta, kum direncini tamamen kaybederek sıvı gibi davranmaya başlamaktadır.



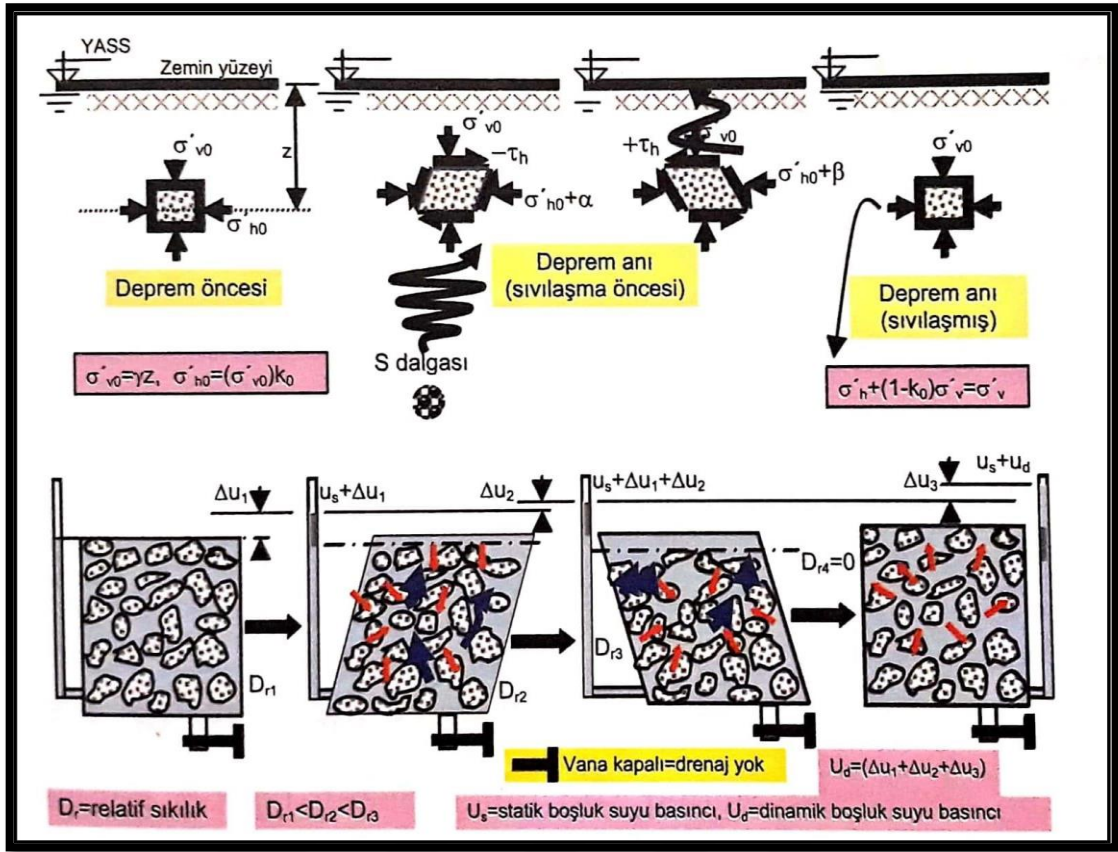
Şekil 8. Depremi neden olduğu makaslama yer değiştirmesiyle zemin taneciklerinde sıvılaşma sürecinin gelişimi (Youd, 1984).

Bu tür olaylar genellikle uniform, suya doymun kalın kum tabakalarında oluşmaktadır. Bu tür olayların incelenmesi sonucu görülmüştür ki, sıvılaşma eğilimindeki kumların granülometrilerinin %10 dane çapının 0.01 ila 0.25 cm arasında olduğu ve uniformluk katsayısının 2 ile 10 arasında değiştiği görülmektedir.



Şekil 9. Taneler arası etki kuvvetleri (Özsoy, 2012, s.56).

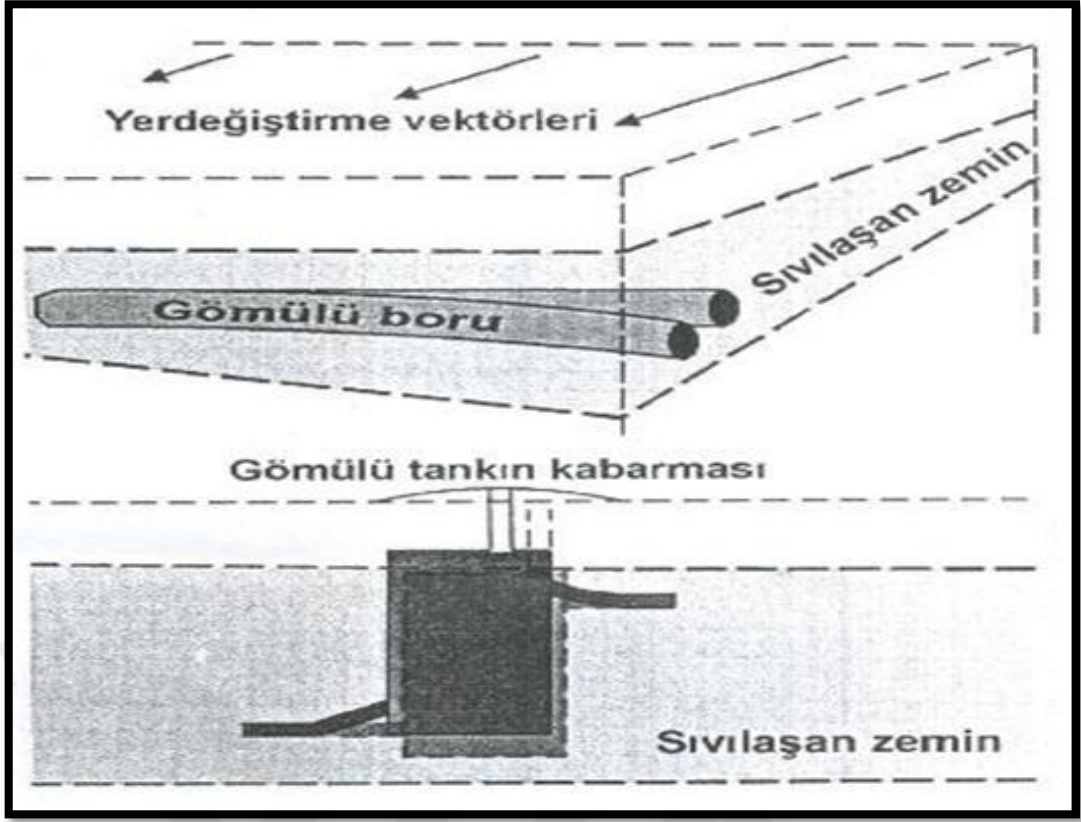
Zemin taneciklerinin deprem öncesi durumu, tanecikleri arası temas kuvvetleri, boşluk suyu basıncının ani artışı sonucu taneler arasındaki temas kuvvetlerinin ortadan kalkması yukarıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 10. Sıvılaşmanın fiziksel süreci (Mollamahmutoğlu, & Babuçcu, 2006, s.65).

Bir zeminin sıvılaşmaya karşı duyarlılığı, zemini oluşturan tanelerin boyutlarına, zemin türüne ve şekline bağlıdır. Hemen hemen benzer boyutta tanelerden oluşmuş zeminlere göre çok daha yüksek bir sıvılaşma riskine sahiptir. Çünkü iyi derecelenmiş zeminlerde iri tanelerin arası küçük boyuttaki tanelerle doldurulduğu için deprem sırasında aşırı gözenek suyu basınçların gelişmesi engellenmekte dolayısıyla sıvılaşma riski azalmaktadır.

Sıvılaşma sonucu kum ile su birlikte hareket ederek zemin sıvı gibi davranmaya başlar ve üzerinde bulunan binalarda yana yatmalar ve devrilmeler meydana gelir. Kanalizasyon, içme suyu, doğalgaz boru hatları gibi altyapı hasarları meydana gelir. Sıvılaşma çoğu kez kum kaymaları veya kum volkanları şeklinde görülür. Sıvılaşmış bölgelerdeki yapılar zemin içerisine gömülme, yan yatmakta veya devrilmektedir. Taşıyıcı sistem hasar görmese dahi genelde bu yapılar kullanılamaz hale gelir.



Şekil 11. Gömülü alt yapı elemanlarında oluşan hasar (Ulusay, 2000).

Sıvılaşma türleri.

Sıvılaşma sonrası meydana gelen hasar çeşitleri incelendiğinde iki tür sıvılaşmadan bahsedebiliriz.

1-Akma türü sıvılaşma

2-Devirsel hareketlilik (mobilité)

Zemin kütlelerinin statik kayma direncinin, sıvılaşmış haldeki kayma direncine oranla çok daha fazla olduğunda oluşan duruma akma sıvılaşması adı verilmektedir (Kramer, 1996). Harekete geçtikten sonra meydana gelen hasarların asıl sebebi kayma gerilmeleridir. Bu kayma gerilmelerinin akma yenilmesi oluşturacak kadar dayanımı azaldığında, zemin kütlelerinin basit bir biçimde dengesiz bir hale geldiği görülmektedir. Zemin kütlelerinin çoğu zaman metrelerce yer değiştirdiğine de rastlanılmaktadır.

Örnek olarak bir zemin üzerine yapılacak yapıya yüklenen ek ağırlık bindirmeleri, deprem davranışları, zemine çakılan kazık gibi fazladan hareket ettirici her an değişebilen yüklemeler zeminin taşıma direncinin bozulmasına neden olmaktadır. Akma sıvılaşması, kısa sürede, ansızın oluşması, geniş alanlara yayılarak deformasyonlara neden olarak aslen daha çok karşılaştığımız devirsel hareketlilik türüne oranla daha yıkıcı etkiye sahiptir.

Yenilmelerin ve hasarların büyük ve yıkıcı olduğu başka bir sıvılaşma çeşidi devirsel hareketliliktir. Statik kayma gerilmesi, akma sıvılaşmasının tersine sıvılaşmamış zemin kütlesinin kayma direncinden küçük olduğunda gerçekleşmektedir. Yenilmenin sebep olduğu hasarlar, deprem davranışı esnasında kademeli olarak oluşur. Devirsel hareketlikle meydana gelen hasarlara hem devirsel hem statik gerilmeler sebep olmaktadır(Uyar, 2006). Su kütlelerine yakın düzlüklerde ve eğim az olan şevlerde oluşan bu deformasyonlar yanal yayılma olarak adlandırılır.

Sıvılaşma olayı göz önüne alındığında, efektif gerilme akma türü sıvılaşmada sıfıra eşitlenmekte, devirsel hareketlilikte ise tamamen ortadan kaybolmamaktadır. Akma türü sıvılaşmaya tam sıvılaşma, devirsel hareketlilik içinse kısmi sıvılaşma ibareleri kullanılabilir.

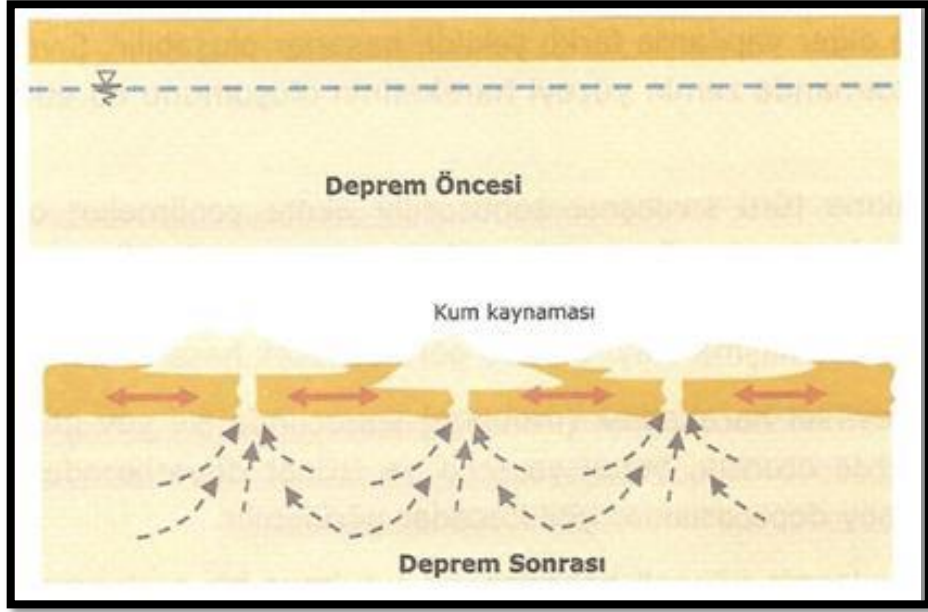
Sıvılaşma Asıllı Hasar Tipleri.

Sıvılaşma sonrası mühendislik yapılarında çeşitli hasarlar oluşabilir. Bu hasar tiplerini altı başlıkta toplanır.

Kum kaynaması.

Deprem tetiklemesi sırasında ve sonrasında boşluk suyu basıncının artışı, hidrolik eğimi riskli bir değere ulaştırabilir. Bu şekilde efektif gerilme sıfır ya da negatiftir. Yüzeye doğru hareket halinde olan su, zemin tanelerini de yüzeye doğru iletir. Yüzeye iletilen tanelerde yeterli enerji mevcut ise, kum kaynamaları meydana gelir.

Boşluk suyu basıncı deprem esnasında meydana gelir ve salınım hareketinin genliğini sıfıra indirmek ihtiyacı, boşluk suyunun yüzeye doğru hareket etmesine sebep olur. Bu hareket zemine yukarı yönde tesir eden kuvvetler oluşturmaktadır. Kuvvetlerin suyla birlikte yüzeye doğru ilerlemesine ve kum konileri oluşmasına neden olur. Kum kaynaması çoğunlukla bir doğrultu boyunca oluşur. Çatlak ve yarık mevcut olan zeminlerde görülür ve genellikle çökme gibi hasarlara sebep olur.



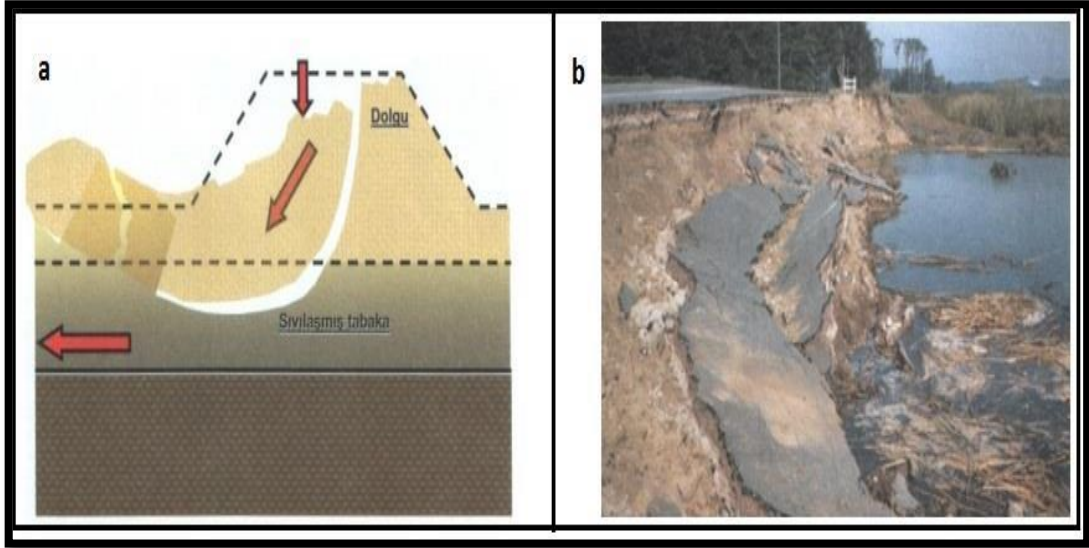
Şekil 12. Kum kaynaması oluşma biçimi (Mollamahmutoğlu, & Babuçcu, 2006, s.60).



Şekil 13. Kum kaynaması 2000 yılı Tottori depremi (Mollamahmutoğlu, & Babuçcu, 2006, s.62).

Akma göçmesi.

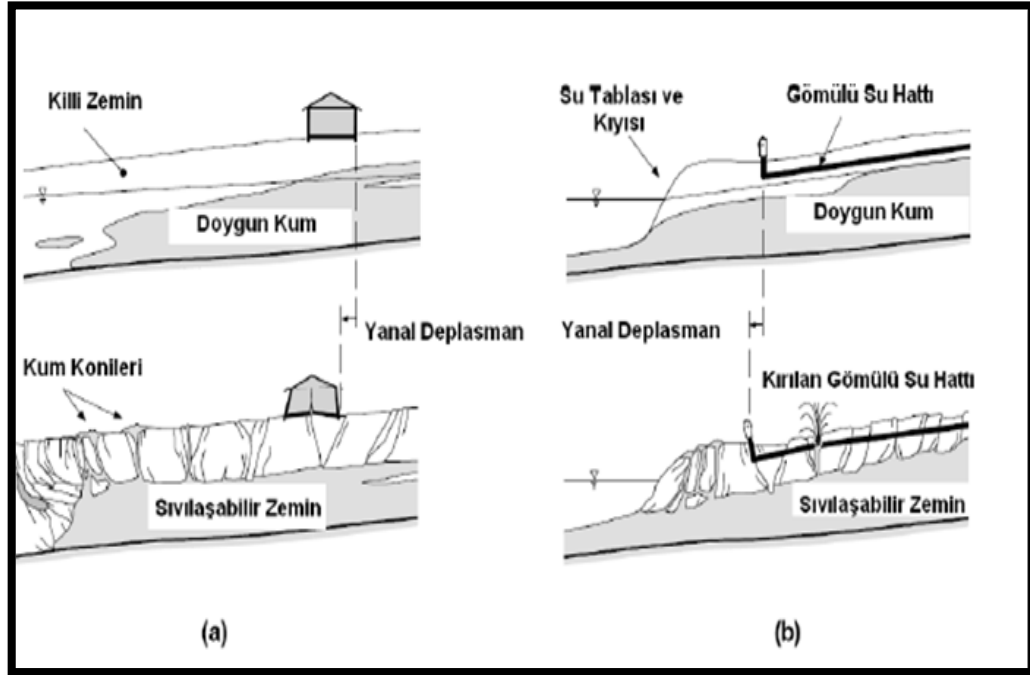
Genelde 3 dereceden büyük eğimlerde oluşan akma göçmesi, sıvılaşma olayının oluşturduğu en yıkıcı göçmelerdir. Birdenbire oluşup çabuk ilerleyen akma göçmesi, şevli zemin kütlelerinin geniş alanlarda aşağı yönde hareketini ihtiva ederler.



Şekil 14.(a) Akma göçmeleri şematik gösterimi ve (b) San Francisco'daki Merced Gölü kenarında oluşan bir akma göçmesi (Mollamahmutoğlu, & Babuçcu, 2006, s.68).

Yanal yayılma.

Su kütlelerinin yakınındaki çoğunlukla 3 dereceden az eğimli yamaçlarda görülmektedir. Deforme olmuş kohezyonsuz zemin üzerindeki örtü tabakasının aniden, sürüklenerek yana doğru hareket etmesiyle oluşur. Bu benzeri hareketler sonucunda limanlar, mekanik tesisat boruları, temeller, dolgular ve köprü gibi yapılarda deformasyonlar oluşturmaktadır.



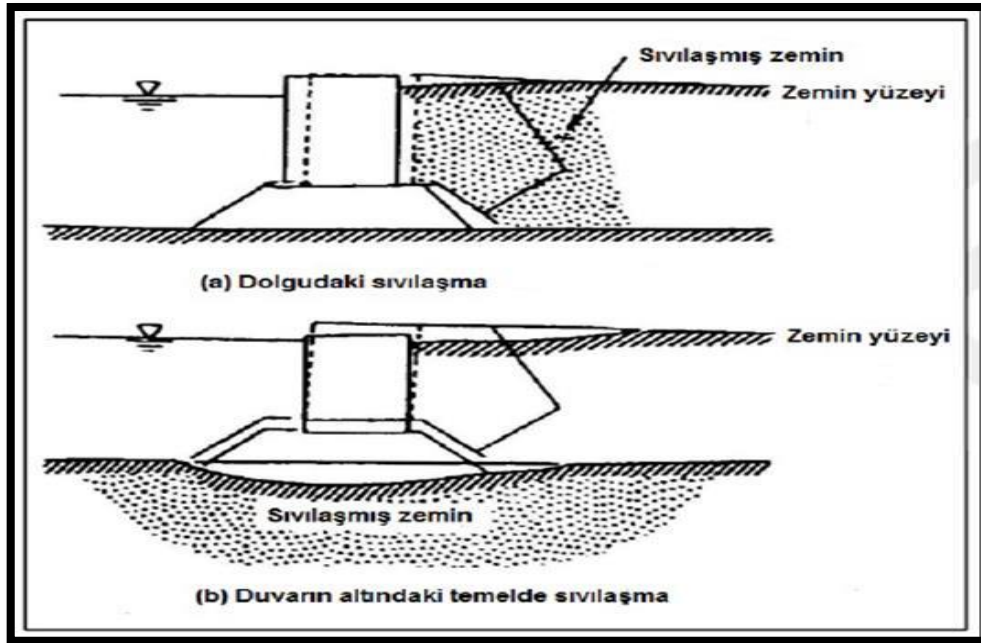
Şekil 15. Yanal yayılma; (a) az eğimli zemin durumunda, (b) serbest zemin durumunda (Rauch, 1997).



Şekil 16.Haiti’de 2010 yılında deprem sonrasında meydana gelen yanıl deplasman (Desroces, Comerio, Eberhang, Mooney,& Rix, 2011, s.26).

İstinat yapısı yenilmesi.

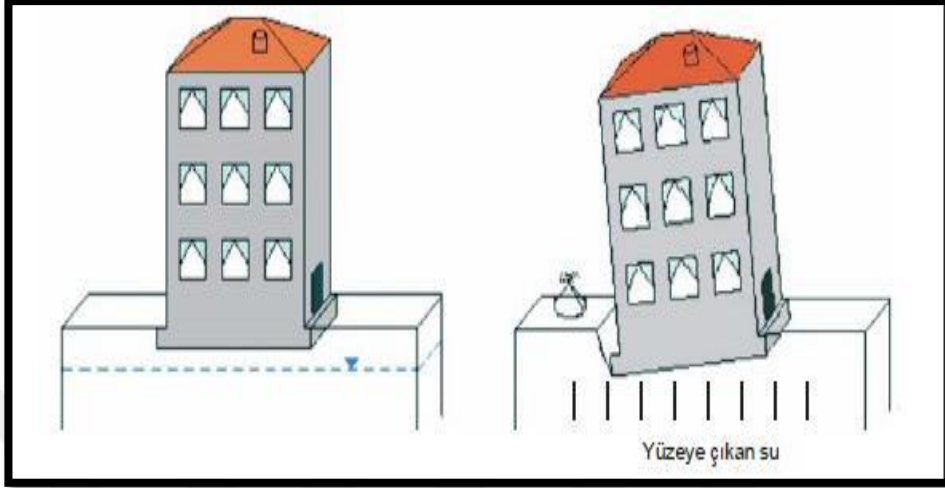
İstinat yapısının ardındaki sıvılaşmış haldeki zeminden veya destegini kaybetmiş temelden kaynaklı yenilmeler oluşur. Artan yanıl yük sonucunda istinat yapısında yatay veya düşey deplasmanlar oluşur.



Şekil 17.İstinat yapısı yenilmesi (Lai, 1998).

Taşıma gücü kaybı.

Temel zemini, sıvılaşma olayı sonrasında taşıma gücünü yitirmektedir. Taşıyıcı sistemleri zarar görmediği halde, mühendislik yapılarında batma, dönme veyahut yana doğru yatma şeklinde hasarlara rastlanmaktadır.



Şekil 15. Zeminin taşıma gücünü yitirmesi yenilme şekli (Sönmez, 2006, s.56).



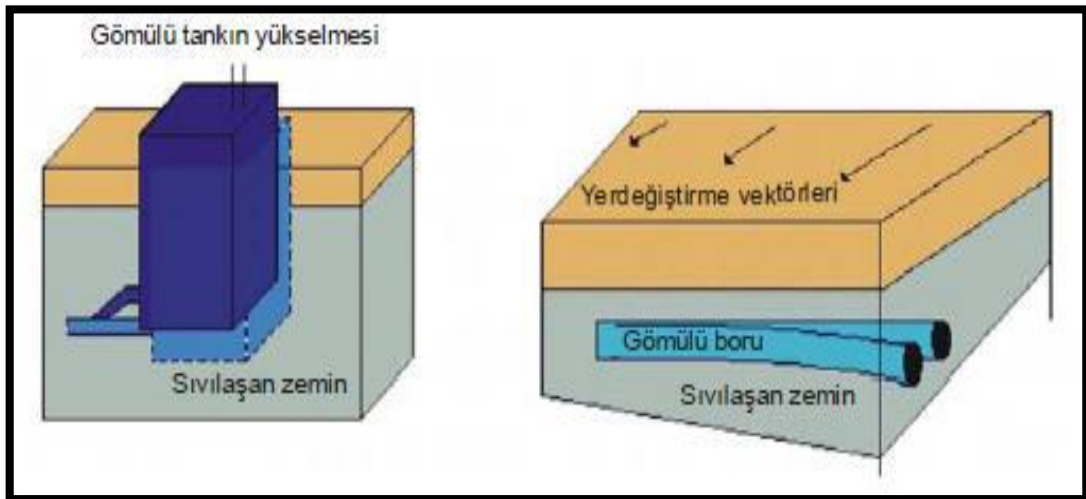
Şekil 16. Adapazarı'nda sıvılaşma sonrasında meydana gelen taşıma gücü kaybı ve oturma nedeniyle devrilen yapı (Yasuda, 2004).



Şekil 17. 1964’de Niigata’daki depremde sıvılaşma nedenli taşıma gücü kaybı sonucu devrilen yapılar (Day, 2002).

Gömülü hafif yapıların yüzeylemesi.

Deprem nedenli hayatı olumsuz etkileyen problemlerden biri de şebekelerin ve gömülü hafif yapıların kullanılamaz duruma gelmesidir. Kaldırma kuvveti tesiriyle sıvılaşma sonrasında gömülü haldeki hafif yapılar yüzeye doğru yükselmektedir. Bu yükselmeler sonucu çeşitli hasarlar oluşur.



Şekil 18. Gömülü hafif yapılarda yükselmeye bağlı hasarlar (Sönmez, 2006, s.58).



Şekil 19. 2000 Tottori depreminde sıvılaşma sebebiyle muayene bacasında oluşan hasar (Mollamahmutoğlu, & Babuçcu, 2006, s.71).

Sıvılaşmaya Etki Eden Faktörler

Laboratuvar ve arazi deneylerinin sonuçlarına dayanarak birçok değişken zeminde sıvılaşmayı etkiler. Bu değişkenler aşağıda açıklanmıştır.

Deprem şiddeti ve süresi.

Zemin sıvılaşmasının oluşması için bir yer tetiklemesine ihtiyaç vardır. Bundan ötürü, sıvılaşmayı etkileyen değişkenler belirtilirken depremlerin özellikleri de incelenmektedir.

Depremin büyüklüğü ivmesiyle de bağlantılı olup, sıvılaşmayı önemli derecede etkilemektedir. Sürenin artması ardı ardına tekrar eden gerilmelerin zemindeki etkileşim sürecini de etkilemektedir. Şiddeti ve sarsıntı süresi ne kadar artarsa, sıvılaşma potansiyelini de etkilemekte ve artırmaktadır.

Yeraltı su seviyesi.

Sıvılaşmanın için yeraltı su seviyesi zemin yüzeyine oldukça yakın olması gerekmekte ve sıvılaşmanın oluşması için elverişli ortamı hazırlamaktadır. YASS üzerinde olan ve suya doymun olmayan zeminlerde sıvılaşmaya rastlanılmamaktadır. Sıvılaşma YASS altında bulunan zeminlerde görülmektedir. YASS zamanla artıp azalabilir bu da doğal olarak sıvılaşma potansiyeline etki eder. Eğer bir bölgede sıvılaşma analizi yapılacaksa önceden belirtilmiş düşük ya da yüksek seviyeyi göstermediği sürece, daha önce kaydedilmiş en büyük YASS değeri kullanılmalıdır.

Zemin tipi.

Zeminlerde sıvılaşma analizine başlamadan evvel ilk yapılacak olan sıvılaşmaya meyilli zeminleri tespit etmek gerekmektedir. Bunun için zemin türlerini sıvılaşma potansiyelinin bilinmesi gereklidir(Çetin,& Unutmaz, 2004).

Sıvılaşma potansiyeli olan zeminler kohezyonsuz zeminlerdir. Sıvılaşmaya karşı zeminlerin direncini; kabaca temiz kumlar, plastik olmayan siltli kumlar, plastik olmayan siltler ve çakıllar olarak azdan çoğa doğru sıralanabilir (Day, 2002; Özyayın, 2007).

Seed, Idriss ve Arango (1983), çalışmalarına dayanarak deprem sırasında kohezyonlu zeminlerin çoğunda sıvılaşmanın oluşmayacağını ortaya koymuşlardır. Seed ve Idriss 'in açıkladığı sonrasında Youd ve Glistrop'ın geliştirdiği ölçüt ve kriterler kullanılarak, sıvılaşmanın oluşması için ince taneli zeminlerin aşağıda belirten üç kıstasın tümünü sağlaması gerekmektedir. Aşağıda verilen dört Çin ölçütünden (Finn, Ledbetter, & Wu, 1994) her birini sağlayan ince taneli zeminlerin önemli ölçüde dayanım kaybına duyarlı olduğu ileri sürülmektedir:

0,005 mm'den daha ince tane oranı $\leq \%15$

Likit limit, $w_L \leq \%35$

Doğal su içeriği $\geq 0,9 w_L$

Sıvılaşma indisi $\leq 0,75$

Zemin bu üç kıstasa uymamışsa, sıvılaşma kriterlerine duyarlı olmadığı tahmin edilir.

Zeminin relatif sıkılığı.

Zeminde oturma ve sıvılaşma tehditlerini belirlemek için önemli kriterlerden biridir. Rölatif sıkılık arttıkça deprem tetiklemeleri esnasında boşluk suyu ve oturma basıncının değeri azalmaktadır. Rölatif sıkılık oranı (D_r) aşağıda ifade edilmiştir.

$$D_r = \frac{e_{\text{maks}} - e_0}{e_{\text{maks}} - e_{\text{min}}} \quad (2.1)$$

Burada;

e_{maks} = Zeminin en gevşek durumundaki boşluk oranı

e_{min} = Zeminin en sıkı durumundaki boşluk oranı

e_0 = Zeminin en tabii boşluk oranı

Tablo 2. Rölatif Sıklığa Göre Zemin Sınıflandırılması (Mollamahmutoğlu, & Babuçcu, 2006).

Rölatif sıklık	Açıklama
0-15	Çok gevşek
15-35	Gevşek
35-65	Orta sıkı
65-85	Sıkı
85-100	Çok sıkı

Zeminlerin rölatif sıklıklarına göre sınıflandırılması yapılmış olup, bu sınıflama incelendiğinde D_r değeri % 65 üzeri zeminlerde sıvılaşmaya rastlanılmayacağı söylenilebilir. Hakikaten 1964 yılında Japonya’da meydana gelen Niigata depreminde kumlu zeminlerde %70 olan bölgede sıvılaşma gözlemlenmemiş bu oran %50 olan bölgelerde sıvılaşma tespit edilmiştir (Seed ve Idriss, 1971).

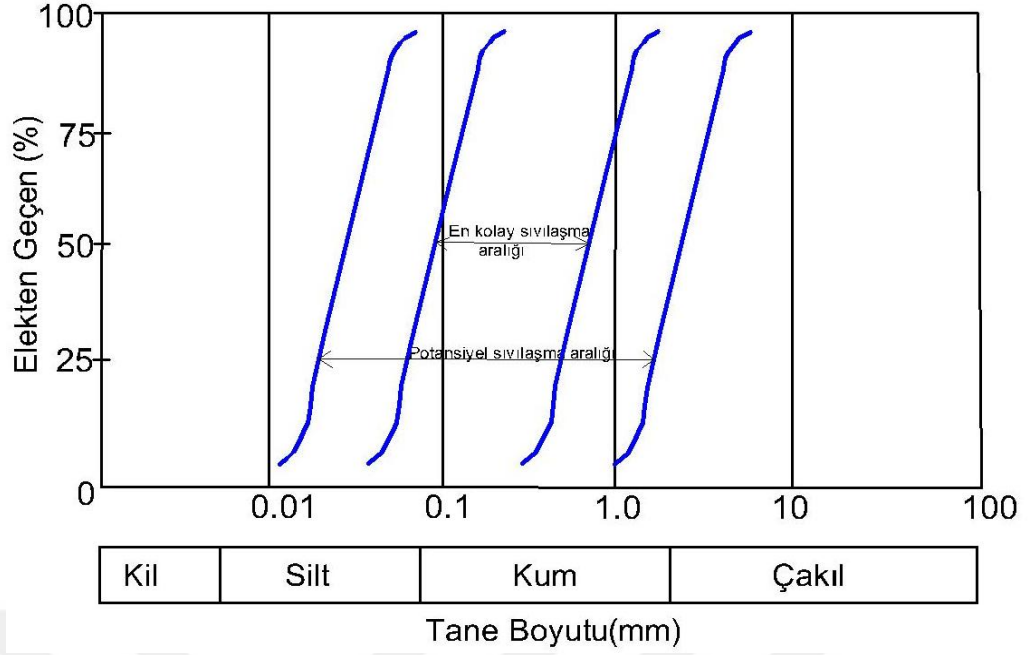
Sıvılaşma problemi farklı ivme ve r-farklı rölatif sıklık değerleri dikkate alınarak aşağıda sınıflandırılma yapılmıştır. İvme ve rölatif sıklık arasında doğrudan bir orantı olduğu görülmüştür.

Tablo 3. Rölatif Sıklığa Bağlı Olarak Sıvılaşma Potansiyeli (Mollamahmutoğlu, & Babuçcu, 2006, s.87).

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	$D_r < 0.70$	$0.70 < D_r < 0.92$	$D_r > 0.92$

Tane boyu dağılımı.

İyi derecelenmiş zeminlerde drenajız durumlarda oluşabilecek boşluk suyu basıncı azdır. Bundan dolayı sıvılaşma olayının iyi derecelenmiş olan zeminlerde oluşma olasılığı azdır denilebilir. Aşağıdaki şekilde sıvılaşma eğilimleri yüksek olan zeminlerin tane boyutu açısından sıvılaşma sınırlarını belirten tane boyut dağılımları gösterilmiştir.



Şekil 20. Zeminlerde sıvılaşabilir tane boyutu aralığı (Akkaş, 2006, s.45).

Yerleştirme ve çökelme ortamı.

Hidrolik dolgular su içinde düşen zemin partiküllerinin meydana getirdiği kayıplar gevşek ve dağınık olarak zemin yapısı oluştururlar. Bu sebeple bu tür dolgular sıvılaşma potansiyeline sahiptir (Yıldız, 2011).

Drenaj koşulları.

Kohezyonsuz ve suya doygun gevşek temiz kum içeren zeminler yeterli drenaj olmadığında boşluk suyu basıncı yükselmesi, bunun sonucunda efektif gerilmelerin azalması durumudur. Sıvılaşma olayı hızlıca sönmülenebilirse zeminde sıvılaşmanın oluşmamasını sağlayabilir.

Çevre basınçları.

Zeminin çevre basıncının sahip olduğu büyüklük sıvılaşma duyarlılığının azlığına işaretler. Arazi deneyleri sıvılaşma potansiyel alanının araştırılması için genelde 15 metre derinliğe kadar inildiği gözlemlenmiştir. Bu açıklama 15 metre altındaki zeminlerde sıvılaşma analizi yapılmaz anlamına elbette ki gelmez. Çoğu durumda 15 metreden daha derin zeminlerde sıvılaşma görülebilir. Sıvılaşma potansiyel analizinin hangi derinlikte bitirileceği hakkında yetkin deneyim ve mühendislik değerlendirmesi gereklidir (Mollamahmutoğlu, & Babuçcu, 2006).

Tane şekli.

Sıvılaşmayı etkileyen değişkenlerden biri de tane şeklidir. Bu sebeple sıvılaşmanın olma olasılığı yuvarlak zemin partiküllerini bulunduran zemin, köşeli zemin tanelerini ihtiva eden bir zeminden daha yüksektir.

Yaş ve çimentolanma.

Yaş niteliği, çökme süreleri, zeminler için önemli değişkendir. Eski çökelen zeminler, yeni çökelen zeminlere oranla sıvılaşma hassasiyeti daha azdır.

Çimentolanma olayı ise belirli zamanda partiküllerin birbirleriyle olan temasından dolayı oluşur. Çimentolanma olayı oluştuğunda zemin daha gevşek olmayan hale geçeceğinden sıvılaşma olayının oluşma riski azdır.

Tarihsel ortam.

Tarihsel ortam zemini etkileyen parametrelerden biridir. Örnek verecek olursak deprem sırasında sarsıntı etkisinde olan eski zemin çökelleri, gevşek olmayan aynı zemine oranla sıvılaşmaya karşı artan bir dirence sahiptir. Eskiden sıvılaşma etkisinde kalan zeminlerin deprem sarsıntısıyla tekrar sıvılaşma olasılığının fazla olduğu laboratuvar ve arazi deneylerine istinaden araştırmacılar tarafından kanıtlanmıştır.

Bina yükleri.

Zemini kumlu olan alanlar üzerine bina yapılması zeminin potansiyel sıvılaşmasını artırıp direncini azaltacaktır. Mesela radye temele sahip ağır binada kayma gerilmesi olmaktadır. Bu gerilmeler zeminin sıvılaşmaya olan duyarlılığını artırmaktadır.

Sıvılaşma Analizlerinde Kullanılan Laboratuvar ve Arazi Deneyleri

Suya doygun kumlu zeminlerde deprem sarsıntısı tesiriyle sıvılaşma görülmesi zeminin direncini kaybetmesine neden olur. Bu durum zemin üzerinde bulunan yapılarda deformasyonlara sebep olur. Yapıların inşasından önce yapının güvenliği için, gevşek kumlu zeminlerin potansiyel sıvılaşma durumunu bilmek gereklidir. Bir alanın sıvılaşma ihtimalinin bilinmesi isteniyorsa, laboratuvar deney yöntemleri kullanılmalıdır(Yatman, 2006).

Sıvılaşma potansiyelinin analizinde kullanılan laboratuvar deneyleri yüksek hasarlı deneyler sınıfına girmektedir. Kayma deformasyonu fazla olan genliklerde, zemin hacimce değişime yatkındır. Kayma deformasyonu yüksek olan seviyelerde, boşluk suyu drenajı, hacim ve boşluk suyu basıncı değişimi kesinlikle ölçülmelidir(Aktaş, 2006).

Sıvılaşıma analizinde kullanılan laboratuvar deneyleri.

Devirsel üç eksenli basınç deneyi ve kesme kutusu deneyi sıvılaşıma analizinde kullanılan en yaygın laboratuvar deneyleridir. Zemin, büyük bir çoğunluğunu kayaların kimyasal veya fiziksel bozulması ile oluşmuş katı daneler ile daneler arasını dolduran sıvı gazın oluşturduğu bir malzeme olarak tanımlanabilir. Zeminlerin basit laboratuvar deneyleri ile bulunan bazı fiziksel özellikleri, mühendislik özelliklerine ışık tutar. Zeminlerin tanımlanması ve sınıflandırılmalarında kullanılır. Bu parametreler zeminlerin indeks özellikleridir. Sıvılaşıma potansiyelinin belirlenmesi için zeminlerin sınıflandırılması ve tanımlanması yapılmıştır. Bir zemini tasnifleyip tanımlamak için genel manada yapılan deneyleri; atterberg limitleri(plastik, likit ve büzülme limit), hidrometre deneyi, su muhtevası, özgül ağırlık, elek analizi olarak sıralanabilir.

Birim hacim ağırlık.

Doğal ve sıkıştırılmış kohezyonlu zeminlerin birim hacim ağırlığı, halka şeklinde numune alıcı zemine bastırılarak alınan numuneler tıraşlanarak ve boyutları ölçülüp tartılarak bulunur. Düzensiz şekilli numuneler için birim hacim ağırlık, numuneler parafinle kaplı su içinde tartma veya kapladığı kadar hacimdeki suyu taşırtma yöntemi ile bulunur tahmin edilebileceği gibi kendini tutamayan kum, çakıl gibi kohezyonsuz zeminlerden bozulmamış numune almak, laboratuvarda yukarıda anlatılan yöntemlerle birim hacim ağırlık tayini yapmak olanaksızdır.

Zeminlerin ilk ve en önemli tespit edilmesi gereken özellik zemin birim hacim ağırlık deneyidir. Zemin birim hacim ağırlığı (γ) zeminin ağırlığının hacimce oranı olarak açıklanır. Bu parametre zeminin bulunduğu şartlara göre doğal, kuru, batık ve doymuş gibi birçok şekilde hesaplanır. Doğal birim hacim ağırlık (γ_n) zeminlerin doğal haldeki ağırlıklarının bütün hacmine oranıdır.

$$\gamma = W / V \quad (2.2)$$

Özgül ağırlık.

Tane birim hacim ağırlığının suyun birim hacim ağırlığına oranlaması özgül ağırlık (G_s) olarak açıklanır. Tane özgül ağırlığı kütle-hacim ilişki hesaplarında gereklidir. Deneyde bir cam balon veya bir cam kap kullanılarak numunenin tane hacmi, o hacme karşılık gelen su ağırlığı saptanarak değeri bulunur.

$$G_s = \gamma_s / \gamma_w \quad (2.3)$$

Denklemden γ_s , tane birim hacim ağırlığı, γ_w ise suyun birim hacim ağırlığıdır.

Su/ nem içeriği.

Su muhtevası, taneler arasındaki boşlukların içerisinde bulunan suyu ifade eder. Su muhtevası yaş ağırlığının kuru ağırlığa oranıdır ve yüzde olarak ifade edilir.

Tanelerin %50 ve daha çoğu 75 μm ' lik elekten geçen zeminler ince taneli zemin örnekleridir. Zemin numunesindeki tanelerin en az %50 ve daha çoğu 75 μm 'lik elek üzerinde kalan, bunların da %50 veya fazlası 4,75 mm'lik elekten geçen zeminler ise orta taneli zeminlerdir. Zemin örneğindeki tanelerin %50 ve daha çoğu 4,75 mm'lik elek üstünde kalan zeminler ise iri taneli zemin örnekleridir (Yılmaz, Yıldırım, & Keskin, 2014).

Su muhtevası, zeminin 105-110 °C ısıda etüvde kurutulması yöntemi ile ölçülür. Ağırlık azalmasının, yani su ağırlığının kuru ağırlığı bölünmesi ile bulunur. Organik madde içeren numunelerde organik malzemelerin yanmaması için sıcaklık 60°C olmalıdır.

Tane boyu dağılım analizi.

Zeminlerin en basit indeks özelliği tane boyutudur. Tane boyutu veya çapı esas alınarak çeşitli sınıflandırmalar önerilmiştir. Doğal zeminler genellikle iki veya daha fazla boyut aralığına düşen tane dağılımı gösterirler. Zeminler tane boyutu dağılım analizlerine göre iyi ve kötü derecelenmiş olarak tanımlanmaktadırlar. İyi derecelenmiş bir zemin kötü derecelenmiş bir zemine kıyasla homojendir ve malzeme içeriğini oluşturan taneler yaklaşık olarak eşit boyutlardadır.

Çakıl ve kum boyutundaki taneler kaba taneler olarak tanımlanır. Silt ve kil boyutunda daneler ise ince taneler veya kısaca inceler olarak isimlendirilir. Tane çapı dağılımı (granülometri) kabaca silt boyutundan büyük taneler için kuru veya ıslak elek analizi, daha küçük taneler için çökeltme (sedimentasyon) prensibine bağlı olarak hidrometre veya pipet metoduyla tayin edilir. Zemin mühendisliğinde pratik olarak kullanılan en küçük açıklıklı elekler Amerikan standardına göre 200 numaralı elek olup açıklığı 0,075 mm görüldüğü gibi yaklaşık olarak silt boyutu üst limitine tekabül etmektedir.

Bir zemini oluşturan tanelerin yüzdesinin tespiti, zeminlerin mühendislik özelliklerine ilişkin birçok bilgi vermektedir. Mühendislik özelliklerine ilişkin bazı değişkenler su içeriği, dayanım, hidrolik iletkenlik, porozite gibi özelliklerdir. Zemin içerisinde taneler karışık halde bulunduğundan; elek analizi ile çapları 76,2 mm ile 0,075 mm arasında olan zeminler, hidrometre deneyiyle ise 0,075 mm'den küçük zeminler analiz edilmektedir. Bu deneyler sonucunda, değişik boylardaki malzemeyi oluşturan tanelerin ağırlık olarak yüzde oranları belirlenir.

Tane boyu dağılım eğrisi tane boyu - yüzde elek ağırlıkları kullanarak çizilir. Deneyler sonucundaki değerler ile tane boyu dağılım eğrisi kullanılarak zeminin çakıl, kum, silt ve kil miktarları bulunmaktadır. Bulunan değerler farklı amaçlarda kullanmak üzere zemin sınıflaması oluşturulmaktadır.

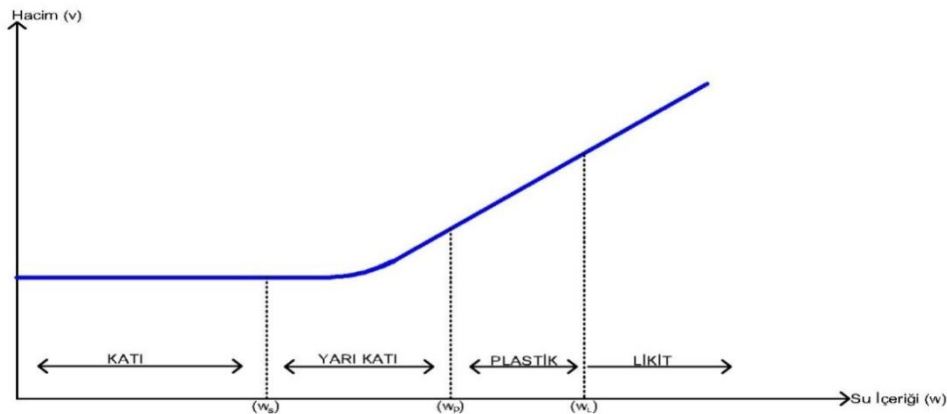
Tane boyu dağılım eğrisi tayin edilmesi istenen zemin, ilk olarak kurutulup farklı çaplara sahip eleklerden geçirilir, sonrasında ise elenir. Deneylerde kullanılan elek serileri, Amerikan standartlarına uygundur. Elek numaralarında 1 inç kareye tekabül eden delik sayısı gösterilmektedir. Örnek verecek olursak 60 numaralı elek 1 inç karelik alanda 60 delik vardır.

Tablo 4. *Almanya ve Amerikan ASTM standartlarında kullanılan elek ve açıklıkları (ASTM,1994).*

ASTM		DIN	
Elek No	Elek Açıklığı (mm)	Elek No	Elek Açıklığı (mm)
4	4,75	4	5
10	2	10	2
20	0,85	20	0,8
40	0,425	40	0,4
60	0,25	60	0,25
100	0,15	100	0,2
140	0,106	140	0,1
200	0,075	200	0,071

Kıvam limit deneyleri.

Kohezyonlu zemine su eklenirse, akışkan hal alarak sıvı gibi davranış gösterecektir. Bu zemin biraz kurutulduğunda, kolayca şekil verilebilecek çatlama ve kırılma olmadan plastik hale gelir. Kurutulmaya devam edilirse yarı katı veya tamamen katı duruma geçebilir. Zeminin çeşitli su içeriklerindeki davranışlarına kıvam adı verilir. Zemin kıvamlarını farklı kılan su içerikleri likit limit, plastik limit, rötre (büzülme) limiti olarak tanımlanır. Zeminlerin kuruma esnasında içerdiği suya bağlı değişimi aşağıdaki *Şekil 21*'te gösterilmiştir.



Şekil 21. Kohezyonlu zeminlerin kuruma esnasında kıvam sınırları ve hacim değişimi (Yılmaz, & Yıldırım, & Keskin, 2014).

İnce taneli zeminlerin mühendislik özellikleri gradasyona bağlı olmamakta ve içerdiği kil minerallerine bağlı olarak ortaya çıkan plastisite özellikleri önem kazanmaktadır. İnce taneli zeminler su muhtevalarına bağlı olarak katı, yarı katı plastik ve sıvı kıvamda olabilir. İnce taneli zeminlerin çoğu tabii halde plastik kıvamda bulunur ve bu kıvam aralığını belirleyen en yüksek ve en düşük su muhtevalarına likit limit (LL veya W_L) ve plastik limit (PL veya W_P) denir. Plastisite indisi (PI veya I_P) ise şu şekilde tarif edilir:

$$PI = LL - PL \quad (2.4)$$

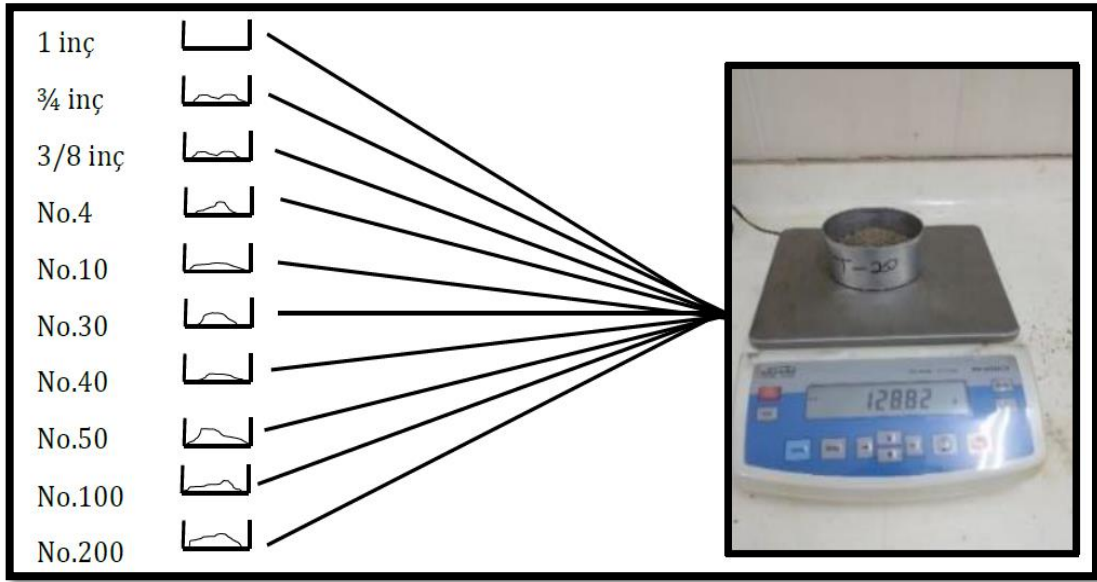
Likit limit, Casagrande aletinde aletin çanak kısmına konan plastik kıvamda zemin numunesinde özel kaşıkla oluşturulan yarığın, çanağın(çentiğinin) 25 defa düşürülmesi ile kapanmasına tekabül eden su muhtevası olarak saptanır. Likit limit tayininde kullanılan diğer bir metotta düşen koni yöntemidir. Konik uç zemin yüzeyine değdirildikten sonra 5 saniye süreyle numuneye batmaya bırakılır. Likit limit, 20 mm batış miktarını veren kıvama karşılık gelen su muhtevası olarak tanımlanır.

Plastik limit, cam plaka üzerinde el ayası ile yoğrularak inceltilen zemin silindirlerinin 3 mm çapa geldiklerinde parçalanmaya başladığı kıvamdaki su muhtevası olarak bulunur. Kıvam limitleri deneylerinin etüvde değil de havada kurutulmuş numuneler üzerinde yapılması sağlıklıdır. Etüvde kurutulan numune üzerinde likit limit deneyi tekrarlandığında bulunan likit limit değeri, ilk değerin %75 veya daha azı ise zemin organik zemin olarak tanımlanır.

Büzülme limit deneyi ise, zeminlerin ayrı katı halden katı duruma geçiş yaptığı andaki su içeriğini belirlemek amacıyla yapılır. Su içeriği azalan ince taneli zeminlerin boşluklarındaki su buharlaşır. Birbirine yaklaşan tanelerin hacmi azalır ve büzülme oluşur. Fakat belirli bir noktadan sonra hacimde değişiklik olmaz. Bu zamandaki su içeriği büzülme limiti olarak adlandırılır.

Elek analizi.

Elek analizi yapmak için toplam numuneden tane çapı dağılımı aynı kalacak şekilde yeterli miktar numune alınır elek takımından açıklıkları logaritmik eksen üzerine üniform aralıklarla düşen ve numunenin içerdiği tane boyutlarını kapsayan az sayıda elek seçilir. Elekler, en büyük açıklıklı elek üstte olmak üzere dizilir. En alta kap konulur. Elle veya mekanik sarsıcı yardımıyla elenilir. Tane çapı dağılımını gösteren granülometri eğrileri yarı logaritmik bir çizimle elde edilir. Eleme bittikten sonra her eleğin kendi üzerinde kalan tanelerin ağırlıkları 0,1 gram hassasiyetle tartılır ve ilgili formda belirtilen elek karşısına yazılır.



Şekil 22. Elek üzerinde kalan zemin tanelerinin tartılması.

Devirsel üç eksenli basınç deneyi.

Devirsel üç eksenli basınç deneyi kullanılarak zeminlerin hareketli yükleme koşullarında zemin davranışları tespit edilir. Üç eksenli basınç deneyi, sabit radyal ve eksenel gerilme tekrar frekansı 1 Hz olan koşullarda yapılır(Seed, & Idriss, 1982).

Çevre basıncı etkisindeki kum numunesi deneye tabi tutulur ve zemin boşluklarında yer alan suyun dışarı atılmasına izin verilir. Daha sonra numune tekrar eden eksenel düşey basınç etkisiyle şekil değiştirmeye zorlanır. Tekrarlı yükleme boyunca uygulanan tekrarlı gerilmenin devri ile birlikte boşluk suyu basıncı ve eksenel deformasyon ölçülmektedir. Çevre basıncı ve boşluk suyu basıncı eşit olduğu zaman saptanır. Bu durumda zemin taneleri mukavemetini yitirdiği için zeminde sıvılaşma olayı meydana gelir(Mollamahmutoğlu,& Babuçcu, 2006).

Devirsel basit kesme kutusu deneyi.

Kesme kutusu deneyi arazide meydana gelen depremin etkisiyle oluşan yükler benzer netice vermektedir. Doygun kum örneğine düşeyde efektif gerilmenin uygulanması sonrasında ise tekrarlı kayma gerilmesinin zemin örneğine uygulanması şeklinde yapılır. Boşluk suyu basıncı ve eksenel deformasyon tekrarlı yükleme süresince yatay yönde etkiyen devirsel kayma gerilmesinin tekrarı ile ölçülür. Sıvılaşmaya sebep olan gerilme, uygulama kayma gerilmesi, başlangıç efektif gerilmesi, devir sayısı değerlerine bağlıdır(Mollamahmutoğlu,& Babuçcu, 2006).

Sıvılaşma analizinde kullanılan arazi deneyleri.

Zemin etütleri kapsamında zeminin yerinde sıkılık veya kıvam durumlarını belirlemek için zemin deneyleri yapılmaktadır. Arazi deneyleri, zeminlerin mühendislik çalışmalarına yön

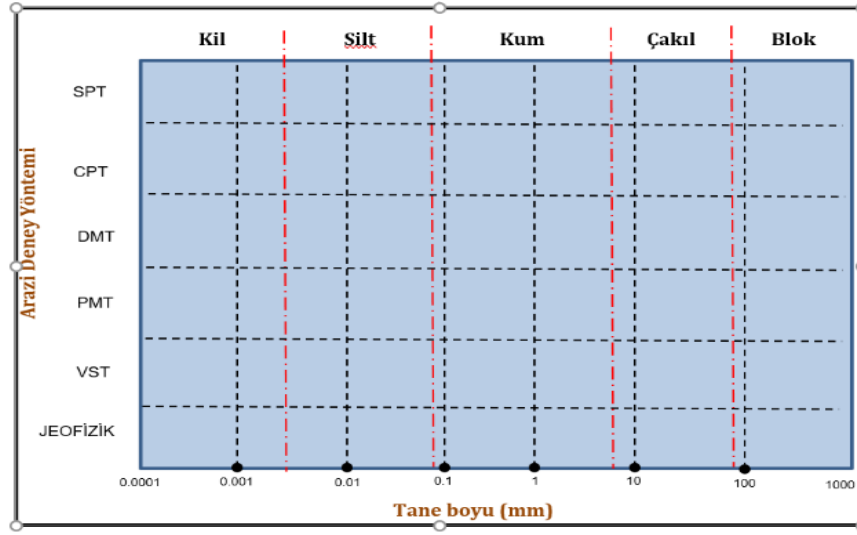
gösterecek doğal şartlarda test etme olanağı sağlar. Deprem esnasında arazide oluşabilecek sismik hareketleri tahmin etmek zordur. Yapılan deneylerde sıvılaşma potansiyeliyle ilgili değişkenler direkt olarak belirlenemez. Sıvılaşma potansiyeli araştırılacak bölgede öncede meydana gelmiş depremler göz önünde bulundurularak deneysel bağıntılar oluşturulmuştur(Mayne, Christopher, & Dejong, 2014).

Daha önce deprem olmuş alanlardaki arazi deneylerinin, sıvılaşma potansiyelini belirlemek için kullanılması Whitman (1971) aracılığıyla ortaya atılan ilk alternatif yaklaşımdır. Deprem yükleri ve zemin sıvılaşma potansiyeline göre daha önce meydana gelen depremlerde sıvılaşma görülen ve görülmeyen bölgeler sınıflandırılmış, sonrasında da bu bilgilerden faydalanarak sıvılaşma için bir sınır elde edilmiştir(Seed, Tokimatsu, Harder, & Chung, 1985).

Sıvılaşma analizleri için çoğunlukla penetrasyon ve jeofizik metotlarla yapılan deneylerden yararlanılmaktadır. Zeminlerin jeoteknik çalışmalarla tanımlanması, yükler etkisinde oluşabilecek zemin davranışları ve meydana gelecek deformasyonların çalışma kapsamına uygun bilgiler elde edilmesine yardımcı olur.

Jeoteknik amaçlı yaygın olarak yapılan arazi deneyleri; Standart Penetrasyon deneyi (SPT), Konik Penetrasyon Deneyi (CPT), Kanatlı Kesme Deneyi (VST), Düz Dilometre Deneyi (DMT), Presiyometre Deneyi (PMT)'dir. Ayrıyeten jeofizik metotlarla yapılan deneyler; Sismik kırılma (SR), Kuyudan-Kuyuya deneyleri (CHT), Kuyu-aşağı deneyleri (DHT), Yüzey Dalgaları Spektral Analizi deneyi (SASW), Elektromanyetik dalga yöntemi, gibi birçok arazi deneyleri yapılmaktadır.

Deney metotlarının yerinde yapılabilirliği, uygulanacak alandaki zeminin özelliklerine bağlıdır. Proje koşulları, türü deneyin yapılması gerektiğinden söz etse de asıl belirleyici kıstas sahadaki zemin özellikleridir. Arazi deneylerinin zemin özelliklerine bağlı grafiği aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 23. Arazi deneylerinin zemin sınıflarına uygulanabilirliği (Mayne, Christopher, & Dejong, 2014).

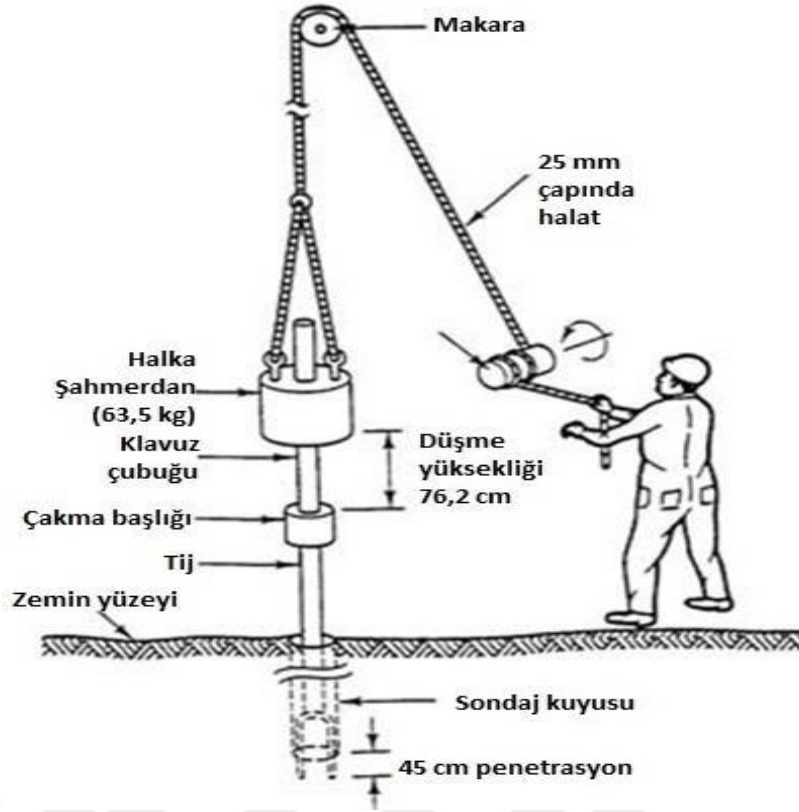
Zemin sıvılaşması bu çalışmanın esas konusu olup, arazi deneylerinden Standart Penetrasyon deneyi verilerinden faydalanılmıştır.

Standart penetrasyon deneyi.

Standart Penetrasyon Deneyi, zeminlerin yoğunluk ve mukavemetini belirlemek bununla birlikte örselenmiş numune almak için sondaj delgisi içinde gerçekleştirilen dinamik kesme deneyidir (Alkaya, 2007; Toğrol, & Sivrikaya, 2003).

Raymond beton kazık firması tarafından ilk olarak 1927 yılında kullanılan 60-100 mm çapları arasında değişkenlik gösteren sondaj delgilerinde uygulanan SPT, itinalı yapıldığında zeminin fiziksel ve mekanik yapısı hususunda bilgiler vermektedir (Cernica, 1995). Basitçe yapılabilen, maliyet açısından ucuz olan SPT deneyi bilhassa kohezyonsuz olan zeminlerde zeminin özelliklerini belirlemek için geliştirilmiştir. Sadece yol gösterici vazife gören killi zeminlerin deneyde ortaya çıkan dinamik özellikleri açısından sonuçları pek güvenli değildir. Bu sebeple kohezyonlu zeminlerde SPT deneyinin yapılması önerilir (Lee, White, & Oven, 1983).

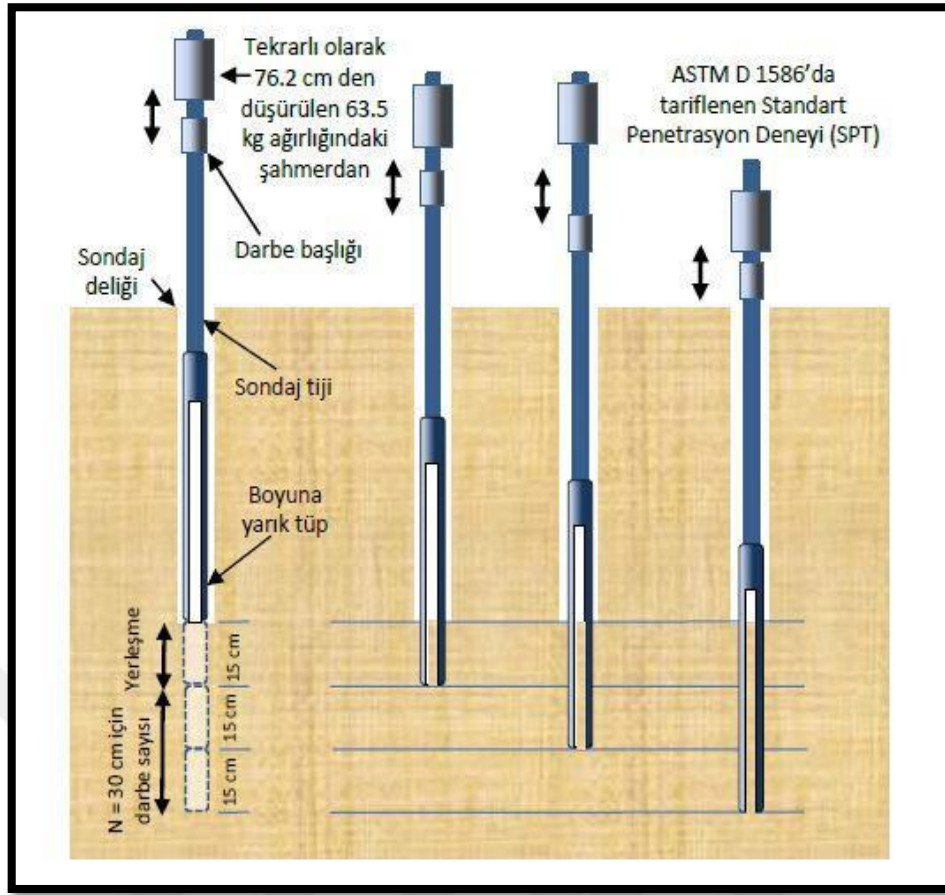
BS 1377 Büyük Britanya ve ASTM D1586 Kuzey Amerika standartları bilinen en iyi SPT standartlarıdır. Avusturya, Brezilya, Japonya, İsveç, Hindistan ve Danimarka gibi ülkelerde deney standartlandırılmış olup, uluslararası standartlara uygun şekilde yapılmaktadır (Smolczyk, 2002). Bununla birlikte ülkemizde deney için TS-5744 uyulması gereken standarttır. Örselenmemiş numunenin, standart ve klasik örnek alıcılarla kohezyonsuz zeminlerden alınması olanaksız ve pahalıdır. Bu sebeple, zeminin özelliklerini belirlemek için laboratuvar deneyleri yerine arazi deneyleri tercih edilmektedir (Alkaya, 2007; Toğrol, & Sivrikaya, 2003).



Şekil 24. Standart penetrasyon deney şeması (Coduto, 2000).

Deneyin yapılışına daha detaylı şekilde değinilecektir. Şimdilik özetleyecek olursak; bu deney delgi tabanının özenle temizlenmesinden sonra sondaj deliği içerisinde ve genellikle 1.5 metrede bir adet yapılmaktadır. Deney standart tüpün 63.5 kg ağırlıktaki şahmerdanın 76 cm yükseklikten serbestçe düşürülerek zemine çakılması esasına dayanmaktadır. Deney esnasında tüpün zeminde 3 defa 15 cm toplamda 45 cm ilerleme için elde edilen darbe sayısı delgi tabanında örselenmelerden etkilenebileceği gerekçesiyle dikkate alınmaz ve son iki 15 cm toplamda 30 cm ilerleme için belirlenen darbe sayıları toplanarak zeminin penetrasyon direncini yansıtan N değeri elde edilir. Süresi kısa ve yapılışı kolay olan SPT deneyi, dünya genelinde sıklıkla kullanılmaktadır. Deney esnasında alınan örnekler zeminin tanımlanması yönünde bilgiler verir. Deney için veri tabanı, bilgi ve birikimlerin var oluşu sürekli kullanılmasından dolayıdır.

SPT deneyi için sondaj yapılması gereklidir İnce kum ve siltli zeminlerde deneyin su seviyesi altında yapılması ve $N < 15$ darbe / 30 cm elde edilmesi durumunda N değerine düzeltme uygulanır.



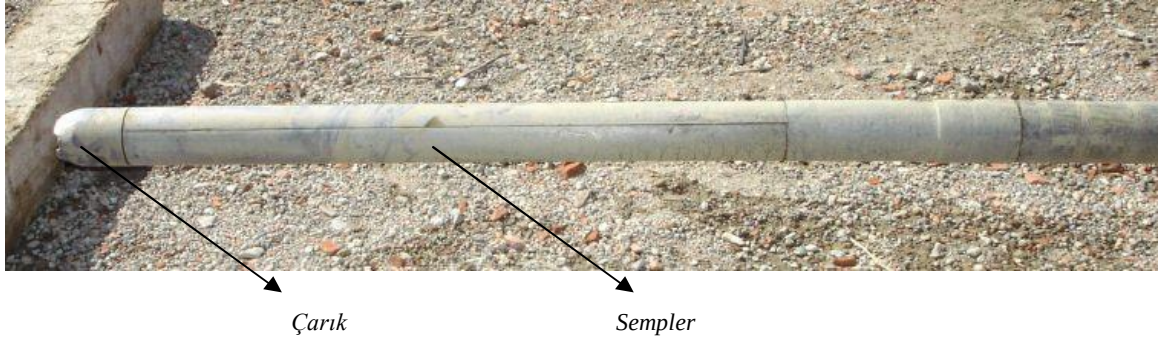
Şekil 25. Standart penetrasyon deneyinin aşamaları (Seed, Idriss, & Arango,1983).

Tablo 5.Deneyin Avantaj ve Dezavantajları.

Avantajlar	Dezavantajlar
Deneyin yapımı basit ve süresi kısadır.	Deneyi yapan operatörün yapacağı en ufak hatadan etkilenen bir deneydir.
Geniş uygulama verisi ve tarihine sahiptir.	Yapılan deneyin sonuçları, uygulama yönteminden sondaj aletlerine kadar birçok parametreye bağlıdır ve hassastır.
Uluslararası platformda en yaygın olarak kullanılan arazi deneyidir.	Örnek alıcı blok, kaya ve iri taneli zeminlerde hasar göreceğinden elde edilen sonuçlar sağlıklı olmayabilir.
Maliyet olarak hem penetrasyon direnci ölçülen hem de numune alınan diğer deneylerden daha uygundur.	Hassas ve çok yumuşak olan killi zeminlerde sonuçlar yanıltıcı olabilir.
Kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerle birlikte sıkı, ince, dolgu ve ince çakıl tabakalarında da uygulanabilir.	Kuyu tabanında yeraltı su seviyesi altında kaynamalara sebep olur ve yanıltıcı sonuçlar verme ihtimali vardır.
SPT verilerinden literatürde öngörülen mühendislik yorumu ve parametreleri elde etmek için tavsiye edilen birçok yöntem vardır.	

Deneyde kullanılan ekipmanlar.

~ Sempler ve arık,



Şekil 26. Sempler ve arık.

~ Sondaj makinesi ve pompa,



Şekil 27. Sondaj makinesinin önden görünüşü.

~ çakma ekipmanı (şahmerdan); SPT deneyinde 3 farklı çeşit çakma için şahmerdan kullanılabilir. Donut tipi şahmerdan yaklaşık % 45 oranında sondaj gövdesine serbest düşme enerjisi sağlar. Safety tipi şahmerdan Standart Penetrasyon deneyinde en yaygın olarak kullanılır ve sondaj gövdesine % 60 serbest düşme enerjisi sağlar. Diğer kullanılan şahmerdan ise otomatik tiptir. Önceden ayarlanan mekanizması, darbe sayısı frekansında şahmerdanı yukarı doğru kaldırır ve indirir. Şahmerdan devam eden bu aşağı yukarı hareket sonucunda serbest düşme enerjisi elde edilir. Serbest düşmeden dolayı, otomatik tip şahmerdan sondaj delgisine %95 ile %100 serbest düşüş enerjisi sağlar. Çakma başlığı ve şahmerdan arasındaki serbest düşüş mesafesi 76 cm olacak şekilde ayarlanmıştır.

~ Çakma borusu, tijler; SPT deneyinde genellikle 54 mm çaplı tijler kullanılırlar. Deneyin yapılacağı zeminde yıkıntı ve döküntü olacağı öngörülürse çakma boruları bir diğer adıyla muhafaza borular kullanılır. Çakma işlemi her 75 cm’de bir yapıp doğru sonuçlar elde edilse de genellikle rotary çalışmayı imkânsız kıldığı için çakma borusu kullanmak oldukça zordur. Aksi halde kuyu el veya diğer metotlar ile temizlemek gerekmektedir. Bu sebeple, deneyler 150 cm’de bir yapılarak, 1 ila 1,5 metre boyutunda çakma boruları kullanılır. Eğer sondaj delgisini temizlemek gerekirse özel çarıklar, seperatör, karotiyer benzeri aletlerden yararlanılabilir.

~ Çakma başlığı, şahmerdan darbesi tijin ucuna bağlanan çakma başlığına indirilir.



Şekil 28.Sondaj makinesinin Çakma borusu, çakma başlığı ve şahmerdanın kılavuz üzerine düşürülmesi.

~ Çinko tüpler, SPT deneyinde bozulmamış numune almak için kullanılır. 76 mm’ lik sempler numune almak için kullanılır. Bu semplerin içine tam yerleştirecek şekilde 65 mm çapında ve 56 cm uzunluğunda ayarlanmıştır. Bir tarafı açık diğer bir tarafı kapalı ama perfore edilmiştir. Açık yönü kapalı olan semplerin ağzına, yani çarığın bulunduğu tarafa gelecek biçimde semplerin içine yerleştirilir. Tüp numune alındıktan sonra kapakları yardımıyla kapatılır. Bununla birlikte kuyu başında parafin ve etiketler hazır halde bulundurulur.

~ Yardımcı ekipmanlar; parafin etiket, çekici, metre vb.



Şekil 29. Çinko numune alma tüpleri.

~ UD tüpü, örselenmemiş numune almak için killi zeminlerde kullanılmaktadır.



Şekil 30. UD tüpü

Deneyin yapılışı.

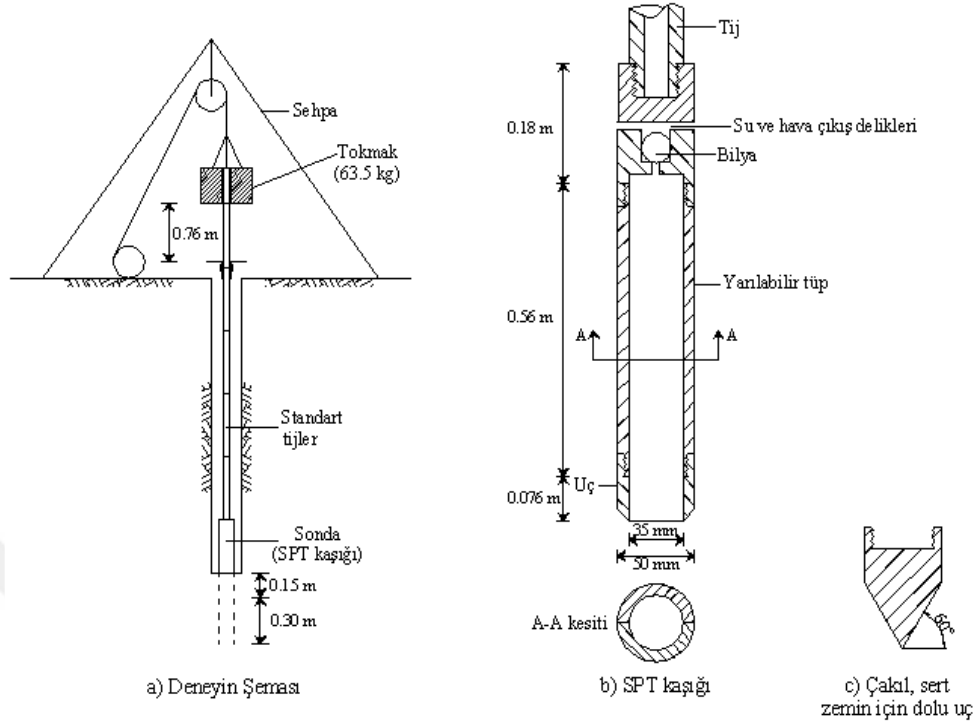
~ İlk olarak dönel (rotary) sondaj yardımıyla delgi açılır.

~ Sonrasında kuyu tabanı özenle temizlenip oger döndürülerek standart çakma tijleri sondaj kuyusuna indirilip vidalanmış haldeki tijlerin uç kısmına numune alıcı yerleştirilir.

~ Çakma başlığı tijlerin üzerine takılarak 76 cm düşme yüksekliği ayarlanır.

~ Çakma tij üzerine zemin seviyesi dikkate alınarak 3 adet 15 cm mesafe işaretlenip ve klavuz tij aracılığıyla çakma başlığı üzerine şahmerdan oturtulur.

~ Makine çalıştırılır akabinde gerekli enerji elde edildikten sonra şahmerdan 76 cm yükseklikten aşağı düşürülür.



Şekil 31. SPT deneyi ve SPT kaşığının gösterim şeması (Çolak, 2007, s.39).



Şekil 32. Tijlerin işaretlenmesi ve çakma balığı üzerine şahmerdanın yerleştirilmesi.

~ Ritmik olarak tekrarlanan 76 cm yükseklikten düşürülme hareketi sonucu her 15 cm aralığın çakılması için gereken N darbe sayısı kaydedilir. Herhangi 15 cm mesafe çakıldığı

esnada darbe sayısı 50'yi aşarsa ilerleme ölçülüp 50/7 değeri ile ifade edilir ve deney sonlandırılır.

~ ASTM D1586 standardına göre SPT-N değerinin belirlenmesi için son iki vuruşun değer toplamı dikkate alınır ve N_{30} değeri belirlenir.

~ Deney çoğunlukla 1,5 m aralıklarla tekrar edilir.

~ Bu işlemler sonrasında tüp kuyudan takımla birlikte çıkarılır poşet veya kavanoza aktarılır. Parafinlenerek ağzı sıkıca bağlanır.



Şekil 33. Numunelerin alınması.



Şekil 34. Numunelerin paketlenip, parafinlenerek etiketlenmesi.

Alınan örneklerin laboratuvar deneyleri yapılarak zemin sınıfları tespit edilir. Laboratuvarda alınan zemin örneğinin tabi tutulduğu işlemler;

»Alınan zemin numunesinin tartılacağı kabın boş hali tartılır. Akabinde alınan zemin numunesi tartılır.



Şekil 35. Numune kabı ve alınan zemin örneğinin alınması.

» Ağırlığı ölçülen numune etüvde 105 °C’de 24 saat kurutulur.



Şekil 36. Alınan zemin örneğinin kurutulması.

» Eğer su içeriği isteniyorsa, kuruyan numune tartılarak,

$$W = [(\text{Yaş Ağırlık} - \text{Kuru Ağırlık}) / \text{Kuru Ağırlık}] * 100 \quad (2.5)$$

formülünden hesaplanır.

» Elek analizi deneyi yapılmak için kuruyan numune eleklerle alınır. Elek altı ve üstü olmak üzere iki ürün elde edilir.

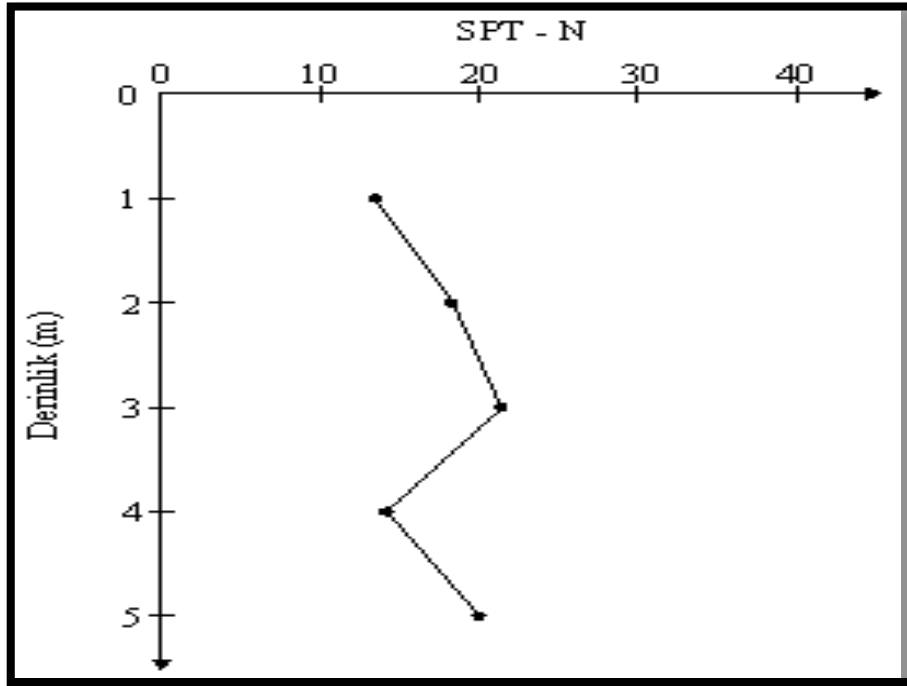


Şekil 37. Elek seti ve elek üstü numune.

» Elek açıklıklarına göre her eleğin üzerinde kalan numune ağırlığı tekrar ölçülür ve kaydedilir. Son olarak da zemin sınıfı belirlenir.

SPT-N değeri.

SPT-N değeri, sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesinde, zeminlerin rölatif yoğunluğunu ve efektif gerilme hakkında bilgi verdiği için önemli bir değişkendir. Dane şekli, çimentolanma, çevre basıncı gibi sıvılaşmayı etkileyen ikincil değişkenler dahi, SPT deneyi ile kısmen de olsa tahmin edilebilmektedir (Çavuş, 2004).



Şekil 38. Derinlik- SPT sayısı arasındaki bağlantı ilişkisi (Uzuner, 2000).

SPT-N değerini etkileyen faktörler.

- » Gerekli ekipmanların standarda uygun olmayan ölçü ve ağırlıkta olması,
- » Sondaj delgisinin iyice temizlenmemesi durumunda numunenin dolgudan alınması,
- » Şahmerdan düşüşlerinin tekrarlı ve istenilen yükseklikten yapılmaması,
- » İri taneli zeminlerde deneyin çakılan muhafaza borusu içinde yapılması,
- » Deney için gerekli olan ekipmanların bağlantılarının iyi yapılamaması,
- » Sondaj kuyu çapının büyük olması,
- » Tijlerin durumu, şahmerdan türü ve konumu,
- » Numune alıcısındaki hasarlar,
- » Kuyu sondajı ve SPT deneyi arasında geçen süre,
- » Numune alınan yere göre yeraltı su seviyesinin durumu,
- » Numune alıcının içerisinde gömlek olup olmadığı,
- » Deney esnasında yeterli gözlem yapılamaması bu değişkenler arasında sayılabilir(Alkaya, 2007; Toğrol, & Sivrikaya, 2003).

SPT-N değer düzeltmeleri.

SPT- N değerini etkileyen değişkenler, SPT sonuçlarının geçerliliğini dolaylı olarak etkilemektedir. SPT-N_{arazi} sonuçları yüksek olarak ölçüldüğünde, zemin özellikleri ve taşıma gücünün gerçekçi olamayan sonuç varsayımlarına neden olmaktadır. Bunun aksine düşük olarak ölçülen SPT-N_{arazi} sonuçları güvenli sonuçlar ortaya koymaktadır. Deney sonuçlarını daha doğru daha kullanılabilir sonuçlar elde etmek adına SPT-N değerlerinde düzeltmeler yapılmaktadır(Sivrikaya, & Toğrol, 2003). Derinlik, yeraltı suyu ve deney ekipmanlarına bağlı düzeltmeler olmak üzere başlıca üç şekilde yapılmaktadır.

Deney ekipmanına bağlı düzeltmeler.

Arazi deneyi ile elde edilen SPT- N sonuçları kullanılan ekipman kaynaklı değişimlere bağlı olarak düzeltme faktörleri uygulanarak tekrar hesap edilir.

Deneyde kullanılan yöntem sonucu ortaya çıkan hata oranları, belirlenen N değeri N₆₀ 'a dönüştürülerek az da olsa giderilir.

$$N_{60} = E_m \cdot C_B \cdot C_S \cdot C_R \cdot N / 0,60 \quad (2.6)$$

N_{60} = Düzeltilmiş SPT- N değeri.

E_m = Şahmerdan verimi.

C_B =Sondaj kuyusunun çapına göre düzeltme katsayısı.

C_S =Numune alıcısının durumuna göre düzeltme katsayısı.

C_R =Tij uzunluğuna göre düzeltme katsayısı.

N =Deneyde ölçülen SPT-N değeri.

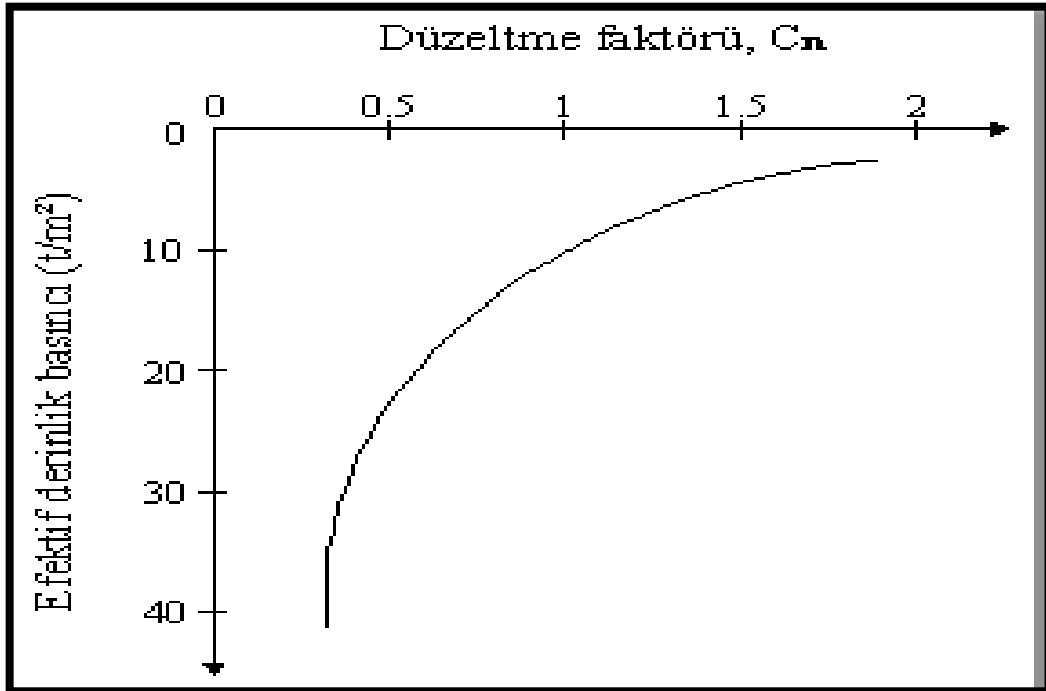
Derinlik düzeltmesi.

SPT- N değerleri yapılan deney seviyesinin üzerinde bulunan zeminden kaynaklanan efektif gerilmenin tesirlerini ortadan kaldırmak için düzeltme yapılır. Homojen bir zeminde derinde yapılan deneyler sıg seviyelerde yapılan deneylere oranla N değeri daha yüksektir(Alkaya, 2007). Deneylerde kullanılan tijlerin boyutları aynı olmadığı için derinlik düzeltmesi yapılır.

$$N'_{60} = C_N \cdot N_{60} \quad (2.7)$$

$$C_N = 1,7 / (0,7 + \sigma'_v) \quad (2.8)$$

$$\sigma'_v = 1,70 \cdot \text{Derinlik} \quad (2.9)$$



Şekil 39. C_N 'in σ'_v değerine göre değişimi(Uzuner, 2000).

Yeraltı suyu düzeltmesi.

İnce taneli kum veya siltli kum içerisinde yeraltı su seviyesinin altında deney yapıldığında, ölçülen darbe sayısı 15'ten büyükse, kuyu içerisinde ilerletilen penetrometrenin hareketi sonucu aniden oluşan ve dağılmayan boşuk suyu basıncının sebep olduğu direnç artışı düzeltilmelidir.

$$N''_{60} = 15 + \frac{1}{2} \cdot (N'_{60} - 15) \quad (2.10)$$

Sıvılaşma Potansiyeli Analiz Yöntemleri

Sismik davranışı yüksek olan alanlarda drenajsız, suya doymuş gevşek taneli zeminlerde sıvılaşma ihtimali oldukça yüksektir. Birçok araştırmacı tarafından şimdiye dek potansiyel sıvılaşma analiz yöntemleri çalışılmıştır. Laboratuvar deneyleri sıvılaşma analizi için oldukça zaman aldığından ve örselenmemiş numune alma sorunlarından dolayı çoğunlukla arazi deneyleri tercih edilmektedir. Arazi deneyleri içerisinde en çok kullanılan Koni Penetrasyon Deneyi ve Standart Penetrasyon deneyidir. Kayma Dalga Hızı deneyi de sıvılaşma analiz yöntemlerinden biridir. Arazi testlerine göre sıvılaşma analiz yöntemleri aşağıda gruplandırılmıştır.

- SPT' ye göre potansiyel sıvılaşma analizi
 - Seed ve Idriss (1971)
 - Tokimatsu ve Yoshimi (1983)
 - Iwasaki ve Tokida (1982)
- CPT 'ye göre sıvılaşma analizi
 - Seed ve De Alba (1986)
 - Suzuki, Koyamada ve Tokimatsu (1997)
 - Robertson ve Wride (1998)
- V_s (kayma dalga hızı)' ye göre sıvılaşma analizi.

Zeminlerin sismik talebi ifade eden devirsel gerilme oranı (DGO) ve zeminin sıvılaşmaya karşı direncini gösteren devirsel direnç oranı (DDO) değişkenlerinin bulunması sıvılaşma risk değerlendirmesi için gereklidir.

$$EF=(DDO/ DGO)* MDF \quad (2.11)$$

Burada,

EF= Emniyet faktörü,

DDO= Devirsel direnç oranı,

DGO= Deprem nedeniyle oluşan devirsel gerilme oranı,

MDF= Magnitüd düzeltme değişkenidir.

Seed ve Idriss kendi çalışmalarını ilerletmek için sınıvlaşma üzerine yoğunlaşmaya devam etmişlerdir. Sınıvlaşmanın etkilediği ya da zeminde sınıvlaşma etkileri görülmemiş birkaç bölgede SPT-N değerlerini ölçerek bununla birlikte 7,5 büyüklüğündeki depremleri kaydetmişlerdir. 7,5 üzeri depremler için araştırmalar sonucu düzeltme faktörü önermişlerdir.

$$MDF=10^{2,24/M^{2,56}} \quad (2.12)$$

Burada M deprem büyüklüğü MDF ise magnitüd düzeltme faktörü olarak tanımlanır.

SPT, potansiyel sınıvlaşma analizi yapılırken en çok kullanılan arazi deneyidir. SPT geçmiş depremlerden elde edilmiş veri tabanına sahip olması yeni oluşabilecek depremlerde de kolayca ölçülebilmesi sebebiyle yaygın olarak kullanılan deneydir. Bu çalışmada sınıvlaşma analizi için girdi değişkenleri SPT deneylerinden elde edilmiştir.

Seed ve Idriss (1971).

Devirsel gerilme oranının hesaplanması.

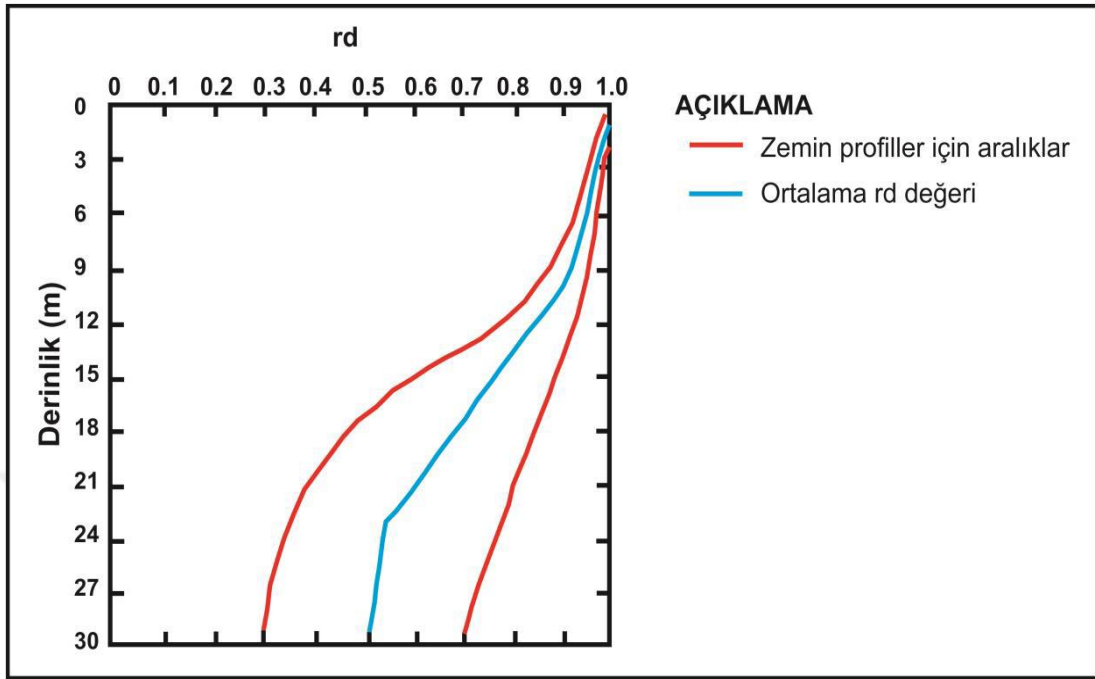
Seed ve Idriss'in önerdiği yöntem öncülüğünde DGO aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilmektedir:

$$DGO= 0,65.[(a_{maks} / g). (\sigma_{vo}/\sigma'_{vo})].rd \quad (2.13)$$

Burada DGO, deprem nedeniyle oluşan devirsel gerilme oranı; a_{maks} , zemin yüzeyindeki maksimum yatay yer ivmesi; g, yerçekimi ivmesi; σ_{vo} , düşey toplam gerilme; σ'_{vo} , düşey efektif gerilme; rd, gerilme azaltma katsayısıdır. Zemin yüzeyine etki eden a_{maks} değerinin bulunması için birçok araştırmacı tarafından birçok çalışmalar yapılmıştır. 1996 yılında Aydan, Sezaki ve Yarar Türkiye' de oluşabilecek depremler için a_{maks} değerinin hesaplanması adına aşağıdaki denklemi önlermişlerdir.

$$a_{maks}= 2,8 (e^{0,9M} * e^{-0,025R} -1) \quad (2.13)$$

Burada M deprem büyüklüğü, R ise deprem odağına olan mesafedir. Seed ve Idriss aracılığı ile yenilenen gerilme azaltma değeri olan r_d katsayısının derinliğe göre değişim eğrisi aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 40. Gerilme azaltma katsayısının derinliğe göre değişimi (Unutmaz, 2008, s.65).

Gerilme azaltma katsayısının bulunması için geliştirilen ikinci yöntem ise 1986 yılında Clia ve Whitman tarafından oluşturulan denklemlerdir.

$$r_d = 1.0 - 0,00765 z; z \leq 9,15 \text{ m} \quad (2.10)$$

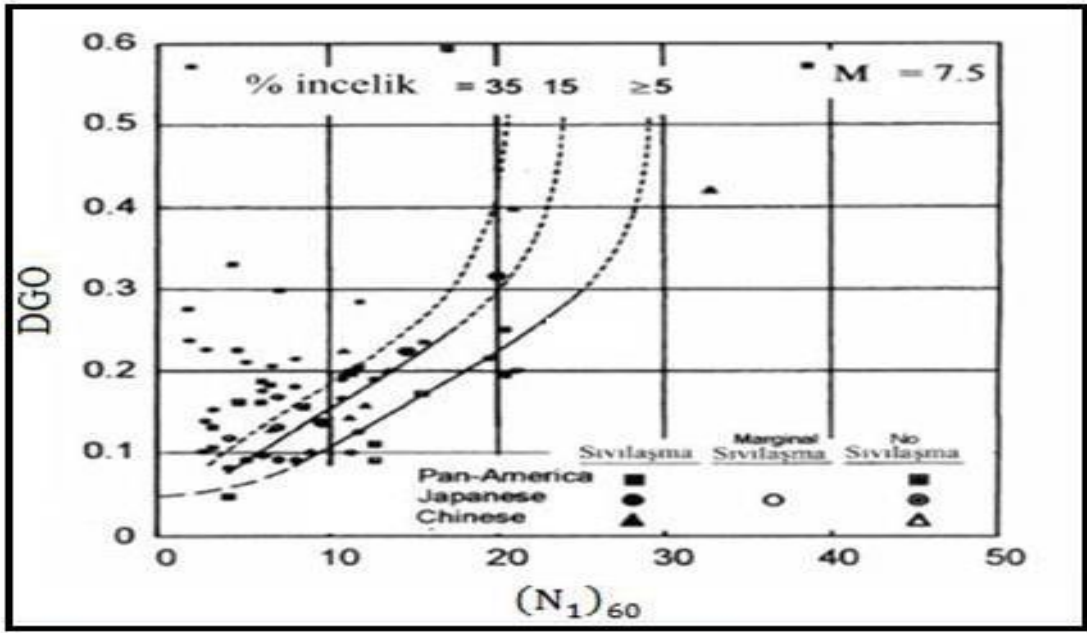
$$r_d = 1.174 - 0,0267 z; 9,15 < z \leq 23 \text{ m} \quad (2.15)$$

Oluşturdukları bu denklemlerde z metre cinsinden derinliği ifade etmektedir. Ortalama değer eğrisinden alınan r_d değerinden faydalanarak aşağıdaki eşitliği oluşturmuşlardır.

$$r_d = \frac{1 - 0,4113z^{0,5} + 0,04052z + 0,04052z + 0,00173z^{1,5}}{1 - 0,4177z^{0,5} + 0,05729z - 0,00620z^{1,5} + 0,00121z^2} \quad (2.16)$$

Devirsel direnç oranının hesaplanması.

Zeminlerin sıvılaşmaya karşı direnç devirsel direnç oranı olarak açıklanmaktadır. $M=7,5$ büyüklüğünde bir depremin olduğu kumlu ve temiz siltli olan zeminlerde sıvılaşma etkilerinin görüldüğü ve görülmediği bölgelerde SPT-N değeri ölçülmüştür. Çalışma sonucunda devirsel direnç oranı ile N_{60} arasındaki ilişki grafiksel olarak gösterilmiştir. Grafikte belirli bir aralıktaki SPT- N değerlerinin sıvılaşmameydana gelmesi için gereken minimum devirsel kayma gerilme oranı tespit edilmektedir.



Şekil 41. M=7,5 için devirsel direnç oranı ve $(N_1)_{60}$ arasındaki ilişki (Youd, Idris, Andrus, Arango, Castro, Christian, Dobry, Finn, Harder, Koester, & Liao, 2001).

$(N_1)_{60}$ değeri tahminen 100 kPa'lık bir üst tabaka yüküne ve %60 enerji oranına göre düzeltme uygulanmış SPT değerlerini belirtmektedir. Grafikte belirtilen ince tane oranı %5 ve daha düşük olan taneli zeminler ve ayrıca %15 ve %35 olan taneli zeminler için elde edilmiştir. Zemin içerisinde ince tane oranı %5'ten az olan kumlar temiz kum olarak kabul edilir (Sağlam, 2008).

DDO hesaplanması için eşitlik geliştirilmiştir (Youd vd., 2008).

$$DDO = \frac{1}{34 - (N_1)_{60}} + \frac{(N_1)_{60}}{135} + \frac{50}{(10(N_1)_{60} + 45)^2} - \frac{1}{200} \quad (2.16)$$

Burada DDO devirsel güç oranı, $(N_1)_{60}$ ise %60 enerji oranına göre düzeltilmiş SPT-Narazi değeridir.

$(N_1)_{60} \geq 30$ olan siltli ve killi zeminler sıvılaşma görülmeyen zemin olarak sınıflandırılmaktadır. Artan ince tane oranı sıvılaşmaya karşı direncin de artmasına sebep olmaktadır. İnce tane oranının sıvılaşmaya etkisi aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır.

$$(N_1)_{60tk} = \alpha + \beta(N_1)_{60} \quad (2.17)$$

Burada $(N_1)_{60}$ %60 enerji oranına göre düzeltilmiş SPT-Narazi değeri, $(N_1)_{60tk}$ ince tane oranına göre düzeltilmiş SPT değerleri, İTO İnce tane oranı α ve β ince tane düzeltme katsayılarıdır ve aşağıdaki eşitliklerle belirlenmektedirler.

$$\alpha = 0 ; \dot{I}TO \leq \%5 \text{ (2.15)}$$

$$\alpha = \exp [1,76-(190/\dot{I}TO^2)] ; \%5 \leq \dot{I}TO \leq \% \text{ (2.18)}$$

$$\alpha = 5,0 ; \dot{I}TO \geq \%35$$

$$\beta = 1,0 ; \dot{I}TO \leq \%5 \text{ (2.16)}$$

$$\beta = [0,99+(\dot{I}TO1,5 /1000)] ; \%5 \leq \dot{I}TO \leq \%35 \text{ (2.19)}$$

$$\beta = 1,2 ; \dot{I}TO \geq \%35$$

Zeminlerin fiziksel özellikleri, zemininden çevre koşullarından etkilenmeden alınan numunenin laboratuvar deneyler sonucu belirlenir.

Sıvılaşma Öncesi Önlemler

Sıvılaşma potansiyeline sahip sahalar tanımlanabilir; ancak, sıvılaşmanın ne zaman nerede olacağını tahmin etmek depremi tahmin etmek kadar zordur. Sıvılaşma potansiyeline sahip sahalar parsel bazında zemin etütleri ile ayrıntılı olarak incelenmelidir. Yerleşim alanları için hazırlanan sıvılaşma potansiyel haritası sıvılaşma duyarlılığı ve sıvılaşma yatkınlığı verilerinden türetilmektedir. Sıvılaşma duyarlılığı, zeminin sıvılaşmaya direnci olarak tanımlanır ve duyarlılığı kontrol eden temel faktörler zemin türü, yoğunluğu ve su tablasının konumudur. Sıvılaşma yatkınlığı sismik yer sarsıntılarının şiddeti ve deprem oluşum sıklığı ile tanımlanır. Bunun için deprem kaynak modelinin, sismik kaynakların konumu ve kaynak bölgelerinde olası depremlere sayısı ve büyüklükleri bilinmesi gerekmektedir.

Sıvılaşma potansiyeli haritalarının hazırlanmasında yararlanılacak temel veriler:

- Tarihsel depremler sırasında sıvılaşmanın meydana geldiği sahalar
- Suya doygun, granüler malzemeden oluşmuş, gevşek dolgu sahalar,
- Yeterli jeoteknik veri ile sıvılaşma olasılığı kanıtlanmış sahalar,
- Suya doygun alüvyoner sahalar.

Potansiyel sıvılaşma tehlikesini azaltmak için olası zemin hareketlerine karşı yapıların takviyesi, uygun temel tipinin seçilmesi, zemin iyileştirilmesi(drenaj, sıkıştırma, çimento enjeksiyonu, yanal yayılmaya karşı önlemler gibi) yöntemler uygulanabilir.

Yeterli ve güvenilir veri üzerine kurulmuş sıvılaşma potansiyeli haritası gerek önlem ve gerekse sıvılaşmaya karşı hazırlıklı olmanın en geçerli yöntemidir. Bu tür haritalar parsel bazında yapılacak etütleri yönlendirmelidir.

Haritalar, objektif veriler üzerine kurulmalıdır. Haritaların hazırlanmasında jeolojik esasları ışığında sınıflama potansiyeline ait veriler esas alınmalıdır. Planlamaya konu olan alanların yerleşime uygunluk açısından değerlendirilmesi ile belirlenen risk grupları şu şekilde özetlenebilir:

- Yerleşime uygun alanlar
- Önemli alanlar
- Ayrıntılı jeoteknik etüt gerektiren alanlar
- Yerleşime uygun olmayan alanlar

Yerleşime uygun alanlar; doğal afetlerden fazlaca etkilenmeyen, jeolojik ve jeoteknik özellikleri itibarıyla uygun nitelikteki zeminlerdir. Minimal düzeyde sondaj, muayane çukuru ve jeoteknik değerlendirme yeterli olacaktır.

Önemli alanlar; normal tehlike, alışılmış veya sıkça rastlanır zemin yada yükleme şartları taşıyan alanları kapsar. Sondaj muayene çukurları ve rutin laboratuvar deneyleri ile zemin profili ve davranışı belirlenerek gerekli önlemler alınır.

Ayrıntılı jeoteknik etüt gerektiren alanlar; tematik haritalarda belirlenmiş, örneğin şişme- büzülme, sıkışma, sınıflama ve çökme davranışı gösteren zeminlerde ayrıntılı jeoteknik etütler, gerektiğinde özel etütler, yapılarak gerekli zemin iyileştirilmesi gibi önlemler alınmalı ve uygun temel tipi seçilmelidir.

Yerleşime uygun olmayan alanlar; sürekli sel tehlikesi, aktif veya potansiyel heyelan tehlikesi, sulak alanlar, tarihi ve doğal sit alanları, su kaynakları koruma alanları, yoğun karstlaşma alanları, tasmana maruz alanlar gibi imar yasaklı alanlardır.

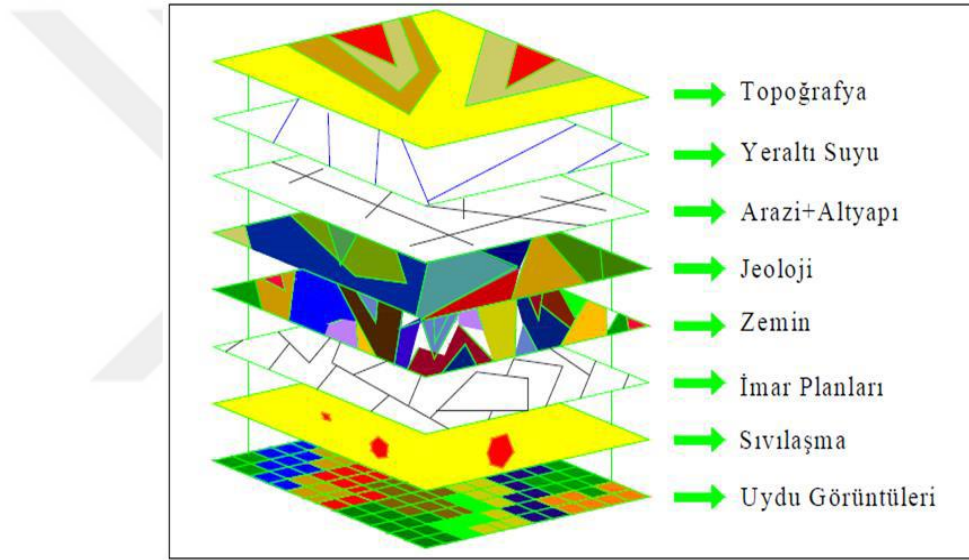
Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS)

Yönetim ve karmaşık planlama problemlerinin çözümü için tasarlanan CBS; konumu belli olan verilerin analiz edilmesi, modellenmesi, işlenmesi, yönetilmesi ve görüntülenebilmesi fonksiyonlarını içeren yazılım, donanım ve metotlar bütünüdür. Daha basitçe ifade edilecek olursa Coğrafi bilgi sistemleri (Geographical Information Systems, GIS), dünyada genel olarak bölgeleri tanımlayan, girdi verileri muhafaza eden ve kullanan bilgisayar sistemi olarak açıklanabilir (ESRI, 2008)

Konumsal bilgi sistemleri içinde bulunan veriler, sadece konumsal olarak açıklanan verileri içermeyip bu konumsal verileri veya sembolleri ifade eden öznitelik bilgiler yine CBS olarak tanımlanır (Küpçü, 2005).

Coğrafi Bilgi Sistemleri, yer kabuğu şekillerini ve yer kabuğunda meydana gelen olayların haritaya dönüştürülmesi ve bunların analiz edilmesi için gerekli bilgisayar destekli araçlar bütünüdür. Coğrafi Bilgi Sistemleri, ortak veri tabanını birleştirme niteliğine sahip teknolojik yöntemler bütünüdür. Örnek verecek olursak görsel haritalar ve coğrafik analiz getirileri sorgulama ve istatistiksel analiz olarak kullanıcıya sunulur. CBS, bu özelliği ile diğer veri sistemlerinden ayrılır. Bu yüzden CBS, ileriye dönük hizmet alanında olay betimleme ve tahmin özelliği mevcut olduğu için stratejik planların oluşturulmasında kamu ve özel sektörde sıkça kullanılan uygulamadır (Yomralıoğlu, 2002).

CBS kullanılarak oluşturulan analiz ile haritalar, çalışma yapılacak bölgelerdeki zeminin yapı ve davranışlarının incelenerek kıyaslanması hususunda etkin rol oynamaktadır. CBS ile oluşturulabilecek örnek harita tabakaları aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 42. Olası CBS tabakaları (Seven, 2008, s.25).

Coğrafi bilgi sistemleri bileşenleri.

Bir sistemin işleyişine devam edebilmesi için bazı gereksinimlere ihtiyaç duyulur(ESRI,2010). CBS işleyebilmesi ve en üst seviyede fayda sağlayabilmesi adına belli başlı eleman ve bileşenler gereklidir. Bu elemanlar;

»Veri(Data):Coğrafi Bilgi Sistemleri’nde yapılacak tüm işlemlerin ana bileşeni veridir ve veriler olmadan işlem yapmak neredeyse olanaksızdır. CBS’de vazgeçilmez temel işleyiştir (ESRI,2010).

» Yazılım (Software): CBS’ nin temel bileşeni olan verinin sistem içerisinde tek başına işlenebilmesi olanaksızdır. Verilerin işlenebileceği ve analizlerinin yapılabileceği bir yazılıma gereksinim duyulmaktadır. Yazılım CBS’de vazgeçilmez öğelerindendir (ESRI,2010).

»Yöntem (Method): CBS’de yapılacak olan çalışmaların daha başarılı bir şekilde ilerleyebilmesi adına doğru yöntemin tespiti önem taşımaktadır. Tespit edilen yöntem veya yöntemlerin iyi bir şekilde planlanması ve tasarlanması gerekmektedir (ESRI, 2010).

» Donanım (Hardware):CBSyazılımından yüksek performans elde etmek için bilgisayar donanımının da kalitesinin yüksek olması gerekmektedir (ESRI, 2010).

» İnsanlar (People): CBS’de yukarıda bahsedilen bileşenler program için vazgeçilmez öğeler olsalar dahi insan olmadan bir bütün oluşturamazlar. Bu sebeple CBS insan odaklı bir karar destek sistemidir. Problemlerin çözülmesi ve sistemin geliştirilmesi adına gerekli çalışmaları insan hazırlar. Bu sebeple, CBS’nin işleyebilmesi için gerekli bilgiye sahip yetişmiş personellere ihtiyaç duyulmaktadır (ESRI, 2010).

Coğrafi bilgi sistemlerinin çalışma yöntemi.

CBS’ de raster ve vektör olmak üzere veri yapısı iki şekilde işlenmektedir. Vektör veri belirli koordinatlara sahip x. y değerleri ile oluşturulan veriler bütünüdür. Vektör veri kendi içerisinde nokta, çizgi, alan olmak üzere üç şekilde sınıflandırılır.

»Noktasal (Point) Veri: Tek bir koordinat (x,y) değer çiftini temsil eder. Şekil ve sınırları küçük olan değerlerin tanımlanmasında bu tür vektör veriler kullanılır. Örnek verecek olursak tepelerin zirve noktaları, kuyular, direkler, ağaçlar, vb.

»Çizgisel (Line) Veri: Birbirini takip eden bir dizi şeklindeki (x,y) koordinat serilerinin sistem üzerinde depolanmasıdır. Birbirini takip eden koordinat serilerinin sistem üzerinde alan olarak gösterilemeyen birimler için kullanılır. Örnek verecek olursak yol, akarsu, elektrik hattı, vb.

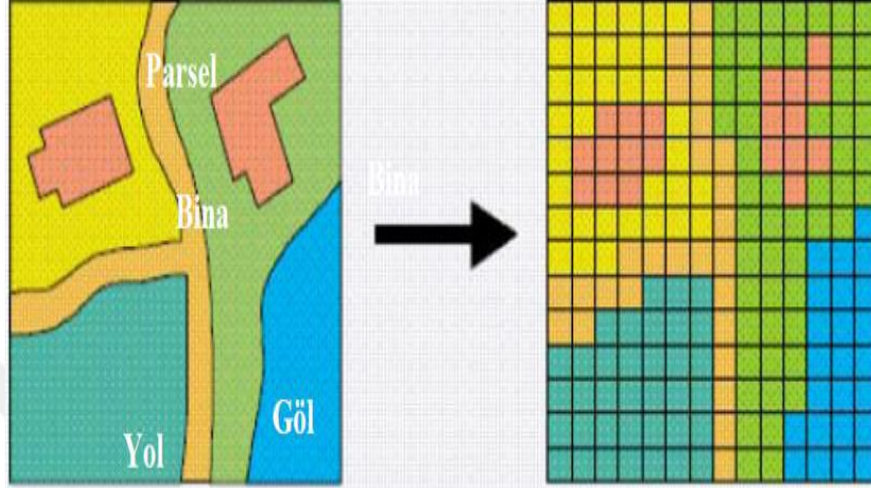
»Alansal (Polygon) Veri: Başlangıç ve bitiş noktalarında aynı (x,y) koordinatına sahip, tekrarlı devam eden koordinatlar ile depolanan veriler bütünüdür.

Örneğin; göller, parseller, orman alanı vb.



Şekil 43.Vektör veri tipleri(ESRI, 2010).

Raster veri, hücrelere bağlı, grid yapıdaki birbirlerine komşu hücrelerin birleşmesiyle oluşmaktadır. Vektör verilerin fotoğraf, taranan haritalar veya paftaların sistem üzerine transfer edilmesiyle oluşmaktadır. Vektör veriler raster verilere oranla depolama alanı daha azdır. En uygun yer analizi, maliyet analizi gibi bazı konumsal analizler raster verilerde daha kolaydır. Fakat önem arz çalışmalarda verilerin hassasiyeti hücresel boyut ile orantılı olduğundan veri kayıplarına sebep olabilir.



Şekil 44 .Coğrafi verilerin raster veri üzerinde görünüşü (ESRI, 2010).

CBS’de veri üretme, depolama ve görüntüleme gibi birçok özellik mevcuttur. Bunun yanı sıra CBS veri toplama teknikleri, depolama, görüntüleme, sorgulama, analiz ve çıktı biçiminde genel başlıklar adı altında toplanmaktadır.

Coğrafi bilgi sistemlerinin temel işlevleri.

CBS’de coğrafi bilgi ve verilerin bütün insanların paylaşacağı bir bilgi sistemi şekli oluşturmak temel amaçlardan biridir. Bu temel amacı ilke edinen ESRI şirketi, kullanıcı ihtiyaçlarını profesyonel bir şekilde aktarabilecek programlar üretmiştir. CBS’de verilerin bilgi haline gelebilmesi için bir takım işlemlerden geçmesi gereklidir. Bu işlemleri belirtecek olursak; veri oluşturma, depolama, işleme, sorgulama ve çıktı alma şeklindedir.



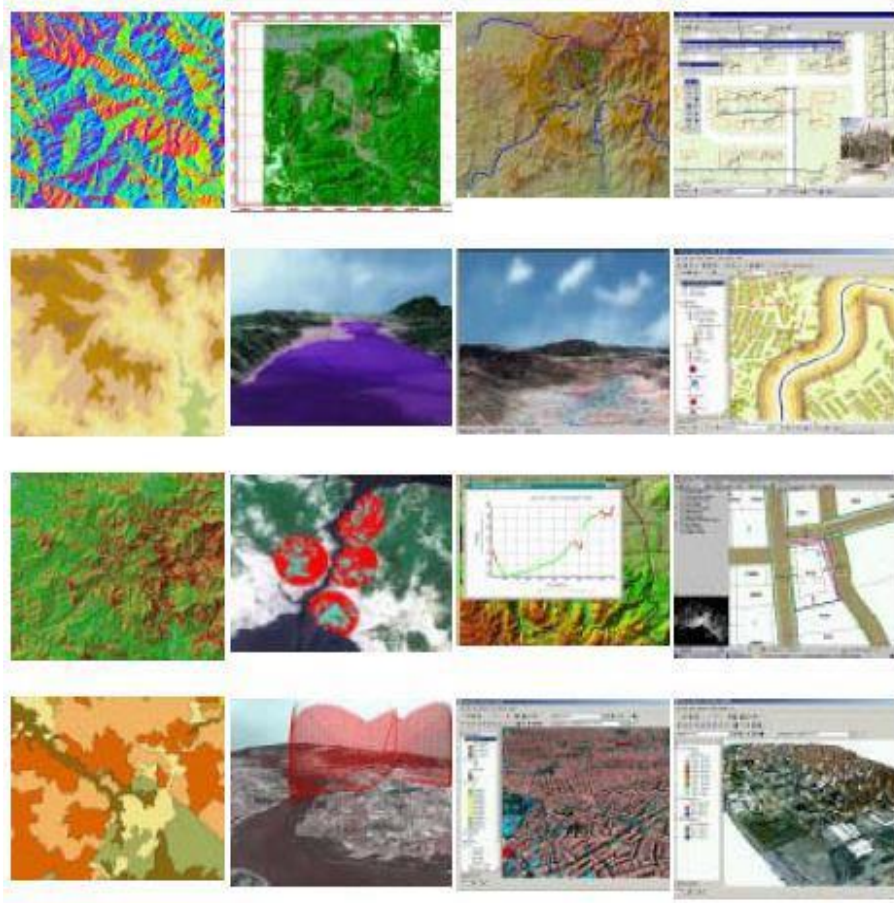
Şekil 45. CBS genel işlevleri (Aksoy, 2011).

»Veri: Coğrafi bilgi sistemlerinde kullanılan veriler koordinat sayısalı, dijital haritalar, sayısallaştırılmış haritalar, konumsal dataların bilgisayara aktarılması şeklinde veri topluluğu oluşturulur.

»Veri Toplama: Yerkabuğuna ait bilgileri CBS’ de raster ve vektör veri formatlarında tabakalar şeklinde depolanır. Analiz ve sorgulamalarda vektör ve raster veriler kullanılır. Vektörel formattaki veriler apsis x,y koordinatları, nokta, alan ve çizgi şeklinde aktarılır.

»Sorgulama: CBS veriler için sorgulanma olanağı sağlar. Örneğin verisi depolanmış yolun uzunluğuna, adına, nitelik bilgilerine kolayca ulaşılabilir. Farklı katmanlar içinde sorgulamalar yapılabilmektedir. CBS’ de mahalle içerisindeki okul ve ev sayısı, atık su merkezi, arıtma tesisi, sanayi sitesi benzeri yerleşim yerlerine olan uzaklıklarına kolayca erişilebilir. Bu ve benzeri sorgulamalar CBS’ de yapılabilmektedir.

»Analiz: CBS üzerinde verileri görüntüleyerek analiz edilebilmektedir. Konuma dayalı verilenden faydalanılarak yeni bilgiler üretilebilir. Aspect, Slope, DEM, Cutt&Fill gibi yüzeysel analizler, Buffer tampon bölgeleme, yakınlık analizi, grid analizi, istatistik analizi, komşuluk analizi, bindirme analizleri ve taşkın analizi gibi birçok analiz yardımıyla yeni bilgiler ortaya konulabilir.



Şekil 46. CBS analiz yöntemleri (Aksoy, 2011, s.58).

»Çıktı: Coğrafi bilgi sistemleri üzerinde yapılan sorgulama ve analiz çalışmaları sonucu oluşturulan haritalar istenilen şekilde renkler seçilip, lejant, yön okları, ölçekler eklenip dış ortama aktarım sağlanabilir. İstenilen konu hakkındaki araştırma değerlendirmeler daha detaylı bir şekilde anlatılarak karar verilme aşmasında kolaylık sağlanabilir.

Coğrafi bilgi sistemlerinin kullanıldığı alanlar ve sağladığı kolaylıklar.

Coğrafi veriler geniş olduğundan CBS her alanda uygulanabilir kapsamı geniş bir yazılımdır.

CBS ulaşım planlaması, savunma, turizm, tarım, belediye hizmet faaliyetleri, sağlık yönetimi, bayındırlık ve idari hizmet gibi çeşitli kullanım alanları mevcuttur. CBS kullanıcılarına kolaylık sağlayan bir yazılımdır. Bilgileri güncelleştirerek daha az insan ve işlemle istenilen analiz sonuçları temin edilir. Sayısallaştırılan haritalar ve görüntülerine ayrıca istenirse onlara ait grafiklerine erişim sağlanabilir. Bununla birlikte yapılan hatalar kısa zamanda düzeltilip çözülebilmektedir.

CBS ile mülkiyete ait arazi koordinat ve sınırları belirlenebilir. CBS veri tabanında coğrafi bilgileri kullanır. Birçok kurum, şirket, kuruluş kolayca erişebilmektedir.

Coğrafi verilerin paylaşılıp, işlenebileceği ayrıca analizinin de yapıldığı dijital platformda, bilimsel olarak akademik kurum araştırma ve planlarda kullanılmaktadır. Mekânsal konum analizlerini yaparak üç boyutlu görselleştirmeler elde edilmektedir. Girdi veri tabakalarını düzenleyerek daha akıllıca kararlar almak adına modellemeler yapıp derin bir bakış açısı sunmaktadır.

Oturma Hesapları

Oturma hesapları, kuru ve doygun zemin alarak iki bölümde incelenir. Belirli bir derinlik için oturma değerinin toplamı, kuru ve suya doygun zeminlerdeki oturmaların toplamı ile bulunur.

Doygun zeminlerde oturma hesapları.

Tokimatsu ve Seed (1987) yöntemi.

Bu yönteme göre oturma hesapları $(N_1)_{60}$ ve CSR bağıntısı arasındaki ilişki kullanılarak elde edilir. Oturma analizi yapılırken her tabaka için ayrı ayrı hacimsel birim deforme durumu hesaplanır. Zeminin hacimsel deformasyonu CSR ve düzeltilmiş SPT verilerine göre oluşturulan grafik yardımıyla bulunur. Bunun sonucunda her tabakanın hacimsel birim deformasyonu tabakanın kalınlığı ile çarpılır ve oturma değeri hesaplanır.

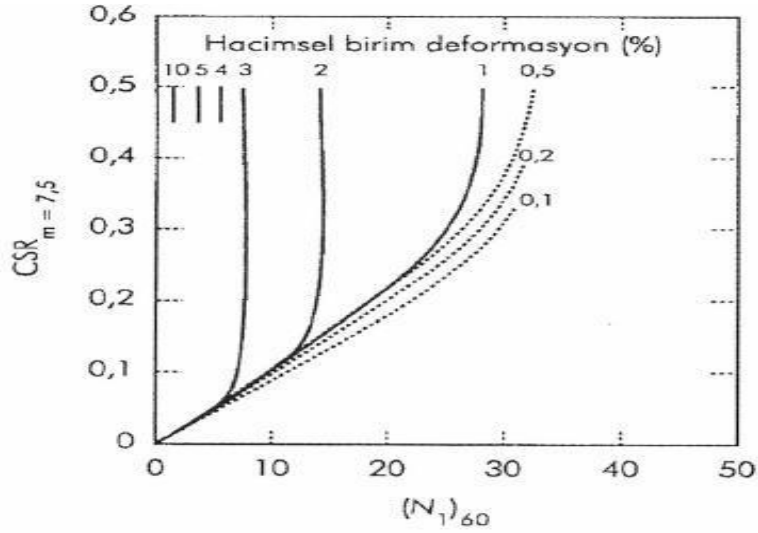
$$S_{\text{doygun}} = (\epsilon_c / 100) \cdot d_z$$

S_{doygun} = suya doygun zemindeki oturma (cm)

ϵ_c = hacimsel deformasyon (%)

d_z = zemin tabakasının kalınlığı (cm)

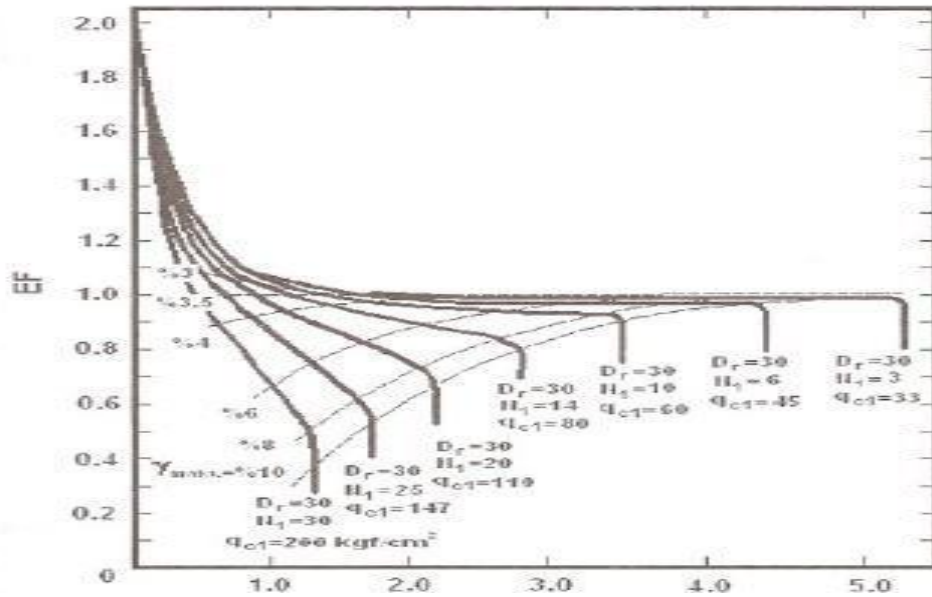
(2.20)



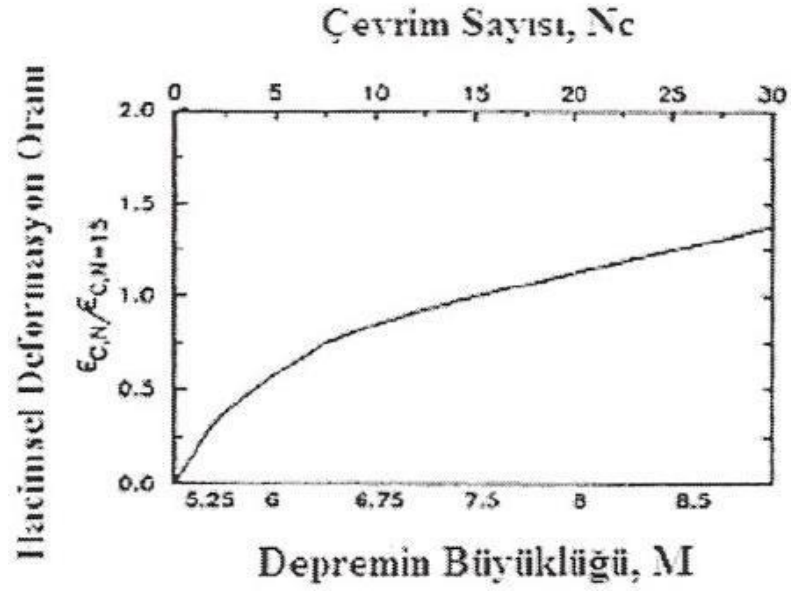
Şekil 47. CSR ve düzeltilmiş SPT değerlerine göre hacimsel deformasyonlar (Ishihara, & Yoshimine, 1992).

Ishihara ve Yoshimine (1992) yöntemi.

Bu yöntemle göre deprem meydana geldikten sonra, oturma hesabı yapılırken her tabaka ayrı ayrı ele alınır. Birim hacim deformasyonu güvenlik katsayısı (F_s) ve zeminin relatif sıkılığına (D_r) bağlı olarak grafik yardımıyla elde edilir.



Şekil 48. Sıvılaşma sonrası hacimsel değişim ile güvenlik katsayısı arasındaki ilişki (Ishihara, & Yoshimine, 1992).



Şekil 51. Manyet $\ddot{u}$ d D $\ddot{u}$ zeltme Fakt $\ddot{u}$ r $\ddot{u}$ (Tokimatsu, & Seed 1987).

Son olarak deprem y $\ddot{u}$ klerinin neden olduğu oturma (S_{kuru}) hesaplanır.

$$S_{kuru} = (2 \cdot \epsilon_c / 100) \cdot d_z \quad (2.27)$$

ϵ_c = Hacimsel deformasyon (%)

d_z = Zemin tabakasının kalınlığı (cm)

Toplam Oturma Hesabı

Belli bir derinlik i $\ddot{c}$ in yapılacak oturma hesabı, kuru ve suya doygun zeminlerde meydana gelen oturmaların toplamına eşittir.

$$S_{toplam} = \sum_{YASS} S_{doygun} + \sum_d S_{kuru} \quad (2.28)$$

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

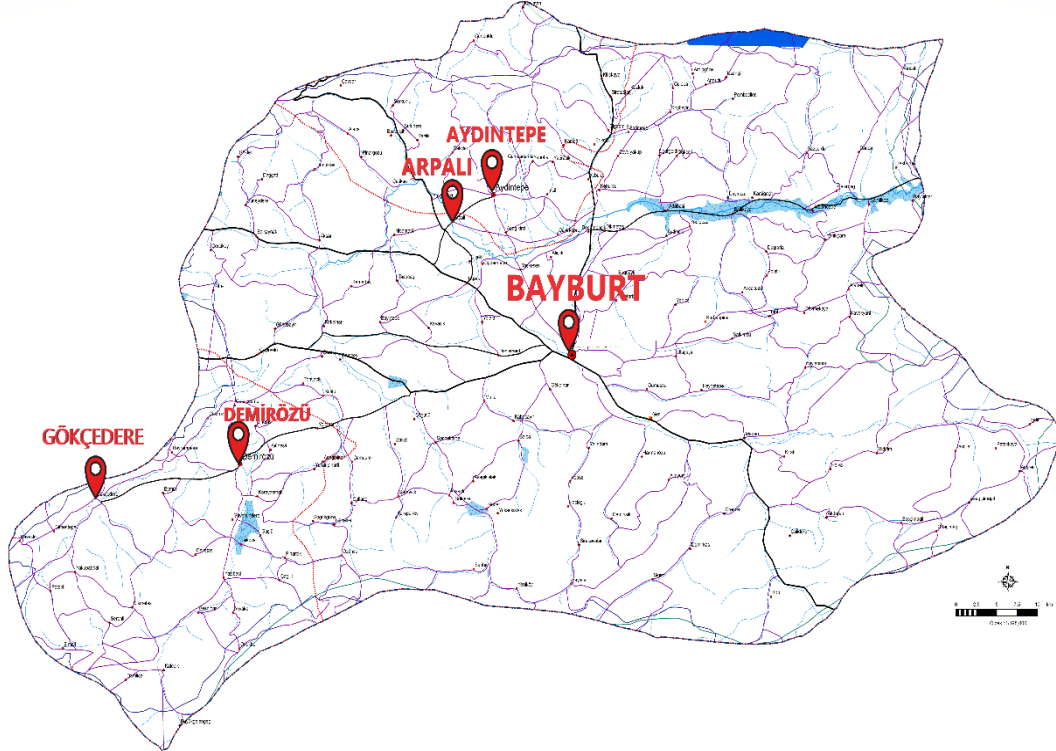
Materyal ve Yöntem

Materyal

Yüksek lisans tezinde Bayburt merkez ilçesi, Demirözü ve Aydıntepe ilçesi, Arpalı ve Gökçedere beldesinde bölgesel sıvılaşma analizleri incelenmiştir. Bu çalışmadaki arazi deney verileri kamu kuruluş ve özel sektör şirketlerden derlenmiştir.

İnceleme alanının coğrafi konum ve özellikleri.

Bayburt ili 40° 37' kuzey enlemi ile 40° 45' doğu boylamı, 39° 52' güney enlemi ile 39° 37' batı boylamları arasında yer almaktadır. Bayburt ili doğuda Erzurum, batıda Gümüşhane, kuzeyde Trabzon ve Rize, güneyde ise Erzincan ile komşudur. 3739 km² yüzölçümlü Çoruh nehri kenarında bulunan Bayburt ilinin, Demirözü ve Aydıntepe olmak üzere iki ilçesi mevcuttur. Bunun yanı sıra Arpalı; Bayburt il merkezine bağlı, Gökçedere ise Demirözü ilçesine bağlı beldeleridir.

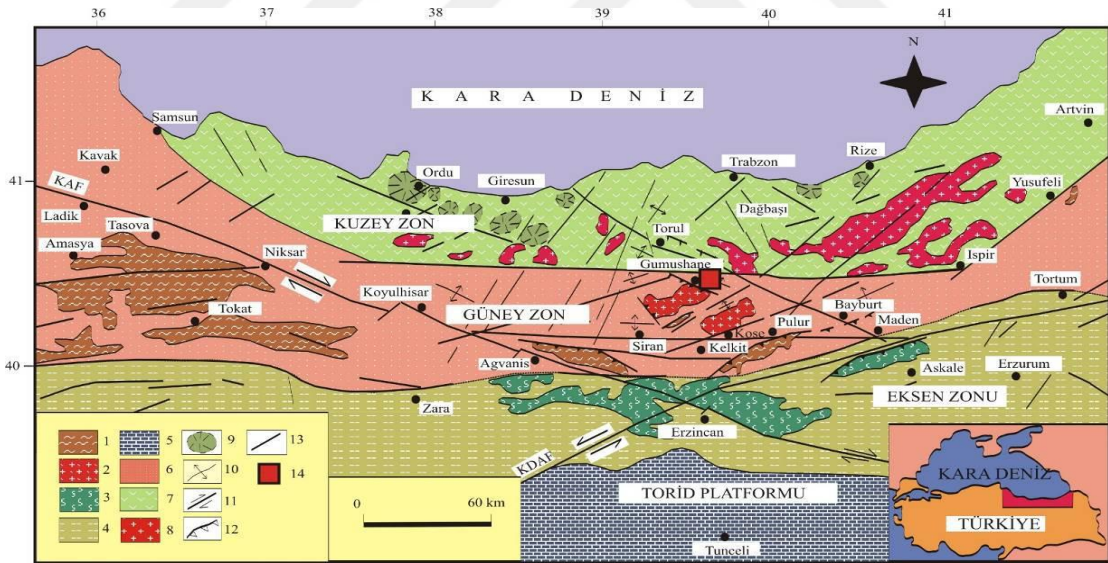


Şekil 52.İnceleme alanı yer bulduru haritası.

Genel jeoloji.

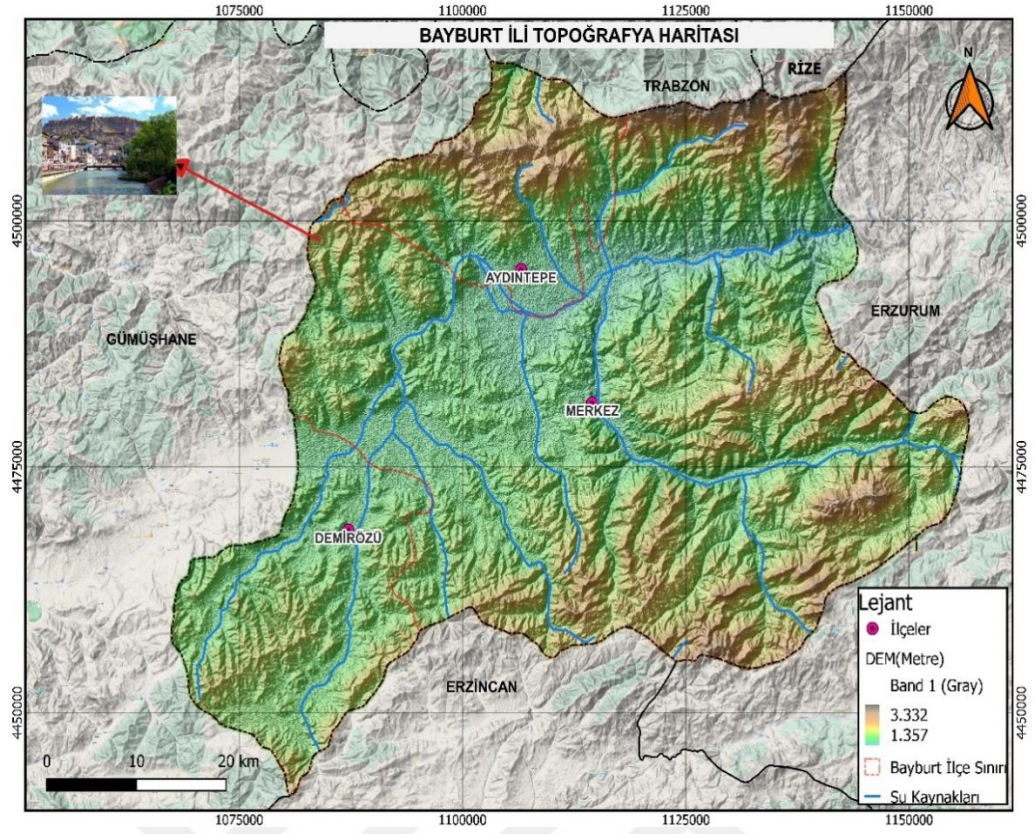
Çalışılan bölge Türkiye'nin kuzeyini yansıtan Pontid Tektonik Birlikleri'nin (Ketin, 1966) güneydoğusunda yer almaktadır. İnceleme alanındaki birimler için bölgede daha önceki çalışmacılar tarafından verilen isimler aynen benimsenmiş ve kullanılmıştır. Kaya birimlerinin yaşları eski incelemeler deneştirilmiş ve diğer birimler ile ilişkileri göz önüne alınarak stratigrafik konumları belirlenmiştir.

Bayburt ili ve yakın çevresi Doğu Pontid güney zonunda bulunmaktadır. Bölgede Paleozoik, Mezozoik ve Tersiyer yaşlı kayaç örneklerine rastlanır. En yaşlı kayaçlar permo-karbonifer öncesi yaşlı, düşük metamorfizmalı şistlerdir. Mezozoik yaşlı kayaçlar, Liyasta volkanik ara katkılı kırıntılı kayaçlarla başlar. Dogger ve Malm'da kalın tabakalı, tabanda yer yer kumlu yer yer dolomitik ve çörtlü kireçtaşları ile gelişen bu seri, Alt Kretase başlangıcında kireçtaşı – kumtaşı – marn ardışımıyla karakteristik hale gelmektedir. Alt Kretase yaşlı kayaçlar derin denizde gelişmiş mikritik kireçtaşları ile belirlenir. Birbirleriyle yanala geçişli taban konglomerası ve kumlu kireçtaşlarıyla başlayan ve filiş karakteri kayaçlarla süren istifin yaşı Eosen olarak tespit edilmiştir. Kuvaterner dönemi ise traverten, taraça ve alüvyonlarla temsil edilir.



Şekil 53. Doğu Pontidler'in başlıca tektonik ve litolojik birlikleri (Eyüboğlu, Bektaş, Seren, Nafiz, Jacoby, & Özer, 2006).

Şekil 53' de numaralandırılmış semboller sırasıyla 1 numaralı Paleozoik metamorfik tabanı, 2 numaralı Paleozoik granitleri, 3 numaralı Manto peridotitleri, 4 numaralı Mesozoik ve Senozoyik kayaçları, 5 numaralı Karbonatları, 6 numaralı Mesozoik ve Senozoyik sedimanter kayaçları, 7 numaralı Geç Kretase ve Eosen yaşlı yay volkanikleri, 8 numaralı Eosen granitleri, 9 numaralı Kaldera veya Dom'u, 10 numaralı kıvrım eksenini, 11 numaralı doğrultu atılımlı fayı, 12 numaralı bindirme fayı, 13 numaralı tamamlanmamış fayı ifade eder.



Şekil 54. Bayburt ili CBS temelli oluşturulan topoğrafya haritası.

Stratigrafi.

Çalışma alanının stratigrafi kesiti birimleri aşağıda detaylı açıklanacaktır.

Kopuzsuyu metamorfileri (Permo- Karbonifer).

Formasyonun ismi Bayburt'un yaklaşık 5 km güneydoğusunda yer alan Kopuzsuyu Deresi'nden türetilmiştir. Formasyon inceleme alanının tabanını oluşturur. Üsten ise Liyas yaşlı Hamurkesen Formasyonu tarafından uyumsuzlukla örtülür. Birim içerisinde, serisit-klorit-kuvars şistle, kalsit-muskovit-kuvars şistler, kuvars-muskovit-biyotit şistler, mermerler, kuvarsitler, fillatlar, gnays ve metavolkanitler gözlenir.

Hamurkesen Formasyonu (Liyas).

Türbiditik özellikler taşıyan çakıl taşı, grovak, kumtaşı, marn, tüfit, bazit lav ardalanmasının oluşturduğu volkano-tortul istif Hamurkesen Formasyonu adı ile ayırtlanmıştır. Tip kesiti, Hamurkesen Dere'de (Gökçedere Kuzey doğusu) izlenen Hamurkesen Formasyonu, kırmızı, mor, yeşilimsi kahve renkli, kartonsu yarılmalı, bitkili kumtaşları ile başlar. Yaklaşık 30-40 m. kalınlığındaki bu seviye üzerinde, giderek artan, yeşilimsi boz renkli, konkoidal ayrışmalı, yer yer böbreğimsi görünümlü marn ve tüfit tabakaları kumtaşı ile ardalanır. Fliş fasiyesi karakterleri taşıyan bu ardalanmaya, 100 m'yi aşkın bir kalınlıktan sonra, kalın tabakalı, bitkili grovaklar, iyi yuvarlanmış bazik volkanik kaya çakıllarından oluşmuş çakıl taşları ve

kalkarenitler katılır. Üste doğru artan tüfitler, inceleme alanı güneyinde, bazaltik lav ve aglomera katkılıdır. Litofasiyesleri ve istiflenmesi bölgelere göre sık değişen birim, inceleme alanından batıya doğru uzanır ve Kelkit kuzeyindeki Gölyeri Tepe'de kireçtaşı çakıllarından oluşmuş olistostromları kapsar. Güneydeki üçüncü dilimde metamorfik kayalar (Pulur Masifi) üzerine açılal diskordansla gelen benzer bir istifin tabanında metamorfik kaya çakılları içeren bir çakıltaşı bulunur. Bunların üzerine gelen kömür mercekli, mikalı kumtaşlarından sonra, marn-tüfit-çört-kireçtaşı mercekli grovak-şeyl ve çörtlü mikritlere geçilir. İnceleme alanında, kuzey sınırı boyunca üzerine gelen Hozfbirikyayla Kireçtaşı ile uyumlu, yer yer de, çeşitli olan Hamurkesen Formasyonu; güney sınırı boyunca, metamorfik kayalar (Pulur Masifi) tarafından tektonik olarak örtölür. Hamurkesen Formasyonunun tabanında yer alan bitkili kumtaşları sakın-sığ deniz ortamını yansıtır. Bu ortamın zamanla hareketlilik kazanması sonucu, volkanik aktivite başlamış ve enerji yükselmiştir. Ancak, çökelmenin son aşamasında, havza duraylılığını kısmen kazanmış olmalıdır.

Hamurkesen Formasyonunda yaşını doğrudan saptayacak fosiller bulunamamıştır. Olistostromlardaki kireçtaşı çakıllarından alman örneklerde Liyas yaşını veren, fosil formları bulunmuştur. Liyas kireçtaşının çakıl ve bloklarını içeren birimin Liyas'tan genç olduğu düşünülebilir. Nitekim üçüncü dilimde, Hamurkesen Formasyonu ile eşlenen kömürlü kumtaşları içinde Dogger yaşını veren polenlerin bulunduğuna değinirler. Üst sınırda ise, Üst Jura-Alt Kretase kireçtaşları ile geçişli olan Hamurkesen Formasyonu, Üst Liyas-Üst Jura yaşında olmalıdır. Birimin Üst Sinemuriyen yaşında olduğunu düşünen Ağar (1997)'a göre, Çaltepe Kireçtaşı (Alt Sinemuriyen) üzerine uyumlu olarak gelen Hamurkesen Formasyonu, Hozbirikyayla Kireçtaşı tarafından açılal diskordansla örtölür.

Formasyonun ismi Demirözü (Bayburt) yöresinde tanımlanan aynı yaşlı ve eş kaya türlü Hamurkesen Formasyonu'ndan alınmıştır. Formasyon alttan Kopuzsuyu metamorfikleri üzerine taban konglomerası ile birlikte uyumsuz olarak gelir. Üsten ise Bajosiye-Genç Tithoniye Ardıçlı Güney Formasyonu ile uyumludur. Birim volkana tortul kayaçlardan oluşur. Kum taşları ince- orta tabakalanmalı olup, taneleri az yuvarlanmıştır. Volkanitleri bazaltik kökenli lavlar, tüfler ve aglomeralar oluşturur. Ayrıca volkana tortul kayaçlar arasında kalınlığı yaklaşık 30 metreyi bulan kırmızı renkli kireçtaşı bandı gözlenir.

Ardıçlıgüney Formasyonu (Dogger-Malm).

Formasyon alttan Liyas yaşlı hamurkesen formasyonu ile üstten ise Tithoniye –Erken Kretase yaşlı Ahsünk Formasyonu tarafından uyumlu olarak sınırlandırılır. Birim tabandan tavana doğru bol makro fosilli, kumlu, ooidli sparitik kireçtaşları (20m), sarımsı gri renkli kalın masif tabakalanmalı, kumlu sparitik kireçtaşları (85m), gri renkli kalın masif tabakalanmalı

çörtlü sparitik kireçtaşları (45 m), sarımsı gri renkli orta tabakalanmalı dolomitik kireçtaşları (80m) ve en üstte sarımsı gri renkli orta kalın tabakalanmalı sparitik kireçtaşlarından (65 m) oluşur.

Ahsünk Formasyonu (Malm- Alt Kretase).

Formasyon Altta Bijosiyen – genç Tithoniyen yaşlı Ardıçlı Güney Formasyonu üstten ise Erken Kretase yaşlı Kuzdağı Formasyonu ile uyumlu olarak sınırlandırılır. Birim gri renkli, orta tabakalanmalı kireçtaşları-koyu gri renkli, orta tabakalanmalı kumtaşları ve ince tabakalanmalı marn ardalanmasından oluşmaktadır. Kireçtaşları çoğunlukla mikritiktir. Mikritik matriks içersinde Tintinid’ler ve Radyolarya’lar gözlenir. Sparitik kireçtaşları introklast, biyojen, peloid, ekstraklast ve agrega içerirler. Kumtaşlarının taneleri az yuvarlaklaşmış likit malzeme, ve opak mineraller oluşturur. Bileşenler kalsitli çimento ile birbirlerine bağlanmışlardır. Marnlar kırıntılı dokulu kireç çimentolu paralel çökelme yapısındadır.

Kuzdağı Formasyonu (Alt Kretase).

Formasyon alttan Ahsünk Formasyonu üzerine uyumlu olarak gelir. Üstten ise genç Kretase yaşlı Otlukbeli Melanjı ile uyumludur. Birim gri-bej renkli orta tabakalanmalı mikritik kireçtaşlarında oluşmaktadır. Mikritik kireçtaşları kırıntılı dokulu olup paralel çökelme yapısındadırlar. Mikritik Matriks içersinde çoğunluğunu radyolarya ‘lar oluşturduğu biyojenler gözlenir.



Şekil 55. Çalışma alanından Kuzdağı Formasyonu görünümü (Aydın, 2019, s.45).

Otlukbeli Melanjı (Üst Kretase).

Birin en iyi yüzeyleme verdiği Demirözü güneyinde Otlukbeli yöresine izafeten Otlukbeli Melanjı olarak isimlendirilmiştir. Melanjı Altan Erken Kretase yaşlı Kuzdağı Formasyonu ile üstten ise geç Kretase yaşlı Kapıkaya Formasyonu ile uyumlu olarak sınırlandırılır.9 Birim kumtaşı, Marn, radyolarit, çört, serpantinit, gabro, bazalt, kireçtaşı

bloklarından oluşmaktadır. Birimin üst seviyesinde ise yaklaşık 120 m kalınlığında olan Trakiandezitik lav ve proklastitleri yer alır.

Kapıkaya formasyonu (Üst Kretase).

Formasyon en iyi yüzeyleme verdiği kapıkaya yöresine izafeten adlandırılmıştır. Alttan geç Kretase Yaşlı Otlukbeli Melanjı ile uyumlu Üstten ise Paleosen yaşlı Everek hanları Formasyonu ile uyumsuz olarak sınırlandırılır. Birim başlıca Rudist olmak üzere Akteonella, Mercan ve Ekinid topluluğu içerir.



Şekil 56. Çalışma alanından Kapıkaya Formasyonu görünümü (Aydın, 2019, s.45).

Everek Hanları Formasyonu (Paleosen).

Formasyon ismini Maden'in yaklaşık 5 km güneyinde yer alan Everek hanlarından alınmış Formasyon uyumsuz olarak geç Kretase yaşlı Kapıkaya Formasyonunun üzerine gelir. Üstten ise Eosen yaşlı sırataşlar Formasyonu tarafından aşınma uyumsuzluğu ile örtülür. Birim düzensiz aşınma yüzeyleri üzerine öğelerinin çoğunluğunu alttaki Rudistli Kireçtaşlarının oluşturduğu kırmızı renkli mikro konglomeratik bir seviye ile oturur. Üstte doğru yer yer çapraz katmanlaşma gösteren kırmızı renkli kayaç kırıntılı kumtaşları ve proklastitler lösistli ve ojitli bazaltik lavların arasında ara katman olarak izlenir.

Sırataşlar Formasyonu (Eosen).

Formasyonun ismi Demirözü Ağar (1977) tarafından tanımlanan Sıra taşlar Formasyonundan alınmıştır. Formasyon taban konglomerası ile birlikte uyumsuz olarak Paleosen yaşlı Everek Hanları formasyonunun üzerine gelir. Üstten ise Kuvaterner yaşlı

alüvyonlar, taraçalat ve travertenler tarafından uyumsuz olarak sınırlandırılır. Birim türbiditik karakterli olan kumtaşı kıltaşı, marn ardalanmasından oluşmaktadır. Kumtaşları genellikle ince-orta tabakalanmalı olup bol miktarda tortul yapı içerirler.



Şekil 51. Çalışma alanından Sırataşlar Formasyonu görünümü (Aydın, 2019, s.46).

Tekçam Tepe Formasyonu(Eosen).

Formasyonun ismi Bayburt'un yaklaşık 3 km kuzeybatısında yer alan Tekçam tepeden alınmıştır. Formasyon farklı şiddetli aşınmalar sonucunda yüzeye çıkan değişik yaşlardaki kayalar üzerine aşılal uyumsuzlukla oturmaktadır. Bayburt'un kuzey Batısında yer yer Liyas yaşlı Hamurkesen Formasyonu yer yerde Bajosiye – Genç Tithoniyen yaşlı Ardıçlı güney formasyonu üzerine uyumsuzlukla gelir. Birim nummulitli, kumlu sparitik kireçtaşlarıyla yanal geçişli polijenik heterojen taban konglomerası (2m), bej renkli kumlu sparitik kireçtaşları (25m) ve kumtaşı, marn, kireçtaşı, tuf ve tufit ardalanmasından (200 m) oluşmaktadır.

Gezköy Travertenleri (Kuvaterner).

Bayburt'un yaklaşık 10 km güney doğusunda Gez köyü ve Gez deresi yörelerinde gözlenen Travertenler Yaklaşık doğu-batı uzanımlı Kayabaşı fayı boyunca oluşmuşlardır. Bunlar sarımsı kahve renkli olup sahada gözenekli ve bantlı yapı göstermeleri ile tipiktirler. Ayrıca maden 'in 3 km güneydoğusunda yer alan Kavlık Tepe civarında da travertenler gözlenir.

Alüvyon (Kuvaterner).

Kuvaterner yaşlı alüvyonlar başlıca Çoruh nehri ve Kop Deresi boyunca olmak üzere diğer dere yataklarında topografyanın olanak verdiği ölçüde gelişmişlerdir. Bu alüvyonlar içerisinde çevre kayaların bloktan kil boyutuna kadar olan malzemelerini gözlemek mümkündür. Alüvyonlar güncel olarak oluşmaya devam etmektedir. Çalışma alanında tespit edilen tüm birimler stratigrafik konumları genelleştirilmiş stratigrafi sütun kesitinde sunulmuştur. İnceleme alanını K-G doğrultusunda kat eden Lori Deresi başta olmak üzere, diğer küçük dere yataklarında da topografyanın olanak verdiği ölçüde gelişmişlerdir. Alüvyonlar içinde başta metamorfikler olmak üzere çevre kayaların siltten blok boyutuna kadar olan parçalarını gözlemek mümkündür. Lori Deresi etrafında geniş düzlükler oluşturan alüvyonlar üzerinde yapılan tarım, çevre halkının önemli geçim kaynaklarından birini oluşturmaktadır. Kuvaterner yaşlı alüvyonlar güncel olarak oluşmaya devam etmektedir.

Çatalçeşme Formasyonu (Permo-Karbonifer).

Bu formasyon tipik olarak Çatalçeşme deresinde aflore eder permo-karbonifer çökeller Arenit, kireçtaşı ve şeyillerden müteşekkildir. Formasyonun kalınlığı çatalçeşme deresinde 320m olarak belirlenmiştir. Şeyl seviyelerinde bitki fosilleri ve Kireçtaşı seviyelerinde ise Merecanlar, fusilalar ve diğer Foroniferler belirlenmiştir.

Karakaya Formasyonu (Triyas).

Bu formasyonun mostraları tipik şekilde Çakıröz köyü civarında Karakaya T. Sinde aflore eder. Litolojik birimleri arkozik konglomera, arkoz, arkozik Silttaşı, Arkozik şeyl ve siltli mikrosparitten oluşmuştur. Karakaya formasyonda herhangi bir organizmaya rastlanılmamıştır. Permo karbonifer tabakalar üzerine diskordan olarak oturmakta olduğundan ve Liyas oluşukları ile diskordan diskordan konumlu örtüldüğünden bu farmasyonun yaşı tiriyaş olarak saptanmıştır.

Çaltepe Kireçtaşı (Alt Sinemuriyen).

Bu Formasyonu temsil eden litoloji tamamen kireçtaşından ibarettir. Formasyonun kalınlığı çaltepede 280m olduğu belirlenmiş inceleme alanındaki tabakalarda bulunan fosiller iyi korunmamış civarda bulundaki fosilli devamları ile kıyaslanarak Alt sinamuriyen yaşı verilmiştir .

Hozbirikyayla Kireçtaşı(Üst Jura- Alt Kretase).

Alttaki Hamurkesen formasyonu üzerine açılı diskordanla oturur. Entipik mostraları hozbirikyayla mevkiinde görülür. Pelitrasparitler mavimsi açık gri renkli orta ve kalın tabakalı

ve fosillidir. Pelinramikrit, Oosparit, ve marn ara seviyeli killi biomikritten müteşekkil olup toplam kalınlığı 182 m dir. Foronifer kavki parçaları ile introklast ve tuf parçalarından ibarettir. Nadirde olsa kuvars, parçaları da bulunur. Çimento mikrosparitten oluşur. Hozbirikyayla Kireçtaşı, inceleme alanı dışında çok geniş yayımlıdır. Gökçedere-Gelinpertek yolu batısında oosparit ve kumlu kalkarenitlerle başlayan birim, Hamurkesen Formasyonu üzerinde uyumludur. Üste doğru ince tabakalı, bazen çörtlü, kumtaşı-kalkarenit ara seviyeli, pembemsi, sarımsı bej renkli mikritlere geçilir. Viranşehir batısında bir bindirme düzlemi ile sınırlanan Hozbirikyayla Kireçtaşı, inceleme alanı batısı ve güneyinde fliş veya ofiyolit kayaları ile örtülür. Gelinpertek (Kelkit) güneyinde, Üst Kretase kayaları Hozbirikyayla Kireçtaşı üzerinde açısal diskordanslıdır. Ehenlik (Kelkit) dolayında kumtaşı ve şeyl ara seviyeli mikritler üzerinde, kireçtaşı çakıllı ince bir çakıltaşı ile başlayan türbiditler ve serpantinitle yer alır. Otlukbeli Dağları'nda (inceleme alanı güneyi), Hozbirikyayla Kireçtaşı ile üzerinde yer alan Üst Kretase yaşlı fliş çökelleri ve ofiyolit kayalarının sınırı tektoniktir. Bu gözlemlere göre, Üst Kretase (Senomaniyen-Turoniyen) yaşındaki çökeller tarafından açısal diskordansla örtülen Hozbirikyayla Kireçtaşına, fosil formlarına dayanılarak, Üst Jura-Berraziyen yaşı verilmiştir. Ağar (1977), kireçtaşının yaşını Kimmericiyen-Berraziyen olarak kabul eder.

Eosen Kayaları.

Sırataşlar Formasyonu ve Kızılyar Formasyonu adları ile ayırtladığı Eosen kaya birimleri, Çiftetaş kuzeyinden ve doğusundan inceleme alanına sokulur. Eosen öncesi yaşlı birimler üzerinde transgressif olan bu birimler, sarımsı bej renkli, bol makro fosil ve Nummulites kalıntılı kumtaşı, karbonatlı kumtaşı, çakıltaşı tabakaları ile başlar ve çakıltaşı mercekli kırmızı kumtaşına geçer.

Ağar (1977), Yipresiyen-Alt Lütisiyen ve Üst Lütisiyen yaşlarını verdiği, tipik molas fasiyesindeki bu çökellerin litofasiyes, yapı ve dokuları, güneyde, Maden-Karakulak arasında ve kuzeyde, Kitre dolayında gözlenen Eosen çökellerinden farklıdır. Bu birimler güneydeki Yolüstü formasyonu ile de deneştirilebilir.

Kızılyar Formasyonu (Üst Lütisiyen).

Tipik mostraları Kızılyar görülmüştür. Litolojik birimleri Tuf, Kumlu Tuf, aglomera ve Tüflü arenitten oluşmuştur. Formasyonun kalınlığı 348 m olarak belirlenmiştir. Bu tabakaların içinde Nummulites, gastropodalar bulunmuş bu fosillere dayanarak birimin yaşı Üst Lütisiyen olduğu saptanmıştır.

Karaçayır Formasyonu (Pliosen).

Bu Formasyon Aglomera, Çakıllı kumlu Tüf, ve Bireşimsi kireçtaşı seviyelerinden ibarettir. Karaçayır mevkiinde kalınlığı 87 m olarak belirlenmiştir.

Pulur Metamorfitleeri.

Pulur metamorfitleerinin alt sınırı tektoniktir. Metamorfitleerin kuzey dokanağı erken Jura (Liyas) yaşlı Hamurkesen formasyonu ile tektoniktir. Birim Hozbirikyayla formasyonu ile tektonik ilişkili olarak izlenir. Güney kesimde, birim üzerinde erken Jura (Liyas) yaşlı Hamurkesen formasyonunun Dikmetaş üyesi açısız uyumsuzlukla yer alır. Çamdere köyü güneyinde Üst Karbonifer-Alt Permiyen yaşlı Çamdere kireçtaşı metamorfitleer üzerinde uyumsuz olarak bulunur. Gökçedere (Pulur) güneyinde küçük mostralar şeklinde yüzeyleyen yeşil şistlerin içinde gibi gözlenen koyu gri kireçtaşlarının paleontolojik incelemelerinden içerdiği fosil kapsamına göre yası Devoniyen-erken Karbonifer yası bulunmuştur.

Tepetarla Formasyonu.

Gri, boz renkli, ince-orta tabakalı pelajik kireçtaşı, kumlu kireçtaşı, marndan oluşmaktadır. Hamurkesen Formasyonu (Liyas) ve Hozbirikyayla Formasyonu (Dogger-Malm-Alt kretase) üzerinde açısız uyumsuzlukla yer alır. Formasyonun yası erken-orta Paleosen''dir.

Sığırıcı Formasyonu.

Sarımsı, açık kahve renkli, gri, açık gri, renkli tabanda döküntü akması bir konglomera ve daha sonra bulantı akıntısı çökellerinden (kumtaşı, silttaşı-kiltaşı ardalanması) oluşan türbiditik istif olarak adlandırılmıştır. Sığırıcı Formasyonu havzanın güney ve kuzey kesiminde Hozbirikyayla formasyonu (Dogger- Malm-Alt Kretase) üzerine Yanık konglomerası ile uyumsuz olarak gelir. Kuzeyde ise Kapıkaya Formasyonu (Maastrichtiyen) üzerinde yine uyumsuz olarak bulunur. Formasyon Lütseyendir.

Yanık Konglomera Üyesi.

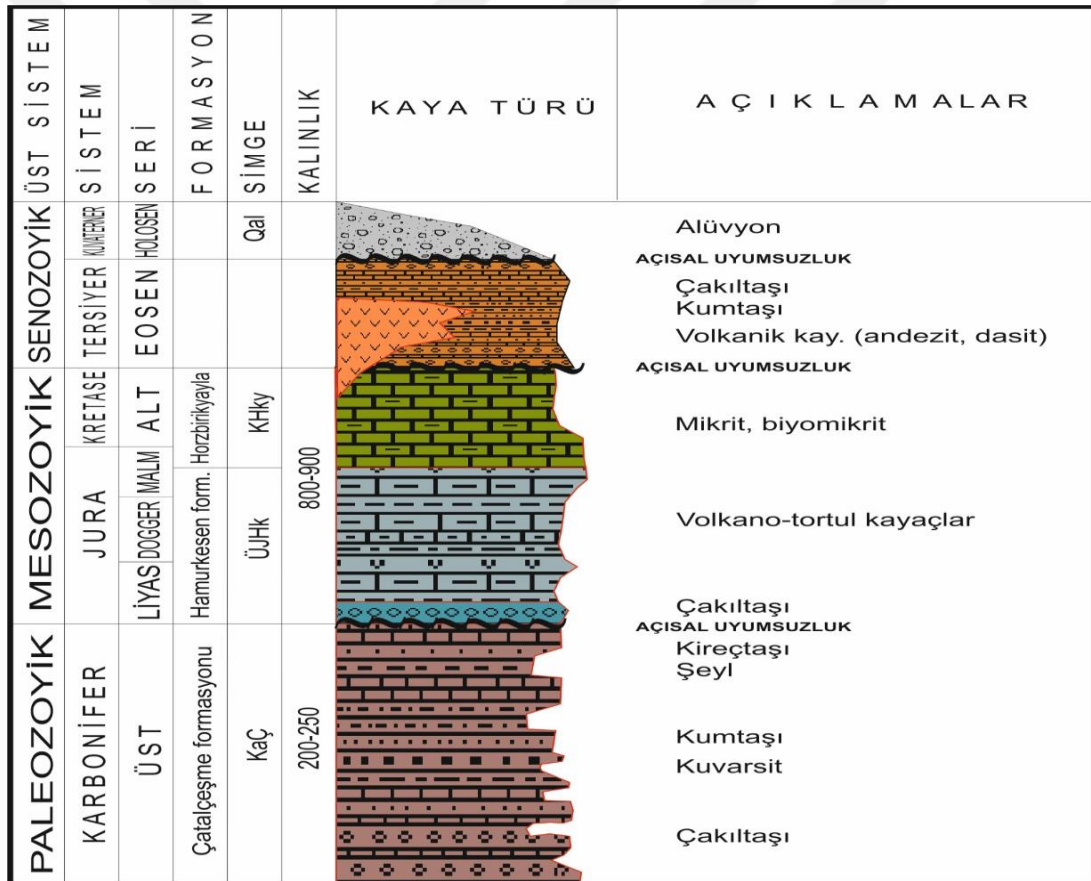
Çeşitli boyutlarda, köseli, az köseli çakıllar, çok kaba kumtaşı, çakıllı çört, metamorfik kayaç çakıllı, bol kireçtaşı çakıllarından oluşan ve değişik boyutta blokları kapsayan çok kötü boyulanmalı, genelde tane destekli olan birim kötü derecelenme göstermektedir. Bölgenin güneyinde Hozbirikyayla formasyonu (Dogger-Malm-Alt Kretase) üzerinde açısız uyumsuzlukla bulunur. Kuzey dokanağı Maden nahiyesi güneyinde Maastrichtiyen yaşlı resifal kireçtaşları (Kapıkaya formasyonu) ile uyumsuz ilişkilidir.

Çatıksu Formasyonu.

Kahverenkli, sarımsı renkte kumtaşı, kırmızı renkli pelajik kireçtaşı, çamurtaşı, kiltası aralanmasından oluşur. Hamurkesen formasyonu (Liyas) ve Hozbirikyayla formasyonu (Dogger-Malm-Alt Kretase) üzerinde açısız uyumsuzlukla bulunur. Formasyondan derlenen örneklerdeki faunaya göre yaşı Senoniyen (Kampaniyen-Erken Maastrichtiyen) olarak verilmiştir .

Yazyurdu Formasyonu.

Andezitik lav, aglomera, tuf, dasitik tuf, dasit ve volkano-tortullarla ardalanmalı kumtaşı, silttaşı, marn seviyelerinden oluşan ve kumlu kireçtaşı, fosilli kireçtaşından oluşan litolojilerle ara seviyeli olarak gelişen volkanik istif Yazyurdu formasyonu olarak adlandırılmıştır .



Şekil 57. İnceleme alanı ve yakın çevresinin genelleştirilmiş dikme kesiti (Keskin, Korkmaz, Gedik, Ateş, Gök, Küçümen, & Erkal, 1990'dan değiştirilmiştir).

İklim ve bitki örtüsü.

Bayburt ili her yönüyle olduğu gibi iklim özellikleri bakımından da Doğu Anadolu ile Doğu Karadeniz bölümü arasında bir geçiş teşkil etmektedir. İl genelinde hem karasal, hem de Karadeniz ikliminin genel özellikleri görülmesine rağmen birbirine yakın kesimlerde bile

iklimde büyük farklılaşmalara rastlanır. Buda jeomorfolojik özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Genel olarak Bayburt'ta iklim yazları oldukça kurak, kış ve bahar ayları ise yağışlı geçen bir karaktere sahiptir. Deniz seviyesinden yükseldikçe ve Doğu Anadolu Bölgesi'ne sınır teşkil eden yörelere ve Bayburt il sınırına yaklaştıkça karasal iklimin kendisini bariz şekilde hissettirdiği gözlenirken, aynı durum ilin iç kesimlerinde de görülmektedir. Merkez ilçeden batı ve kuzeybatıya doğru gidildikçe Çoruh vadisi boyunca iklim elemanlarında bir geçiş özelliği gözlenir. Karadeniz iklimi ile Doğu Anadolu iklimi arasında karasal iklim olarak ağır basan bir geçiş iklimi özelliğini göstermektedir. Yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve kar yağışlıdır. Karlı gün sayısı yaklaşık 100 gündür. En çok yağış ilk ve sonbahar aylarında görülür. Sıcaklığın düşük, yağışın az oluşu nedeniyle doğal örtü zengin değildir. Dağınık şekilde ağaç ve ağaçlıklar vardır. Yüksek olan yerlerinde ise doğal örtüyü çayır otları oluşturmaktadır.

Bayburt ve çevresi Doğu Anadolu ile Karadeniz Bölgesi arasında geçiş özelliğine sahip olması bitki örtüsüne de yansımıştır. Akarsu kenarlarında söğüt ve çeşitli kavak toplulukları yer almaktadır. Vadi tabanlarından ve düzlük alanlardan dağlık kesimlere doğru, kültür arazisi dışında kalan yamaçlarda genel olarak step hakimdir. Yöredeki step, yaşama devresi çok kısa olan genelde parlak renkli çiçekli otsu formasyonlardan oluşur. Bu formasyon içerisinde geven (*Astragalus*) ve sığır kuyruğu (*verbascum*) öbeklerine rastlanır. Çimen dağlarında yükseltinin 1500 m yi aştığı kesimlerde kızılçam (*Pinus Brutia*), Ardıç (*Jüniperus Communis*) ve meşe (*Qercus*) türlerinin hakim olduğu orman kümeleri bulunur. 2000 m den sonra Gökmar (Abies Nordmanniana) hakimdir. Gökmar Gümüşhane dağlarının güneye bakan yamaçlarında 1800 m ye kadar iner. Gökmarın arasında Karaçam (*Pinus Nigro*) ve Sarıçam (*Pinus Slyvestris*) türleri de yer yer yoğunluk kazanır. 1800 m den daha aşağı kesimlerde Sarıçam ve Karaağaç (*Ulmus*) ormanın belirgin türleridir. Harşit vadisi tabanına doğru çeşitli meyve ağaçları (vişne, elma, armut, erik, kiraz, ceviz v.s.) vardır. Zigana Dağlarının güney yamaçlarında orman örtüsü nispeten gürleşir. Bu alanlarda 1500 m lere kadar Kayın, Gürgen, Karaağaç, Kızılağaç, Akçaağaç, Meşe, Kavak türlerinden oluşan karışık orman görülmektedir. 1900 m den 2300 m ye kadar Ladin ve Sarıçam ormanları hâkimdir. 2300 m den sonra orman bodurlaşmaya ve yerini yüksek dağ çayırların bırakmaktadır.

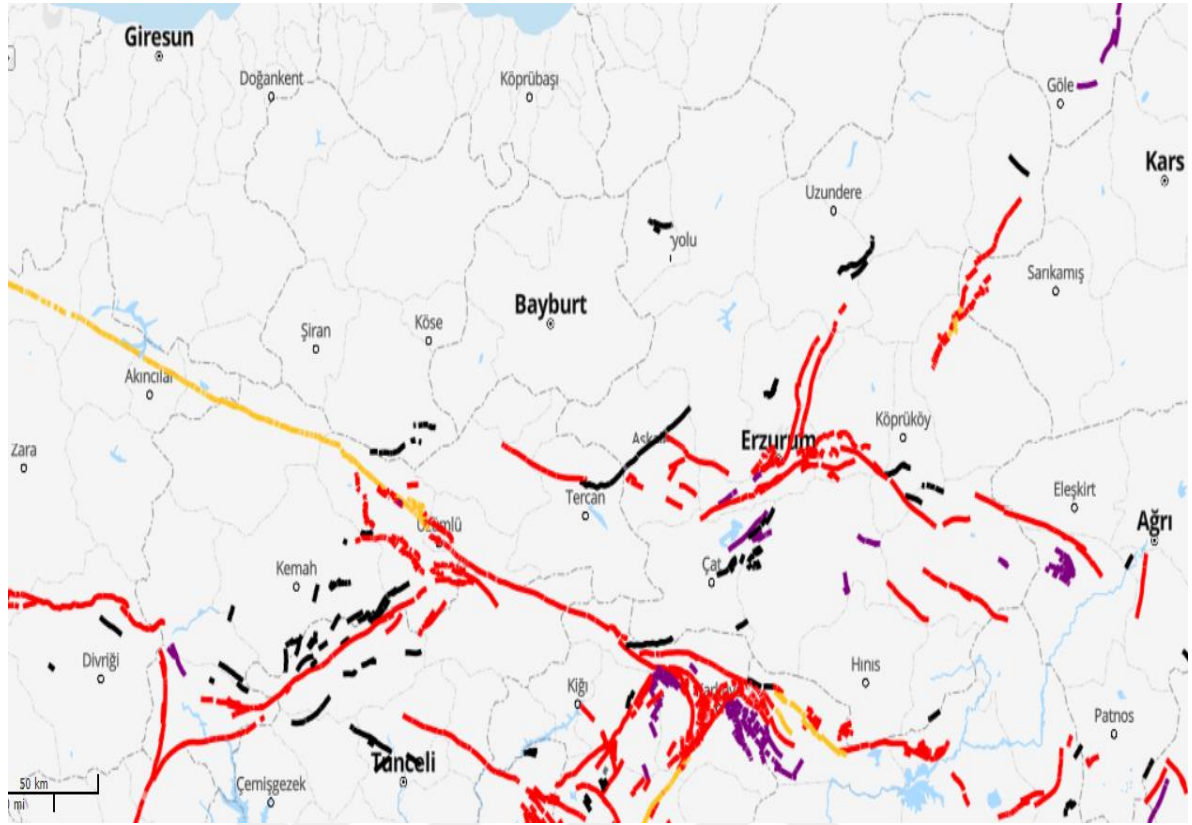
Tablo 6. Bayburt İli Aylık Ölçüm Periyodu 1959-2019 Yıllarına Ait Ortalama Meteorolojik İstatistikleri (MGM, 2021).

BAYBURT	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1959 - 2019)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	6.3	5,0	.3	.9	1.5	5.2	8.7	8.7	4.7	.2	.6	3.1	.0
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	0.9	.5	.8	3.0	8.2	2.7	7.1	7.6	3.4	6.7	.7	.7	3.7
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	10.5	9.3	4.1	.6	.6	.3	1.1	1.0	.3	.5	1.8	7.0	.3
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	.*	.*	.*	.*	.*	.*	.*	.*	.*	.*	.*	.*	aN
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	1.2	0.9	2.7	3.9	6.0	0.6	.1	.4	.0	.8	.9	0.9	18.4
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	7.1	7.6	0.3	2.1	2.5	1.6	0.6	5.6	2.1	3.5	3.2	9.5	45.7
En Yüksek Sıcaklık (°C)	0.3	3.9	1.2	5.3	9.6	2.9	7.0	8.4	3.7	8.8	0.0	8.2	8.4
En Düşük Sıcaklık (°C)	31.3	27.6	23.3	12.7	4.4	1.6	.2	.4	2.1	10.6	23.6	29.0	31.3
Günlük Toplam En Yüksek Yağış Miktarı					Günlük En Hızlı Rüzgâr					En Yüksek Kar			
04.06.1960-61.5 mm					12.06.2008-161.3 km/sa					04.03.1976-110.0 cm			

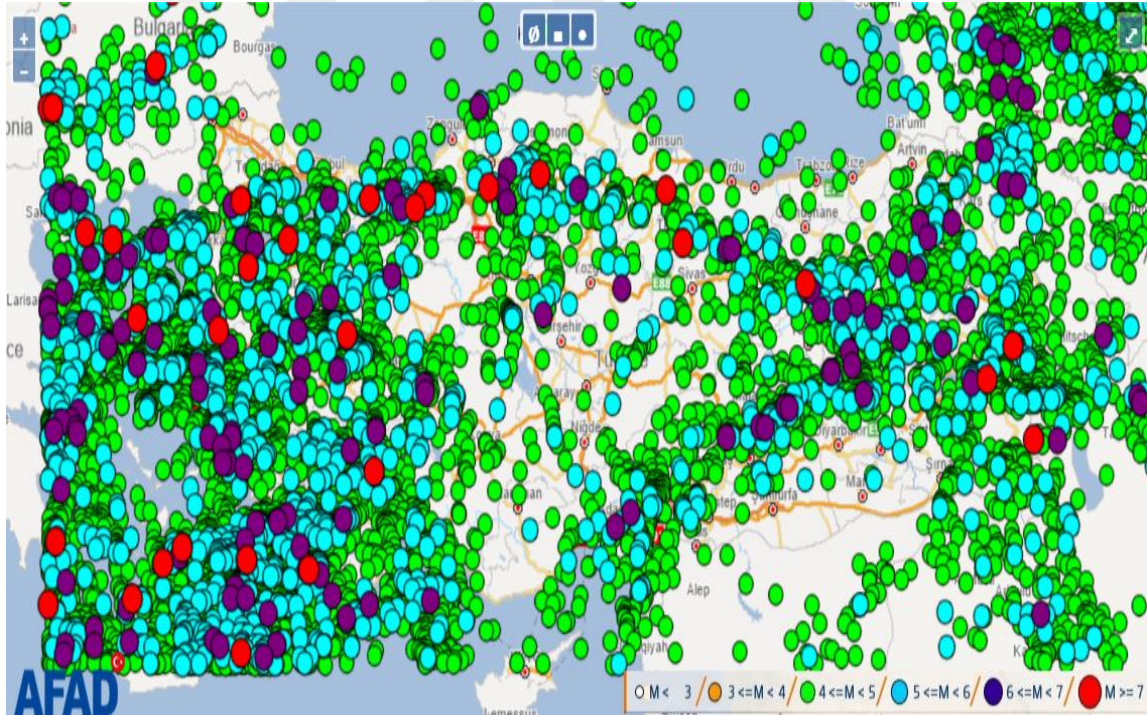
Depremsellik.

Bayburt bölgesinde yapısal jeoloji durumu geniş kıvrımlanma ve bindirme biçiminde deformasyon yapıları görülmektedir. İnceleme alanında en altta dar ve kapalı antiklinal-senklinel yapılarda oluşan Paleozoik temel vardır. Bu yapı üzerindeki genç formasyonların hepsi birbirleri ile tektonik dokunaklar ve uyumsuzluk yüzeyleri yaparak yerleşmişlerdir. Genelde kg doğrultulu basınç tektoniği eseridir. Bayburt ili ve yakın bölgede sismik etkinliği yüksek aktif faylar yoğun değildir. Bölgeyi etkileyecek büyük aktif fay yoktur. Çoruh Nehri genellikle fay hatlarını kullanarak akım yönünü seçmiştir. Bayburt'tan uzak Çoruh Nehri'nin doğuya döndüğü noktadan itibaren Kuzeydoğu Anadolu Fayı sol yanal atımlı fay olarak kayıtlarda vardır. İl merkezi yakının da bir iki yerel fay mevcuttur. KKD-GGB doğrultulu olan bu fay Bayburt yerleşim alanı içinden geçer ve ikinci derece sismik etkinliğe sahiptir. Bunun dışındaki diğer faylar daha çok düşey bileşenleri olan hareketlere sahne olmuştur.

Aşağıdaki şekilde Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nün yerbilimleri harita görüntüleyici ve çizim editörü yardımıyla bölgedeki etkin diri fayları gösterilmektedir.

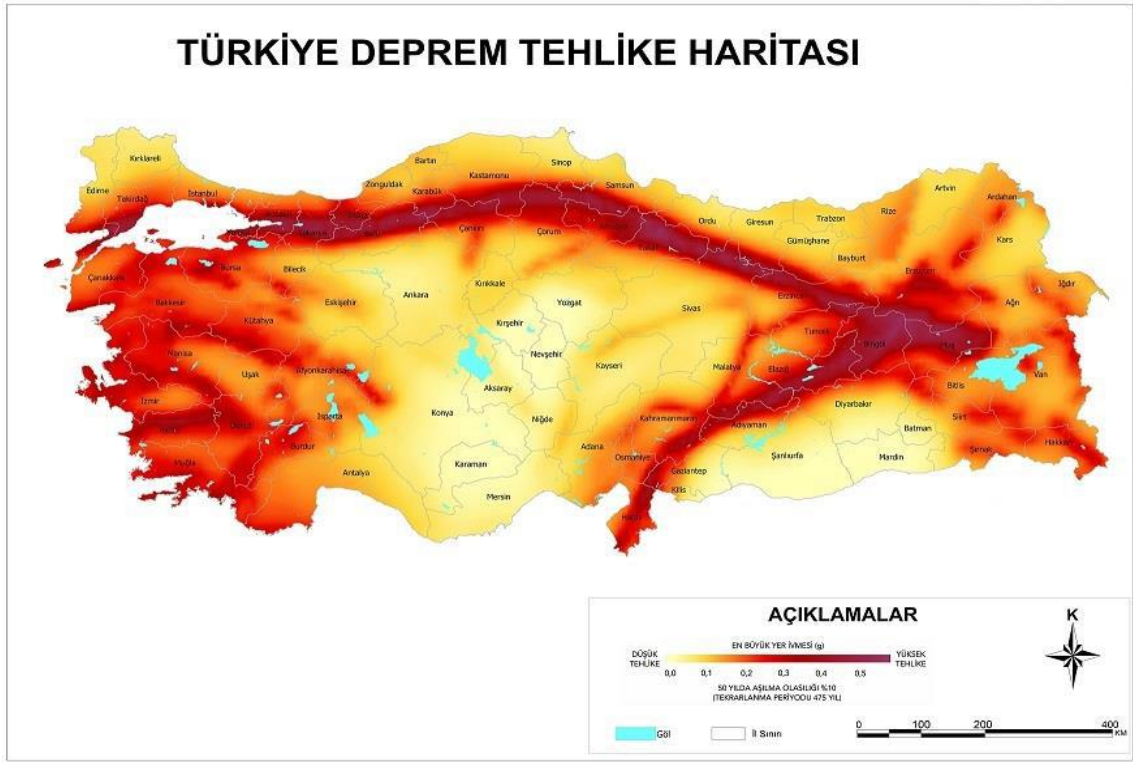


Şekil 58. İnceleme alanı ve yakın çevresindeki etkin diri faylar (MTA, 2021).



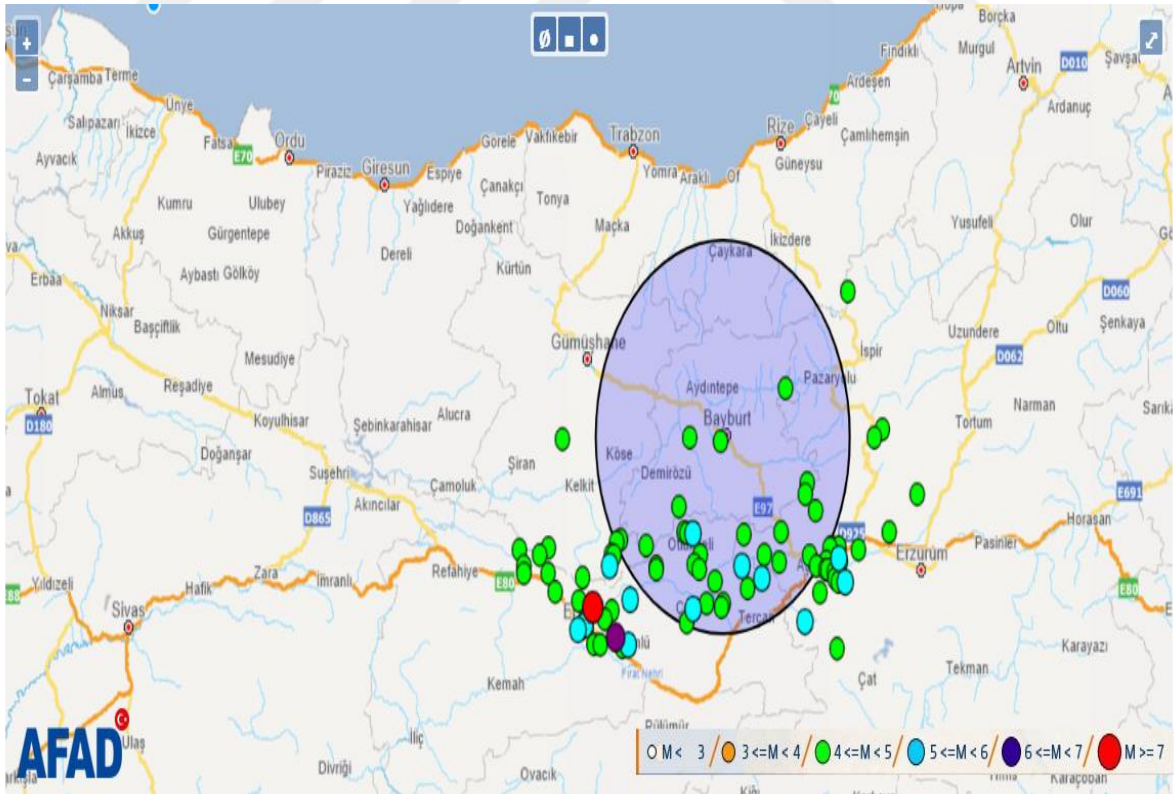
Şekil 59. 1900-2021 yılları arasında ülkemizde meydana gelen büyüklüğü 4-7 arasında olan depremler (AFAD, 2021).

Türkiye Deprem Tehlike Haritası'na göre Bayburt ilinde meydana gelebilecek olan depremlerin en büyük yer ivmesi (a_{max}) 0.1 g ile 0.25 g arasında yer almaktadır (AFAD,2021).



Şekil 60. Türkiye deprem tehlike haritası (AFAD, 2021).

Bayburt merkezli 100 km yarı çaplı $10 < M > 5$ aralığında aletsel dönem için (1900-2021) günümüze kadar gelen depremler Şekil 52’de gösterilmiştir.



Şekil 61. Bayburt merkezli 100 km yarı çaplı $10 < M > 5$ aralığında aletsel dönem için (1900-2021) günümüze kadar gelen depremler (AFAD, 2021).

Haritalar.

Bu çalışmada Harita Genel Komutanlığı'ndan temin edilmiş olan bölgenin 1/25000 ölçekli Bayburt iline ait topoğrafik haritalarından faydalanarak hazırlanmıştır. Çalışma bölgesinin haritaları tarayıcı aracılığıyla dijital ortama aktarılmıştır. ArcGIS 10.7 programı yardımıyla uydu görüntüleri de kullanılarak çalışma bölgesi sayısallaştırılıp yerleşim yeri, yolgüzergâhı ve akarsu katmanları oluşturulmuştur.

Yöntem

Yüksek lisans tezinde Bayburt merkez ilçesi, Demirözü ve Aydıntepe ilçesi, Arpalı ve Gökçedere beldesinde bölgesel sıvılaşma analizleri incelenmesi için arazi deney verileri kullanılarak Seed ve Idriss metoduna göre sıvılaşma analizleri yapılmıştır. Elde edilen arazi ve laboratuvar deneylerinden elde edilen veriler ayrıntılı bir şekilde incelenerek girdi veri seti oluşturulmuştur. Elde edilen veriler Prosıvı sıvılaşma analiz programı kullanılarak sıvılaşma risk değerleri hesaplanmış ve hesaplanan değerler ArcGIS 10.7 programına aktarılarak Ters Mesafe Ağırlıklı (Inverse Distance Weighting – IDW) enterpolasyon yöntemiyle sıvılaşma potansiyel haritaları oluşturulmuştur.

Çalışmada kullanılan sıvılaşma ve oturma hesabı analiz yazılımı.

Sıvılaşma analiz programı Prosıvı, Visual Basic 6.0 programlama dili kullanılarak yazılmıştır. Sismik yükler etkisinde zeminlerde ortaya çıkabilecek sıvılaşma potansiyeli ve istenirse sıvılaşma sonrası oluşabilecek zemin oturma hesapları da yapılabilmektedir. Sismik yükler; devirsel direnç oranı (DDO) ve devirsel gerileme oranı (DGO) değerlerini oranlayarak bir emniyet faktörü elde etmektedir. Bu değer bir den küçük olduğu yerlerde sıvılaşma potansiyelinin olduğu kabul edilmektedir. Deprem senaryolarına göre programda EF değeri elde edilmektedir. Bu EF değeri sıvılaşma analiz haritalarında girdi değeri olarak kullanılmıştır.

Emniyet faktörü mantıksal formülü;

$$EF \leq 1 \rightarrow \text{Sıvılaşma vardır}$$

$$1 < EF \leq 1,2 \rightarrow \text{Sıvılaşabilir} \quad (3.1)$$

$$EF > 1,2 \rightarrow \text{Sıvılaşma yoktur.}$$

Sıvılaşma analiz programı Prosıvı kullanılarak oturma hesabı Tokimatsu ve Seed yöntemine göre yapılmıştır.

Sıvılaşma

Dosya Sonuçlar Hakkında... Hesapla

Deprem Karakteristikleri **Analiz Yöntemleri** **Zemin Profili Tanımlaması**

Arazi ve Laboratuvar Deneyi Verileri

amax (g) 0.2

Deprem büyüklüğü 7

Su Seviyesi 5

Kuyu Derinliği 15

Kuyu No. 1

Arazi Deney Tipi

☒ SPT verileri

☐ CPT verileri

Yazıcı Tipi

☒ Siyah-Beyaz

☐ Renkli

Derinlik (m)	N	BHA (kN/m3)	İDO (%)	D50 (mm)
1.5	54	18.9	30	0.2
3.0	50	18.9	30	0.2
4.5	31	18.9	30	0.2
6.0	32	18.9	30	0.2
7.5	34	18.9	30	0.2
9.0	31	18.9	30	0.2
10.5	40	18.9	30	0.2
12.0	38	18.9	30	0.2
13.5	39	18.9	30	0.2
15.0	41	18.9	30	0.2

Lütfen yukarıdaki kutulara verilerinizi girip arazi deney tipini seçtikten sonra Dosya menüsündeki "Aç" komutundan Arazi ve Deney Verilerinizi seçiniz.

İleri

Şekil 62. ProSıvı programı örnek deprem karakteristikleri sekmesi (Babuçcu, 2002, s.95).

ProSıvı programında deprem karakteristikleri sekmesine deprem ve zemin hakkındaki veriler, yapılan arazi deney tipi, laboratuvar ve arazi deney verileri son olarak da çıktı alınacak yazıcı özelliği girilmektedir.

Sıvılaşma

Dosya Sonuçlar Hakkında... Hesapla

Deprem Karakteristikleri **Analiz Yöntemleri** **Zemin Profili Tanımlaması**

SPT Hesap Yöntemi

☒ Seed-Idriss

☐ Tokimatsu-Yoshimi

☐ Iwasaki

Şahmerdan Tipi Donut hammer 0.75

Kuyu çapı 65mm-115mm 1

Tij Boyu 3m-4m 0.8

Numune alma metodu Standart numune 1

CPT Hesap Yöntemi

☐ Seed vd.

☐ Suzuki vd.

☐ Robertson vd.

☒ Oturma Analizi Yapılsın

☐ Oturma Analizi Yapılmasın

Oturma Analizi

☒ Tokimatsu/Seed

☐ Ishihara/Yoshimine

Arazi deney tipine göre hesap yöntemini seçip gerekli ise ilgili düzenlemeleri yapınız. Oturma analizi konusundaki tercihinizi yapmayı unutmayınız.

Geri İleri

Şekil 63. ProSıvı programı örnek analiz yöntemleri sekmesi (Babuçcu, 2002 s.96).

ProSıvı programında analiz yöntemleri sekmesine sıvılaşma hesabının hangi yöntemle yapılacağı ve düzeltme katsayıları gibi özellikleri girilmektedir.

Derinlik (m)	Zemin cinsi
1.5	GM
3	GM
4.5	GM
6	GM
7.5	SP
9	SP
10.5	SP
12	SP
13.5	SP
15	SP

ZEMİN SINIFLANDIRMASI (USCS)

GW -İyi derecelenmiş çakıllar ve çakıl kum karışımları hiç veya çok az ince tane

GP -Zayıf derecelenmiş çakıllar ve çakıl kum karışımları hiç veya çok az ince tane

GM -Siltli çakıllar, çakıl-kum-silt karışımları

GC -Killi çakıllar, çakıl-kum-kil karışımları

SW -İyi derecelenmiş kumlar ve çakıllı kumlar, hiç veya çok az ince tane

SP -Zayıf derecelenmiş kumlar ve çakıllı kumlar, hiç veya çok az ince tane

SM -Siltli kumlar, kum-silt karışımları

SC -Killi kumlar, kum-kil karışımları

ML -İnorganik siltler, ince taneli kumlar, kaya unu, siltli veya killi ince kumlar

CL -Düşük orta plastisiteli inorganik killler, çakıllı killler, kumlu killler, siltli killler, yağsız killler

OL -Organik siltler ve düşük plastisiteli siltli killler

MH -İnorganik siltler, elastik siltler

CH -Yüksek plastisiteli inorganik killler, yağlı killler

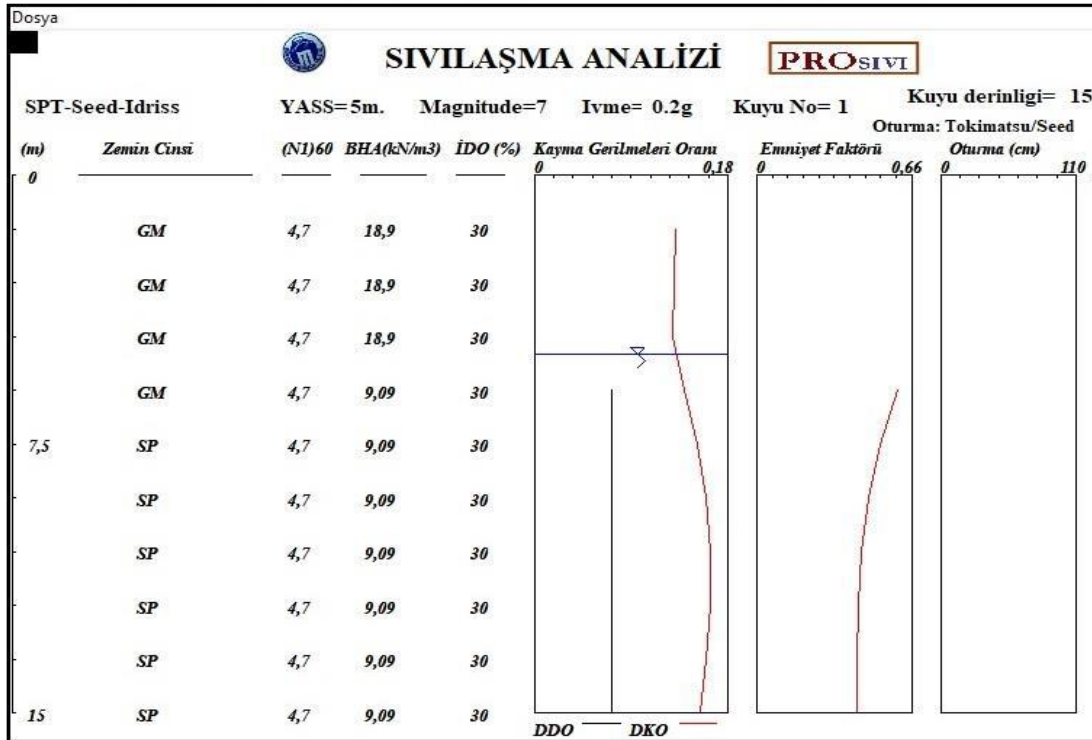
OH -Orta-yüksek plastisiteli organik killler

Pt -Turba, gübre ve diğer yüksek derecede organik zeminler

Geri

Şekil 64. ProSıvı programı örnek zemin profili tanımlama sekmesi (Babuçcu, 2002 s.96).

Zemin profili tanımlama sekmesinde zemin sınıfı ve simgeler verilmiştir. Derinliklere göre zemin sınıfları girilmektedir.



Şekil 65. ProSıvı programı örnek grafiksel sonuç ekranı (Babuçcu, 2002 s.97).

Output

Dosya

 **SIVILAŞMA ANALİZİ** **PROSIVI**

SPT- Seed-Idriss YASS= 5m. Magnitude= 7 İvme= 0.2g Kuyu No= 1 Kuyu Derinliği= 15

Oturma: Tokimatsu/Seed

D(m)	BHA (kN/m3)	N1/60	Top.Ger.(kPa)	Eff.Ger.(kPa)	rd	DG(kPa)	DGO	DD(kPa)	DDO	EF	Oturma (cm)
1,5	18,9	4,7	28,35	28,35	0,99	3,65	0,129	-	-	-	-
3	18,9	4,7	56,7	56,7	0,979	7,22	0,127	-	-	-	-
4,5	18,9	4,7	85,05	85,05	0,969	10,71	0,126	-	-	-	-
6	18,9	4,7	113,4	103,59	0,958	14,12	0,136	7,24	0,083	0,6	0
7,5	18,9	4,7	141,75	117,22	0,943	17,38	0,148	8,19	0,083	0,53	0
9	18,9	4,7	170,1	130,86	0,923	20,41	0,156	9,15	0,083	0,48	0
10,5	18,9	4,7	198,45	144,49	0,894	23,07	0,16	10,1	0,083	0,45	0
12	18,9	4,7	226,8	158,13	0,857	25,25	0,16	11,05	0,083	0,43	0
13,5	18,9	4,7	255,15	171,76	0,811	26,89	0,157	12,01	0,083	0,43	0
15	18,9	4,7	283,5	185,4	0,761	28,04	0,151	12,96	0,083	0,43	0

Şekil 66. Prosıvı programı örnek sonuç ekranı (Babuçcu, 2002, s.98).

Ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon yönteminin uygulanması (Inverse Distance Weighted- IDW).

Ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon yöntemi (IDW), deterministik yöntemlerin en basitlerinden birisi olup nokta verilerinden faydalanarak enterpolasyonla grid üretmek için kullanılan yöntemlerden birisidir. IDW yöntemiyle enterpole edilecek olan yüzeyin iki nokta arasındaki ilişki ve benzerlik arasındaki uzaklık ile orantılı olduğu varsayılmaktadır (Aydın, & Çiçek, 2013). Bu yöntem ile enterpole edilecek olan nokta ile arasındaki mesafe arttıkça etkisinin azalacağını ve örneklem noktalarının etki ortalamasına göre bir yüzeyin enterpole edileceği varsayılmaktadır (Franke, & Nielson, 1980).

IDW metodu aşağıda formüle edilmiştir:

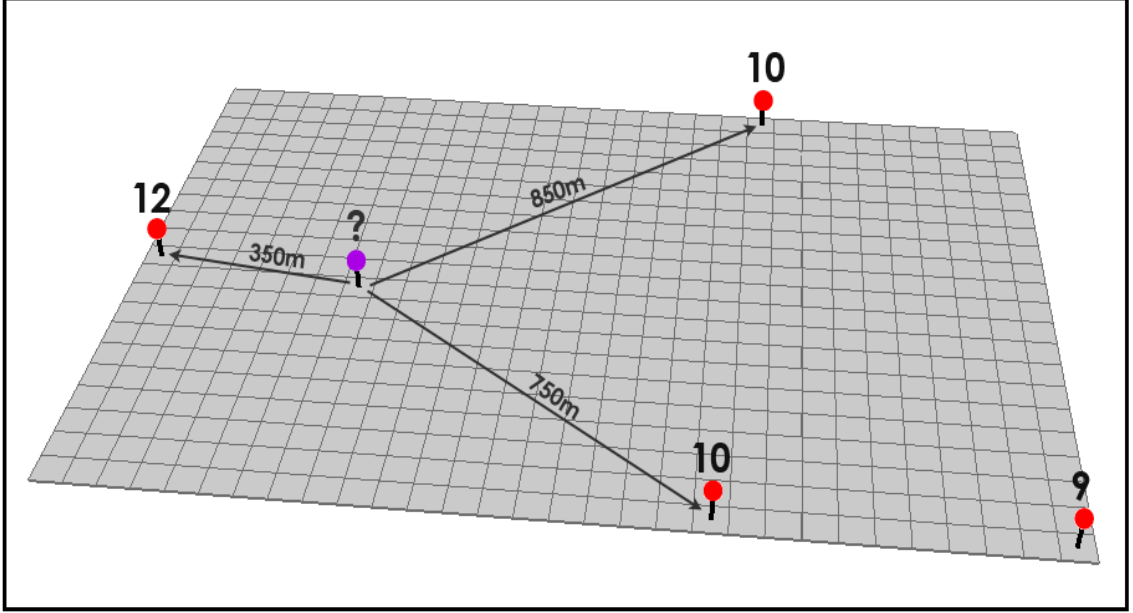
$$z(X_0) = \frac{\sum_{i=1}^n z(X_i) \cdot d_{io}^{-\gamma}}{\sum_{i=1}^n d_{io}^{-\gamma}} \quad (3.2)$$

Varsayımların yapıldığı X_0 değeri komşu ölçüleri n 'nin bir fonksiyonudur. $Z(X_0)$ ve $i=$ (1,2,3 ..., n); r gözlemlerin her birinin atanmış ağırlığını belirleyen üsttür. Gözlem lokasyonu ifade eden X_i ile tahmin lokasyonu olarak adlandırılan X_0 'ı ayıran mesafe d değeridir. Üs arttıkça tahmin lokasyonundan uzak mesafedeki gözlemlerin atanmış ağırlıkları azalır. Üsün büyümesi, tahminlerin gözlemlere daha yakın değerler olarak benzediğinin göstergesidir (Demircan, İlker, & Şensoy, 2011).

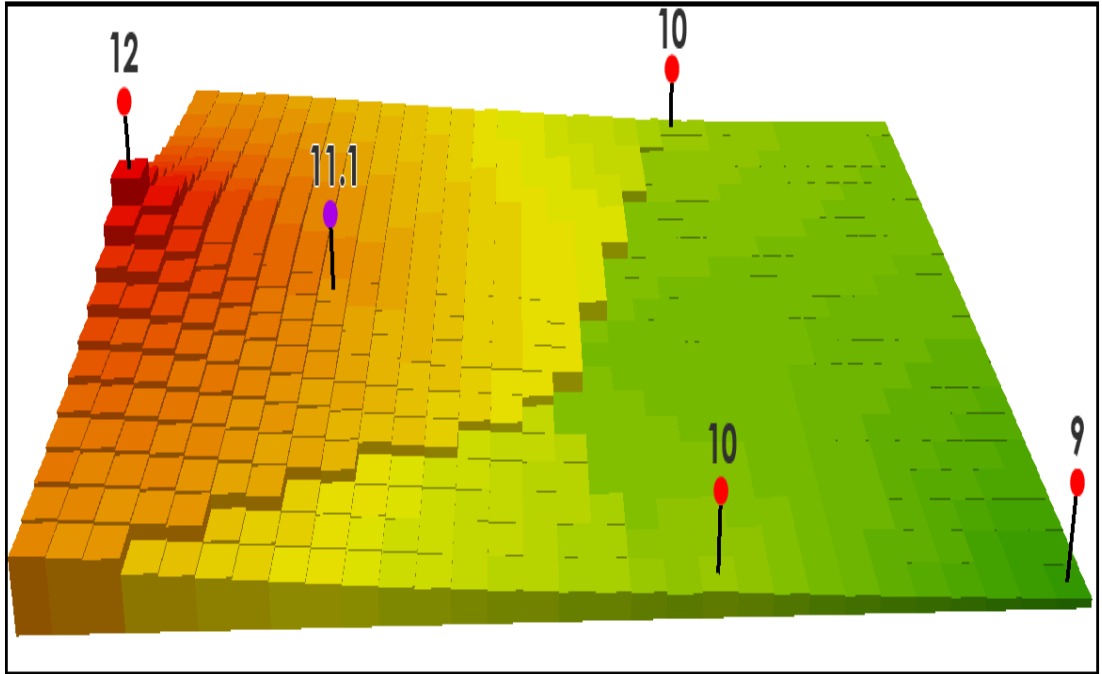
Ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon yönteminin uygulanması olarak adlandırılan IDW metodu 3 örnek nokta üzerinde gösterimi Şekil 59’da, örnek IDW yöntemi hesaplama sonucunun üç boyut görselleştirilmiş hali ise Şekil 60’da verilmiştir.

Formülden yararlanarak değerleri yerine koyarsak:

$$((12/350) + (10/750) + (10/850)) / ((1/350) + (1/750) + (1/850)) = 11,1$$



Şekil 67. IDW yöntemi için 3 örnek nokta (Gisgeography, 2021).



Şekil 68. Örnek IDW yöntemi hesaplama sonucu 3 boyutlu gösterimi (Gisgeography, 2021).

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

Araştırma Bulguları ve Tartışma

Araştırma Bulguları

Bu tez çalışmasında, Bayburt merkez ilçesi, Demirözü ve Aydıntepe ilçesi, Arpalı ve Gökçedere beldesinde yapılan sondajlar Jeotek Mühendislik, Aydınır Mühendislik, Yer Mühendislik ve Hüsna Mühendislik firmaları, Demirözü Belediyesi, Devlet Su İşleri 22. Bölge Müdürlüğü, İller Bankası Trabzon Bölge Müdürlüğü, Bayburt Belediyesi'nden elde edilen sondaj verilerine ait deney sonuçları bölgesel sıvılaşma analizleri hesaplamasında kullanılmıştır. Analizler Seed ve Idriss' in 1971 yılında geliştirdiği analiz metoduna göre yapılmış ve Prosivı (Babuçcu, 2002) yazılımıyla deprem büyüklükleri $M_w=5,5 - 6,0 - 6,5 - 7,0 - 7,5$ olan beş farklı senaryoya göre her bölgesel çalışma kendi içerisinde belirtilen sabit derinlik değerlerinde çalışma bölgesinin sıvılaşma potansiyeli değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında sıvılaşma emniyet faktörü hesaplanıp çalışma bölgelerinin yeraltı su seviyesi haritası ve sıvılaşma potansiyel haritaları ArcGIS 10.7 programı ile Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon (IDW) metodu kullanılarak hazırlanmıştır. Çalışma bölgeleri arası mesafe uzak olduğu için her bölgede a_{maks} (g) değeri ve derinliklere göre hesaplar yapılmıştır.

Elde edilen sondaj verileri bölgeye ait detaylı bilgiler sırasıyla Bayburt Merkez, Demirözü, Aydıntepe ilçeleri ve Arpalı, Gökçedere beldeleri olarak sınıflandırılıp alt başlıklar halinde anlatılmıştır.

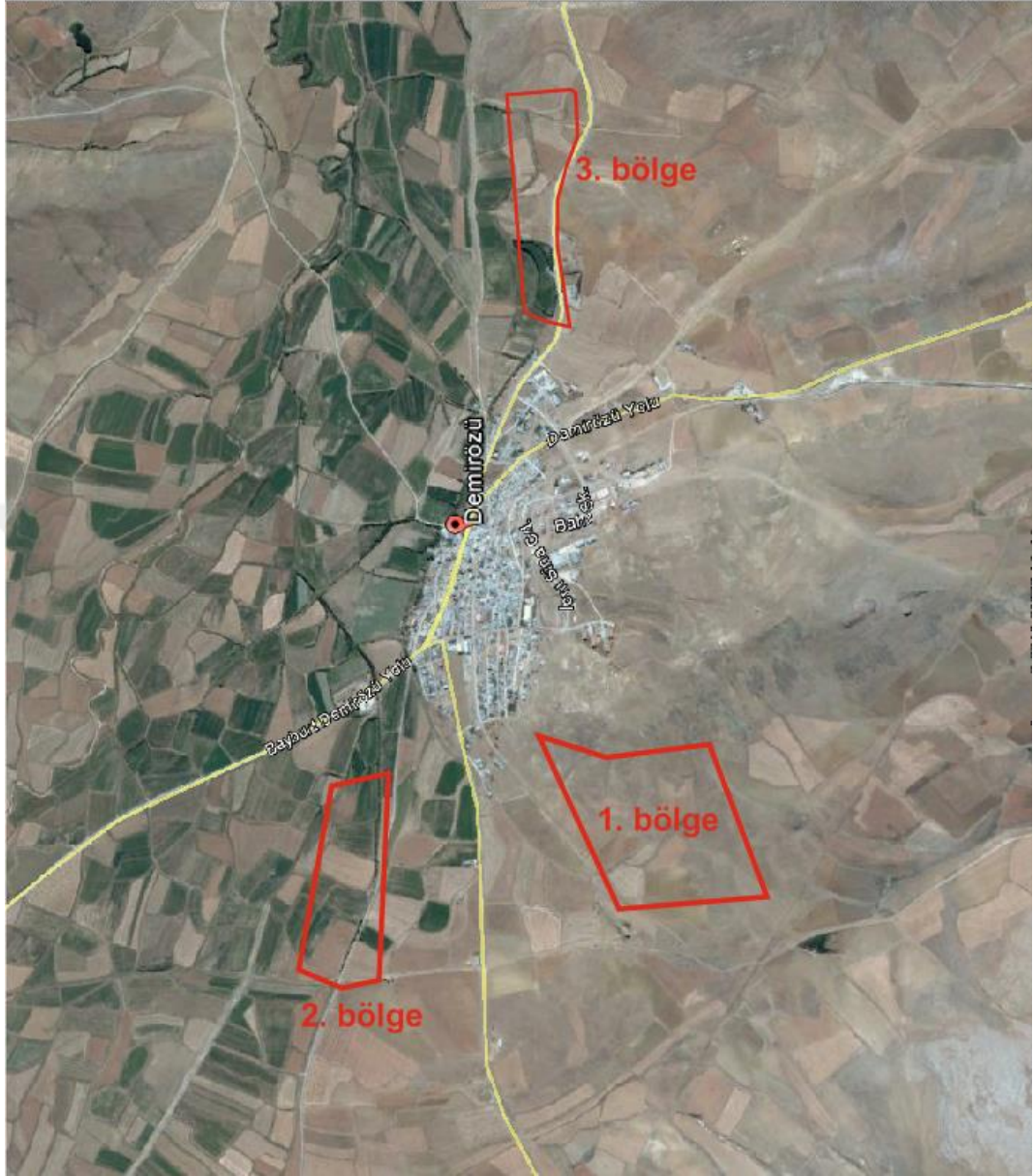
Bayburt demirözü ilçesi arazi çalışmaları.

Araştırma kapsamında Bayburt Demirözü ilçesi çalışma alanının jeolojik ve jeoteknik özelliklerini belirlemek amacıyla açılan sondaj kuyularından veriler elde edilip aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır.

Demirözü ilçe merkezi imar planına esas çalışma.

Bu çalışma ile Bayburt İli, Demirözü İlçesi, 1/5000 ölçekli H43-c-08-b, H43-c-08-c, nolu 2 adet halihazır harita paftalarında, 1/1000 H43-c-08-b-4-d, H43-c-08-b-4-c, H43-c-08-b-3-c, H43-c-08-c-1-a, H43-c-08-c-1-b, H43-c-08-c-2-b, H43-c-08-c-4-d, H43-c-08-c-4-a, H43-c-08-c-4-b, H43-c-08-b-3-d, H43-c-08-c-2-a nolu 11 adet halihazır harita paftalarında sınırları

belirtilen yaklaşık 55 Ha alanın imar planına esas jeolojik-jeoteknik etüt raporundan elde edilen veriler sıvılaşma analizi için kullanılmıştır.



Şekil 69. Çalışma alanı görüntüsü

Proje alanı farklı litolojilerdeki zemin ve kaya ortamlarından oluşmaktadır. Proje kapsamında gerçekleştirilen sondaj çalışmalarında; tüm derinlik boyunca bazen sadece zemin ortamlar, bazen de sadece kaya ortamlar kesilmiştir. Ancak her iki ortamın (zemin+kaya) aynı kuyuda kesildiği sondaj kuyuları da bulunmaktadır. Proje kapsamında 12 adet sondaj kuyusu açılmıştır. Farklı derinliklerde açılan bu sondajlarda toplamda 145,50 m. derinliğinde sondaj çalışması yapılmıştır.

Tablo 7. Bölgelere Ait Sondaj Kuyuları

BÖLGE	SONDAJ KUYUSU	DERİNLİK
1. BÖLGE	SK-1	11
	SK-2	13
	SK-3	10
	SK-4	10
2. BÖLGE	SK-5	15
	SK-6	13,5
	SK-7	15
3. BÖLGE	SK-8	15
	SK-9	15
	SK-10	15
	SK-11	6,5
	SK-12	6,5

1. Bölge içerisinde 4 adet lokasyonda toplam 44 m, 2. Bölge içerisinde 3 adet lokasyonda toplam 43,5 m, 3. Bölge içerisinde 5 adet lokasyonda toplam 58 m sondaj kuyusu açılmıştır.

1. Bölgede yapılan labratuar çalışma adetleri

- 5 adet Su Muhtevası Deneyi,
- 5 adet Elek Analizi
- 5 adet Atterberg Limitleri tayini,
- 13 adet Doğal Yoğunluk belirlenmesi,
- 12 adet Kayada Nokta Yükleme Deneyi
- 2 adet Direk Kesme Deneyi şeklindedir.

2. Bölgede yapılan labratuar çalışma adetleri

- 10 adet Su Muhtevası Deneyi,
- 10 adet Elek Analizi
- 10 adet Atterberg Limitleri tayini,
- 6 adet Doğal Yoğunluk belirlenmesi,
- 4 adet Kayada Nokta Yükleme Deneyi

- 2 adet Direk Kesme Deneyi şeklindedir.

3. Bölgede yapılan labratuar çalışma adetleri

- 12 adet Su Muhtevası Deneyi,
- 12 adet Elek Analizi
- 12 adet Atterberg Limitleri tayini,
- 7 adet Doğal Yoğunluk belirlenmesi,
- 3 adet Kayada Nokta Yükleme Deneyi
- 2 adet Kayada Tek eksenli basınç Deneyi
- 2 adet Direk Kesme Deneyi şeklindedir.

Tablo 8. Çalışma Alanında 1. Bölgede Açılan Sondaj Noktalarının Koordinatları

SONDAJ/ KUYU NO	KOORDİ-NATLAR			Derinlik (m)	UD	SPT	K-OT	Formasyon
	Y	X	Z					
SK-1	574207	4449230	1684	11.00			x	ÜJHk
SK-2	575367	4449258	1674	13.00		x	x	Qal
SK-3	575499	4448989	1692	10.00		x	x	ÜJHk
SK-4	575245	4449010	1686	10.00		x	x	ÜJHk

Tablo 9. Çalışma Alanında 2. Bölgede Açılan Sondaj Noktalarının Koordinatları

SONDAJ/ KUYU NO	KOORDİ-NATLAR			Derinlik (m)	UD	SPT	K-OT	Formasyon
	Y	X	Z					
SK-5	576156	4449526	1664	10.00			x	Qal
SK-6	576222	4449309	1665	15.00		x	x	Qal
SK-7	576181	4449040	1666	13.50	x		x	Qal

Tablo 10. Çalışma Alanında 1. 2. ve 3. Bölgelerde Yapılan Sondajlarda Gözlenen Birimler

Çalışılan Bölge	Sondaj Kuyu No.	Derinlik (m.)	Litoloji	Formasyon Adı
1.Bölge	SK-1	0.00-5.00m	Grimsi siyah parçalı kireçtaşı bloğu;	Hamurkesen form (ÜJHk)
		5.00-11.00m	Kırmızımsı bej, kumtaşı;	
	SK-2	0.00-0.50m	Bitkisel Toprak	Alüvyon (Qal)
		0.50-9.00 m	Ayrık taşınmış dere malzemesi	
		9.00-13.0 m	Sarımsı kahverengi, parçalı kireçtaşı bloğu;	Hamurkesen form (ÜJHk)
		0.00-5.00m	Ayrık taşınmış dere malzemesi	
	SK-3	5.00-11.00 m	Sarımsı kahverengi, parçalı kireçtaşı bloğu;	Hamurkesen form (ÜJHk)
		0.00-0.50m	Bitkisel Toprak	
	SK-4	0.50-3.00 m	Ayrık taşınmış dere malzemesi	Alüvyon (Qal)
		3.00-10.0 m	Sarımsı kahverengi, parçalı kireçtaşı bloğu;	
		0.00-7.00m	Ayrık taşınmış dere malzemesi	Alüvyon (Qal)
2.Bölge	SK-5	7.00-15.00m	Sarımsı kahverengi, parçalı kireçtaşı bloğu;	Hamurkesen form (ÜJHk)
	Sk-6	0.00-8.00m	Ayrık taşınmış dere malzemesi	Alüvyon (Qal)
		8.00-13,50m	Sarımsı kahverengi, parçalı kireçtaşı bloğu;	Hamurkesen form (ÜJHk)
	SK-7	0.00-12.00m	Ayrık taşınmış dere malzemesi	Alüvyon (Qal)
		12.00-5.00m	Sarımsı kahverengi, parçalı kireçtaşı bloğu;	Hamurkesen form (ÜJHk)
3.Bölge	SK-8	0.00-0.50m	Bitkisel Toprak	Alüvyon (Qal)
		0.50-15.00	Ayrık taşınmış dere malzemesi	
	SK-9	0.00-0.50m	Bitkisel Toprak	Alüvyon (Qal)
		0.50-15.00	Ayrık taşınmış dere malzemesi	
	SK-10	0.00-0.50m	Bitkisel Toprak	Alüvyon (Qal)
		0.50-15.00	Ayrık taşınmış dere malzemesi	
	SK-11	0,00-6,50	Sarımsı kahverengi, parçalı kireçtaşı bloğu;	Hamurkesen form (ÜJHk)
	SK-12	0,00-6,50	Sarımsı kahverengi, parçalı kireçtaşı bloğu;	Hamurkesen form (ÜJHk)

Çalışma alanında bulunan Lori Deresi alüvyonunda açılan SK-5-6-7-8-9 nolu kuyularda 6 – 7, m arası derinlikte yeraltı suyu rastlanmıştır. Çalışma alanında açılan diğer kuyular kaya özelliğindeki birimlerde açıldığından yeraltı suyu barındırmamaktadır.

Tablo 11. *İnceleme alanında yapılan Sondajlarındaki yer altı su seviyeleri*

Çalışılan Bölge	Kuyu No	Kuyu Derinliği (m)	YASS
2	SK-5	15	6
	SK-6	13,5	6,5
	SK-7	15	6
3	SK-8	15	7
	SK-9	15	6,5

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. Sondajlarda uygun birimlerde standart penetrasyon deneyi (SPT) yapılarak örselenmiş numune ve UD tüpü ile örselenmemiş numune alınmaya çalışılmıştır. Çalışma alanında alüvyonlarda açılan kuyularda 5.0-6,0 m arasında, Hamukesen formasyonunda açılan kuyularda 6,0-7,5 m arasında yeraltı suyuna rastlanılmıştır.

Tablo 12. *Çalışma Alanında 2. Bölgede (Demirözü) Yapılan Sondajlardaki SPT Değerleri*

Sondaj No	Derinlik (m)	SPT			Litoloji	Formasyon
		15-30 cm	30-45 cm	N ₃₀		
SK-7	3.00	RF	RF	RF	Kumlu Çakıl	Alüvyon (Qal)
	6.00	RF	RF	RF	Kumlu Çakıl	
SK-7	3.00	RF	RF	RF	Kumlu Çakıl	
	6.00	RF	RF	RF	Kumlu Çakıl	
SK-5	6.00	RF	RF	RF	Kumlu Çakıl	
SK-6	6.00-7.50	8	RF	RF	Killi Çakıl	
	7.50-7.95	9	RF	RF	Kil	

Demirözü merkeze yakın alanlardaki alüvyonlarda açılan kuyularda zemin çakıllı

olduğu için SPT değerleri RF vermiştir.

Tablo 13. Çalışma Alanında 1.Bölgede Yapılan Sondajlardaki SPT Değerleri

Sondaj No	Derinlik (m)	SPT			Litoloji	Formasyon
		15-30 cm	30-45 cm	N ₃₀		
SK-2	1.50-1.95	5	11	16	Kumlu kil	Hamurkesen form. (ÜJHk) Rez.
	3.50-3.95	8	12	20	Kumlu kil	
SK-3	1.50-1.95	3	5	8	Çakıllı Kum	Alüvyon (Qal)
	3.50-3.95	8	12	20	Kumlu Kil	
SK-4	1.50-1.95	RF	RF	RF	Çakıllı Kum	Hamurkesen form. (ÜJHk) Rez.
	4.50-4.95	22	RF	RF	Çakıllı Kum	
SK-5	1.50-1.95	4	11	15	Çakıllı Kil	Alüvyon (Qal)
	3.50-3.95	9	16	25	Çakıllı Kil	
	4.50-4.95	15	20.04	RF	Çakıllı Kil	

İnceleme alanında yapılan sondajlarda alüvyonda açılan sondaj kuyularda SPT deneyi yapılabilmış, killi kısımlarında SPT-N₃₀ değerleri 8-25 değerleri elde edilirken çakıllı kısımlarında RF vermiştir. Hamurkesen formasyonunun rezüdüel ve killi kısımlarında 6-32 darbe elde edilirken, kumtaşı kısımlarında RF değeri elde edilmiştir. Çalışma alanında 3. Bölgede yapılan sondajlardaki SPT deneyi yapılamadığından SPT-N₃₀ değerleri elde edilememiştir.

SPT deneyi SK-2, SK-3, SK-4 ve SK-6 loglarında yapılmıştır. SK2, SK-3 ve SK-4'te yeraltı suyuna rastlanılmamıştır. SK-6'da yeraltı suyuna rastlanılmıştır fakat SPT verisi refü olarak belirtilmiştir. Dolayısıyla sıvılaşma durumu için SPT verileri tespit edilemediğinden ayrıca su olmayan yerde sıvılaşma meydana gelmeyeceğinden sıvılaşma hesabı yapılamamıştır.

Demirözü ilçe entegre hastanesi.

Demirözü İlçe Entegre Hastanesi Şirin Mahallesi 1653 ada 4 parsel üzerinde 7000 m²'lik alanı kapsamaktadır. İnceleme alanında bulunan hastanenin oturma alanı yaklaşık 1.050,78 m² olup toplam inşaat alanı ise yaklaşık 3564,65 m² 'dir. Toplamda çalışma sahasında 4 adet toplam 45.50 metre sondaj çalışması yapılmıştır.



Şekil 70. İnceleme Alanına Ait Uydu Görüntüsü

Sondajlardan alınan numuneler üzerinde laboratuvarda elek analizi, atterberg limitleri, nokta yükleme, tek eksenli basınç ve direk kesme deneyi yapılmıştır. Proje alanındaki zeminlerin litolojik ve jeolojik koşullarıyla mühendislik parametrelerini tespit edebilmek amacıyla derinlikleri SK-1: 10,50 m, SK-2: 15,00 m, SK-3: 10,00 m, SK-4:10,00 m derinliklerde sondaj kuyularına ait koordinatlar aşağıda belirtilmiştir.

Çalışma alanını sınırlayan koordinatlar UTM- 6° Projeksiyonunda ve ED50 Datum'unda, 37 Dilim Orta Meridyeni kullanılarak düzenlenmiştir.

Tablo 14. Sondaj Kuyu Koordinatları

Sondaj Kuyu Koordinatları		
Nokta No	Y	X
SK-1	576019,4	4448615,49
SK-2	5766013,77	4448653,88
SK-3	575987,02	4448623,25
SK-4	575996,6	4448579

Tablo 15. *İnceleme Alanına Ait Zemin Profili*

ZEMİN PROFİLİ	
	0.00-2.50 m arasında bitkisel toprak
SK-1	2.50-7.50 m arası kırıklı parçalı ara ara bloklu kaya 7.50-10.50 m arası masif görünümlü bloklu kaya
SK-2	0.00-6.00 m arası çakıllı kil 6.00-15.00 m arası kırıklı parçalı masif görünümlü ara ara bloklu kaya
SK-3	0.00-2.00 m arasında ayrıışmış bozunmuş kil, 2,00-10,00 m arası parçalı kırıklı ara ara bloklu masif görünümlü kaya
SK-4	0.00 – 1.00 m arasında killi toprak, 1.00 - 10.00 m arası parçalı kırıklı ara ara bloklu masif görünümlü kaya

İnceleme alanında yapılan sondajlar neticesinde 72 saatlik süre sonunda 7 metrede yeraltı suyuna rastlanmıştır. Yapılan arazi deneyleri sonucu SK-2’de SPT deneyi yapılmıştır.

Tablo 16. *Laboratuvar Deney Sonuç*

Numune No (SK-2)	Su Muh.	Likit Limit (LL)	Plas. Limit (PL)	Plas. İnd. (PI)	Kıvam İnd. (Ic)	Likit İnd. (Lı)	Sıkışma İndeksi (Cc)	Zemin Sınıfı
Num 1	10.2	31.2	19.6	11.6	1.810345	-0.81031	0.2799	GC
Num 2	11.3	29.8	18.7	11.1	1.666.667	-0.66667	0.2673	GC
Num 3	9.4	30.5	20.1	10.4	2.028.846	-102.885	0.2736	GC

Tablo 17. *Arazi Deney Sonuçlar*

Sondaj No	Derinlik	YASS(m)	SPT- N
SK-1	3.00	7,0	30
SK-2	4.50	7,0	36
SK-3	6.00	7,0	49

İnceleme sahasında 4 sondaj arasından sadece birinde SPT deneyi yapılmış olup, elde edilen sondaj verilerinde yeraltı suyu altındaki SPT değerleri tespit edilememiş, SPT değerleri refü olarak belirtilmiştir. Dolayısıyla sıvılaşma durumu için SPT verileri tespit edilemediğinden ayrıca su olmayan yerde sıvılaşma meydana gelmeyeceğinden sıvılaşma hesabı yapılamamıştır.

Çakırözü Köyü.

İlçe merkezine 6 km uzaklıkta olan Çakırözü köyü eski yerleşimi 1995 yılında AFAD tarafından afet bölgesi ilan edilmiştir. Bunun sebebi eski yerleşime yakın olan dağdaki kaya düşmesine bağlı olarak yapılara zarar vermesi ve zemin yüzeyine yapı içlerine çıkan sudur. Afet bölgesi ilan edildikten sonra köyü taşımak için tespit edilen bu alanda zemin etüdü yapılmıştır. Bu çalışma ile Bayburt Demirözü ilçesi, Çakırözü köyü 1/5000 ölçekli H43-C nolu 1 adet hâlihazır harita paftalarında, 1/1000 ölçekli H43-C-03-D3C, H43-C-08-A2B, H43-C-08-B1A nolu 3 adet pafta 619 nolu parsel hâlihazır harita paftalarında sınırları belirtilen yaklaşık 6 Ha alanın imar planına esas jeolojik-jeoteknik etüt raporundan elde edilen veriler sıvılaşma analizi için kullanılmıştır.

İnceleme alanına ait zeminin mühendislik parametreleri elde edilmiştir. Jeolojik haritalama çalışmaları, sondaj çalışmaları yapılmış olup, sondaj çalışmaları inceleme alanında 0,00-15m kumlu-killi-çakıllı alüvyon gözlemlenmiştir. Proje kapsamında 4 adet sondaj kuyusu açılmıştır. Aynı derinliklerde açılan bu sondajlarda toplamda 60,00 m. derinliğinde sondaj çalışması yapılmıştır.



Şekil 71. Çalışma Alanı morfolojik görünümü

Tablo 18. Çalışma Alanında Açılan Sondaj Noktalarının Koordinatları

SONDAJ/ KUYU NO	KOORDİ-NATLAR			Derinlik (m)	UD	SPT	K-OT	Formasyon
	Y	X	Z					
SK-1	574270	4452198	1699	15.00	☐	☐	☐	Qal
SK-2	574434	4452199	1723	15.00	☐	☐	☐	Qal
SK-3	574353	4452146	1708	15.00	☐	☐	☐	Qal
SK-4	574419	4452057	1709	15.00	☐	☐	☐	Qal

Tablo 19. Çalışma Alanında Yapılan Sondajlarda Gözlenen Birimler

Sondaj Kuyu No.	Derinlik (m.)	Litoloji	Formasyon Adı
SK-1	0.00-15.00m	Kumlu-Killi-Çakıllı Alüvyon	Qal
SK-2	0.00-15.00m	Kumlu-Killi-Çakıllı Alüvyon	
SK-3	0.00-15.00m	Kumlu-Killi-Çakıllı Alüvyon	
SK-4	0.00-15.00m	Kumlu-Killi-Çakıllı Alüvyon	

İnceleme alanında tamamen alüvyon birim hâkimdir. Standart penetrasyon deneyi yapılmıştır. İnceleme alanı % 0-15 aralığında eğime sahip olup düze yakını bir morfolojidedir. Herhangi bir heyelan belirtisine rastlanmamıştır.

Tablo 20. *Spt Deney Sonuçları*

Sondaj No	Derinlik (m)	SPT			Litoloji	Formasyon
		15-30 cm	30-45 cm	N ₃₀		
SK1	Oca.50	5	9	14	Kumlu Çakıl	Alüvyon (Qal)
	3.00	9	13	22	Kumlu Çakıl	
	Nis.50	RF	RF	RF	Kumlu Çakıl	
	6.00	RF	RF	RF	Kumlu Çakıl	
	Tem.50	RF	RF	RF	Kumlu Çakıl	
SK2	Oca.50	9	10	19	Kumlu Çakıl	Alüvyon (Qal)
	3.00	11	15	26	Kumlu Çakıl	
	Nis.50	15	19	34	Kumlu Çakıl	
	6.00	RF	RF	RF	Kumlu Çakıl	
	Tem.50	RF	RF	RF	Kumlu Çakıl	
SK3	Oca.50	7	7	14	Kumlu Çakıl	Alüvyon (Qal)
	3.00	11	13	24	Kumlu Çakıl	
	Nis.50	10	16	26	Kumlu Çakıl	
	6.00	RF	RF	RF	Kumlu Çakıl	
	Tem.50	RF	RF	RF	Kumlu Çakıl	
SK4	Oca.50	8	10	18	Kumlu Çakıl	Alüvyon (Qal)
	3.00	10	12	22	Kumlu Çakıl	
	Nis.50	15	17	32	Kumlu Çakıl	
	6.00	RF	RF	RF	Kumlu Çakıl	
	Tem.50	RF	RF	RF	Kumlu Çakıl	

Çalışma alanında açılan jeoteknik kuyulardan alınan tüm numunelerden 12 adet laboratuvar deneyi yapılmıştır. Yapılan laboratuvar çalışmaları 4 adet Doğal Yoğunluk belirlenmesi, 12 adet Su içeriği belirlenmesi, 4 adet Direk Kesme Belirlenmesi, 12 adet Elek analizi tayini, 12 adet Atterberg Limitleri tayini deneyleridir. Çalışma alanında yapılan sondajlarda tamamen alüvyon birim kesilmiş olup kaya birim bulunmamaktadır. Çalışma alanındaki zeminlerin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla açılan sondaj kuyularından alınan 4 adet örselenmiş örnekten (SPT) numune elde edilmiştir. Bu numuneler kumlu ve siltli özellikte olduğu için direk kesme deneyi yapılmış, Elek ve Atterberg limitleri tayini deneyi yapılmıştır.

Tablo 21. Zeminlerin Mekanik Özellikleri

Sondaj No	Numune No	Derinlik (M)	Formasyon	YASS (m)
SK-1	Num-2	6.00	Qal	10 m
SK-2	Num-2	6,00	Qal	10 m
SK-3	Num-1	3,00	Qal	10 m
SK-4	Num-3	10,00	Qal	10 m

Çalışma alanında alüvyon zeminlerin sınıflandırılmasını sağlamak 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 karşılaşmaktadır. Yine çizelgeler incelendiğinde Plastisite indeksine (I_p) göre alüvyon birim ince daneli zeminleri genellikle “orta ve yüksek plastik” özelliktedir.

Tablo 22. Zeminlerin İndeks-Fiziksel Özellikleri

SONDAJ NO	NUMUNE NO	DERİNLİK (m)	SU İÇERİĞİ (%)	YOĞUNLUK (g/cm ³)	ELEK ANALİZİ		ATTERBERG LİMİTLERİ			ZEMİN SINIFI
					NO:10 KALAN (%)	NO:200 GEÇEN (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)	
SK-1	NUM-1	3.00	18.6		0	66.1	35.1	19.5	15.6	CL
-	NUM-2	6.00	22.4	1.79	0.7	54.3	36.9	20.1	16.8	CL
-	NUM-3	10.00	17.4		21.6	34.9	31.5	17.6	13.9	SC
SK-2	NUM-1	3.00	21.3		0	72.4	38.4	20.6	17.8	CL
-	NUM-2	6.00	23.9	1.82	2.4	59.8	36.1	19.7	16.4	CL
-	NUM-3	10.00	18.8		18.4	41.7	32.3	17.1	15.2	SC
SK-3	NUM-1	3.00	17.1	1.84	1.7	63.7	35.6	19.4	16.2	CL
-	NUM-2	6.00	20.5		4.3	52.9	33.9	18.2	15.7	CL
-	NUM-3	10.00	18.3		28.7	32.1	30.4	17.9	12.5	SC
SK-4	NUM-1	3.00	22.5		0	77.1	39.1	20.3	18.8	CL
-	NUM-2	6.00	24.1		0	70.09	37.2	22.7	14.5	CL
-	NUM-3	10.00	21.9	1.77	15.4	45.9	34.2	20.5	13.7	SC

Tablo 23. *Labaratuvar Deney Verileri.*

Kuyu No	Derinlik (m)	W (%)	LL (%)	PL (%)	Ip (%)	IL	IC	Zemin Sınıfı
SK-1	3	18,6	35,1	19,5	15,6	-0,05	1,05	CL
SK-1	6	22,4	36,9	20,1	16,8	0,13	0,86	CL
SK-1	10	17,4	31,5	17,6	13,9	-0,01	1,01	SC
SK-2	3	21,3	38,4	20,6	17,8	0,03	0,96	CL
SK-2	6	23,9	36,1	19,7	16,4	0,25	0,74	CL
SK-2	9	18,8	32,3	17,1	15,2	0,11	0,88	SC
SK-3	3	17,1	35,6	19,4	16,2	-0,14	1,14	CL
SK-3	6	20,5	33,9	18,2	15,7	0,14	0,85	CL
SK-3	9	18,3	30,4	17,9	12,5	0,03	0,96	SC
SK-4	3	22,5	39,1	20,3	18,8	0,11	0,88	CL
SK-4	7	24,1	37,2	22,7	14,5	0,09	0,9	CL
SK-4	10	21,9	34,2	20,5	13,7	0,1	0,89	SC

İnceleme sahasında yapılan sondajlarda SPT deneyi yapılmış olup, elde edilen sondaj verilerinde yeraltı suyu altındaki SPT değerleri tespit edilememiş, SPT değerleri refü olarak belirtilmiştir. Dolayısıyla sıvılaşma durumu için SPT verileri tespit edilemediğinden ayrıca su seviyesinin çok aşağıda olması sebebiyle su olmayan yerde sıvılaşma meydana gelmeyeceğinden sıvılaşma hesabı yapılamamıştır.

Demirözü barajı.

Demirözü Barajı, Bayburt Demirözü ilçesinde Lori Çayı üzerinde sulama amacıyla 1996-2013 yılları arasında inşa edilmiş bir barajdır. Bu çalışma D.S.İ 22.Bölge Müdürlüğü arşivinden Orta Doğu Teknik Üniversitesi Araştırma Geliştirme ve Uygulama Döner Sermaye İşletmesince 96-03-03-03-07 proje kodlu 15.07.1996 tarihli hazırlanan Demirözü Barajı Geoteknik ön rapor temin edilmiştir. Bu rapor Demirözü Barajı yapım firması müracaatı üzerine hazırlanmıştır. Yaklaşık 30 m derinlikte ve 800 m genişlikte alüvyon vadide yapılacak olan dolgu barajın planlama ve projesi D.S.İ barajlar dairesinde hazırlanmıştır. Müteahhit firmanın müracaatındaki amaç yüksekliğine göre (32.50) oldukça derin bir alüvyon zemin üzerine oturan barajın geoteknik mühendisliği açısından bir değerlendirmesinin yapılmasıdır. Bu genel açıdan bakıldığında birçok husus gündeme getirilebilir. Ancak bir ön değerlendirme olarak nitelendirilebilecek bu raporda belli konular üzerinde durulmuştur. Bunlar;

- Özellikle baraj temel zemini açısından geçirimsizliğin sağlanması,
- Temel zeminin sıvılaşma veya yarı sıvılaşma potansiyeli,
- Gövdenin statik ve dinamik (deprem) yükleme altında stabilitesi,
- Baraj gövde ve temelinde oluşacak oturmalar

Şeklinde özetlenebilir. Bu çalışmada temin edilen raporun sınıflama değerlendirmeleri ele alınmıştır. Demirözü baraj yerinde temeli metamorfik seri, diyabaz daykları ile kesilmiş fliş serisi, metadiyorit- metagabro, riyodasit, alüvyonlar ve yamaç molozları oluşturmaktadır. Baraj yeri sahili ve sol sahilinden alınan 8 adet değişik kayaç örneklerinin petrografik tanımlamaları yapılmış ve aşağıdaki adlandırmalar bu tanımlara göre verilmiştir.

Tablo 24. Baraj Yeri jeolojisi.

Metamorfik Serisi	Baraj aks yerinde sağ sahilde yüzeylenen bu birim granülit (yüksek sıcaklık, yüksek basınç altında oluşmuş metamorfik kayaç) granülitik epidot amfibolit, kordiyerit-silemanit- granat gnayslardan oluşmuştur. Bölgesel jeolojik çalışmalar metamorfik serinin flişler üzerine bindirme ile geldiğini göstermektedir.
Fliş Serisi	Konglomera, grit, kumtaşı, şeyl araldanmasından oluşan bu istif baraj aks yerinde gerek sol ve gerekse sağ sahilde yüzeylenmektedir. Sık olarak diyabaz daykları ile kesilmiştir. Baraj aks yerinde sol sahilde ve özellikle temel sondaj verilerine göre Lori Deresi alüvyon dolgusu tabanında yaygındır. Sol sahilde metadiyoritler üzerinde gnays olarak haritalanan birim flişlere ait mikro konglomera- grit olup konum itibariyle kret kotu üzerinde yer almaktadır. Ancak dolu savak kazısı sırasında kesilmesi beklenmektedir.
Metadiyorit Metagabro	Sol sahilde kret kotu ve altında yüzeylenmekte olup fliş serisi içine intruziftir. Bu kesimde barajın sol abatmanını oluşturmaktadır. Yoğun eklemli ve çatlaklı, az bozunmuş olup stabilite açısından sorun beklenmemektedir.
Diyabaz	Koyu gri yeşil, ince kristalli diyabazlar fliş ve metadiyoritler içinde dayklar şeklinde görülmektedir. Baraj sol sahilinde flişleri kesen diyabaz daykı yüzeylenmektedir.
Riyodasit	Baraj aks yeri sağ sahilde gnayslar üzerinde yaygın olarak izlenen bu birim kirli sarı, bej riyodasitlerle temsil edilmektedir. Konum itibariyle baraj kret kotu üzerinde yer almaktadır. Yoğun olarak silisli ve demir oksitli hidrtermal çökellerle sıvanmış ayrıca çatlaklar boyunca nüfuz etmiştir.
Alüvyon	Yaklaşık 800 m genişliğinde ve temel sondaj verilerine göre maksimum kalınlığı 35.50 m olup üst kısımlarda çakıl- kum- silt alt kısımlarda ise daha ince daneli bileşenler egemendir. Vadi kenarlarına doğru dane boyunca incelmeye görülmektedir. Değişik dane boyundaki malzemeler yatay ve düşey geçişlidir.
Yamaç Molozu	Gerek sol ve gerekse sağ sahilde temeli oluşturan kayaçlar üzerinde ince bir örtü şeklinde izlenmektedir.



Şekil 72.İnceleme alanının görüntüsü.

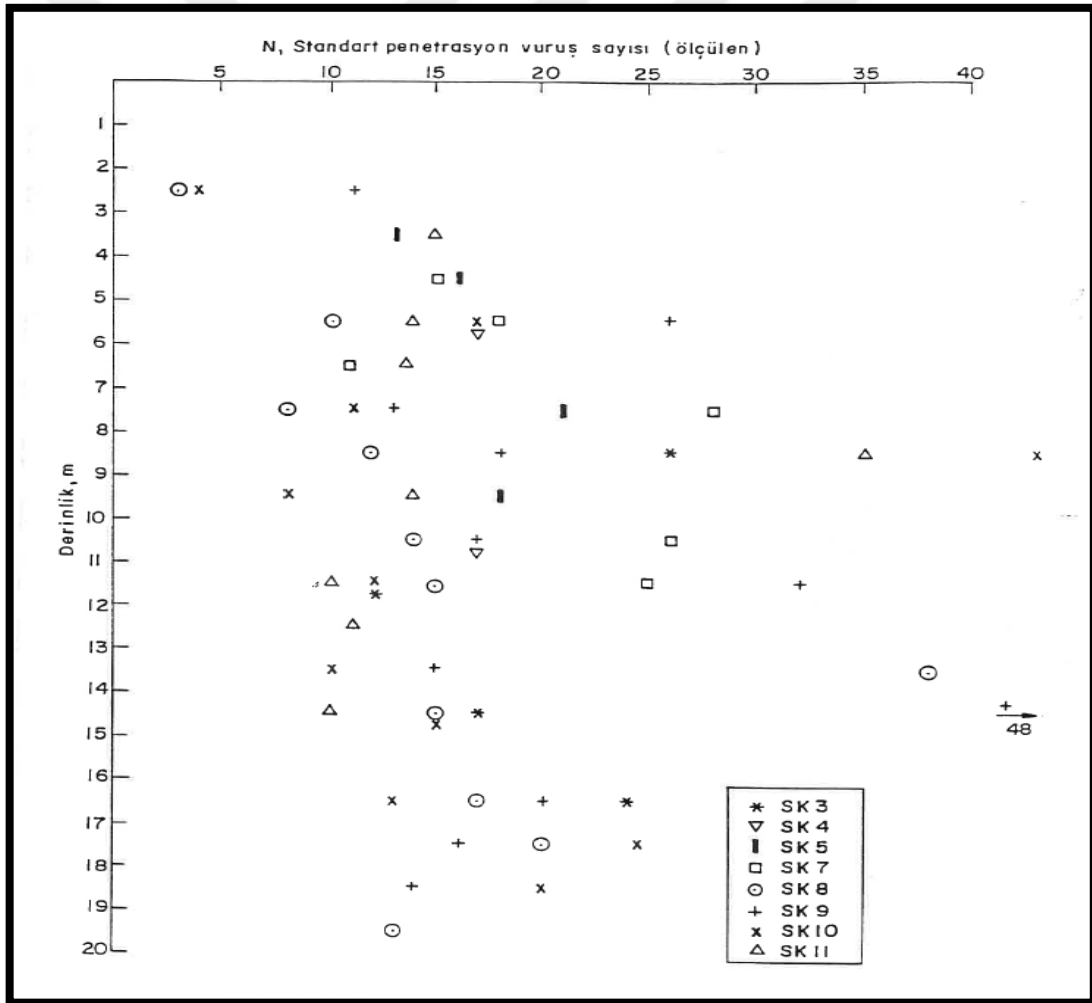
Demirözü Barajı bent yerinde alüvyon derinliğini ve özelliklerini araştırmak üzere 10 adet sondaj açılmıştır. Bu sondajlarda maksimum alüvyon kalınlığı 35.50 m olarak bulunmuştur. Sondajlarda yapılan sızma deneylerinde alüvyonun geçirgenlik değerleri 10^{-2} - 10^{-4} cm/sn olarak belirlenmiştir. Alüvyon örnekleri üzerinde yapılan dane boyu ve atterberg limit deneyleri alüvyonun orta plastik yer yer az plastik inorganik kil kıvamında killi çakıl, killi kum ve siltli kum bileşiminde olduğunu göstermektedir. SPT deneylerinde zeminin sıvı-orta sıkı olduğu anlaşılmaktadır.

Lori Deresi taşkın alanının genişliği aks yerinde yaklaşık 800m olup mevcut dere yatağı vadi ortasında yer almaktadır. Baraj gövdesinin oturacağı alüvyon kesiminde, aks boyunca açılan sondajların aralığı 200 m olup bu sondajlarla alüvyonda beklenebilecek yanal geçişlerin denetlenmesi olanaksızdır. Bu gibi taşkın alanlarında akarsu yatağının zaman zaman yer değiştirdiği dikkate alındığında genellikle çakıl ve kumun egemen olduğu eski akarsu yatak dolgularının varlığı göz ardı edilmemelidir.

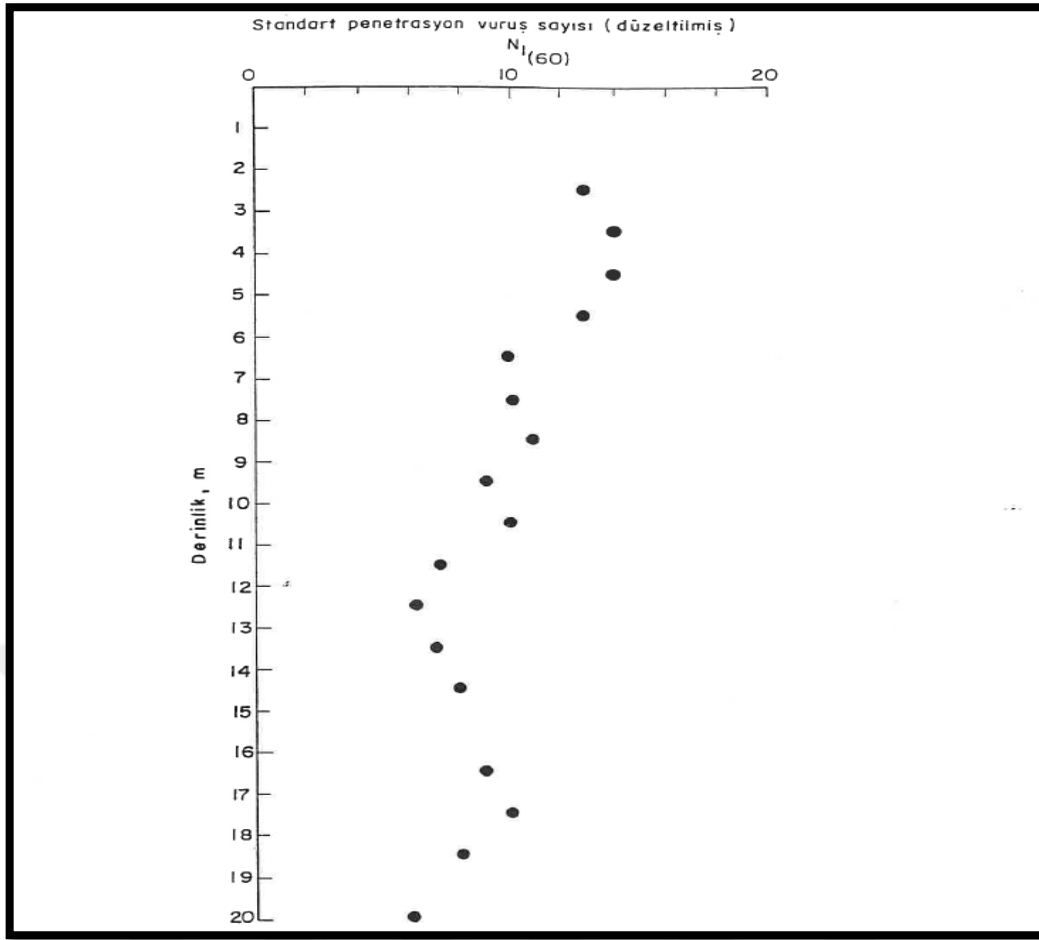
Alüvyonda mühendislik parametrelerine yönelik sızma deneylerinden başka Standart Penetrasyon deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler 20 m derinliğe kadar yapılmıştır. Ölçülmüş değerler olarak 15m'ye kadar ortalama 12-13 vuruş sayıları gözlenmekte 15 m'den sonra 17 civarında bir ortalama bulunmaktadır. Diğer taraftan örselenmiş numuneler üzerinde yapılan elek analizlerinde farklı seviyelerde değişken dane çapı dağılım eğrileri elde edilmekle beraber genel ortalama %22 (200 no'lu elekten küçük), %35 kum, %43 çakıl olarak tanımlanmıştır. Kum ve çakıl toplam yüzdesinin %80'e vardığı bir daneli zeminde ölçülen penetrasyon değerleri çok düşüktür. Deneylerin standarda uygun şekilde yapıldığını kabul ederek izafi sıklık incelenirse düşey gerilme seviyesinin 100-500 kPa aralığında % 41- 34 seviyesi ortaya

çıkılmaktadır ki bu bayağı gevşek bir alüvyona işaret etmektedir(Okamoto, & Kokusho, & Yoshida, & Kusunoki, 1989). Hidrometre deneyleri yoktur ve kil yüzdesi bilinmemektedir. Ancak plastisite indeksi % 10-20 civarında değerler vermektedir. Likit limitler ise %50'ye ulaşmamaktadır. Düşük plastiklikte bir ince oranı söz konusudur.

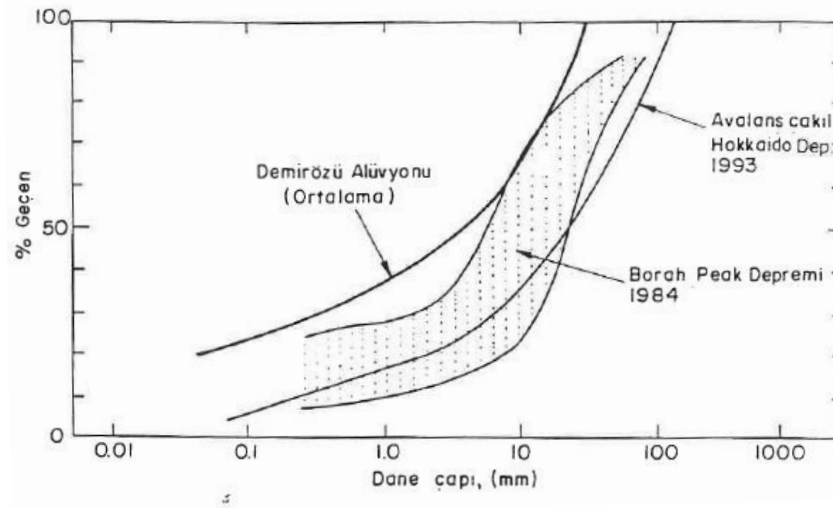
Alüvyon temel zemininin sıvılaşma potansiyeli tahkik edilmiştir. Sondajlarda yapılan standart penetrasyon deney neticeleri toplu halde aşağıdaki şekilde gösterilmektedir. 25-50 vuruş sayıları görülmektedir. Bunlar iri bloklardır. Profillerde tek değer olarak görülürler. Ortalaması alınmış ve düzeltmeleri yapılmış değerler derinlik boyunca Şekil 73'de görülmektedir. Şekil 74'de ise Demirözü Baraj sahası alüvyonlarının ortalama dane çapı dağılımı ile iki depremde sıvılaşan çakıllı formasyonların dane çapı eğrileri görülmektedir. Sıvılaşan çakıllar daha kabadır. Sahanın kuvvetli bir yer hareketi durumunda sıvılaşma potansiyeli bakımından kritik olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 73.Sahada çeşitli derinliklerde ölçülen SPT vuruş sayıları.



Şekil 74. Derinliğe karşı düzeltilmiş SPT vuruş sayıları.



Şekil 75. Dane çapı dağılım eğrileri- sıvılaştan iki kum-çakıl zemin ve Demirözü alüvyonu.

Demirözü Barajı Geoteknik ön raporuna göre değerlendirmeler yapılmıştır. Varılan sonuçlar ve öneriler aşağıda sıralanmaktadır.

»Ağırlıklı olarak kum-çakıldan oluşan alüvyonda yapılan standart penetrasyon deneylerinde 10-15 arasında vuruş sayıları ölçülmüştür. Efektif düşey gerilme ve enerji

düzeltilmeleriyle $N_{I(60)}$ sayıları 7-8 civarında olup çok poröz bir alüvyona işaret etmektedir. Kum ve çakılda sıvılaşmış sahalar kriter alınarak hazırlanan abaklardan baraj sahasında bulunan alüvyonun sıvılaşmaya çok potansiyel olduğu anlaşılmaktadır.

»Sıvılaşma potansiyeli bakımından kritik olan alüvyon üzerindeki şevler, gövde ve geçirimsizlik örtüsü gerek dinamik deplasmanlar açısından tehdit altındadır. Geçirimsizlik örtüsünde gerek dinamik deplasmanlar gerekse statik farklı oturmalar nedeniyle oluşacak çatlaklar membaya yapılacak bir geçirimsizlik perdesinin fonksiyonunu azaltmaya yönelik olmakla kalmayıp büyük deprem halinde kritik durumlar ile karşılaşma riski yaratacaktır. Deplasman analizlerinde tahmin edilen parametreler ile yaklaşık 1,50 m mertebesinde oturma hesaplanmaktadır. Bunun 0,85 m'si alüvyon 0,65 m'si ise gövde oturmalarıdır.

» Temel zeminini teşkil eden alüvyonun poröz bir yapıda olduğu anlaşılmaktadır. Diğer taraftan alınan numunelerin dane çapı analizlerinde ise kum-çakıl ağırlıklı bir zemin ortaya çıkmaktadır. Zaten bu özellikleri açısından mevcut alüvyon sıvılaşmaya müsait haldedir. Geçirimsizliğin sağlaması sorunundan bağımsız olarak baraj gövdesini taşıyan temel zeminin sıvılaşma potansiyelini bertaraf etmek gerekmektedir. 800 metreye yaklaşan vadi genişliğinde, 320 m baraj taban uzunluğu ve 30 m'ye ulaşan alüvyon derinliklerinde zemin iyileştirmesi ekonomik açıdan güç bir sorundur. Maliyetler bir tarafa teknik açıdan bu zeminde uygulanabilir yöntemler aşağıda sıralanmaktadır. İnceler yüzdesi kritik limitte olduğu için hiçbir titreşim tekniği tipi uygun görülmemektedir.

- Jet enjeksiyonu,
- Kompaksiyon enjeksiyonu veya çatlatma enjeksiyonu(enkapsülasyon),
- Sıkıştırılmış taş kolonlar,
- Dinamik kompaksiyon (ağırlık düşürme),
- Baraj temelini kazıp sıkıştırıp doldurarak aşağı kotlara indirme.

Bu yöntemlerden biri hariç hepsinin uygulama kotu (taban kayaya kadar veya yarı derinlik vb.) karar meselesidir. Sadece dinamik kompaksiyonun tesirli uygulaması en fazla 15 m civarındadır. Sıvılaşma olayı genellikle formasyonların üst 10-15 m'si içinde gözlenmektedir. Daha derinlerde efektif gerilmelerin artması ve zeminlerin daha kompakt olması sıvılaşma ortamını kaldırmaya yardımcı olmaktadır.

Demirözü ilçesi Gökçedere beldesi beldesi arazi çalışmaları.

İnceleme alanı Bayburt İli, Demirözü İlçesi, Gökçedere Beldesinde bulunmaktadır. Gökçedere beldesi 173 ada 923 parselde spor binası yapılması için çalışma sahasında sondaj yapılmıştır.



Şekil 76. Çalışma Alanın Uydu Görünümü

İnceleme alanımızda 3 adet derinliği SK-1:15,00m SK-2:15,00m SK-3:15,00m olan karotlu zemin araştırma sondajları açılmıştır. Açılan sondaj kuyularında 0.50 m’lik bitkisel toprak sonra kalınlığı 0.50 – 15.00 m olan kahve renkli yüksek plastiseli siltli kil kum yer yer çakıllı Alüvyon zemin yer alır. Çalışma sahasındaki zeminin jeolojik özellikleri arazi ve laboratuvar deneyleri ile belirlenmiştir.

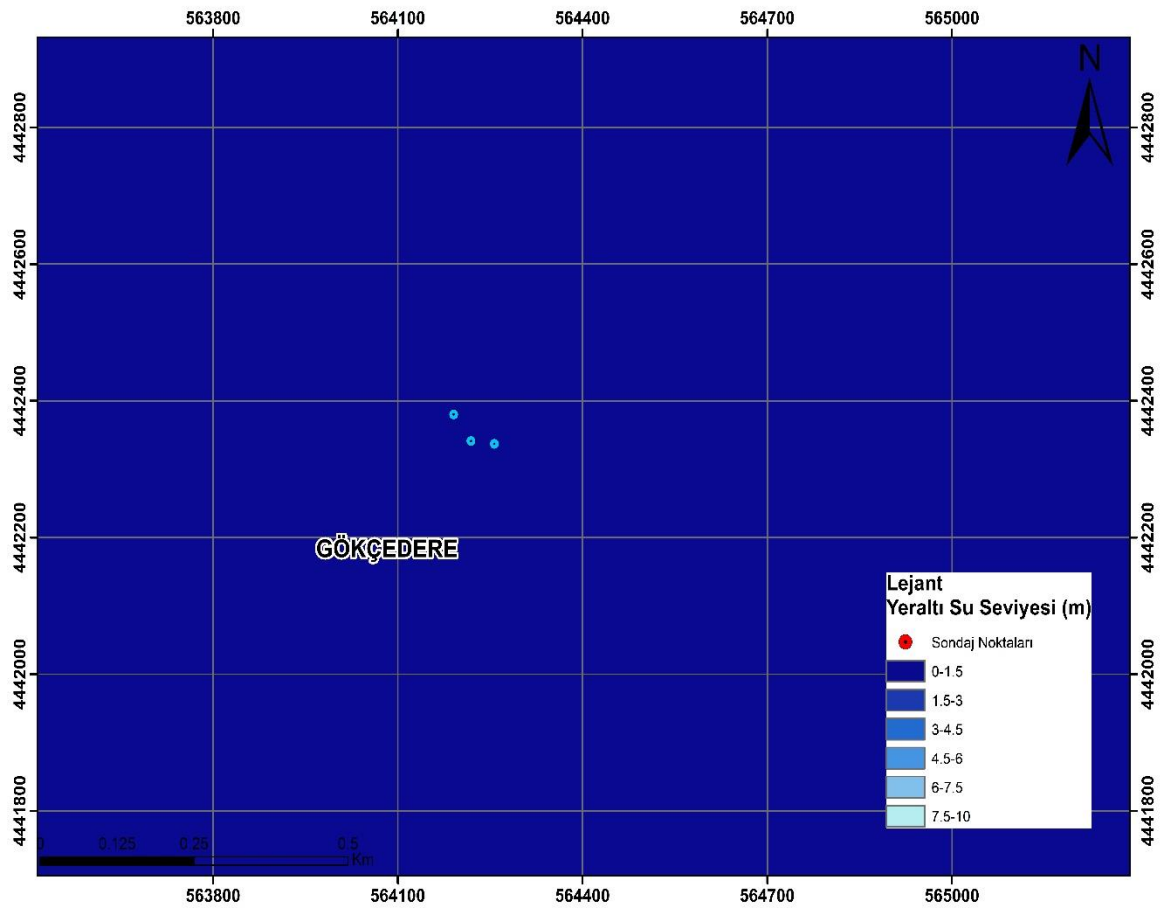
Tablo 25. Sondaj Kuyularına ait derinlik ve formasyonlar

Sondaj No: 1	Derinlik(m)	Formasyon
SK-1	0.00-0.50	Bitkisel Toprak
	0.50-15.00	Kil-Silt Çok ince kumlu kahve renkli orta plastisiteli siltli kil
SK-2	0.00-0.50	Bitkisel Toprak
	0.50-15.00	Kil-Silt Çok ince kumlu kahve renkli orta plastisiteli siltli kil
SK-3	0.00-0.50	Bitkisel Toprak
	0.50-15.00	Kil-Silt Çok ince kumlu kahve renkli orta plastisiteli siltli kil

Çalışma alanını sınırlayan koordinatlar UTM- 6° Projeksiyonunda ve ED50 Datum'unda, 37 Dilim Orta Meridyeni kullanılarak düzenlenmiştir.

Tablo 26. Gökçedere sondaj koordinatları ve yeraltı su seviyesi.

<u>SondajNo</u>	<u>X</u>	<u>Y</u>	<u>YASS</u>
SK-1	564188	4442304	2,0 m
SK-2	564216	4442265	2,0 m
SK- 3	564254	4442261	2,0 m



Şekil 77. Gökçedere beldesine ait yeraltı su seviyesi haritası

Tablo 27. Sondaj Çalışmalarındaki Ait SPT Değerlerini Gösteren Tablo.

Kuyu No	Deney Seviyeleri	Düşü				Zemin Cinsi
		15	30	45	N ₃₀	
SK-1	1.50-1.95	3	5	9	14	Gri kahve renkli, kil
	3.00-3.45	2	4	6	10	Gri kahve renkli, kil
	4.50-4.95	3	7	8	15	Gri kahve renkli, ince taneli kil
	6.00-6.45	3	9	14	23	Gri kahve renkli siltli kil
	7.50-7.95	5	6	10	16	Gri kahve renkli, kil
	9.00-9.45	4	9	14	23	Gri kahve renkli, ince taneli kil
	10.50-10.95	6	11	12	23	Gri kahve renkli, ince taneli kil
	12.00-12.45	4	15	15	30	Gri kahve renkli, kil
SK-2	1.50-1.95	2	4	7	11	Gri kahve renkli, kil
	3.00-3.45	1	5	8	13	Gri kahve renkli, kil
	4.50-4.95	3	5	5	10	Gri kahve renkli, ince taneli kil
	6.00-6.45	2	6	8	14	Gri kahve renkli siltli kil
	7.50-7.95	5	7	8	15	Gri kahve renkli, kil
	9.00-9.45	4	6	7	13	Gri kahve renkli, ince taneli kil
	10.50-10.95	5	9	11	20	Gri kahve renkli, ince taneli kil
	12.00-12.45	7	8	16	24	Gri kahve renkli, kil
SK-3	13.50-13.95	6	14	22	36	Gri kahve renkli, ince taneli kil
	1.50-1.95	1	6	6	12	Gri kahve renkli, kil
	3.00-3.45	2	5	7	12	Gri kahve renkli, kil
	4.50-4.95	4	6	10	16	Gri kahve renkli, ince taneli kil
	6.00-6.45	5	7	10	17	Gri kahve renkli siltli kil
	7.50-7.95	4	6	11	17	Gri kahve renkli, kil
	9.00-9.45	2	7	9	16	Gri kahve renkli, ince taneli kil
	10.50-10.95	3	5	8	13	Gri kahve renkli, ince taneli kil
	12.00-12.45	6	14	15	19	Gri kahve renkli, kil
	13.50-13.95	4	17	19	36	Gri kahve renkli, ince taneli kil

Tablo 28. Elek Analizi Deney Sonuçları

Sondaj No	Su Muhtevası (Wn) %	Elek Analizi		Atterberg Limitleri			Zemin Sınıfı
		No:10 Kalan %	No:200 Geçen %	LL(%)	PL(%)	PI(%)	
SK-1	23,2	0,8	92.2	64,6	31,4	32,7	CH
SK-2	25,3	25	88.6	57	29,3	27,7	CL
SK-3	21,9	3,7	89.4	50,1	27,9	22,2	CH

Prosilıvı programında sıvılaşma hesabında deprem büyüklüğü 5.5-6.5-7-7.5 olarak 5 farklı senaryoda ele alınmıştır. İnceleme alanına ait a_{maks} (g) değeri Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif web uygulamasından 0,24 değeri elde edilmiştir.

Tablo 29. Sıvılaşma hesabı sondaj girdi verileri.

Sondaj Kuyu No	SK-1	SK-2	SK-3
a_{maks} (g)	0,24		
İnceleme Derinliği	3,00 m		
Su Seviyesi	2 m	2 m	2 m
Kuyu Derinliği	15 m	15m	15 m
Arazi Deney Tipi	SPT		
SPT Hesap Yöntemi	Seed-Idriss		
Şahmerdan Tipi	Donut hammer		
Kuyu Çapı	65 mm -115 mm		
Tij Boyu	1.5 m		
Numune Alma Metodu	Standart Numune alıcı		
Zemin Cinsi	CH	CL	CH

Tablo 30. İnceleme alanı sıvılaşma analizi için arazi ve laboratuvar deneyleri girdi verileri.

Sondaj No	YASS(m)	SPT- N	$\gamma(kN/m^3)$	İTO(%)	D50(mm)
SK-1	2	10	18,63	92.2	5
SK-2	2	13	18,83	88.6	4
SK-3	2	12	18,54	89.4	1,2

Elde edilen veriler PROsıvı (Babuçu, 2002) programına aktarılarak farklı deprem senaryolarına göre sıvılaşma analiz sonuç tabloları hazırlanmıştır.

Tablo 31. *İnceleme Alanında Büyüklüğü 5,5 Olan Deprem sEnaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları.*

Sondaj No	(N1)60	Top. Ger. (kPa)	Eff.Ger. (kPa)	rd	DG(kPa)	DGO	DD (kPa)	DDO	EF	Oturma(cm)	Zemin Durumu
SK-1	14,9	55,89	46,08	0,979	8,54	0,185	7,35	0,353	1,9	1,95	Sıvılaşma Yoktur.
SK-2	17,9	55,89	46,08	0,979	8,54	0,185	8,8	0,422	2,28	0	Sıvılaşma Yoktur.
SK-3	16,9	55,89	46,08	0,979	8,54	0,185	8,3	0,398	2,15	0	Sıvılaşma Yoktur.

Tablo 32. *İnceleme Alanında Büyüklüğü 6 olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları.*

Sondaj No	(N1)60	Top. Ger. (kPa)	Eff.Ger. (kPa)	rd	DG(kPa)	DGO	DD (kPa)	DDO	EF	Oturma(cm)	Zemin Durumu
SK-1	14,9	55,89	46,08	0,979	8,54	0,185	7,35	0,282	1,52	1,95	Sıvılaşma Yoktur.
SK-2	17,9	55,89	46,08	0,979	8,54	0,185	8,8	0,338	1,82	0	Sıvılaşma Yoktur.
SK-3	16,9	55,89	46,08	0,979	8,54	0,185	8,3	0,319	1,72	0	Sıvılaşma Yoktur.

Tablo 33. *İnceleme Alanında Büyüklüğü 6,5 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları.*

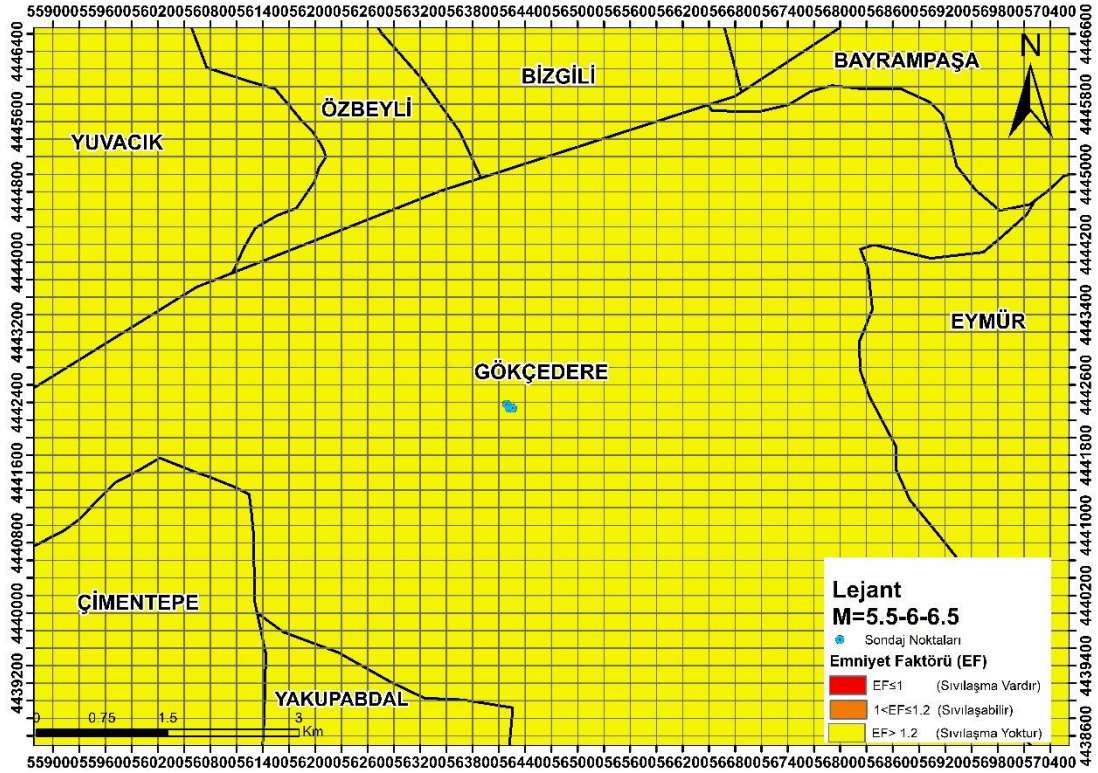
Sondaj No	(N1)60	Top. Ger. (kPa)	Eff. Ger. (kPa)	rd	DG(kPa)	DGO	DD (kPa)	DDO	EF	Oturma(cm)	Zemin Durumu
SK-1	14,9	55,89	46,08	0,979	8,54	0,185	7,35	0,23	1,24	1,95	Sıvılaşma Yoktur.
SK-2	17,9	55,89	46,08	0,979	8,54	0,185	8,8	0,275	1,49	0	Sıvılaşma Yoktur.
SK-3	16,9	55,89	46,08	0,979	8,54	0,185	8,3	0,326	1,4	0	Sıvılaşma Yoktur.

Tablo 34. *İnceleme Alanında Büyüklüğü 7 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları.*

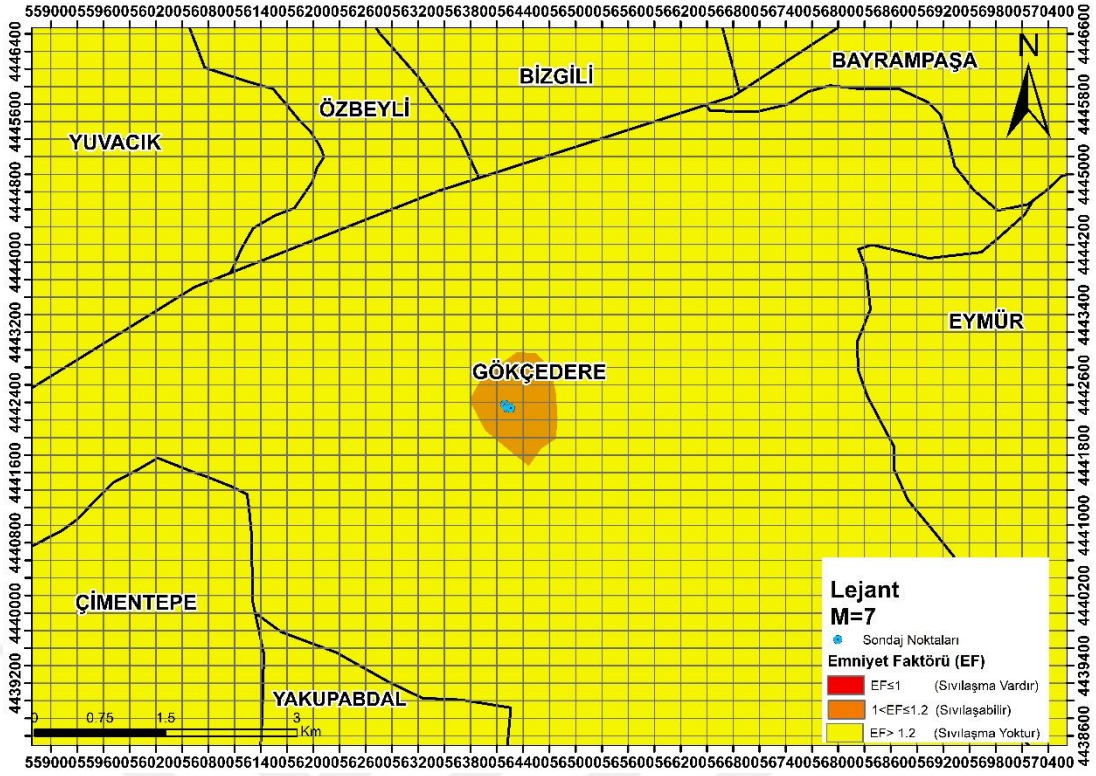
Sondaj No	(N1)60	Top. Ger. (kPa)	Eff. Ger. (kPa)	rd	DG(kPa)	DGO	DD (kPa)	DDO	EF	Oturma(cm)	Zemin Durumu
SK-1	14,9	55,89	46,08	0,979	8,54	0,185	7,35	0,19	1,03	1,95	Sıvılaşabilir.
SK-2	17,9	55,89	46,08	0,979	8,54	0,185	8,8	0,228	1,23	0	Sıvılaşabilir.
SK-3	16,9	55,89	46,08	0,979	8,54	0,185	8,3	0,215	1,16	0	Sıvılaşabilir.

Tablo 35. İnceleme Alanında Büyüklüğü 7,5 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları.

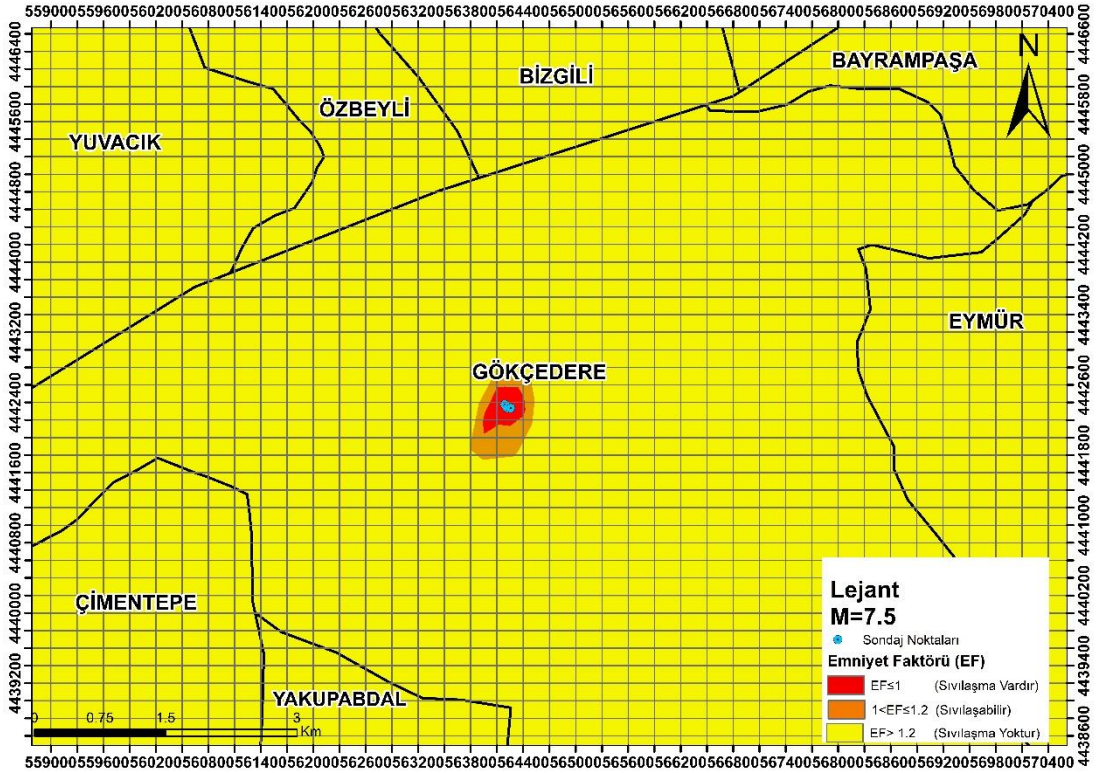
Sondaj No	(N1)60	Top. Ger. (kPa)	Eff.Ger. (kPa)	rd	DG(kPa)	DGO	DD (kPa)	DDO	EF	Oturma(cm)	Zemin Durumu
SK-1	14,9	55,89	46,08	0,979	8,54	0,185	7,35	0,159	0,86	1,95	Sıvılaşır.
SK-2	17,9	55,89	46,08	0,979	8,54	0,185	8,8	0,191	1,03	0	Sıvılaşabilir.
SK-3	16,9	55,89	46,08	0,979	8,54	0,185	8,3	0,18	0,97	0	Sıvılaşır.



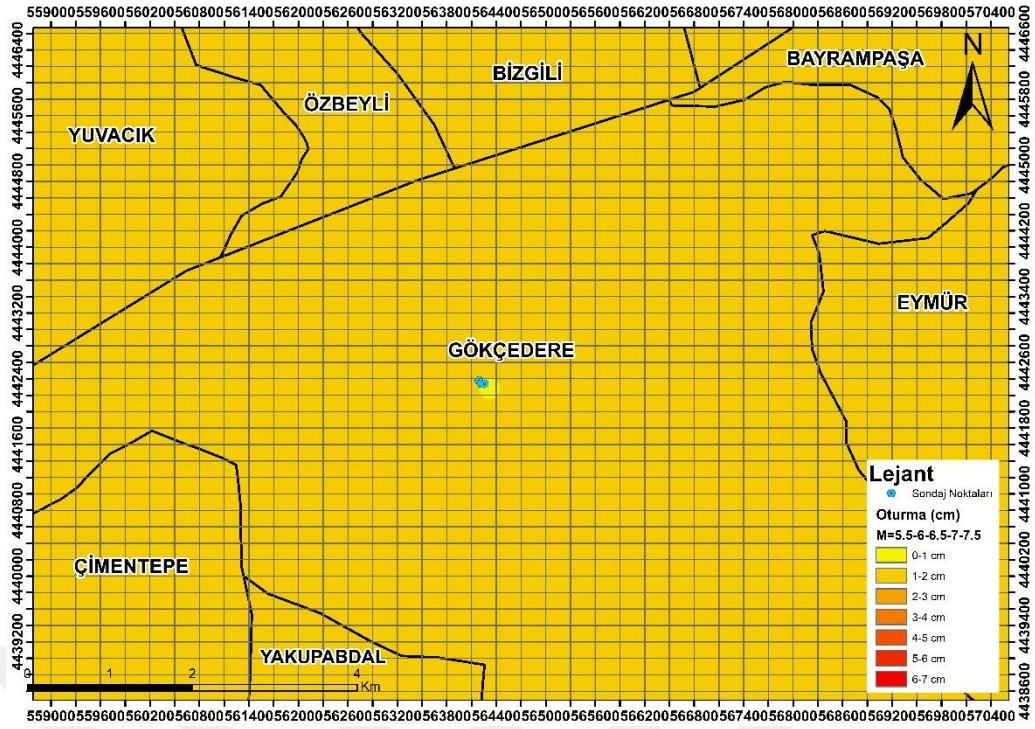
Şekil 78. Gökçedere beldesine ait büyüklüğü 5,5-6,5 olan deprem senaryosunun sıvılaşma potansiyeli haritası.



Şekil 79. Gökçedere beldesine ait Büyüklüğü 7,0 olan deprem senaryosunun sıvılaşma potansiyeli haritası.



Şekil 80. Gökçedere beldesine ait Büyüklüğü 7,5 olan deprem senaryosunun sıvılaşma potansiyeli haritası.



Şekil 81. Gökçedere beldesine ait büyüklüğü 5,5-6-6,5-7,0-7,5 olan deprem senaryosunun oturma potansiyeli haritası.

Bayburt Aydıntepe ilçesi arazi çalışmaları.

Araştırma kapsamında Bayburt Aydıntepe ilçesi çalışma alanının jeolojik ve jeoteknik özelliklerini belirlemek amacıyla açılan sondaj kuyularından veriler elde edilip aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır.

Aydıntepe entegre Hastanesi.

Bayburt ili Aydıntepe ilçesi sınırlarında 5517,20 m² arazi üzerinde Aydıntepe Entegre hastanesi yapılması için zemin sorunlarının aydınlatılması amacıyla jeolojik ve jeoteknik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Çalışma sahasında 4 adet toplam 44 metre sondaj çalışması yapılmıştır. Arazi ve laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Zemine ait indeks ve mühendislik karakteristik özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen bu veriler çalışma sahasında sınıflama analizini yapmak için kullanılmıştır.



Şekil 82.İnceleme alanının uydu görüntüsü.

Çalışma alanını sınırlayan koordinatlar UTM- 6° Projeksiyonunda ve ED50 Datum'unda, 37 Dilim Orta Meridyeni kullanılarak düzenlenmiştir.

Tablo 36. Gökçedere Sondaj Koordinatları ve Yeraltı Su Seviyesi.

Sondaj No	Y	X	YASS
SK-1	596481.92	4473173.68	4,00 m
SK-2	596411.15	4473178.88	4,00 m
SK-3	596402.29	4473199.62	4,00 m
SK-4	596451.96	4473200.71	4,00 m

Tablo 37. Sondaj Kuyularına Ait Derinlik ve Formasyonlar

Sondaj No: 1	Derinlik(m)	Formasyon
SK-1	0.00-3.00	Kumlu düşük plastisiteli kil
	3.00- 6.00	Parçalanmış düşük plastisiteli ara ara bloklu ayrılmış kil
	0.50-12.00	Parçalanmış masif görünümlü tuf
SK-2	0.00-5.00	Kumlu düşük plastisiteli kil
	5.00-12.00	Parçalanmış masif görünümlü tuf
SK-3	0.00-4.50	Kumlu çakıl ve parçalanmış kilaşı
	4.50-10.00	Kil-Silt Çok ince kumlu kahve renkli orta plastisiteli siltli kil
SK-4	0.00-2.00	Kumlu çakıl ve parçalanmış kilaşı
	0.50-12.00	Parçalanmış masif görünümlü tuf

Çalışma sahasında elde edilen verilerle laboratuvar ve arazi deneyleri yapılmıştır. Yalnızca SK-1 ve SK-2 sondaj kuyularında SPT deneyi yapılmıştır. SPT deney verileri kullanılarak sıvılaşma analizi yapılmıştır. SPT verileri 1,5 m okuması yapılmış olup YASS altında okunan değerler refüdüdür.

Tablo 38. *Labaratuvar Deney Verileri*

SONDAJ NO	DERİNLİK (m)	Su Muhtevası (Wn) %	YOĞUNLUK (g/cm ³)	ELEK ANALİZİ		ATTERBERG LİMİTLERİ			ZEMİN SINIFI
				NO:10 KALAN (%)	NO:200 GEÇEN (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)	
SK-1	3.00-3.45	14,35	1.89	6,09	73,56	45	25	20	CL
SK-2	4.50-4.95	15,29	1.91	7,26	76,44	48	26	22	CL

Sonuç olarak inceleme sahasında yapılan sondajlarda SPT deneyi yapılmış olup, elde edilen sondaj verilerinde yeraltı suyu altındaki SPT değerleri tespit edilememiş, SPT değerleri refü olarak belirtilmiştir. Dolayısıyla sıvılaşma durumu için SPT verileri tespit edilemediğinden ayrıca su seviyesinin çok aşağıda olması sebebiyle su olmayan yerde sıvılaşma meydana gelmeyeceğinden sıvılaşma analizi yapılamamıştır.

Aydıntepe yaylası.

Aydıntepe yaylası, Aydıntepe ilçe merkezine 10 km uzaklıkta bulunur. 92,3 hektar alan içinde 11,5 hektar orman alanı ve 80,8 hektar yayla alanından oluşmaktadır. Yaylada tek katlı ve iki katlı evler bulunmaktadır. Çalışma alanı herhangi bir sit alanı ve koruma bölgesi mevcut değildir. Sahada ve bölge genelinde, iklim ve bitki örtüsü açısından Karasal iklim kuşağının tipik özellikleri hâkimdir. İnceleme alanının çevresinde yapılaşma mevcuttur. Araziyi tam olarak yansıtmak amacı ile tarafımızca yapılan çalışmalar ileriki kısımlarda detaylı olarak sunulmuştur.

Çalışma alanını sınırlayan koordinatlar UTM- 6° Projeksiyonunda ve ED50 Datum'unda, 37 Dilim Orta Meridyeni kullanılarak düzenlenmiştir.

Tablo 39. *Aydıntepe Yaylası Sondaj Koordinatları ve Sondaj Verileri.*

SONDAJ KUYU NO	KOORDİNATLAR		KUYU DERİNLİĞİ (m)	YASS (m)
	X	Y		
SK-1	4478523	595263	14	8
SK-2	4478550	594847	12	3.90
SK-3	4478347	594844	12	5.50
SK-4	4478950	594913	15	3.10
SK-5	4479092	595192	12	2
SK-6	4479318	595535	15	1.18



Şekil 83.İnceleme alanının uydu görüntüsü.

İnceleme alanında açılan jeoteknik sondajlarda geçilen birimler aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

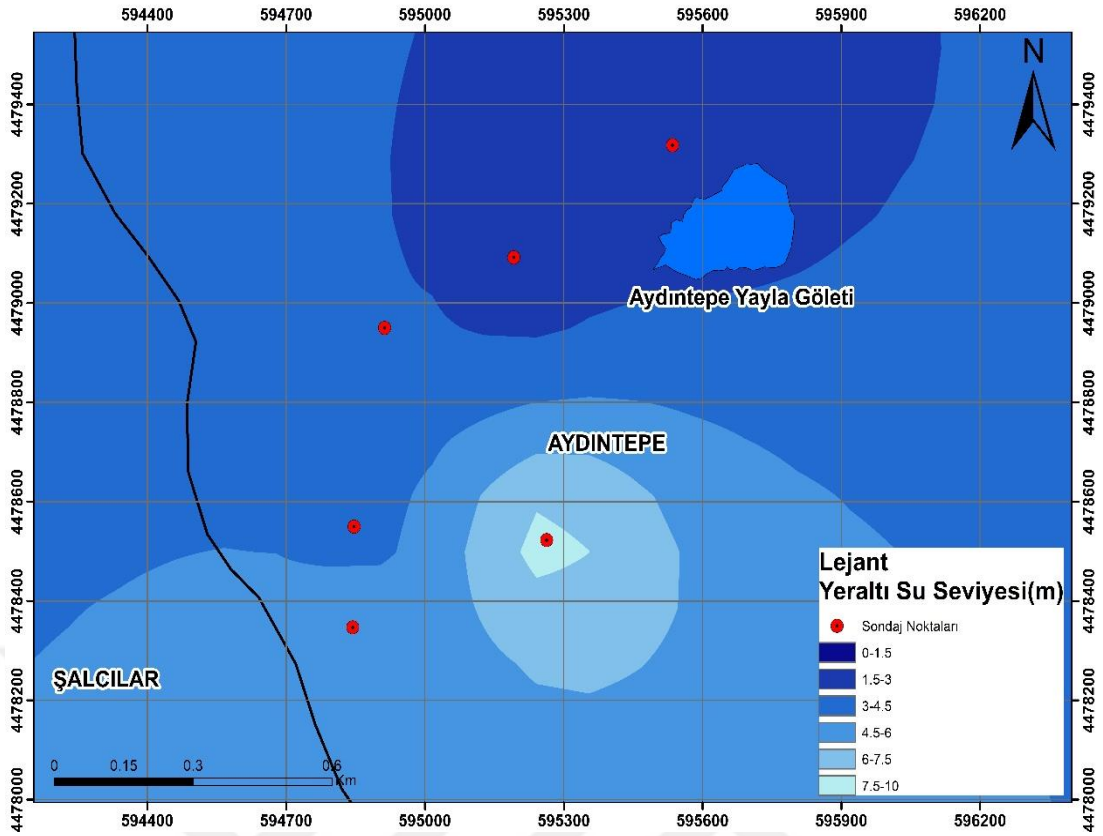
Tablo 40. Zemin Profili.

Sondaj Kuyusu	Kuyuda Yer Alan Litoloji Tanımı
SK-1	0.00m-0.50marasinebatitoprak, 0.50m-3. 00 m arası yuvarlak şekilli çakıl, 3.00 m – 14.00 m arası kahve renkli kil karışımı malzeme geçilmiştir.
SK-2	0.00m-0.50marasinebatitoprak, 0.50m-5. 00 m arası kahve – krem renkli siltli kum , 5.00 m – 12.00 m arası kahve renkli kil karışımı malzeme geçilmiştir.
SK-3	0.00m-0.50marasinebatitoprak, 0.50m-4. 00 m arası kahve renkli kil , 4.00 m – 12.00 m arası kahve-krem renkli siltli kum karışımı malzeme geçilmiştir.
SK-4	0.00m-0.50marasinebatitoprak, 0.50m-4.50 m arası kahve – krem renkli siltli kum, 4.50 m – 6.00 m arası kahve renkli siltli kum, 6.00 m – 15.00 m arası kahve- krem renkli siltli karışımı malzeme geçilmiştir.
SK-5	0.00m-0.50marasinebatitoprak, 0.50m-4. 00 m arası kahve – krem renkli siltli kum , 4.00 m – 12.00 m arası kahve renkli kil karışımı malzeme geçilmiştir.
SK-6	0.00m-0.50marasinebatitoprak, 0.50m-2. 50 m arası yuvarlak şekilli çakıl , 2.50 m – 15.00 m arası kahve krem renkli siltli kum karışımı malzeme geçilmiştir.

Tablo 41. Labaratuvar Deney Verileri.

Sondaj No	Numune No	Su İçeriği (%)	Doğal yoğunluk (g/cm ³)	Elek Analizi		Atterberg Limitleri			ZEMİN SINIFI
				No:10 Kalan (%)	No: 200 Geçen (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)	
SK-1	SPT-1	8.2	2	39	23	25	16	9	GC
	SPT-2	8	2	41	25	25	17	8	GC
	SPT-3	19.1	2	96	66	36	18	18	CL
	SPT-4	18.7	2	98	69	35	18	17	CL
	SPT-5	29.9	2	99	69	35	18	17	CL
	SPT-6	23.3	2	100	66	35	18	17	CL
	SPT-7	18.1	2	99	69	35	19	16	CL
SK-2	SPT-1	8.2	-	93	37	NP	NP	NP	SM
	SPT-2	7.7	-	92	43	NP	NP	NP	SM
	SPT-3	1.2	-	56	8	NP	NP	NP	SW-SM
SK-3	SPT-1	26	1,96	96	58	38	24	14	CL
	SPT-2	10.7	1,96	92	40	29	18	11	SC
	SPT-3	12.9	1,96	88	40	29	16	13	SC
	SPT-4	11.5	1,96	92	45	29	17	12	SC
	SPT-5	6.3	1,96	87	34	32	20	12	SC
	SPT-6	10.3	1,96	89	33	31	18	13	SC
	SPT-7	5.2	1,96	89	43	31	19	12	SC
SK-4	SPT-1	10.1	1,98	80	36	NP	NP	NP	SM
	SPT-2	21.2	1,98	94	33	NP	NP	NP	SM
	SPT-3	20.4	1,98	92	31	NP	NP	NP	SM
	SPT-4	13.7	1,98	94	24	NP	NP	NP	SM
SK-5	SPT-1	22,8	1,90	97	52	37	21	16	CL
	SPT-2	25,8	1,90	99	55	35	23	12	CL
	SPT-3	26,1	1,90	93	55	37	21	16	CL
	SPT-4	23	1,90	100	53	35	20	15	CL
SK-6	SPT-1	9.5	1.99	63	30	NP	NP	NP	GM
	SPT-2	17.8	1.99	99	43	38	21	17	SC
	SPT-3	15.4	1.99	81	42	35	19	16	SC
	SPT-4	16.1	1.99	93	47	36	18	18	SC
	SPT-5	14	1.99	63	34	33	18	15	SC
	SPT-6	14.7	1.99	79	48	34	17	17	SC

Prosimi programında sıvılaşma hesabında deprem büyüklüğü 5.5-6.5-7-7.5 olarak 5 farklı senaryoda ele alınmıştır. İnceleme alanına ait a_{maks} (g) değeri Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif web uygulamasından 0,206 değeri elde edilmiştir.



Şekil 84. Aydıntepe göletine ait yeraltı su seviyesi haritası.

Tablo 42. Sıvılaşma Hesabı Sondaj Girdi Verileri.

Sondaj Kuyu No	SK-1	SK-2	SK-3
İnceleme Derinliği	6 m		
amaks (g)	0,206		
Su Seviyesi	3,1 m	2m	1,8m
Kuyu Derinliği	15 m	12 m	15 m
Arazi Deney Tipi	SPT		
SPT Hesap Yöntemi	Seed-Idriss		
Şahmerdan Tipi	Donut hammer		
Kuyu Çapı	65 mm -115 mm		
Tij Çapı	1.5 m		
Numune Alma Metodu	Standart Numune alıcı		
Zemin Cinsi	SM	CL	SC

Tablo 43. İnceleme Alanı Sıvılaşma Analizi İçin Arazi ve Laboratuvar Deneyleri Girdi Verileri.

Sondaj No	YASS(m)	SPT- N	$\gamma(\text{kN/m}^3)$	İTO(%)	D50(mm)
SK-4	3,1	31	19,8	30,94	0,23
SK-5	2	55	19	55,45	0,03
SK-6	1,8	47	19,9	46,68	0,09

Elde edilen veriler PROsıvı (Babuçu, 2002) programına aktarılarak farklı deprem senaryolarına göre sivilaşma analiz sonuç tabloları hazırlanmıştır.

İnceleme Alanında Büyüklüğü 5,5 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sivilaşma Analiz Sonuçları.

Sondaj No	(N1)60	Top. Ger. (kPa)	Eff.Ger. (kPa)	rd	DG(kPa)	DGO	DD (kPa)	DDO	EF	Oturma(cm)	Zemin Durumu
SK-4	26,6	11,4	84,57	0,958	14,62	0,173	27,7	0,724	4,19	0	Sivilaşma Yoktur.
SK-5	47,9	114	74,76	0,958	14,62	0,196	17,54	0,519	2,65	0	Sivilaşma Yoktur.
SK-6	44,4	114	64,95	0,958	14,62	0,225	14,54	0,597	2,65	0	Sivilaşma Yoktur.

Tablo 44. *İnceleme Alanında Büyüklüğü 6 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sivilaşma Analiz Sonuçları.*

Sondaj No	(N1)60	Top. Ger. (kPa)	Eff.Ger. (kPa)	rd	DG(kPa)	DGO	DD (kPa)	DDO	EF	Oturma(cm)	Zemin Durumu
SK-4	26,6	11,4	84,57	0,958	14,62	0,173	27,7	0,58	3,35	0	Sivilaşma Yoktur.
SK-5	47,9	114	74,76	0,958	14,62	0,196	17,54	0,415	2,12	0	Sivilaşma Yoktur.
SK-6	44,4	114	64,95	0,958	14,62	0,225	17,54	0,478	2,12	0	Sivilaşma Yoktur.

Tablo 45. *İnceleme Alanında Büyüklüğü 6,5 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları.*

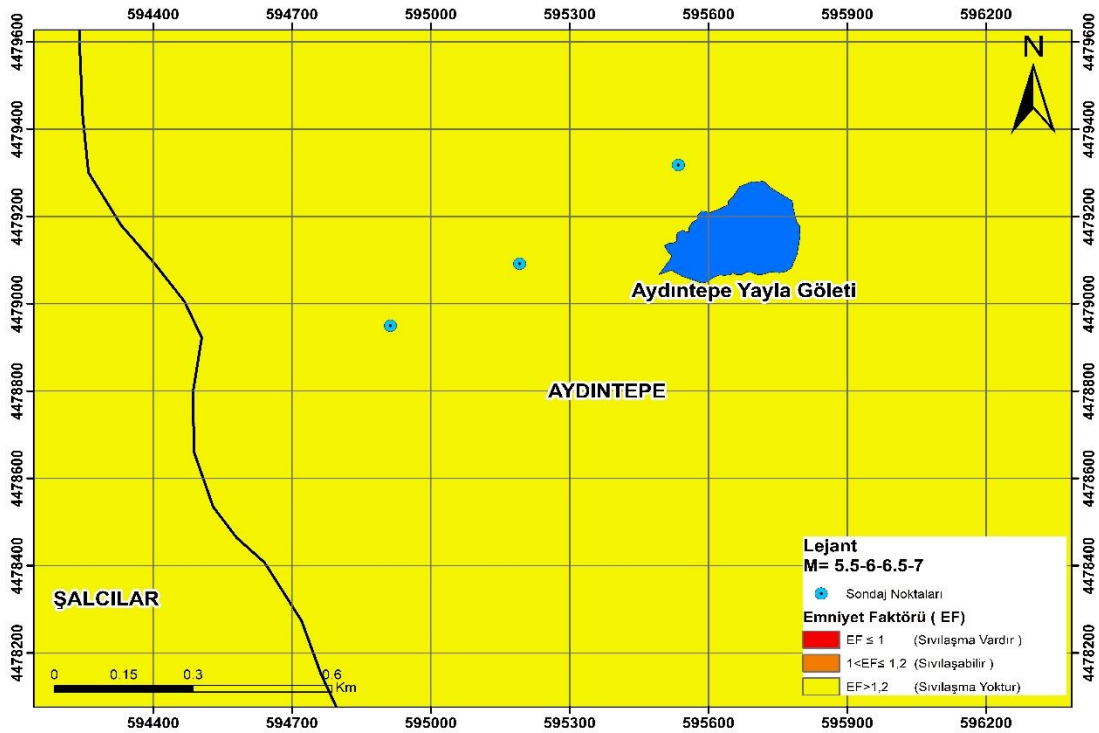
Sondaj No	(N1)60	Top. Ger. (kPa)	Eff.Ger. (kPa)	rd	DG(kPa)	DGO	DD (kPa)	DDO	EF	Oturma(cm)	Zemin Durumu
SK-4	26,6	11,4	84,57	0,958	14,62	0,173	27,7	0,472	2,73	0	Sıvılaşma Yoktur.
SK-5	47,9	114	74,76	0,958	14,62	0,196	17,54	0,338	1,73	0	Sıvılaşma Yoktur.
SK-6	44,4	114	64,95	0,958	14,62	0,225	17,54	0,389	1,73	0	Sıvılaşma Yoktur.

Tablo 46. *İnceleme Alanında Büyüklüğü 7 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları.*

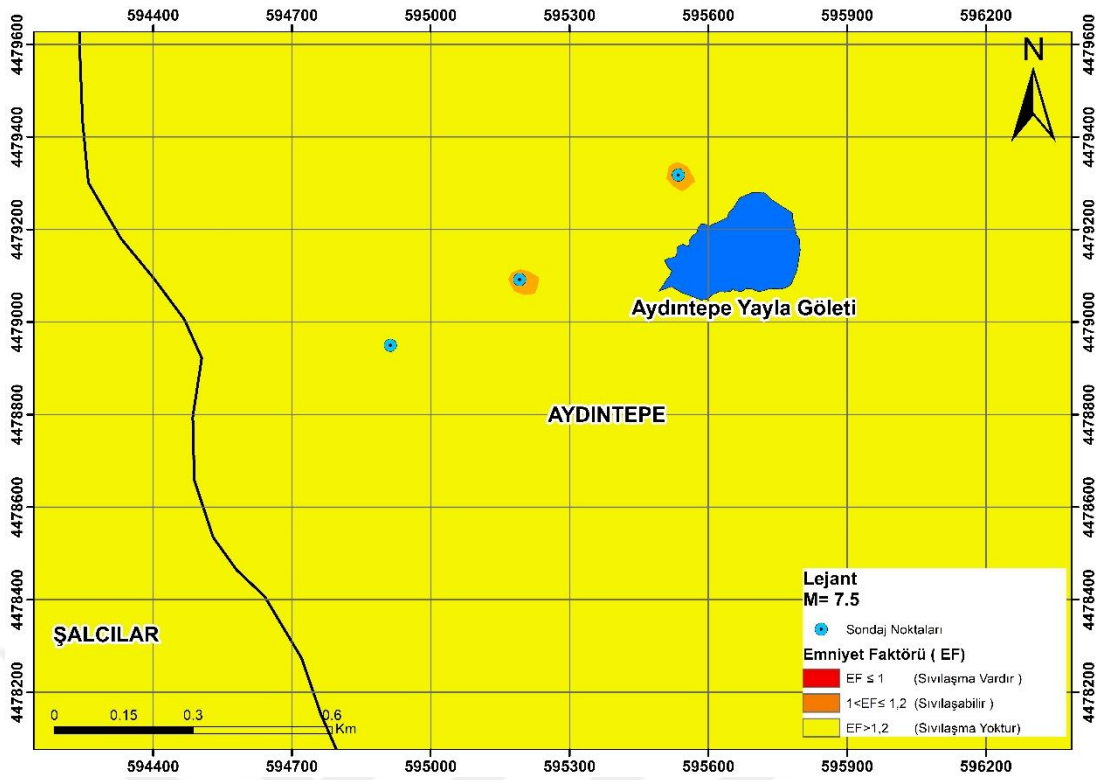
Sondaj No	(N1)60	Top. Ger. (kPa)	Eff.Ger. (kPa)	rd	DG(kPa)	DGO	DD (kPa)	DDO	EF	Oturma(cm)	Zemin Durumu
SK-4	26,6	11,4	84,57	0,958	14,62	0,173	27,7	0,391	2,26	0	Sıvılaşma Yoktur.
SK-5	47,9	114	74,76	0,958	14,62	0,196	17,54	0,28	1,43	0	Sıvılaşma Yoktur.
SK-6	44,4	114	64,95	0,958	14,62	0,225	17,54	0,332	1,43	0	Sıvılaşma Yoktur.

Tablo 47. İnceleme Alanında Büyüklüğü 7,5 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları.

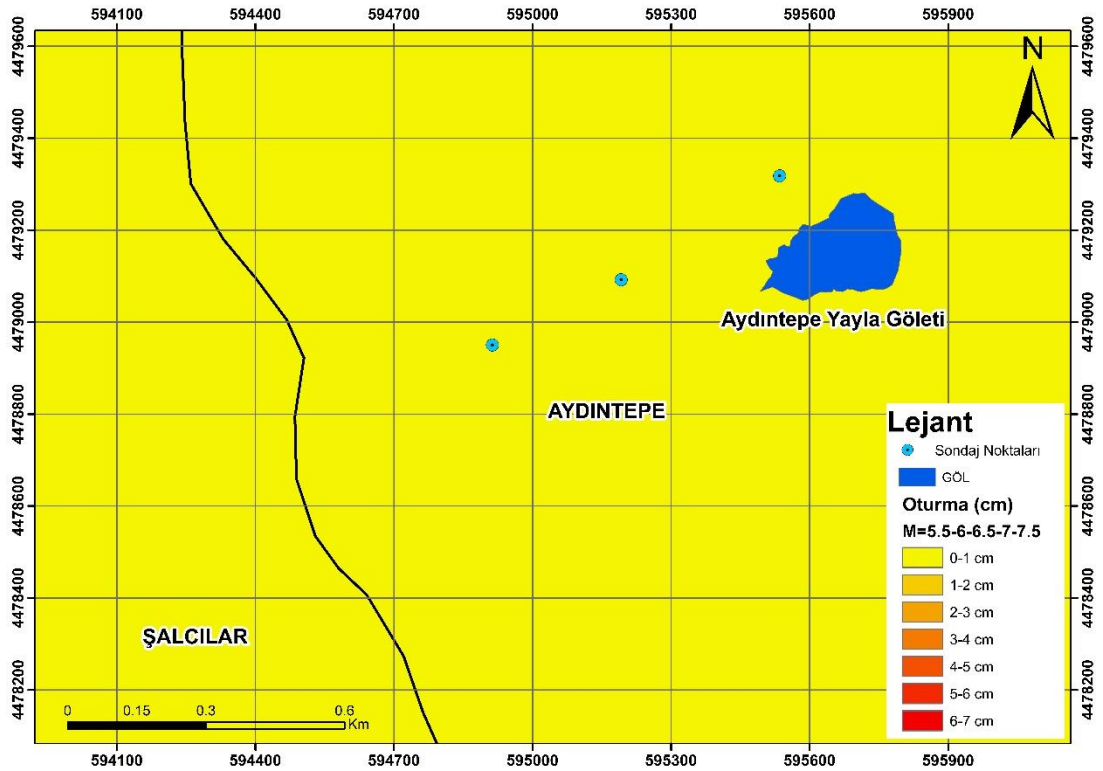
Sondaj No	(N1)60	Top. Ger. (kPa)	Eff. Ger. (kPa)	rd	DG(kPa)	DGO	DD (kPa)	DDO	EF	Oturma(cm)	Zemin Durumu
SK-4	26,6	11,4	84,57	0,958	14,62	0,173	27,7	0,327	1,89	0	Sıvılaşma Yoktur.
SK-5	47,9	114	74,76	0,958	14,62	0,196	17,54	0,235	1,2	0	Sıvılaşma Yoktur.
SK-6	44,4	114	64,95	0,958	14,62	0,225	17,54	0,27	1,2	0	Sıvılaşma Yoktur.



Şekil 85. Aydıntepe göletine ait büyüklüğü 5,5-6,0-6,5 olan deprem senaryosunun sıvılaşma potansiyeli haritası.



Şekil 86. Aydın tepe göletine ait büyüklüğü 7,5 olan deprem senaryosunun sıvılaşma potansiyeli haritası



Şekil 87. Aydın tepe göletine ait büyüklüğü 5,5-6-6,5-7,0-7,5 olan deprem senaryosunun oturma potansiyeli haritası.

Bayburt ili Arpalı Beldesi arazi çalışmaları.

Çalışma Alanı Bayburt İli, merkez ilçesi, Arpalı Beldesi'nde olmak üzere toplam 391.44 Ha (3914366.619 m²) alanı kapsamaktadır. Bu çalışma kapsamında inceleme alanında arazi incelemeleri, sondaj çalışmaları, laboratuvar verileri değerlendirilip hazırlanan imar planına esas jeolojik - jeoteknik etüt raporu verilerikullanılarak araştırma sahasının sınırlama potansiyeli irdelenmiştir.

Arazi çalışmaları kapsamında, jeolojik haritalama çalışmaları, sondaj çalışmaları ve jeofizik çalışmalar yapılmıştır. Sondaj çalışmaları farklı litolojilerdeki zemin ve kaya ortamlarından oluşmaktadır. İnceleme sahasında gerçekleştirilen sondaj çalışmalarında; tüm derinlik boyunca bazen sadece zemin ortamlar, bazen de sadece kaya ortamlar kesilmiştir. Ancak her iki ortamın (zemin ve kaya) aynı kuyuda kesildiği sondaj kuyuları da bulunmaktadır. Çalışma sahasında 20 adet sondaj kuyusu açılmıştır. Değişken derinliklerde ve amaçlarda açılan bu sondajlarda toplamda 204.50 m. sondaj çalışması yapılmıştır. Çalışma alanında alüvyon ve ayrılmış kaya ortamlarında 37 adet SPT uygulaması yapılmıştır. SPT uygulamalarından alınan numuneler laboratuvar ortamında testlere tabi tutularak zeminlerin mühendislik parametreleri tespit edilmiştir.

Zeminlerin indeks özelliklerini ve dayanım parametrelerini belirlemek için laboratuvar çalışması olarak 64 adet Su Muhtevası Deneyi, 17 adet Doğal Yoğunluk belirlenmesi, 62 adet Kıvam Limitleri Deneyi, 64 adet Elek Analizi, 4 adet Konsolidasyon, 4 adet Şişme Basıncı Ölçümü, 9 adet Üç Eksenli Basıncı Dayanımı ve 8 adet Direkt Kesme Deneyi yapılmıştır.



Şekil 88. Çalışma alanı ve yakın çevresinin uydu görüntüsü.

Çalışma alanı geneli ve Çoruh Nehri etrafı % 0-5 eğim alanına sahip. Bu alanlarda alüvyon birimler hakimdir. Çalışma alanı batısına Cumhuriyet mahallesine doğru formasyon değişimiyle birlikte yükseltiler başlamaktadır. Bu alanlardaki eğimler %5-10 ve %10-20 arası eğimler hâkimdir. Çoruh Nehrine akış gösteren tali dere yataklarının yamaçları ise %20-30 arasındadır. Çalışma alanında % 45 üstü eğimler bulunmamaktadır.

Tablo 48. Çalışma Alanında Açılan Jeoteknik Sondaj Noktalarının Koordinatları Ile Alınan Numunelerin Dağılımı.

SONDAJ/ KUYU NO	KOORDİNATLAR			DERİNLİK (m)	UD	SPT	YASS	Litoloji
	Y	X	Z					
SK-1	594463	4471385	1539	12.0	✓	✓	Yok	Qal
SK-2	593743	4471505	1539	8.0			2.0	Qal
SK-3	594065	4470964	1537	6.0			44380	Qal
SK-4	593700	4470717	1538	10.0	✓	✓	Yok	Qal
SK-5	594148	4470235	1534	6.5			44318	Qal
SK-6	593398	4470136	1545	8.0			Yok	Ty
SK-7	592876	4470587	1551	6.0			Yok	Ty
SK-8	593049	4469898	1559	6.0			Yok	Ty
SK-9	593307	4469529	1551	6.0			Yok	Ty
SK-10	594054	4469563	1534	10.0			Yok	Qal
SK-11	595017	4468342	1533	15.0	✓	✓	Yok	Ty
SK-12	594122	4469006	1535	14.0	P	P	Yok	Qal
SK-13	595461	4467892	1549	7.5			Yok	Ty
SK-14	595492	4467458	1542	5.0			Yok	Ty
SK-15	595604	4467024	1534	15.0	✓	✓	Yok	Qal
SK-16	595595	4466448	1541	15.0	✓	✓	Yok	Qal
SK-17	595844	4467583	1534	6.5			Yok	Ty
SK-18	594144	4470873	1537	15.0	✓	✓	3.0	Qal
SK-19	593504	4469159	1545	15.0	✓	✓	Yok	Ty
SK-20	595633	4467560	1535	16.0			Yok	Ty

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.

Tablo 49. Çalışma Alanında Yapılan Sondajlarda Gözlenen Birimler

Sondaj	Derinlik (m.)	Litoloji	Formasyon
SK-1	0.00-0.50m	Bitkisel Toprak	
	0.50-7.00m	Çakıllı Kil;	Alüvyon (Qal)
	7.00-12.00m	Kiltaşı;	Yazyurdu Form. (Ty)
SK-2	0.00-2.00m	İri Çakıllı Kil;	Alüvyon (Qal)
	2.00-8.00m	İri bloklu kumlu çakıl;	Bloklu Alüvyon (Qal)
SK-3	0.00-6.00m	İri bloklu kumlu çakıl;	Bloklu Alüvyon (Qal)
	0.00-0.50m	Bitkisel Toprak	
SK-4	0.50-5.00m	Çakıllı Kil;	Alüvyon (Qal)
	5.00-10.0m	Kiltaşı;	Yazyurdu Form. (Ty)
SK-5	0.00-1.50m	Çakıllı Kil;	Alüvyon (Qal)
	1.50-6.50m	İri bloklu, killi, kumlu çakıl;	Bloklu Alüvyon (Qal)
SK-6	0.00-0.50m	Bitkisel Toprak	
	0.50-8.00m	Kiltaşı;	Yazyurdu Form. (Ty)
SK-7	0.00-6.00m	Kiltaşı;	Yazyurdu Form. (Ty)
SK-8	0.00-6.00m	Kiltaşı;	Yazyurdu Form. (Ty)
SK-9	0.00-6.00m	Kiltaşı;	Yazyurdu Form. (Ty)
SK-10	0.00-2.00m	İri Çakıllı Kahverenkli Kil;	Alüvyon (Qal)
	2.00-8.00m	Kiltaşı;	Yazyurdu Form. (Ty)
SK-11	0.00-0.50m	Bitkisel Toprak	
	0.50-15.0m	Çakıllı kil;	Yazyurdu F. Rezüdieli (Ty)
SK-12	0.00-0.50m	Bitkisel Toprak	
	0.50-9.50m	Çakıllı Kil;	Alüvyon (Qal)
	9.50-14.0m	Kiltaşı;	Yazyurdu Form. (Ty)
SK-13	0.00-1.50m	Çakıllı Kil;	Yazyurdu F. Rezüdieli (Ty)
	1.50-7.50m	Kiltaşı;	Yazyurdu Form. (Ty)
SK-14	0.00-0.50m	Bitkisel Toprak	
	0.50-5.00m	Kiltaşı;	Yazyurdu Form. (Ty)
SK-15	0.00-0.50m	Dolgu	
	0.50-10.0m	Çakıllı Kil;	Alüvyon (Qal)
	10.0-15.0m	Sıkı Kil, Kiltaşı;	Yazyurdu F. Rezüdieli (Ty)
SK-16	0.00-0.50m	Dolgu	
	0.50-10.5m	Çakıllı Kil;	Alüvyon (Qal)
	10.5-15.0m	Sıkı Kil, Kiltaşı;	Yazyurdu F. Rezüdieli (Ty)
SK-17	0.00-1.50m	Çakıllı Kil;	Yazyurdu F. Rezüdieli (Ty)
	1.50-6.50m	Kiltaşı;	Yazyurdu Form. (Ty)
SK-18	0.00-0.20m	Bitkisel Toprak	
	0.20-4.00m	Çakıllı, kumlu Kil;	Alüvyon (Qal)
	4.00-15.0m	Killi, kumlu, İri Bloklu Çakıl;	Bloklu Alüvyon (Qal)
SK-19	0.00-0.20m	Bitkisel Toprak	
	0.20-2.20m	Kahverenkli Kil;	Yazyurdu F. Rezüdieli (Ty)
	2.20-15.0m	Az killi kumtaşı;	Yazyurdu Form. (Ty)
SK-20	0.00-0.30m	Bitkisel Toprak	
	0.30-1.00m	Kahverenkli Kil;	Yazyurdu F. Rezüdieli (Ty)
	1.00-16.0m	Az killi kumtaşı;	Yazyurdu Form. (Ty)

Tablo 50. Çalışma Alanında Yapılan Sondajlardaki Spt Değerleri.

SONDAJ/ KUYU NO	DERİNLİK (m)	SPT			Litoloji	Formasyon
		15-30 cm	30-45 cm	N30		
SK-1	1.50-1.95	6	8	14	Çakıllı Kil	Qal
	3.50-3.95	9	11	20	Çakıllı Kil	
	5.00-5.45	11	11	22	Çakıllı Kil	
	6.50-6.95	14	15	29	Çakıllı Kil	
SK-4	1.50-1.95	6	9	15	Çakıllı Kil	Qal
	3.50-3.95	10	12	22	Çakıllı Kil	
	4.50-4.95	12	14	26	Çakıllı Kil	
SK-11	1.50-1.95	7	10	17	Çakıllı Kil	Ty (Rezüdiel)
	4.50-4.95	11	13	24	Çakıllı Kil	
	7.50-7.95	16	18	34	Çakıllı Kil	
	10.5-10.95	21	24	45	Çakıllı Kil	
	12.00-12.45	22	25	47	Çakıllı Kil	
	13.50-13.95	25	28	53	Çakıllı Kil	
	15.00-15.45	26	32	58	Çakıllı Kil	
SK-12	1.50-1.95	7	8	15	Çakıllı Kil	Qal
	3.50-3.95	8	10	18	Çakıllı Kil	
	5.00-5.45	12	14	26	Çakıllı Kil	
	6.50-6.95	13	18	31	Çakıllı Kil	
	8.00-8.45	16	20	36	Çakıllı Kil	
SK-15	1.50-1.95	10	13	23	Çakıllı Kil	Qal
	3.50-3.95	9	12	21	Çakıllı Kil	
	5.00-5.45	14	13	27	Çakıllı Kil	
	6.50-6.95	20	19	39	Çakıllı Kil	
	8.00-8.45	16	18	34	Çakıllı Kil	
	9.50-9.95	22	25	47	Çakıllı Kil	
SK-16	1.50-1.95	10	12	22	Çakıllı Kil	Qal
	3.50-3.95	13	14	27	Çakıllı Kil	
	5.00-5.45	14	16	30	Çakıllı Kil	
	6.50-6.95	15	18	33	Çakıllı Kil	
	8.00-8.45	16	17	33	Çakıllı Kil	
	9.50-9.95	20	21	41	Çakıllı Kil	
SK-18	1.50-1.95	20	43	63	Çakıllı Kumlu	Qal
	3.50-3.95	32	RF	RF	Çakıllı Kumlu Kil	
SK-19	2.00-2.45	RF	RF	RF	Kahverenkli Kil	Ty (Rezüdiel)

Alüvyonlar üzerinde ve Yazıyurdu formasyonunun rezüdüelinde açılan kuyularda SPT deneyi yapılabilmiştir. Çalışma alanı üzerinde alüvyonlarda SPT-N₃₀ değerleri 14 - RF değerleri arasında değişmektedir. Alüvyonlar genelde killi ve iri çakıllı özelliktedir. SPT-N değerlerine göre alüvyonlar sıkı-çok sıkı özelliktedir. Yaz yurdu formasyonu rezüdüelinde SPT-N₃₀ değerleri 17-RF arasında değişmektedir. SPT-N değerlerine göre rezüdüel kısım Sıkı-çok sıkı özelliktedir.

Çalışma alanındaki zeminlerin fiziksel-indeks özelliklerinin belirlenmesi amacıyla 54 adet örnek üzerinde atteberg limitlerinin tayini deneyi yapılmıştır. Ayrıca örneklerin tamamında, zeminin su içeriğini ve tane boyu dağılımını belirlemeye yönelik, su muhtevası ve elek analizi deneyleri de yapılmıştır.

Tablo 51. Çalışma alanı zemin numunelerine ait indeks özelliklerinin toplu gösterimi

Sondaj No	Derinlik (m)	Su İçeriği (%)	Elek Analizi		Atterberg Limitleri			ZEMİN SINIFI
			No:10 Kalan (%)	No: 200 Geçen (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)	
SK-1	1.50	30.3	6.3	73.3	41.5	29.5	12.0	ML
	3.00	30.6	2.7	88.7	40.8	27.4	13.4	ML
	3.50	27.0	0.0	95.3	41.9	28.1	13.8	ML
	5.00	26.2	0.0	96.3	46.3	29.8	16.5	ML
	6.00	27.0	6.4	79.3	43.1	26.9	16.2	ML
	6.50	27.4	5.2	82.5	49.1	32.6	16.5	ML
SK-4	1.50	30.7	0.9	91.8	38.7	28.1	10.6	ML
	3.00	27.4	3.4	84.1	36.2	26.8	9.4	ML
	3.50	28.3	3.1	83.7	35.1	25.8	9.3	ML
	4.50	31.8	1.5	89.5	38.5	27.6	10.9	ML
SK-11	1.50	25.5	0.0	92.8	40.1	28.5	11.6	ML
	3.00	31.3	2.4	87.6	37.3	27.9	9.4	ML
	4.50	24.6	3.1	84.7	39.8	30.2	9.6	ML
	6.00	25.0	3.1	86.3	45.1	29.2	15.9	ML
	7.50	25.3	0.9	90.8	46.3	28.7	17.6	ML
	9.00	24.7	7.6	81.3	47.9	36.8	11.1	ML
	10.50	26.7	0.0	92.8	45.1	33.2	11.9	ML
	12.50	27.6	0.0	95.3	45.8	28.3	17.5	ML
	13.50	27.3	3.5	85.7	44.9	29.7	15.2	ML
	15.00	31.0	0.7	90.7	46.3	34.2	12.1	ML
SK-12	1.50	29.9	2.7	90.2	45.6	28.9	16.7	ML
	3.00	27.8	2.4	87.8	33.5	24.6	8.9	ML
	3.50	26.9	5.5	81.8	32.1	21.2	10.9	CL
	5.00	27.1	7.5	82.6	44.6	27.2	17.4	ML
	6.00	32.9	3.6	86.1	43.7	25.6	18.1	CL
	6.50	24.8	8.2	74.5	39.8	25.1	14.7	CL
	8.00	24.7	7.7	76.3	35.6	23.4	12.2	CL
	9.00	23.9	10.2	69.6	34.2	25.8	8.4	ML
SK-15	1.50	29.1	0.0	95.2	39.8	28.1	11.7	ML
	3.00	30.9	0.0	93.5	42.6	27.4	15.2	ML
	3.50	26.5	0.0	95.0	47.6	30.1	17.5	ML
	5.00	27.1	0.0	94.7	46.2	30.6	15.6	ML
	6.00	34.5	8.7	75.1	44.4	29.5	14.9	ML
	6.50	28.8	0.7	93.9	46.1	30.8	15.3	ML

	8.00	37.1	1.1	89.5	48.3	32.5	15.8	ML
	9.00	25.2	0.0	94.2	45.1	28.0	17.1	ML
	9.50	33.0	8.7	72.5	46.8	29.5	17.3	ML
	11.00	34.5	2.6	87.8	43.3	30.1	13.2	ML
	12.50	31.1	7.4	73.8	44.7	29.8	14.9	ML
	14.00	32.3	0.0	96.1	45.3	32.6	12.7	ML
SK-16	1.50	29.6	0.0	95.3	40.9	28.7	12.2	ML
	3.00	27.1	0.0	96.4	43.5	30.1	13.4	ML
	3.50	30.5	0.0	94.0	41.1	27.4	13.7	ML
	5.00	27.6	0.0	97.2	38.1	26.3	11.8	ML
	6.00	27.7	1.1	90.4	40.6	25.8	14.8	ML
	6.50	32.5	0.0	92.8	45.1	28.0	17.1	ML
	8.00	28.0	0.0	93.8	42.9	28.7	14.2	ML
	9.00	29.9	0.0	95.9	43.9	32.0	11.9	ML
	9.50	25.6	0.0	97.1	45.3	32.6	12.7	ML
SK-18	1.50	24.7	3.1	86.7	54.1	27.6	26.5	CH
	2.00	7.3	84.3	2.8	-	NP	-	GW
	3.50	7.1	73.2	3.4	-	NP	-	GW
SK-19	1.50	12.5	1.1	94.8	36.9	23.1	13.8	CL
	2.00	16.1	0.0	91.1	36.1	18.3	17.8	CL

Çalışma sahasında SPT deneyi yapılan loglarda yeraltı su seviyesine rastlanmamıştır.

Dolayısıyla sıvılaşma durumu için SPT verileri tespit edilmiş fakat su tespit edilemeyen yerde sıvılaşma meydana gelmeyeceğinden sıvılaşma potansiyel analizi yapılamamıştır.

Bayburt merkez ilçesi arazi çalışmaları.

Araştırma kapsamında Bayburt Merkez ilçesi çalışma alanının jeolojik ve jeoteknik özelliklerini belirlemek amacıyla açılan sondaj kuyularından veriler elde edilip aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır.

Polis meslek eğitim merkezi sahası.

Bayburt ili, Merkez ilçesi, Gümüşsu Mahallesi, 150 ada, 2 - 3 - 4 Parseller ve 151Ada,1-2 Parsellerde yapılması planlanan binaların zemin koşullarını belirlemek amacıyla belirlenen lokasyonlarda 9 adet zemin sondajı ve 2 adet sismik çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada ise SPT deneyleri olan sondaj verileri sıvılaşma analiz hesabında kullanılmıştır. Parsel 118486,67 m²'den oluşmaktadır. Alan eğimli bir topografyaya sahiptir. İnceleme alanın kotu 1592 - 1617 m arasında olup başlangıç ve bitiş noktaları arasında kot farkı bulunmaktadır. İnceleme alanı yerleşim bölgesi içerisinde yer alıp çevre yapılara en yakın mesafesi yaklaşık 10.00m.'dir. Alanda drenaj sistemi bulunmamaktadır. Bölgede karasal bitki örtüsü gözlenmektedir.



Şekil 89.İnceleme alanının uydu görüntüsü.

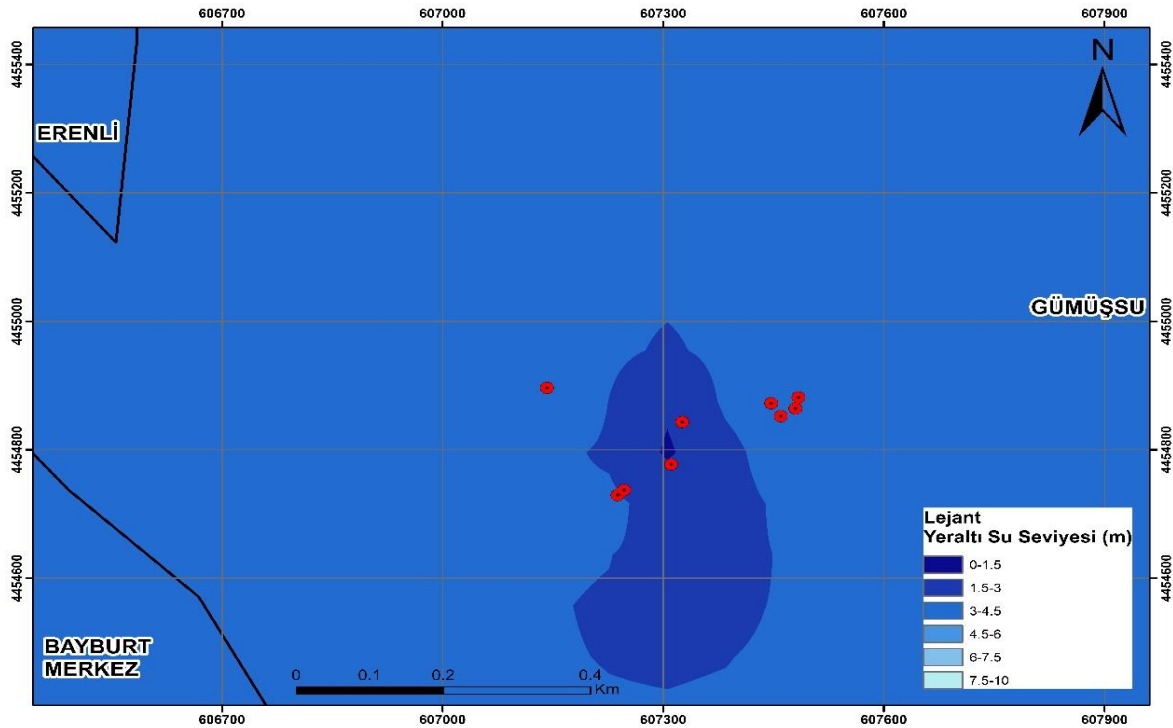
Çalışma alanını sınırlayan koordinatlar UTM- 6° Projeksiyonunda ve ED50 Datum’unda, 37 Dilim Orta Meridyeni kullanılarak düzenlenmiştir.

Tablo 52. Polis Eğitim Merkezi Sondaj Koordinatları.

<u>Sondaj No</u>	<u>X</u>	<u>Y</u>
SK - 1	4.454.729.526	607.237.771
SK - 2	4.454.737.526	607.246.771
SK - 3	4.454.777.526	607.310.772
SK - 4	4.454.843.527	607.325.772
SK - 5	4.454.872.527	607.446.773
SK - 6	4.454.852.527	607.459.773
SK - 7	4.454.881.527	607.483.773
SK - 8	4.454.864.527	607.479.773
SK - 9	4.454.896.527	607.141.770

Tablo 53. Polis Eğitim Merkezi Etütsahasında açılan temel sondaj kuyularına ait yeraltı suyu Rasatları.

Sondaj No	Statik Su Seviyeleri (m) / Ölçüm Tarihleri
	13.05.2019
SK - 1	3.30
SK - 2	3.30
SK - 3	1.00
SK - 4	1.00
SK - 5	5.00
SK - 6	4.30
SK - 7	2.50
SK - 8	3.50
SK - 9	4.50



Şekil 90. Polis meslek eğitim merkezi sahasına ait yeraltı su seviyesi haritası.

İnceleme alanında yeraltı su seviyesi altında sıvılaşma olacağı için SK-1, SK-2, SK-3, SK-4, SK-5, SK-6 ve SK-7 numaralı sondaj kuyuları için 4,5 m derinlikte 5,5- 6,0-6,5-7,0-7,5 deprem senaryolarına göre sıvılaşma hesapları yapılmıştır. Deprem senaryolarına göre sıvılaşma risk haritaları çıkarılmıştır.

İnceleme alanının zemini, kum, kil ve çakıl karışımı malzeme, killi, ince kum vesiltler ile ince kum, silt ve kil karışımı malzemedir. Malzemenin kökeni Jurayaşlı Berdiga formasyonuna ait kayaların ayrışma ve alt erozyonu şeklindedir. İnceleme alanında 15.00 m. derinliğinde 9 adet temel sondajı yapılmıştır.

Sondaj kuyusunun yüzeyden itibaren litolojisi aşağıda tablo halinde sunulmuştur.

Tablo 54. Zemin Profili.

Sondaj Kuyusu	Kuyuda Yer Alan Litoloji Tanımı
SK – 1	0.00 m – 0.50 m arası nebati toprak, 0.50 m – 5.00 m arası kahve renkli, ince kum, silt ve kil karışımı malzeme, 5.00 m – 6.00 m arası kahve renkli, kum, kil ve çakıl karışımı malzeme, 6.00 m – 9.00 m arası kahve renkli, ince kum, silt ve kil karışımı malzeme, 9.00 m – 10.00 m arası, kahve renkli, kum, kil ve çakıl karışımı malzeme ve 10.00 m – 15,00 m arası, mavi renkli, ince kum, silt ve kil karışımı malzeme geçilmiştir.
SK – 2	0.00 m – 0.50 m arası nebati toprak, 0.50 m – 1.00 m arası kahve renkli, kum, kil ve çakıl karışımı malzeme ve 1.00 m – 15,00 m arası, kahve renkli, ince kum, silt ve kil karışımı malzeme geçilmiştir.
SK – 3	0.00 m – 0.50 m arası nebati toprak, 0.50 m – 1.00 m arası kahve renkli, kum, kil ve çakıl karışımı malzeme ve 1.00 m – 15,00 m arası, kahve renkli, ince kum, silt ve kil karışımı malzeme geçilmiştir.
SK – 4	0.00 m – 0.50 m arası nebati toprak, 0.50 m – 1.00 m arası kahve renkli, kum, kil ve çakıl karışımı malzeme ve 1.00 m – 15,00 m arası, kahve renkli, ince kum, silt ve kil karışımı malzeme geçilmiştir.
SK – 5	0.00 m – 9.00 m arası kahve renkli, ince kum, silt ve kil karışımı dolgu malzeme 9.00 m – 15,00 m arası, kahve renkli, ince kum, silt ve kil karışımı malzeme geçilmiştir.
SK – 6	0.00 m – 4.00 m arası kahve renkli, ince kum, silt ve kil karışımı dolgu malzeme 4.00 m – 15,00 m arası, kahve renkli, ince kum, silt ve kil karışımı malzeme geçilmiştir.
SK – 7	0.00 m – 7.00 m arası kahve renkli, ince kum, silt ve kil karışımı dolgu malzeme 7.00 m – 15,00 m arası, kahve renkli, ince kum, silt ve kil karışımı malzeme geçilmiştir.
SK – 8	0.00 m – 4.00 m arası kahve renkli, ince kum, silt ve kil karışımı dolgu malzeme 4.00 m – 15,00 m arası, kahve renkli, ince kum, silt ve kil karışımı malzeme geçilmiştir.
SK – 9	0.00 m – 0.50 m arası nebati toprak, 0.50 m – 7.00 m arası kahverenkli, kum, kil ve çakıl karışımı malzeme, 7.00 m – 9.00 m arası kahverenkli, ince kum, silt ve kil karışımı malzeme, 9.00 m – 12.00 m arası kahverenkli, kum, kil ve çakıl karışımı malzeme ve 12.00 m – 15.00 m arası kahverenkli, ince kum, silt ve kil karışımı malzeme geçilmiştir.

İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarından elde edilen numunelerin laboratuvar incelemeleri sonunda ince ve iri taneli zemin özelliğinde olduğu ve zeminin [ML-CL-MH (killi, ince kum ve siltler, siltli killer ve elastik siltler)] zemin gurubuiçerisindeyeraldığıtespit edilmiştir.

Tablo 55. *Zeminin atterberg limit özellikleri.*

SondajNo	Deney Derinliği (m)	<u>No:200 Geçen (%)</u>	Atterberg Limitleri		
			LL (%)	PL (%)	PI (%)
SK - 1	1.50- 1.95	99.9	39.6	24.1	15.5
SK - 1	3.00- 3.50	94.3	42.1	25.2	16.9
SK - 1	4.50- 4.95	99.9	43.5	28.6	14.9
SK - 2	3.00- 3.45	99.9	44.9	28.1	16.8
SK - 2	10.50- 10.95	99.9	38.7	22.6	16.1
SK - 3	6.00- 6.45	99.9	46.3	26.5	19.8
SK - 3	15.00- 15.45	75.7	38.9	21.6	17.3
SK - 4	1.50- 1.95	99.9	40.8	22.9	17.9
SK - 4	12.00- 12.45	95.2	52.6	28.9	23.7
SK - 5	4.50- 4.95	99.9	47.9	28.4	19.5
SK - 5	9.00- 9.45	99.9	43.3	26.3	17.0
SK - 6	3.00- 3.45	99.9	39.7	26.3	13.4
SK - 6	12.00- 12.45	99.9	45.1	26.9	18.2
SK - 7	9.00- 9.45	99.9	42.3	27.7	14.6
SK - 7	15.00- 15.45	99.9	38.8	25.6	13.2
SK - 8	4.50- 4.95	99.9	37.6	25.1	12.5
SK - 8	13.50- 13.95	99.9	41.3	26.6	14.7
SK - 9	7.50- 7.95	99.9	47.6	28.1	19.5
SK - 9	12.00- 12.45	93.9	57.3	30.9	26.4

Tablo 56. Zeminlerin İndeks Ve Fiziksel Özellikleri.

Sondaj No	Derinlik (m)	Su İçeriği Wn (%)	Doğal Birim Hacim Ağırlığı (Kn/m ³)	Zemin Sınıfı
SK - 1	1.50- 1.95	15.8	1.85	CL
SK - 1	3.00- 3.50	20.4	1.85	CL
SK - 1	4.50- 4.95	21.6	1.85	OL
SK - 2	3.00- 3.45	23.2	1.85	OL
SK - 2	10.50- 10.95	15.4	1.85	CL
SK - 3	6.00- 6.45	21.5	1.86	CL
SK - 3	15.00- 15.45	13.5	1.86	CL
SK - 4	1.50- 1.95	12.1	1.86	CL
SK - 4	12.00- 12.45	15.8	1.86	OH
SK - 5	4.50- 4.95	24.6	1.88	OL
SK - 5	9.00- 9.45	15.4	1.88	OL
SK - 6	3.00- 3.45	21.1	1.88	OL
SK - 6	12.00- 12.45	25.5	1.88	OL
SK - 7	9.00- 9.45	21.9	1.84	OL
SK - 7	15.00- 15.45	14.9	1.84	OL
SK - 8	4.50- 4.95	18.4	1.84	OL
SK - 8	13.50- 13.95	21.4	1.84	OL
SK - 9	7.50- 7.95	21.5	1.84	OL
SK - 9	12.00- 12.45	31.8	1.84	OH

Prosilıvı programında sıvılaşma hesabında deprem karakteristikleri, analiz yöntemleri ve zemin profil tanımlaması girdi veri olarak kullanılacak çalışma alanına ait bilgiler aşağıda gösterilmiştir. Deprem büyüklüğü 5.5-6-6.5-7-7.5 olarak 5 farklı senaryoda ele alınmıştır. İnceleme alanına ait a_{maks} (g) değeri Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif web uygulamasından 0,237 değeri elde edilmiştir.

Tablo 57. Sıvılaşma Hesabı Sondaj Girdi Verileri.

Sondaj Kuyu No	SK-1	SK-2	SK-3	SK-4	SK-6	SK-7	SK-8
İnceleme Derinliği	4,5 m						
a _{maks} (g)	0,237						
Su Seviyesi	3,3	3,3	1	1	4,3	2,5	3,5
Kuyu Derinliği	15 m						
Arazi Deney Tipi	SPT						
SPT Hesap Yöntemi	Seed Idriss						
Şahmerdan Tipi	Donut hammer						
Kuyu Çapı	65 mm -115 mm						
Tij Boyu	1.5 m						
Numune Alma Metodu	Standart Numune alıcı						
Zemin Cinsi	ML						

Tablo 58. İnceleme alanı Sıvılaşma Analizi İçin Arazi ve Laboratuvar Deneyleri Girdi Verileri.

Sondaj No	YASS(m)	SPT- N	$\gamma(\text{kN/m}^3)$	İTO(%)	D50(mm)
SK – 1	3,3	8	18,5	100	0
SK – 2	3,3	9	18,5	100	0
SK – 3	1	9	18,6	75,7	0,15
SK – 4	1	9	18,6	95,2	0,023
SK – 6	4,3	11	18,8	100	0
SK – 7	2,5	9	18,4	100	0
SK – 8	3,5	10	18,4	100	0

Elde edilen veriler PROSıvı (Babuşcu, 2002) programına aktarılarak farklı deprem senaryolarına göre sıvılaşma analiz sonuç tabloları hazırlanmıştır.

Tablo 59. *İnceleme Alanında Büyüklüğü 5,5 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları.*

Sondaj No	(N1)60	Top. Ger. (kPa)	Eff.Ger. (kPa)	rd	DG(kPa)	DGO	DD (kPa)	DDO	EF	Oturma(cm)	Zemin Durumu
SK – 1	SK – 2	SK – 3	SK – 4	SK – 5	SK – 6	SK – 7	SK – 8	SK – 9	SK – 10	SK – 11	SK – 12
13,2	13	12,2	14,3	14,3	14,3	12,2	13	12,2	14,3	14,3	11,7
72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
67,1	57,28	72	42,57	42,57	42,57	65,13	65,13	65,13	65,13	65,13	65,13
0,973	0,973	0,973	0,973	0,973	0,973	0,973	0,973	0,973	0,973	0,973	0,973
10,79	10,79	10,79	10,79	10,79	10,79	10,79	10,79	10,79	10,79	10,79	10,79
0,161	0,188	0,15	0,253	0,253	0,253	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166
9,58	8,07	-	6,52	6,52	6,52	8,36	8,36	8,36	8,36	8,36	8,36
0,316	0,311	-	0,339	0,339	0,339	0,282	0,282	0,282	0,282	0,282	0,282
1,96	1,65	-	1,34	1,34	1,34	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71
1,2	3,74	-	6,31	6,31	6,31	2,09	2,09	2,09	2,09	2,09	2,09
Sıvılaşma Yoktur.	Sıvılaşma Yoktur.	Sıvılaşma Yoktur.	Sıvılaşma Yoktur.	Sıvılaşma Yoktur.	Sıvılaşma Yoktur.	Sıvılaşma Yoktur.	Sıvılaşma Yoktur.	Sıvılaşma Yoktur.	Sıvılaşma Yoktur.	Sıvılaşma Yoktur.	Sıvılaşma Yoktur.

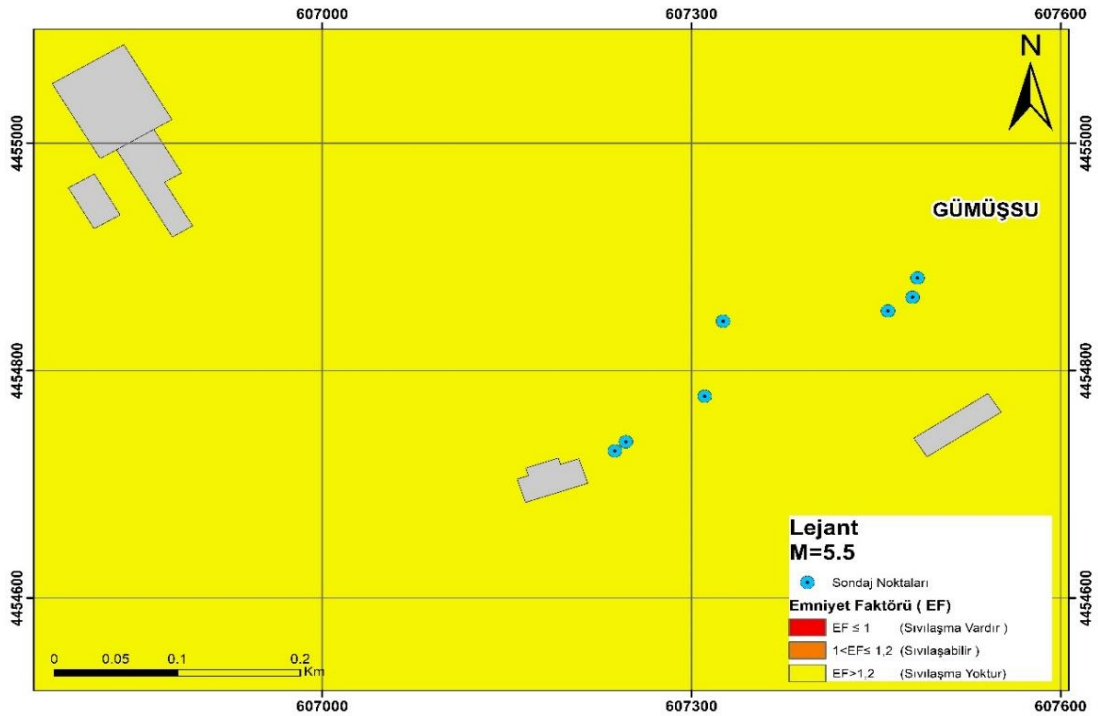
Tablo 60. *Tablo 13. İnceleme Alanında Büyüklüğü 6 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları*

Sondaj No	(N1)60	Top. Ger. (kPa)	Eff.Ger. (kPa)	rd	DG(kPa)	DGO	DD (kPa)	DDO	EF	Oturma(cm)	Zemin Durumu
SK – 1	SK – 2	SK – 3	SK – 4	SK – 5	SK – 6	SK – 7	SK – 8	SK – 9	SK – 10	SK – 11	SK – 12
13,2	13	12,2	14,3	14,3	14,3	12,2	13	12,2	14,3	14,3	11,7
72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
67,1	57,28	72	42,57	42,57	42,57	65,13	65,13	65,13	65,13	65,13	65,13
0,973	0,973	0,973	0,973	0,973	0,973	0,973	0,973	0,973	0,973	0,973	0,973
10,79	10,79	10,79	10,79	10,79	10,79	10,79	10,79	10,79	10,79	10,79	10,79
0,161	0,188	0,15	0,253	0,253	0,253	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166
9,58	8,07	-	6,52	6,52	6,52	8,36	8,36	8,36	8,36	8,36	8,36
0,253	0,249	-	0,271	0,271	0,271	0,227	0,227	0,227	0,227	0,227	0,227
1,57	1,32	-	1,07	1,07	1,07	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45
1,2	3,74	-	6,31	6,31	6,31	2,09	2,09	2,09	2,09	2,09	2,09
Sıvılaşma Yoktur.	Sıvılaşma Yoktur.	Sıvılaşma Yoktur.	Sıvılaşma Yoktur.	Sıvılaşma Yoktur.	Sıvılaşma Yoktur.	Sıvılaşma Yoktur.	Sıvılaşma Yoktur.	Sıvılaşma Yoktur.	Sıvılaşma Yoktur.	Sıvılaşma Yoktur.	Sıvılaşma Yoktur.

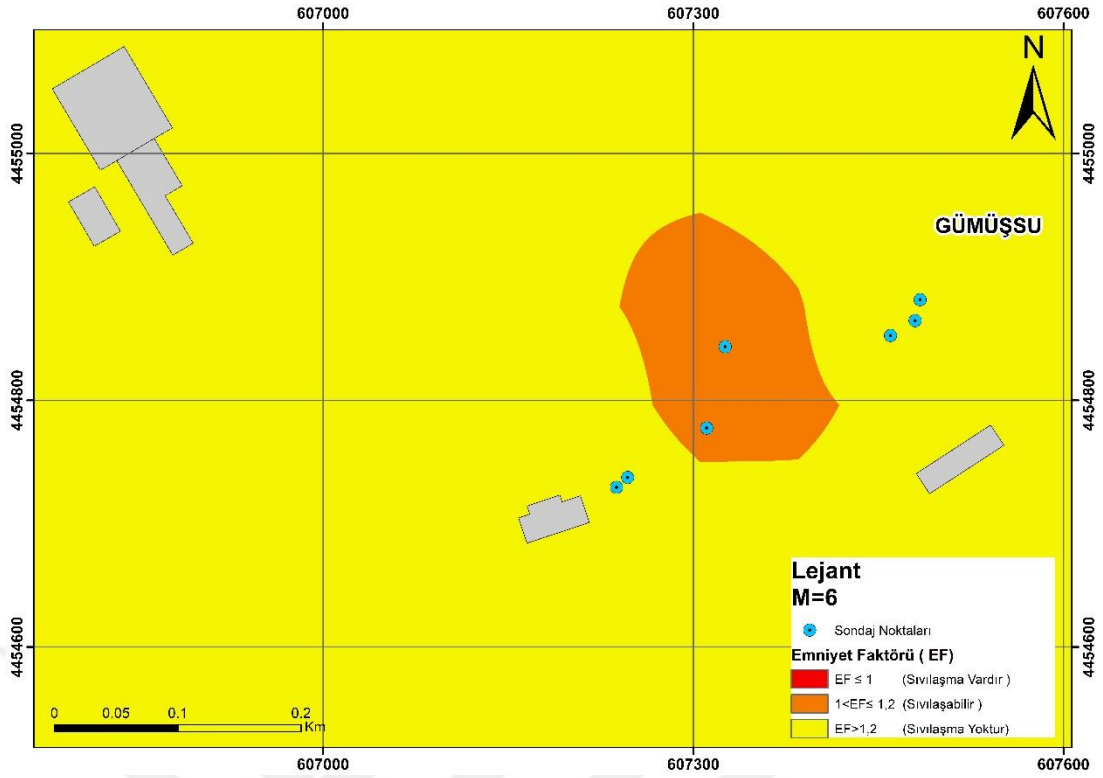
Tablo 63. İnceleme Alanında Büyüklüğü 7.5 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları.

Sondaj No	(N1)60	Top. Ger. (kPa)	Eff. Ger. (kPa)	rd	DG(kPa)	DGO	DD (kPa)	DDO	EF	Oturma(c m)	Zemin Durumu
SK-1	11.7	72	65,13	0,973	10,79	0,166	8,36	0,128	0,77	2,09	Sıvılaşır.
SK-2	12.5	72	65,13	0,973	10,79	0,166	8,86	0,136	0,82	1,87	Sıvılaşır.
SK-3	14,3	72	42,57	0,973	10,79	0,253	6,52	0,153	0,86	6,31	Sıvılaşır.
SK-4	14,3	72	42,57	0,973	10,79	0,253	6,52	0,153	0,6	6,31	Sıvılaşır.
SK-6	12,2	72	72	0,973	10,79	0,15	-	-	-	-	Sıvılaşma Yoktur.
SK-7	13	72	57,28	0,973	10,79	0,188	8,07	0,141	0,75	3,74	Sıvılaşır.
SK-8	13,2	72	67,1	0,973	10,79	0,161	9,58	0,143	0,89	1,2	Sıvılaşır.

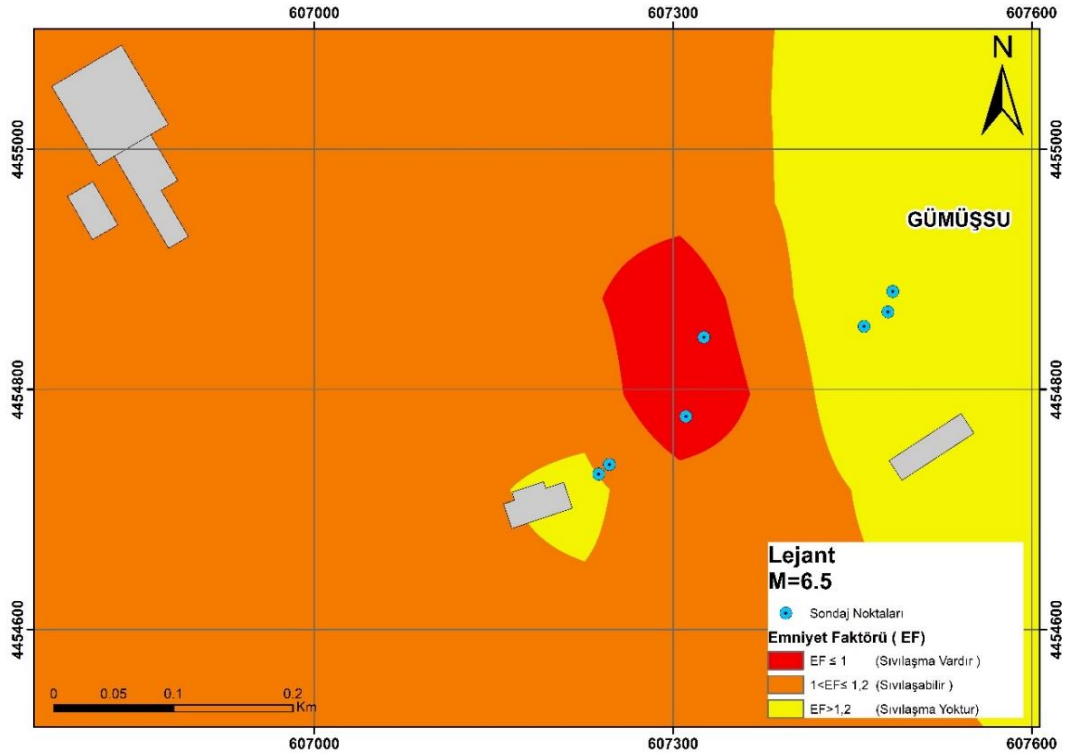
İnceleme alanı Bayburt Merkez ilçesi Polis Meslek Eğitim Merkezi sahasında yapılan jeoteknik çalışmalar sonucunda sıvılaşma analizleri Standart Penetrasyon Testi (SPT) verileri kullanılarak yapılmış ve bu alanlarda sıvılaşma potansiyeli dağılım haritası elde edilmiştir.



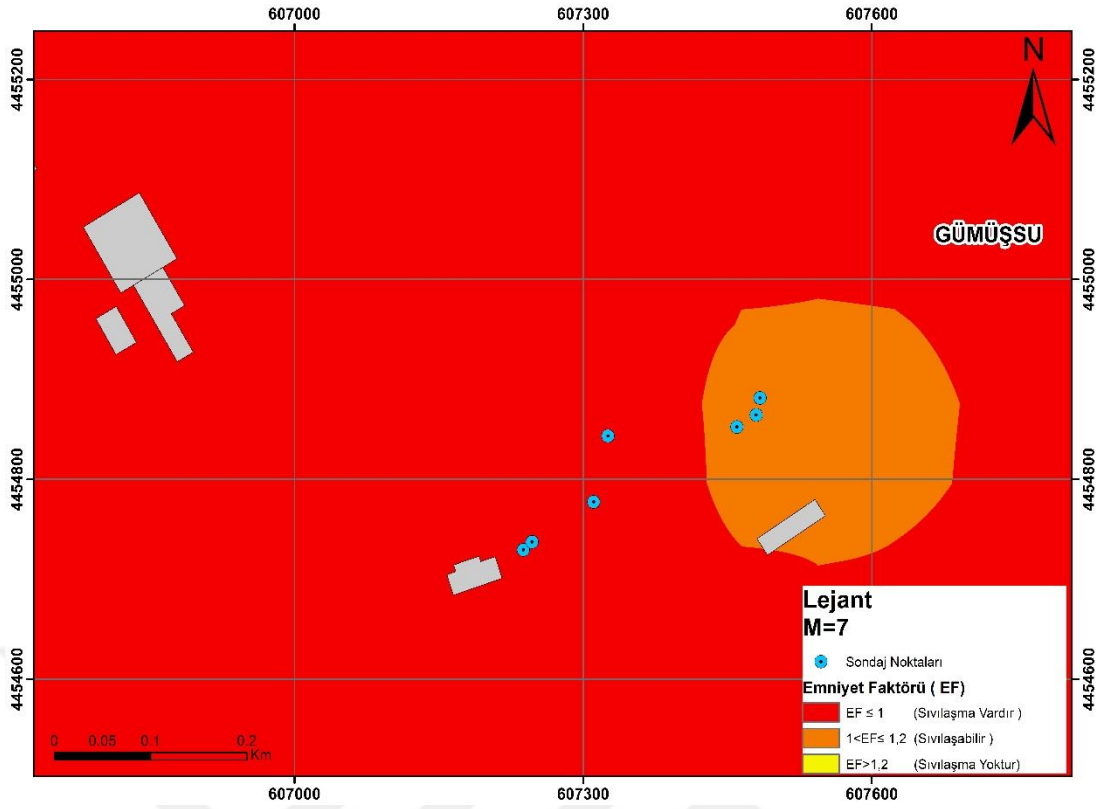
Şekil 91. Polis meslek eğitim merkezi sahasına ait büyüklüğü 5,5 olan deprem senaryosunun sıvılaşma potansiyeli haritası.



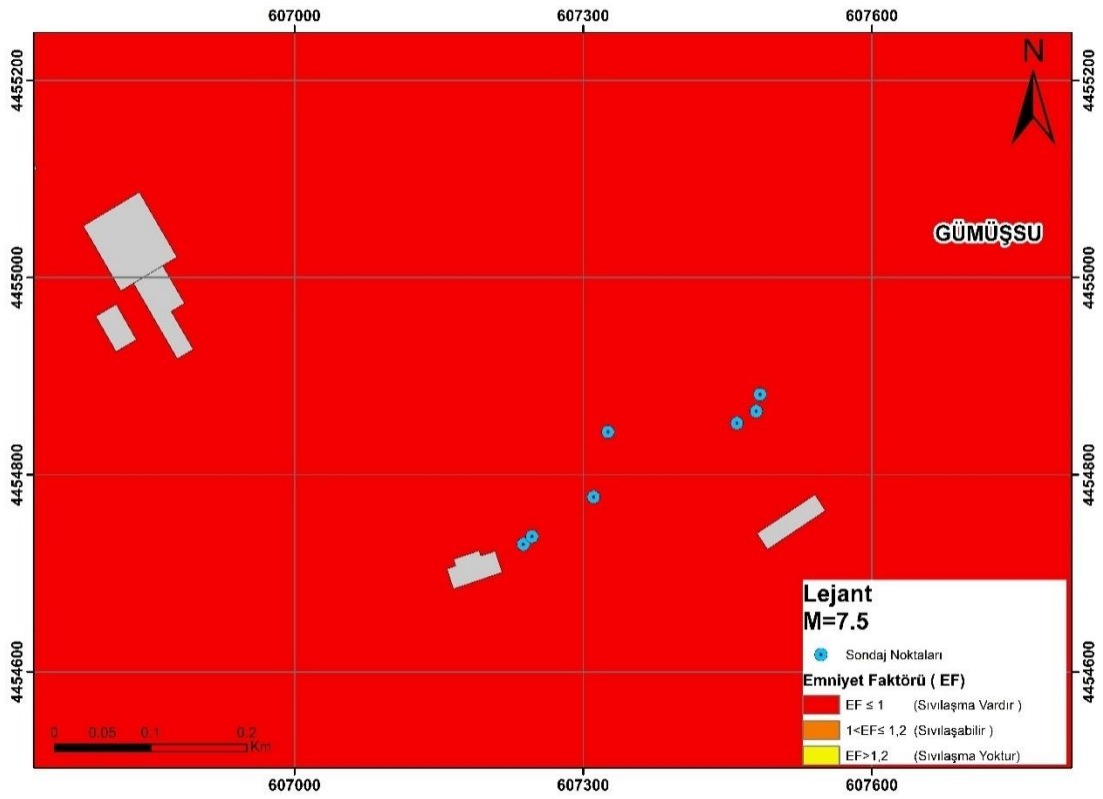
Şekil 92. Polis meslek eğitim merkezi sahasına ait büyüklüğü 6,0 olan deprem senaryosunun sivilaşma potansiyeli haritası.



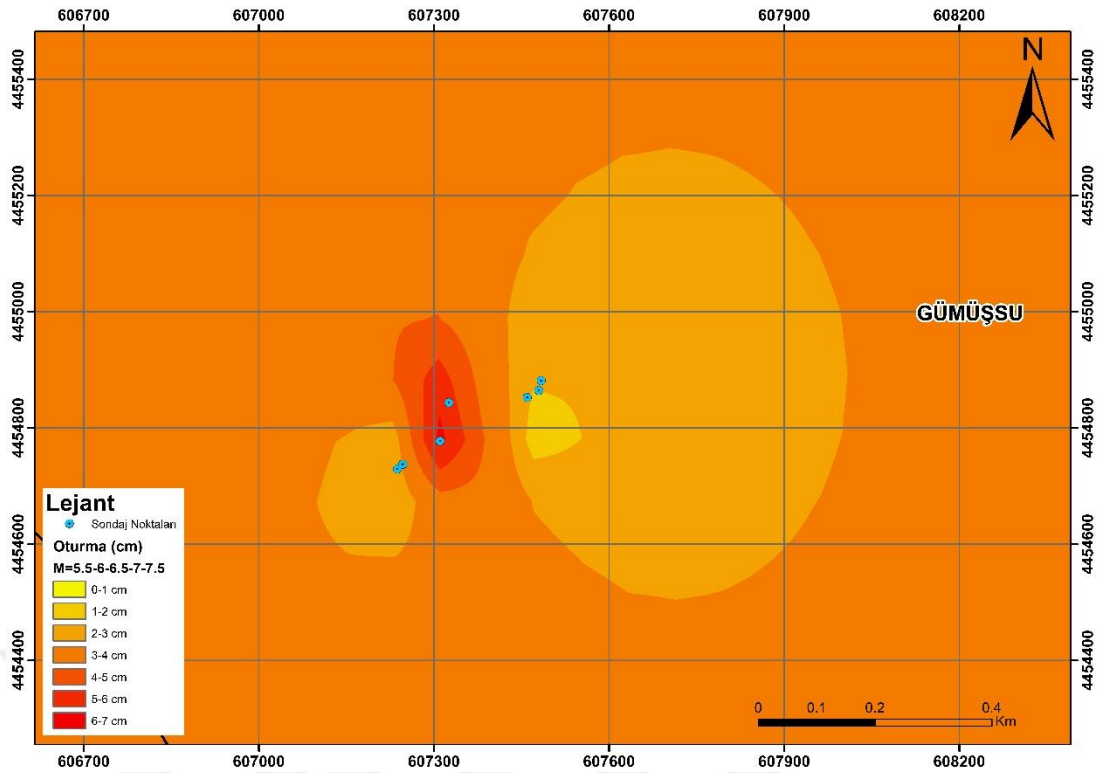
Şekil 93. Polis meslek eğitim merkezi sahasına ait büyüklüğü 6,5 olan deprem senaryosunun sivilaşma potansiyeli haritası.



Şekil 94. Polis meslek eğitim merkezi sahasına ait büyüklüğü 7,0 olan deprem senaryosunun sivilaşma potansiyeli haritası.



Şekil 95. Polis meslek eğitim merkezi sahasına ait büyüklüğü 7,5 olan deprem senaryosunun sivilaşma potansiyeli haritası.



Şekil 96. Polis meslek eğitim merkezi sahasına ait büyüklüğü 5,5-6-6,5-7,0-7,5 olan deprem senaryosunun oturma potansiyeli haritası.

Küçük sanayi sitesi.

Bayburt İli, Merkez İlçesi, Gümüşsu köyü mahallesi, 128 Ada 2 Parsel, 129,ada 1 parsel 130 ada 1 parsel, 131 ada 1 parsel, 132 ada 1 parsel, 133ada 2parsel, 133 ada 3 parsel, 134 ada 1 parsel, 135 ada 1 parsel, 136 ada 1 parsel, 137 ada 1 parsel, 138 ada 1 parsel yapılması planlanan binaların mühendislik jeolojisi çalışmaları incelenmiştir. İnceleme alanı jeomorfolojik olarak engebeli bir yapıya sahip değildir. Topoğrafik eğim % 0-5 aralığında kalmaktadır. Çalışma sahaları üzerinde herhangi bir şev duraylılığı problemi veya eski heyelan bulgusu saptanmamıştır. Sahada ve bölge genelinde, iklim ve bitki örtüsü açısından Karasal iklim kuşağının tipik özellikleri hakimdir.

Etüt alanı içerisinde jeolojik yapıyı en iyi temsil edecek lokasyonlarda 10 adet sondaj kuyusu açılmıştır. SK-1: 10,00 m- SK-2: 10,00 m, SK-3: 10,00 m, SK-4:10,00 m SK-5: 10,00 m SK-6: 13,00 m SK-7: 10,00 m- SK-8: 10,00 m, SK-9: 10,00 m, SK-10:10,00 m olan sondaj çalışması, yapılmıştır. Etüt alanları içinde fay, kırık, diskordans gibi yapısal süreksizliklere rastlanılmamıştır.

Açılan sondajlarda yeraltı suyuna SK-2, SK-3, SK-4, SK-5, SK-6, SK-7, SK-8, SK-10 da 2,00 m’de SK-1, SK-9, sondaj kuyularında 2,50 m’de rastlanılmıştır. Çalışma alanının yaklaşık 100 m Güney batısında Çoruh Nehri bulunmaktadır. Çoruh Nehri yaz ve kış aylarında sürekli akış halinde olup beslenme alanı geniştir.



Şekil 97.İnceleme alanının uydu görüntüsü.

Çalışma alanını sınırlayan koordinatlar UTM- 6° Projeksiyonunda ve ED50 Datum'unda, 37 Dilim Orta Meridyeni kullanılarak düzenlenmiştir.

Tablo 64. Küçük sanayi sitesi sondaj koordinatları.

<u>Sondaj No</u>	<u>X</u>	<u>Y</u>
SK - 1	4 456 454	605 846
SK - 2	4 456 489	605 887
SK - 3	4 456 515	605 922
SK - 4	4 456 526	605 941
SK - 5	4 456 490	605 968
SK - 6	4 456 573	605 005
SK - 7	4 456 608	606 060
SK - 8	4 456 647	606 055
SK - 9	4 456 648	606 029
SK- 10	4 456 642	605 991

Açılan sondaj kuyularında 1.00 metrelik dolgu malzemedan sonra kalınlığı 1.00 – 2.50 m olan gri kahve renkli ince orta taneli kil silt kum çakıl karışımı yer yer kil-silt çökel Zemin altında 2,50-7,00 m arası kötü derecelenmiş kum çakıl gri siyahımsı renkli yer yer bloklu zemin altında 7.00-10.00 m arası gri bej renkli parçalı kırıklı yer yer ayrılmış Kireçtaşı marn, kil taşı andezit yer alır.

Tablo 65. Zemin Profili.

Sondaj Kuyusu	Kuyuda Yer Alan Litoloji Tanımı
SK – 1	0.00 m – 0.30 m bitkisel toprak, 0.30m - 1.50 m siltli kil inorganik kil silt, 1.50 m -7.00 m Kötü derecelenmiş kum çakıl, 7.00 m –10. 00 m marnlı killi kireçtaşı, koyu gri renkli ayrıışmış yer yer killeşmiş kireçtaşı kalsit damarlı karışımı malzeme geçilmiştir.
SK – 2	0.00 m – 0.30 m bitkisel toprak, 0.30m - 1.00 m siltli kil inorganik kil silt, 1.00 m -7.00 m Kötü derecelenmiş kum çakıl, 7.00 m –10. 00 m marnlı killi kireçtaşı, koyu gri renkli ayrıışmış yer yer killeşmiş kireçtaşı kalsit damarlı karışımı malzeme geçilmiştir.
SK – 3	0.00 m – 0.50 m bitkisel toprak ,0.50m - 1.00 m siltli kil inorganik kil silt , 1.00 m -7.00 m Kötü derecelenmiş kum çakıl yer yer bloklu, 7.00 m –10. 00 m marnlı killi kireçtaşı, koyu gri renkli ayrıışmış yer yer killeşmiş kireçtaşı kalsit damarlı karışımı malzeme geçilmiştir.
SK – 4	0.00 m – 0.40 m bitkisel toprak , 0.40m - 1.00 m siltli kil inorganik kil silt , 1.00 m -7.00 m Kötü derecelenmiş kum çakıl yer yer bloklu, 7.00 m –10. 00 m marnlı killi kireçtaşı, koyu gri renkli ayrıışmış yer yer killeşmiş kireçtaşı kalsit damarlı karışımı malzeme geçilmiştir.
SK – 5	0.00 m – 0.50 m bitkisel toprak , 0.50m - 2.00 m siltli kil inorganik kil silt , 2.00 m -8.00 m Kötü derecelenmiş kum çakıl yer yer bloklu, 8.00 m –10. 00 m marnlı killi kireçtaşı, koyu gri renkli ayrıışmış yer yer killeşmiş kireçtaşı kalsit damarlı karışımı malzeme geçilmiştir.
SK – 6	0.00 m – 0.50 m bitkisel toprak , 0.50m – 2.00 m siltli kil inorganik kil silt , 2.00 m -7.50 m Kötü derecelenmiş kum çakıl yer yer bloklu, 7.50 m –10. 00 m marnlı killi kireçtaşı, koyu gri renkli ayrıışmış yer yer killeşmiş kireçtaşı kalsit damarlı karışımı malzeme geçilmiştir.
SK – 7	0.00 m – 0.30 m bitkisel toprak , 1.50 m -7.50 m Kötü derecelenmiş kum çakıl yer yer bloklu, 7.50 m –10. 00 m marnlı killi kireçtaşı, koyu gri renkli ayrıışmış yer yer killeşmiş kireçtaşı kalsit damarlı karışımı malzeme geçilmiştir.
SK – 8	0.00 m – 0.40 m bitkisel toprak , 0.40m - 2.50 m siltli kil inorganik kil silt , 2.50 m -6.00 m Kötü derecelenmiş kum çakıl yer yer bloklu, 6.00 m –10. 00 m marnlı killi kireçtaşı, koyu gri renkli ayrıışmış yer yer killeşmiş kireçtaşı kalsit damarlı karışımı malzeme geçilmiştir.
SK – 9	0.00 m – 0.50 m bitkisel toprak , 0.50m – 2.00 m siltli kil inorganik kil silt , 2.00 m -6.00 m Kötü derecelenmiş kum çakıl yer yer bloklu, 6.00 m –10. 00 m marnlı killi kireçtaşı, koyu gri renkli ayrıışmış yer yer killeşmiş kireçtaşı kalsit damarlı karışımı malzeme geçilmiştir.
SK – 10	0.00 m – 0.20 m bitkisel toprak , 0.20m – 2.00 m siltli kil inorganik kil silt , 2.00 m -6.00 m Kötü derecelenmiş kum çakıl yer yer bloklu, 6.00 m –10. 00 m marnlı killi kireçtaşı, koyu gri renkli ayrıışmış yer yer killeşmiş kireçtaşı kalsit damarlı karışımı malzeme geçilmiştir.

İnceleme alanında yapılacak yapının orta noktalarında açılan sondaj kuyularından alınan Örselenmiş ve örselenmemiş numuneler üzerinde elek analizi deneyi yapılarak zemin parametreleri belirlenmiştir.

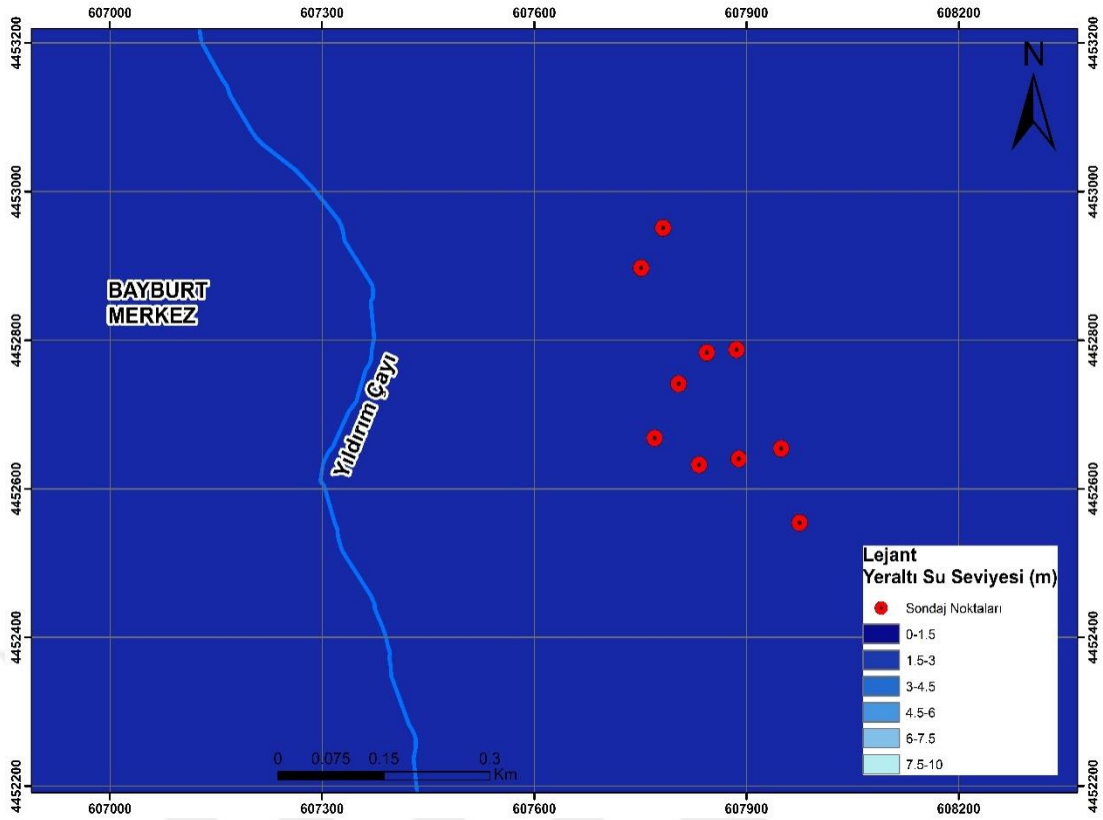
Tablo 66. Zeminlerin İndeks ve Fiziksel Özellikleri.

Sondaj No	Numune No	Su İçeriği (%)	Doğal yoğunluk (g/cm ³)	Elek Analizi		Atterberg Limitleri			ZEMİN SINIFI
				No:10 Kalan (%)	No:200 Geçen (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)	
SK-1	SPT-1	1.3		57.7	36.9	31.6	18.5	13.1	GC
SK-2	SPT-1	2.4		5.8	71.8	38.7	20.5	18.2	CL
SK-3	SPT-1	2.7	2.60	64.0	17.3	28.6	15.3	13.3	GC
SK-4	SPT-2	0.9		49.2	17.6		NP		GM
SK-6	SPT-1	3.7		5.0	74.2	41.3	19.2	22.1	CL
SK-7	SPT-1	3.8	2.62	56.1	18.4	28.5	16.1	12.4	GC
SK-9	SPT-1	1.7		19.3	53.7	35.1	20.3	14.8	CL
SK-10	SPT-1	0.8		58.5	16.5	30.2	17.5	12.7	GC

Proslıvı programında sıvılaşma hesabında deprem karakteristikleri, analiz yöntemleri ve zemin profil tanımlaması girdi veri olarak kullanılacak çalışma alanına ait bilgiler aşağıda gösterilmiştir. İnceleme alanına ait a_{maks} (g) değeri Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif web uygulamasından 0,239 değeri elde edilmiştir.

Tablo 67. Sıvılaşma Hesabı Sondaj Girdi Verileri.

Sondaj Kuyu No	SK-1	SK-2	SK-3	SK-4	SK-5	SK-6	SK-7	SK-8	SK-9	SK-10
a _{maks} (g)	0,239									
Su Seviyesi	2,5 m									
Kuyu Derinliği	10 m				13m			10m		
Arazi Deney Tipi	SPT									
SPT Hesap Yöntemi	Seed Idriss									
Şahmerdan Tipi	Donut hammer									
Kuyu Çapı	65 mm -115 mm									
Tij Çapı	1.5 m									
Numune Alma Metodu	Standart Numune alıcı									



Şekil 98.Çalışma alanı yeraltı su seviyesi haritası.

Her 15 cm’lik penetrasyon aşaması için şahmerdanın darbe sayısı belirlenir. Sert olan zeminlerde art arda üç tane 15 cm’lik ilerleme aşamasından bir tanesinde 50 darbede 15 cm’lik penetrasyon gerçekleşmezse deney durdurulur ve refü değerine ulaşıldığı şeklinde yorumlanır. Bu bölgede elde edilen sondaj verilerinde yeraltı su seviyesinin altında kalan SPT değerleri refü olarak belirtilmiştir. Dolayısıyla sıvılaşma durumu için SPT verileri tespit edilemediğinden sıvılaşma hesabı yapılamamıştır.

Yüksek öğrenim kredi ve yurtlar kurumu 750 kişilik yurt.

Yüksek Öğrenim Kredi ve Yurtlar Kurumu tarafından Bayburt İli, Merkez İlçesi, Tuzcuzade Mahallesi, 64 pafta, 561 ada, 35 numaralı parselde yapılan yurt binalarına ait arazinin üzerinde ve yapının temeline kadar olan derinlikteki formasyonların yayılımı, litolojik özellikleri, yeraltı su durumu, bölgede aynı birim üzerinde yapıların bulunduğu alanlardaki zeminin davranışı da göz önüne alınarak diğer çevre faktörleriyle birlikte değerlendirme yapılarak hazırlanan mühendislik jeolojisi çalışmaları incelenmiştir.

İnceleme alanı jeomorfolojik olarak engebeli bir yapıya sahip değildir. Topoğrafik eğimlerin büyük bir bölümü % 5-10 aralığında kalmaktadır. Çalışma sahaları üzerinde herhangi bir şev duraylılığı problemi veya eski heyelan bulgusu saptanmamıştır. İnceleme alanı üzerinde yapılaşma bulunmakla beraber yakın çevresinde 3-4 katlı yurt binaları yer almaktadır. Sahada ve bölge genelinde, iklim ve bitki örtüsü açısından karasal iklim kuşağının tipik özellikleri

hakimdir. İnceleme alanında yapı temellerine zarar verecek herhangi bir yer altı suyu varlığı mevcut değildir. Açılan sondajlarda yeraltı suyuna rastlanılmamıştır.



Şekil 99.İnceleme alanının uydu görüntüsü.

Çalışma alanını sınırlayan koordinatlar UTM- 6° Projeksiyonunda ve ED50 Datum’unda, 37 Dilim Orta Meridyeni kullanılarak düzenlenmiştir.

Tablo 68.Yüksek Öğrenim Kredi Yurtlar Kurumu 750 Kişilik Yurdun Sondaj Koordinatları.

<u>Sondaj No</u>	<u>X</u>	<u>Y</u>
SK - 1	4 458 420	601 396
SK - 2	4 458 404	601 405
SK - 3	4 458 380	601 413
SK - 4	4 458 341	601 434
SK - 5	4 458 324	601 442
SK - 6	4 458 302	601 448
SK - 7	4 458 262	601 460
SK - 8	4 458 262	601 468
SK - 9	4 458 223	601 476
SK- 10	4 458 177	601 464
SK- 11	4 458 182	601 484
SK- 12	4 458 154	601 479

Tablo 69. Zemin Profili.

Sondaj Kuyusu	Kuyuda Yer Alan Litoloji Tanımı
SK – 1	0.00 m – 0.50 m arası nebati toprak, 0.50 m – 9. 00 m arası CH grimsi- kahve renkli, yüksek plastisiteli, inorganik kil, 9.00 m – 12.50 m arası kahve renkli, yer yer karbonatlaşmış kilaşı karışımı malzeme geçilmiştir.
SK – 2	0.00 m – 0.50 m arası nebati toprak, 0.50 m – 9. 00 m arası CH grimsi- kahve renkli, yüksek plastisiteli, inorganik kil, 9.00 m – 12.50 m arası kahve renkli, yer yer karbonatlaşmış kilaşı karışımı malzeme geçilmiştir.
SK – 3	0.00 m – 0.50 m arası nebati toprak, 0.50 m – 9. 00 m arası CH grimsi- kahve renkli, yüksek plastisiteli, inorganik kil, 9.00 m – 12.00 m arası kahve renkli, yer yer karbonatlaşmış kilaşı karışımı malzeme geçilmiştir.
SK – 4	0.00 m – 0.50 m arası nebati toprak, 0.50 m – 7.50 m arası CH grimsi- kahve renkli, yüksek plastisiteli, inorganik kil, 7.50 m – 12.00 m arası kahve renkli, yer yer karbonatlaşmış kilaşı karışımı malzeme geçilmiştir.
SK – 5	0.00 m – 0.50 m arası nebati toprak, 0.50 m – 7.50 m arası CH grimsi- kahve renkli, yüksek plastisiteli, inorganik kil, 7.50 m – 12.00 m arası kahve renkli, yer yer karbonatlaşmış kilaşı karışımı malzeme geçilmiştir.
SK – 6	0.00 m – 0.50 m arası nebati toprak, 0.50 m – 9.00 m arası CH grimsi- kahve renkli, yüksek plastisiteli, inorganik kil, 9.00 m – 15.00 m arası kahve renkli, yer yer karbonatlaşmış kilaşı karışımı malzeme geçilmiştir.
SK – 7	0.00 m – 0.50 m arası nebati toprak, 0.50 m – 8.00 m arası CH grimsi- kahve renkli, yüksek plastisiteli, inorganik kil, 8.00 m – 12.00 m arası kahve renkli, yer yer karbonatlaşmış kilaşı karışımı malzeme geçilmiştir.
SK – 8	0.00 m – 0.50 m arası nebati toprak, 0.50 m – 9.00 m arası CH grimsi- kahve renkli, yüksek plastisiteli, inorganik kil, 9.00 m – 12.00 m arası kahve renkli, yer yer karbonatlaşmış kilaşı karışımı malzeme geçilmiştir.
SK – 9	0.00 m – 0.50 m arası nebati toprak, 0.50 m – 9.00 m arası CH grimsi- kahve renkli, yüksek plastisiteli, inorganik kil, 9.00 m – 12.00 m arası kahve renkli, yer yer karbonatlaşmış kilaşı karışımı malzeme geçilmiştir.
SK – 10	0.00 m – 0.50 m arası nebati toprak, 0.50 m – 9.00 m arası CH grimsi- kahve renkli, yüksek plastisiteli, inorganik kil, 9.00 m – 12.00 m arası kahve renkli, yer yer karbonatlaşmış kilaşı karışımı malzeme geçilmiştir.
SK – 11	0.00 m – 0.30 m arası nebati toprak, 0.30 m – 8.00 m arası CH grimsi- kahve renkli, yüksek plastisiteli, inorganik kil, 8.00 m – 12.00 m arası kahve renkli, yer yer karbonatlaşmış kilaşı karışımı malzeme geçilmiştir.
SK – 12	0.00 m – 0.30 m arası nebati toprak, 0.30 m – 8.00 m arası CH grimsi- kahve renkli, yüksek plastisiteli, inorganik kil, 8.00 m – 12.00 m arası kahve renkli, yer yer karbonatlaşmış kilaşı karışımı malzeme geçilmiştir.

İnceleme alanında yapılacak binanın orta noktalarında açılan sondaj kuyularından alınan örselenmemiş numuneler üzerinde elek analizi deneyi yapılarak zemin parametreleri belirlenmiştir.

Tablo 70.Zeminlerin İndeks ve Fiziksel Özellikleri.

Kuyu No	Deney Seviyesi(m)	4 Kalan (%)	200 Geçen (%)	Zemin Sınıfı
SK-1	3	0	98,4	CH
SK-2	5,5	0	99,9	CH
SK-3	3	0	95,4	CH
SK-4	4	0	94,6	CH
SK-5	4,5	0,8	86,7	CH
SK-6	5,5	0,3	92,1	CH
SK-7	3	0	94,7	CH
SK-8	4,5	0	96,7	CH
SK-9	2,5	0	95,3	CH
SK-10	3	0,7	86,3	CH
SK-11	4	0,5	96,3	CH
SK-12	2,5	0	99,9	CH

Tablo 71. Zeminin Atterberg Limit Özellikleri.

Kuyu No	Deney Seviyesi	ATTERBERG LİMİTLERİ		
		LL (%)	PL (%)	PI (%)
SK-1	3	52,3	26,4	25,9
SK-2	5,5	55,3	27,3	28
SK-3	3	53,1	25,9	27,2
SK-4	4	56,4	28,3	28,1
SK-5	4,5	54,1	27,3	26,8
SK-6	5,5	59,7	29,7	30
SK-7	3	51,6	27,1	24,5
SK-8	4,5	50,7	27,4	23,3
SK-9	2,5	50,6	25,4	25,2
SK-10	3	56,4	24,3	32,1
SK-11	4	55,5	26,3	29,2
SK-12	2,5	54,1	25,4	28,7

Tablo 72. Zeminin Su İçeriği ve Birim Hacim Ağırlık Özellikleri.

Kuyu No	Deney Seviyesi (m)	Su İçeriği Wn	Doğal Birim Hacim Ağırlık (γ_n)
SK-1	4	25,6	1,93
SK-6	5,5	30,6	1,92
SK-7	4	25,9	1,93
SK-9	2,5	21,9	1,94
SK-12	2,5	22,6	1,94

Prosilvi programında sıvılaşma hesabında deprem karakteristikleri, analiz yöntemleri ve zemin profil tanımlaması girdi veri olarak kullanılacak çalışma alanına ait bilgiler aşağıda gösterilmiştir. İnceleme alanına ait a_{maks} (g) değeri Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif web uygulamasından 0,229 değeri elde edilmiştir. Her 15 cm'lik penetrasyon aşaması için şahmerdanın darbe sayısı belirlenir. Sert olan zeminlerde art arda üç tane 15 cm'lik ilerleme aşamasından bir tanesinde 50 darbeye 15 cm'lik penetrasyon gerçekleşmezse deney durdurulur ve refü değerine ulaşıldığı şeklinde yorumlanır. Bu bölgede elde edilen sondaj verilerinde yeraltı suyu tespit edilememiş, SPT değerleri refü olarak belirtilmiştir. Dolayısıyla sıvılaşma durumu için SPT verileri tespit edilemediğinden ayrıca su olmayan yerde sıvılaşma meydana gelmeyeceğinden sıvılaşma hesabı yapılamamıştır.

Bayburt belediyesi kapalı otopark.

Bayburt Belediyesi tarafından Bayburt İli, Merkez İlçesi, Şehhayran Mahallesi, 15 ada, 17 ve 20 numaralı parsellerde yapılan kapalı otopark yerinin mühendislik jeolojisi çalışmaları incelenmiştir.



Şekil 100.İnceleme alanının uydu görüntüsü.

Etüt alanı içerisinde jeolojik yapıyı en iyi temsil edecek lokasyonlarda 6 adet sondaj

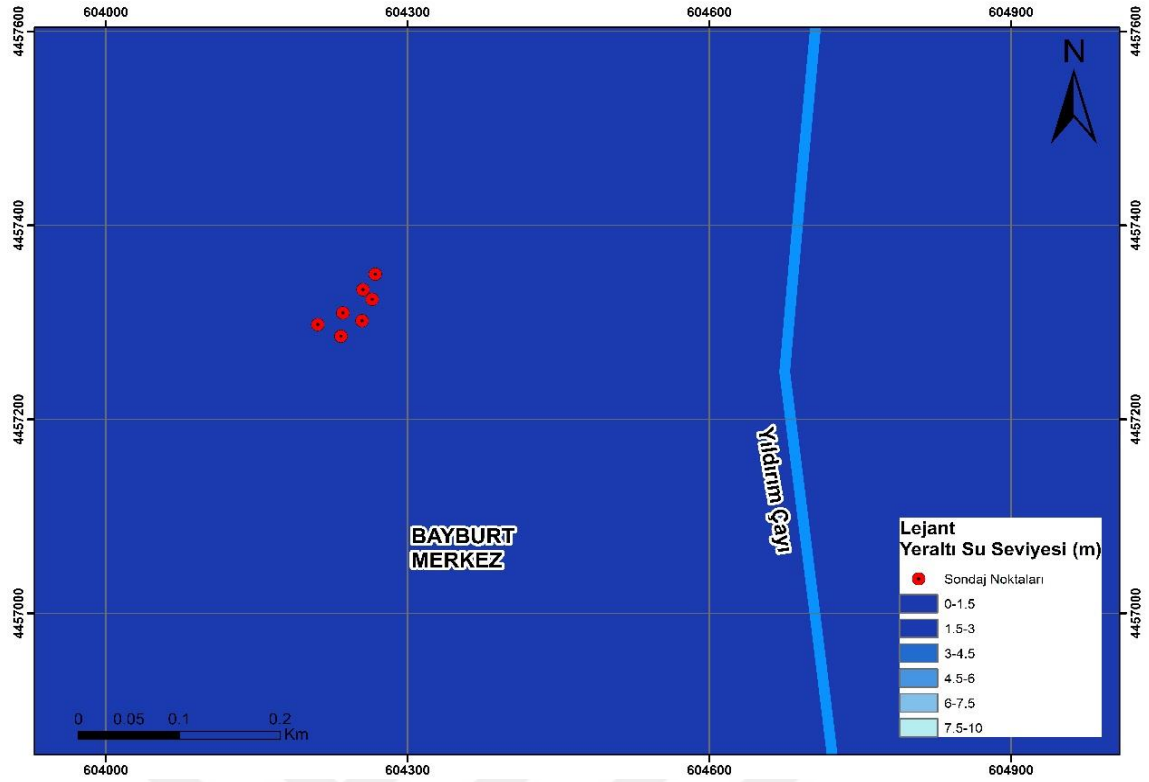
kuyusu açılmıştır. SK-1: 14,00 m- SK-2: 13,00 m, SK-3: 13,00 m, SK-4:13,00 m SK-5: 12,00 m SK-6: 14,00 m SK-7: 15,00 m olan sondaj çalışması, yapılmıştır. Açılan sondaj kuyularında 1.00 m.lik dolgudan sonra kalınlığı 1.00 – 3.00 m olan gri kahve renkli ince orta taneli kil silt kum çakıl karışımı yer yer kil-silt çökel zemin altında 3,00-9,00 m arası kötü derecelenmiş kum çakıl gri siyahımsı renkli yer yer bloklu zemin altında 9.00-15.00 m arası gri bej renkli parçalı kırıklı yer yer ayrılmış andezitik kireçtaşı yer alır.

İnceleme alanımızda 7 adet derinliği 12.00 m ve 15.00 m olan karotlu zemin araştırma sondajları açılmıştır. Açılan sondaj kuyularında 0.90 m dolgudan sonra kalınlığı 1.00 – 3.00 m olan kahve renkli içinde çakıl ihtiva eden düşük plastiseli siltli kil 3.00-9.00m kadar gri renkli kum çakıl bloklu onun altında 9.00-15.00 m arası gri renkli killi kireçtaşı koyu gri renkli ayrılmış yer yer killeşmiş kireçtaşı kalsit damarlı yer alır. Çalışma alanının sondaj kuyularına ait derinlik ve geçilen birimler aşağıda gösterilmiştir.

Çalışma alanını sınırlayan koordinatlar UTM- 6° Projeksiyonunda ve ED50 Datum’unda, 37 Dilim Orta Meridyeni kullanılarak düzenlenmiştir.

Tablo 73. Bayburt Belediyesi Kapalı Otopark Sondaj Koordinatları ve Yeraltı Su Seviyeleri.

<u>Sondaj No</u>	<u>X</u>	<u>Y</u>	<u>YASS</u>
SK - 1	4 459 246	604 321	2.5 m
SK - 2	4 459 246	604 321	2 m
SK - 3	4 459 200	604 309	2.5 m
SK - 4	4 459 169	604 298	2.5 m
SK - 5	4 459 175	604 275	2.5 m
SK - 6	4 459 207	604 287	2 m
SK - 7	4 459 239	604 302	2 m



Şekil 101.Bayburt Belediyesi kapalı otoparka ait çalışma alanı yeraltı su seviyesi haritası.

Tablo 74. Zemin Profili.

Sondaj No:1	Derinlik (M.)	Formasyon
Sk-1	0.00 – 1.00	Dolgu Malzeme
Sk-1	1.00- 3.00	Siltli Kil İnorganik Kil Silt
Sk-1	3,00-9,00	Kötü Derecelenmiş Kum Çakıl
Sk-1	9.00 – 14.00	Killi Kireçtaşı Koyu Gri Renkli Ayrışmış Yer Yer Killeşmiş Kireçtaşı Kalsit Damarlı
Sondaj No:2	Derinlik (M.)	Formasyon
Sk-2	0.00 – 0.90	Dolgu Malzeme
Sk-2	0.90 –3.00	Siltli Kil İnorganik Kil Silt
Sk-2	3.00- 9.00	Kötü Derecelenmiş Kum Çakıl
Sk-2	9.00 – 13.00	Killi Kireçtaşı Koyu Gri Renkli Ayrışmış Yer Yer Killeşmiş Kireçtaşı Kalsit Damarlı

Sondaj No:3	Derinlik (M.)	Formasyon
Sk-3	0.00 – 1.00	Dolgu Malzeme
Sk-3	1.00- 3.50	Siltli Kil İnorganik Kil Silt
Sk-3	3.50 – 8.00	Kötü Derecelenmiş Kum Çakıl Yer Yer Bloklu
Sk-3	8,00-13,00	Killi Kireçtaşı Koyu Gri Renkli Ayrışmış Yer Yer Killeşmiş Kireçtaşı Kalsit Damarlı
Sondaj No:4	Derinlik (M.)	Formasyon
Sk-4	0.00 – 1.00	Dolgu Malzeme
Sk-4	1.00 –2.00	Siltli Kil İnorganik Kil Silt
Sk-4	2.00- 9.00	Kötü Derecelenmiş Kum Çakıl Yer Yer Bloklu
Sk-4	9.00 – 13.00	Killi Kireçtaşı Koyu Gri Renkli Ayrışmış Yer Yer Killeşmiş Kireçtaşı Kalsit Damarlı
Sondaj No:5	Derinlik (M.)	Formasyon
Sk-5	0.00 – 1.00	Dolgu Malzeme
Sk-5	1.00 –2.00	Siltli Kil İnorganik Kil Silt
Sk-5	2.00- 9.00	Kötü Derecelenmiş Kum Çakıl Yer Yer Bloklu
Sk-5	9.00 – 12.00	Killi Kireçtaşı Koyu Gri Renkli Ayrışmış Yer Yer Killeşmiş Kireçtaşı Kalsit Damarlı
Sondaj No:6	Derinlik (M.)	Formasyon
Sk-6	0.00 – 1.00	Dolgu Malzeme
Sk-6	1.00- 4.00	Siltli Kil İnorganik Kil Silt
Sk-6	4.00- 9.00	Kötü Derecelenmiş Kil- Silt Kum Çakıl Yer Yer Bloklu
Sk-6	9.00 – 14.00	Killi Kireçtaşı Koyu Gri Renkli Ayrışmış Yer Yer Killeşmiş Kireçtaşı Kalsit Damarlı
Sondaj No:7	Derinlik (M.)	Formasyon
Sk-7	0.00 – 1.00	Dolgu Malzeme
Sk-7	1.00 – 10.50	Kötü Derecelenmiş Kum Çakıl Yer Yer Bloklu
Sk-7	10,50-15,00	Killi Kireçtaşı Koyu Gri Renkli Ayrışmış Yer Yer Killeşmiş Kireçtaşı Kalsit Damarlı

Tablo 75. Zeminin Elek Analiz Deney Sonuçları ve Atterberg Limit Özellikleri.

Sondaj No	Derinlik (m)	Su İçeriği (%)	Doğal Yoğunluk (g/cm3)	Elek Analizi		Atterberg Limitleri			ZEMİN SINIFI
				No:10 Kalan (%)	No: 200 Geçen (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)	
SK-1	1.50	10.4	1.75	48.7	24.1	32.1	19.6	12.5	SW-SM
SK-1	4.50	5.5		35.7	8.9		NP		SW-SM
SK-2	1.50	20.0	1.75	31.1	19.6	29.5	19.6	9.9	GW-GM
SK-2	3.00	15.2		51.8	8.8		NP		GW-GM
SK-2	4.50	7.0		44.7	18.6		NP		GW-GM
SK-3	1.50	0.5	1.75	10.3	20.7	28.5	17.3	11.2	GW-GM
SK-4	1.50	36.0	1.75	8.5	49.2	42.3	28.7	13.6	GW-GM
SK-4	2,50-	30.9		7.6	25.7	37.1	25.6	11.5	GW-GM
SK-4	3.00	9.3		37.2	16.6		NP		GW-GM
SK-5	1.50	33.1	1.75	31.1	13.7		NP		SW-SM
SK-5	4.50	14.1		39.6	10.1		NP		SW-SM
SK-6	3.00	18.1	1.75	19.1	19.3	29.7	22.1	7.6	GW-GM
SK-6	4.50	2.2		64.9	10.4		NP		GW-GM
SK-7	3.00	7.0	1.75	53.7	6.0		NP		GW-GM
SK-7	4.50	7.8		44.6	11.8		NP		GW-GM

Prosilıvı programında sıvılaşma hesabında deprem büyüklüğü 5.5-6-6.5-7-7.5 olarak 5 farklı senaryoda ele alınmıştır. İnceleme alanına ait a_{maks} (g) değeri Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif web uygulamasından 0,231 değeri elde edilmiştir.

Tablo 76. Sıvılaşma hesabı sondaj girdi verileri.

Sondaj Kuyu No	SK-3	SK-4
İnceleme Derinliği	3 m	
a_{maks} (g)	0,231	
Su Seviyesi	2.5 m	
Kuyu Derinliği	13 m	
Arazi Deney Tipi	SPT	
SPT Hesap Yöntemi	Seed-Idriss	
Şahmerdan Tipi	Donut hammer	
Kuyu Çapı	65 mm -115 mm	
Tij Boyu	1.5 m	
Numune Alma Metodu	Standart Numune alıcı	
Zemin Cinsi	ML	GP

Tablo 77. *İnceleme Alanı Sıvılaşma Analizi İçin Arazi Ve Laboratuvar Deneyleri Girdi Verileri.*

Sondaj No	YASS(m)	SPT- N	$\gamma(\text{kN/m}^3)$	İTO(%)	D50(mm)
SK-3	2,5	32	17,5	20,1	0,7
SK-4	2,5	49	17,5	17,6	1,1

Elde edilen veriler PROSıvı (Babuçu, 2002) programına aktarılarak farklı deprem senaryolarına göre sıvılaşma analiz sonuç tabloları hazırlanmıştır.

Tablo 78. *İnceleme Alanında Büyüklüğü 5,5 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları.*

Sondaj No	(N1)60	Top. Ger. (kPa)	Eff.Ger. (kPa)	rd	DG(kPa)	DGO	DD (kPa)	DDO	EF	Oturma(cm)	Zemin Durumu
SK-3	32,2	51	46,1	0,979	7,5	0,163	9	0,432	2,65	0	Sıvılaşma Yoktur.
SK-4	46	51	46,1	0,979	7,5	0,163	9	0,432	2,65	0	Sıvılaşma Yoktur.

Tablo 79. *İnceleme alanında büyüklüğü 6 olan deprem senaryosuna göre sıvılaşma analiz sonuçları*

Sondaj No	(N1)60	Top. Ger. (kPa)	Eff.Ger. (kPa)	rd	DG(kPa)	DGO	DD (kPa)	DDO	EF	Oturma(cm)	Zemin Durumu
SK-3	32,2	51	46,1	0,979	7,5	0,163	9	0,346	2,12	0	Sıvılaşma Yoktur.
SK-4	46	51	46,1	0,979	7,5	0,163	9	0,346	2,12	0	Sıvılaşma Yoktur.

Tablo 80. *İnceleme Alanında Büyüklüğü 6,5 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları.*

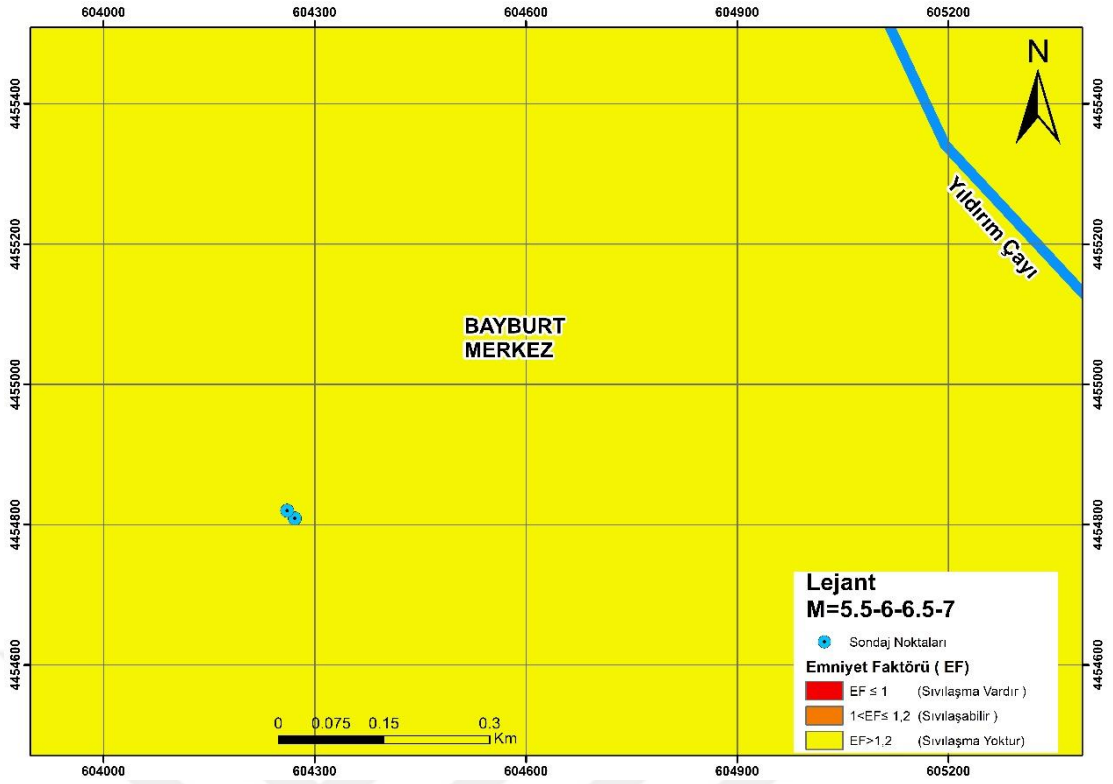
Sondaj No	(N1)60	Top. Ger. (kPa)	Eff.Ger. (kPa)	rd	DG(kPa)	DGO	DD (kPa)	DDO	EF	Oturma (cm)	Zemin Durumu
SK-3	32,2	51	46,1	0,979	7,5	0,163	9	0,282	1,73	0	Sıvılaşma Yoktur.
SK-4	46	51	46,1	0,979	7,5	0,163	9	0,282	1,73	0	Sıvılaşma Yoktur.

Tablo 81. *İnceleme Alanında Büyüklüğü 7 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları.*

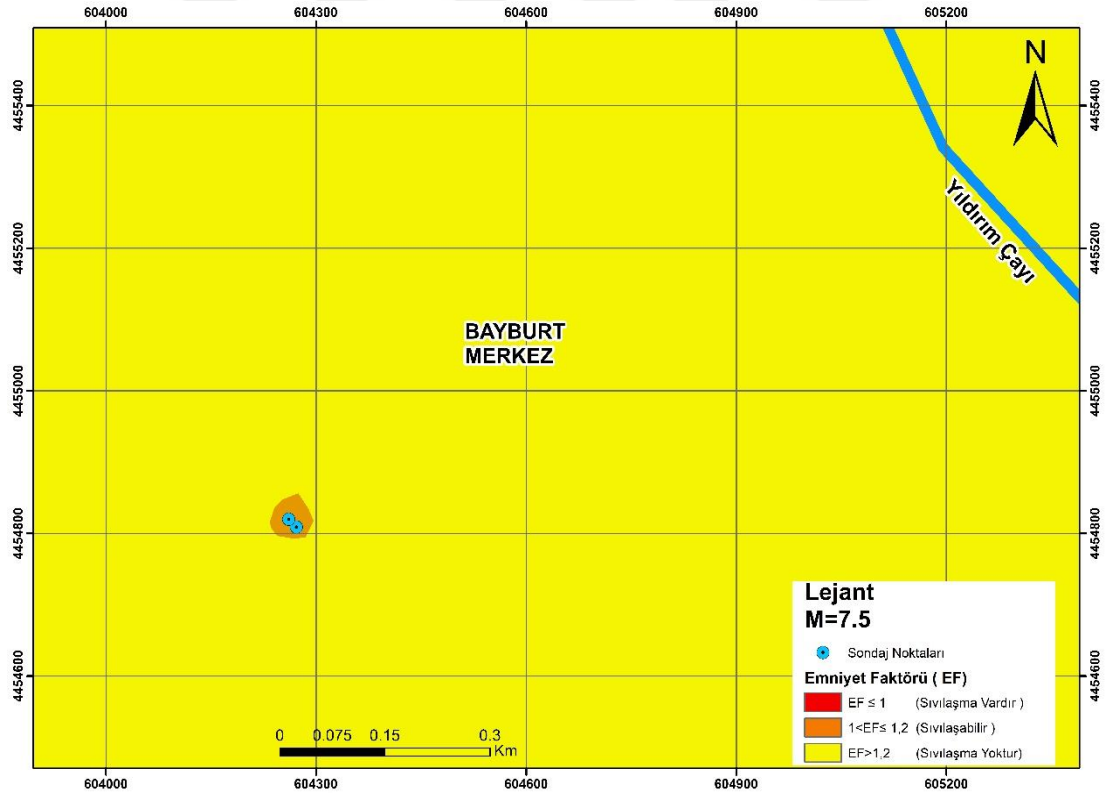
Sondaj No	(N1)60	Top. Ger. (kPa)	Eff.Ger. (kPa)	rd	DG(kPa)	DGO	DD (kPa)	DDO	EF	Oturma (cm)	Zemin Durumu
SK-3	32,2	51	46,1	0,979	7,5	0,163	9	0,233	1,43	0	Sıvılaşma Yoktur.
SK-4	46	51	46,1	0,979	7,5	0,163	9	0,233	1,43	0	Sıvılaşma Yoktur.

Tablo 82. *İnceleme alanında büyüklüğü 7,5 olan deprem senaryosuna göre sıvılaşma analiz sonuçları.*

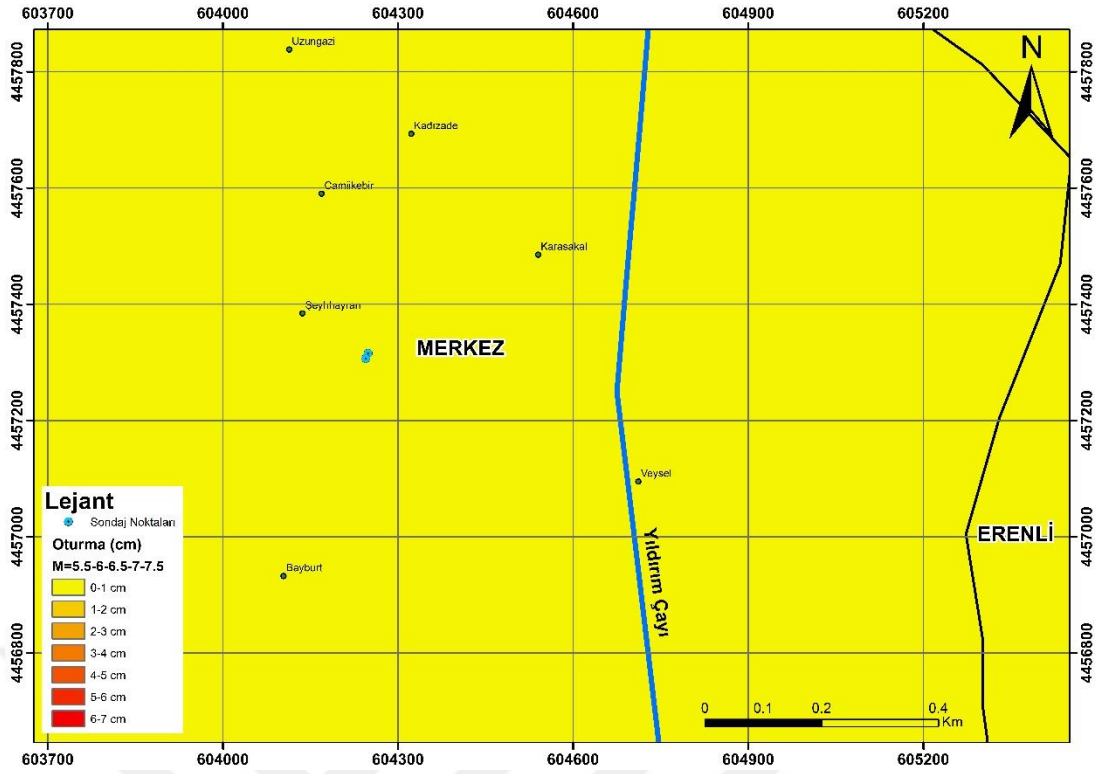
Sondaj No	(N1)60	Top. Ger. (kPa)	Eff.Ger. (kPa)	rd	DG(kPa)	DGO	DD (kPa)	DDO	EF	Oturma(cm)	Zemin Durumu
SK-3	32,2	51	46,1	0,979	7,5	0,163	9	0,195	1,2	0	Sıvılaşabilir.
SK-4	46	51	46,1	0,979	7,5	0,163	9	0,195	1,2	0	Sıvılaşabilir.



Şekil 102. Bayburt Belediyesi kapalı otoparka ait büyüklüğü 5,5-6,0-6,5-7,0 olan deprem senaryosunun sıvılaşma potansiyeli haritası.



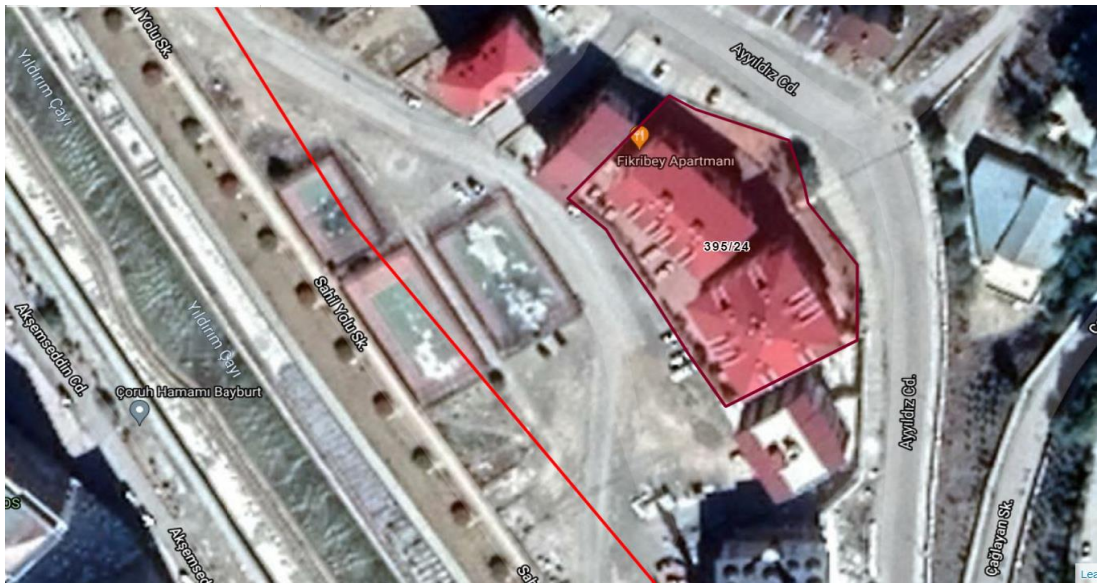
Şekil 103. Bayburt Belediyesi kapalı otoparka ait büyüklüğü 7,5 olan deprem senaryosunun sıvılaşma potansiyeli haritası.



Şekil 104. Bayburt Belediyesi kapalı otoparka ait büyüklüğü 5,5-6-6,5-7,0-7,5 olan deprem senaryosunun oturma potansiyeli haritası.

Zahit mahallesiküçükbük mevkii 395 ada 19 parsel.

Bayburt ili Zahit Mahallesi Küçükbük mevkii 19 Pafta 395 Ada 24 parselde yapılması planlanan konutların statik projelerine esas teşkil etmek amacıyla belirlenen lokasyonlarda iki adet zemin sondajı yapılmıştır. Parsel 2933, 49 m²'den oluşmaktadır. İnceleme alanı Bayburt Merkez ilçesi sınırında olup ulaşım her mevsim sağlanabilmektedir. İnceleme alanına ait uydu görüntüsü aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 105.İnceleme alanının uydu görüntüsü.

İnceleme alanı ve çevresinde karasal iklim hâkimdir. Kışın soğuk ve yağışlı yazları ise kurak ve sıcaktır. Alanda yapılan gözlemler ve incelemeler sonucunda %0-10 eğimli morfolojiye sahip bir alan olduğu belirlenmiştir. İnceleme alanında şev duraylılık problemi bulunmamaktadır. İnceleme alanı yapılaşmadan önce tarım arazisi olarak kullanılmıştır. İnceleme alanında doğal drenaj sistemi bulunmamaktadır. İnceleme alanının çevresinde yapılaşma mevcuttur. Etüt alanı içerisinde jeolojik yapıyı en iyi temsil edecek lokasyonlarda iki adet sondaj kuyusu açılmıştır. SK-1: 11,00 m ve SK-2: 11,00 m olan sondaj çalışması yapılmıştır. Araziyi tam olarak yansıtmak amacıyla yapılan çalışmalar aşağıda detaylı olarak sunulmuştur.

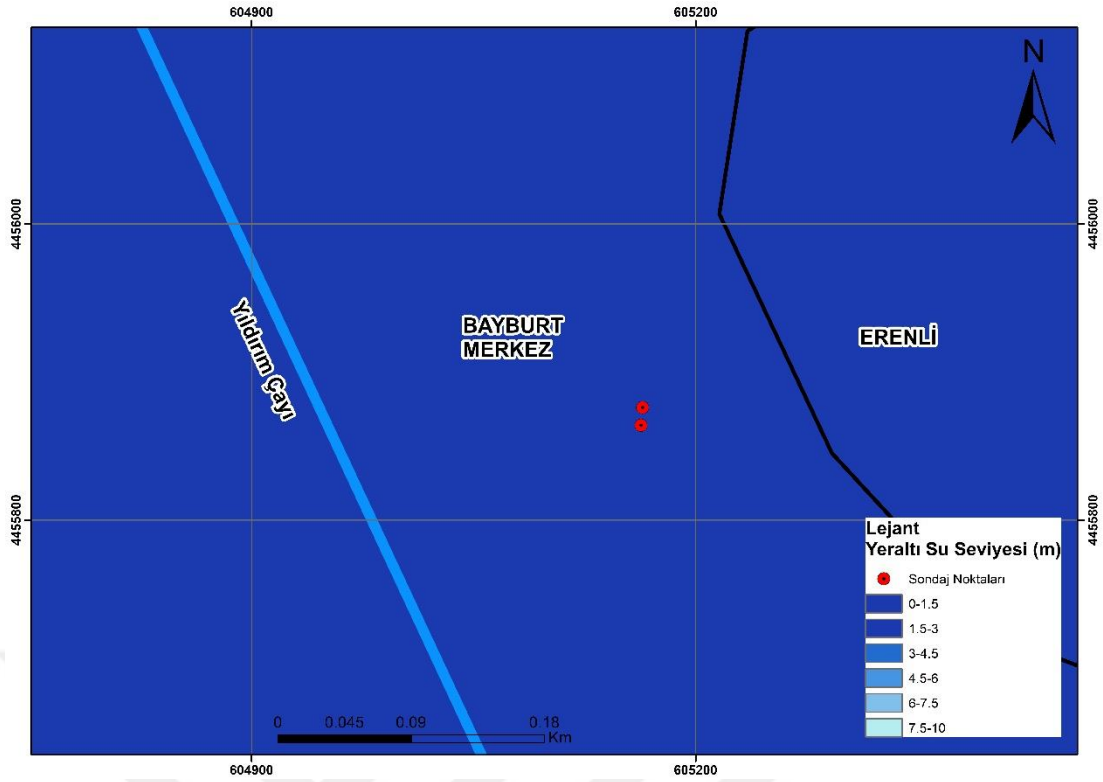
Çalışma alanını sınırlayan koordinatlar UTM- 6° Projeksiyonunda ve ED50 Datum'unda, 37 Dilim Orta Meridyeni kullanılarak düzenlenmiştir.

Tablo 83. Zahit Mahallesi Küçükbüyük Mevkii 395 Ada 24 Parsel Sondaj Koordinatları ve Yeraltı Su Seviyesi

<u>Sondaj No</u>	<u>X</u>	<u>Y</u>	<u>YASS</u>
SK - 1	4 455 876	605 164	2,5 m
SK - 2	4 455 864	605 163	2,5 m

Tablo 84. Zemin Profili.

Sondaj Kuyusu	Kuyuda Yer Alan Litoloji Tanımı
SK – 1	0.00 m – 0.50 m arası dolgu ve nebati toprak,
	0.50 m – 2.10 m arası kahve renkli, çakıllı- killi kumlar,
	2.10 m – 7.40 m arası kahve renkli, kötü derecelenmiş kumlu- siltli çakıllar ve
	7.40 m- 11.00 m arası koyu gri renkli ayrılmış yer yer killeşmiş killi kireç taşları malzeme geçilmiştir.
SK – 2	0.00 m – 0.50 m arası dolgu ve nebati toprak,
	0.50 m – 2. 00 m arası kahve renkli, kumlu- siltli çakıllar,
	2.00 m – 4. 10 m arası kahve renkli, çakıllı-siltli kumlar,
	4.10 m – 7.60 m arası kahve renkli kötü derecelenmiş kumlu siltli çakıllar, 7.60 m – 11.00 m arası koyu gri renkl ayrılmış yer yer killeşmiş killi kireç taşları malzeme geçilmiştir.



Şekil 106. Zahit mahallesi küçükbük mevkii 395 ada 19 parselde ait yeraltı su seviyesi haritası.

Açılan sondajlarda yeraltı suyuna 2.50 m’de rastlanılmıştır. Çalışma alanının 100 m güneyinde Çoruh nehri bulunmaktadır. Çoruh nehri yaz ve kış aylarında sürekli akış halinde olup beslenme alanı geniştir.

İnceleme alanında sondaj çalışmaları sırasında alınan örselenmiş ve örselenmemiş zemin örnekleri alınmıştır. Laboratuvar deneyleri kapsamında elek analizleri, doğal yoğunluk, su muhtevası tayini arazi deneyleri kapsamında ise SPT deneyi yapılmıştır. Elde edilen veriler aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 85. İnceleme Alanı Su Oranı ve Birim Hacim Ağırlığı Tayini.

Sondaj Kuyusu	Derinlik (m)	Su Muhtevası (%)	Doğal Birim Hacim Ağırlığı (gr/ cm ²)
SK – 1	1.50 – 1.95	15.2	1.86
SK – 1	3.00- 3.45	10.1	1.86
SK – 2	1.50 – 1.95	7.2	1.86
SK – 2	3.00- 3.45	11.3	1.86

Tablo 86. *İnceleme Alanı Elek Analizi Değerleri.*

Sondaj Kuyusu	Derinlik (m)	No:4 Kalan (%)	No: 200 Geçen (%)
SK – 1	1.50 – 1.95	7.2	34.5
SK – 1	3.00- 3.45	38.9	28.7
SK – 2	1.50 – 1.95	44.2	22.5
SK – 2	3.00- 3.45	32.9	31.5

Tablo 87. *İnceleme Alanı Kıvam Limitleri.*

Sondaj Kuyusu	Derinlik (m)	LL(%)	PL(%)	PI(%)	Zemin Sınıfı
SK – 1	1.50 – 1.95	37.8	20.6	17.2	SC
SK – 1	3.00- 3.45	-	NP	-	GM
SK – 2	1.50 – 1.95	-	NP	-	GM
SK – 2	3.00- 3.45	-	NP	-	SM

Prosilvı programında sıvılaşma hesabında deprem karakteristikleri, analiz yöntemleri ve zemin profil tanımlaması girdi veri olarak kullanılacak çalışma alanına ait bilgiler aşağıda gösterilmiştir. Deprem büyüklüğü 5.5-6-6.5-7-7.5 olarak 5 farklı senaryoda ele alınmıştır. İnceleme alanına ait a_{maks} (g) değeri Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif web uygulamasından 0,233 değeri elde edilmiştir.

Tablo 88. *Sıvılaşma Hesabı Sondaj Girdi Verileri.*

Sondaj Kuyu No	SK-1	SK-2
İnceleme Derinliği	3,5 m	
a_{maks} (g)	0,233	
Su Seviyesi	2.5 m	
Kuyu Derinliği	11 m	
Arazi Deney Tipi	SPT	
SPT Hesap Yöntemi	Seed-Idriss	
Şahmerdan Tipi	Donut Hummer	
Kuyu Çapı	65 mm -115 mm	
Tij Boyu	1.5 m	
Numune Alma Metodu	Standart Numune alıcı	
Zemin Cinsi	GM	SM

Tablo 89. *İnceleme Alanı Sıvılaşma Analizi İçin Arazi ve Laboratuvar Deneyleri Girdi Verileri.*

Sondaj No	YASS(m)	SPT- N	$\gamma(\text{kN/m}^3)$	İTO(%)	D50(mm)
SK-1	2,5	9	18,6	28,75	0,6
SK-2	2,5	9	18,6	30,3	0,45

Elde edilen veriler PROSIVI (Babuçcu, 2002) programına aktarılarak farklı deprem senaryolarına göre sıvılaşma analiz sonuç tabloları hazırlanmıştır.

Tablo 90. *İnceleme Alanında Büyüklüğü 5,5 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları.*

Sondaj No	(N1)60	Top. Ger. (kPa)	Eff.Ger. (kPa)	rd	DG(kPa)	DGO	DD (kPa)	DDO	EF	Oturma(cm)	Zemin Durumu
SK-1	13,2	54	44,19	0,979	8,01	0,181	6,31	0,316	1,74	2,15	Sıvılaşma Yoktur.
SK-2	13,5	54	44,19	0,979	8,01	0,181	6,42	0,321	1,77	2,15	Sıvılaşma Yoktur.

Tablo 91. *İnceleme alanında büyüklüğü 6 olan deprem senaryosuna göre sıvılaşma analiz sonuçları.*

Sondaj No	(N1)60	Top. Ger. (kPa)	Eff.Ger. (kPa)	rd	DG(kPa)	DGO	DD (kPa)	DDO	EF	Oturma(cm)	Zemin Durumu
SK-1	13,2	54	44,19	0,979	8,01	0,181	6,31	0,253	1,39	2,15	Sıvılaşma Yoktur.
SK-2	13,5	54	44,19	0,979	8,01	0,181	6,42	0,257	1,42	2,15	Sıvılaşma Yoktur.

Tablo 92. *İnceleme Alanında Büyüklüğü 6,5 Olan deprem senaryosuna göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları.*

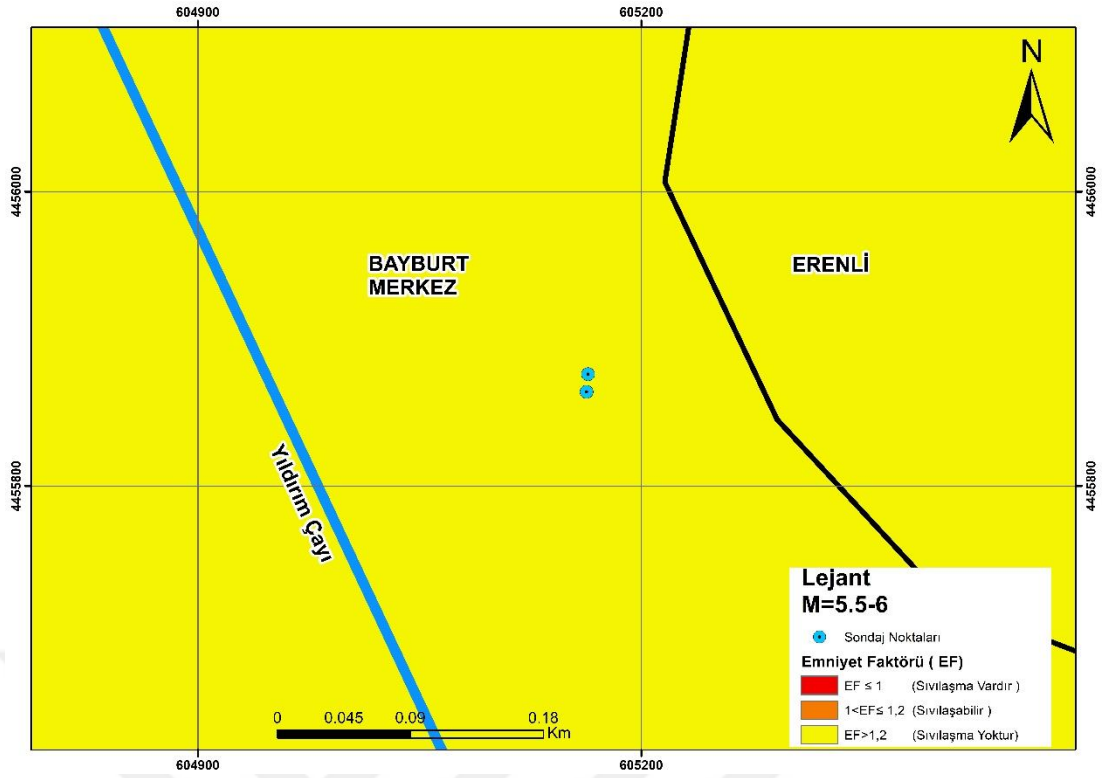
Sondaj No	(N1)60	Top. Ger. (kPa)	Eff.Ger. (kPa)	rd	DG(kPa)	DGO	DD (kPa)	DDO	EF	Oturma(cm)	Zemin Durumu
SK-1	13,2	54	44,19	0,979	8,01	0,181	6,31	0,206	1,14	2,15	Sıvılaşabilir.
SK-2	13,5	54	44,19	0,979	8,01	0,181	6,42	0,21	1,16	2,15	Sıvılaşabilir.

Tablo 93. *İnceleme Alanında Büyüklüğü 7 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları.*

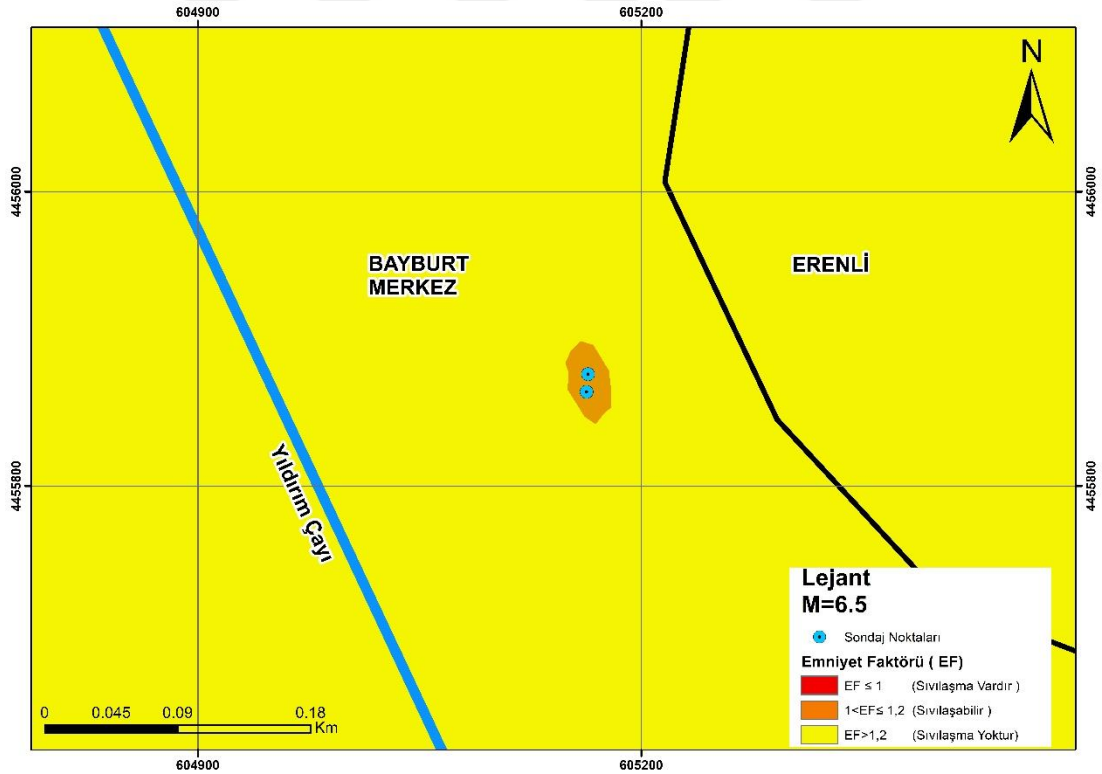
Sondaj No	(N1)60	Top. Ger. (kPa)	Eff.Ger. (kPa)	rd	DG(kPa)	DGO	DD (kPa)	DDO	EF	Oturma(cm)	Zemin Durumu
SK-1	13,2	54	44,19	0,979	8,01	0,181	6,31	0,17	0,94	2,15	Sıvılaşır.
SK-2	13,5	54	44,19	0,979	8,01	0,181	6,42	0,173	0,96	2,15	Sıvılaşır.

Tablo 94. *İnceleme Alanında Büyüklüğü 7,5 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları.*

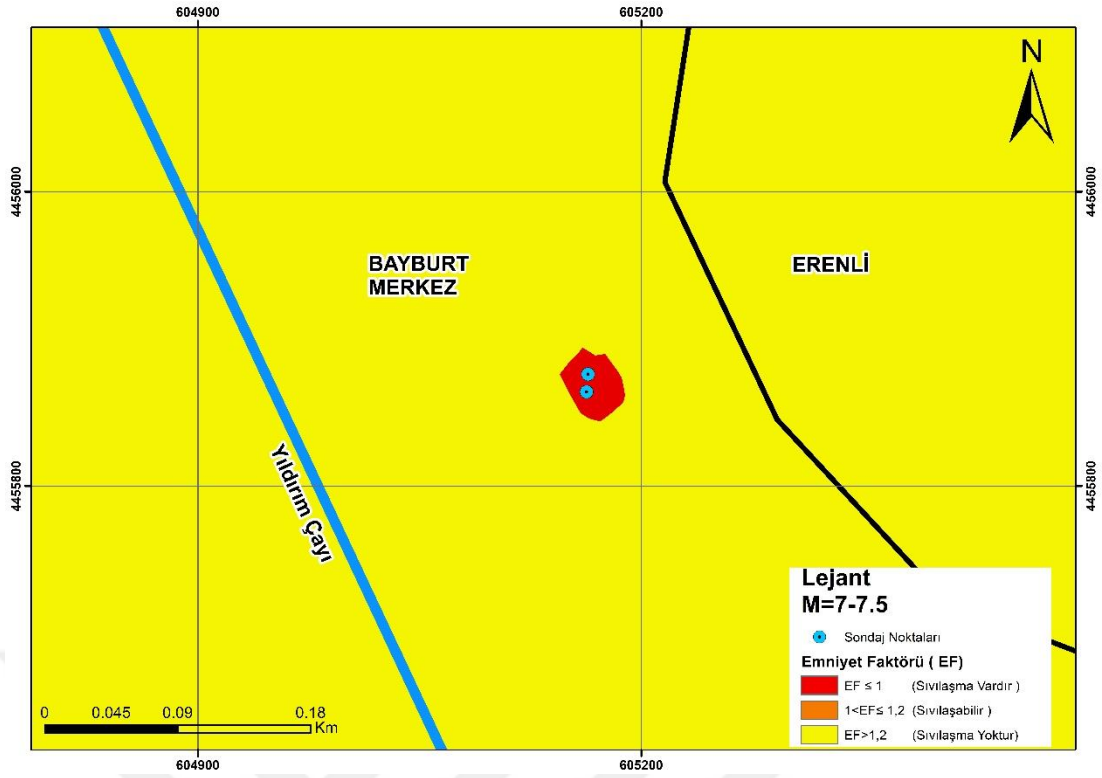
Sondaj No	(N1)60	Top. Ger. (kPa)	Eff.Ger. (kPa)	rd	DG(kPa)	DGO	DD (kPa)	DDO	EF	Oturma(cm)	Zemin Durumu
SK-1	13,2	54	44,19	0,979	8,01	0,181	6,31	0,143	0,79	2,15	Sıvılaşır.
SK-2	13,5	54	44,19	0,979	8,01	0,181	6,42	0,145	0,8	2,15	Sıvılaşır.



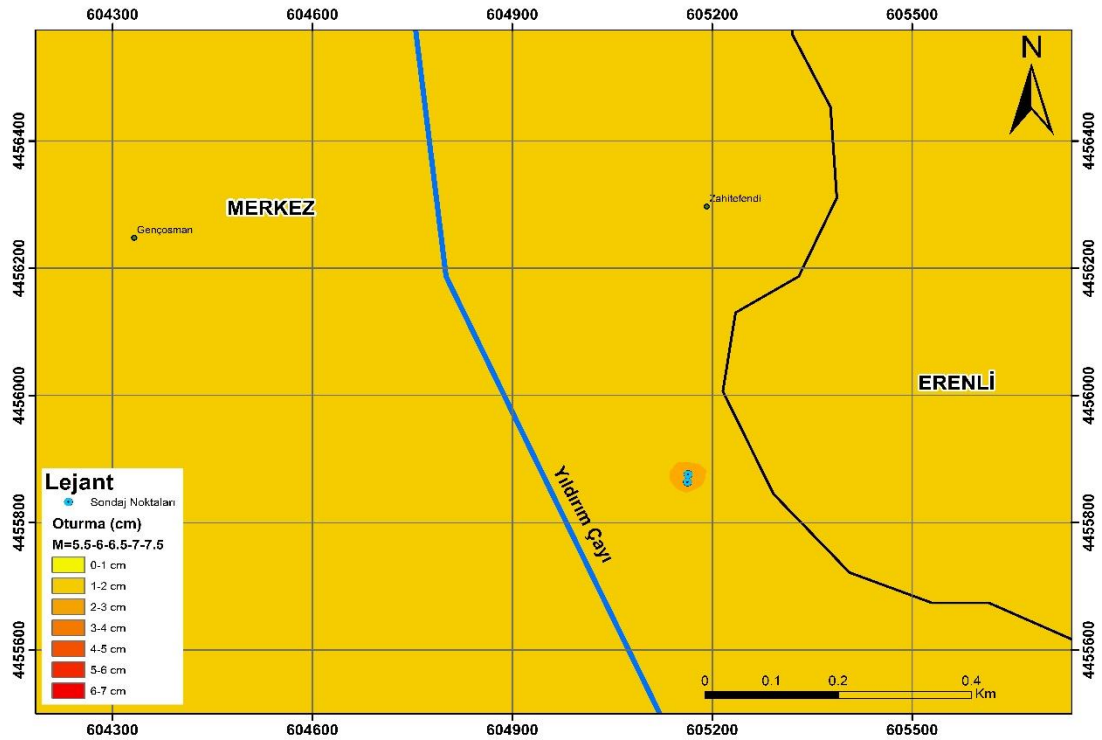
Şekil 107. Zahit mahallesi küçükbük mevki 395 ada 19 parsel için büyüklüğü 5,5-6 olan deprem senaryosunun sıvılaşma potansiyeli haritası.



Şekil 108. Zahit mahallesi küçükbük mevki 395 ada 19 parsel için Büyüklüğü 6,5 olan deprem senaryosunun sıvılaşma potansiyeli haritası.



Şekil 109. Zahit mahallesi küçükbük mevki 395 ada 19 parseli ait Büyüklüğü 7,5 olan deprem senaryosunun sıvılaşma potansiyeli haritası.



Şekil 110. Zahit mahallesi küçükbük mevki 395 ada 19 parseli ait büyüklüğü 5,5-6-6,5-7,0-7,5 olan deprem senaryosunun oturma potansiyeli haritası.

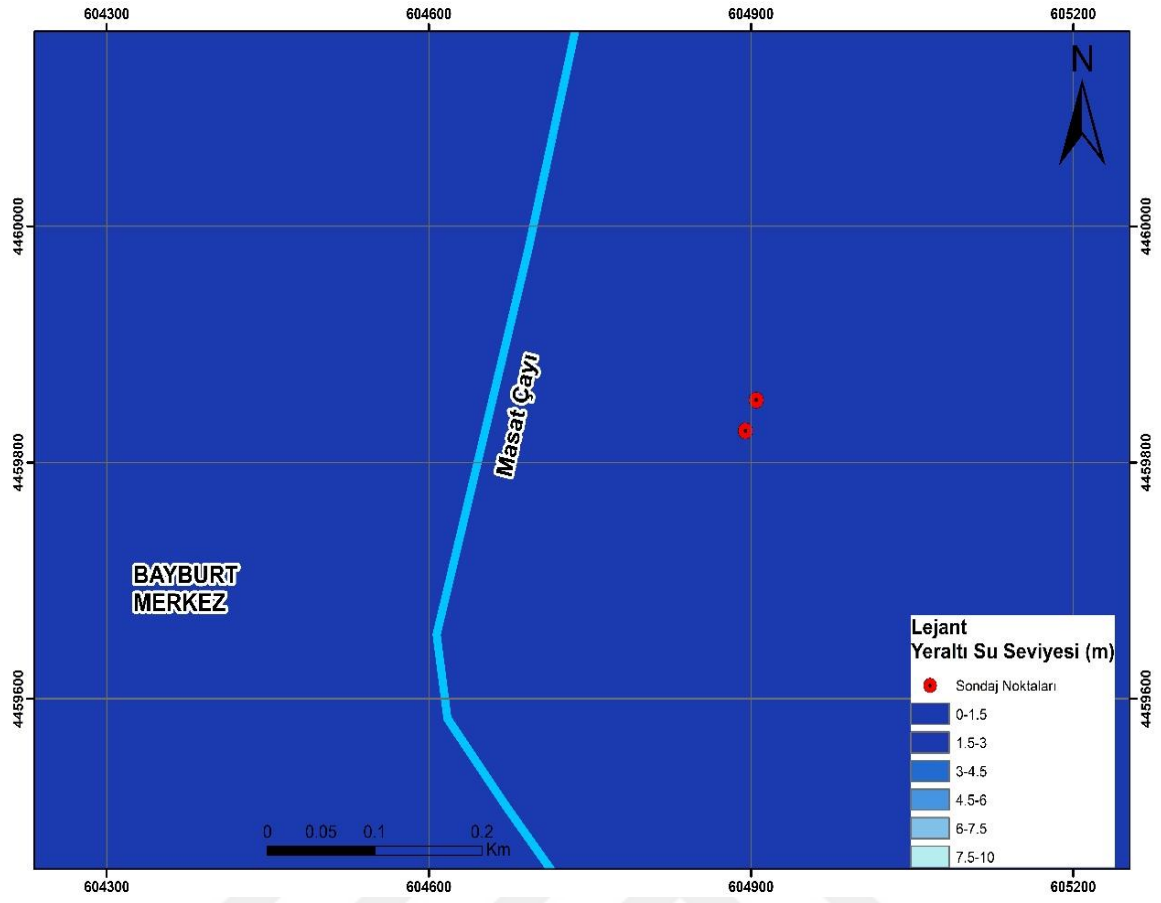
Kaleardı yurt binası.

İnceleme alanı Bayburt İli, Merkez İlçesi, Kaleardı Mahallesiinde 434 ada, 5 nolu parsel taşınmaz üzerinde yer almakta olup 975m² lik alanı kapsamaktadır. Etüt sahası ve çevresinde jeolojik incelemeler yapılarak arazinin zemin şartları belirlenmiştir. Arazinin üzerinde ve yapının temeline kadar olan derinlikteki formasyonların yayılımı, litolojik özellikleri, yeraltı su durumu, bölgede aynı birim üzerinde yapıların bulunduğu alanlardaki zeminin davranışı da göz önüne alınarak diğer çevre faktörleriyle birlikte değerlendirme yapılarak sondajlı jeolojik etüt raporu hazırlanmıştır. İnceleme alanı jeomorfolojik olarak engebeli bir yapıya sahip değildir. Topoğrafik eğim % 0-5 aralığında kalmaktadır. Çalışma sahaları üzerinde herhangi bir şev duraylılığı problemi veya eski heyelan bulgusu saptanmamıştır. Sahada zemini oluşturan birimin jeolojik özelliklerini belirlemek, zemini tanımak ve yeraltı su durumunu irdelemek için sondaj çalışmalarından ve araştırma çukurlarından alınan numuneler üzerinde deney yapılmıştır. İnceleme alanımızda 2 adet derinliği 13.00m olan karotlu zemin araştırma sondajları açılmıştır.

Çalışma alanını sınırlayan koordinatlar UTM- 6° Projeksiyonunda ve ED50 Datum'unda, 37 Dilim Orta Meridyeni kullanılarak düzenlenmiştir.

Tablo 95. Kaleardı Mahallesi Yurt Binası Sondaj Koordinatları ve Yeraltı Su Seviyesi.

<u>Sondaj No</u>	<u>X</u>	<u>Y</u>	<u>YASS</u>
SK - 1	4 461 909,24	604 967,467	2,5 m
SK - 2	4 461 844,383	604 677,246	2,5 m



Şekil 111. Kaleardı yurt binasına ait yeraltı su seviyesi haritası



Şekil 112.İnceleme alanının uydu görüntüsü.

Tablo 96. Zemin Profili.

SondajNo	Derinlik (m.)	Formasyon
SK-1	0.00 – 0.50	Dolgu Malzeme
SK-1	0.50-4.50	Alüvyon Siltli kum
SK-1	4.50-9.00	Kum-Çakıl Bloklı Alüvyon Malzeme
SK-1	9.00 – 13.50	Killi Kireçtaşı dasitik tüf koyu gri renkli ayrıışmış yer yer killeşmiş kireçtaşı kalsit damarlı

SondajNo	Derinlik (m.)	Formasyon
SK-2	0.00 –0.60	Dolgu malzeme
SK-2	0.60 –4.00	Alüvyon Siltli kum
SK-2	4.00-7.50	Kum-Çakıl Bloklı Alüvyon Malzeme
SK-2	7.50 – 13.00	KilliKireçtaşı koyu gri renkli ayrıışmış yer yer killeşmiş kireçtaşı kalsit damarlı

Açılan sondajlarda yeraltı suyuna 2.50 m rastlanılmıştır. Çalışma alanının 100 m Güney batısından Çoruh Nehri bulunmaktadır. Çoruh Nehri yaz ve kış aylarında sürekli akış halinde olup beslenme alanıgeniştir.

İnceleme alanında yapılacak binanın orta noktalarında açılan sondaj kuyularından alınan Örselenmiş ve örselenmemiş numuneler üzerinde elek analizi deneyi yapılarak zemin parametreleri belirlenmiştir.

Tablo 97. Su İçeriği Ve Doğal Yoğunluk Deney Değerleri.

Kuyu No	Numune No	Derinlik (m)	Su İçeriği (%)	Doğal Yoğunluk (gr/cm³)
SK-1	SPT-1	1.50	13	1,84
SK-1	UD	2.50	13,5	1,84
SK-2	SPT-1	1,50	20,3	1,88
SK-2	UD	2.50	26,9	1,88

Tablo 98. *Labaratuvar Deney Verileri.*

Kuyu No	Derinlik (m)	Elek Analizi		Atterberg Limitleri			Zemin Sınıfı
		4nolu elekten kalan (%)	200nolu elekten geçen (%)	LL(%)	PL(%)	PI (%)	
SK-1	2,5	16,6	64,6	38,1	21,3	16,8	CL
SK-2	2,5	1,1	91,5	46,6	22,2	24,4	CL

Prosimi programında sıvılaşma hesabında deprem büyüklüğü 5.5-6-6.5-7-7.5 olarak 5 farklı senaryoda ele alınmıştır. İnceleme alanına ait a_{maks} (g) değeri Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif web uygulamasından 0,230 değeri elde edilip Ek-5 de sunulmuştur.

Tablo 99. *Sıvılaşma Hesabı Sondaj Girdi Verileri.*

Sondaj Kuyu No	SK-2
İnceleme Derinliği	3 m
a_{maks} (g)	0,23
Su Seviyesi	2,5 m
Kuyu Derinliği	13m
Arazi Deney Tipi	SPT
SPT Hesap Yöntemi	Seed-Idriss
Şahmerdan Tipi	Donut Hummer
Kuyu Çapı	65 mm -115 mm
Tij Boyu	1.5 m
Numune Alma Metodu	Standart Numune alıcı
Zemin Cinsi	SM

Tablo 100. *İnceleme alanı sıvılaşma analizi için arazi ve laboratuvar deneyleri girdi verileri.*

Sondaj No	YASS(m)	SPT- N	$\gamma(kN/m^3)$	İTO(%)	D50(mm)
SK-2	2,5	29	18,8	94,7	0,007

Elde edilen veriler PROsıvı (Babuşcu, 2002) programına aktarılarak farklı deprem senaryolarına göre sivilaşma analiz sonuç tabloları hazırlanmıştır.

Tablo 101. *İnceleme alanında büyüklüğü 5,5 olan deprem senaryosuna göre sivilaşma analiz sonuçları.*

Sondaj No	(N1)60	Top. Ger. (kPa)	Eff. Ger. (kPa)	rd	DG(kPa)	DGO	DD (kPa)	DDO	EF	Oturma(cm)	Zemin Durumu
SK-2	34,4	54	44,19	0,979	7,91	0,179	9,49	0,475	2,65	0	Sivilaşma Yoktur.

Tablo 102. *İnceleme Alanında Büyüklüğü 6 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sivilaşma Analiz Sonuçları.*

Sondaj No	(N1)60	Top. Ger. (kPa)	Eff. Ger. (kPa)	rd	DG(kPa)	DGO	DD (kPa)	DDO	EF	Oturma(cm)	Zemin Durumu
SK-2	34,4	54	44,19	0,979	7,91	0,179	9,49	0,38	2,12	0	Sivilaşma Yoktur.

Tablo 103. *İnceleme Alanında Büyüklüğü 6,5 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sivilaşma Analiz Sonuçları.*

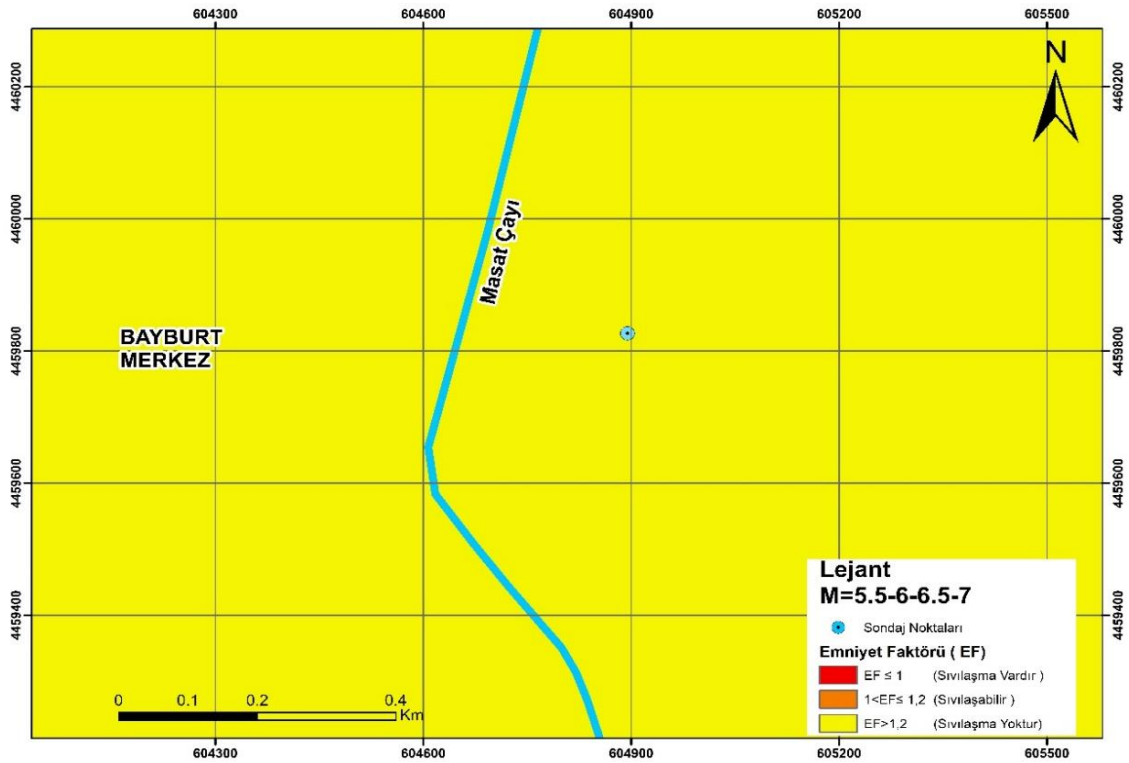
Sondaj No	(N1)60	Top. Ger. (kPa)	Eff. Ger. (kPa)	rd	DG(kPa)	DGO	DD (kPa)	DDO	EF	Oturma(cm)	Zemin Durumu
SK-2	34,4	54	44,19	0,979	7,91	0,179	9,49	0,31	1,73	0	Sivilaşma Yoktur.

Tablo 104. İnceleme Alanında Büyüklüğü 7 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları.

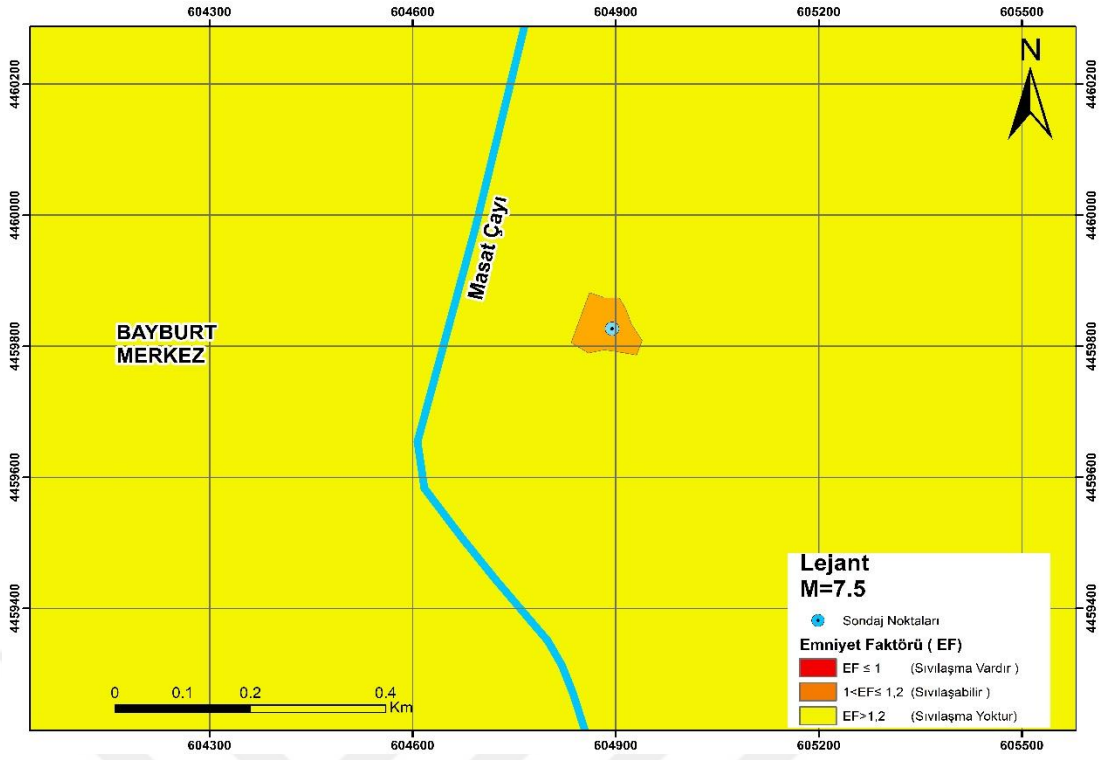
Sondaj No	(N1)60	Top. Ger. (kPa)	Eff.Ger. (kPa)	rd	DG(kPa)	DGO	DD (kPa)	DDO	EF	Oturma(cm)	Zemin Durumu
SK-2	34,4	54	44,19	0,979	7,91	0,179	9,49	0,256	1,43	0	Sıvılaşma Yoktur.

Tablo 105. İnceleme Alanında Büyüklüğü 7,5 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları.

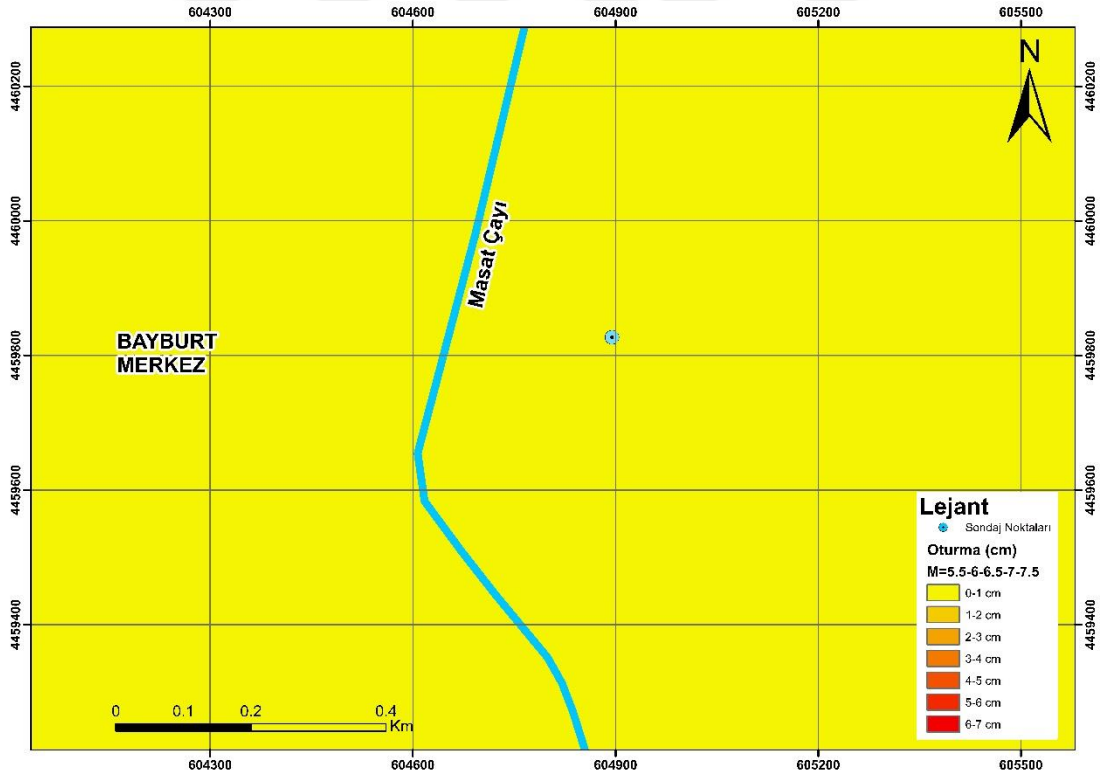
Sondaj No	(N1)60	Top. Ger. (kPa)	Eff.Ger. (kPa)	rd	DG(kPa)	DGO	DD (kPa)	DDO	EF	Oturma(cm)	Zemin Durumu
SK-2	34,4	54	44,19	0,979	7,91	0,179	9,49	0,215	1,2	0	Sıvılaşma-bilir.



Şekil 113. Kaleardı yurt binasına ait Büyüklüğü 5,5 -6-6,5-7 olan deprem senaryosunun sıvılaşma potansiyeli haritası.



Şekil 114. Kaleardı yurt binasına ait Büyüklüğü 7,5 olan deprem senaryosunun sıvılaşma potansiyeli haritası.



Şekil 115. Kaleardı yurt binasına ait büyüklüğü 5,5-6,5-7,0-7,5 olan deprem senaryosunun oturma potansiyeli haritası.

Bayburt stadı batı tribünü.

Bayburt Gençlik Hizmetleri ve Spor İl müdürlüğü tarafından Bayburt İli, Merkez İlçesi, Zahit Mahallesi, 720 ada, 1 numaralı parselde yapılması planlanan stadın batı tribün yerinin mühendislik jeolojisi çalışmaları incelenmiştir. Söz konusu statta batı tribünü yapılmak istenmekte olup, seyirci kullanım amaçlı olarak kullanılacaktır. Etüt sahasında; yapılacak olan (115,00m x 17,00m) ebatlarındaki tribüne ait arazinin üzerinde ve temel altına olan uygun derinlikteki formasyonların yayılımı, litolojik özellikleri, yeraltı su durumu, bölgede aynı birim üzerinde yapıların bulunduğu alanlardaki zeminin davranışı da göz önüne alınarak diğer çevre faktörleriyle birlikte değerlendirme yapılarak sondajlı jeolojik etüt raporu hazırlanmıştır. İnceleme alanı jeomorfolojik olarak engebeli bir yapıya sahip değildir. Topoğrafik eğim % 0-5 aralığında kalmaktadır. Mevcut statta eski batı tribün yerine daha büyük tribün yapılacaktır. Çalışma sahaları üzerinde herhangi bir şev duraylılığı problemi veya eski heyelan bulgusu saptanmamıştır. Sahada ve bölge genelinde, iklim ve bitki örtüsü açısından Karasal iklim kuşağının tipik özellikleri hâkimdir. İnceleme alanının çevresinde yapılaşma mevcuttur. Araziyi tam olarak yansıtmak amacı ile tarafımızca yapılan çalışmalar ileriki kısımlarda detaylı olarak sunulmuştur.

Çalışma alanını sınırlayan koordinatlar UTM- 6° Projeksiyonunda ve ED50 Datum'unda, 37 Dilim Orta Meridyeni kullanılarak düzenlenmiştir.

Tablo 106. Bayburt stadı batı tribün sondaj koordinatları ve yeraltı su seviyesi.

Sondaj Kuyu No	X Koordinatı (m)	Y Koordinatı (m)	YASS (m)
SK-1	4458000	604558	2.00
SK-2	4458051	604562	1.80
SK-3	4457977	604579	1.70
SK-4	4458019	604588	1.70
SK-5	4458083	604600	1.80



Şekil 116.İnceleme alanının uydu görüntüsü.

Proje sahasında uygulanan sondaj kuyuları jeolojik yapıyı en iyi şekilde yansıtacak biçimde planlanmış ve gerçekleştirilmiştir. İnceleme alanımızda 5 adet derinliği SK-1:11,00 m SK-2:12,50 m SK-3:10,00 m SK-4:10,00 m ve SK-5:10,50 m olan karotlu zemin araştırma sondajları açılmıştır. Etüt alanları içinde fay, kırık, diskordans gibi yapısal süreksizliklere rastlanılmamıştır.

Tablo 107.Zemin Profili.

Sondaj No	Derinlik (m.)	Litoloji	Formasyon
SK-1	0.00 – 1,50	Dolgu	-
SK-1	1.50-6.00	Kötü derecelenmiş kum çakıl, blok	Alüvyon-
SK-1	6.00-11.00	Marnlı killi Kireçtaşı koyu gri renkli ayrılmış yer yer killeşmiş kireçtaşı kalsit damarlı	Hamurkesen Formasyonu
SK-2	0.00 – 1.00	Dolgu	-
SK-2	1.00-7.00	Kötü derecelenmiş kum çakıl, blok	Alüvyon--
SK-2	7.00-12.50	Marnlı killi Kireçtaşı koyu gri renkli ayrılmış yer yer killeşmiş kireçtaşı kalsit damarlı	Hamurkesen Formasyonu
SK-3	0.00 – 1.00	Dolgu	-
SK-3	1.00-1.50	Sitli kil inorganik kil silt	Alüvyon
SK-3	1.50-7.50	Kötü derecelenmiş kum çakıl,blok	Alüvyon
SK-3	7.50-10.00	Marnlı killi Kireçtaşı koyu gri renkli ayrılmış yer yer killeşmiş kireçtaşı kalsit damarlı	Hamurkesen Formasyonu
SK-4	0.00 – 1.20	Dolgu	-

SK-4	1.20-6.50	Kötü derecelenmiş kum çakıl, blok	Alüvyon-
SK-4	6.50-10.00	Marnlı killi Kireçtaşı koyu gri renkli ayrıışmış killeşmiş kireçtaşı kalsit damarlı	Hamurkesen Formasyonu
SK-5	0.00-2.00	Dolgu	-
SK-5	2.00-8.00	Kötü derecelenmiş kum çakıl, blok	Alüvyon-
SK-5	7.50-10.50	Marnlı killi Kireçtaşı koyu gri renkli ayrıışmış yer yer killeşmiş kireçtaşı kalsit damarlı	Hamurkesen Formasyonu

Açılan sondajlarda yeraltı suyuna 1.70 m rastlanılmıştır. Çalışma alanının 250- 300 m kuzey doğusunda Çoruh Nehri bulunmaktadır. Çoruh Nehri yaz ve kış aylarında sürekli akış halinde olup beslenme alanı geniştir.

Tablo 108. Su İçeriği ve Doğal Yoğunluk Deney Değerleri.

Kuyu No	Deney Seviyesi (m)	Su içeriği (%)	Doğal Birim		200 Geçen %	Zemin Sınıfı
			Hacim Ağırlığı (g/m ³)	10 Kalan %		
SK-1	1.50	5.4	-	70.1	5.7	GW-GM
SK-2	1.50	14.7	1.73	64.5	11.6	GW-GM
SK-3	1.50	18.2	1.75	56.5	36.4	GC
SK-4	1.50	14.6	1.75	44.9	10.8	GW-GM
SK-5	6.00	22.1	1.86	7.5	72.7	CL
SK-5	9.00	20.7	-	1.7	75.0	CL

Tablo 109. Labaratuvar Deney Verileri.

Kuyu No	Derinlik (m)	Zemin Sınıfı	Likit Limit(LL)	Plastik Limit (PL)	Plastisite İndisi(PI)
SK-1	1.5	GW-GM	NP	NP	NP
SK-2	1.5	GW-GM	NP	NP	NP
SK-3	1.5	GC	32.3	20.9	11.4
SK-4	1.5	GW-GM	NP	NP	NP
SK-5	6.00	CL	39.2	23.5	15.7
SK-5	9.00	CL	36.1	22.1	14.0

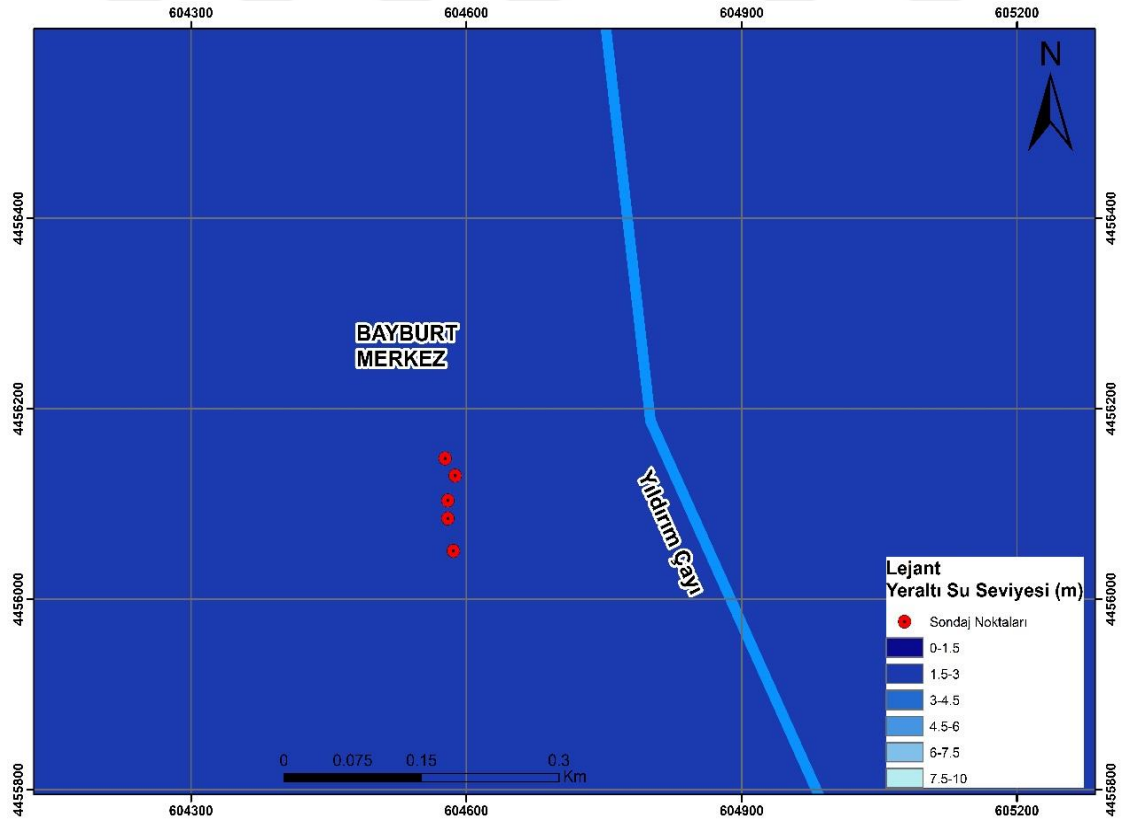
Prosiıvı programında sıvılaşma hesabında deprem büyüklüğü 5.5-6-6.5-7-7.5 olarak 5 farklı senaryoda ele alınmıştır. İnceleme alanına ait a_{maks} (g) değeri Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif web uygulamasından 0,233değeri elde edilmiştir.

Tablo 110. Sıvılaşma Hesabı Sondaj Girdi Verileri.

Sondaj Kuyu No	SK-2	SK-3	SK-4
a_{maks} (g)	0,233		
İnceleme Derinliği	1,95 m		
Su Seviyesi	1,8 m	1,7 m	1,7 m
Kuyu Derinliği	12,5 m	10 m	10 m
Arazi Deney Tipi	SPT		
SPT Hesap Yöntemi	Seed-Idriss		
Şahmerdan Tipi	Donut hammer		
Kuyu Çapı	65 mm -115 mm		
Tij Boyu	1.5 m		
Numune Alma Metodu	Standart Numune alıcı		
Zemin Cinsi	GP		

Tablo 111. İnceleme Alanı Sıvılaşma Analizi İçin Arazi Ve Laboratuvar Deneyleri Girdi Verileri.

Sondaj No	YASS(m)	SPT- N	$\gamma(kN/m^3)$	İTO(%)	D50(mm)
SK-2	1,8	16	17,3	11,6	5
SK-3	1,7	20	17,5	36,4	4
SK-4	1,7	18	17,5	10,8	1,2

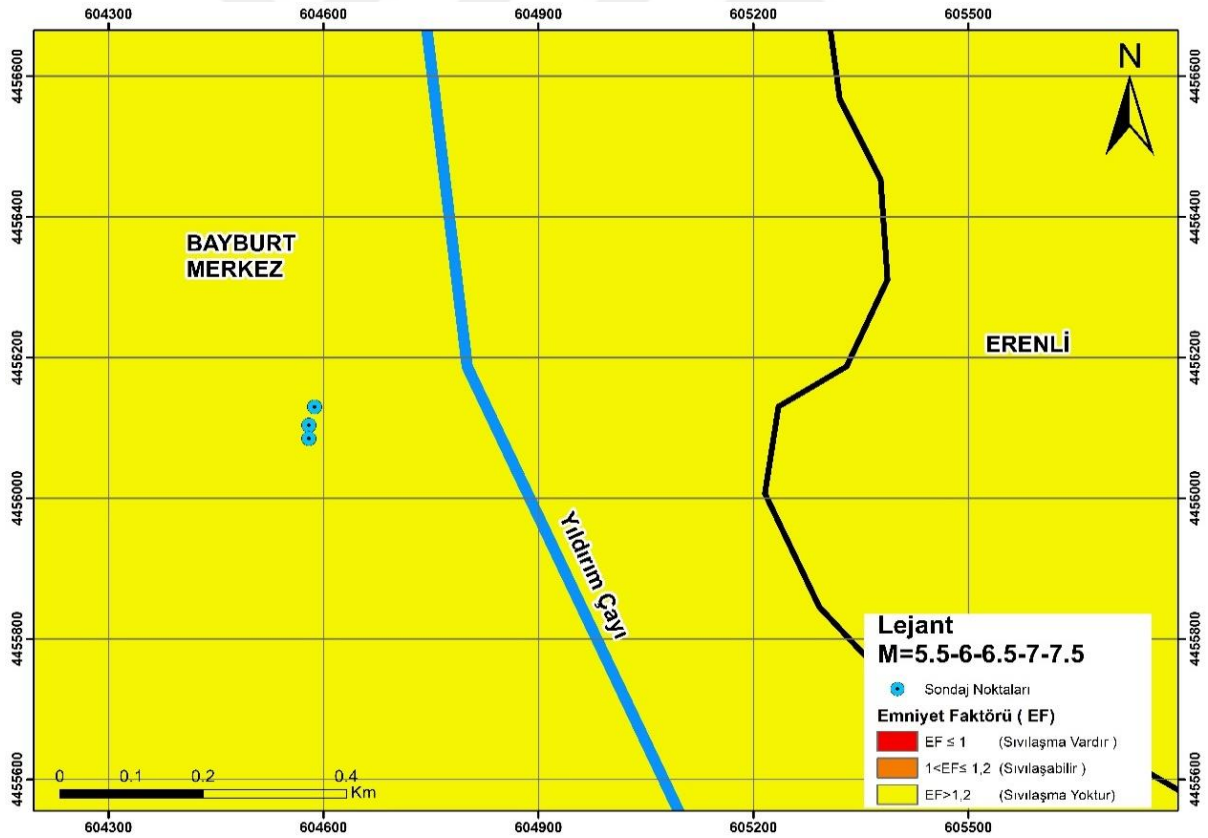


Şekil 117. Bayburt stadı batı tribününe ait Çalışma alanı yeraltı su seviyesi haritası

Elde edilen veriler PROsıvı (Babuşcu, 2002) programına aktarılarak farklı deprem senaryolarına göre sıvılaşma analiz sonuç tabloları hazırlanmıştır.

Tablo 112. *İnceleme Alanında Büyüklüğü 5,5- 6,0 - 6,5 -7,0 -7,5 Olan Deprem Senaryosuna Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları.*

Sondaj No	(N1)60	Top. Ger. (kPa)	Eff.Ger. (kPa)	rd	DG(kPa)	DGO	DD (kPa)	DDO	EF	Oturma(cm)	Zemin Durumu
SK-2	22,1	17	17	0,994	2,56	0,151	-	-	-	-	Sıvılaşma Yoktur.
SK-3	22,1	17	17	0,994	2,56	0,151	-	-	-	-	Sıvılaşma Yoktur.
SK-4	22,1	17	17	0,994	2,56	0,151	-	-	-	-	Sıvılaşma Yoktur.



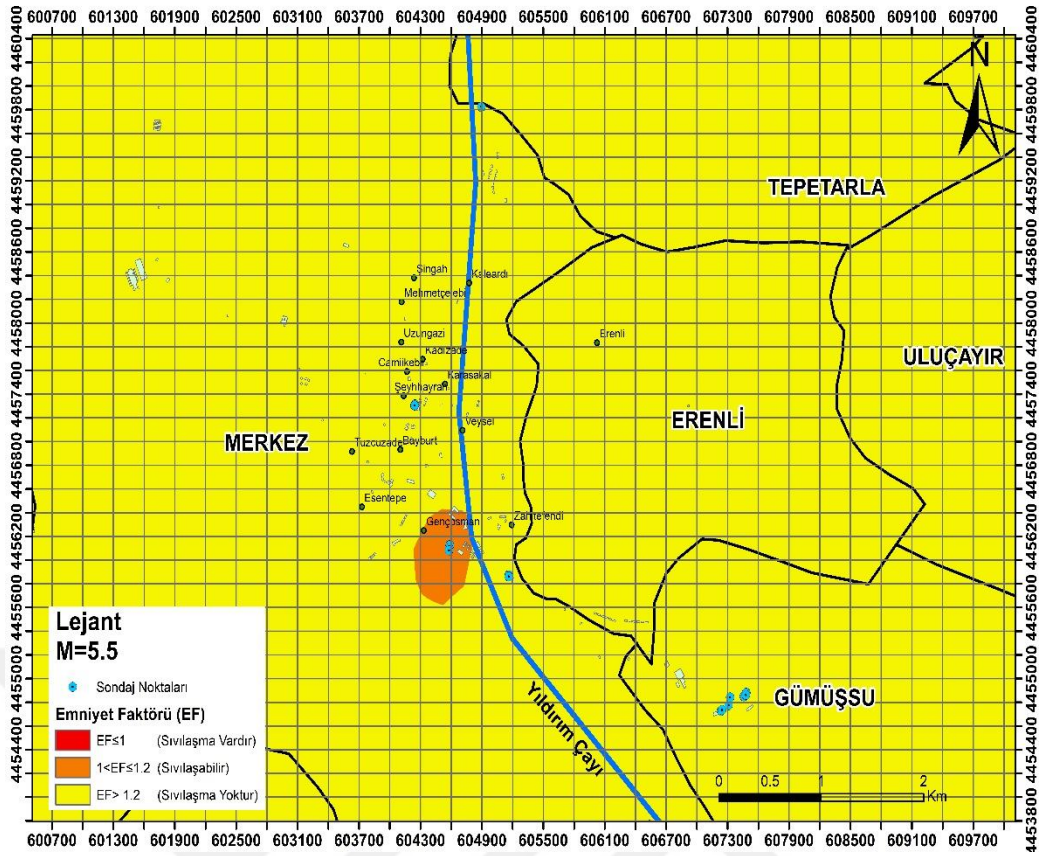
Şekil 118. Bayburt stadı batı tribününe ait büyüklüğü 5,5-6,0-6,5-7,5 olan deprem senaryosunun sıvılaşma potansiyeli haritası.



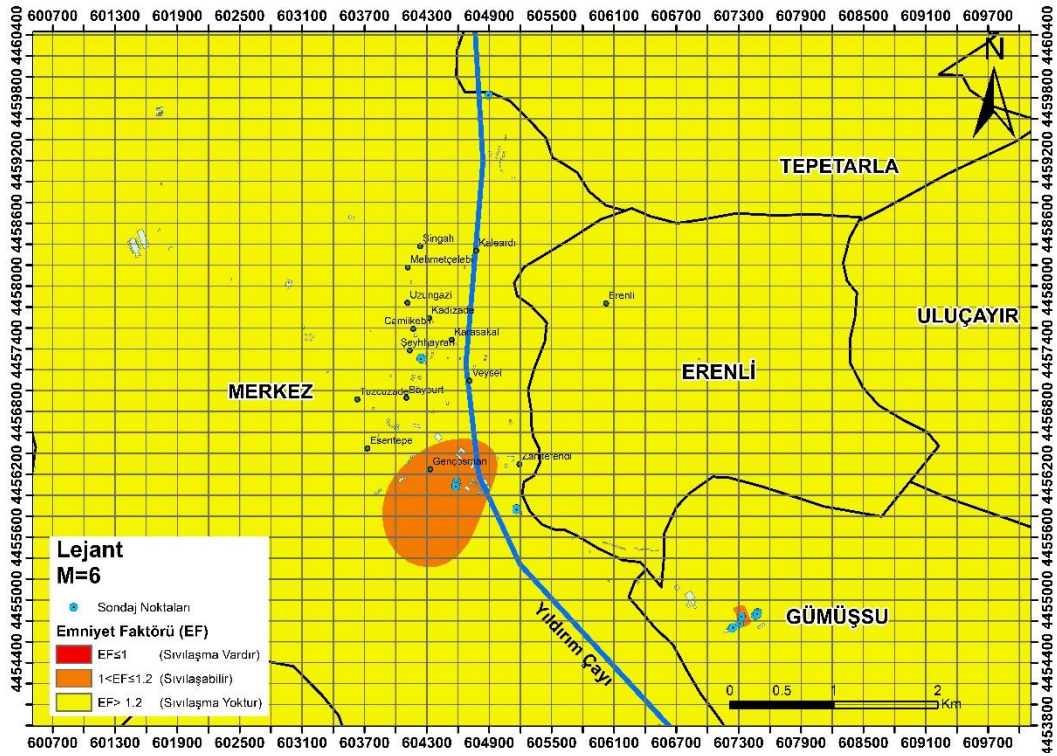
Şekil 119. Bayburt stadı batı tribününe ait büyüklüğü 5,5-6-6,5-7,0-7,5 olan deprem senaryosunun oturma potansiyeli haritası.

Bayburt il merkezine ait genel sıvılaşma analizi ve oturma hesabı.

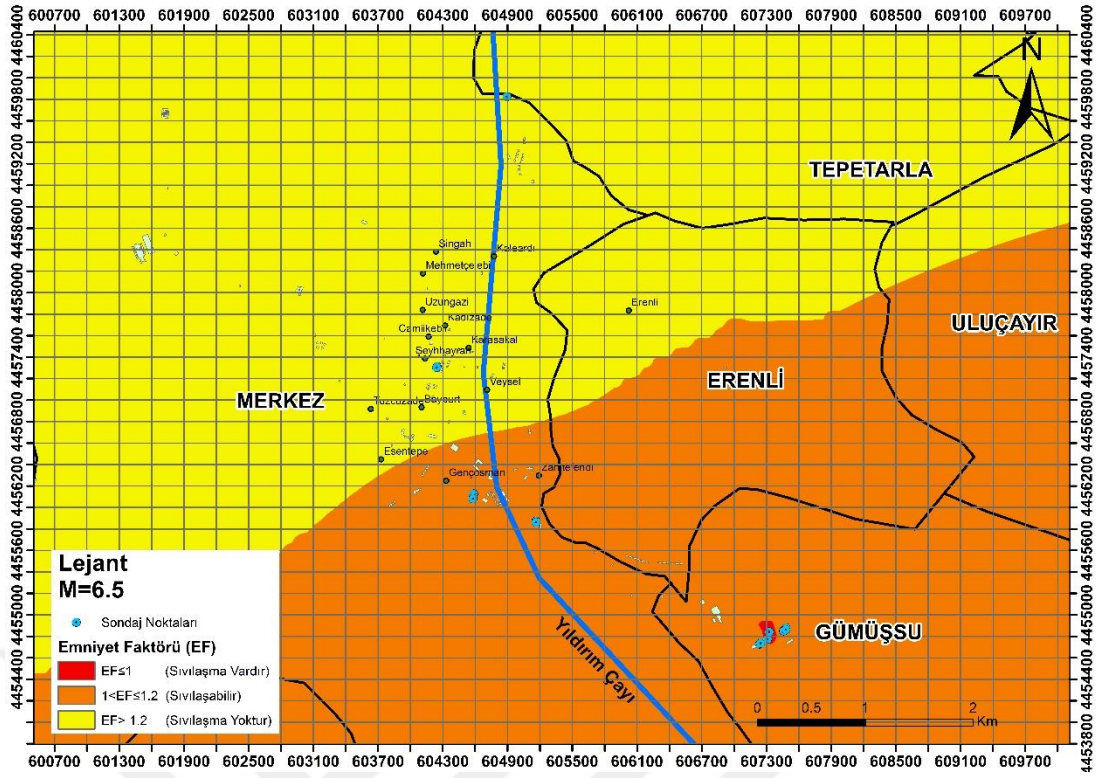
Bayburt il merkezinde elde edilen sondaj verileri kullanılarak bölgesel sıvılaşma analiz haritaları her lokasyonda kendi içerisinde değerlendirilmiştir. Sıvılaşma analiz programı Prosivı kullanılarak farklı deprem senaryolarında oluşan sıvılaşma potansiyelini gösterir EF değeri elde edilmiştir. Bu EF değeri sıvılaşma analiz haritalarında girdi değeri olarak kullanılmıştır. Her bir çalışma sahasında Bayburt il merkezi için farklı lokasyonlarda bölgesel sıvılaşma analiz haritaları oluşturulmuştur. Bu kısımda tüm sondaj noktalarının farklı depremlerdeki EF ve oturma değerleri kullanılarak birlikte değerlendirilip Bayburt il merkezinin genel sıvılaşma analiz haritaları ve oturma haritası oluşturulmuştur.



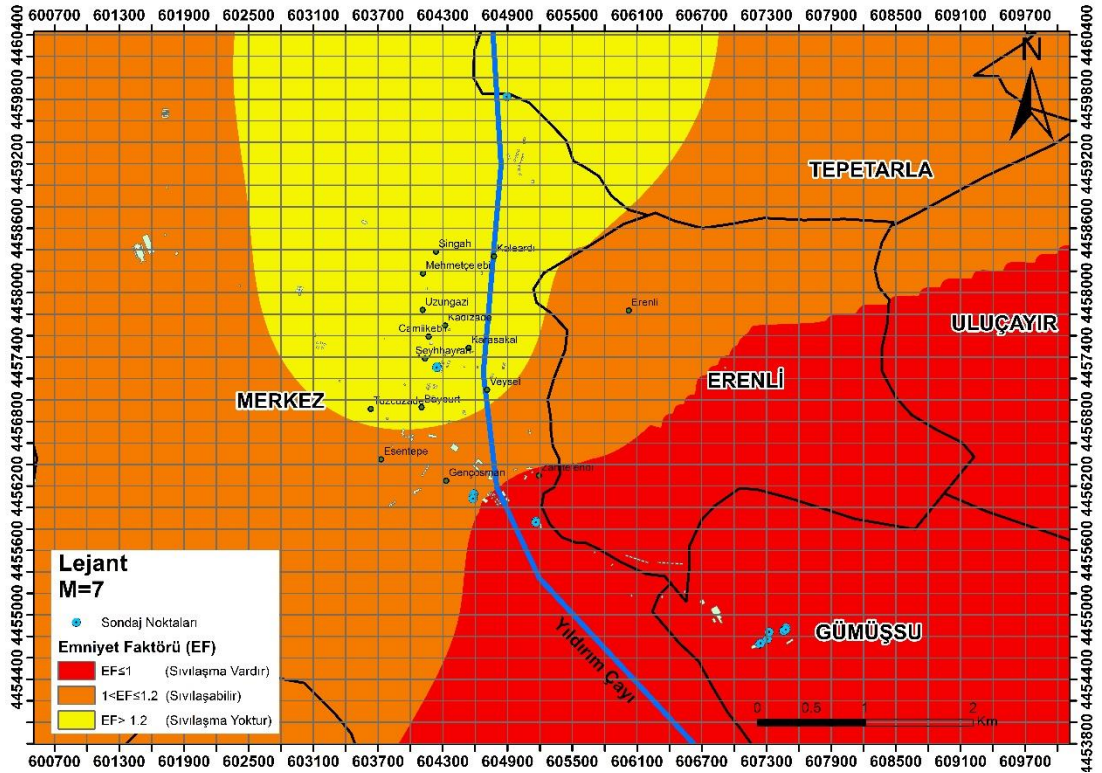
Şekil 120. Bayburt il merkezine ait büyüklüğü 5,5 olan deprem senaryosunun sıvılaşma potansiyeli haritası.



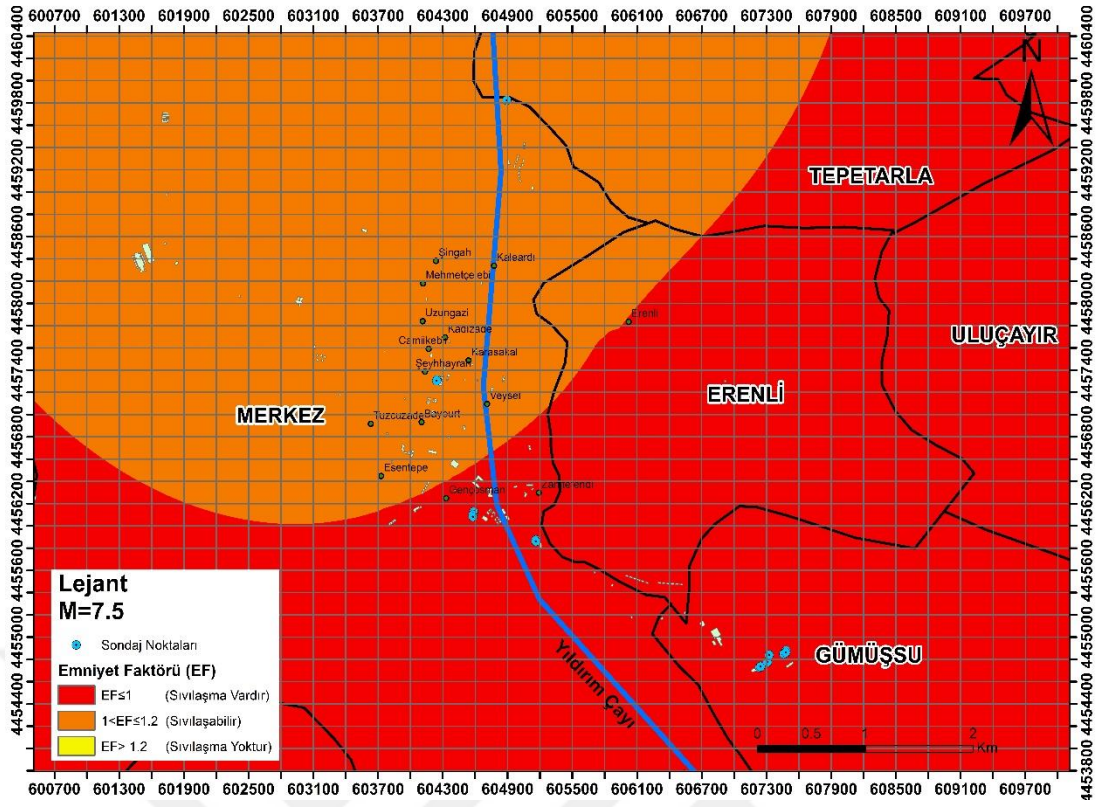
Şekil 121. Bayburt il merkezine ait büyüklüğü 6 olan deprem senaryosunun sıvılaşma potansiyeli haritası.



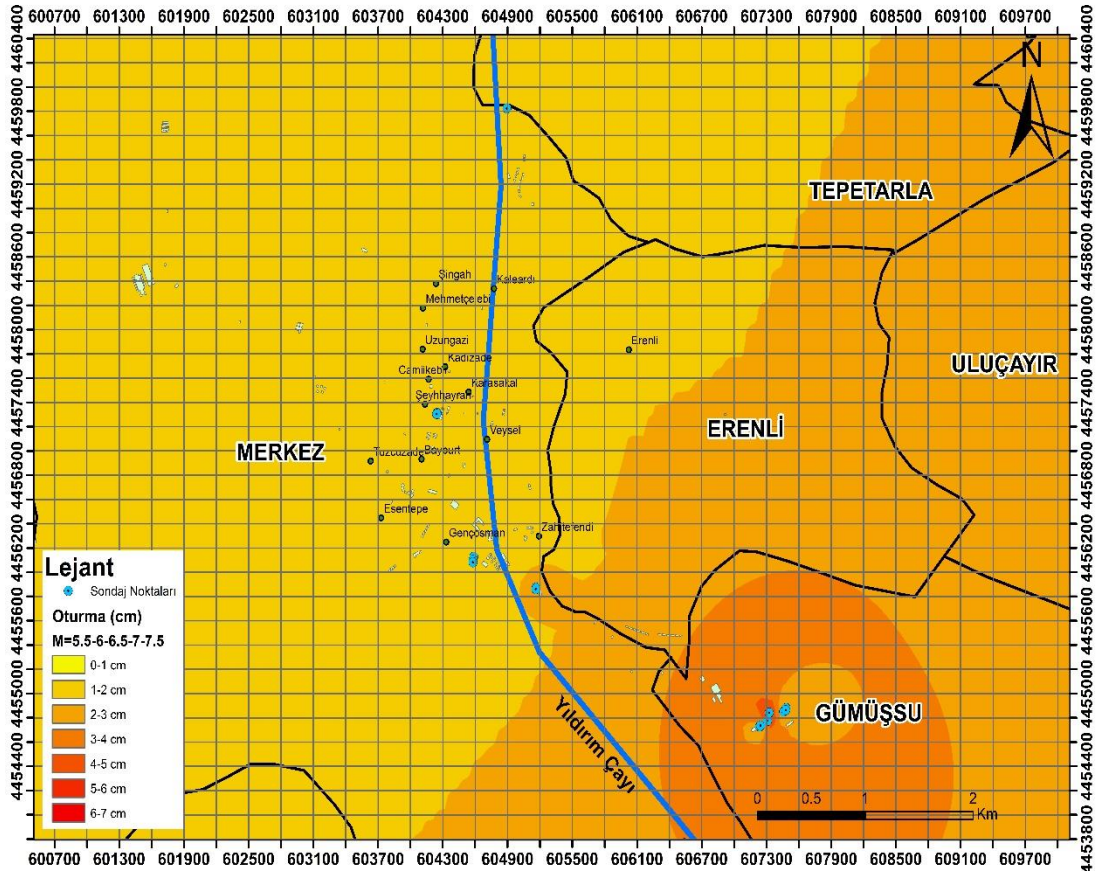
Şekil 122. Bayburt il merkezine ait büyüklüğü 6,5 olan deprem senaryosunun sıvılaşma potansiyeli haritası.



Şekil 123. Bayburt il merkezine ait büyüklüğü 7,0 olan deprem senaryosunun sıvılaşma potansiyeli haritası.



Şekil 124.Bayburt il merkezine ait büyüklüğü 7,5 olan deprem senaryosunun sıvılaşma potansiyeli haritası.



Şekil 125.Bayburt il merkezine ait büyüklüğü 5,5-6,0-6,5-7,0-7,5 olan deprem senaryolarına ait oturma analiz haritası.

BEŞİNCİ BÖLÜM

Sonuç ve Öneriler

Bu tez çalışmasında, Bayburt merkez ilçesi, Demirözü ve Aydıntepe ilçesi, Arpalı ve Gökçedere beldesinde yapılan sondajlardan elde edilen verilere ait deneysel sonuçlar bölgesel sıvılaşma analizleri hesaplamasında kullanılmıştır. Analizler Seed ve Idriss (1971) metoduna göre yapılmış ve Prosıvı (Babuçcu, 2002) yazılımıyla deprem büyüklükleri $M_w = 5,5-6,0-6,5-7,0-7,5$ olan beş farklı senaryoya göre değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında sıvılaşma emniyet faktörü hesaplanıp çalışma bölgelerinin yeraltı su seviyesi haritası ve sıvılaşma potansiyel haritaları ArcGIS 10.7 programı ile Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon (IDW) metodu kullanılarak hazırlanmıştır. Çalışma bölgeleri arası mesafe uzak olduğu için her bölgede a_{maks} (g) değeri ve derinliklere göre hesaplar yapılmıştır. Aynı zamanda Bayburt il merkezi için farklı deprem senaryolarında oturma haritaları oluşturulmuştur.

Zeminlerin sıvılaşma durumu incelenirken arazi deneyleri ve laboratuvar deneyleri incelenmiştir. Ön çalışmalar sonucunda yeraltı su seviyesinin zemin yüzeyine yakın olması, zeminlerin kumlu ve alüvyon çökellerden oluşması potansiyel sıvılaşma analizi için önemli değerlendirme unsuru olmuştur. Alüvyon ve gevşek kumlu zeminlerin yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın olduğu kısımlarda sıvılaşma tespit edilmiştir. Yeraltı su seviyesinin sıvılaşmayı etkilediği gözlemlenmiştir. Bazı bölgelerde SPT sonuçları elde edilmişken yeraltı su seviyesine rastlanmamıştır. Bununla birlikte yeraltı suyu mevcut olan kimi bölgelerde de SPT sonuçlarının RF olduğu tespit edilmiştir. Bu kısımlarda sıvılaşma analizi yapılmamıştır. İnce tane oranına sahip kil içeren seviyelerde sıvılaşma riski görülmemiştir. Zemin özellikleri araştırılırken standart penetrasyon testinde darbe sayılarının zemin içerisinde mevcut olan çakıldan dolayı normalinden fazla değer verdiği görülmüştür.

Çalışma sahalarının potansiyel sıvılaşma haritalarına göre sıvılaşma oluşabilecek zeminlerde yapılaşma esnasında geoteknik zemin etütlerinin dikkatli bir şekilde yapılmasının önemi ortaya çıkmıştır. Zeminin mühendislik özelliklerinin yetersiz olması durumunda yapının oturacağı zeminde iyileştirmeler yapılabilir. Sıvılaşma potansiyeli olan alanlarda ayrıntılı bir şekilde sıvılaşma analizi yapıp zeminin sıvılaşmasına karşı dinamik kompaksiyon, enjeksiyon veya drenaj gibi yöntemler kullanılarak önlemler alınabilir. Bununla birlikte gömülü olarak

zeminde bulunan su borusu veya kanalizasyon şebekesi gibi altyapı elemanlarının, sıvılaşma esnasındaki hareket ve oturmalarından kaynaklı hasarlarının minimuma inmesi için bağlantılarının özenle yapılması gerekmektedir. Sondaj sayısında artış yapılarak çalışma sahasında daha detaylı bir sıvılaşma analizi yapılabilir. Türkiye genelinde zemin etüdü yapan şirketlerin ekipman ve teknik açıdan mevzuata uygunluk kontrolleri yapılmalıdır. Bu sayede etüt sonrası elde edilen sonuçlarla ulusal bir standart sağlanabilir.



Kaynakça

- AFAD,(2021).Deprem tehlike haritası. <https://deprem.afad.gov.tr/deprem-tehlike-haritasi> 04/03/2021.
- AFAD,(2021). Türkiye deprem kataloğu. 04 Mart 2021 tarihinde [https://deprem.afad.gov.tr/deprem kataloğu](https://deprem.afad.gov.tr/deprem-katalogu) adresinden erişildi.
- Ağar, Ü., (1977). *Demirözü (Bayburt) & Köse (Kelkit) bölgesinin jeolojisi*, (Doktora tezi). KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon
- Akdeniz, E., Güney, Y., Pekkan, E., Avdan, U, Tün, M., & Ecevitoglu, B., (2011). Temel Zeminine Ait Jeo-Mühendislik Özelliklerinin Coğrafi Bilgi Sistemi Kullanılarak Değerlendirilmesi: Eskişehir İli, Güllük, Yenibağlar ve Bahçelievler Mahalleleri Örneği. *International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, Elazığ, 202-206.
- Akın, M. K., (2019). Düzce Kent Merkezi Zeminlerinin Sıvılaşma Potansiyelinin Değerlendirilmesi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 43(1): 39-56.
- Akın, M., (2009). *Seismic microzonation of Erbaa (Tokat-Turkey) located along eastern segment of the North Anatolian Fault Zone (NAFZ)* (Doktora tezi). <https://tez.yok.gov.tr> adresinden edinilmiştir. (Tez no. 255329).
- Akın, M., Akın, M.K., Akkaya, İ., Özvan, A., & Şengül, M.A., (2015a). Erciş (Van) Yerleşim Alanındaki Zeminlerin Sıvılaşma Potansiyelinin Değerlendirilmesi, No: 2014-HİZ-MİM167 Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı, Van, 46.
- Akın, M., Akın, M.K., Akkaya, İ., Özvan, A., & Şengül, M.A., (2015b). Erciş (Van) Yerleşim Alanındaki Zeminlerin Sıvılaşma Potansiyelinin Değerlendirilmesi, *Ulusal Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu*, 3-5 Eylül 2015, KTÜ, Trabzon. 208-215.
- Akın, M., Özvan, A., Akın, M., & Topal, T., (2013). Evaluation of Liquefaction in Karasu River Floodplain after the October 23, 2011, Van (Turkey) Earthquake. *Natural Hazards*, 69, 1551–1575.
- Akkaş, Ü., (2006). *Sıvılaşma potansiyeli ve etkilerinin azaltılması* (Yüksek lisans tezi). <https://tez.yok.gov.tr> adresinden edinilmiştir. (Tez no. 181800).
- Akkaya, İ., Özvan, A., Övün, U., Akın, M., & Akın, M., (2017). Kayma Dalgası Hızı (Vs) Kullanılarak Erciş (Van) Yerleşim Alanının Sıvılaşma Potansiyelinin Değerlendirilmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(3): 56-68.
- Aksoy, G., (2011). *Arhavi (Artvin) ve çevresinin heyelan duyarlılık analizi* (Yüksek lisans tezi). <https://tez.yok.gov.tr> adresinden edinilmiştir. (Tez no. 287450).
- Alkaya, D., (2007). Arazi Deneyleri İle Geoteknik Tasarım. Pamukkale Üniversitesi, 11s., Denizli. <http://forum.yapisal.net/47-geoteknik/14398-arazi-deneyleriyle-geoteknik-tasarim-sunum.html>. Erişim Tarihi: 20.12.2007.
- Ansal, M. A., & Erken, A., (1987). Depremlerde yerel zemin şartlarının önemi. *Türkiye İnşaat Mühendisliği 9. Teknik Kongresi*, Ankara, 165-182.
- Ansal, M. A., & Erken, A., (1987). Liquefaction of silty sand deposits, a parametric study. *13th Regional Seminar on Earthquake Engineering*, İstanbul, 2,500-518.

- Aslan, R., (2010). *Gebze atık su arıtma tesisi (Kocaeli) alanındaki zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin araştırılması*(Yüksek lisans tezi). <https://tez.yok.gov.tr> adresinden edinilmiştir. (Tez no. 285021).
- ASTM, (1994). Annual Book of ASTM Standards-Soil and Rock, Building Stones, Section-4, Construction, ASTM Publication, 972p.
- Atak, V. O., Aksu, O., Önder, M., Aydan, Ö., & Toz, G., (2003). Zeminlerde sıvılaşmaya ve faylanmaya bağlı yer değiştirmelerin yön ve büyüklüklerinin fotogrametrik yöntemlerle belirlenmesi. *Küçükçekmece ve yakın Çevresi Teknik Kongresi*, İstanbul.
- Audemard, F. A., Gómez, J.C., Tavera, H.J., & Orihuela, N., (2005). Soil liquefaction during the Arequipa Mw 8.4, June 23, 2001 earthquake, southern coastal Peru. *Engineering Geology*, 78, (3-4), 237-255.
- Aydan, Ö., Hamada, M., Bardet, J.P., Ulusay, R., & Kanibir, A., (2004). Liquefaction induced lateralspreading in the 1999 Kocaeli earthquake, Turkey: case study around the Hotel Sapanca. *Proceedings of the 13th world conference on earthquake engineering*, Vancouver, BC, Canada.
- Aydan, O., Sezaki, M., & Yarar, R., (1996). Türkiye Depremlerinin Sismik Özellikleri, 11thWCEE, Acapulco, Meksika CD-2, Paper No. 1025.
- Aydan, Ö., Ulusay, R., & Kumsar, H., (2000). Liquefaction phenomenon in the earthquakes of Turkey, including recent Erzincan, Dinar and Adana-Ceyhan earthquakes, *Proceedings of the 12th world conference on earthquake engineering*, Auckland, 12WCEE-2000.
- Aydan, Ö., Ulusay, R., & Kumsar, H., (2013). Seismic, Ground Motion and Geotechnical Characteristics of the 2011 Van-Ercis, and Van-Edremit Earthquakes of Turkey, and Assessment of Geotechnical Damages. *Bulletin of Engineering Geology and Environment*, 73(2), 643-666.
- Aydın, O., & Çiçek, İ., (2013). Ege Bölgesi'nde yağışın mekânsal dağılımı. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 11(2), 101-120.
- Aydın, U., (2019). *Maden Köyü (Bayburt) Cu-Au cevherleşmesinin hidrotermal alterasyonu, duraylı izotop jeokimyası ve 3b Cbs Modellemesi* (Yüksek lisans tezi). <https://tez.yok.gov.tr> adresinden edinilmiştir. (Tez no. 287450).
- Babuçcu, F., (2002). *Zeminlerde sıvılaşma potansiyelinin ve sıvılaşma sonucu oturmanın spt vecpt verilerine dayalı analiz yöntemleri üzerine bilgisayar yazılımı* (Yüksek lisans tezi). <https://tez.yok.gov.tr> adresinden edinilmiştir. (Tez no. 287450).
- Beyaz, T., Kayabalı K., & Sönmezer, Y. B., (2021). Kumların sıvılaşmasında rölatif sıkılık ve kesme birim deformasyonu etkisinin incelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(3), 431-440.
- Bhattacharya, S., Hyodo, M., Goda, K., Tazoh, T., & Taylor, C., (2011). Liquefaction of soil in the Tokyo Bay area from the 2011 Tohoku (Japan) earthquake. *Soil Dynamics Earthquake Engineering Research Insititue*, 31(11), 1618-1628.
- Bilge, H., & Çetin, K., (2017). Silt-Kil Karişimi Zeminlerin Sivılaşma Potansiyellerinin Belirlenmesi, *4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, 11-13 Ekim, Anadolu Üniversitesi Eskişehir.
- Bol, E., Önalp, A., Arel, E., Sert, S., & Özocak, A., Liquefaction of silts: the Adapazari
- Bonab, M. H, Asadiyan, M., Tohidvand, H.R., Mahmudi, M., (2021). Determination of liquefaction potential of Tabriz City, Northwest of Iran. *International Journal of Eastern Anatolia Science Engineering and Design*, 3(1), 240-256.

- Bray, J. D., & Sancio, R. B., (2006). Assessment of the liquefaction susceptibility of finegrained soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 132(9), 1165- 1177.
- Broughton, A. T., Van Arsdale, R.B. and Broughton, J.H., (2001). Liquefaction susceptibility mapping in the city of Memphis and Shelby County, Tennessee. *Engineering Geology*, 62(1-3), 207-222.
- Cao, Z., Hou, L., Xu, H. and Yuan, X. J. E. E., (2010). Distribution and characteristics of gravelly soil liquefaction in the Wenchuan M s 8.0 earthquake. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 9(2), 167-175.
- Castro, G., Enos, J., France, J.W., and Poulos, S., (1982). Liquefaction induced by cyclic loading. NASA STI/R Recon Technical Report N 83.
- Castro, G., Poulos, S.J., France, J.W. and Enos, J.L., (1982). Liquefaction induced by cyclic loading, Report Submitted to the National Science Found, Washington D.C.
- Çavuş, U. Ş., (2004). *Deprem sebebiyle zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin bulanık mantık modellemesi (Fuzzy Logic Modelling) ile değerlendirilmesi (Doktora tezi)*. <https://tez.yok.gov.tr> adresinden edinilmiştir. (Tez no. 184305)._
- Cernica, J. N., (1995). Geotechnical Engineering. Soil Mechanics, New York: *John Wiley & Sons*, 71-80.
- Çetin, Ö. K., Yunatıcı A. A., Çağlı S., Güllökar T., Aktaş R., Altınışik F., Çelik S., Arabacı, M. H., & Çekmeceli M., (2004). Bursa Şehri İçin CBS Destekli Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi Ve Sıvılaşma Risk Haritası Oluşturulması. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 479-489.
- Çetin, K. Ö., & Unutmaz, B., (2004). Zemin Sıvılaşması ve Sismik Zemin Davranışı, Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı:430, s. 32-37.
- Cetin, K., Seed, R., Der Kiureghian, A., Tokimatsu, K., Harder, L., Kayen, R.J. and Idriss, I.M., (2000). SPT-Based probabilistic and deterministic assessment of seismic soil liquefaction initiation hazard. Pacific Earthquake Engineering Research Center, PEER Report No. PEER-2000/05.
- Cetin, K. O., Isik, N., & Unutmaz, B., (2002). Seismically induced landslide at Degirmendere Nose, Izmit Bay during Kocaeli (Izmit)-Turkey earthquake. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 24(3), 189-197.
- Cetin, K. O., Seed, R. B., Der Kiureghian, A., Tokimatsu, K., Harder Jr, L. F., Kayen, R. E. and Moss, R. E., (2004). Standard penetration test-based probabilistic and deterministic assessment of seismic soil liquefaction potential. *Journal of geotechnical geoenvironmental engineering*, 130(12), 1314-1340.
- Chang, M., Kuo, C.-P., Shau, S.-H., and Hsu, R.-E. J. C., (2011). Comparison of SPT-Nbased analysis methods in evaluation of liquefaction potential during the 1999 Chi-chi earthquake in Taiwan. *Geotechnics*, 38(3), 393-406.
- Chen, C. J., Juang, C. H., Mayne, P. W. and Hryciw, R., (2000). Calibration of SPT and CPT based liquefaction evaluation methods. Innovations and applications in geotechnical site characterization, *Geotechnical Special Publication*, ASCE, Reston, 97, 49-64.
- Chu, D. B., Stewart, J. P., Lee, S., Tsai, J.-S., Lin, P., Chu, B., Seed, R. B., Hsu, S., Yu, M. and Wang, M. C., (2004). Documentation of soil conditions at liquefaction and non-liquefaction sites from 1999 Chi-Chi (Taiwan) earthquake. *Soil Dynamics Earthquake Engineering*, 24(9-10), 647-657.
- Cliao, S. S., and Whitman, R. V., (1986). Overburden correction factor for SPT in sand. *Journal of Geotechnical Engineering*, 112(3), 373.

- Coduto, D. P., (2000). Foundation Design: Principles and Practices. 2nd edition, New Jersey: Prentice Hall.
- Çolak, M., (2007). *Dayanma duvarlarının oturmalarının kohezyonsuz zeminlerde SPT ve CPT sonuçlarından belirlenmesi* (Yüksek lisans tezi). <https://tez.yok.gov.tr> adresinden edinilmiştir. (Tez no. 2000005).
- Dağdeviren, U., (2019). Yeni Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine Göre Zeminlerin Sıvılaşma Analizi ve Sıvılaşmaya Karşı İyileştirilmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5(1), 153-165.
- Day, R. W., (2002). Geotechnical Earthquake Engineering Handbook, New York: Mc Graw-Hill Companies.
- Demircan, M., İlker, A., & Şensoy, S., (2011). Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanarak Sıcaklık Haritalarının Çözünürlüğünün Artırılması. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 7.
- Desroces, R., Comerio, M., Eberhang, O. M., Mooney, W. D. & Rix, G. J., (2011). Overview of the 2010 Haiti Earthquakes, *ASCE, Liquefaction Problems in Geotechnical Engineering*, 1-105.
- Dipova, N., & Cangir B., (2017). Lara - Kundu (Antalya) düzlüğünün sıvılaşma şiddeti indeksi'ne (LSI) dayalı sıvılaşma haritası. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 41(1), 31-46.
- Dixit, J., Dewaikar, D., & Jangid, R. J. N. H., (2012). Soil liquefaction studies at Mumbai city. *Natural Hazards*, 63(2), 375-390.
- Duman, E. S., & İkizler, S. B., (2014). Assessment of Liquefaction Potential of Erzincan Province and its Vicinity, Turkey. *Natural Hazards*, 73, 1863-1887.
- Erdoğan, D., Tanrıman N., Sezer A., & Karakan E., (2020). Modelling results of liquefaction tests on a nonplastic silt. *Mühendislik ve Yer Bilimleri Dergisi*, 5(2), 96-122.
- Ergüven, K., (2005). *Zemin sıvılaşması* (Yüksek lisans tezi). <https://tez.yok.gov.tr> adresinden edinilmiştir. (Tez no. 167506).
- Erken, A., Özay, R., Kaya, Z., Ülker, M. B. C., & Elibol, B., (2004). Depremler sırasında zeminlerin sıvılaşması ve taşıma gücü kayıpları. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 3, 20-26.
- Esin, G., & Ceryan, Ş., (2015). Burhaniye (Balıkesir) Yerleşim Alanının Sıvılaşma Potansiyelinin Değerlendirilmesi, *Yerbilimleri*, 36, 2, 8-96.
- Eyüboğlu, Y., Bektaş, O., Seren, A., Nafiz, M., Jacoby, W.R., & Özer, R., 2006. Three directional Extensional Deformation and Formation of the Liassic Rift Basins in the Eastern Pontides (NE Turkey). *Geologica Carpathica*, 57, 5, 337-346.
- Finn, W. D. L., Ledbetter, R. H., & Wu, G., (1994). Liquefaction in Silty Soils, S. Prakash and P. Dakoulos (eds). Ground Failures Under Seismic Conditions. USA: American Society of Civil Engineers Geotechnical Special Publication, 44, 51-76.
- Franke, R., & Nielson, G., (1980). Smooth interpolation of large sets of scattered data, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 15, 1691-1704.
- Gautam, D., de Magistris, F. S., & Fabbrocino, G. J. S. D., (2017). Soil liquefaction in Kathmandu valley due to 25 April 2015 Gorkha, Nepal earthquake. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 97, 37-47,
- Gücek, S., & Zorluer İ., (2021) Bir boyutlu analiz yöntemiyle sahaya özel sıvılaşma risk haritalarının oluşturulması: Afyonkarahisar örneği. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(4), 908-921.

- Guoxing, C., Mengyun, K., Khoshnevisan, S., Weiyun, C., & Xiaojun, L., (2019). Calibration of Vs-based empirical models for assessing soil liquefaction potential using expanded database *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78, 945–957
- Habibullah, B. M., Pokhrel, R. M., Kuwano, J., & Tachibana, S., (2012). GIS-based soil liquefaction hazard zonation due to earthquake using geotechnical data. *Internaitonal Journal of Geomate*, 2(1), 154-160.
- Hadush, S., Yashima, A., Uzuoka, R., Moriguchi, S., & Sawada, K., (2001). Liquefaction induced lateral spread analysis using the CIP method. *Computers Geotechnics*, 28(8), 549-574,
- Hasançebi, N., & Ulusay, R., (2007). Empirical Correlations Between Shear Wave Velocity and Penetration Resistance for Ground Shaking Assessments. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 66, 203-213.
- Holzer, T. L., Jayko, A. S., Hauksson, E., Fletcher, J. P., Noce, T.E., Bennett, M. J., Dietel, C. M. and Hudnut, K. W., (2010). Liquefaction caused by the 2009 Olanca, California (USA), M5. 2 earthquake. *Journal of Engineering Geology*, 116(1-2), 184-188.
- Huang, Y., & Yu, M., (2013). Review of soil liquefaction characteristics during major earthquakes of the twenty-first century. *Natural Hazards*, 65, 2375-2384.
- Ilgaç, M., (2015). *A Comparative Assessment Of Seismic Soil Liquefaction Triggering Relationships* (Yüksek lisans tezi). <https://tez.yok.gov.tr> adresinden edinilmiştir. (Tez no. 418323).
- Ishihara, K., (1985). Stability of natural deposits during earthquakes. Proceedings of the 11th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Netherlands: *AA Balkema*, 321-376.
- Ishihara, K., (1993). Liquefaction and flow failure during earthquakes. *Géotechnique*, 43, (3), 351-451. <https://doi.org/10.1680/geot.1993.43.3.351>.
- Iwasaki, T. K., & Tokida, K. T., (1982). Microzonation for soil liquefaction potential usingsimplifiedmethods. *The 13th International Conference on Microzonation*; Seattle, USA, 1319-1330.
- Iwasaki, T., Arakawa, T., & Tokida, K. I., (1984). Simplified procedures for assessingn liquefaction during earthquakes. *Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 3(1), 49-58.
- Juang, C. H., Yuan, H., Li, D. K., & Yang, S. H., (2005). Christopher, R.A., Estimating severity of liquefaction-induced damage near foundation, *Soil Dynamics Earthquake Engineering Research Insititue*, 25(5), 403-411.
- Kalafatçioğlu, A., (1968). 1967 yılı Sakarya depremine ait kısa not. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 70, 129-137.
- Kanıbir, A., (2003). *Sapanca'daki yanal yayılmanın incelenmesi ve yanal yayılmaya bağlı yerdeğiştirmelerin tahmini için görgül ilişkilerin önerilmesi* (Yüksek mühendislik tezi). <https://tez.yok.gov.tr> adresinden edinilmiştir. (Tez no. 131002).
- Karagöz, Ö., (2007). *Batı anadolu kuvvetli yer hareketi verilerinden azalım ilişkilerinin modellenmesi* (Yüksek lisans tezi). <https://tez.yok.gov.tr> adresinden edinilmiştir. (Tez no. 213142).
- Karakan, E., Tanrinian, N., & Sezer, A., (2019). Cyclic undrained behavior and post liquefaction settlement of a nonplastic silt. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 120, 214-227.

- Karanlık, S.,(2006). *Hatay Altınkoy çevresinin zemin sıvılaşma riskinin belirlenmesi*(Yüksek lisans tezi). (Yüksek lisans tezi). <https://tez.yok.gov.tr> adresinden edinilmiştir. (Tez no. 183734).
- Kayabalı, K., Yılmaz, P., Fener, M., Aktürk, Ö., & Habibzadeh, F., (2017). Zemin sıvılaşmasının enerji yaklaşımıyla değerlendirilmesi. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 156, 1-26.
- Kayabalı, P. D. K., Selçuk, L., & Beyaz, T., (2020). An approach for the application of energy-based liquefaction procedure using field case history data. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 163(163), 99-114.
- Kayabasi, A., & Gokceoglu, C., (2018). Liquefaction potential assessment of a region using different techniques (Tepebasi, Eskişehir, Turkey). *Engineering Geology*, 246.
- Kayen, R. E., Mitchell, J. K., Seed, R., Lodge, A., Nishio, S. Y., & Coutinho, R., (1992). Evaluation of SPT-, CPT-, and shear wave-based methods for liquefaction potential assessment using Loma Prieta data, Proc., 4th Japan-US Workshop on Earthquake-Resistant Des. of Lifeline Fac. and Countermeasures for Soil Liquefaction, NCEER-92-0019, 177-192,
- Keskin, İ., Korkmaz, S., Gedik, İ., Ateş, M., Gök, I., Küçümen, Ö., & Erkal, T., (1989). Bayburt dolayının jeolojisi. MTA Rapor No:8995, Ankara.
- Ketin, İ., (1966). Anadolu'nun tektonik birlikleri. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 66, 20-34.
- Ketin, L., (1951). Bayburt bölgesinin jeolojisi hakkında, *İst. Üni. Fen Fak. Mecmuası*, 21, 113-127.
- Koç, G., (2007). *Gölcük ve çevresinin sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesi*.(Yüksek lisans tezi). <https://tez.yok.gov.tr> adresinden edinilmiştir. (Tez no. 232692).
- Kokusho, T., (2016). Major advances in liquefaction research by laboratory tests compared with in situ behavior. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 91(Elsevier), 3-2.
- Kol, Ç., & Küpcü, S., (2008). *Esri ArcGIS 3D Analiz*. 1, Ankara : *Sinan Ofset Matbacılık San. Tic. Ltd. Şti*, 55-63.
- Kolat, C., Ulusay, R. and Suzen, M. L., (2012). Development of geotechnical microzonation model for Yenisehir (Bursa, Turkey) located at a seismically active region. *Journal of Engineering Geology*, 127, 36-53.
- Köleoğlu, E., (2002). Sıvılaşma Potansiyeli Değerlendirmeleri ve Sıvılaşma Analizi Kriterlerinin Karşılaştırılması, İstanbul. (Yüksek lisans tezi). <https://tez.yok.gov.tr> adresinden edinilmiştir. (Tez no. 126887).
- Kramer, S. L., (1996). Geotechnical Earthquake Engineering, USA: *Prentice-Hall Civil Engineering and Engineering Mechanics*, 652.
- Küpcü, S., (2005). ArcGIS 9 Uygulama Dökümanı.1, Ankara: *İşlem Coğrafi Bilgi Sistemleri Mühendislik ve Eğitim Ltd. Şti*, 1-10.
- Lai, S., (1998). Rigid and Flexible Retaining Walls During Kobe Earthquake. *International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering*, SOA-4, p.108-127.
- Lee, I. K., White, W., & Oven, G. I., (1983). Geotechnical Engineering. All from The University of New South Wales, Australia. Pitman Publish Inc., pp.119-125, Boston, London, Melbourne, Toronto.
- Lenz, J. A., & Baise, L. G., (2007). Spatial variability of liquefaction potential in regional mapping using CPT and SPT data, *Soil Dynamics Earthquake Engineering Research Insitue*, 27 (7), 690-702.

- Lin, P. S., Chang, C.W., & Chang, W. J., (2004). Characterization of liquefaction resistance in gravelly soil: large hammer penetration test and shear wave velocity approach, *Soil Dynamics Earthquake Engineering Research Insititue* 24(9-10), 675-687, Liu-Zeng, J., Wang, P., Zhang, Z., Li, Z., Cao, Z., Zhang, J. and Xing, X. (2017). Liquefaction in western Sichuan Basin during the 2008 Mw 7.9 Wenchuan earthquake, China. *Tectonophysics*, 694, 214-238.
- Mayne, P. W., Christopher, B. R., & Dejong, J., (2014). Jeoteknik Saha İnceleme Kılavuzu, 1.Basım.; Çeviren Kamil Kayabalı, Ed.; Ankara Üniversitesi: Ankara.
- Mert, A. C., Arel E., & Önalp A., (2020). The Spatial Distribution of Liquefaction Susceptibility by Logistic Regression Model adapted for Adapazari, Turkey. *Teknik Dergi*, 31, (2), 9851-9868.
- Mhaske, S. Y., & Choudhury, D., (2010). GIS-based soil liquefaction susceptibility map of Mumbai city for earthquake events, *Journal of Applied Geophysics*, 70(3), 216-225.
- Mollamahmutoğlu, M., & Babuçcu, F., (2006). *Zeminlerde sıvılaşma analiz ve iyileştirme yöntemleri* . Gazi Kitabevi, Ankara.
- Okamoto, T., Kokusho, T., Yoshida, Y. Y., & Kusunoki, K., (1989). Comparison of Surface vs. Subsurface Wave Source Wave Source for P-S Logging in Sand Layer. *44th Annual Conference, JSCE*, Japanese, 3, 996-997.
- Onur, M. İ., (2007). *Dinamik Etkiler Altında Zemin Deformasyonunun İncelenmesi*. (Yüksek lisans tezi). <https://tez.yok.gov.tr> adresinden edinilmiştir. (Tez no. 212991).
- Orhan, M., & Ateş A., (2011). Koni Penetrasyon Testi (CPT) verileri ile zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin Manisa-Saruhanlı örneği ile araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 14, (1), 15-23.
- Orhan, M., Özer, M., & Işık, N. S., (2007). Zemin Mekaniği Laboratuvar Deneyleri, 1, 2.Baskı. Ankara: Gazi Kitabevi.
- Özaydın, K., (2007). Zeminlerde Sıvılaşma, 6. *Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, 231-255.
- Özdemir, A., & İnce, İ., (2004). Geology seismotectonics and soil liquefaction susceptibility of Ilgın (west-central part of Turkey) residential area. *Engineering Geology*, 77(1-2), 169-188.
- Özsoy, S. P., (2012). *Antalya- Kundu bölgesindeki Zeminlerin Mühendislik Özelliklerinin Araştırılması*. (Yüksek lisans tezi). <https://tez.yok.gov.tr> adresinden edinilmiştir. (Tez no. 334972) .
- Papathanasiou, A., Messinis, L., Zampakis, P., Panagiotakis, G., Gourzis, P., Georgiou, V., & Papathanasopoulos, P., (2015). Thalamic atrophy predicts cognitive impairment in relapsing remitting multiple sclerosis. Effect on instrumental activities of daily living and employment status. *Journal of the Neurological Sciences*, 358(1), 236 -242.
- Papathanassiou, G., Seggis, K., & Pavlides, S., (2011). Evaluating earthquake-induced liquefaction in the urban area of Larissa, Greece. *Bulletin of Engineering Geology the Environment*, 70(1), 79-88.
- Pehlivan, M., (2009). *Assessment of liquefaction susceptibility of fine grained soils* (Yüksek Lisans Tezi). <https://tez.yok.gov.tr> adresinden edinilmiştir. (Tez no. 255799).
- Polat, F., (2002). *İstanbul Yerleşim Alanı İçerisindeki Kuvaterner Çökellerin Sıvılaşma Potansiyeli* (Yüksek Lisans Tezi). <https://tez.yok.gov.tr> adresinden edinilmiştir. (Tez no. 127146).

- Rahman, M. Z., Siddiqua, S., & Kamal, A. M., (2015). Liquefaction hazard mapping by liquefaction potential index for Dhaka City, Bangladesh. *Engineering Geology*, 188, 137-147.
- Rashidian, V., & Gillins, D. T., (2018). Modification of the liquefaction potential index to consider the topography in Christchurch, New Zealand. *Engineering Geology*, 232, 68-81.
- Rauch, A. F., (1997). *EPOLLS: An Empirical Method for Predicting Surface Displacements due to Liquefaction-Induced Lateral Spreading in Earthquakes* (Doktora Tezi). Erişim Adresi: <http://hdl.handle.net/10919/30346>
- Reynolds, J. M., (1997). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. UK: Reynolds Geo-Sciences Ltd.
- Robertson, P., & Wride, C., (1998). Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test, *Canadian Geotechnical Journal*, 35(3), 442-459.
- Sağlam, M., (2008). *Saruhanlı (Manisa) Belediyesi İmar Planına Esas Alanların Sivilaşma Potansiyelinin İrdelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). <https://tez.yok.gov.tr> adresinden edinilmiştir. (Tez no. 212910)
- Sana, H., and Nath, S. K., (2016). Liquefaction potential analysis of the Kashmir valley alluvium, NW Himalaya. *Soil Dynamics Earthquake Engineering Research Insitutue*, 85, 11-18.
- Seed, H. B., & Idriss, I. M., (1982). *Ground Motions and Soil Liquefaction During Earthquakes*. California: EERI Monograph, Berkeley.
- Seed, H. B., Idriss, I. M., & Arango, I., (1983). Evaluation of Liquefaction Potential Using Field Performance Data. *Journal of Geotechnical Engineering*, 109(3), 458-482.
- Seed, H. B., Tokimatsu, K., Harder, L. F., and Chang, R. M., (1985). Influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations, *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, 111, (GT12), 1425-1445.
- Seed, H. B., & de Alba, P., (1986). Use of SPT & CPT Tests for Evaluating the Liquefaction Resistance of Soils. *The Specialty Conference on the use of İnsitu Tests İngeotechnical Engineering ASCE*, Blacksburg Virginia,
- Seed, H. B., & Idriss, I. M., (1971). Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE*, 97, 9.
- Seed, H. B., (1976). Evaluation of soil liquefaction effects on level ground during earthquakes, *ASCE, National Convention on Liquefaction Problems in Engineering, P.A.*, 27-52,
- Seed, H. B., Idriss I. M., & Arango I., (1983). Evaluation of liquefaction potential using filed performance data. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE*, 109, 3, 458-482.
- Seed, R. B., Çetin, K. O., Moss, R. E. S., Kammerer, A. M., Wu, J., Pestana, J. M., & Riemer, M. F., (2003). Recent Advances in Soil Liquefaction Engineering and Seismic Site Response Evaluation. *4th International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics*, San Diego, USA.
- Selçukhan, O., & Ekinici A., (2021). Zemin İyileştirme Yöntemleri ve Yaygın Kullanımına Bağlı Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 481-496.
- Seven, S., (2008). *Eskişehir İli Tepebaşı Bölgesinin Temel Zemini özelliklerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri Ortamında İncelenmesi* (Yüksek lisans tezi). <https://tez.yok.gov.tr> adresinden edinilmiştir. (Tez no.178903)

- Shahien, M. M., (2016). Fines content correction factors for SPT-N values–liquefaction resistance correlations, Acosta-Martínez & Kelly (Eds). Geotechnical Geophysical Site Characterization 5-Lehane, (s.76). Sydney: *Australian Geomechanics Society*.
- Sharma, B., & Hazarika, P. J. G., (2013). Assessment of liquefaction potential of Guwahati city: A case study. *Geotechnical and Geological Engineering*, 31(5), 1437-1452,
- Sivrikaya, O., & Toğrol, E., (2003). İnce Taneli Zeminlerde SPT Sonuçlarının Düzeltilmesi Üzerine Bir Çalışma. *İTÜ Mühendislik Dergisi*, 2(6), 59-67.
- Smoltczyk, U., (Ed.) (2002). Geotechnical Engineering Handbook, Berlin: *Ernst&Sohn A Wiley Company*, 77-97.
- Sönmez, B., & Ulusay, R., (2008). Liquefaction potential at Izmit Bay: comparison of predicted and observed soil liquefaction during the Kocaeli earthquake. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 67, 1-9.
- Sönmez, B., (2006). Kocaeli Körfezi Güney Kıyısında Sıvılaşma Potansiyelinin ve Kapak Zemini Kalınlığını Yüzey Deformasyonlarına Etkisinin Araştırılması, (Yüksek lisans tezi). <https://tez.yok.gov.tr> adresinden edinilmiştir. (Tez no. 182412).
- Sönmez, B., (2006). *Kocaeli Körfezi Güney Kıyısında Sıvılaşma Potansiyelinin ve Kapak Zemini Kalınlığını Yüzey Deformasyonlarına Etkisinin Araştırılması* (Yüksek lisans tezi). <https://tez.yok.gov.tr> adresinden edinilmiştir. (Tez no. 157338).
- Sönmez, B., Dağdelenler, G., Özcan, N. T., & Ercanoğlu, M., (2015). Yapay Sinir Ağı Kullanılarak CPT Tabanlı Sıvılaşma Değerlendirme Abağının Geliştirilmesi, *Yerbilimleri*, 36(2), 45-60.
- Sönmezer, Y. B., Çeliker M., & Kılınç, M. Y., (2012). Kırıkkale ili bahçelievler ve fabrikalar mahallelerinin sıvılaşma potansiyelinin coğrafi bilgi sistemlerinde analizi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 4(1), 33-40.
- Sünnetçi, M. O., & Ersoy, H., (2021). Sahilkent (Bafra, Samsun) yöresindeki alüvyal zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin CPT verileri kullanılarak araştırılması. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(2), 288-304.
- Suzuki, Y., Koyamada, K., & Tokimatsu, K., (1997). Prediction of liquefaction resistance based on CPT tip resistance and sleeve friction. *XIV International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Hamburg, Germany, 603-606.
- Taylan, Z., Uysal, H., Lav, M., & Erken, A., (2007). İstanbul, Sıvılaşma ve taşıma gücü kaybı sonucu oluşan oturmaları kapsayan vaka analizi. *Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, 471-482.
- Timur, E., & Sarı C., (2020). Determination of liquefaction resistance and allowable bearing capacity of soils based on vs (shear wave) velocity; case study: ısparta süleyman demirel industrial region waste treatment facility. *International Journal of Computational and Experimental Science and Engineering*, 6(3), 180-188.
- Tokimatsu, K., & Yoshimi, Y., (1983). Empirical correlation of soil liquefaction based on SPT-N value and fines content, *Soil and Foundations*, 23, 4, 56-74.
- Tonaroğlu, M., (2006). *Sıvılaşmanın Nümerik Yöntemlerle Modellenmesi* (Doktora Tezi). <https://tez.yok.gov.tr> adresinden edinilmiştir. (Tez no. 180568).
- Tosun, H., & Orhan, A., (2007). Coğrafi Bilgi Sistemi Programlarının Temel Zeminin Jeo-Mühendislik Özelliklerinin Belirlenmesinde Kullanımı: Eskişehir Örneği. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 76-89.

- Tosun, H., Seyrek E., Orhan A., Savaş, H., & Türköz, M., (2011). Soil Liquefaction Potential in Eskişehir, NW Turkey. *Natural Hazards and Earth System Sciences*,11(4), 1071-1082.
- Tunusluoglu, M. C., & Karaca, O., (2018). Liquefaction severity mapping based on SPT data: a case study in Canakkale city (NW Turkey). *Environmental Earth Sciences*, 77(12), 422
- Ulusay, R.,& Kuru, T.,(2004). 1998 Adana-Ceyhan (Turkey) earthquake and a preliminary microzonation based on liquefaction potential for Ceyhan town. *Natural Hazards*,23,4, 56-74.
- Ulusay, R., & Tosun, H., (1999). Assessment of geomechanical properties and liquefaction susceptibility of foundation soils at a dam site, Southwest Turkey. Turkish Earthquake Foundation, Report No. TDV/TR 020-34, 63 p,
- Ulusay, R., (2000). Zemin sıvılaşması. *Mavi Gezegen Popüler Yerbilimleri Dergisi*, 2, 47-56.
- Ulusay, R., Tuncay, E., Sönmez, H., & Gökçeoğlu, C., (2004). An attenuation relationship based on Turkish strong motion data and iso-acceleration map of Turkey, *Engineering Geology*, 74, 265-291.
- Ündül, Ö., & Gürpınar, O., Çokal., (2003). Vadisindeki (Gelibolu) alüvyal zeminlerin sıvılaşma potansiyeli. *İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yerbilimleri Dergisi*, 16(1), 67-80.
- Ünüçok, B., (2007). *Soğrulma ve Dispersiyonun Yüzey Dalgalarına Etkisi*, (Yüksek lisans tezi). <https://tez.yok.gov.tr> adresinden edinilmiştir. (Tez no. 213710).
- Unutmaz, B., (2008). *Assessment of Soil-Structure-Earthquake Interaction Induced Soil Liquefaction Triggering*. (Doktora tezi). <https://tez.yok.gov.tr> adresinden edinilmiştir. (Tez no. 238285).
- Unutmaz, B., Çetin, K. Ö., (2007). Sismik zemin sıvılaşmasında zemin-yapı-deprem etkileşimi. *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, 495-506.
- URL-1, <https://www.esri.com/en-us/home>
- URL-1, Gisgeography, (2021). Ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon. Erişim Adresi: <https://gisgeography.com/inverse-distance-weighting-idw-interpolation/> , 04.05.2021.
- URL-1, MGM, (2021). Bayburt ili sıcaklık ve yağış ortalamaları. 2 Mart 2021 tarihinde <https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceleristatistik.aspx?k=A&m=BAYBURT>, adresinden erişildi.
- URL-1, MTA, 2021 <http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx>
- URL-2, Bayburt postası (2021). <https://www.bayburtpostasi.com.tr/tarim/demirozu-barajıyla-92-milyon-hektar-tarim-arazisi-daha-suya-kavusacak-h18575.html> adresinden erişildi.
- Uyanık, O., (2020). Soil liquefaction analysis based on soil and earthquake parameters. *Journal of Applied Geophysics*, 176, 104004.
- Uyar, O., (2006). *Kayma Dalga Hızı ve Basitleştirilmiş Prosedüre Bağlı Karşılaştırılmalı Olarak Sıvılaşma Direnç Değerlendirmesi* (Yüksek lisans tezi). <https://tez.yok.gov.tr> adresinden edinilmiştir. (Tez no. 185381).
- Uzuner, B. A., (2000). Temel Mühendisliğine Giriş. Trabzon: *Derya Kitabevi*, 7-19.
- Xin Kang, S. M., Louis Ge, M., Kuang-Tsung, C., Annie On-Lei, K., (2016). Strain-controlled cyclic simple shear tests on sand with radial strain measurements. *Journal of Materials in Civil Engineering ASCE*, 28(4), 25-40.

- Yalçın, A., Gokceoglu, C., & Sönmez, H., (2008). Liquefaction severity map for Aksaray city center (Central Anatolia, Turkey). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8, 641-649.
- Yang, Y., Chen, L., Sun, R., Chen, Y., Wang, W., (2017). A depth-consistent SPT-based empirical equation for evaluating sand liquefaction. *Journal of Engineering Geology*, 221, 41-49.
- Yaran, Ç., Özden, G., (2020). 1999 Marmara Depreminde Sıvılaşmaya Bağlı Hasar Oluşan Bir Bloklü Rıhtım Duvarın Geriye Dönük Analizi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi*, 22(65), 469-479.
- Yasuda, S., (2004). Evaluation of Liquefaction-Induced Deformations of Structures. Ansal, Recent Advances in Earthquake Geotechnical Engineering and Microzonation (199-230). Netherlands: Kluwer Academic Publisher.
- Yatman, Z. Ö., (2006). *Sıvılaşma Sonucu Oluşan Zemin Yetersizliklerinin İrdelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). <https://tez.yok.gov.tr> adresinden edinilmiştir. (Tez no. 181950).
- Yıldız, Ö., (2011). *Investigation On The Mitigation of Earthquake Hazards With Inclusion Of Tire Wastes Into The Sand* (Yüksek lisans tezi). <https://tez.yok.gov.tr> adresinden edinilmiştir. (Tez no. 301680).
- Yilmaz, I., Bağcı, A., (2006). Soil liquefaction susceptibility and hazard mapping in the residential area of Kütahya (Turkey), *Environmental Geology*, 49 (5), 708-719.
- Yilmaz, I., Yavuzer, D., (2005). Liquefaction potential and susceptibility mapping in the city of Yalova, Turkey. *Environmental Geology*, 47(2), 175-184.
- Yilmaz, I., Yıldırım, M., Keskin, İ., (2014). Zemin Mekaniği Laboratuvar Deneyleri Ve Çözümlü Problemler, 2.Baskı, Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- Yilmaz, Z., Çetin, K. Ö., (2004). GIS-based seismic soil liquefaction assessment for Sakarya city after 1999 Kocaeli-Turkey earthquake. *The 11th International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering and The 3rd International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering*, University of California Berkeley, USA, 909-6.
- Yomralıoğlu, T., (2002). Coğrafi Bilgi Sistemleri Temel Kavramlar ve Uygulamalar. 5, İstanbul: Seçil Ofset, 16-25.
- Youd, T. L., (2003). Liquefaction Mechanisms and Induced Ground Failure. *International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology*, 81B, 1159-1173.
- Youd, T. L., & Gilstrap, S. D., (1999). Liquefaction Susceptibility of Fine-Grained Soils. 2nd *International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering*, Lisbon, Portugal, 1013-1020.
- Youd, T. L., & Perkins, D. M., (1978). Mapping liquefaction-induced ground failure potential. *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 104, (GT4), 433-446.
- Youd, T. L., Idriss, I. M., Andrus, R. D., Arango, I., Castro, G., Christian, J. T., Dobry, R., Finn, L., Harder, L. F., Koester, J. P., & Liao, S. S. C., (2001). Liquefaction resistance of soils – Summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 127(4), 297-313.
- Youd, T. L., & Wieczorek, G. F., (1984b). Liquefaction during the 1981 and previous earthquakes near Westmorland, California. Menlo Park, California: *Geological Survey*.

- Youd, T. L., (1984a). Geological effects-liquefaction and associated ground failure. *Geological and Hydrogeological Hazards Training Program United States Geological Survey*, 210-232, USA.
- Yürekli, H., & Karaca, Ö., (2020). "Liquefaction potential analysis and mapping of alluvium soil: A case study in Nazilli-Aydın (West Turkey)". *Celal Bayar University Journal of Science*, 16(1), 15-23.



Ekler

Ek 1: Jeolojik Etüt Kullanım İzin Belgeleri



T.C.
TARIM VE ORMAN BAKANLIĞI
Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
22. Bölge Müdürlüğü



Sayı : E-30797853-114.99-765635

27.11.2020

Konu : Diğer (Jeoteknik Etüdler)

Sayın Narin AYENGİN

İlgi : Narin AYENGİN'in 20.11.2020 tarihli başvurusu.

İlgi yazınızda, Bayburt Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans yaptığımız belirtilmiş olup, Tez çalışmanızda kullanılmak üzere Kurumumuzdan gerekli destek ve yardımın yapılması talep edilmektedir.

Yapacak olacağınız yüksek lisans çalışmasında kullanılmak üzere gerekli bilgi ve destek tarafınıza verilecek olup,

Bilgileriniz rica ederim.

Necip İBA
Bölge Müdürü V. a.
Bölge Müdür Yardımcısı

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Belge Doğrulama Kodu : VNYIVARK

Belge Doğrulama Adresi: <https://www.turkiye.gov.tr/devlet-su-isleri-ebys>

Adres: DSİ 22. Bölge Müdürlüğü 61220 Yahıncak/TRABZON

Telefon: (462) 334 11 05

Faks: (462) 334 11 10

Bilgi için: Güven Köksal

KUTLU

Şube Müdürü



EK-1:Jeolojik Etüt Kullanım İzin Belgeleri

ELEKTRONİK DOKÜMAN YÖNETİMİ
Tarih : 20.11.2020
Sayı : 66483
Saat : 15:14
www.ilbank.gov.tr

İLLER BANKASI TRABZON BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ
TRABZON

Bayburt Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Geoteknik bölümü yüksek lisans öğrencisiyim. Bayburt ilinin sivilizasyona aidiyeti ve haitatlarını hazırlanması adı altında tezimi hazırlanmaktayım. Kurumunuzca Bayburt ve Geyresindeki sondaj rapor sonuçlarının ve tezinde kullanmam için gerekli iznin tarafıma verilmesi hususunda;

Gereğini arz ederim.

20.11.2020

Sr. ALIKUR
20.11.2020

Sr. S. BENDAR
20/11

İstenilen bilgiler
CP ortamında ilgili zaka
verilmiş

S. BENDAR 20/11/20



EK-1:Jeolojik Etüt Kullanım İzin Belgeleri

T.C.
DEMİRÖZÜ BELEDİYE BAŞKANLIĞI
Fen İşleri Müdürlüğü

Sayı : 71955968-310.99/ **776**
Konu: Bilgi ve Belge İsteği

27.11.2020

Sayın; Narin AYENGİN
(Şirin Mah. Dr. Ülkü Güney Cad.No:27/B Demirözü/BAYBURT)

İlgi :10.11.2020 tarih ve bİla sayılı dilekçeniz.

İlgi sayılı dilekçenize istinaden, Bayburt İli Demirözü İlçesi genelinde yapılan sondaj rapor sonuçlarının yüksek lisans tezinizde kullanılması açısından talebiniz uygun görülmüş olup istenilen bilgi ve belgelerin kullanımı konusunda gerekli izinlerin tarafınıza verildiği hususunu;

Bilgilerinize rica ederim.

Arslan GÜNER
Belediye Başkanı



Fatih Sultan Mehmet Cad. No:1/1 DEMİRÖZÜ
Telefon: 0(458) 411 6003 Faks: 0(458) 411 6227

Ayrıntılı Bilgi için: S.BİRGÜL

Özgeçmiş

Narin AYENGİN, ... yılında.....'un ilçesinde doğdu. İlkokulu İlkokulu'nda okudu. Liseyi Anadolu Lisesi'nde okudu. 2012 yılında Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünü kazandı. Yapı stajını Akdeniz İnşaat ve Eğitim Hizmetleri A.Ş Maslak 1453 projesinde, karayolu stajını ise İçtaş İnşaat 3.Boğaz Köprüsü ve Kuzey Marmara Otoyolu projesinde tamamladı. 2014 yılında TÜBİTAK 2209 Üniversite Öğrencileri Yurt İçi/Yurt Dışı Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında Barit Agregalı Ağır Betonların Isıl İletkenliğinin Araştırılması adlı projesi desteklendi. 2016 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun oldu.2016 yılında İstanbul'da Doğuş Mühendislik'te Levent Life II projesinde saha mühendisi olarak çalışmaya başladı.2018 yılında şahıs firması Narin Ayengin Mühendislik şirketini kurdu. 2018 yılında Bayburt Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Geoteknik Anabilim dalında yüksek lisansına başladı. 2020 yılında Demirözü Belediye Başkanlığı'nda çalışmaya başladı.