

**KUZEY ANADOLU FAY ZONU ÜZERİNDE YER
ALAN ERBAA (TOKAT) İLÇESİNİN COĞRAFİ
BİLGİ SİSTEMİ (CBS) TABANLI SİSMİK
MİKROBÖLGELENDİRMESİ**

PROJE NO: 107Y068

**Prof. Dr. Tamer TOPAL
Araş. Gör. Müge AKIN**

**Aralık 2009
ANKARA**

ÖNSÖZ VE KATKI BELİRTME

“Kuzey Anadolu Fay Zonu Üzerinde Yer Alan Erbaa (Tokat) İlçesinin Coğrafi Bilgi Sistemi Tabanlı Mikrobölgelendirmesi” adlı **TÜBİTAK ÇAYDAG 107Y068** kod nolu projenin gerçekleşmesinde maddi ve manevi katkılarından dolayı başta Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu ile Orta Doğu Teknik Üniversitesi’ne, TÜBİTAK ÇAYDAG sekreterliği çalışanlarına, aldığı DPT projesinden verdiği maddi ve manevi katkılarından dolayı Cumhuriyet Üniversitesi öğretim üyesi Prof. Dr. Orhan Tatar’a, Erbaa Belediye Başkanı ve çalışanlarına, projeye bilimsel bilgi birikimini aktaran University of Washington öğretim üyesi Prof. Dr. Steven L. Kramer’e, projenin son aşamalarında verdiği destek dolayısıyla Dr. Mutluhan Akın’a ve projeyi bilimsel açıdan değerlendiren hakemlere teşekkür ederiz.

İÇİNDEKİLER

Önsöz ve Katkı Belirtme.....	ii
Öz.....	iii
Abstract.....	iv
İçindekiler.....	v
Şekiller Dizini.....	ix
Çizelgeler Dizini.....	xv
1. Giriş.....	1
1.1 Amaç ve Kapsam.....	1
1.2 Çalışma Alanı ve Ulaşım	5
1.3 İklim.....	6
1.4 Tarihsel Geçmiş.....	6
1.5 Çalışma Yöntemi.....	7
1.5.1 Veri üretimi.....	7
1.5.2 Değerlendirme.....	8
1.6 Önceki Çalışmalar.....	8
2. Jeoloji, Tektonik Aktivite ve Depremsellik.....	10
2.1 Bölgesel Jeoloji ve Stratigrafi.....	10
2.1.1 Paleozoik birimler.....	10
2.1.1.1 Turhal grubu.....	10
2.1.2 Mesozoyik birimler.....	11
2.1.2.1 Seyfe formasyonu.....	11
2.1.2.2 Doğdu formasyonu.....	11
2.1.2.3 Yumaklı formasyonu.....	11
2.1.3 Tersiyer birimler.....	11
2.1.3.1 Akveren formasyonu.....	11
2.1.3.2 Kusuri formasyonu.....	12
2.1.3.3 Tekkeköy formasyonu.....	12

2.1.3.4 Çerkeş formasyonu.....	12
2.1.4 Kuvaterner birimler	12
2.2 Tektonik.....	15
2.3 Erbaa ve Yakın Çevresinin Depremselliği	19
2.4 Çalışma Alanının Jeolojisi	23
3. Saha ve Laboratuvar Çalışmaları.....	34
3.1 Saha ve Laboratuvar Verileri.....	34
3.2 Önceki Çalışmalar.....	34
3.2.1 DSI Hidrojeoloji projesi.....	34
3.2.2 Ankara Üniversitesi Araştırma Projesi.....	38
3.2.3 Organize sanayi alanı ve atıksu arıtma tesisi için yapılan jeoteknik araştırmalar.....	40
3.3 Yeni Saha Çalışmaları.....	40
3.4 Yeni Laboratuvar Çalışmaları.....	52
3.5 Yeni Jeofizik Çalışmalar.....	62
3.5.1 Elektrik rezistivite çalışması.....	62
3.5.2 Sismik kırılma çalışması	67
3.5.3 SPT bazlı uphole çalışması.....	72
3.5.4 Mikrotremör ölçümleri.....	73
3.5.5 Downhole ölçümleri.....	76
3.5.5.1 REMI çalışması.....	79
3.5.5.2 Downhole noktalarındaki mikrotremör ölçümleri..	83
3.5.5.3 Downhole noktalarındaki rezistivite ölçümleri.....	85
3.5.5.4 Downhole noktalarındaki sismik kırılma ölçümleri	87
3.6 SCPTU Uygulamaları.....	88
4. Sismik Tehlike Analizi ve Deprem Kaydının Belirlenmesi.....	93
4.1 Sismik Tehlike Analizi.....	93
4.2 Deprem Kaydının Seçimi ve Azalım İlişkileri	96
5. Dinamik Zemin Parametreleri, Zemin Etkisi ve Zemin Büyütmesi.....	104
5.1 Giriş.....	104
5.2 Dinamik Zemin Parametreleri.....	104
5.3 Zemin Tepki Analizleri.....	116

5.4 Zemin Büyütmesi.....	121
6. Sıvılaşma ve Sıvılaşma Sonrası Etkiler.....	138
6.1 Giriş.....	138
6.2 Erbaa Zeminlerinin Sıvılaşmaya Karşı Duyarlılığının Belirlenmesi....	139
6.3 Erbaa Zeminlerinin Sıvılaşma Potansiyelinin Belirlenmesi.....	140
6.4 Sıvılaşma Sonrası Etkiler.....	142
6.4.1 Yanal yayılma.....	142
6.4.2 Erbaa zeminleri için yanıl yayılmanın değeriendirilmesi....	143
6.4.3 Sıvılaşma sonrası oturma.....	145
6.4.4 Erbaa zeminleri için sıvılaşma sonrası oturmaların değeriendirilmesi	145
6.5 Sıvılaşma ve sıvılaşma sonrası etkilere ait haritaların değeriendirilmesi.....	149
7. Çok Ölçütlü Karar Analizi.....	152
7.1 Giriş.....	152
7.2 Basit Ağırlıklı Toplam Yöntemi (BAT)	152
7.3 Analitik Aşamalı Sistem (AAS).....	153
7.4 Veri Üretimi ve Analizi.....	156
7.4.1 Girilen veriler.....	156
7.4.1.1 Yükseklik haritası.....	156
7.4.1.2 Eğim haritası.....	157
7.4.1.3 Bakı haritası.....	159
7.4.1.4 Litoloji haritası.....	160
7.4.1.5 Yeraltısuyu tablasına olan derinlik haritası.....	161
7.4.2 Değeriendirilerek girilen veriler.....	162
7.4.2.1 Faya olan uzaklık haritası.....	162
7.4.2.2 V_{s30} -tabanlı zemin sınıflama haritası.....	163
7.4.2.3 Zemin büyütme haritası.....	164
7.4.2.4 Sıvılaşma dolayısıyla oluşabilecek yüzey deformasyonları haritası.....	166
7.5 Çok Ölçütlü Karar Analizi.....	167
7.5.1 Yerleşim alanlarının sınıflaması.....	167

7.5.2 Basit Ağırlıklı Toplam (BAT) yöntemi kullanılarak yapılan ÇÖKA analizi.....	168
7.5.3 Analitik Aşamalı Sistem (AAS) yöntemi kullanılarak yapılan ÇÖKA analizi.....	171
7.6 Sismik Mikrobölgeleme Haritalarının Karşılaştırılması.....	175
8. Tartışma.....	177
8.1 Veri Üretimi.....	177
8.2 Veri Değerlendirmesi.....	179
9. Sonuç ve Öneriler	180
10. Kaynaklar.....	182

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Çalışma alanı yerbulduru haritası ve uydu görüntüsü	3
Şekil 1.2. Erbaa'nın panoramik görüntüsü.....	4
Şekil 1.3. Çalışma alanı sınırı.....	5
Şekil 2.1. Çalışma alanının bölgesel jeoloji haritası (Aktimur vd., 1989'dan değiştirilerek).....	13
Şekil 2.2. Çalışma alanı ve yakın civarının stratigrafik kolon kesiti (Aktimur vd., 1989'dan değiştirilerek).....	14
Şekil 2.3. Ana neotektonik yapıları gösteren Türkiye'nin basitleştirilmiş tektonik haritası (Şengör vd., 1985; Barka, 1992; Bozkurt, 2001b)	15
Şekil 2.4. (A) KAFZ ve DAFZ'yi gösteren harita (B) KAFZ'nin orta kısmındaki Neojen ve Güncel havzalar (C) Taşova–Erbaa ve Niksar basenlerinin basitleştirilmiş jeoloji haritası (Aktimur vd., 1992'den) (D) Taşova–Erbaa ve Niksar basenlerinin günümüzdeki durumları (Barka vd., 2000).....	17
Şekil 2.5. Orta Anadolu'nun doğusunun basitleştirilmiş ana yapısal unsurları (Koçyiğit ve Erol, 2001; Bozkurt ve Koçyiğit, 1996; Şaroğlu vd., 1992; Dirik ve Göncüoğlu, 1996; Bozkurt, 2001b'den değiştirilerek).....	18
Şekil 2.6. Doğu Akdeniz'in deprenselliği (1964-2001 tarihleri arasında $M > 4.0$ olan deprem episantırlarının dağılımı gösterilmiştir) (Taymaz vd., 2001'den değiştirilerek).....	19
Şekil 2.7. Türkiye ve yakın çevresi için GPS yatay hızları ve bunların %95'lik güvenilirlik elipsleri (189 lokasyon ve 1988-1997 tarihleri arasındaki veriler kullanılarak) (Taymaz vd., 2001'den değiştirilerek).....	20
Şekil 2.8. Tokat ilinin sismik zonlarını gösteren harita (Afet İşleri Genel Müdürlüğü, 1996).....	21
Şekil 2.9. Erbaa'nın jeoloji haritası (Aktimur vd., 1989'dan değiştirilerek).....	24
Şekil 2.10. Erbaa'nın jeoloji haritası (Canik ve Kayabalı, 2000'den değiştirilerek).....	26

Şekil 2.11. Pliyosen çökellerinin genel görünümü.....	27
Şekil 2.12. Pliyosen çökellerinin yakından fotoğrafı.....	27
Şekil 2.13. İmbat dere yatağının genel bir görüntüsü (kuzeydoğu yönüne bakış)..	28
Şekil 2.14. Çalışma alanının jeolojik haritası.....	29
Şekil 2.15.Çalışma alanındaki alüvyon içerisindeki bir kesitin görünümü.....	30
Şekil 2.16. Alüvyon birim içerisinde farklı tane boylarının görünümü.....	31
Şekil 2.17. Çakıllı seviyelerin yakından görünüşü.....	31
Şekil 2.18. Alüvyon içerisindeki çakıl mercekleri.....	32
Şekil 2.19. Kelkit Nehri yakınındaki kumlu seviyeler.....	32
Şekil 2.20. Kelkit Nehri yakınındaki sığ yeraltısuyu.....	33
Şekil 3.1. Çalışma alanındaki DSİ kuyularının lokasyon haritası (DSİ, 1971'den değiştirilerek).....	36
Şekil 3.2. Erbaa'nın (B-B') genelleştirilmiş jeolojik kesiti (Barka vd., 2000'den değiştirilerek).....	37
Şekil 3.3. Önceki projeler çerçevesinde yapılan sondajların alansal dağılımı.....	38
Şekil 3.4. Çalışma alanında jeofizik çalışması yapılan hatlar (Canik ve Kayabalı, 2000'den değiştirilerek).....	39
Şekil 3.5. Önceki ve yeni çalışmalar sırasında açılan tüm kuyuların lokasyonları.....	43
Şekil 3.6.Çalışma alanında yapılan sondaj çalışmaları.....	44
Şekil 3.7. SPT-N ₃₀ değerinin alüvyon ve Pliyosen çökellerinde derinlikle değişimi.....	45
Şekil 3.8. Jeolojik kesit hatları (I-I', II-II', III-III', IV-IV', V-V').....	46
Şekil 3.9. Jeolojik kesit I-I'.....	47
Şekil 3.10. Jeolojik kesit II-II'.....	48
Şekil 3.11. Jeolojik kesit III-III'.....	49
Şekil 3.12. Jeolojik kesit IV-IV'.....	50
Şekil 3.13. Jeolojik kesit V-V'.....	51
Şekil 3.14. Alüvyon içerisinde açılan bazı kuyulardaki (BH-4, BH-20, ve BH-39) örneklerin tane boyu dağılımı.....	54
Şekil 3.15. Pliyosen içerisinde açılan bazı kuyulardaki (BH-12, BH-24, ve BH-33) örneklerin tane boyu dağılımı.....	55
Şekil 3.16. Alüvyon zeminin plastisite abağı.....	57

Şekil 3.17. Pliyosen çökellerinin plastisite abağı.....	57
Şekil 3.18 Jeofizik çalışma noktaları.....	62
Şekil 3.19. A-A' rezistivite kesiti.....	63
Şekil 3.20. B-B' rezistivite kesiti.....	64
Şekil 3.21. C-C' rezistivite kesiti.....	65
Şekil 3.22 D-D' rezistivite kesiti.....	66
Şekil 3.23. A-A' sismik kırılma kesiti.....	68
Şekil 3.24. B-B' sismik kırılma kesiti.....	69
Şekil 3.25. C-C' sismik kırılma kesiti.....	70
Şekil 3.26. D-D' sismik kırılma kesiti.....	71
Şekil 3.27. SPT-bazlı uphole yönteminin şematik gösterimi (Bang ve Kim, 2007' den değiştirilerek).....	72
Şekil 3.28. Mikrotremör ölçüm noktalarındaki hakim periyot değerleri (Dikmen vd., 2009).....	74
Şekil 3.29. Mikrotremör ölçüm noktalarındaki sismik oranlar (Dikmen vd., 2009).....	74
Şekil 3.30. REMI-MASW ve mikrotremör ölçüm noktaları.....	75
Şekil 3.31.MASW-REMI ölçümlerinden elde edilen V_s hızlarının derinliğe göre değişimi.....	76
Şekil 3.32. (a) DBH-1 (b) DBH-2 (c) DBH-3 kuyuları için derinlik-hız grafikleri.....	78
Şekil 3.33. DBH-1 kuyusundaki REMI ölçümlerine göre V_s hızının derinlikle değişimi.....	80
Şekil 3.34. DBH-2 kuyusundaki REMI ölçümlerine göre V_s hızının derinlikle değişimi.....	81
Şekil 3.35. DBH-3 kuyusundaki REMI ölçümlerine göre V_s hızının derinlikle değişimi.....	82
Şekil 3.36. DBH-1 noktasındaki mikrotremör ölçümüne göre büyütme oranı.....	83
Şekil 3.37. DBH-2 noktasındaki mikrotremör ölçümüne göre büyütme oranı.....	84
Şekil 3.38. DBH-3 noktasındaki mikrotremör ölçümüne göre büyütme oranı.....	84
Şekil 3.39. DBH-1 noktasındaki rezistivite ölçüm ve yorumları.....	85
Şekil 3.40. DBH-2 noktasındaki rezistivite ölçüm ve yorumları.....	86
Şekil 3.41. DBH-3 noktasındaki rezistivite ölçüm ve yorumları.....	87

Şekil 3.42. Örnek bir SCPTU kaydı (CPT-16).....	89
Şekil 3.43. Çalışma alanındaki SCPTU noktaları.....	91
Şekil 3.44. Orjinal bir sismik kayıt örneği (CPT-30, 9 m derinlikte).....	91
Şekil 3.45 SCPTU yöntemi ile V_s 'in derinliğe bağlı değişimi (CPT-30).....	92
Şekil 4.1. Çalışma alanında yüzey kırığına paralel zonlama.....	96
Şekil 4.2.. 42 deprem kaydı ile NGA modelin karşılaştırma örnek grafiği.....	101
Şekil 4.3. Belirlenen deprem kayıtlarına ait zaman-ivme değişimleri.....	102
Şekil 5.1. CPT, SCPTU, sismik kırılma ve SPT-bazlı uphole sonuçlarının grafiksel olarak karşılaştırılması (BH-10 için).....	106
Şekil 5.2. Tüm jeofonlar için kesme dalga hızının derinlik ile değişimi.....	107
Şekil 5.3. Farklı araştırmacılarca önerilen SPT-N ve V_s ilişkilerinin dikkate alındığı hesaplamaları gösteren grafiksel şekil (BH-2 için).....	110
Şekil 5.4. Ohta ve Goto (1976) ve Seed vd. (1986) ampirik yöntemleriyle hesaplanan kesme dalga hızı profili.....	111
Şekil 5.5. Çalışma alanının V_{s30} haritası.....	115
Şekil 5.6. Zemin tepkisini gösterir şekil.....	117
Şekil 5.7. Zemin tepki analizlerinde kullanılan karelej sistemi.....	118
Şekil 5.8. ProSHAKE (v.1.12) programında veri girişi özet tablosu.....	119
Şekil 5.9. ProSHAKE (v.1.12) programında örnek bir zemin profili.....	120
Şekil 5.10. Deprem kayıtlarının her bir zemin profili için ProSHAKE (v.1.12) programında tanımlanması.....	120
Şekil 5.11. ProSHAKE (v.1.12) program çıktısı.....	121
Şekil 5.12. 1989 Loma Prieta depremi sırasındaki zemin büyütmesi (Kramer 2009a'dan alınmıştır).....	122
Şekil 5.13. BH-4 için girdi yanıt spektrumları (Boore ve Atkinson, 2008 azalım ilişkisi modeli, 0 km mesafe için).....	123
Şekil 5.14. BH-4 için yüzey yanıt spektrumları (Boore ve Atkinson, 2008 azalım ilişkisi modeli, 0 km mesafe için).....	123
Şekil 5.15. BH-4 için zemin büyütme oranları (Boore ve Atkinson, 2008 azalım ilişkisi modeli, 0 km mesafe için).....	124
Şekil 5.16. BA 08 modeline göre yüzeydeki en büyük yatay yer ivmesi dağılımını gösterir harita.....	126
Şekil 5.17. CB 08 modeline göre yüzeydeki en büyük yatay yer ivmesi	

dağılımını gösterir harita.....	127
Şekil 5.18. Çalışma alanındaki zemin büyütmesi oranlarının BA 08 modeline göre dağılımını gösterir harita.....	127
Şekil 5.19. Çalışma alanındaki zemin büyütmesi oranlarının CB 08 modeline göre dağılımını gösterir harita.....	128
Şekil 5.20. Midorikawa (1987) yöntemi kullanılarak elde edilen zemin büyütmesi dağılım haritası.....	131
Şekil 5.21. Jeoteknik sınıflama dikkate alınarak elde edilen zemin büyütmesi haritası (BA08 modeli için).....	133
Şekil 5.22. Jeoteknik sınıflama dikkate alınarak elde edilen zemin büyütmesi haritası (CB08 modeli için).....	133
Şekil 5.23. Mikrotremör sonuçlarına göre elde edilen zemin büyütmesi haritası.....	134
Şekil 5.24 Mikrotremör sonuçlarından elde edilen baskın periyot dağılımını gösteren harita.....	135
Şekil 6.1. İnceleme alanının sıvılaşmaya karşı duyarlılık haritası.....	140
Şekil 6.2. İnceleme alanının Iwasaki vd. (1982) LPI yöntemine göre hazırlanmış sıvılaşma potansiyeli haritası.....	141
Şekil 6.3. İnceleme alanının Sönmez (2003) LPI yöntemine göre hazırlanmış sıvılaşma potansiyeli haritası.....	141
Şekil 6.4. İnceleme alanının Youd vd. (2002) yöntemine göre hazırlanmış yanal yayılma haritası (yanal yayılma metre cinsinden).....	143
Şekil 6.5. İnceleme alanının Kramer ve Baska (2006) yöntemine göre hazırlanmış yanal yayılma haritası (yanal yayılma metre cinsinden).....	144
Şekil 6.6. İnceleme alanının Idriss ve Boulanger (2008) yöntemine göre hazırlanmış yanal yayılma haritası (yanal yayılma metre cinsinden).....	144
Şekil 6.7. İnceleme alanının Tokimatsu ve Seed (1984) yöntemine göre hazırlanmış sıvılaşma sonrası olası oturma haritası (oturma metre cinsinden).....	146
Şekil 6.8. İnceleme alanının Ishihara ve Yoshimine (1992) yöntemine göre hazırlanmış sıvılaşma sonrası olası oturma haritası (oturma metre cinsinden).....	147
Şekil 6.9. İnceleme alanının Shamoto vd. (1998) yöntemine göre hazırlanmış sıvılaşma sonrası olası oturma haritası (oturma metre cinsinden).....	147
Şekil 6.10. İnceleme alanının Wu ve Seed (2004) yöntemine göre hazırlanmış	

sıvılaşma sonrası olası oturma haritası (oturma metre cinsinden).....	148
Şekil 6.11. Erbaa için sıvılaşmaya bağlı deformasyon haritası.....	150
Şekil 7.1. Çalışma alanının yükseklik haritası.....	157
Şekil 7.2. Çalışma alanının eğim haritası.....	158
Şekil 7.3 Çalışma alanının bakı haritası.....	159
Şekil 7.4 Çalışma alanının litoloji haritası.....	160
Şekil 7.5 Yeraltısuyu tablasına olan derinlik dağılım haritası.....	161
Şekil 7.6 Faya olan uzaklık haritası.....	163
Şekil 7.7 V_{s30} -tabanlı zemin sınıflaması haritası.....	164
Şekil 7.8 Çalışma alanının zemin büyütme haritası.....	165
Şekil 7.9 Sıvılaşma dolayısıyla oluşabilecek yüzey deformasyonları sınıflaması..	166
Şekil 7.10. BAT yöntemine göre üç bölgeye ayrılan zonların dağılım eğri sınırları (UA: Uygun alan; ÖA: Önlemlili alan; DJA: Detaylı jeoteknik inceleme gerektiren alan).....	170
Şekil 7.11 BAT yöntemine göre hazırlanan sismik mikrobölgeleme haritası.....	171
Şekil 7.12 AAS yöntemine göre üç bölgeye ayrılan zonların dağılım eğri sınırları (UA: Uygun alan; ÖA: Önlemlili alan; DJA: Detaylı jeoteknik inceleme gerektiren alan).....	174
Şekil 7.13.AAS yöntemine göre hazırlanan sismik mikrobölgeleme haritası.....	175
Şekil 7.14 BAT ve AAS yöntemlerine göre hazırlanan sismik mikrobölgeleme haritalarının karşılaştırılması.....	176

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Erbaa ve yakın çevresindeki tarihsel depremler.....	22
Çizelge 3.1. Bu çalışma sırasında açılan sondajlara ait genel bilgiler.....	41
Çizelge 3.2. Zeminlerin su içerikleri.....	52
Çizelge 3.3. Zeminlerin tane boyu dağılım bilgileri.....	53
Çizelge 3.4. Zeminlerin Atterberg limitleri.....	56
Çizelge 3.5. Alüvyon zeminlerin doğal ve kuru birim hacim ağırlıkları, özgül kütleleri, boşluk oranları, gözeneklilikleri ve doygunluk oranları.....	59
Çizelge 3.6. Alüvyon zeminlerin drenajsız kohezyon ve içsel sürtünme açıları, şişme oranları ve şişme basıncı.....	60
Çizelge 3.7. Pliyosen zeminlerin doğal ve kuru birim hacim ağırlıkları, özgül kütleleri, boşluk oranları, gözeneklilikleri ve doygunluk oranları.....	61
Çizelge 3.8. Sismik downhole ölçüm sonuçları.....	77
Çizelge 3.9. Downhole ölçümlerinden elde edilen dinamik zemin parametreleri..	77
Çizelge 3.10. REMI ölçümleri veri özeti.....	83
Çizelge 3.11. Downhole noktalarındaki sismik kırılma verileri.....	88
Çizelge 3.12. SCPTU koordinat ve derinlikleri.....	90
Çizelge 4.1. Erbaa ve çevresindeki tarihsel depremlerin büyüklükleri.....	94
Çizelge 4.2. NGA azalım ilişkilerinde kullanılan değişkenler.....	97
Çizelge 4.3. NGA modelleri dikkate alınarak hesaplanan en yüksek yatay yer ivmesi değerleri.....	98
Çizelge 4.4. Baker (2007) veritabanından seçilmiş olan 42 adet deprem kaydının listesi.....	99
Çizelge 4.5. Farklı deprem kayıtları için önerilen en büyük yatay yer ivmesi değerleri.....	103
Çizelge 5.1. SPT-N'e karşılık V_s bulunmasını sağlayan ampirik ilişkilere ait özet tablo.....	108
Çizelge 5.2. NEHRP'e göre önerilen zemin sınıflaması (Martin, 1994; Dobry	

vd., 2000) (Bozorgnia ve Campbell, 2004 den alınmıştır).....	113
Çizelge 5.3. Çalışma alanı için hesaplanan V_{s30} değerleri.....	114
Çizelge 5.4. BH-4 için zemin yanıt analizleri.....	125
Çizelge 5.5. Kesme dalga hızına bağlı önerilen zemin büyütme ampirik eşitlikleri.....	129
Çizelge 5.6. Midorikawa (1987)'ye göre hesaplanan zemin büyütme oranları.....	130
Çizelge 5.7. Zemin büyütme ve baskın periyotlarının karşılaştırmalı tablosu.....	136
Çizelge 6.1. Sıvılaşmaya bağlı deformasyon haritasının oluşturulması sırasında her bir haritanın sınıflarına atanan ağırlık değerleri.....	150
Çizelge 7.1. Analitik Aşamalı Sistem süreci Saaty ölçek tablosu (Saaty, 1980)....	154
Çizelge 7.2. Kriterler karşılaştırma matrisi.....	155
Çizelge 7.3. RI rassal değerleri (n sayıdaki kriter için) (Saaty, 1980).....	155
Çizelge 7.4. Eğim açısı sınıflaması.....	158
Çizelge 7.5. Bakı tabakasının sınıflaması.....	159
Çizelge 7.6. Litolojik birimlerin sınıflaması.....	160
Çizelge 7.7. Yeraltısuyu tablası derinliği sınıflaması.....	161
Çizelge 7.8. Faya olan uzaklık haritasının sınıflaması.....	162
Çizelge 7.9. V_{s30} -tabanlı zemin sınıflaması.....	163
Çizelge 7.10. Zemin büyütme sınıflaması.....	165
Çizelge 7.11. Sıvılaşma ile oluşabilecek yüzey deformasyonları sınıflaması.....	166
Çizelge 7.12. BAT yönteminde kullanılmak üzere atanan sıralama ve ağırlık değerleri.....	168
Çizelge 7.13. BAT yönteminde kullanılmak üzere, her bir tabaka/sınıf için kullanılan normalize edilmiş sıralama ve ağırlık değerleri.....	169
Çizelge 7.14. AAS yöntemi için geliştirilen karşılaştırma matrisi.....	172
Çizelge 7.15. AAS yönteminde tabakalara/sınıflara atanan ağırlık ve sıralama değerleri.....	172
Çizelge 7.16. Her bir tabaka için uyumluluk oranı (CR).....	173

ÖZ

Çalışma alanı, Erbaa, Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) olarak bilenen sismik olarak aktif bir fay zonu içinde yer almaktadır. Erbaa Şehir merkezi, daha önceden Kelkit Nehri'nin sol sahilinde kurulmuştur. Ancak bu merkez, 1942 Niksar-Erbaa (Mw = 7.2) depreminden sonra daha güneye taşınmıştır. 1942 depremi, Erbaa Şehir merkezine en hasar verici depremlerden biridir.

Bu çalışmada detaylı saha incelemesi yapılarak çalışma alanının jeolojik ve jeoteknik özellikleri ortaya konmuştur. Erbaa yerleşimi alüvyon ve Pliyosen yaşlı birimler üzerine kurulmuştur. Erbaa'nın güneyinde Pliyosen yaşlı kil, silt, kum ve çakıl seviyelerine rastlanılmaktadır. Erbaa bölgesindeki alüvyon ise çakıllı, kumlu, siltli ve killi birimlerden oluşmaktadır.

Bu çalışmanın ana amacı, çalışma alanı için kentsel planlamaya yönelik bir sismik mikrobölgeleme haritasının hazırlanmasıdır. Tek boyutlu dinamik davranış analizleri ile zemin koşulları ortaya konmuştur. Dinamik davranış analizleri ile belirlenen büyütme değerleri çalışma alanındaki zemin birimlerinin genelde katı özellikte olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, inceleme alanı için sıvılaşma potansiyeli ile oturma ve yanal yayılma gibi sıvılaşma sonrası etkiler de belirlenmiştir. Çalışma alanına ait nihai mikrobölgeleme haritasının hazırlanması için yukarıda belirtilen parametreler dikkate alınmıştır.

Oluşturulan katmanlar Çok Ölçütlü Karar Analizi (ÇÖKA) kullanılarak değerlendirilmiştir. Basit Ağırlıklı Toplam (BAT) ve Analitik Aşamalı Sistem (AAS) olmak üzere iki farklı analiz Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) tabanında uygulanmıştır. Oluşturulan BAT ve AAS'ye dayalı haritalar nihai sismik mikrobölgeleme haritasının belirlenmesi için karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak AAS yöntemine dayalı hazırlanmış olan harita Erbaa için nihai sismik mikrobölgeleme haritası olarak önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sismik Mikrobölgeleme, Erbaa, Kuzey Anadolu Fay Zonu, Yanıt Spektrumu, Sıvılaşma, CBS, ÇÖKA

ABSTRACT

The study area, Erbaa, is located in a seismically active fault zone known as North Anatolian Fault Zone (NAFZ). The city center of Erbaa (Tokat) was previously settled on the left embankment of Kelkit River. After the disastrous 1942 Niksar-Erbaa earthquake ($M_w = 7.2$), the settlement was moved southwards. The 1942 earthquake is the most destructive earthquake in Erbaa city center.

In this study, the geological and geotechnical properties of the study area were investigated by detailed site investigations. The Erbaa settlement is located on alluvial and Pliocene deposits. The Pliocene clay, silt, sand, and gravel layers exist in the southern part of Erbaa. Alluvium in Erbaa region consists of gravelly, sandy, silty, and clayey layers.

The main objective of this study is to prepare a seismic microzonation map of the study area for urban planning purposes since it is getting more essential to plan new settlements considering safe development strategies after the disastrous earthquakes. 1-D equivalent linear site response analyses were carried out to evaluate the site effects in the study area. Furthermore, liquefaction potential and post liquefaction effects including lateral spreading and vertical settlement were also delineated for the study area. The abovementioned parameters were taken into account in order to prepare a final seismic microzonation map of the study area.

The layers were evaluated on the basis of overlay methodologies including Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA). Two different MCDA techniques, Simple Additive Weighting (SAW) and Analytical Hierarchical Process (AHP), were carried out in GIS environment. Finally, the map derived from the AHP method is proposed to be the final seismic microzonation map of Erbaa.

Keywords: Seismic Microzonation, Erbaa, North Anatolian Fault Zone, Site Response Analysis, Liquefaction, GIS, MCDA

1. GİRİŞ

1.1 Amaç ve Kapsam

Hızla artan nüfus nedeniyle yerleşime uygun ve yeni kent alanlarına ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Ayrıca, doğru arazi kullanımı ve doğru yer seçimi kentsel gelişim açısından son derece önemlidir. Ancak, yeni yerleşim yerlerinin seçiminde doğal afetlerin etkisi ve toplum güvenliği dikkate alınmalıdır.

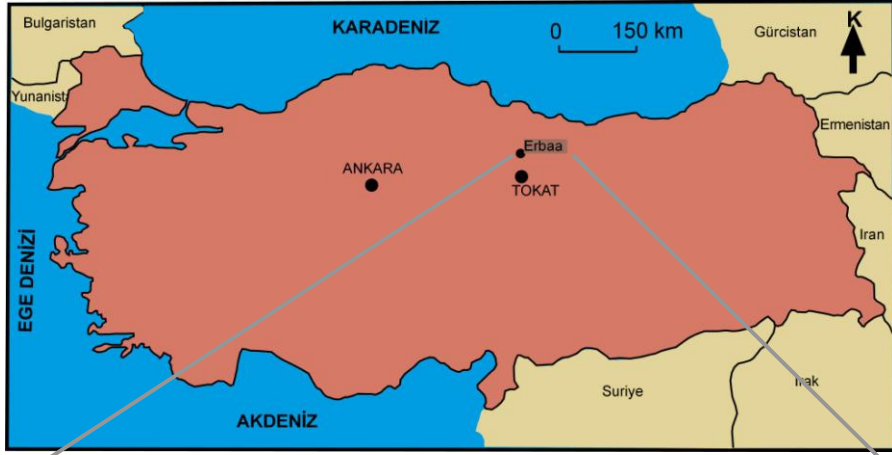
Kent planlamasının bir parçası olarak yeni yerleşim yerlerinin seçimi yetkililer için önemli bir husus olmaya devam etmektedir. Kolay ulaşım ve ilk maliyet açısından ekonomik olması dolayısıyla alüvyonlu alanlar, yerleşim alanı olarak ülkemizde sıklıkça tercih edilmektedir. Bununla beraber, doğal afetler açısından bakıldığında, Türkiye gibi bir deprem ülkesinde alüvyonlu alanlar depremlerden en fazla etkilenen alanları oluşturmaktadır. Bunun en tipik örnekleri olarak alüvyonlu alanda binlerce insanın hayatını kaybettiği 1999 Adapazarı ($M_w=7.4$) ve Düzce ($M_w=7.1$) depremleri gösterilebilir. Bu nedenle, yerleşim planlamasına katkı sağlayacak sismik mikrobölgeleme çalışmaları, daha güvenli alanları belirlemek açısından önem arz etmektedir.

Sismik mikrobölgeleme haritaları hazırlanırken, doğal afetlerin etkileri dikkate alınarak değerlendirme yapılması esastır. Sismik mikrobölgeleme çalışmaları disiplinlerarası katkıları gerektirmektedir. Bunun ötesinde, jeolojik, jeoteknik ve jeofizik araştırmalar kullanılarak zeminlerin deprem hareketine bağlı davranışlarının bilinmesi gerekmektedir. Ayrıca, jeolojik ve jeoteknik veriler kullanılarak doğal afetlerin belirlenmesi, kontrol edilmesi ve/veya önlenmesi önem arz etmektedir (Bell vd., 1987; Legget, 1987; Hake, 1987; Rau, 1994; Dai vd., 1994, 2001; GDDA, 1996; 2000; Van Rooy ve Stiff, 2001; Ansal vd., 2001a;2004a; Topal vd., 2003).

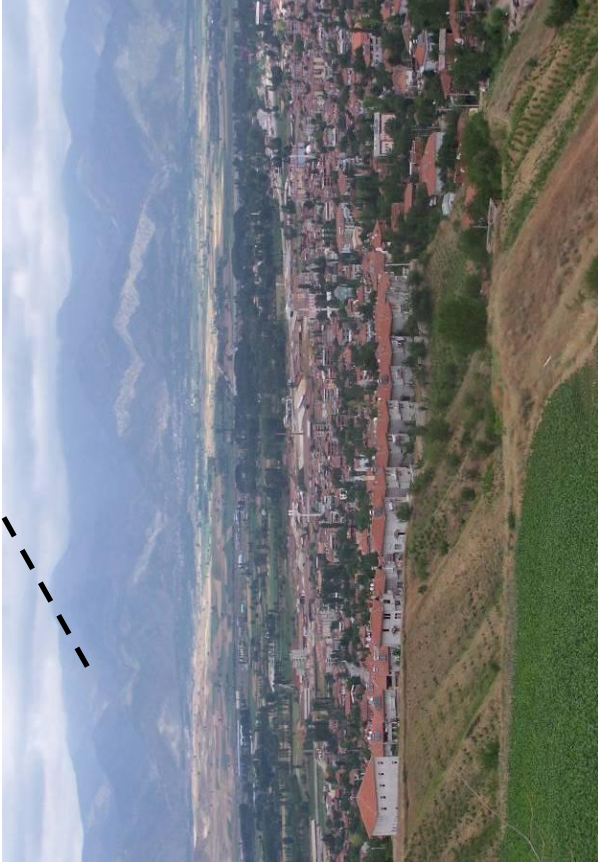
Türkiye, aktif fayları ve tehlikeli sismik zonları ile dünyanın en önemli deprem ülkelerinden biri konumundadır. Kuzey Anadolu Fay Zonu (yaklaşık olarak 1600 km uzunluğunda ve sağ yanal atımlı), tektonik olarak aktif olan bir sismik kaynak yaratmaktadır (Allen, 1969; Ketin, 1969; Ambraseys, 1970; Şengör, 1979; Şengör vd., 1985; Barka, 1992; Armijo, vd., 1999; Bozkurt, 2001a). 1999 Adapazarı ve Düzce depremleri, bu fay zonunun batı segmentinde oluşmuştur. Aynı fayın doğu segmentinde ise, 1940'lı yıllarda büyük depremler olmuştur.

Verimli tarım alanlarına ve ılıman iklime sahip olan Erbaa (Tokat) ilçesi, Kuzey Anadolu Fay Zonunun doğu segmenti üzerinde yer alması ve gelişimini hızla sürdürmesi açısından önemli bir konuma sahiptir. 1942 ve 1943 yıllarında bu alanı etkileyen 7.2 ve 7.3 büyüklüğünde depremler olmuş ve yerleşim alanı alüvyonlu bölgede kurulmuş olan eski Erbaa'nın güneyine kaydırılmıştır (Şekiller 1.1 ve 1.2). Ancak, çok hızlı nüfus artışı beraberinde yeni yerleşim alanlarının belirlenmesi ihtiyacını gündeme getirmiştir. Her ne kadar bazı yerleşim alanları ilçe güneyindeki Pliyosen çökelleri üzerine taşınmış ise de, birçok yeni yapı ve sanayi sitesi alüvyon üzerinde yer almaktadır. Ayrıca, yerleşim yerlerinin Kelkit nehrine doğru ve alüvyonlu alana kayma riski halen mevcuttur.

Bu projenin amacı, jeolojik, jeoteknik ve jeofizik veriler kullanarak birinci derece deprem bölgesinde bulunan Erbaa ilçesinin sismik mikrobölgeleme haritasının hazırlanmasıdır. Bu amaçla, saha ve laboratuvar çalışmaları ile veriler toplanmış, analizler yapılmıştır. Analizler sonucu elde edilen çok sayıda tematik haritalar coğrafi bilgi sistemi (CBS) kullanılarak yerleşime uygunluk açısından değerlendirilmiş ve Erbaa için pratikte kullanılabilecek bir sismik mikrobölgeleme haritası üretilmiştir.



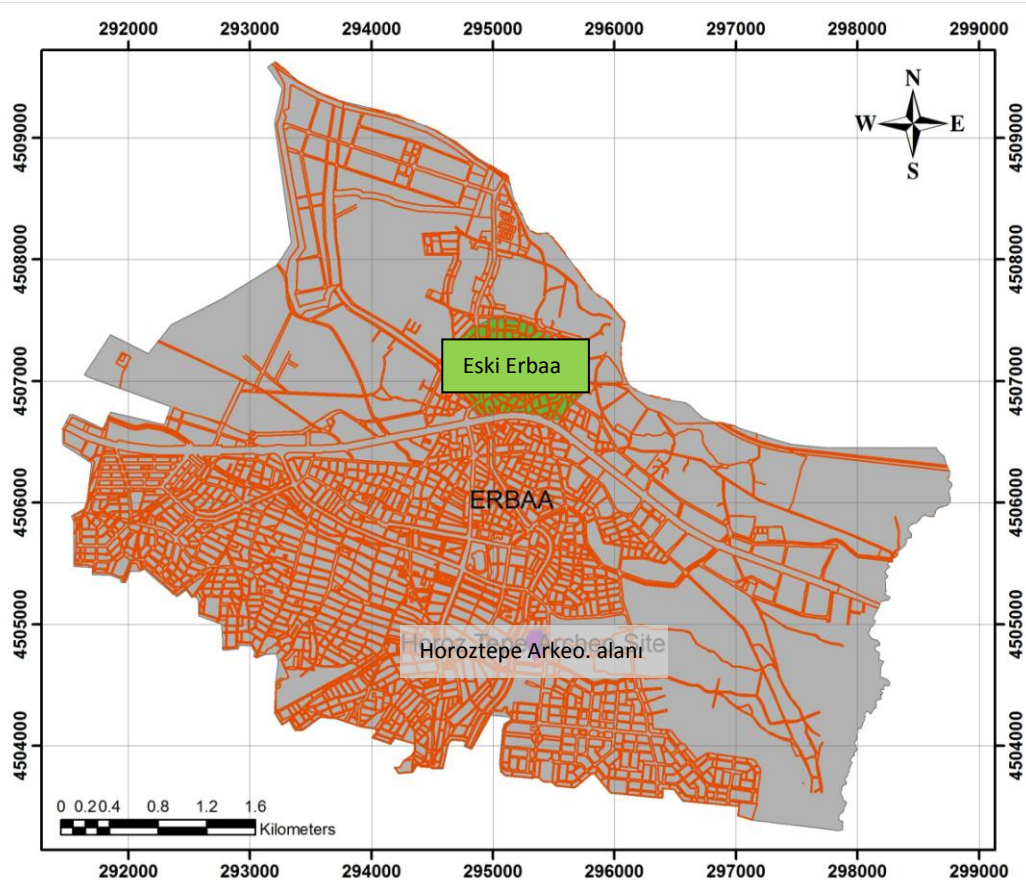
Şekil 1.1. Çalışma alanı yerbulduru haritası ve uydu görüntüsü



Şekil 1.2. Erbaa'nın panoramik görüntüsü

1.2 Çalışma Alanı ve Ulaşım

Erbaa, Orta Karadeniz bölgesinde Tokat iline bağlı olup 95658 nüfusludur (DPT, 2007). Kelkit çayı kenarında kurulan ilçe, Kelkit Irmağı boyundaki bir ova ile bunu çevreleyen dağlık yerleri içine alan 1111 kilometrekarelik yüzölçüme sahip Erbaa baseninde yer almaktadır. Bu proje kapsamında incelenen Erbaa ilçesi'nin çalışma alanı sınırı Şekil (1.3)'te verilmiştir.



Şekil 1.3. Çalışma alanı sınırı

Erbaa, Tokat ilinin en büyük ilçesidir. İnceleme alanı, $40^{\circ} 40' 0''$ K –Enlem ve $36^{\circ} 34' 0''$ - boylamda yer almakta olup, ilçenin ortalama yüksekliği 248 m'dir. UTM 37. Zon'a göre Erbaa'nın koordinatı 4504602K, 294316D'dur. Ayrıca, Erbaa, 1/25000 ölçekli topoğrafik haritanın G37d1 paftasında yer almaktadır. Erbaa'nın yakın çevresinde nüfus açısından bazı önemli ilçeler vardır (Şekil 1.1.); batıda Taşova (Amasya); doğuda Niksar (Tokat) ve güneyde

Turhal (Tokat). D100 karayolu, Erbaa ilçesi içinden geçmektedir. Asfalt kaplı karayolu ile ilçeye her mevsim ulaşmak mümkündür.

Erbaa şehir merkezi, Kelkit ırmağının akış aşağısına göre batısında yer almaktadır. 1942 ve 1943 yıllarında meydana gelen depremler sonrası oluşan ciddi tahribat dolayısıyla, daha önce de belirtildiği, gibi yerleşim alanı güneye doğru kaydırılmıştır. Eski Erbaa'yı da içine alan yeni yerleşim alanı Şekil 1.3'te gösterilmiştir.

1.3 İklim

Erbaa ilçesinde, 920 m rakımda bir adet meteoroloji istasyonu bulunmaktadır. Bu istasyonun koordinatı 40° 67'K ve 36° 57'D'dur. Karadeniz iklimi ile karasal iklimin geçiş bölgesinde bulunan Erbaa'da; yazları sıcak ve kuru, kışları ise yağmurlu ve ılıktır. En soğuk ay Ocak olup, yıllar ortalaması olarak en düşük sıcaklık 4 derecedir. En sıcak ay ise Temmuz'dur. Bu ayda ölçülen ortalama sıcaklık 23 derecedir. En düşük yağış 9 mm ile Ağustos ayında ve en yüksek yağış 68 mm ile Mayıs ayında gerçekleşmektedir. Yağış, özellikle bahar ve kış aylarında olmak üzere, hemen hemen her mevsimde görülmektedir. Bahar aylarında toplam yağış miktarı 70 mm/ay civarındadır.

1.4 Tarihsel Geçmiş

Alanda yapılan arkeolojik çalışmalara göre, Erbaa'da yerleşim MÖ 2000-600 yıllarına kadar gitmektedir. Buna ek olarak, Hititler ve Frigler eski dönemlerde Kelkit vadisine yerleşmişlerdir. 1892 yılında (Osmanlı İmparatorluğu döneminde) ise, Erbaa Tokat'a bağlanmıştır.

Erbaa, medeniyetler tarihi içinde, mineral kullanımı ile ünlüdür (Özgüç, 1964; Kaptan, 1990). Erbaa'nın güneydoğusunda bulunan ve "Horoztepe" olarak adlandırılan arkeolojik alanda 5000 yıl öncesine giden yeraltı madenciliğinin kalıntıları mevcuttur (Şekil 1.3). Bu tarihi alanda, yüksek kalite bakır, kurşun, altın, gümüş, bronz ve elektrüm (altın-gümüş) parçacıkları mevcuttur (Kaptan, 1990).

1.5 Çalışma Yöntemi

Bu çalışma, ana hatları ile iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada veriler toplanmış ve bu veriler farklı yöntemler ile analiz edilerek veri üretimi gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada ise, üretilen veriler değerlendirilmiş ve karşılaştırma yapılmıştır. Çalışma yönteminin detayları aşağıda anlatılmaktadır:

1.5.1 Veri üretimi

Veri üretimi, Erbaa'nın sismik bölgeleme çalışmasının önemli bir bölümünü içermektedir. Çalışmanın ilk aşamasında, literatür taraması yapılmış, daha sonra ise var olan jeolojik haritalar da kullanılarak, çalışma alanının jeolojik harita alımı ve revizyonu yapılmıştır. Ayrıca, Erbaa ve yakınında meydana gelmiş tarihi deprem bilgilerine ulaşılmıştır.

Jeoteknik veri üretimi açısından ise, sondajlar yapılmış, SPT deneyi sırasında örselenmiş ve Shelby tüp kullanılarak örselenmemiş örnekler alınmıştır. Her iki örnek ardaalanmalı olarak her metrede bir alındığından (örneğin 2.00-2.45 m'de SPT, 2.50-3.00 m'de Shelby ile), zeminin hemen hemen tamamına yakınına temsil edecek örnekleme elde edilmiştir. Örnekler üzerinde zemin sınıflaması açısından elek ve hidrometre, Atterberg limitleri ve dayanım deneyleri yapılmıştır. Bunların yanı sıra, boşluk suyu basıncını ölçebilen konik penetrasyon deneyi (SCPTU)'de yapılmıştır.

Jeofizik veri üretimi için, farklı noktalarda sismik kırılma ve elektrik rezistivite (direnç) ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca, çok sayıdaki mikrotremor ve kırılma mikrotremoru (REMI) verileri elde edilmiştir. Yeni bir yöntem olan SPT-bazlı uphole (kuyu içi jeofiziği), ilk defa bu çalışma çerçevesinde ülkemizde kullanılmıştır. Elde edilen tüm veriler, zemin sınıflaması ve jeolojik kesitlerin doğruluğunu (ana kaya derinliği) kontrol etmek için de kullanılmıştır.

Daha sonra, bu çalışma kapsamında elde edilen veriler ve daha önceki çalışmalardan elde edilen veriler birleştirilmiştir. Sondaj kuyularında yeraltısuyu ölçümleri yapılmış ve yeraltısuyu dağılım haritası hazırlanmıştır. Zemin özellikleri de dikkate alınarak, önce SPT-N ile kesme (makaslama) dalgası (V_s) bazlı çok sayıda formül kullanılarak her bir kuyuda

derinliğe bağılı V_s hızının değişimi belirlenmiştir. Bu veriler, arazide yapılan ölçümler ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen veriler kullanılarak ve karakterizasyon amaçlı olarak, zeminler kesme dalgasına göre sınıflandırılmıştır.

Zemin tepki analizi yapılmadan önce, çalışma alanının zemin hareket parametrelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, gelecek nesil azalım (NGA) ilişkileri kullanılarak uygun ampirik azalım ilişkileri kullanılmıştır. Deterministik yöntemle yapılan sismik tehlike analizleri sonrasında, kayıtlı deprem yer hareketleri araştırılmıştır. Uygun kayıt seçilerek ve NGA yer modellerinden elde edilen hedef spektra ölçeği dikkate alınarak, yer tepki analizleri (tek boyutlu ve eşdeğer doğrusal analiz) için ProSHAKE programı kullanılmıştır.

Veri üretiminin son aşamasında ise, sıvılaşma incelenmiştir. Bu amaçla, sıvılaşma duyarlılık, sıvılaşma-başlama ve sıvılaşma sonrası modeller kullanılmıştır. Sıvılaşma değerlendirmeleri, WsLiq yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Farklı yöntemler ile üretilen haritalar birleştirilerek, yer seçiminde kullanılmak üzere bir sıvılaşma haritası hazırlanmıştır.

1.5.2 Değerlendirme

Bu kısımda, üretilen tüm veriler beraber değerlendirilmiş, birleştirilmiş, ve ARC-GIS (9.2) yazılımı kullanılarak çakıştırma (overlay) analizi yapılmıştır. Analizlerde, Çok Ölçütlü Karar Verme metodu olan Basit Ağırlıklı toplam (BAT) ve Analitik aşamalı sistem (AAS) kullanılmıştır. Bu iki yöntemle elde edilen haritalar karşılaştırılmış ve çalışma alanındaki gözlemler de dikkate alınarak, çalışma alanında kullanılabilecek bir sismik mikrobölgeleme haritası sunulmuştur.

1.6 Önceki Çalışmalar

Kuzey Anadolu Fayı ile ilişkisini anlayabilmek için, Niksar ve Taşova-Erbaa baseninde sedimanter birimlerin sedimentolojik ve yapısal gelişimi ile ilgili çok sayıda çalışmalar yapılmıştır (Irrlitz, 1972; Tatar, 1975; Barka ve Hancock, 1984; Barka, 1984; Barka ve Gülen, 1989; Koçyiğit, 1988a; 1989; 1990; 1991; Aktimur vd., 1992; Tatar ve Park, 1992; Dirik, 1993; Over vd., 1993; Rojay, 1993; Tatar vd., 1995; Andrieux vd., 1995; Bellier vd., 1997; Barka vd., 2000). Erbaa baseni ile ilgili ilk önemli çalışma ise Blumenthal (1950) tarafından

yapılmıştır. Araştırmacı, Kelkit vadisinin kuzeyi için, 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası hazırlamıştır.

Göksu (1960) ise, bu alanı da içeren geniş bir bölgenin 1/500.000 ölçekli jeoloji haritasını hazırlamıştır. Ambraseys (1970), Erbaa basenini de kapsayan Kuzey Anadolu Fay Zonunun (KAFZ) tipik izlerini çalışmıştır. Özcan vd. (1980), KAFZ ile Kırşehir arasındaki bölgenin temel jeolojisini çalışmıştır. Erbaa baseninin aktif tektoniğini Arpat ve Şaroğlu (1975), basenin aktif fay ve bu fayların deprem potansiyelini Şaroğlu vd. (1987) araştırmıştır. MTA Genel Müdürlüğü adına Aktimur vd. (1989; 1990; 1992), Erbaa ilçesini de içeren bir alanın jeolojisini çalışmışlar ve 1/100.000 ölçekli Tokat D-23 jeoloji haritasını hazırlamışlardır.

Erbaa yerleşim yerine ait en detaylı jeoteknik çalışma, Canik ve Kayabalı (2000) tarafından yapılmıştır. Sondaj ve jeofizik incelemeleri içeren çalışmada alüvyon çeşitli alt birimlere ayrılmıştır.

2. JEOLJİ, TEKTONİK AKTİVİTE VE DEPREMSELLİK

2.1 Bölgesel Jeoloji ve Stratigrafi

Erbaa baseni yakın çevresinde, Permien ve Senozoyik yaşlı birimler yer almaktadır. Temel kayasını, Turhal Grup metamorfikleri (Permien-Triyas) (Şekil 2.1) oluşturur (Aktimur vd., 1990).

Geç-Orta Jura aglomera-kumtaşı ve Geç Jura-Erken Kretase kireçtaşı birimleri temel kayalarını uyumsuzluk ile örterler. Bu birimlerin üzerine baskın olarak konglomera, kumtaşı, çamurtaşı, şeyl ve marn aralanmasından oluşan Yumaklı formasyonu gelmektedir. Bu formasyonun yaşı Geç Kretase 'dir. Bu birim, iki farklı Tersiyer birimi (Akveren ve Kusuri) birimleri tarafından üzerlenir. Bu birimler de, karasal ortamda oluşmuş Çerkeş formasyonu tarafından uyumsuzluk ile örtülür. Erbaa basenindeki en genç birim, vadi tabanlarını dolduran Kuvaterner alüvyon'dur (Şekiller 2.1 ve 2.2)

2.1.1 Paleozoik birimler

2.1.1.1 Turhal grubu (Ttg)

Temel kayasını oluşturan metamorfikler, Blumenthal (1950) tarafından Tokat formasyonu olarak adlandırılmıştır. Aynı birim, Göksu (1960) tarafından ayrılmamış metamorfik birimler olarak tanımlanmıştır. Özcan vd. (1980) ise, bu birime Turhal grubu ismini vermiştir. Bu birim, Erbaa'ın güneyinde yüzeylemektedir. Turhal grubu, kumtaşı, siltaşı, kireçtaşı, şist ve düşük dereceli metamorfizmaya uğramış şeyl aralanmasından oluşur. Bu grup, sarımsı gri meta-kırıntılı malzeme içermektedir. Temel kayasının yaşı, Özcan vd. (1980)'e göre Permien-Triyas'tır.

2.1.2 Mesozoyik birimler

2.1.2.1 Seyfe formasyonu (Js)

Seyfa formasyonu aglomera, gri-yeşilimsi kumtaşı, çamurtaşı, tuf, aglomera ve marn aralanmasından oluşur. Bu birime ait bazı mostralara, Kelkit vadisinin kuzeyinde görülür. Bu birimin kalınlığı yaklaşık olarak 400 m olup, Özcan vd. (1980)'e göre de yaşı Erken-Orta Jura'dır.

2.1.2.2 Doğdu formasyonu (Jkd)

Doğdu formasyonu, Erbaa'ın yaklaşık olarak 5 km doğusunda yüzeilenmektedir. Bu birim, yer yer pembemsi kiltası ve marnlı seviyeleri içeren kireçtaşından oluşur. Doğdu formasyonunun kalınlığı 400-500 m civarındadır. Birim, Erbaa-Niksar karayolu boyunca ve Kelkit vadisinde görülür. Aktimur vd. (1989)'a göre, birimin yaşı Geç Jura-Erken Kretase'dir.

2.1.2.3 Yumaklı formasyonu (Ky)

Yumaklı formasyonu konglomera, kumtaşı, çamurtaşı, şeyl ve marn, tuf, aglomera ve killi kireçtaşı aralanmasından oluşmaktadır. Formasyon kalınlığı 200 m olup, Senomaniyen-Kampaniyen yaşlıdır (Aktimur vd., 1989).

2.1.3 Tersiyer birimler

2.1.3.1 Akveren formasyonu (KPa)

Akveren formasyonu, Kelkit vadisinin kuzeyinde görülmektedir. Bu formasyon ilk defa Ketin ve Gümüş (1963) tarafından isimlendirilmiştir. Akveren formasyonu, kireçtaşı, kumtaşı, marn ve tüften oluşmaktadır. Formasyon kalınlığı 500 m'ye kadar çıkabilmektedir. Birimin yaşı, Geç Mestrihtiyen-Paleosen 'dir.

2.1.3.2 Kusuri formasyonu (Tk)

Kusuri formasyonu, Kelkit vadisinin kuzeyinde yüzeylenmektedir. Bu formasyon kireçtaşı, kilitaşı ve marn ardalanmasından oluşan fliş karakterli bir birimdir. Aktimur vd. (1989)'a göre, formasyonun yaşı Orta Miyosen'dir.

2.1.3.3 Tekkeköy formasyonu (Tt)

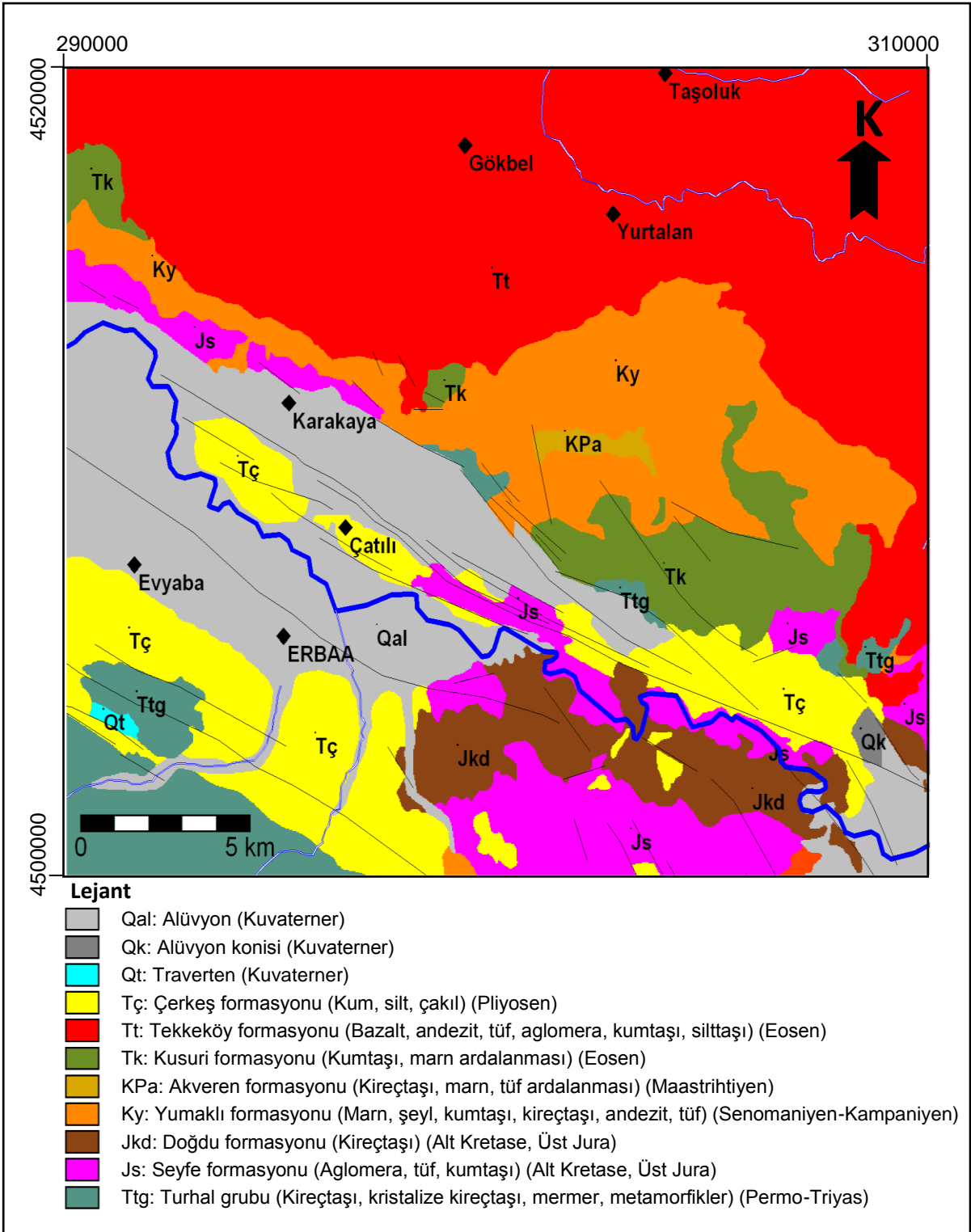
Tekkeköy formasyonu, bazalt, andezit, aglomera ve tüften oluşan volkanik kaya grupları ile kumtaşı-silttaşı ardalanmasından oluşmaktadır. Birimin kalınlığı yaklaşık 600 m, yaşı ise Orta-Geç Eosen'dir.

2.1.3.4 Çerkeş formasyonu (Tç)

Kuzey Anadolu Fayının aktivitesi nedeniyle çek-ayır basenleri (Taşova- Erbaa-Niksar) oluşmuştur. Bu basenler çakıllı, kumlu, siltli ve killi kırıntılarla doldurulmuştur. Özellikle Pliyosen sonrasında, bu malzemelerin kalınlıkları 500 m'lere ulaşmıştır. Bazı çakıllı seviyeler kalsiyum karbonat ile çimentolanmıştır. Basenlerin ortalarında, kırmızımsı kil ve siltten oluşan ince malzemeler görülmektedir. Bu malzemeler, günümüzde tuğla yapımında kullanılmaktadır (Canik ve Kayabalı, 2000). Çerkeş formasyonu, Erbaa, Niksar, Taşova ve Destek civarlarında gözlenmektedir. Birim ilk defa Öztürk (1979) tarafından tanımlanmıştır. Kalınlığı yer yer 600 m'ye ulaşan bu formasyonun yaşı Pliyosen'dir ve bu birim alüvyonlu birimler tarafından uyumsuzluk ile üzerlenir.

2.1.4 Kuvaterner birimler (Qal, Qk, Qt)

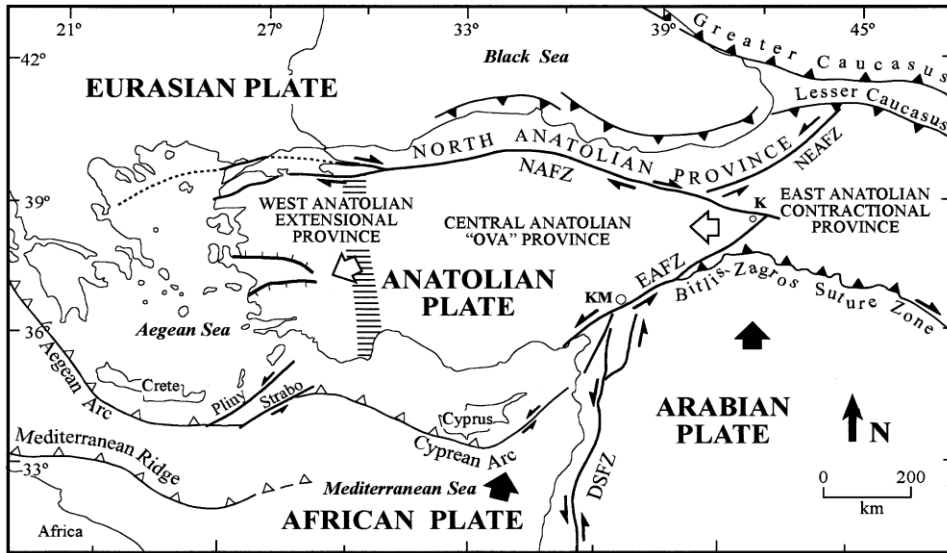
Çakıl, kum, silt ve killi birimler ve bu malzemelerden oluşan taraçalar (Qal), Kelkit vadisi boyunca yüzeylenmektedir. Buna ek olarak, nehir yataklarında kum ve çakıl çökel kalınlıkları artmakta ve Kelkit nehri kenarında alüvyon malzemesi (Qk) ile birleşmektedir. Kuvaterner birimler, eski ve yeni alüvyon çökeller olarak ayırt edilebilir (Canik ve Kayabalı, 2000). Fay zonları yakınında, Kuvaterner traverten çökelleri de (Qt) görülebilmektedir.



Şekil 2.1. Çalışma alanının bölgesel jeoloji haritası (Aktimur vd., 1989'dan değiştirilerek)

2.2 Tektonik

Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) , dünyada en iyi bilinen doğrultu atımlı faylardan birisidir ve fay zonu boyunca çok sayıda çek-ayır havzalar oluşmuştur. Yaklaşık 1500 km uzunluğunda olan bu fay zonu, sismik açıdan aktiftir ve hareket yönü dikkate alındığında, Anadolu Plakası ile Karadeniz Plakası arasında sağ-yanal doğrultu atımlı fay özelliğindedir (Şengör vd., 1985). Sağ yanal hareket, Türkiye'nin doğusunda meydana gelen sıkışma sonucu Anadolu Plakasının batıya doğru hareketi sonucunda oluşmaktadır (McKenzie, 1972; Şengör, 1979). Bu fay zonu, Türkiye'nin doğusunda başlayıp, batıdaki Yunanistan'a kadar devam etmektedir (Şengör, vd., 1985; Ketin, 1968; 1969; Ambraseys, 1970; McKenzie, 1972; Dewey, 1976; Kiratzi, 1993, Bozkurt, 2001a). Fay, kuzeyde geniş bir yay oluşturur (Şekil 2.3). Doğu Anadolu Fay Zonu ile doğuda (Karlıova) kesişir (Ketin, 1948; Ambraseys, 1970; Şengör vd., 1985; Bozkurt, 2001a). Tchalenk (1977)'ye göre, bu fay zonu güneydoğu'ya doğru devam etmektedir. Batıda ve Marmara denizi civarında ise, KAFZ birçok kola ayrılmaktadır (Taymaz vd., 1991; Barka, 1992).



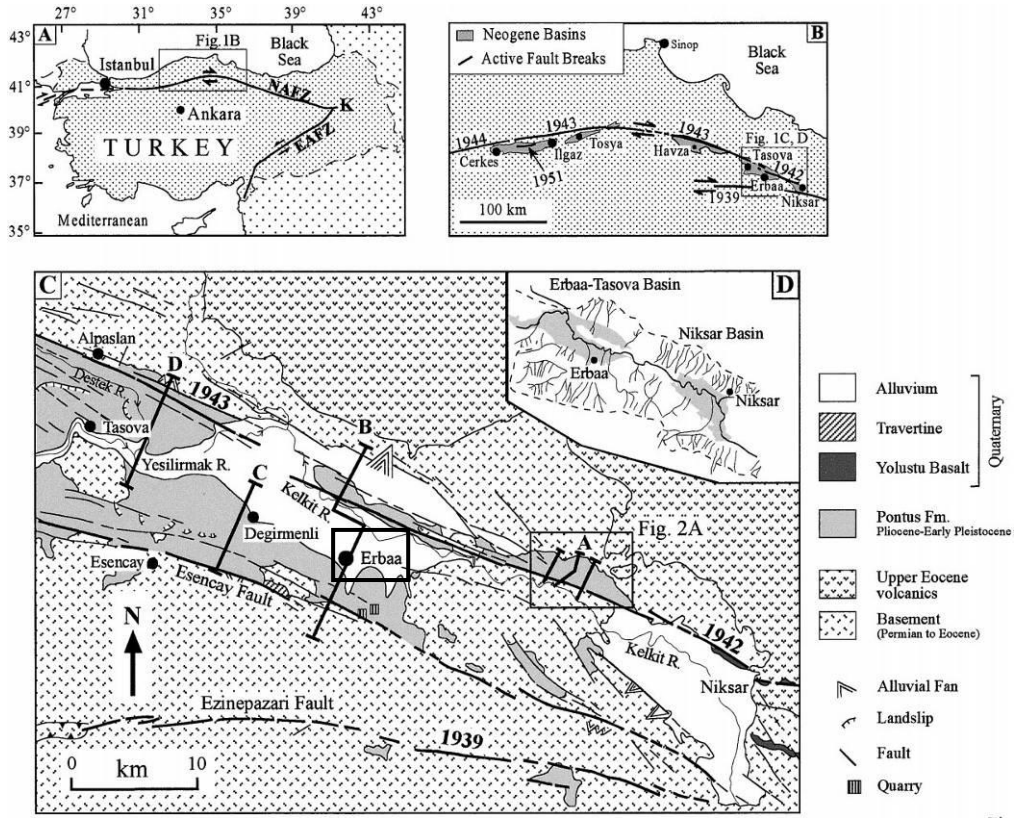
Şekil 2.3. Ana neotektonik yapıları gösteren Türkiye'nin basitleştirilmiş tektonik haritası (Şengör vd., 1985; Barka, 1992; Bozkurt, 2001b) (K – Karlıova, KM – Kahramanmaraş, DSFZ – Ölü Deniz Fay Zonu, EAFZ – Doğu Anadolu Fay Zonu, NAFZ – Kuzey Anadolu Fay Zonu, NEAFZ – Kuzeydoğu Anadolu Fay Zonu)

Bozkurt (2001b)'nin yaptığı çalışmada, KAFZ'nin yaşının ve sağ yanal yönlü atıma neden olan hususların çelişkili ve farklı yaklaşımların mevcut olduğunu söylemiştir. Özetle, Barka ve Kadinsky-Cade (1988), bu fayın yaşının Geç Orta Miyosen- Erken Pliyosen (~5 Ma) olduğunu tahmin etmişlerdir.

KAFZ'nin toplam atım miktarı Pavoni (1961) tarafından 350 km olarak belirtilmektedir. Bununla beraber, birçok diğer çalışmalarda bu atımın 85 ± 5 km ile 20-25 km arasındaki bir değerde olduğu söylenmektedir (Şengör, 1979; Şengör vd., 1985; Barka, 1992; Armijo, vd., 1999). Fay boyunca belirlenen hareket miktarı ise, 10-40 mm/yıl mertebesinde (Taymaz vd., 1991; Barka, 1992; Westaway, 1994). GPS verileri dikkate alınarak yapılan değerlendirmelere göre ise, atım miktarının 15-25 mm/yıl olduğu belirtilmektedir (Taymaz vd., 1991; Ayhan vd., 1995; Reilinger vd., 1997).

1939-1967 yılları arasında, KAFZ'de batıya doğru hareket eden ve yaklaşık toplam 1000 km'lik yüzey kırığı yaratan, büyüklüğü 6.7'den fazla olan dokuz deprem olmuştur (Allen, 1969; Ketin, 1969; Ambraseys, 1970; Bozkurt, 2001b). Stein vd. (1997)'e göre, 1939-1944 yılları arasında meydana gelen ve batıya doğru ilerleyen dört deprem toplam olarak 725 km'lik yüzey kırığı yaratmıştır. Fay, halen her iki yönde hareket etmektedir.

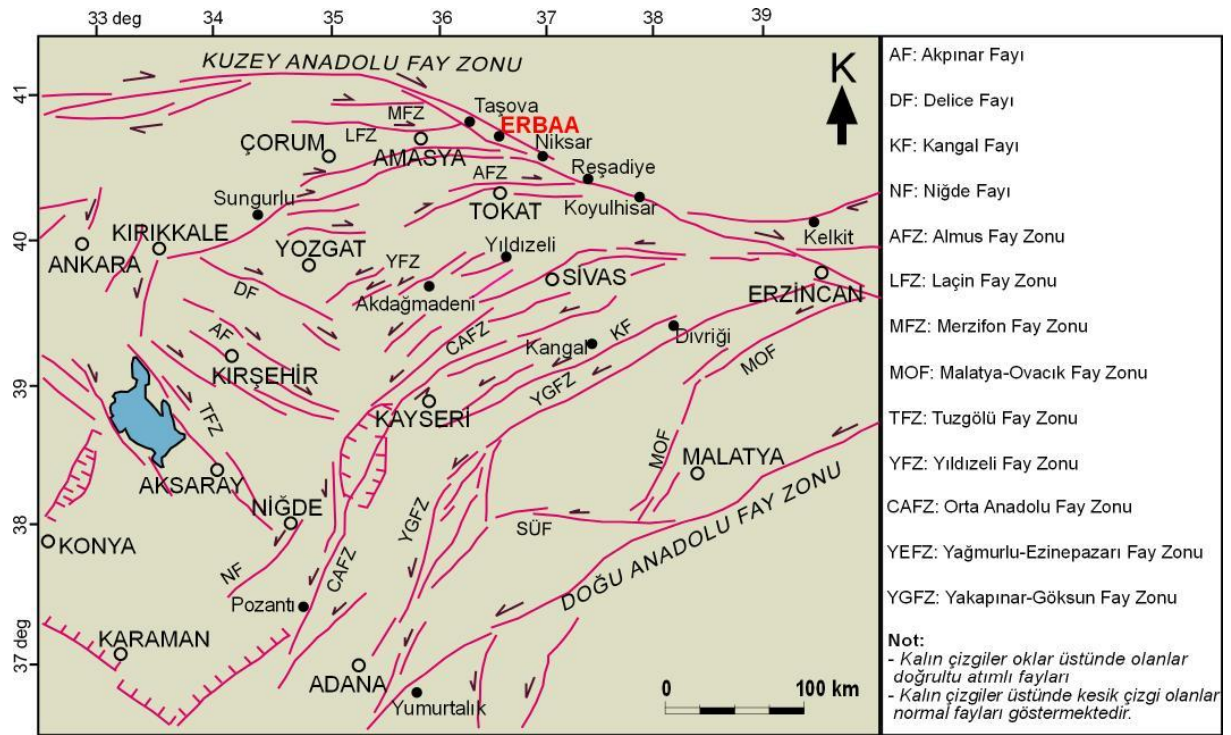
KAFZ tarafından oluşturulan çek-ayır basenlerin stratigrafisi ve yapısı çeşitli araştırmacılar tarafından çalışılmıştır (Barka ve Hancock, 1984; Barka, 1984; Barka ve Gülen, 1989; Koçyigit, 1989, 1990; Tatar ve Park, 1992; Andrieux vd., 1995; Bellier vd., 1997). Çalışma alanının yakınındaki ve 1939-1942 depremlerinin görüldüğü çek-ayır basenleri (Taşova-Erbaa ve Niksar) ise çeşitli araştırmacılar tarafından incelenmiştir (Tatar vd., 1990; Tatar ve Park, 1992; Barka vd., 2000). Bu iki çek-ayır baseni bazen iki farklı bazen de tek bir basenmiş gibi değerlendirilmiştir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. (A) KAFZ ve DAFZ'yi gösteren harita (B) KAFZ'nin orta kısmındaki Neojen ve Güncel havzalar (C) Taşova–Erbaa ve Niksar basenlerinin basitleştirilmiş jeoloji haritası (Aktimur vd., 1992'den değiştirilerek). Basenlerdeki Neojen sedimanları, Pontus formasyonu içinde gösterilmiştir Yapısal kesitler kalın hat çizgilerle belirtilmiştir. (D) Taşova–Erbaa ve Niksar basenlerinin günümüzdeki durumları (Barka vd., 2000)

Bu raporun proje çalışma alanı olan Erbaa baseni, KAFZ'nun doğu kısmında, 1942 ve 1943 depremlerinin kırdığı fay segmentinin ise kuzey kenarındadır. Taşova-Erbaa ve Niksar basenleri içerisinde, 1939, 1942 ($M=7.2$) ve 1943 ($M=7.6$) yüzey kırıkları meydana gelmiştir (Barka vd., 2000). Bu yazarlara göre, Taşova-Erbaa baseni günümüzde oluşmuş bir basendir. Bu basen 65 km uzunluğunda, 15-18 km genişliğinde ve faylarla sınırlanmış asimetrik şekillidir (Şekil 2.4). Basen içindeki Neojen-Güncel çökellerde drenaj sistemi gelişmiştir. Eşençay fayı tarafından sınırlanmış güney kenarda belirgin bir yapı gözlenmektedir. Ancak, burada hiçbir aletsel ve/veya tarihsel depreme rastlanmamıştır.

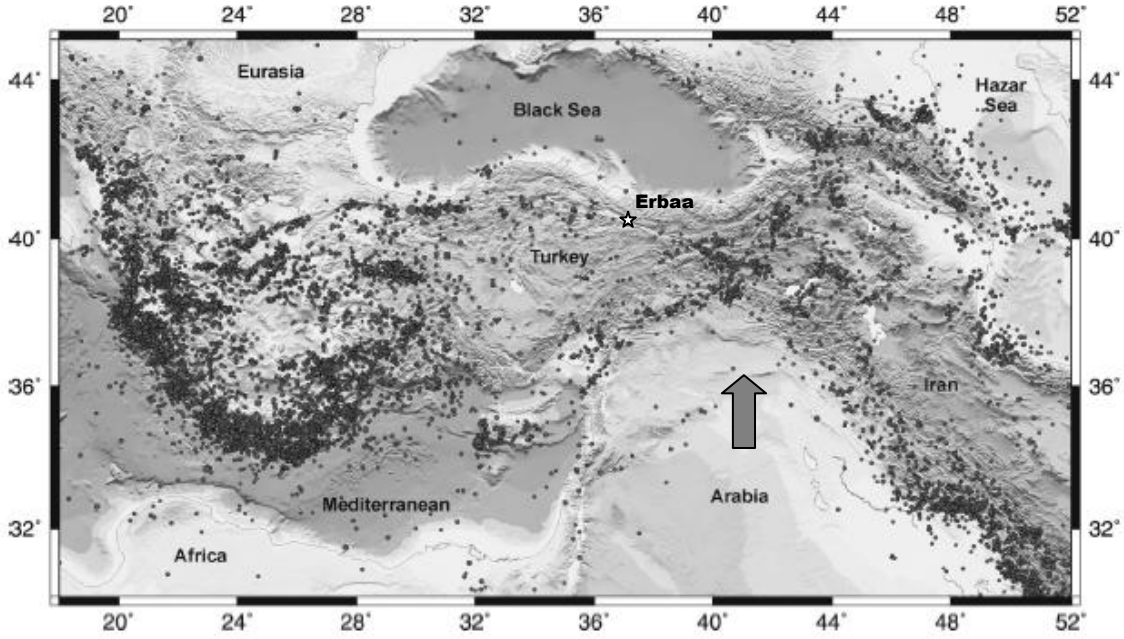
Birçok araştırmacı, Erbaa civarındaki fay kollarını incelemiştir (Koçyiğit, 1989; 1990; Bozkurt ve Koçyiğit, 1995; 1996; Westaway, 1998; Toprak, 1994; Dirik ve Göncüoğlu, 1996; Koçyiğit ve Beyhan, 1998; Kaymakçı, 2000). KAFZ ile ilişkili çeşitli fay zonları (Almus, Yağmurlu- Ezinepazarı, Taşova - Çorum, Göksun - Yazıyurdu, Malatya - Ovacık ve Orta Anadolu Fay Zonu) Şekil 2.5'te gösterilmiştir. Tarihsel ve aletsel kayıtlar, Orta Anadolu'nun doğu kısmı depremsellik açısından KAFZ ile kıyaslandığında daha az aktiftir (Bozkurt, 2001b).



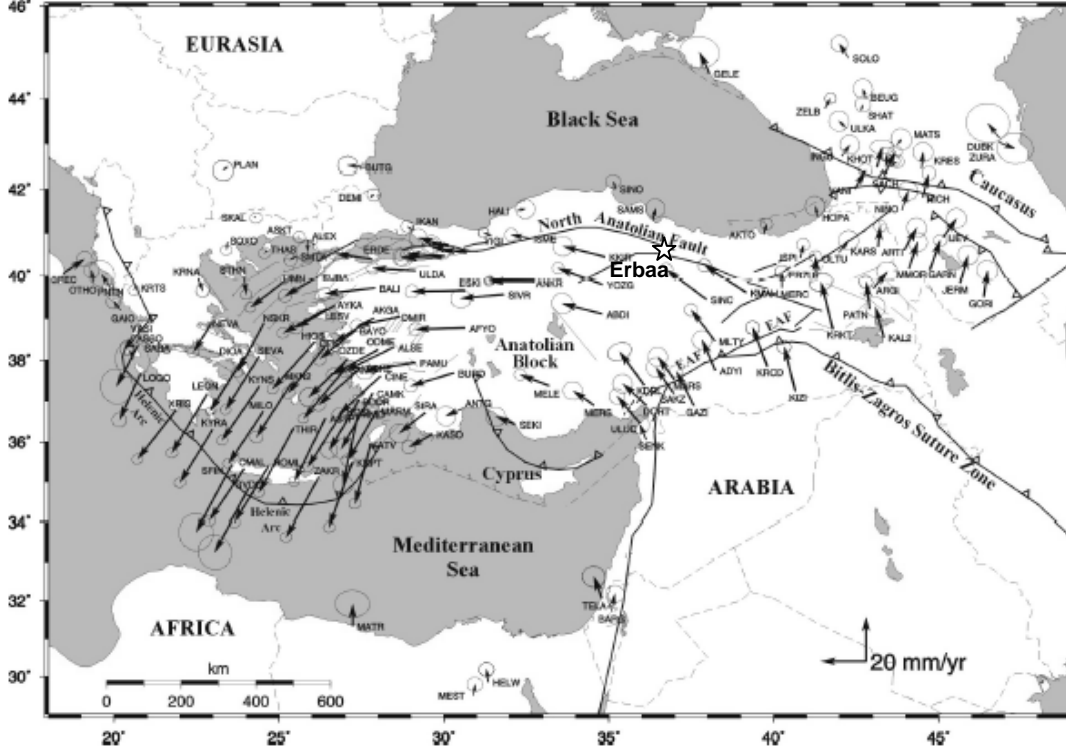
Şekil 2.5. Orta Anadolu'nun doğusunun basitleştirilmiş ana yapısal unsurları (Koçyiğit ve Erol, 2001; Bozkurt ve Koçyiğit, 1996; Şaroğlu vd., 1992; Dirik ve Göncüoğlu, 1996; Bozkurt, 2001b'den değiştirilerek)

2.3 Erbaa ve Yakın Çevresinin Depremselliği

Doğu Akdeniz'in tektonik evriminde, Hellenik (Ege) yayın dalması ve doğuda oluşan kıtasal çarpışması önemli bir hususu oluşturmaktadır (Sato vd., 2004; Taymaz, 1990; Taymaz vd., 1991). Anadolu plakası, Arap ve Afrika plakalarının üst kısmında yer almaktadır (Şekiller 2.6 ve 2.7). Bu nedenle, bu plakaların hareketi Türkiye'nin depremselliğini yaratmakta olup, Türkiye'yi deprem ülkesi yapmıştır. Bu tektonik aktiviteyi, daha önce de belirtildiği gibi Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu fayları oluşturmaktadır. Türkiye'nin topoğrafya, batimetri ve $M > 4.0$ olan deprem episentr dağılımını gösteren haritalar Şekil (2.6) ve (2.7)'de sunulmuştur. Buna ek olarak, GPS hareket vektör yönleri de, yukarıda bahsedilen yapıyı ve hareket şeklini destekler niteliktedir.



Şekil 2.6. Doğu Akdeniz'in depremselliği (1964-2001 tarihleri arasında $M > 4.0$ olan deprem episantırlarının dağılımı gösterilmiştir) (Taymaz vd., 2001'den değiştirilerek)

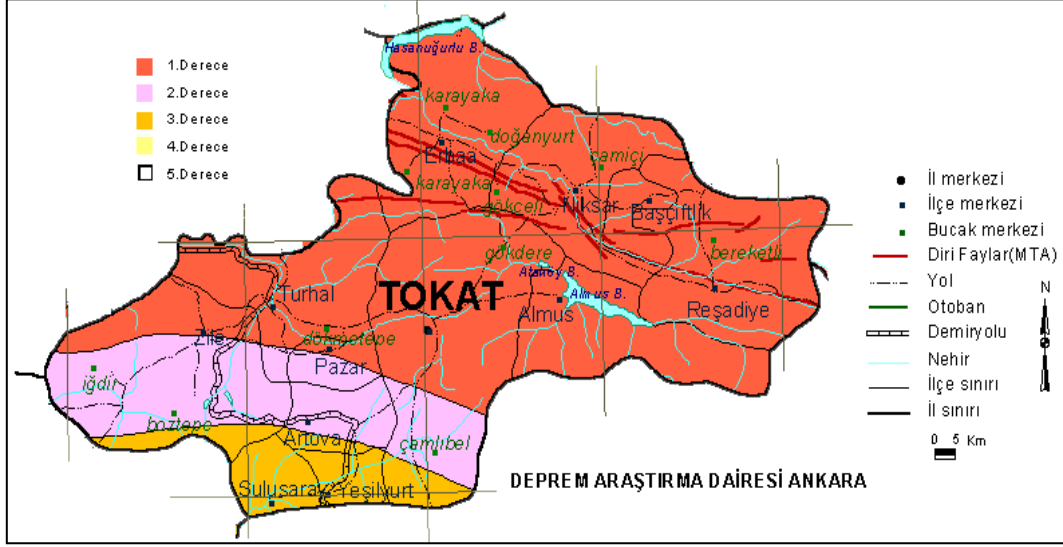


Şekil 2.7. Türkiye ve yakın çevresi için GPS yatay hızları ve bunların %95’lik güvenilirlik elipsleri (189 lokasyon ve 1988-1997 tarihleri arasındaki veriler kullanılarak) (Taymaz vd., 2001’den değiştirilerek)

1939-1999 yılları arasında, batıya doğru hareket eden ve toplam 1000 km’lik uzunluğa sahip 9 büyük fay kırığı oluşmuştur. Demirtaş ve Yılmaz (1986) ve Stein vd. (1997)’nin yaptığı çalışmalara göre, KAFZ’nda sismik boşluklar mevcuttur.

1900’lü yıllarda Erbaa ve yakın civarında çok sayıda deprem olmuştur. Erbaa, Türkiye 1.derece deprem bölgesinde yer almaktadır (<http://www.deprem.gov.tr/indexen.html>) (Şekil 2.8). Daha öncede bahsedildiği gibi, geçmiş depremler dikkate alındığında, Erbaa KAFZ içerisinde bulunan önemli bir deprem bölgesinde yer almaktadır. 1942 Niksar-Erbaa depremi Erbaa bölgesi için çok yıkıcı olmuş, bu deprem dolayısıyla şehir merkezinin yeri güneye doğru kaydırılmıştır. Her ne kadar, Demirtaş ve Yılmaz (1986) yılında belirtilen üç sismik boşluk Erbaa’yı içine almasa da, 1942 yılından beri hiçbir sismik aktivite olmaması dolayısıyla, Erbaa ve yakın çevresi için de deprem tehlikesinin mevcut olduğu söylenebilir.

Erbaa ve yakın çevresindeki sismik aktiviteler ($M > 5.5$ olan deprem büyüklükleri) Çizelge 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.8. Tokat ilinin sismik zonlarını gösteren harita (Afet İşleri Genel Müdürlüğü, 1996).

Çizelge 2.1. Erbaa ve yakın çevresindeki tarihsel depremler

Tarih	Yer	M ≥ 5.5	Kuzey doğrultusu	Doğu doğrultusu
04.04.1543 ⁽¹⁾	Tokat ve Erzincan	?	?	?
1688 ⁽¹⁾	Amasya-Niksar	?	?	?
1909 ^(2,4)	Erbaa ve yakın çevresi	6.3	40,0	38,0
1909 ⁽²⁾	Erbaa ve yakın çevresi	5.8	40,0	38,0
1909 ^(2,4)	Erbaa ve yakın çevresi	5.7	40,0	38,0
24.01.1916 ^(2,4)	Tokat	7.1	40,27	36,83
1923 ⁽²⁾	Erbaa ve yakın çevresi	5.9	40,07	36,43
1929 ^(2,3,4)	Erbaa ve yakın çevresi	6.1	40,2	37,9
1935 ^(2,3)	Erbaa ve yakın çevresi	5.5	33,99	38,14
1939 ⁽²⁾	Erbaa ve yakın çevresi	5.7	40,47	37,0
26.12.1939 ⁽²⁾	Erzincan	7.9	39,80	39,51
1940 ⁽²⁾	Erbaa ve yakın çevresi	6.2	39,64	35,25
1941 ^(2,4)	Erbaa ve yakın çevresi	5.7	39,68	35,31
20.12.1942 ⁽²⁾	Niksar-Erbaa	7.1-7.2	40,87	36,47
26.11.1943 ^(2,3,4)	Tosya-Ladik	7.2-7.3	41,05	33,72
1943 ⁽²⁾	Erbaa ve yakın çevresi	5.6	41,0	37,9
1944 ⁽²⁾	Erbaa ve yakın çevresi	5.5	41,1	34,87
1960 ^(2,4)	Erbaa ve yakın çevresi	5.9	40,19	38,75
13.03.1992 ^(1,2,3)	Erzincan	6.8	39,72	39,63
15.03.1992 ^(2,4)	Erzincan	5.8	39,53	39,93

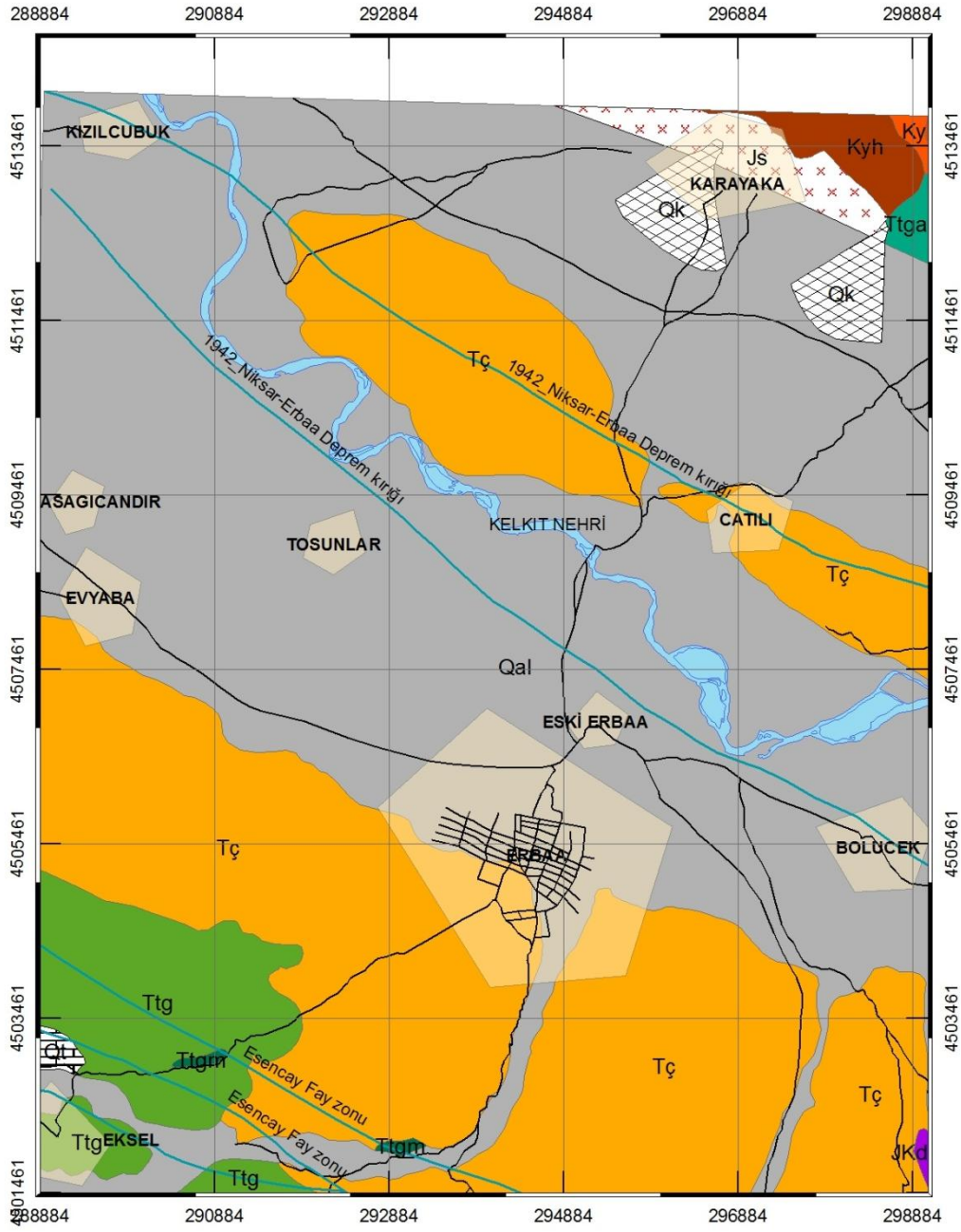
Kaynaklar:

- 1) Ambraseys ve Finkel, 2006
- 2) Özmen vd., 1997
- 3) Ayhan vd., 1984
- 4) İnan vd., 1996

2.4 Çalışma Alanının Jeolojisi

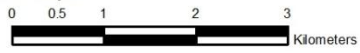
Çalışma alanında, Pliyosen çökelleri ve alüvyon bulunmaktadır. Keçer (1990), Pliyosen çökellerinin çakıl, kum, kil, marn ve çimentolanmamış kumtaşı-çakıltaşından oluştuğunu belirtmiştir. İri taneli kırıntılı malzemeler içermekle beraber, Pliyosen çökellerinin ince malzeme miktarı Erbaa ovasının güneyinde artmaktadır. Aktimur vd. (1989)'a göre alüvyon, çalışma alanının yaklaşık olarak yarısında bulunmaktadır (Şekil 2.9). Çerkeş formasyonu olarak adlandırılan Pliyosen çökelleri (Tc) kil, silt, kum, çakıl ve çimentolanmamış kumtaşı seviyeleri içermektedir. Turhal grubuna ait sedimanter ve metamorfik kayalar, inceleme alanının güneyinde ve Pliyosen çökellerinin uyumsuzlukla altında yer almaktadır. Şekil 2.9'da gösterilen ve Kelkit nehrinin kuzeyinde bulunan jeolojik birimler projenin kapsamı dışında oldukları için, bu raporda değinilmeyecektir.

Şekil 2.9'da gösterilen fay, KAFZ'na ait bir yüzey kırığıdır (Tatar vd., 2006; 2007). Pliyosen çökelleri ve alüvyon arasında iki farklı kırılma zonu mevcuttur. 1942 Niksar-Erbaa yüzey kırığının bir kolu, eski Erbaa yerleşim yerine çok yakındır. Diğer yüzey kırığı ise Erbaa'nın güneyinde bulunan Eşençay fay zonudur (Tatar vd., 2006). Bu fay zonu Stein vd. (1997) tarafından da herhangi bir yüzey kırığından da bahsedilmeden belirtilmiştir.



Lejant

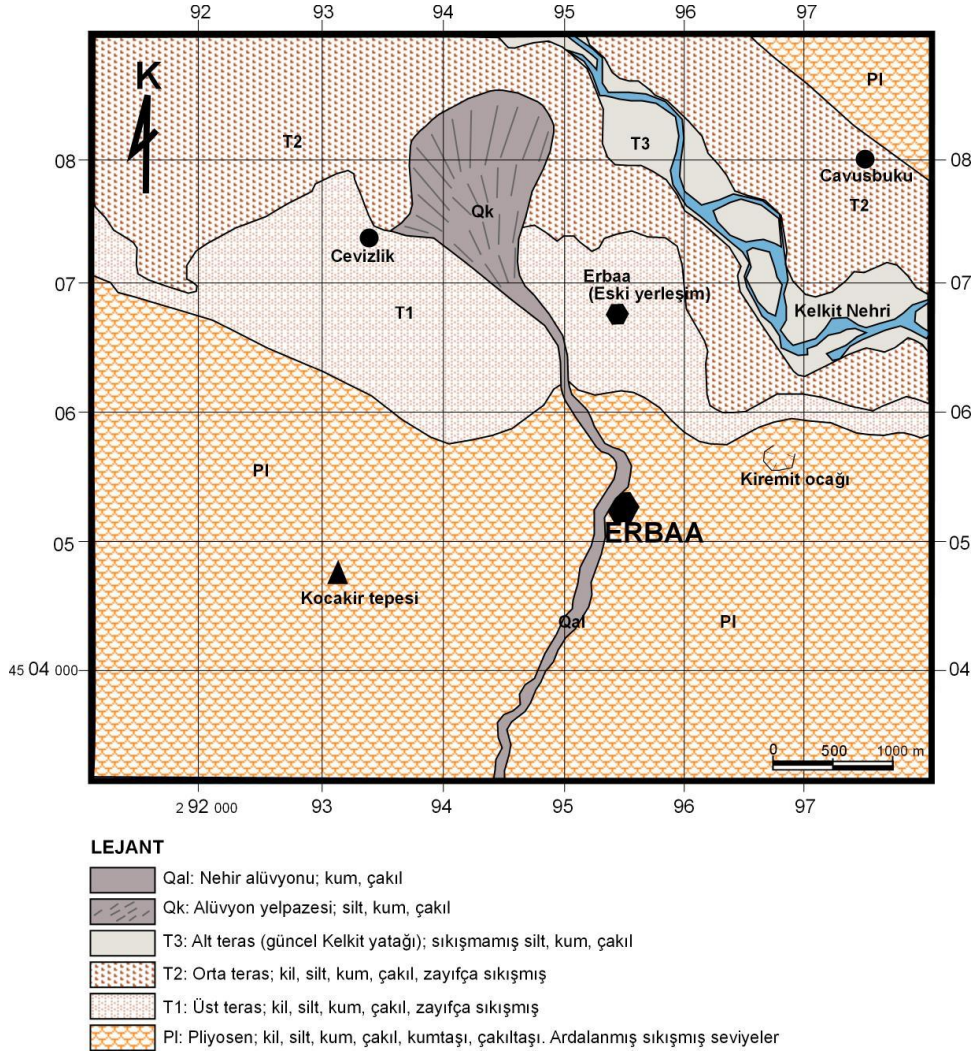
- Qal, Alüvyon (Kuvaterner)
- Qk, Alüvyon konisi (Kuvaterner)
- Qt, Traverten (Kuvaterner)
- Tç, Çerkeş formasyonu (kum, silt, çakıl) (Pliyosen)
- Tt, Tekkeköy formasyonu (bazalt, andezit, tuf, aglomera, kumtaşı, silttaşı) (Eosen)
- Ky, Yumaklı formasyonu (marl, şeyl, kumtaşı, kireçtaşı, andezit, tuf) (senomaniyen-Kampaniyen)
- Kyk, Yumaklı formasyonu (kireçtaşı) (Senomaniyen-Kampaniyen)
- Kyh, Yumaklı formasyonu (Tuf basalt and andesite alternation) (senomaniyen-Kampaniyen)
- JKd, Dogdu formasyonu (kireçtaşı) (Alt Kreatase-Üst Jura)
- Js, Seyfe formasyonu (Aglomera, tuf, kumtaşı) (Alt Kreatase-Üst Jura)
- Ttg, Turhal grubu (kireçtaşı, kristalize kireçtaşı, mermer, metamorfikler) (Permo-Triyas)
- Ttga, Turhal grubu (kireçtaşı) (Pemiyeen)
- Ttgm, Turhal grubu Kristalize kireçtaşı ve mermer (Ayırtlanmamış)



Şekil 2.9. Erbaa'nın jeoloji haritası (Aktimur vd., 1989'den değiştirilerek)

Çalışma alanında, Yürüdü (1991) ve Şahin (1998) jeolojik-jeomorfolojik incelemeler yapmışlardır. Yürüdü (1991)'in çalışmasında, Kelkit nehrinin ve/veya Yeşilırmak nehrinin yan kollarından gelen kırılıtlı malzemelerin oluşturduğu alüvyonun düzensiz depolandığı belirtilmiştir. Her iki çalışmada da, taraça çökellerinden de bahsedilmiştir. Yürüdü (1991)'in çalışmasına göre, taraça çökelleri Kelkit ve Yeşilırmak dereyatakları çevresinde üç farklı seviyede oluşmuştur. Bunlardan biri, eski Erbaa yerleşim yerinde olan “Dedembahçe mevkiisi” dir. Erbaa'daki jeolojik birimler, Şahin (1998) tarafından jeomorfolojik değişim açısından incelenmiştir. Yürüdü (1991)'in bulgularına ters olarak, taraça çökellerine detaya girmeden genel bir açıklama getirmiştir. Buna göre, Erbaa'nın kuzeyi KAFZ kırıkları dolayısıyla çökmeye maruz kalmıştır ve nehir yatağında çökme farklılıkları gözlenebilir.

Erbaa yerleşim yeri, depremsellik açısından Canik ve Kayabalı (2000) tarafından incelenmiştir. Jeolojik ve jeoteknik değerlendirme yapılan bu çalışmaya göre, Kuvaterner alüvyon ve Pliyosen çökelleri çalışma alanının büyük bir kısmını kaplamaktadır (Şekil 2.10). Yerleşim alanının kuzey kısmı alüvyon üzerinde bulunurken, Pliyosen çökelleri güneyde görülmektedir. Aynı araştırmacılar, bu alanda Kelkit nehri boyunca çakıl ve kum taraçalarından bahsetmektedir. Kum ve çakılın dere yatağında kalınlaştığı ve nehir yakınında alüvyon yelpazesi ile birleştiği belirtilmektedir. Bu çalışmada, Kuvaterner çökeller eski ve yeni diye ikiye ayrılmıştır (Şekil 2.10). Eski alüvyon ise Üst ve Orta taraçalar olarak ayırt edilmiştir. Üst taraça seviyesi gevşek nehir malzemesi içermekte ve bu malzemeler İmbat deresinin getirdiği çökeller ile eski Erbaa civarında birleşmektedir. Orta taraça seviyesinde ise, Kelkit nehri taşkın ovası boyunca çökelmiş çakıl, kum, silt ve kil mevcuttur. Alt taraça seviyesinde, güncel alüvyonlar, alüvyon yelpazesi ve Kelkit nehri dere yapağındaki çökeller bulunmaktadır. Alt taraça çökelleri iyi sıkışmamış olup, orta taraça seviyesinin 1-3 m alt kotunda yer almaktadır. Ayrıca, nehir alüvyon çökelinin kalınlığının 1-2 m olduğu söylenmektedir. KAFZ'ye ait herhangi bir yüzey kırığı, bu araştırmacılar tarafından hazırlanan jeoloji haritasında gösterilmemiştir (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Erbaa'nın jeoloji haritası (Canik ve Kayabalı, 2000'den değiştirilerek)

Bu rapor kapsamında yapılan çalışma çerçevesinde, önceki çalışmalar incelenmiş, tarafımızca arazi çalışmaları ve çeşitli yerinde arazi deneyleri yapılmıştır. Buna göre, Erbaa yerleşim yeri Erbaa basenindeki Pliyosen çökelleri ve alüvyon üzerindedir (Şekil 2.11). Bu nedenle, çalışma alanının jeoloji haritası yeniden hazırlanmıştır. Bu son harita, raporun ileriki bölümlerinde sunulan karşılaştırma analizlerinde kullanılmıştır.

Erbaa yerleşim alanında görülen Pliyosen çökelleri, yoğunlukları/pekişmişlik durumları itibariyle ayırt edilebilmektedir (Şekil 2.11). Bu çökeller, alüvyona göre daha yoğundur. Çimentolanmamış ve az pekişmiş seviyeler mevcuttur. Yeraltı seviyesi oldukça derindedir. Bu birim içerisinde açılan 30 m'lik sondajlarda yeraltı suyuna rastlanmamıştır. Pliyosen çökelleri yerleşim alanının güneyinde görülmekte ve bu alanda tepeler oluşturmaktadır. (Şekiller 2.11 ve 12).



Şekil 2.11. Pliyosen çökellerinin genel görünümü.

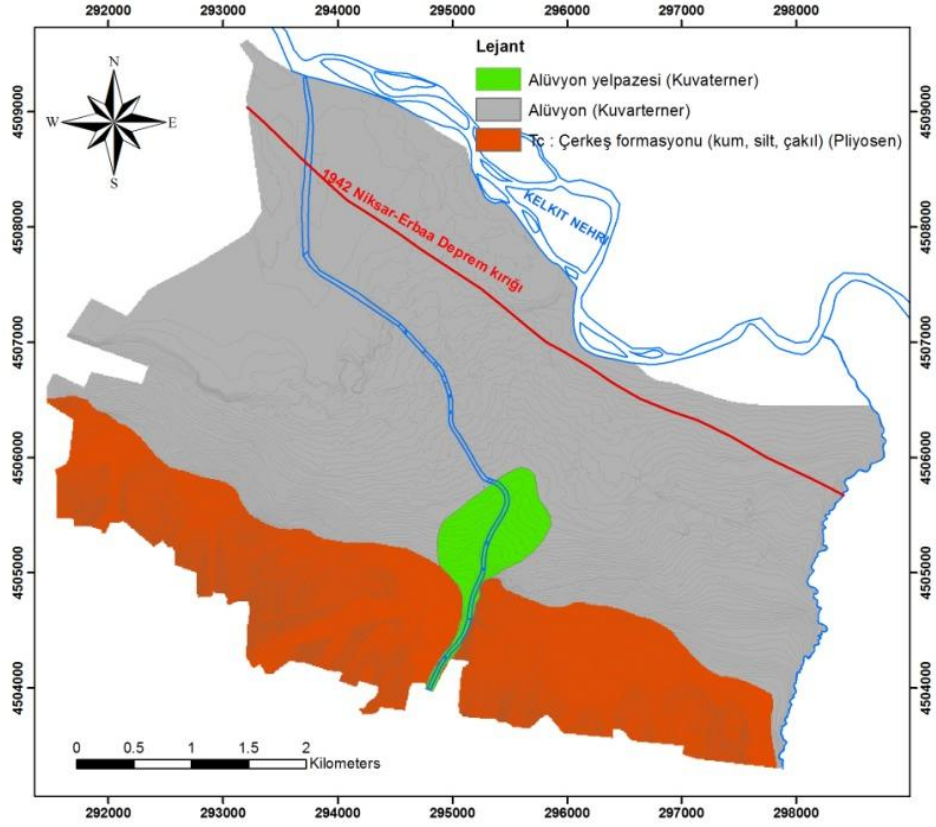


Şekil 2.12. Pliyosen çökellerinin yakından fotoğrafı.

Alüvyon yelpazesi çalışma alanında çok yaygın olmayıp, sadece İmbat deresi ve yakınında görülebilmektedir (2.13). Bu derenin taşkınıni önlemek için, Belediye’ce taşkın kontrol kanalları da yaptırılmıştır. Alüvyon yelpazesi, çok dar bir alanda gözlenmektedir (Şekil 2.14).



Şekil 2.13. İmbat dere yatağının genel bir görüntüsü (kuzeydoğu yönüne bakış).



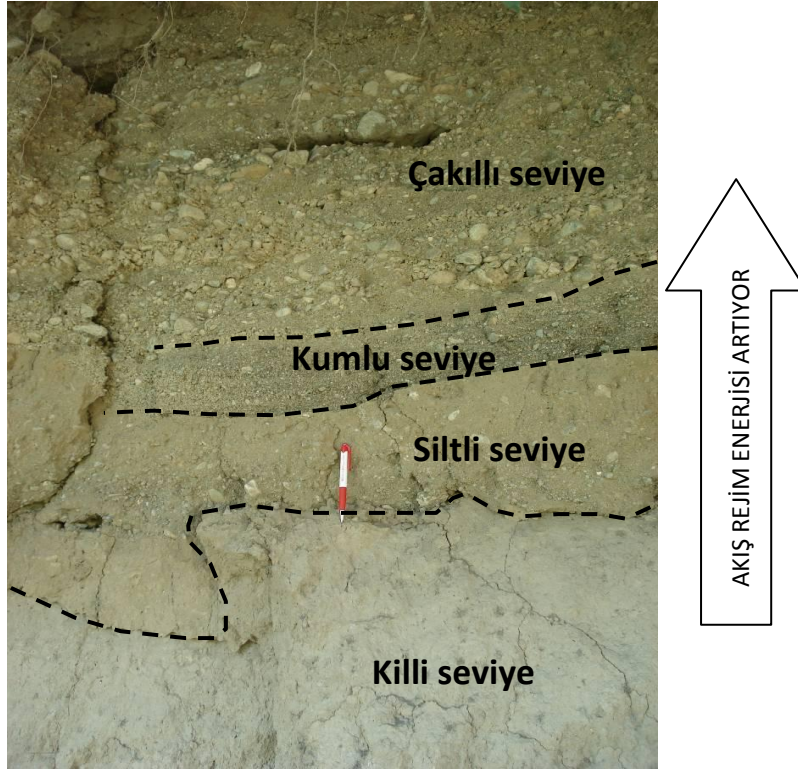
Şekil 2.14. Çalışma alanının jeolojik haritası.

Alüvyon, çalışma alanının büyük bir kısmını örtmektedir (Şekil 2.14). Alüvyon kalınlığı inceleme alanının kuzeyine (Kelkit nehrine) doğru artmaktadır. Bu birim, farklı su rejimlerinde Kelkit nehrinin taşıdığı malzemelerden oluşmaktadır (Şekiller 2.15-2.18). Bu nedenle, dikey ve yatay yönde iri malzemeden ince malzemeye (veya tersi) geçiş görülebilmektedir. Çalışma alanındaki alüvyon çakıllı, kumlu, siltli ve killi malzemelerden oluşmaktadır (Şekil 2.16). Çakıl boyutları genellikle 2-5cm arasında değişmektedir. Çakıllar gri renkli, yuvarlak ve iyi derecelenmiştir. Ancak, bu malzemenin yanal ve dikey devamlılığı yoktur. Genelde mercerler halinde bulunurlar. Kumlu seviyeler ise, az olup, az miktarda küçük yuvarlak çakıl içermektedir. Kumlu birimler açık kahverenkli, orta sıkı-sıkı ve kötü boylanmıştır (Şekil 2.19). Kumlu birimlerin yoğunlukları nehre doğru azalmaktadır. Kahverenkli siltli seviyeler ise, hem kum hem de kil tanecikleri içermekte olup, orta plastiktir. Killi seviyeler, koyu yeşil-açık kahverenkli ve orta-yüksek plastiktir. Alüvyondaki su seviyesi, Erbaa'nın kuzeyine özellikle de Kelkit nehrine doğru sığlaşmaktadır (Şekil 2.20).

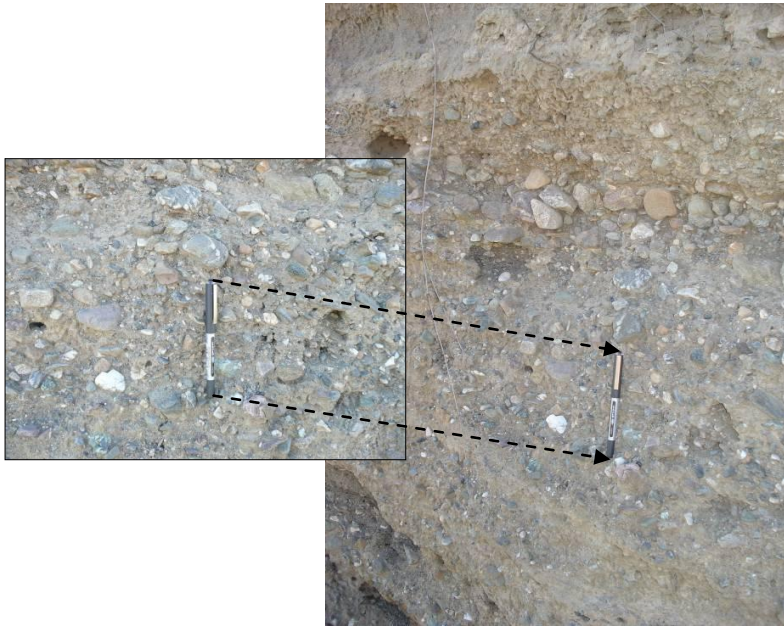
Tarafımızca yapılan saha çalışmalarına göre, daha önceki araştışıcılar tarafından haritalanan taraça çökelleri belirgin olarak ve haritalanacak boyutta izlenememiştir. Yerinde ve laboratuvar deneyleri verileri de dikkate alınarak, bu çökeller alüvyon malzemesi içerisinde değerlendirilmiştir.



şekil 2.15.çalışma alanındaki alüvyon içerisindeki bir kesitin değerlendirilmiştir.



Şekil 2.16. Alüvyon birim içerisinde farklı tane boylarının görünümü.



Şekil 2.17. Çakıllı seviyelerin yakından görünüşü.



Şekil 2.18. Alüvyon içerisindeki çakıl mercekleri



Şekil 2.19. Kelkit Nehri yakınındaki kumlu seviyeler.



Şekil 2.20. Kelkit Nehri yakınındaki sığ yeraltısuyu.

3. SAHA VE LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

3.1 Saha ve Laboratuvar Verileri

Raporun bu bölümünde saha ve laboratuvar deneyleri ve sonuçları sunulacaktır. Saha çalışmaları sondaj, jeofizik uygulamalar ve boşluk suyu basıncı ölçümlü sismik konik penetrasyon deneylerini (SCPTU) deneylerini içermektedir. Laboratuvar çalışmaları ise, sondajlar sırasında alınan örnekler üzerinde zeminlerin jeoteknik özelliklerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Proje çerçevesinde elde edilen veriler ile önceki çalışmalara ait veriler birlikte değerlendirilmiştir.

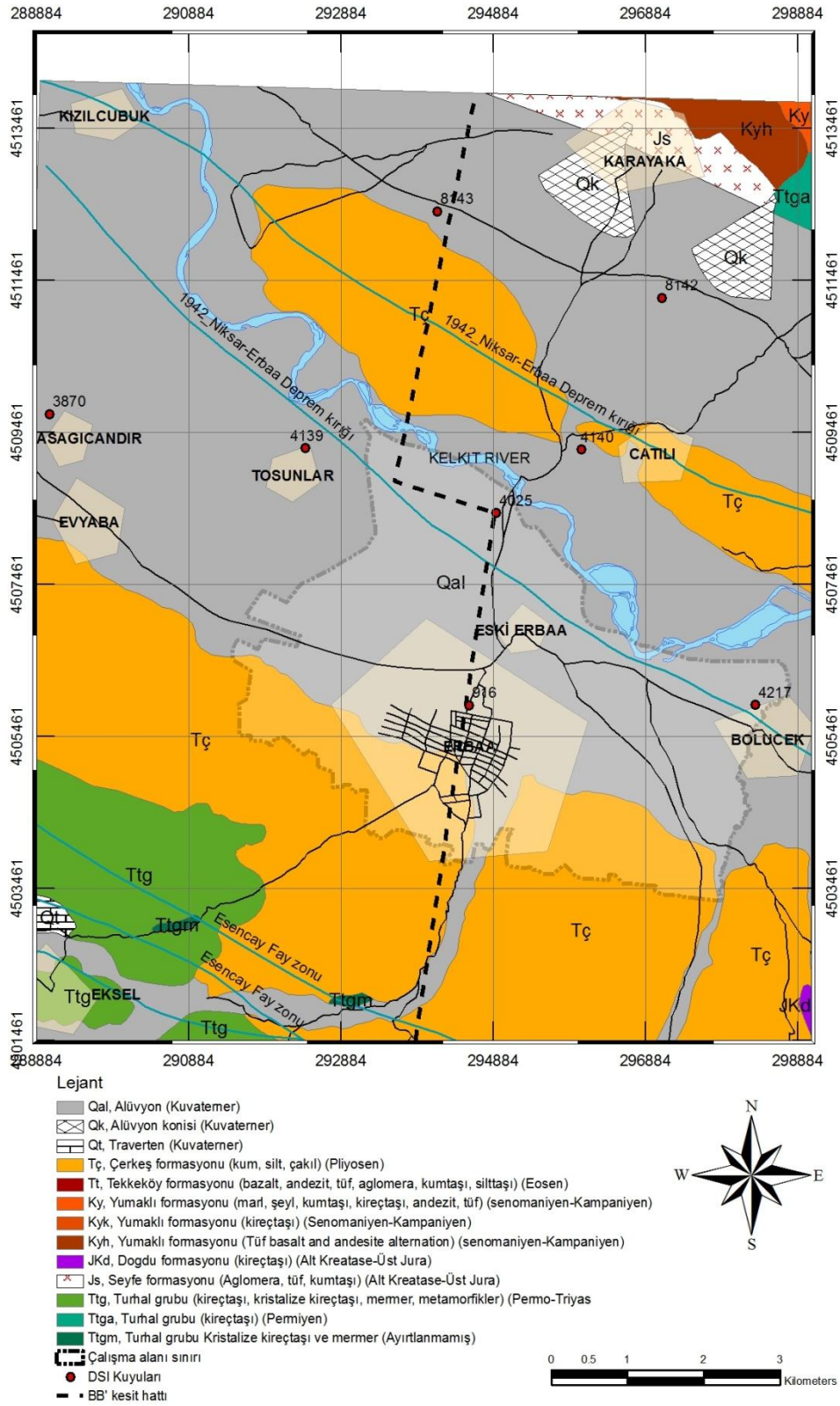
3.2 Önceki Çalışmalar

Geçmiş yıllarda Erbaa ve yakın çevresinde farklı projeler için toplam 56 adet sondaj yapılmıştır. Bu çalışmaların ilki, 1971 yılında DSİ tarafından yapılan hidrojeolojik incelemelerdir (DSİ, 1971). Bu çalışmanın dışında, farklı amaçlarla üç jeoteknik çalışma da yapılmıştır. Bunlardan biri, Canik ve Kayabalı (2000) tarafından yapılan jeoteknik çalışmadır. Diğer jeoteknik çalışmalar ise, bir organize sanayi alanı (Akademi, 2002) ve su arıtma tesisi (Metropol, 2005) içindir. Bu çalışmaların detayları aşağıda verilmiştir.

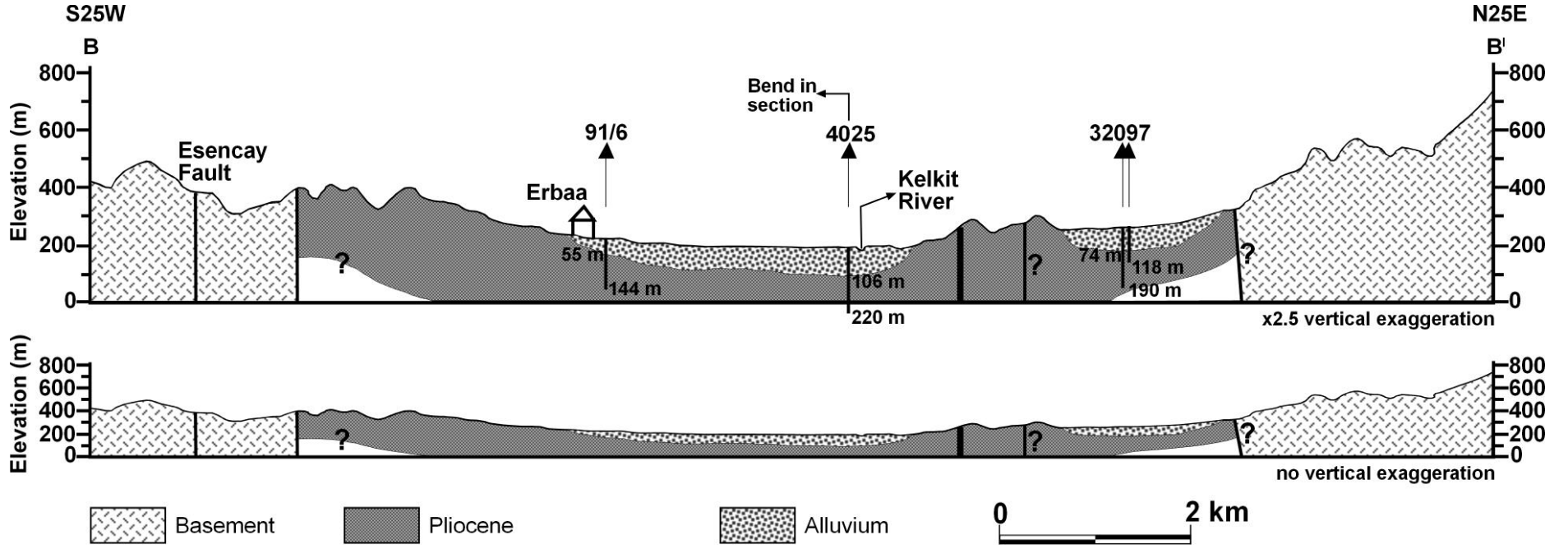
3.2.1 DSİ Hidrojeoloji Projesi

Erbaa'da yapılan ilk detaylı inceleme, 1971 yılında DSİ tarafından gerçekleştirilen ve Kelkit nehrinin sağ sahilindeki alanın hidrojeolojik özelliklerinin belirlenmesine yönelik bir çalışmadır (DSİ, 1971). Aynı zamanda, Erbaa yerleşim yerinin olduğu nehrin sol sahili de yüzey suyu sulama projesi içerisinde yer almaktadır. Bu nedenle, çok sayıda yeraltısuyu araştırmasına yönelik sondaj kuyusu açılmıştır. Bu kuyulardan biri (kuyu no-4025) 1963 yılında açılmış olup 220 m derinliktedir (Şekil 3.1). Bu kuyuda ölçülen statik yeraltısuyu derinliği 4 m'dir. Kuyudaki akifer kalınlığının 106 m olduğu ve bu derinliğin alüvyon ile Pliyosen çökelleri arasındaki sınıra karşılık geldiği belirtilmektedir. Bu kuyu verisi

kullanılarak Barka et al. (2000) tarafından hazırlanan jeolojik kesit Şekil 3.2’de verilmiştir. Jeolojik kesit çizgisi (B-B’), Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Çalışma alanının doğusunda açılan ikinci kuyu (kuyu no-4217), Bölücek köyü yakınında olup 186 m derinliğindedir. Bu kuyuda da 4 m derinde statik yeraltısu seviyesine rastlanmıştır. DSİ 91/6 kuyusu (Şekil 3.1’de 916 olarak gösterilmiştir) 144 m derinliğinde olup, alüvyon-Pliyosen dokanağına 55 m’de girdiği Barka et al. (2000) tarafından değerlendirilmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.1. Çalışma alanındaki DSİ kuyularının lokasyon haritası (DSİ, 1971'den değiştirilerek)

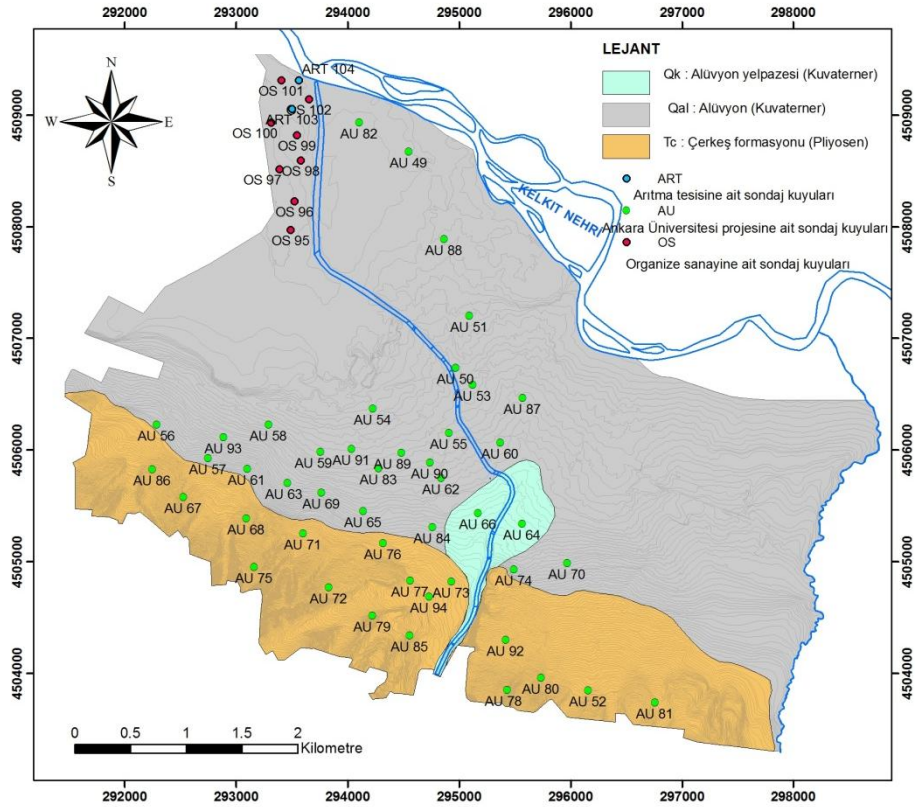


Şekil 3.2. Erbaa'nın (B-B') genelleştirilmiş jeolojik kesiti (Barka vd., 2000'den değiştirilerek)

(Not: Jeolojik kesitin tüm uzunluğu ölçek dolayısıyla Şekil 3.1'de gösterilememiştir)

3.2.2 Ankara Üniversitesi Araştırma Projesi

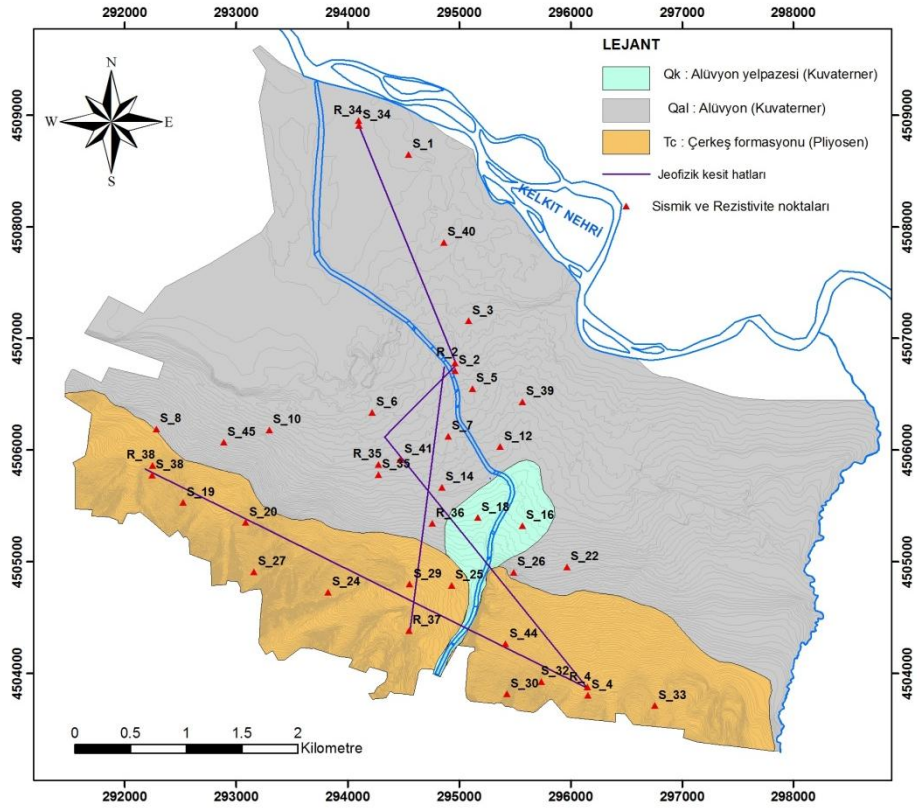
İnceleme alanında yapılan en detaylı çalışma, Ankara Üniversitesi Araştırma Projesi kapsamında Canik ve Kayabalı (2000) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, çeşitli sondaj ve jeofizik yöntemler kullanılarak Erbaa yerleşim yerinin bir kısmının zemin etüdü yapılmıştır. Bu çalışmada, toplam 845 m derinliğinde 46 sondaj (5-50 m derinlikte) yapılmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Önceki projeler çerçevesinde yapılan sondajların alansal dağılımı.

Canik ve Kayabalı (2000) tarafından yapılan çalışmadaki sondajların derinlikleri yaklaşık 15m civarındadır. Yeraltı seviyesi ise oniki kuyuda yüzeyden 1.5-12 m derinlikte ölçülmüştür. SPT deneylerinden yaklaşık 150 örselenmiş alınmıştır. Ölçülen SPT-N₃₀ değerleri, bu alanda 5->50 (refü) arasında değişmektedir. Buna ek olarak, 80 adet örselenmemiş örnek üzerinde zemin sınıflama deneyleri yapılmıştır.

225 örnek üzerinde yapılan tane boyu dağılım analizlerine göre, ince taneli zeminler düşük plastisitelidir. Ayrıca, kil ve silt içeren kötü derecelenmiş kum da vardır. Örneklerin su içerikleri %4-38 arasında değişmektedir. Killi seviyelerde su muhtevası %10'dan fazladır. Yine killi seviyelerin birim hacim ağırlığı 18.72 - 20.87 kN/m³ arasında değişmektedir. Bu çalışmada 0.3g ivme ve 7.5 büyüklüğündeki bir deprem dikkate alınarak 12 kuyuda sıvılaşma analizi de yapılmış olup, altı kuyu noktasında (AU-51, AU-54, AU-59, AU-82 ve AU-88 bkz Şekil 3.3) sıvılaşma potansiyeli tespit edilmiştir. Zeminlerin dinamik özelliklerini belirleyebilmek için ise, sismik kırılma ve elektrik rezistivite jeofizik yöntemleri de kullanılmıştır (Şekil 3.4). Rezistivite ölçümlerine göre, Pliyosen çökelleri çok kalın olup 100 m derinliğe kadar diğer temel kayalar rastlanmamıştır.



Şekil 3.4. Çalışma alanında jeofizik çalışması yapılan hatlar (Canik ve Kayabalı, 2000'den değiştirilerek).

İnceleme alanında yapılan 6 sismik kırılma çalışmasına göre, 3 ayrı zona ayrılan zeminin ortalama P ve S, dalga hızları sırasıyla 467, 1281, 1038 m/s; ve 200, 321,

291 m/s'dir. Hakim periyot olarak ise, 0.5-0.9 arasında olduğu bulunmuştur (Canik ve Kayabalı, 2000).

3.2.3 Organize sanayi alanı ve atıksu arıtma tesisi için yapılan jeoteknik araştırmalar

Organize sanayi tesisi için 8 adet (Akademi, 2002) ve su arıtma tesisi için 2 adet Metropol (2005) olmak üzere bu çalışmalarda toplam 10 adet jeoteknik amaçlı sondaj kuyusu açılmıştır. Açılan sondajların lokasyonları Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Bu sondajlarda ölçülen yeraltısuyu derinliği 0.8-1.2 m'dir. Ancak, kuyu derinlikleri sığdır (4.95-12.50m). Bu çalışmalara göre, araştırılan bölgede düşük plastisiteli kil ve silt ardalanmalı gevşek kum bulunmaktadır.

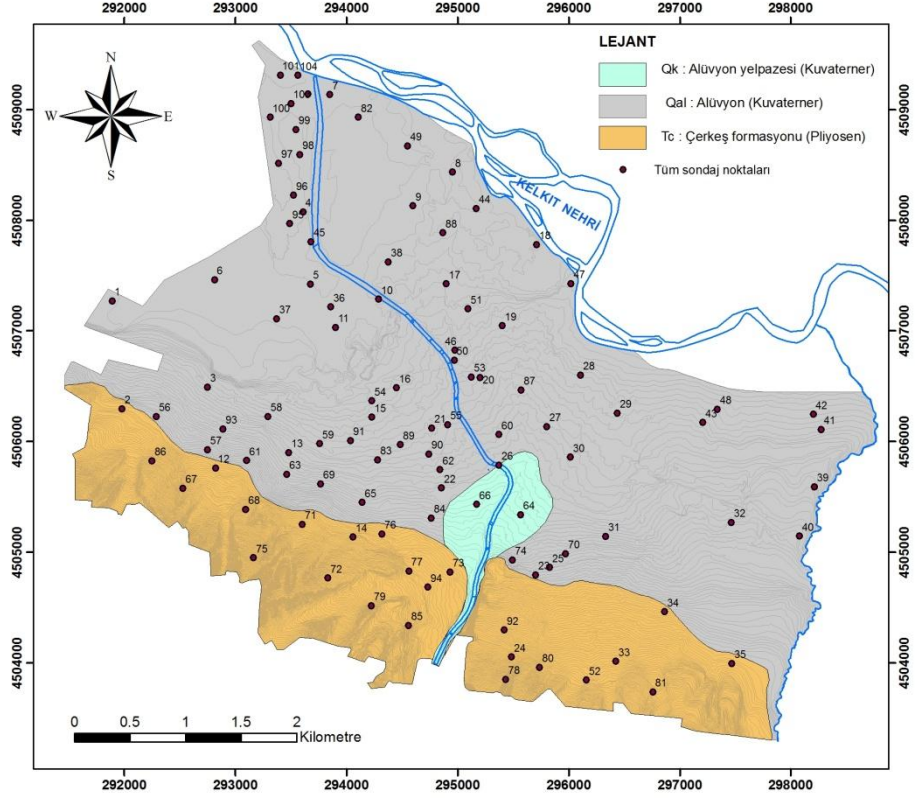
3.3 Yeni Saha Çalışmaları

Saha çalışmalarına başlanmadan önce, çalışma alanının kesin sınırları, Erbaa Belediyesi'nin uzun vadeli imar planları dikkate alınarak belirlenmiştir. Proje çerçevesince incelenen Erbaa yerleşim alanında, önce DPT projesi destekli 3 adet yeni sondaj yapılmıştır (Tatar et al., 2009). Daha sonra ise Tübitak-DPT-ODTÜ-BAP projeleri destekli toplam 45 sondaj daha yapılmıştır. Çalışma alanının deprenselliği dikkate alınarak, sondaj derinliklerinin mümkün olduğunca 30 m'ye kadar devam etmesi tercih edilmiştir. Açılan sondajların genel özellikleri Çizelge 3.1'de, sondaj yerleri ise Şekil 3.5'te verilmiştir. Böylece, bu rapor çerçevesinde toplam 104 sondaj kuyusuna ait verileri değerlendirmek mümkün olmuştur.

Çizelge 3.1. Bu çalışma sırasında açılan sondajlara ait genel bilgiler.

Sondaj No	Koordinatlar		Yükseklik (m)	Derinlik (m)	YAS'ye derinlik (m)	Alınan SPT örnek sayısı	Alınan Shelby örnek sayısı
	Kuzeye	Doğuya					
BH-1	291886	4507274	199	30.0	1.55	29	2
BH-2	291976	4506299	238	25.5	13.00	21	6
BH-3	292744	4506495	215	24.0	9.10	23	11
BH-4	293605	4508079	198	26.0	1.00	25	5
BH-5	293672	4507425	200	27.0	2.00	26	3
BH-6	292809	4507464	200	26.5	2.00	26	2
BH-7	293846	4509138	198	30.2	1.50	30	10
BH-8	294951	4508438	200	21.0	1.55	20	2
BH-9	294594	4508132	200	30.5	2.05	30	2
BH-10	294287	4507288	201	27.5	4.00	27	4
BH-11	293900	4507035	200	30.2	4.55	30	1
BH-12	292817	4505764	243	21.5	DRY	20	8
BH-13	293478	4505902	219	25.5	14.50	25	15
BH-14	294054	4505139	248	30.0	DRY	30	4
BH-15	294226	4506222	210	29.5	9.00	28	15
BH-16	294448	4506488	208	29.55	10.00	29	9
BH-17	294893	4507427	204	23.0	5.00	22	2
BH-18	295710	4507782	200	30.5	2.10	30	3
BH-19	295400	4507049	209	30.5	9.55	30	5
BH-20	295200	4506579	213	30.5	10.00	30	10
BH-21	294766	4506125	214	28.5	10.00	28	5
BH-22	294850	4505582	224	30.5	15.20	30	9

BH-23	295701	4504798	241	30.1	19.00	30	18
BH-24	295481	4504056	294	30.1	DRY	30	11
BH-25	295826	4504865	238	30.0	18.05	30	10
BH-26	295368	4505789	223	30.0	10.10	30	9
BH-27	295802	4506138	219	30.2	10.00	30	9
BH-28	296105	4506604	211	30.5	2.55	30	5
BH-29	296436	4506260	213	30.5	12.00	30	11
BH-30	296014	4505861	220	31.0	13.50	30	12
BH-31	296330	4505145	230	30.0	15.35	30	18
BH-32	297464	4505271	232	30.5	15.55	30	18
BH-33	296422	4504016	281	28.5	DRY	28	4
BH-34	296862	4504466	254	30.2	13.50	30	18
BH-35	297467	4503997	264	30.0	DRY	30	1
BH-36	293853	4507220	200	29.5	1.50	29	-
BH-37	293367	4507112	200	30.5	2.10	30	-
BH-38	294373	4507626	202	30.0	3.25	30	-
BH-39	298211	4505593	225	29.5	9.15	29	4
BH-40	298076	4505146	231	29.5	8.10	29	3
BH-41	298273	4506111	214	29.5	9.75	29	3
BH-42	298200	4506249	211	29.5	3.20	29	1
BH-43	297205	4506174	215	29.5	2.05	29	3
BH-44	295165	4508110	200	29.5	1.85	29	-
BH-45	293675	4507808	200	29.5	1.80	29	5
BH-46	294972	4506829	209	30.20	9.05	28	6
BH-47	295013	4507433	204	30.45	1.10	19	1
BH-48	297336	4506295	212	30.11	1.70	25	9



Şekil 3.5. Önceki ve yeni çalışmalar sırasında açılan tüm kuyuların lokasyonları.

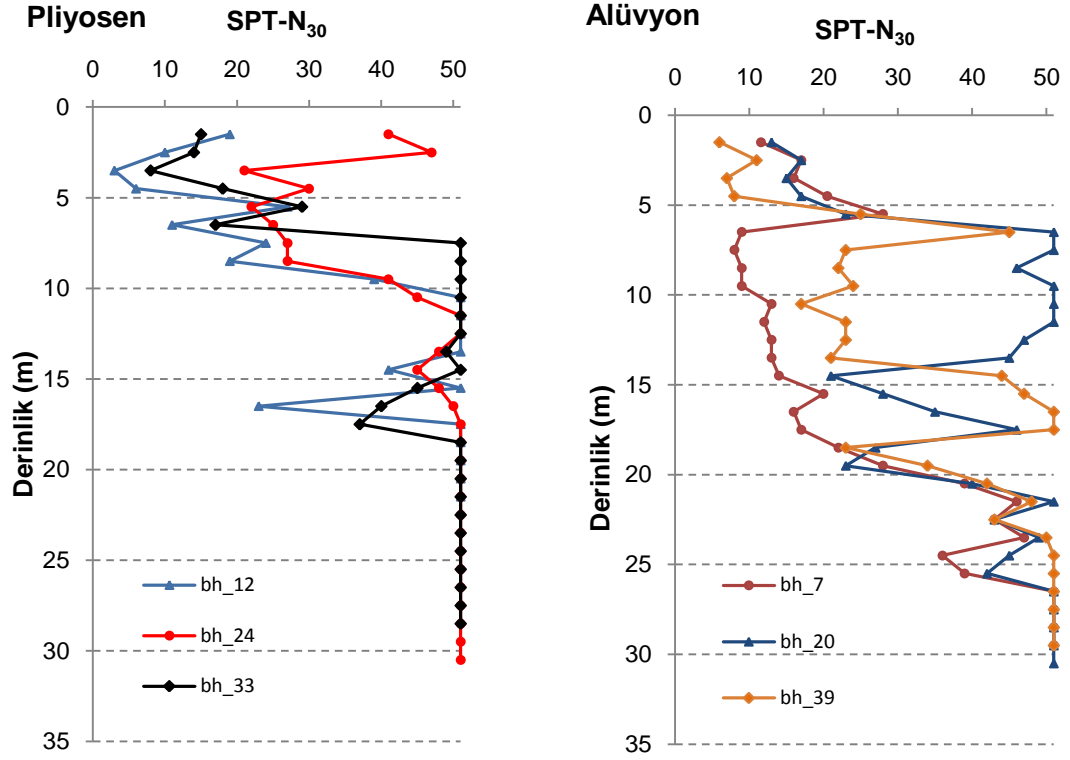
Sondajlar, Atlas-Copco Craelius D750 sondaj makinası ile yapılmıştır (Şekil 3.6). Sondaj sırasında, her metrede bir SPT deneyi ve bunu takiben örselenmemiş Shelby örneği alınmıştır. Böylece, hemen hemen tüm zemin profilini yeni kuyularda örneklemek mümkün olmuştur. Genelde kuyularda 30 m derinliğe kadar inilmesine çalışılmış ancak çok çakıllı seviyelerde, kuyu göçmesi problemleri dolayısıyla istenilen bazen derinliğe inilememiştir. Elde edilen veriler ile 30 m derinliğe kadar $SPT-N_{30}-V_s$ ilişkisi verilmeye çalışılmıştır. Ayrıca, seçilen 10 adet kuyuda ise, Türkiye’de ilk defa yapılan SPT-bazlı uphole (kuyu içi) sismik çalışma yapılmıştır.



Şekil 3.6.Çalışma alanında yapılan sondaj çalışmaları.

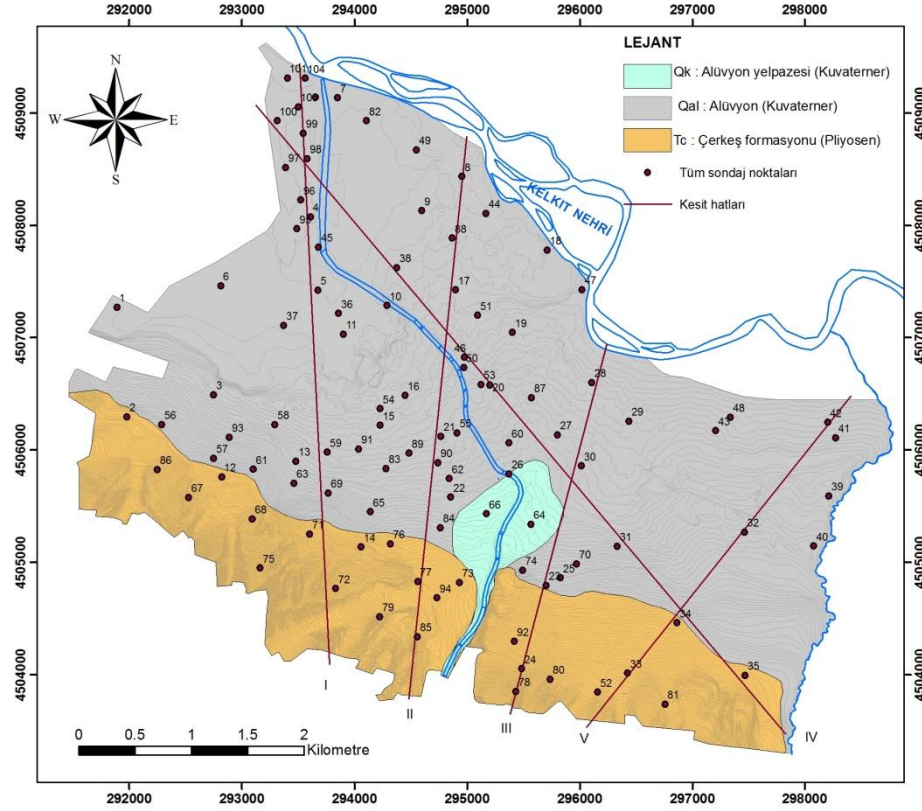
Bu çalışmada, toplam 1386.81m sondaj yapılmış, 1341 örselenmiş SPT ve 312 örselenmemiş Shelby tüp örneği alınmıştır. Kuyulardaki yeraltısuyu ölçülmüş olup, Pliyosen çökellerinde açılan kuyuların birkaç tanesinin kuru, diğerlerinin ise 13-19m derinliklerde olduğu; alüvyonda ise Kelkit nehrine doğru yeraltısuyu derinliğinin 1-2 m'lerde olduğu tespit edilmiştir.

Seçilen bazı tipik kuyularda SPT-N₃₀ değerinin alüvyon ve Pliyosen çökellerinde derinliğe bağlı değişimine bir örnek Şekil 3.7'de gösterilmiştir. Alüvyon'da ölçülen SPT-N₃₀ kısmen daha düşüktür. Bu birimde elde edilen refü değerleri ise, tamamen çakıllı seviyelerin varlığı ile ilişkilidir. Pliyosen çökellerinde ise, 10-15 m'lerden sonra refü elde edilmiştir.

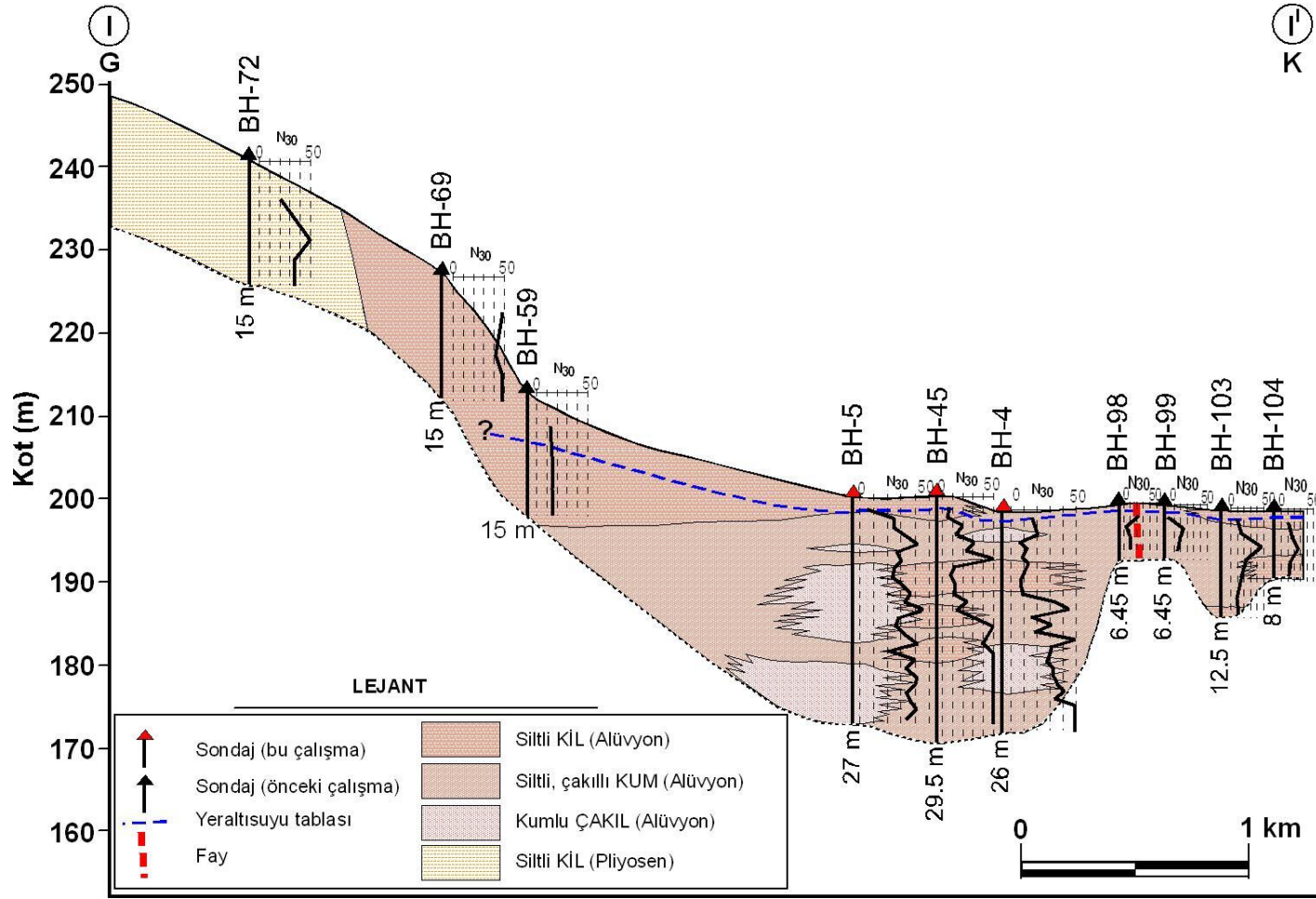


Şekil 3.7. SPT-N₃₀ değerinin alüvyon ve Pliosen çökellerinde derinlikle değişimi.

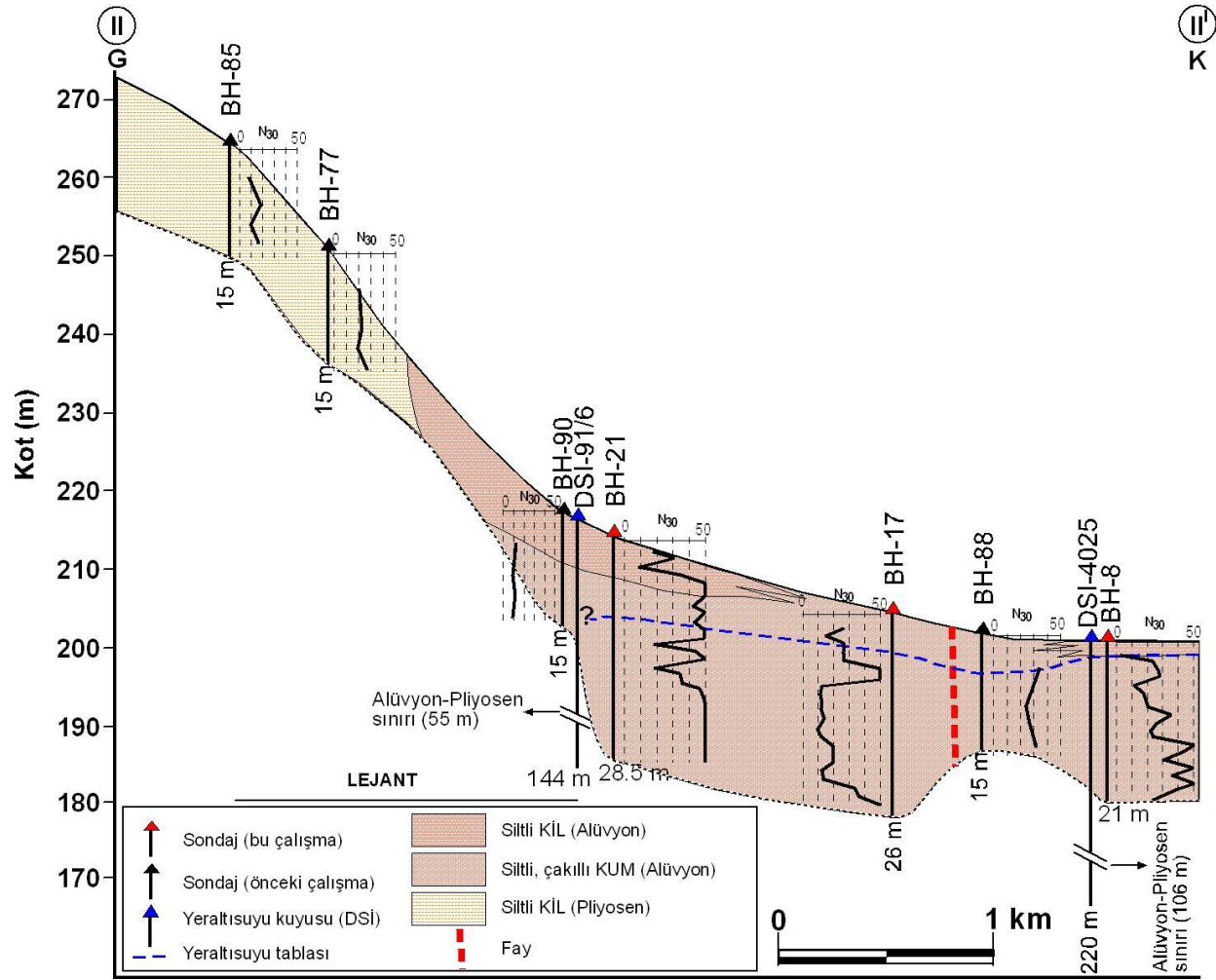
Elde edilen verileri yorumlayabilmek için hazırlanan jeolojik kesit hatları Şekil 3.8’de, jeolojik kesitler ise Şekiller 3.9-13’de verilmiştir. Bunlara göre, Pliosen çökelleri ve alüvyonda mercekler halinde kil-kum-çakıl seviyeleri mevcuttur.



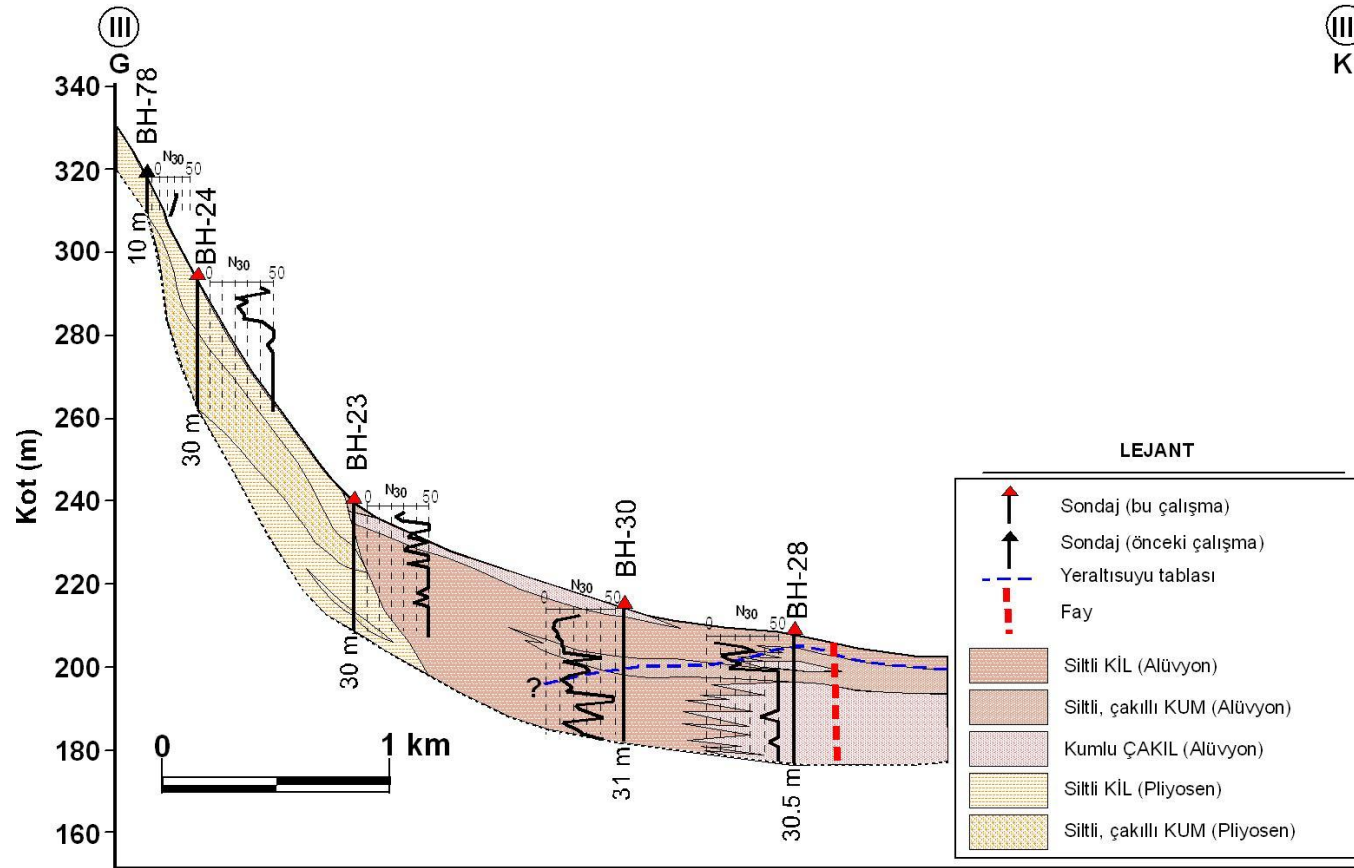
Şekil 3.8. Jeolojik kesit hatları (I-I', II-II', III-III', IV-IV', V-V')



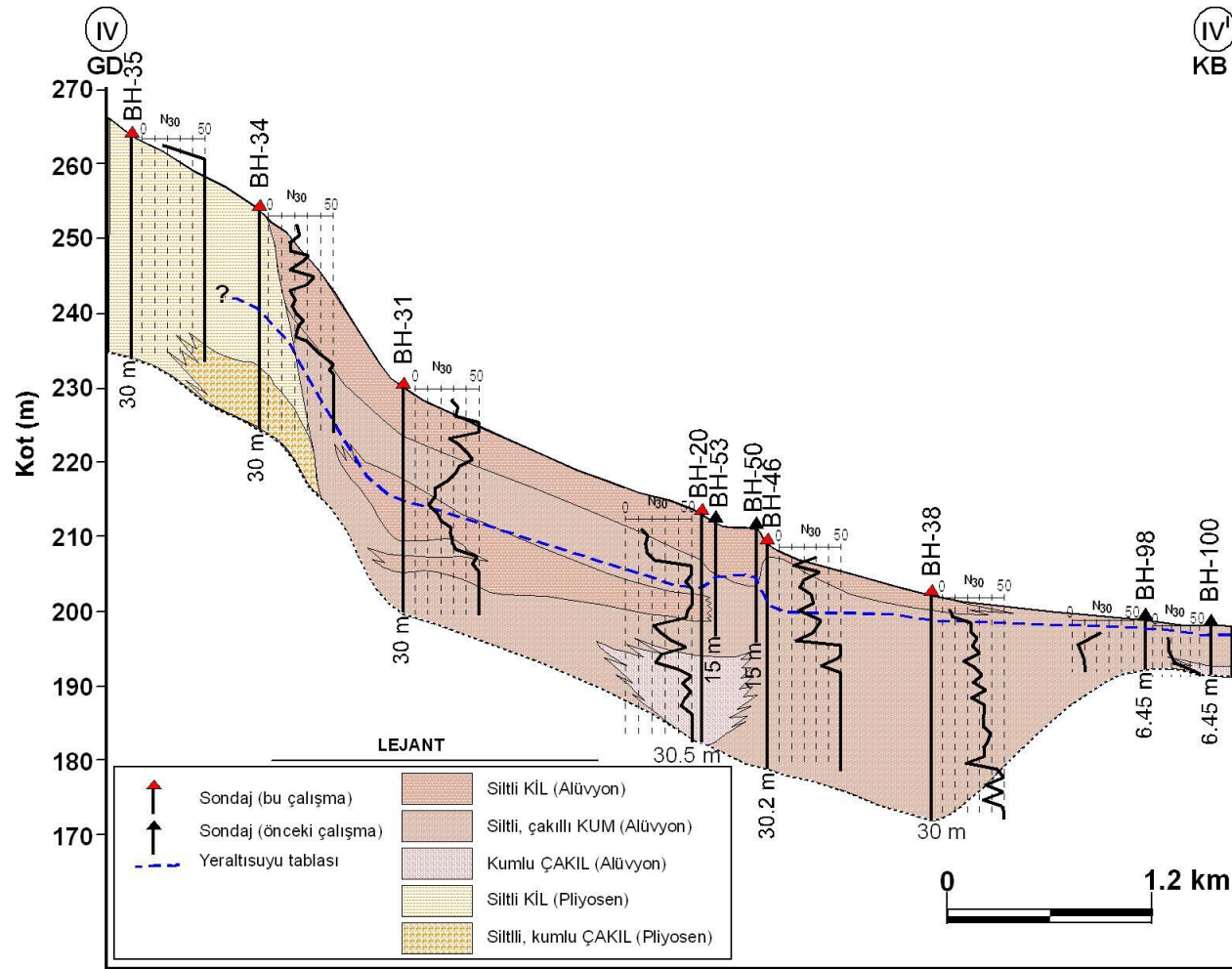
Şekil 3.9. Jeolojik kesit I-I'



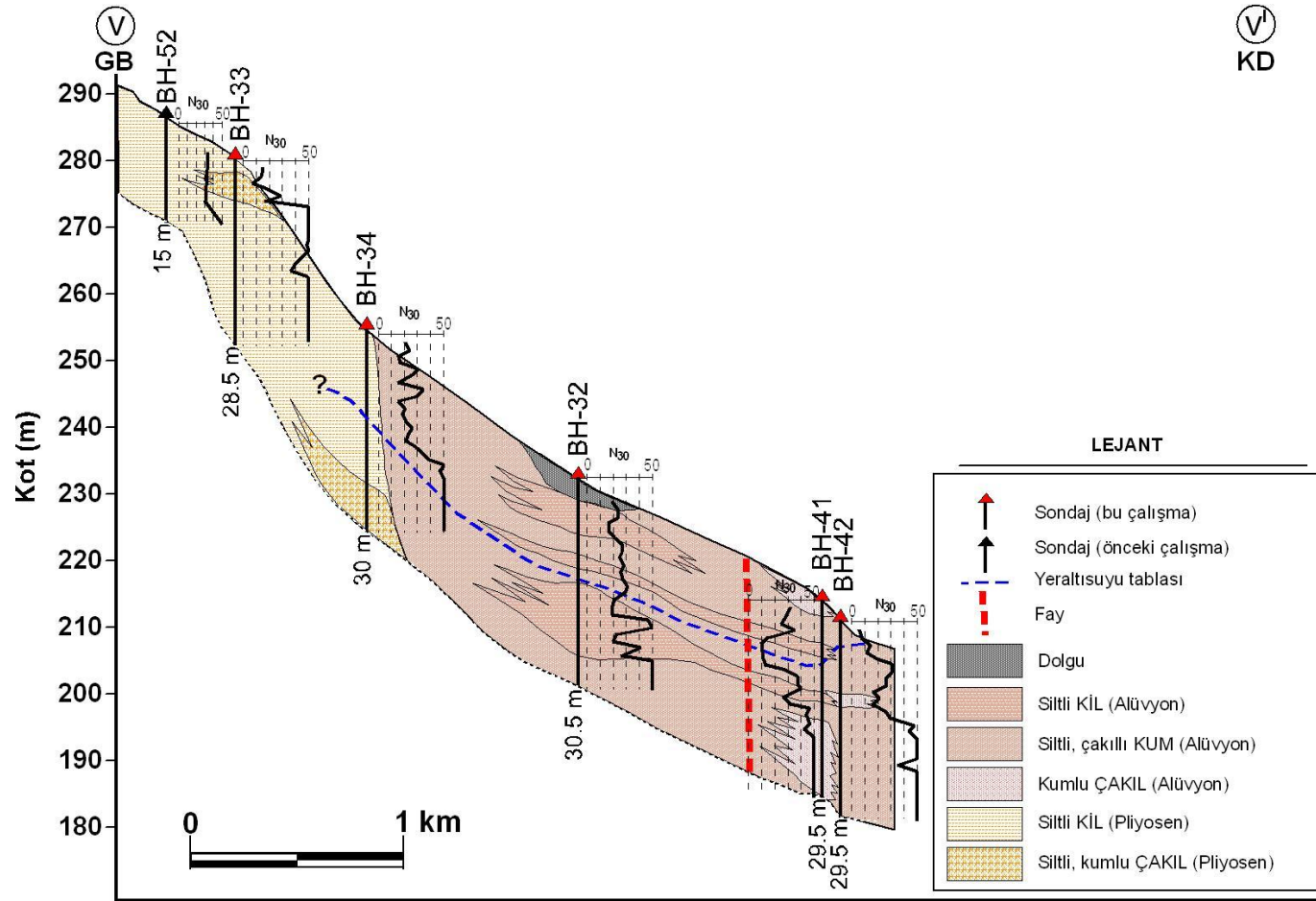
Şekil 3.10. Jeolojik kesit II-II'



Şekil 3.11. Jeolojik kesit III-III'



Şekil 3.12. Jeolojik kesit IV-IV'



Şekil 3.13. Jeolojik kesit V-V'

3.4 Yeni Laboratuvar Çalışmaları

Zeminlerin indeks ve mekanik özelliklerini (tane boyu dağılımı, su muhtevası, Atterberg limitleri, 3-eksenli dayanım ve konsolidasyon) belirleyebilmek için 880 SPT (örselenmiş) ve 110 örselenmemiş örnekler üzerinde deneyler yapılmıştır. Örnekler, Birleşik Zemin Sınıflaması'na göre sınıflandırılmışlardır. Deney sonuçları Çizelgeler 3.2-3.6'da verilmiştir. Örselenmemiş örnekler üzerinde 125 su muhtevası, 102 Atterberg limit, 123 tane boyu dağılımı, 83 doğal birim hacim ağırlığı, 76 özgül kütle, 80 hidrometre, 11 üç-eksenli, 5 konsolidasyon deneyi yapılmıştır. Buna ek olarak, örselenmiş örnekler üzerinde 564 su muhtevası, 455 Atterberg limit, 950 tane boyu dağılımı deneyleri yapılmıştır. Tüm deneyler, ASTM standartlarını uygun olarak yapılmıştır. Laboratuvar deney sonuçları, bu çalışmada, iki tip zemin (Pliyosen ve Alüvyon) için ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Çizelge 3.2. Zeminlerin su içerikleri

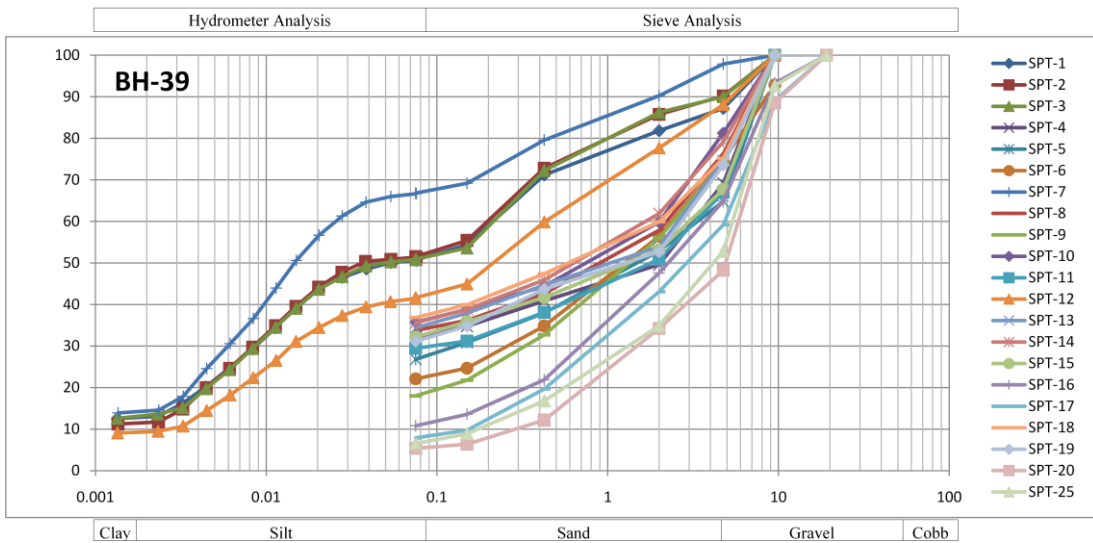
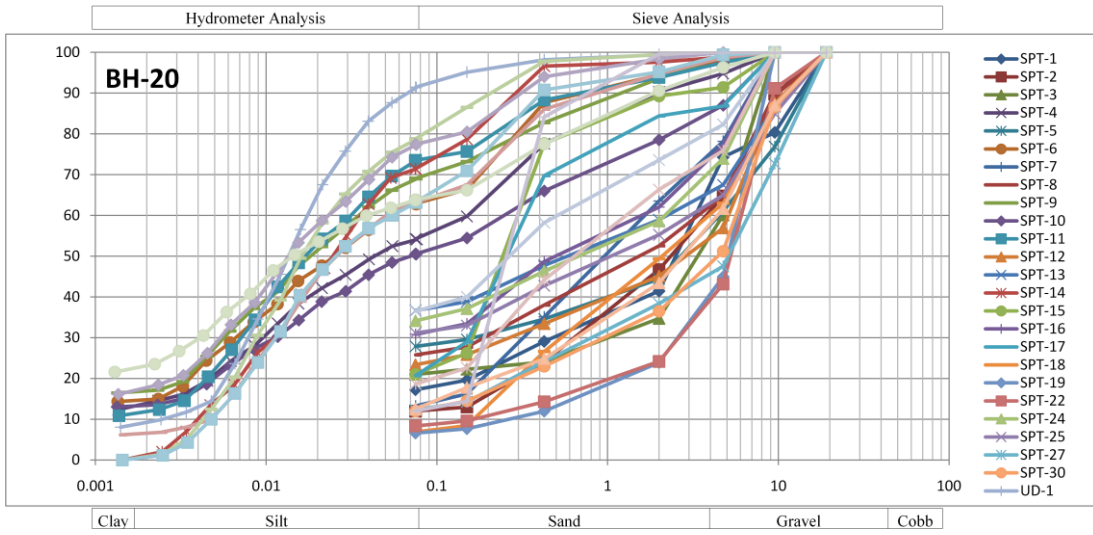
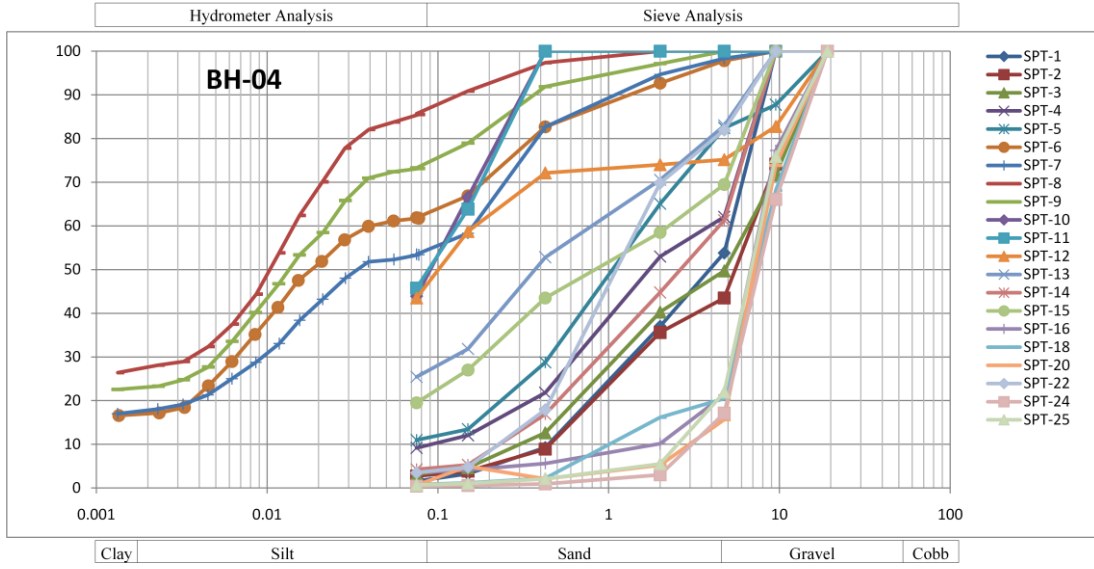
Zemin Tipi	Toplam örnek sayısı	Su içeriği (%)			Standard Sapma	
		Minimum	Maksimum	Ortalama		
Alüvyon	GC-GM-GP	102	1.5	20.1	6.5	3.5
	SC-SM-SP-SW	297	1.1	34.9	12.3	5.6
	ML-MH	21	7.1	51.8	22.4	10.2
	CL-CH	189	3.3	63.9	21.2	7.8
Pliyosen	GC-GM	11	4.0	20.6	10.0	4.6
	SC	12	4.7	27.5	12.4	6.1
	CL-CH	58	7.9	31.6	18.9	5.7

Çizelge 3.3. Zeminlerin tane boyu dağılım bilgileri

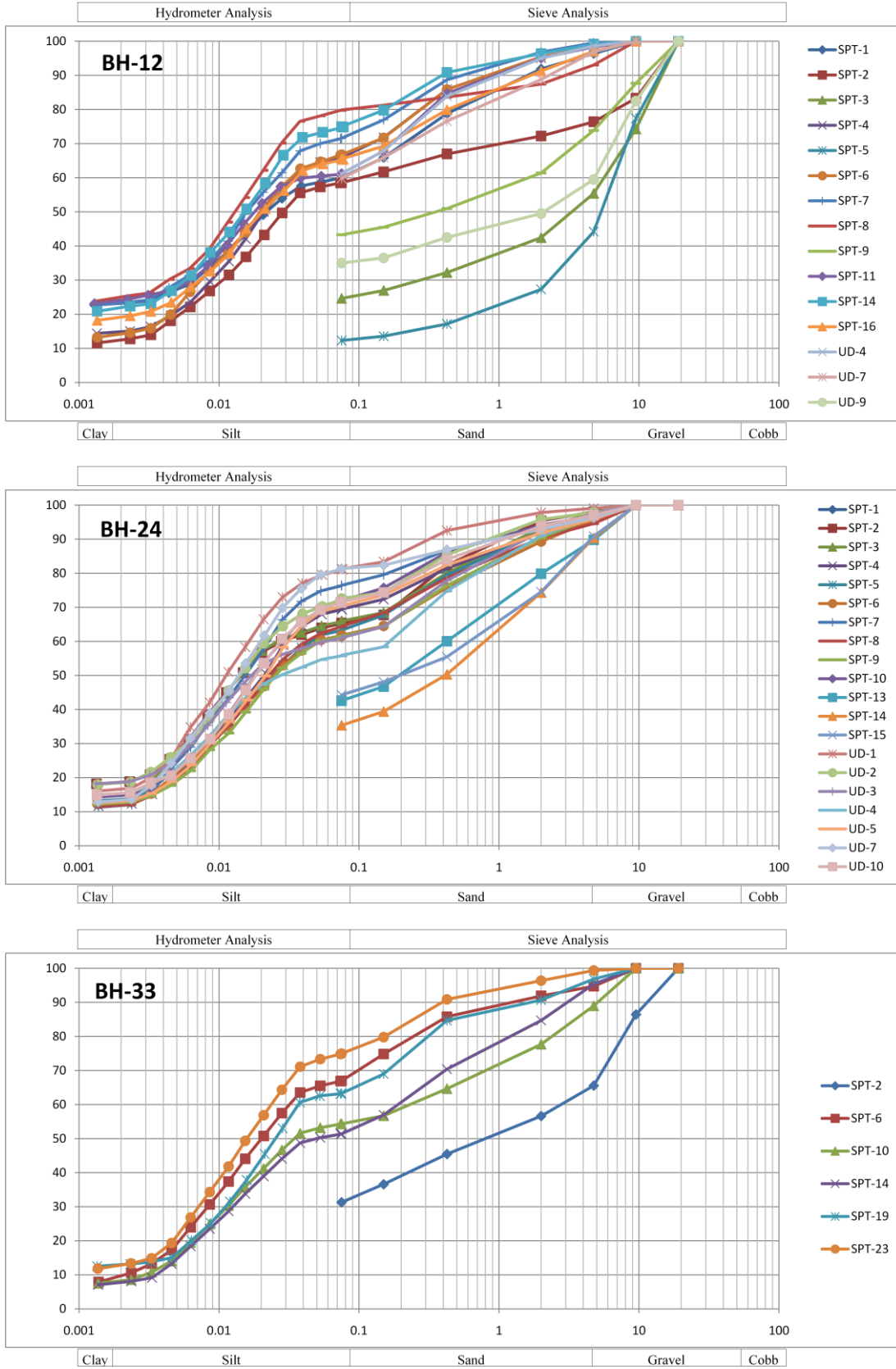
	Zemin Tipi	Toplam örnek sayısı	Elek no	Tane Boyu (%)			
				Minimum	Maksimum	Ortalama	Standard sapma
Alüvyon	GC-GM-GP	139	4	0	88.4	55.7	14
			200	0.1	49.2	9.9	9.6
	SC-SM-SP-SW	475	4	0	48.9	28	13
			200	0.2	49.8	15.9	11.6
	ML-MH	26	4	0	13	2.3	3.9
			200	50	94	67	12.3
	CL-CH	291	4	0	9.8	2.1	1.9
			200	50.2	96.4	69.6	10.7
Pliyosen	GC-GP-GM	13	4	32.3	64.2	43.7	10.9
			200	8.3	35.8	24.9	10
	SC	21	4	0	33.5	16.1	11.6
			200	14.2	49.2	35.9	9
	CL-CH	109	4	0	14.6	3.1	3.5
			200	51.1	85.9	66.8	8.2

Elde edilen sonuçlara göre, çakıllı ve kumlu seviyelerin su muhtevası daha düşüktür. Ayrıca, Pliyosen çökellerindeki killi seviyelerin su muhtevası, alüvyondaki killi seviyelerden daha düşüktür. Örneklerdeki su içerikleri alüvyon için %1.1-63.9 arasında; Pliyosen için ise %4-31.6 arasında değişmektedir.

Tane boyu dağılımı dikkate alındığında, alüvyon silt, killi kum ve kum (SC, SM, SW, SP) ile temsil edilmektedir. Bazı seviyelerde, killi (CL-CH) ve çakıllı (GC-GM, GP) seviyeler mevcuttur. Zeminlerin tipik tane boyu dağılım bilgileri Çizelge 3.3'te ve dağılım grafikleri ise Şekiller 3.14-3.15'te gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Alüvyon içerisinde açılan bazı kuyulardaki (BH-4, BH-20, ve BH-39) örneklerin tane boyu dağılımı.

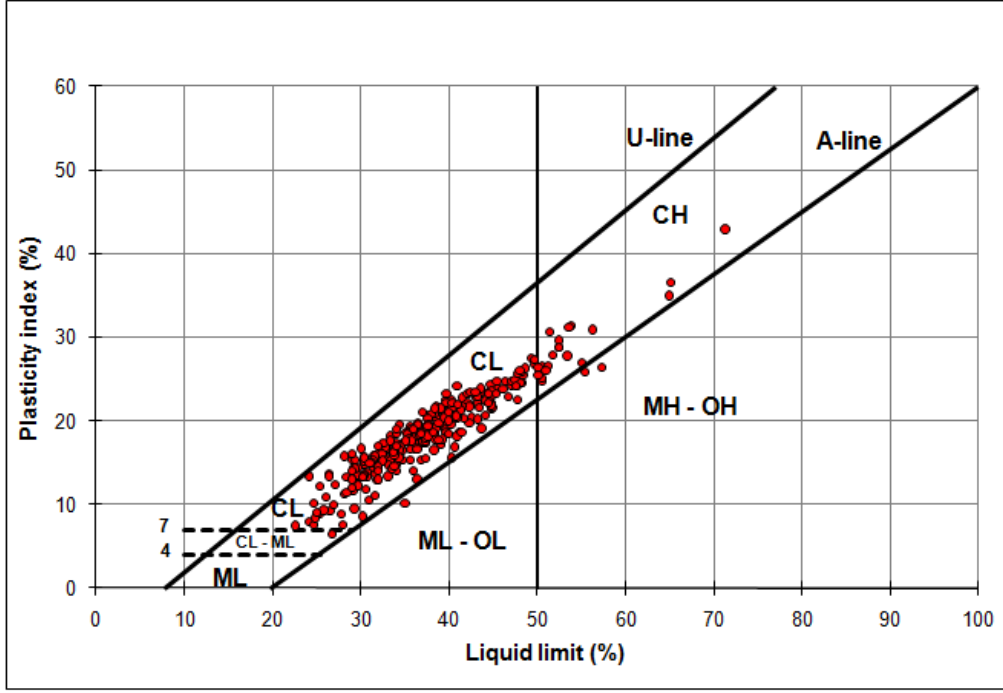


Şekil 3.15. Pliyosen içerisinde açılan bazı kuyulardaki (BH-12, BH-24, ve BH-33) örneklerin tane boyu dağılımı.

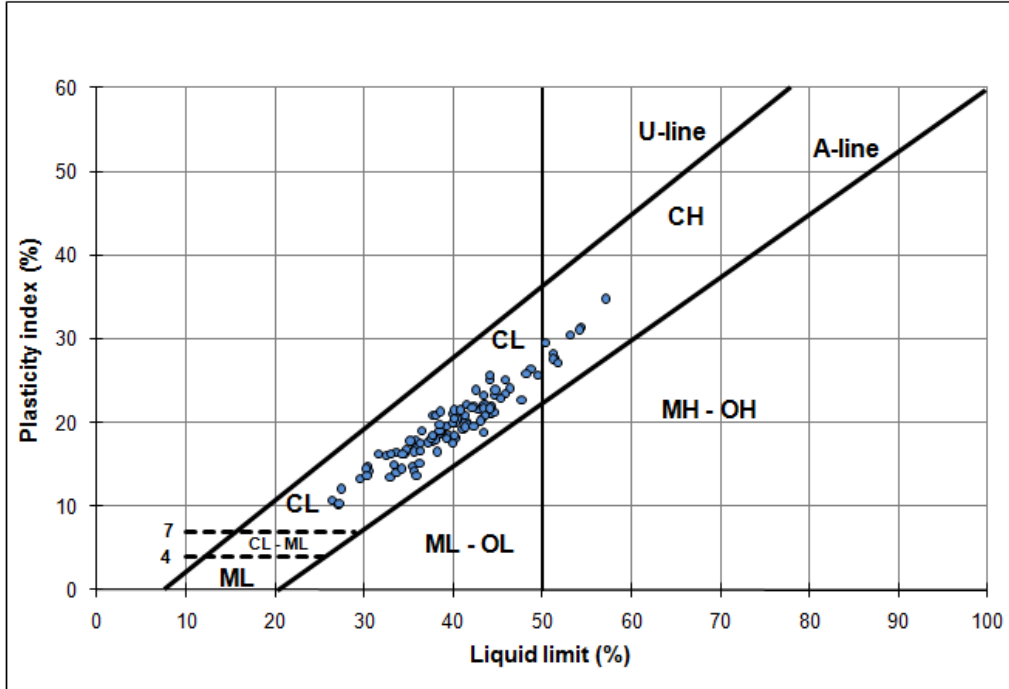
ASTM (1994) standartlarına göre yapılan Atterberg limit deneylerine göre (Çizelge 3.4), ince malzeme genelde düşük plastisiteye sahiptir kil özelliğindedir (Şekiller 3.16 ve 3.17). Ayrıca, gerek alüvyon içindeki gerekse Pliyosen çökellerindeki ince malzemelerinin plastisite abağındaki dağılımları birbirlerine benzemektedir

Çizelge 3.4. Zeminlerin Atterberg limitleri

Hakim zemin tipi	Toplam örnek sayısı	Atterberg limitleri (%)					
		Minimum	Maksimum	Ortalama	Standard sapma		
Alüvyon	GC-GM-GP	27	LL	NP - 20.4	44.4	30.3	6.3
			PL	NP - 13.6	28.6	17.4	3.1
			PI	NP - 5.6	22.8	12.8	4.7
	SC-SM-SP-SW	95	LL	NP - 20.6	43.7	30.1	5.6
			PL	NP - 11.1	21.6	16.7	2.2
			PI	NP - 5.5	22.7	13.4	3.9
	ML-MH	3	LL	NP - 35.0	57.3	49.2	12.4
			PL	NP - 24.8	30.9	28.4	3.2
			PI	NP - 10.2	26.4	20.8	9.2
	CL-CH	291	LL	22.6	71.3	37.8	7.6
			PL	10.7	30	19.2	3.1
			PI	6.4	42.9	18.7	5.2
Pliyosen	GC-GM-GP	12	LL	NP - 20.4	40.4	30.5	4.9
			PL	NP - 15.3	19.1	16.9	1.1
			PI	NP - 6.7	22.5	13.6	4.8
	SC	21	LL	22.3	41.4	30.0	6.0
			PL	11.1	23.1	16.7	3.3
			PI	9.2	21.9	13.3	3.9
	CL-CH	109	LL	26.4	57.1	40.0	6.2
			PL	15.3	25	20.2	2.3
			PI	10.2	34.8	20.0	4.6



Şekil 3.16. Alüvyon zeminin plastisite abağı



Şekil 3.17. Pliyosen çökellerinin plastisite abağı.

Örselenmemiş örnekler üzerinde yapılan fiziksel ve mekanik deney sonuçların Çizelgeler 3.5-3.7’de verilmiştir. Elde edilen verilere göre, alüvyon içerisindeki killerin doğal birim hacim ağırlıkları 17.6 ve 21.8 kN/m³ arasında değişmekte olup, ortalama değeri 19.4 kN/m³’tür. Pliyosen çökelleri içindeki killerin ise daha düşük birim hacim ağırlıkları (18.3 kN/m³) bulunmuştur. Bunun yanı sıra, diğer zemin tüplerinin birim hacim ağırlıkları 19 kN/m³’ten daha düşüktür. Alüvyondaki killi birimlerin kuru birim hacim ağırlıkları ise, Pliyosen çökellerindeki killerden daha yüksektir. Alüvyon ve Pliyosen killerinin özgül kütleleri, sırasıyla 2.69 ve 2.65’tir. Alüvyondaki silt, kum ve çakıllı seviyelerin özgül kütleleri ise, alüvyon kilinin değerinden daha düşüktür. Alüvyon kilinin ortalama boşluk oranı ve gözenekliliği, sırasıyla %0.63 ve %0.38’dir. Sonuç olarak, alüvyon içindeki killer, fiziksel özellikleri dikkate alındığında, katıdır.

Çizelge 3.5. Alüvyon zeminlerin doğal ve kuru birim hacim ağırlıkları, özgül kütleleri, boşluk oranları, gözeneklilikleri ve doygunluk oranları

Zemin tipi		Doğal	Kuru	Özgül kütle (Gs)	Boşluk oranı (e) (%)	Gözeneklilik (n) (%)	Doygunluk oranı (S _r) (%)
		birim hacim ağırlığı (γ _n) (kN/m ³)	birim hacim ağırlığı (γ _d) (kN/m ³)				
CL-CH	Örnek sayısı	47	47	53	32	30	5
	Minimum	17.6	13.6	2.61	0.40	0.29	72.6
	Maksimum	21.8	19.0	2.78	0.84	0.44	76.2
	Ortalama	19.4	16.2	2.69	0.63	0.38	74.0
	Std. Sapma	1.26	1.19	0.04	0.10	0.04	1.46
ML-MH	Örnek sayısı	3	3	5	-	-	-
	Minimum	17.6	15.1	2.65	-	-	-
	Maksimum	17.7	16.5	2.68	-	-	-
	Ortalama	17.7	15.8	2.67	-	-	-
	Std. Sapma	0.06	0.73	0.01	-	-	-
SC-SM	Örnek sayısı	7	7	5	2	-	-
	Minimum	18.2	13.5	2.59	0.51	-	-
	Maksimum	18.7	18.0	2.65	0.90	-	-
	Ortalama	18.5	16.9	2.62	0.71	-	-
	Std. Sapma	0.15	1.62	0.03	0.28	-	-
GM	Örnek sayısı	2	2	1	-	-	-
	Minimum	18.7	17.9	2.50	-	-	-
	Maksimum	18.8	18.4	-	-	-	-
	Ortalama	18.8	18.2	-	-	-	-
	Std. Sapma	0.06	0.38	-	-	-	-

Alüvyon ve Pliyosen içerisindeki killerin drenajsız (UU) ortalama kohezyon ve içsel sürtünme açıları 58 kPa, 6° ve 57 kPa ve 19°'dir. Pliyosen kilinin içsel sürtünme açısının yüksek çıkması, kil içerisinde bulunan iri taneli malzeme varlığı ile açıklanabilir. Ayrıca, alüvyon içerisindeki kil, şişme oranı ve basıncı dikkate alındığında düşük şişme potansiyeline sahiptir.

Çizelge 3.6. Alüvyon zeminlerin drenajsız kohezyon ve içsel sürtünme açıları, şişme oranları ve şişme basıncı

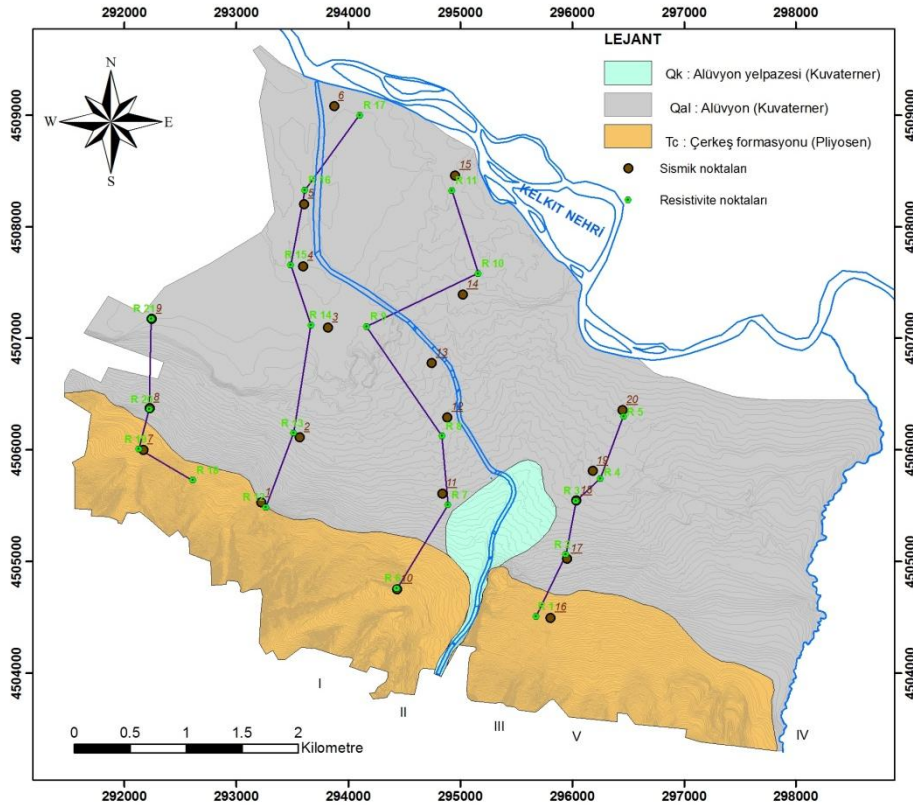
Zemin tipi	Kohezyon (c) (kPa)	İçsel sürtünme açısı (ϕ) (°)	Şişme oranı (%)	Şişme basıncı (kPa)	
Örnek sayısı	5	5	5	5	
CL	Minimum	55	4	0.85	9
	Maksimum	60	7	1.05	11
	Ortalama	58	6	0.96	10
	Std. Sapma	0.02	1.22	0.08	0,01
	Örnek sayısı	1	1	-	-
SC	Minimum	16	15	-	-
	Maksimum	-	-	-	-
	Ortalama	-	-	-	-
	Std. Sapma	-	-	-	-

Çizelge 3.7. Pliyosen zeminlerin doğal ve kuru birim hacim ağırlıkları, özgül kütleleri, boşluk oranları, gözeneklilikleri ve doygunluk oranları

Zemin tipi	Doğal birim hacim ağırlık (γ_n) (kN/m³)	Kuru birim hacim ağırlık (γ_d) (kN/m³)	Özgül kütle (Gs)	Kohezyon (c') (kPa)	İçsel sürtünme açısı (ϕ') (°)	
	Örnek sayısı	26	23	11	3	3
CL	Minimum	17.7	14.4	2.64	46	18
	Maksimum	20.5	16.3	2.66	70	20
	Ortalama	18.3	15.3	2.65	57	19
	Std. sapma	0.79	0.42	0.01	12	1.0
	Örnek sayısı	1	1	-	-	-
SC	Minimum	18.3	16.7	-	-	-
	Maksimum	-	-	-	-	-
	Ortalama	-	-	-	-	-
	Std. sapma	-	-	-	-	-

3.5 Yeni Jeofizik Çalışmalar

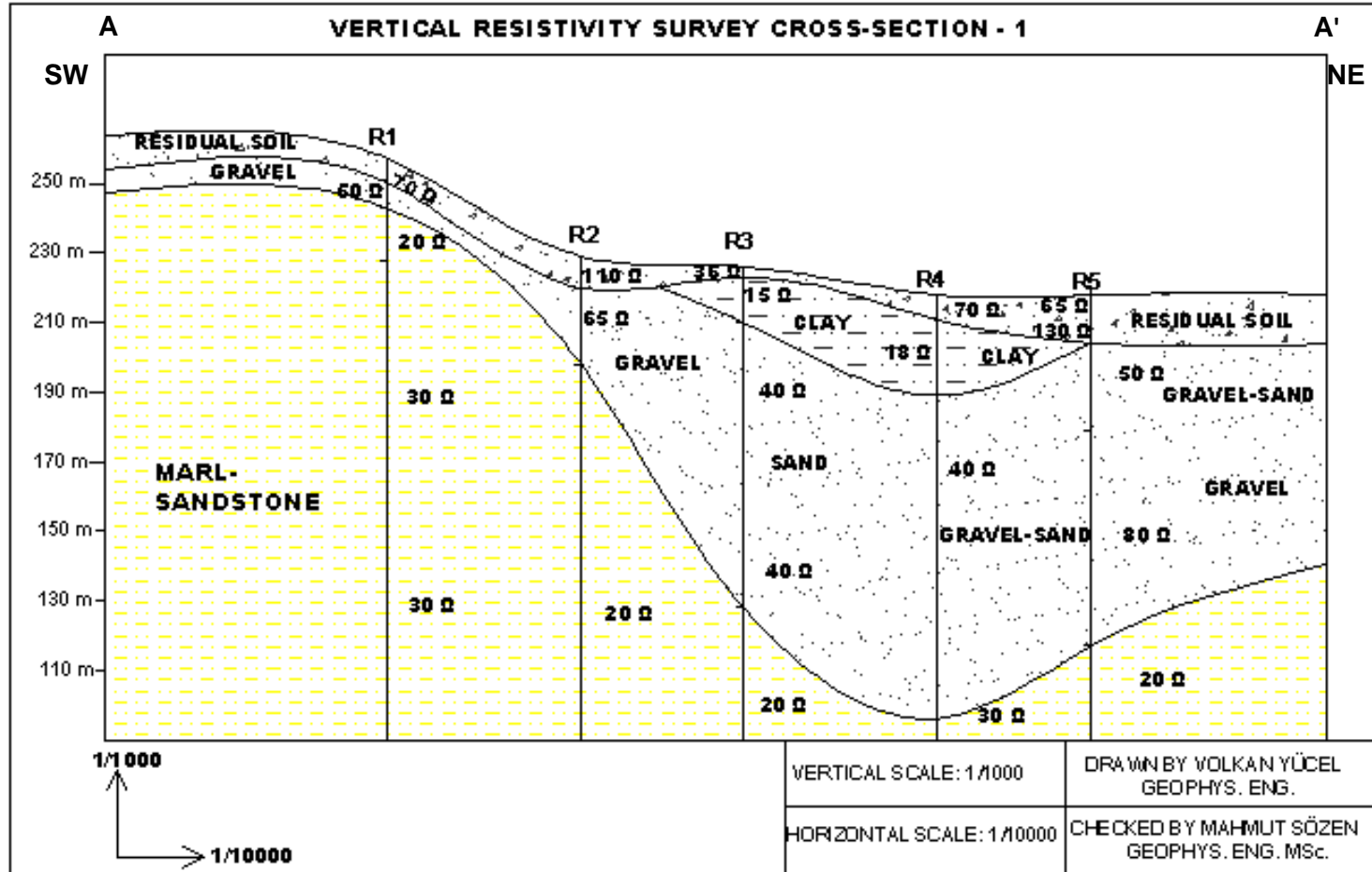
Bu proje çerçevesinde, Erbaa yerleşim alanında 21 rezistivite, 20 sismik kırılma, 3 downhole kuyu içi sismik, 10 uphole kuyu içi sismik, ve 517 mikrotremör, 6 MASW-REMI ölçümü yapılmıştır. Downhole yöntemi için açılan 3 kuyuda ise, kırılma mikrotremör, rezistivite, kırılma ölçümleri alınmıştır. Jeofizik araştırmaların alansal konumları, Şekil 3.18’de gösterilmiştir.



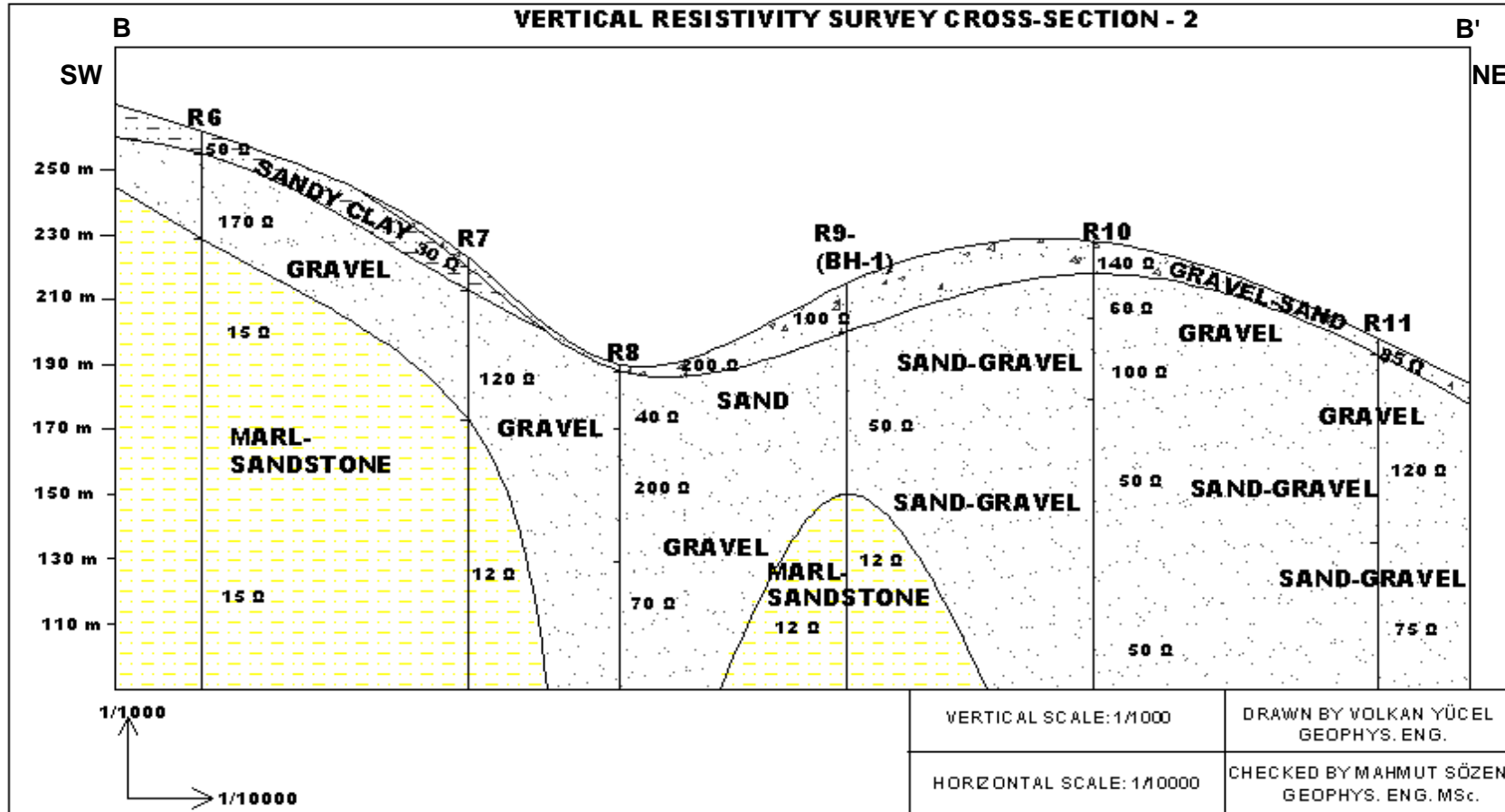
Şekil 3.18 Jeofizik çalışma noktaları.

3.5.1 Elektrik rezistivite çalışması

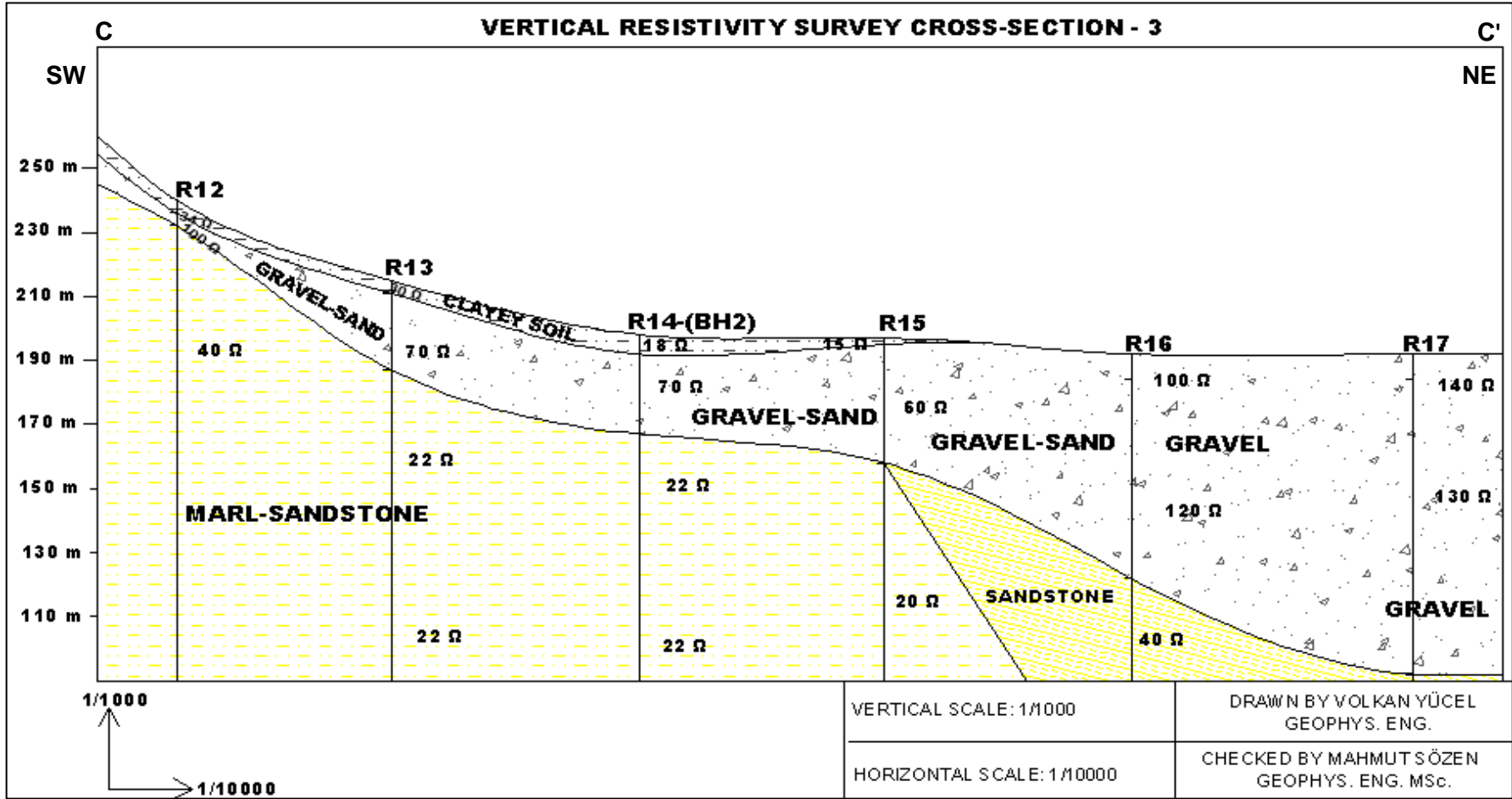
Erbaa’da yapışan rezistivite ölçümleri 3 hat boyunca toplam 24 noktada alınmıştır (Şekil 3.18). Bu yöntem ile, ana kaya derinliği tesbit edilebilmiştir. Schlumberger yöntemi kullanılarak yapılan çalışmada, 150 m’lik derinlik incelenebilmiştir. Elde edilen veriler çerçevesinde 4 jeofizik kesit hazırlanmıştır (Şekiller 3.19-22).



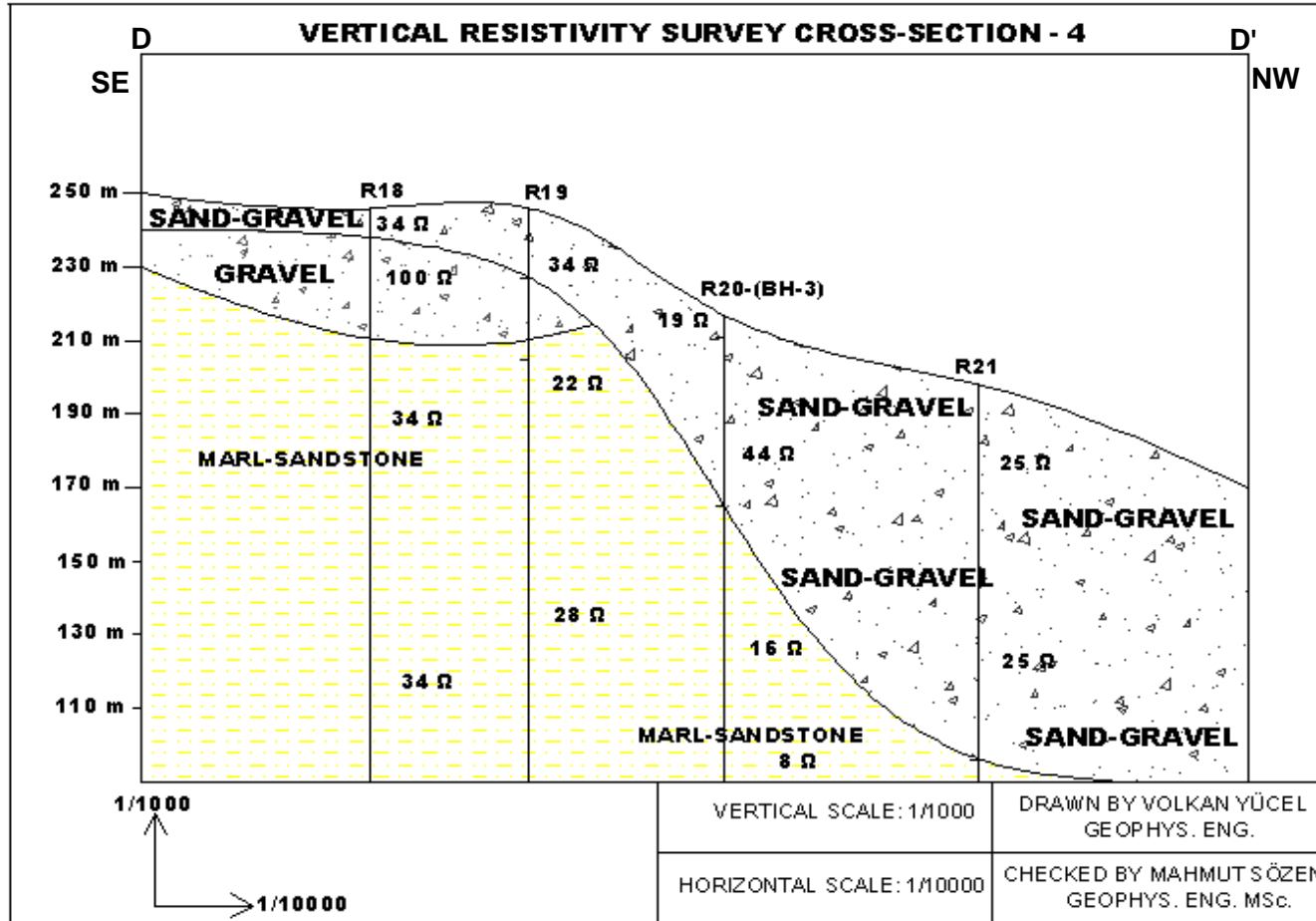
Şekil 3.19. A-A' rezistivite kesiti.



Şekil 3.20. B-B' rezistivite kesiti.



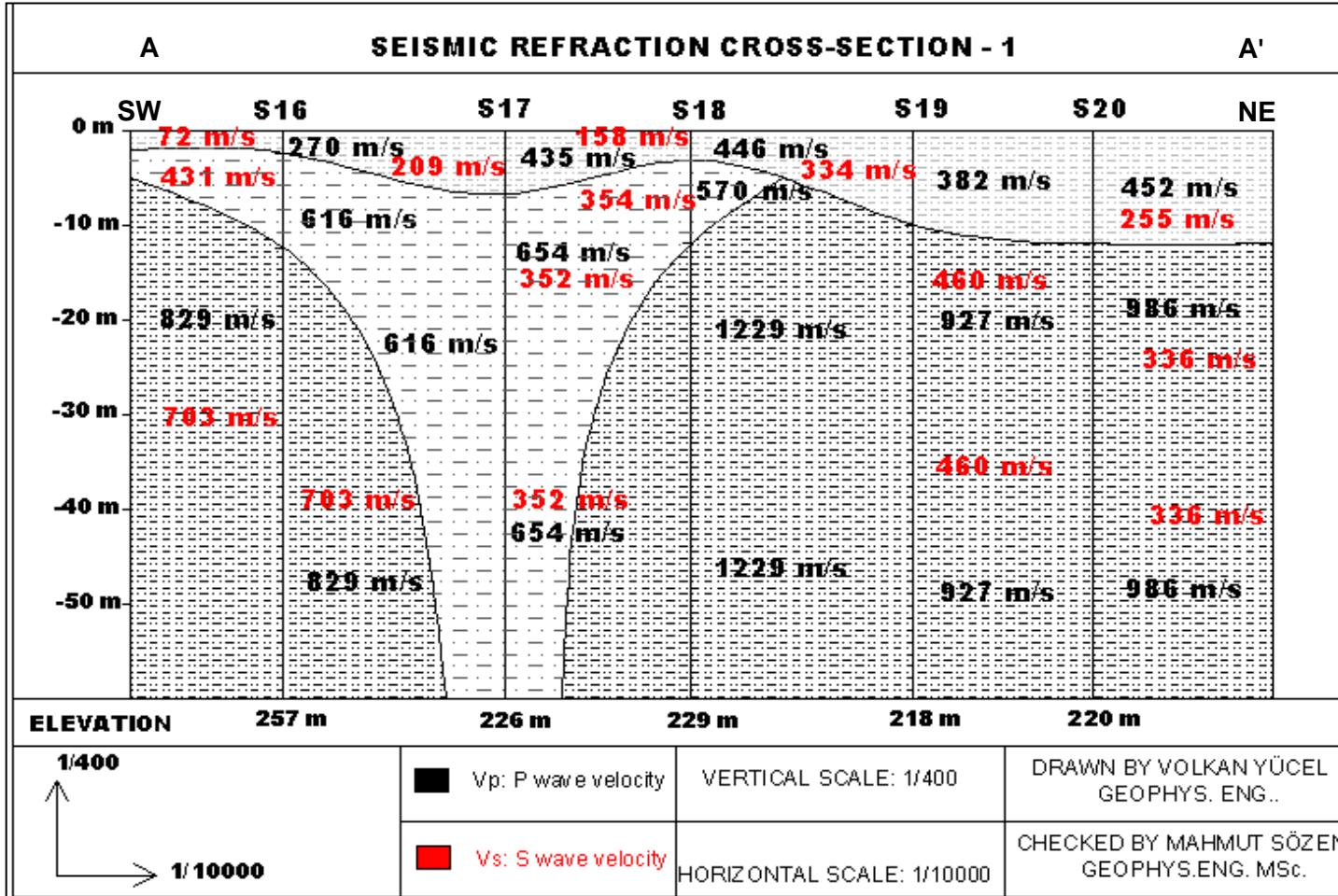
Şekil 3.21. C-C' rezistivite kesiti



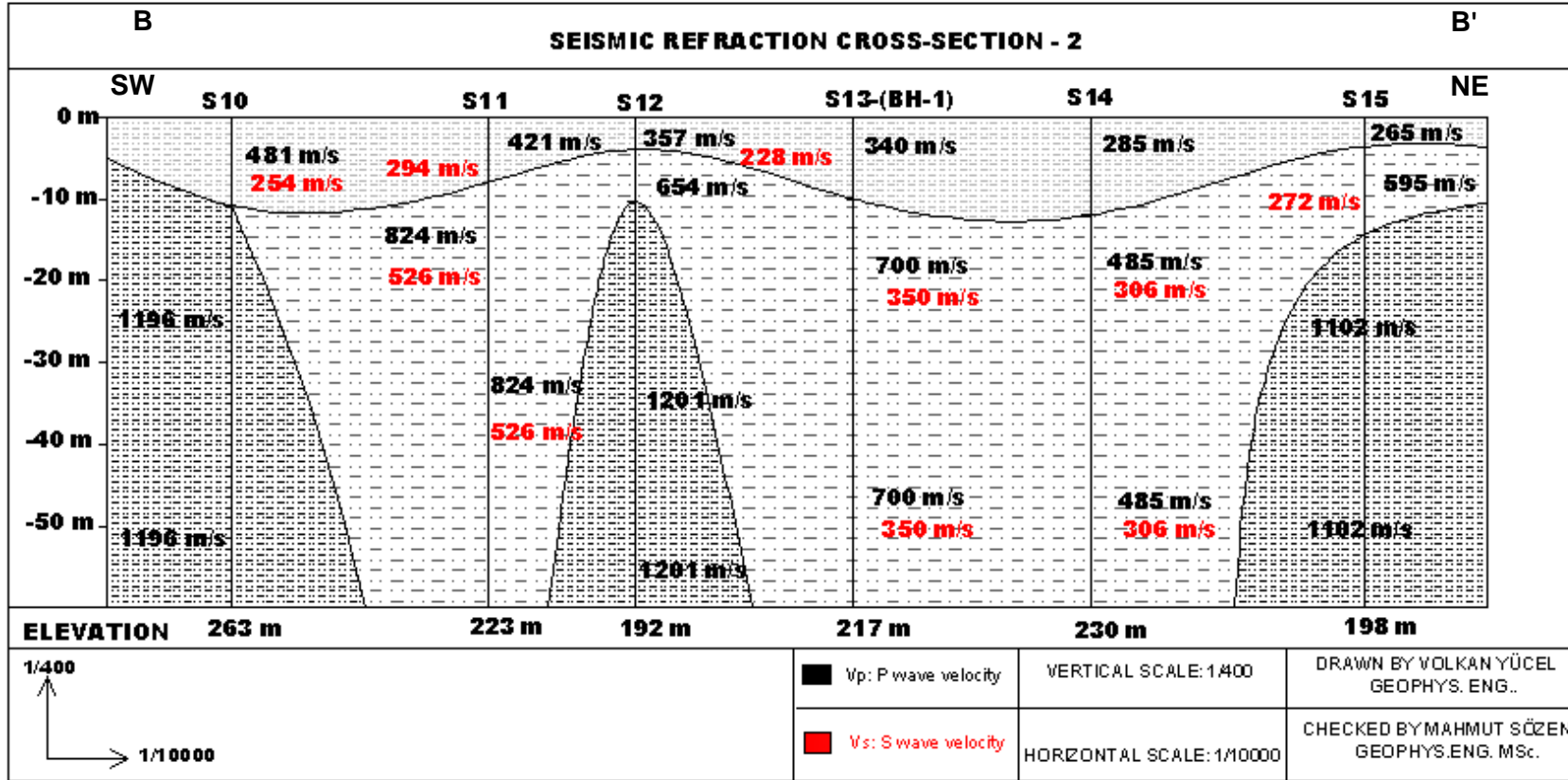
Şekil 3.22 D-D' rezistivite kesiti

3.5.2 Sismik kırılma çalışması

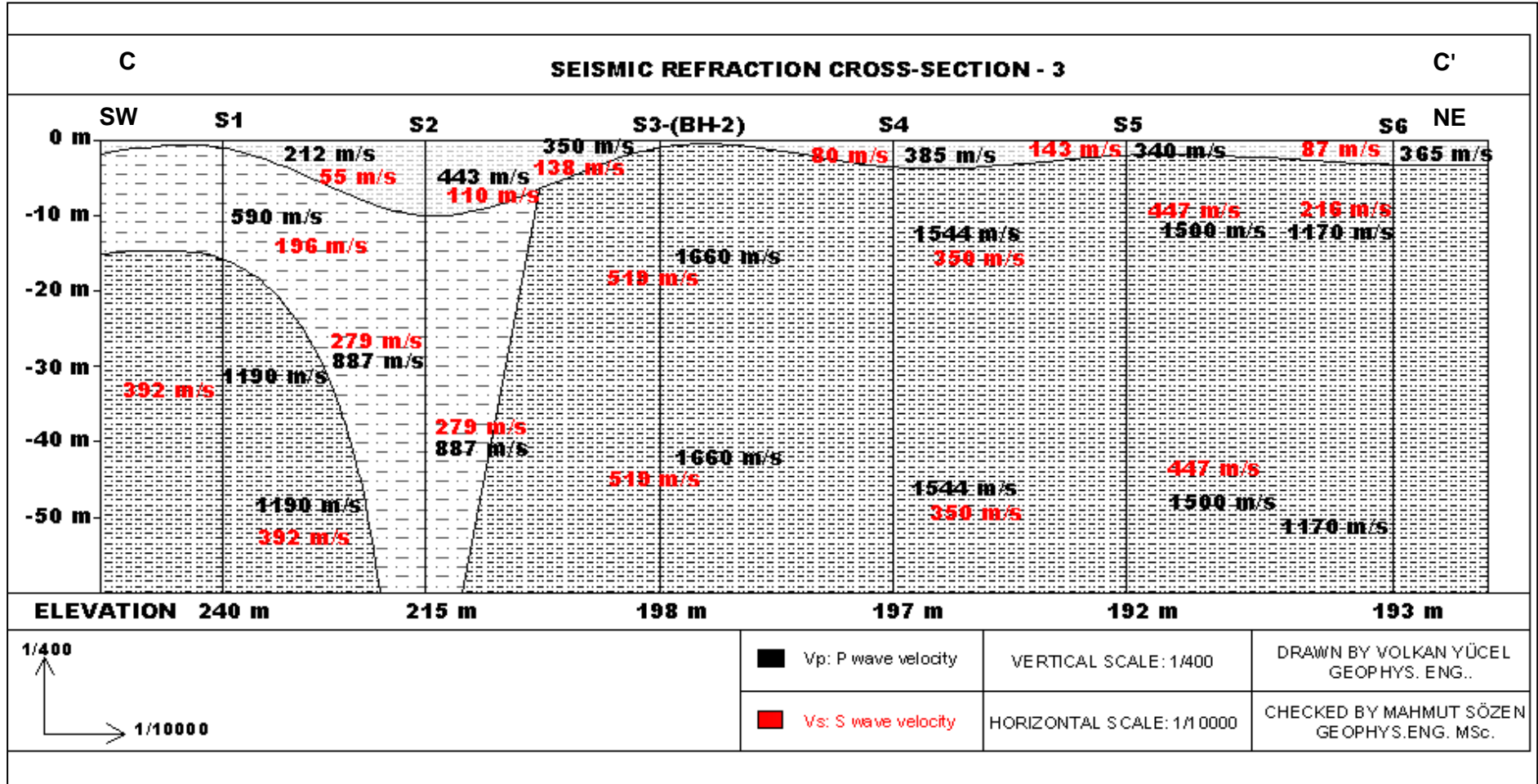
Çalışma alanında 23 lokasyonda 12 kanallı ölçüm cihazı ile sismik kırılma çalışması yapılmıştır. Elde edilen veriler çerçevesinde dört kesit hazırlanmıştır (Şekiller 3.23-26). Bu çalışmalar sonucunda üç farklı seviye ayırt edilmiştir.



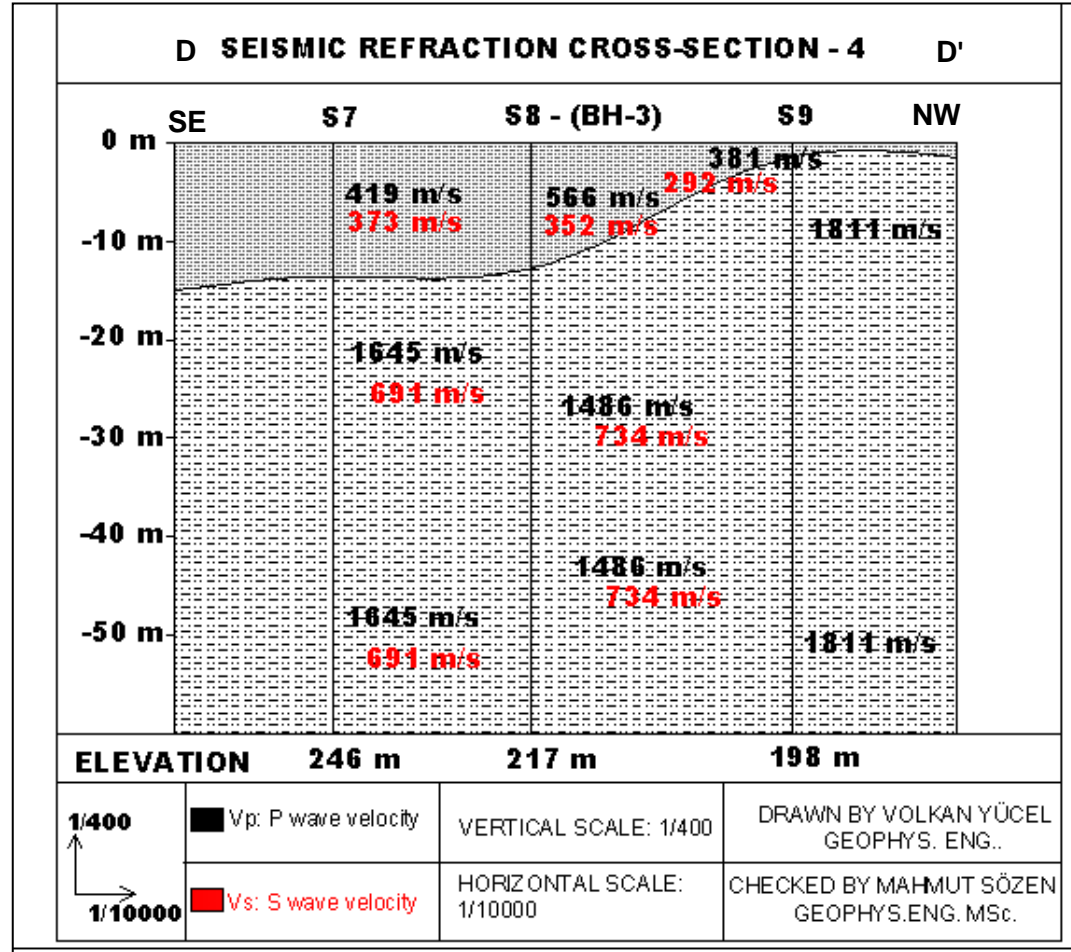
Şekil 3.23. A-A' sismik kırılma kesiti.



Şekil 3.24. B-B' sismik kırılma kesiti.



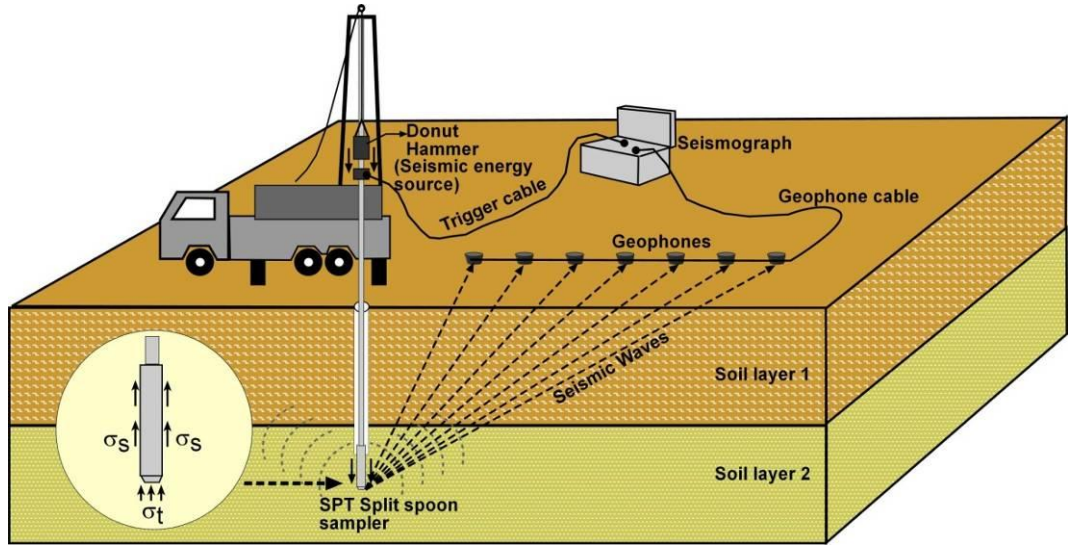
Şekil 3.25. C-C' sismik kırılma kesiti.



Şekil 3.26. D-D' sismik kırılma kesiti.

3.5.3 SPT-bazlı uphole çalışması

Bu yöntem, ilk deha Ohta vd. (1978b) tarafından önerilmiş, daha sonra ise Bang ve Kim (2007) tarafından uygulanmıştır. Ülkemizde ise, ilk defa bu proje çerçevesinde kullanılan yöntem, SPT deneyi yapılırken kuyu içinde yaratılan titreşimin (V_s dalgası) yüzeydeki jeofonlar yardımıyla kaydedilmesi mantığına dayanmaktadır (Şekil 3.27). Uygulanan yöntem, kuyu için uphole yöntemi ile benzerdir. Tek fark ise enerji yaratmak için ayrı bir enerji kaynağına ihtiyaç duyulmamasıdır. SPT deneyi yapılırken örnek alıcı uçundan çıkan enerji kaynağının kullanıldığı yöntem ile daha iyi bir SPT-N - V_s korelasyonu sağlanır.



Şekil 3.27. SPT-bazlı uphole yönteminin şematik gösterimi (Bang ve Kim, 2007'den değiştirilerek)

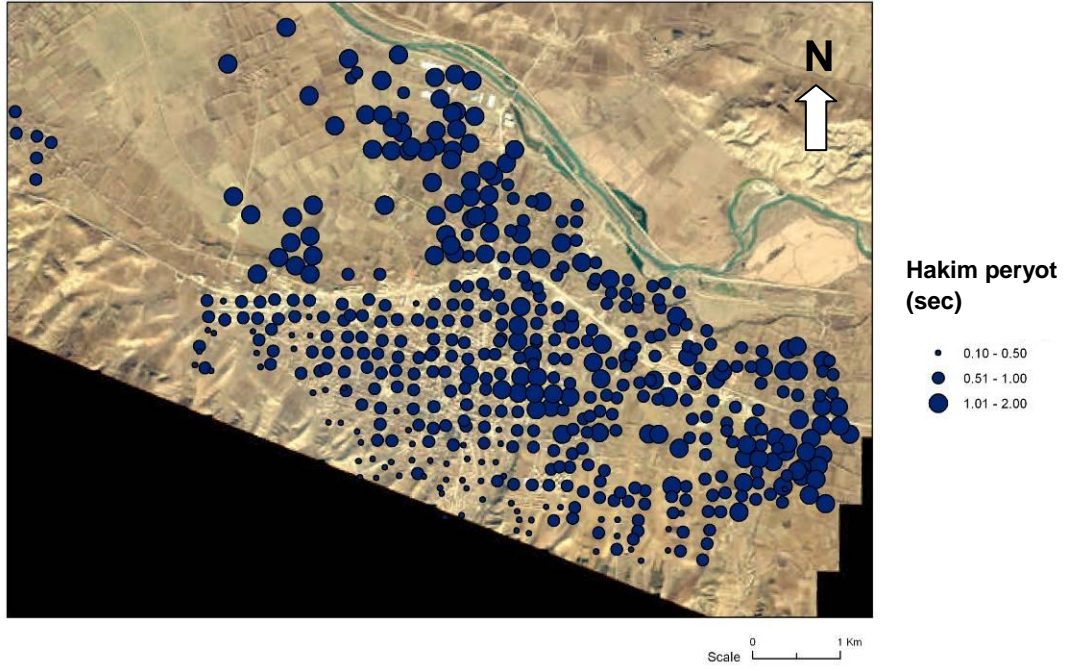
Bu proje çerçevesinde, seçilen 10 adet sondaj kuyusunda (BH 4, 6, 8, 10, 12, 18, 23, 28, 30, 33) SPT-bazlı uphole yöntemi kullanılmıştır. Deney sırasında, yüzeyde 2'şer m aralıklı yerleştirilen 7 adet S-dalgası jefonu kullanılmıştır. Her bir ölçüm 2 kez tekrarlanmıştır (Akin vd., 2009). S-dalgası hareket süresi ve mesafe bilgileri kullanılarak V_s hızı hesap edilmiştir. Derinliğe bağlı elde edilen V_s hızlarının değişimi, raporun ileriki bölümlerinde verilecektir.

3.5.4 Mikrotremör ölçümleri

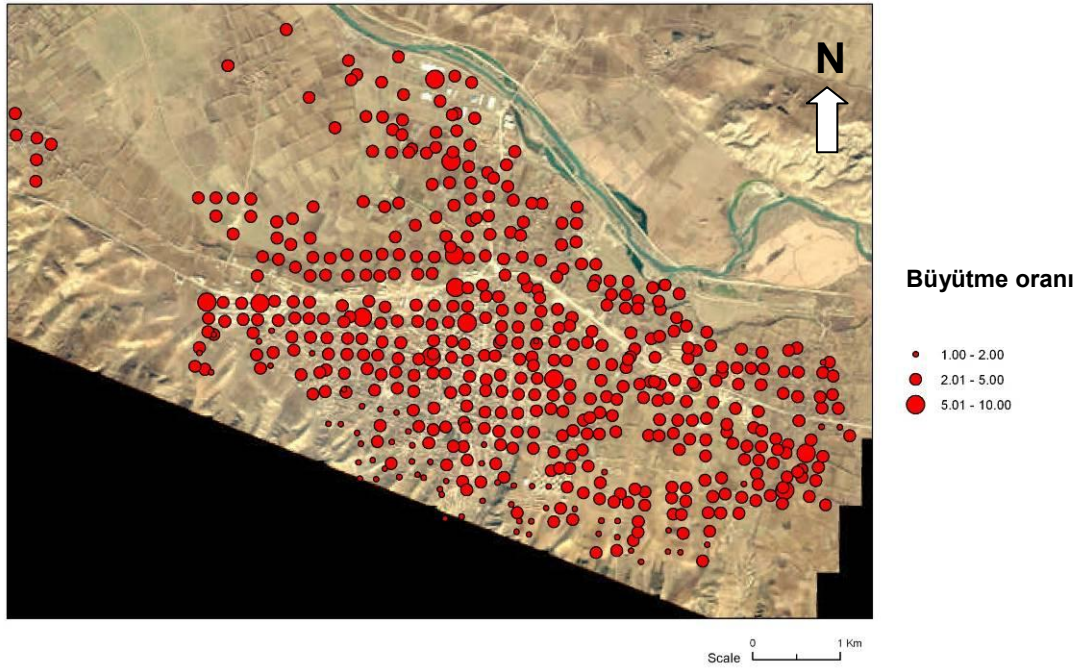
Mikrotremör yöntemi literatürde ilk defa Kanai vd. (1954) tarafından kullanılmıştır. Kanai ve Tanaka (1961) zeminlerin dinamik özelliklerini elde etmek için bu yöntemi kullanmıştır. 1 saniyenin altındaki (1 Hz'den büyük) periyotlar ve trafik, insan etkisi, fabrika makineleri vb. mikrotremör kaynakları kısa dönemlik mikrotremör olarak adlandırılır. 1 saniyenin üzerindeki (1 Hz'in altında) periyotlar ve rüzgar ve atmosferik etkiler gibi doğal mikrotremör kaynakları uzun-periyot mikrotremör olarak adlandırılır (Okada, 1963). Kısa periyotlu mikrotremörler literatürde sıkça kullanılmaktadır (Kanai ve Tanaka, 1961).

Ojeda ve Escallon (2000), Nakamura yöntemi kullanarak değerlendirilen mikrotremör analizinin, zeminlerin hakim periyotlarını bulmada çok yararlı bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir. Bu yöntemin mikrobölgeleme amacıyla kullanılabileceği de belirtilmektedir.

Kelkit vadisinde yapılan DPT projesi çerçevesinde Dikmen vd. (2009) Erbaa'da 517 noktada mikrotremör ölçümleri yapılmıştır. Nakamura (1989) yönteminin kullanıldığı analizlerine göre elde edilen hakim periyot ve sismik büyütme Şekiller 3.28 ve 3.29'da verilmiştir.

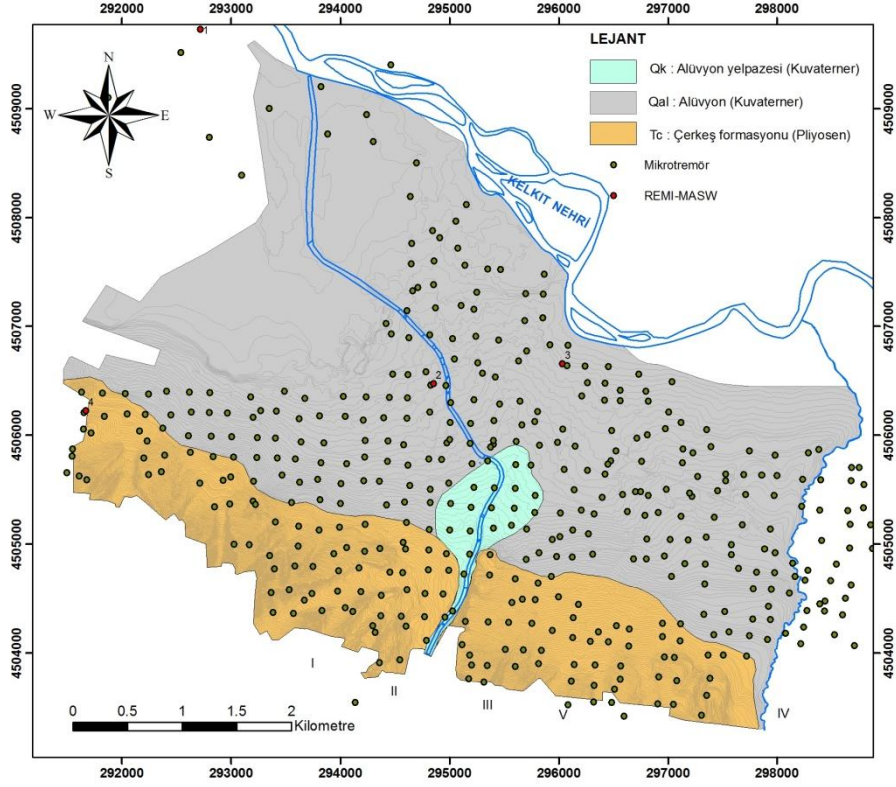


Şekil 3.28. Mikrotremör ölçüm noktalarındaki hakim periyot değerleri (Dikmen vd., 2009)

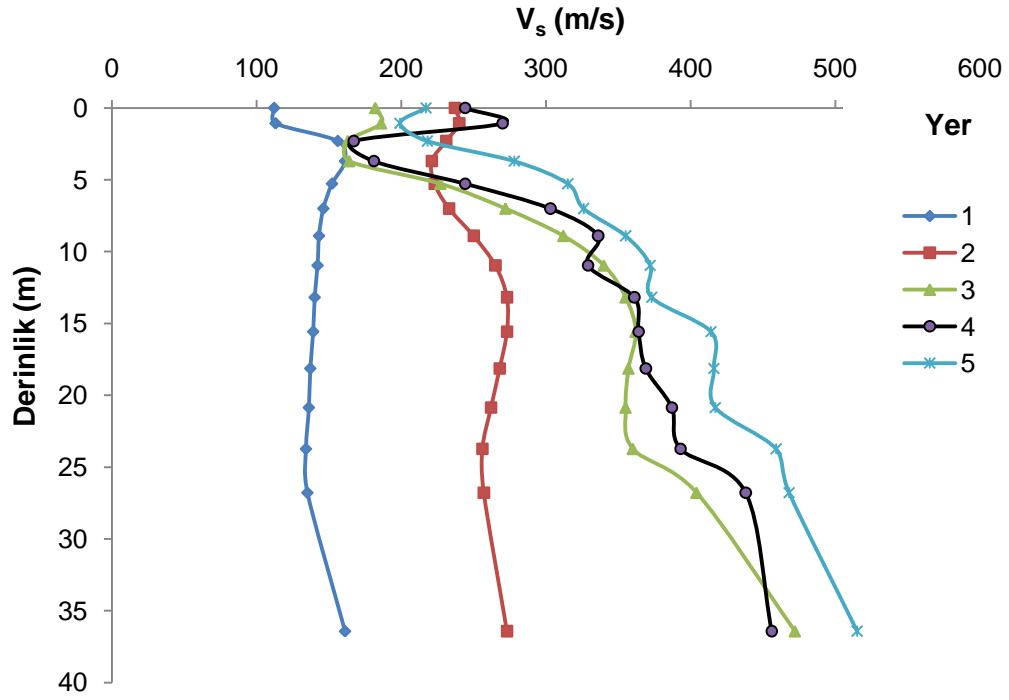


Şekil 3.29. Mikrotremör ölçüm noktalarındaki sismik oranlar (Dikmen vd., 2009)

Erbaa yerleşim alanı içerisinde 5 farklı noktada çok kanallı yüzey dalgası ve kırılma mikrotremör (MASW-REMI) ölçümleri yapılmıştır (Şekil 3.30). Bu ölçümler sonucu elde edilen Vs hızlarının derinliğe bağlı değişimi Şekil 3.31’de gösterilmiştir.



Şekil 3.30. REMI-MASW ve mikrotremör ölçüm noktaları.



Şekil 3.31. MASW-REMI ölçümlerinden elde edilen Vs hızlarının derinliğe göre değişimi.

3.5.5 Downhole ölçümleri

Bu yöntemin amacı, zeminlerin P- ve S- dalga hızlarının ölçülmesidir. Ölçümler, açılan kuyularda yapılmaktadır. Çalışma alanında 3 farklı lokasyonda kuyu içi downhole ölçümleri yapılmıştır (Şekil 3.18). Bu lokasyonlarda, rezistivite ve sismik kırılma ölçümleri de yapılmıştır. Elde edilen veriler Çizelge 3.8 ve 3.9’da verilmiştir.

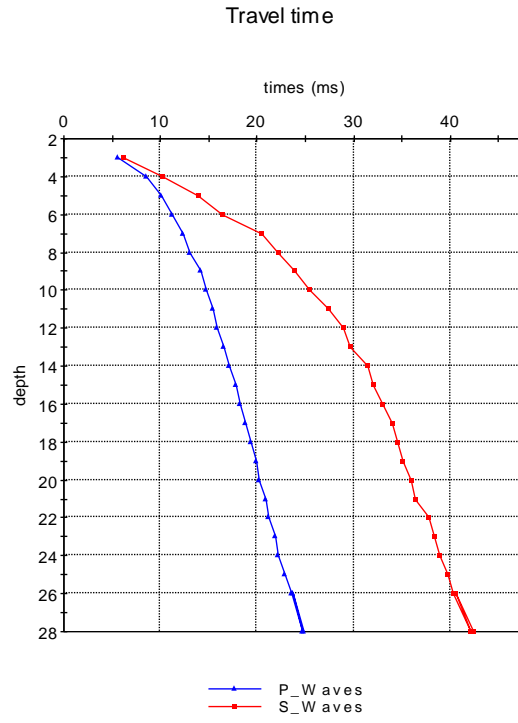
Çizelge 3.8. Sismik downhole ölçüm sonuçları

Kuyu No	Doğu	Kuzey	Toplam derinlik (m)	V_{P1} (m/s)	V_{P2} (m/s)	V_{S1} (m/s)	V_{S2} (m/s)	V_{S30} (m/s)	Zemin Sınıfı
DBH-	294076	4506448	28	459	561	165	209	415	C
DBH-	292752	4506341	19	556	559	226	157	561	C
DBH-	296151	4505881	19	410	574	188	297	356	C

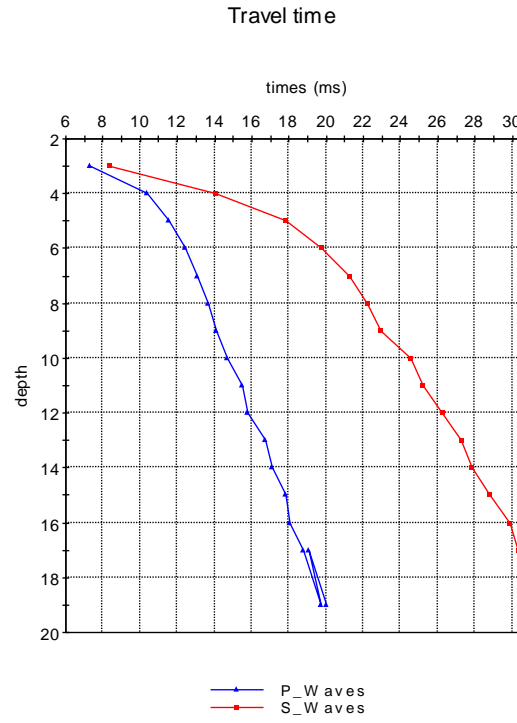
Çizelge 3.9. Downhole ölçümlerinden elde edilen dinamik zemin parametreleri

Kuyu No	Hakim periyot (sn)	Büyütme
DBH-1	0.5-1	4-5
DBH-2	0.5-1	3
DBH-3	0.2-0.5	5

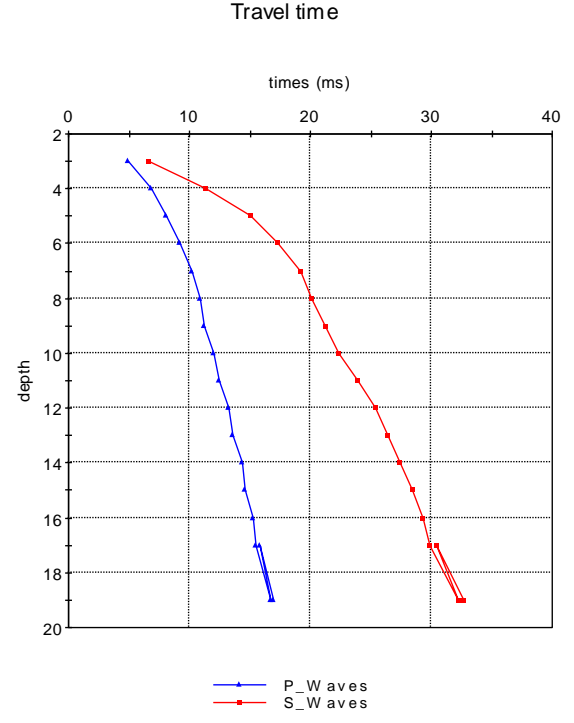
Ölçüm yapılan 3 kuyudaki derinlik-hız grafikleri Şekil 3.32’de verilmiştir. Ölçüm noktalarındaki Vs30 ölçümleri dikkate alınarak ve NEHRP (2003) zemin sınıflaması kullanılarak yapılan değerlendirmeye göre, bu noktalarda C-tipi zemin mevcuttur.



a



b



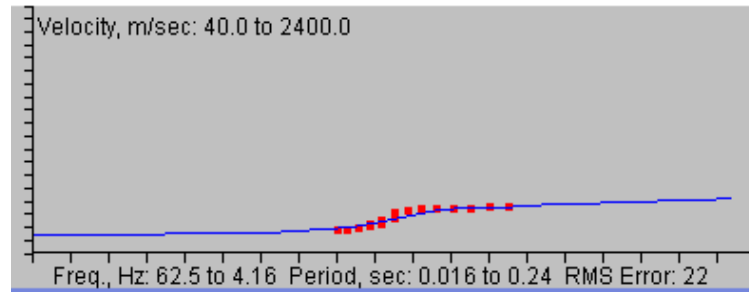
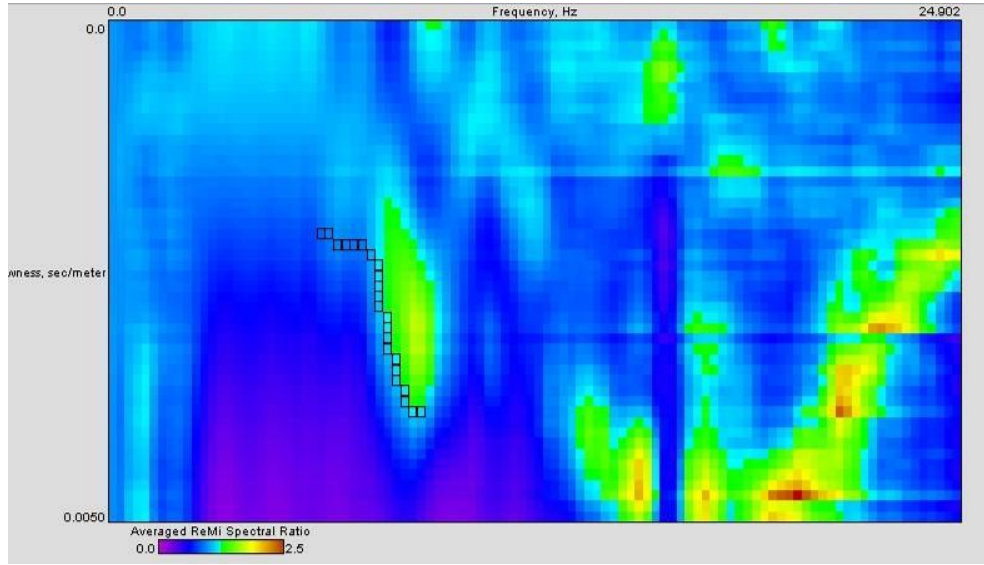
c

Şekil 3.32. (a) DBH-1 (b) DBH-2 (c) DBH-3 kuyuları için derinlik-hız grafikleri.

3.5.5.1 REMI çalışması

Yerleşim yerlerindeki gürültünün yarattığı problemleri aşan bir yöntem olan kırılma mikrotremör, çalışma alanında da DBH-1, 2 ve 3 nolu kuyuların olduğu noktalarda yapılmıştır. Bu amaçla, 10 Hz'lik dik jeofonlar kullanılmış ve oluşturulan Rayleigh dalgası kaydedilmiştir. 15-60 sn'lik kayıtlar dikkate alınarak toplanan veriler analiz edilerek Vs30 değerleri belirlenmiştir. Elde edilen Vs30 değerlerinin derinlikle değişimi Şekiller 3.33-3.35'te verilmiştir. Veri özeti ise, Çizelge 3.10'da sunulmuştur.

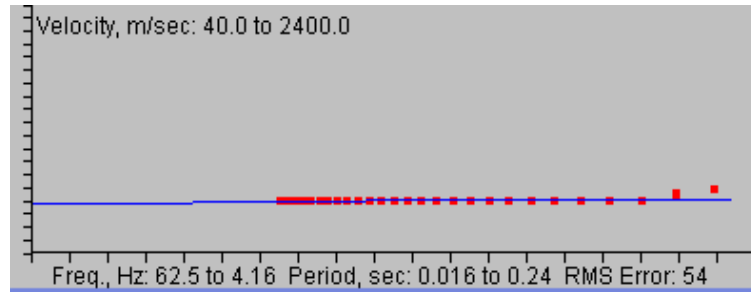
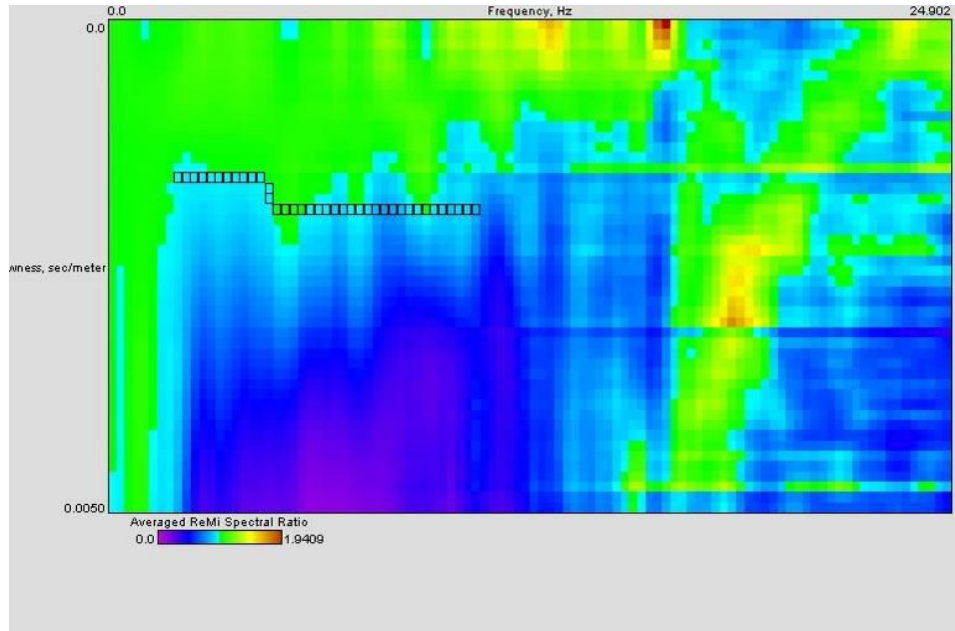
DBH-1 REMI



Density, g/cc	Shear Velocity, m/sec
2.0	242.0
13.064133016627078	1000.0
2.0	689.0
27.06413301662708	V30=415.0
2.0	NEHRP C

Şekil 3.33. DBH-1 kuyusundaki REMİ ölçümlerine göre Vs hızının derinlikle değişimi.

DBH-2 REMI

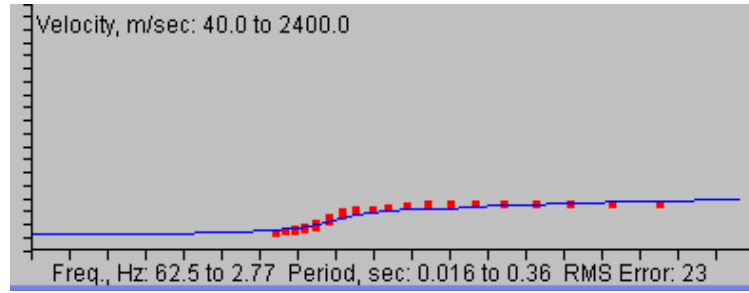
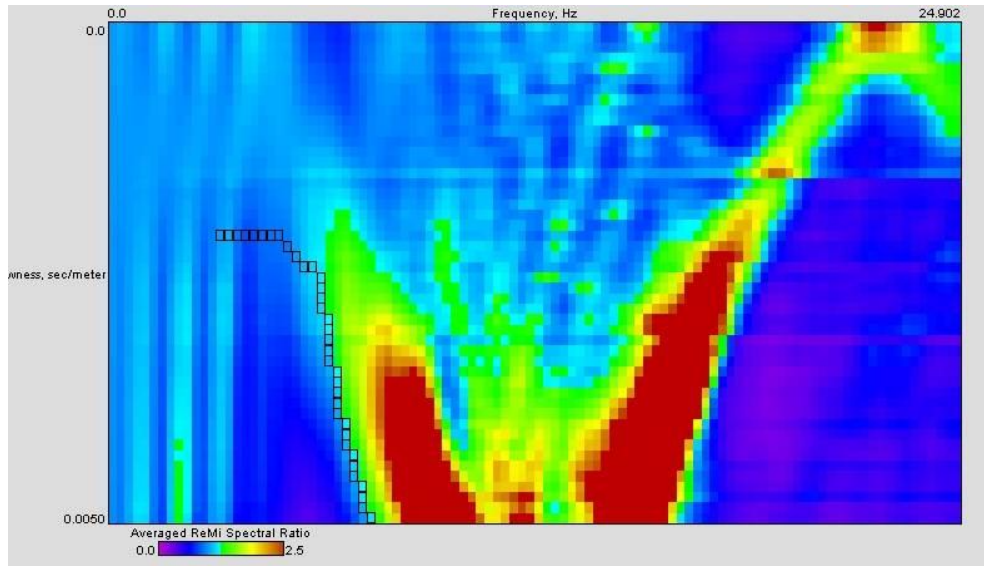


Density, g/cc	Shear Velocity, m/sec
2.0	561.0
30.0	680.0
44.0	589.0
2.0	589.0

V30=561.0
NEHRP C

Şekil 3.34. DBH-2 kuyusundaki REMI ölçümlerine göre Vs hızının derinlikle değişimi.

DBH-3 REMI



Density, g/cc	Shear Velocity, m/sec
2.0	214.0
14.489311163895486	
2.0	982.0
28.489311163895486	
2.0	616.0
V30=356.0	
NEHRP C	

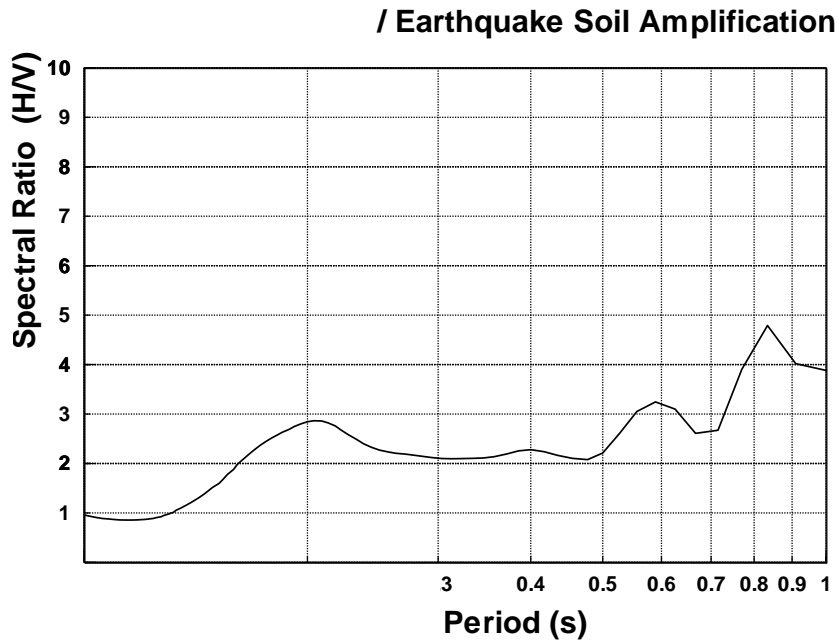
Şekil 3.35. DBH-3 kuyusundaki REMI ölçümlerine göre Vs hızının derinlikle değişimi.

Çizelge 3.10. REMI ölçümleri veri özeti

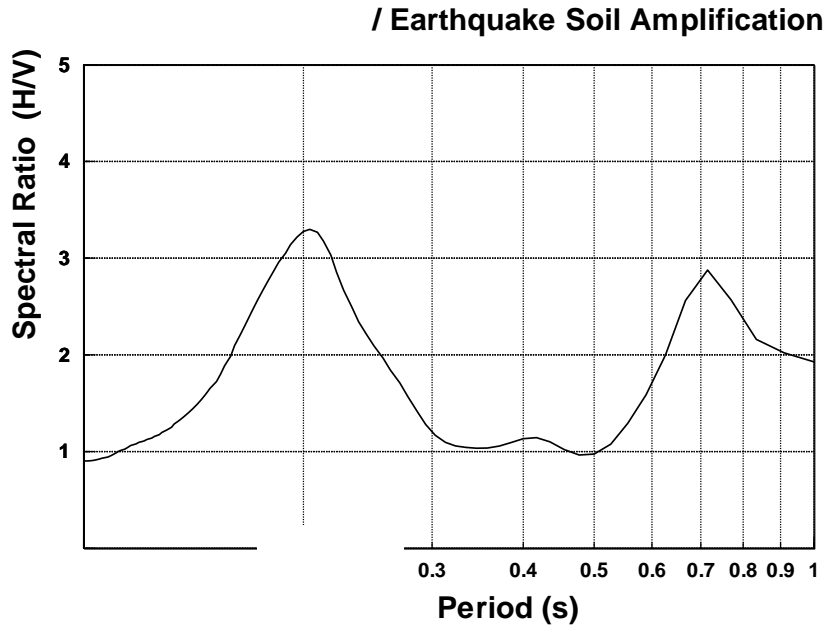
Kuyu No	Kalınlık (m)	Vs (m/s)	Yoğunluk (gr/cm ³)	V _{s30} (m/s)
DBH-1	13	242	2.0	415
	27	1000	2.0	
	-	689	2.0	
DBH-2	30	561	2.0	561
	44	680	2.0	
	-	589	2.0	
DBH-3	14.5	214	2.0	356
	28.5	982	2.0	
	-	616	2.0	

3.5.5.2 Downhole noktalarındaki mikrotremör ölçümleri

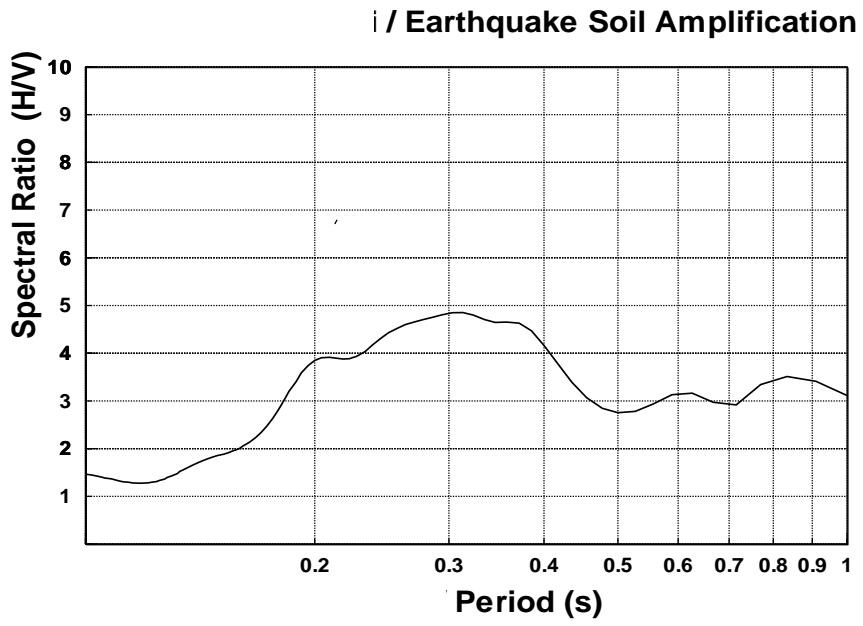
Daha önceki ölçümlere ek olarak, 3 downhole kuyusunun bulunduğu noktada mikrotremör ölçümü yapılmıştır. Parklı periyotlar için elde edilen büyütme oranı bilgileri Şekil 3.36-3.38’de gösterilmiştir.



Şekil 3.36. DBH-1 noktasındaki mikrotremör ölçümüne göre büyütme oranı



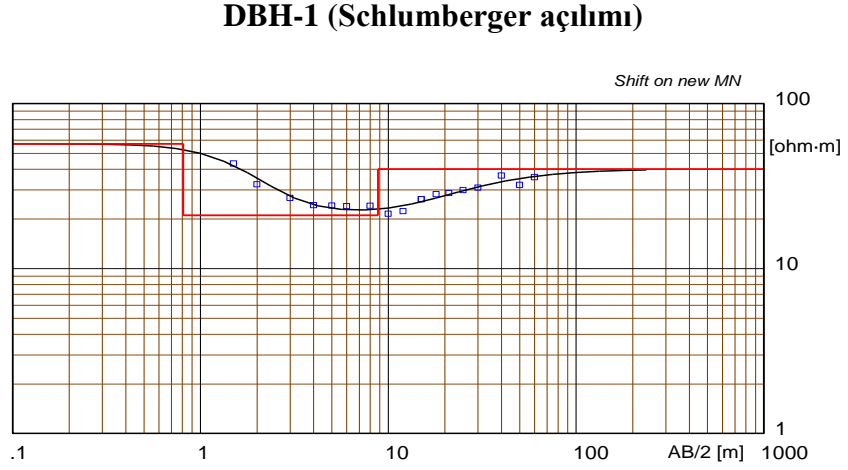
Şekil 3.37. DBH-2 noktasındaki mikrotremör ölçümüne göre büyütme oranı.



Şekil 3.38. DBH-3 noktasındaki mikrotremör ölçümüne göre büyütme oranı.

3.5.5.3 Downhole noktalarındaki rezistivite ölçümleri

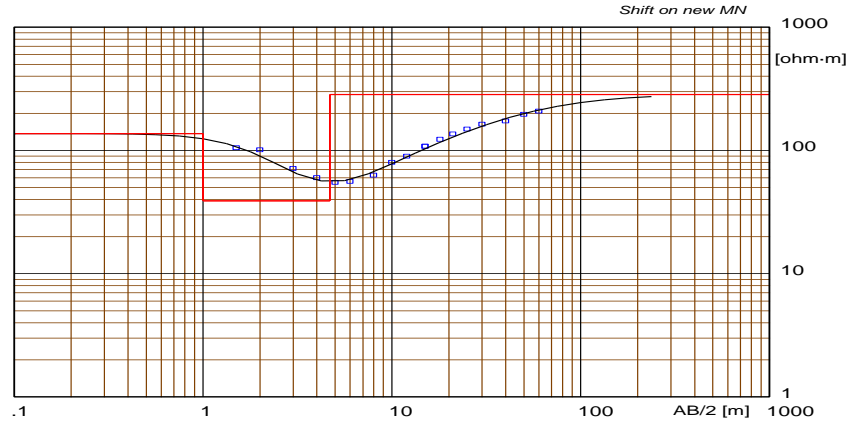
Üç downhole noktasında yapılan rezistivite ölçümler ve yorumları Şekiller 3.39-3.41'de verilmiştir.



Model Rezistivite (ohm.m)	Kalınlık (m)	Derinlik (m)	Zemin tipi
57	0.81	-	Killi Kum
21	8	0.81	Kumlu Kil
40	-	8.81	Kumlu Çakıl

Şekil 3.39. DBH-1 noktasındaki rezistivite ölçüm ve yorumları.

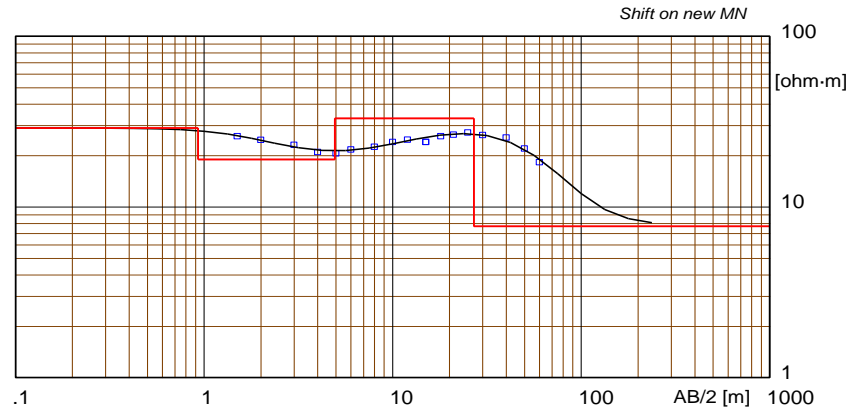
DBH-2 (Schlumberger açılımı)



Model Rezistivite (ohm.m)	Kalınlık (m)	Derinlik (m)	Zemin tipi
137	1	-	Siltli Kil
39	3.7	1	Çakıllı Kum
284	-	4.7	Killi Kum

Şekil 3.40. DBH-2 noktasındaki rezistivite ölçüm ve yorumları.

DBH-3 (Schlumberger açılımı)



Model Rezistivite (ohm.m)	Kalınlık (m)	Derinlik (m)	Zemin tipi
29	0.93	-	Kumlu Kil
19	4	0.93	Killi Kum
33	22	4.93	Kumlu Çakıl
7.7	-	26.93	Kiltaşı

Şekil 3.41. DBH-3 noktasındaki rezistivite ölçüm ve yorumları.

Rezistivite ölçümlerinden genellikle kumlu kil, killi çakıl, çakıllı killi kum ayırt edilmiştir. Ayrıca, DBH-3 noktasındaki ölçümlerde 27 m derinlikte kiltaşı tesbit edilmiştir.

3.5.5.4 Downhole noktalarındaki sismik kırılma ölçümleri

Downhole noktalarındaki 3 noktada sismik kırılma ölçümleri yapılmış olup elde edilen sonuçlar Çizelge 3. 11’de verilmiştir.

Çizelge 3.11. Downhole noktalarındaki sismik kırılma verileri

Sondaj No	Tabaka	Derinlik (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Vp/Vs	γ _{ogunuuk} (gr/cm ³)	Kesme Modülü (kg/cm ²)	Elastisite Modülü (kg/cm ²)	Poisson Oranı	Bulk Modülü (kg/cm ²)
1	1	1.39	458	160	2.85	1.43	367.84	1052.05	0.43	250.58
	2	3.12	459	165	2.79	1.43	388.42	1107.89	0.43	250.05
	3	5.29	507	232	2.19	1.47	788.81	2157.52	0.37	271.53
	4	8.00	561	204	2.75	1.51	627.64	1787.14	0.42	390.41
	5	-	866	319	2.71	1.68	1712.42	4867.73	0.42	1030.93
2	1	0.87	345	168	2.05	1.33	377.98	1015.86	0.34	108.38
	2	1.95	345	168	2.05	1.33	377.04	1013.71	0.34	108.51
	3	3.31	334	81	4.11	1.32	87.30	256.41	0.47	135.97
	4	5.00	633	226	2.80	1.55	792.42	2261.59	0.43	516.44
	5	-	556	157	3.54	1.50	370.79	1080.20	0.46	415.20
3	1	3.12	321	110	2.90	1.31	159.72	457.65	0.43	113.23
	2	7.02	410	188	2.18	1.39	492.60	1346.08	0.37	167.81
	3	11.90	574	297	1.93	1.51	1335.93	3518.29	0.32	320.07
	4	18.00	694	341	2.04	1.59	1847.28	4953.93	0.34	518.86
	5	-	1087	441	2.46	1.78	3461.39	9701.03	0.40	1638.45

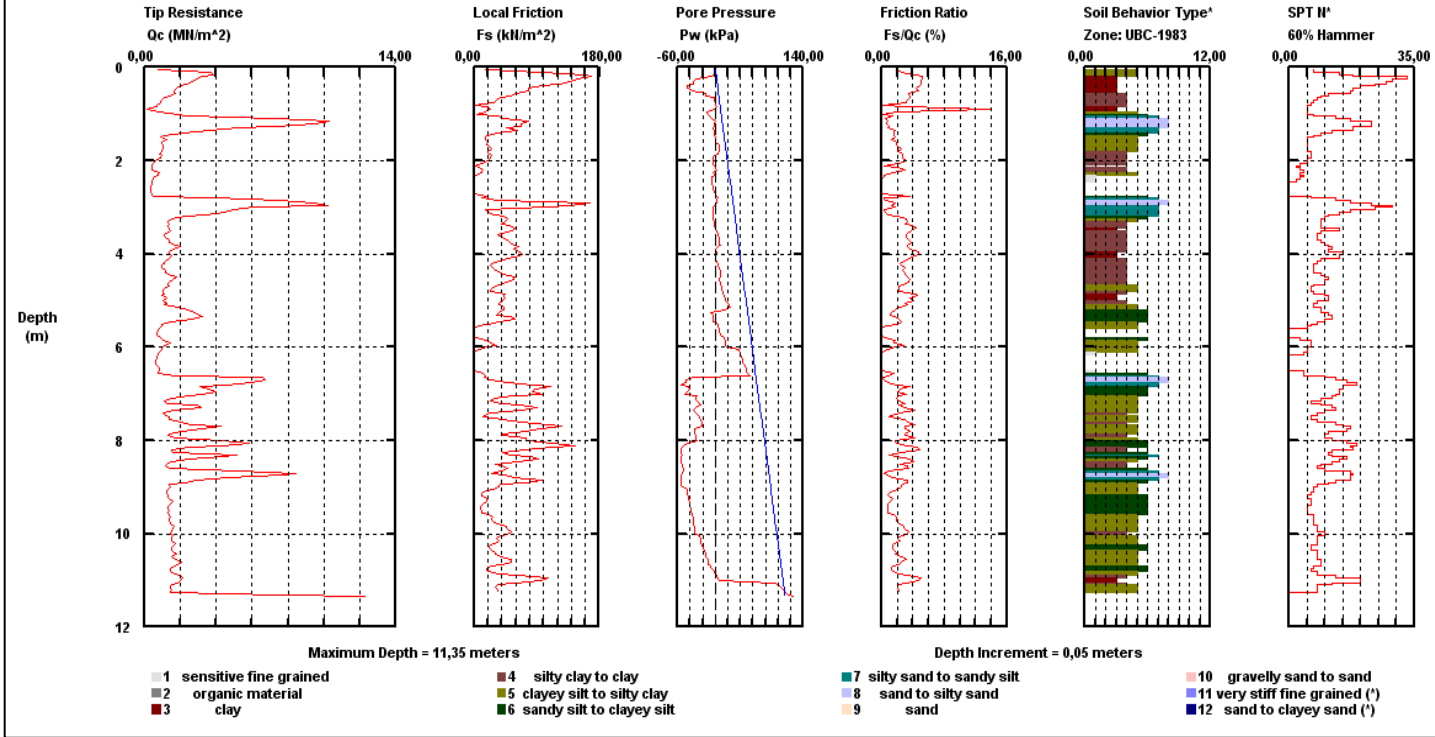
3.6 SCPTU Uygulamaları

Sismik hız ve boşluk suyu basıncı konik penetrasyon deneyi (SCPTU) sırasında okunabilmektedir. Çalışma alanında 30 noktada SCPTU deneyi ASTM D5778-95 (2000) standardına göre yapılmıştır. Bu deneyi yapan cihazın performansını çakıllı seviyeler olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle, çalışma alanında yapılan SCPTU ölçümleri 0.4-11.4 m arasındaki derinliklere kadar devam ettirilebilmiştir. Örnek bir ölçüm kaydı Şekil 3.42’de verilmiş, ölçüm derinlikleri Çizelge 3. 12’de sunulmuş ve ölçüm yerleri Şekil 3.43’de gösterilmiştir.

Zemar Zemin Ars. Ltd. Sti.

Operator: cpt0801
Sounding: CPT562
Cone Used: 822TC

CPT Date/Time: 04-23-08 12:07
Location: Erbaa 37294222D - 4507223K
Job Number: cpt16

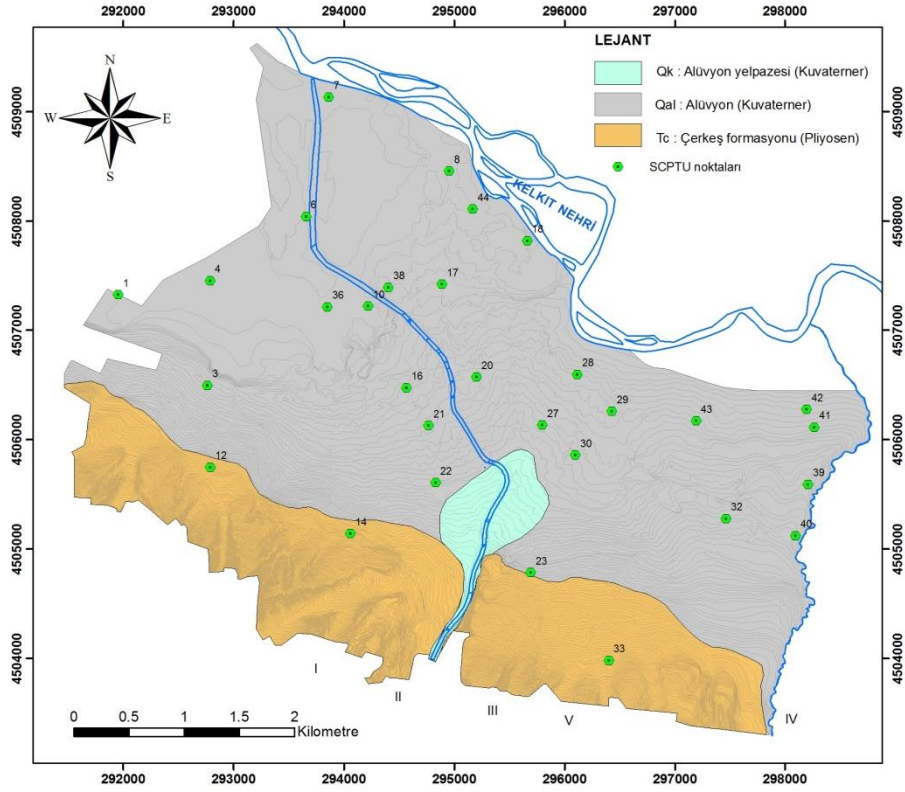


Şekil 3.42. Örnek bir SCPTU kaydı (CPT-16)

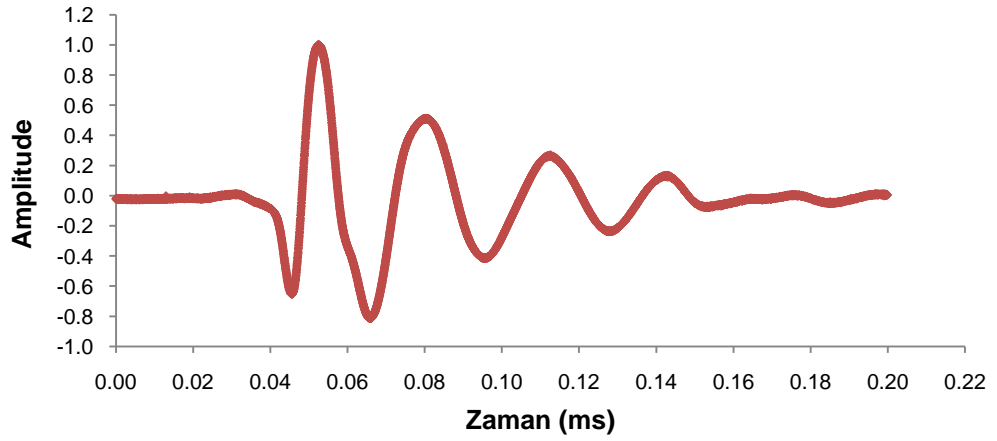
Çizelge 3.12. SCPTU koordinat ve derinlikleri

SCPTU No	Toplam Derinlik (m)	Koordinat	
		Doğu	Kuzey
1	3.5	291954	4507327
3	4.5	292764	4506498
4	2.5	292787	4507456
6	2.0	293657	4508043
7	0.5	294964	4508430
8	2.5	294955	4508429
10	3.5	294222	4507223
12	3.0	292789	4505751
14	2.0	294060	4505144
16	11.4	294222	4507223
17	2.8	294890	4507423
18	3.0	295663	4507823
20	2.0	295203	4506575
21	5.9	294767	4506132
22	1.8	294832	4505609
23	2.4	294605	4504638
27	3.3	295800	4506136
28	3.4	296118	4506599
29	8.4	296430	4506261
30	10.2	296099	4505862
32	1.5	297466	4505281
33	2.2	296403	4503983
36	3.0	293850	4507218
38	6.9	294404	4507396
39	4.9	298212	4505594
40	1.7	298345	4505174
41	2.7	298267	4506116
42	0.4	298198	4506280
43	3.9	297195	4506174
44	2.5	295169	4508112

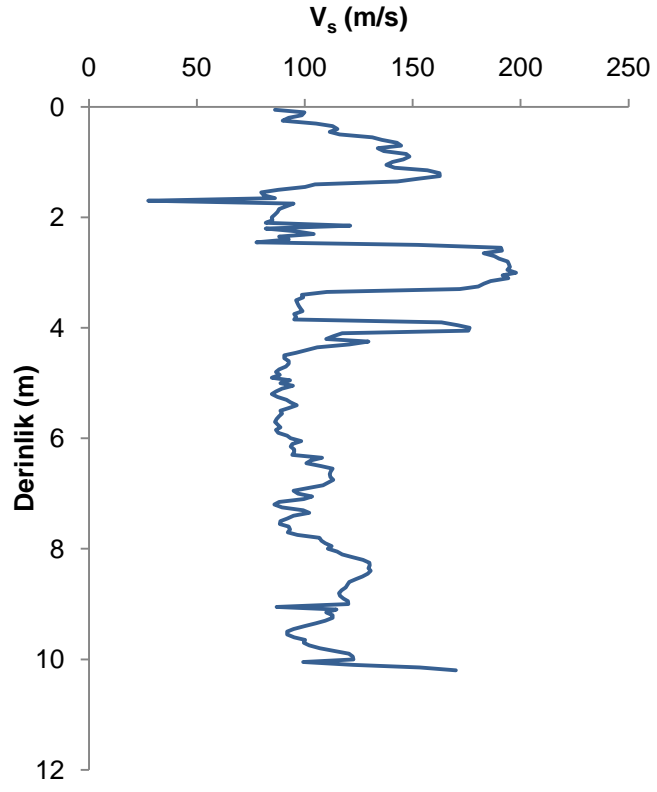
Her bir CPT noktasında, sismik kayıtlar her m’de bir olacak şekilde alınmıştır. Örnek bir kayıt Şekil 3.44’te verilmiştir. Elde edilen Vs değerlerinin değişimi, Şekil 3.45’te bir örneği gösterildiği gibi, derinliğe göre çizilmiştir. Sığ derinliği temsil eden SCPTU verileri, diğer yöntemlerle (özellikle SPT-bazlı uphole) karşılaştırmak için kullanılmıştır.



Şekil 3.43. Çalışma alanındaki SCPTU noktaları.



Şekil 3.44. Orjinal bir sismik kayıt örneği (CPT-30, 9 m derinlikte)



Şekil 3.45 SCPTU yöntemi ile V_s 'in derinliğe bağlı değişimi (CPT-30)

4. SİSMİK TEHLİKE ANALİZİ ve DEPREM KAYDININ BELİRLENMESİ

4.1. Sismik Tehlike Analizi

Sismik tehlike analizinin amacı zeminin ve mühendislik yapısının gelecekte maruz kalacağı depremsel yükleme şartlarının hesaplanmasında gerekli olan depremsel yer hareketi ile ilgili parametrelerin (ivme, hız, deplasman) hesaplanmasıdır. Sismik tehlike analizi ikiye ayrılmaktadır: Deterministik ve Olasılıksal (Probabilistik) Sismik Tehlike Analizi. Her iki yöntemde deprem ile (diri faylar) meydana gelebilecek en büyük depremin büyüklüğü ve/veya en büyük yatay yer ivmesi belirlenir. Bu bilgiler belirlendikten sonra analizde kullanılacak azalım (sönüm) ilişkilerinin çalışma alanı için seçimine geçilmektedir.

Erbaa'daki sismik tehlikenin durumunu belirlemek amacıyla Deterministik Sismik Tehlike Analizi gerçekleştirilmiştir. Deterministik yöntemin seçim nedeni, çalışma sahasının aktif bir fay zonu olan Kuzey Anadolu Fay Zonu içerisinde yer almasıdır. Erbaa'da meydana gelmiş olan 7.2 moment deprem büyüklüğüne sahip deprem, alan için en büyük deprem büyüklüğü olarak seçilmiştir.

Ayrıca, Wells ve Coppersmith (1994)'e ait aşağıda yer alan eşitlik kullanılarak beklenen en büyük deprem büyüklüğü hesaplanmıştır.

$$M = a+b.\log (SRL) \quad (4.1)$$

Burada M = deprem büyüklüğü

a = katsayı (5.16-doğrultu atımlı fay için)

b = katsayı (1.12-doğrultu atımlı fay için)

SRL = yüzey kırığı uzunluğu (çalışma alanı için jeoloji bölümünde de belirtildiği gibi 70 km olarak alınmıştır)

Belirtilen eşitlikten 7.2 değerine ulaşılmıştır. Bu ulaşılan değer ile seçilen en büyük deprem büyüklüğü uyumlu olup analizlerde bu deprem büyüklüğü dikkate alınmıştır. Geçmişte Erbaa çevresinde meydana gelmiş tarihsel depremler Çizelge 4.1’de özetlenmiştir.

Çizelge 4.1. Erbaa ve çevresindeki tarihsel depremlerin büyüklükleri

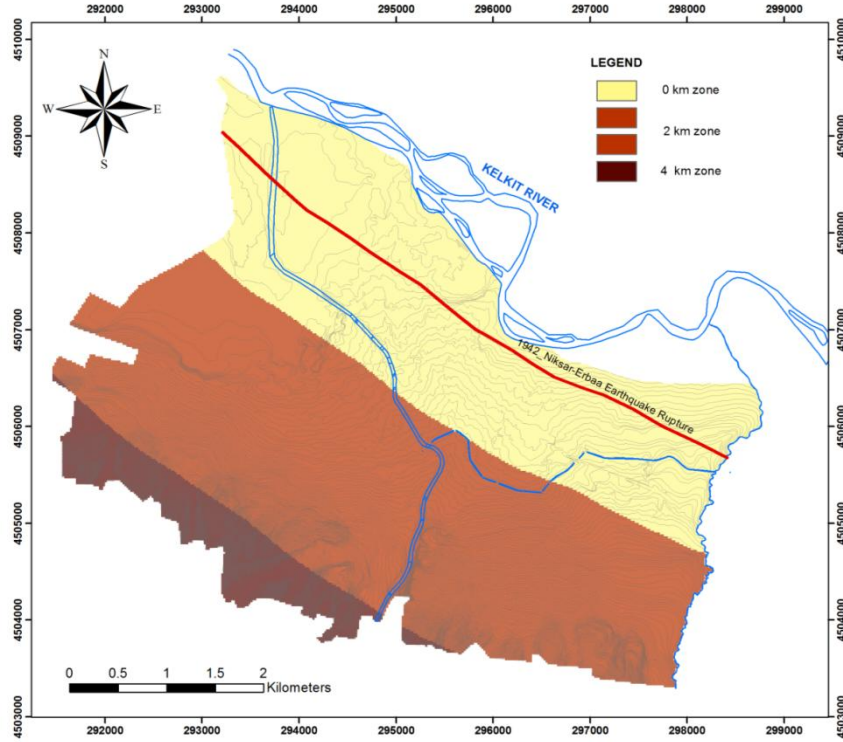
Yıl	Yer	Büyük­lük (M≥5.5)
1543 ⁽¹⁾	Tokat ve Erzincan	Bilinmiyor
1688 ⁽¹⁾	Amasya-Niksar	Bilinmiyor
1909 ^(2,4)	Erbaa ve yakın çevresi	6.3
1909 ⁽²⁾	Erbaa ve yakın çevresi	5.8
1909 ^(2,4)	Erbaa ve yakın çevresi	5.7
1916 ^(2,4)	Tokat	7.1
1923 ⁽²⁾	Erbaa ve yakın çevresi	5.9
1929 ^(2,3,4)	Erbaa ve yakın çevresi	6.1
1935 ^(2,3)	Erbaa ve yakın çevresi	5.5

1939 ⁽²⁾	Erbaa ve yakın çevresi	5.7
1939 ⁽²⁾	Erzincan (325 km Erbaa 'ya)	7.9
1940 ⁽²⁾	Erbaa ve yakın çevresi	6.2
1941 ^(2,4)	Erbaa ve yakın çevresi	5.7
1942 ⁽²⁾	Niksar-Erbaa	7-7.2
1943 ^(2,3,4)	Tosya-Ladik	7.2-7.3
1943 ⁽²⁾	Erbaa ve yakın çevresi	5.6
1944 ⁽²⁾	Erbaa ve yakın çevresi	5.5
1960 ^(2,4)	Erbaa ve yakın çevresi	5.9
1992 ^(1,2,3)	Erzincan (325 km Erbaa 'ya)	6.8
1992 ^(2,4)	Erzincan (325 km Erbaa 'ya)	5.8

Referanslar:

- 1) Ambraseys ve Finkel (2006)
- 2) Özmen vd. (1997)
- 3) Ayhan vd. (1984)
- 4) İnan vd. (1996)

KAFZ'nun içinde bulunan önemli bir yüzey kırığı Erbaa kuzeyinde yer almaktadır. Bu yüzey kırığı Erbaa için sismik kaynak zonu olarak belirlenerek bu kırığa paralel 2 km genişliğinde sismik zonlama yapılmıştır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Çalışma alanında yüzey kırığına paralel zonlama

4.2 Deprem kaydının seçimi ve azalım ilişkileri

Deprem yatay yer ivmesi depreme dayanıklı yapı tasarımında önemli parametrelerden biridir. Türkiye'de 1996 yılına kadar yabancı araştırmacıların geliştirdikleri sönüm denklemleri kullanılmış ve 1996 yılından sonra yabancı kaynaklı denklemlerin yanında, yerli araştırmacıların da önerdiği sönüm denklemleri kullanılmaya başlanmıştır. Gerek sismotektonik özellikler gerekse de kabuk yapısı benzerlikleri dikkate alınarak, önerilmiş olan yeni nesil azalım ilişkileri bu çalışmada kullanılmıştır. Yeni önerilen NGA (gelecek nesil azalım modelleri) deprem zemin parametrelerini elde edebilmek için kullanılmıştır. Çok sayıda araştırmacı tarafından çeşitli yerel azalım ilişkileri hem yerli hem de yabancı araştırmacılarca önerilmiştir (Abrahamson ve Silva, 2008; Boore ve Atkinson, 2008; Campbell ve Bozorgnia, 2008; Chiou ve Youngs, 2008; ve Idriss, 2008). Ancak, bu ilişkilerdeki veri sayısı ve kalitesi NGA modelleri üretirken önemli olduğundan dolayı, NGA modeller, var olan

yer hareket modellerinin en gelişmişidir ve tektonik açıdan aktif bölgelerde kullanılabilir. Bu çalışmada, Erbaa için uygun yeni NGA modeli seçilmiştir. Bunun yanında, NGA modellerinde, fay düzlemi üzerindeki bloğun etkisi, sediman ve basen derinliği etkisi de dikkate alınmıştır. Bu çalışmada, iki farklı NGA modeli, Boore ve Atkinson(2008) ve Campbell ve Bozorgnia (2008) kullanılarak farklı azalım ilişkileri dikkate alınmıştır. Azalım ilişkilerinde kullanılan değerler Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. NGA azalım ilişkilerinde kullanılan değişkenler

Katsayı	Değer
a_1	0.03 g
pga_low	0.06 g
a_2	0.09 g
V_1 (m/s)	180 m/s
V_2 (m/s)	300 m/s
V_{ref} (m/s)	760 m/s
V_{s30} (m/s) (ana kaya kesme dalgası hızı)	760 m/s
M (moment)	7.2
R_{JB} (km) (ana kaynağa en yakın mesafe)	0 - 2- 4- 6
M_{ref}	4.5
R_{ref} (km)	1

Yüzey kırığına en yakın mesafe daha önce de belirtildiği gibi kırıktan itibaren 2 km’lik zonlama dikkate alınarak farklı aralıklar için dikkate alınmıştır. Buna göre yüzey kırığına 0, 2, 4 ve 6 km lik mesafeler dikkate alınarak her biri için farklı NGA tabanlı eğriler elde edilmiştir. Tüm bunlara bağlı olarak hesaplanan en büyük yatay yer ivmesi değerleri Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. NGA modelleri dikkate alınarak hesaplanan en yüksek yatay yer ivmesi değerleri

Yüzey kırığına olan uzaklık (km)	PGA (BA08)	PGA (CB08)
0	0.549	0.481
2	0.445	0.457
4	0.361	0.402
6	0.316	0.345

Deprem kaydının seçiminde yakın fay deprem kayıtları veri tabanından yararlanılmıştır. Bu sebeple, varolan gerçek deprem kayıtları azalım ilişkilerinden elde edilen modellerle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada uyumlu olan deprem kayıtları ilerleyen bölümlerdeki zemin tepki analizlerinde kullanılmak üzere seçilmiştir.

Varolan deprem kayıtları, Baker (2007) tarafından önerilen yakın fay deprem kaydı veri tabanında yer alan kayıtlar dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu veri tabanında 91 adet deprem kaydı yer almakta olup bunlardan 42 adedi bu karşılaştırmalarda uygun olarak belirlenmiştir. Çizelge 4.4’de 42 adet deprem kaydının listesine yer verilmiştir. Belirlenen bu 42 deprem kaydı ile azalım ilişkilerinden belirlenen modeller karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmaya yönelik örnek bir grafik Şekil 4.2’de gösterilmiştir.

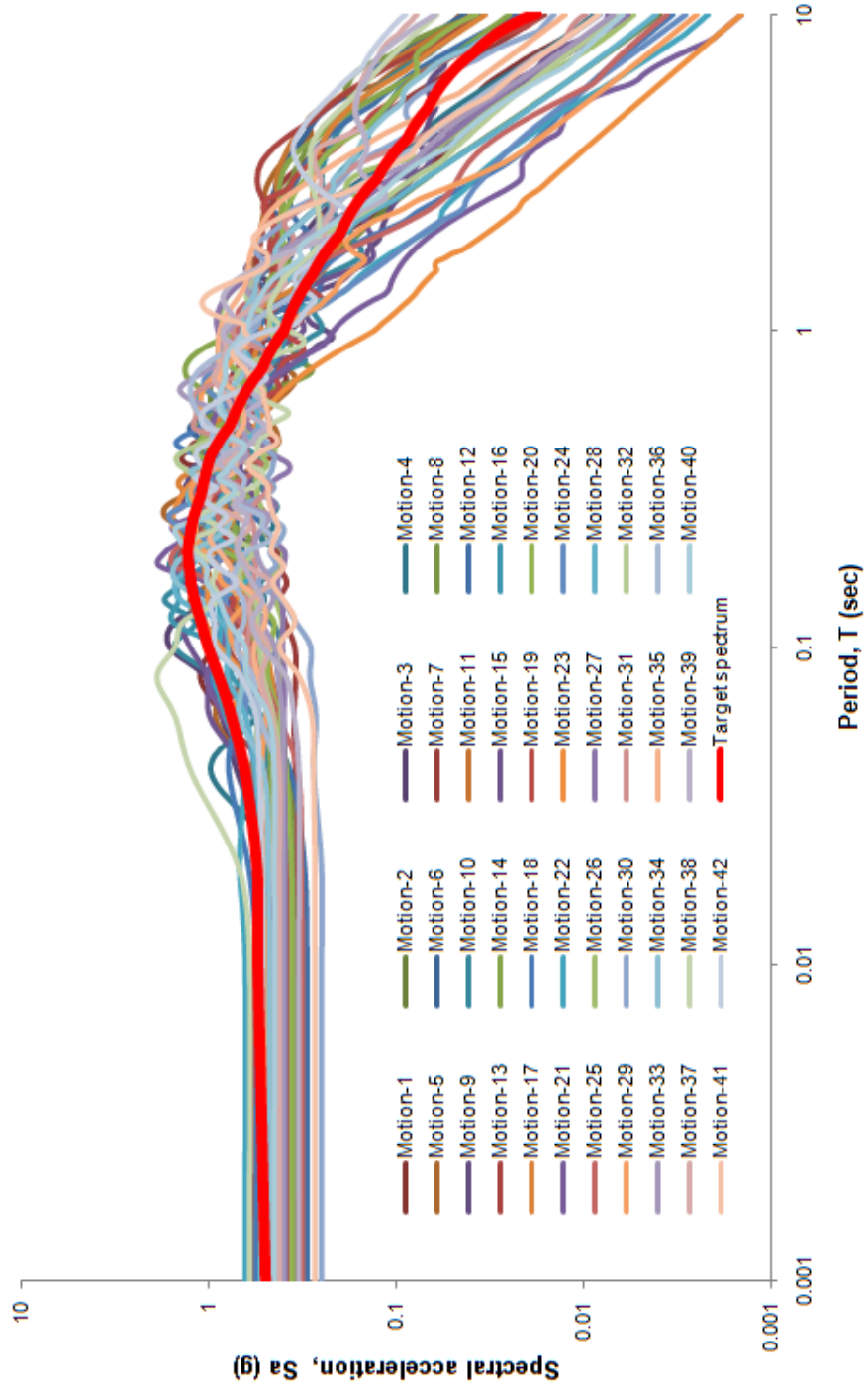
NGA model ile karşılaştırılan 42 adet deprem kaydından en uygun olan 7 adet deprem kaydı belirlenmiştir. Bu deprem kayıtlarına ait zaman-ivme değişimleri ise Şekil 4.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. Baker (2007) veritabanından seçilmiş olan 42 adet deprem kaydının listesi

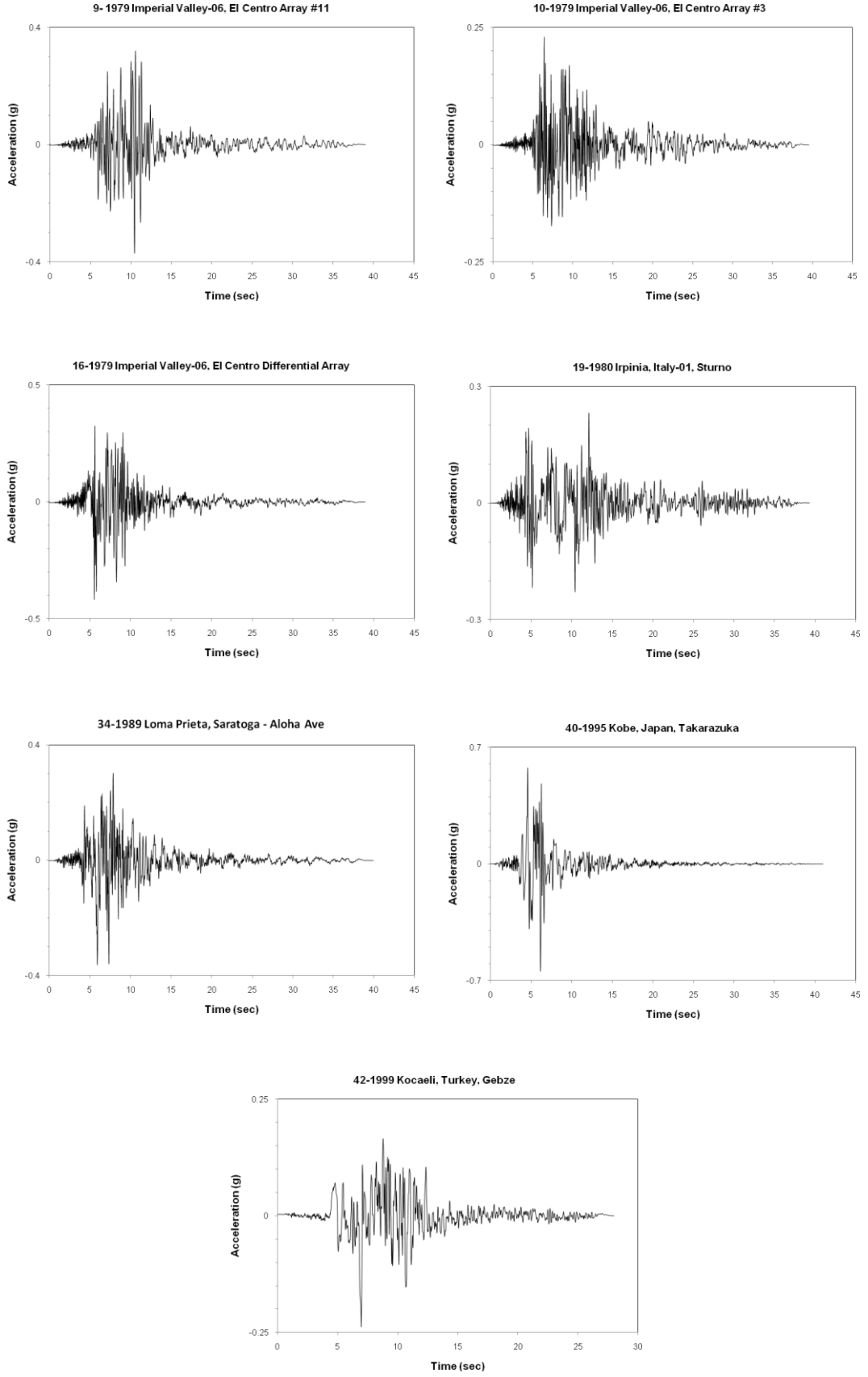
Assoc. number in this study	Assoc. number by Baker (2007)	Record Sequence Number	EQ ID	Earthquake Name	Year	Station Name	ClistD (km)	PGA (g)	PGV (cm/sec)	PGD (cm)
1	1	77	0030	San Fernando	1971	Pacoima Dam (upper left abut)	1.81	1.1644	75.55	18.06
2	2	150	0048	Coyote Lake	1979	Gilroy Array #6	3.11	0.4038	37.67	6.15
3	3	158	0050	Imperial Valley-06	1979	Aeropuerto Mexicali	0.34	0.3438	30.39	7.62
4	4	159	0050	Imperial Valley-06	1979	Agracias	0.65	0.2903	33.85	9.47
5	5	161	0050	Imperial Valley-06	1979	Brawley Airport	10.42	0.1933	39.86	16.02
6	6	170	0050	Imperial Valley-06	1979	EC County Canter FF	7.31	0.2165	50.98	28.04
7	7	171	0050	Imperial Valley-06	1979	EC Maloland Overpass FF	0.07	0.3092	79.79	28.13
8	8	173	0050	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #10	6.17	0.2069	47.07	21.80
9	9	174	0050	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #11	12.45	0.3746	38.41	17.72
10	10	178	0050	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #3	12.85	0.2552	40.84	20.98
11	11	179	0050	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #4	7.05	0.3745	73.86	43.20
12	12	180	0050	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #5	3.95	0.4481	71.18	49.59
13	13	181	0050	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #6	1.35	0.4273	83.49	44.38
14	14	182	0050	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #7	0.56	0.4200	79.15	40.83
15	15	183	0050	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #8	3.86	0.5379	56.80	32.99
16	16	184	0050	Imperial Valley-06	1979	El Centro Differential Array	5.09	0.4310	55.32	33.04
17	17	185	0050	Imperial Valley-06	1979	Holtville Post Office	7.65	0.2476	47.65	29.42
18	18	250	0061	Mammoth Lakes-06	1980	Long Valley Dam (Upr L Abut)		0.6293	35.21	5.50
19	19	292	0068	Irpinia, Italy-01	1980	Sturmo	10.84	0.2898	46.86	21.51
20	20	316	0073	Westmorland	1981	Parachute Test Site	16.66	0.2193	36.06	19.66
21	21	407	0080	Coalinga-05	1983	Oil City		0.7241	34.17	3.80
22	22	415	0080	Coalinga-05	1983	Transmitter Hill		0.9482	40.61	5.91
23	23	418	0082	Coalinga-07	1983	Coalinga-14th & Elm (Old CHP)		0.5813	31.45	3.64

Çizelge 4.4. Devam ediyor.

24	24	451	0090	Morgan Hill	1984	Coyote Lake Dam (SW Abut)	0.53	0.9652	68.35	10.21
25	25	459	0090	Morgan Hill	1984	Gilroy Array #6	9.86	0.2814	23.53	3.85
26	26	503	0100	Taiwan SMART1(40)	1986	SMART1 C00		0.1997	25.11	5.69
27	27	508	0100	Taiwan SMART1(40)	1986	SMART1 M07		0.2146	30.00	7.21
28	28	529	0101	N. Palm Springs	1986	North Palm Springs	4.04	0.5903	49.65	8.37
29	29	568	0108	San Salvador	1986	Geotech Investig Center	6.30	0.6493	47.36	12.06
30	32	723	0116	Superstition Hills-02	1987	Parachute Test Site	0.95	0.4509	77.19	37.19
31	33	738	0118	Loma Prieta	1989	Alameda Naval Air Sın Hangar	71.00	0.2435	33.42	9.86
32	34	766	0118	Loma Prieta	1989	Gilroy Array #2	11.07	0.3529	35.10	8.54
33	35	783	0118	Loma Prieta	1989	Oakland - Outer Harbor Wharf	74.26	0.2804	41.86	9.60
34	36	802	0118	Loma Prieta	1989	Saratoga - Aloha Ave	8.50	0.3821	48.52	20.25
35	37	821	0121	Erzincan, Turkey	1992	Erzincan	4.38	0.4886	72.95	24.79
36	38	828	0123	Capa Mandocino	1992	Petrolia	8.18	0.6236	69.21	25.72
37	39	838	0125	Landers	1992	Barstow	34.86	0.1193	21.58	16.95
38	40	879	0125	Landers	1992	Lucerne	2.19	0.7214	111.05	188.32
39	41	900	0125	Landers	1992	Yermo Fire Station	23.62	0.2234	36.89	28.58
40	43	1119	0129	Kobe, Japan	1995	Takarazuka	0.27	0.7069	75.88	23.13
41	54	1120	0129	Kobe, Japan	1995	Takatori	1.47	0.6528	117.14	33.06
42	55	1161	0136	Kocaeli, Turkey	1999	Gebze	10.92	0.1833	38.30	33.69



Şekil 4.2... 42 deprem kaydı ile NGA modelin karşılaştırma örnek grafiği



Şekil 4.3. Belirlenen deprem kayıtlarına ait zaman-ivme değişimleri

Zemin tepki analizleri için seçilen bu 7 adet deprem kaydının en büyük yatay yer ivmesi değerleri de hesaplanmıştır. İki farklı NGA azalım ilişkisi için 7 deprem kaydı ayrı ayrı dikkate alınmıştır. Çizelge 4.5’de her iki NGA model için her uzaklık değeri de dikkate alınarak en büyük yatay yer ivmesi değerleri önerilmiştir.

Çizelge 4.5. Farklı deprem kayıtları için önerilen en büyük yatay yer ivmesi değerleri

Deprem No	En Büyük Yatay Yer İvmesi Değerleri					
	Boore ve Atkinson (2008)			Campbell ve Bozorgnia (2008)		
	0 km	2 km	4 km	0 km	2 km	4 km
9	0.4076	0.3486	0.2754	0.3519	0.3297	0.2892
10	0.4522	0.3754	0.3016	0.3774	0.3543	0.3208
16	0.4332	0.3713	0.2911	0.3434	0.3493	0.3023
19	0.4464	0.3799	0.2984	0.3713	0.3508	0.3145
34	0.4827	0.4003	0.3201	0.4021	0.3836	0.3379
40	0.4669	0.4007	0.3133	0.4000	0.3973	0.3296
42	0.4505	0.4587	0.3556	0.4430	0.4242	0.3811

5- DİNAMİK ZEMİN PARAMETRELERİ, ZEMİN ETKİSİ VE ZEMİN BÜYÜTMESİ

5.1 Giriş

Dinamik zemin parametreleri zemin tepki analizlerinde önemli rol oynamaktadır. Zemin profilleri, zemin etki analizlerinde farklı malzeme özellikleri ile belirtilmektedir. Dinamik etkiler altındaki zemin davranışı en iyi dinamik zemin parametreleri ile ifade edilmektedir. Bu nedenle çalışma alanındaki zeminlerin özellikle kesme dalga hızları (V_s) farklı yöntemler dikkate alınarak irdelenmiştir. Bu yöntemler arasında arazide yapılan standart penetrasyon deneyindeki son 30cm'lik darbe sayısı toplamı ile kesme dalga hızının arasındaki ilişkiyi dikkate alan yaklaşımlar dikkate alınmıştır.

Deprem koşulları altındaki zemindeki davranışın belirlenmesi için tek boyutlu lineer zemin tepki analizi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu analizlerden zemin büyütmesine yönelik çalışmalar da yapılmıştır.

5.2 Dinamik Zemin Parametreleri

Zeminin kesme dalga hızı sismik bölgelerdeki çalışmalarda yer alan önemli bir parametredir. Genelde zemin sıklığında, sıvılaşma analizlerinde, zemin sınıflamasında ve temel oturmaları gibi konularda kesme dalga hızından yararlanılmıştır (Richart vd., 1970; Schnabel vd., 1972; Sykora ve Stokoe, 1983; Burland, 1989; Sasitharan vd., 1994; Shibuya vd., 1995; Kramer, 1996; Andrus ve Stokoe, 1997; Wills ve Silva, 1998; Mayne vd., 1999; Dobry vd., 2000; Lehane ve Fahey, 2002; Seed vd., 2003; Stewart vd., 2003; McGillivray ve Mayne, 2004;

Holzer vd., 2005). Maksimum kesme modülü ise ayrı bir dinamik zemin parametresi olup, kesme dalgası arasındaki ilişki aşağıda verilmiştir.

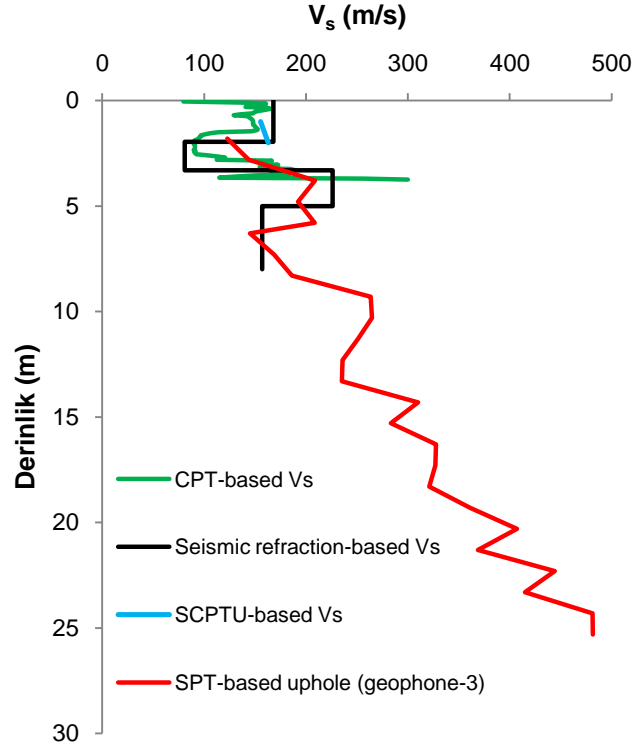
$$G_{\max} = \rho \times V_s^2 \quad (5.1)$$

ρ : kütle yoğunluğu

V_s : kesme dalgası hızı

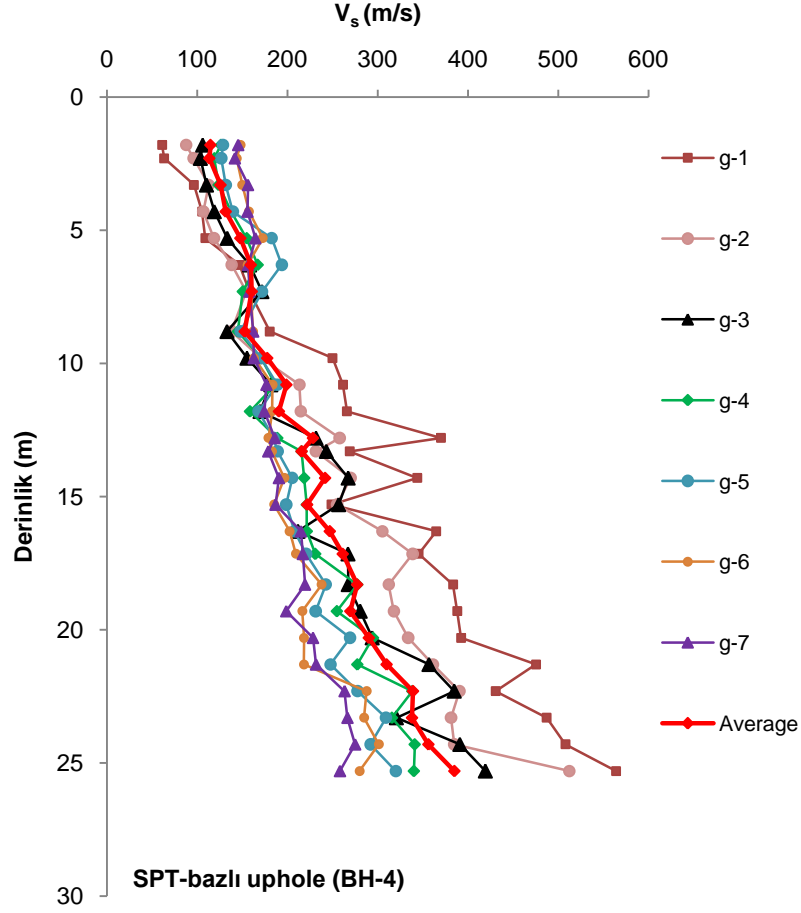
Kesme dalga hızının belirlenemediği durumlarda maksimum kesme modülü kullanılarak kesme dalga hızı hesaplanabilmektedir (Kramer, 1996). Bunun yanında, SPT, plastisite indeksi ve tane dağılımı ile de kesme modülü belirlenebilmektedir (Vucetic ve Dobry, 1991; Idriss vd., 1980; Kramer, 1996).

Jeofizik testlerden ve ampirik ilişkilerden elde edilen kesme dalga hızları çalışma sahası için değerlendirilmiştir. Proje çerçevesinde yapılan 20 sismik kırılma, 3 downhole kuyu içi sismik, 10 uphole kuyu içi sismik, ve 6 adet MASW-REMI ölçümü ile 30 adet uygun olan SCPTU deneylerinden elde edilen verilere bağlı olarak gerekli karşılaştırmalar ve değerlendirmeler yapılmıştır. CPT, SCPTU, sismik kırılma ve SPT-bazlı uphole sonuçlarının grafiksel olarak karşılaştırması BH-10 için örnek olması bakımından Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. CPT, SCPTU, sismik kırılma ve SPT-bazlı uphole sonuçlarının grafiksel olarak karşılaştırılması (BH-10 için)

Şekil 5.1’de görüldüğü gibi 25m derinliğinde sürekli kesme dalga hızı profili SPT-bazlı uphole ölçümünden elde edilmiştir. Süreklilik olması bakımından kesme dalga hızlarının değerlendirme aşamasında SPT-bazlı uphole ölçümlerinden yararlanılmıştır. BH-4’e ait derinlik ile kesme dalga hızı değişimini gösteren farklı jeofon ölçümleri Şekil 5.2’de gösterilmiştir. Bunun yanında mikrotremör ölçümleri zemin büyütmesinin değerlendirilmesi kısmında kullanılmıştır.



Şekil 5.2. Tüm jeofonlar için kesme dalga hızının derinlik ile değişimi

Farklı zemin tipleri için ampirik olarak SPT-N'e karşılık Vs ilişkileri çeşitli araştırmacılarca çalışılmıştır (Ohba ve Toriumi, 1970; Imai ve Yoshimura, 1970; Fujiwara, 1972; Ohsaki ve Iwasaki, 1973; Imai, 1977; Ohta ve Goto, 1978; Seed ve Idriss, 1981; Imai ve Tonouchi, 1982; Sykora ve Stokoe, 1983; Jinan, 1987; Lee, 1990; Sisman, 1995; Iyisan, 1996; Kayabali, 1996; Jafari vd., 1997; Pitilakis vd., 1999; Kiku vd., 2001; Jafari vd., 2002; Andrus vd., 2006; Hasançebi ve Ulusay, 2007; Hanumantharao ve Ramana, 2008; Dikmen, 2009). Bu ampirik yaklaşımların yer aldığı özet tablo, Çizelge 5.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. SPT-N'e karşılık V_s bulunmasını sağlayan ampirik ilişkilere ait özet tablo

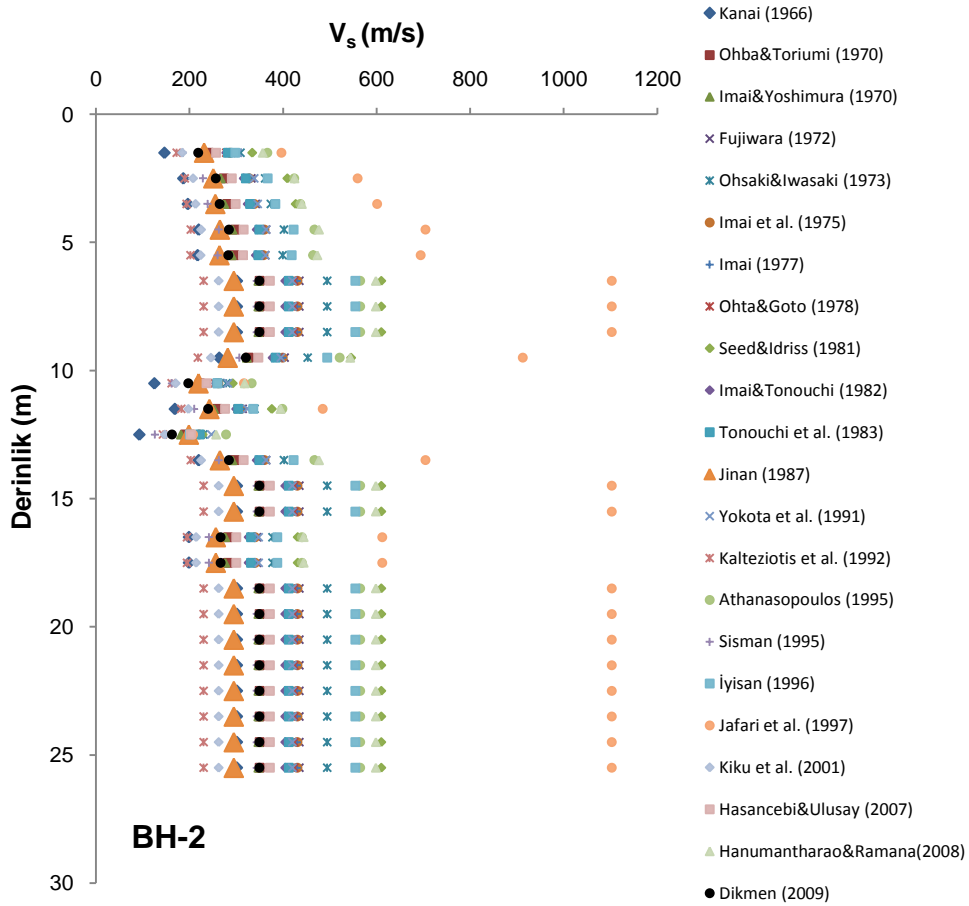
Araştırmacılar	V_s (m/s)		
	Tüm zeminler	Kumlar	Killer
Kanai (1966)	$V_s = 19N^{0.6}$	-	-
Imai ve Yoshimura (1970)	$V_s = 76N^{0.33}$	-	-
Ohba ve Toriumi (1970)	$V_s = 84N^{0.31}$	-	-
Fujiwara (1972)	$V_s = 92.1N^{0.337}$	-	-
Shibata (1970)	-	$V_s = 32N^{0.5}$	-
Ohta vd. (1972)	-	$V_s = 87N^{0.36}$	-
Ohsaki ve Iwasaki (1973)	$V_s = 81.4N^{0.39}$	$V_s = 59.4N^{0.47}$	-
Imai vd. (1975)	$V_s = 89.9N^{0.341}$	-	-
Imai (1977)	$V_s = 91N^{0.337}$	$V_s = 80.6N^{0.331}$	$V_s = 102N^{0.292}$
Ohta ve Goto (1978)	$V_s = 85.35N^{0.348}$	-	-
Seed ve Idriss (1981)	$V_s = 61.4N^{0.5}$	-	-
Imai ve Tonouchi (1982)	$V_s = 97N^{0.314}$	-	-
Seed vd. (1983)	-	$V_s = 56.4N^{0.5}$	-
Sykora ve Stokoe (1983)	-	$V_s = 100.5N^{0.29}$	-

Tonouchi vd. (1983)	$V_s = 97N^{0.314}$	-	-
Fumal ve Tinsley (1985)	-	$V_s = 152+5.1N^{0.27}$	-
Jinan (1987)	$V_s=116.1(N+0.3185)^{0.202}$	-	-
Okamoto vd. (1989)	-	$V_s = 125N^{0.3}$	-
Lee (1990)	-	$V_s = 57N^{0.49}$	$V_s = 114N^{0.31}$
Yokota vd. (1991)*	$V_s = 121N^{0.27}$	-	-
Kalteziotis vd. (1992)	$V_s = 76.2N^{0.24}$	-	-
Pitilakis vd. (1992)	-	$V_s = 162N^{0.17}$	-
Athanasopoulos (1995)	$V_s = 107.6N^{0.36}$	-	-
Raptakis vd. (1995)	-	$V_s = 100N^{0.24}$	-
Sisman (1995)	$V_s = 32.8N^{0.51}$	-	-
Iyisan (1996)	$V_s = 51.5N^{0.516}$	-	-
Kayabali (1996)	-	$V_s = 175+(3.75N)$	-
Jafari vd. (1997)	$V_s = 22N^{0.85}$	-	-
Pitilakis vd. (1999)	-	$V_s = 145(N_{60})^{0.178}$	$V_s = 132(N_{60})^{0.271}$
Kiku vd. (2001)	$V_s = 68.3N^{0.292}$	-	-
Jafari vd. (2002)	-	-	$V_s = 27N^{0.73}$
Hasançebi ve Ulusay (2007)	$V_s = 90N^{0.308}$	$V_s = 90.82N^{0.319}$	$V_s = 97.89N^{0.269}$

Hanumantharao & Ramana (2008)	$V_s = 82.6N^{0.43}$	$V_s = 79N^{0.434}$	-
Dikmen (2009)	$V_s = 58N^{0.39}$	$V_s = 73N^{0.33}$	$V_s = 44N^{0.48}$

* Jafari vd. (2002)'den alınmıştır.

Çizelge 5.1'deki ampirik ilişkiler dikkate alınarak kesme dalga hızları da hesaplanmıştır. Örnek bir hesaplamanın yer aldığı BH-2'e ait grafiksel gösterim Şekil 5.3'de verilmiştir.



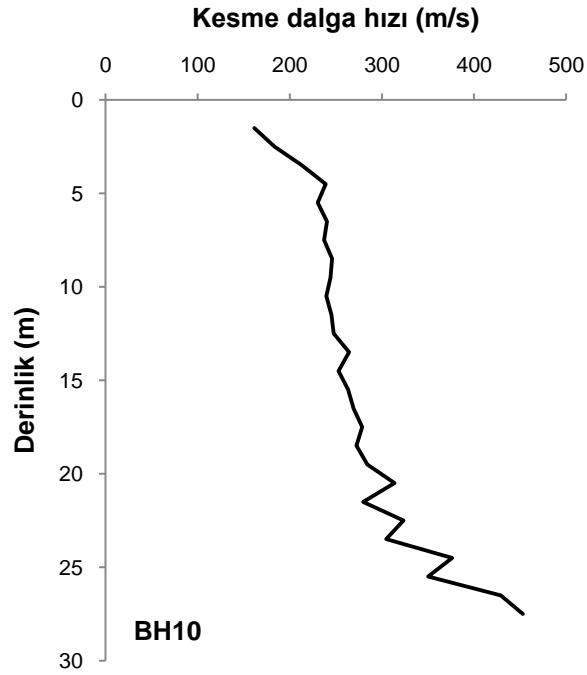
Şekil 5.3. Farklı araştırmacılarca önerilen SPT-N ve V_s ilişkilerinin dikkate alındığı hesaplamaları gösteren grafiksel şekil (BH-2 için)

Bunlara ek olarak Ohta ve Goto (1976) ve Seed vd. (1986)'nin önerdiği ampirik yaklaşımla da hesaplamalar yapılmıştır. Bu ampirik yaklaşım aşağıda belirtilmiştir.

$$G_{\max} = 20000 (N_1)_{60}^{0.333} (\sigma'_m)^{0.5} \quad (5.2)$$

G_{\max} ve σ'_m : lb/ft² cinsinden

Bu hesaplamalara örnek olarak Şekil 5.4'te BH-10 için yapılmış kesme dalga hızının derinlikle değişimi görülmektedir.



Şekil 5.4. Ohta ve Goto (1976) ve Seed vd. (1986) ampirik yöntemleriyle hesaplanan kesme dalga hızı profili

Ayrıca, SPT-N darbe sayıları aşağıda belirtilen eşitlik 5.3 ile düzeltilerek $(N_1)_{60}$ değerlerine de ulaşılmıştır.

$$(N_1)_{60} = N \cdot C_N \cdot C_R \cdot C_S \cdot C_B \cdot C_E \quad (5.3)$$

C_R : tij uzunluğu düzeltmesi,

C_S : örnek alıcı düzeltmesi,

C_B : kuyu çapı düzeltmesi,

C_E : enerji düzeltmesi (60%).

Örtü yükü düzeltmesi için (C_N) efektif örtü yükü düzeltmesi kullanılmıştır Idriss ve Boulanger (2006). Bu düzeltmeye ait ilgili formüllere aşağıda yer verilmiştir.

$$C_N = (P_a / \sigma'_v)^\beta \leq 1.7 \quad (5.4)$$

$$\beta = 0.784 - 0.0758 \sqrt{(N_1)_{60}} \quad (5.5)$$

Zemin sınıflaması, zemin profilinin üst 30 m seviyelik kesme dalga hızının (V_{s30}) ortalama değeri alınarak yapılabilmektedir. Ortalama kesme dalga hızı üst 30 m'deki ortalama dalga hızını temsil etmekte olup zemin büyütme etkisinin tahmininde de kullanılmaktadır (Boore, 2004). V_{s30} değeri 30 m seviyedeki toplam zamanın, yüzeyden 30 m derinliğindeki bölüme kadar olan kesme dalga hızlarının bölünmesi ile hesaplanmaktadır. İlgili eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$V_{s30} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\Delta Z_i}{V_{\alpha i}} \right) \quad (5.6)$$

Eşitlikteki n sayısı zemin seviyelerinin üst 30 m deki adedini ifade etmektedir. \square_{zi} ise i nolu seviyenin kalınlığını ve V_{si} ise i nolu seviyenin kesme dalga hızını belirtmektedir.

V_{s30} değeri zemin sınıflaması ve bina koduna yönelik çalışmalarda sıklıkla kullanılmıştır. NEHRP şartnamesine bağlı olarak önerilen zemin sınıflaması Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. NEHRP’e göre önerilen zemin sınıflaması (Martin, 1994; Dobry vd., 2000) (Bozorgnia ve Campbell, 2004 den alınmıştır)

NEHRP kategori	Tanım	Ortalama kesme dalga hızı 30m için V_{s30} (m/s)
A	Sert kaya	> 1500 m/s
B	Sıkı-sert kaya	760-1500 m/s
C	Yoğun zemin, yumuşak kaya	360-760 m/s
D	Sıkı zemin	180-360 m/s
E	Yumuşak kil	< 180 m/s
F	Özel çalışma gerektiren zeminler, örneğin sıvılaştırılabilir zeminler, organik zeminler	-

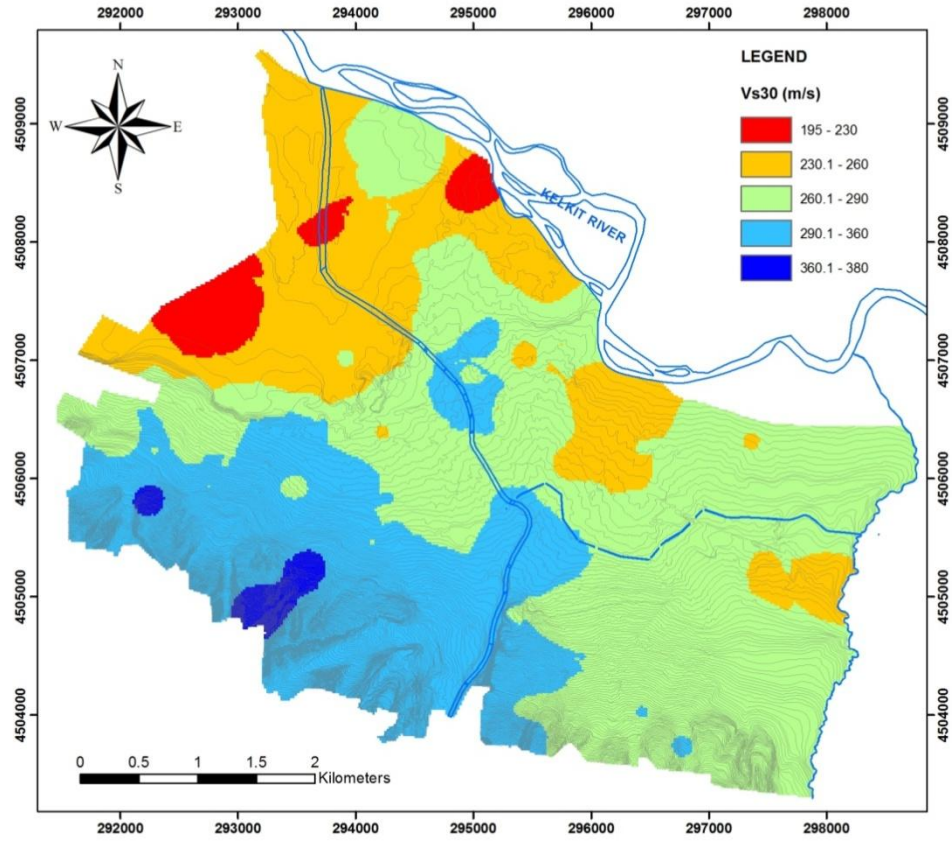
Her bir açılan sondaj kuyusu için V_s verilerinden faydalanarak V_{s30} değerleri hesaplanmıştır. Çizelge 5.3’de hesaplanan V_{s30} değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.3. Çalışma alanı için hesaplanan V_{s30} değerleri

Kuyu No	V_{s30}	Kuyu No	V_{s30}	Kuyu No	V_{s30}	Kuyu No	V_{s30}
1	231	27	252	53	325	79	331
2	282	28	235	54	256	80	270
3	266	29	261	55	278	81	291
4	195	30	262	56	290	82	285
5	250	31	276	57	290	83	291
6	200	32	260	58	311	84	297
7	241	33	291	59	301	85	351
8	202	34	264	60	279	86	377
9	254	35	279	61	291	87	289
10	257	36	242	62	266	88	277
11	263	37	237	63	308	89	267
12	343	38	256	64	324	90	263
13	282	39	264	65	290	91	302
14	301	40	257	66	311	92	340
15	280	41	277	67	330	93	290
16	275	42	266	68	330	94	298
17	272	43	287	69	306	95	246
18	233	44	243	70	290	96	251
19	255	45	259	71	382	97	241

20	259	46	276	72	340	98	237
21	262	47	287	73	298	99	241
22	267	48	257	74	290	100	245
23	287	49	278	75	367	101	242
24	266	50	314	76	349	102	241
25	271	51	304	77	297	103	252
26	305	52	268	78	317	104	243

Bu hesaplamalara ek olarak V_{s30} değerlerinin harita üzerindeki dağılımını Şekil 5.5’de belirtilmiştir.



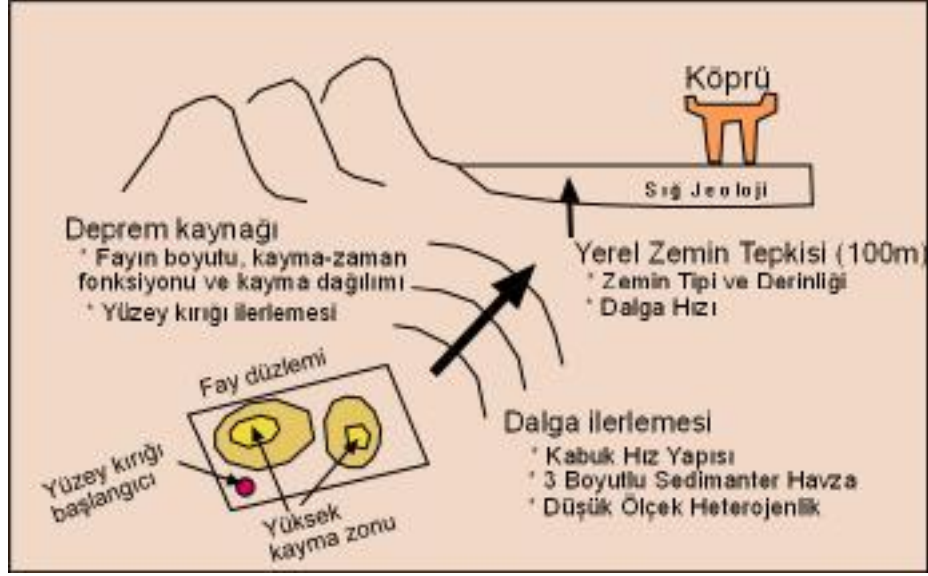
Şekil 5.5. Çalışma alanın V_{s30} haritası

Ayrıca NEHRP şartnamesine ve belirlenen zemin sınıflamalarına göre sahadaki V_{s30} değerleri zemin sınıfının D tipi olduğunu göstermiştir. D tipi zemin türünün kesme dalga hızı ilk 30 m'deki seviye için 180 ile 360 m/s aralığında değiştiği belirlenmiştir.

5.3 Zemin Tepki Analizleri

Zemin etkisi geçmişteki birçok sismik olay sonrasında gözlenmiştir. Örneğin 1985 Meksika (Seed ve Sun, 1989), 1989 Loma Prieta (Seed vd., 1990), 1999 Kocaeli (Tezcan vd., 2002; Ergin vd., 2004; Ozel ve Sasatani, 2004) ve 1999 Chi-Chi depremleri (Pavlenko, 2008) sonrasında zemin etkisi ile yapılarda büyük deformasyon meydana gelmiştir. Bunlardan en önemlisi 1985 Michoacan-Meksika depremi ($M_s=8.1$), episantırı 400 km uzaktaki Meksika şehir merkezi içinde hasara neden olmuştur. Bu olay zemin büyütme etkisinin anlaşılmasında önemli tarihsel örneklerden biri olmuştur. Çünkü zemin, gelen sismik dalgaların vadi içerisinde inanılmaz ölçüde büyütmesine neden olmuştur. (Vucetic ve Dobry, 1991; Castro vd., 1990, Humprey ve Anderson, 1992).

Genellikle daha genç ve yumuşak olan zeminler, sıkışmış zeminlere veya tabanda bulunan kayaya oranla yer hareketini büyütmetedirler. Bu etki zemin büyütmesi olarak tanımlanmaktadır ve yapısal hasarlar üzerinde etkili bir rolü vardır. Bu davranışın belirlenmesi amacıyla ampirik eşitliklerden ve/veya mikrotremör kayıtları gibi arazide yapılan çalışmalardan yararlanılmaktadır. Bunun yanında zemin kalınlığı ve anakayaya olan derinliği, zemine ait detaylı dalga hızlarının tanımlanması ile zemin büyütmesi de belirlenebilmektedir (Şekil 5.6).

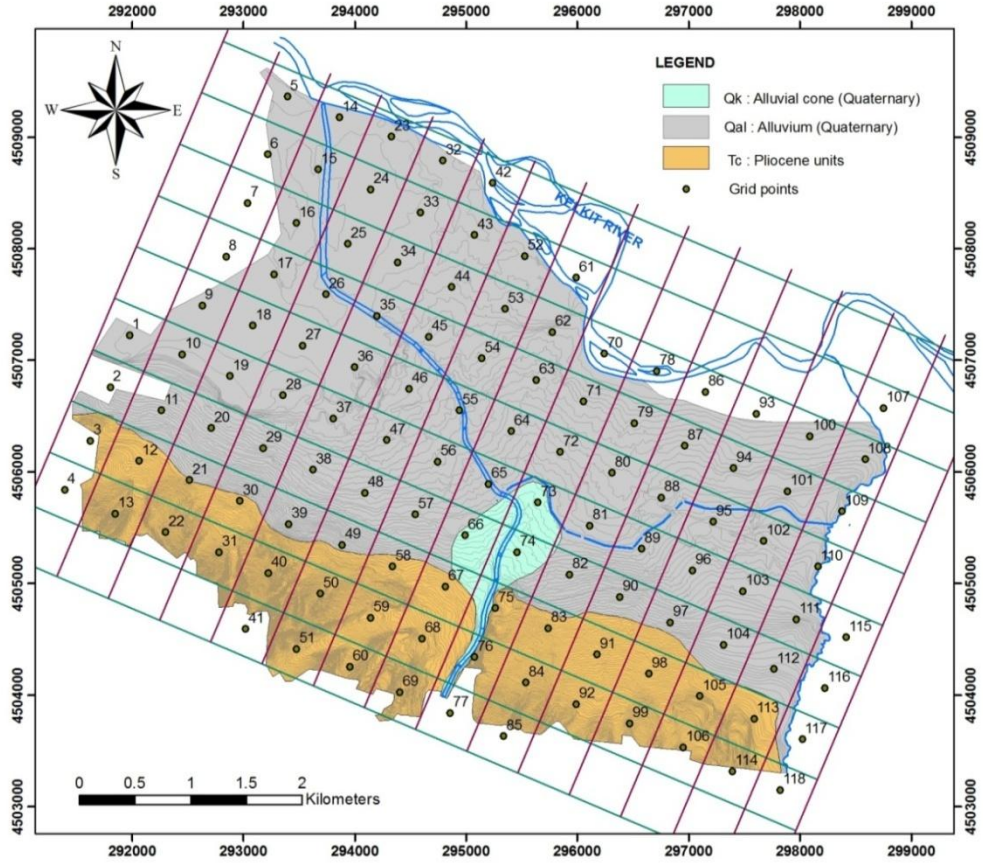


Şekil 5.6. Zemin tepkisini gösterir şekil

Bir boyutlu lineer zemin tepki analizleri, kullanılan tüm zemin profillerinin yatayda sonsuz uzunlukta olduğunu ve SH dalgalarının anakayadan yüzeye doğru doğrusal olarak ilerlediği kabulüne dayanır. Bu çalışmada bir boyutlu zemin tepki analizleri için ProSHAKE (v.1.12) (EduPro Civil Systems) isimli program kullanılmıştır.

Programda kullanılmak üzere 104 adet sondaj kuyusu verisi değerlendirilmiştir. Daha sonra zemin profillerinin programa girişi için 3 m ve 5 m aralıklı bölümlenmeler yapılmıştır. Zemin profillerini modelleyecek eğriler ise programa tanıtılmış ve varolan eğri modelleri irdelenmiştir.

Çalışma alanı ise sismik mikrobölgeleme çalışmalarında sıklıkla kullanılan karelaj sistemi için bölümlenmiştir. Genelde çoğunlukla kullanılan karelaj boyutları 500'e 500 m veya 250 m'ye 250 m şeklinde bulunmaktadır. Bu nedenle çalışma alanı 500 m'lik kare ağına bölümlenmiştir. Bu bölümlenme sonrasında toplam 118 kare elde edilmiştir (Şekil 5.7). Elde edilen her bir kareye tanımlayıcı zemin profilleri atanarak tüm saha için zemin tepki analizleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.7. Zemin tepki analizlerinde kullanılan karelej sistemi

Anakaya profilleri sabit kesme dalga hızı dikkate alınarak belirlenmiştir. Ansal ve Tönük (2007)'ye göre kesme dalga hızı zemin profilleri kesme dalga hızı 700-750 m/s olarak kabul edilen anakayaya kadar uzatılmalıdır. Bunun yanında NEHRP şartnamesi de anakayaya geçiş sınırını 760 m/s olarak kabul etmektedir. Bunlara dayalı olarak çalışma alanı Erbaa için 760 m/s'lik anakaya sınır değeri dikkate alınmıştır (Kramer, 2009b).

Önceki bölümlerde de belirtildiği gibi sismik kaynak olarak deprem büyüklüğü 7.2 ve yüzey kırığına olan uzaklık mesafesi 0-4 km olarak dikkate alınmıştır. Bunun yanında yeni nesil azalım ilişkileri ile karşılaştırılan ve seçilen deprem kayıtları zemin tepki analizlerinde dikkate alınmıştır.

Önerilen bu zemin profilleri ve deprem kayıtları ProSHAKE programında dikkate alınarak zemin tepki analizleri gerçekleştirilmiştir. Veri giriş sayfası örnek olarak Şekil 5.8’de belirtilmiştir.

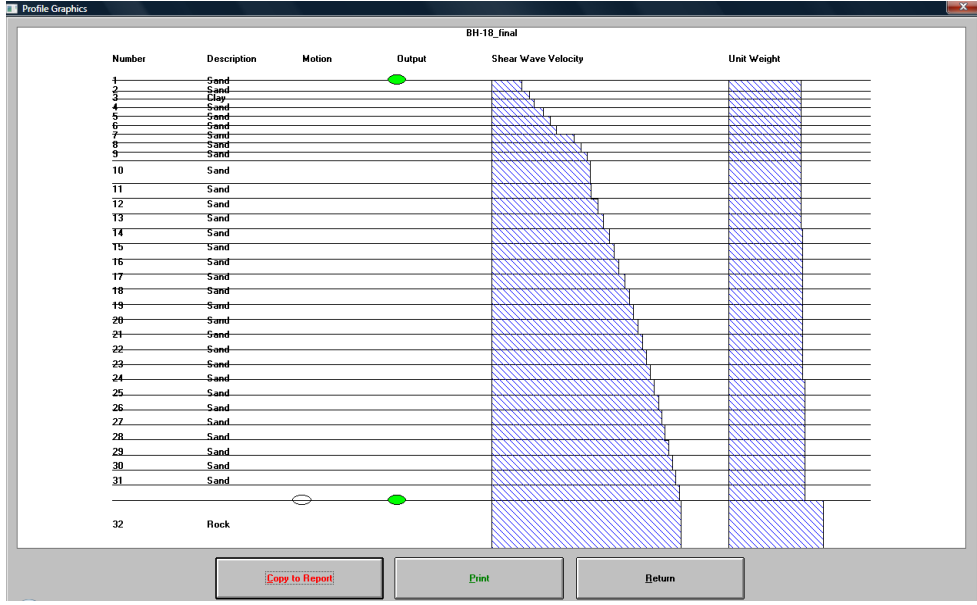
The screenshot shows the ProSHAKE Input Manager software interface. The window title is "ProShake Input Manager - C:\PROSHAKE\USER\KILIC\ZEMIN\GIRIS\DATA1". The interface includes a menu bar (File, Input Manager, Solution Manager, Output Manager, Help) and three main buttons: Profile, Input Motion, and Report. The Profile section is active, showing "Profile Title: BH-18_final", "No. of Layers: 32", and "Depth to Water Table: 6.6 ft 2.0 m". Below this is a "Summary Data" table with 32 columns. The table contains the following data:

Layer No	Material Name	Thickness (m)	Unit Weight (kN/m ³)	Gmax (MPa)	Vs (m/s)	Mod. Reduction Curve	Mod. Parameter	Damping Curve	Damping Parameter
1	Sand	3.5	19.0	28.5	122.0	ALSandf	1.9	ALSandD	1.9
2	Sand	2.5	19.0	44.8	152.0	ALSandf	5.1	ALSandD	5.1
3	Clay	3.0	19.0	56.0	170.0	ALClayf	7.8	ALClayD	7.8
4	Sand	3.0	19.0	83.0	207.0	ALSandf	10.8	ALSandD	10.8
5	Sand	3.0	19.0	106.1	234.0	ALSandf	13.8	ALSandD	13.8
6	Sand	3.0	19.0	128.0	257.0	ALSandf	16.8	ALSandD	16.8
7	Sand	3.0	19.0	212.3	331.0	ALSandf	19.8	ALSandD	19.8
8	Sand	3.0	19.0	248.3	358.0	ALSandf	22.8	ALSandD	22.8
9	Sand	3.0	19.0	287.2	385.0	ALSandf	25.8	ALSandD	25.8
10	Sand	7.7	19.0	300.8	394.0	ALSandf	31.2	ALSandD	31.2
11	Sand	5.0	19.0	306.9	388.0	ALSandf	37.5	ALSandD	37.5
12	Sand	5.0	19.0	348.3	424.0	ALSandf	42.5	ALSandD	42.5
13	Sand	5.0	19.0	387.1	447.0	ALSandf	47.5	ALSandD	47.5

At the bottom of the interface, there are buttons for "Select Output" and "View Profile", and a "Units" section with radio buttons for "U.S." and "S.I." (selected).

Şekil 5.8. ProSHAKE (v.1.12) programında veri girişi özet tablosu

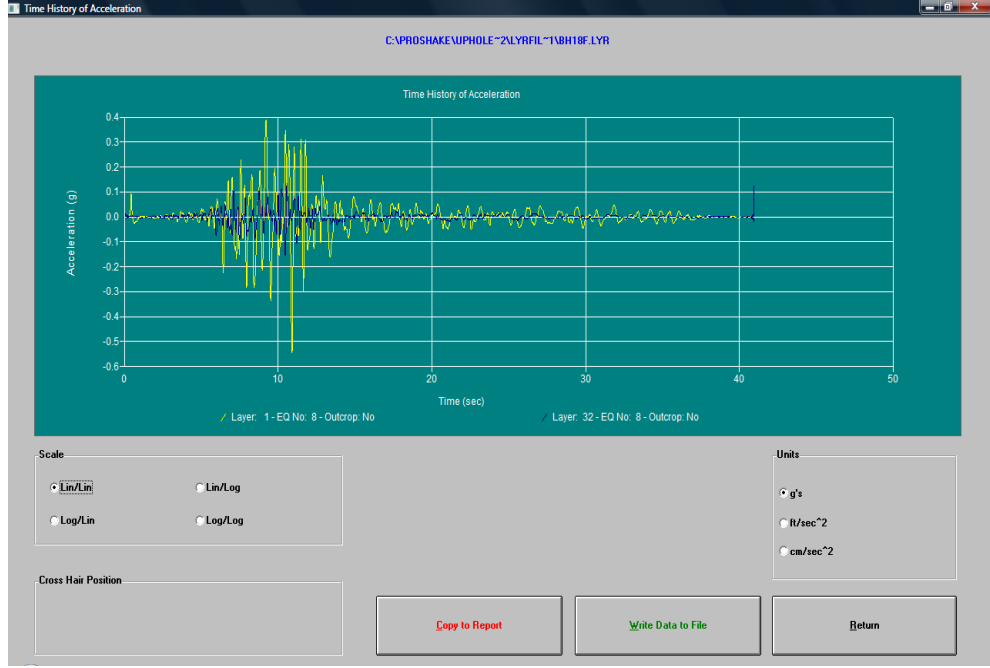
Buna ek olarak Şekil 5.9’da örnek bir zemin profilinin programdaki görüntüsüne yer verilmiştir. Deprem kaydının giriş sayfası ise Şekil 5.10’da gösterilmiştir.



Şekil 5.9. ProSHAKE (v.1.12) programında örnek bir zemin profili

Şekil 5.10. Deprem kayıtlarının her bir zemin profili için ProSHAKE (v.1.12) programında tanımlanması

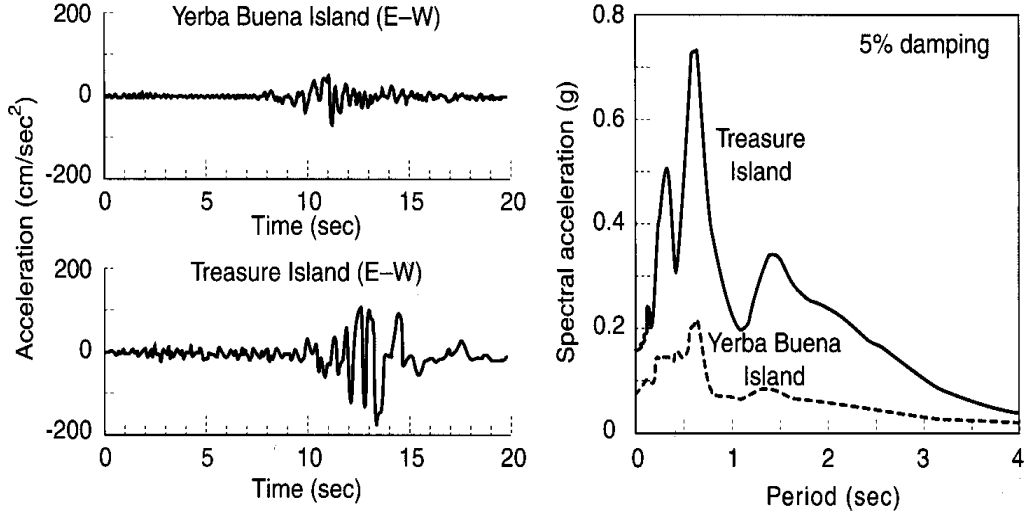
ProSHAKE çözüm kısmı çalıştırıldıktan sonra yüzey deprem kayıtları ve yanıt spektrumları grafik olarak elde edilebilir. Deprem kayıtlarındaki değişim Şekil 5.11’de gösterilmiştir. Sarı renkli deprem kaydı program çalıştıktan sonra elde edilen yüzey deprem kaydını temsil etmektedir. Mavi renkli kayıt ise programa tanıtılan ana deprem kayıtlarından birini göstermektedir.



Şekil 5.11. ProSHAKE (v.1.12) program çıktısı

5.4 Zemin Büyütmesi

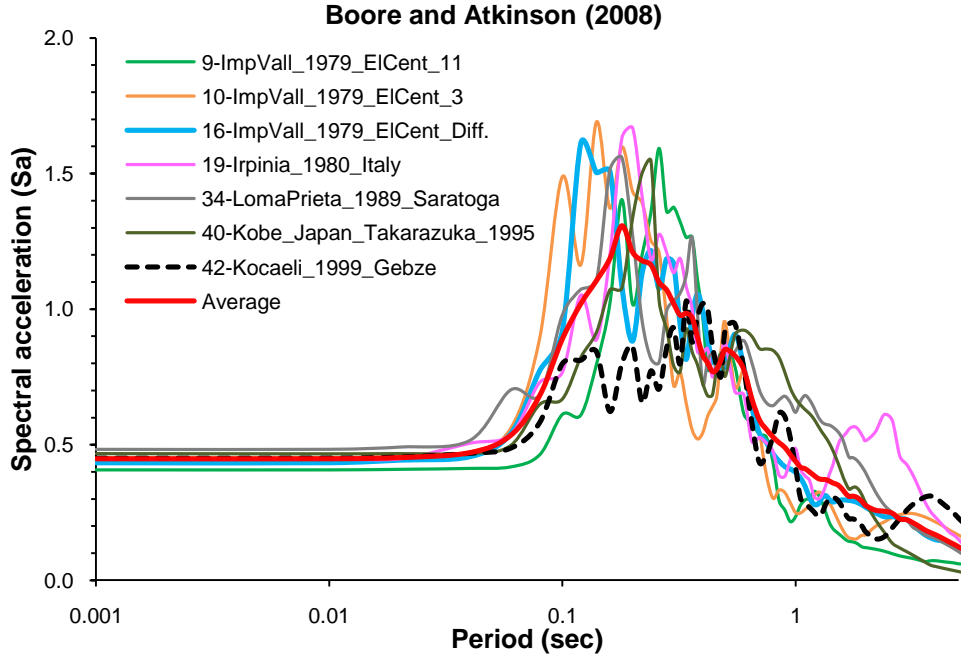
Zemin etkisi, zemin özellikleri ve yüzey topografyası ile yüzeyde meydana gelen hareketin etkilerinin ortaya çıkmasını kontrol eden mekanizmalardan biridir (Pitilakis, 2004). Deprem kaydında meydana gelen zemin büyütmesi Şekil 5.12’de gösterilmiştir.



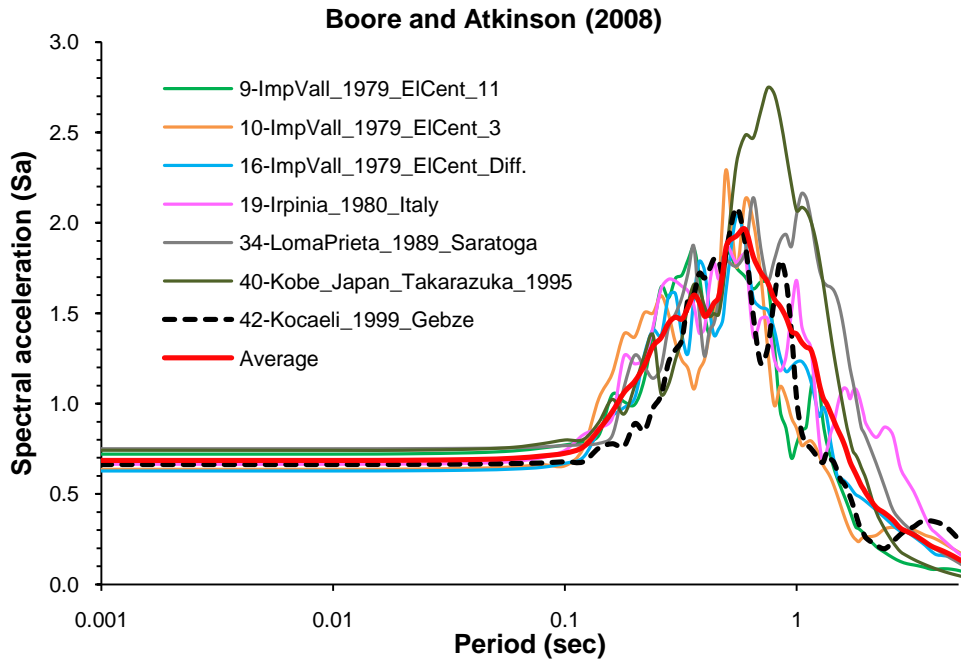
Şekil 5.12. 1989 Loma Prieta depremi sırasındaki zemin büyütmesi (Kramer 2009a'dan alınmıştır)

Şekil 5.12'de gösterilen 1989 Loma Prieta depremi ($M_w = 7.1$) episantrı 97 km uzaklıkta yer almaktadır. Yumuşak zemin koşulları anakayadan gelen deprem kaydını 2-3 kat daha fazla büyütüştür. Bu nedenle zemin büyütmesi, yerleşim alanındaki deprem kaynaklı hasarı kontrol eden önemli faktörlerden biridir. Bunlara bağlı olarak Erbaa'da zemin tepki analizleri gerçekleştirilmiştir. Bir boyutlu eş lineer model özelliğini dikkate alan ProSHAKE programı kullanılarak zemin tepki analizleri değerlendirilmiştir. Bunun yanında arazi ölçümü ve ampirik yaklaşımlardan elde edilen zemin büyütmesi değerleri de karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

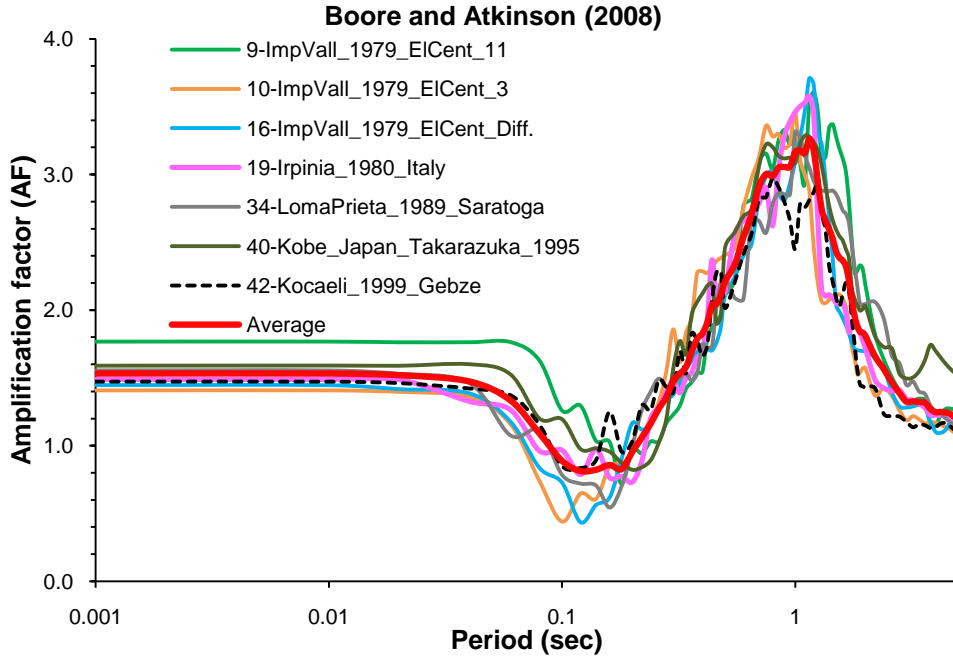
BH-4 için seçilen ve girdi için kullanılan deprem kayıtlarının dağılımı Şekil 5.13'de gösterilmektedir. Bunun yanında Şekil 5.14'te yüzeye ait olan deprem yanıt spektrumları verilmiştir. Bunlara bağlı olarak oransal olarak hesaplanan zemin büyütme oranları ise Şekil 5.15'te yer almaktadır.



Şekil 5.13. BH-4 için girdi yanıt spektrumları (Boore ve Atkinson, 2008 azalım ilişkisi modeli, 0 km mesafe için)



Şekil 5.14. BH-4 için yüzey yanıt spektrumları (Boore ve Atkinson, 2008 azalım ilişkisi modeli, 0 km mesafe için)



Şekil 5.15. BH-4 için zemin büyütme oranları (Boore ve Atkinson, 2008 azalım ilişkisi modeli, 0 km mesafe için)

Bunlara ek olarak BH-4 için ProSHAKE programı vasıtası ile elde edilen özet veri dağılım tablosu Çizelge 5.4' te gösterilmiştir.

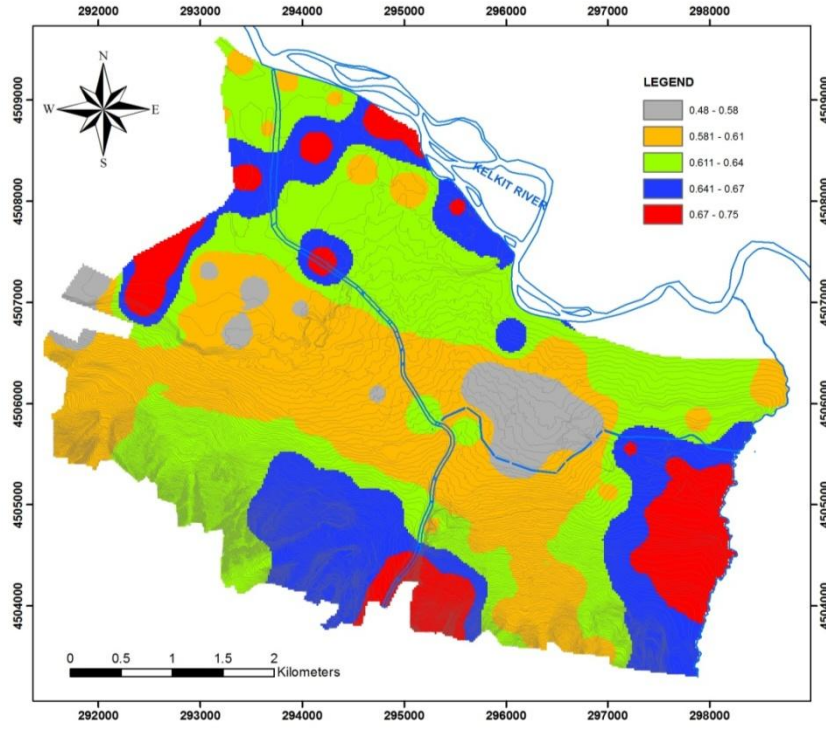
Çizelge 5.4. BH-4 için zemin yanıt analizleri

Deprem no	En büyük yüzey yatay yer ivmesi (g)		Zemin büyütme oranı	Baskın periyot (sec) (ProSHAKE'den)	Zemin büyütme oranı	Baskın periyot (sec) (ProSHAKE'den)
	BA08 Model	CB08 Model				
			BA08 Model	CB08 Model		
9	0.721	0.676	1.8	1.21	1.9	1.21
10	0.637	0.559	1.4	0.99	1.5	0.99
16	0.627	0.536	1.4	1.28	1.6	0.95
19	0.664	0.596	1.5	0.97	1.6	0.97
34	0.751	0.659	1.5	1.24	1.6	1.24
40	0.741	0.656	1.6	0.87	1.7	0.87
42	0.663	0.687	1.5	1.15	1.5	1.15
Ortalama	0.686	0.624	-	-	-	-

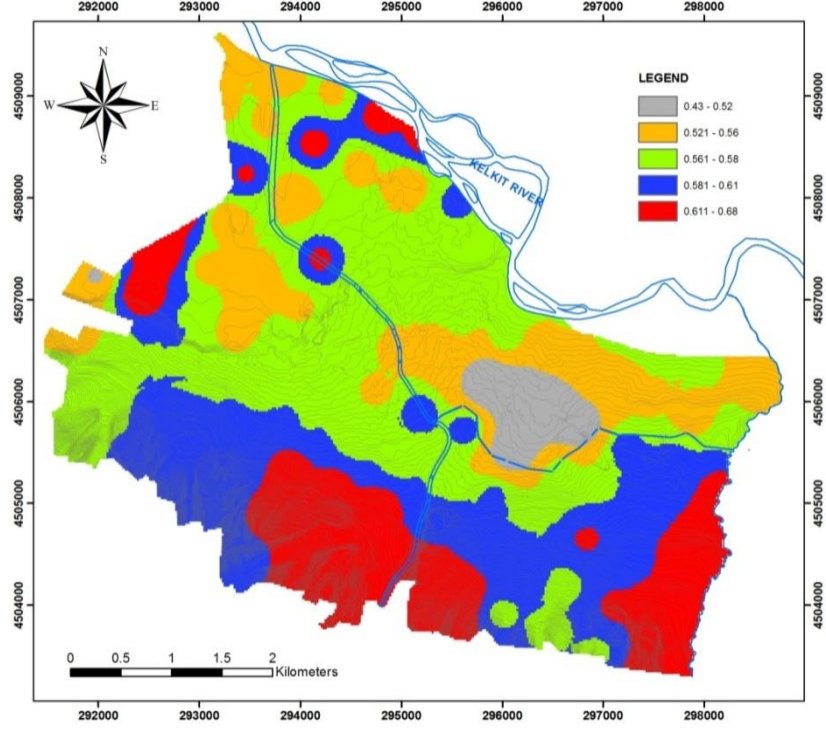
Çizelge 5.4' te görüldüğü gibi en büyük yatay yer ivmesi değerleri BH-4 için 0.34 ve 0.48 g değerleri arasında değişmektedir. Buna ek olarak baskın periyot değerleri ise 0.8 ile 1.2 saniye arasındadır. Zemin büyütme oranlarına bakıldığında BA08 modeli ile bulunan değerlerin CB08 model hesaplamalarına göre çok daha az olduğu görülmektedir. Aradaki bu ufak farklılık bu modellerde kullanılan parametre farklarında kaynaklanmaktadır. Örneğin, CB08 modeli yüzey kırığına en yakın olan

mesafeyi dikkate almaktadır. Ancak BA08 modeli yüzey kırığının yüzey projeksiyonuna olan en yakın uzaklığı göz önünde bulundurmaktadır.

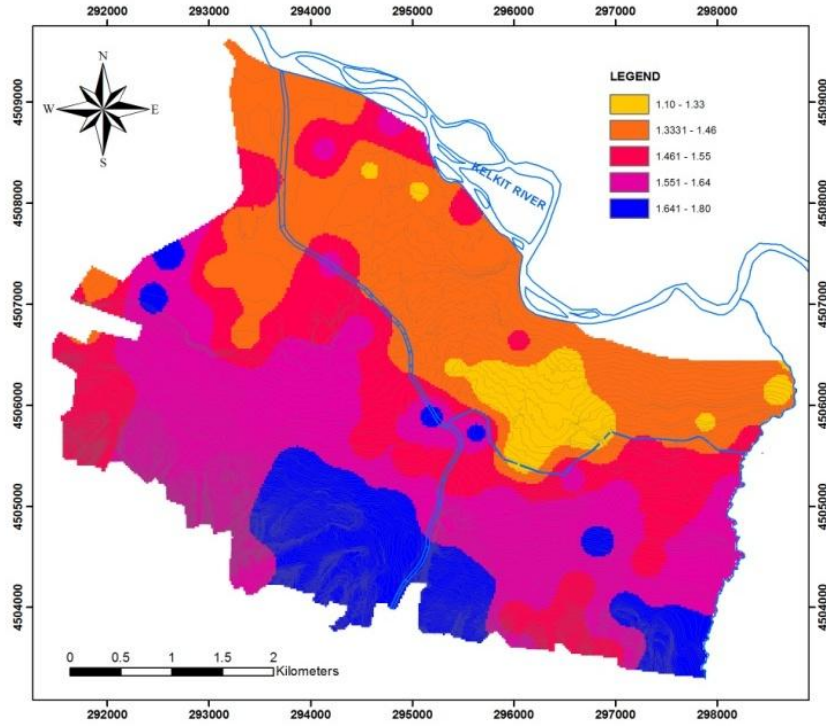
Yüzey kayıtlarından elde edilen en yüksek yatay yer ivmesi değerleri ile zemin büyütme oranlarının yer aldığı dağılımları gösteren haritalar ilgili şekillerde gösterilmiştir (Şekil 5.16, 5.17, 5.18 ve 5.19).



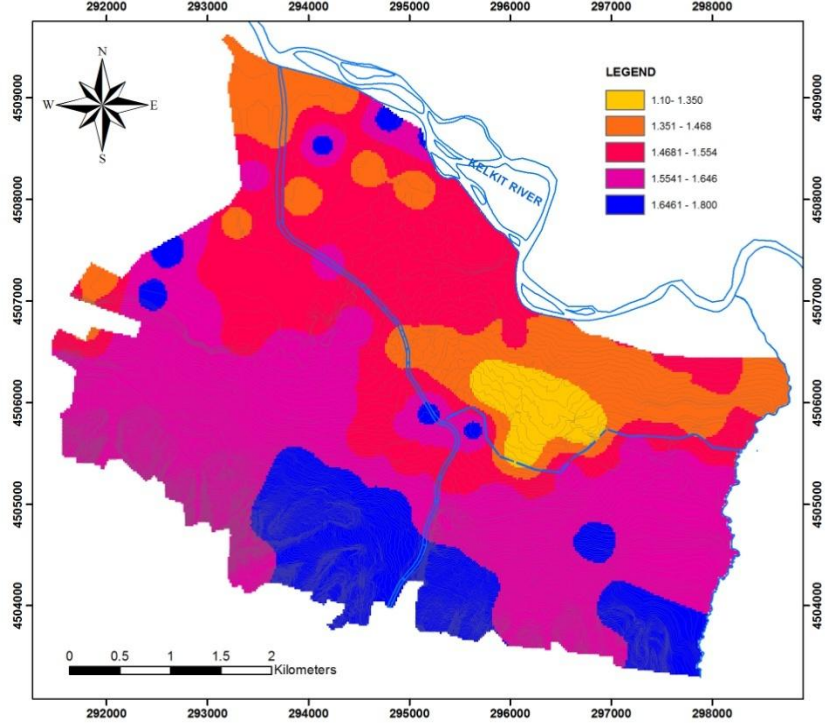
Şekil 5.16. BA 08 modeline göre yüzeydeki en büyük yatay yer ivmesi dağılımını gösterir harita



Şekil 5.17. CB 08 modeline göre yüzeydeki en büyük yatay yer ivmesi dağılımını gösterir harita



Şekil 5.18. Çalışma alanındaki zemin büyütmesi oranlarının BA 08 modeline göre dağılımını gösterir harita



Şekil 5.19. Çalışma alanındaki zemin büyütmesi oranlarının CB 08 modeline göre dağılımını gösterir harita

Zemin tepki analizlerinin yanında ampirik yaklaşımlarla elde edilen zemin büyütmesi değerleri çeşitli araştırmacılarca da incelenmiştir (Midorikawa, 1987; Joyner ve Fumal, 1984 ve Borcherdt vd., 1991). Bu araştırmacılarca önerilen eşitlikler Çizelge 5.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.5. Kesme dalga hızına bağlı önerilen zemin büyütme ampirik eşitlikleri

Araştırmacı	Eşitlik
Midorikawa (1987)	$A = 68V_1^{-0.6}$ ($V_1 < 1100\text{m/s}$)
	$A = 1$ ($V_1 > 1100\text{m/s}$)
Joyner ve Fumal (1984)	$A = 23V_2^{-0.45}$
Borcherdt vd. (1991)	$AHSA = 700/V_1$ (zayıf kayıtlar için)
	$AHSA = 600/V_1$ (güçlü kayıtlar için)

A: Zemin büyütme faktörü

AHSA: Ortalama yatay spektral zemin büyütme faktörü (0.4-2.0 saniye aralığındaki periyot değerleri için)

V_1 : 30 m derinlik için ortalama kesme dalgası hızı (m/s)

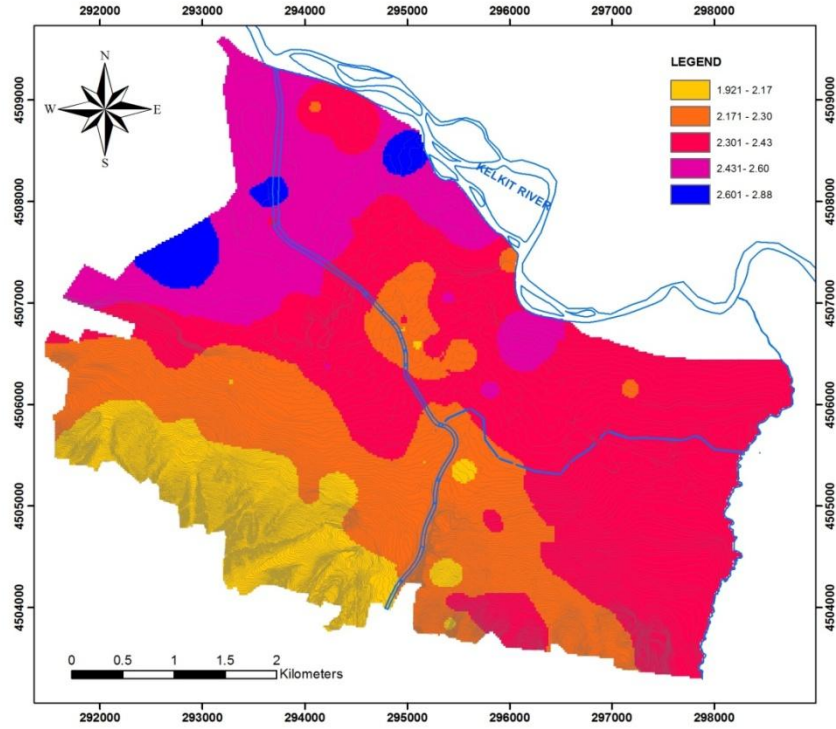
V_2 : bir çeyrek dalga boyu uzunluğu için ortalama kesme dalgası hızı (m/s)

Midorikawa (1987) tarafından önerilen eşitlik yardımı ile çalışma sahası için zemin büyütme oranları hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Çizelge 5.6' da gösterilmiştir. Bunun yanında hesaplanan zemin büyütme oranlarını dağılımı da çalışma sahası için haritaya aktarılmıştır (Şekil 5.20).

Çizelge 5.6. Midorikawa (1987)ye göre hesaplanan zemin büyütme oranları

BH- no	Zemin büyütme faktörü	BH- no	Zemin büyütme faktörü	BH- no	Zemin büyütme faktörü	BH- no	Zemin büyütme faktörü
1	2.59	27	2.46	53	2.11	79	2.09
2	2.30	28	2.57	54	2.44	80	2.36
3	2.38	29	2.41	55	2.33	81	2.26
4	2.88	30	2.41	56	2.27	82	2.29
5	2.48	31	2.34	57	2.27	83	2.26
6	2.83	32	2.42	58	2.17	84	2.23
7	2.53	33	2.26	59	2.21	85	2.02
8	2.81	34	2.40	60	2.32	86	1.94
9	2.45	35	2.32	61	2.26	87	2.27
10	2.43	36	2.53	62	2.38	88	2.33
11	2.40	37	2.56	63	2.19	89	2.38
12	2.05	38	2.44	64	2.12	90	2.40
13	2.31	39	2.40	65	2.27	91	2.21
14	2.21	40	2.43	66	2.17	92	2.06
15	2.31	41	2.33	67	2.09	93	2.27
16	2.34	42	2.39	68	2.09	94	2.23
17	2.35	43	2.28	69	2.19	95	2.50
18	2.59	44	2.52	70	2.26	96	2.47

19	2.45	45	2.42	71	1.92	97	2.53
20	2.42	46	2.33	72	2.06	98	2.56
21	2.41	47	2.28	73	2.23	99	2.53
22	2.38	48	2.43	74	2.26	100	2.51
23	2.28	49	2.32	75	1.97	101	2.53
24	2.39	50	2.16	76	2.03	102	2.53
25	2.36	51	2.20	77	2.23	103	2.47
26	2.20	52	2.38	78	2.15	104	2.52



Şekil 5.20. Midorikawa (1987) yöntemi kullanılarak elde edilen zemin büyütmesi dağılım haritası

Zemin büyütme faktörleri Stewart vd. (2003) yaklaşımına bağlı olarak da değerlendirilmiştir. Eşitlik 5.7’de Stewart vd. (2003) tarafından önerilen yaklaşım görülmektedir.

$$\ln (F) = a + b \ln (PHA_r) + \varepsilon \quad (5.7)$$

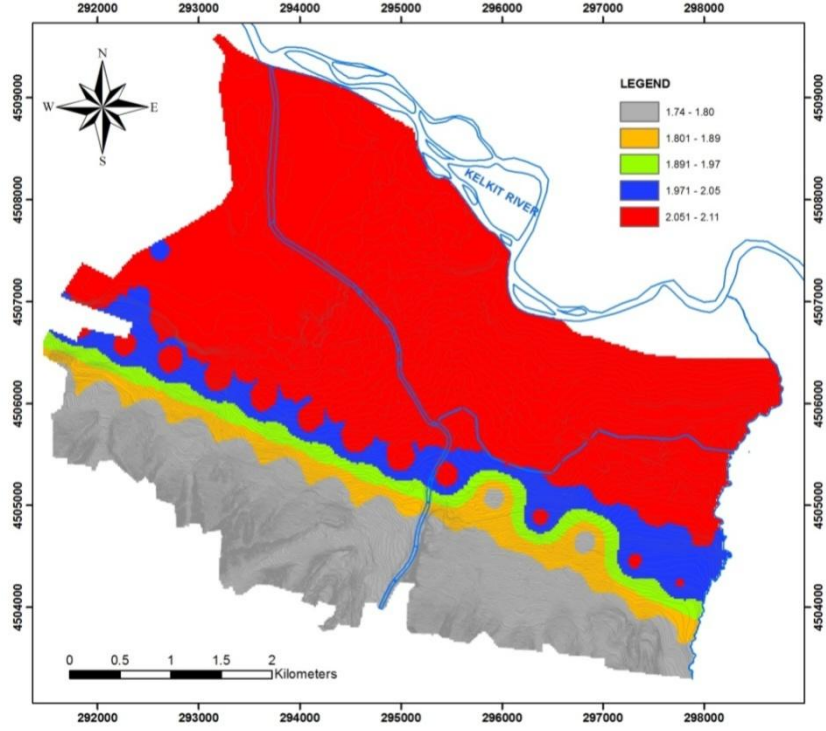
burada

a ve b : regresyon katsayıları

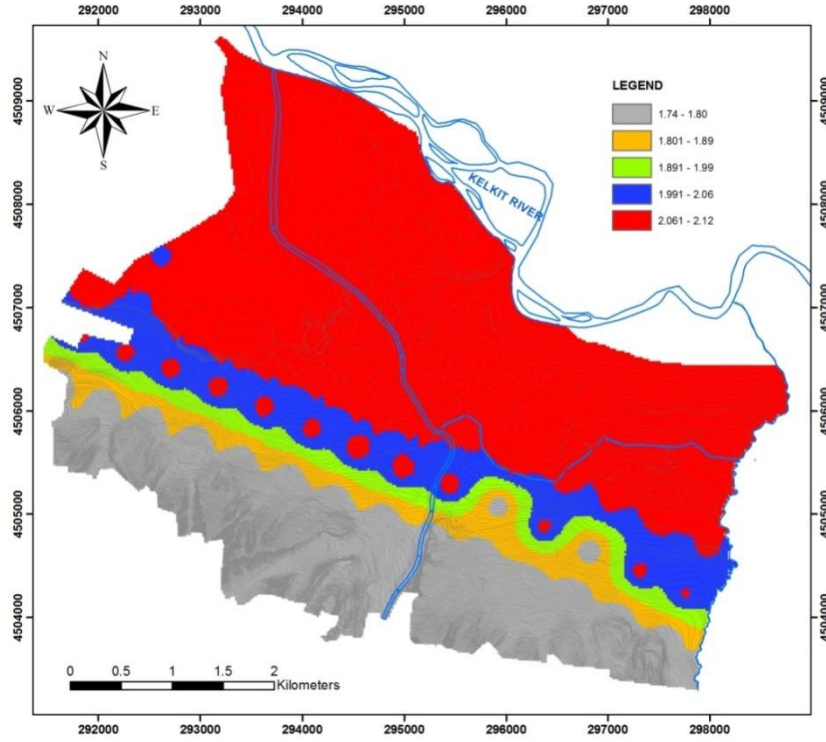
PHA_r: referans kaya koşulu için en büyük yatay yer ivmesi değeri

ε : hata sayısı (ortalama rezidüel değer için sıfır alınmıştır)

İlgili eşitlik dikkate alınarak hesaplanan zemin büyütme değerleri BA08 ve CB08 modelleri için haritalanmıştır. Jeoteknik sınıflama katsayıları dikkate alınarak elde edilen haritalar Şekil 5.21 ve Şekil 5.22’de gösterilmiştir.

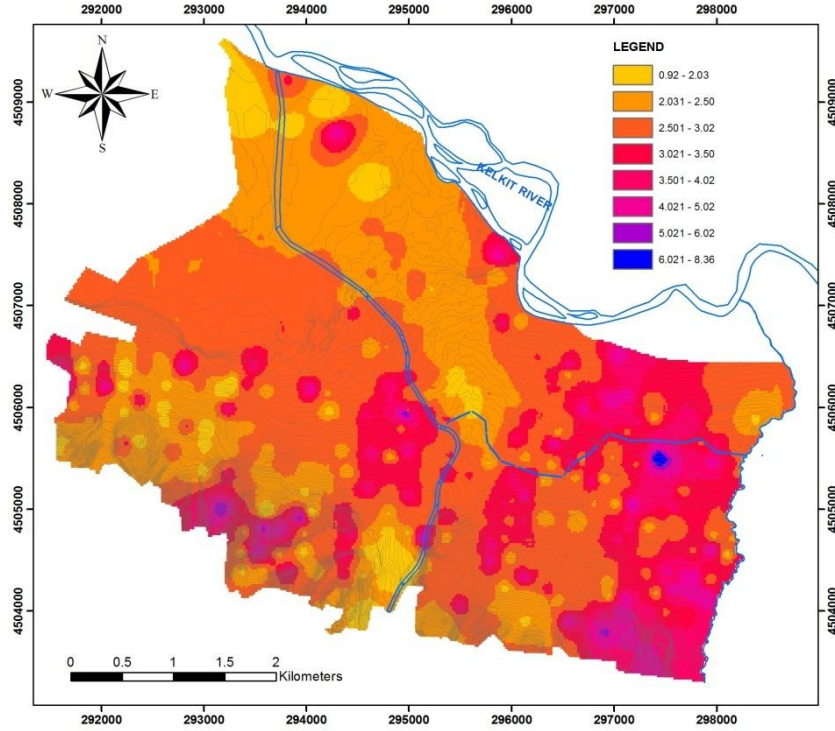


Şekil 5.21. Jeoteknik sınıflama dikkate alınarak elde edilen zemin büyütmesi haritası (BA08 modeli için)

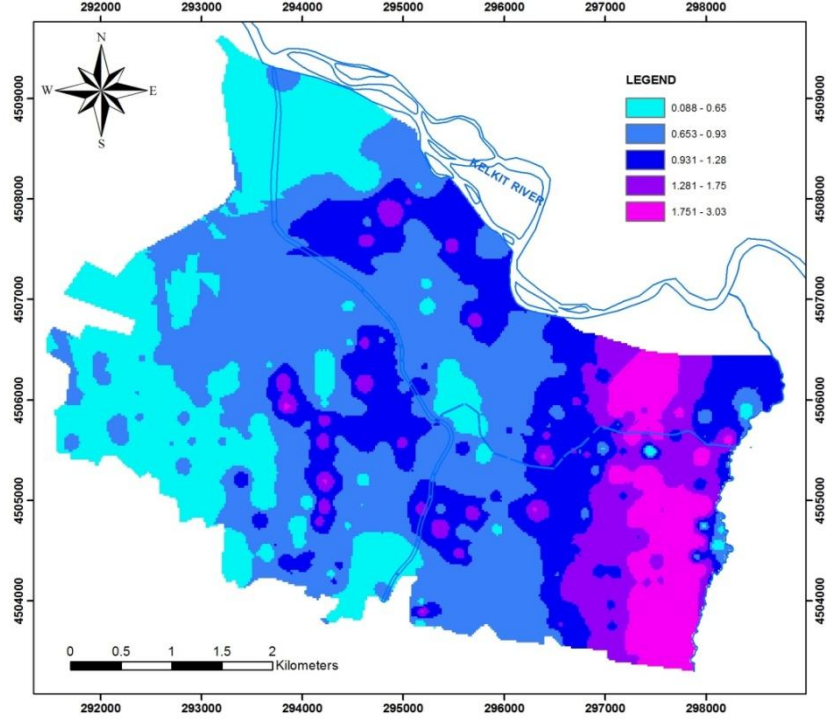


Şekil 5.22. Jeoteknik sınıflama dikkate alınarak elde edilen zemin büyütmesi haritası (CB08 modeli için)

Önceki bölümlerde de yer verildiği gibi arazide yapılan mikrotremör ölçümleri zemin büyümesi açısından değerlendirilmiştir. Dikmen vd. (2009) tarafından 517 noktada mikrotremör ölçümü mevcuttur. Bu ölçüm noktalarına ait alanlar yeniden haritalanmış ve Erbaa için zemin büyüme ve baskın periyot haritaları elde edilmiştir (Şekil 5.23 ve 5.24).



Şekil 5.23. Mikrotremör sonuçlarına göre elde edilen zemin büyümesi haritası



Şekil 5.24 Mikrotremör sonuçlarından elde edilen baskın periyot dağılımını gösteren harita

Zemin büyütme oranları ve baskın saha periyotları farklı yöntemler dikkate alınarak karşılaştırılmıştır. Öncelikle, farklı methotlardan elde edilen zemin büyütme değerleri karşılaştırılarak, karşılaştırma özet tablosu şeklinde Çizelge 5.7'de sunulmuştur.

Çizelge 5.7. Zemin büyütme ve baskın periyotlarının karşılaştırmalı tablosu

Metotlar		Zemin büyütmesi		Baskın periyot	
		En düşük	En büyük	En düşük	En büyük
Bir boyutlu lineer tabanlı (ProSHAKE v.1.12)	BA08 model	1.1	1.8	0.5	2.18
	CB08 model	1.1	1.8	0.5	1.95
V _s 'e bağlı yapılan hesaplamalar (Midorikawa, 1987)	-	1.92	2.88	-	-
Mikrotremör ölçümleri	-	0.92	8.36	0.08	3.03
(Jeoteknik sınıflamaya göre)					
Stewart vd. (2003) Zemin büyütme faktörleri	BA08 model	1.74	2.11	-	-
	CB08 model	1.74	2.12	-	-

Bunlara ek olarak üretilen haritalar da incelenmiştir. Bu karşılaştırmalara bağlı olarak mikrotremör ölçümlerinden elde edilen zemin büyütmesi değerlerinin diğer metotlardan elde edilenlere oranla daha yüksek sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Genelde 2.4 ile 4.2 kat zemin büyütme oranlarının çalışma alanında olabileceği dikkate alınarak mikrotremör değerleri farklı periyot değerleri için gözönünde bulundurulmalıdır. Bunun yanında Stewart vd. (2003) zemin büyütme faktörlerinden elde edilen büyütme oranları 1.5 ile 2.2 arasında değişmektedir. Arazideki yüzey koşulları dikkate alındığında jeoteknik sınıflamaya dayalı olarak elde edilen zemin büyütme oranları bu açıdan kabul edilebilir düzeyde sonuçlar vermektedir. Ancak farklı yapılardaki büyütme etkisini dikkate alabilmek için farklı periyotlardaki büyütme oranları mutlaka dikkate alınmalıdır. Zemin şartları dikkate alındığında bir boyutlu zemin tepki analizlerinden elde edilen sonuçlarla Stewart vd. (2003)'ten elde edilen sonuçlar uyumluluk göstermektedir.

6. SIVILAŞMA VE SIVILAŞMA SONRASI ETKİLER

6.1 Giriş

Sıvılaşma, deprem sonrası oluşan yüksek boşluk suyu basınçları ve bu suların yüzeye hareketi sırasında kumun sıvı hale geçmesi ile meydana gelir. Bu olay, aynı zamanda gevşek, doygun kumlarda sıkılığın ve dayanımın geçici olarak kaybolmasına neden olur. Geçmişte de birçok örnekte yaşandığı gibi, örneğin 1999 Kocaeli depreminde Adapazarı'nda, sıvılaşma, deprem ve deprem sonrasında ciddi hasarlar oluşturur. Sıvılaşma tanımı ilk olarak 1930'ların sonlarında Casagrande tarafından ortaya atılmıştır (Day, 2002). 19. yüzyılın ortalarına doğru sıvılaşma ve etkileri birçok araştırmacı tarafından iki önemli deprem sonrası çalışılmıştır. Bu depremler, 1964 yılındaki Alaska ve yine 1964 yılı içinde meydana gelen Niigata depremleridir. Her iki deprem de sıvılaşma açısından oldukça önemli veriler sunmuşlardır (Kramer, 1996). Daha yakın zamandaki 1995 Kobe ve 1999 Kocaeli depremlerinde de birçok yapı sıvılaşma ve sıvılaşma sonrası etkilere maruz kalmıştır.

Proje alanlarındaki sıvılaşma etkileri olası depremler ve yerel koşullar göz önüne alınarak belirlenmelidir. Literatürde, bir bölgedeki sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesine yönelik birçok yöntem önerilmiştir (Seed ve Idriss, 1971; 1983; Seed vd., 1985; 2001; Poulos vd., 1985; NCEER, 1997; Youd ve Noble, 1997; Youd vd., 2001; Kramer, 1996; Cetin, 2000; Cetin vd., 2004; Idriss ve Boulanger, 2006). Sıvılaşmaya karşı dayanımın belirlenmesinde bu yöntemler çoğunlukla SPT, CPT veya V_s ölçümlerini dikkate almaktadırlar. SPT, pratik ve ucuz bir deney olması bakımından en yoğun tercih edilen yöntemdir. Ayrıca mühendislik uygulamalarında da, bu deney üzerinde oldukça fazla tecrübe edinilmiştir. Ancak, CPT'ye (Robertson ve Wride, 1998; Toprak vd., 1999; Juang vd., 2003; Olsen, 1984; 1997; Moss, 2003; Moss vd., 2006) ve V_s 'e (Andrus ve Stokoe, 1997; 2000) dayalı yöntemler de oldukça önemli avantajlara sahip olup, son yıllarda yaygınlık kazanmaktadırlar.

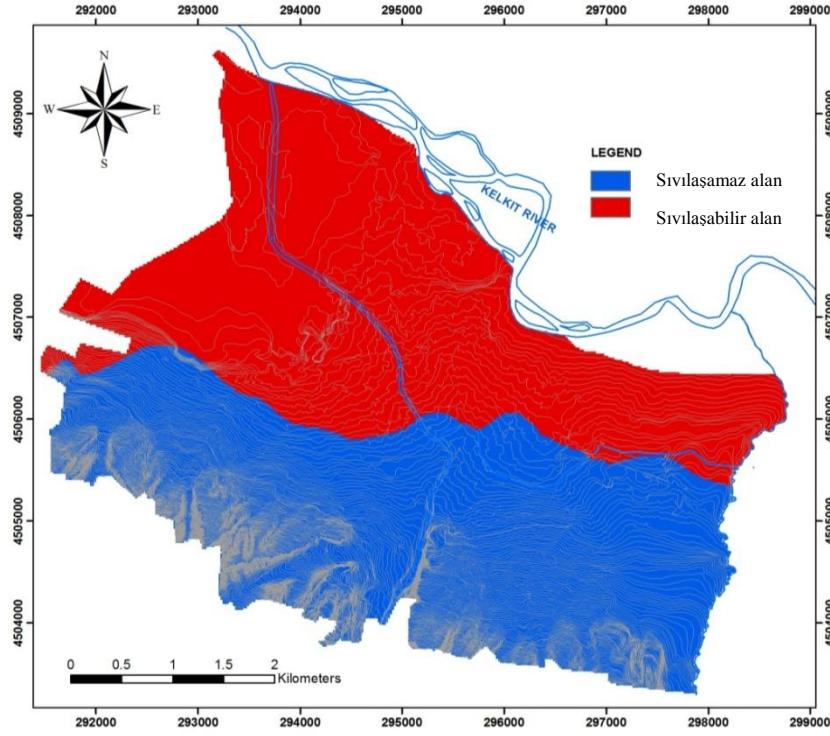
Erbaa'da sıvılaşma ve sıvılaşma sonrası etkilerin belirlenmesi için mevcut veriler kullanılarak sıvılaşma potansiyeli olan seviyeler değerlendirilmiştir (Akın ve Topal, 2008a; 2008b). Öte

yandan, sıvılaşma sonrası duraylılık ve deformasyonlar da (yanal yayılma ve sıvılaşma sonrası oturma) ortaya konmuştur. Sıvılaşmaya yatkın seviyeler, başlangıç mekanizmaları ve sıvılaşma sonrası etkiler, Kramer (2008) ve Huang (2008) tarafından geliştirilen “WSliq” isimli bilgisayar programı yardımıyla hesaplanmıştır.

6.2 Erbaa Zeminlerinin Sıvılaşmaya Karşı Duyarlılığının Belirlenmesi

Bir bölgenin sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi sırasındaki ilk aşama sıvılaşmaya duyarlı zeminlerin ve arazi koşullarının değerlendirilmesidir. Bu amaçla, öncelikle WSliq programı yardımıyla Erbaa zeminlerinin sıvılaşmaya karşı duyarlılığı belirlenmiştir. İnceleme alanındaki zeminlerin SPT-N, birim hacim ağırlık, ince tane oranı vb. gibi özellikleri ve yeraltısuyu derinlikleri adı geçen programın veritabanına girilmiştir. Sıvılaşmaya duyarlı zeminler, Boulanger ve Idriss (2005) ve Bray ve Sancio (2006) metotları kullanılarak değerlendirilmiştir. Buna göre, Erbaa'daki sıvılaşma olasılığı olan seviyeler her bir sondaj kuyusu bazında incelenmiştir. İnceleme alanı için elde edilen sıvılaşmaya karşı duyarlılık haritası Şekil 6.1'de sunulmuştur.

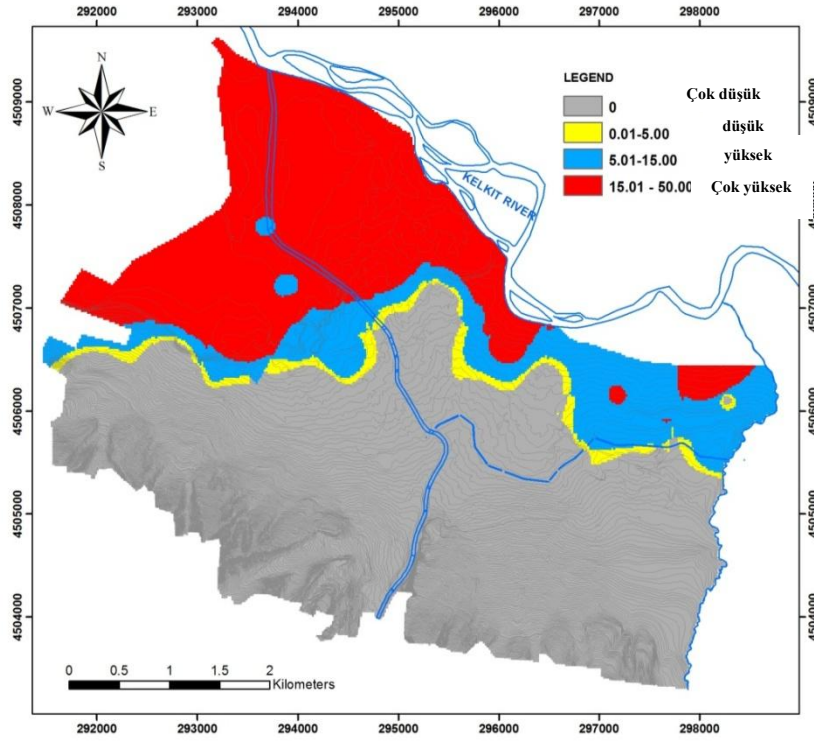
Şekil 6.1'de sunulan haritada sıvılaşmaya duyarlı bölgeler çoğunlukla inceleme alanının kuzeybatı bölümlerini içermektedir. Diğer bir ifadeyle bu bölgelerde sıvılaşma olasılığı olan seviyeler bulunmaktadır.



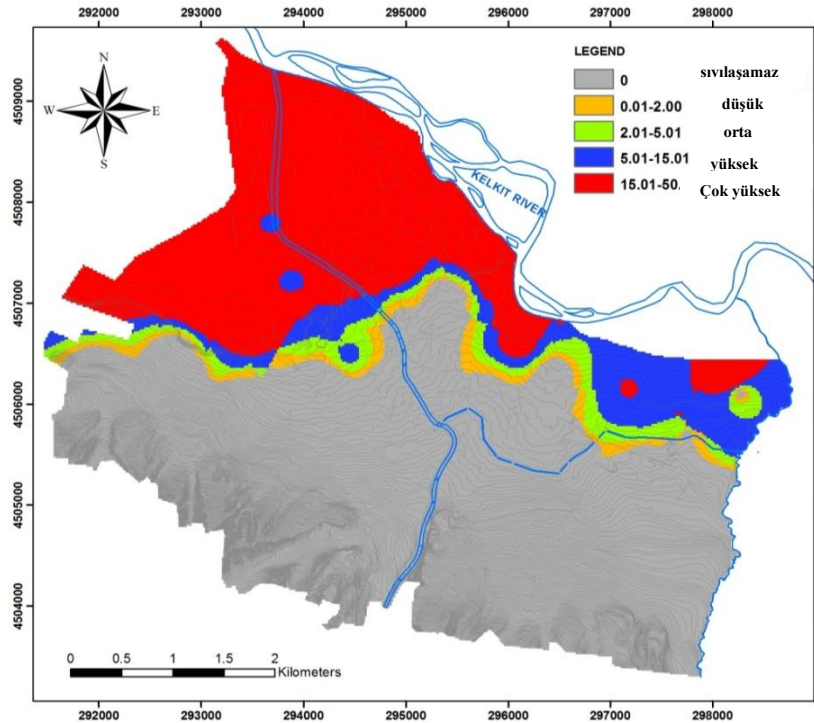
Şekil 6.1. İnceleme alanının sıvılaşmaya karşı duyarlılık haritası

6.3 Erbaa Zeminlerinin Sıvılaşma Potansiyelinin Belirlenmesi

Erbaa zeminlerinin sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi için Iwasaki vd. (1982) ve Sönmez (2003) tarafından önerilen yöntemler kullanılmıştır. İlk olarak, Idriss ve Boulanger (2008) metodu ile her bir sondaj kuyusundaki sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı (FS) belirlenmiştir. Bu işlem sırasında, her bir kuyu için yer tepki analizlerinden elde edilen farklı en büyük yatay yer ivmesi kullanılmıştır. Diğer bir deyişle, sıvılaşma analizlerinde tüm inceleme alanı için tek bir ivme değeri yerine her bir sondaja ve/veya kareyaj sistemine özel yatay ivme değerleri göz önünde bulundurulmuştur. Öte yandan, daha önceden de tartışıldığı gibi, analizlerde en büyük olası deprem büyüklüğü olarak 7.2 alınmıştır. Sonuç olarak, sıvılaşma potansiyeli indeksi (LPI) değerleri Iwasaki vd. (1982) ve Sönmez (2003) yöntemleri ile hesaplanmıştır. İnceleme alanının iki farklı yöntemden elde edilen sonuçlara göre hazırlanmış sıvılaşma potansiyeli haritası Şekil 6.2 ve 6.3'de gösterilmektedir.



Şekil 6.2. İnceleme alanının Iwasaki vd. (1982) LPI yöntemine göre hazırlanmış sıvılaşma potansiyeli haritası



Şekil 6.3. İnceleme alanının Sönmez (2003) LPI yöntemine göre hazırlanmış sıvılaşma potansiyeli haritası

Iwasaki vd. (1982) yöntemine göre hazırlanmış sıvılaşma potansiyeli haritasında gri renkli bölgeler, LPI değerlerinin oldukça düşük olduğu zonları işaret etmektedir. Ancak, bu durumda sıvılaşmaya duyarlı olmayan Pliyosen birimlerinin de düşük sıvılaşma potansiyeline sahip olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır ki bu pek mantıklı gözükmemektedir. Öte yandan, Sönmez (2003) yöntemine göre hazırlanmış sıvılaşma potansiyeli haritasında aynı gri renkli bölgeler sıvılaşmayan zonda yer almaktadır. Bunların yanı sıra, her iki yöntem de inceleme alanının kuzeybatısında Kelkit Nehri boyunca yayılım gösteren gevşek alüvyon birimi için (kırmızı bölge) yüksek sıvılaşma potansiyeli olduğunu göstermektedir.

6.4 Sıvılaşma Sonrası Etkiler

Sıvılaşma yapılarında önemli derecede kalıcı deformasyonların meydana gelmesine neden olabilir. Sıvılaşmanın etkisi zeminin özelliklerine ve deprem büyüklüğüne bağlıdır. Bu nedenle, sıvılaşma sonrası etkilerin ortaya konması sıvılaşmaya bağlı deformasyonların derecesinin de belirlenmesine yardımcı olur. Sıvılaşma sonucunda oturma, gömülme (batma), taşıma gücü kaybı, yanal yayılma ve heyelan türü problemler gözlenebilir. Bunlardan yanal yayılma ve sıvılaşma sonrası meydana gelen oturma yapılarında kalıcı deformasyona neden olan en önemli iki unsurdur.

6.4.1 Yanal yayılma

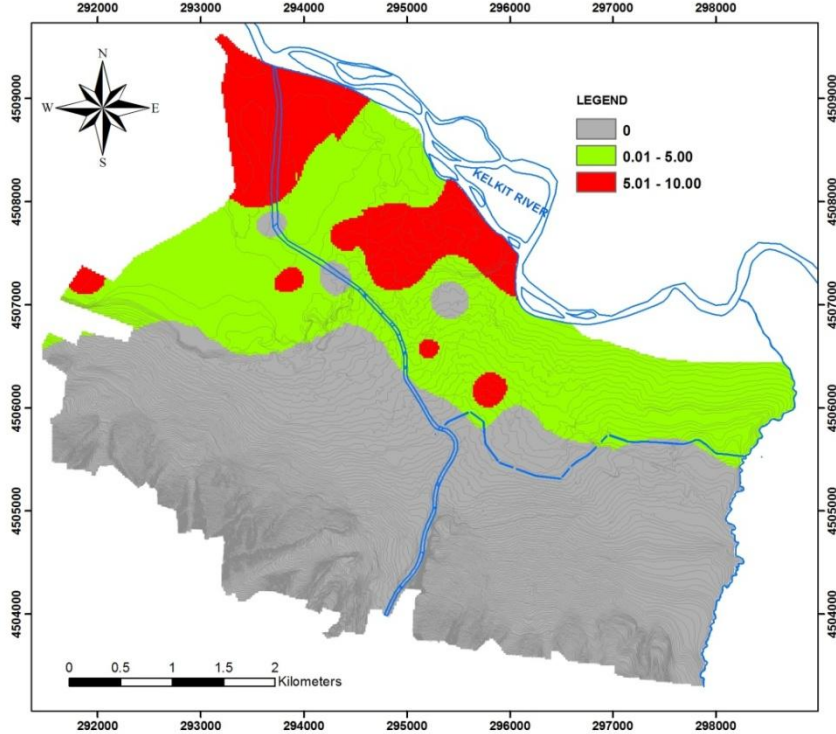
Sıvılaşmaya bağlı olarak meydana gelen yanal yayılma, depremler sırasında can ve mal kaybına neden olan en önemli mekanizmalardan bir tanesidir. Yanal yayılma düşük eğime sahip arazilerde ve doğal veya yapay şevlere yakın alanlarda oluşabilir. Yanal yayılma, önemli kalıcı deformasyonlara yol açar ve yanal yayılmayı takiben akma türü kaymalar, oturmalar ve kum kaynamaları gözlenebilir. Bunların yanı sıra, nehir veya deniz kenarlarındaki yarmalar ile yol yarmaları gibi açık bir şev yüzeyine sahip düşük eğimli arazilerde yanal yayılma meydana gelebilir.

Mikrobölgeleme çalışmalarında yanal yayılma potansiyeline sahip alanlar mutlaka belirlenmelidir. Bu amaçla, birçok araştırmacı yanal yayılma potansiyelini belirlemeye yönelik çeşitli araştırmalar gerçekleştirmişlerdir (Bray vd., 2001; Cetin vd., 2002; Aydan vd., 2004; Kanıbir vd., 2006; Sönmez vd., 2008; Sönmez ve Ulusay, 2008; Youd vd., 2009).

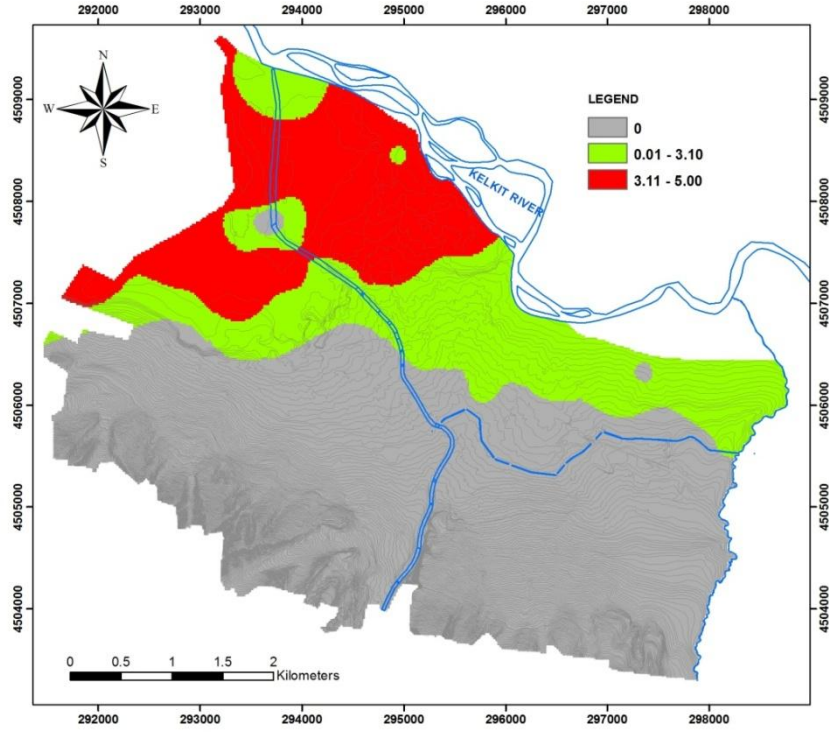
Sıvılaşma sonrası gözlenen yanal yayılmanın belirlenebilmesi amacıyla sayısal modeller, laboratuvar deneyleri ve yerinde deney metotlarından faydalanılmaktadır. Literatürde önerilen sayısal modellerde yer eğimi ve sıvılaşabilir zemin kalınlığı kullanılmaktadır (Hamada, 1999; Bardet vd., 1999; Youd vd., 2002; Zhang vd., 2004; Kramer ve Baska, 2006; Idriss ve Boulanger, 2008). Bu çalışmada kullanılan WSliq bilgisayar programında yanal yayılmanın hesaplanabilmesi için Youd vd. (2002), Kramer ve Baska (2006) ve Idriss ve Boulanger (2008) yöntemleri dikkate alınmaktadır.

6.4.2 Erbaa zeminleri için yanal yayılmanın değerlendirilmesi

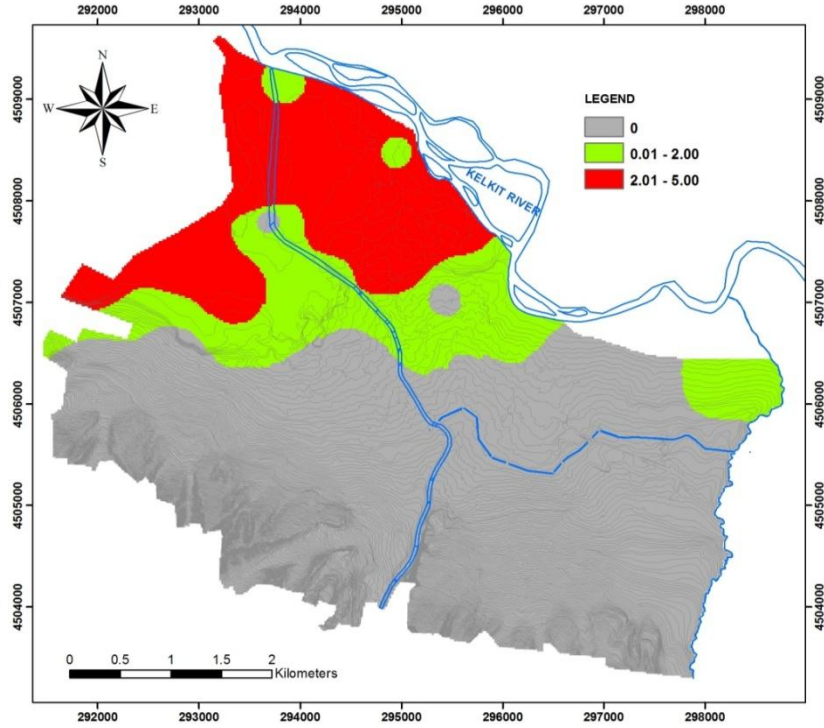
Yanal yayılma yer yüzeyinde önemli ve hasar verici derecede yanal deplasmanlara sebep olabilir. Bu nedenle Erbaa zeminlerinde yanal yayılma kaynaklı kalıcı deformasyonlar yukarıda bahsedilen üç ayrı yöntem yardımıyla WSliq programında değerlendirilmiştir. Üç ayrı yöntemden elde edilen sonuçlardan inceleme alanına ait yanal yayılma potansiyeli haritaları hazırlanmıştır (Şekil 6.4, 6.5 ve 6.6).



Şekil 6.4. İnceleme alanının Youd vd. (2002) yöntemine göre hazırlanmış yanal yayılma haritası (yanal yayılma metre cinsinden)



Şekil 6.5. İnceleme alanının Kramer ve Baska (2006) yöntemine göre hazırlanmış yanıl yayılma haritası (yanıl yayılma metre cinsinden)



Şekil 6.6. İnceleme alanının Idriss ve Boulanger (2008) yöntemine göre hazırlanmış yanıl yayılma haritası (yanıl yayılma metre cinsinden)

Şekil 6.4, 6.5 ve 6.6’da sunulan haritalar olası yanal yayılma deformasyonlarının miktarlarını göstermektedir.

Youd vd. (2002) yöntemine dayalı olarak hazırlanan haritada, özellikle Kelkit Nehri’ne yakın olan kesimlerde, en büyük yanal yayılma yer değiştirmesi 10 m’ye kadar ulaşabilmektedir. Kramer ve Baska (2006) ve Idriss ve Boulanger (2008) yöntemleri ise Erbaa’daki aynı bölgeler için en büyük 5 m civarında bir yanal yayılma yer değiştirmesini işaret etmektedir. Sonuç olarak, yanal yayılma analizleri göz önünde bulundurulduğunda, inceleme alanının kuzeybatı kesimleri diğer tüm bölgelere oranla çok daha yüksek bir yanal yayılma potansiyeline sahiptir. Elde edilen yanal yayılma haritaları, inceleme alanına ait nihai sıvılaşma potansiyeli haritasının hazırlanmasında dikkate alınmıştır.

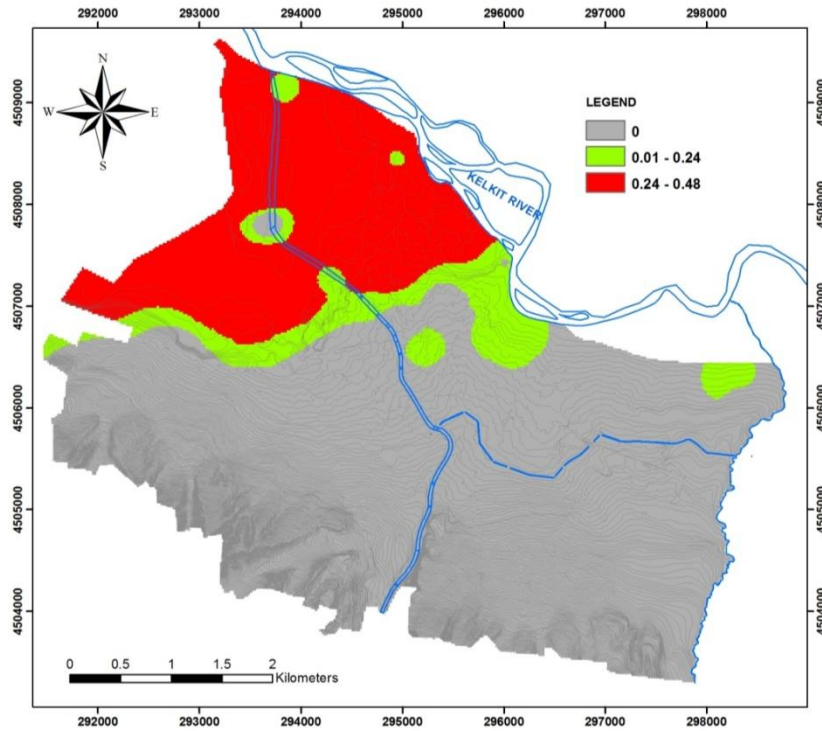
6.4.3 Sıvılaşma sonrası oturma

Sıvılaşma sonrası etkiler arasında en önemli sırayı alan diğer bir kalıcı deformasyon ise sıvılaşma olayının ardından meydana gelen düşey oturmalar. Kum kaynamasına bağlı olarak zeminlerin taşıma güçlerini kaybetmeleri sonucunda meydana gelen oturmalar neticesinde yapılar zemin içerisine gömülürler. Sıvılaşma kaynaklı düşey oturmalar köprülere, dayanma yapılarına ve sığ temellere zarar verebilirler. Literatürde, söz konusu oturmaların yapılara olan olası etkileri çeşitli yöntemlerle modellenmeye çalışılmıştır. Bu tür modeller çoğunlukla laboratuvar deney sonuçlarına veya depremler sonrası gözlenen arazi modellerine dayanmaktadır. Oturmanın tahmininde kullanılan mevcut Tokimatsu ve Seed (1984), Ishihara ve Yoshimine (1992), Shamoto vd. (1998), Wu ve Seed (2004) yöntemleri çoğunlukla yarı-ampirik modellerdir. Öte yandan Cetin vd. (2009) tarafından son olarak geliştirilmiş yöntem düşey oturmaları probabilistik (olasılıksal) yaklaşımla değerlendirmektedir.

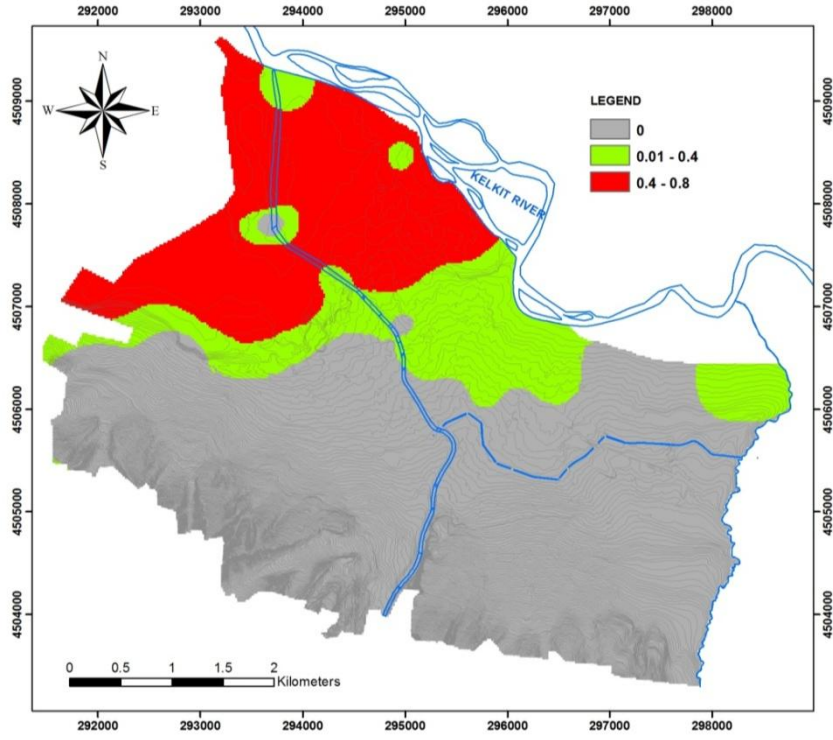
6.4.4 Erbaa zeminleri için sıvılaşma sonrası oturmaların değerlendirilmesi

Oturmaların hesaplanmasında kullanılan WSliq programı, Tokimatsu ve Seed (1984), Ishihara ve Yoshimine (1992), Shamoto vd. (1998) ve Wu ve Seed (2004) yöntemlerini dikkate almaktadır. Erbaa zeminlerinde sıvılaşma sonrası oluşabilecek olası oturma problemleri de WSliq programındaki mevcut yöntemlerle hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda dört farklı yöntem dayalı olarak hazırlanmış haritalar Şekil 6.7, 6.8, 6.9 ve 6.10’da verilmiştir.

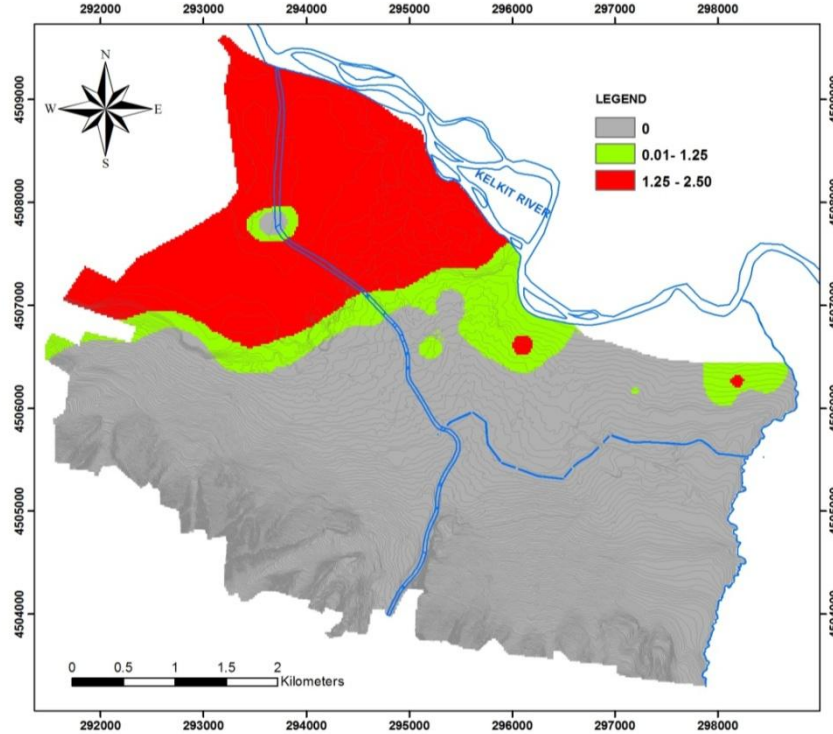
Düsey oturmalar için dört farklı yöntemle hazırlanmış haritalar değerlendirildiğinde en yüksek oturma değerlerinin Shamoto vd. (1998) yönteminden elde edildiği görülmektedir. Adı geçen metot, inceleme sahasının kuzeybatı kesimleri için en fazla 2.5 m'lik bir oturma öngörmektedir. Öte yandan, Tokimatsu ve Seed (1984) yöntemi ile aynı bölge için oturma değeri en fazla 0.48 m bulunmuştur. Diğer iki yöntem (Ishihara ve Yoshimine, 1992 ve Wu ve Seed, 2004) birbirine benzer olarak inceleme sahasının kuzeybatısı için 0.7 ve 0.8 m oturma değerleri sunmuştur. Elde edilen ampirik sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, Erbaa'nın kuzeybatısında yer alan alüvyon birimleri sıvılaşma sonrası yüksek oturma riski taşımaktadır. Öte yandan, elde edilen sıvılaşmaya bağlı oturma haritaları, inceleme alanına ait nihai sıvılaşma potansiyeli haritasının hazırlanmasında farklı ağırlık değerleri atanarak dikkate alınmıştır.



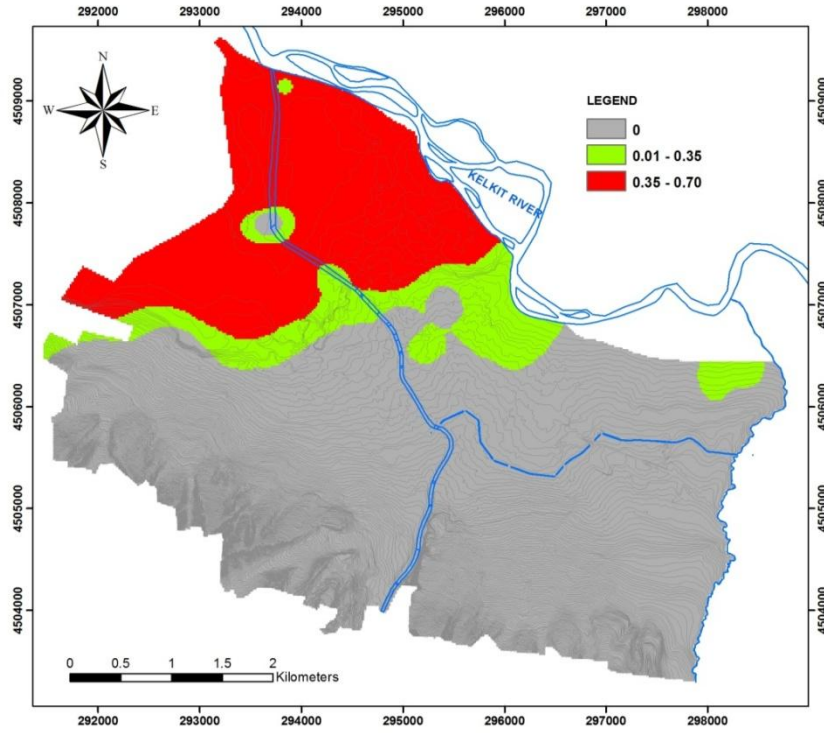
Şekil 6.7. İnceleme alanının Tokimatsu ve Seed (1984) yöntemine göre hazırlanmış sıvılaşma sonrası olası oturma haritası (oturma metre cinsinden)



Şekil 6.8. İnceleme alanının Ishihara ve Yoshimine (1992) yöntemine göre hazırlanmış sınıflama sonrası olası oturma haritası (oturma metre cinsinden)



Şekil 6.9. İnceleme alanının Shamoto vd. (1998) yöntemine göre hazırlanmış sınıflama sonrası olası oturma haritası (oturma metre cinsinden)



Şekil 6.10. İnceleme alanının Wu ve Seed (2004) yöntemine göre hazırlanmış sıvılaşma sonrası olası oturma haritası (oturma metre cinsinden)

Doğun olmayan kuru kumlarda çoğunlukla deprem sonrasında tamamlanır. Ancak, doğun kumlarda oturmanın tamamlanabilmesi için daha çok zamana ihtiyaç vardır. Bu nedenle sıvılaşma sonrasında meydana gelen oturmanın miktarının ve zamanının kestirimi oldukça karmaşık bir durumdur (Kramer, 1996). Şu an için sıvılaşma sonrası oturmaların hesaplandığı WSliq programı yeraltısuyunun üzerindeki kısmen doğun veya doğun olmayan kumların oturmasını hesaplayamamaktadır. Bu nedenle doğun olmayan kumlarda deprem sonrası meydana gelebilecek oturma Tokimatsu ve Seed (1987) tarafından önerilen formül yardımıyla elle hesaplanmıştır.

Öte yandan, Youd (1972) farklı doğunluk derecelerine sahip kumların benzer sismik oturma potansiyeline sahip olduğunu belirtmiştir. Aynı zamanda Duku vd. (2008) doğunluk gibi çevresel etmenlerin temiz kumlardaki sismik düşey oturmayı etkilemediğini vurgulamışlardır.

Buna göre, inceleme alanındaki yeraltısuyu seviyesi üzerindeki kuru kumların deprem sonrası oturma değerleri 1 ile 2.5 cm arasında değişmektedir. WSliq programından Erbaa’da deprem sonrası oluşabilecek doymun kumlardaki oturma değerleri göz önüne alındığında, kuru kumlarda meydana gelebilecek oturma göz ardı edilebilecek seviyededir.

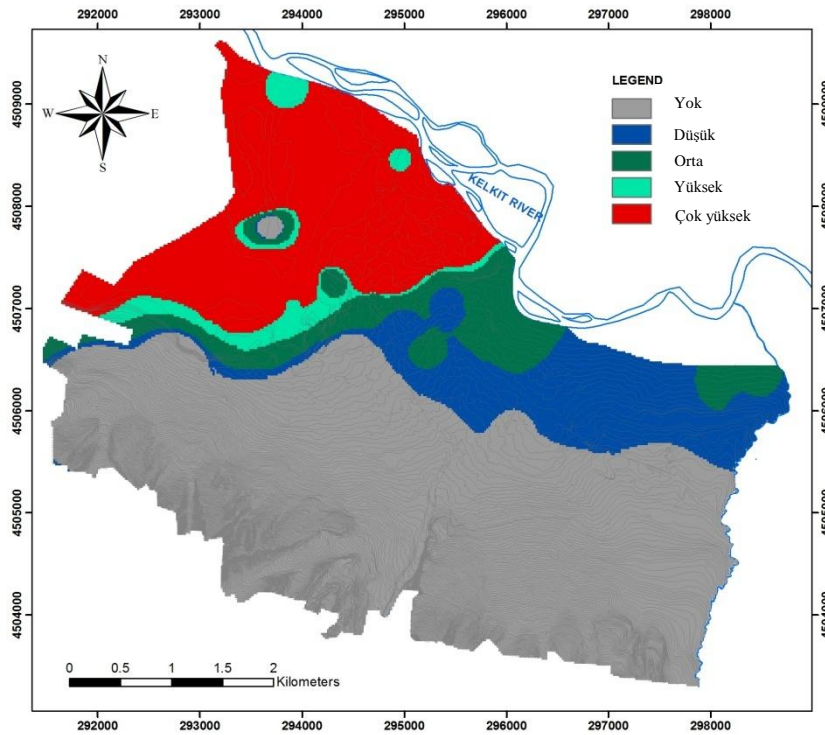
6.5 Sıvılaşma ve sıvılaşma sonrası etkilere ait haritaların değerlendirilmesi

İnceleme alanının sismik mikrobölgelemede kullanılmak üzere sıvılaşma sonrası oluşan etkileri içeren tek bir nihai sıvılaşmaya bağlı deformasyonlar haritasının hazırlanması amaçlanmıştır. Bu nedenle, yanal yayılma ve düşey oturma haritalarındaki sınıflara farklı ağırlık değerleri atanarak Coğrafi Bilgi Sistemi ortamında gerekli değerlendirmeler yapılmıştır (Çizelge 6.1). Ağırlık atanması işleminden önce sıvılaşmaya bağlı yanal yayılma ve oturma haritaları yeniden üç ayrı bölgeye (yok, orta, yüksek) sınıflandırılmıştır. Gerçekleştirilen analiz sonucunda elde edilen nihai sıvılaşmaya bağlı deformasyon haritası Şekil 6.11’de sunulmuştur.

Sıvılaşmaya bağlı deformasyon haritasının sonlandırılmasından önce oturma değerleri haritalardaki benzerliklerin gösterilmesi açısından normalize edilmiştir. Shamoto vd. (1998) yöntemi yüksek sıvılaşma sonrası oturma değerlerini işaret etse de modellerin normalize edilmesinden sonra dört ayrı yöntemin de bölgesel anlamda birbiriyle uyumlu sonuçlar verdiği görülmektedir. Sonuç olarak, ağırlık atama işlemi sırasında dört ayrı model de eşit oranda göz önünde bulundurulmuştur.

Çizelge 6.1. Sıvılaşmaya bağlı deformasyon haritasının oluşturulması sırasında her bir haritanın sınıflarına atanan ağırlık değerleri

Harita	Ağırlık (%)	Sınıf
		Yok
Yanal yayılma	30	Orta
		Yüksek
		Yok
Düşey oturma	70	Orta
		Yüksek



Şekil 6.11. Erbaa için sıvılaşmaya bağlı deformasyon haritası

İnceleme alanı için hazırlanmış sıvılaşma sonrası oluşabilecek deformasyonların etki derecesini gösteren harita beş ayrı sınıf içermektedir. Pliyosen birimlerinin yoğun olarak bulunduğu inceleme alanının güney bölgesinde sıvılaşma kaynaklı deformasyonların oluşma riski olmadığı görülmektedir. Ancak, özellikle Erbaa'nın kuzeybatı kesimleri sıvılaşmaya

bağlı deformasyonlara karşı yüksek – ok yüksek derecede duyarlıdır. Bunun yanı sıra, aynı bölgede (inceleme alanının kuzeybatısı) lokal olarak sınırlı alanlarda daha düşük deformasyon potansiyeline sahip zonlar da gözlenmektedir. Öte yandan, Erbaa'nın kuzeydoğu bölgesi ise kalın ince taneli ara seviyelerin yer alması sebebiyle sıvılaşma sonrası oluşabilecek deformasyonlara karşı düşük – orta derecede duyarlıdır.

7. ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR ANALİZİ

7.1 Giriş

Karmaşık ve büyük veri setlerinin bulunduğu mikrobölgeleme uygulamalarında, karar vericilere ve mühendislere yardımcı olabilmesi için, CBS-tabanlı Çok Ölçütlü Karar Analizi (ÇÖKA) yöntemleri sıkça kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, Basit Ağırlıklı Toplam (BAT) ve Analitik Aşamalı Sistem (AAS) olmak üzere iki farklı ÇÖKA yöntemi CBS tabanında uygulanmıştır. Bu amaçla, analiz edilecek her bir tabaka CBS ortamında hazırlanmıştır. Analizler sonucu iki farklı yöntemle bulunan haritalar karşılaştırılmıştır.

7.2 Basit Ağırlıklı Toplam Yöntemi (BAT)

Basit Ağırlıklı Toplam Yöntemi (BAT), her seçeneğin, tek boyutlu değer fonksiyonu değerlerinin kullanılması yerine, farklı ölçütlere göre elde ettiği performans değerlerinin doğrudan kullanılıp ölçüt görelisi önlemlerine göre ağırlıklandırılıp, toplam puanın elde edilmesine dayanan çok kriterli sorun çözme yöntemidir. Yer ve çevre bilimlerinde CBS tabanlı analizlerde BAO sıklıkla kullanılmaktadır (Malczewski, 1999).

Farklı ağırlıklar her bir oluşturulan katmana, görelisi ölçüt değerleri dikkate alınarak atama yapılabilir. BAT yöntemi alternatif A_i için $A_i = \sum w_j \cdot x_{ij}$ şeklindeki değerlendirme kapsar. Burada i no'lu alternatif için j nolu sınıf değeri ve w ile belirtilen ağırlık değeri toplamlarından elde edilen toplam puana gidilmesi söz konusudur. Toplam değer, her bir alternatifin ağırlıkça atanmasından sonra normalize edilerek ve toplanarak elde edilen toplam puan olarak gösterilir. Her bir alternatif için toplam ağırlık ilişkileri elde edildikten sonra, bunlardan en yüksek toplam puan alan alternatif tercih edilir (Malczewski, 1999).

Genelde BAT aşağıdaki basamaklardan oluşmaktadır.

- Katmanların ve olası alternatiflerin oluşturulması
- Her bir sınıf değeri için puan atanması
- Puanların normalize edilmesi
- Grelil lt ağırlığının önem derecesine göre her bir katmana atanması
- Atanan ağırlıkların normalize edilmesi
- Yukarıda belirtilen A_i eşitliği ile alternatif değerin elde edilmesi
- Toplam puana bağlı alternatiflerin değerlendirilmesi

Basit Toplamlı Ağırlıklandırma Yöntemi; öncelikle uygulama basitliği ile, ilave olarak da Karar Verici'den sadece grelil önlemleri istemesi ve ideal seçeneğe uzaklık hakkında bilgi vermesi yüzünden tercih edilen bir yöntemdir. Ancak bazı yanlış yorumlamalar ve ağırlık atamalarının olması nedeniyle dezavantajları mevcuttur.

7.3 Analitik Aşamalı Sistem (AAS)

Analitik Aşamalı Sistem Thomas H. Saaty tarafından 1977 yılında geliştirilmiştir. En genel tanımıyla, çoklu kriter ve ağırlıklarının belirlenmesinde yapısal bir yaklaşım sağlar. AAS yönteminin aşamaları aşağıdaki gibi özetlenebilir (Marshall ve Oliver, 1995; Bello-Dambatta vd., 2009);

- Problemin tanımlanması,
- Kriterlerin Belirlenmesi,
- Alternatiflerin ortaya konulması,
- Hiyerarşik Ağaç Diyagramının izilmesi,
- Kriter Ağırlıklarının belirlenmesi,
- Alternatiflerin her kritere göre puanlanması,
- Her alternatifin çok kriterli puanının elde edilmesi,
- Genel puanların karşılaştırılması, ve sıralama yoluyla en iyi alternatifin seçilmesidir.

AAS 'de kullanılan 9'lu ölçek Çizelge 7.1'de verilmiştir (Saaty, 1980). Ölçek ne kadar büyürse değerlendirme hassasiyeti o kadar artar.

Çizelge 7.1. Analitik Aşamalı Sistem süreci Saaty ölçek tablosu (Saaty, 1980)

Önem derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit önem	İki faaliyet eşit derecede etkili
3	Orta derece önem	Kanaatler bir faaliyeti diğerine oranla biraz tercih ediyor
5	Kuvvetli derece önem	Kanaatler bir faaliyeti diğerine oranla güçlü tercih ediyor
7	Çok kuvvetli derece önem	Bir faaliyet diğerine oranla güçlü tercih ediliyor, farklılık uygulamada rahatlıkla görülebiliyor.
9	Aşırı derece önem	Bir faaliyet diğerine oranla daha güçlü tercih ediliyor, delillerin güvenirliliği yüksek.
2, 4, 6, 8	Ortalama değerler	İki ardışık düzey arasında kararsız kalınırsa ortalama değer olarak kullanılıyor.

Kriter karşılaştırma matrisi oluşturularak matrisin tutarlılığı araştırılır. İkili karşılaştırma matrisinin özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Matrisin köşegenleri 1 (bir) e eşittir.
- Matris kare matristir ve elemanlarının tümü pozitif sayıdır.
- Matris tam tutarlı ise (CR=0), $a_{ij}.a_{jk}=a_{ik}$ eşitliği sağlanır.
- Matris tam tutarlı ise her hangi bir satırdan matrisin diğer tüm faktörlerine ulaşılır.
- Matrisin en büyük özdeğerine karşılık gelen özvektör, AHP matrisinde ağırlık veya göreceli önem vektörü olarak tanımlanır.
- Değerlendirmede açılım, n sayılı 2'li kombinasyon kadar yapılabilir.

Farklı kriterlere ait ikili karşılaştırmalar Çizelge 7.2’de görüldüğü gibidir.

Çizelge 7.2. Kriterler karşılaştırma matrisi

	Kriter-1	Kriter-2	Kriter...	Kriter-n
Kriter-1	w_1/w_1	w_1/w_2	...	w_1/w_n
Kriter-2	w_2/w_1	w_2/w_2	...	w_2/w_n
Kriter
Kriter-n	w_n/w_1		...	w_n/w_n

Kriterler ve kriterlere göre alternatif kuruluş yerleri puanlanırken olası hataların test edilmesi ve tutarlılığın ölçülmesi gerekmektedir. Bir karşılaştırma matrisinin tutarlı olabilmesi için en büyük özdeğerinin (λ_{max}) matris boyutuna (n) eşit olması gerekmektedir (Saaty, 1980 ; 1985; 2004). Bu nedenle tutarlılık göstergesi (CI) ile tutarlılık oranları (CR) hesaplanmalıdır.

$$\text{Tutarlılık göstergesi (CI)} = \frac{\lambda_{max}-n}{n-1} \quad (7.1)$$

$$\text{Tutarlılık oranı (CR)} = \text{CI} / \text{RI} \quad (7.2)$$

RI ise rassal gösterge olup Çizelge 7.3’den bulunabilir.

Çizelge 7.3. RI rassal değerleri (n sayıdaki kriter için) (Saaty, 1980)

n	1	2	3	4	5	6	7	8
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41
n	9	10	11	12	13	14	15	
RI	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59	

Karar matrisinin tutarlı olabilmesi için CR değerinin 0.10'dan küçük olması istenir. CR ne kadar sifra yaklaşırsa karşılaştırma sonuçları o kadar tutarlı olacaktır.

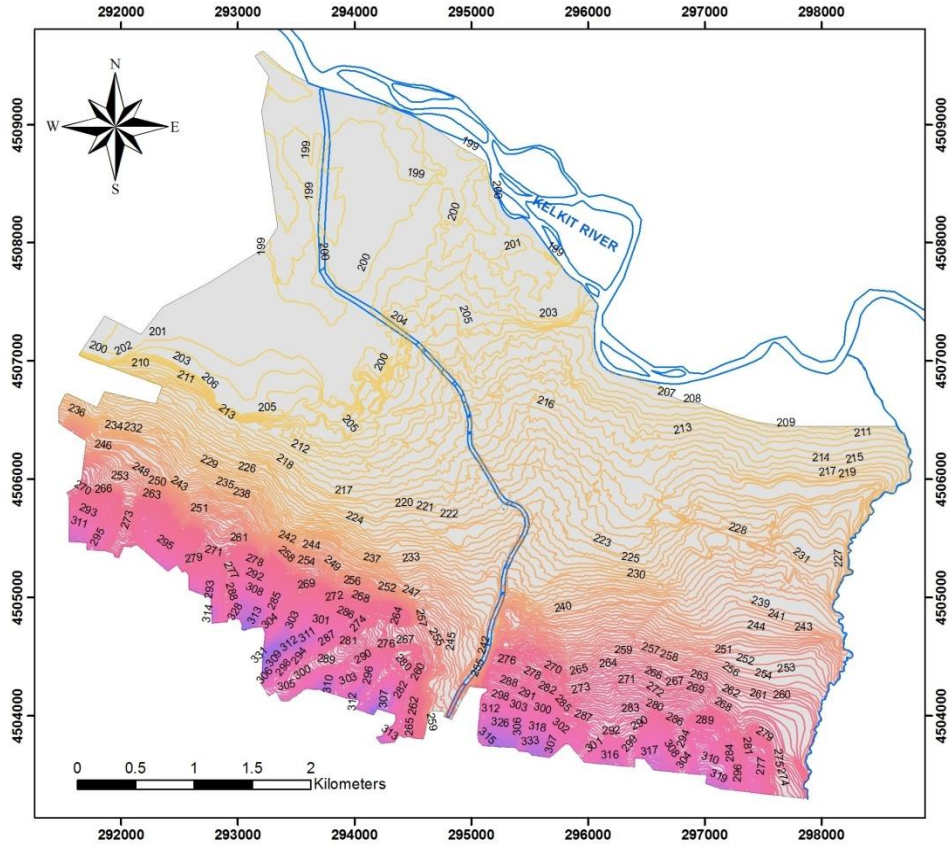
7.4 Veri Üretimi ve Analizi

Veriler, ÇÖKA analizinde kullanmak için, “girilen veri” ve “değerlendirilerek girilen veri” olarak sınıflandırılmıştır. Girilen veri, topografya, eğim, bakı, litoloji, yeraltısuyuna derinlik tabakalarını kapsar. Bu tür veri elde edebilmek için, ayrıca bir hesaplama yapmaya gerek yoktur. Öte yandan, faya olan uzaklık, V_{s30} –tabanlı zemin sınıflaması, büyütme, sıvılaşma dolayısıyla oluşacak yüzey deformasyonları tabakalarını elde edebilmek için hesaplama ve analiz yapmak gereklidir.

7.4.1 Girilen veriler

7.4.1.1 Yükseklik haritası

İller Bankası'ndan temin edilen ve çalışma alanını kapsayan 53 adet 1/1000 ölçekli imar planından yükseklik verisi elde edilmiştir. Bu haritalar taranmış, ARCGIS (9.2) yazılımına aktarılmış ve yer kontrol noktaları kullanılarak coğrafi yer tanımlama işleme gerçekleştirilmiştir. Tüm haritalarda, 37. Zon UTM projeksiyonu, Datum-European 1950-Mean kullanılmıştır. Her 1 m için eş yükselti eğrileri sayısallaştırılmış ve yükseklik verileri ilgili giriş çizelgesine kaydedilmiştir. Çalışma alanının sayısallaştırılmış yükseklik haritası Şekil 7.1'de verilmiştir.



Şekil 7.1. Çalışma alanının yükseklik haritası

Bu haritaya göre, Erbaa'nın yüksekliği 198-351 m arasında değişmektedir. Kelkit nehrine doğru yükseklik kademeli olarak azalmaktadır. Bu harita, eğim ve bakı haritaları elde edebilmek için gerekli olan "sayısal yükseklik modeli"ni üretebilmek için kullanılmıştır.

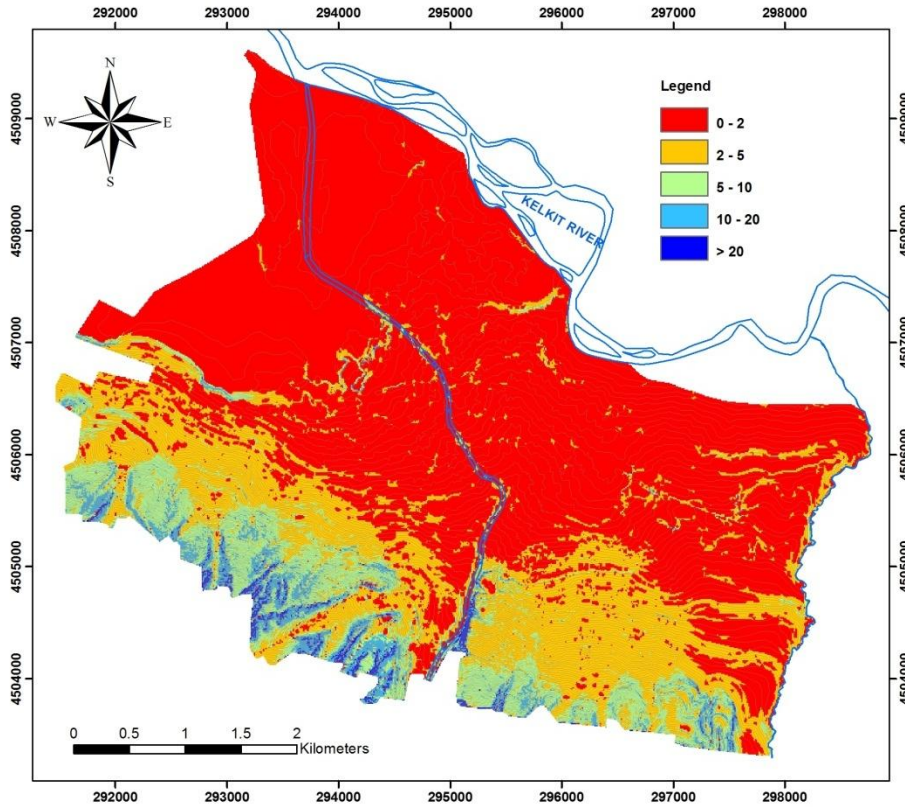
7.4.1.2 Eğim haritası

Eğim haritası, yerleşime uygunluk, mühendislik işlerinin kolaylığı ve heyelan duyarlılığı açısından önemli bir tabakadır. Bu harita, sayısal yükseklik modelinden türetilmiştir. Çalışma alanındaki eğim değerleri 0-85° arasında değişmektedir (Şekil 7.2). Önemli bir şev duraysızlığının olmaması dolayısıyla, inceleme alanı için ayrıca bir heyelan duyarlılık haritası hazırlanmamıştır. Ancak, gerek inşaat kolaylığı ve gerekse sıvılaşma dolayısıyla oluşan yüzey deformasyonlarını dikkate alarak uygun yer belirlemede eğim önem arz etmektedir. Eğim

açıları, Van Rooy ve Stiff (2001)'e göre 5 ana sınıfa bölünmüştür. Eğim kategorileri Çizelge 7.4'te sunulmuştur. İnceleme alanının eğim haritası Şekil 7.2'de verilmiştir.

Çizelge 7.4. Eğim açısı sınıflaması

Sıralama	Eğim açısı (°) sınıfı
5	0-2
4	2-5
3	5-10
2	10-20
1	>20



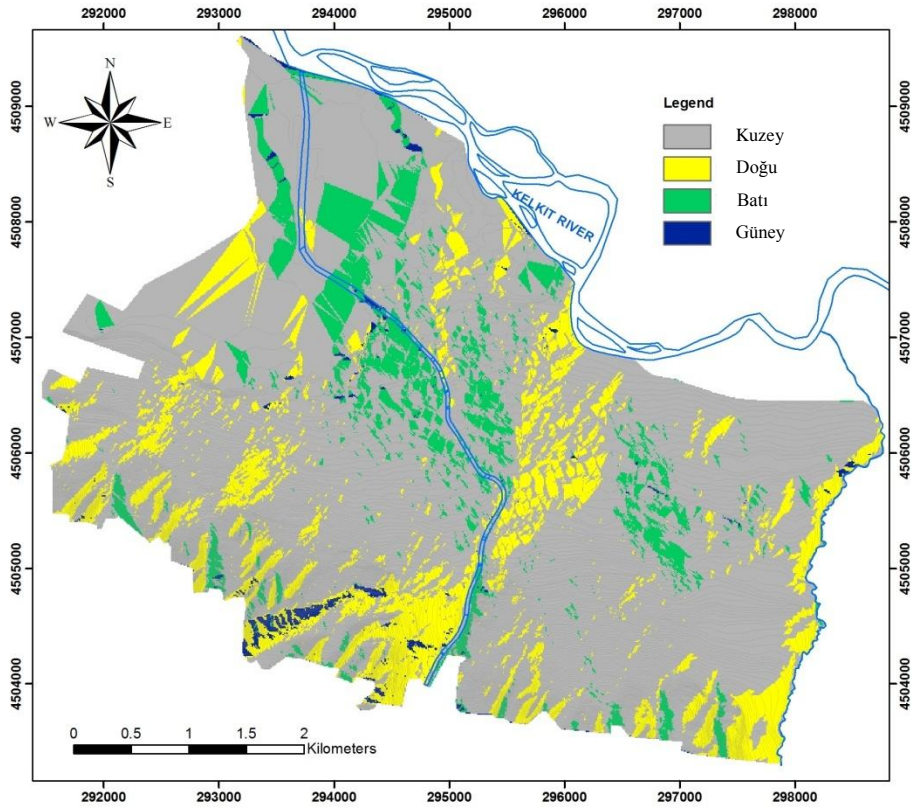
Şekil 7.2. Çalışma alanının eğim haritası

7.4.1.3 Bakı haritası

Erbaa sayısal yükseklik modeli kullanılarak hazırlanan bakı (yön) haritası Şekil 7.3'te verilmiştir. Kullanılan bakı sınıflaması ise Çizelge 7.5'te sunulmuştur. İnceleme alanında, eğim haritasının mikrobölgeleme haritasındaki ağırlığı az olmakla beraber, bu harita yerleşim yeri için yapılan mikrobölgeleme çalışmalarında kullanılmalıdır.

Çizelge 7.5. Bakı tabakasının sınıflaması

Sıralama	Bakı (°)	Yön
5	135-180, 180-225	South
4	225-270, 270-315	West
2	45-90, 90-135	East
1	315-360, 0-45	North



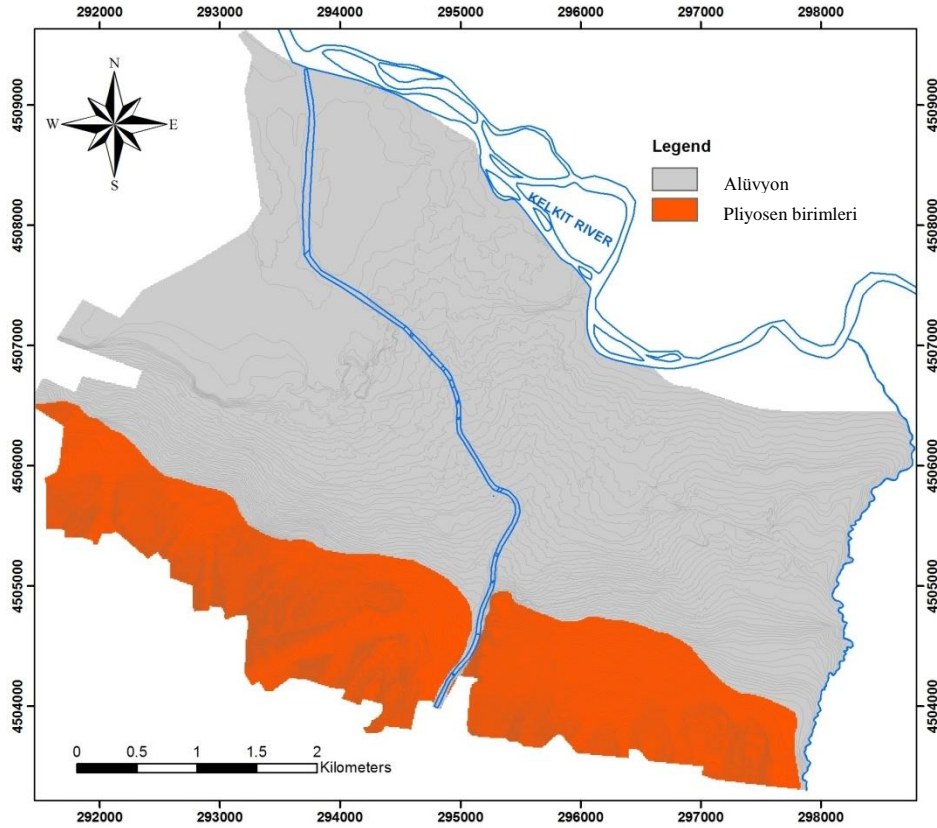
Şekil 7.3 Çalışma alanının bakı haritası

7.4.1.4 Litoloji haritası

Çalışma alanının litoloji haritası, bu raporun daha önceki kısımlarında sunulan jeoloji haritasından (Şekil 2.14) türetilmiştir. Bu haritaya göre sınıflanan birimler Çizelge 7.6'da sunulmuştur. Bu çalışmada, çakıştırma analizi için kullanılmak üzere alüvyonal ve Pliyosen çökelleri ayırt edilmiştir. Alan içerisinde yüzeyleyen alüvyon yelpazesi malzemesi, diğer alüvyonlu birimler ile benzer özelliklere sahiptir. Bu nedenle, alüvyon yelpazesi de alüvyonlu birimler içerisinde değerlendirilmiştir.

Çizelge 7.6. Litolojik birimlerin sınıflaması

Sınıflama	Tanım
1	Alüvyonlu birimler
2	Pliyosen birimler



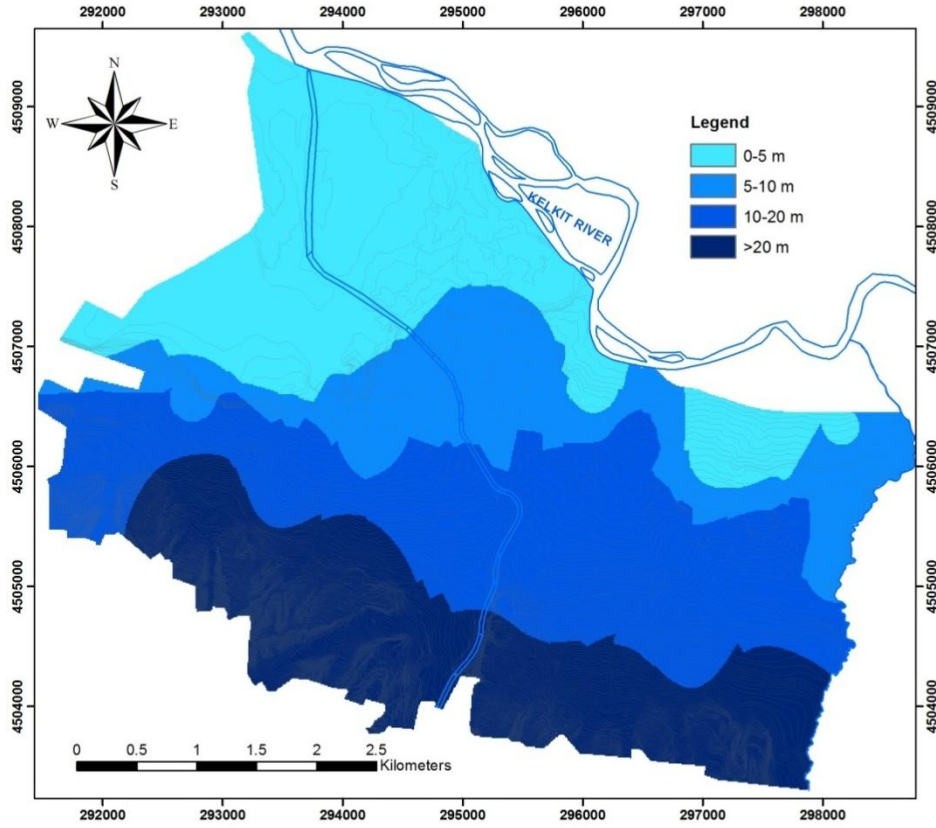
Şekil 7.4 Çalışma alanının litoloji haritası

7.4.1.5 Yeraltısıyu tablasına olan derinlik haritası

Yeraltısıyu tablasına derinlik tabakası, kazı duraylılığı ve kazılabilirlik açısından önemlidir. Su tablasının sığ olması ayrıca beraberinde sıvılaşıma benzeri zemin problemleri de yaratabilir. Bu çalışma çerçevesinde hazırlanan “yeraltısıyu tablası derinliği” haritası en yağışlı döneme karşılık geldiği için Mayıs 2008 yeraltısıyu derinliği ölçümleri kullanılarak yapılmıştır. Yeraltısıyu tablası derinliği Çizelge 7.7 ve ilgili harita Şekil 7.5’te sunulmuştur.

Çizelge 7.7. Yeraltısıyu tablası derinliği sınıflaması

Sıralama	Sınıflama
5	> 20 m
4	10-20 m
2	5-10 m
1	0-5 m



Şekil 7.5 Yeraltısıyu tablasına olan derinlik dağılım haritası

7.4.2 Değerlendirilerek Girilen Veriler

7.4.2.1 Faya olan uzaklık haritası

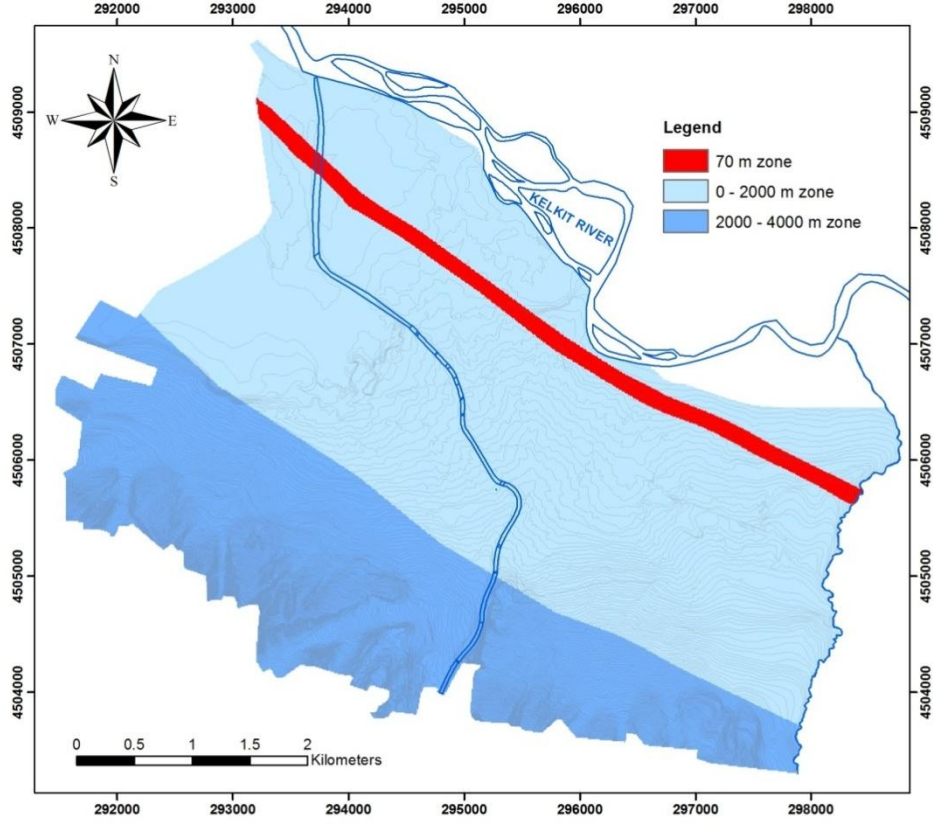
Çalışma alanındaki sismik tehlike potansiyelini belirleyebilmek için, faya olan uzaklık ve fay zonu için tampon bölge oluşturulması raporun bu kısmında değinilecektir. Öncelikle 1942 Niksar-Erbaa depreminin yüzey kırığı, faya olan uzaklık haritasını üretebilmek için kullanılmıştır.

Bryant ve Hurt (2007)'nin yaptığı çalışmaya göre, aktif fay üzerine herhangi bir yapılaşmaya izin verilmemelidir. Uygun ve detaylı bir araştırma ile ispat edilmedikçe, fay zonunda 15 m'lik tampon bölge gereklidir. Waltham (1994)'e göre ise, fay zonuna konulacak tampon bölgenin yeni yapılar için, bilinen aktif fayın her iki tarafından 15'er metrelik (yüksek yapılar için her iki taraftan 35 m) bir tampon bölge oluşturulması önerilmektedir. Aynı yazara göre, fay çizgisinin tam olarak izlenemediği durumlarda, 15 m'lik ek bir zonun daha tampon bölge içine alınması önerilmektedir.

Yukarıda sunulan bilgiler ışığında, Türkiye'de bu konuda yol gösterici herhangi bir öneri olmamasına rağmen, çalışma alanındaki 1942 depremine ait fayının her iki tarafından 35'er metrelik (toplam 70 m) tampon bölge oluşturulmuştur. Faya olan uzaklık haritası hazırlanmasında kullanılan sıralama değerleri Çizelge 7.8'de verilmiştir. 2000 m mesafe aralıklı ilgili harita da, Şekil 7.6'da sunulmuştur.

Çizelge 7.8. Faya olan uzaklık haritasının sınıflaması

Sıralama	Sınıflama
5	2000-4000 m zonu
1	0-2000 m zonu



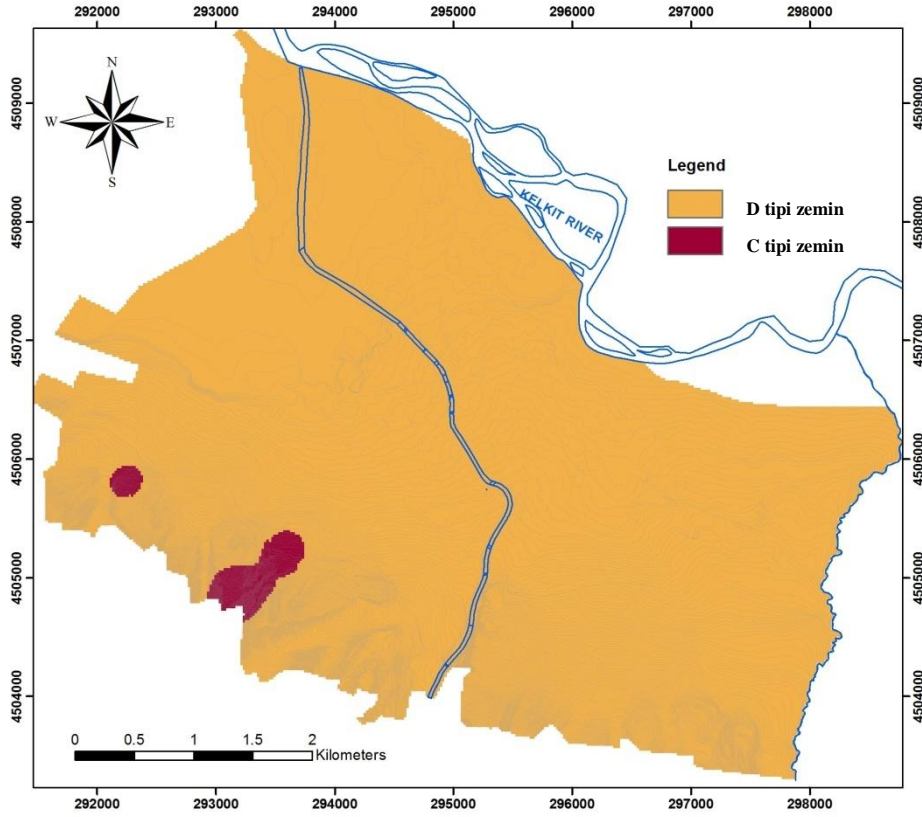
Şekil 7.6 Faya olan uzaklık haritası

7.4.2.2 V_{s30} -tabanlı zemin sınıflama haritası

Sismik mikrobölgeleme haritasının üretilmesinde kullanılmak amacıyla, üst 30 m'lik zonun ortalama makaslama hızı (V_{s30}) dikkate alınarak zemin sınıfı haritası hazırlanmıştır. V_{s30} hız verisi kullanılarak NEHRP (2000)'e göre yapılan zemin sınıflamasına göre, çalışma alanında D- ve C-türü zemin bulunmaktadır. C-türü zemin, sert toprak-yumuşak kaya kategorisine karşılık gelmektedir. D-türü zemin ise, katı zemin olarak değerlendirilebilir. NEHRP (2000)'e göre V_{s30} değerlerinin sınıflaması Çizelge 7.9'da ve dağılımı Şekil 7.7'de verilmiştir.

Çizelge 7.9. V_{s30} -tabanlı zemin sınıflaması

Sıralama	Tanım	V_{s30} değerleri
1	D türü zemin	180-360 m/s
5	C türü zemin	360-380 m/s



Şekil 7.7 V_{30} -tabanlı zemin sınıflaması haritası

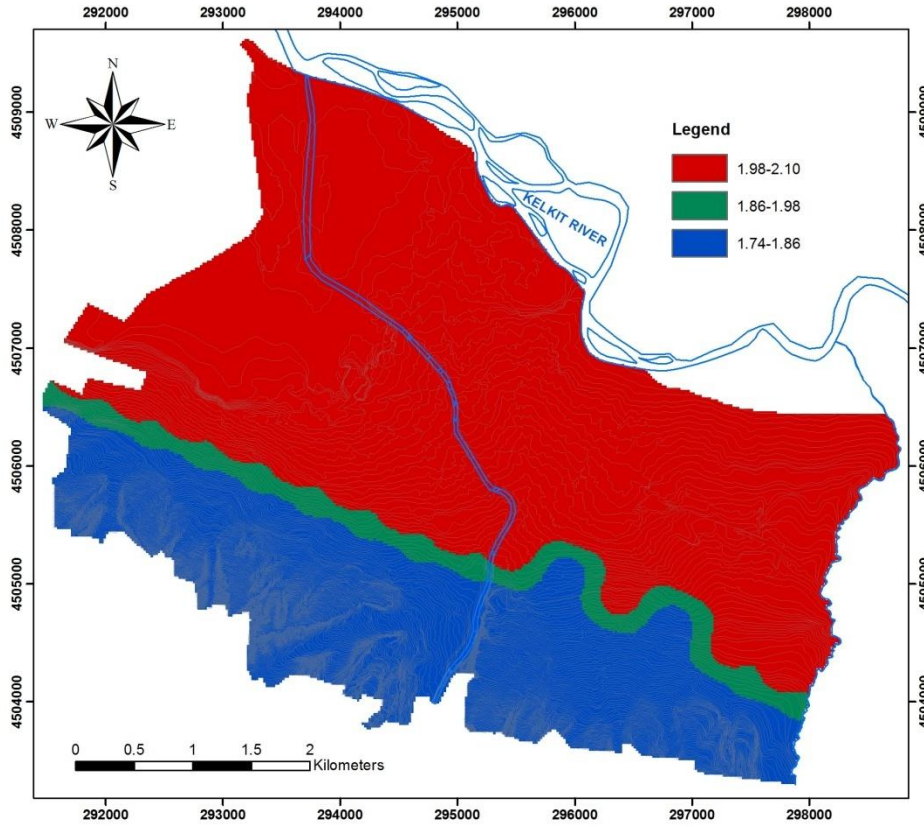
Şekil 7.7'den de görüleceği üzere, makaslama dalgası hızları 180-360 m/s arasında değişen D-türü zeminler, çalışma alanının büyük bir kısmını kaplamaktadır. Bu sınıflamaya göre Pliyosen çökelleri ve alüvyon genelde aynı kategoridedir.

7.4.2.3 Zemin büyütme haritası

Yer tepki etkisinin bir ürünü olan zemin büyütmesi, sismik mikrobölgeleme amaçlı analizlerde kullanılmıştır. Stewart et al. (2003) tarafından önerilen model kullanılarak değerlendirme yapılmıştır. Elde edilen büyütme değerleri daha sonra sınıflandırılmıştır. Büyütme haritasının sınıflama kategorileri ve büyütme haritası sırasıyla Çizelge 7.10 ve Şekil 7.8'de verilmiştir.

Çizelge 7.10. Zemin büyütme sınıflaması

Sıralama	Sınıflar
5	1.74-1.86
3	1.86-1.98
1	1.98-2.10



Şekil 7.8 Çalışma alanının zemin büyütme haritası

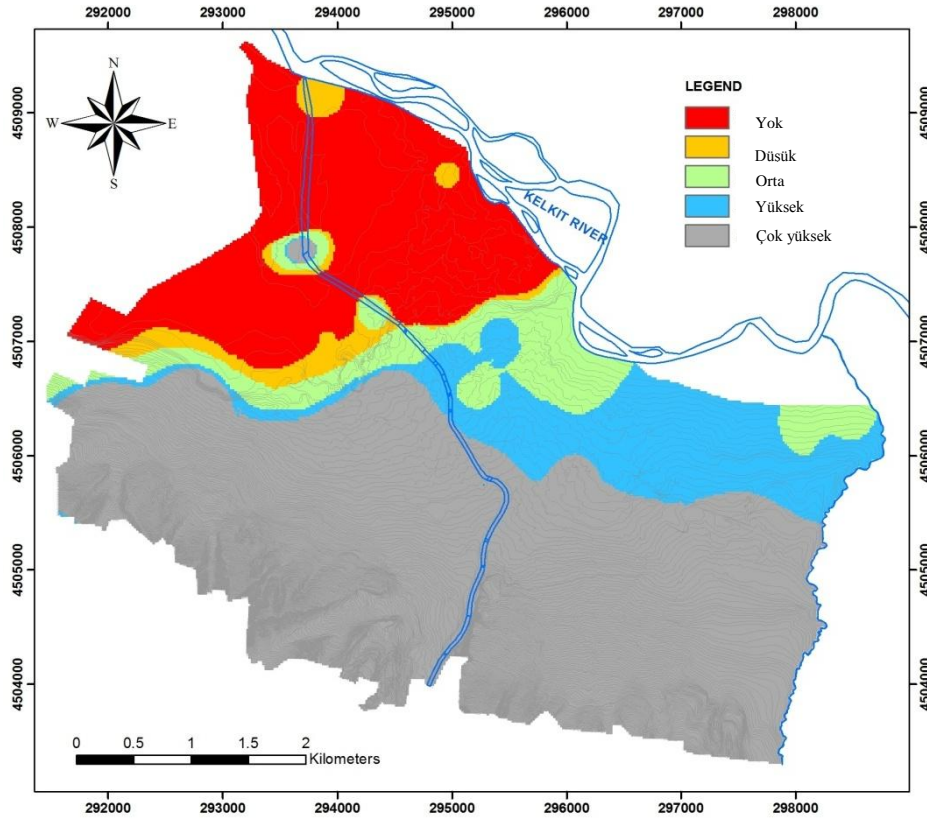
Stewart et al. (2003) modeli kullanılarak elde edilen büyütme değerleri, 0.001 saniye periyodu için diğer yöntemlere göre daha iyi sonuç vermiştir. Buna ek olarak, farklı periyotlarda farklı büyütme elde edilmektedir. Bu nedenle, kullanılacak büyütme değeri için yapı periyoduna uyumlu periyotlardaki büyütme değerleri dikkate alınmalıdır.

7.4.2.4 Sıvılaşma dolayısıyla oluşabilecek yüzey deformasyonları haritası

Beş ayrı kategoriye ayrılarak hazırlanan sıvılaşma haritası bir önceki kısmında sunulmuştu. Önerilen bu harita, sıvılaşma ve sıvılaşma sonrası etkileri dikkate alan bir haritadır. Sıvılaşma dolayısıyla oluşacak yüzey deformasyonları sınıflaması ve haritası sırasıyla Çizelge 7.11 ve Şekil 7.9’da verilmiştir.

Çizelge 7.11. Sıvılaşma ile oluşabilecek yüzey deformasyonları sınıflaması

Sıralama	Sınıflama
1	Çok yüksek
2	Yüksek
3	Orta
4	Düşük
5	Yok



Şekil 7.9. Sıvılaşma dolayısıyla oluşabilecek yüzey deformasyonları sınıflaması

7.5 Çok Ölçütlü Karar Analizi

7.5.1 Yerleşim alanlarının sınıflaması

İki farklı ÇÖKA yöntemine göre önerilen sıra ve ağırlık değerleri, ortak ve boyutsuz bir değer elde edebilmek için standartlaştırılmıştır. Daha sonra, üretilen haritalar, Afet İşleri Genel Müdürlüğü (2000) tarafından önerilen sınıflama dikkate alınarak farklı zonlarda gruplandırılmıştır. Yerleşim yerinin uygunluğu açısından yapılan bu sınıflamaya göre:

- Zon I-Yerleşime uygun alan: ek bir önlem alınmadan yerleşime açılacak alanlardır.
- Zon II-Önlemler alan: kabarma, aşırı oturma, sığ yeraltısu tablası, vb. dolayısıyla bazı önlemler alınarak yerleşime açılması gereken alanlardır.
- Zon III-Detaylı jeoteknik inceleme gerektiren alan: çok yüksek kabarma, oturma, sığ yeraltısu tablası, sivilaşma ve taşkın gibi nedenlerden dolayı parsel basında ayrıntılı etüt yapılması gereken alanlardır.
- Zon IV-Uygun olmayan alan: sismik tehlike, heyelan, taşkın, yüzeyde su tablası, dik yamaçlar gibi nedenlerle yerleşim açısından risk teşkil edebilecek alanlardır. Bu tür alanlarda yerleşime izin verilmez.

Çalışma alanında yerleşime uygunluk sınıflaması yapabilmek için, yukarıda belirtilen dört ara zon dikkate alınmıştır. Erbaa için belirlenen her bir zonun tanımı aşağıda verilmiştir.

Uygun alan: Bu alanlar, ek önlem alınmadan yerleşime açılabilir. Ancak, farklı periyotlardaki deprem dolayısıyla büyütme dikkate alınmalıdır. Bina ile zemin periyotlarının çakışmamasına dikkat edilmelidir.

Önlemler alan: Bazı önlemler alınarak yerleşime açılacak bu alanlarda, topoğrafik koşullar ve sismik büyütme etkileri dikkate alınmalıdır. Özellikle Kelkit nehrine doğru, yeraltısu seviyesinin değişimi ve zemin koşulları mutlaka belirlenmelidir.

Detaylı jeoteknik inceleme gerektiren alan: Yapı ölçeğinde önemli zemin deformasyonları beklenen alanlarda detaylı inceleme yapılmalıdır. Bu alanlarda yapılacak yapılar için,

sıvılaşma sonrası etkiler (oturma ve yanal yayılma) açısından yüksek risk vardır. Buna ek olarak, yeraltısu tablası çok sığ olup kazı sırasında problem yaratabilir. Ayrıca, şiddetli bir deprem sonrası zemin özelliğine bağlı olarak yüksek sismik büyütme olabilir. Bu alanlarda, belirtilen hususlar dikkate alınarak detaylı jeoteknik inceleme yapılmalıdır.

Uygun olmayan alan: Bu alana, hiçbir şekilde yapı izni verilmemelidir. Aktif fay zonu ve Erbaa'nın güneyindeki arkeolojik alan bu kategoride değerlendirilebilir.

7.5.2 Basit Ağırlıklı Toplam (BAT) yöntemi kullanılarak yapılan ÇÖKA analizi

Bu yöntemde kullanılmak üzere atanan ağırlık ve sıralama değerleri Çizelge 7.12'de sunulmuştur. En önemli katman olarak "sıvılaşma dolayısıyla oluşacak yüzey deformasyonları" tabakası kabul edilmiştir. Bunu, azalan önemde, faya olan uzaklık, litoloji, büyütme, V_{s30} -bazlı zemin sınıflaması, yeraltısu tablasına olan derinlik, eğim ve bakı haritaları izlemektedir. Sıralama 1-5 arasında değişmekte olup, 5'e doğru uygunluk artmaktadır. Diğer taraftan, ağırlık değerleri 1-8 arasında değişmekte olup, 8'e doğru tabaka ağırlığı artmaktadır.

Çizelge 7.12. BAT yönteminde kullanılmak üzere atanan sıralama ve ağırlık değerleri..

Tabakalar	Ağırlık	Sınıflar	Sıralama
Eğim (°)	2	0-2	5
		2-5	4
		5-10	3
		10-20	2
		> 20	1
Bakı	1	G	5
		B	4
		D	2
		K	1
Litoloji	6	Pliyosen	5
		Alüvyon	1
Yeraltısu tablasına olan derinlik	2	> 20 m	5
		10-20 m	4
		5-10 m	2
		0-5 m	1
Faya olan uzaklık	7	2000 - 4000 m zonu	5

		0 - 2000 m zonü	1
V _{s30} -bazlı zemin sınıfı	3	(360-380 m/s)-D türü zemin	5
		(180-360 m/s)-C türü zemin	1
Büyütme	5	1.74-1.86	5
		1.86-1.98	3
		1.98-2.10	1
Sıvılaşma dolayısıyla oluşacak yüzey deformasyonu	8	Yok	5
		Düşük	4
		Orta	3
		Yüksek	2
		Çok yüksek	1

Farklı sınıflara atanan sıralama değerlerinde, “5” en iyi sınıfı; 1 ise en kötü sınıfı temsil etmektedir. Daha sonra, sıralama değerleri standartlaştırılmıştır. Buna ek olarak, ağırlık değerleri normalize edilmiştir. Böylece, normalize edilen değerlerin toplamı 1’e eşit olmaktadır. Standartlaştırılmış sıralama değerleri ve normalize edilmiş ağırlık değerleri Çizelge 7.13’de verilmiştir.

Çizelge 7.13. BAT yönteminde kullanılmak üzere, her bir tabaka/sınıf için kullanılan normalize edilmiş sıralama ve ağırlık değerleri

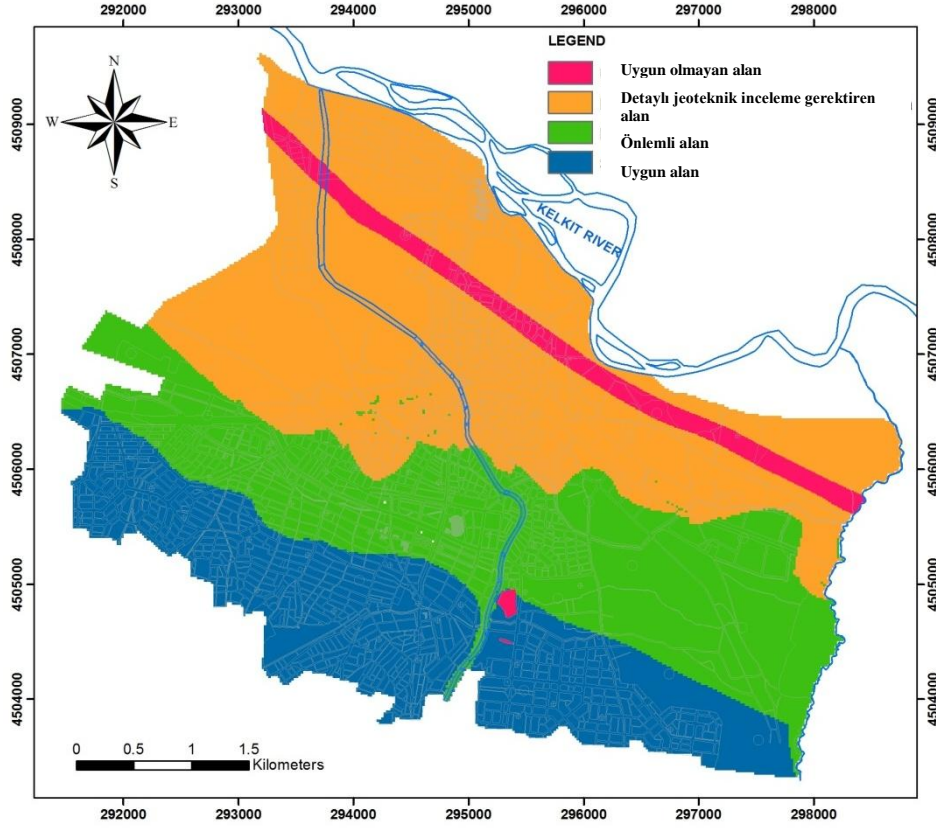
Tabakalar	Ağırlıklar	Sınıflar	Sıralama
Eğim (°)	0.059	0-2	1
		2-5	0.8
		5-10	0.6
		10-20	0.4
		> 20	0.2
Bakı	0.029	G	1
		B	0.8
		D	0.4
		K	0.2
Litoloji	0.176	Pliyosen	1
		Alüvyon	0.2
Yealtısı tablasına olan derinlik	0.059	> 20 m	1
		10-20 m	0.8
		5-10 m	0.4
		0-5 m	0.2
Faya olan uzaklık	0.206	2000 - 4000 m zonü	1
		0 - 2000 m zonü	0.2
V _{s30} -bazlı zemin	0.088	(360-380 m/s)-D türü zemin	1

sınıflaması		(180-360 m/s)-C türü zemin	0.2
Büyütme	0.147	1.74-1.86	1
		1.86-1.98	0.6
		1.98-2.10	0.2
Sıvılaşma dolayısıyla oluşacak yüzey deformasyonu	0.235	Yok	1
		Düşük	0.8
		Orta	0.6
		Yüksek	0.4
		Çok yüksek	0.2

Çakıştırma analizleri, tabakaların ağırlık ve sıralama değerleri kullanılarak yapılmıştır. Her bir tabakanın normalize edilmiş ağırlık değerleri standartlaştırılmış sıralama değerleri ile çarpılmıştır. BAT yöntemine göre elde edilen harita dört ayrı sınıfa bölünmüştür. “Detaylı jeoteknik etüt gerektiren alan”, “önlemler alan” ve “uygun alan” bölümlenmeleri, mikrobölgeleme Şekil 7.10’da verilen dağılım eğrisi kullanılarak yapılmıştır. “Uygun olmayan alan” sınırı ise tampon bölge (fay zonu ve sit alanı) kriterine göre ayrıca belirlenmiştir. BAT yöntemine göre hazırlanan sismik mikrobölgeleme haritası Şekil 7.11’de sunulmuştur.



Şekil 7.10. BAT yöntemine göre üç bölgeye ayrılan zonların dağılım eğri sınırları (UA: Uygun alan; ÖA: Önlemler alan; DJA: Detaylı jeoteknik inceleme gerektiren alan)



Şekil 7.11 BAT yöntemine göre hazırlanan sismik mikrobölgeleme haritası

7.5.3 Analitik Aşamalı Sistem (AAS) yöntemi kullanılarak yapılan ÇÖKA analizi

AAS yönteminde, her bir haritanın ağırlık değerlerini atayabilmek için ikili karşılaştırma yapılmaktadır. Öte yandan, AAS yönteminde her bir tabaka için sıralama değeri atanmamaktadır. Bu çalışmada, Kolat (2004) ve Sener (2004) tarafından uygulanan yaklaşım benimsenmiştir. Sekiz kritere göre geliştirilen ikili karşılaştırma matrisi Çizelge 7.14'te verilmiştir.

Çizelge 7.14. AAS yöntemi için geliştirilen karşılaştırma matrisi

AAS hesaplama kriteri	Sıvılaşma	Faya olan uzaklık	Litoloji	Büyütme	V _{s30} -bazlı zemin sınıflaması	Yeraltısı tablasına olan derinlik	Eğim	Bakı
Sıvılaşma	1	2	2	4	2	3	4	8
Faya olan uzaklık	½	1	4	2	3	5	7	8
Litoloji	½	¼	1	2	2	3	6	8
Büyütme	¼	½	1/2	1	2	5	7	8
V _{s30} -bazlı zemin sınıflaması	½	1/3	1/2	1/2	1	3	6	8
Yeraltısı tablasına olan derinlik	1/3	1/5	1/3	1/5	1/3	1	2	8
Eğim	¼	1/7	1/6	1/7	1/6	1/2	1	2
Bakı	1/8	1/8	1/8	1/8	1/8	1/8	1/2	1

Her bir tabaka/sınıf için belirlenen ağırlık değerleri Çizelge 7.14'te verilmiştir. Karşılaştırma matrisinin uyumluluk oranı (CR) 0.083'tür. Bu değer, 0.1 olan sınır değerden daha düşüktür. Bunun anlamı, AAS yönteminde kullanılan ikili karşılaştırma matrisinin kabul edilebilir olduğudur. Bu yöntemde elde edilen sıralama değerleri Çizelge 7.15'te verilmiştir. Buna ek olarak, her bir tabaka için uyumluluk oranı (CR) Çizelge 7.16'ta sunulmuştur.

Çizelge 7.15. AAS yönteminde tabakalara/sınıflara atanan ağırlık ve sıralama değerleri

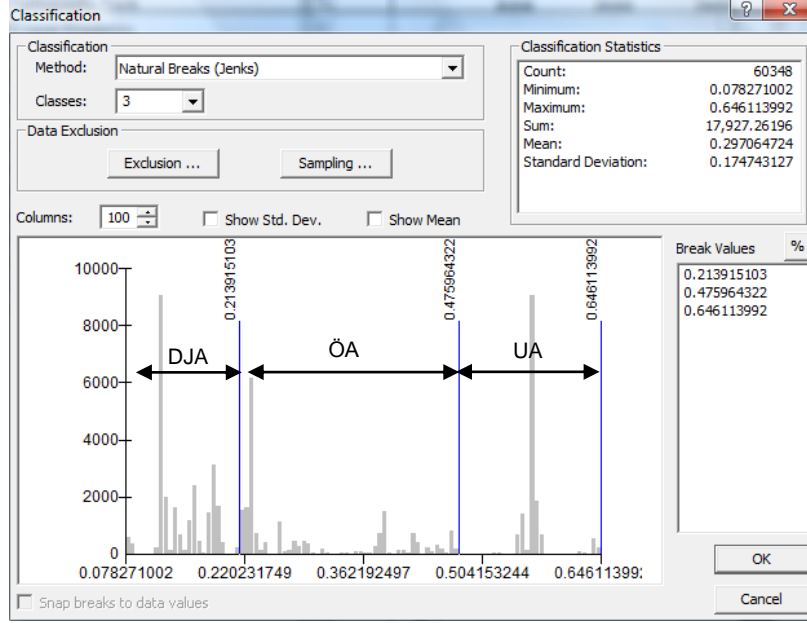
Tabakalar	Ağırlık	Sınıflar	Sıralama
Eğim (°)	0.031	0-2	0.401
		2-5	0.258
		5-10	0.179
		10-20	0.123
		> 20	0.040
Bakı	0.018	G	0.548
		B	0.281
		D	0.115
		K	0.056
Litoloji	0.148	Pliyosen	0.833
		Alüvyon	0.167
Yeraltısı tablasına olan derinlik	0.062	> 20 m	0.542
		10-20 m	0.248
		5-10 m	0.139

		0-5 m	0.070
Faya olan uzaklık	0.240	2000 - 4000 m zonu	0.833
		0 - 2000 m zonu	0.167
V_{s30} -bazlı zemin sınıflaması	0.113	(360-380 m/s)-D türü zemin	0.833
		(180-360 m/s)-C türü zemin	0.167
Büyütme	0.142	1.74-1.86	0.556
		1.86-1.98	0.354
		1.98-2.10	0.090
Sıvılaşma dolayısıyla oluşacak yüzey deformasyonu	0.246	Yok	0.412
		Düşük	0.268
		Orta	0.181
		Yüksek	0.105
		Çok yüksek	0.034

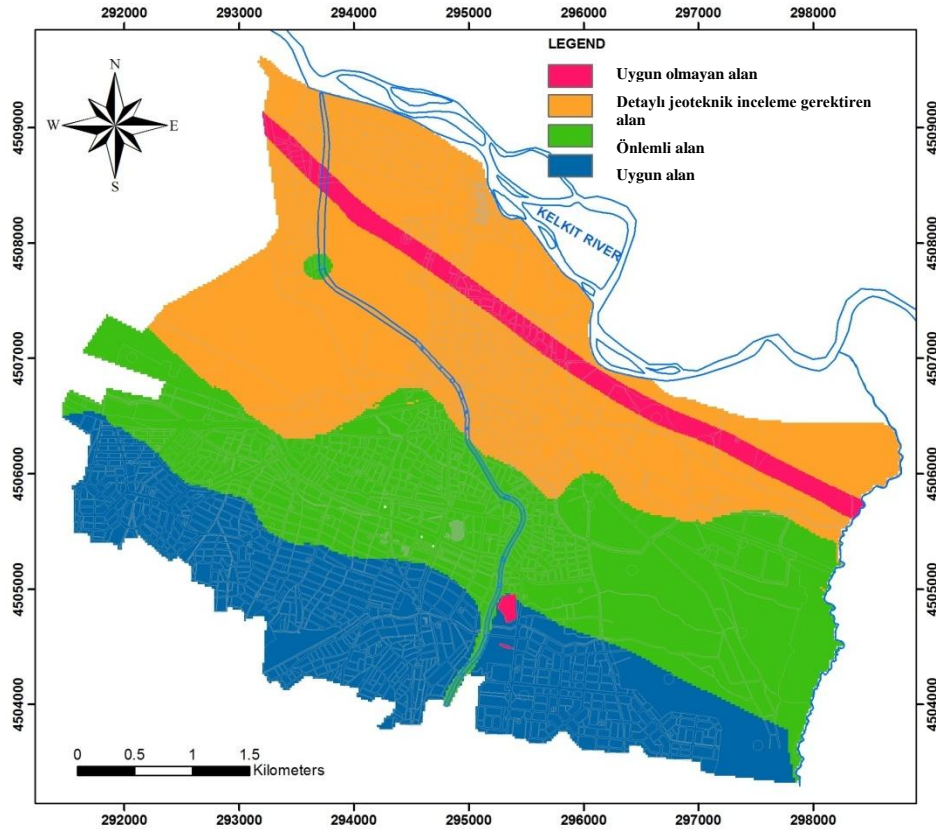
Çizelge 7.16. Her bir tabaka için uyumluluk oranı (CR)

Tabakalar	Uyumluluk oranı (CR)
Sıvılaşma	0.086
Faya olan uzaklık	0.010
Litoloji	0.010
Büyütme	0.046
V_{s30} -bazlı zemin sınıflaması	0.010
Yeraltısu tablasına olan derinlik	0.096
Eğim	0.088
Bakı	0.065

BAT yöntemindeki sınıflama sistemi AAS yönteminde de aynen uygulanmıştır. “Yerleşime uygun olmayan alan” kategorisi dışındaki alanlar için Şekil 7.12’de verilen dağılım eğrisi kullanılmıştır. AAS yöntemine göre hazırlanan sismik bölgeleme haritası, Şekil 7.13’te verilmiştir.



Şekil 7.12 AAS yöntemine göre üç bölgeye ayrılan zonların dağılım eğri sınırları (UA: Uygun alan; ÖA: Önlemler alan; DJA: Detaylı jeoteknik inceleme gerektiren alan)

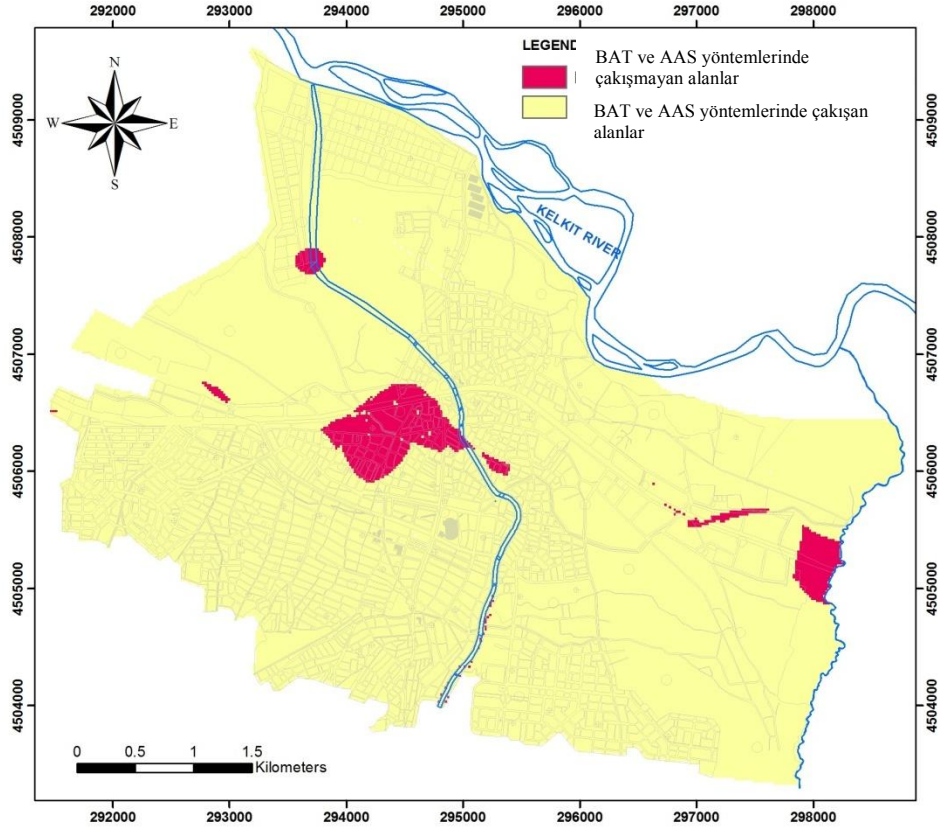


Şekil 7.13. AAS yöntemine göre hazırlanan sismik mikrobölgeleme haritası

7.6 Sismik Mikrobölgeleme Haritalarının Karşılaştırılması

BAT ve AAS yöntemleri kullanılarak hazırlanan sismik mikrobölgeleme haritalarını karşılaştırabilmek için her iki haritanın farkı alınmıştır (Şekil 7.14). Bu haritadaki kırmızı alanlar, her iki yöntemde çakışmayan alanları göstermektedir. Sarı alanlar ise, her iki yöntemde uyumlu alanlardır.

Yapılan karşılaştırmaya göre, sonuçlar genellikle birbirleriyle uyumludur. Çakışmayan alanlar, daha çok “önemli alan” ve “detaylı jeoteknik inceleme gerektiren alanlar” kategorisindedir (Şekil 7.14). Ayrıca, “uygun alanlar”da uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Bu çerçevede, AAS yöntemi BAT yöntemine göre daha gerçekçi kriter sınanmasını içerdiğinden, AAS yöntemine göre hazırlanan harita, Erbaa yerleşim yeri için kullanılabilir sismik mikrobölgeleme haritası olarak kabul edilmiştir.



Şekil 7.14 BAT ve AAS yöntemlerine göre hazırlanan sismik mikrobölgeleme haritalarının karşılaştırılması

AAS'ye göre hazırlanan mikrobölgeleme haritasının kuzey kısmı genelde detaylı jeoteknik inceleme gerektiren alan statüsündedir. Öte yandan, güneydeki Pliyosen çökellerinde uygun alanlar yer almaktadır. Kuzey-Güney geçiş zonunda ise, önemli alanlar bulunmaktadır.

8. TARTIŞMA

Erbaa'nın mikrobölgelemesi amaçlı bu çalışma, iki ana unsur üzerine kurulmuştur. Bunlar, “veri üretimi” ve “veri analizi” dir. Raporun bu kısmında, her iki aşama ile ilgili tartışma/değerlendirme yapılacaktır.

8.1 Veri Üretimi

Pratikte, arazi ölçüm tekniklerinin bazı sınırlamaları olabilmektedir. Önemli olan husus, bu yöntemlerin avantaj ve dezavantajlarının dikkate alınmasıdır. Zemin etütlerinde, normal şartlar altında her 1.5 m’de bir SPT ve her 3 m’de bir örselenmemiş (Shelby tüp) örnek alınmaktadır. Bu çalışmada ise, SPT ve örselenmemiş örnekler her m’de bir alınmıştır. Böylece, zemin profilinin hemen hemen tamamı örneklenebilmiştir. Böylesi sık aralıklı örnekleme ile sismik mikrobölgeleme amaçlı daha çok analiz yapabilmeye şansı elde edilmiştir. Ayrıca, sondaj kuyusu derinliği bu tür çalışmalarda çok önemlidir. Ülkemizde yapılan diğer bir çok çalışmadan farklı olarak, bu çalışma kapsamında açılan sondajlar 30 m derinliğe kadar devam ettirilmiştir. Böylece, zemin sınıflamasında kullanılan ilk 30 m’lik zonun kesme dalgası (V_{s30}), SPT-N – V_s ilişkisinden bulunabilmiştir. Çakıllı seviyelerde meydana gelen göçmeler dolayısıyla, bazı kuyularda istenilen derinliğe inilememiştir.

SPT-bazlı uphole yöntemi, bu çalışma kapsamında ilk kez Türkiye’de uygulanmıştır. Bu yöntem ile, SPT deneyi yapılırken aynı anda ve derinlikte V_s ölçümü alınabilmektedir. SPT’nin yarattığı titreşim bu yöntemde kaynak olarak kullanılmaktadır. Böylece, daha hassas bir SPT-N – V_s ilişkisi elde edilebilir. Sonuçlar, ampirik formüller elde edilen değerlerle karşılaştırılabilir. Bu yöntem, pratikte her jeoteknik etütte kullanılabilir. Bununla beraber, literatürde önerilen farklı SPT-N – V_s formülleri de dikkate alındığında, doğrudan SPT-N değerinden V_s değerine bir formülle geçmek doğru sonuçlar vermeyebilir. O nedenle, her bir inceleme alanı için bu ilişkinin belirlenmesinde yarar vardır. Buradan derinliği V_s değerine olan etkisi önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, V_s korelasyonunda derinlik etkisi de dikkate alınarak inceleme alanı için kullanılacak bir formül önerilmiştir.

Mikrobölgeleme çalışmalarında mikrotremör ölçümleri yapılmaktadır. Ancak, bu ölçümlerin bazı sınırlamaları bulunmaktadır. Mikrotremör ölçümleri diğer yöntemlere göre daha yüksek büyüme değerleri vermektedir. Bu yöntem, diğer yöntemlerle elde edilen verilerle karşılaştırma amaçlı kullanılmalıdır.

Bu çalışmada, Erbaa için zemin hareket tahmini de yapılmıştır. Yeni önerilen NGA (gelecek nesil azalım modelleri) deprem zemin parametrelerini elde edebilmek için kullanılmıştır. Çok sayıda araştırmacı tarafından çeşitli yerel azalım ilişkileri mevcuttur. Ancak, bu ilişkilerdeki veri sayısı ve kalitesi NGA modelleri üretirken önem arz etmektedir. NGA modeller, var olan yer hareket modellerinin en gelişmişidir ve tektonik açıdan aktif bölgelerde kullanılabilir. Bu çalışmada, Erbaa için uygun yeni NGA modeli seçilmiştir. Buna ek olarak, NGA modellerinde, fay düzlemi üzerindeki bloğun etkisi, sediman ve basen derinliği etkisi önerilmektedir. Bu çalışmada, iki farklı NGA modeli kullanılarak farklı azalım model parametreleri dikkate alınmış ve farkları ortaya konmaya çalışılmıştır.

Dinamik zemin parametreleri çoğunlukla Vs değerlerine bağlı olup, incelenen alan özelinde zemin tepki analizi yapılmaktadır. Erbaa için, ilk 30 m'lik zeminin ortalama Vs değeri bulunmuştur. Her bir sondaj yerine ait bu değerlerin, SPT-N sayısı ile korelasyonu araştırılmıştır. Çok sayıda veri olması dolayısıyla, çalışma alanı için böyle bir ilişkiyi belirlemek mümkün olmuştur.

Tüm alan için zemin profilini modelleyebilmek için, Erbaa çalışma alanı boyutu ve var olan veri dikkate alınarak, 500x500 m'lik kareli sistem kullanılmıştır. 1-boyutlu eşdeğer doğrusal yöntem kullanılarak yer tepki analizi yapılmıştır. Ancak bu yöntemde tüm deprem dalgası tipleri dikkate alınmamaktadır. Daha detaylı araştırma gerektiğinde, 2- veya 3-boyutlu çalışılabilir. 1-boyutlu azalım ve indirim modül eğrileri yerel koşullar dikkate alınarak değiştirilmiştir. Değiştirilen eğriler Erbaa'daki farklı çevre basınçları dikkate alınarak yapılmıştır.

Alana özel modeller, çalışma alanındaki farklı zemin koşullarını analiz edebilmek için yararlı bulunmuştur. Ancak, bu değişiklik yapılırken, anlamsız bir sonucun çıkmamasına dikkat edilmelidir.

Bu çalışmada, büyüme oranlarının dağılımı da haritalanmıştır. Mikrobölgeleme çalışmalarında önem arz eden bu oranlar, deneysel ve ampirik yöntemler kullanılarak bulunmuştur. Farklı periyotlar için zemin büyüme faktörleri değişebilmekte olup, yapılardaki salınım etkisi dikkate alınarak büyütme incelenmelidir.

Sıvılaşma analizleri deterministik yaklaşıma göre yapılmıştır. Erbaa'nın mikrobölgelemede kullanılan sıvılaşma haritası ise, sıvılaşma ve sıvılaşma sonrası etkiler beraberce dikkate alınarak hazırlanmıştır.

8.2 Veri Değerlendirmesi

Bu çalışmanın değerlendirme safhasında karşılaştırma analizinde kullanılmak üzere çok sayıda harita üretilmiştir. Bazı tematik haritalarda kendi içinde analiz edilerek birleştirilmiş ve karşılaştırma analizine hazır hale getirilmiştir.

Çakıştırma analizinde her bir tematik katmanın etkisi farklıdır. Bu nedenle, değerlendirme aşamasında Çok Ölçütlü Karar Analizi (ÇÖKA) kullanılmıştır. Bu yöntemin en zayıf noktası her bir katman için seçilen ağırlık değerleridir. Bu nedenle, iki farklı ÇÖKA yöntemi (basit ağırlıklı toplam-BAT ve analitik aşamalı sistem-AAS) uygulanarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma matrisi kullanılan AAS yöntemi, ağırlık atamada daha sağlıklıdır. Sonuç olarak, farklı katmanlar arasındaki ilişkiyi belirleyebilmek mümkündür. Ancak, elde edilen mikrobölgeleme haritasının tekrar sınıflandırılması ve kullanıma uygunluk açısından değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmadaki son sınıflandırmada, Afet İşleri Genel Müdürlüğü (2000) tarafından kullanılan yaklaşım dikkate alınmıştır.

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Erbaa yerleşim yerinde topoğrafik, jeolojik, jeofizik ve jeoteknik yöntemlerin kullanıldığı CBS-bazlı mikrobölgeleme çalışmasında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. Aktif KAFZ içerisindeki Erbaa yerleşim yeri, çimentolanmamış-az çimentolanmış çakıl, kum ve kilden oluşan Pliyosen çökelleri ile yanal-dikey yönde değişim gösteren Kelkit nehrinin getirdiği çakıl, kum, silt ve kilden oluşan alüvyon üzerinde bulunmaktadır.
2. Türkiye’de ilk defa uygulanan SPT-uphole yöntemi kullanılarak, derinliğe bağlı Vs hızlarının daha sağlıklı belirlenebildiği tesbit edilmiştir.
3. Faya olan mesafenin dikkate alındığı deterministik sismik tehlike analizi sonucuna göre, faya yakın olan alüvyonda, deprem-ilişkili tehlikenin daha fazla olacağı belirlenmiştir.
4. Erbaa yerleşim alanının kuzeybatısındaki alüvyonlu kesim, deprem-ilişkili deformasyonlar (sıvılaşma dolayısıyla oturma ve yanal yayılma) açısından daha duyarlıdır. Özellikle Kelkit nehri kıyısında yapılarda hasar oluşabilir. Yerleşim yerinin kuzeydoğusu ve güneyinde daha az deprem ilişkili hasar beklenmektedir.
5. Farklı yöntemlerin farklı sonuçlar verdiği ve yer yer 2-3 kat büyütmenin beklendiği çalışma alanında, farklı periyotlarda büyütme miktarı da değişmektedir.
6. Basit Ağırlıklı Toplam (BAT) ve Analitik Aşamalı Sistem (AAS) kullanılarak CBS ortamında yapılan çoklu katman çakıştırma analizine göre, çalışma alanı için, AAS yöntemi daha iyi ve kullanılabilir bir sismik mikrobölgeleme haritası vermiştir. Buna göre, inceleme alanında (a) uygun alan, (b) önlemler alan, (c) detaylı jeoteknik inceleme gerektiren alan, ve (d) uygun olmayan alan (fay zonu ve 1. derece sit alanı) mevcuttur.

Bu çalışmada çerçevesinde elde edilen veriler ve inceleme/analiz sonuçlarına göre, aşağıdaki öneriler sunulmuştur:

1. AAS yöntemi ile hazırlanmış sismik mikrobölgeleme haritası, Erbaa yerleşim yerinin uzun vadeli planlamasında kullanılmalıdır. Bu haritada belirtilen fay zonu ve 1. derece sit alanı yerleşime kapatılmalıdır.
2. Yapılan araştırma alansal olup, detaylı jeoteknik araştırma gerektiren alanlarda, parsel bazında etüt yapılması gerekmektedir.
3. Çalışma alanı için, probabilistik (olasılıksal) yöntemle de sismik tehlike analizinin yapılması ve elde edilecek sonuçların deterministik yöntemle elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmasında yarar vardır.

10. KAYNAKLAR

ABRAHAMSON, N.A., Silva, W., 2008. Summary of the Abrahamson & Silva NGA ground-motion relations. *Earthquake Spectra*, 24(1), 67-97.

Afet İşleri Genel Müdürlüğü, 2008. www.deprem.gov.tr/indexen.html, 01.02. 2008.

AKADEMI GEOTECHNICAL COMPANY, 2002. Erbaa Organize Sanayi Bolgesi Jeoloji-Jeoteknik Etut Raporu, Ankara (unpublished, in Turkish).

AKIN, M., Topal, T., 2008a. Assessment of SPT-based liquefaction of Erbaa (Tokat), Turkey. 6th Int. Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, 12-16 August 2008, Arlington-VA, USA

AKIN, M., Topal, T., 2008b. Estimation of liquefaction effects of Erbaa (Turkey) by using liquefaction potential index. EUROENGE0, 15-20 September 2008, Madrid, Spain

AKIN, M., Kramer, S.L., Topal, T., 2009. Comparison of measured and estimated shear wave velocities in a seismically active area (Erbaa, Turkey). Fifth International Conference on "Recent advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, San Diego, California (in press).

AKTIMUR, K.T., Tekirli, M.E., Yurdakul, M. E., Ateş, Ş., Ürgün, B.M., Teoman, M.Ş., Keçer, M., Turşucu, A., Genç, S., 1989. Niksar-Erbaa ve Destek Dolayının Jeolojisi; MTA Rap., 8894, Ankara, (unpublished, in Turkish)

AKTIMUR, K.T., Tekirli, M.E., Yurdakul, M. E., Ateş, Ş., Ürgün, B.M., Teoman, M.Ş., Keçer, M., Turşucu, A., Genç, S., 1990. 1:100 000 ölçekli açınsama nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi Tokat D 22 paftası: MTA Yayl., Ankara.

AKTIMUR, T., Ates, S., Yurdakul, E., Tekirli, E., Kecer, M., 1992. Niksar-Erbaa ve Destek Dolayının Jeolojisi. *MTADergisi*, 114, 36 pp (in Turkish).

ALLEN, C.R., 1969. Active Faulting in Northern Turkey, Division of Geological Science, California Institute of Technology, Contr. No. 1577, 32 pp.

AMBRASEYS, N.N., 1970. Some characteristic features of the Anatolian fault zone. *Tectonophysics*, 9, 143-165.

AMBRASEYS, N.N., Finkel, C.F., 2006. Türkiye'de ve Komşu Bölgelerde Sismik Etkinlikler: Bir Tarihsel İnceleme (1500-1800), TÜBİTAK Akademik Dizi, 252 pp. (in Turkish).

ANDRIEUX, J., Over, S., Poisson, A., Bellier, O., 1995. The North Anatolian Fault Zone: distributed Neogene deformation in its northward convex part. *Tectonophysics*, 243, 135-154.

ANDRUS, R.D., Stokoe, K.H., 1997. Liquefaction resistance based on shear wave velocity in evaluation of liquefaction resistance of soils. National Center for Earthquake Engineering Research (NCEER) Workshop. Proceedings, Salt Lake, UT, Youd, T. L.; Idriss, I. M., (eds.), 89-128.

ANDRUS, R.D., Stokoe, K.H., 2000. Liquefaction resistance of soils from shear-wave velocity. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 126(11), 1015-1025.

ANDRUS, R.D., Fairbanks, C.D., Zhang, J., Camp, W.M., Casey, T. J., Cleary, T. J., Wright, W.B., 2006. Shear-wave velocity and seismic response of nearsurface sediments in Charleston, South Carolina. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 96(5), 1897-1914.

ANSAL, A., Iyisan, R., Yildirim, H., 2001. The cyclic behaviour of soils and effects of geotechnical factors in microzonation, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 21, 445-452.

ANSAL, A., Laue, J., Buchheister, J., Erdik, M., Springman, S., Studer, J., Koksal, D., 2004. Characterization and site amplification for a seismic microzonation study in Turkey, 11th Intern. Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 3rd Intern. Conf. on Earthquake Geotechnical Engineering, Berkeley, California, USA., 8 pages.

ANSAL, A., Tonuk, G., 2007. Source and site factors in microzonation. In: Ptilakis, K.D. (ed.), *Earthquake Geotechnical Engineering*, 4th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering-Invited Lectures, 73-92.

ARMIJO, R., Meyer, B., Hubert, A., Barka, A., 1999. Westward propagation of the North Anatolian fault into the northern Aegean: timing and kinematics. *Geology*, 27, 267-270.

ARPAT, E., Şaroğlu, F., 1975. Türkiye'deki bazı önemli genç tektonik olaylar, *TJK Bülteni*, 18, 91-101 (in Turkish).

ASTM, 1994. Annual Book of ASTM Standarts – Soil and Rock, Building Stones, Section-4, Constructions, V. 04.08. ASTM Publications, 972 pp.

ASTM D 5778-95, 2000. Standard test method for performing electronic friction cone and piezocone penetration testing of soils. ASTM, West Conshohocken, PA.

ATHANASOPOULOS, G.A., 1995. Empirical correlations Vs-N SPT for soils of Greece: a comparative study of reliability. Proceedings of 7th International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering (Chania, Crete) ed A.S.C, Akmak (Southampton: Computational Mechanics), 19-36.

AYDAN, O., Hamada, M., Bardet, J.P., Ulusay, R., Kanibir, A., 2004. Liquefaction induced lateral spreading in the 1999 Kocaeli earthquake, Turkey: case study around the Hotel Sapanca. 13th World Conference on Earthquake Engineering. Vancouver, B.C., Canada, Paper No. 2921.

AYHAN, E., Alsan, E., Sancaklı, N., Üçer, S.B, 1984. Turkish Earthquake Catalogue - Türkiye ve Dolayları Deprem Kataloğu 1881-1980, Boğaziçi Üniversitesi, 126 pp. (in Turkish).

BAKER, J.W., 2007. Quantitative classification of near-fault ground motions using wavelet analysis. Bulletin of the Seismological Society of America, 97(5), 1486-1501.

BANG, E., Kim, D., 2007. Evaluation of shear wave velocity profile using SPT-based uphole method, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 27, 741-758.

BARDET, J.P., Mace, N., Tobita, T., Hu, J., 1999. Large-scale modeling of liquefaction-induced ground deformation: Part I. A four parameter MLR model. Proceedings of the 7th U.S.-Japan Workshop on Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Countermeasures against Soil Liquefaction, 155-173.

BARKA, A., 1984. Kuzey Anadolu Fay Zonudaki Bazı Neojen-Kuvanterner Havzalarının Jeolojisi ve Tektonik Evrimi, Ketin Simpozyumu, 209-227 (in Turkish).

BARKA, A., Hancock, P.L., 1984. Neotectonic deformation patterns in the convex-northwards arc of the North Anatolian fault zone. In: Dixon, J.E., Robertson, A.H.F. (Eds.), The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean. Geol. Soc. London, Spec. Publ. 17, 763-774.

BARKA, A., Gulen, L., 1989. New constraints on age and total offset of the North Anatolian Fault Zone: implications for tectonics of the Eastern Mediterranean region, METU. Journal of Pure and Applied Sciences, 21, 39-63.

BARKA, A., 1992. The North Anatolian Fault Zone. Annal. Tecton., 6, 164-195.

BARKA, A. A., Akyüz, S. H., Cohen, H. A., Watchorn, F. 2000. Tectonic evolution of the Nixsar and Taşova-Erbaa pull-apart basins, North Anatolian Fault Zone: their significance for the motion of the Anatolian block. Tectonophysics 322, 243-264.

BELL, F.G., Cripps, J.C., Culshaw, M.G., O'Hara, M., 1987. Aspects of geology in planning. In: Culshaw, M.G., Bell, F.G., Cripps, J.C., O'Hara, M. (Eds.), Planning and Engineering Geology. Geological Society Engineering Geology Special Publication, 4, 1-38.

BELLIER, O., Over, S., Poisson, A., Andrieux, J., 1997. Recent temporal change in stress state and modern stress field along the North Anatolian Fault Zone (Turkey). Geophysical Journal International, 131, 61-86.

BELLO-DAMBATTA, A., Farmani, R., Javadi, A.A., Evans, B.M., 2009. The Analytical Hierarchy Process for contaminated land management. *Advanced Engineering Informatics*, 23, 433-441.

BLUMENTHAL, M.M., 1950, Beitrage zur geologie des landschttten am mittleren und underen Yeşilirmak (Tokat, Amasya, Havza, Erbaa, Niksar): MTA Yayl., Seri D, no. 4, Ankara (in German).

BOORE, D.M., 2004. Estimating $V_{s(30)}$ (or NEHRP Site Classes) from shallow velocity models (depths < 30 m). *Bulletin of the Seismological Society of America*, 94(2), 591-597.

BOORE, D.M., Atkinson, G.M., 2008. Ground-motion prediction equations for the average horizontal component of PGA, PGV, and 5%-damped PSA at spectral periods between 0.01 s and 10.0 s. *Earthquake Spectra*, 24(1), 99-138.

BORCHERDT, R.D., Wentworth, C.M., Janssen, A., Fumal, T., Gibbs, J., 1991. Methodology for predictive GIS mapping of special study zones for strong ground shaking in the San Francisco Bay Region. *Proceedings of the 4th International Conference on Seismic Zonation*, 3, 545-552.

BOULANGER, R. W., Idriss, I. M., 2005. Evaluating cyclic failure in silts and clays. *Proceedings, Geotechnical Earthquake Engineering Satellite Conference on Performance Based Design in Earthquake Geotechnical Engineering: Concepts and Research*. Prepared by TC4 Committee of ICSMGE, Japanese Geotechnical Society, Tokyo, 78-86.

BOZKURT E., Kocyigit A., 1995. Almus Fault Zone: its age, total offset and relation to the North Anatolian Fault Zone, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 4, 93-104.

BOZKURT E., Kocyigit A., 1996. The Kazova basin: an active negative flower structure on the Almus Fault Zone, a splay fault system of the North Anatolian Fault Zone, Turkey, *Tectonophysics*, 265, 239-254.

BOZKURT E, 2001a. Late Alpine evolution of the central Menderes Massif, western Turkey. *International Journal of Earth Sciences*, 89, 728-744.

BOZKURT, E., 2001b. Neotectonics of Turkey-a synthesis, *Geodynamica Acta*, 14, 3-30.

BOZORGNIA, Y., Campbell, K.W., 2004. Engineering characterization of ground motion. In: Bozorgnia, Y, and Bertero, V.V. (eds.), *Earthquake engineering from engineering seismology to performance-based engineering*, CRC Press, Chapter 5, 74 pp.

BRAY, J.D., Sancio, R.B., Youd, L.F., Durgunoglu, T., Onalp, A., Cetin, K.O., Seed, R.B., Stewart, J.P., Christensen, C., Baturay, M.B., Karadayilar, T., Emrem, C., 2001. Documenting incidents of ground failure resulting from the August 17, 1999 Kocaeli, Turkey Earthquake: Data report characterizing subsurface conditions, PEER. 588 pp.

BRAY, J. D., Sancio, R. B., 2006. Assessment of the liquefaction susceptibility of fine-grained soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 132(9), 1165-1177.

- BRYANT, W.A., Hart, E.W., 2007. Fault-rupture hazard zones in California: Alquist-Priolo Earthquake Fault Zoning Act with Index to Earthquake Fault Zones Maps. Special Publication 42, California Department of Conservation, California Geological Survey, 42 pp.
- BURLAND, J.B., 1989. Small is beautiful: the stiffness of soils at small strains. *Canadian Geotechnical Journal*, 26(4), 499-516.
- CAMPBELL, K.W., Bozorgnia, Y., 2008. NGA ground motion model for the geometric mean horizontal component of PGA, PGV, PGD, and 5% damped linear elastic response spectra for periods ranging from 0.01 to 10 s. *Earthquake Spectra*, 24(1), 139-171.
- CANIK, B., Kayabalı, K., 2000. Erbaa (Tokat) Zeminlerinin Depremsellik Açısından Değerlendirilmesi, Ankara University, Faculty of Natural Science, Geological Engineering Department Project Report (unpublished, in Turkish).
- CASTRO, R.R., Anderson, J.G., Singh, S.K., 1990. Site response, attenuation and source spectra of S-waves along the Guerrero, Mexico subduction zone. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 79, 1481-1503.
- CETIN, K.O., 2000. Reliability-based assessment of seismic soil liquefaction initiation hazard. Ph.D. dissertation, Univ. of California, Berkeley (unpublished).
- CETIN, K.O., Youd, T.L., Seed, R.B., Bray, J.D., Sancio, R., Lettis, W., Yilmaz, M.T., Durgunoglu, H.T., 2002. Liquefaction induced ground deformations at Hotel Sapanca during Kocaeli (Izmit) earthquake. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 22, 1083-1092.
- CETIN, K.O., Seed, R.B., Kiureghian, A.D., Tokimatsu, K., Harder L.F., Kayen R.E., 2004. Standard penetration test-based probabilistic and deterministic assessment of seismic soil liquefaction potential, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 130(12), 1314-1340.
- CETIN, K.O., Bilge, H.T., Wu, J., Kammerer, A.M., Seed, R.B., 2009. Probabilistic models for cyclic straining of saturated clean sands. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 135(3), 371-386.
- CHIOU, B., Youngs, R.R., 2008. An NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra. *Earthquake Spectra*, 24(1), 173-215.
- DAI, F.C., Liu, Y., Wang, S., 1994. Urban geology: a case study of Tongchuan City, Shaanxi Province, China. *Engineering Geology*, 38, 165-175.
- DAI, F.C., Lee, C.F., Zhang, X.H., 2001. GIS-based geo-environmental evaluation for urban land-use planning: a case study. *Engineering Geology*, 61, 257-271.
- DAY, R., 2002. *Geotechnical Earthquake Engineering Handbook*. McGraw Hill Handbook. 700 pp.

DEMİRTAŞ, R., Yılmaz, R., 1996. Türkiye'nin Sismotektoniği, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı yayınları (in Turkish).

DEWEY, J.W., 1976. Seismicity of northern Anatolia. Bulletin of the Seismological Society of America, 66, 843-868.

DIKMEN, U., 2009. Statistical correlations of shear wave velocity and penetration resistance for soils. Journal of Geophysics and Engineering, 6, 61-72.

DIKMEN, U., Pamuk, E., Akın, Ö., Ateş, B., Altuner, B., Demirel, M., Cam, A., 2009. Kuzey Anadolu Fay Zonu Üzerinde Kelkit Vadisi Boyunca Yer Alan Yerleşim Alanlarının Doğal Afet Risk Analizi ve Afet Bilgi Sisteminin Oluşturulması, Jeofizik İş Paketi, DPT Proje no: CUBAP M-359/DPT 2006K-120220 (in Turkish).

DIRİK K., 1993. Geological history of the northward arched segment of the North Anatolian Transform fault Zone, Geol J. 28, 251–266.

DIRİK K., Göncüoğlu, M.C., 1996. Neotectonic characteristics of Central Anatolia. Inter. Geol. Rev., 38, 807-817.

DOBRY, R., Borchardt, R.D., Crouse, C.B., Idriss, I.M., Joyner, W.B., Martin, G.R., Power, M.S., Rinne, E.E., Seed, R.B., 2000. New site coefficient and site classification system used in recent building code provisions. Earthquake Spectra 16 (1), 41-67.

DSİ (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü), 1971. Erbaa Ovası Hidrojolojik Etüt Raporu. Ankara, 49 pp (in Turkish).

DUKU, P.M., Stewart, J.P., Whang, D.H., Yee, E., 2008. Volumetric strains of clean sands subject to cyclic loads. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 134(8), 1073-1085.

ERGIN, M., Ozalaybey, S., Aktar, M., Yakin, M.N., 2004. Site amplification at Avcılar, Istanbul. Tectonophysics, 391, 335-346.

FUJIWARA, T., 1972. Estimation of ground movements in actual destructive earthquakes. Proceedings of the Fourth European Symposium on Earthquake Engineering, London, 125-132.

FUMAL, T.E., Tinsley, J.C., 1985. Mapping shear wave velocities of near surface geological materials; In: Predicting areal limits of earthquake induced landsliding; In evaluation of earthquake hazards in the Los Angeles region – An earth science perspective (ed.) Ziony T. I, USGS Paper 1360, 127-150.

GDDA, 1996. Earthquake zoning map of Turkey. General Directorate of Disaster Affairs. Ministry of Reconstruction and Resettlement of Turkey (in Turkish).

GDDA, 2000. Laws and regulations: regulations for the construction of buildings in hazard areas, Ankara, 244-332 (in Turkish).

Göksu, E., 1960. 1:500 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası, Samsun paftası: MTA Yayınları, Ankara.

HAKE, S.S., 1987. A review of engineering geological and geotechnical aspects of town and country planning with particular reference to minerals and the extractive processes. In: Culshaw, M.G., Bell, F.G., Cripps, J.C., O'Hara, M. (Eds.), Planning and Engineering Geology. Geological Society Eng. Geology Special Publication, 4, 69-74.

HAMADA, M., 1999. Similitude law for liquefied-ground flow. Proceedings of the 7th U.S.-Japan Workshop on Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Countermeasures against Soil Liquefaction, 191-205.

HANUMANTHARAO, C., Ramana, G.V., 2008. Dynamic soil properties for microzonation of Delhi, India. J. Earth Syst. Sci., 117, S2, 719-730.

HASANÇEBİ, 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., Bennett, M.J., Noce, T.E., Tinsley, J.C., 2005. Shear-wave velocity of surficial geologic sediments in northern California: Statistical distributions and depth dependence. Earthquake Spectra, 21, 161-177.

HUANG, Y., 2008. Performance-Based Design and Evaluation for Liquefaction-Related Seismic Hazard, PhD Thesis, University of Washington, Seattle, WA.

HUMPHREY, J.R., Anderson, J.G., 1992. Shear wave attenuation and site response in Guerrero, Mexico. Bulletin of the Seismological Society of America, 82, 1622-1645.

IDRISS, I.M., Moriwaki, Y., Wright, S.G., Doyle, E.H., Ladd, R.S., 1980. Behavior of normally consolidated clay under simulated earthquake and ocean wave loading conditions. Proceedings, International Symposium on Soils under Cyclic and Transient Loading, Swansea, United Kingdom, 1, 437-445.

IDRISS, I.M., Boulanger, R.W., 2006. Semi-empirical procedures for evaluating liquefaction potential during earthquakes. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 26, 115-130.

IDRISS, I.M., 2008. An NGA empirical model for estimating the horizontal spectral values generated by shallow crustal earthquakes. Earthquake Spectra, 24(1), 217-242.

IDRISS, I. M., Boulanger, R. W., 2008. Soil liquefaction during earthquakes. Monograph MNO-12, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA, 261 pp.

IMAI, T., Yoshimura, Y., 1970. Elastic wave velocity and soil properties in soft soil. Tsuchi-to-Kiso 18 (1), 17-22 (in Japanese).

IMAI, T., Fumoto, H., Yokota, K., 1975. The relation of mechanical properties of soil to P- and S- wave velocities in Japan. Proceedings of 4th Japan Earthquake Engineering Symp., 89-96, (in Japanese).

IMAI, T., 1977. P and S wave velocities of the ground in Japan. Proceeding of IX International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 2, 127-132.

IMAI, T., Tonouchi, K., 1982. Correlation of N-value with S-wave velocity and shear modulus. Proceedings of the 2nd European Symposium of Penetration Testing, Amsterdam, 57-72.

INAN, E., Colakoglu, Z., Koc, N., Bayülke, N., Coruh, E., 1996. Earthquake Catalogs with Acceleration Records from 1976 to 1996. , General Directorate of Disaster Affairs, Earthquake Research Department, Ankara, Turkey, 98 pp (in Turkish).

IRRLITZ, W., 1972. Lithostratigraphie und tektonische Entwicklung des Neogens in Nordostanatolien. Bei. Geol. Jh., 120, 111 pp (in German).

ISHIHARA, K., Yoshimine, M., 1992. Evaluation of settlements in sand deposits following liquefaction during earthquakes. Soils and Foundations, 32(1), 173-188.

IWASAKI, T., Tokida, K., Tatsuoka, F., Watanabe, S., Yasuda, S., Sato, H., 1982. Microzonation for soil liquefaction potential using simplified methods. Proceedings of the 3rd International Conference on microzonation, Seattle, 3, 1310-1330.

IYISAN, R., 1996. Correlations between shear wave velocity and in-situ penetration test results. Chamber of Civil Engineers of Turkey. Teknik Dergi, 7(2), 1187-1199 (in Turkish).

JAFARI, M.K., Asghari, A., Rahmani, I., 1997. Empirical correlation between shear wave velocity (V_s) and SPT-N value for south of Tehran soils. Proceedings of 4th International Conference on Civil Engineering (Tehran, Iran) (in Persian).

JAFARI, M.K., Shafiee, A., Razmkhah, A., 2002. Dynamic properties of fine grained soils in south of Tehran. Journal of Seismological Earthquake Engineering, 4, 25-35.

JINAN, Z., 1987. Correlation between seismic wave velocity and the number of blow of SPT and depth. Selected Papers from the Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 92-100.

JOYNER, W.B., Fumal, T.E., 1984. Use of measured shear-wave velocity for predicting geologic site effects on strong ground motion. In: Proceedings of Eighth World Conference on Earthquake Engineering, Vol. II, 777-783.

JUANG, C.H., Yuan, H., Lee D.H., Lin P.S., 2003. Simplified cone penetration test-based method for evaluating liquefaction resistance of soils. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 129(1), 66-80.

KALTEZIOTIS, N., Sabatakakis, N., Vassiliou, J., 1992. Evaluation of dynamic characteristics of Greek soil formations (in Greek). In: Second Hellenic Conference on Geotechnical Engineering, 2, 239-246.

KANAI, K., Tanaka, T., Osada, K., 1954. Measurement of microtremor. I., Bulletin of Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 32, 199-209.

KANAI, K., 1966. Conf. on Cone Penetrometer The Ministry of Public Works and Settlement (Ankara, Turkey) (presented by Y Sakai, 1968).

KANAI, K., Tanaka, T., 1961. On microtremors VIII, Bulletin of the Earthquake Research Institute, 39, 97-114.

KANIBIR A, Ulusay R, Aydan O, 2006. Assessment of liquefaction and lateral spreading on the shore of Lake Sapanca during the Kocaeli (Turkey) earthquake. Engineering Geology, 83(4), 307-331.

KAPTAN, E., 1990. Findings Related to the History of Mining in Turkey, Mineral Res. Expl. Bull., 111, 75-84.

KAYMAKÇI, N. 2000. Tectono-stratigraphical evolution of the Çankırı Basin (Central Anatolia, Turkey). Ph.D. Thesis, Utrecht University, The Netherlands. Geologica Ultraiectina, no. 190, 248 pp (unpublished).

KAYABALI, K., 1996. Soil liquefaction evaluation using shear wave velocity. Engineering Geology, 44(1), 121-127.

KEÇER, M., 1990. Kıtasal alandaki aktif plaka sınırının şekillenmesine bir örnek: Erbaa-Niksar havzası ve jeomorfolojik evrimi, Jeomorfoloji Dergisi, 18, 11-18, Ankara (in Turkish).

KETIN, I., 1948. Über die tektonisch-mechanischen Folgerungen den grossen anatolischen Erdbeben des letzten Dezenni- sindeki alanin belirlenmesi. In: ums. Geol. Rundsch. 36, 77-83 (in German).

KETIN, I. ve Gümüş, O., 1963. Sinop-Ayancık arasının III. Bölgeye dahil sahaların jeolojisi: TPAO Rap., 288 (unpublished, in Turkish).

KETIN, I., 1968. Relations between general tectonic features and the main earthquake regions of Turkey. Min. Res. Explor. Inst. Bull., 71, 63-67.

KETIN, I., 1969. Kuzey Anadolu Fayı Hakkında. MTA Dergisi 72, 1-25 (in Turkish).

KIKU, H., Yoshida, N., Yasuda, S., Irisawa, T., Nakazawa, H., Shimizu, Y., Ansal, A., Erkan, A., 2001. In-situ penetration tests and soil profiling in Adapazari, Turkey. Proceedings of the ICSMGE/TC4 Satellite Conference on Lessons Learned From Recent Strong Earthquakes, 259-265.

KIRATZI, A.A., 1993. A study of the active crustal deformation of the North and East Anatolian fault zones. Tectonophysics, 225, 191-203.

KOÇYIĞIT, A., Beyhan, A., 1998. A new intracontinental transcurrent structure: the Central Anatolian Fault Zone, Turkey. Tectonophysics, 284, 317-336.

KOÇYIĞIT, A., Erol, O.A., 2001. Tectonic escape structure: Erciyes pull-apart basin, Kayseri, Central Anatolia, Turkey. Geodinamica Acta, 14, 133-145.

- KOÇYIĞIT, A., 1988. Basic geological characteristics and total offset of the North Anatolian Fault zone in Suşehri area, NE Turkey. *METU Pure and Applied Sciences*, 22(3), 43-68.
- KOÇYIĞIT, A., 1989. Susehri basin: an active fault-wedge basin on the North Anatolian Fault Zone, Turkey. *Tectonophysics movements in the Arabia–Africa–Eurasia plate collision zone*. 167, 13-29.
- KOÇYIĞIT, A., 1990. Tectonic setting of the Golova Basin, total offset of the North Anatolian Fault Zone, Eastern Pontide, Turkey. *Annal. Tecton.* IV(2), 155-170.
- KOÇYIĞIT, A., 1991. An example of an accretionary forearc basin from Northern central Anatolia and its implications for the history of subduction of Neo-Tethys in Turkey: *Geological Society of America Bulletin*, 103, 22-36.
- KOLAT, Ç., 2004. Geographical Information Systems Based Microzonation Map of Eskişehir Downtown Area. M.Sc. thesis, Middle East Technical University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara, Turkey, 94 pp.
- KRAMER, S.L., 1996. *Geotechnical Earthquake Engineering*. PrenticeHall, Upper Saddle River, New Jersey. 653 pp.
- KRAMER, S.L., Baska, D.A., 2006. Estimation of permanent displacement due to lateral spreading. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, accepted pending revisions.
- KRAMER, S.L., 2008. Evaluation of liquefaction hazards in Washington State. WSDOT Research Report, WA-RD 668.1, Final Research Report Agreement T2695, Task 66.
- KRAMER, S.L., 2009a. CEE 526 Geotechnical Earthquake Engineering lecture notes, University of Washington, Seattle, WA-USA.
- KRAMER, S.L., 2009b. Oral communication. University of Washington, Department of Civil and Environmental Engineering.
- LEE, S.H., 1990. Regression models of shear wave velocities. *J. Chin. Inst. Eng.*, 13, 519-532.
- LEGGET, R.F., 1987. The value of geology in planning. In: Culshaw, M.G., Bell, F.G., Cripps, J.C., O'Hara, M. (Eds.), *Planning and Engineering Geology*. Geological Society Engineering Geology Special Publication, 4, 53-58.
- LEHANE, B., Fahey, M., 2002. A simplified non-linear settlement prediction model for foundations on sand. *Canadian Geotechnical Journal*, 39(2), 293-303.
- MALCZEWSKI, J., 1999. *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. John Willey and Sons Inc. 392 pp.

- MARTIN, G.M. (Editor), 1994. Proceedings of the NCEER/SEAOC/BSSC Workshop on Site Response during Earthquakes and Seismic Code Provisions, University of Southern California, Los Angeles, 18-20 November 1992.
- MARSHALL, K.T., Oliver, R.M., 1995. Decision Making and Forecasting, McGraw-Hill, Inc., 407 pp.
- MAYNE, P.W., Schneider, J.A., Martin, G.K., 1999. Small- and large strain soil properties from seismic flat dilatometer tests. Proceedings of 2nd Int. Symp. on Pre-Failure Deformation Characteristics of Geomaterials, Torino, 1, 419-427.
- MCGILLIVRAY, A.V., Mayne, P.W., 2004. Seismic piezocone and seismic flat dilatometer tests at Treporti. Proceedings of 2nd Int. Conf. on Site Characterization, Porto, 2, 1695-1700.
- MCKENZIE, D., 1972. Active tectonics of the Mediterranean region. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, 55, 217-254.
- Metropol Geotechnical Company, 2005. Erbaa (Tokat) Sivi-atik Aritma Tesis Sahasinin Jeolojik-Jeoteknik-Jeofizik Etut Raporu, Samsun (unpublished, in Turkish).
- MIDORIKAWA, S., 1987. Prediction of isoseismal map in the Kanto plain due to hypothetical earthquake. Journal of Structural Engineering, 33B, 43-48.
- MOSS, R.E.S., 2003. CPT-based probabilistic assessment of seismic soil liquefaction initiation. Ph.D. Dissertation, University of California, Berkeley, CA.
- MOSS, R.E.S., Seed, R.B., Kayen, R.E., Stewart, J.P., Der Kiureghian, A., Cetin, K.O., 2006. CPT-based probabilistic and deterministic assessment of in-situ seismic soil liquefaction potential. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 132(8), 1032-1051.
- NAKAMURA, Y., 1989. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. Quarterly Report of Railway Technical Research Institute, 30(1), 25-33.
- National Center for Earthquake Engineering Research (NCEER) 1997. Proc. NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils, Eds. T. L. Youd and I. M. Idriss, Technical Rep. No. NCEER, 97-022, NCEER, Buffalo, N.Y, 1-40.
- NEHRP, 2000. Recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures, Part 1: Provisions, FEMA 368, Building seismic safety council of the National Institute of Building Sciences, USA.
- OHBA, S., Toriumi, I., 1970. Dynamic response characteristics of Osaka Plain. Proceedings of the Annual Meeting, A. I. J. (in Japanese).
- OHSAKI, Y., Iwasaki, R., 1973. On dynamic shear moduli and Poisson's ratio of soil deposits. Soil Found., 13, 61-73.

- OHTA, Y., Goto, N., 1976. Estimation of s-wave velocity in terms of characteristics indices of soil. *Butsuri-Tanko*, 29(4), 34-41.
- OHTA, Y., Goto, N., 1978. Empirical shear wave velocity equations in terms of characteristics soil indexes. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 6, 167-187.
- OHTA, Y., Goto, N., Kagami, H., Shiono, K., 1978b. Shear wave velocity measurement during a standard penetration test. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 6, 43-50.
- OJEDA, A., Escallon, J., 2000. Comparison between different techniques for evaluation of predominant periods using strong ground motion records and microtremors in Pereira Colombia. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 20, 137-143.
- OKADA, H., 2003. *The Microseismic Survey Method: Society of Exploration Geophysicists of Japan*. Translated by Koya Suto, Geophysical Monograph Series No. 12, Society of Exploration Geophysicists.
- OKAMOTO, T., Kokusho, T., Yoshida, Y., Kusunoki, K., 1989. Comparison of surface versus subsurface wave source for P-S logging in sand layer. *Proceedings of 44th Ann. Conf. JSCE*, 3, 996-997, (in Japanese).
- OLSEN, R.S., 1984. Liquefaction analysis using the cone penetrometer test (CPT). *Proc. 8th World Conf. on Earthquake Engrg.*, 3, 247-254.
- OLSEN, R.S., 1997. Cyclic liquefaction based on the cone penetration test. *Proc. NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils, Nat. Ctr. for Earthquake Engrg. Res., State Univ. of New York at Buffalo*, 225-276.
- OVER, S., Bellier, O., Poisson, A., Andrieux, J., Tutkun, Z., 1993. Esquisse de l'évolution néogène à actuelle de l'état de contrainte dans la partie centrale de la Faille Nord Anatolienne (Turquie). *C. R. Acad. Sci. Paris II* 317, 827-833 (in French).
- OZEL, O., Sasatani, T., 2004. A site effect study of the Adapazari basin, Turkey, from strong and weak-motion data. *Journal of Seismology*, 8(4), 559-572.
- ÖZCAN, A., Armağan, A., Erkan, A., Keskin, A., Keskin, E., Oral, A., Özer, S., Sümengen, M., Tekeli, O., 1980, Kuzey Anadolu Fayı ile Kırşehir Masifi arasında kalan alanın temel jeolojisi: MTA Enst. Rapor derleme no. 6722. Ankara (unpublished, in Turkish).
- ÖZGÜÇ, T., 1964. New finds from Horoztepe, *Anatolia VIII*, 1-25.
- ÖZMEN, B., Nurlu, M., Güler, H., 1997. Coğrafi Bilgi Sistemi ile Deprem Bölgelerinin İncelenmesi, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, 89 pp. (unpublished, in Turkish).
- ÖZTÜRK, A., 1979. Ladik-Destek dolayının stratigrafisi: *Türkiye Jeo. Kur. Bült.*, 22/1, 27-34, Ankara (in Turkish).

- PAVLENKO, O.V., 2008. Characteristics of soil response in near-fault zones during the 1999 Chi-Chi, Taiwan Earthquake. *Pure and Applied Geophysics*, 165(9-10), 1789-1812.
- PAVONI, N., 1961. Die Nordanatolische Horizontal-verschiebung. *Geol. Rundsch.* 51, 122-139 (in German).
- PITILAKIS, K.D, Anastasiadis, A., Raptakis, D., 1992. Field and laboratory determination of dynamic properties of natural soil deposits. *Proceedings of 10th World Conf. Earthquake Engineering*, Rotherdam, 1275-1280.
- PITILAKIS, K., Raptakis, D., Lontzetidis, K.T., Vassilikou, T., Jongmans, D., 1999. Geotechnical and geophysical description of Euro-Seistests, using field and laboratory tests, and moderate strong ground motions. *Journal of Earthquake Engineering*, 3, 381-409.
- PITILAKIS, K., 2004. Site effects. In: Ansal, A. (Ed.), *Recent Advances in Earthquake Geotechnical Engineering and Microzonation*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 139-197.
- POULOS, S.J., Castro, G., France, J. W., 1985. Liquefaction evaluation procedure. *Journal of Geotechnical Engineering*, 111(6), 772-792.
- RAPTAKIS, D.G., Anastasiadis, S.A.J., Pitilakis, K.D., Lontzetidis, K.S., 1995. Shear wave velocities and damping of Greek natural soils. *Proceedings of 10th European Conf. Earthquake Engineering*, Vienna, 477-482.
- RAU, J.L., 1994. Urban and environmental issues in East and Southeast Asian coastal lowlands. *Engineering Geology*, 37, 25-29.
- RICHART, F.E., Hall, J.R., Woods, R.D., 1970. *Vibrations of Soils and Foundations*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 414 pp.
- ROBERTSON, P. K., Wride C. E., 1998. Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test. *Canadian Geotechnical Journal*, 35(3), 442-459.
- ROJAY, F.B., 1993. Tectonostratigraphy and neotectonic characteristics of the southern margin of Merzifon-Suluova Basin (Central Pontides, Amasya), Ph.D. Thesis, Middle East Technical University, Ankara (unpublished) .
- SAATY, T.L., 1980. *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York.
- SAATY, T.L., 2004. Decision making-the Analytical Hierarchy and Network Process (AHP/ANP). *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 13(1), 1-35.
- SASITHARAN, S., Robertson, P.K., Sego, D.C., Morgenstern, N.R., 1994. State-boundary surface for very loose sand and its practical implications. *Canadian Geotechnical Journal*, 31, 321-334.

SCHNABEL, P.B., Lysmer, J.L., Seed, H.B. 1972. SHAKE: A computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites. Report EERC-72/12, Earthquake Engineering Research Center (EERC), Berkeley, California.

SEED, H. B., Idriss, I.M., 1971. Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. J. Soil Mech. Found. Div., American Soc. Civ. Eng., 97(9), 1249-1273.

SEED, H.B., Idriss, I.M., 1981. Evaluation of liquefaction potential sand deposits based on observation of performance in previous earthquakes. ASCE National Convention (MO), 481-544.

SEED, H. B., Idriss, I.M., 1983. Ground motions and soil liquefaction during earthquakes. Earthquake Engineering Research Institute, Berkeley, Calif., 134 pp.

SEED, H.B., Idriss, I.M., Arango, I., 1983. Evaluation of liquefaction potential using field performance data. J. Geotech. Eng., ASCE, 109, 458-482.

SEED, H.B., Tokimatsu, K., Harder, L.F., Chung, R.M., 1985. Influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations. Journal of Geotechnical Engineering, 111(12), 1425-1445.

SEED, H.B., Wong, R.T., Idriss, I.M., Tokimatsu, K., 1986. Moduli and damping factors for dynamic analyses of cohesionless soils. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 112 (SM11).

SEED, H.B., Sun, J.H., 1989. Implication of site effects in the Mexico City earthquake of September 19, 1985 for Earthquake-Resistant Design Criteria in the San Francisco Bay Area of California, Report No. UCB/EERC-89/03, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.

SEED, R.B., Dickenson, S.E., Riemer, M.F., Bray, J.D., Sitar, N., Mitchell, J.K., Idriss, I.M., Kayen, R.E., Kropp, A.K., Harder, L.F., Power, M.S., 1990. Preliminary report on the principle geotechnical aspects of the October 17, 1989 Loma Prieta earthquake, Report No. UCB/EERC-90/05, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.

SEED, R.B., Cetin, K.O., Moss, R.E.S., Kammerer, A.M., Wu, J., Pestana, J.M., Riemer, M.F., 2001. Recent advances in soil liquefaction engineering and seismic site response evaluation. Proc. 4th International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, San Diego, 28-31.

SEED, R.B., Cetin, K.O., Moss, R.E.S., Kammerer, A.M., Wu, J., Pestana, J.M., Riemer, M.F., Sancio, R.B., Bray, J.D., Kayen, R.E., Faris, A., 2003. Recent advances in soil liquefaction engineering: A unified and consistent framework. 26th Annual ASCE Los Angeles Geotechnical Spring Seminar, Long Beach, CA, ASCE, Reston, VA, 71.

SENER, B., 2004. Landfill site selection by using Geographic Information Systems. M.Sc. thesis, Middle East Technical University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara, Turkey, 114 pp.

SHAMOTO, Y., Zhang, J.-M., Tokimatsu, K., 1998. Methods for evaluating residual postliquefaction ground settlement and horizontal displacement, *Soils and Foundations*, Special Issue No. 2, 69-83.

SHIBATA, T., 1970. Analysis of liquefaction of saturated sand during cyclic loading. *Disaster Prevention Res. Inst. Bull.*, 13, 563-570.

SHIBUYA, S., Yamashita, S., Mitachi, T., Tanaka, H. 1995. Effects of sample disturbance on G_{max} of soils-a case study. 1st International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Tokyo, Japan, 1, 77.

SISMAN, H., 1995. An investigation on relationships between shear wave velocity, and SPT and pressuremeter test results. MSc Thesis, Ankara University, Geophysical Engineering Department, Ankara, 75 p (in Turkish).

SONMEZ, H., 2003. Modification to the liquefaction potential index and liquefaction susceptibility mapping for a liquefaction-prone area (Inegol-Turkey). *Environmental Geology*, 44(7), 862-871.

SONMEZ, 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.

SONMEZ, B., Ulusay, R., Sonmez, H., 2008. A study on the identification of liquefaction-induced failures on ground surface based on the data from the 1999 Kocaeli and Chi-Chi earthquakes. *Engineering Geology*, 97, 112-125.

STEIN, R.S., Barka, A., Dieterich, J.H., 1997, Progressive failure on the North Anatolian Fault since 1989 by earthquake stress triggering. *Geophysical Journal International*, 128, 594-604.

STEWART, J.P., Liu, A.H., Choi, Y., 2003. Amplification factors for spectral acceleration in tectonically active regions. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 93(1), 332-352.

SYKORA, D.E., Stokoe, K.H., 1983. Correlations of in-situ measurements in sands of shear wave velocity. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 20, 125-136.

ŞAHİN, C., 1998. Erbaa-Niksar havzası ve yakın çevresinin jeomorfolojik etüdü. M.Sc. thesis. Marmara University, Graduate School of Social Sciences, İstanbul, Turkey, 232 pp. (in Turkish).

ŞAROĞLU, F., Emre, Ö., Kuscu, I., 1992. Active fault map of Turkey. Geological Research Department of the General Directorate of Mineral Research and Exploration, Ankara, Turkey.

ŞAROĞLU, F., Emre, Ö., Boray, A., 1987. Türkiye'nin aktif fayları ve depremsellikleri. MTA Rapor no: 8174, 394 s. (unpublished, in Turkish).

ŞENGÖR, A.M.C., 1979. The North Anatolian transform fault: its age, offset and tectonic significance. *Journal of Geological Society of London*, 136, 269-282.

ŞENGÖR, A. M. C., Görür, N. and Şaroğlu, F., 1985. Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study, Strike-slip deformation, basin formation, and sedimentation, *Soc. Econ. Paleont. Min. Spec. Pub. 37* (in honor of J.C. Crowell), 227-264.

TATAR, Y., 1975. Tectonic structures along the North Anatolian fault zone, northeast of Refahiye (Erzincan), *Tectonophysics*, 29, 401-410.

TATAR, O., Park, R.G., Temiz, H., Tutkun, S.Z., 1990. Transtensional and transpressional structures associated with the North Anatolian strike-slip fault zone: the Niksar Basin, Turkey. In: Savascin, M.Y., Eronat, A.H. (Eds.), *Proc. Int. Earth Sciences Congress on Aegean Regions, Vol. II.*, 323-333.

TATAR, O., Park, R.G., 1992. Neotectonic extensional and contractional strains within Pliocene basin deposits near the NW margin of the Niksar pull-apart basin, Turkey (abstr.). In: *Int. Workshop: Work in Progress on the Geology of Turkey*, 9-10 April, Keele University, 65-66.

TATAR, O., Kavak, K.Ş., Polat, A., Gürsoy, H., Koçbulut, F., Sezen, T.F., Mesci, B.L., Akpınar, Z., Kiratik, L.O., 2006. Kuzey Anadolu Fay Zonu - 1942 Erbaa-Niksar depremi yüzey kırığı: yeni gözlemler. *Aktif Tektonik Araştırma Grubu 10. Toplantısı, Bildiri Özleri Kitabı*, s.85, 2-4 Kasım 2006, İzmir (in Turkish).

TATAR, O., Gürsoy, H., Altunel, E., Akyüz, S., Topal, T., Sezen, T.F., Koçbulut, F., Mesci, B.L., Kavak, K.Ş., Dikmen, Ü., Türk, T., Poyraz, F., Hastaoğlu, K., Ayazlı, E., Gürsoy, Ö., Polat, A., Akın, M., Demir, G., Zabcı, C., Karabacak, V., Çakır, Z., 2007. Kuzey Anadolu Fay Zonu Üzerinde Kelkit Vadisi Boyunca Yer Alan Yerleşim Alanlarının Doğal Afet Risk Analizi, CBS Tabanlı Afet Bilgi Sistemi (KABİS) Tasarımı: Proje Tanıtımı ve Ön Bulgular. *Aktif Tektonik Araştırma Grubu 11. Çalıştayı, TÜBİTAK-MAM, Gebze Kocaeli, Bildiri Özleri Kitabı*, s.14 (in Turkish).

TATAR, O., Gürsoy, H., Altunel, E., Akyüz, S., Topal, T., Sezen, T.F., Koçbulut, F., Mesci, B.L., Kavak, K.Ş., Dikmen, Ü., Türk, T., Poyraz, F., Hastaoğlu, K., Ayazlı, E., Gürsoy, Ö., Polat, A., Akın, M., Demir, G., Zabcı, C., Karabacak, V., Çakır, Z., 2009. Kuzey Anadolu Fay Zonu Üzerinde Kelkit Vadisi Boyunca Yer Alan Yerleşim Alanlarının Doğal Afet Risk Analizi ve Afet Bilgi Sisteminin Oluşturulması, DPT Proje no: CUBAP M-359/DPT 2006K-120220 (in Turkish, in progress).

TAYMAZ, T. 1990. Earthquake Source Parameters in the Eastern Mediterranean Region. PhD Thesis, 244 pp, Darwin College-University of Cambridge, England-U.K.

- TAYMAZ, T., Jackson, J., McKenzie, D., 1991. Active tectonics of the north and central Aegean Sea. *Geophysical Journal International*, 106, 433-490.
- TAYMAZ, T., Tan, O., Yolsal, Y., 2001. Active tectonics of Turkey and surroundings and seismic risk in the Marmara Sea Region. *The Proceedings of IWAM04, Mizunami, Japan*
- TCHALENK, J.S., 1977. A reconnaissance of the seismicity and tectonics of the northern border of Arabian Plate (Lake Van region), *Rev. géog. Phys. géol. Dynm.* 19, 189-208.
- TEZCAN, S.S., Kaya, E., Bal, İ.E., Özdemir, Z., 2002. Seismic amplification at Avcılar, Istanbul. *Engineering Structures*, 22, 661-667.
- TOKIMATSU, K., Seed, H.B., 1984. Simplified procedures of the evaluation of settlements in clean sands. Rep. No. UCB/GT-84/16, Univ. of California, Berkeley, California.
- TOKIMATSU, K., Seed, H.B., 1987. Evaluation of settlements in sand due to earthquake shaking. *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, 113(8), 861-878.
- TONOUCHI, K., Sakayama, T., Imai, T., 1983. S wave velocity in the ground and the damping factor. *Bull. Int. Assoc. Eng. Geologists*, 26-27, 327-333.
- TOPAL, T., Doyuran, V., Karahanoglu, N., Toprak, V., Suzen, M.L., Yesilnacar, E., 2003. Microzonation for earthquake hazards: Yenisehir settlement, Bursa, Turkey, *Engineering Geology* 70, 93-108.
- TOPRAK, S., Holzer, T.L., Bennett, M.J., Tinsley, J.C., 1999. CPT- and SPT based probabilistic assessment of liquefaction. Proc., 7th U.S.-Japan Workshop on Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Countermeasures Against Liquefaction, Seattle, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, NY, 69-86.
- TOPRAK, V., 1994. Central Kızılırmak Fault Zone: northern margin of Central Anatolian volcanics, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 3, 29-38.
- VAN ROOY, J.L., Stiff, J.S., 2001. Guidelines for urban engineering geological investigations in South Africa. *Bulletin of Engineering and Geological Environment*, 59, 285-295.
- VUCETIC, M., Dobry, R., 1991. Effect of soil plasticity on cyclic response. *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, 117: 87-107.
- WALTHAM, A.C., 1994. *Foundations of Engineering Geology*, Blackie Academic Professional, 88 pp.
- WELLS, D.L., Coppersmith, K.J., 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84, 974-1002.

WESTAWAY R., 1998. Dependence of active normal fault dips on lower-crustal flow regimes, *Journal of Geological Society of London*, 155, 233-253.

WILLS, C.J., Silva, W., 1998. Shear wave velocity characteristics of geologic units in California. *Earthquake Spectra*, 14(3), 533-556.

WU, J., Seed, R.B., 2004. Estimating of liquefaction-induced ground settlement: case studies. *Proc. 5th Int. Conf. on Case Histories in Geotechnical Engineering*, New York, Paper No. 3.09.

YOU, T.L., 1972. Compaction of sands by repeated shear straining. *Journal of Soil Mechanics and Foundation Div.*, 98(7), 709-725.

YOU, T.L., Noble, S.K., 1997. Liquefaction criteria based on statistical and probabilistic analyses. *Proc. NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils*, National Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo

YOU T.L., Idriss, I.M., Andrus, R.D., Arango, I., Castro, G., Christian, J.T., Dobry, R., Finn, W.D.L., Harder, J.L.F., Hynes, M.E., Ishihara, K., Koester, J.P., Liao, S.S.C., Marcuson, W.F., Martin, G.R., Mitchell, J.K., Moriwaki, Y., Power, M.S., Robertson, P.K., Seed, R.B., Stokoe, K.H., 2001. Liquefaction resistance of soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 127(10), 817-833.

YOU, T.L., Hansen, C.M., Bartlett, S.F., 2002. Revised multilinear regression equations for prediction of lateral spread displacement. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 128(12), 1007-1017.

YOU, T.L., DeDen, D.W., Bray, J.D., Sancio, R., Cetin, K.O., Gerber, T.M., 2009. Zero-displacement lateral spreads, 1999 Kocaeli, Turkey, Earthquake. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 135(1), 46-61.

YÜRÜDÜR, E., 1991. Erbaa ve Niksar ovalarının fiziki coğrafya özellikleri. M.Sc. thesis. Selçuk University, Graduate School of Social Sciences, Konya, Turkey, 98 pp. (in Turkish).

ZADEH, L.A., 1965. Fuzzy sets. *Information and content*, 8(3), 338-353.

ZHANG, G., Robertson, P.K., Brachman, R.W.I., 2004. Estimating liquefaction-induced lateral displacements using the standard penetration test or cone penetration test. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 130(8), 861-871.

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje No: 107Y068
Proje Başlığı: Kuzey Anadolu Fay Zonu Üzerinde Yer Alan Erbaa (Tokat) İlçesinin Coğrafi Bilgi Sistemi Tabanlı Mikrobölgeleştirmesi
Proje Yürütücüsü ve Araştırmacılar: Prof. Dr. Tamer Topal ve Araş. Gör. Müge Akın
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Eskişehir Yolu, 06531, Çankaya, Ankara
Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi: TÜBİTAK
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 15/07/2007 - 15/12/2009 (6 aylık uzatma ve rapor yazım için verilen ek süre sonu tarihi)
Öz (en çok 70 kelime) <p>Çalışma alanı, Erbaa, Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) olarak bilenen sismik olarak aktif bir fay zonu içinde yer almaktadır. Erbaa Şehir merkezi, daha önceden Kelkit Nehri'nin sol sahilinde kurulmuştu. Ancak bu merkez, 1942 Niksar-Erbaa (Mw = 7.2) depreminden sonra daha güneye taşınmıştır.</p> <p>Bu çalışmada detaylı saha incelemesi yapılarak çalışma alanının jeolojik ve jeoteknik özellikleri ortaya konmuştur. Çalışma alanına ait nihai mikrobölgeleme haritasının hazırlanması için farklı parametreler dikkate alınmıştır. Oluşturulan katmanlar (sıvılaşma, sismik tehlike analizi, zemin tepki analizi vb.) Çok Ölçütlü Karar Analizi (ÇÖKA) kullanılarak değerlendirilmiştir. Basit Ağırlıklı Toplam (BAT) ve Analitik Aşamalı Sistem (AAS) olmak üzere iki farklı analiz Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) tabanında uygulanmıştır. Sonuç olarak AAS yöntemine dayalı hazırlanmış olan harita Erbaa için nihai sismik mikrobölgeleme haritası olarak önerilmiştir.</p>
Anahtar Kelimeler: Sismik Mikrobölgeleme, Erbaa, Kuzey Anadolu Fay Zonu, Yanıt Spektrumu, Sıvılaşma, CBS, ÇÖKA
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu mu? Evet <input type="checkbox"/> Gerekli Değil <input type="checkbox"/> Fikri Ürün Bildirim Formu'nun tesliminden sonra 3 ay içerisinde patent başvurusu yapılmalıdır.

Projeden Yapılan Yayınlar:

1. Akin, M., Topal, T., 2008. Assessment of SPT-based liquefaction of Erbaa (Tokat), Turkey. 6th Int. Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, 12-16 August 2008, Arlington-VA, USA
2. Akin, M., Topal, T., 2008. Estimation of liquefaction effects of Erbaa (Turkey) by using liquefaction potential index. EUROENGE0, 15-20 September 2008, Madrid, Spain
3. Akin, M., Kramer, S.L., Topal, T., 2009. Evaluation of shear wave velocity in a seismically active area (Erbaa, Turkey). 5th International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, 24-29 May 2010, San Diego-CA, USA (baskıda)