

# Kütahya Fay Zonu'nun Kuvaterner Aktivitesi

Sevgi Altınok

## **YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz 2010

# Quaternary Activity of Kutahya Fault Zone

Sevgi Altınok

**MASTER OF SCIENCE THESIS**

Department of Geological Engineering

July 2010

# Kütahya Fay Zonu'nun Kuvaterner Aktivitesi

Sevgi Altınok

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı  
Genel Jeoloji Bilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. Erhan Altunel

Temmuz 2010

## ONAY

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Sevgi Altınok'un YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Kütahya Fay Zonu'nun Kuvaterner Aktivitesi" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. Erhan Altunel

**İkinci Danışman** : \_\_\_\_\_

### **Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:**

**Üye** : Prof. Dr. Erhan Altunel

**Üye** : Prof. Dr. Halil Gürsoy

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Volkan Karabacak

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. C. ağlar Yalçıner

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Hatice Kutluk

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

## ÖZET

Kütahya Fay Zonu, Kütahya Havzası'nın güneyini sınırlar. Havzanın güneyinde birbirine az çok paralel uzanan faylar bulunmaktadır. Güneydeki faylar temel kayalar ile Pliyosen yaşlı çökeller arasındaki sınırı oluşturmakta ve fay düzlemleri ana kaya içinde belirgin şekilde görülmektedir. Bu çalışma kapsamında yapılan arazi gözlemleri, temel kayalar ile Pliyosen yaşlı birimler arasındaki fay zonunun aktif olmadığını ortaya koymaktadır. Bu zonun birkaç yüz metre kuzeyinde, jeolojik, morfolojik, jeofizik ve paleosismolojik verilerden yararlanarak yapılan çalışmalar son 8000 yıl içinde en az iki adet yüzey kırığı oluşturan depremin meydana geldiğini ortaya koymaktadır. Bu depremlerden birincisi M.Ö. 6000'li yıllarda, ikincisi ise M.Ö. 5000 yılından sonra meydana gelmiştir.

Kütahya Havzası'nın kuzeyinde yer alan Seyitömer Höyüğü'nde M.Ö. 1800'lü yıllara tarihlenen deprem hasarları bulunmaktadır. Seyitömer Höyüğü'nde hasar oluşturan ve höyüğün M.Ö. 1800'lü yıllarda terk edilmesine neden olan deprem muhtemelen Kütahya Fay Zonu'nda M.Ö. 5000 yılından sonra meydana gelen depremdir. Paleosismolojik çalışmalar bu depremin büyüklüğünün 6.5-7 civarında olduğunu ortaya koymaktadır. Çalışma kapsamında Kütahya Havzası'nın kuzeyinde, Seyitömer Höyüğü ile Eskişehir-Kütahya karayolu arasında bir fay zonu daha haritalanmıştır ancak bu fay zonunun aktif olmadığı kanısına varılmıştır. Havzanın güneyini sınırlayan Kütahya Fay Zonu'nun aktif olduğu ve 6.5-7 büyüklüğünde deprem üretme potansiyeli olduğu ortaya konmuştur.

### **Anahtar Kelimeler:**

Kütahya Fay Zonu, aktif fay, arkeosismoloji, paleosismoloji,

## SUMMARY

The southern side of the Kütahya Basin is bounded by the Kütahya Fault Zone, which includes subparallel faults. The southern fault zone separates Pliocene units from the basement rocks and fault planes are well preserved in the basement rocks. Detail studies in this study showed that this fault zone is inactive. Geological, geomorphological, geophysical and paleoseismological studies suggest that the active fault zone is a few hundred meters north of the inactive fault zone. The first event took place around 6000 B.C. and the second one occurred after 5000 B.C.

The Seyitömer Tell, located about 25 km north of the Kütahya Basin, provided evidence for an earthquake around 1800 B.C. Detailed studies showed that this earthquake can be correlated with the second event which occurred on the Kütahya Fault Zone after 5000 B.C. Paleoseismological evidences suggest that the magnitude of this earthquake was 6.5-7. Another fault zone was mapped along the northern margin of the Kütahya Basin in the frame of this study, however, there is no clear evidence for the recent activity of this fault zone. The Kütahya Fault zone which is bounding the southern side of the Kütahya Basin is active and it is capable of producing 6.5-7 magnitude earthquake.

### **Keywords**

Kütahya Fault Zone, active fault, archeoseismology, paleoseismology

## TEŞEKKÜR

Tez konusunun belirlenmesinden tamamlanış aşamasına dek, beni yönlendiren, cesaretlendiren ve danışmanlık yapan Prof. Dr. Erhan ALTUNEL'e çok teşekkür ederim.

Tezin her aşamasında desteğini esirgemeyen, özellikle yazım aşamasında yorum ve tecrübelerini benimle paylaşan, bana ivme kazandıran Yrd. Doç. Dr. Volkan KARABACAK (Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü)'a teşekkürü borç bilirim.

Seyitömer Höyüğü'ndeki deprem hasarlarından bizi haberdar eden, alanda gözlem ve ölçüm yapmamıza müsaade eden ve her türlü arkeolojik veriyi paylaşarak destek veren Prof. Dr. A. Nejat BİLGİN (Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Arkeoloji Bölümü) ve Yrd. Doç. Dr. Gökhan COŞKUN (Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Arkeoloji Bölümü)'a teşekkür ederim.

Tezin Jeofizik ile ilgili kısımlarındaki çalışmaların yapılması ve yorumlanmasında yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. C. Çağlar YALÇINER (Çanakkale 18 Mart Üniversitesi, Maden Teknolojileri Bölümü)'e çok teşekkür ederim.

Arazi çalışmaları sırasındaki desteği ve yönlendirici fikirlerinden ötürü Jeo. Yük. Müh. Önder YÖNLÜ'ye, arazi çalışmaları sırasında beni yalnız bırakmayan Jeo. Müh. İsmail GÜMÜŞ ve Jeo. Müh. Hikmet ÖRÜM'e teşekkür ederim.

Paleosismolojik ve Arkeosismolojik çalışmalarda kullanılan yaş analizlerini yapan Prof. Dr. Nafiye G. KIYAK (Işık Üniversitesi, Fizik Bölümü)'a teşekkür ederim.

Paleosismolojik amaçlı fay kazılarında sağladıkları desteklerden dolayı Kütahya Valiliği İl Özel İdaresi ve Kütahya Belediyesi'ne teşekkür ederim.

Son olarak desteği ile hep yanımda olan aileme çok teşekkür ederim.

Bu tez çalışması, 109Y157 no'lu TÜBİTAK Projesi tarafından desteklenmiştir.

**İÇİNDEKİLER**

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	V
SUMMARY .....	VI
TEŞEKKÜR.....	VII
İÇİNDEKİLER .....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	X
1-GİRİŞ.....	1
1.1.Çalışmanın Amacı .....	1
1.2. Kütahya Çevresindeki Önceki Çalışmalar.....	3
1.3. Çalışmada Kullanılan Yöntemler .....	9
1.2.1. Fay morfolojisi analizi .....	10
1.2.2. Sığ jeofizik.....	11
1.2.3. Paleosismoloji.....	12
1.2.4. Arkeosismoloji.....	13
2. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ VE NEOTEKTONİK KONUMU .....	14
2.1. Çalışma Alanının Jeolojisi.....	15
2.2. Kütahya Fay Zonu ve Genel Özellikleri.....	19
2.3. Bölgenin Depremselliği.....	23
3. ARAZİ ÇALIŞMALARI.....	29



## İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

3.1. Faylanma ile İlişkili Gözlemler .....	29
3.1.1. Pliyosen öncesi yaşlı kaya birimlerinde faylanmaya ilişkin gözlemler .....	29
3.1.2. Pliyosen ve daha genç kaya birimlerinde faylanmaya ilişkin gözlemler.....	49
3.2. Sığ Jeofizik Çalışmalar .....	58
3.2.1. Yeraltı Radarı (GPR) Ölçümleri .....	60
3.2.2. Elektrik Rezistivite ve IP (Yapay Uçlaşma) ölçümleri.....	80
3.3. Paleosismolojik Çalışmalar .....	83
4. ARKEOSİSMOLOJİK ÇALIŞMALAR .....	90
4.1. Kütahya Şehir Merkezi .....	91
4.2. Seyitömer Höyüğü .....	97
5. VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE YORUMLANMASI.....	106
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	113
7. KAYNAKLAR .....	116

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1. Ülkemiz sınırları içerisinde yer alan önemli aktif faylar ve çalışma alanının konumu.....	3
Şekil 1.2. Bozkurt (2001)'e göre İç Batı Anadolu Neotektonik dönem yapıları ve Kütahya Grabeni'nin konumu. ....	6
Şekil 1.3. Türkiye Diri Fay Haritası'nda Kütahya Fay Zonu'nun konumu. (Şaroğlu ve diğ. 1992).....	7
Şekil 1.4. Koçyiğit ve Bozkurt (1997)' ye göre Kütahya Fay Zonu.....	8
Şekil 1.5. Neotektonik araştırmalarda kullanılan yöntemlere ait verilerin etkin olduğu yaş aralıkları dağılımı (Vita- Finzi, 1986). ....	9
Şekil 2.1. KFZ ve yakın çevresinin jeoloji haritası (Koçyiğit ve Bozkurt [1997], MTA [2002] 1/500000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası ve DSİ [1981] 1/100000 ölçekli Kütahya ve Köprüören Ovaları Hidrojeoloji haritalarından yararlanılarak yeniden çizilmiştir). ....	18
Şekil 2.2. Kütahya Havzası'nın 30 metre çözünürlüklü GTM görüntüsü. ....	21
Şekil 2.3. Kütahya şehir merkezi batısında Kütahya Havzası güney kenarına genel bakış.....	21
Şekil 2.4. Çalışma alanının jeomorfoloji haritası. ....	22
Şekil 2.5. KFZ'nun oluşturduğu fay morfolojisinin uydu görüntüsü .....	23

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1. Şehir merkezinin yaklaşık 2.5 km doğusundaki 75. Yıl Mahallesi güney sınırını oluşturan, anakaya içerisinde K70B/68KD konumlu fay aynası.....	30
Şekil 3.2.a. Evliya Çelebi Mahallesi'nin güney sınırındaki fay aynasının uzaktan görünümü. b. Evliya Çelebi Mahallesi'nin güneyini sınırlayan fay aynası.....	32
Şekil 3.3. Ortaca Köyü'nün yaklaşık 250 metre batısında, gözlenen ana fay düzlemi ile uyumlu, birbirlerine paralel uzanan tabaka düzlemleri. ....	33
Şekil 3.4. a. Karaağaç ile Ortaca köyleri arasındaki taş ocağında gözlenen sistematik çatlaklar.....	34
Şekil 3. 5. Karaağaç Köyü'nün yaklaşık 1 km batısında Pliyosen öncesi faylanmaya ilişkin morfoloji. ....	35
Şekil 3.6. Seyitömer çizgiselliğinin izlendiği çalışma alanı yer bulduru haritası.....	36
Şekil 3.7.Sütur zonu içerisinde gözlenen süreksizlik kırmızı çizgi ile gösterilmektedir.	38
Şekil 3.8.a. Kırık köyü'nün 3 km doğusunda ofiyolitik birimlerde gözlenen kırık zonu. b. Kırık zonunun doğu ve batısında gözlenen farklı derecelerde metamorfizmaya uğramış birimler.....	39
Şekil 3.9.a, b. Kırık Köyü'nün 5 km doğusunda Pliyosen yaşlı birimler içerisinde gözlenen süreksizlik zonu kırmızı oklar ile işaretlenmiştir. ....	41
Şekil 3.10 Fay dolguları sarı renkli oklar ile gösterimiştir. ....	42

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.11. Kınık Köyü'nün 5 km doğusundaki Süreksizlik zonu kırmızı oklar ile gösterilmiştir. b.Şekil 8.a'da beyaz kare içine alınan kısmın ayrıntılı görüntüsü. Metamorfik birimler içerisinde gözlenen fay düzlemi ve kalsit dolgusu kırmızı ok ile işaretlenmiştir.....	43
Şekil 3.12.a. Kınık Köyü'nün 5 km doğusunda gözlenen kırık zonu ve kırık boyunca uzanan beyaz renkli kalsit dolgu b. Şekil 3.12.a.'ya daha yakından bakış. Yaklaşık 1 metre genişliğe sahip olan kırık zonu. ....	45
Şekil 3.13. Kınık köyü ve civarında Google Earth görüntüsünden tespit edilen çizgisellik kırmızı noktalı çizgi ile gösterilmiştir. ....	46
Şekil 3.14. Şekil 3.13'deki Google Earth uydu görüntüsünde gözlenen çizgiselliğin arazideki görünümü .....	47
Şekil 3.15. Kütahya Eskişehir yolu 65. Km deki yol yarması. Kırmızı oklar yol yarmasında gözlenen fayı işaret etmektedir. ....	48
Şekil 3.16. Şehir merkezinin yaklaşık 4 km doğusunda fay morfolojisine ait sarplık. Kırmızı oklar bir doğrultu boyunca uzanan aktif faya ait morfolojiyi göstermektedir. ....	50
Şekil 3.17. Kütahya şehir merkezinin 1,5 km kadar doğusunda kırmızı oklar morfolojik sarplığı göstermektedir. ....	51
Şekil 3.18. Şehir merkezinin yaklaşık 2 km batısında gözlenen aktif fay morfolojisine ait sarplık.....	51
Şekil 3.19. Aktif faylanmanın izleri şehir merkezinin yaklaşık 2 km batısındaki sokaklarda da gözlenebilmektedir. Kırmızı oklar bu alanlarda belli bir doğrultuda uzanmakta olan fay sarplıklarını göstermektedir. ....	52

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.20. Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 4 km batısında gözlenen morfolojik sarplığı kesen su kanalının 2 duvarı arasındaki yükseklik farkı ve hemen yanındaki kanalın üzerinden geçen yol da değişen eğim göze çarpmaktadır.....	53
Şekil 3.21. Kütahya'nın yaklaşık 4 km batısında fay uzanımı üst Pliyosen çökelleri ile Kuvaterner alüvyonların kontağını oluşturmaktadır.....	54
Şekil 3.22. Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 3 km batısında gözlenen, aktif faya ait olduğu düşünülen morfolojik sarplık.....	54
Şekil 3.23. Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 3 km batısında aktif ve aktif olmayan faya ait morfoloji.....	55
Şekil 3.24. Kütahya'nın yaklaşık 10 km kuzeybatısındaki Demirciören tren istasyonundan güneye doğru bakıldığında gözlenen morfolojik kırıklık.....	56
Şekil 3.25. Kütahya'nın yaklaşık 15 km kuzeybatısında yer alan Karabacak sırtının üzerindeki morfolojik kırıklık.....	56
Şekil 3.26. Kütahya'nın yaklaşık 15 km kuzeybatısında yer alan Karabacak sırtının hemen batısındaki Erikboğaz deresinin zayıf zonu kullanması sonucu dönüşü.....	57
Şekil 3.27. Çalışma alanında yapılan GPR ve Elektrik Rezistivite çalışmaları ve kırmızı ile gösterilen aktif fay belirli bir çizgisellik boyunca uzanan morfoloji dikkate alınarak çizilmiştir.....	59
Şekil 3.28. Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 5 km kuzeybatısında GPR1 ve GPR 2 profillerin alındığı lokasyon. Bakış yönü kuzeye doğrudur.....	62

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3. 29. Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 5 km kuzeybatısından alınan GPR 1 profili a) İşlenmiş ve yorumlanmış GPR profili, b) İşlenmiş ve ayrıntı görüntü, c) Ayrıntı görüntünün yorumlanmış şekli.....	63
Şekil 3.30. Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 5 km kuzeybatısında GPR 2 profilinin alındığı lokasyon. a) İşlenmiş ve yorumlanmış GPR profili, b) İşlenmiş ve ayrıntı görüntü, c) Ayrıntı görüntünün yorumlanmış şekli. ....	64
Şekil 3.31. Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 5 km kuzeybatısında alınan GPR 3 profili. Bakış yönü yaklaşık kuzeye doğrudur. ....	65
Şekil 3.32. Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 5 km kuzeybatısında 3. GPR profilinin alındığı lokasyon. a) İşlenmiş ve yorumlanmış GPR profili, b) İşlenmiş ve ayrıntı görüntü, c) Ayrıntı görüntünün yorumlanmış şekli. ....	66
Şekil 3.33. Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 10 km kuzeybatısında bulunan Demirciören tren istasyonunun hemen güneyinden alınan GPR 4 ve GPR 5 profilleri..	67
Şekil 3.34. Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 10 km kuzeybatısında bulunan Demirciören tren istasyonunun hemen güneyinden alınan GPR 4 profili. a) İşlenmiş ve yorumlanmış GPR profili, b) İşlenmiş ve ayrıntı görüntü, c) Ayrıntı görüntünün yorumlanmış şekli.....	68
Şekil 3.35. Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 10 km kuzeybatısında bulunan Demirciören tren istasyonunun hemen güneyinden alınan GPR 5 profili. a) İşlenmiş ve yorumlanmış GPR profili, b) İşlenmiş ve ayrıntı görüntü, c) Ayrıntı görüntünün yorumlanmış şekli.....	69
Şekil 3.36. Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 12 km kuzeybatısında bulunan alanda alınan GPR 6 profili.....	70

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.37. Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 12 km kuzeybatısında bulunan alanda alınan GPR 6 profili, a) İşlenmiş ve yorumlanmış GPR profili, b) İşlenmiş ve ayrıntı görüntü, c) Ayrıntı görüntünün yorumlanmış şekli. ....	71
Şekil 3.38. Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 2 km kuzeybatısında GPR 7 profilinin alındığı lokasyon. Bakış yönü kuzeye doğrudur. ....	72
Şekil 3.39. Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 2 km kuzeybatısında GPR 7 profilinin alındığı lokasyon. a) İşlenmiş ve yorumlanmış GPR profili, b) İşlenmiş ve ayrıntı görüntü, c) Ayrıntı görüntünün yorumlanmış şekli. ....	73
Şekil 3.40. Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 2 km kuzeybatısında GPR 8 profilinin alındığı lokasyon. Bakış yönü güneye doğrudur. ....	74
Şekil 3.41. Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 2 km kuzeybatısından alınan GPR 8 profili. a) İşlenmiş ve yorumlanmış GPR profili, b) İşlenmiş ve ayrıntı görüntü, c) Ayrıntı görüntünün yorumlanmış şekli. ....	75
Şekil 3. 42. Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 3 km güneydoğusunda alınan GPR 9 profili. ....	76
Şekil 3. 43. Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 3 km güneydoğusunda alınan GPR 9 profili. a) İşlenmiş ve yorumlanmış GPR profili, b) İşlenmiş ve ayrıntı görüntü, c) Ayrıntı görüntünün yorumlanmış şekli. ....	77
Şekil 3.44. Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 3 km güneydoğusunda alınan GPR 10 profili. ....	78
Şekil 3.45. Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 3 km güneydoğusunda alınan GPR 10 profili. a) İşlenmiş ve yorumlanmış GPR profili, b) İşlenmiş ve ayrıntı görüntü, c) Ayrıntı görüntünün yorumlanmış şekli. ....	79

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.46. Kütahya'nın 4 km batısında jeomorfolojik verileri test etmek amaçlı alınan elektrik özdirenç profilleri ham verileri. a) 50 voltluk Dipol-Dipol,IP ölçümü b) 50 voltluk Dipol-Dipol,ROH ölçümü c) Wenner,IP ölçümü d) Wenner, ROH ölçümü ..... 81	81
Şekil 3.47. KFZ'na ait süreksizliğin en iyi görülebildiği elektrik rezistivite profili. Profil Dipol-Dipol elektrot diziliminde ve ROH ölçümü sonucunda elde edilmiştir. .... 83	83
Şekil 3. 48. Okçu hendeği genel görünümü..... 84	84
Şekil 3.49.a. Lidar görüntüsünün K-G yönlü kesiti, b. Bu kesit üzerinde sığ jeofizik profili, hendek kazısı, mavi noktalı çizgi ile morfolojideki eğim ve kırmızı çizgi ile aktif fay işaretlenmiştir. .... 85	85
Şekil. 3..50. Okçu hendeği batı duvarı log u 15-22. metreleri arasının daha ayrıntılı görüntüsü ve OSL örnekleri..... 87	87
Şekil 3.51. a. Okçu hendeğinde süreksizlik zounun gözlendiği kesimin logu b. hendek doğu duvarında faylanmaya ait izler..... 88	88
Şekil 3.52. Okçu hendeği batı duvarı 16-19. metreler arası ayrıntılı log çizimi..... 89	89
Şekil 4.1. Kütahya keslinin burçlarında gözlenen tadilat izleri ..... 91	91
Şekil 4.2. Şengül Camii'nde gözlenen tadilat izleri..... 92	92
Şekil 4.3. Meydan Camii'nde gözlenen tadilat izleri..... 93	93
Şekil 4.4. Kütahya şehir merkezinde bulunan Ulu Camii..... 94	94
Şekil 4.5. Kütahya Şehir merkezinde bulunan Servi Camii ..... 95	95
Şekil 4.6. Kütahya şehir merkezinde bulunan ve geçmişte hamam olarak kullanıldığı düşünülen gömülü tarihi yapı ..... 96	96



## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.7. Çalışma alanında Seyitömer Höyüğü. ....	98
Şekil 4.8. Seyitömer Höyüğü'nün hava fotoğrafı. ....	99
Şekil 4.9. Seyitömer Höyüğü'nün planı (Bilgen'den [2007] alınmıştır). ....	100
Şekil 4.10. Höyükte Geç-Orta Tunç dönemi yapılarında gözlenen kırıkların aralarında bulunan seramik parçalarına bir örnek ok ile gösterilmiştir. ....	101
Şekil 4.11. Geç-Orta ve Erken Tunç dönemine ait yaşam katının hemen her yerinde gözlenebilen yangın izleri. ....	102
Şekil 4.12. Geç-Orta ve Erken Tunç dönemine ait yapıların tabanlarında gözlenen dalgalanmalar. ....	103
Şekil 4.13. Geç-Orta ve Erken Tunç döneminde höyük yakınlarında meydana gelen şiddetli yersarsıntılarının höyükte meydana getirdiği yönlü yıkılmalar. ....	104
Şekil 4.14.a. Höyükte Orta-Geç Tunç dönemine ait seviyede kapalı bir mekânın çıkış kapısına doğru yönelmiş insan iskeletleri. b. Bu mekanda göçük altında kalmış olan insan iskeletleri ve üzerlerine düşmüş konumda bulunan yapı taşları. ....	105
Şekil 5.1. Hancock and Barka (1987)'ya göre a, b, c kesitleri sırasıyla normal fayların havza içlerine doğru ilerlediklerini gösteren kesit. ....	107
Şekil 5.2. OSL 1 örneğinin alındığı birim ile morfolojinin genel eğiminden yararlanılarak elde edilen yerdeğiştirme miktarı hesabı. ....	109
Şekil 5.3.a. Deprem büyüklüğü-Yüzey kırığı uzunluğu arasındaki ilişkiyi gösteren diyagram, b. Maksimum yerdeğiştirme-Deprem büyüklüğü arasındaki ilişkiyi gösteren diyagram (Wells and Coppersmith 1994 ) ....	112

**ÇİZELGELER DİZİNİ**

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1. Kütahya ili ve yakın çevresinde meydana gelmiş veya Kütahya ilinde hissedilmiş tarihsel depremler .....	24
Çizelge 2. Kütahya ili ve yakın çevresinde meydana gelen veya Kütahya ilinde hissedilen aletsel olarak kaydedilmiş depremler .....	25
Çizelge 3. Tez çalışması sürecinde Kütahya ve yakın civarında meydana gelen depremler .....	28
Çizelge 4. Çalışma alanında yapılan GPR ölçüm profillerine ait konum ve teknik özellikler .....	60
Çizelge 5. Okçu hendeği batı duvarından alınan örneklerin OSL yaşlandırılması sonuçları .....	86
Çizelge 6. Seyitömer Höyüğü'nde tarih boyunca yaşam .....	103
Çizelge 7. Seyitömer Höyüğü'nde şiddetli yer sarsıntısına ait verilerin gözlendiği seviyelerden alınan seramik örneklerine ait OSL yaşlandırılması sonuçları .....	104
Çizelge 8. Kütahya şehir merkezinde gözlenen tarihi yapılarıdaki onarım tarihleri çizelgesi .....	110

## 1-GİRİŞ

### 1.1.Çalışmanın Amacı

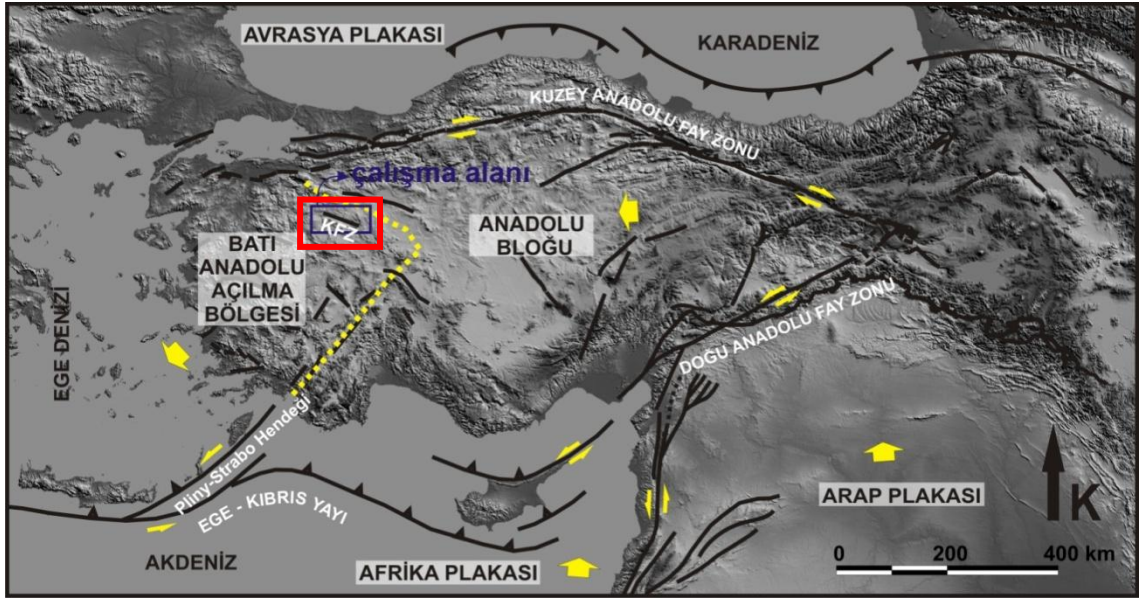
Batı Anadolu, tektonik olarak dünyanın önemli açılma alanlarından biridir. Bölgede Orta Miyosen-Pliyosen zaman aralığında başladığı ileri sürülen bu tektonik rejim D-B doğrultularında gelişmiş fay zonlarının yer aldığı bir açılma bölgesi oluşturmaktadır (Dumont ve diğ. 1979, Angelier ve diğ. 1981, Şengör 1987, Seyitoğlu ve Scott 1991, 1992, Cohen ve diğ. 1995, Koçyiğit ve diğ. 1999, Yılmaz et al. 2000, Alçiçek ve diğ. 2005). Kütahya Fay Zonu (KFZ)'nun da içerisinde bulunduğu KB-GD uzanımlı fay sistemleri ise bu geniş açılma bölgesi ile doğrultu atımlı Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) arasındaki geçiş bölgesinde yer almakta ve bölgenin KD sınırını oluşturmaktadır (Şekil 1.1).

KFZ, BKB-DGD doğrultusunda uzanan ve belirgin bir morfoloji sunan Kütahya Havzası'nın güneyini sınırlamaktadır. Fay zonu üzerinde daha önce yapılmış çalışmalarda KFZ'dan aktif fay olarak söz edilse de fayın türü hakkında farklı görüşler mevcuttur. Örneğin, Şaroğlu ve diğ. (1987) çalışmalarında fayın, kuzey bloğun düştüğü eğim atımlı normal bir fay niteliğinde olduğundan söz etmektedir. Ancak özellikle batı bölümünde doğrultu atım morfolojisi taşıdığına dikkat çekerek bu özelliği göz önüne alındığında fayın eğim atımının yanısıra sağ yönlü doğrultu atım bileşeninin de olduğunu belirtmektedir. Gürer ve diğ. (2005) ise KFZ'nun sol yanal bileşenli normal bir fay niteliğinde olduğunu ileri sürmektedir. Koçyiğit ve Bozkurt (1997) ve Bozkurt (2001, 2003) yaptıkları çalışmalarında KFZ'nun ana karakteristiğinin normal fay olduğunu belirtmektedirler.

Çağlar boyu önemli antik yerleşimlerin kurulduğu Batı Anadolu'da tarihsel dönemlerde çok sayıda yıkıcı deprem meydana gelmiştir (Ergin ve diğ., 1967; Guidoboni et al., 1994; Ambraseys and Finkel, 1995). Bu tarihsel depremlerden önemli büyüklükte olanlar doğal yapılarda olduğu gibi, antik yerleşim yerlerinde de izler bırakmıştır. Tarihsel kaynaklara (örneğin Ergin ve diğ., 1967; Guidoboni et al., 1994;

Ambraseys ve Finkel, 1995) ve aletsel deprem kayıtlarına bakıldığında KFZ üzerinde kayıt edilmiş büyük bir deprem bulunmamaktadır. Bununla birlikte fay zonu yakınlarında yeralan bir höyükte tarihsel dönemlerde meydana gelen yıkıcı depremlerle ilişkili olabilecek izler bulunmaktadır (A. N. Bilgen, 2009, sözlü görüşme). Bu çalışmanın amaçlarından biri Kütahya-Seyitömer Höyüğü'nde gözlenen ve depreme ait olduğu tespit edilen hasarların kaynağının KFZ olup olmadığını tespit edebilmektir. KFZ boyunca değişik ölçeklerde modern yerleşim yerlerinin varlığı da (örneğin Kütahya Şehir Merkezi) göz önüne alındığında, fay zonunun özelliklerinin belirlenmesi ve depremselliğinin ortaya konması büyük önem taşımaktadır.

Çalışma kapsamında, KFZ boyunca Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 15 km güneydoğusu ile 25 km kuzeybatısı arasında kalan alanda jeolojik, jeomorfolojik, paleosismolojik ve sığ jeofizik çalışmalar yapılarak, elde edilen verilerin Kütahya'nın yaklaşık 25 km kuzeybatısında yer alan antik yerleşim yerinde gözlenen arkeosismolojik kalıntılarla karşılaştırılması planlanmıştır. Böylece, KFZ'nun Kütahya havzası içinde kalan kesimindeki aktif fay kolları haritalanarak, bunların geometrisi ve depremlere ait parametrelerinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu kapsamda öncelikle uydu görüntüleri, 1/25000 ölçekli haritalar ve sayısal arazi verileri kullanılarak çizgisellik analizleri yapılmış; ardından tektonik yapılar arazide haritalanmıştır. Belirlenen faylar, jeomorfoloji ağırlıklı, jeofizik destekli paleosismolojik ve arkeosismolojik çalışmalar ile birlikte değerlendirilmiş ve aktiviteleri yorumlanmıştır. Fay zonunun büyük ve küçük ölçekteki morfolojik yapılarla ilişkisi tartışılmış, bölgesel morfolojiyi şekillendirmedeki payı ortaya konulmuştur.



Şekil 1.1. Türkiye ve yakın çevresindeki önemli aktif tektonik yapılar ve çalışma alanının konumu

Ayrıca bölgede daha önce yapılan çalışmalarda (örneğin A. Koçyiğit, 2008, sözlü görüşme; Gürer ve diğ., 2005) KFZ'nun aktif olduğu ileri sürülmüştür. Ancak bölgede fayın güncel aktivitesini açıklığa kavuşturmaya katkı sağlayacak arazi verileri ile desteklenmiş ayrıntılı bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmanın diğer bir amacı da, KFZ'nun aktivitesini anlamaya yönelik arazi verileri toplamaktır.

## 1.2. Kütahya Çevresindeki Önceki Çalışmalar

Önceki çalışmalarda Kütahya Havzası, graben olarak yorumlanmış (Bozkurt, 2001) (Şekil 1.2) bazı çalışmalarda çöküntü alanının her iki kenarı (Bozkurt, 2001), bazılarında ise yalnızca güney kenarı (Şaroğlu ve diğ., 1992) aktif faylarla sınırlandırılmıştır (Şekil 1.3). Daha önceki çalışmaların bir kısmında bu alandaki tektonik yapılar "Kütahya Fayı" olarak adlandırılmakla birlikte (Şaroğlu ve diğ., 1987) güncel çalışmalarda "Kütahya Fay Zonu" kullanılmıştır (Koçyiğit ve Bozkurt, 1997;

Gürer ve diğ., 2005) (Şekil 1.4). Bu çalışmada da Kütahya Fay Zonu adlanması tercih edilmiştir.

Çalışma alanı ve çevresinde Neotektonik dönemin Orta Miyosen'de başladığı kabul edilmektedir (Dumont et al., 1979; Angelier et al., 1981; Baş, 1986; Şengör, 1987; Seyitoğlu and Scott, 1991, 1992; Cohen et al., 1995; Koçyiğit et al., 1999; Yılmaz et al., 2000; Bacak ve Uz, 2003; Alçiçek et al., 2005; Yıldız ve Kuşçu, 2006).

Şaroğlu ve diğ., (1992); Koçyiğit ve Bozkurt, (1997); Bozkurt, (2001) ve benzeri birçok çalışmada KFZ aktif bir fay olarak haritalanmış ve fayların Neojen yaşlı kaya topluluklarını ve Kuvaterner yaşlı çökelleri kestiği ileri sürülmüştür. KFZ'ndan Batı Anadolu'daki başlıca faylanmalardan biri olarak söz eden Barka and Reilinger (1997), GPS hızları ve sismik aktivite verilerini değerlendirerek KFZ'nu aktif bir fay olarak değerlendirmişlerdir. Bölgedeki çalışan araştırmacılardan Baş (1986), KFZ'ndan aktif bir fay olarak söz etmekle birlikte, daha çok bölgenin Tersiyer jeolojisi üzerinde durmuş, KFZ'nun Kuvaterner aktivitesinden yeterince söz etmemiştir.

Çalışma alanında bölgenin tektoniği dışında jeokimya ve maden yatakları ile ilgili konularda da birçok araştırmacı farklı çalışmalar yapmış, bölge jeolojisini tanımlamışlardır. Örneğin, Akkuş (1962) çalışma alanının tektoniğine de ana hatlarıyla değinmiş ve D-B doğrultusunda uzanan Paleozoik yaşlı yüksek dağların Hersinien, Laramiyen ve Alpin hareketlerine maruz kalmalarından ötürü oldukça kırıklı ve kıvrımlı bir yapıya sahip olduğunu ileri sürmüştür. Akkuş (1962) ayrıca, Mesozoik yaşlı kireçtaşı formasyonunun genellikle iyi tabakalanma gösterdiklerini ve üst Kretase sonundaki Laramiyen ve Alpin orojenezini geçirmiş olduklarını, geniş sahalar kaplayan Neojen yaşlı göl fasiyesindeki genellikle yatay olan birimlerin ise Alpin hareketlerine maruz kaldıklarını ifade etmiştir.

Çalışma alanı ve yakın dolay Seyitömer Linyit Havzası gibi değişik boyutta birçok linyit yatağı bulunması sebebiyle birçok jeolog tarafından detaylı olarak etüd edilmiştir. Kalafatçıoğlu (1964) Hersinien ve Alp orojenezlerini geçirmiş Neojen yaşlı

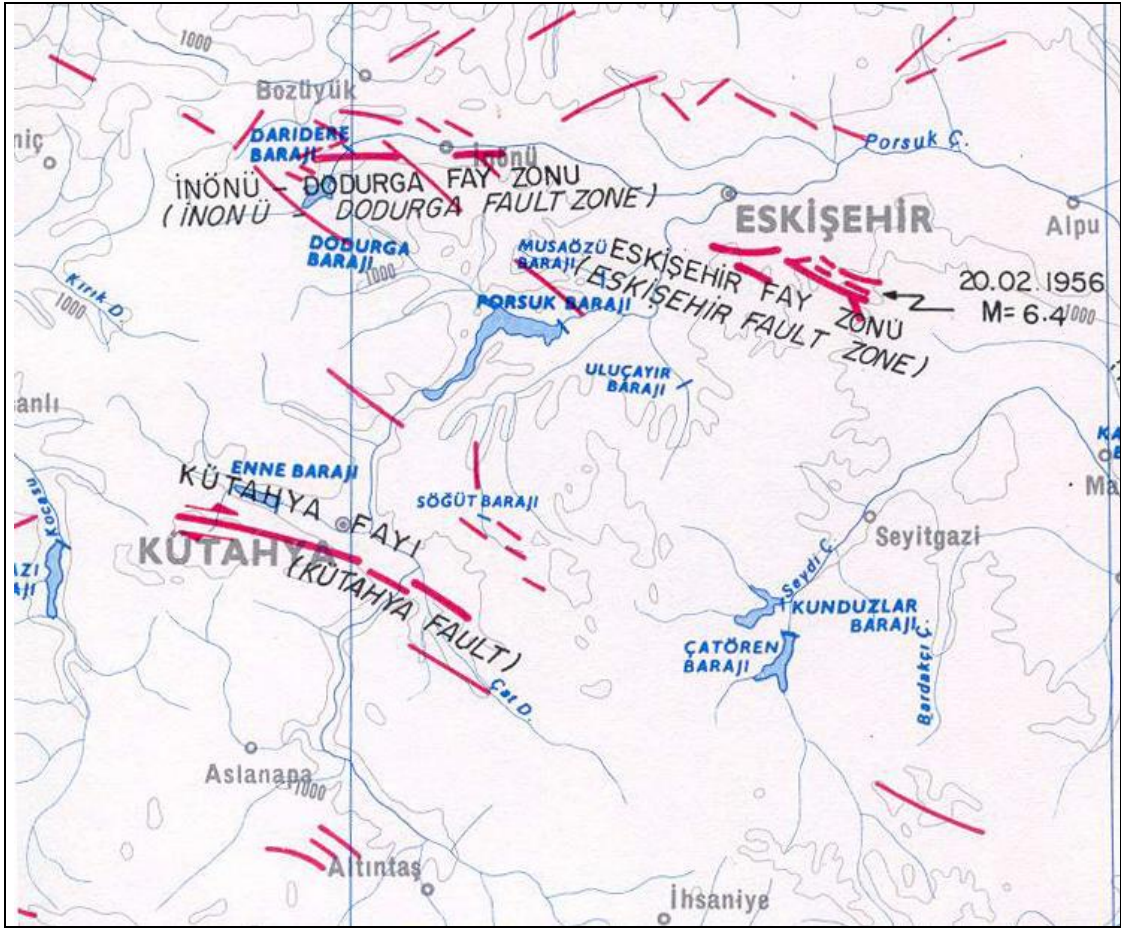
Kütahya-Tavşanlı havzasının geniş linyit yataklarına sahip olduğunu ifade etmiş ve bölge jeolojisini de ana hatlarıyla tanımlamıştır. Bacak ve Uz (2003) Kütahya'nın Dağardı bölgesi ve güneyindeki ofiyolitlerin jeolojisi ve jeokimyasını irdelemişlerdir. Yıldız ve Kuşçu (2006) ise Başören (Kütahya) bentonitlerinin ve ana kayaçların jeokimyasal özelliklerini belirlemiş ve bozuşma süresince elementlerin davranışlarını ortaya koymuşlardır.

Geçmişte bölgede yapılan arkeojeolojik çalışmalar da mevcuttur. Bu çalışmaların en önemlisi Kartalkanat tarafından 2008 yılında yapılmıştır. Kartalkanat 2008 yılında Anadolu'da madenciliğin tarihçesi ile ilgili Kütahya-Gümüşköy'de yapmış olduğu araştırmasında bölgede kendisinden önce çalışmış olan Pilz (1937), Kaptan (1982) ve Yiğitgüden ve Friedrich (1981)' in bulgularını destekler nitelikte verilere ulaşmıştır. Pilz 1937'deki çalışmasında Gümüşköy'de eski büyük bir madenin bulunduğunu ve işletildiğini saptamıştır. Nitekim aynı işletme alanında Yiğitgüden ve Friedrich (1981) yaptıkları çalışmada, arazinin pasalarla kaplı olduğunu, pasalar arasında ve eski galerilerde bol miktarda odun kömürü parçaları, testi parçası ve kemiklerle birlikte bir bakır çivi bulduklarını ifade etmişlerdir. Bu pasa tabakaları arasında buldukları odun kömürünün yaşını C-14 yöntemiyle  $3900 \pm 85$  yıl olarak tespit etmişlerdir. Bu veri Gümüşköy madeninin M.Ö. 2 bin yıllarından itibaren işletildiğini gösteren en önemli kanıtlardan birisidir. Aynı bölgede Kaptan tarafından 1982 yılında yapılan bir başka çalışmada ise M.Ö. ikinci bin yılın başlarına ait olduğu ifade edilen galeriler kompleksi tespit edilmiş ve bunun yeraltı madenciliğinin en eski buluntularından birisi olduğunu ifade etmiştir. Bu da yatağın yaklaşık olarak 4000 yıldır üretimde olduğu anlamına gelmektedir. Daha önce yapılmış çalışmalardan elde edilen sonuçlar, Kartalkanat'ın 2008'de yapmış olduğu çalışmasından Gümüşköy maden ocağı'nın M.Ö. 1500'lü yıllarda işletiliyor olduğuna dair elde ettiği bulguyu destekler niteliktedir.

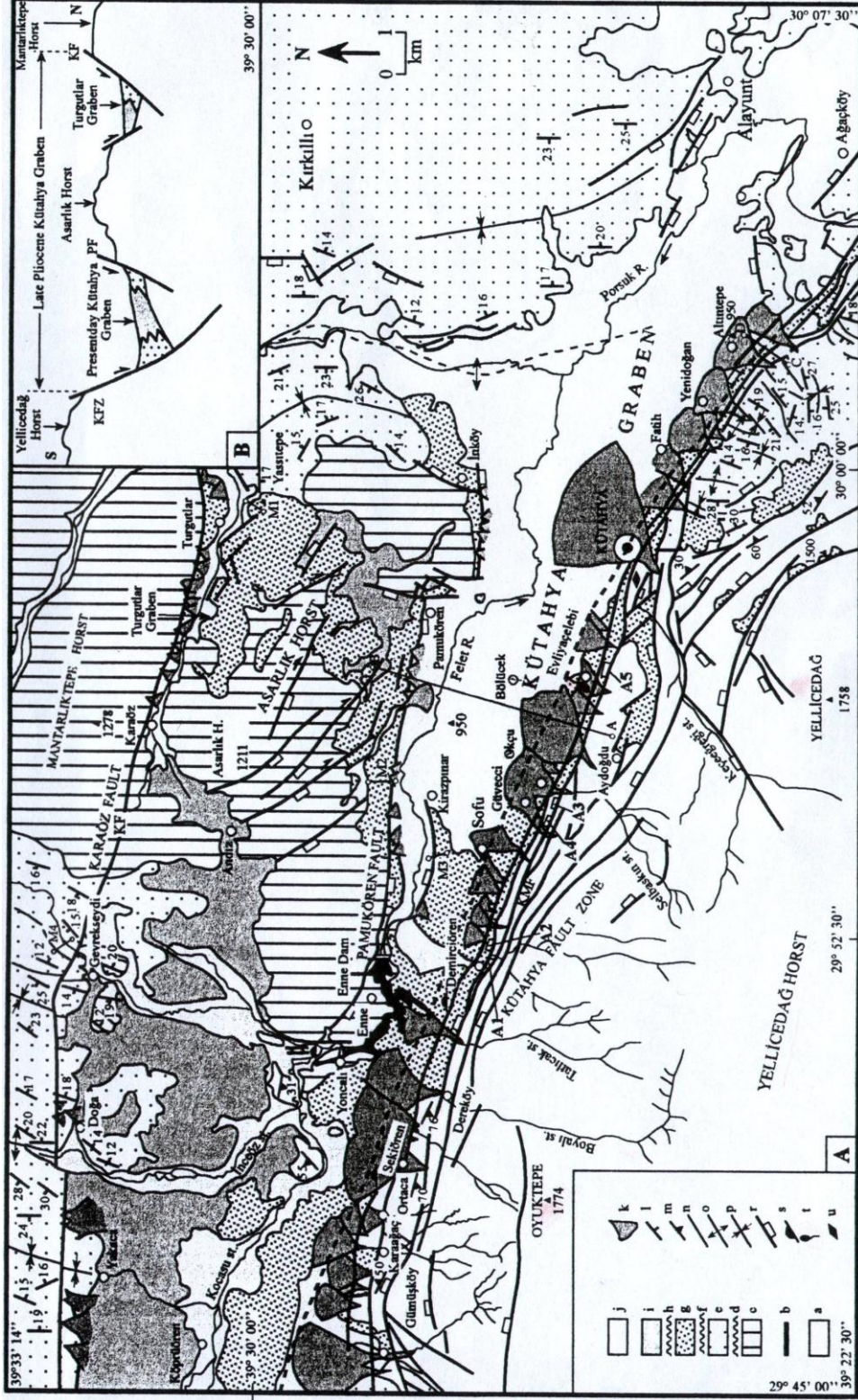


Şekil 1.2. Bozkurt (2001)'e göre İç Batı Anadolu Neotektonik dönem yapıları ve Kütahya Grabeni (kırmızı çerçeve)'nin konumu





Şekil 1.3. Türkiye Diri Fay Haritası'nda Kütahya Fay Zonu'nun konumu. (Şaroğlu ve diğ. 1992).

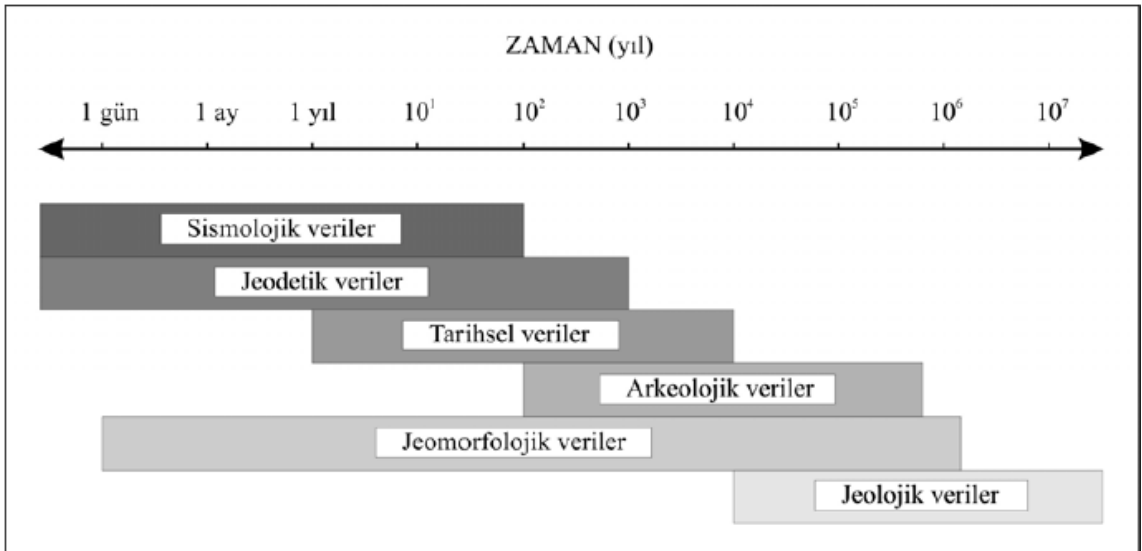


Şekil 1.4. Kütahya Grabeni ve çevresinin jeolojisi haritası. A. Dodurga metamorfittleri, b. tektonik dokanak, c. Ovacık Yapısal Karmaşığı, d., nonkonformiti, e. Miyosen yaşlı Çobanköy ve Şahmelek formasyonları, f. açılı uyumsuzluk, g. Geç Pliyosen yaşlı Enne formasyonu, h. diskonformiti, i-j. Kuvaterner yaşlı sedimanlar, k. alüvyon doğrultu ve eğimi, l. katman doğrultu ve eğimi, m. yapraklanma doğrultu ve eğimi, n. dokanak, o. antiklinal eksenli, p. senklinal eksenli, r. vevre atımlı normal fay (dikdörtgen düşen blok üzerinde) s. sıcak su kaynağı t. fay kaynağı, u. tarihi yer (Kütahya Kalesi)(Koçyiğit ve Bozkurt 1997)

### 1.3. Çalışmada Kullanılan Yöntemler

Aktif fayların araştırılmasında farklı disiplinlerden yararlanılması gerekir, çünkü her bir disiplinin temsil ettiği zaman aralığı farklıdır. Vita-Finzi (1986)'ye göre aktif fayların araştırılmasında yararlanılan ana disiplinler sismoloji, jeodezi, tarihsel veriler, arkeoloji, jeomorfoloji ve jeolojidir (Şekil 1.5). Bu disiplinlerin herbiri farklı sınırlar içerisinde yararlı olduğu için birkaçının birarada kullanılması daha geniş zaman aralığında yorumların yapılmasına ve daha sağlıklı sonuçların elde edilebilmesine olanak tanır.

Tez çalışmasında KFZ'nun genel özelliklerini tespit edebilmek amacıyla farklı disiplinlerden yararlanılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan yöntemlerden aşağıda kısaca bahsedilmiştir.



Şekil 1.5. Neotektonik araştırmalarda kullanılan yöntemlere ait verilerin etkin olduğu yaş aralıkları dağılımı (Vita- Finzi, 1986).

### 1.2.1. Fay morfolojisi analizi

Fay zonu morfolojisi, Kuvaterner'de aktivitesini sürdüren fayların tanımlanmasında kullanılan temel yaklaşımlardan biridir (Pantosti and Yeats, 1993; Keller and Pinter, 1996; Burbank and Anderson, 2001). Yüzeyde deformasyon meydana getiren depremler, üzerinde oluştukları fayların özelliklerine bağlı olarak yeryüzünde çeşitli izler oluşturmakta ve devam eden fay aktiviteleri ile bu izler gelişmektedir. Oluşan bu morfoloji kullanılarak fayların uzanımı haritalanmakta ve özellikleri hakkında bilgi edinilebilmektedir.

Normal faylarda yükselen taban bloğu aşınmakta ve aşınan malzeme düşen tavan bloğu üzerinde çökelmektedir. Bu süreç doğa tarafından aşınma ve taşınma ile dengelenmeye çalışılmakta ve karakteristik yeryüzü şekilleri oluşmaktadır. Bu yapılardan en önemlileri fay sarplıkları ve basamakları, ütü altı yapılar (üçgen façeta), aynı çizgisellik üzerindeki uçları kesilmiş sırtlar, asılı vadiler, sıkışma alanları, alüvyal yelpazeler, kaplumbağa sırtları, dere ötelenmeleri ve asimetrileri, eğimlenmiş birimler ve sıralı su kaynaklarıdır.

Doğrultu atımlı faylarda ise yatay yönde meydana gelen yerdeğiştirmeler sonucunda farklı morfolojik yapılar oluşmaktadır. Bu yapılar ise; çizgisel vadiler, dere ötelenmeleri, kapanma sırtları, sarplıklar, bel verme gölcükleri, su kaynakları ve basınç sırtlarıdır.

Fay zonuna ait bu morfolojik özellikler ancak uygun jeomorfolojik ve iklim koşullarında korunabilmektedir. Korunabilen yapıların tespiti ve yorumlanması, sayısal çözümlenmelerle desteklendiğinde üzerinde geliştikleri fayların özellikleri hakkında önemli bilgiler verebilmektedir (Jackson and McKenzie, 1983; Paton, 1992; Pinter and Keller, 1995). Tez çalışması kapsamında bu yapılar ayrıntılı olarak incelenmiş ve diri olduğu düşünülen fayların kinematik özellikleri hakkında fikir edinilerek bu faylar haritalanmıştır.

### 1.2.2. Sığ jeofizik

Sığ jeofizik, genelde 0 ile 100 m derinlikler arasında bulunan ortamların fiziksel özelliklerini yüksek çözünürlükte tanımlamaya çalışan bir jeofizik araştırma dalıdır. Bu yöntemle yüzeye yakın ortamlar içerisinde gömülü olarak bulunan her türlü yapının boyutu, derinliği, uzanımı vb. gibi özellikleri değişik fiziksel yöntemler yardımıyla tanımlanmaya ve görüntülenmeye çalışılmaktadır. Bu yöntemlerden yeraltı radarı (Ground Penetrating Radar, GPR) ve elektrik özdirenç-IP bu çalışmada kullanılmıştır.

*Yeraltı Radarı (GPR)* aktif fay çalışmalarında etkin olarak kullanılan sığ jeofizik yöntemlerinden biridir. GPR yöntemi, yatay doğrultuda elektrik alan vektörü olan bir verici anten aracılığı ile yer içine gönderilen çok yüksek frekanslı elektromanyetik dalgaların (radyo dalgaları) ara yüzeylerden yansımalarının gözlemlenmesi ilkesine dayanmaktadır. GPR, tıp biliminde yıllardır kullanılan ve “ultrasonografi” olarak bilinen insan vücudunun içinin görüntülenmesini sağlayan cihazlarla benzerliği ile göze çarpmaktadır. Tıp çalışmalarında kullanılan antenler (tıp dilinde proplar) 1–10 MHz iken, yer bilimlerinde kullanılan antenler 10–2300 MHz mertebelerindedir. Sonuçta tıp dünyasında birkaç on santim, yer bilimlerinde ise birkaç on metreler araştırılmaktadır. GPR yönteminin kullanım alanları; yer araştırmaları, tünel araştırmaları, yapı araştırmaları, arkeojeofizik araştırmaları, endüstriyel atık, sızıntı ve çevre kirlenmesinin araştırılması, eski veya kaydı bulunmayan şehir altyapılarının araştırılması, adli tıp araştırmaları, yeryüzü ve galerilerde maden araştırmaları olarak sıralanabilir.

GPR yöntemi son yıllarda aktif tektonik çalışmalarda da kullanılmaktadır (Slater and Niemi, 2003; Ferry, 2004; Altunel et al., 2009; Yalçiner ve diğ., 2004, 2005, 2009). Ülkemizde de kullanılmaya başlanan bu yöntem ile çok yüksek çözünürlükte görüntüler elde edilebilmektedir. Yöntem örtülü aktif fayların araştırılmasında olduğu gibi, gömülü antik kentlerdeki hasarların belirlenmesinde de etkili olmaktadır. Bu çalışmada GPR yöntemi kullanılarak, çalışılan bölgelerde fayın lokasyonu ve yer altı özellikleri hakkında bilgiler elde edilmeye çalışılmıştır. Çalışma kapsamında 250 MHz’ lik antenler kullanılarak yüzeyden yaklaşık 10 metre derinliğe ulaşılabilmektedir.

*Elektrik Özdireç-IP* cihazları ile sığ derinliklerde yüksek hassasiyetli olarak yeraltı görüntülenebilmektedir. Bu tarz çalışmalar 2 boyutlu olarak uygulanarak, aktif fay zonlarının tespiti mümkün olmaktadır. Elektrik yöntemlerde yeryüzünde toprağa çakılan iki paslanmaz metal-çelik elektrot aracılığı ile yer içine elektrik akımı gönderilmektedir. Yeryüzündeki diğer iki noktada yerleştirilen iki elektrot yardımı ile de yer içinde oluşan gerilim farkı ölçülmektedir. Geliştirilen çoklu elektrot sistemleri ile aynı anda birçok noktada hızlı ve güvenilir ölçümler alınarak 2 boyutlu görüntüler oluşturulabilmektedir.

Çalışma kapsamında “SYSCAL PRO Switch 48 (5m)” marka elektrik özdirenci cihazı ile çalışma alanında, morfolojiye dayalı arazi gözlemleri ile belirlenen alanlarda, ölçümler yapılmıştır. Cihaz yeni geliştirilen ölçüm teknolojileri sayesinde yeraltındaki jeolojik birimlerin elektriği iletmeye karşı dirençlerinin (elektrik özdirenci-ROH) yanı sıra, kayaçların elektrik ile indüklenme (yapay polarizasyon) değerlerini de ölçebilmektedir. Daha önceki aktif fay çalışmalarında da kullanıldığı üzere (örneğin Smilox-Tohon et al., 2006), süreksizlik zonlarının belirlenmesinde en yaygın ve etkin elektrot dizilimleri olan Dipole-Dipole ve Wenner-VES dizilimleri, her iki ölçüm yönteminde de (IP-polarizasyon ve ROH-özdirenci) ayrı ayrı uygulanarak tek bir lokasyonda toplam 4 ayrı profil elde edilmiştir.

### **1.2.3. Paleosismoloji**

Büyük depremler sırasında oluşan yüzey faylanmaları, doğal ve/veya insan yapımı yapılarda ötelenmeler meydana getirmekte, faylanma türüne bağlı olarak yüzey şekilleri oluşturmakta ve var olan yüzeyin yeniden şekillenmesine neden olmaktadır. Aynı fay üzerinde tekrarlanan depremlerde meydana gelen bu tür değişiklikler, bir öncekine eklenmekte, uygun jeomorfolojik ve iklimsel koşullarda korunarak saklanmaktadır. Jeolojik birimlerde kaydedilmiş tarih öncesi depremleri yer, zaman ve büyüklük olarak inceleyen yöntem “Paleosismoloji” denilmektedir (McCalpin, 1996).

Bu kaydedilmiş verilerin incelenebileceği standart bir paleosismolojik teknik olmamakla birlikte, farklı yer ve yapılarda farklı çalışma metodları kullanılmaktadır.

Hendek açma, deprem sürecini anlamak ve diri fayların kayma hızı, miktarı ve geometrisi gibi karakteristik özelliklerini ortaya çıkartmak amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Uygun koşullarda bu yöntem ile Holosen başına kadar olan dönemde yüzeyde faylanma meydana getirmiş depremlerin izleri genç çökeller içerisinde bulunabilmektedir. Açılan hendeklerle belirlenen, yüzeyde deformasyona sebep olmuş her bir deprem izi jeolojik kayıtlarla karşılaştırılarak yaşlandırılabilir, fayların uzanımı haritalanmakta ve özellikleri hakkında bilgi edinilebilmektedir.

#### **1.2.4. Arkeosismoloji**

Tarihsel dönemlerde meydana gelen büyük depremler, tektonik olarak aktif olan bölgelerdeki insan yapımı yapıları etkileyerek bunlarda yıkımlara, ötelenmelere neden olmuş ve antik kentlerin tarihlerinde önemli izler bırakmıştır. Tarihsel ve tarih öncesi depremlerin bu arkeolojik delilleri ile ilgilenen bilim dalına “arkeosismoloji” denilmektedir (Stewart and Hancock, 1994). Ülkemizde arkeosismolojik çalışmalar özellikle yerleşik insan yaşamının ortaya çıkışından (M.Ö. 8000’li yıllara kadar iner) günümüze uzanan yaş aralığında etkin olarak kullanılabilmektedir (Akurgal, 1997). Özellikle fay zonları üzerinde veya yakın çevresinde bulunan antik yerleşimler veya diğer insan yapımı yapılar (yol, duvar, su kanalı vb), fayların yerleri ve geçmiş hareketleri hakkında önemli bilgiler vermektedir. Ayrıca, antik yerleşim yerlerindeki yapıların yeniden inşası ve restorasyonu gibi değişikliklerinin tarihsel depremlerle karşılaştırılması önemli sonuçlara ulaşmaya katkı sağlamaktadır.

Bu çalışma kapsamında tarih boyunca birçok medeniyete ev sahipliği yapan Kütahya ve Seyitömer Höyüğü’nde arkeosismolojik gözlemler yapılmıştır. Kütahya’da bulunan eski yapılarda ve höyükteki kültür katmanlarında gözlenen hasarlar incelenerek depremlerden kaynaklanıp kaynaklanmadığı tespit edilmeye çalışılmıştır.

## 2. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ VE NEOTEKTONİK KONUMU

Anatolid-Torid platformunu Afrika-Arap Plakaları'ndan ayıran Neotetis'in güney kolu geç Kretase'de Afrika ve Avrasya Plakaları arasında kapanmaya başlamıştır (McKenzie, 1972; Şengör and Yılmaz, 1981; Hempton, 1987; Le Pichon ve Gaulier, 1988). Bu kapanma Anadolu Bloğu ve Arap Plakası'nın Miyosen'de Bitlis-Zagros kesiminde çarpışması ile sonuçlanmıştır (Şengör and Yılmaz, 1981). Bu olay ülkemizde Neotektonik dönemin başangıcı sayılmaktadır (Şengör and Yılmaz, 1981). Bitlis-Zagros kesimindeki kapanma ile Anadolu Bloğu sıkışarak kalınlaşmış ve bunun bir sonucu olarak yeni dönemde oluşan Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) boyunca batıya kaçmaya başlamıştır (McKenzie, 1972; Le Pichon ve Angelier, 1979; Şengör, 1980; Şengör et al., 1985; Le Pichon ve Gaulier, 1988).

Tektonik açıdan ülkemizin en aktif bölgelerden biri olan Batı Anadolu da, Anadolu Bloğu'nun batıya hareketine bağlı olarak gelişen yaklaşık D-B doğrultulu horst-graben sistemlerinin kontrolü altındadır (Ketin, 1968; McKenzie, 1972; Dewey ve Şengör, 1979; Şengör, 1987; Şengör et al., 1985). Batı Anadolu'da erken Miyosen ile Pliyosen arasında bir zamanda başladığı ileri sürülen bu tektonik rejim D-B, KD-GB ve KB-GD doğrultularında gelişmiş fay zonları ile örülmüştür (Dumont ve diğ., 1979; Angelier ve diğ., 1981; Şengör, 1987; Seyitoğlu ve Scott, 1991, 1992; Cohen ve diğ., 1995; Koçyiğit ve diğ., 1999; Yılmaz et al., 2000; Alçiçek ve diğ., 2005). Bu çalışma kapsamında, Batı Anadolu açılma bölgesinin kuzeydoğu sınırını oluşturan fay sistemlerinden biri olduğu ileri sürülen KFZ'nun Kuvaterner etkinliği irdelenmiştir. İnceleme alanı ise fay zonunun Kütahya İlinin yaklaşık 25 km kuzeybatısı ile 15 km güneydoğusu arasında kalan kesimini kapsamaktadır.



## 2.1. Çalışma Alanının Jeolojisi

Çalışma alanının genel morfolojisi temel kayaların oluşturduğu topoğrafik yükseltilerle çevrelenmiş bir çöküntü alanı görüntüsündedir. Çalışma alanının orta kısmında oldukça geniş bir alan kaplayan Kütahya Havzası bulunmaktadır. Porsuk Çayı, havza tabanında BKB doğrultusunda akmakta ve havza ortalarında kuzeye dönerek çalışma alanını terk etmektedir (Şekil 2.1).

Çalışma alanında içerisinde bulunduğu İç Batı Anadolu, Neotetis'in kuzey kolu olan İzmir-Ankara Okyanusu'nun, kapanma sürecine dair farklı aşamaların kayıtlarını taşıyan bir kuşaktır (Gürer ve diğ., 2005). Bu sürece bağlı olarak bölgede Neotektonik dönemin Orta Miyosen'de başlayıp günümüze kadar devam ettiği kanısı, bu alanda daha önce çalışma yapmış tüm araştırmacılar tarafından kabul görmektedir (Akkuş, 1962; Kalafatçioğlu, 1964; Dumont et al., 1979; Angelier et al., 1981; Baş, 1986; Şengör, 1987; Seyitoğlu and Scott, 1991, 1992; Cohen et al., 1995; Koçyiğit et al., 1999; Yılmaz et al., 2000; Bacak ve Uz, 2003; Alçiçek et al., 2005; Yıldız ve Kuşçu, 2006). Akkuş 1962 yılında yapmış olduğu çalışmasında doğu-batı doğrultusunda uzanan Paleozoik yaşlı yüksek dağların Hersinien, Laramien ve Alpin hareketlerine maruz kalmalarından ötürü oldukça kırıklı ve kıvrımlı bir yapıya sahip olduğunu, Mesozoik yaşlı kireçtaşı formasyonunun genellikle iyi tabakalanma gösterdiklerini ve üst Kretase sonundaki Laramiyen ve Alpin orojenezini geçirmiş olduklarını, geniş sahalar kaplayan Neojen yaşlı göl fasiyesindeki genellikle yatay olan birimlerinin ise Alpin hareketlerine maruz kaldıklarını ifade etmektedir.

Bölge Seyitömer ve daha birçok linyit yatağı bulunması sebebiyle birçok jeolog tarafından detaylı olarak etüd edilmiştir. Kalafatçioğlu 1964'te yapmış olduğu çalışmasında Hersinien ve Alp orojenezlerini geçirmiş Neojen yaşlı Kütahya-Tavşanlı havzasının geniş linyit yataklarına sahip olduğunu ifade etmiş ve bölge jeolojisini de kabaca tanımlamıştır. Bacak ve Uz (2003) yapmış oldukları çalışmalarında Kütahya'nın Dağardı bölgesi ve güneyindeki ofiyolitlerin jeolojisi ve jeokimyasını

irdelemişlerdir. Yıldız ve Kuşçu 2006 yılında Başören (Kütahya) bentonitlerinin ve ana kayaçların jeokimyasal özelliklerini belirlenmiş ve bozuşma süresince elementlerin davranışlarını ortaya koymuşlardır.

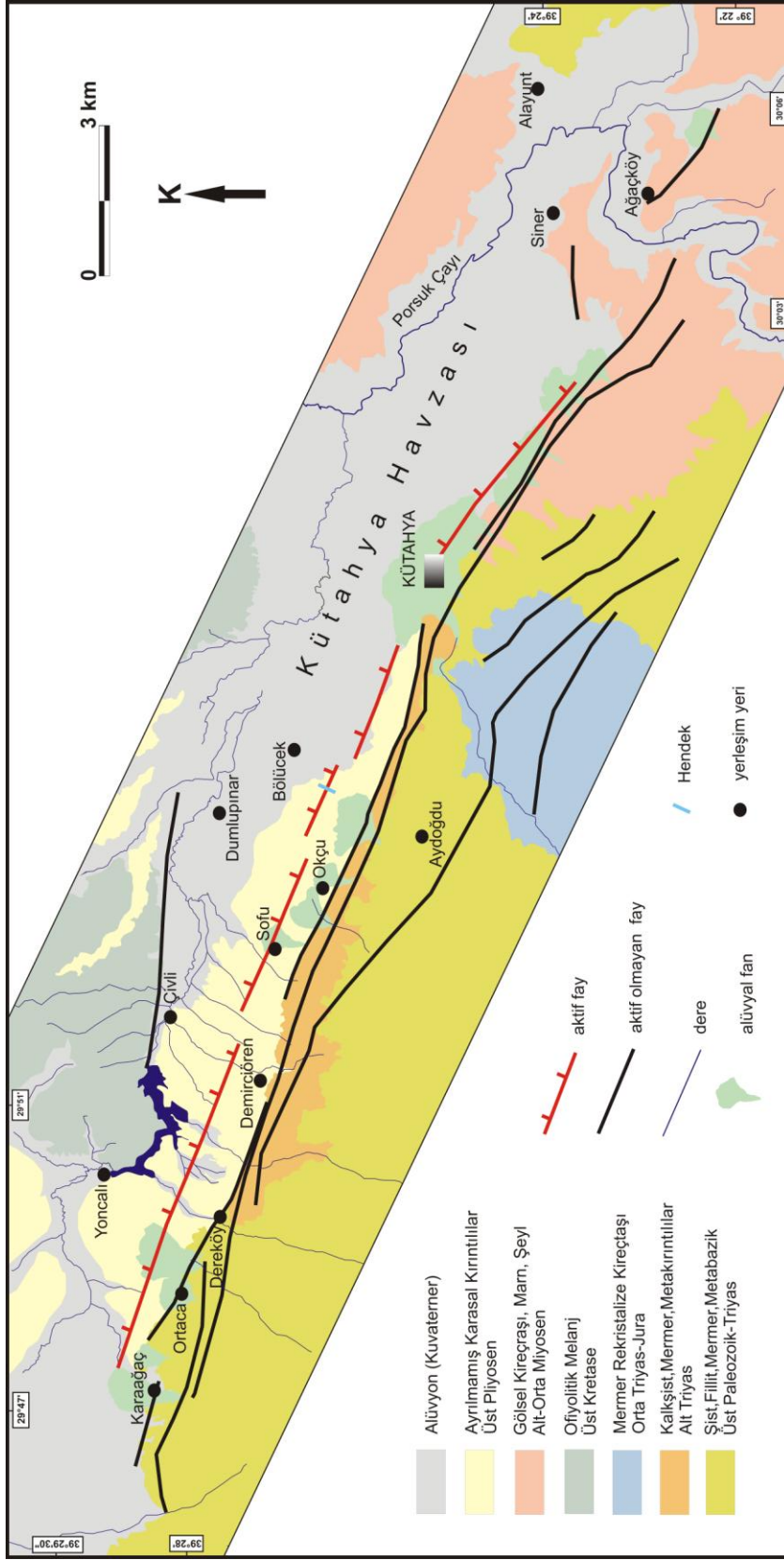
Bölgede daha önce birçok araştırmacı bölgesel ölçekte farklı amaçlara yönelik jeolojik haritalamalar ve çalışmalar yapmıştır (Akkuş, 1962; Kalafatçioğlu, 1964; Şaroğlu ve diğ., 1987; Koçyiğit ve Bozkurt, 1997; Bozkurt, 2001, 2003; Bacak ve Uz, 2003; Gürer ve diğ., 2005; Yıldız ve Kuşçu, 2006 ). Bu çalışmalarda çoğunlukla Kuvaterner öncesi birimler üzerinde durulmuştur. Pliyosen-Kuvaterner aralığında Kütahya Havzası içerisinde ve kenarında oluşmuş birimler önceki çalışmalarda Neotektonik dönem birimleri olarak adlandırılmıştır (Koçyiğit ve Bozkurt, 1997). Kütahya ve çevresinde şist ve mermerden oluşan metamorfik birimler ve bunların üzerine tektonik dokanakla yerleşmiş ofiyolitik kayaçlar temel birimleri oluşturmaktadır. Pliyosen yaşlı kayaçlar genellikle karasal kırıntılardan oluşmaktadır. Bu birimler çalışma alanında özellikle Kütahya şehir merkezi batısında havzanın güneyini sınırlayan yükselti yamaçlarında gözlenmekte ve havza merkezine kadar geniş bir yayılım göstermektedir. Kütahya Havzası'nın oluşum sırası ve sonrasında gelişen daha genç flüviyal çökeller ise havza dolgusu olarak bulunmaktadır (Gürer ve diğ., 2005). Kuvaterner yaşlı bu çökeller inceleme alanının en yaygın birimlerindedir. Bu birimlerin önemli yüzlekleri Kütahya şehir merkezi kuzeyinde Porsuk Çayı düzlüklerinde geniş alanlar kaplamaktadır. Kuvaterner yaşlı alüvyon yelpazeleri ise, havza güneyinde özellikle fayların sınırladığı alanlarda yaygın olarak gözlenen birimlerdir (Şekil 2.1).

Şaroğlu ve diğ., (1992); Koçyiğit ve Bozkurt, (1997); Bozkurt, (2001) ve benzeri birçok çalışmada KFZ aktif bir fay olarak tanımlanmıştır. Bu araştırmacılar tarafından KFZ'nun Neojen yaşlı kaya topluluklarını kestiği ve Kuvaterner yaşlı çökelleri etkilediği belirlenmiş ve aktifliği kanıtlanmıştır. Kütahya Havzası'nın oluşum yaşını ve kökenini araştıran, KFZ'nun geometrisi ve deprenselliğinin ele alındığı bir başka çalışmada (Koçyiğit ve Bozkurt, 1997) ise yine KFZ'dan aktif bir fay olarak söz edilmiş, ayrıca bölgede fayın segmentasyonu ayrıntılı olarak haritalanmıştır. KFZ'ndan

Batı Anadolu'daki başlıca faylanmalardan biri olarak söz eden Barka and Reilinger (1997), GPS hızları ve sismik aktivite verilerini değerlendirerek KFZ'nu aktif bir fay zonu olarak tanımlamışlardır. Bölgedeki ilk çalışmacılardan biri olan Baş (1986), KFZ'ndan aktif bir fay olarak söz etse de, daha çok bölgenin Tersiyer jeolojisi üzerinde durmuş, KFZ'nun Kuvaterner aktivitesinden yeterince söz etmemiştir.

Çalışma alanında bölgenin tektoniği dışında jeokimya ve maden yatakları ile ilgili konularda da birçok araştırmacı farklı çalışmalar yapmış, bölge jeolojisini tanımlamışlardır. Bu çalışmacılardan Akkuş 1962 yılında Kütahya ile Gediz arasında kalan bölgenin jeolojisini şöyle tanımlamıştır: “Bölge Paleozoik yaşlı fillit, killi-şist, klorit-şist, serisit-şist ve grovaklardan; Mesozoik yaşlı mermer ve kristalin kalkerlerden; Neojen yaşlı beyaz renkli karasal göl kalkerlerinden, Kuvaterner yaşlı genç alüvyonlardan oluşmaktadır”.

Tez çalışmasının ana konusu KFZ'nun Kuvaterner aktivitesi olduğundan, daha öncesine ait jeolojik birimlerin ayrıntısına girilmemiştir. Bununla birlikte fayın aktivitesini anlamaya yönelik bilgiler elde edebilmek için geç Pliyosen ve sonrası birimler çalışma kapsamında ayrıntılı olarak incelenmiştir. Jeolojik birimler bu alana ait farklı ölçeklerdeki haritalar ve hava-uydu fotoğrafları ile değerlendirilerek haritalanmıştır (Şekil 2.1).

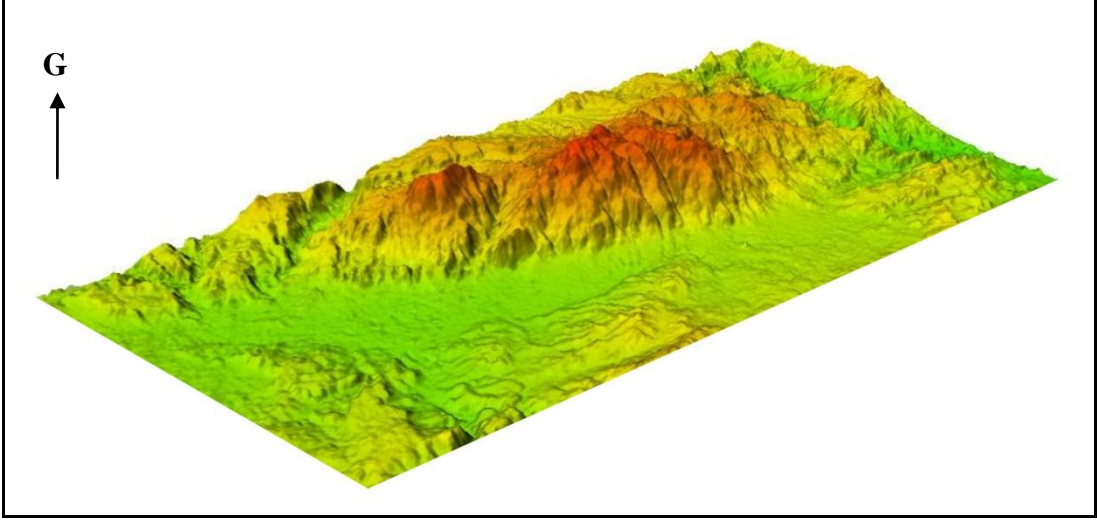


Şekil 2.1. KFZ ve yakın çevresinin jeoloji haritası (Koçyiğit ve Bozkurt [1997], MTA [2002] 1/500000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası ve DSİ [1981] 1/100000 ölçekli Kütahya ve Köprüören Ovaları Hidrojeoloji haritalarından yararlanılarak yeniden çizilmiştir).

## 2.2. Kütahya Fay Zonu ve Genel Özellikleri

Kütahya şehir merkezinin yakın güneyini K60B doğrultusunda sınırlayan KFZ, yaklaşık 40 km uzunluğa sahiptir (Şaroğlu ve diğ., 1987, 1992). KFZ' nun geometrisi ile ilgili farklı görüşler olmasına karşın daha önce bölgede çalışmış olan araştırmacıların ortak fikri KFZ'nun ana karakteristiğinin normal fay olduğu yönündedir (Şaroğlu ve diğ., 1987; Koçyiğit ve Bozkurt, 1997; Bozkurt, 2001, 2003; Gürer ve diğ., 2005) ( Bkz. Şekil 1.2, 1.3, ve 1.4). Ancak, temelde normal faylanma verileri sunan KFZ'nun geometrisinin yanısıra ikincil bileşenleri hakkında da farklı görüşler mevcuttur. Bu görüşlerden ilki; fayın özellikle kuzeyti bölümünde eğim atımın yanı sıra sağ yönlü doğrultu atım bileşenine sahip olduğu, (Şaroğlu ve diğ., 1987, 1992) (Şekil 1.2) ikincisi ise bu fayın sol yanal doğrultu atım bileşenli normal fay niteliğinde olduğu yönündedir (Gürer ve diğ., 2005). Daha önceki çalışmaların bir kısmında bu alandaki uzanımlar Kütahya Fayı olarak adlandırılmıştır (Şaroğlu ve diğ., 1987). Ancak güncel çalışmalarda bu uzanımlar Kütahya Fay Zonu olarak adlandırıldığı için (Koçyiğit ve Bozkurt, 1997; Gürer ve diğ., 2005) bu çalışmada da güncel olan bu adlamanın kullanılması tercih edilmiştir.

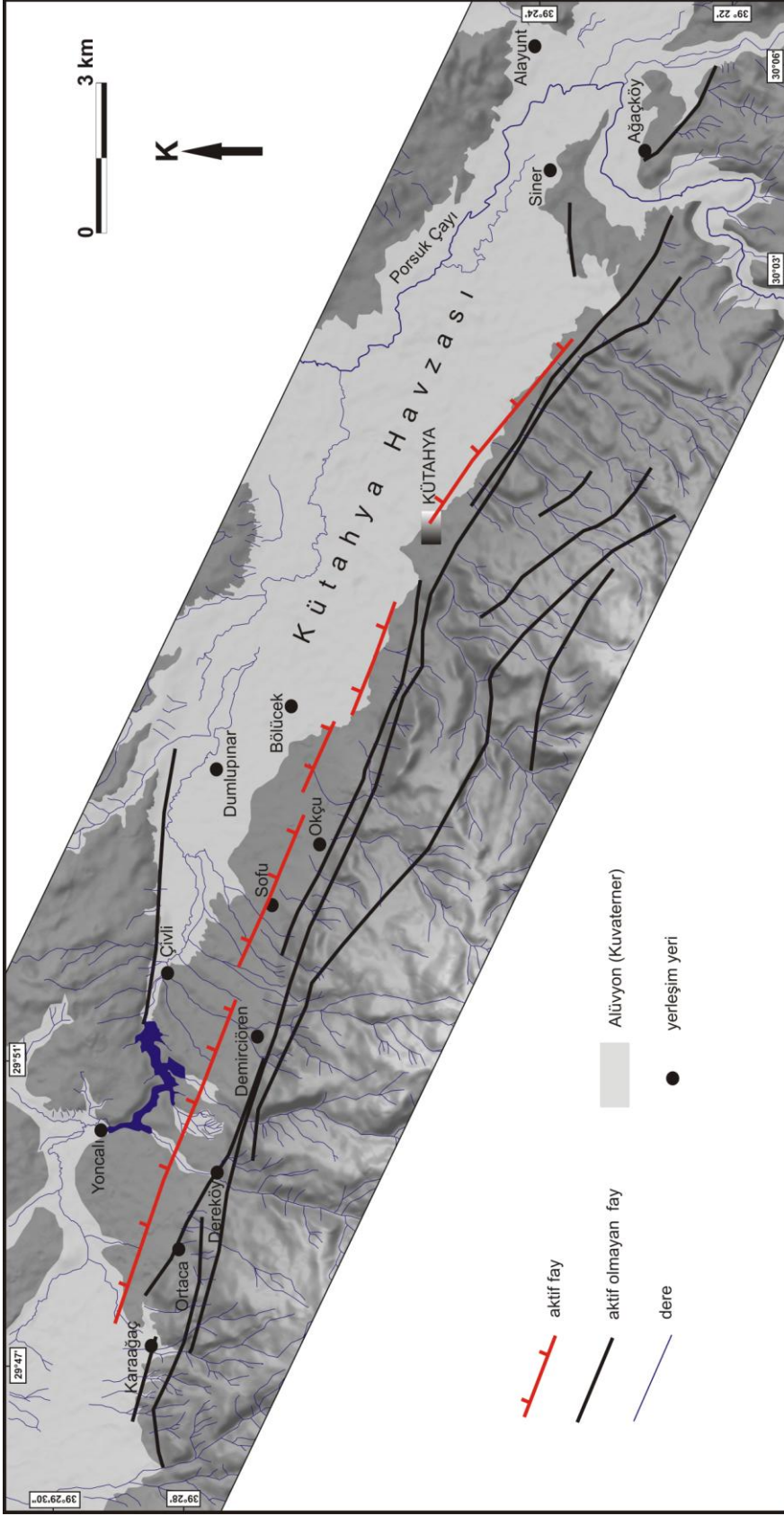
Çalışma alanı Batı Anadolu açılma bölgesi'nin kuzeydoğu sınırında, yaklaşık KB-GD doğrultusunda uzanan bir koridor görünümündedir. Bu koridor önceki çalışmalarda havza veya graben olarak da tanımlanmış, (Bozkurt, 2001) (Şekil 1.2) bazı çalışmalarda koridoru oluşturan çöküntü alanının her iki kenarı, bazılarında ise yalnızca güney kenarı aktif faylarla sınırlandırılmıştır. Bununla birlikte daha önceki çalışmalardaki genel kanı ve bu çalışma kapsamında yapılan gözlemler havzanın yalnızca güneyini sınırlayan fayların aktif olduğu yönündedir. Güney kesimi aktif faylarla sınırlanmış olan havza Kuvaterner öncesi yaşlı kayaçların temel oluşturduğu belirgin bir topografik yükselim sunmaktadır (Şekil 2.2 ve 2.3). Bu kesimde iyi gelişmiş drenaj sistemleri dikkati çekmektedir (Şekil 2.4). Koridorun kuzey kesiminde ise nisbeten daha düşük bir topografik yükselti bölgeye bir çöküntü alanı özelliği kazandırır. Kuvaterner çökellerinin doldurduğu Kütahya Havzası bu yükseltiler arasında geniş bir düzlük sunmaktadır. KFZ'nun morfolojideki izi uydu görüntülerinde de net bir şekilde takip edilebilmektedir (Şekil 2.5). Bununla birlikte, KFZ boyunca özellikle şehir merkezinin batı kesiminde gelişmiş alüvyal yelpazeler ve Kütahya şehir merkezindeki yoğun kentsel yapılaşma, fayın morfolojideki izlerini yer yer örtmekte ve faylanmaya ait arazi gözlemlerinde güçlükler oluşturmaktadır.



Şekil 2.2. Kütahya Havzası'nın ASTER GDEM (Global Digital Elevation Model) görüntüsü. Ölçeksizdir. (30 metre çözünürlük)

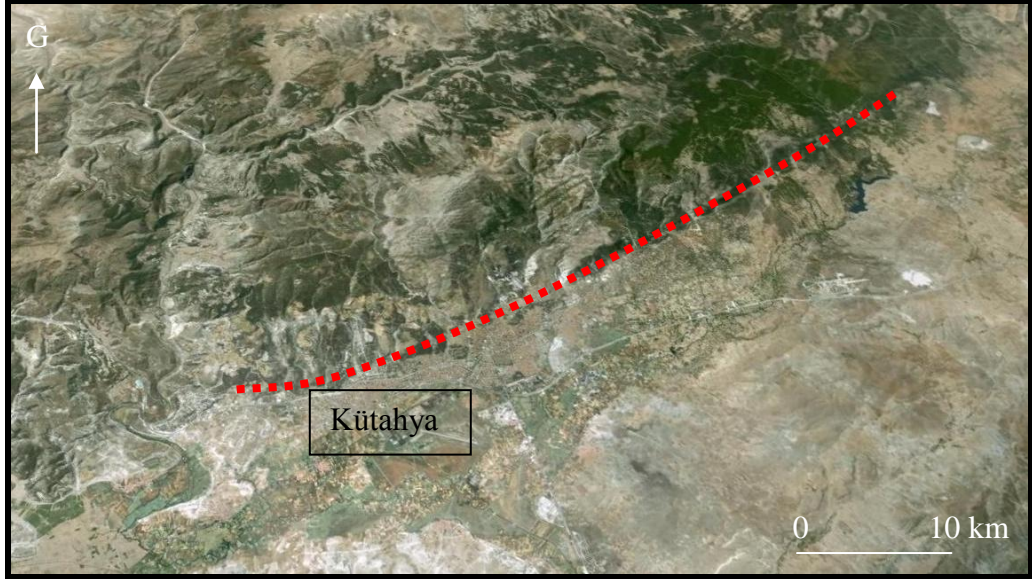


Şekil 2.3. Kütahya şehir merkezi batısında Kütahya Havzası güney kenarına genel bakış. Kütahya Fay Zonu, havza tabanı ile güneydeki tepeler arasında önemli yükseklik farkına neden olmuştur. (Bakış güneydoğuya doğrudur.)



Şekil 2.4. Çalışma alanının jeomorfoloji haritası.





Şekil 2.5. KFZ'nun oluşturduğu fay morfolojisinin uydu görüntüsü (Görüntü Google Earth'den alınmıştır). Kırmızı çizgi faylanmadan ötürü oluşan morfolojik sarplığı işaret etmektedir.

### 2.3. Bölgenin Depremselliği

Kütahya ve çevresinde mevcut olan antik yerleşim yerleri ve höyüklerden, bu bölgede yaşamın M.Ö. 3000'li yıllara dayandığını söylemek mümkündür (Bilgen 2009). Ancak tarihsel kaynaklar yalnızca Roma Dönemi'ne ait makrosismik olayların bilgilerinin güvenilir olduğunu göstermektedir.

Tarihsel ve aletsel dönemlere ait sismik kayıtlara bakıldığında çalışma alanı ve yakın çevresinde birçok depremin meydana geldiği görülmektedir. Bu derpemlerden tarihi kayıtları olanlar Çizelge 1'de, aletsel kayıtları olanlar ise Çizelge 2'de yer, zaman ve büyüklükleri gibi farklı özellikleriyle listelenmiştir.

Çizelge 1. Kütahya ili ve yakın çevresinde meydana gelmiş veya Kütahya ilinde hissedilmiş tarihsel depremler (1. Pınar ve Lahn, 1952; 2. Tabban, 1980; 3. Ambraseys and Jackson, 1998; 4. Ergin ve diğ., 1967; 5. Calvi, 1941; 6. Öcal, 1968; 7. Plassard et Kogoj, 1968; 8. Karnik, 1971).

Tarih	Yer, Koordinat	Siddet Io	Büyüklik M	Kaynak
M.S. 17	38.5 K, 27.8D			3
1700	39,42N 29,98E (4)	VI (4)		1, 4
1859	39,42N, 29,97E (4)	VI(4)		1, 4
1860	39 N, 30 E	VI		8
1880	38,60N, 27,1 E	IX		4
1886	39,55N, 29,95 E	VII		4
1896	39,3N, 29,2 E (4)	VII (2,4)	4.9 (2)	1, 2, 4, 5, 6, 7

M.S. 17 yılında Kütahya'nın Gediz ilçesinde yüzey kırığı oluşturabilecek büyüklükte, 17.yy'ın sonunda veya 18. yy'ın başlangıcında Kütahya'da hasar oluşturabilecek büyüklükte depremler meydana gelmiştir. Bu depremlerin ardından 1859, 1860, 1880, 1886 yıllarında Kütahya 'da da hissedilen birçok deprem meydana gelmiştir. 1896 yılında meydana gelen 4.9 büyüklüğündeki depremde ise Emet'te birçok ev hasar görmüş, minareler yıkılmış, ılıcaların suları fişkırmış, kısmen çoğalmış kısmen azalmış ve toprak çöküntüleri meydana gelmiştir.

Çizelge 2. Kütahya ili ve yakın çevresinde meydana gelen veya Kütahya ilinde hissedilen aletsel olarak kaydedilmiş depremler (1. Tabban, 1980; 2. N.N.Ambraseys and J.A. Jackson 1998; 3. Mckenzie, 1972; 4. Ambraseys, 1989, 5. Ergin ve diğ. 1967).

<b>Tarih</b>	<b>Yer, Koordinat</b>	<b>Şiddet Io</b>	<b>Büyük­lük M</b>	<b>Kaynak</b>
1926	Altıntaş		4.3	
2.5.1928	Emet 39.41 / 29.45	8	6.2	1
1930	Emet 39,34N, 29,25E (11)	VI (11)	4.9	1, 5
3,8,1939	39,8N, 29,7E	V		5
1939	Domaniç		5.5	4
1942	Domaniç		6.2	1
14.4.1943	39.34N, 29,25E			5
25.6.1944	Şaphane, Gediz, 39,04N, 29,4E (11)	8 7 (11)	6.0	1, 5
1947	Dumlupınar		5.3	1
1953	Gediz	5		1, 3
20.2.1956	Domaniç	6		1
1956	Altıntaş	5		1
1956	Emet	5		1
1956	Hisarcık			1
1956	Çavdarhisar	5		1
1956	Akçaalan	5		1
1956	Gökler	5		1
1956	Şaphane			1
1956	Simav	5		1

1956	Çiftgöl	5		1
1956	Demirci	5		1
1956	Kuşu	5		1
1956	Tavşanlı	6		1
24.10.1957	40,03N, 29.78 E			5
1959	Domanıç	5		1
1962	Emet	5	5.3	1
1966	Gediz		4.7	1
1966	Simav	5		1
3.23.1969	39.16 / 28.48		5.6	1
3.25.1969	39.10 / 28.45	8	5.6	
4.30.1969	39.16 / 28.50		5.1	2,3
28.3.1970	Gediz 39.06 / 29.54		7.2	2, 3, 4
1970	Altıntaş	5		2,3
1970	Şaphane			1,4
1970	Tavşanlı	5		1
1970	Simav			1
16.4.1970	Altıntaş		5.4	1
19.4.1970	Çal		5.8	1
8.5.1970	Dumlupınar		4.3	1
1970	Emet		4.5	1
1970	Emet		5.2	1
1970	Emet	6		1
1970	Hisarcık			1

1970	Çavdarhisar			1
1970	Akçaalan	8-9		1
1971	Altıntaş			1
1971	Dumlupınar		4.7	1
1976	Emet		4.9	1

Aletsel veriler incelendiğinde çalışma alanının yakınında meydana gelmiş ve bu bölgeyi etkilemiş birçok deprem kayıt edildiği tespit edilmiştir. Bu depremlerin bazıları için kaynaklarda eklenen bilgilerden önemli olanları aşağıdaki gibi özetlenmiştir. Tabban (1980)'a göre, 2.5.1928 tarihinde Karasu vadisi içerisinde Tavşanlı'nın güneyinde bir deprem meydana gelmiş ve civar ilçelerde hasara neden olmuştur. 14.4.1943 tarihinde Kütahya, Bursa ve İnegöl'de kuvvetli hissedilmiş bir deprem meydana gelmiştir (Ergin ve diğ. 1967). 25.6.1944'de Şaphane-Gediz'de meydana gelen deprem sonucu 20 km'lik yüzey kırığı oluşmuş, Çavdarhisar (Aizanoi antik kenti) hasar görmüş, Kütahya ve civardaki 7 ilçede binalarda hasara neden olmuştur (Ergin ve diğ. 1967, Tabban 1980).

Tez çalışmasının sürdüğü dönemde Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Dairesi Başkanlığı'nca aletsel olarak kayıt edilmiş, Kütahya il merkezinde hissedilmiş birkaç deprem mevcuttur. Bu depremler ise Çizelge 3'te verilmiştir. Aletsel olarak kaydedilen depremlerin günümüze en yakın 1980 yılına kadar olan kayıtları Tabban (1980) çalışmasından elde edilmiştir. 1980 ile 2010 yılları arasında kalan dönemde bölgede meydana gelen depremlere ilişkin Kandilli Rasathanesi'nin verilerine ulaşılamamıştır.

Çizelge 3. Tez çalışması sürecinde Kütahya ve yakın civarında meydana gelen depremler

<b>Tarih</b>	<b>Yer, Koordinat</b>	<b>Derinlik (km)</b>	<b>Büyükölük (M)</b>
07.03.2010	Kütahya 39.450K, 30.061D	6.8	3.7
13.03.2010	Tunçbilek-Tavşanlı 39.666K, 29.451D	5.0	2.9
18.03.2010	Tunçbilek-Tavşanlı 39.668K, 29.442D	5.0	2.5
03.05.2010	Tunçbilek-Tavşanlı 39.631K, 29.396D	10.2	2.7
01.06.2010	Tavşanlı 39.686K, 29.473D	7.4	2.9

### 3. ARAZİ ÇALIŞMALARI

#### 3.1. Faylanma ile İlişkili Gözlemler

Potansiyel diri olduğu düşünölen bir fay izi belirlendiğinde üzerinde yapılacak temel çalışmaların ilk aşaması, fay zonu boyunca yeryüzü özelliklerinin ortaya konulmasıdır. Diri faylar boyunca meydana gelen büyük depremler yüzey faylanması oluşturduğunda, fayın özelliklerine bağılı olarak doğal süreçlerde izler bırakmaktadır. Aynı fay boyunca tekrarlanan depremlere ait yerdeğıştirme miktarları bir öncekine eklenmekte ve uygun jeomorfolojik ve iklimsel koşullarda korunarak saklanmaktadır.

Çalışma kapsamında yapılan faylanma ile ilişkili gözlemler Pliyosen öncesi ve Pliyosen ve/veya daha genç yaşla sahip kaya birimlerinde yapılan gözlemler olmak üzere ayrı ayrı ele alınmıştır.

##### 3.1.1. Pliyosen öncesi yaşlı kaya birimlerinde faylanmaya ilişkin gözlemler

Çalışma alanında morfolojik anlamda Kütahya Havzası güneyini sınırlayan keskin çizgisellik, Kütahya'nın yaklaşık 25 km kuzeybatısında bulunan Seyitömer linyit kömürü rezerv alanından GD'ya doğru Kınık Köyü'nü keserek Kütahya Eskişehir karayolu yakınlarına kadar devam etmektedir. Bu çizgisellik Pliyosen öncesi ve sonrası jeolojik birimlerin de kontağını oluşturan eski fay uzanımlarıdır. Bu fay uzanımları daha önceki çalışmalarda genellikle neotektonik yapılar olarak haritalanmıştır (Koçyiğit ve Bozkurt, 1997). Tez çalışması kapsamında bu çizgisellikler üzerinde yapılan detaylı gözlemlerde, aktif faylanmaya ait veriler (örneğin, genç çökelleri kesme ilişkisi, drenaj sistemi kontrolü vb) gözlemlenmediğı için bu faylar Pliyosen öncesi faylanmalar başlığı altında verilmiştir.

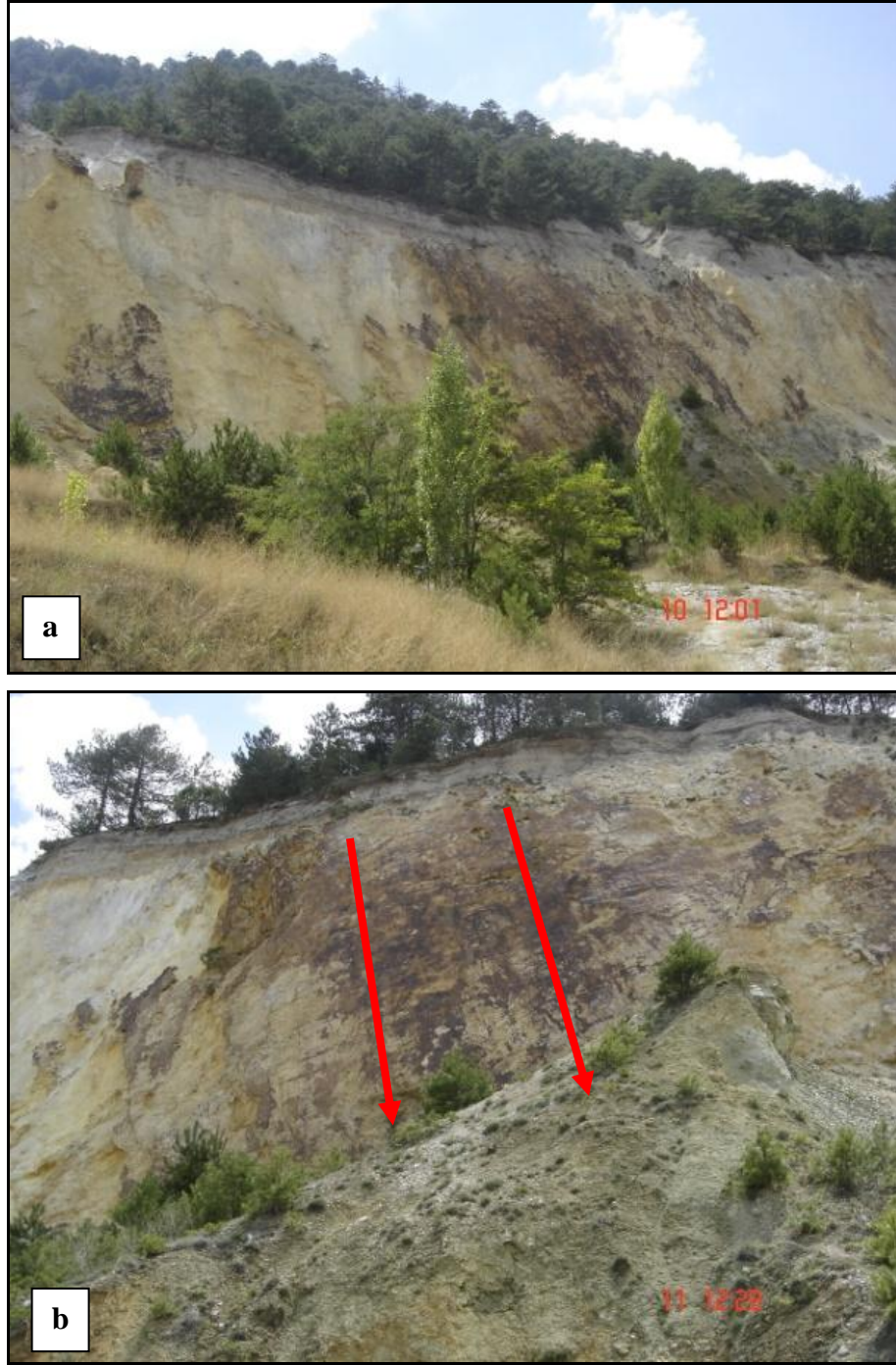
Pliyosen öncesi faylanmaya ilişkin veriler özellikle Pliyosen öncesi yaşlı kaya birimlerinde iyi korunmuş fay düzlemleri şeklinde kendini göstermektedir. Saha gözlemlerinde çoğunlukla gömülü olan faylar, inşaat amaçlı dolgu malzemesi alımı ile ortaya çıktığı yerlerde baskın olarak normal faylanmaya işaret etmektedir. Örneğin, Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 2.5 km doğusundaki 75. Yıl Mahallesi'nde anakaya içerisinde K70°B/68°KD konumlu fay aynası ortaya çıkmıştır. Kuzeye bakan düzlem üzerinde yatayla 45° açı yapan fay çizikleri faylanmanın sol yönlü doğrultu atım bileşeni olduğunu göstermektedir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Şehir merkezinin yaklaşık 2.5 km doğusundaki 75. Yıl Mahallesi güney sınırını oluşturan, anakaya içerisinde K70°B/68°KD konumlu fay aynası. Kırmızı ok fay düzlemi üzerinde yatayla 45° açı yapan fay çiziklerini göstermektedir. Bakış yönü güneybatıdır. (WGS 84 sisteminde GPS Koordinatları:36 243485D, 43 65362K)



Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 1 km batısında Evliya Çelebi Mahallesi'nin güneyini sınırlayan fay üzerindeki batıya eğimli oluklar bu fayın sol yönlü doğrultu atım bileşeni olan bir normal fay olarak çalıştığını göstermektedir (Şekil 3.2.a,b). Bu alan, şehir merkezinde eski fay aynasının en iyi gözlemlendiği lokasyondur. Eski fay düzlemi, bölgedeki Pliyosen ve Pliyosen öncesi yaşlı birimler arasındaki sınırı oluşturmaktadır. Düzlemin konumu  $K80^{\circ}B/75^{\circ}KD$ 'dur. Fay aynasının kuzeyinde düşen blok üzerindeki genç sedimanter istifin original yatay konumunu koruyor olması muhtemelen fayın bu kolunun günümüzde aktif olmadığını göstermektedir.

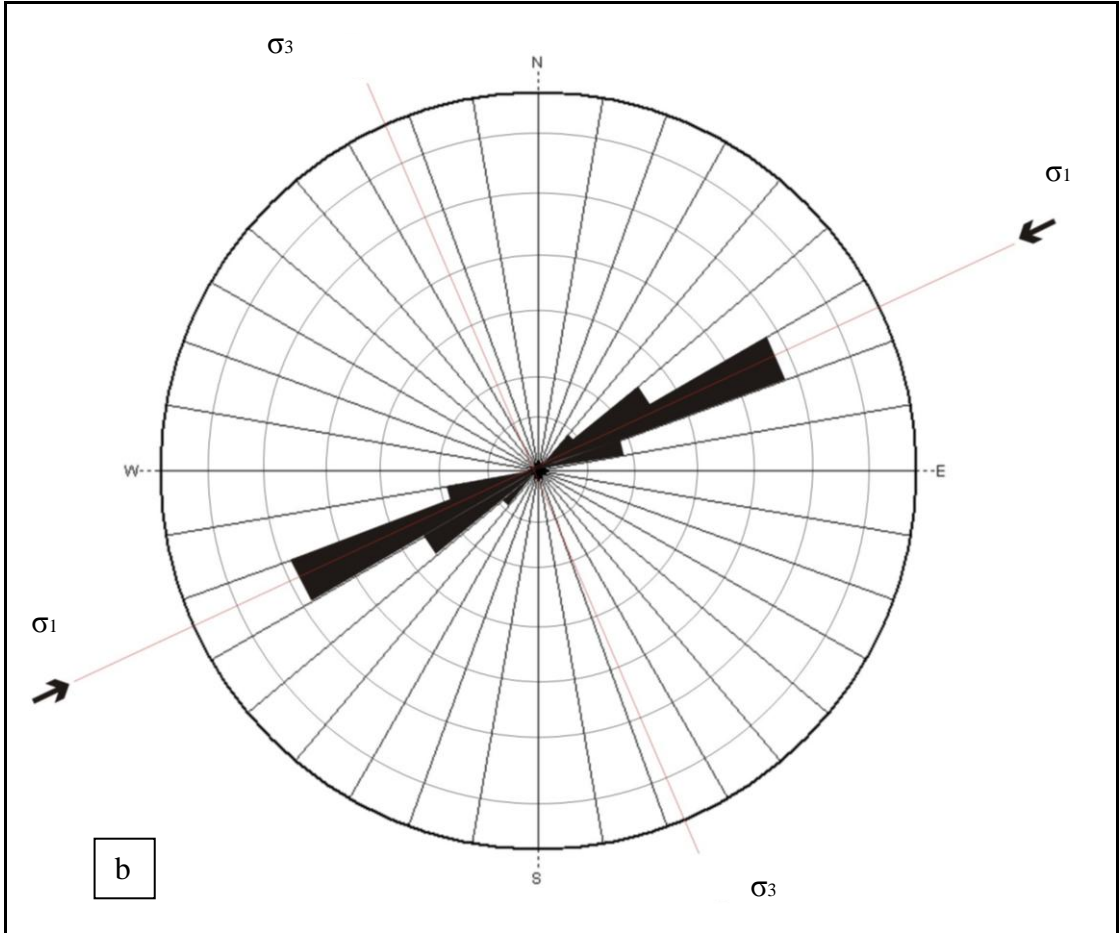


Şekil 3.2.a. Evliya Çelebi Mahallesi'nin güney sınırındaki fay aynasının uzaktan görünümü. Bakış yönü güneye doğrudur. b. Evliya Çelebi Mahallesi'nin güneyini sınırlayan fay aynası. Bakış yönü yaklaşık güneydir ve kırmızı oklar fay aynası üzerindeki çizik ve olukların yönünü göstermektedir. (WGS 84 sisteminde GPS Koordinatları:35 753585D, 43 68484K)

Daha batıda, Ortaca Köyü'nün yaklaşık 250 metre batısında, Kütahya yerleşim yeri içerisinde gözlenen ana fay düzlemi ile uyumlu, tabaka düzlemleri dikkat çekmektedir (Şekil 3.3). Aynı yönde, Karaağaç ile Ortaca yerleşimleri arasında kalan kireçtaşı ocağında gözlenen çatlaklarda (Şekil 3.4.a) yapılan ölçümler gül diyagramına yerleştirildiğinde bu çatlakların sistematik oldukları görülmektedir (Şekil 3.4.b). Hancock (1987)'nin çatlak sınıflandırması göz önüne alındığında, Şekil 3.4' te verilen çatlaklar açılma çatlaklarıdır. Şekil 3.4.b'de görüldüğü gibi, bu tür çatlakların oluşabilmesi için en büyük asal gerilmenin ( $\sigma_1$ ) çatlak doğrultusuna paralel olması gerekir. Kütahya Fay Zonu içerisindeki faylanmanın baskın olarak normal fay türünde olduğu göz önüne alınırsa, çatlakları oluşturan gerilme yönleri ile fayları oluşturan gerilme yönlerinin birbiri ile uyumlu olmadığı görülür. Bu nedenle çatlaklar muhtemelen paleotektonik yapılarıdır.

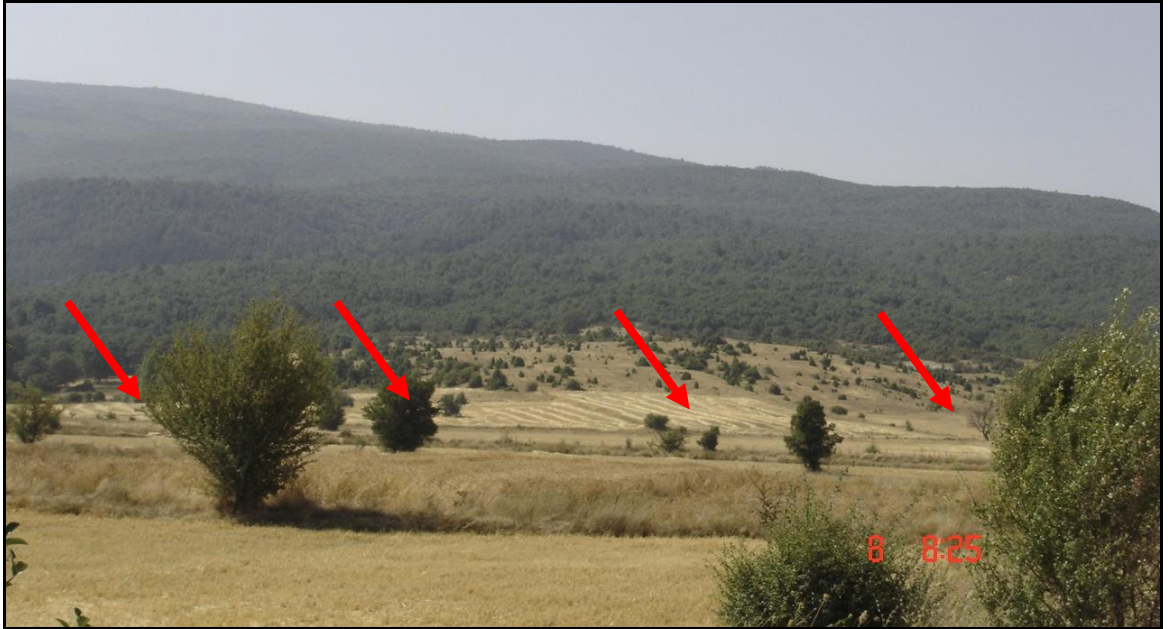


Şekil 3.3. Ortaca Köyü'nün yaklaşık 250 metre batısında, gözlenen ana fay düzlemi ile uyumlu, birbirlerine paralel uzanan tabaka düzlemleri. Kırmızı oklar bu düzlemleri göstermektedir. Bakış yönü doğuya doğrudur. (WGS 84 sisteminde GPS Koordinatları: 0741438D, 4372924K)



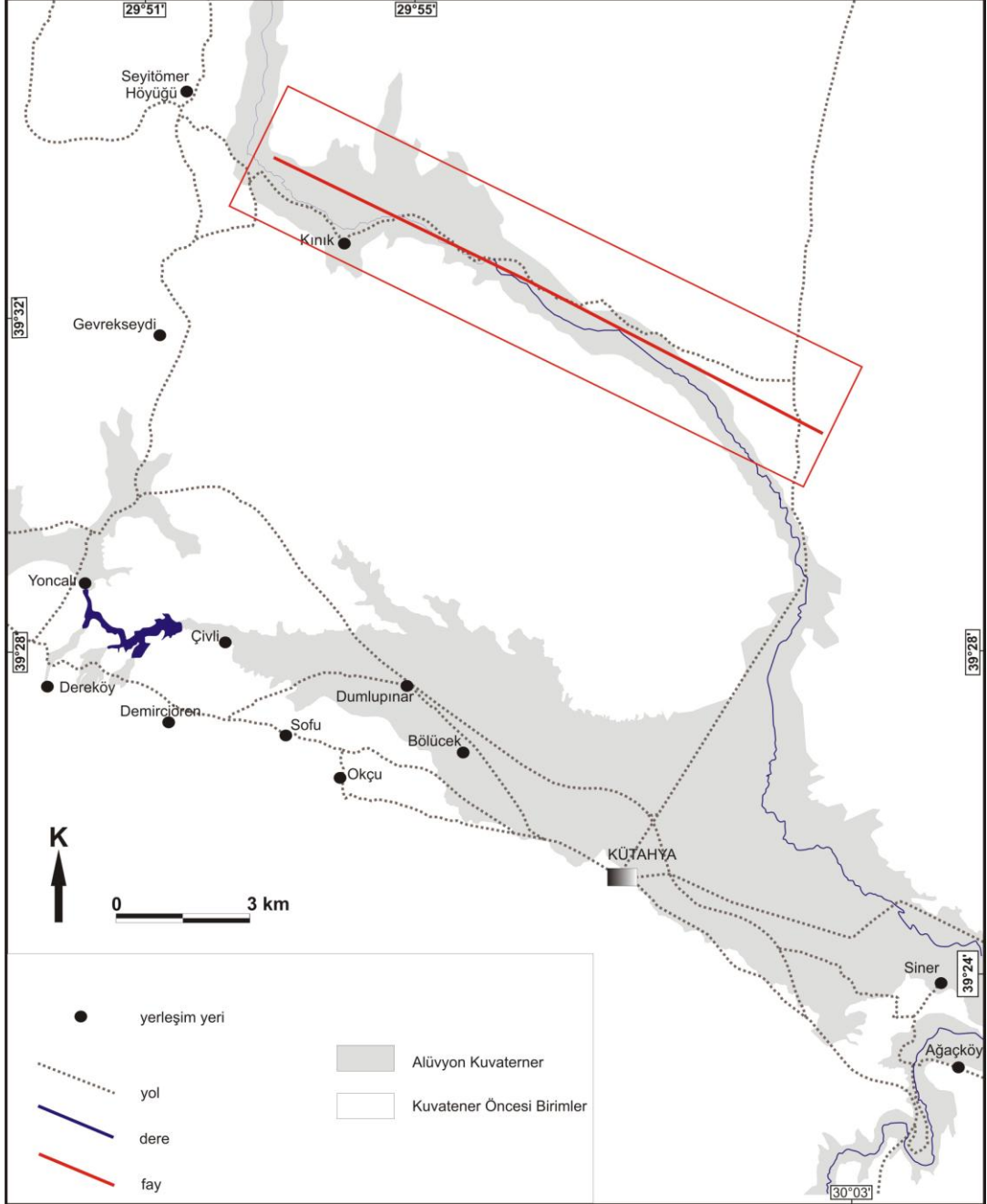
Şekil 3.4. a. Karaağaç ile Ortaca köyleri arasındaki taş ocağında gözlenen sistematik çatlaklar. Bakış yönü doğuya doğrudur. b. Bu çatlaklara ait gül diyagramı,  $\sigma_1$  ve  $\sigma_3$  gerilme yönleri (WGS 84 sisteminde GPS Koordinatları: 0740974D, 4373114K). Diyagram 25 adet çatlak ölçümü ile çizilmiştir.

Pliyosen öncesi faylanmaya ait çizgisellik Karaağaç Köyü'nün yaklaşık 1 km batısında kuzeye bakan yamaçlarda takip edilebilmektedir (Şekil 3.5.). Bu alandan batıya doğru gidildikçe, eski fay düzlemlerince kontrol edilen ve Kütahya Havzası güneyini sınırlayan belirgin morfoloji azalarak sonlanmaktadır.



Şekil 3. 5. Karaağaç Köyü'nün yaklaşık 1 km batısında Pliyosen öncesi faylanmaya ilişkin morfoloji. Kırmızı oklar faya ait morfoloji doğrultusunda sıralanmıştır, bakış yönü güneybatıdır(WGS 84 sisteminde GPS Koordinatları: 0738725D, 4373438K).

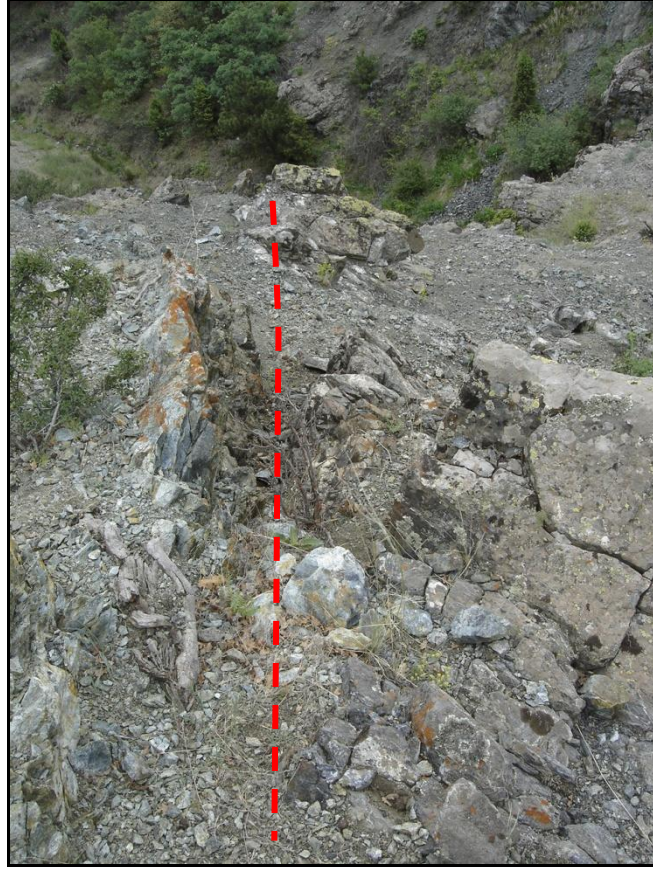
Kütahya Havzasının kuzeyinde, Seyitömer ilçe merkezinden başlayarak GD'ya doğru, Kınık Köyü yakınından geçerek Kütahya-Eskişehir karayoluna kadar uzanan yaklaşık 15 km uzunluğunda bir fay zonu bulunmaktadır (Şekil 3.6). Seyitömer Fayı olarak adlandırılan bu zon KFZ'na paraleldir (Ö. Emre ,2010, sözlü görüşme). Bu alanda Pliyosen öncesi kayalar ile Porsuk nehrinin çökelttiği Kuvaterner yaşlı birimler bulunmaktadır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Seyitömer fayının izlendiği çalışma alanının yer bulduru haritası (Çalışma alanı kırmızı renkli kutu içine alınmıştır.)

Google Earth ve 3 boyutlu Aster GDEM görüntülerinden ve 1/25000 ölçekli haritalardan yararlanılarak mevcut çizgisellikler, varsa ötelenmeler tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda tespit edilen Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 25 km kuzeybatısındaki Seyitömer ilçesi doğusundan başlayarak Kınık köyünü takip eden, KB-GD doğrultusunda uzanan çizgisellik arazide izlenmiştir (Şekil 3.13). Bu uzanım boyunca yapılan detaylı gözlemlerde, bu çizgisellik üzerinde aktif faylanmaya ait veriler (örneğin, genç çökelleri kesme ilişkisi, drenaj sistemi kontrolü vb) gözlemlenememiştir. Arazide gözlenebilen Pliyosen öncesi faylanmaya ilişkin verilerin başlıcaları; yaşlı jeolojik birimlerde maruz kaldıkları bozunma süreçleri sebebiyle yeterince iyi korunamamış fay düzlemleri, bozunma ve kırık zonları şeklinde kendini göstermektedir.

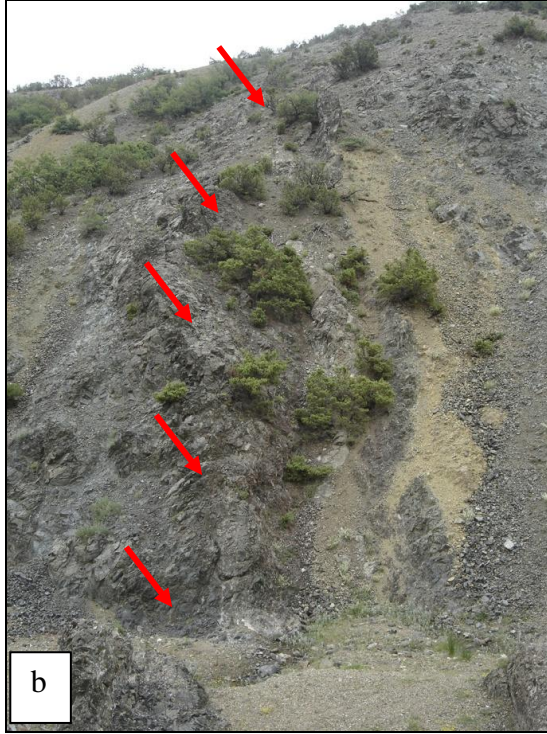
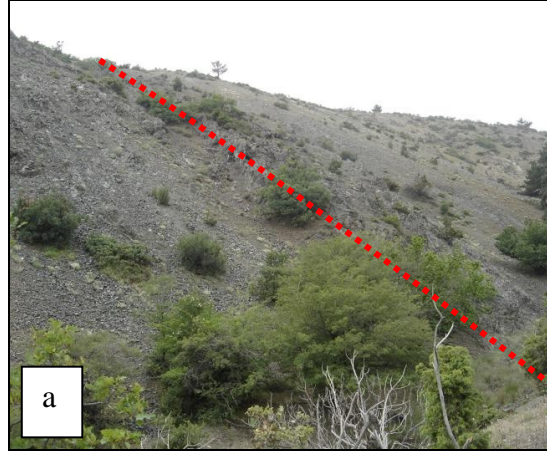
Kınık Köyü'nün yaklaşık 3 km batısında bulunan Koçyiğit ve Bozkurt (1997)'a göre Ovacık Yapısal Karmaşığı'na ait ofiyolitik melanj birimi içerisinde K80°B doğrultusunda uzanmakta olan bir zon gözlenmektedir. Bu zonu içerisinde kalan süreksizliklerin her iki tarafında bulunan ofiyolitik melanj birimleri birbirlerinden metamorfizma dereceleri bakımından farklılık göstermektedirler (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Sütur zonu içerisinde gözlenen süreksizlik kırmızı çizgi ile gösterilmektedir. Bakış yönü doğuya doğrudur (WGS 84 sisteminde GPS Koordinatları: 35 753160 D,43 81306 K).

Kınık Köyü'nün 3 km doğusunda bir başka lokasyonda yine ofiyolitik melanj birimlerinde kırık zonu görülmektedir (Şekil 3.8.a,b). Daha önce yapılan çalışmalarda bölgedeki kayalar Pliyosen öncesi yaşlı birimler olarak yaşlandırılmıştır (MTA 2002). Birim ayrıca muhtemelen yaşı ile doğru orantılı olarak oldukça fazla deformasyon geçirmiştir. Yoğun bir deformasyon geçirmiş bu birimde tespit edilen süreksizlik zonunun üzerinde güncel faylanmaya dair herhangi bir fay izine rastlanmamıştır.

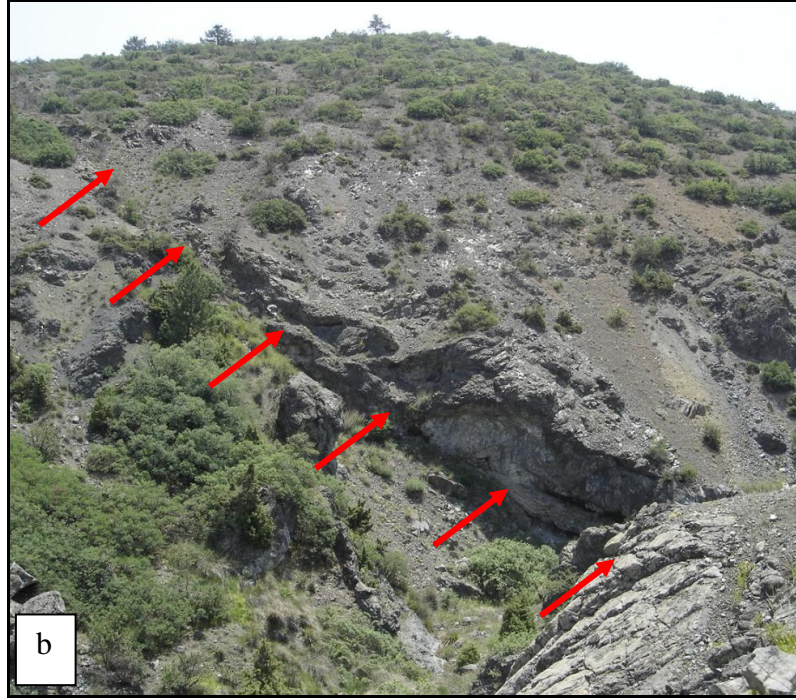
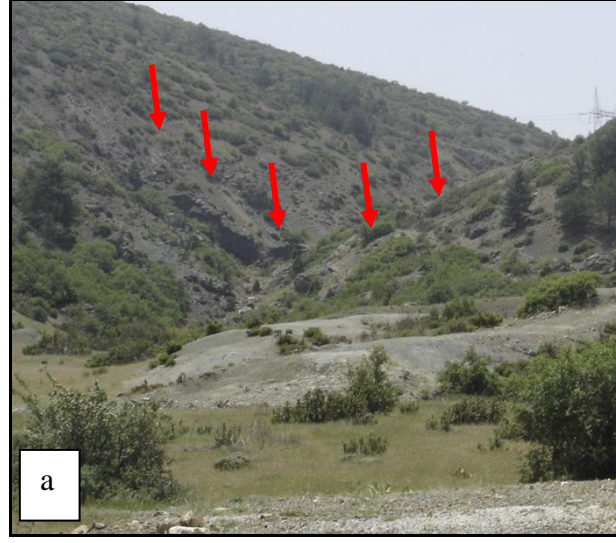




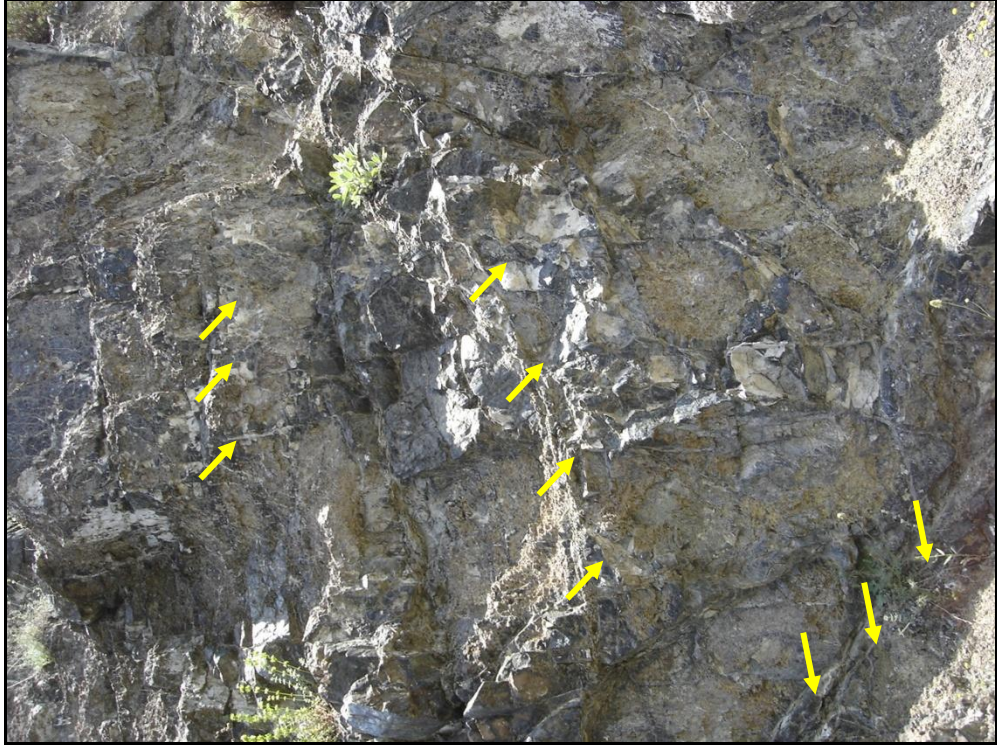
Şekil 3.8.a. Kınık köyü'nün 3 km doğusunda ofiyolitik melanj birimlerde gözlenen kırık zonu. Bakış yönü güneye doğrudur. b. Kırık zonunun doğu ve batısında gözlenen farklı derecelerde metamorfizmaya uğramış birimler. Bakış yönü doğuya doğrudur. Kırmızı çizgi ve oklar süreksizlik zonunu işaret etmektedir. (WGS 84 sisteminde GPS Koordinatları: 35 752982 D, 4381183 K)

Kınık Köyü'nün 5 km kadar güney doğusunda gözlenen derin bir vadi içerisinde bu vadiyi yaklaşık  $K50^{\circ}B$  doğrultusunda dik bir şekilde kesen süreksizlik zonu gözlenmektedir (Şekil 3.9.a,b). Aynı vadi içerisinde yapılan arazi çalışmalarında vadi içerisinde gözlenen kuru dere yatağında güncel faylanmaya dair herhangi bir bulguya (dere ötelenmeleri, eski dere yatakları vs.) rastlanmamıştır.

Kınık Köyü'nün 5 km güney doğusunda zayıf zon içerisindeki kırıkların arasını dolduran beyaz renkte kalsit dolguları gözlenmektedir. Bu kalsit dolguları bir tutarlılık göstermekte olan sistematik kırıklar içerisinde değil, hemen her yönde uzanmaktadırlar (Şekil 3.10).

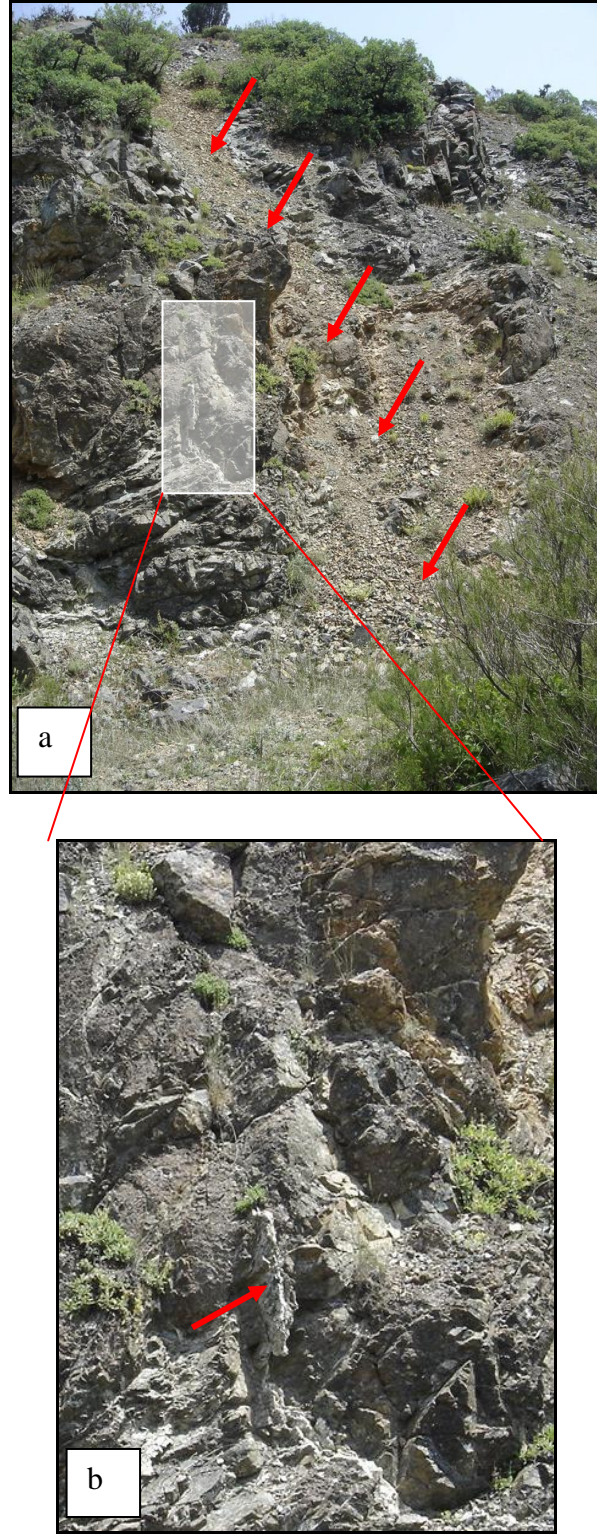


Şekil 3.9.a,b. Kınık Köyü'nün 5 km güney doğusunda Pliyosen yaşlı birimler içerisinde gözlenen süreksizlik zonu kırmızı oklar ile işaretlenmiştir. Her iki şekil içinde bakış yönü güneydoğuya doğrudur (WGS 84 sisteminde GPS Koordinatları : 35 754803 D,4380438 K).



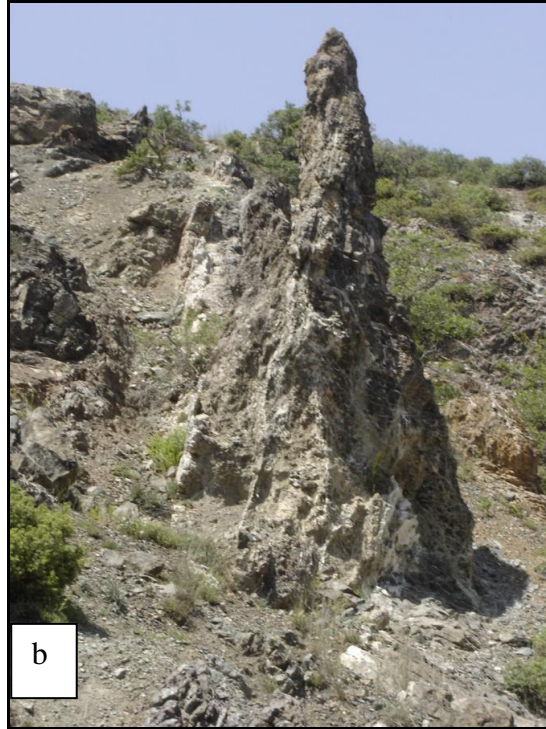
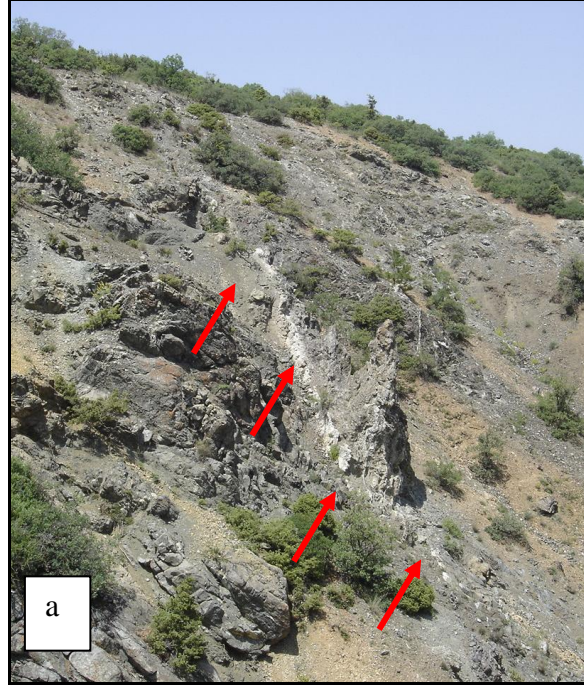
Şekil 3.10 Pliyosen yaşlı kaya birimleri içerisinde düzensiz çatlaklar şeklinde gelişmiş beyaz kalsit dolguları sarı renkli oklar ile gösterilmiştir.( WGS 84 sisteminde GPS Koordinatları: 35 754797 D, 43 80331 K)

Aynı vadi içerisinde güneye doğru ilerledikçe süreksizlik zonunun üzerinde yer yer fay aynaları ve fay düzleminde kalsit dolguları göze çarpmaktadır (Şekil 3.11). Fay aynaları üzerinde mevcut olabilecek kayma çiziklerinin bölgedeki yoğun erozyon koşulları sebebiyle korunamamış olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3.11. Kınık Köyü'nün 5 km güney doğusundaki süreksizlik zonu kırmızı oklar ile gösterilmiştir. b. Şekil 3.11.a'da beyaz kare içine alınan kısmın ayrıntılı görüntüsü. Metamorfik birimler içerisinde gözlenen fay düzlemi ve kalsit dolgusu kırmızı ok ile işaretlenmiştir. Bakış yönü güneydoğuya doğrudur.(WGS 84 sisteminde GPS Koordinatı: 35 754789 D, 43 80271 K)

Kırık hatları boyunca gözlenen kalsit dolgularının en iyi gözleendiği lokasyonlardan biri yine Kınık Köyü'nün yaklaşık 5 km güney doğusunda Pliyosen yaşlı kaya birimleri içerisinde bulunmaktadır. Bu lokasyonda gözlenen fay düzleminin konumu  $K40^{\circ}B/70^{\circ}GB$ 'dir (Şekil 3.12).



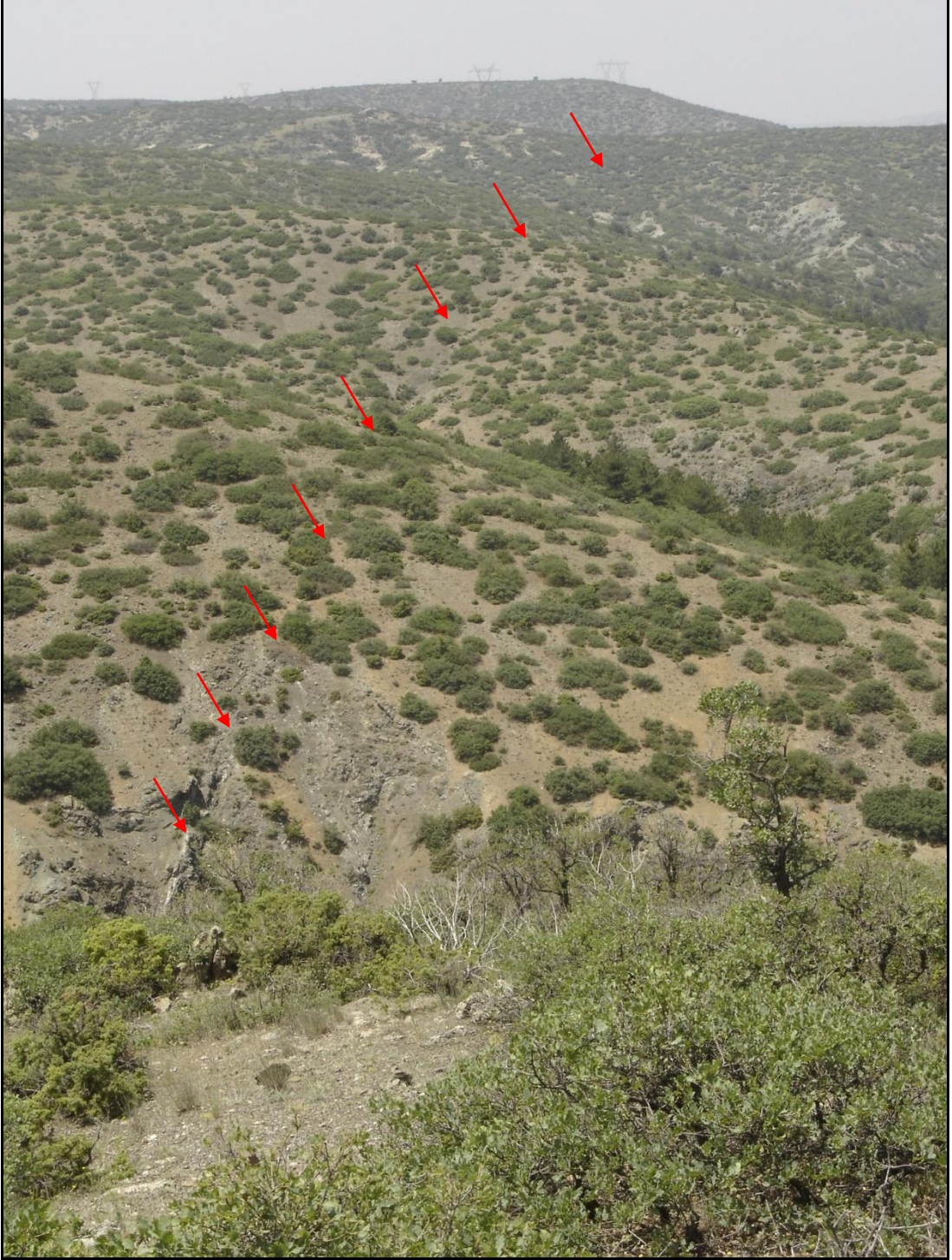
Şekil 3.12.a. Kınık Köyü'nün 5 km güney doğusunda gözlenen kırık zonu ve kırık boyunca uzanan beyaz renkli kalsit dolgu kırmızı oklar ile işaretlenmiştir. Bakış yönü kuzeybatıya doğrudur. b. Şekil 3.12.a.'ya daha yakından bakış. Yaklaşık 1 metre genişliğe sahip olan kırık zonu. Bakış yönü batıya doğrudur. ( WGS 84 sisteminde GPS Koordinatı: 35 754760 D, 43 80209 K)

Arazide kırık zonu'nun en iyi takip edildiği bu lokasyonun yaklaşık 100 metre doğusundaki sırtın üzerine çıkıldığında Google Earth görüntülerinde çok belirgin olarak gözlenebilen (Şekil 3.13) ve yaklaşık Kınık Köyü'nden geçmekte olan çizgisellik arazide de çok belirgin olarak görülebilmektedir (Şekil 3.14). Bu çizgisellik arazide KB-GD doğrultusunda uzanmakta olan birbirine paralel birçok süreksizlik zonundan oluşmaktadır. Bu çizgisellik boyunca güneydoğuya doğru gidildikçe morfolojik sarplık azalmakta, çizgisellik Kuvaterner yaşlı birimlerin içerisine takip edilememektedir. Kuvaterner yaşlı çökellerin içerisinde takip edilemeyen ancak Seyitömer Fayı'na ait olduğu tespit edilen çizgiselliğin güneydoğuya doğru uzantısının Kütahya-Eskişehir karayolu'nu kesmesi beklenir. Bu fikir doğrultusunda Kütahya-Eskişehir karayolu yarmalarında yapılan incelemelerde de yataya yakın konumlu Miyosen yaşlı birimleri kesmekte olan faylar gözlenmiştir. Bu faylar arasında en belirgin olanlarından biri Şekil 3.15'de verilmiştir.



Şekil 3.13. Kınık köyü ve civarında Google Earth görüntüsünden tespit edilen çizgisellik kırmızı noktalı çizgi ile gösterilmiştir. Bu çizginin üzerinde görülen beyaz nokta ise Şekil 3.14'deki lokasyonu göstermektedir.





Şekil 3.14. Şekil 3.13'deki Google Earth uydu görüntüsünde gözlenen çizgiselliğin arazideki görünümü, bakış yönü kuzeybatıya doğrudur.



Şekil 3.15. Kırmızı oklar Kütahya Eskişehir karayolu 65. km yol yarmasında Miyosen yaşlı kaya birimleri içerisinde gelişmiş fayı işaret etmektedir. Bakış yönü doğuya doğrudur. (WGS 84 sisteminde GPS Koordinatları:36 245121 D, 43 75370 K)

### 3.1.2. Pliyosen ve daha genç kaya birimlerinde faylanmaya ilişkin gözlemler

Çalışma alanında, belirgin fay düzlemlerinin gözlemlendiği ve keskin morfolojiyi oluşturan çizgisellik daha önceki çalışmalarda neotektonik yapı olarak haritalanmıştır (Koçyiğit ve diğ. 1997). Fakat, bu çizgiselliğin aktivitesine ilişkin yeterli arazi verileri sunulamamıştır. Bununla birlikte, bu keskin çizgiselliğin kuzeyinde düşen blok üzerinde bulunan daha genç dönemlere ait çökeller (Üst Pliyosen ve Kuvaterner çökelleri) dikkatli şekilde incelendiğinde, Kuvaterner öncesi faylanmaya az çok uyumlu bir doğrultuda uzanan ve belli belirsiz bir sarplıkla arazide takip edilebilen bir çizgisellik dikkati çekmektedir.

Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 4 km doğusundaki Kent Ormanı girişinin hemen kuzey kısmında takip edilmeye başlanan çizgisellik Miyosen yaşlı Gölsel kireçtaşları ile Kuvaterner alüvyonların sınırını oluşturmaktadır. Bu iki birimin dokanağında yaklaşık 3 metrelik ani kot farkı (Şekil 3.16.), K55°B uzanımı boyunca batı yönünde devam edildiğinde, şehir merkezindeki ara sokaklarda düşey yönde 1 metreye ulaşan ani eğim kırıklıkları şeklinde takip edilmektedir (Şekil 3.17 ve 3.18).



Şekil 3.16. Şehir merkezinin yaklaşık 4 km doğusunda fay morfolojisine ait sarplık. Kırmızı oklar bir doğrultu boyunca uzanan aktif faya ait morfolojiyi göstermektedir. Bakış yönü güneye doğrudur. (WGS 84 sisteminde GPS Koordinatları: 36243974D, 4365182K)

Şehir merkezinde, fay uzanımı doğrultusunda bir sıçrama ve/veya değişiklik meydana gelmekte ve fay batı yönünde  $K65^{\circ}B$  doğrultusunda uzanmaktadır (Şekil 2.4). Bu alanda yoğun yapılaşmadan dolayı faylanmaya ait doğrudan gözlemler yapılamasa da, birbirine paralel uzanan sokaklarda gözlenen ani kot değişimi aynı doğrultu boyunca uzanmaktadır. Belirgin şekilde izlenebilen bu kot değişimleri şehir merkezinin üzerinde yerleştiği Kuvaterner çökellerde, insan müdahalesine rağmen, yaklaşık 1 ile 3 metre arasında değişen düşey yerdeğiştirmenin varlığına işaret etmektedir (Şekil 3.19.a,b , 3.20.).



Şekil 3.17. Kütahya şehir merkezinin 1,5 km kadar doğusunda kırmızı oklar morfolojik sarplığı göstermektedir. Bakış yönü kuzeydoğudur. (WGS 84 sisteminde GPS Koordinatları:36758271D, 4367041K)



Şekil 3.18. Şehir merkezinin yaklaşık 2 km batısında gözlenen aktif fay morfolojisine ait sarplık. Bakış yönü güneye doğrudur. (WGS 84 sisteminde GPS Koordinatları: 0754125D,4369000K)

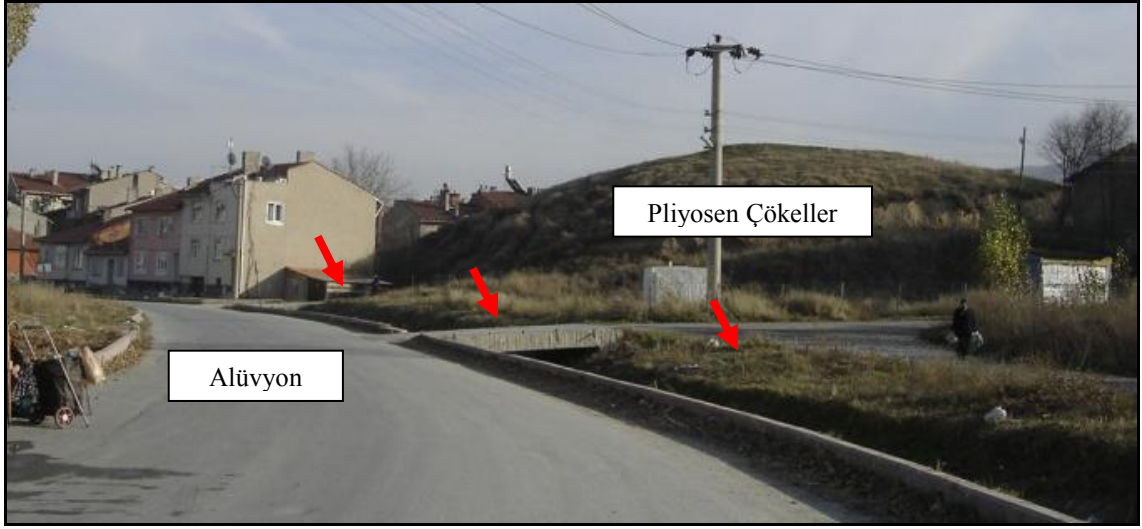


Şekil 3.19. Aktif faylanmanın izleri şehir merkezinin yaklaşık 2 km batısındaki sokaklarda da gözlenebilmektedir. Kırmızı oklar bu alanlarda belli bir doğrultuda uzanmakta olan fay sarplıklarının göstermektedir. Bakış yönü güneye doğrudur. ( WGS 84 sisteminde GPS Koordinatları: 0754962D,4368642K)



Şekil 3.20. Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 4 km batısında gözlenen morfolojik sarplığı kesen su kanalının 2 duvarı arasındaki yükseklik farkı ve hemen yanındaki kanalın üzerinden geçen yol da değişen eğim göze çarpmaktadır. Kırmızı oklar aktif fayın oluşturduğu morfolojinin doğrultusunu göstermektedir. Bakış yönü güneydoğuya doğrudur. (WGS 84 sisteminde GPS Koordinatları: 0754152D,4369042K)

Kütahya'nın yaklaşık 4 km batısında fay uzanımı Üst Pliyosen çökelleri ile Kuvaterner alüvyonların dokanağını oluşturmaktadır (Şekil 3.21). Batı yönünde güncel faylanmaya ait morfoloji, oluşturduğu topoğrafik sarplık ile belirgin olmaktadır (Şekil 3.22 ve 3.23). Bu dokanak boyunca uzanan fay Bölücek Köyü güneyinde tamamen üst Pliyosen çökelleri içerisine girmekte ve Okçu Köyü yakınlarında güneye sıçramaktadır (Bkz. Şekil 2.1)



Şekil 3.21. Kütahya'nın yaklaşık 4 km batısında fay uzanımı üst Pliyosen çökelleri ile Kuvaterner alüvyonların dokanağını oluşturmaktadır. Kırmızı oklar bu iki birim arasında dokanağı oluşturan fayın doğrultusunu işaret etmektedir. Bakış yönü güneydoğudur. (WGS 84 sisteminde GPS Koordinatları: 0753538D, 4369002K)



Şekil 3.22. Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 3 km batısında gözlenen, aktif faya ait olduğu düşünülen morfolojik sarplık. Kırmızı oklar bu sarplığın uzanımını işaret etmektedir. Bakış yönü güneydoğudur. (WGS 84 sisteminde GPS Koordinatları: 0752966D, 4369673K)





Şekil 3.23. Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 3 km batısında aktif ve aktif olmayan faya ait morfoloji. (yeşil oklar Pliyosen öncesi-üst Pliyosen yaşlı kaya birimlerinin sınırını oluşturan eski fay sarplığını, kırmızı oklar üst Pliyosen-Kuvaterner sınırını oluşturan aktif fay morfolojisini göstermektedir). Bakış yönü güneye doğrudur (WGS 84 sisteminde GPS Koordinatları: 0752958D, 4369720K).

Fay uzanımı Sofu Köyü'nün yaklaşık 1 km batısında sola sığrayarak Demirciören Köyü yakınlarında  $K65^{\circ}B$  doğrultusu boyunca yaklaşık 6 km izlenebilmektedir (Bkz. Şekil 2.1). Demirciören tren istasyonunun güneyinde Pliyosen öncesi faylanmaya uyumlu şekilde  $K70^{\circ}B$  doğrultusunda uzanan sarp dikliği çekmektedir. Bu alandaki düşey yerdeğiştirme 1 metre civarındadır (Şekil 3.24).

Dereköy kuzeyinde fayın uzanımı, yoğun bitki örtüsü ve üst Pliyosen morfolojisindeki engebeler nedeniyle net olarak takip edilememektedir. Bu alanda yaklaşık KKD uzanlı Karabacak sırtının üzerinde topoğrafik eğim değişiminde gözlenen düşey kot farkı yaklaşık 50 cm civarındadır (Şekil 3.25). Sırtın hemen batısındaki Erikboğaz Deresinin bir kolu bu uzanım boyunca sola ani bir dönüş yapmakta ve fay uzanımını takip etmektedir (Şekil 3.26).

Aktif fay morfolojisi, çalışma alanının en batısında Karaağaç Köyü kuzeyinde gelişmiş alüvyal yelpaze çökelleri içerisinde kaybolmakta ve daha batıda takip edilememektedir.



Şekil 3.24. Kütahya'nın yaklaşık 10 km kuzeybatısındaki Demirciören tren istasyonundan güneye doğru bakıldığında gözlenen morfolojik sarplık kırmızı oklar ile gösterilmiştir. (WGS 84 sisteminde GPS Koordinatları: 35746232D, 4371820K)



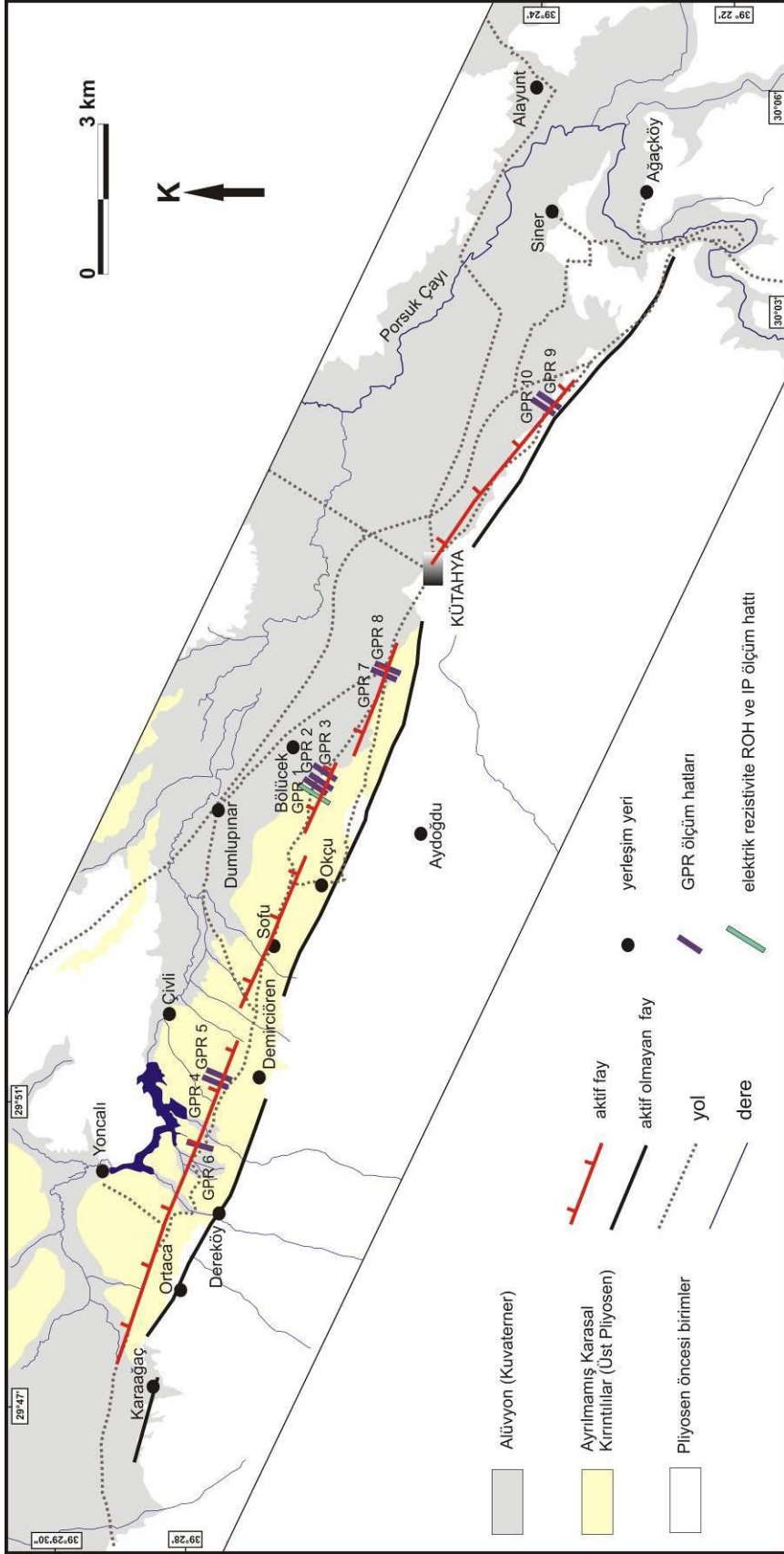
Şekil 3.25. Kütahya'nın yaklaşık 15 km kuzeybatısında yer alan Karabacak sırtının üzerindeki morfolojik sarplık kırmızı oklar ile işaretlenmiştir. Bakış yönü güneye doğrudur. (WGS 84 sisteminde GPS Koordinatları: 0744900D, 4372168K)



Şekil 3.26. Kütahya'nın yaklaşık 15 km kuzeybatısında yer alan Karabacak sırtının hemen batısındaki Erikboğaz deresinin zayıf zonu kullanması sonucu sola doğru anidönüşü (Görüntü Google Earth'den alınmıştır) (Mavi çizgiler Erikboğaz deresini, kırmızı kesikli çizgi derenin dönüşüne sebep olan zayıf zonu, beyaz nokta ise şekil 3.36'da gösterilmiş olan alanı işaret etmektedir).

### 3.2. Sığ Jeofizik Çalışmalar

Çalışma alanında yapılan jeolojik ve jeomorfolojik gözlem lokasyonları harita üzerine işaretlendiği zaman, gözlemlerin yapıldığı noktaların belirli bir doğrultu üzerinde dizildiği görülmektedir (Şekil 3.27). Özellikle morfolojide görülen ani değişimlerin yüzeysel mi yoksa derine doğru uzanan bir yapı mı olduğunu belirlemek amacıyla sığ jeofizik çalışmalar yapılmıştır. Bu amaçla belirlenen lokasyonlarda GPR (Ground Penetrating Radar), elektrik özdirenç (rezistivite) (RHO) ve yapay polarizasyon (uçlaşma) (IP) çalışmaları yapılmıştır (Şekil 3.27).



Şekil 3.27. GPR ve Elektrik Rezistivite çalışmalarının yerlerini gösteren harita.

### 3.2.1. Yeraltı Radarı (GPR) Ölçümleri

Çalışma alanında 5 ayrı lokasyonda GPR yöntemi ile sığ jeofizik çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.27). Her bir lokasyonda morfolojide görülen yapıyı dik şekilde kesen profil bilgileri toplanmış, detay taramaları gerçekleştirilmiştir. Elde edilen ham veriler çeşitli filitreler kullanılarak işlenmiş ve profiller yorumlanmıştır. GPR yapılan lokasyonlarda profillerin konum ve teknik özellikleri Çizelge 4’te verilmiştir.

Çizelge 4. Çalışma alanında yapılan GPR ölçüm profillerine ait konum ve teknik özellikler.

<b>Profil Adı</b>	<b>Başlangıç Koordinatı (WGS 84)</b>	<b>Bitiş Koordinatı (WGS 84)</b>	<b>Anten (MHz)</b>	<b>Doğrultu</b>	<b>Derinlik (m)</b>
GPR 1	0752489 D 4369952 K	0752554 D 4370091 K	250	KKD-GGB	9
GPR 2	0752558 D 4370092 K	0752499 D 4369949 K	250	KKD-GGB	9
GPR 3	0752594 D 4369939 K	0758668 D 4370017 K	250	KKD-GGB	9
GPR 4	0746239 D 4371765 K	0746219 D 4371860 K	250	KKD-GGB	8
GPR 5	0746208 D 4371877 K	0746213 D 4371885 K	250	KKD-GGB	8
GPR 6	0744540 D 4371877 K	0744969 D 4372197 K	250	KKD-GGB	9
GPR 7	0752682 D 4370005 K	0754880 D 4368665 K	250	KKD-GGB	9
GPR 8	0754919 D 4368653 K	0754910 D 4368617 K	250	KKD-GGB	9
GPR 9	0244139D 4365171 K	0244150 D 4365221 K	250	KKD-GGB	8
GPR 10	0244153 D 4365298 K	0244132 D 4365221 K	250	KKD-GGB	8

Arazi gözlemleri dikkate alınarak fayın genel uzanımı üzerinde 5 ayrı lokasyonda 10 ayrı GPR profili uygulanmıştır (Çizelge 2). Bu ölçümlerde 250 MHz'lik anten kullanılmış ve yüzeyden maksimum 9 m derinliğe kadar inilmiştir. 250 MHz antenin hata payı yatayda  $\pm 10$  cm dir.

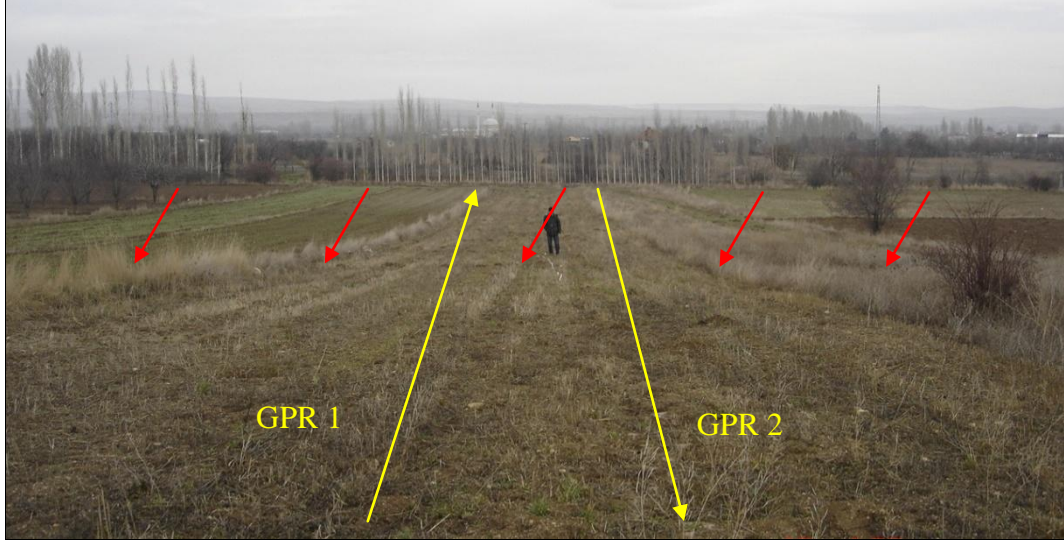
GPR profillerinde birimlerin litolojik özelliklerine bağlı olarak elde edilen kontrastlarından yararlanılarak yatay reflektörler belirlenmiştir. Yorumlanmış profillerde gözlenen yatay reflektörler, farklı stratigrafik seviyelerin alt sınırlarını oluşturmaktadır ve bu seviyeler şekillerin üzerinde kesikli çizgilerle koyu mavi, yeşil, turuncu ve sarı renklerde gösterilmiştir. Bu profillerde gözlenen kırmızı renkteki çizgiler ise olası süreksizlik zonları olarak yorumlanmıştır.

GPR 1, GPR 2 ve GPR 3 profilleri Kütahya'nın yaklaşık 5 km kuzeybatısında gözlenen morfolojik sarplığı dik kesecek şekilde ölçülmüştür (Şekil 3.28). GPR 1 ve GPR 3 profilleri güneyden kuzeye doğru, GPR 2 profili ise kuzeyden güneye doğru uygulanmıştır. Bu profillerden GPR 1 ve GPR 2 profilleri 140'ar metrelik bir hat boyunca, GPR 3 profili ise 110 metre boyunca yaklaşık K-G doğrultusunda uzanmaktadır. Her 3 profil de Porsuk Çayı'nın biriktirmiş olduğu Kuvaterner yaşlı alüvyal dolgu çökelleri ile Üst Pliyosen yaşlı karasal kırıntılı çökeller arasındaki dokanağı kesecek şekilde alınmıştır. Profillerde en çok 9 metre derinliğe kadar inilmiştir (Şekil 3.29, 3.30, 3.32).

GPR 1 profilinde mavi, yeşil, sarı ve turuncu renkler ile yataya yakın olarak bulunan birimlerin alt sınırları belirtilmiştir. Profilin 60. metresinde gözlemlenen olası süreksizlik zonu kırmızı çizgi ile işaretlenmiştir. Süreksizlik zonunun olduğu kısımda alt sınırları mavi ve yeşil renklerle belirlenen birimlerde yaklaşık 1'er metrelik yer değiştirmeler gözlenmektedir. Bu yer değiştirmeler stratigrafik sınırları temsil eden reflektörlerin sürekliliğini kesintiye uğratan anomaliler baz alınarak yorumlanmıştır.

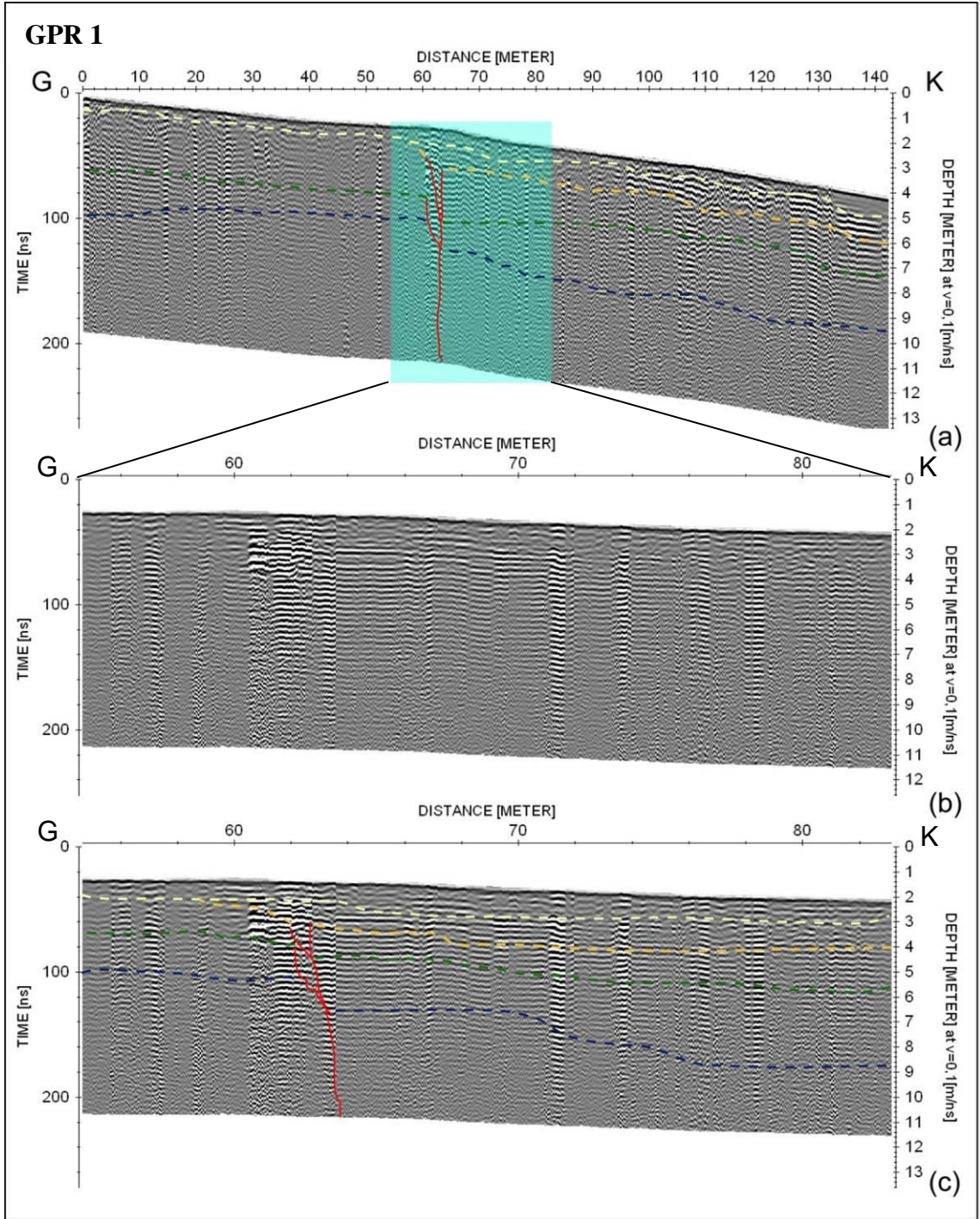
GPR 2 profilinde gözlenen 60-70. metreler arasında yatay reflektörlerin sürekliliğini kesintiye uğratan anomaliler, GPR 1 profilinde gözlenen anomaliler ile aynı metrelere karşılık gelmektedir. Bu profilde de yatay uzanan birimler, süreksizlik

zonu ve süreksizlik zonu ile karşılaştığında kesintiye uğrayan birimler göze çarpmaktadır.

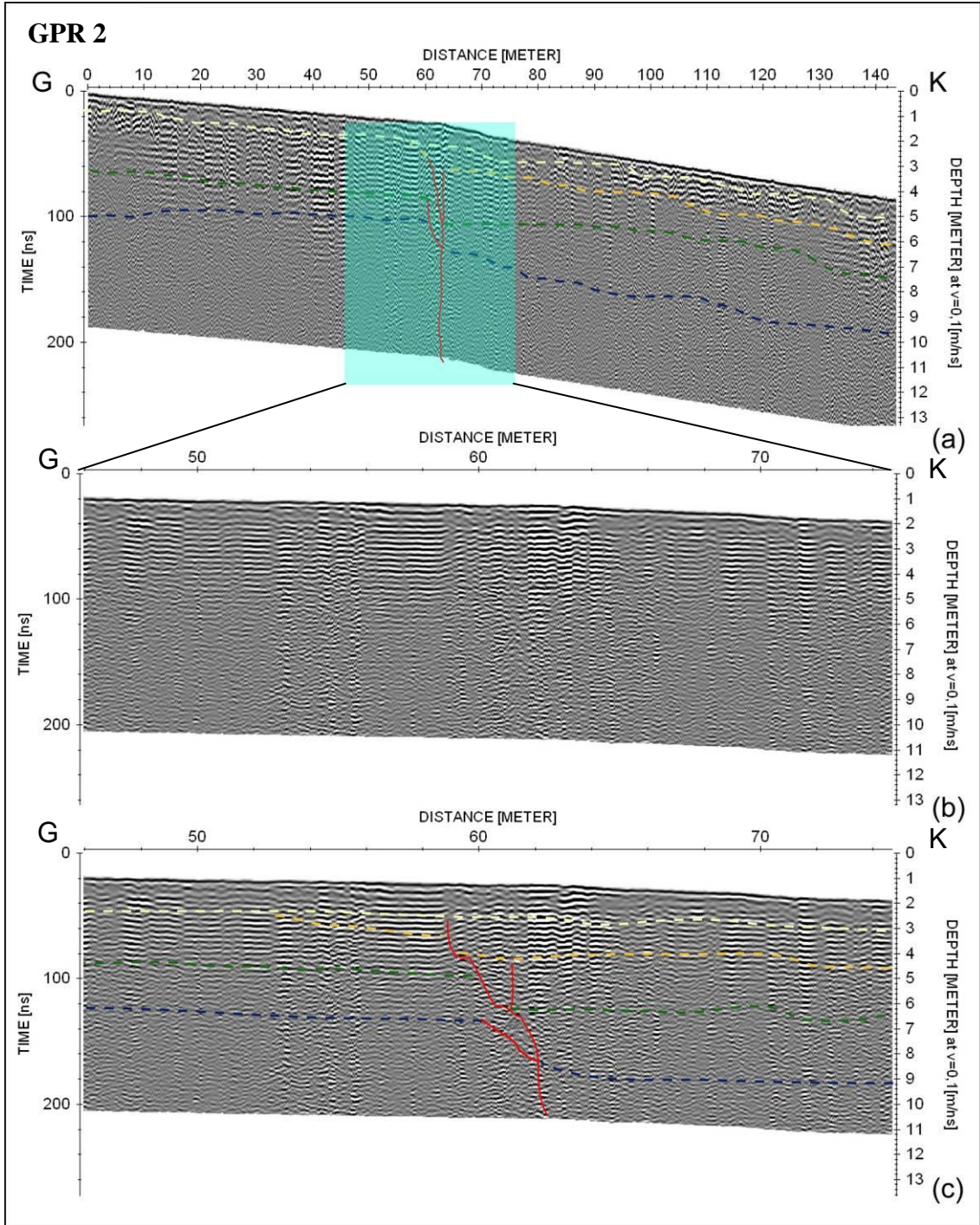


Şekil 3.28. Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 5 km kuzeybatısında GPR1 ve GPR 2 profillerin alındığı lokasyon. Bakış yönü kuzeye doğrudur. Kırmızı oklar fayın muhtemel yerini ve morfolojik sarplığı, sarı çizgiler ve oklar GPR profillerinin alındığı yerleri ve gidiş yönünü göstermektedir.



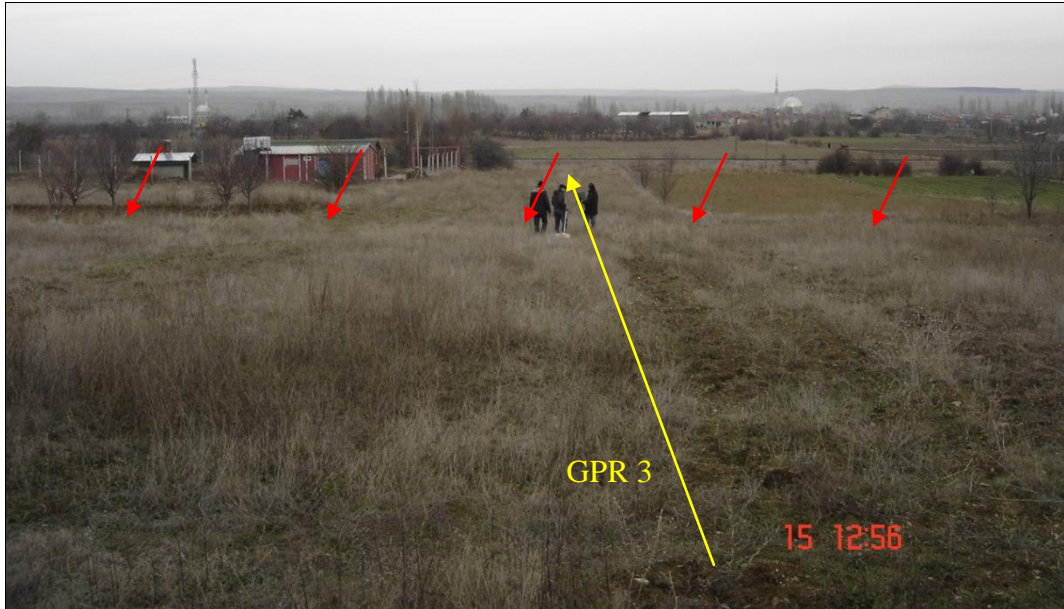


Şekil 3. 29. Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 5 km kuzeybatısından alınan GPR 1 profili a) İşlenmiş ve yorumlanmış GPR profili, b) İşlenmiş ve ayrıntı görüntü (Şekil 3.29a'da mavi ile belirtilmiş alan), c) Ayrıntı görüntünün yorumlanmış şekli (kesikli çizgiler olası tabaka alt sınırını, kırmızı çizgiler süreksizlik zonlarını göstermektedir).

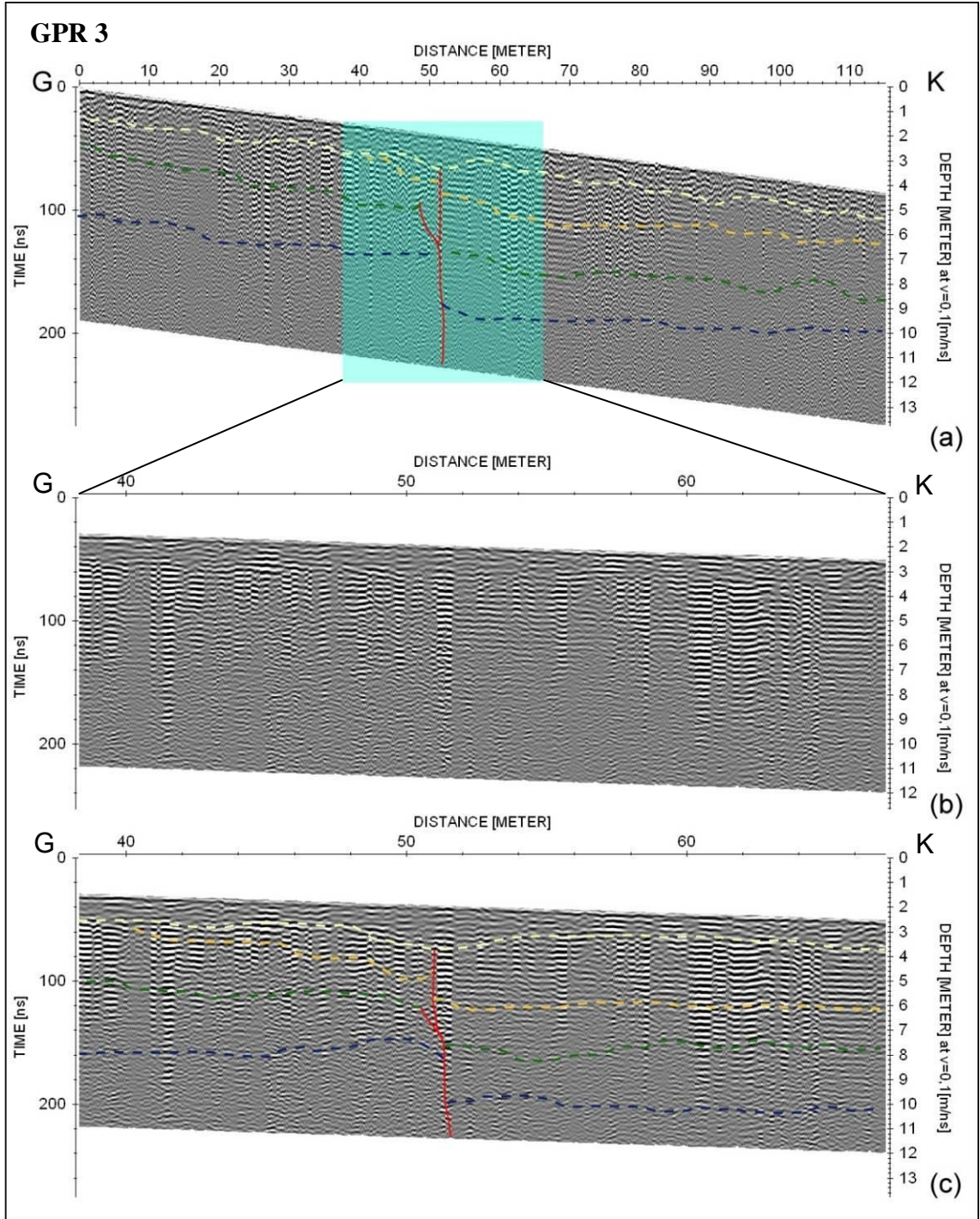


Şekil 3.30. Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 5 km kuzeybatısında GPR 2 profilinin alındığı lokasyon. a) İşlenmiş ve yorumlanmış GPR profili, b) İşlenmiş ve ayrıştırılmış görüntü (Şekil 3.30a'da mavi ile belirtilmiş alan), c) Ayrıştırılmış görüntünün yorumlanmış şekli (kesikli çizgiler olası tabaka alt sınırını, kırmızı çizgiler süreksizlik zonlarını göstermektedir). GPR 1 ile GPR 2 profillerini sağlıklı karşılaştırmak amacıyla GPR 2 profilinin ayna görüntüsü kullanılmıştır.

GPR 3 profilinin 50. metresinde kırmızı çizgiler ile gösterilen dike yakın bir eğime sahip süreksizlik zonu ile alt sınırları işaretlenmiş yatay birimler tespit edilebilmiştir. Bu birimlerden alt sınırları mavi ve yeşil renk ile gösterilen birimlerin turuncu birime oranla daha fazla yer değiştirmiş olduğu görülmektedir (Şekil 3.32).

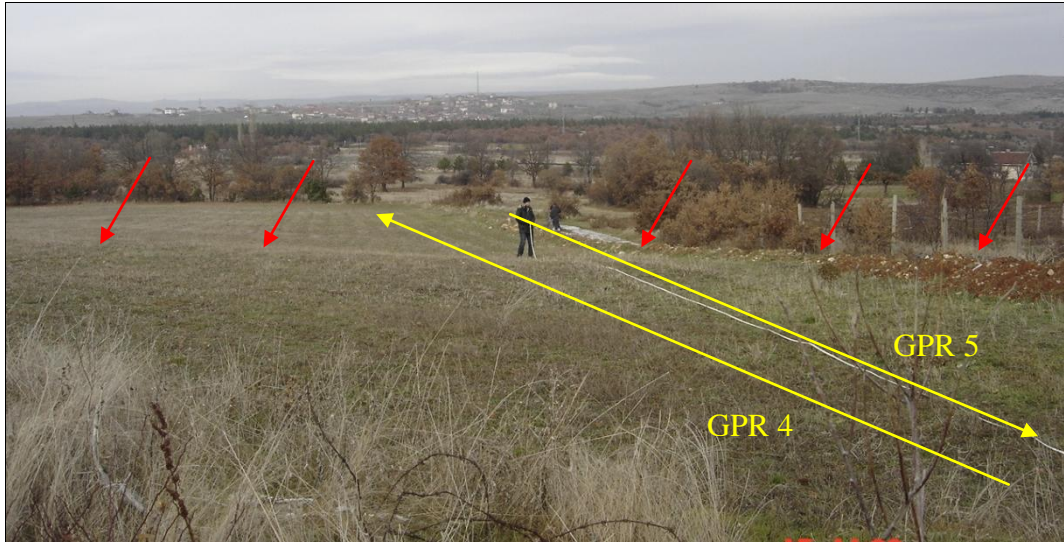


Şekil 3.31. Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 5 km kuzeybatısında alınan GPR 3 profili. Bakış yönü yaklaşık kuzeye doğrudur. Kırmızı oklar fayın muhtemel yerini ve morfolojik sarplığı, sarı çizgiler ve oklar GPR profillerinin alındığı yerleri ve oklar gidiş yönünü göstermektedir.

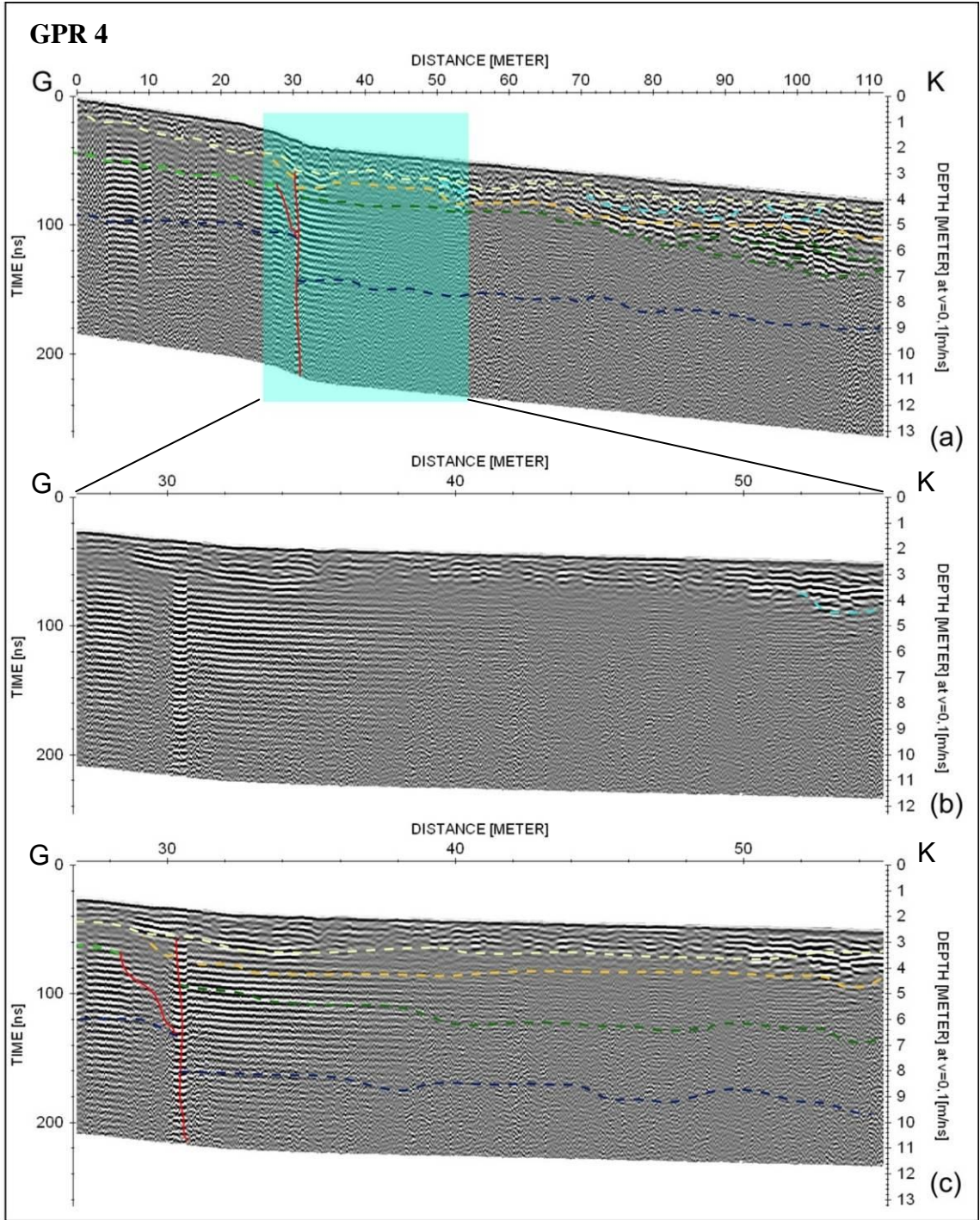


Şekil 3.32. Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 5 km kuzeybatısında 3. GPR profilinin alındığı lokasyon. a) İşlenmiş ve yorumlanmış GPR profili, b) İşlenmiş ve ayrıntı görüntü (Şekil 3.32a'da mavi ile belirtilmiş alan), c) Ayrıntı görüntünün yorumlanmış şekli (kesikli çizgiler olası tabaka alt sınırını, kırmızı çizgiler süreksizlik zonlarını göstermektedir).

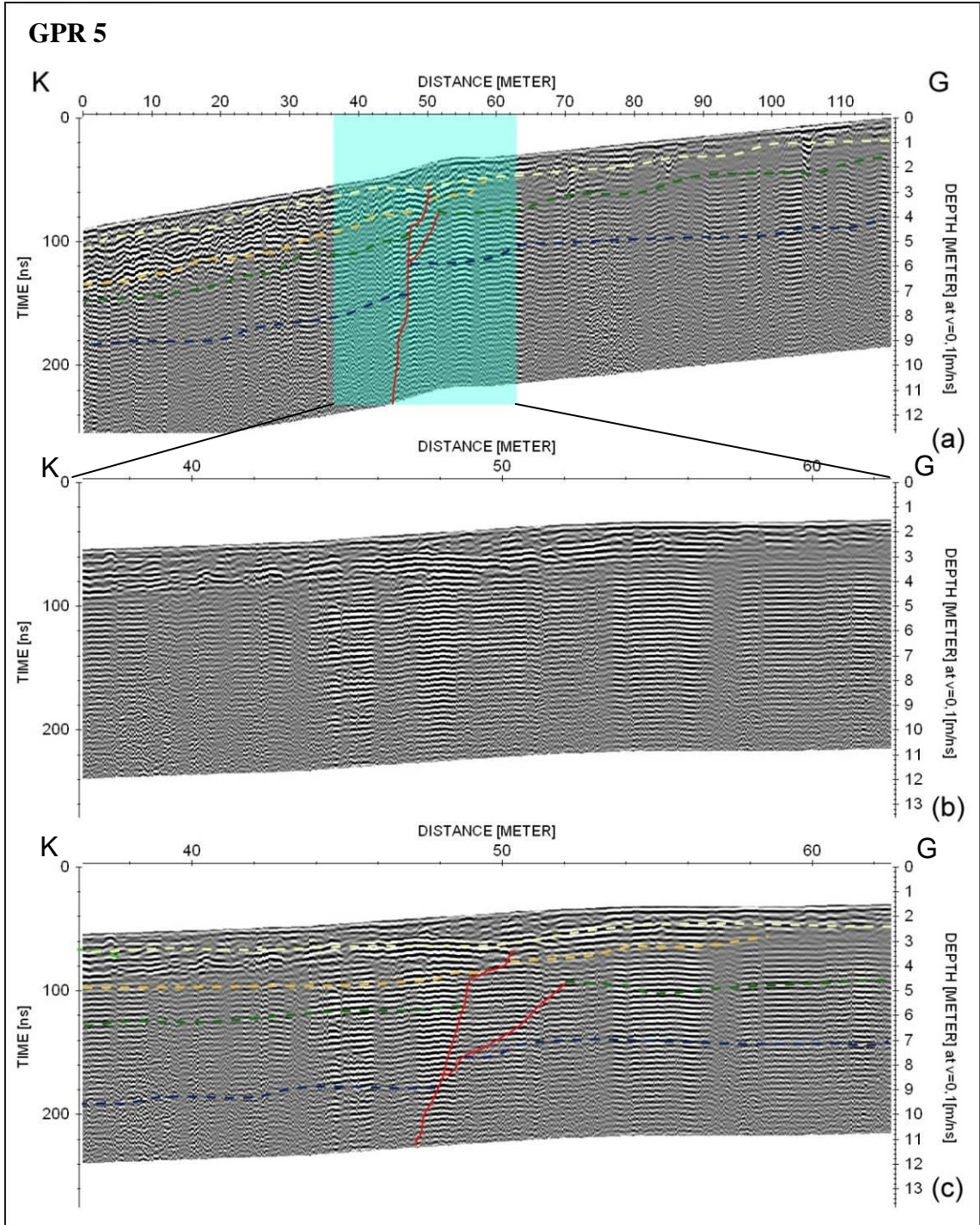
GPR 4 ve GPR 5 profilleri, Üst Pliyosen yaşlı birim içerisinde gözlenen ve bir doğrultu boyunca uzanan morfolojik sarplığı dik kesecek şekilde alınmıştır. Her bir profil 110'ar metre uzunluğundadır ve her iki profile de derinlik yaklaşık 8m'dir. GPR 4 profilinin 30. metresinde yatay birimlerde 1.5 metre ile 0.5 metre arasında değişkenlik gösteren dike yakın bir yer değiştirme/süreksizlik zonu görülmektedir (Şekil 3.33 ve 3.34). GPR 5 profilinde de morfoloji ile uyumlu olarak yer değiştiren yatay birimler ve dike yakın bir süreksizlik zonu göze çarpmaktadır (Şekil 3.34 ve 3.35).



Şekil 3.33. Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 10 km kuzeybatısında bulunan Demirciören tren istasyonunun hemen güneyinden alınan GPR 4 ve GPR 5 profilleri. Bakış yönü kuzeybatıdır. Kırmızı oklar fayın muhtemel yerini ve morfolojik sarplığı, sarı çizgiler ve oklar GPR profillerinin alındığı yerleri ve gidiş yönünü göstermektedir.

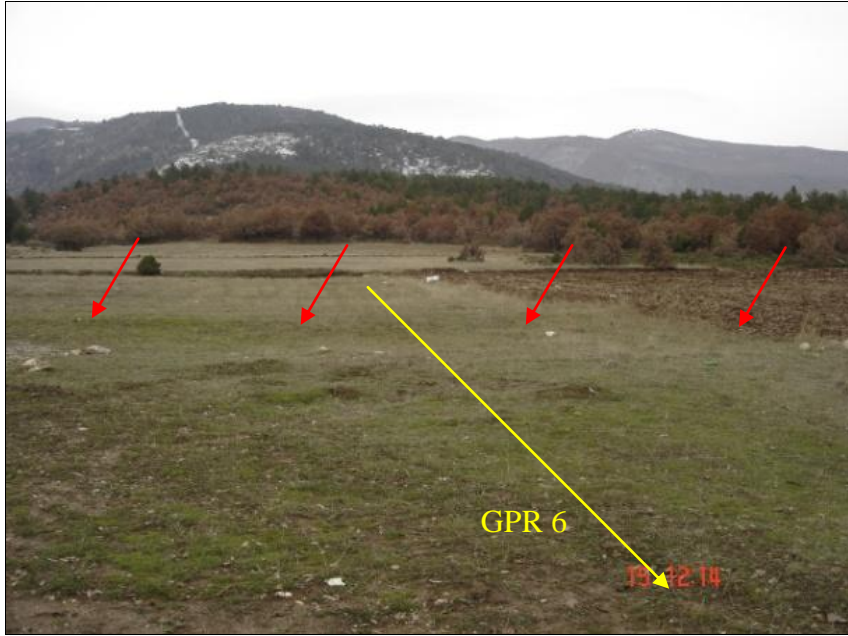


Şekil 3.34. Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 10 km kuzeybatısında bulunan Demirciören tren istasyonunun hemen güneyinden alınan GPR 4 profili. a) İşlenmiş ve yorumlanmış GPR profili, b) İşlenmiş ve ayrıtı görüntü (Şekil 3.34a’da mavi ile belirtilmiş alan), c) Ayrıtı görüntünün yorumlanmış şekli (kesikli çizgiler olası tabaka alt sınırını, kırmızı çizgiler süreksizlik zonlarını, açık mavi renkli kesikli çizgi ise eski kanal çökellerini göstermektedir).



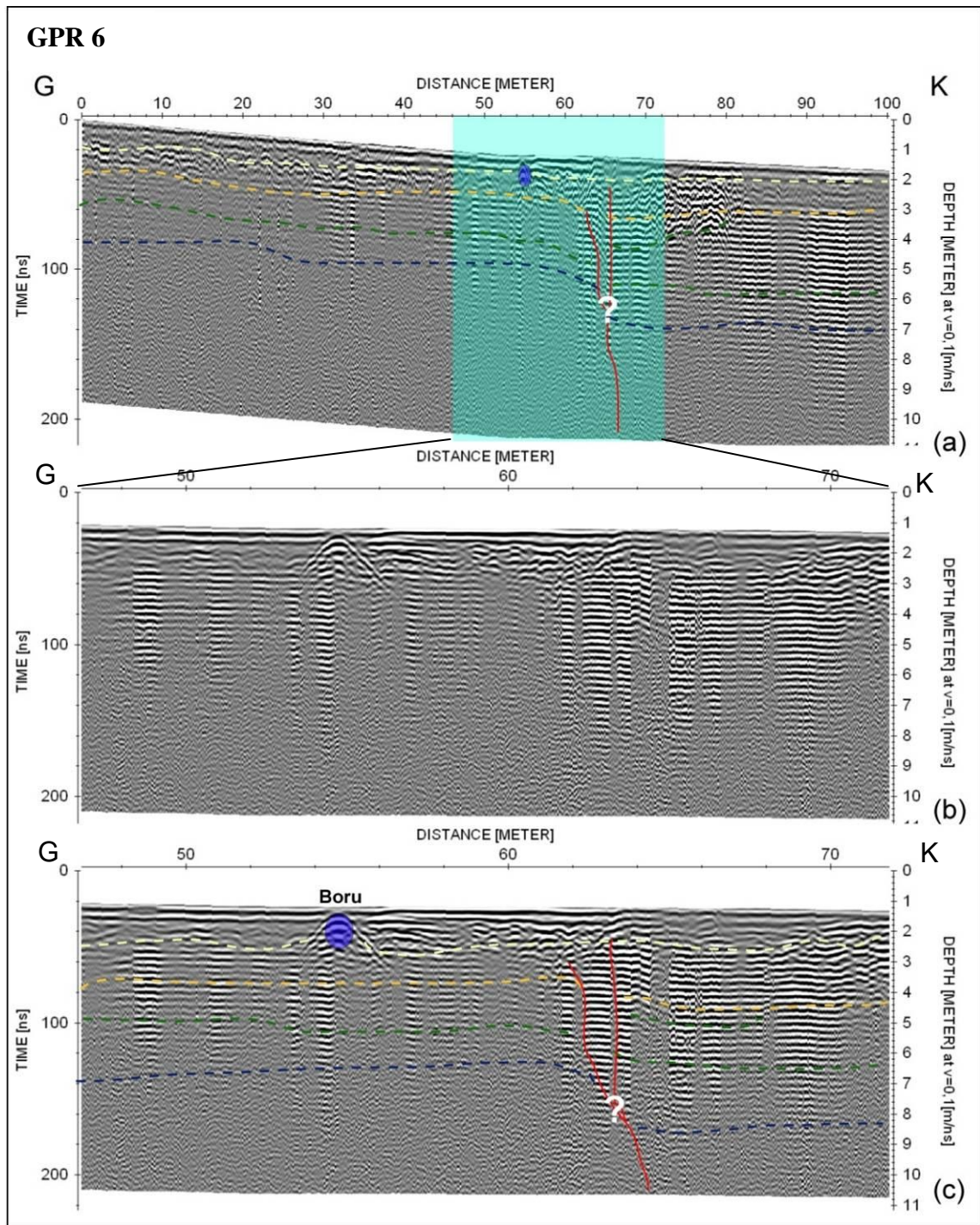
Şekil 3.35. Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 10 km kuzeybatısında bulunan Demirciören tren istasyonunun hemen güneyinden alınan GPR 5 profili. a) İşlenmiş ve yorumlanmış GPR profili, b) İşlenmiş ve ayrıntı görüntü (Şekil 3.35a'da mavi ile belirtilmiş alan), c) Ayrıntı görüntünün yorumlanmış şekli (kesikli çizgiler olası tabaka alt sınırını, kırmızı çizgiler süreksizlik zonlarını göstermektedir).

GPR 6 profili, Yoncalı barajına su sağlayan nehirlerin çökelttiği Kuvaterner yaşlı alüvyal çökellerle Pliyosen yaşlı çökellerin sınırında yapılan bir ölçümdür. Profil 100 metre uzunluğunda yaklaşık K-G doğrultuda alınmış ve yaklaşık 9 metre derinliğe inilmiştir. Bu profilin 60. metresinde kuzeye doğru hafif bir eğime sahip olan süreksizlik zonu ile mavi, yeşil ve turuncu renkler ile alt sınırları gösterilmekte olan birimlerdeki yerdeğiştirme görülmektedir (Şekil 3.36, 3.37).



Şekil 3.36. Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 12 km kuzeybatısında bulunan alanda alınan GPR 6 profili. Bakış yönü güneye doğrudur. Kırmızı oklar fayın muhtemel yerini ve morfolojik sarplığı, sarı çizgiler ve ok GPR profillerinin alındığı yerleri ve gidiş yönünü göstermektedir.





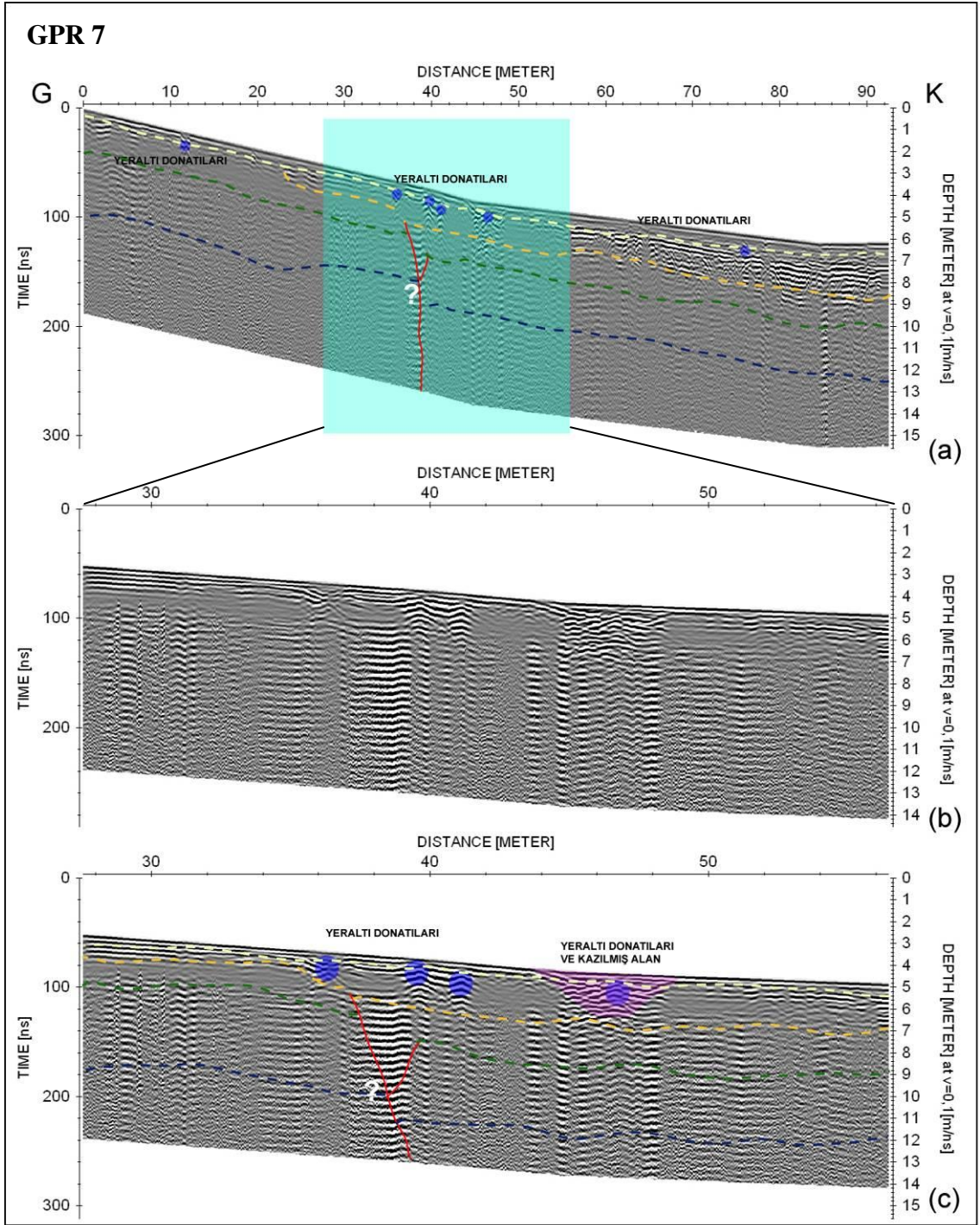
Şekil 3.37. Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 12 km kuzeybatısında bulunan alanda alınan GPR 6 profili, a) İşlenmiş ve yorumlanmış GPR profili, b) İşlenmiş ve ayrıntı görüntü (Şekil 3.37a'da mavi ile belirtilmiş alan), c) Ayrıntı görüntünün yorumlanmış şekli (kesikli çizgiler olası tabaka alt sınırını, kırmızı çizgiler süreksizlik zonlarını, soru işaretleri ise çizilen süreksizliklerin kesin olmadığı yerleri göstermektedir).

GPR çalışmalarından Kütahya yerleşim yeri içerisinde kalan 2 farklı lokasyonda yapılan 4 ölçümde elde edilen görüntüler şehir içindeki elektromanyetik gürültülerden ötürü, işleme süreçlerine rağmen tam olarak temizlenememiştir. Bu sebeple bu 4 profilde (GPR 7, 8, 9 ve 10 no'lu profiller) çizilen birimler ve süreksizlik zonları muhtemel yapılardır.

GPR 7 profili 90 metre uzunluğunda uygulanmış ve yaklaşık 9 metre derinliğe inilmiştir. Bu profilin alındığı lokasyon her ne kadar yerleşimden ötürü üzeri örtülmüş olsa da gözlemlerimiz bu alanın da Üst Pliyosen yaşlı birimler ile Kuvaterner yaşlı alüvyal çökellerin sınırında olduğunu göstermektedir. Profilin 40. metresinde dike yakın bir süreksizlik zonunun yanısıra bölgede gözlenen uzanımları yataya yakın 3 farklı birimde yaklaşık 1'er metrelik yer değiştirme gözlenmektedir (Şekil 3.38 ve 3.39). Profilin 35-50. metreleri arasında bölgedeki yerleşimden ötürü zeminde mevcut olan borular ve/veya daha önceden kazılmış olan alanlardan ötürü profilde tüm filtrelemelere rağmen temizlenemeyen gürültüler de gözükmemektedir.



Şekil 3.38. Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 2 km kuzeybatısında GPR 7 profilinin alındığı lokasyon. Bakış yönü kuzeye doğrudur. Kırmızı oklar fayın muhtemel yerini ve morfolojik sarplığı, sarı çizgi ve ok GPR profillerinin alındığı yerleri ve oklar gidiş yönünü göstermektedir.

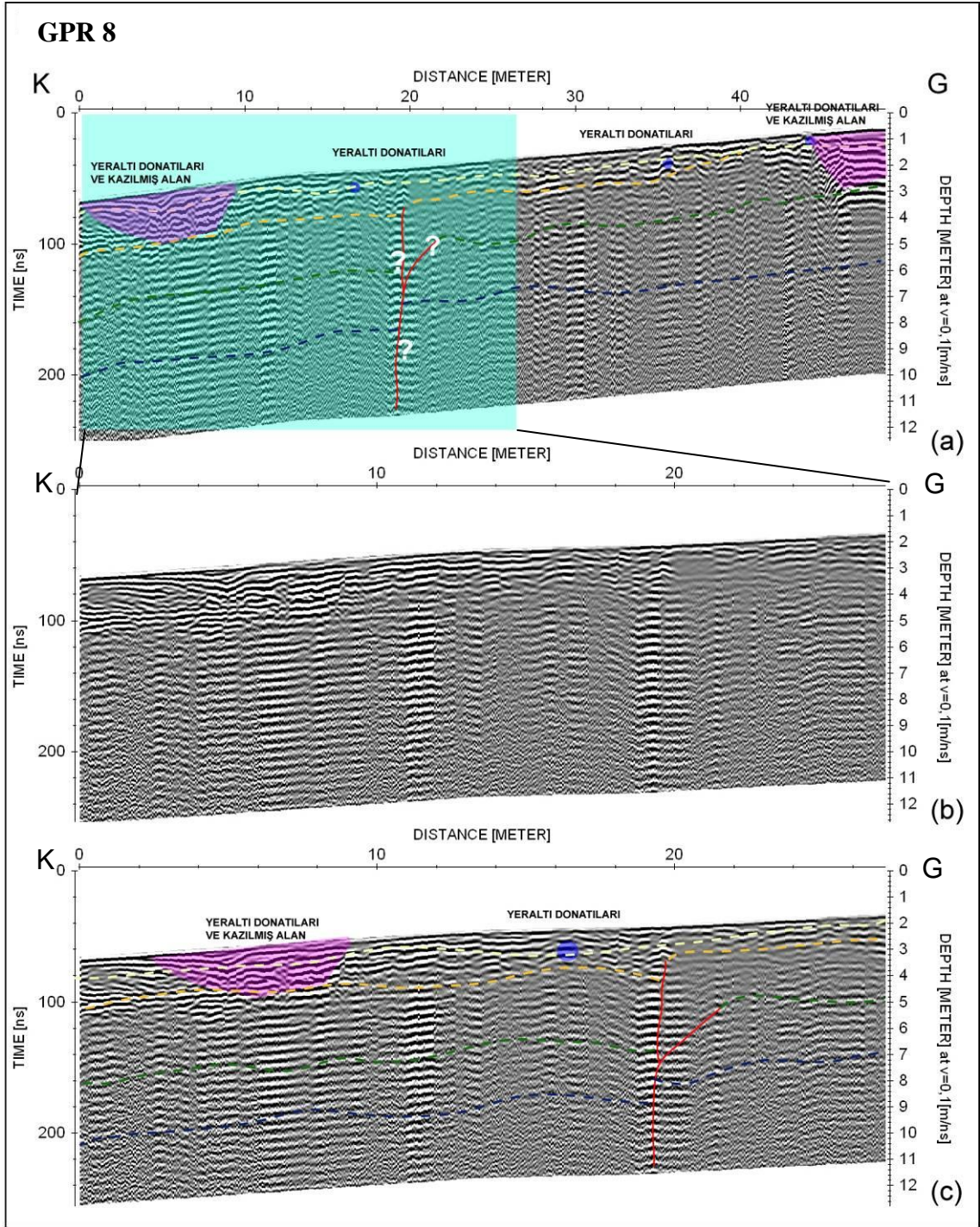


Şekil 3.39. Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 2 km kuzeybatısında GPR 7 profilinin alındığı lokasyon. a) İşlenmiş ve yorumlanmış GPR profili, b) İşlenmiş ve ayrıntı görüntü (Şekil 3.39a'da mavi ile belirtilmiş alan), c) Ayrıntı görüntünün yorumlanmış şekli (kesikli çizgiler olası tabaka alt sınırını, kırmızı çizgiler muhtemel süreksizlik zonlarını pembe ile gösterilen alanlar yer altı donatılarının bulunduğu kazılmış alanları ayrıca mavi renkte de yeraltında tespit edilen borular gösterilmiştir, soru işaretleri ise çizilen süreksizliklerin kesin olmadığı yerleri göstermektedir).

GPR 8 profili 50 metre uzunluğunda uygulanmış ve yaklaşık 9 metre derinliğe inilmiştir ve profil alımı tamamen Porsuk nehrinin çökelttiği Kuvaterner yaşlı birimler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu profilin 20. metresinde kuzeye doğru çok az bir eğime sahip olan muhtemel bir süreksizlik zonu ile yaklaşık 2'şer metre düşmüş olan yataya yakın birimler görülmektedir (Şekil 3.40 ve 3.41).



Şekil 3.40. Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 2 km kuzeybatısında GPR 8 profilinin alındığı lokasyon. Bakış yönü güneye doğrudur. Kırmızı oklar fayın muhtemel yerini ve morfolojik sarplığı, sarı çizgi ve ok GPR profillerinin alındığı yerleri ve gidiş yönünü göstermektedir.

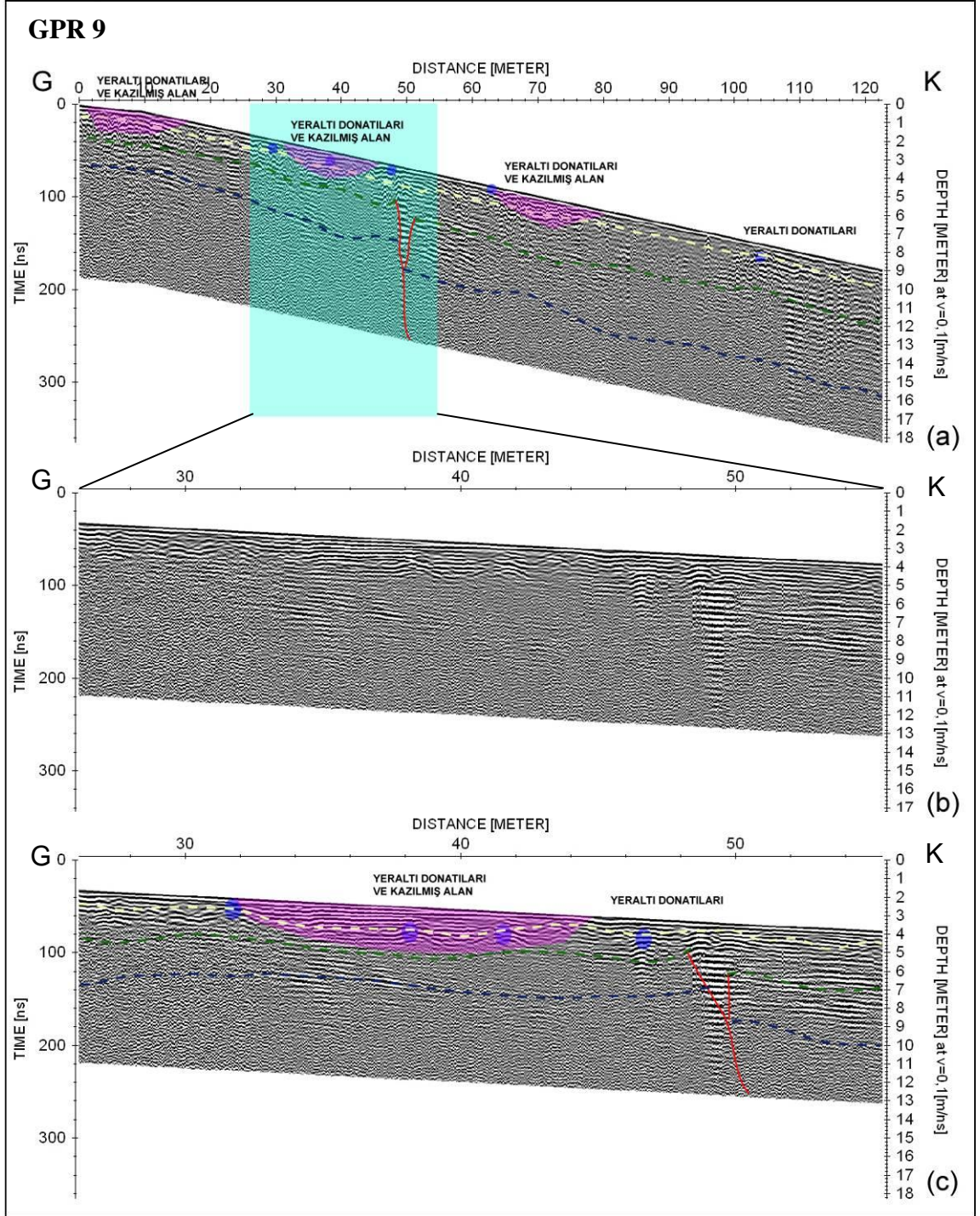


Şekil 3.41. Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 2 km kuzeybatısından alınan GPR 8 profili. a) İşlenmiş ve yorumlanmış GPR profili, b) İşlenmiş ve ayrıntı görüntü (Şekil 3.41a'da mavi ile belirtilmiş alan), c) Ayrıntı görüntünün yorumlanmış şekli (kesikli çizgiler olası tabaka alt sınırını, kırmızı çizgiler muhtemel süreksizlik zonlarını pembe ile gösterilen alanlar yer altı donatılarının bulunduğu kazılmış alanları ayrıca mavi renkte de yüzeye yakın yerlerde tespit edilen, görüntüyü etkileyen donatılar gösterilmiştir).

GPR 9 profili, Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 3 km güneydoğusunda 120 metre uzunluğunda uygulanmış ve yaklaşık 8 metre derinliğe inilmiştir. Profil küçük bir dere aracılığıyla Üst Miyosen yaşlı birimin aşındırılarak süpürülmesi sonucu oluşan alüvyal fan ile Porsuk nehri'nin Kuvaterner çökelleri arasındaki dokanak üzerinde alınmıştır. Bu profilin 50. metresinde kuzeye yaklaşık 20 derece eğimli muhtemel bir süreksizlik zonu ile yaklaşık 2'şer metre yer değiştirmiş olan alt sınırları mavi ve yeşil renklerle gösterilen yataya yakın birimler, alt sınırı sarı ile belirtilmiş mevcut süreksizlikten etkilenmeyen birim de göze çarpmaktadır (Şekil 3.42 ve 3.43).



Şekil 3. 42. Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 3 km güneydoğusunda alınan GPR 9 profili. Bakış yönü yaklaşık kuzeydoğudur. Kırmızı oklar fayın muhtemel yerini ve morfolojik sarplığı, sarı çizgi ve ok GPR profillerinin alındığı yerleri ve gidiş yönünü göstermektedir.



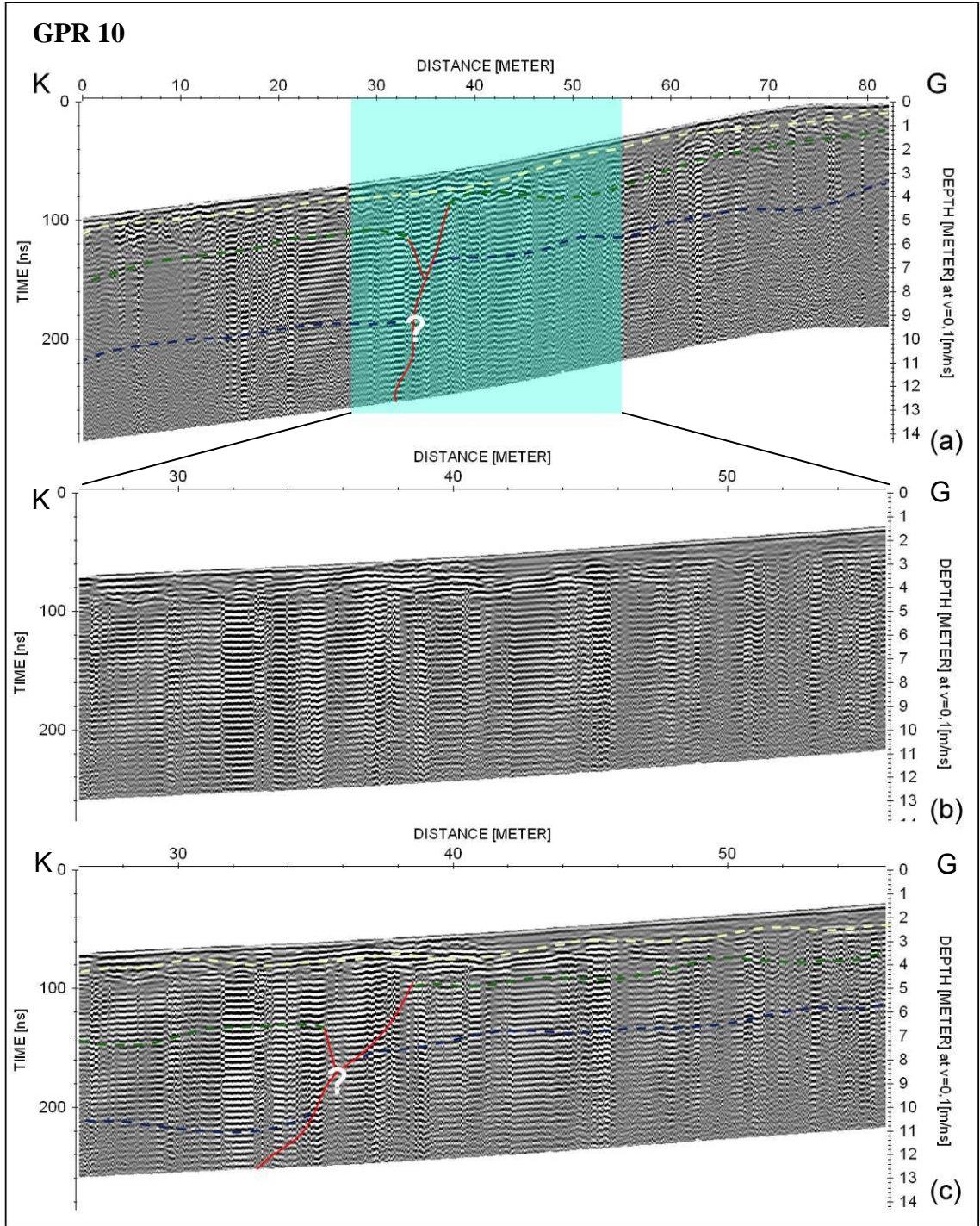
Şekil 3. 43. Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 3 km güneydoğusunda alınan GPR 9 profili. a) İşlenmiş ve yorumlanmış GPR profili, b) İşlenmiş ve ayrıntı görüntü (Şekil 3.43a'da mavi ile belirtilmiş alan), c) Ayrıntı görüntünün yorumlanmış şekli (kesikli çizgiler olası tabaka alt sınırını, kırmızı çizgiler muhtemel süreksizlik zonlarını pembe ile gösterilen alanlar yer altı donatılarının bulunduğu kazılmış alanları ayrıca mavi renkte de yeraltında tespit edilen borular gösterilmiştir).

GPR 10 profili, GPR 9 profilinin yaklaşık 50 metre batısından alınmıştır, 80 metre uzunluğunda uygulanmış ve yaklaşık 8 metre derinliğe inilmiştir. Bu profilin 38. metresinde kuzeye yaklaşık 30 derece eğimli muhtemel bir süreksizlik zonu, yataya yakın eğime sahip birimlerde ise yaklaşık 3 metrelik yer değiştirme görülmektedir (Şekil 3.44 ve 3.45).



Şekil 3.44. Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 3 km güneydoğusunda alınan GPR 10 profili. Bakış yönü güneybatıdır. Kırmızı oklar fayın muhtemel yerini ve morfolojik sarpılığı, sarı çizgi ve ok GPR profillerinin alındığı yerleri ve gidiş yönünü göstermektedir. Fotoğrafta ayrıca KFZ'nun aktif olmayan kısmına ait fay morfolojisi de görülmektedir.





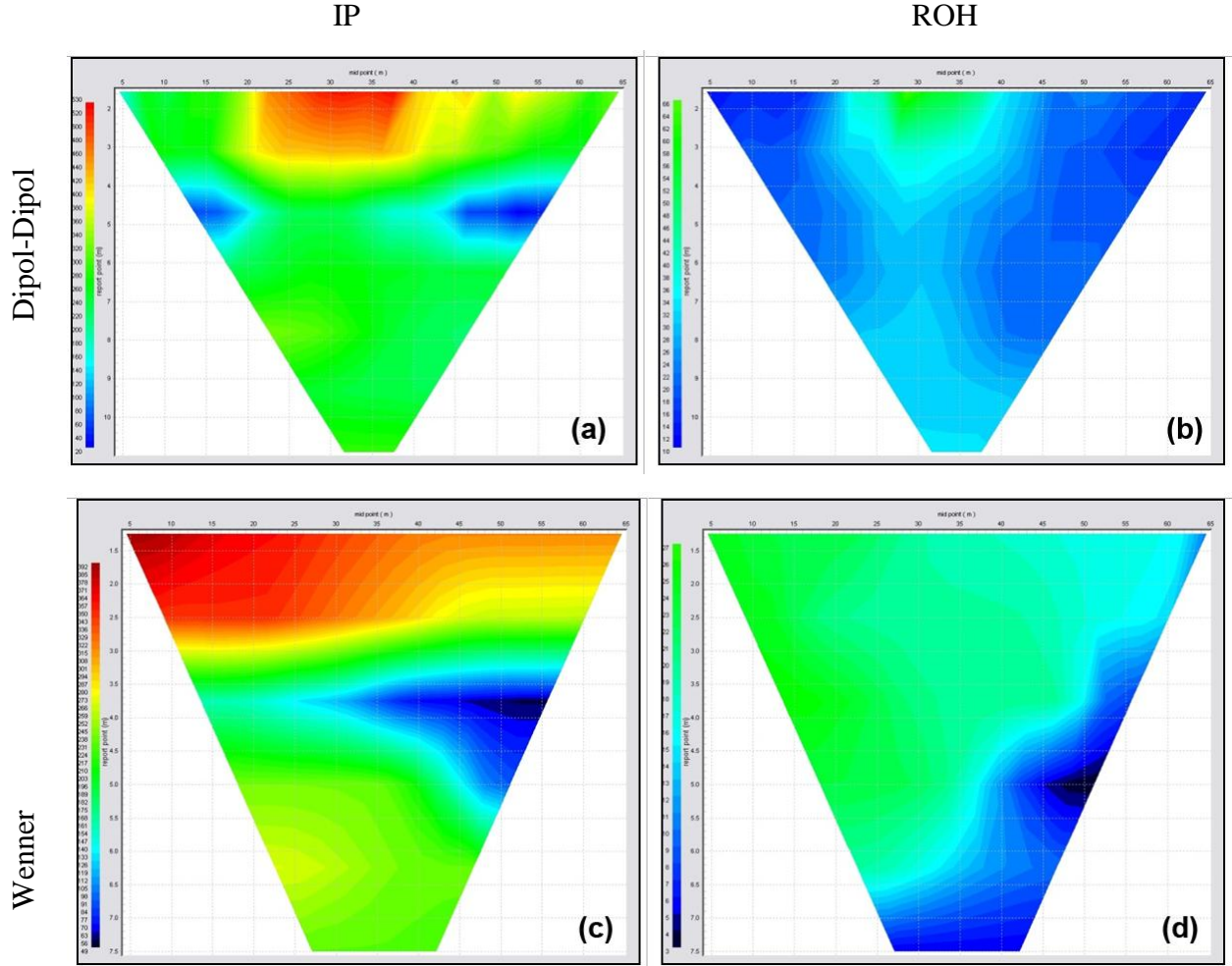
Şekil 3.45. Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 3 km güneydoğusunda alınan GPR 10 profili. a) İşlenmiş ve yorumlanmış GPR profili, b) İşlenmiş ve ayrıtı görüntü (Şekil 3.45a'da mavi ile belirtilmiş alan), c) Ayrıtı görüntünün yorumlanmış şekli (kesikli çizgiler olası tabaka alt sınırı, kırmızı çizgiler muhtemel süreksizlik zonlarını, soru işaretleri ise çizilen süreksizliklerin kesin olmadığı yerleri göstermektedir).

Kütahya yerleşim yeri içerisinde yapılan çalışmalarda şehirleşme, asfalt yollar, elektrik hatları, yeraltı su ve kanalizasyon şebekelerinin olumsuz etkilerinden en az etkilenecek lokasyonlar seçilmiş ve bu alanlarda çalışılmıştır. Bununla birlikte, sayılan etkenler GPR görüntülerinde önemli gürültüler oluşturmaktadır. Yapılan filtreleme işlemleri sonucunda mevcut profiller bütün bu gürültülerden arındırılmaya çalışılmıştır.

Yeraltı radarı (GPR) ölçüm sonuçlarına göre birimlerin ve süreksizlik zonunun en net olarak gözlemlendiği GPR 1, 2 ve 3. profillerin bulunduğu lokasyonda süreksizlik zonunun daha derinlere doğru devamlılığının araştırılması amacıyla Elektrik Rezistivite ve IP ölçüm çalışmaları da yapılmıştır.

### **3.2.2. Elektrik Rezistivite ve IP (Yapay Uçlaşma) ölçümleri**

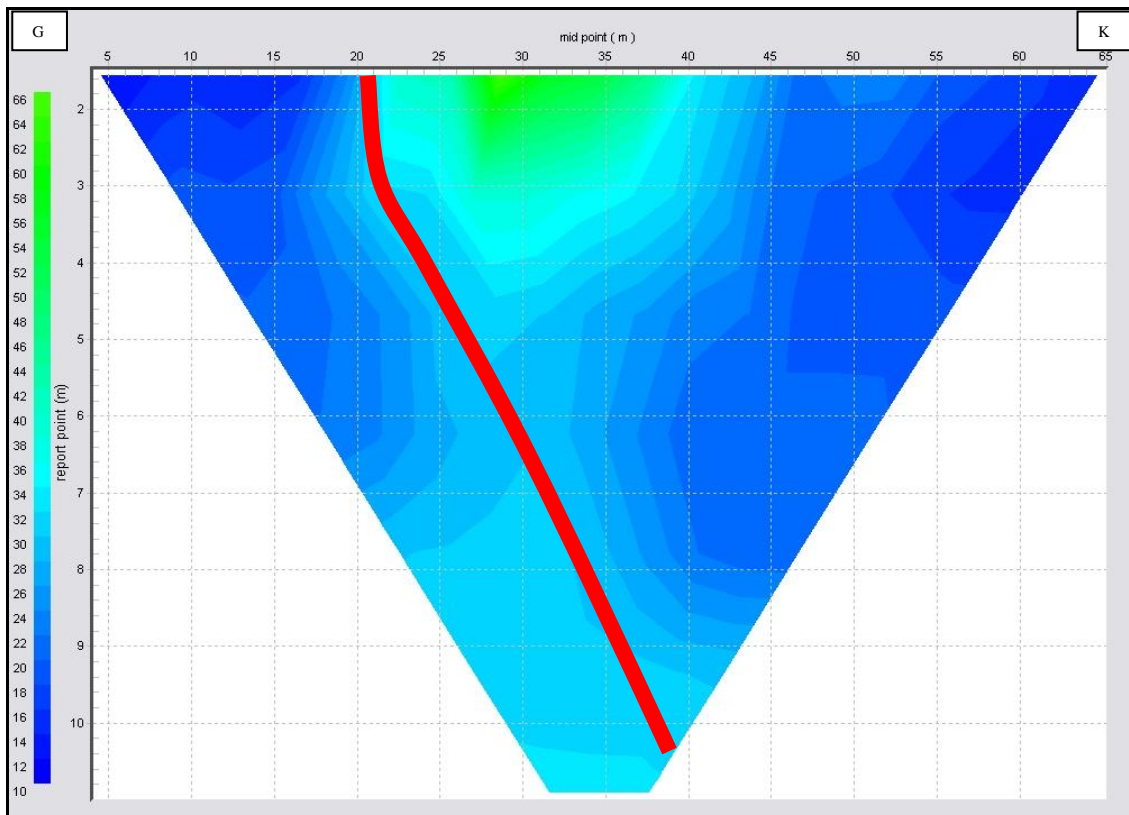
Faylanmaya ilişkin morfolojinin oldukça belirgin olduğu Kütahya'nın yaklaşık 4 km batısında bulunan bu lokasyonda (Bkz. Şekil 3.27) aktif fay Üst Pliyosen yaşlı karasal kırıntılı birim ile Kuvaterner yaşlı alüvyal çökellerin sınırını oluşturmaktadır. Bu lokasyonda uygulanan elektrik ölçümleri, Dipol-Dipol ve Wenner-VES elektrot dizilimleri kullanılarak alınmıştır. Her iki dizilim içinde IP-polarizasyon ve ROH-özdirenç yöntemleri ayrı ayrı uygulanarak toplam 4 adet profil elde edilmiştir (Şekil 3.46). Alınan ölçümlerin tümünde 24 adet elektrot 3'er metrelik aralıklarla dizilmiştir. Toplam 72 metrelik dizilimin yatayda ilk ve son 5'er metrelik, düşeyde ise ilk 50-100 santimetrelik kısımlarından elektrot dizilimleri nedeniyle veri elde edilememiştir.



Şekil 3.46. Kütahya'nın 4 km batısında jeomorfolojik verileri test etmek amaçlı alınan elektrik öz direnç profilleri ham verileri. a) 50 voltluk Dipol-Dipol,IP ölçümü b) 50 voltluk Dipol-Dipol,ROH ölçümü c) Wenner,IP ölçümü d) Wenner, ROH ölçümü. Profillerin başlangıç noktası güney, bitiş noktası kuzey yönündedir.

Elde edilen ham profiller ölçekli hale getirilerek yorumlamalar kolaylaştırılmıştır. Bu profillerde de gözlenebildiği gibi yer içindeki süreksizlikleri tespit etmede Dipol-Dipol, tabaka ve farklı birimleri tayin etmede ise Wenner-VES elektrot dizilimleri en uygun dizilimlerdir (Çağlar, 2007). Alınan profiller değerlendirildiğinde en az gürültülü ölçümün (en iyi görüntünün) ROH-özdirenç ölçüm yönteminde Dipole-Dipole elektrot dizilimi ile elde edildiği görülmüştür (Şekil 3.46.b).

Kütahya'nın 4 km batısında yer alan lokasyonda 24 adet elektrotun zemine 3'er metre aralıklı dizilimiyle yapılan Dipol-Dipol-ROH ölçümünden elde edilen görüntüde profilin (Şekil 3.46.b) 20. metrelerinde kırmızı çizgi ile gösterilen kısım KFZ'na ait süreksizliği göstermektedir. Yaklaşık 70 metrelik profilin başlangıç noktası güney bitiş noktası ise kuzey yönündedir. Profil dikkatle incelendiğinde kırmızı çizgi ile belirtilen süreksizliğin her iki tarafında gözlenen mavi renkteki yataya yakın tabakalı birimlerin varlığı ve süreksizliğin kuzey tarafındaki birimlerin güneydekilere oranla daha aşağıda devam ettikleri net olarak tespit edilmiştir (Şekil 3.47). Rezistivite profilinde yeşil rengin gözlemlendiği alan süreksizliğin kuzey kesimindeki bloğun düştüğü ve bu alanda farklı bir malzemenin biriktiği görüntüsü vermektedir. Yeşil ile gösterilen özdirenç değerinin mavi alanlara göre daha yüksek özdirenç değerlerini simgelemesi, bu alanda daha kaba taneli ve/veya su içeriği daha düşük malzemeler çökeldiğini göstermektedir. Dolayısıyla rezistivite görünümü normal faylanmaya bağlı bir morfolojinin kaba taneli kolüvyal çökellerle ön tarafının doldurulduğu görünümünü sunmaktadır. Dahası bu görünüm arazi gözlemlerinde gözlenen fay morfolojisi ile de tutarlıdır. Elektrik özdirenç ölçümlerine göre 10 ile 100  $\Omega$ -m arasında değere sahip malzemeler "ıslak siltli ve kumlu toprak" olarak tanımlanmaktadır. Bu lokasyonda yapılan ölçümler sonucunda 10 ile 66  $\Omega$ -m değerleri arasında değişkenlik gösteren malzemelere rastlanmıştır. Bu tanımlamaya göre buradaki malzeme ıslak siltli ve kumlu toprak malzemedir (Çağlar, 2007).



Şekil 3.47. KFZ'na ait süreksizliğin en iyi görülebildiği elektrik rezistivite profili. Profil Dipol-Dipol elektrot diziliminde ve ROH ölçümü sonucunda elde edilmiştir. Kırmızı çizgi profile görülen süreksizliği temsil etmektedir.

### 3.3. Paleosismolojik Çalışmalar

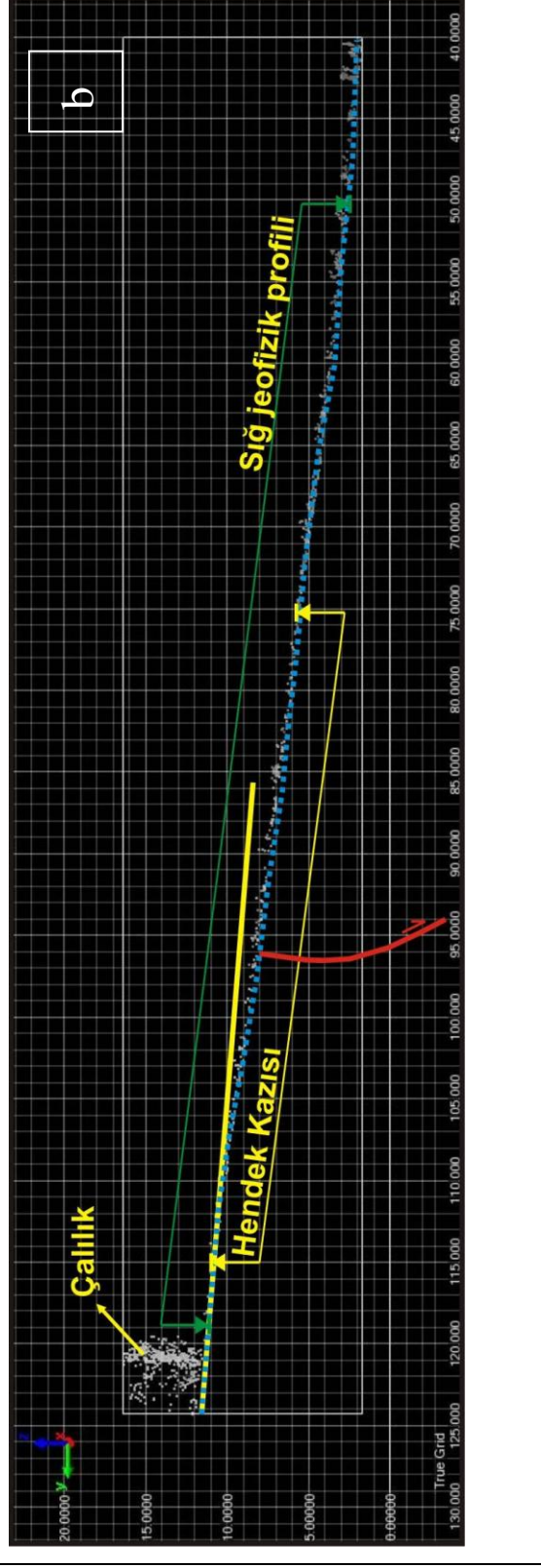
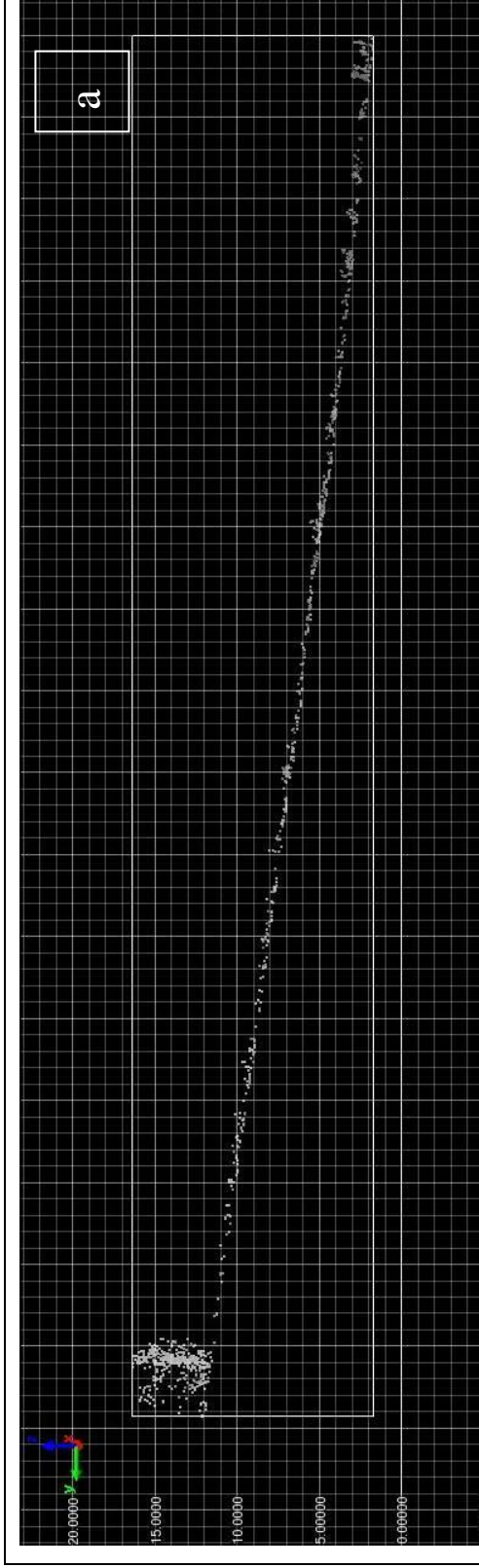
Jeolojik, jeomorfolojik ve sığ jeofizik çalışmalardan elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonucu iki lokasyonda hendek açılması planlanmıştır. Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 4 km kuzeybatısında açılan hendek Okçu hendeği (Bkz.

Şekil 2.1), 12 km kuzeybatısında açılan ise Demirciören hendeği olarak isimlendirilmiştir (Şekil 3.48). Demirciören hendeğinde, açıldığı dönemdeki hava koşullarının elverişsizliği gibi sebeplerden ötürü ayrıntılı olarak incelenememiş, loglama yapılamamıştır. Buna karşın Okçu Hendeği'nde ayrıntılı incelemeler yapma fırsatı bulunmuştur.

Okçu hendeği Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 4 km kuzeybatısında yer alan Okçu ile Bölücek köyleri arasında, Kuvaterner ile Üst Pliyosen yaşlı birimlerin sınırına yakın bir kesimde açılmıştır (Şekil 3.48). Hendeğin tespiti yapılırken bölgede daha önceden yapılan jeomorfolojik ve sığ jeofizik çalışmalar dikkate alınmıştır. Bu lokasyonda morfolojideki değişikliğin daha yüksek hassasiyette belirlenebilmesi amacıyla “*yersel LİDAR*” sistemi kullanılmıştır. LİDAR aleti kaynağından aldığı enerji ile yüzeye lazer ışığı göndererek araziye tanımlayan bir uzaktan algılama sistemidir. Milimetre mertebesinde yeryüzü modeli üretebilmekte ve fizyografik özellikleri değerlendirebilmektedir. Bu teknoloji son zamanlarda aktif tektonik çalışmalar da kullanılmış ve çok iyi sonuçlar alınmıştır (Ekercin ve Üstün, 2004; Kayen, 2004; Niemi et al., 2004; Nagihara, 2006; Karabacak ve diğ., 2008). LİDAR teknolojisi sayesinde istenilen bölgenin hassas kesitleri elde edilerek (Şekil 3.49) morfolojideki farklılığın deformasyonun değerlendirilmesi mümkün olmuştur. LİDAR kesitinde hendeğin kazılan alanda yaklaşık 3 metrelik düşey yerdeğiştirme saptanmıştır.



Şekil 3. 48. Okçu hendeği genel görünümü. Kırmızı oklar morfolojik sarpılığı ve hendeğin içerisinde fayın gözlemlendiği kesimi işaret etmektedir. Bakış yönü kuzeye doğrudur.



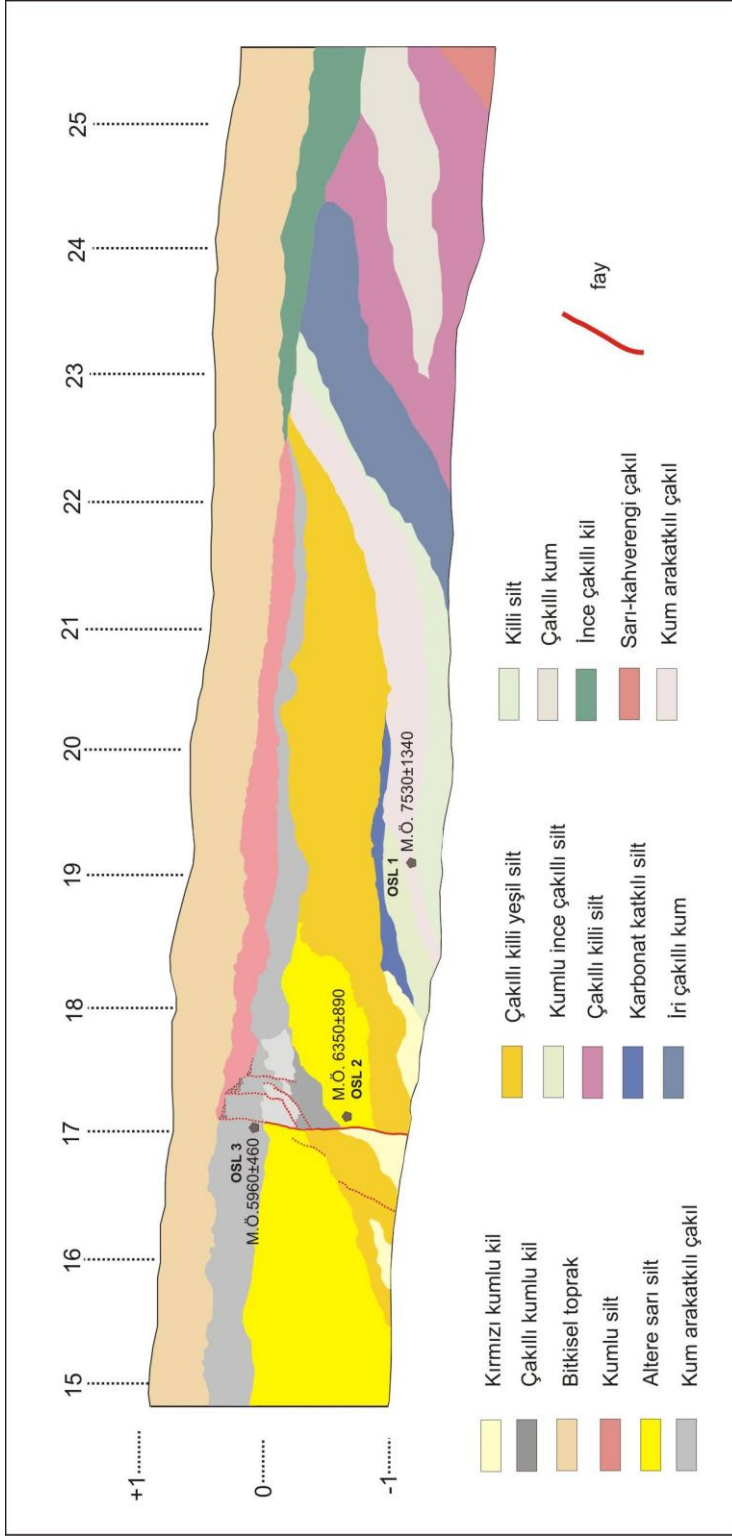
Şekil 3.49. a. LİDAR görüntüsünün K-G yönlü kesiti, b. Bu kesit üzerinde sığ jeofizik profili, hendek kazısı, mavi noktalarla çizgi ile morfolojideki eğim ve kırmızı çizgi ile aktif fay işaretlenmiştir.

Yaklaşık 35 metre uzunluk ve 2.5 metre derinlikte açılan hendeğin duvarlarında çok sayıda farklı sedimanter birim ayırt edilmiştir. Tam olarak pekişmemiş olarak gözlenen bazı birimler hendek duvarının yaklaşık 17. metresinde aniden kesilmektedir (Şekil 3.50 ve 3.51a). Bu kesimde, hendek tabanından itibaren 3 farklı sedimanter birim (kırmızı kumlu kil, çakıllı-killi yeşil silt ve altere sarı silt) yaklaşık 1.5 m yüksekliğe kadar net şekilde gözlenen fay boyunca benzer miktarlarda (yaklaşık 60 cm) ötelenmektedir. Bu fay uzanımı yüzeyden 30 cm derine kadar belli belirsiz uzanmaktadır. Bu kesimde, altere sarı silt üzerinde gelen kum arakatlı çakıl birimi ise daha az miktarda (yaklaşık 40 cm) yerdeğiştirme sergilemektedir. Bu birimdeki daha düşük yerdeğiştirme miktarı bu fay kolu üzerinde en az iki ayrı olayın varlığını göstermektedir (Şekil 3.52). Fay tarafından kesilen birimlerde elverişli olmamalarından dolayı, herhangi bir düzlem gözlenememiştir. Bununla birlikte fayın kuzey, yani tavan blok kesiminde gözlenen birimlerinin hemen hepsi güneye doğru 5 ile 20 derece arasında değişen eğimlere sahiptir (Şekil 3.50 ve 3.51b). Bu geriye eğimlenme ve fay düzlemindeki düşey yerdeğiştirme derinlerdeki fay geometrisinin, sığ jeofizik çalışmalarda da ortaya konulduğu gibi, eğim atımlı normal fay olabileceğini düşündürmektedir.

Çizelge 5. Okçu hendeği batı duvarından alınan örneklerin OSL yaşlandırılması sonuçları.

Örnek No	Yer	Derinlik (cm)	Yaş G.Ö. (binyıl)	Doz Gy	(n)	Hesaplanan
O1	Kütahya	160	9.54±1.34	30.11±4.22	11	M.Ö. 7530±1340
O2	Kütahya	130	8.32±0.50	26.33±1.55	14	M.Ö. 6350±890
O3	Kütahya	70	7.97±0.46	25.40±1.46	8	M.Ö. 5960±460



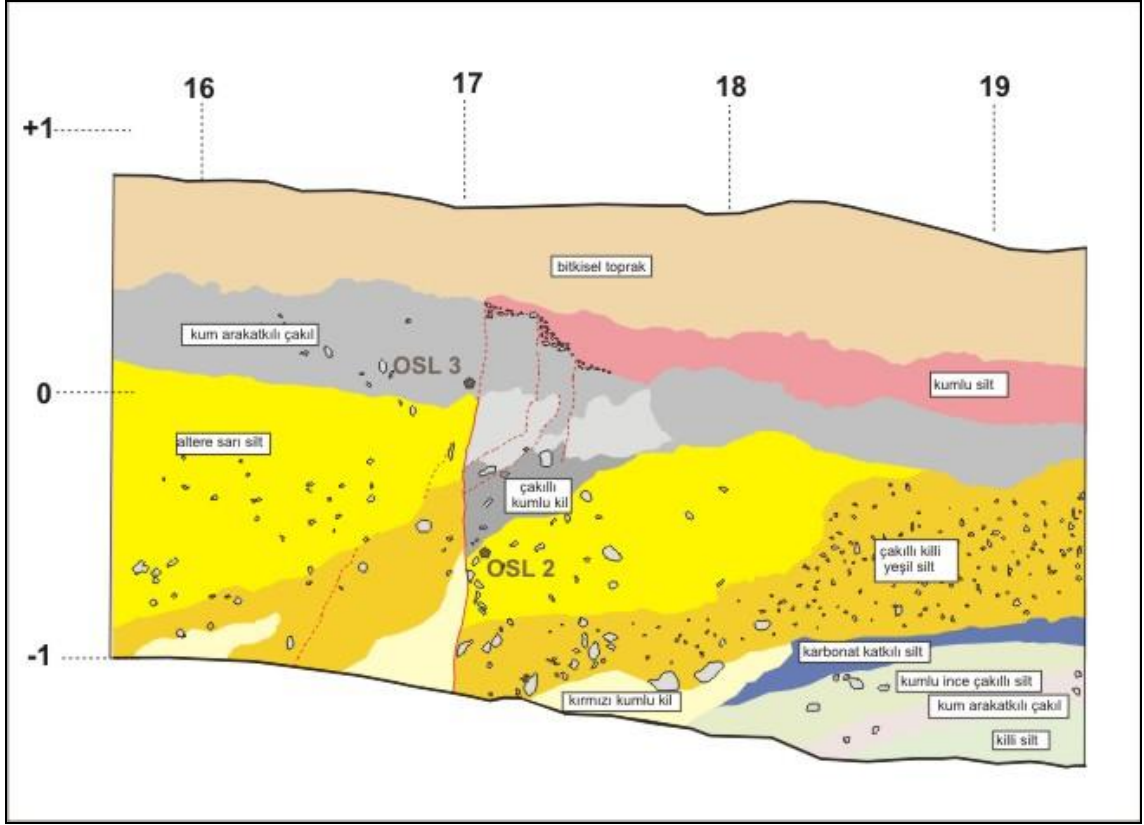


Şekil. 3.50. Okcu hengeği batı duvarı logu 15-22. Metreleri arasındaki görüntü ve OSL örnekleri



Şekil 3.51. a. Okçu hendeğinde süreksizlik zonunun gözlemlendiği kesimin logu b. hendek doğu duvarında faylanmaya ait izler.





Şekil 3.52. Okçu hendeği batı duvarı 16-19. metreler arası ayrıntılı log çizimi

#### 4. ARKEOSİSMOLOJİK ÇALIŞMALAR

Günümüzde meydana gelen büyük depremlerin yerleşim yerlerindeki yapıları doğrudan veya dolaylı olarak etkiledikleri görülmektedir. Depremler sırasında oluşan yüzey kırıklarının üzerinde yer alan insan yapımı yapılar (bina, duvar, yol, kanal vb.) yüzey kırığı tarafından doğrudan kesilmektedirler. Yüzey kırığı üzerinde bulunmayan, kırığa yakın veya daha uzaktaki insan yapımı yapılar ise şiddetli sarsıntıdan hasar görmektedirler. Benzer olarak tarihsel dönemlerde meydana gelen hasar yapıcı birçok büyük deprem, insan yapımı yapıları etkileyerek bunlarda yıkımlara, ötelenmelere neden olmuş ve antik kentlerin tarihlerinde önemli izler bırakmıştır. Bu depremlere ait doğal izler aşınma ve çökelme süreçleri sonrasında kaybolurken, tarihi yapılar deprem izlerini günümüze kadar taşımaktadır. İşte bu tarihsel ve tarih öncesi depremlerin arkeolojik yapılardaki izleri ile ilgilenen bilim dalına arkeosismoloji denilmektedir (Stewart and Hancock, 1994). Arkeolojik yapılarda korunmuş deprem izleri kırıkların türlerini kolayca ortaya koyarken, yapıların yapılış tarihleri bilindiğinde hasarlara neden olan olaylar da tarihlendirilebilmektedir (Stiros and Jones, 1996; Altunel, 1997). Böylelikle arkeosismolojik çalışmalardan yararlanılarak, özellikle yerleşik insan yaşamının ortaya çıkışından (M.Ö. 8000 sıralarında, Akurgal, 1997) günümüze kadar olan dönemde meydana gelmiş tarihsel depremler hakkında bilgi edinilebilmektedir.

Kütahya ve çevresi arkeolojik potansiyel açısından incelendiğinde Hitit, Frig, Lidya, Pers, Roma, Bizans, Selçuk, Germiyan ve Osmanlı dönemlerine ait eserlere yoğun olarak rastlanmaktadır. Günümüzde Kütahya il ve ilçelerinde gözlenen yapıların çoğu Roma ve daha genç dönemlere ait yapılardır. Bununla birlikte, halen ayakta duran veya kalıntıları bulunan bu yapıların yanısıra, tarihi M.Ö. 3000’li yıllara dayanan ve gömülü halde bulunan birçok höyük ve antik yerleşim yerleri de mevcuttur.

#### 4.1. Kütahya Şehir Merkezi

Kütahya Şehri antik dönemlerden bu yana üzerinde yerleşimin bulunduğu bir alandır. Bu alanda Hitit, Frig, Lidya ve Persler başta olmak üzere birçok medeniyet kurulmuştur. Daha sonra bu alan Roma Bizans ve Osmanlı imparatorluklarının hakimiyeti altına girmiştir ([http://kutahya\\_net.tripod.com/EserOsmanli.htm](http://kutahya_net.tripod.com/EserOsmanli.htm)). Şehirde bu bölgede yaşamış toplumların hemen hepsine ait tarihi kalıntılar bulmak mümkündür. Bunlardan bazıları şehir merkezinde bulunan camii, hamam, kale gibi yapılarıdır. Bu kalıntıların en iyi korunmuş olanlarından biri Kütahya Kalesi'dir. Kale Roma, Bizans, Selçuklu ve Germiyanlı ve Osmanlı dönemlerinde iskan görmüştür. Şehre hakim bir tepe üzerinde bulunan kalenin bulunduğu bölge günümüz Kütahya şehrinin ilk kurulduğu yer olarak bilinmektedir. Kütahya kalesinin iç kale tarafında birbirine yapışık biçimde burçlar mevcuttur. Burçlardaki tuğla hatlarının tuğla dizileri ve duvardaki sayıları bir örnek değildir. Bu durum burçların muhtemelen değişik dönemlerde yapıldığını göstermektedir. Kalenin M.S. 9. yy, M.S. 12. yy, M.S. 14. yy ve son olarak da Osmanlı devletinde Fatih Sultan Mehmet döneminde olmak üzere 4 farklı aşamada inşaa edildiği belirtilmektedir.



Şekil 4.1. Kütahya kalesinin burçlarında gözlenen onarım izleri

Kütahya şehir merkezinde bulunan tarihi cami, türbe ve hamamlarda da birçok onarım izi mevcuttur. 16.yy. sonlarında yapıldığı tahmin edilen Şengül camii ve hamamı yapılışından sonra birçok değişikliğe uğramış, bazı bölümleri yıkılmış bulunmakla birlikte, diğer kısımları halen hamam olarak kullanılmaktadır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Şengül Camii'nde gözlenen tadilat izleri kırmızı oklar ile gösterilmiştir.

Günümüzde Meydan Camii olarak bilinen Aslanzade Mescidi'nin 15.yy.'ın 2. çeyreğinde (1425-1450) yapıldığı tahmin edilmektedir. Dere kenarında ve oldukça kalın duvarlara sahip olan caminin pek çok onarım geçirmekle birlikte ana hatlarıyla günümüze ulaştığı söylenebilir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Meydan Camii'nde gözlenen onarım izleri.

Ulu Camii'nin ilk şekli ağaç direkli bir cami olarak Yıldırım Beyazıt tarafından yaptırılmaya başlanmış, Ankara savaşından (1402) sonra oğlu Musa Çelebi tarafından 1410'da tamamlanmıştır (Şekil 4.4). Vakıf kayıtlarında camiden Yıldırım Beyazıt Han Camii olarak bahsedilmektedir. Ünlü seyyah Evliya Çelebi caminin Kanuni Sultan Süleyman döneminde Mimar Sinan tarafından tamir edildiğini de belirtmektedir. Bundan sonra da bazı onarımlar geçirmiş olmakla birlikte cami son şeklini 1893'de Sultan II.Aldülhamit Han zamanında almış ve bu son büyük onarım sırasında cami kubbeli olarak yapılmıştır. 1888'de başlayıp 1893'de bitirilen bu onarımda duvarlar temellere kadar yıkılıp, yeniden kesme taştan yapılmış, Aizanoi (Çavdarhisar)' dan getirilen sütunlar ve mermer plakalar kullanılarak kubbeli şekilde yeniden yapılmıştır. Ulu Camii, bundan başka sonuncusu 1961-1962'de olmak üzere küçük onarımlar da geçirmiş, zaman zaman kurşun kaplamalar değiştirilmiştir



Şekil 4.4. Kütahya şehir merkezinde bulunan Ulu Camii



1381 yılında yapıldığı bilinen Servi Camii'nde birçok onarım izi gözlenebilmekte ancak bu onarımların hangi dönemlerde yapıldığı bilinmemektedir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Kütahya Şehir merkezinde bulunan Servi Camii

Kütahya il merkezinde 15.yy'da yapılan,1848'de büyük bir onarım gören Küçük Hamam, 1389-1402 yılları arasında yaptırılan ve 1761 ve 1834 yıllarında çeşitli onarımlar gören Takvacılar Camii gibi daha birçok tarihi yapı mevcuttur.

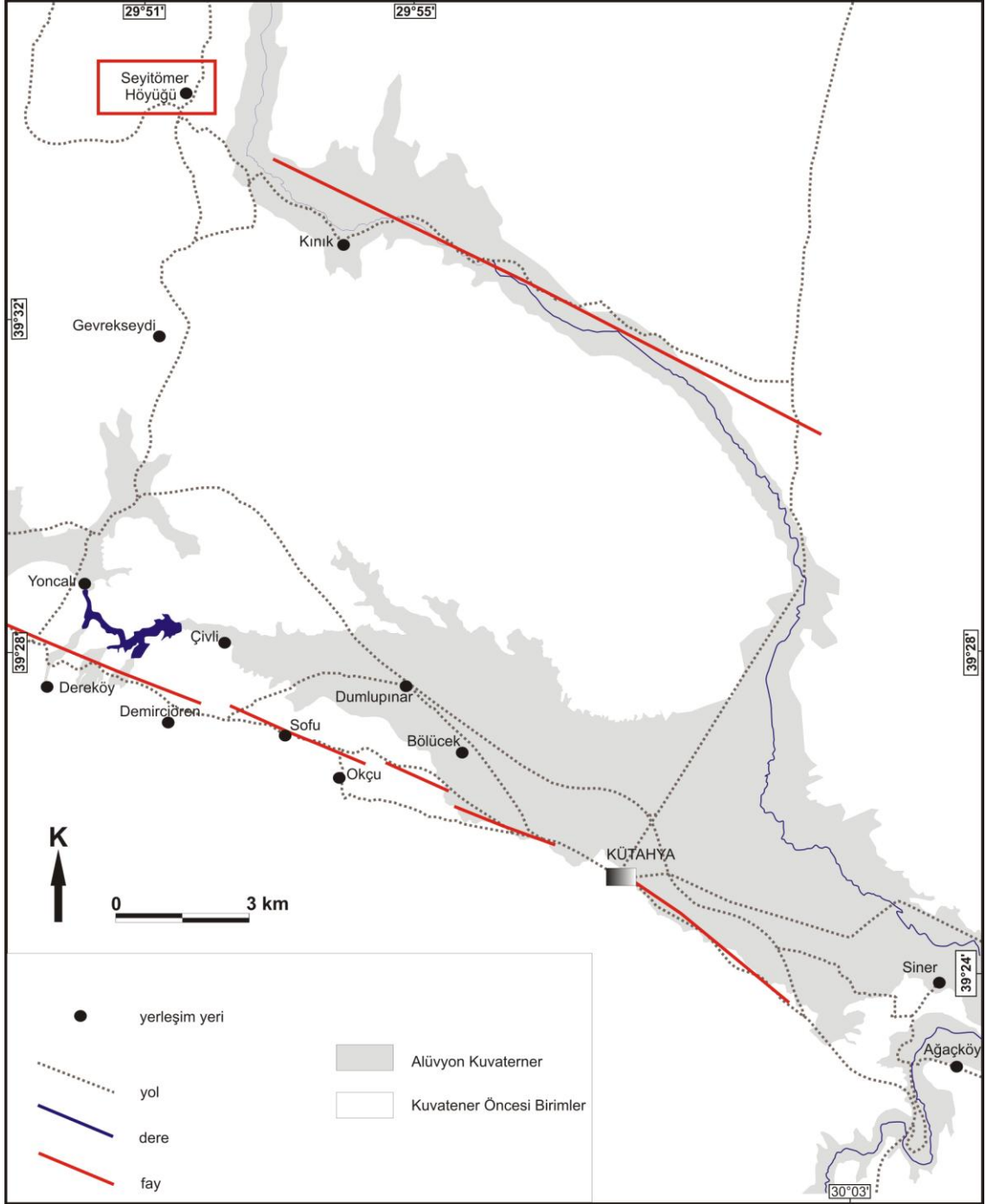
Kütahya şehir merkezinde günümüzde halen kullanılmakta olan tarihi mekanların dışında, büyük bir kısmı yer altında gömülü kalmış olan daha birçok yapının varlığı bilinmektedir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Kütahya şehir merkezinde bulunan ve geçmişte hamam olarak kullanıldığı düşünülen gömülü tarihi yapı

## 4.2. Seyitömer Höyüğü

Kütahya Havzası yakınlarında en önemli antik yerleşim yerlerinden biri Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 25 km kuzeybatısında yer alan Seyitömer Höyüğü'dür (Şekil 4.7). Tarih öncesi çağlar boyunca kerpiçten yapıldığı için kültür katlarının zamanla üst üste yığılması ile oluşan ve Mezopotamya'da "tell" olarak adlandırılan bu yapılar (Saltuk, 1993) arazide büyük topraktan tepeler şeklinde gözlenmektedir (Şekil 4.8). Akurgal (1997)'a göre, Anadolu'daki höyüklerin bazılarında en alt kat Yeni Taş Çağı (M.Ö. 8000-5500) ile başlamakta birlikte, bu yapılar genellikle Kalkolitik döneme (M.Ö. 5500-3000) aittir. Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Arkeoloji Bölümü tarafından yapılan çalışmalarda Seyitömer Höyüğü'nün 5000 yıllık bir geçmişe sahip olduğu ve höyükte başlıca 3 farklı döneme ait yaşam kalıntıları bulunduğu saptanmıştır. Bu dönemler; Tunç, Helenistik ve Roma dönemleridir. Höyük Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ)'ne bağlı Seyitömer kömür havzasında yer almaktadır. Höyüğün altında bulunan kömürü alabilmek için höyüğün kaldırılması gerekmektedir. Bu amaçla höyük, üstten başlanarak alta doğru hızlıca kazılarak kaldırılmaktadır. Kazı çalışmaları sırasında Orta Tunç dönemine tarihlenen (M.Ö. 2000 ile 1800 yılları arası) katmanı kesen çatlaklar, kalıntıların tamamında sistematik yıkım, bu döneme ait taban döşemelerinde dalgalanmalar ve kalıntılar altında insan iskeletlerinin varlığı dikkat çekmiştir (Bilgen, 2007).



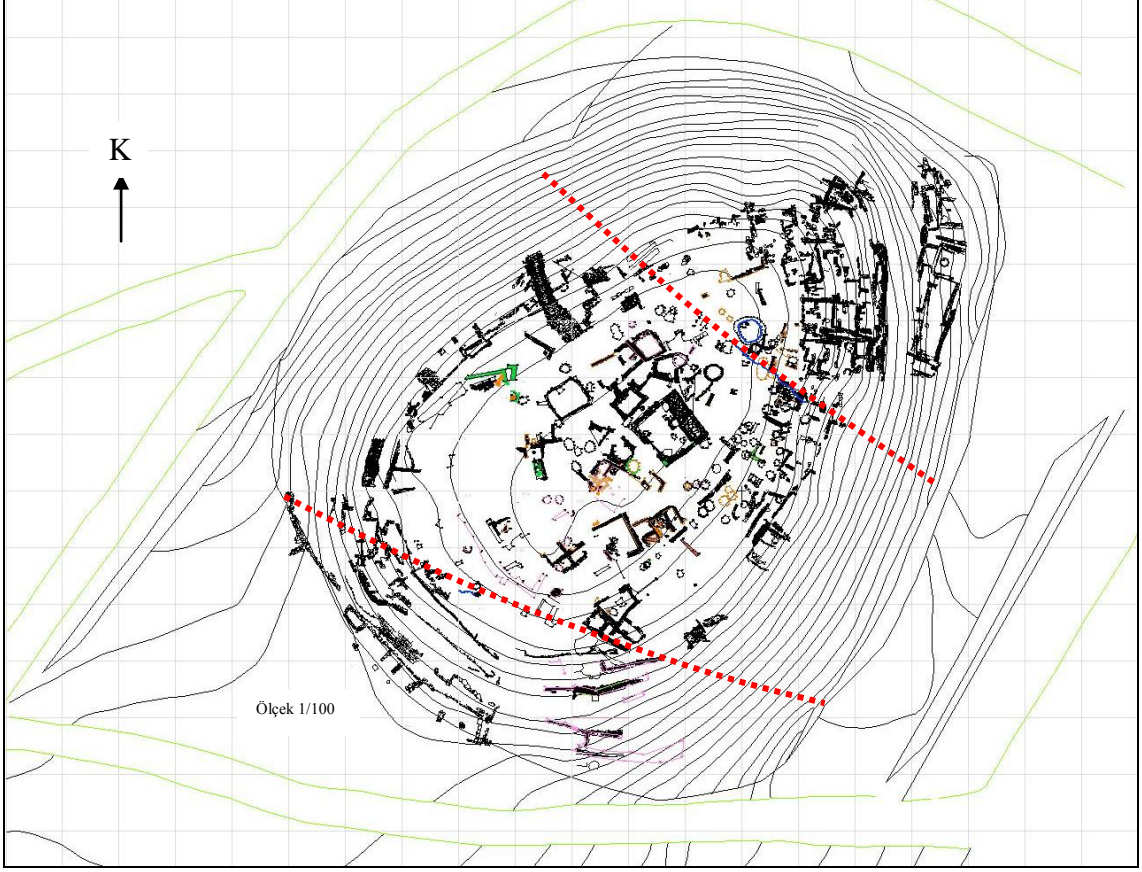
Şekil 4.7. Çalışma alanında Seyitömer Höyüğü kırmızı çerçeve ile işaretlenmiştir.

Seyitömer Höyüğü'nde görülen hasarlar, kazı başkanı Prof. Dr. A. Nejat Bilgen'in izni ile aşağıda ayrıntılı tanımlanmıştır.

Orta Tunç dönemine ait katman, K80°B ve K50°B doğrultulu iki adet kırık tarafından boydan boya kesilmektedir (Şekil 4.9). Kırıklar yakından incelendiğinde eğimlerinin dike yakın olduğu ve üzerlerinde herhangi bir yer değiştirme olmadığı, sadece açılma olduğu görülmektedir (Şekil 4.10). Bu kırıklar Orta Tunç dönemine ait katmanın üzerinde bulunan katmanlarda gözlenmemiştir.



Şekil 4.8. Seyitömer Höyüğü'nün hava fotoğrafı. Kırmızı renkte gösterilen çizgiler höyüğü boydan boya kesen iki kırığı temsil etmektedir.



Şekil 4.9. Seyitömer Höyüğü'nün planı (Bilgen'den [2007] alınmıştır). Plan üzerindeki kırmızı kesikli çizgiler höyüğü neredeyse boydan boya kesmekte olan kırıkları göstermektedir.

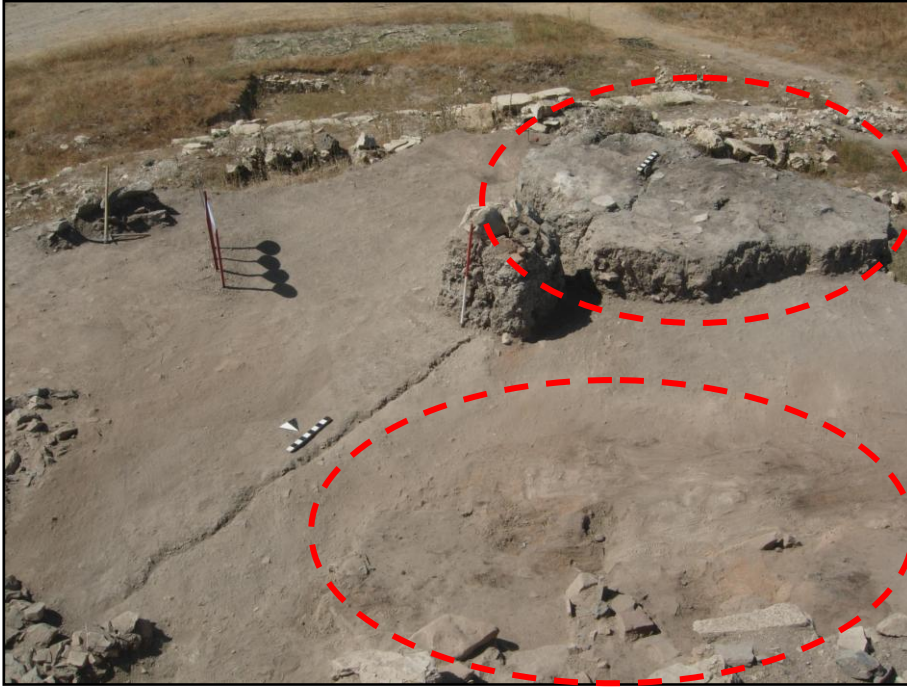


Şekil 4.10. Höyükte Geç-Orta Tunç dönemi yapılarında gözlenen kırıkların aralarında bulunan seramik parçalarına bir örnek ok ile gösterilmiştir.

Höyükte halen kazısı devam etmekte olan Geç-Orta ve Erken Tunç dönemine ait yaşam katının hemen her yerinde gözlenebilen yangın izleri mevcuttur (Şekil 4.10, 4.11). Bu dönemde su terazisi gibi aletler kullanarak düzgün şekilde yapılmış olmaları beklenen yollar ve taban blokları çoğunlukla dalgalı hale gelmiştir (Şekil 4.13). Yine Tunç dönemi yapılarının duvarlarında şiddetli yer sarsıntısının karakteristik özelliği olan geneli güneye doğru sistematik yıkımlar dikkati çekmektedir (Şekil 4.13).

Höyük alanında Orta Tunç dönemine ait yaşam seviyesinde kapalı mekânlar içerisinde insan iskeletleri ortaya çıkmıştır. İskeletlerin konumları ve teçhizatları ile bulunmaları arkeologlar tarafından, ani bir yıkımdan kaçış sırasında öldükleri şeklinde yorumlanmıştır (Şekil 4.14). İskeletlerin üzerlerine düşmüş bloklar, böylesi bir yıkım yorumunu destekler niteliktedir (Şekil 4.14.b) (A. N. Bilgen, 2010, sözlü görüşme).

Höyükte M.Ö.1800'lerde meydana gelen büyük yıkımın ardından yaklaşık 1300 yıllık bir dönem boyunca insan yerleşimine rastlanmamaktadır. Arkeologlarla yapılan sözlü görüşmelerde, bu süreçte bölgede yerleşimin olmamasının, höyükte yaşanan büyük yıkım sonrası insanların bölgeyi terketmiş oldukları şeklinde yorumlandığı dikkati çekmektedir (G. Coşkun, 2009, sözlü görüşme). 1300 yıllık bu boşluğun ardından höyükte M.Ö. 500'lü yıllara tarihlenen Hellenistik döneme ait kalıntılar bulunmuştur. Höyükte yerleşmiş olan son uygarlık ise M.Ö. 30'lu yıllarda bölgeye gelmiş olan Romalılardır. Seyitömer Höyüğü'ndeki yaşam seviyeleri sırasıyla çizelge 6'da verilmiştir.



Şekil 4.11. Geç-Orta ve Erken Tunç dönemine ait yaşam katının hemen her yerinde gözlenebilen yangın izleri. Kırmızı çember içindeki alanlar yangına ait izlerin olduğu bölgelerden yalnızca ikisidir.



Çizelge 6. Seyitömer Höyüğü'nde tarih boyunca yaşam

Zaman	M.Ö. 30- 476	Roma Dönemi
	~M.Ö. 500-M.Ö. 30	Hellenistik Dönem
	M.Ö. 1800-M.Ö. 500	Höyükte yerleşimin olmadığı 1300 yıllık dönem
	M.Ö.2000-M.Ö. 1800	Geç-Orta Tunç Dönemi
	M.Ö.3000-M.Ö.2000	Erken Tunç Dönemi



Şekil 4.12. Geç-Orta ve Erken Tunç dönemine ait yapıların tabanlarında gözlenen dalgalanmalar



Şekil 4.13. Geç-Orta ve Erken Tunç döneminde höyük yakınlarında meydana gelen şiddetli yersarsıntılarının höyükte meydana getirdiği yönlü yıkılmalar

Höyükte hasarların gözlemlendiği yapıların yaşları her ne kadar yapıların karakteristik özelliklerine göre arkeologlarca belirlenebilmişse de bu yıkımdan ötürü hasar gördüğü tespit edilen eşyalarda OSL yaşlandırılması yapılmıştır. Bu yaşlandırmanın sonuçları Çizelge 7’de verilmiştir.

Çizelge 7. Seyitömer Höyüğü’nde şiddetli yer sarsıntısına ait verilerin gözlemlendiği seviyelerden alınan seramik örneklerine ait OSL yaşlandırılması sonuçları.

Örnek No	Yer	Yaş G.Ö. (binyıl)	Doz Gy	(n)	Hesaplanan
S1	Kütahya	3.88±0.10	12.66±0.30	13	M.Ö. 1870±100
S2	Kütahya	3.80±0.25	12.59±0.82	17	M.Ö. 1790±250
S3	Kütahya	3.93±0.12	13.03±0.36	12	M.Ö. 1920±120



Şekil 4.14.a. Höyükte Orta-Geç Tunç dönemine ait seviyede kapalı bir mekânın çıkış kapısına doğru yönelmiş insan iskeletleri. b. Bu mekanda göçük altında kalmış olan insan iskeletleri ve üzerlerine düşmüş konumda bulunan yapı taşları.

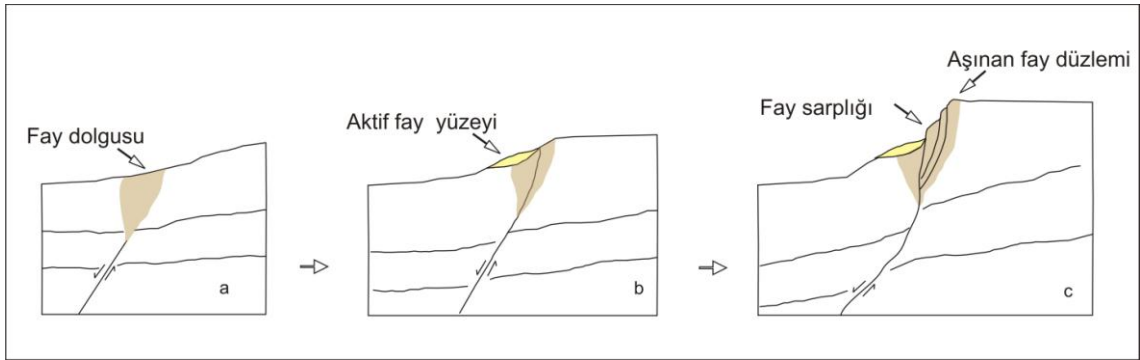
## 5. VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE YORUMLANMASI

Kütahya Havzası, güneyde ve kuzeyde belirgin çizgisellikler ile sınırlıdır (Bkz Şekil 2.1). Bu çalışma kapsamında, havzanın güneyini ve kuzeyini sınırlayan bu çizgisellikler ayrıntılı incelenmiştir. Havzanın kuzeyini sınırlayan çizgisellik, batıda Seyitömer ile doğuda Kütahya-Eskişehir karayolu arasında çok belirgindir (Şekil 3.13). Bu hat boyunca yapılan arazi çalışmaları, Pliyosen öncesi yaşlı kaya birimlerinde fayların bulunduğunu ancak bu fayların Pliyosen ve sonrası yaştaki kaya birimlerini kesmediğini ortaya koymuştur. Dolayısıyla havzanın kuzeyinde görülen bu zonun aktif olmadığı düşünülmektedir.

Kütahya Havzasının güneyini sınırlayan keskin çizgisellik ise, Pliyosen ve öncesi jeolojik birimlerin de dokanağını oluşturan eski fay düzlemleridir. Bu nedenle, bu hat boyunca aktif faylanmaya ait veriler (örneğin, Kuvaterner çökellerini kesme ilişkisi, drenaj sistemi kontrolü gibi) gözlemlenemediği için bu faylar Pliyosen öncesi faylar olarak ele alınmıştır. Genellikle fay düzlemleri ile temsil edilen havza güneyindeki bu sarplığın birkaç yüz metre kuzeyinde bulunan bir diğer morfolojik yapı ise, bu uzanımın aktif faylanma sonucu oluşmuş olabileceğini gösteren veriler sunmaktadır. Bu veriler; 1) morfolojik sarplıkların güneydeki fay düzlemlerine az çok paralel oluşları, 2) bu sarplıkların, haritaya konulduklarında belli bir doğrultu boyunca takip edilebilmeleri, 3) sarplıkların yüksekliklerinin doğrultu boyunca benzer değerlere sahip olmaları, 4) sarplıkları kesecek şekilde alınan GPR profillerinde sarplığın olduğu yerlerde derinlerde de (yaklaşık 9 metreye kadar) anomaliler elde edilmesi, 5) sarplıkları kesen rezistivite ölçümlerinde anomaliler görülmesi, 6) sarplığı kesecek şekilde açılan hendekte güncel çökelleri kesen fayların görülmesidir.

Normal faylanmanın egemen olduğu alanlarda, Hancock and Barka (1987)'nin da belirttiği gibi faylanmanın havza içine doğru ilerlediği yaygın olarak görülmektedir (Şekil 5.1). Ayrıca, 1 Ekim 1995 Dinar depreminin yüzey kırığı incelendiğinde, yüzey kırığının ana fayı takip etmediği ve ana faydan değişik mesafelerde tavan bloğunda az çok faya paralel geliştiği görülmüştür (Eyidoğan and Barka 1996, Altunel ve diğ. 1999).

Bu bilgiler doğrultusunda, Kütahya Havzası'nı sınırlayan ve fay aynaları ile temsil edilen fay zonunun aktif olmadığı, bunun kuzeyinde tavan blokta gelişmiş ve morfolojik sarplıklarla temsil edilen fay zonunun aktif olduğu söylenebilir. Bu uzanım, Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 5 km güneydoğusu ile 17 km kuzeybatısı arasında kalan alanda yaklaşık 22 km boyunca uzunlukları 2 ile 8 km arasında değişen 5 ayrı parça şeklinde haritalanmıştır (Şekil 3.27). Bu uzanımlardan şehir merkezi doğusunda kalan 5 km uzunluğundaki parça Miyosen-Kuvaterner sınırını oluşturmaktadır, şehir merkezinde ise tamamıyla güncel çökellerde gözlenmektedir. Şehir merkezinin hemen batısındaki 2.5 km'lik uzanım ise Pliyosen-Kuvaterner sınırında gözlenmektedir. Daha batıda ise sola sıçramalı olarak uzanan 3 fay ise Pliyosen birimleri içerisinde gelişmiştir. Bu 5 fay uzanımı arasındaki sıçramalar 1 km'den azdır. Dahası bu alanlarda meydana gelebilecek bir kırılma sırasında herhangi bir engelleyici etmen (basınç sırtı gibi) bulunmamaktadır. Bu sebeple haritalanabildiği 22 km'lik uzunluğu boyunca KFZ'nun tamamını kırabilecek bir depremin 7 büyüklüğünde olabileceği ve 1 metreden fazla ötelenme meydana getirebileceği söylenebilir (McCalpin, 1996).



Şekil 5.1. Hancock and Barka (1987)'ya göre a, b, c kesitleri sırasıyla normal fayların havza içlerine doğru ilerlediklerini gösteren kesit.

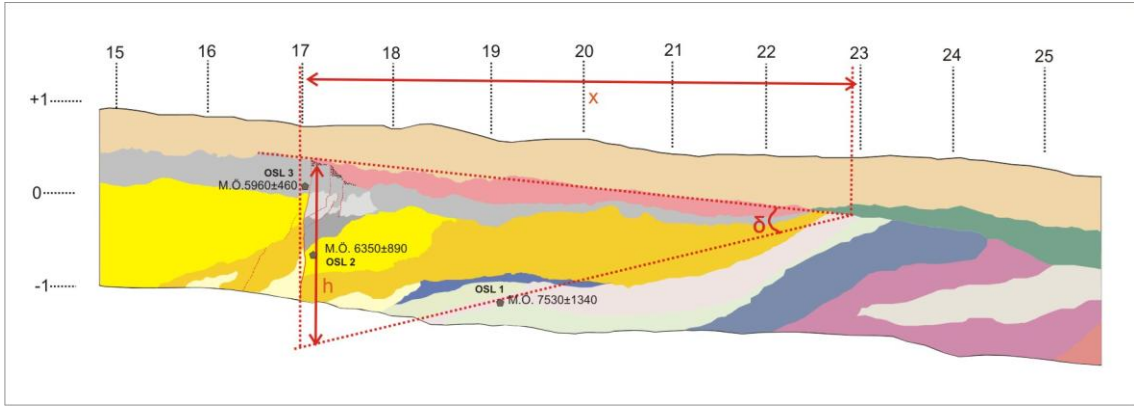
Çalışma alanında haritalanan fay uzanımı üzerinde Okçu yakınlarında paleosismolojik amaçlı bir hendek kazısı yapılmıştır (Şekil 2.1). Hendek logu incelendiğinde (Şekil 3.50), hendekte görülen birimleri etkileyen en az iki adet yüzey kırığı oluşturan depremin meydana geldiği söylenebilir. Aynı kırık boyunca hendek

tabanından itibaren 3 sedimanter birimde (kırmızı kumlu kil, çakıllı-killi yeşil silt ve altere sarı silt) yaklaşık 60 cm, bunların üzerlerine gelen bir birimde (kum arakatkılı çakıl birimi) ise en az 30 cm düşey yerdeğiştirme gözlenmektedir. Genç birimdeki daha düşük yerdeğiştirme miktarı bu fay kolu üzerinde en az iki ayrı olayın varlığını göstermektedir (Şekil 3.52).

Faylanmaların yaşlarını tayin edebilmek amacıyla 3 farklı seviyeden OSL numuneleri alınmıştır. Örneklerin alındıkları seviyeler arasındaki alt-üst ilişkisi yaş analizi sonuçlarını doğrular niteliktedir (Şekil 5.2) (Bkz. Çizelge 5). Muhtemel iki olaydan ilki altere sarı silt biriminin çökmesi sonrasında meydana gelmiştir. Bu birimin üst seviyelerinden alınan OSL 2 örneği (M.Ö. 6350±890) günümüzden yaklaşık 8000 yıl önce meydana gelmiş bir depremin alt sınırını vermektedir. Bu birim üzerinde çökelen ve göreceli olarak daha az bir yerdeğiştirme sergileyen kum arakatkılı çakıl birimi ise, çökelişi sonrasında meydana gelen muhtemel bir diğer depremin alt sınırını vermektedir. Bu birim içerisinden alınan OSL 3 örneği (M.Ö. 5960±460) ise bu depremin M.Ö. 5000 yılından sonra meydana geldiğini göstermektedir. Bununla birlikte, kum arakatkılı çakıl biriminin üst sınırı bir aşınma düzlemi görüntüsü sunmaktadır. Bu durum daha genç depremin OSL 3 örneğinden çok daha sonra gerçekleşmiş olabileceğinin bir göstergesi olarak yorumlanmıştır.

OSL 1 örneği fayın kuzeyinde, yani tavan blok kesiminde gözlenen güneye doğru 5° ile 20° eğimlere sahip birimlerden alınmıştır (Şekil 3.50 ve 3.51b). Bu örneğe ait yaş sonuçları güvenilir olmamakla birlikte (M.Ö. 7530±1340) fay kinematığı açısından önemlidir. Hendek tabanına yakın birimlerin faya doğru eğimli olmaları, birimlerin orjinal konumlarının değiştiğinin göstergesidir çünkü bu tür bir ortamda birimlerin yamaç eğimine az çok paralel çökelmeleri beklenir. Birimlerin güneye doğru eğimli olmaları muhtemelen fayın aktivitesine bağlıdır ve bugünkü eğimi kazanabilmeleri için fay düzlemi üzerinde yaklaşık 2 metrelik bir düşey yerdeğiştirme meydana gelmiş olması gerekmektedir (Şekil 5.2). Güneye eğimli birimlerin yaşı yaklaşık 9540 yıldır (OSL 1). Bu süreçte meydana gelen 2 metrelik yerdeğiştirme bu fay üzerinde yıllık en az 0.2 mm düşey kayma hareketinin varlığını ortaya koymaktadır. OSL 2 ve OSL 3 örnekleriyle yaşlandırılan iki ayrı faylanma ve bunlara ait

yerdeřtirmeler ile birlikte dűřünűldűęunde, eęimlenmiř birimlerden elde edilen yař- yerdeřtirme oranı her ne kadar uyumlu gűzűkme de, analiz sonuęlarındaki hata oranı ile birlikte dűřünűldűęunde sonuęlar gűrece daha uyumlu gűrűlmektedir.



şekil 5.2. OSL 1 ۆrneęinin alındığı birim ile morfololojinin genel eğimi arasındaki  $\delta$  ağısı ortalama  $20^\circ$  dir.  $\delta$  ağısından yararlanılarak h ile gűsterilen dűřey yerdeştirme miktarı yaklaşık 2 metre olarak hesaplanmıştır.

KFZ, oluřturduęu uygun morfoloji ile gűnűműzde olduęu gibi tarihte de Batı Anadolu ve İę Anadolu bűlgeleri arasında geęiř gűzergahı oluřturmuřtur. Bűlgede su kaynaklarının varlıęı ve tarıma elveriřli topraklar sebebiyle yerleřik yařam tarihinin M.Ö. 3000'li yıllara kadar uzandıęı bilinmektedir (Bilgen, 2009). Yerleřik hayatın bu denli eskiye uzanmasına raęmen bűlgede sismolojik olayların gűvenilir olarak kaydedilmesine ancak Roma dűneminde bařlanılmıřtır. Çalıřma kapsamında incelenen tarihsel kaynaklara gűre son iki bin yılda Kűtahya civarında meydana geldięi belirtilen 7 adet tarihsel deprem tespit edilmiřtir (izelge 1). Kűtahya řehir merkezinde yapılan arkeosismolojik gűzlemlerde bu dűnem ięerisindeki muhtemel deprem hasarlarının izlerini koruyarak gűnűműze aktarabilecek herhangi bir antik yerleřime rastlanılamamıřtır. Bununla birlikte, bűlgede Roma dűneminden bu yana Bizans, Selęuklu ve Osmanlı dűnemlerinde de kullanıldıęı bilinen Kűtahya kalesinde çok sayıda

onarım izi dikkati çekmektedir. Bunun yanı sıra Kütahya şehir merkezinde bulunan tarihi cami, türbe ve hamamlarda da birçok onarım izleri mevcuttur. Şehirde bulunan eski yapılarda görülen onarımlar, zamanlarına göre bir çizelgeye konulduğunda, belirli dönemlerde herhangi bir yoğunlaşmanın olmadığı, tamiratların zaman içinde dağılım gösterdiği görülmektedir (Çizelge 8). Bu durum, eski yapılarda görülen onarımların belirli bir tektonik olay ile ilişkilendirilemeyeceğini göstermektedir. Bu hasarlar uzak kaynaklı depremlerin sarsıntıları sonucu oluşmuş olabileceği gibi savaş, yangın vb. olayların sonucu da olabilir.

Çizelge 8. Kütahya şehir merkezinde gözlenen tarihi yapılardaki onarım tarihleri çizelgesi.

<u>Tadilat Tarihi</u>	<u>Yapı</u>
1893	Ulu Camii
1848	Küçük Hamam
1834	Takvacılar Camii
1761	Takvacılar Camii
1520-1566	Ulu Camii
1450-1480	Kütahya Kalesi
M.S. 14. yy	Kütahya Kalesi
M..S.12.yy	Kütahya Kalesi
M.S. 9. yy	Kütahya Kalesi

Çalışma alanı çevresinde Roma dönemi öncesine ait en önemli yerleşik yaşam kalıntıları ise höyüklerdir. Bu yerleşimlerin en önemlilerinden ve günümüzde üzerinde kazıların devam ettiği tek höyük olan Seyitömer Höyüğü de KFZ'na yaklaşık 25 km

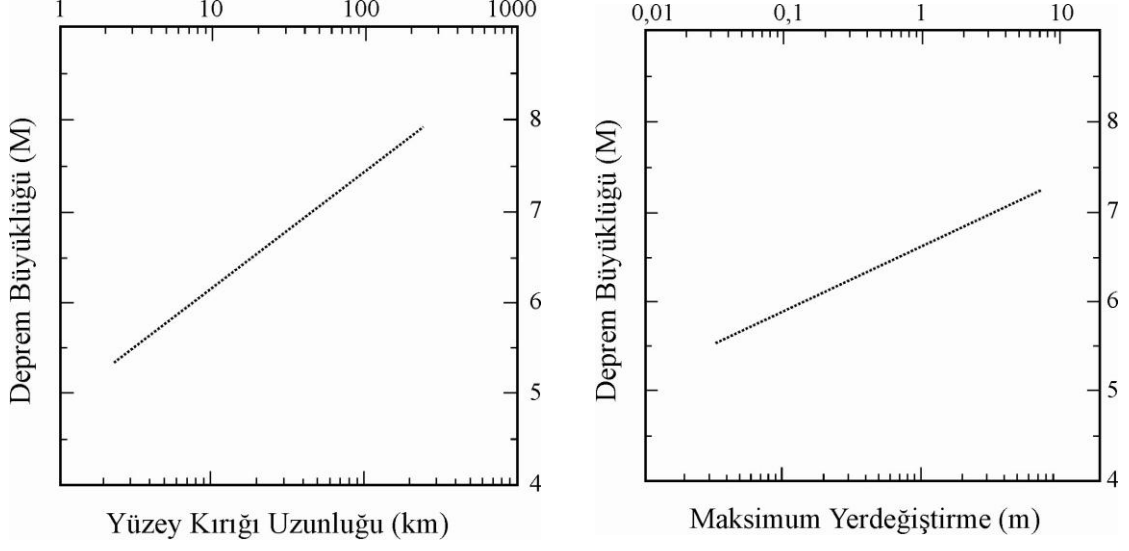


mesafede bulunmakta ve tarihsel depremlere ait önemli izler içermektedir. Sürdürülen kazılar höyükteki ilk yerleşimin Erken Tunç dönemine (M.Ö. 3000'li yıllar) kadar uzandığını göstermektedir. Orta ve Geç Tunç döneminde de devam eden höyük yaşamı bu dönem sonlarında aniden kesilmektedir. Bu dönem kalıntılarının izlendiği yaşam katında yapılan gözlemler yönlü olarak domino türü devrilmiş bloklar, zeminlerde yamulmalar, yıkıntı altında kalmış insan iskeletleri ve yangın seviyelerine ait izler içermektedir. Büyük bir depreme işaret eden bu izlerin gözlemlendiği yaşam seviyesinde höyük terk edilmiş ve sonrasında Helenistik dönem başlarına kadar herhangi bir yerleşim olmamıştır.

Höyükte Orta-Geç Tunç dönemlerine ait yaşam katlarında gözlenen ve tarihsel bir depreme ait olabileceği düşünülen hasarların bulunduğu seviyede farklı noktalardan alınan seramik örnekleri OSL yaşlandırma yöntemi ile analiz edilmiştir (Bkz. Çizelge 7). Bu analizler hasarların M.Ö. 1800'lü yıllarda meydana geldiğini göstermektedir.

Bu çalışma kapsamında yapılan paleosismolojik çalışmalar değerlendirildiğinde KFZ üzerinde son 8000 yıl içinde iki adet depremin varlığını ortaya koymaktadır. Bu depremlerden ilki günümüzden yaklaşık 8000 yıl önce, ikincisi ise M.Ö. 5000 yılından sonra meydana gelmiştir. Mevcut paleosismolojik veriler KFZ üzerinde meydana gelen en son depremin M.Ö. 5000 yılından sonra meydana geldiğini ortaya koymasına rağmen depremin kesin yaşı hakkında bilgi vermekte yetersiz kalmaktadır. Bununla birlikte, yaşlandırılan birimin üst seviyesinin aşınmış olması, depremin daha sonraki zamanlarda meydana geldiğini göstermektedir. Dolayısıyla, hendek duvarında görülen M.S. 5000 yılından sonraki faylanma, muhtemelen Seyitömer Höyüğü'nü M.Ö. 1800'lü yıllarda yıkan depremin yüzey kırığıdır.

Yapılan paleosismolojik çalışmalarda, geriye doğru eğimlenmiş birimlerden, yıllık yaklaşık 0.2 mm düşey yerdeğiştirme hızı hesaplanmıştır. Hendeklerde gözlenen her bir depremdeki yerdeğiştirme miktarı (yaklaşık 30 cm) ve arazide haritalanan toplam aktif fay uzunluğu (22 km) bir arada düşünüldüğünde, Wells and Coppersmith (1994) tarafından hazırlanan diagramlara göre (Şekil 5.3.a,b), KFZ'nun 6.5-7 büyüklüğünde deprem üretme potansiyeli bulunmaktadır.



Şekil 5.3.a. Deprem büyüklüğü-Yüzey kırığı uzunluğu arasındaki ilişkiyi gösteren diyagram, b. Maksimum yerdeğiştirme-Deprem büyüklüğü arasındaki ilişkiyi gösteren diyagram (Wells and Coppersmith 1994 )

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

KFZ, Batı Anadolu açılma bölgesinin kuzeydoğusunda yer alan ve yaklaşık BKB-DGD doğrultusunda belirgin bir morfoloji sunan Kütahya Havzası'nın güneyini sınırlamaktadır. Havzanın güneyinde birbirine az çok paralel uzanan faylar bölgede temel kayalar ile Pliyosen yaşlı çökeller arasındaki sınırı oluşturmakta ve fay düzlemleri ana kaya içinde belirgin şekilde görülmektedir. Bu hat boyunca aktif faylanmaya ait veriler (örneğin, Kuvaterner çökellerini kesme ilişkisi, drenaj sistemi kontrolü gibi) gözlemlenemediği için bu faylar Pliyosen öncesi faylar olarak ele alınmıştır. Bu zon aktivitesini birkaç yüz metre kuzeyinde tavan blok üzerinde gelişmiş ve morfolojik sarplıklarla temsil edilen uzanım boyunca devam ettirmektedir. Bu bölgede Kütahya şehir merkezinden geçen fay, yaklaşık BKB doğrultusunda en az 22 km devam ettiğini gösteren yüzey verileri sunmaktadır. Doğuda Ağaçoğ köyü yakınlarından, batıda Karaağaç köyü yakınlarına kadar uzanan fayın varlığı jeolojik, jeomorfolojik, jeofizik, arkeosismolojik ve paleosismolojik verilerle ortaya konulmuştur.

Bu veriler ışığında yaklaşık 22 km uzunlukta 5 ayrı parça şeklinde KFZ'nun günümüzde aktif olan kolları haritalanmıştır. Günümüzde aktif olan bu kollardan birinin üzerinde açılan hendekte güncel çökelleri kesen fay ve bu fay üzerinde meydana gelen en az 2 adet deprem tespit edilmiştir. Hendekten alınan örnekler yaşlandırılarak bu iki depremin ilkinin M.Ö. 6000'li yıllarda ikincisinin ise M.Ö. 5000 yılından sonra meydana gelmiş olduğu tespit edilmiştir. Hendekte gözlenen birimlerin eğimleri ile yaşlarının karşılaştırılması sonucunda ise KFZ'nun yıllık düşey yerdeğiştirme miktarı 0.2 mm/yıl olarak hesaplanmıştır. Ayrıca KFZ'nun günümüzde aktif olan kolunun uzunluğu ve hendekte gözlenen birimlerin yerdeğiştirme miktarlarından yararlanarak KFZ üzerinde yaklaşık 7 büyüklüğünde bir depremin meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

KFZ, oluşturduğu uygun morfoloji ile günümüzde olduğu gibi tarihte de Batı Anadolu ve İç Anadolu bölgeleri arasında geçiş güzergahı oluşturmuştur. Kütahya şehir merkezinde bulunan tarihi cami, türbe ve hamamlarda da birçok tadilat izleri mevcuttur.

Şehirde bulunan eski yapılarda görülen onarımlar, zamanlarına göre bir çizelgeye konulduğunda, belirli dönemlerde herhangi bir yoğunlaşmanın olmadığı, tamiratların zaman içinde dağılım gösterdiği görülmektedir (Çizelge 8). Bu durum, eski yapılarda görülen onarımların belirli bir tektonik olay ile ilişkilendirilemeyeceğini göstermektedir. Çalışma alanı çevresinde Roma dönemi öncesine ait en önemli yerleşik yaşam kalıntıları ise höyüklerdir. Bu yerleşimlerin en önemlilerinden ve günümüzde üzerinde kazıların devam ettiği tek höyük olan Seyitömer Höyüğü de KFZ'na yaklaşık 25 km mesafede bulunmakta ve tarihsel depremlere ait önemli izler içermektedir. Höyükteki ilk yerleşimin Erken Tunç dönemine (M.Ö. 3000'li yıllar) kadar uzandığı bilinmektedir. Orta ve Geç Tunç döneminde de devam eden höyük yaşamı bu dönem sonlarında aniden kesilmektedir. Bu dönem kalıntılarının izlendiği yaşam katında yapılan gözlemlerde yıkıcı büyüklükte bir depreme ait izler tespit edilmiştir. Büyük bir depremi işaret eden bu izlerin gözlemlendiği yaşam seviyesinde höyük terk edilmiş ve sonrasında Helenistik dönem başlarına kadar herhangi bir yerleşim olmamıştır. Höyükte Orta-Geç Tunç dönemlerine ait yaşam katlarında gözlenen ve tarihsel bir depreme ait olabileceği düşünülen hasarların bulunduğu seviyede farklı noktalardan alınan seramik örnekleri OSL yaşlandırma yöntemi ile analiz edilmiştir. Bu analizler hasarların M.Ö. 1800'lü yıllarda meydana geldiğini göstermektedir.

Mevcut paleosismolojik veriler, KFZ üzerinde meydana gelen en son depremin M.Ö. 5000 yılından sonra meydana geldiğini ortaya koymasına rağmen depremin kesin yaşı hakkında bilgi vermekte yetersiz kalmaktadır. Bununla birlikte, yaşlandırılan birimin üst seviyesinin aşınmış olması, depremin yaşlandırılan seviyenin çökmesinden çok daha sonraki zamanlarda meydana geldiğini göstermektedir. Dolayısıyla, hendek duvarında görülen M.Ö. 5000 yılından sonraki faylanma muhtemelen Seyitömer Höyüğü'nü M.Ö. 1800'lü yıllarda yıkan depremin yüzey kırığıdır.

Bu çalışmada elde edilen veriler ile KFZ'nun geçmiş dönem ve günümüzdeki aktivitesi ortaya konulmuş ve KFZ'nun yüzey kırığı yaratabilecek büyüklükte deprem üretebileceği tespit edilmiştir. Çalışma dönemindeki imkanlar doğrultusunda yapılan paleosismoloji sonuçları çok genel bilgiler vermiştir. Bu zon üzerinde daha hassas yaşlandırma çalışmalarına ihtiyaç vardır. Böylece KFZ üzerinde geçmişte meydana

gelen yıkıcı depremlerin kesin oluş zamanları ve periyotları tespit edilebilir. Bu bilgilerin elde edilmesi, Kütahya şehir merkezinden geçtiği düşünülen fay üzerinde meydana gelebilecek büyük bir depremin vereceği hasarı en aza indirmeye yardımcı olacaktır.

## 7. KAYNAKLAR

- Akkuş, M., 1962, Kütahya-Gediz arasındaki bölgenin jeolojisi, M.T.A. Dergisi, 58, 21-30.
- Akurgal, E., 1997, Anadolu Kültür Tarihi, Tübitak yayınları, 414 s.
- Alçıçek, M. C., Kazancı, N. and Özkul, M., 2005, Multiple rifting pulses and sedimentation pattern in the Çameli Basin, southwestern Anatolia, Turkey, *Sedimentary Geology*, 173, 409–431.
- Altunel, E., Barka, A. and Akyüz, S., 1999, Paleoseismicity of the Dinar Fault, SW Turkey, *TerraNova*, 11, 297-302.
- Altunel, E., 1997, Pamukkale (Hierapolis)'de arkeologlar tarafından yanlış yorumlanan jeolojik yapılar: kendiliğinden oluşan kanal travertenler ve sırt tipi travertenler, *Jeoloji Mühendisliği*, 49, 35-40.
- Altunel, E., Meghraoui, M., Karabacak, V., Akyüz, H. S., Ferry, M., Yalçınar, C. Ç. and Munsch, M., 2009, Archeological sites (tell & road) offset by the Dead Sea Fault in the Amik Basin, Southern Turkey, *Geophys. J. Int.*, 179, 1313-1329 p.
- Ambraseys, N. N., 1989, Temporary Seismic Quiescence: SE Turkey, *Geophysical Journal*, 96, 311-331 p.
- Ambraseys, N. N. and Finkel, C. F., 1995, The seismicity of Turkey and adjacent areas: a historical review, 1500-1800, Eren Yayıncılık, İstanbul, 240 p.

Ambraseys, N. N. and Jackson, J. A., 1998, Faulting associated with historical and recent earthquakes in the Eastern Mediterranean region, *Geophys. J. Int.*, 133, 390-406 p.

Angelier, J., Dumont, J. F., Karamenderesi, H., Poisson, A., Şimsek, S. and Uysal, S., 1981, Analyses of fault mechanisms and expansion of southwestern Anatolia since the late Miocene, *Tectonophysics*, 75, 1-9 p.

ASTER Global Digital Elevation Model (ASTER GDEM) sayısal yükseklik verileri, <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/>

Bacak, G. ve Uz, B., 2003, Dağardı Güneyi (Tavşanlı-Kütahya) Ofiyoliti'nin jeolojisi ve jeokimyasal özellikleri, *İ.T.Ü. Dergisi*, Ağustos sayısı, 86-99.

Barka, A. and Reilinger, R., 1997, Active tectonics of the Eastern Mediterranean region: deduced from GPS, neotectonic and seismicity data, *Annali di Geofisica*, 40, 587-610.

Baş, H., 1986, Domaniç-Tavşanlı-Gediz-Kütahya yörelerinin Tersiyer jeolojisi, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 27, 11-18.

Bilgen, A. N., 2007, Seyitömer Höyüğü 2007 Yılı Kazısı Raporu.

Bilgen, A. N., 2009, 2. Arkeoloji Sempozyumu Bildiri Özleri Kitabı, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, 1-2s.

Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi,  
[www.koeri.boun.edu.tr/scripts/sondepremler.asp](http://www.koeri.boun.edu.tr/scripts/sondepremler.asp)

Bozkurt, E., 2001, Neotectonics of Turkey – a synthesis, *Geodinamica Acta*, 14, 3-30.

Bozkurt, E., 2003, Origin of NE-trending basins in western Turkey, *Geodinamica Acta*, 16, 61-81.

Burbank, D. W. and Anderson, R. S., 2001, *Tectonic Geomorphology*, Blackwell Science, 274 p.

Calvi, V. S., 1941, Erdbeben katalog der Turkei und Einiger Benaehbarter Gebiete.(yayımlanmamış), Rapor No.276, MTA Enstitüsü,1941,Ankara.

Cohen, H. A., Dart, C. J., Akyüz, H. S., and Barka, A., 1995, Syn-rift sedimentation and structural development of the Gediz and Büyük Menderes graben, Western Turkey, *Journal of the Earth Society*, London, Vol.152, pp. 629-638.

Çağlar, İ., 2007, Maden Aramada Jeofizik Kullanımı ve Yöntemleri, Maden aramada modern teknikler, Maden aramalarında bilgisayar kullanımı ve sondajcılıkta yeni gelişmeler eğitim semineri, Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı Seminerler Dizisi,Eğitim Notları Kitabı, İ.T.Ü. Vakfı Maçka Sosyal Tesisleri,İstanbul, 18 s.

Deprem Dairesi Başkanlığı, [www.depremler.org](http://www.depremler.org)

Dewey, J. F. and Şengör, A. M. C., 1979, Aegean ve surrounding regions: complex multiplate ve continuum tectonics in a convergent zone, *Geological Society of America Bulletin*, 90, 84-92.



Dumont, J. F., Uysal, S., Şimsek, S., Karamanderesi, H. and Letouzey, J., 1979, Formation of the Grabens in southwestern Anatolia, Bull. Min. Res. Explor. Ins. Turk., 92, 7-18 p.

DSİ, 1981, 1/100000 ölçekli Kütahya ve Köprüören Ovaları Hidrojeoloji haritaları

Ekercin, S. ve Üstün, B., 2004, Uzaktan Algılamada Yeni Bir Teknoloji: Lidar, Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 2004/91.

Ergin, K., Güçlü, U. ve Uz, Z., 1967, Türkiye ve civarının deprem kataloğu (MS 11 yılından 1964 sonuna kadar) (Earthquake catalogue of Turkey and surroundings from AD 11 to 1964), ITU Maden Fakültesi, Arz Fizigi Enstitüsü Yayınları, No: 24.

Eyidoğan, H. and Barka, A., 1996, The 1 October 1995 Dinar earthquake, SW Turkey, Terra Nova 8, 479-485.

Ferry, M., Meghraoui, M., Girard, J. F., Rockwell, T. K., Kozacı, Ö., Akyüz, H. S. and Barka, A., 2004, Ground-Penetrating radar investigations along the North Anatolian fault near Izmit, Turkey: Constraints on the right-lateral movement and slip history, Geological Society of America, 32, 1, 85-88.

Google Earth uydu görüntüleri, <http://earth.google.com/index.html>

Guidoboni, E., Comastri, A. and Traina, G., 1994, Catalogue of ancient earthquakes in the Mediterranean area up to the 10th century, ING-SGA, Bologna.

Gürer, Ö. F., Özburan, M., Sangu, E. ve Doğan, B., 2005, Kütahya Dolayının Neotetonik İncelenmesi BAPB-Proje No: 2005/14.

- Hancock, P. L., 1987, Neotectonic fractures formed during extension at shallow crustal depths, *Memoir of the Geol. Soc. of China*, 9, 201-226.
- Hancock, P. L. and Barka, A., 1987, Kinematic indicators on active normal faults in western Turkey, *Journ. Struc. Geol.*, 9, 573-584.
- Hempton, M. R., 1987, Constraints on Arabian plate motion and extensional history of the Red Sea, *Tectonics*, 6, 687-705.
- Jackson, J. and McKenzie, D., 1983, The geometrical evolution of normal fault systems, *Journal of Structural Geology*, Vol. 5, No. 5, pp. 471-482.
- Kalafatçıoğlu, A., 1964, Balıkesir Kütahya arasındaki bölgenin jeolojisi, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 9/1-2, 46-62.
- Kaptan, E., 1982, Türkiye Madencilik tarihine ait Kütahya-Gümüşköy ve yöresini kapsayan buluntular, *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Derg. No: 97/98*, s.140-147, Ankara.
- Karabacak, V., Yönlü, Ö., Altunel, E., Dökü, E., Özüdoğru, Ş., Altınok, S. ve Yalçınar, C.Ç., 2008, Cibyra antik kentinde (Güneybatı Anadolu) arkeosismolojik ve jeomorfolojik gözlemler: Bölgenin aktif tektoniğine ait yeni veriler, ATAG-12 (Aktif Tektonik Araştırma Grubu 12. Çalıştayı) Bildiri Özleri Kitabı, MTA, Düzce.
- Karnik, V., 1971, *Seismicity of the European Area 2.D.* Rediel Publishing Company, Dordrecht, Holland.

Kartalkanat, A., 2008, Anadolu'da Madencilik Tarihçesi; Kütahya-Gümüşköy'de 2500 yıldır süren Madencilik Çalışmaları, Maden Tetkik Arama Dergisi, Sayı:137, 91-97.

Kayen, R., 2004, Ground-Based LIDAR, GEER, 10-07-2004 Meeting.

Keller, E. A. and Pinter, N., 1996, Active Tectonics, Prentice Hall, 338 p.

Ketin, İ., 1968, Türkiye'nin genel tektonik durumu ve başlıca deprem bölgeleri arasındaki ilişkiler. *M.T.A. Enst. Dergi* no. 71, s. 129-134, Ankara.

Koçyiğit, A. ve Bozkurt, E., 1997, Kütahya-Tavşanlı Çöküntü Alanının Neotektonik Özellikleri, TUBİTAK Araştırma Projesi, No: YDABÇAG-126, 78s.

Koçyiğit, A., Yusufoglu, H. and Bozkurt, E., 1999, Evidence from the Gediz graben for episodic two-stage extension in Western Turkey, *Journal of the Geological Society*; London, 156,60541 6.

Kütahya ili ve tarihi, [http://kutahya\\_net.tripod.com/EserOsmanli.htm](http://kutahya_net.tripod.com/EserOsmanli.htm)

Le Pichon, X. and Angelier, J., 1979, The Aegean arc and trench system: a key to the neotectonic evolution of the eastern Mediterranean area, *Tectonophysics*, 60, 1–42.

Le Pichon, X. and Gaulier, J. M., 1988, The rotation of Arabia and the Levant fault system, *Tectonophysics*, 153, 271-294.

McCalpin, J. P., 1996, Paleoseismology, volume 62 in the International Geophysics Series: Academic Press, New York, 588 p.

- McKenzie, D. P., 1972, Active tectonics of the Mediterranean region, *Geophys. J. Royal Astron. Soc.*, 30, 109–185.
- MTA, 2002, 1/500000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası, İzmir ve Ankara paftaları.
- Nagihara, S., 2006, Use of Ground-Based LIDAR in Geomorphic and Surface Stratigraphic Studies, GCAGS /GCSSEPM, September 25 - 27, Lafayette.
- Niemi, T. M., Kayen, R., Zhang, H., Dunn, C. R. and Doolin, D. M., 2004, LIDAR Imagery of the San Andreas Fault Zone at the Vedanta and Olema Ridge Paleoseismic Trench Sites, Pt. Reyes, CA, AGU Fall Meeting.
- Öcal, N., 1968, Türkiyenin Sismisitesi ve Zelzele Coğrafyası , 1850-1960 Yılları İçin Zelzele Katalogu Kandilli Rasathanesi Yayınları No:8, İstanbul.
- Pantosti, D. and Yeats, R. S., 1993, Paleoseismology of great earthquakes of the late Holocene, *Annali Di Geofisica*, 36, 3-4, 237-257.
- Paton, S., 1992, Active normal faulting, drainage patterns and sedimentation in southwestern Turkey, *Journal of the Geological Society, London*, Vol. 149, pp. 1031-1044.
- Pınar, N. ve Lahn, E., 1952, Türkiye Depremleri İzahli katalogu, T.C. Bayındırlık Bak. Yapı ve İmar İş. Reis. Y. Seri 6, Sayı 36.
- Pilz, R., 1937, Şaphane, Muratdağ ve Eğrigöz dağ mıntıklarındaki müteaddit maden yataklarında yapılan istikşaf lar hakkında iptidai rapor, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü. Rapor No: 641 (yayımlanmamış) s.15, Ankara.

- Pinter, N. and Keller, E. A., 1995, Geomorphological analysis of neotectonic deformation, northern Owens Valley, California, *Geol Rundsch*, 84:201-212.
- Plassard, J. et Kogoj, B., 1968, Catalogue des Seismes Recents a Liban. *Ann. Memoires de l'Observ. de Xsara. Tome IV, Cahier 1.*
- Saltuk, S., 1993, *Arkeoloji Sözlüğü, İnkılap Kitabevi, İstanbul*, 316 s.
- Seyitoğlu, G. and Scott, B. C., 1991, Late Cenozoic extension and basin formation in West Turkey, *Geological Magazine*, 128, 155-166.
- Seyitoğlu, G. and Scott, B. C., 1992, The age of Büyük Menderes Graben (West Turkey) and its tectonic implications, *Geological Magazine*, 129, 239-242.
- Slater, L. and Niemi, T. M., 2003, Ground-penetrating radar investigation of active faults along the Dead Sea Transform and implications for seismic hazards within the city of Aqaba, Jordan, *Tectonophysics*, 368, 33– 50.
- Smilox-Tohon, D., Sintubin, M., Muchez, P., Verhaert, G., Vanneste, K., Fernandez, M., Vandycke, S., Vanhaverbeke, H., Waelkens, M., 2006, The identification of an active fault by a multidisciplinary study at the archaeological site of Sagalassos (SW Turkey), *Tectonophysics*, 420 (2006) 371–387.
- Stewart, I. S. and Hancock, P. L., 1994, Neotectonics, Hancock, P., L. ed., *Continental Deformation*, Pergamon Press, 370-411.

- Stiros, S. and Jones, R. E., 1996, *Archaeoseismology*, The Short Run Press, Great Britain, 268 p.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö. ve Boray, A., 1987, Türkiye'nin Diri Fayları ve Depremsellikleri :MTA yayınları 394 s.(yayınlanmamış)
- Şaroğlu, F., Emre, Ö. ve Kuşçu, İ., 1992, Türkiye diri fay haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi.
- Şengör, A. M. C., 1980, Türkiye'nin neotektoniğinin esasları, TJK. Konf. Ser. no: 2, 40 s.
- Şengör, A. M. C. and Yılmaz, Y., 1981, Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach, *Tectonophysics*, 75, 181–241.
- 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, in *Strike-slip Faulting and Basin Formation*, edited by Biddke, K.T. and Christie-Blick, N., Society of Econ. Paleont. Min. Sp. Publ., 227-264.
- Şengör, A. M. C., 1987, Cross-fault and differential stretching of hanging walls in regions of low-angle normal faulting: examples from western Turkey, *Continental extensional tectonics*, M.P. Coward, J.F. Dewey, P.L. Hancock, (Eds.), Geological Society Special Publication, 28, 575-589.
- Tabban, A., 1980, Kentlerin Jeolojisi ve Deprem Durumu, İmar ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Yayınları.

Wells, D. L., and 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, Vol.84, No. 4, pp.974-1002.

Vita-Finzi, C., 1986, Recent earth movements: an introduction to neotectonics, Academic press, London, 226 p.

Yalçınar, Ç., Altunel, E., Karabacak, V. ve Akyüz, S., 2004, Arkeosismoloji Çalışmalarında GPR Yönteminin Kullanımı, ATAG-8 (Aktif Tektonik Araştırma Grubu 8. Toplantısı) Bildiri Özleri Kitabı, Fırat Ü., Elazığ.

Yalçınar, Ç., Ferry, M., Altunel, E., Karabacak, V. ve Akyüz, S., 2005, Aktif Tektonik Çalışmalarında GPR Yönteminin Kullanımı, Türkiye Kuvaterner Sempozyumu ve Bildiri Özleri Kitabı, İTÜ, İstanbul.

Yalçınar, C. Ç., Bano, M., Kadioğlu, M., Karabacak, V., Meghraoui, M., Altunel, E., 2009, New temple discovery at the archaeological site of Nysa (western turkey) using GPR method, Journal of Archaeological Science, 36 (2009) 1680-1689.

Yiğitgüden, H. Y. ve Friedrich, G., 1981, Gümüşköy madeninin tarihçesi, Etibank Bülteni, 31, 4, Ankara.

Yıldız, A., Kuşçu, M., 2006, Başören (Kütahya) bentonit yataklarının jeokimyasal özellikleri, Kibited, 1/1, 27-41.

Yılmaz, Y., Genç, S. C., Gürer, F., Bozcu, M., Yılmaz, K., Karacık, Z., Altunkaynak, S. and Elmas, A., 2000, When did the Anatolian grabens begin to develop, Geological Society, London, 173, 353-384.