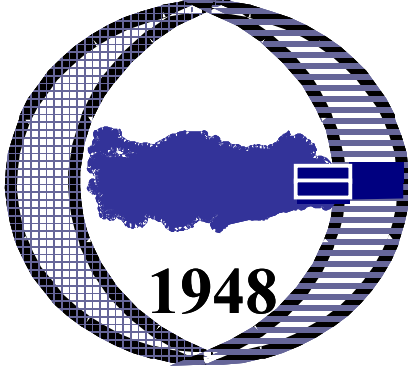




**TÜRKİYE ULUSAL JEODEZİ VE
JEOFİZİK BİRLİĞİ (TUJJB)**

**TURKISH NATIONAL UNION OF
GEODESY AND GEOPHYSICS
(TNUGG)**

**SAPANCA GÖLÜNÜN AYRINTILI
BATİMETRİSİ, GENÇ ÇÖKEL İSTİFİ,
AKTİF YAPISAL UNSURLARI
VASITASIYLA YAKIN BÖLGESİNİN
SİSMOJENİK DAVRANIŞININ
İNCELENMESİ**

PROJE NO: TUJJB-UDP-03-10

TUJJB Ulusal Deprem Programı

National Earthquake Program of TNUGG

**SAPANCA GÖLÜNÜN AYRINTILI BATİMETRİSİ,
GENÇ ÇÖKEL İSTİFİ, AKTİF YAPISAL
UNSURLARI VASITASIYLA YAKIN BÖLGESİNİN
SİSMOJENİK DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

PROJE NO: TUJJB-UDP-03-10

PROF. DR. LEVENT GÜLEN, SAÜ
PROF. DR. EMİN DEMİRBAĞ, İTÜ
PROF. DR. NAMIK ÇAĞATAY, İTÜ
PROF. DR. MURAT UTKUCU, SAÜ
ARŞ. GÖR. ERAY YILDIRIM, SAÜ
ARŞ. GÖR. HİLAL YALÇIN, SAÜ
ARŞ. GÖR. BURAK YALAMAZ, İTÜ

NİSAN 2014
SAKARYA

ÖNSÖZ

Marmara bölgesindeki en önemli kaygılardan biri deprem tehlikesidir. Günümüzde bölgenin daha yoğun nüfusa ve ekonomik olarak önemli sanayi alt yapısına sahip olmasından dolayı bu risk günümüzde çok daha büyüktür. Gerek tarihsel ve gerekse güncel deprem verileriyle kanıtlanmış olduğu gibi Marmara bölgesinin depremselliği çok yüksektir. Sapanca Gölü Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde yer almakta olup, 17 Ağustos 1999 İzmit Depremi fay kırığı Sapanca Gölünü boydan boya katederek geçmiştir. Hernekadar İzmit Depremi sonrası yapılan çalışmalarla fay zonu ve kırığı karada detaylı olarak haritalanmış ise de, Sapanca Gölü içindeki kısım değişik yorumlara açık kalmıştır.

TUJJB-UDP-03-10 numaralı ve ‘**Sapanca Gölünün Ayrıntılı Batimetrisi, Genç Çökel İstifi, Aktif Yapısal Unsurları Vasıtasıyla Yakın Bölgesinin Sismojenik Davranışının İncelenmesi**’ isimli proje Sakarya Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü ile İstanbul Teknik Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü ve EMCOL Merkezi Laboratuvarı öğretim üyelerinin işbirliği ile gerçekleştirilmiş olup, **Türkiye Ulusal Jeodezi ve Jeofizik Birliği (TUJJB)** tarafından desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	1
İÇİNDEKİLER.....	2
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	4
TABLolar LİSTESİ	8
ÖZET.....	9
ABSTRACT	10
1. GİRİŞ	11
2. SAPANCA GÖLÜNÜN BATİMETRİSİ:	12
3.BÖLGESEL JEOLojİ ve TEKTONİK.....	18
4. SAPANCA GÖLÜ ve CİVARININ JEOLojİSİ:.....	188
5. SAPANCA GÖLÜ ve YAKIN CİVARININ SİSMOTEKTONİĞİ.....	24
6. SAPANCA GÖLÜ ve YAKIN CİVARININ DEPREMSELLİĞİ	29
6.1. Stres Tensör Çözümü	36
6.2. Güncel Katalog Analizi - Depremsellik Parametrelerinin Hesaplanması.....	39
7. SAPANCA GÖLÜ SİSMİK YANSIMA VE SONAR ÇALIŞMASI	48
7.1. Saha Çalışmaları:	48
7.2. SES-2000 Compact Sistem Özellikleri:.....	49
7.3. Sonar Transducer Özellikleri:	50
7.4. Operasyon:	51
7.5. Çalışma stratejisi:.....	52
7.6. Sismik ve Sonar Verilerinin Değerlendirmesi:	57
8. SAPANCA GÖLÜ KAROT ÇALIŞMALARI	59
8.1. Karotların litolojik tanımları	60
8.2. Karotların fiziksel özellik analizleri.....	64
8.3. Karotların XRF Karot Tarayıcı element analizleri	65
8.4. Karotların Tane Boyu Özellikleri ve Radyografi.....	67
8.5. Karotların Toplam Organik ve İnorganik Karbon Dağılımları.....	72
8.6. Karotların Kronostratigrafisi.....	76

8.7. Sapanca Gölü Çökellerindeki Deprem Kayıtları	78
9. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	81
KAYNAKLAR.....	82
EK-1 SİSMİK PROFİLLER	88

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Sapanca Gölünün derinlik haritası (Erinç, 1949).....	12
Şekil 2. Devlet Su İşleri tarafından 1960 yılında yapılan Sapanca Gölünün derinlik haritası. Orijinal haritanın ölçeği 1/12.500 dir.	13
Şekil 3. Devlet Su İşleri tarafından 1990 yılında yapılan Sapanca Gölünün derinlik haritası.....	13
Şekil 4. Devlet Su İşleri tarafından 2002 yılında yapılan Sapanca Gölünün derinlik haritası.....	14
Şekil 5. 1999 İzmit depremini müteakiben Lettis vd.(2002) tarafından yapılan Sapanca Gölü derinlik haritası.	15
Şekil 6. Bu proje kapsamında elde edilen Sapanca Gölü batimetri haritası.....	17
Şekil 7. Sakarya ve yakın çevresi jeoloji haritası.(Tübitak, ODTÜ, MTA,1999).	19
Şekil 8. Doğu Marmara'nın neotektonik dönem fayları. Açıklama: 1. Aktif faylar: KAF zonu: AF1: Dokurcun segmenti, AF2: İzmit-Adapazarı segmenti, AF3: İzmit-Geyve segmenti, AF4: Gemlik segmenti, AF5: Zeytinbağı segmenti, AF6: Gölcük fayı (olası aktif), AF7: Yalova fayı (olası aktif), AF8: Bursa fayı, AF9:Uluabat fayı, AF10: Düzce fayı. 2. Aktif olmayan faylar: IF1:Yalakderece fayı, IF2:Orhanfgazi fayı, IF3: Gençali fayı, IF4: Adliye fayı, IF5: İzmit fay zonu, IF6: Yenişehir fay zonu, IF7: İnegöl fayı, IF8: Karacabey fayı. 3. Çizgisellikler: L1:Hendek-Yığılca çizgiselliği, L2:İzmit-Karasu çizgiselliği, L3: İstanbul çizgiselliği, L4: İmrallı çizgiselliği. (Emre, Ö., vd. 1998).	20
Şekil 9. Sakarya havzası ve yakın çevresi için basitleştirilmiş stratigrafik kesit. (Tübitak, ODTÜ, MTA, 1999).	21
Şekil 10. Sapanca Gölünün Google Earth görüntüsü.....	22
Şekil 11. Sapanca Gölü ve civarı 3 boyutlu jeoloji haritası (Bol, 2003).	22
Şekil 12. Sapanca Gölü ve civarının jeolojik haritası (Gülbüz ve Gürer, 2008a).	23
Şekil 13. Sapanca Gölü içerisinde Kuzey Anadolu Fay Zonuna ait fayların muhtemel uzanımı (Gülbüz ve Gürer, 2008b).	24
Şekil 14. Sapanca Gölü; Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca, sağ yanal doğrultu atımlı tektonizma altında, çek-ayır havza (pull apart basin) mekanizmasıyla gelişmiş bir tektonik göldür (Barka, 1997; Barka vd., 2000; Lettis vd., 2000; Gülbüz ve Gürer, 2008).	25
Şekil 15. Geç Pliyosen'den Günümüz'e KAFZ'nun segmentleri arasında asimetrik bir çek-ayır havza olarak gelişen Sapanca Gölü'nün gelişimini gösteren şematik blok diyagram. MF: Master (Ana) fay, AF: Antitetik fay, CBF: Havzayı kesen çapraz faylar (Gülbüz ve Gürer, 2008).	26
Şekil 16. 17 Ağustos 1999 İzmit Depremi ile ilişkili yüzey kırıkları. Deprem sırasında doğudan batıya doğru Karadere, Sakarya, Sapanca ve Gölcük segmentleri olmak üzere 4 farklı segment kırılmıştır. Sapanca Gölü dolayında, Sakarya segmenti ile Sapanca segmenti arasında sağa doğru bir sıçrama (right stepover) söz konusudur. (EERI (2000)'den düzenleyen Lettis vd. 2002).....	27
Şekil 17. 1985-1999 yılları arası CMT-Harvard verilerinden yararlanılarak hazırlanan depremlerin odak mekanizma çözümlemeleri	28
Şekil 18. 1999-2006 yılları arasında meydana gelen farklı literatür çalışmalarından (Pınar ve diğ., 2003; Karabulut ve diğ., 2006; Örgülü ve diğ, 2001 derlenerek elde edilen depremlerin odak mekanizma çözümleri.....	28
Şekil 19. Bölge ve yakın çevresinin tarihsel depremleri (Marmara bölgesinde MS 400 yılından sonra meydana gelen ve büyüklüğü $MS \geq 6.8$ olan depremler ile 19. yüzyılda meydana	

gelmiş büyüklüğü $6.0 \leq M_S < 6.8$ olan depremlerin listesi (Papazachos ve Papazachou, 1997; Ambraseys, 2000; Ambraseys, 2002'den derlenmiştir, Utkucu vd., 2011'den derlenerek hazırlanmıştır)	29
Şekil 20. 1900-2010 yılları arasında meydana gelen depremleri kapsayan homojen deprem kataloğu kullanılarak elde edilen Marmara Bölgesi depremselliği (1900-2010 yılları arasındaki Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü 'nden elde edilmiş büyüklükleri $M_w \geq 4.0$ olan depremler) (Yıldızlar $M_w \geq 7-8$ büyüklüğündeki depremleri göstermektedir.	30
Şekil 21. a) Marmara Denizi içinde KAFZ'nin LePichon vd., 2001'ce önerilen uzanımını ve MS 400 yılından günümüze kadar meydana gelmiş tarihsel depremlerin dış merkez dağılımlarını gösteren harita. b) Marmara Denizi içinde KAFZ'nun Armijo vd., 2002'ce önerilen uzanımını ve 1900-1999 yılları arasında meydana gelmiş büyüklüğü $M \geq 5.0$ olan depremlerin ve 1981-1999 yılları arasındaki $M_D \geq 2.9$ depremlerin dış merkez dağılımlarını gösteren harita (Kalafat vd., 2007; Kalafat vd., 2008; Kalafat, 2010).	33
Şekil 22. Yüzey ve denizaltı jeoloji çalışmaları ve yüzey kırıkları boyunca ölçülen yüzey yer değiştirmelerinden haritalanan 1999 İzmit depreminin yüzey kırıkları (kalın siyah çizgiler) (Barka et al. 2002, Lettis et al. 2002, Armijo et al. 2002, Cormier et al. 2006'dan derlenmiştir). Deprem Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca doğudan batıya doğru Karadere (KS), Sapanca-Akyazı (SAS), İzmit-Sapanca (İSS), Karamürsel-Gölcük (KGS) and Hersek-Yalova (HYS) segmentleri şeklinde adlandırılan 5 fay segmenti oluşturmuştur. Siyah yıldız 1999 İzmit depreminin episantırını gösterir. AG: Akyazı Boşluğu, SS: Sapanca step-over, GS: Gölcük step-over, HS: Hersek step-over, HP: Hersek Körfezi.	36
Şekil 23. Tablo 3'ten yararlanılarak oluşturulan bölgenin hakim gerilme durumu ve S1, S2, S3 değerleri (Michel, 1987).	37
Şekil 24. Tablo 3'ten yararlanılarak oluşturulan bölgenin hakim gerilme durumu ve S1, S2, S3 değerleri (Gephart ve Forsyth, 1984)	38
Şekil 25. Bölge ve yakın çevresinin vektörel stress hareketleri (Kırmızı vektörler normal faylanma rejimini, siyah vektörler ise doğrultu atımlı faylanma rejimini ifade etmektedir) (Michael, 1987).	38
Şekil 26. Süreye bağlı magnitude (Md) ve local magnitude türlerinin (Ml) moment magnitudüne (Mw) dönüştürülmesi için kullanılan ampirik bağıntılar.	39
Şekil 27. Ham deprem kataloğundan Gardner and Knopoff, 1974 algoritmasına göre 2422 deprem kümesi tespit edilmiş ve buna göre 25810 deprem verisinden 17360 adedi kaldırılmıştır.	40
Şekil 28. Ham deprem kataloğundan kaldırılan olayların magnitude-sayı histogramı (Gardner and Knopoff, 1974).	40
Şekil 29. Reasenberg, 1985 yöntemine göre belirlenmiş 850 adet deprem kümesinin yeri.	41
Şekil 30. Bölgede tespit edilen patlatma verilerinin olduğu bölgeler ve gün içerisinde belli saat aralıklarında meydana gelen olayların kümülatif sayı histogramları (Wiemer ve Baer, 2000).	42
Şekil 31. Gardner ve Knopoff, 1974 yöntemi ile analiz edilen katalogtan yararlanılarak elde edilen en büyük olasılık yöntemine göre (Aki, 1965) hesaplanan depremsellik parametreleri (Wiemer, 2001)	43
Şekil 32. Reasenberg, 1985 yöntemi ile analiz edilen katalogtan yararlanılarak elde edilen en büyük olasılık yöntemine göre (Aki, 1965) hesaplanan depremsellik parametreleri (Wiemer, 2001).	43

Şekil 33. Bölgede meydana gelen kümülatif deprem enerjisinin 1985-2006 yılları arasındaki dağılımı grafiği	44
Şekil 34. Sapanca Bölgesi ve civarı için 1900-1999 yılları arasında hesaplanan b değeri değişimi haritası	44
Şekil 35. Sapanca Bölgesi ve civarı için 1900-1999 yılları arasında hesaplanan b değeri , a değeri ve Mc değerlerinin en büyük olasılık yöntemine (Aki, 1965) göre hesaplanması (Wiemer, 2001).	45
Şekil 36. Sapanca Bölgesi ve civarı için 1900-1999 yılları arasında değişen kümülatif deprem sayısı	45
Şekil 37. Sapanca Bölgesi ve civarı için 1999-2013 yılları arasında hesaplanan b değeri değişimi haritası.	46
Şekil 38. Sapanca Bölgesi ve civarı için 1999-2013 yılları arasında hesaplanan b değeri , a değeri ve Mc değerlerinin en büyük olasılık yöntemine (Aki, 1965) göre hesaplanması (Wiemer, 2001).	46
Şekil 39. Sapanca Bölgesi ve civarı için 1900-1999 yılları arasında değişen kümülatif deprem sayısı	47
Şekil 40. Çalışmada kullanılan cihazlar (arkada soldan sağa: sismik transducer, sismik enerji ünitesi, control sistemi; önde: mobil navigasyon sistemi).	49
Şekil 41. Çalışmada kullanılan sismik transducer (solda) ve sonar transducer cihazları (sağda).....	50
Şekil 42. Tekne kenarına askı ile monte edilmiş sismik transducer cihazı. Turuncu renkli kablo güç ve veri kablosudur. Transducer tablası askı borusuna sismik izolator vazifesi gören lastik contalar ile sabitlenmiştir.	51
Şekil 43. Kuzey Anadolu Fay zonu üzerinde bulunan Sapanca Gölü'ne doğu ve batı kıyılarından giren fay kolları ile göl içinden geçmesi beklenen fay kollarının gösterildiği harita (Lettis v.d, 2002'den alınmıştır).	53
Şekil 44. Sismik hatlar ve bu hatlar üzerinde işaretlenen aktif fayların gözlemlendiği yerleri gösteren harita. Küçük koyu ve açık yeşil renkli daireler göl tabanı ve çökellerini kesen aktif fayları, yüksek yamaç eğimi veya çökel istifteki kesilmeler dolayısıyla tanımlanan aktif fayları göstermektedir.	55
Şekil 45. Sismik hatlar ve bu hatlarda işaretlenen fay anomalilerinin birleştirilmesiyle oluşturulmuş aktif fay haritası.	55
Şekil 46. Sapanca gölü aktif fay haritası.	56
Şekil 47. Sonar hatları.	57
Şekil 48. Sonar kayıt örneği.	58
Şekil 49. Sapanca Gölünde karot lokasyonlarını (1, 2, 3) ve fayları gösteren harita.	59
Şekil 50. Karotların yerlerini göl tabanı profili üzerinde gösteren kesit.	59
Şekil 51. Sapanca 1 karotunun litolojik tanımlaması ve radyografisi.	61
Şekil 52. Sapanca 2 karotunun litolojik tanımlaması radyografisi.	62
Şekil 53. Sapanca 3 karotunun litolojik tanımlaması ve radyografisi.	63
Şekil 54. Sapanca Gölü karotları boyunca manyetik duyarlılık (susceptibility) ve gama yoğunluk değişimi.	64
Şekil 55. Sapanca karotlarında XRF Karot tarayıcı Ca/Ti değerleri.....	66
Şekil 56. Sapanca karotlarında XRF Karot tarayıcı Si+K+Ti+Rb değerleri	66
Şekil 57. Sapanca 1 karotuna ait tane boyu, boylanma, çarpılık ve ortalama değerlerinin grafiği.....	68
Şekil 58. Sapanca 2 karotuna ait tane boyu, boylanma, çarpılık ve ortalama değerlerinin grafiği.....	69
Şekil 59. Sapanca 3 karotuna ait tane boyu, boylanma, çarpılık ve ortalama değerlerinin grafiği.....	70

Şekil 60. Karotların tane boyu dağılımları ve radyografi görüntüleri arasında yapılan korelasyonun grafiği.....	71
Şekil 61. Sapanca 1 karotunun toplam inorganik karbon (TİK) ve organik karbon (TOK) verilerinin grafiği.....	73
Şekil 62. Sapanca 2 karotunun toplam inorganik karbon (TİK) ve organik karbon (TOK) verilerinin grafiği.....	74
Şekil 63. Sapanca 3 karotunun toplam inorganik karbon (TİK) ve organik karbon (TOK) verilerinin grafiği.....	75
Şekil 64. Sapanca gölü ve çevresinin haritasında Kuzey Anadolu Fayı ve deprem etkisiyle oluşan kırıklar.	77
Şekil 65. Sapanca gölü ve çevresindeki Kuzey Anadolu Fay hattını, büyük depremlerin etkisiyle oluşmuş kırık zonlarını ve tarihsel depremlerin merkez üstleri ile büyüklüklerini gösteren harita	80

TABLÖLER LİSTESİ

- Tablo 1.** Marmara bölgesinde MS 400 yılından sonra meydana gelen ve büyüklüğü $M_S \geq 6.8$ olan depremler ile 19. yüzyılda meydana gelmiş büyüklüğü $6.0 \leq M_S < 6.8$ olan depremlerin listesi (Papazachos ve Papazachou, 1997; Ambraseys, 2000; Ambraseys, 2002'den derlenmiştir). Dış merkez dağılımı için Şekil 1a'ya bakınız. Sapanca Gölü ve yakın çevresini etkileyen depremler koyu harf ve rakamlarla gösterilmiştir.....31
- Tablo 2.** Marmara Bölgesinde 1900'den günümüze kadar meydana gelmiş büyüklüğü $M \geq 5.0$ olan depremler. Depremlerin dış merkez dağılımları için Şekil 8b'ye bakınız. Sapanca Gölü ve yakın çevresini etkileyen depremler koyu harf ve rakamlarla gösterilmiştir.....34
- Tablo 3.** Sapanca Gölü ve civarı için yapılan stress tensör analizinde kullanılan odak mekanizması parametreleri. (Derlenen Kaynaklar; CMT-Harvard verileri, Gürbüz, 2000; Eyidoğan, H., 1988 ; Aktar, M ve Örgülü, G., 2001; Kandilli Deprem Araştırma Enstitüsü)..... 37
- Tablo 4.** Karotların lokasyon, derinlik, uzunluk bilgileri.....59

ÖZET

Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde bulunan Sapanca Gölü'nde gölün oluşumuna neden olan yapısal unsurların ortaya çıkarılması amacıyla sismik yansıma ve yandan taramalı sonar çalışmaları yapılmıştır. Sapanca Gölünde 28 adet K-G ve iki adet D-B uzanımlı olmak üzere toplam 84 km sismik profil alınmıştır. Sismik verilerin yorumlanmasıyla Kuzey Anadolu Fay Zonunun Sapanca Gölü içerisinde bir çekme-ayırma (pull-apart) fay geometrisine sahip olduğu saptanmış ve aktif fay kolları ayrıntılı olarak haritalanmıştır. Ayrıca Sapanca Gölünün ayrıntılı bir batimetri haritası elde edilmiştir.

Sapanca Gölünden alınan ve uzunluğu 76 cm'ye varan üç karottun sedimantolojik, fiziksel ve jeokimyasal özellikleri eski deprem kayıtlarını araştırmak amacı ile sistematik bir şekilde analiz edilmiştir. Karotların tane boyu analizi lazer difraksiyon, fiziksel özellikleri Çoklu Sensör Karot Loglayıcısı (MSCL), Toplam organik karbon (TOC) ve inorganik karbon (IC) analizleri Shimadzu TOC Analizörü, yüksek çözünürlüklü sayısal X-Işınları radyografisi ve mikro-XRF element analizleri Itrax Karot Tarayıcısı kullanılarak yapılmıştır. Karotların Jeokronolojisi için AMS Radyokarbon (C_{14}) and Radyonüklid (Pb_{210} , Cs_{137}) metodları kullanılmıştır.

Sapanca Gölü deprem kayıtları karotlarda alt kısımda gri veya koyu gri, kaba kumdan ince kuma değişen, üstte siltli kil çamurdan oluşan ve dereceli tane boyu gösteren kütle akması birimleriyle karakterize edilmektedir. Tabandaki kaba taneli kısmın tabanı keskindir. Birimin üstü ise dereceli geçişlidir. Birimlerin kaba taneli tabanları genellikle yüksek yoğunluk, yüksek manyetik duyarlılığa sahiptir ve kaba kırıntılı silikat malzemenin belirteci olan Si, Ca, Ti, K, Rb, Zr ve Fe gibi elementlerden bir veya birkaçı bakımından zenginleşme göstermektedir. Radyonüklid ve radyokarbon tarihlendirme analizlerine göre kütle akması birimleri 1999 İzmit ($M_w = 7,4$) - Düzce ($M_w = 7,2$) , 1967 Mudurnu ($M_w = 6,8$), ve 1957 Abant ($M_w = 7,1$) depremleri ile korele edilmiştir.

Bu çalışmada ayrıca Sapanca ve yakın çevresinin depremselliği, ve güncel stress durumu incelenmiş ve bölgenin tektoniğiyle ilişkilendirilmiştir. Yapılan gerilme analizleri sonucu S1, S2 S3 asal gerilme yönleri elde edilmiş ve bölgenin ağırlıklı olarak doğrultu atımlı faylanma rejiminden kuzeybatıya doğru gidildikçe açılma rejimi atında kaldığı gözlenmiştir. Çalışmada 29° - 32° boylamları, 39° - 42° enlemleri arasında kalan bölgede Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsünden temin edilen ham deprem kataloğu verileri kullanılarak (1900-2012 yılları arası) Gardner ve Knopoff (1974) yöntemi ve Reasenber (1985) yöntemleri ile ayrı ayrı analiz edilmiştir. Patlatma verileri de Wiemer ve Baer, 2000 algoritması kullanılarak katalogtan kaldırılmıştır. Bu iki yöntemin sonuçları karşılaştırılarak a, b, Mc parametreleri hesaplanmıştır. Bölge çok yoğun bir deformasyon altında kalmakta ve bunun sonucu olarak yüksek bir deprem aktivitesi göstermektedir. Bu sonuçlara göre; b değerinin 1999 İzmit ve Düzce depremlerinin olduğu bölgelerde düşük değerlerde çıktığı görülmektedir.

ABSTRACT

Seismic reflection and side-scan sonar studies have been carried out in the Sapanca Lake in order to delineate active faults that formed the lake basin. A total of 28 N-S and 2 E-W trending seismic profiles were obtained. The interpretation of seismic reflection profiles have revealed that the North Anatolian Fault Zone exhibits a pull-apart fault geometry within the Sapanca Lake and the active fault segments have been mapped in detail. A detailed bathymetri map of the Sapanca Lake is also generated.

A systematic study of the sedimentological, physical and geochemical properties of three up to 75.7 cm long water-sediment interface cores located along depth transect ranging from 43 to 5.1.5 m water depth. The cores were analyzed using Geotek Multi Sensor Core Logger (MSCL) for physical properties, laser particle size analyzer for granulometry, TOC Analyzer for Total Organic Organic (TOC) and Total Inorganic carbon (TIC) analysis and Itrax-XRF Core Scanner for elemental analysis and digital X-RAY Radiography. The geochronology was determined using in the Sapanca Lake the earthquake records are characterized by mass flow units consisting of grey or dark grey coarse to fine sand and silty mud with a sharp basal and transional upper boundaries. The units commonly show normal size grading with their basal parts showing high density and high magnetic susceptibility and enrichment in one or more of elements, such as Si, Ca, Tl, K, Rb, Zr and Fe, indicative of coarse detrial input.

Based on radionuclide and radiocarbon analyses the mass flow units are correlated with earthquakes of 1999 İzmit and Düzce earthquakes ($M_w=7.4$ and 7.2), 1967 Mudurnu Sakarya earthquake ($M_w= 6,8$), and 1957 Abant ($M_w= 7.1$) earthquake.

Additionally the seismicity and the state of stress in the Sapanca Lake and surrounding regions have been studied and correlated with reginal tectonics. The S1, S2, and S3 principal stress axes have been obtained by stress tensor analysis showing that the region is mainly in a strike-slip faulting tectonic regime but having minor extensional regime component. The seismicity catalog that covers the period (1900-2012) and the region bounded by 29° - 32° E and 39° - 42° N° coordinates was obtained from the Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute. The seismicity catalog first cleaned from explosion events by using the Wiemer & Baer (2000) algorithm and the actual seismicity data was analized by using both the Gardner & Knopoff (1974) and Reasenberg (1985) methods. The a, b, and M_c parameters were calculated jointly using these methods. The region is being deformed intensely and as a result exhibit high seismicity. The b values are generally low for the regions that were affected by the 1999 İzmit and Düzce Earthquakes.

1. GİRİŞ

Sapanca Gölü Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde yer alan, uzun eksen 15,79 km, kısa eksen 5.44 km olan mekik şeklinde bir göldür. Gölün yüzölçümü 46,9 km² ve güncel olarak derinliği 55 m dir. Gölün batı kısımları Kocaeli, doğu kısmı ise Sakarya İl sınırları içinde kalmaktadır.

17 Ağustos 1999 İzmit depreminde oluşan Kuzey Anadolu Fayına ait yüzey kırıkları karada Sapanca Gölünün batı ve doğu kenarlarına kadar ayrıntılı olarak haritalanmış, ancak bu fay kırıklarının göl içindeki uzanımları spekülatif olarak yorumlanmıştır.

Bu projenin amacı Sapanca Gölü içindeki bu fay kırıklarını jeofizik yöntemler kullanarak saptamak, yine gölden alınan karot numunelerinin analizleriyle yakın geçmişte bölgede meydana gelen depremlerin çökel istifine nasıl bir etkisi olduğunu araştırmak ve Sapanca Gölü ve civarının sismisite analizini yaparak bölgede hakim olan güncel gerilim durumunu ortaya koymaktır.

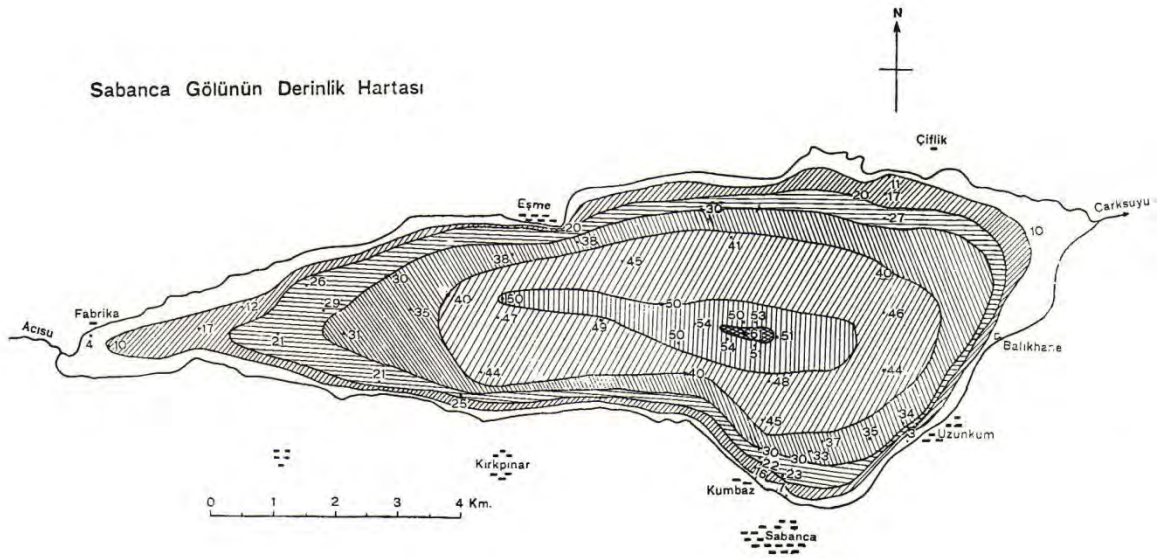
Bu amaçlara yönelik olarak Sapanca Gölünde toplam 28 adet K-G ve iki adet D-B uzanımlı sismik profil alınmış ve ayrıntılı olarak yorumlanarak aktif fay zonlarının Sapanca Gölü içindeki uzanımları haritalanmıştır.

Ayrıca Sapanca Gölünden alınan ve uzunluğu 76 cm'ye varan üç karottun sedimantolojik, fiziksel ve jeokimyasal özellikleri eski deprem kayıtlarını araştırmak amacı ile sistematik bir şekilde analiz edilmiştir. Karotların tane boyu analizi lazer difraksiyon, fiziksel özellikleri Çoklu Sensör Karot Loglayıcısı (MSCL), Toplam organik karbon (TOC) ve inorganik karbon (IC) analizleri Shimadzu TOC Analizörü, yüksek çözünürlüklü sayısal X-Işınları radyografisi ve mikro-XRF element analizleri Itrax Karot Tarayıcısı kullanılarak yapılmıştır. Karotların Jeokronolojisi için AMS Radyokarbon (C₁₄) and Radyonüklid (Pb₂₁₀ , Cs₁₃₇) metotları kullanılmıştır.

Bu projede 29°-32° boylamları, 39°-42° enlemleri arasında kalan bölgede Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsünden temin edilen deprem kataloğu verileri kullanılarak (1900-2012 yılları arası) Sapanca ve yakın çevresinin depremselliği, ve güncel stres durumu incelenmiş ve bölgenin tektoniğiyle ilişkilendirilmiştir.

2. SAPANCA GÖLÜNÜN BATİMETRİSİ:

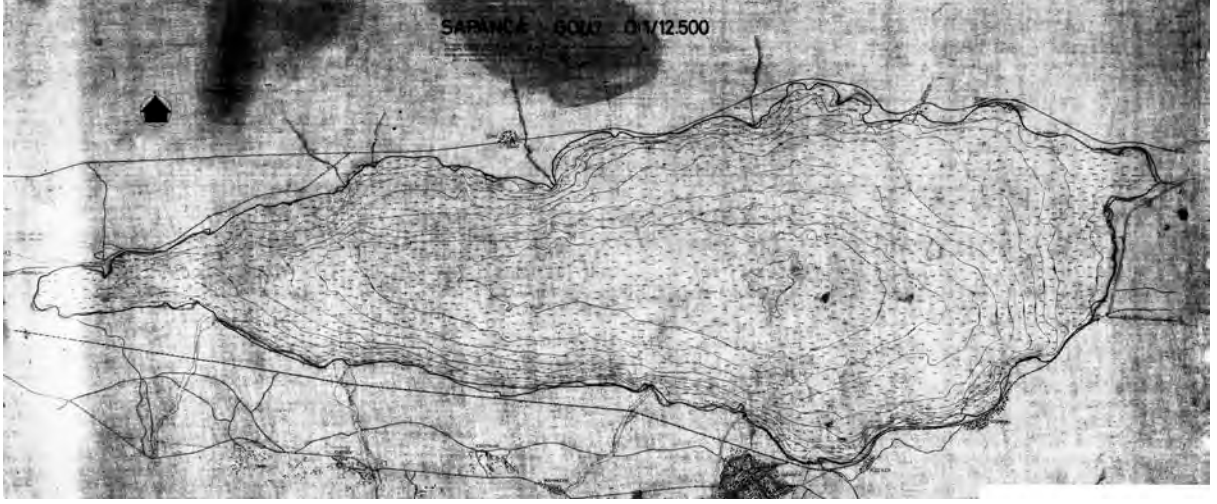
Sapanca Gölünün batimetrisine ilişkin olarak bugüne kadar birçok değerli çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan ulaşabildiğimiz en eski çalışma 1949 yılında Prof. Sırrı Erinç tarafından yapılmış ve Türkiye Coğrafya Dergisinde ‘Sapanca Gölünün derinlik haritası ve morfometrisi’ başlıklı bir makale olarak yayınlanmıştır (Erinç, 1949). Prof. Erinç’in yapmış olduğu harita Şekil-1 de verilmiştir.



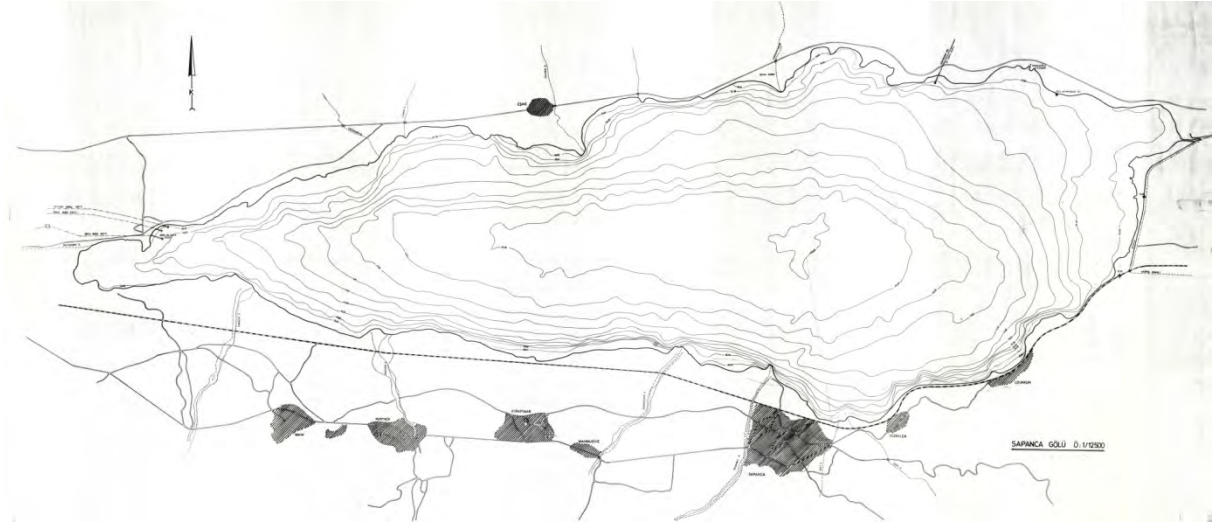
Şekil 1. Sapanca Gölünün derinlik haritası (Erinç, 1949).

Erinç (1949) makalesinde Sapanca Gölünün yüzölçümünü 46.9 km², deniz seviyesinden yüksekliğini 33m, en uzun eksenini 17 km ve en büyük genişliğini 5.5 km olarak saptamıştır. Gölün derinlik haritası 156 noktada yapılan ölçümlere dayanılarak yapılmıştır. Sapanca Gölünün ortasında geniş bir alan kaplayan 40-50 m derinlikte bir taban düzlüğü bulunmakta olup, gölün en derin noktası Sapanca Tren İstasyonunun 2.3 km KKB’sında yer alır ve 61 m derinliğe sahiptir. Ancak 60 m izobatı çok dar bir alan işgal eder. 50 m izobatı ise DGD-BKB yönünde dar bir oluk şeklinde uzanır (Şekil 1).

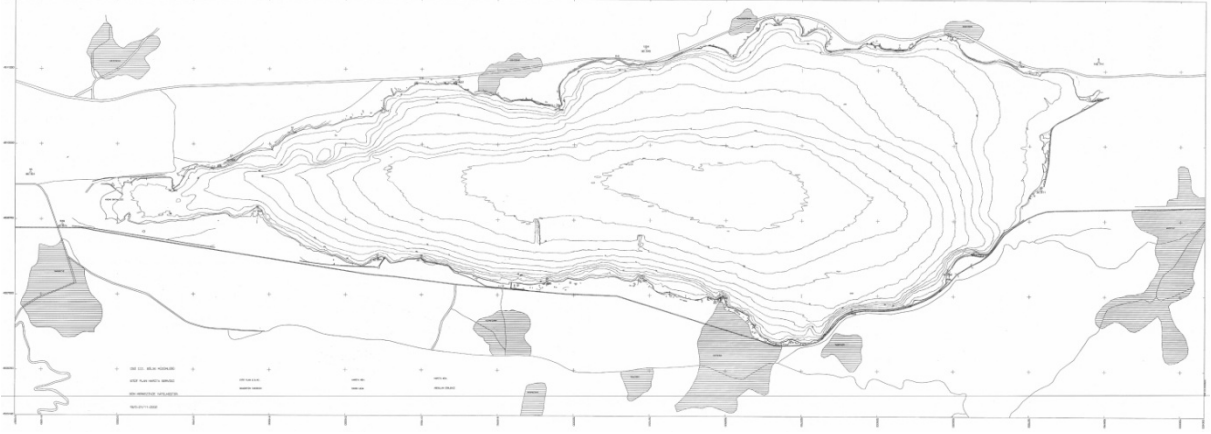
Bilahere Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından 1960, 1990, 1999 ve 2002 yıllarında Sapanca Gölünün derinlik haritaları zaman içinde artan bir hassasiyetle tekrar yapılmıştır. Bu haritalar DSİ III. Bölge Müdürlüğü, Etüd, Plan, Harita Servisi arşivlerinden tedarik edilmiştir (Şekil 2, 3, 4 ve 5).



Şekil 2. Devlet Su İşleri tarafından 1960 yılında yapılan Sapanca Gölünün derinlik haritası. Orijinal haritanın ölçeği 1/12.500 dir.

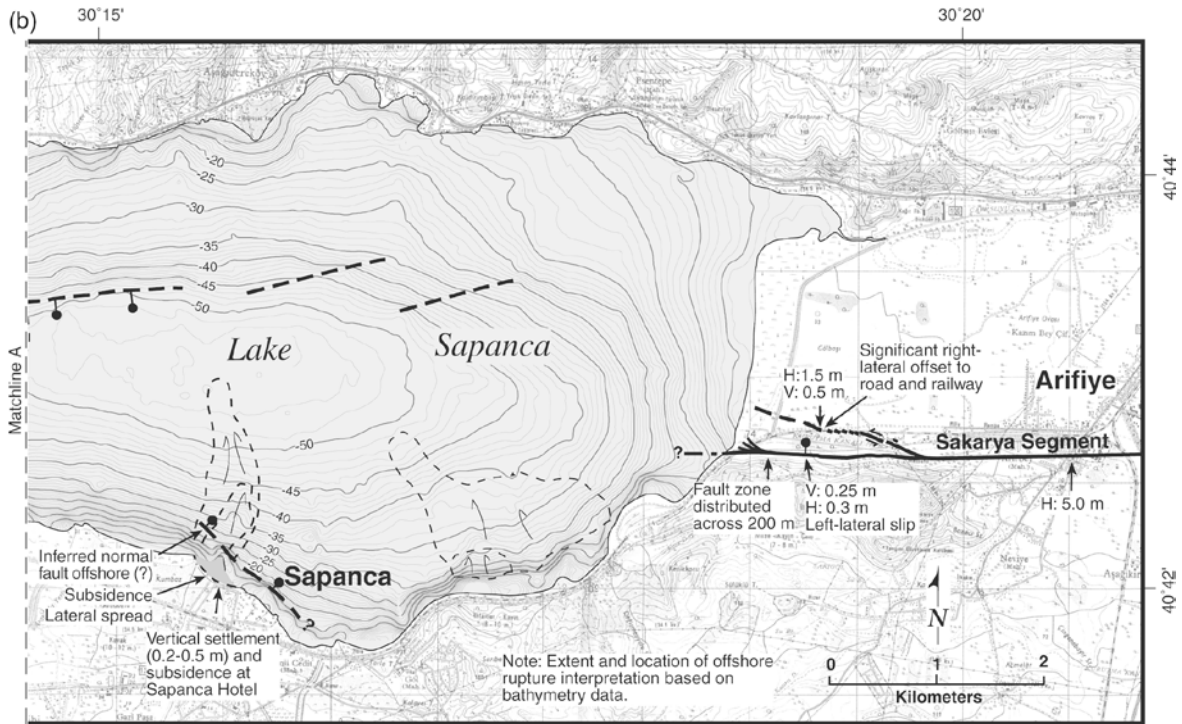
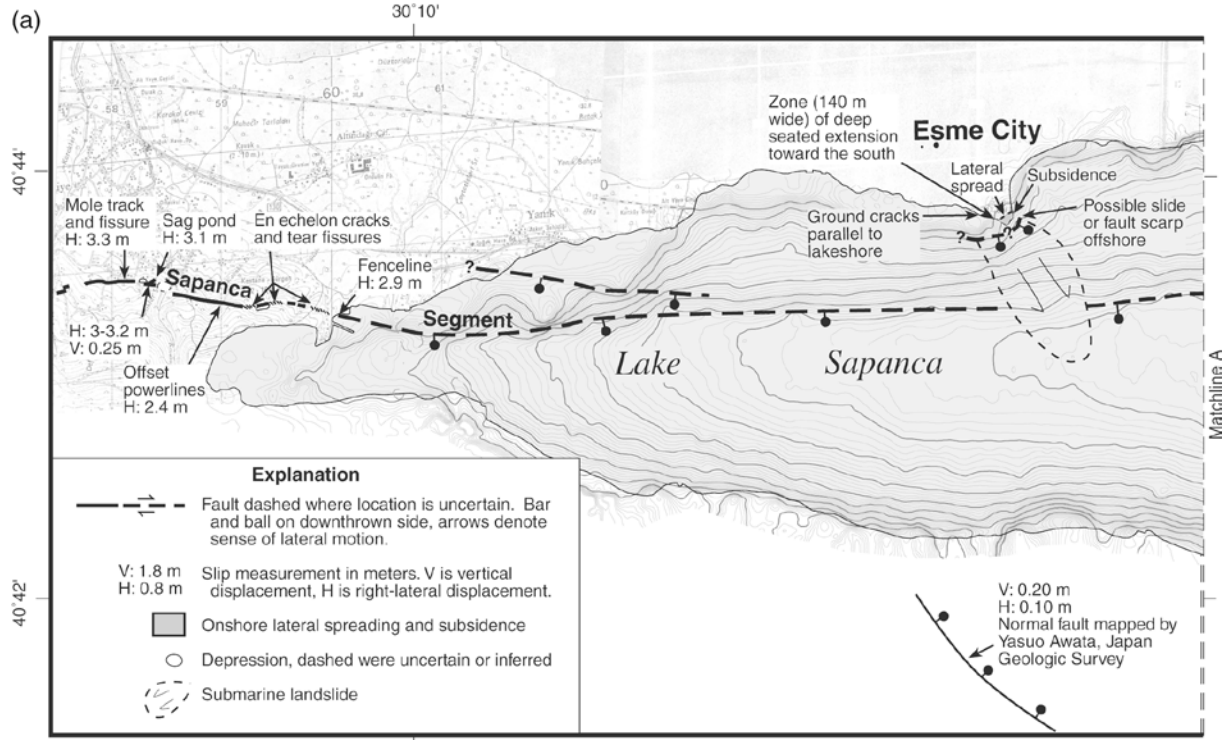


Şekil 3. Devlet Su İşleri tarafından 1990 yılında yapılan Sapanca Gölünün derinlik haritası. Orijinal haritanın ölçeği 1/12.500 dir.



Şekil 4. Devlet Su İşleri tarafından 2002 yılında yapılan Sapanca Gölünün derinlik haritası.

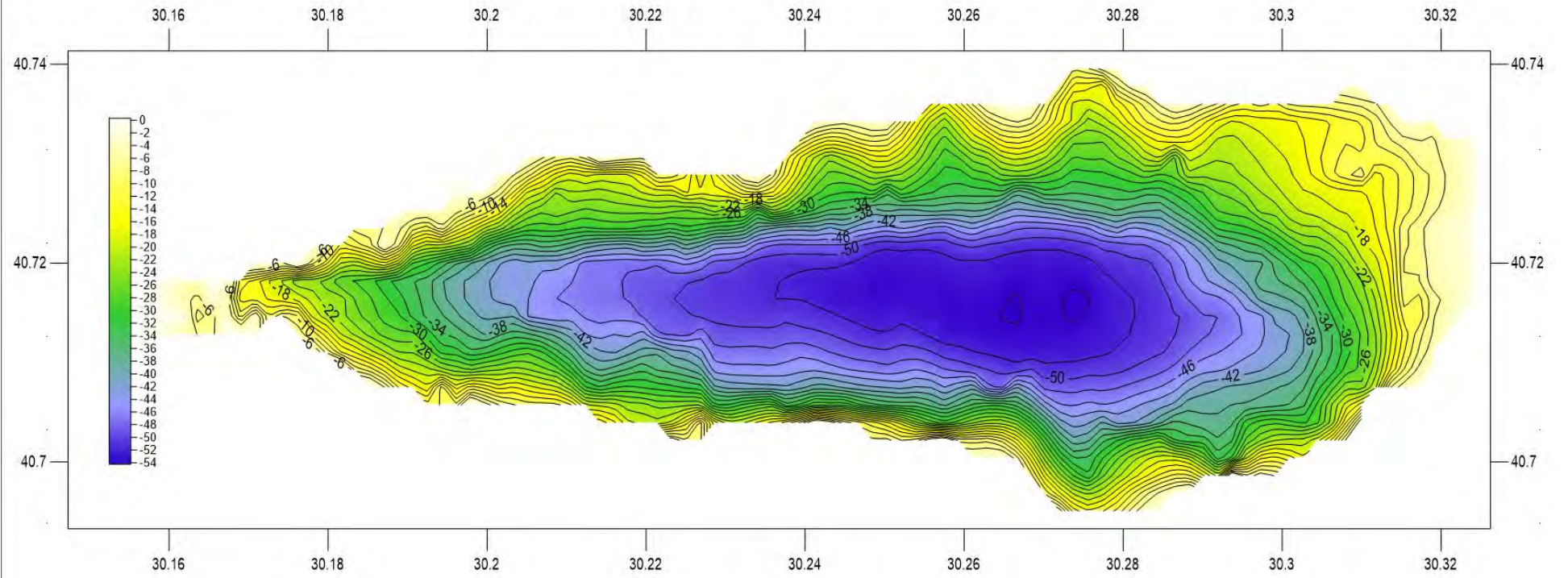
1999 İzmit Depreminden sonra Lettis vd (2002) Sapanca Gölünün derinlik haritasını yayınladılar. Sapanca Gölünün Kuzey Anadolu Fay Zonunu oluşturan fay segmentlerinin özel bir geometriye sahip olması nedeniyle oluşuğunu ileri sürerek, Kuzey Anadolu Fay Zonunun Sapanca Gölü içindeki muhtemel uzantısını spekülatif olarak gösterdiler.



Şekil 5. 1999 İzmit depremini müteakiben Lettis vd.(2002) tarafından yapılan Sapanca Gölü derinlik haritası.

Bu proje kapsamında Sapanca Gölünün ayrıntılı bir batimetri haritası yapılmıştır. Çalışmada kullanılan sismik kayıtçı sistemi iki kanallı olup düşük frekans kanalı (LF: 8k Hz.) sismik sinyalleri kayıt etmede, yüksek frekanslı (HF: 100 kHz.) kanal ise akustik sinyallerin kayıt edilmesi için kullanılmıştır. Frekans bantlarının oldukça farklı olması nedeniyle her iki sinyal de eş zamanlı kayıt edilerek aynı hat üzerinde hem sismik hem de akustik sinyal (batimetri) kayıtlarının alınması sağlanmıştır. Bu sayede arazide zamandan ve maliyetten tasarruf sağlanmıştır. Yüksek frekans kanalında saklı derinlik bilgisi metin dosyalarına aktararak birleştirilmiş ve Sapanca gölüne ait (x,y,z) batimetri veri dosyası oluşturulmuştur. Elde edilen batimetrik veriler “Surfer” çizim programı kullanılarak önce edit edilmiş, kötü değerler ayıklanmış sonra gridlenerek Şekil 6’da verilen “image+kontur” batimetri haritası elde edilmiştir.

Elde edilen batimetrik haritada en derin nokta -54 metre ile gölün doğu kesiminde ve gölün en geniş olduğu yerin orta kesiminde bulunmaktadır. Konturlar genelde keskin olmayan, yumuşak kıvrımlar ile kapanmakta, gölün doğu kesiminde giderek derinleşerek asıl baseni oluşturmaktadır. Fay haritası ile kıyaslandığında kontur uzanımlarının yapısal unsurlar ile uyumlu olduğu, aynı doğrultuda uzandığı, dolayısıyla Sapanca Gölünün yapısal unsurların kontrolunda çökerek gelişen bir havza olduğu ileri sürülebilir.



Şekil 6. Bu proje kapsamında elde edilen Sapanca Gölü batimetri haritası.

3. BÖLGESEL JEOLJİ VE TEKTONİK

Doğu Marmara bölgesinin Neojen-Kuvaternerdeki morfotektonik evriminde; 1) Erken-Orta Miyosen, 2) Geç Miyosen-Pliyosen, 3) en Geç Pliyosen-Günümüz olmak üzere üç ana şekillenme dönemi ayırt edilmiştir (Emre vd. 1998; TOM, 1999). Bu dönemlerde birbiriyle açısal uyumsuz üç çökel istifli oluşmuştur. Erken-Orta Miyosen karasal kırıntılı, Geç Miyosen-Pliyosen karasaldan denizele geçişli, en Geç Pliyosen-Günümüz ise karasal-denizel çökellerle temsil edilmektedir. Bölge Oligosen sonunda Intra-Pontid okyanusunun kapanması sonucu karasal aşınım alanı haline dönüşmüş ve Erken-Orta Miyosen boyunca paleotektonik dönem olaylarının etkisinde kalmıştır. Orta Miyosen sonlarına kadar süren bu aşınım dönemi sonunda geniş alanlara yayılan bir peneplen morfolojisi gelişmiş ve karasal kırıntılılar çökelmiştir. Günümüz jeolojisinin belirlemiş olan neotektonizma Geç Miyosen başlarında başlamış ve birbirinden farklı stildeki iki evrede gelişmiştir. Geç Miyosen-Pliyosen'i kapsayan neotektonizmanın ilk evresinde bölgede K-G yönlü sıkışma rejimi egemen olmuş, bunun sonucunda gelişen D-B yönlü kıvrımlar ile KD-GB ve KB-GD uzanımlı doğrultu atımlı faylarla bölge morfolojik olarak tümünden yükselime uğramıştır. Bu süreç içerisinde başlangıçta, altta akarsu çökelleri ile başlayan ve üste doğru görsel ve denizele geçişli olan Geç Miyosen-Erken Pliyosen istifi çökelmiş, dönem sonunda ise bu çökellerin geliştiği havzalar parçalanarak Geç Pliyosen'de bölge yüksek aşınım alanı şeklini kazanmıştır. Neotektonik dönemin ikinci evresi ise en Geç Pliyosen'de Kuzey Anadolu Fayının ortaya çıkışı ile başlamıştır ve günümüze kadar olan süreyi kapsar. Doğu Marmaranın günümüzdeki morfolojisi ve aktif tektonik çatısı Kuzey Anadolu Fayının transform hareketleri ile tanınan bu evrede gelişmiştir. Günümüz Marmara Denizi havzasının da yapısal gelişimi Kuzey Anadolu Fayına bağlı olarak en Geç Pliyosen'de başlamıştır (Emre vd., 1998). (Şekil 7, 8, 9, 10).

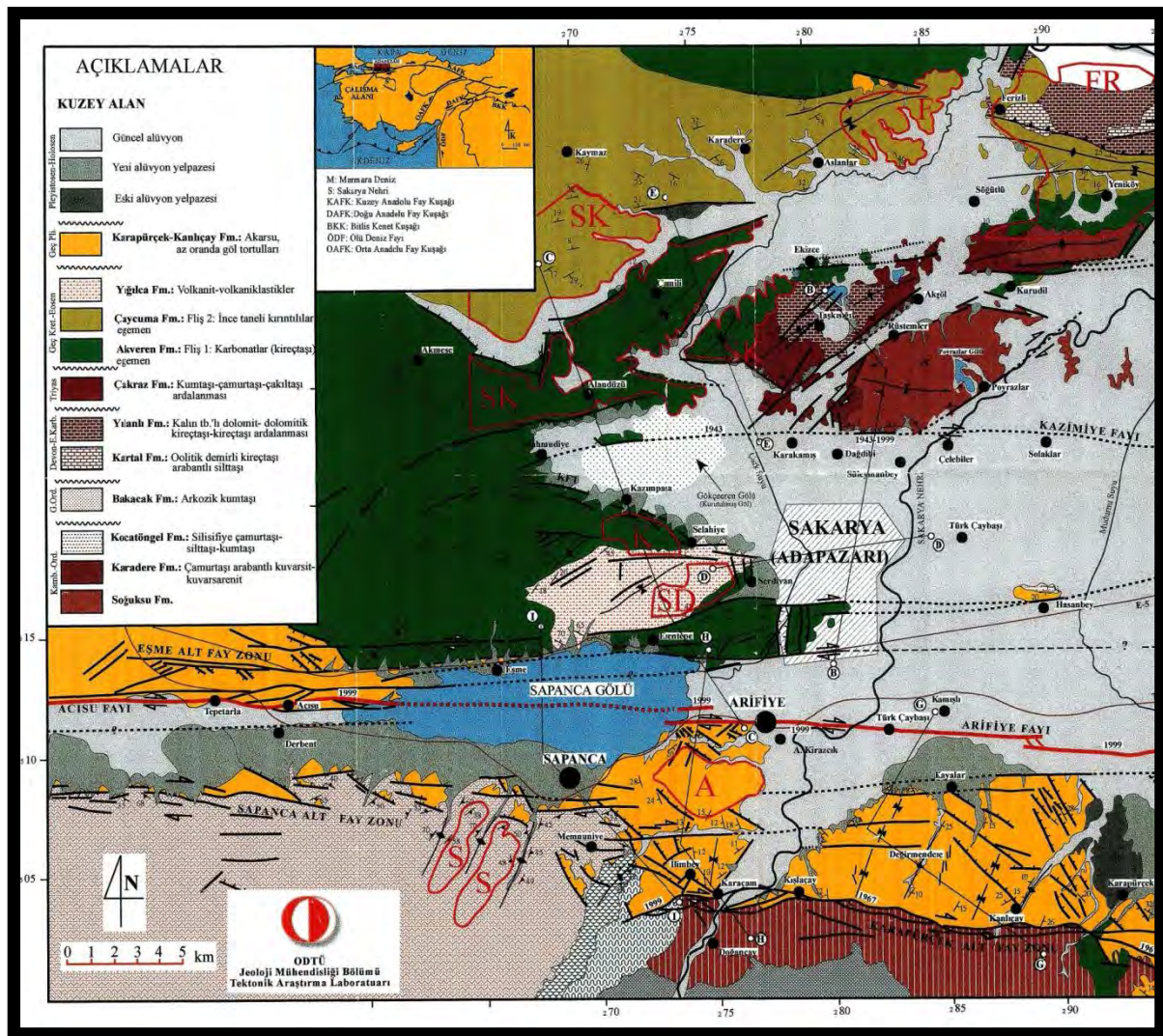
4. SAPANCA GÖLÜ VE CİVARININ JEOLJİSİ:

Sapanca Gölü Kuzey Anadolu Fay Zonunun kuzey kolu üzerinde, İzmit-Sapanca koridorunda yer alır (Şekil 11). Kabaca DB uzanımlı uzun eksenli 15.79 km uzunlukta, KG uzanımlı en büyük genişliği ise 5.44 km dir (Şekil 10). İzmit-Sapanca koridoru tektonik açıdan kompleks bir zonda yer alır. Esas olarak bölgenin morfolojisi Geç Pliosen-Kuvaterner periyodunda Kuzey Anadolu Fay zonuna bağlı olarak gelişmiştir (Emre vd 1998; TOM, 1999; Gürbüz and Gürer. 2008 a,b). Sapanca Gölünün etrafı dağ silsileriyle çevrilidir (Şekil 11). Sapanca Gölünün güneyinde yer alan Samanlı Dağları Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca bir basınç sırtı olarak yükselmiş ve bugünkü morfolojilerini kazanmışlardır (TOM, 1999).

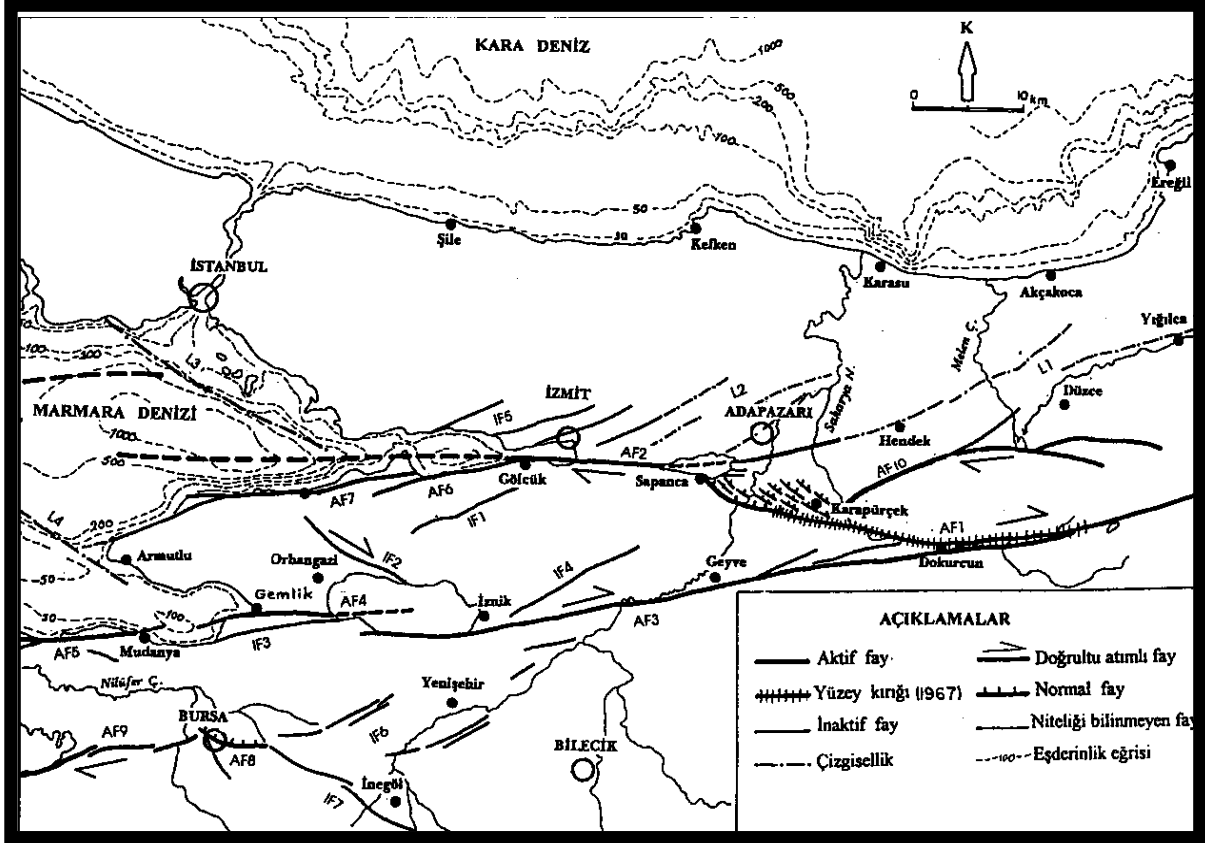
Sapanca Gölü ve civarında temel kayalar Paleozoik yaşlı metamorfik ve Erken Tersiyer yaşlı sedimanter kayalardan oluşur. Örneğin Sapanca Gölünün hemen kuzeyinde yer alan Eşme civarlarında Paleozoik ve Erken Tersiyer yaşlı sedimanter kayalar kumtaşı, killi kireçtaşı, marn, şeyl ve silt litolojilerini içerir ve bu birimler genç Pliyo-Kuvaterner birimleriyle tektonik bir kontak oluştururlar.

Sapanca Gölünün güneyinde yer alan Samanlı Dağları ise Paleozoik-Mesozoyik yaşlı metamorfik (şist, mermer, gnays, ve kuvarsit) ve meta-ofiyolitik (peridotit, gabro ve amfibolit) kayalardan oluşmuştur.

Bu jeolojik birimler arasında yer alan Sapanca Gölü İzmit-Sapanca koridorunda D-B uzanımli olarak Kuzey Anadolu Fay Zonuna bagli olarak olusmustur ve Plio-Kuvaterner yagli genç sedimanlar göl tabanini olusturur (Emre vd 1998; TOM, 1999; Gürbüz and Güler. 2008 a,b).



Şekil 7. Sakarya ve yakın çevresi jeoloji haritası.(Tübitak, ODTÜ, MTA,1999).



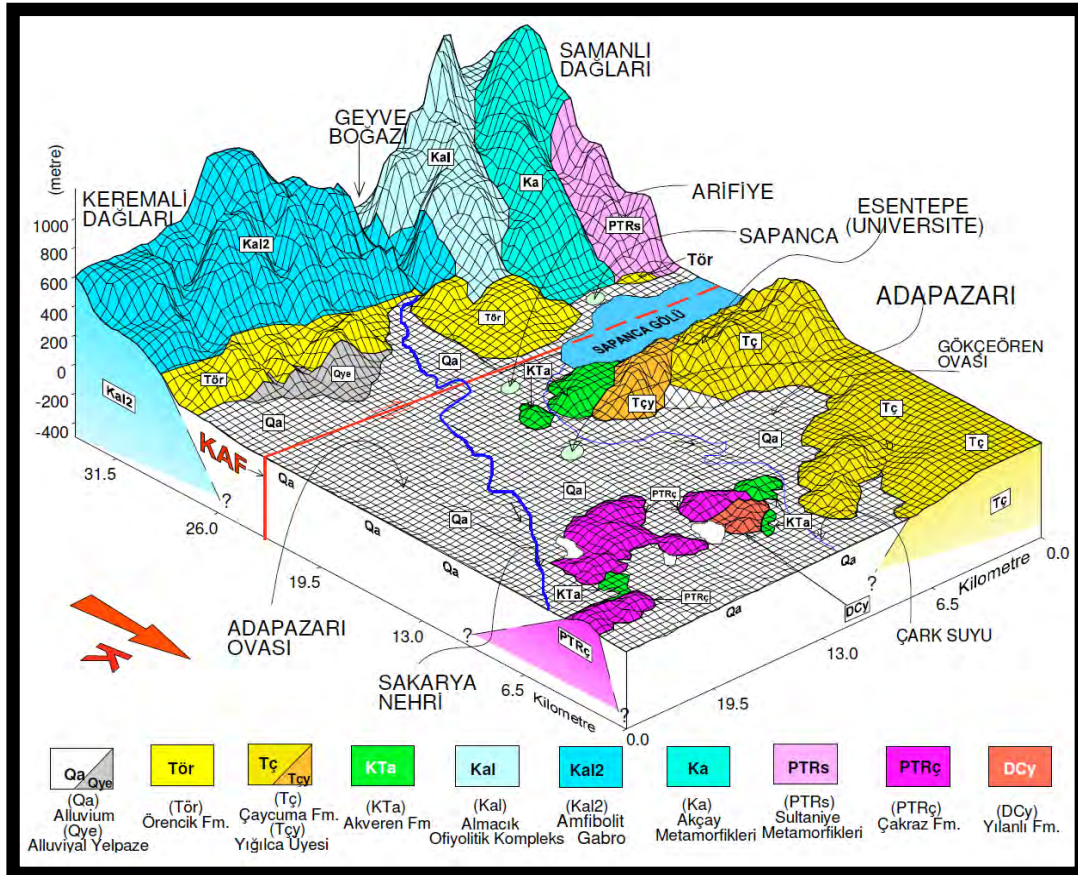
Şekil 8. Doğu Marmara'nın neotektonik dönem fayları. Açıklama: **1. Aktif faylar:** KAF zonu: AF1: Dokurcun segmenti, AF2: İzmit-Adapazarı segmenti, AF3: İzmit-Geyve segmenti, AF4: Gemlik segmenti, AF5: Zeytinbağı segmenti, AF6: Gölçük fayı (olası aktif), AF7: Yalova fayı (olası aktif), AF8: Bursa fayı, AF9:Uluabat fayı, AF10: Düzce fayı. **2. Aktif olmayan faylar:** IF1:Yalakderece fayı, IF2:Orhanfgazi fayı, IF3: Gençali fayı, IF4: Adliye fayı, IF5: İzmit fay zonu, IF6: Yenişehir fay zonu, IF7: İnegöl fayı, IF8: Karacabey fayı. **3. Çizgisellikler:** L1:Hendek-Yığılca çizgiselliği, L2:İzmit-Karasu çizgiselliği, L3: İstanbul çizgiselliği, L4: İmrallı çizgiselliği. (Emre vd. 1998).

YAŞ	FORMASYON	KALINLIK (m)	KAYA TÜRÜ (FASİYES)	OLUŞUM ORTAMI	KAYA TÜRÜ ÖZELLİKLERİ
KUVATERNER	SAKARYA	0.3-4 ~ 300		Yelpaze Taşkın ovası Akarsu Menderesli Nehri	-Kahverenkli, kahverenkli - siyah, güncel tarım toprağı (1-4 m kalınlıklı) -Çakıl ve kum mercikleri içeren, gri-yeşil-siyah renkli silt ve kil ardaşımı -Kanal içi ve nokta barları olarak oluşmuş çakıl, kum ve ince katmanlı kil bandları ardaşımı -A. Seçilmemiş, köşeli, çoktör bileşenli talus.
DİSKONFORMİTİ					
GEÇ PLİYOSEN	KARAFÜRÇEK - KANLIÇAY	~ 780		Akarsu (kanal) Taşkın Ovası	-Merceksel, kalın katmanlı-masif, çoktör bileşenli, az gelişmiş çapraz katmanlı, çoktör bileşenli, çatlaklı çakıltaşı merceksel çakıltaşları (kanal dolgusu), karbonat bandları ve kumtaşı kamaları içeren silttaşı-şeyil marl ardaşımı. Çatlaklı ve kalsit damarlarıyla kesilir. -Seçilmemiş, kalın tabakalı-masif, çoktör bileşenli, bileşenler iyi yuvarlaklaşmamış, yer yer çapraz katmanlı, kesme kırıklarıyla kat edilmiş çakıltaşı. -Taban Çakıltaşı. Çoktör bileşenli, 1 m'ye varan boyutta blok ve çakılları içerir. Kumtaşı hamurlu, çatlaklı, tabakalanma göstermez.
AÇILI UYUMSUZLUK					
GEÇ KRETASE - EOSEN	YİĞİLCA - ÇAYCUMA	~ 500		Açık derin deniz	-B. FLİŞ. Başlıca ince tabakalı pelajik kireçtaşı, kumtaşı, şeyil-marl ardaşımı. Çatlaklı ve 3 m'ye dek ayrışmalı -A. VOLKANİK KAYALAR. Başlıca volkanik breş, tüf, tüfit, andezitik ve bazaltik lava, az oranda da gri-mavi renkli, ince-katmanlı-laminallı şeyil-killi kireçtaşı ve volkanik malzemece zengin kumtaşı ardaşımından oluşur. Lav düzeyleri oldukça sert ve dayanımlı, yer yer 4m'ye değin ayrışmalı ve çatlaklı.
	AKVEREN	~ 750			-FLİŞ. Başlıca pelajik kireçtaşı, şeyil, marl ve türbiditik kumtaşı ardaşımından oluşur. Kireçtaşları sarı-beyaz renkli, ince-orta-kalın katmanlı, çatlaklı ve killi. -Şeyil ve marl mavi-gri renkli, dilinimli, organik maddece zengin. Kumtaşları ince - orta - kalın katmanlı, dereceli katmanlı, çatlaklı. Yer yer ayrışma gösterir. Çatlaklar çoğun kalsit dolgulu.
		180			-İnce-orta katmanlı, çatlaklı, kıvrımlı, çört (silis) yumrulu, killi kireçtaşı -İnce katmanlı, çatlaklı, kıvrımlı, killi kireçtaşı. Kalın katmanlı, çatlaklı, gözenekli resifal çakıltaşı çok tür bileşenli, taban çakıltaşı.
AÇILI UYUMSUZLUK					
GEÇ KRETASE ÖNCESİ		80		Yaşlı temel kayalar	-Çoğunlukla Paleozoyik ve Trias yaşlı kireçtaşı, dolomit, değişik tür metamorfite ve ofiyolitik kaya topluluğu. Kıvrımlı, kırıklı ve ezik.

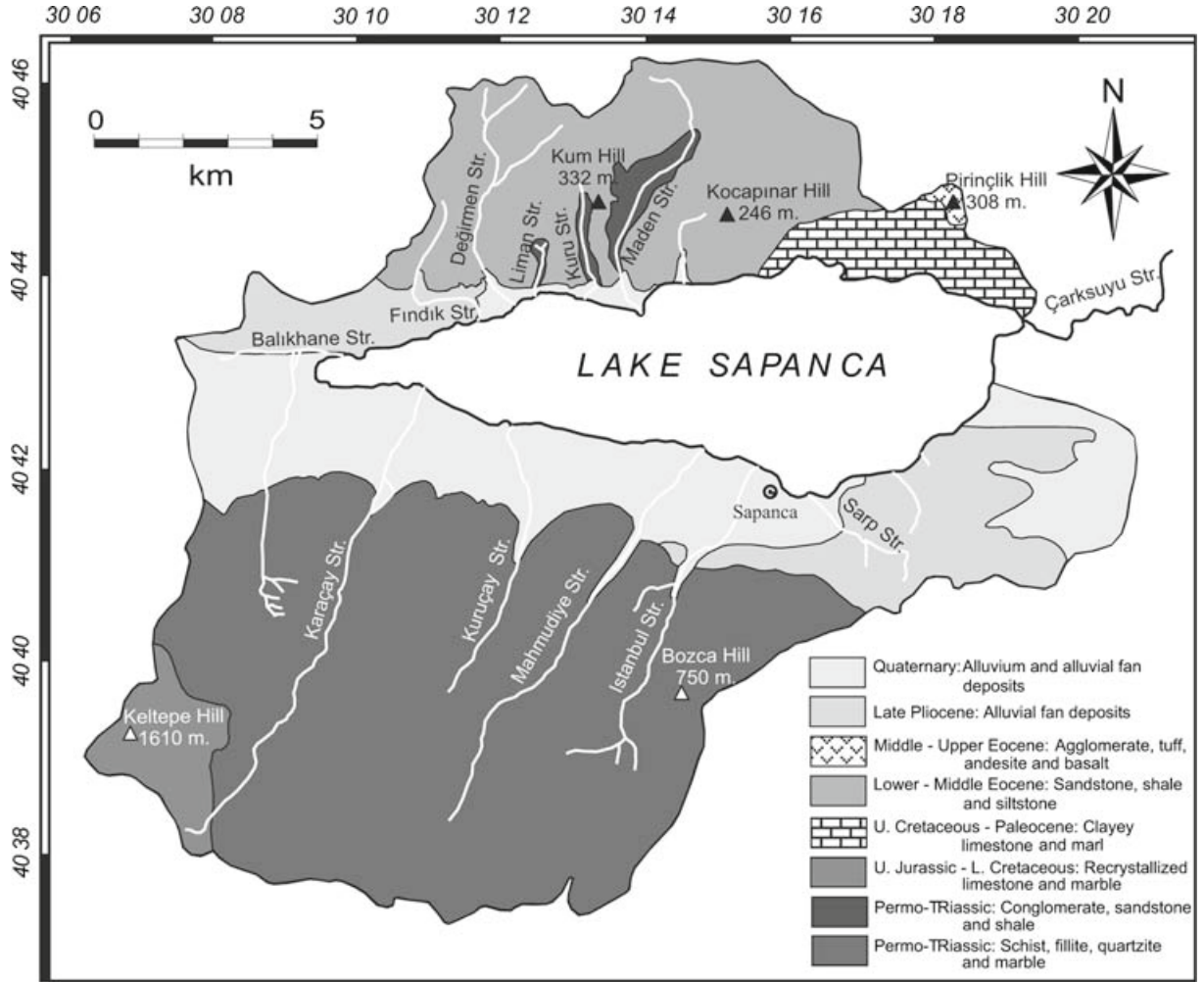
Şekil 9. Sakarya havzası ve yakın çevresi için basitleştirilmiş stratigrafik kesit. (TÜBİTAK, ODTÜ, MTA, 1999).



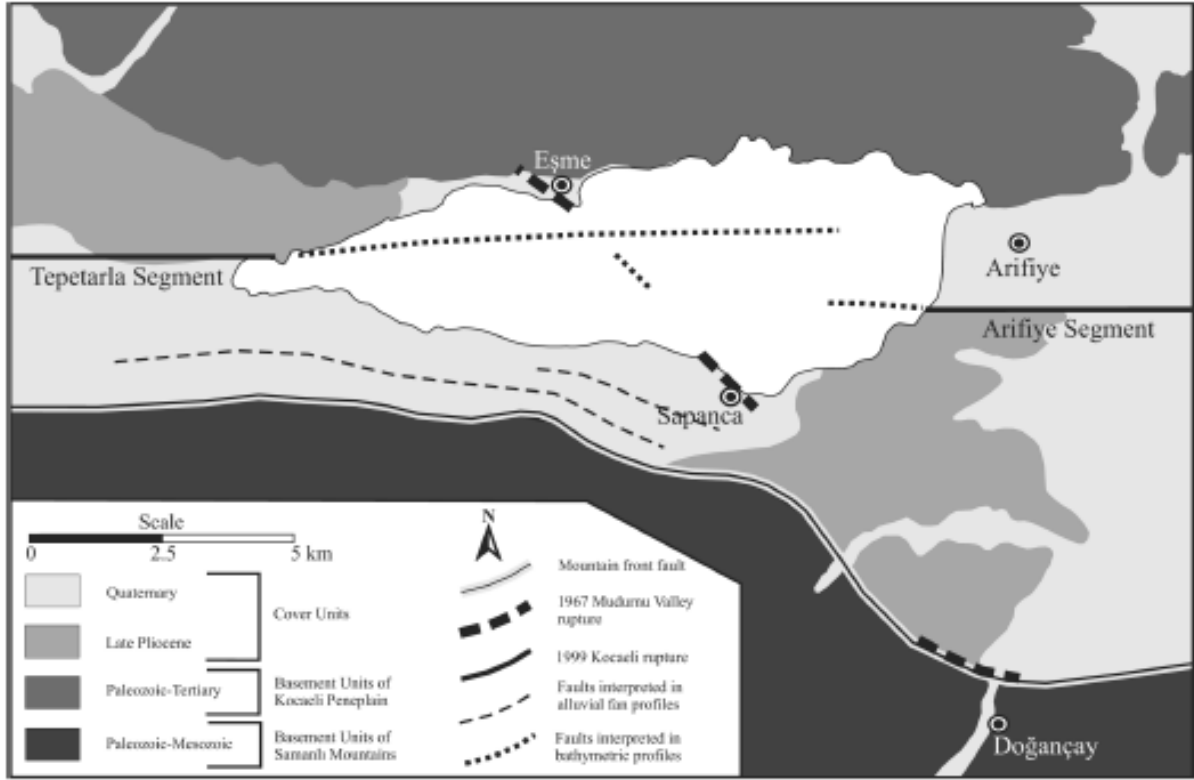
Şekil 10. Sapanca Gölünün Google Earth görüntüsü.



Şekil 11. Sapanca Gölü ve civarı 3 boyutlu jeoloji haritası (Bol, 2003).



Şekil 12. Sapanca Gölü ve civarının jeolojik haritası (Gürbüz ve Gürer, 2008a).



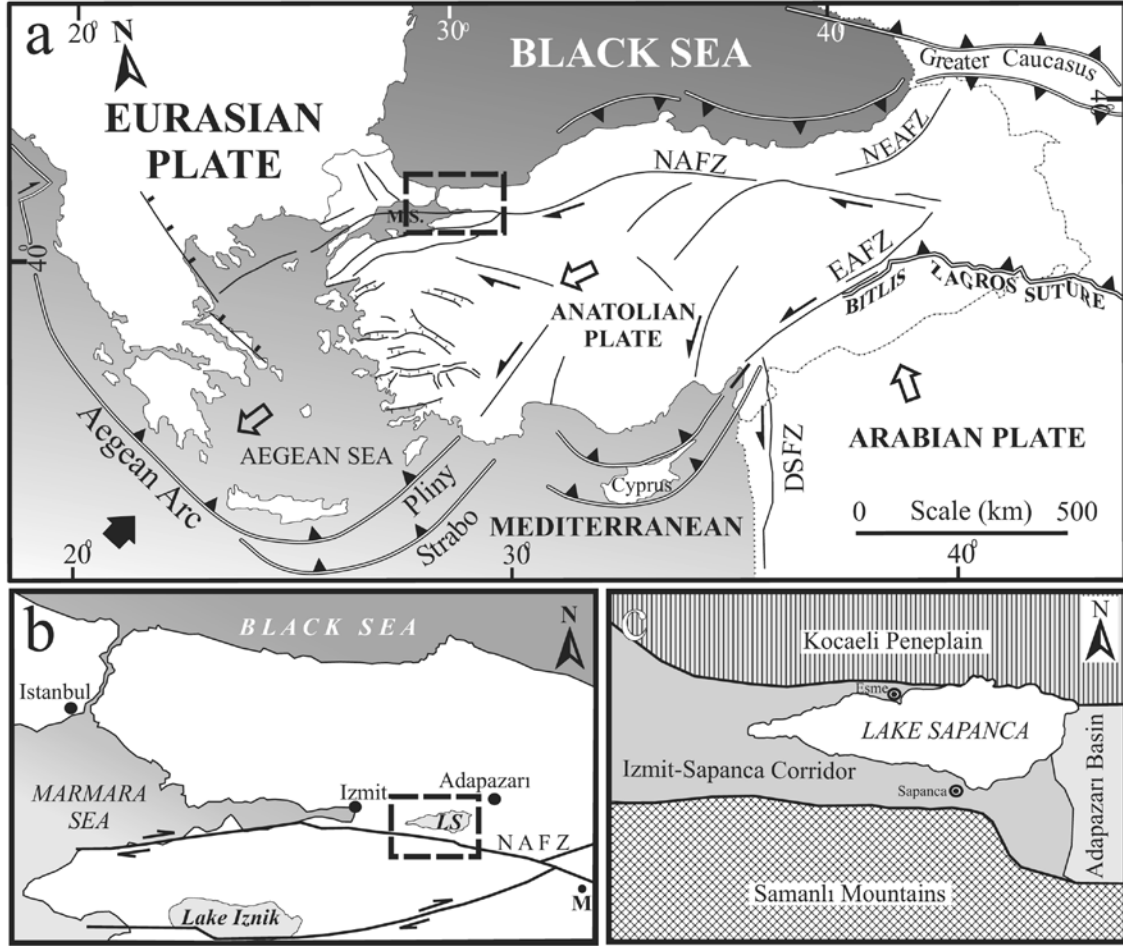
Şekil 13. Sapanca Gölü içerisinde Kuzey Anadolu Fay Zonuna ait fayların muhtemel uzanımı (Gürbüz ve Gürer, 2008b).

5. SAPANCA GÖLÜ ve YAKIN CİVARININ SİSMOTEKTONİĞİ

Marmara bölgesindeki en önemli kaygılardan biri deprem tehlikesi olmuştur. Günümüzde bölgenin daha yoğun nüfusa ve ekonomik olarak önemli sanayi alt yapısına sahip olmasından dolayı bu risk günümüzde çok daha büyüktür. Gerek tarihsel, gerekse güncel deprem verileriyle kanıtlanmış olduğu gibi Marmara bölgesinin depremselliği çok yüksektir. Türkiye ve yakın çevresi aktif tektonik yapısı itibarıyla çok büyük depremlere maruz kalmıştır. Dolayısıyla ülkemizde depremsellik faaliyetlerinin bilimsel anlamda incelenmesi, dünyada tektonik aktivitesi en fazla olan bölgelerden biri olması sebebiyle çok önemlidir. Özellikle Marmara Bölgesi gerek ekonomik, gerekse de jeopolitik önemi bakımından sadece Türkiye değil Dünya için de çok önemli bir konuma sahiptir. Gittikçe artan kentsel nüfus ve sanayileşmeden dolayı; Kuzey Anadolu Fayı'nın batıdaki uzanımının yer aldığı bu bölgede depremsellik çalışmalarına daha fazla önem verilmesi gerekmektedir.

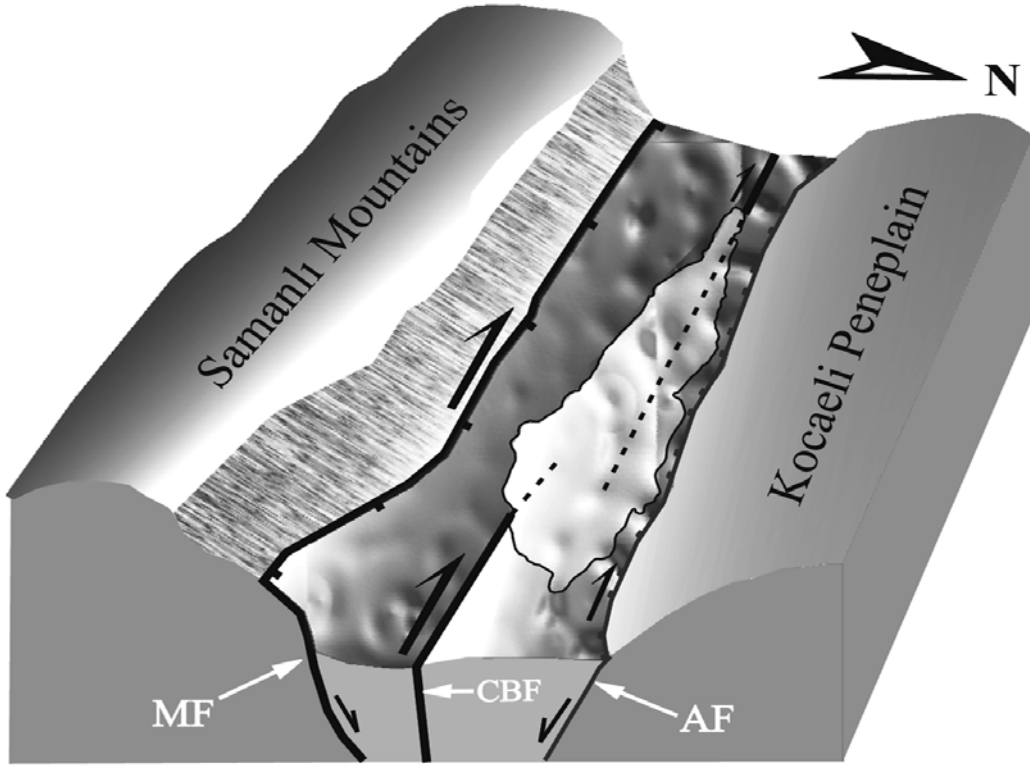
Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), Marmara Bölgesi'ne girdikten sonra üç kola ayrılmaktadır (Şekil 14) (Barka ve Kadinsky-Cade, 1988; Şaroğlu vd., 1992). Kuzey Kol, Sapanca Gölü-Gölcük-Çınarcık- Marmara Denizi altından geçerek Saroz Körfezi'ne girmekte, Orta Kol Geyve- Mekece- İznik Gölü güneyi-Gemlik Körfezine uzanmakta ve Güney Kol Geyve-Yenişehir-Bursa-Biga Yarımadası hattını takip etmektedir (Şaroğlu vd., 1992; Barka ve

Kadinsky-Cade, 1988)(Şekil 14). GPS çalışmaları, Kuzey Kol için diğer kollara göre çok daha büyük fay kayma hızı önermektedir (Flerit vd., 2003; Reilinger vd., 2006; Pondard vd., 2007). Kuzey, Orta ve Güney Kollar için hesaplanan fay kayma hızları sırasıyla 20, 3 ve 2 mm/yıl'dır. Kayma hızı 10 mm/yıl'dan büyük bir fayın depremler açısından en üretken fay sınıfına girdiği dikkate alındığında (Sibson, 2002) Marmara Bölgesi'nde özellikle Sapanca Gölü altından geçen Kuzey Kol için önemli bir deprem tehlikesinin varlığı açıktır.



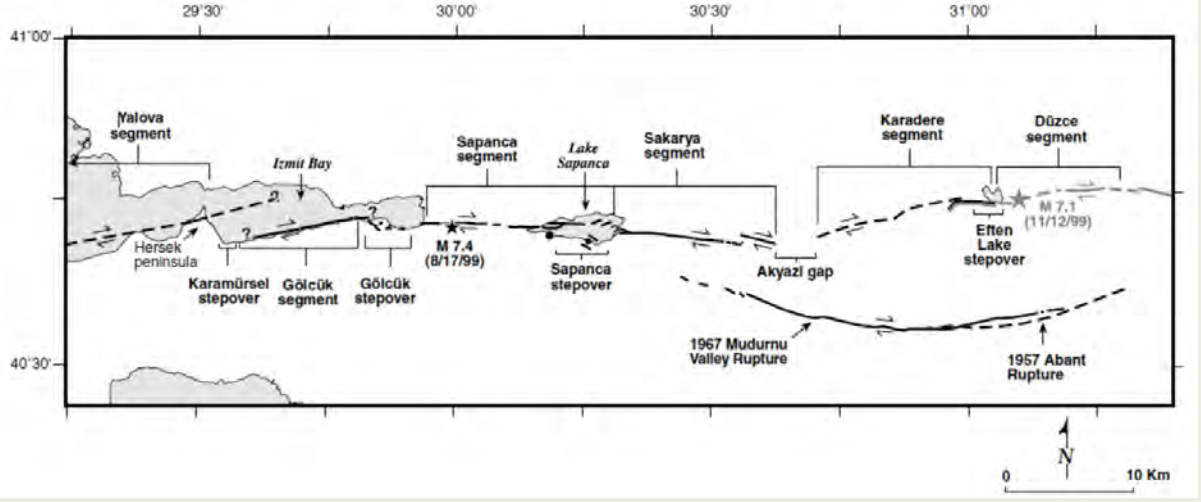
Şekil 14. Sapanca Gölü; Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca, sağ yanal doğrultu atımlı tektonizma altında, çek-ayır havza (pull apart basin) mekanizmasıyla gelişmiş bir tektonik göldür (Barka, 1997; Barka vd., 2000; Lettis vd., 2000; Gürbüz ve Gürer, 2008).

Sapanca Gölü, KAFZ'nun Kuzey Kol'u üzerinde yer ve Kuzey Kol'un 2 fay segmenti (Sapanca-Akyazı ve İzmit-Sapanca segmentleri) arasında oluşan çek-ayır (pull-apart) yapısı sonucu gelişen çukurluk içinde oluşmuştur (Şekil 15) (Lettis vd., 2002). Sapanca Gölü, İstanbul ve Sakarya Zonları arasındaki paleotektonik bir suture zonu olan (Intra Pontid Suture; Şengör ve Yılmaz, 1981) D-B gidişli İzmit-Sapanca Koridoru içerisinde gelişmiştir (Elmas, 2003; Yiğitbaş vd., 2004). Sapanca Gölü'nün güney kenarındaki Samanlı Dağları, Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Kuzey ve Güney kolları arasında bir basınç sırtı olarak yükselmiştir (Koçyiğit, 1988)(Şekil 15).



Şekil 15. Geç Pliyosen'den Günümüz'e KAFZ'nun segmentleri arasında asimetrik bir çek-ayır havza olarak gelişen Sapanca Gölü'nün gelişimini gösteren şematik blok diyagram. MF: Master (Ana) fay, AF: Antitetik fay, CBF: Havzayı kesen çapraz faylar (Gülbüz ve Gürer, 2008)

17 Ağustos 1999 İzmit depremi sırasında bu 2 fay segmenti de kırılmış ve gölün doğu sahilinde faylanmanın karaya çıktığı yerde deprem sırasındaki en büyük yüzey yer değiştirmesi (yaklaşık 5 m) ölçülmüştür (Şekil 16) (Gülen vd. 2002; Barka vd. 2002). 1967 Mudurnu Vadisi depremi kırığı da Sapanca Gölü civarına kadar uzanmıştır (Ambraseys ve Zatopek, 1969). Her ne kadar 1967 Mudurnu Vadisi depreminin yüzey faylanmasının uzanımı göle varmadan sona erse de gölün doğu sahili civarında faylanma olması şüpheli yer değiştirmeler ya da yüzey deformasyonlarına rastlanmıştır (Şekil 16 ve 22).

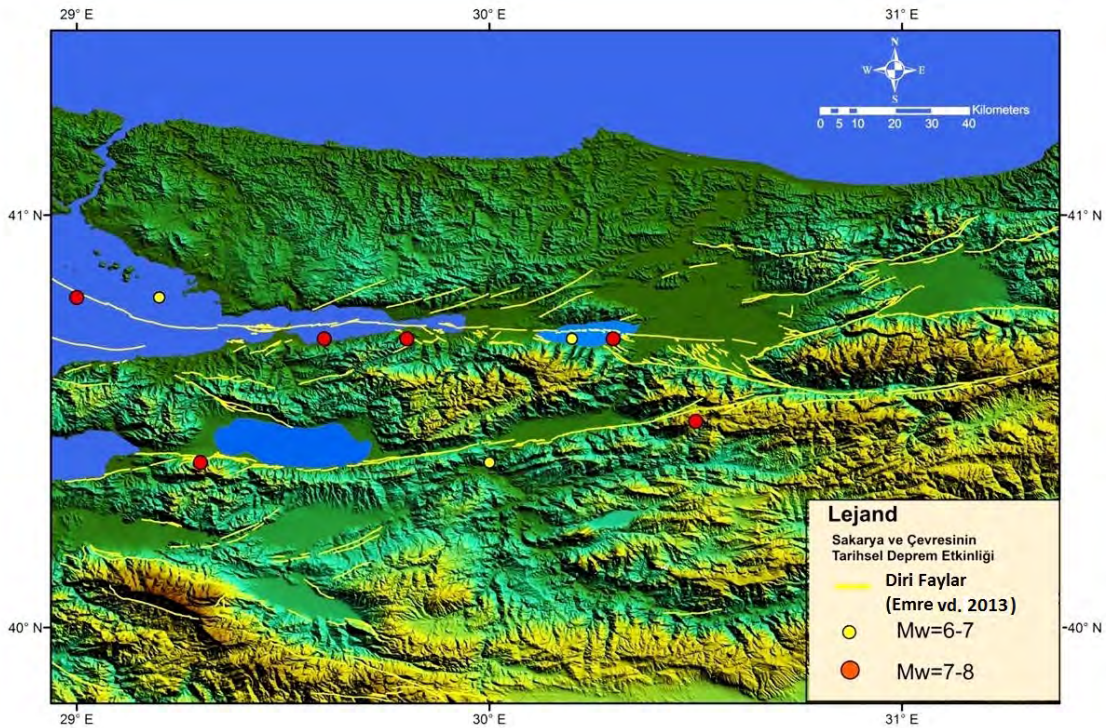


Şekil 16. 17 Ağustos 1999 İzmit Depremi ile ilişkili yüzey kırıkları. Deprem sırasında doğudan batıya doğru Karadere, Sakarya, Sapanca ve Gölcük segmentleri olmak üzere 4 farklı segment kırılmıştır. Sapanca Gölü dolayında, Sakarya segmenti ile Sapanca segmenti arasında sağa doğru bir sıçrama (right stepover) söz konusudur (EERI (2000)’den düzenleyen Lettis vd. 2002).

Odak mekanizması çözümlemelerinin normal ve doğrultu atımlı faylanmalar gösterdiği Marmara Bölgesinde büyük, sık ve yıkıcı depremler meydana gelmektedir. KAF’ın gerek Marmara Bölgesi içinde, gerekse daha batıda Ege Denizi içinde devam ettiği deprem odak mekanizma çözümleri ile de desteklenmektedir (Taymaz vd., 1991; Pınar vd., 2003; Kalafat vd., 2009; Örgülü, 2011; Yalçın ve Gülen, 2013) (Şekil 17 ve 18). GPS çalışmaları, Kuzey Kol için diğer kollara göre çok daha büyük fay kayma hızı önermektedir (Flerit vd., 2003; Reilinger vd., 2006; Pondard vd., 2007). Kuzey, Orta ve Güney Kollar için hesaplanan fay kayma hızları sırasıyla 20, 3 ve 2 mm/yıl’dır (Utkucu vd., 2011; Yalçın ve diğ., 2012). Marmara Denizindeki çukurluklar ile Sapanca, İzmit ve Manyas gölleri, KAF’a ait kolların doğrultu atımlı mekanizmayla ilişkili olan çek-ayır (pull-apart) basenler olarak oluşmuşlardır. Bu doğrultu atımlı faylar boyunca yer alan büküm ve sıçramalar segment sınırlarını meydana getirirler (Çeken, 2007). Bu yapılar kırılmanın tetiklenmesi enerjinin iletimi veya sonlanması rolünü üstlenebilirler (Duman vd. 2007; Yalçın ve Gülen, 2013).

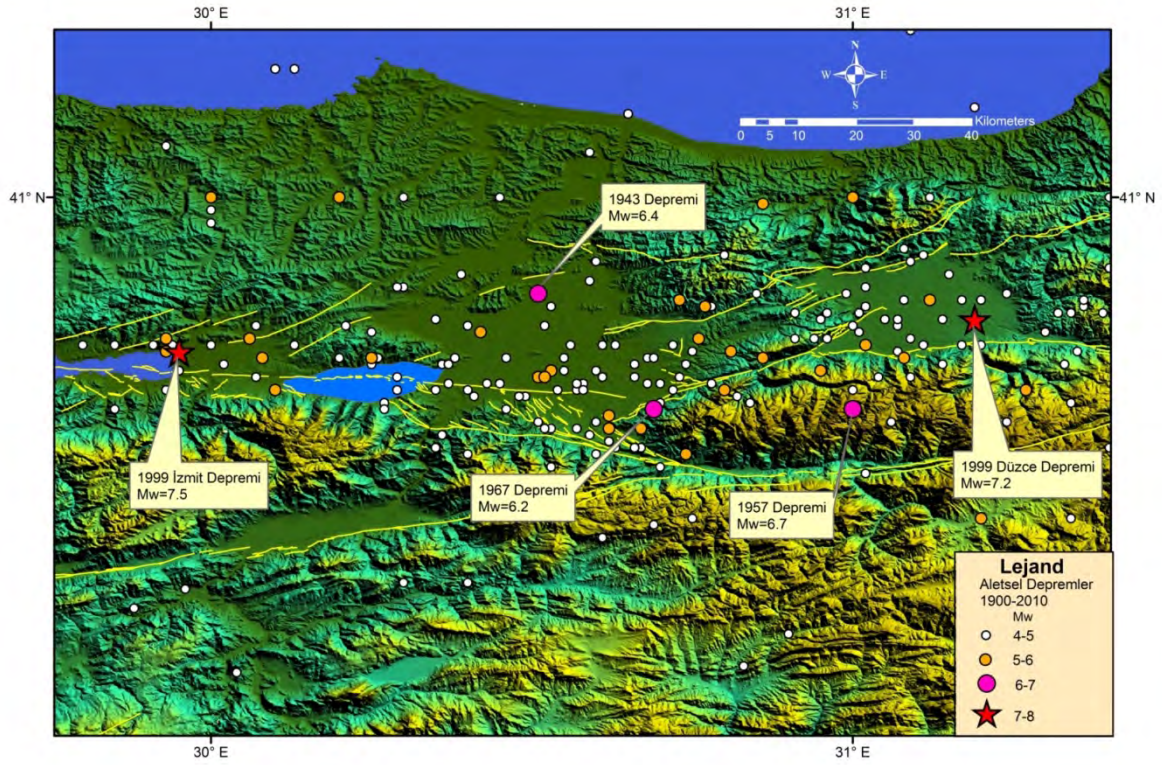
6. SAPANCA GÖLÜ ve YAKIN CİVARININ DEPREMSELLİĞİ

KAFZ'nun üç kol halinde uzanması ve önemli fay kayma hızlarına sahip olması Marmara Bölgesi'nde gerek aletsel gerekse tarihsel dönemde yüksek bir deprem etkinliğine neden olmuştur. Bölgede, MS 400 yılından sonra meydana gelmiş büyüklüğü $M_S \geq 6.8$ olan 43 deprem belirlenmiştir (Papazachos ve Papazachou, 1997; Ambraseys, 2002a). Bu depremler Tablo 1'de listelenmiştir. Tablo 1, bölgede 19. yüzyılda meydana gelmiş büyüklüğü $6.0 \leq M_S < 6.8$ olan depremleri de içermektedir (Ambraseys, 2000). Tablo 1'de sıralanan $M_S \geq 6.8$ olan 43 depremden 12 adedi Sapanca Gölü ve civarını etkilemiştir (Şekil 19). Ayrıca, 1868 depremi tarihi kaynaklarda Sapanca depremi olarak ifade edilmiştir.



Şekil 19. Bölge ve yakın çevresinin tarihsel depremleri (Marmara bölgesinde MS 400 yılından sonra meydana gelen ve büyüklüğü $M_S \geq 6.8$ olan depremler ile 19. yüzyılda meydana gelmiş büyüklüğü $6.0 \leq M_S < 6.8$ olan depremlerin listesi (Papazachos ve Papazachou, 1997; Ambraseys, 2000; Ambraseys, 2002'den derlenmiştir, Utkucu vd., 2011'den derlenerek hazırlanmış ve faylar Emre, v.d., 2013'den alınmıştır).

Bölge içinde önemli bir küçük deprem etkinliği de mevcuttur (Şekil 20 ve 21) (Crampin ve Üçer, 1975; Dewey, 1976; Ayhan vd., 1984; Ambraseys ve Finkel, 1987; Kalafat vd., 2000; Örgülü ve Aktar, 2001; Özalaybey vd., 2002; Kalafat vd., 2008; Örgülü, 2011). 1900'den bu yana büyüklüğü $M_S \geq 5.0$ olan 55 deprem meydana gelmiştir (Tablo 2). Tablo 2'de sıralanan bu depremlerden özellikle 5 tanesi Sapanca Gölü ve çevresinde etkilere neden olmuştur. Bölgedeki yüksek deprem etkinliği, 1981-1999 yılları arasındaki Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü kataloğundan (Kalafat vd., 2008; Kalafat, 2010) (Şekil 20) alınmış ve öncü ve artçı deprem etkinliği arındırılmış (Öncel ve Wyss, 2000) ve büyüklükleri $M_D \geq 2.9$ olan küçük deprem etkinliğinin gösterildiği Şekil 20'den de anlaşılabilir (Utkucu vd., 2011).



Şekil 20. 1900-2010 yılları arasında meydana gelen depremleri kapsayan homojen deprem kataloğu kullanılarak elde edilen Marmara Bölgesi depremselliği (1900-2010 yılları arasındaki Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'nden elde edilmiş büyüklükleri $M_w \geq 4.0$ olan depremler; yıldızlar $M_w \geq 7-8$ büyüklüğündeki depremleri göstermekte olup, faylar Emre, v.d., 2013'den alınmıştır).

Sapanca Gölü ve çevresini etkileyen depremlerden bazılarının izlerine 1999 İzmit depremi sonrasında yapılan paleosismolojik çalışmalarda da rastlanılmıştır (Ikeda vd., 1991; Klinger vd., 2003; Palyvos vd., 2007). Sapanca Gölü tabanındaki sediment tabakalarından karotlar çıkarılması (McHugh vd., 2006; Leroy vd., 2010) yoluyla yapılan paleosismolojik çalışmalarda da Tablo 1'de listelenen birçok depremin bulgusuna rastlanılmıştır.

Tablo 1. Marmara bölgesinde MS 400 yılından sonra meydana gelen ve büyüklüğü $M_S \geq 6.8$ olan depremler ile 19. yüzyılda meydana gelmiş büyüklüğü $6.0 \leq M_S < 6.8$ olan depremlerin listesi (Papazachos ve Papazachou, 1997; Ambraseys, 2000; Ambraseys, 2002'den derlenmiştir). Dış merkez dağılımı için Şekil 1a'ya bakınız. Sapanca Gölü ve yakın çevresini etkileyen depremler koyu harf ve rakamlarla gösterilmiştir.

No	Tarih	Enlem	Boylam	M_S	Yer
1	01.04.407	40.9	28.7	6.8	İstanbul
2	25.09.437	40.8	28.5	6.8	İstanbul
3	06.11.447	40.7	30.3	7.2	İzmit
4	??.??.460	40.1	27.6	6.9	Erdek
5	25.09.478	40.7	29.8	7.3	Karamürsel
6	??.??.484	40.5	26.6	7.2	Gelibolu
7	16.08.554	40.7	29.8	6.9	İzmit
8	14.12.557	40.9	28.3	6.9	Silivri
9	26.10.740	40.7	28.7	7.1	Marmara
10	05.05.824	40.6	26.8	7.0	Barbaros
11	23.05.860	40.8	28.5	6.8	Marmara
12	09.01.869	40.8	29.0	7.0	Marmara
13	25.10.989	40.8	28.7	7.2	Marmara
14	08.01.1010	40.6	27.0	7.4	Gelibolu
15	23.09.1063	40.8	27.4	7.4	Barbaros
16	??.09.1065	40.4	30.0	6.8	İznik
17	??.??.1231	41.0	28.6	6.9	İstanbul
18	01.06.1296	40.5	30.5	7.0	Geyve
19	18.10.1343	40.7	27.1	6.9	Ganos
20	18.10.1343	40.9	28.0	7.0	Ereğli
21	01.03.1354	40.7	27.0	7.4	Gelibolu
22	15.03.1419	40.4	29.3	7.2	Bursa
23	10.09.1509	40.9	28.7	7.2	İstanbul

24	10.05.1556	40.6	28.0	7.1	Erdek
25	18.05.1625	40.3	26.0	7.1	Saros
26	17.02.1659	40.5	26.4	7.2	Saros
27	25.05.1719	40.7	29.8	7.4	İzmit
28	06.02.1737	40.0	27.0	7.0	Biga
29	29.07.1752	41.5	26.7	6.8	Edirne
30	02.09.1754	40.8	29.2	6.8	İzmit
31	22.05.1766	40.8	29.0	7.1	Marmara
32	05.08.1766	40.6	27.0	7.4	Ganos
33	07.02.1809	40.0	27.00	6.1	Gönen
34	06.10.1841	40.8	29.0	6.1	Adalar
35	19.04.1850	40.1	28.3	6.1	Manyas
36	28.02.1855	40.1	28.6	7.1	Bursa
37	11.04.1855	40.2	28.9	6.3	Bursa
38	21.08.1859	40.3	26.1	6.8	Saros
39	22.08.1860	40.5	26.0	6.1	Saros
40	19.04.1878	40.7	30.2	6.0	Sapanca
41	09.02.1893	40.5	26.2	6.9	Saros
42	10.07.1894	40.7	29.6	7.3	İzmit
43	09.08.1912	40.7	27.2	7.4	Ganos
44	18.03.1953	40.1	27.4	7.1	Gönen
45	26.05.1957	40.7	31.0	7.1	Abant
46	06.10.1964	40.1	28.2	6.8	Manyas
47	22.07.1967	40.7	30.7	7.2	Mudurnu
48	17.08.1999	40.7	29.9	7.4	İzmit

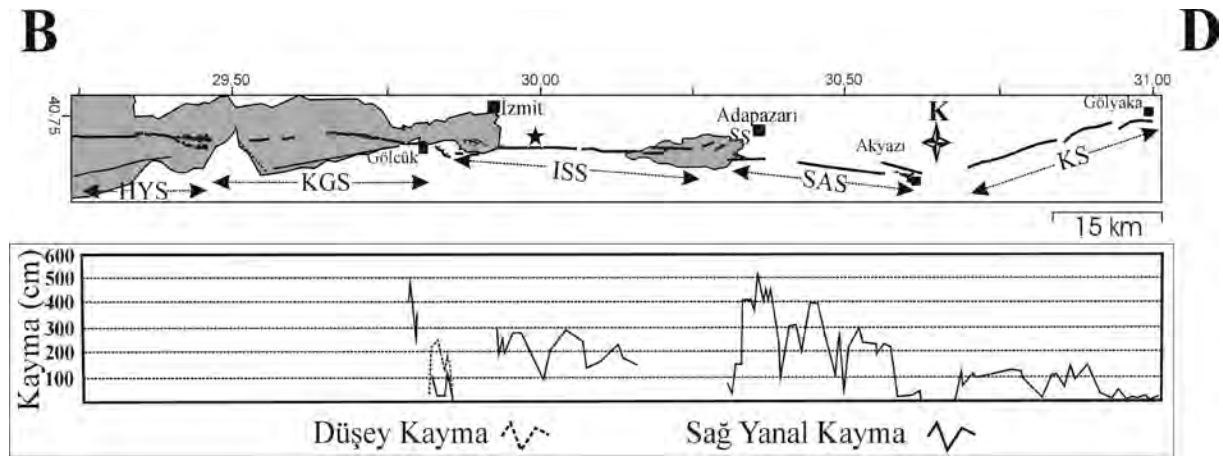
Tablo 2. Marmara Bölgesinde 1900'den günümüze kadar meydana gelmiş büyüklüğü $M \geq 5.0$ olan depremler. Depremlerin dış merkez dağılımları için Şekil 8b'ye bakınız. Sapanca Gölü ve yakın çevresini etkileyen depremler koyu harf ve rakamlarla gösterilmiştir.

No	Tarih	Orijin Zamanı	Enlem	Boylam	M_s	Referans
1	15.04.1905	05.36.??	40.20	29.0	5.6	1
2	22.10.1905	03.42.??	41.00	31.0	5.2	1
3	21.08.1907	-	40.70	30.1	5.5	1
4	09.08.1912	01.29.??	40.60	27.20	7.3	1,2,3
5	10.08.1912	09.23.??	40.60	27.10	6.3	1,2
6	10.08.1912	18.30.??	40.60	27.10	5.3	1,2
7	11.08.1912	08.19.44	40.60	27.20	5.0	1,2
8	13.09.1912	04.27.??	40.70	27.00	6.9	3
9	10.04.1917	19.40.18	40.60	27.10	5.3	1,2
10	16.12.1926	17.54.05	40.13	30.72	5.7	1,2
11	24.01.1928	07.36.11	40.99	30.86	5.3	1,2
12	04.01.1935	14.41.30	40.70	27.47	6.4	4
13	04.01.1935	15.19.18	40.37	27.17	5.6	4
14	04.01.1935	16.20.04	40.65	27.35	6.3	4
15	22.10.1935	07.29.42	40.31	27.21	5.2	1,2
16	02.07.1938	12.26.45	40.17	27.88	5.0	1,2
17	16.06.1942	05.42.34	40.80	27.80	5.6	1,2
18	20.06.1943	15.32.54	40.85	30.51	6.6	1,2
19	20.06.1943	16.47.57	40.84	30.73	5.5	1,2
20	13.11.1948	04.44.50	40.23	29.02	5.6	1,2
21	15.09.1951	22.52.12	40.15	28.02	5.0	1,2
22	03.06.1953	16.05.31	40.28	28.53	5.3	1,2
23	18.03.1953	19.06.13	40.01	27.49	7.2	5
24	23.03.1954	12.58.46	40.50	27.50	5.0	1,2

25	06.01.1956	12.15.44	40.39	26.29	5.5	1,2
26	26.05.1957	06.33.35	40.58	31.00	7.0	2,5
27	26.05.1957	08.54.51	40.60	30.74	5.4	1,2
28	26.05.1957	09.36.38	40.76	30.81	5.9	1,2
29	27.05.1957	11.01.34	40.73	30.95	5.8	1,2
30	01.06.1957	05.26.59	40.75	30.86	5.0	1,2
31	26.12.1957	15.01.44	40.83	29.72	5.2	1,2
32	26.07.1959	17.07.06	40.91	27.54	5.4	1,2
33	29.03.1963	03.09.17	40.29	26.15	5.1	1,2
34	18.09.1963	16.58.14	40.77	29.12	6.3	1,2
35	06.10.1964	14.29.57	40.24	28.16	5.1	1
36	06.10.1964	14.31.23	40.20	28.20	6.8	5
37	23.08.1965	14.08.58	40.51	26.17	5.6	1,2
38	21.08.1966	01.30.43	40.33	27.40	5.5	1
39	22.07.1967	16.56.58	40.57	30.80	6.9	5
40	22.07.1967	17.48.06	40.66	30.62	5.1	1
41	22.07.1967	18.09.55	40.72	30.51	5.0	1,2
42	30.07.1967	01.31.01	40.63	30.53	5.6	5
43	03.03.1969	00.59.10	40.08	27.50	5.7	1
44	17.03.1975	05.35.17	40.48	26.08	5.8	1
45	27.03.1975	05.15.07	40.45	26.12	6.7	1
46	05.07.1983	12.01.27	40.33	27.21	5.8	2,6
47	17.08.1999	00.01.38	40.73	29.97	7.8	7,8
48	17.08.1999	03.14.01	40.59	30.62	5.3*	9
49	19.08.1999	15.17.45	40.65	29.09	5.0*	9
50	31.08.1999	08.10.51	40.74	29.97	5.0*	9
51	13.09.1999	11.55.29	40.76	30.08	5.8*	9
52	29.09.1999	00.13.06	40.71	29.30	5.0*	9

53	11.11.1999	14.41.25	40.78	30.29	5.5*	9
54	20.10.2006	18.15.24	40.24	27.98	5.0 ⁺	10
55	24.10.2006	14.00.21	40.41	28.99	5.0 ⁺	10

1: Ayhan vd., 1984; 2: Kalafat vd., 2007; 3: Ambraseys ve Finkel, 1987; 4: Crampin ve Üçer, 1975; 5: Dewey, 1976; 6: Kalafat vd., 2000; 7: Özalaybey vd., 2002; 8: United States Geological Survey; 9: Örgülü ve Aktar, 2001; 10: Örgülü, 2011; * M_w ; ⁺ M_D .



Şekil 22. Yüzey ve denizaltı jeoloji çalışmaları ve yüzey kırıkları boyunca ölçülen yüzey yer değiştirmelerinden haritalanan 1999 İzmit depreminin yüzey kırıkları (kalın siyah çizgiler) (Barka et al. 2002, Lettis et al. 2002, Armijo et al. 2002, Cormier et al. 2006'dan derlenmiştir). Deprem Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca doğudan batıya doğru Karadere (KS), Sapanca-Akyazı (SAS), İzmit-Sapanca (İSS), Karamürsel-Gölcük (KGS) and Hersek-Yalova (HYS) segmentleri şeklinde adlandırılan 5 fay segmenti oluşturmuştur. Siyah yıldız 1999 İzmit depreminin episantırını gösterir. AG: Akyazı Boşluğu, SS: Sapanca step-over, GS: Gölcük step-over, HS: Hersek step-over, HP: Hersek Körfezi.

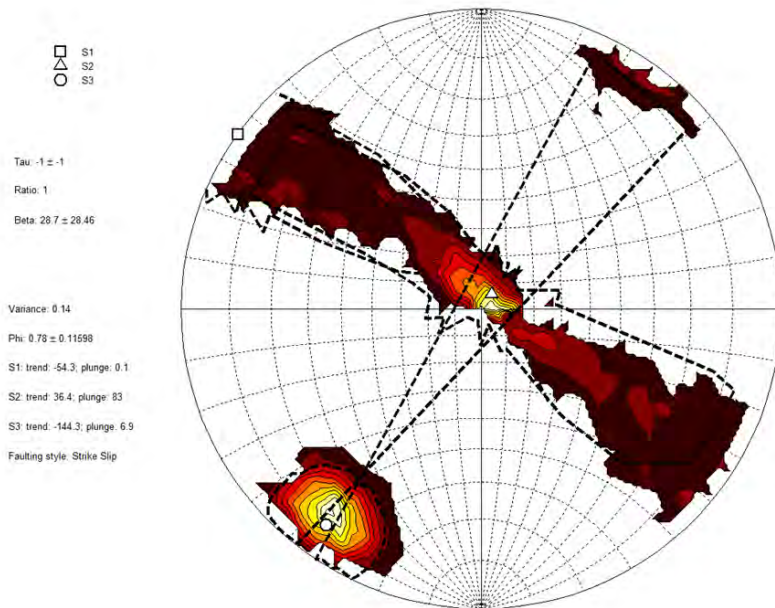
6.1. Stres Tensör Çözümü

Sapanca Gölü ve yakın çevresi için CMT-Harvard (1976-2012) verilerinden ve diğer literatür çalışmalarından (Gürbüz vd., 2000) yararlanılarak stres tensör çalışmaları yapılarak üç asal gerilme (S_1 , S_2 , S_3) ve bunların göreceli olarak büyüklük ve stres alanının homojenliği ile ilgili değişimleri elde edilmiştir. Bir üç eksenli gerilme tensörü için R değeri 0.5'ten küçük ise transpresif (ters bileşenli doğrultu atım) rejime, R değeri 0.5'ten büyük ise transtensif (normal bileşenli doğrultu atım) rejime karşılık gelir. Çalışılan bölge için elde edilen kısıtlı veri bu bölgenin stres dağılımı bize bir fikir vermekle beraber veri sayısının çok daha fazla olması stres tensör çözümlerinin daha sağlıklı olmasını sağlayacaktır. Bununla ilgili olarak birçok algoritma ileri sürülmüştür (Gephart ve Forsyth, 1984; Michael, 1987) Bu çalışmada lokal stres değişimlerini incelemek amaçlı Michael 1987 ve Gephart, 1990 yöntemleri

kullanılmıştır. Buna göre S1, S2, S3 değerleri, stres alanlarının homojenliğine göre değişmiştir. Faylanma türü normal, doğrultu atımlı ve ters faylanma olarak Zoback, 1992'ye göre sınıflandırılmıştır.

Tablo 3. Sapanca Gölü ve civarı için yapılan stress tensör analizinde kullanılan odak mekanizması parametreleri. (Derlenen Kaynaklar; CMT-Harvard verileri, Gürbüz, 2000; Eyidoğan, H., 1988 ; Aktar ve Örgülü, 2001; Kandilli Deprem Araştırma Enstitüsü).

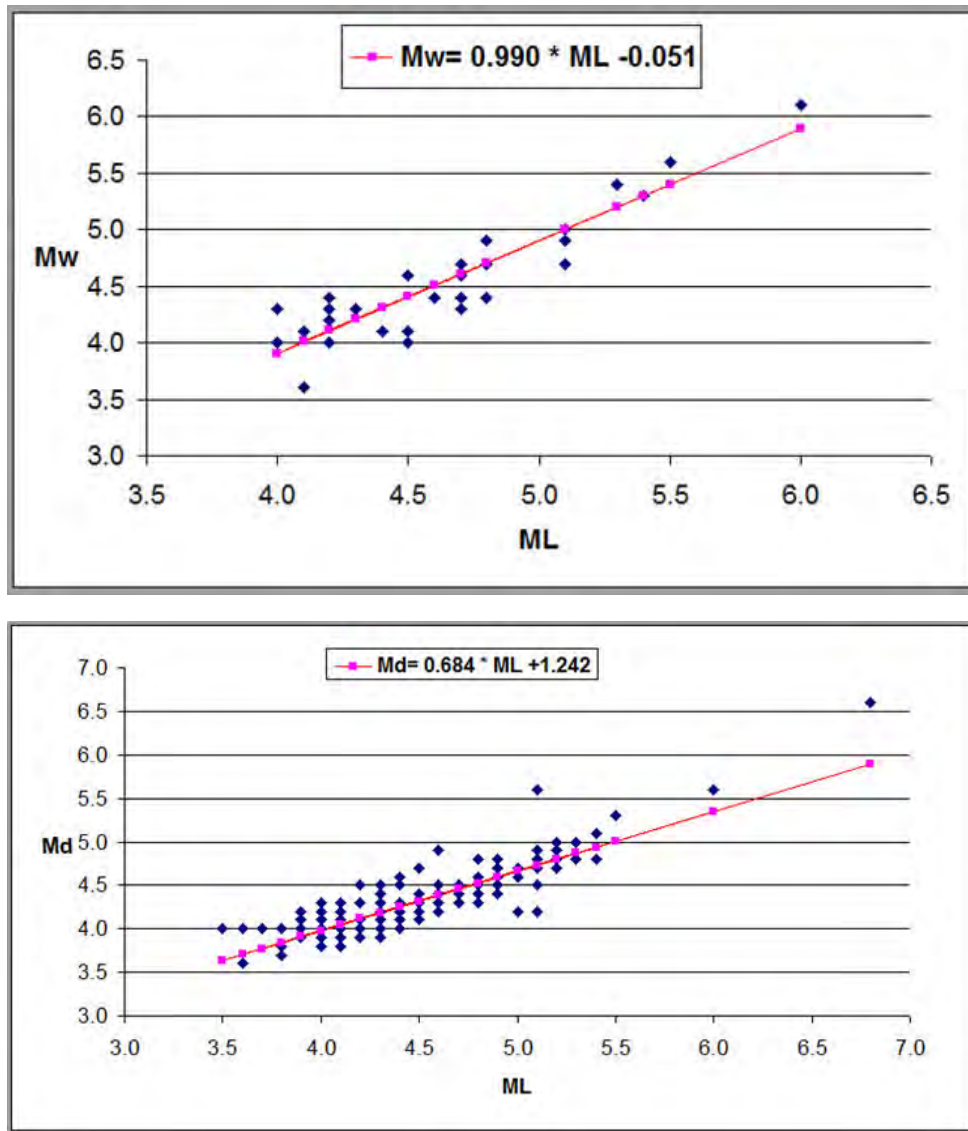
lon	lat	year	month	day	mag	depth	hour	min	dip-direction	dip	rake
30.05	40.54	1983	10	21	5.40	15	20	34	307	90	180
29.97	41.01	1999	8	17	7.60	17	0	1	272	45	-120
29.10	40.68	1999	8	19	5.10	15	15	17	3	45	-120
30.25	40.43	1999	8	31	5.10	15	8	10	59	33	-22
30.29	40.31	1999	9	13	5.80	15	11	55	358	59	-176
29.69	40.55	1999	9	29	5.20	15	0	13	156	48	-171
30.10	40.95	1999	11	11	5.60	15	14	41	31	50	-175
30.72	40.68	2000	8	23	5.30	15	13	41	343	57	-160
30.38	40.70	1943	6	20	6.30	15	15	32	176	90	166
30.89	40.66	1957	5	26	7.10	15	6	33	177	78	179
30.80	40.80	1957	5	26	6.00	15	9	36	204	24	-166
31.00	40.70	1957	5	27	5.50	15	11	1	23	74	157
29.09	40.71	1963	9	18	6.20	15	16	58	358	70	-125
30.80	40.70	1967	7	22	7.20	15	16	56	183	90	180
30.40	40.70	1967	7	30	5.60	15	1	31	31	50	-110
30.74	40.70	1999	12	13	4.30	15	19	13	340	75	-179
31.75	40.90	2000	2	14	5.10	15	6	56	350	42	154
30.23	40.79	2000	4	2	4.30	15	18	57	328	62	-177
30.71	40.68	2000	8	23	5.20	15	13	41	343	61	177
30.35	40.70	2006	2	8	4.20	15	6	7	168	88	-176



Şekil 23. Tablo 3'ten yararlanılarak oluşturulan bölgenin hakim gerilme durumu ve S1, S2, S3 değerleri (Michael, 1987 metodu kullanılarak elde edilmiştir).

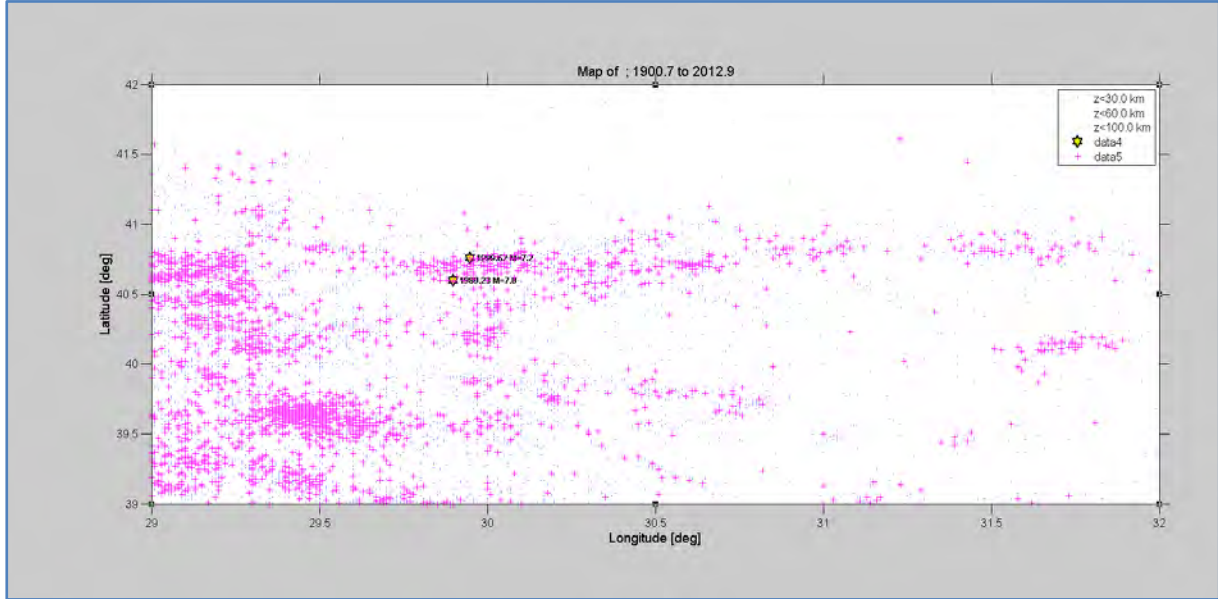
6.2. Güncel Katalog Analizi - Depremsellik Parametrelerinin Hesaplanması

Çalışmada kullanılan ham deprem kataloğu 1900-2013 yılları arasını kapsamakta olup Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü kataloğundan alınmış, artçı şoklar, tetiklenmiş depremler, deprem fırtınaları gibi deprem kümeleri katalogdan arındırılmıştır (Öncel ve Wyss, 2000; Kalafat vd., 2007; Kalafat vd., 2008; Kalafat, 2010). Magnitüd türleri süreye bağlı magnitüd (M_d) ve yerel magnitudler (M_l) aşağıdaki ampirik bağıntılara göre (Kalafat ve Güneş, 2011) 29° - 32° boylam 39° - 42° enlemleri arasında kalan bölgede 25810 adet depremsellik verisi M_w türüne dönüştürülmüştür (Şekil 26).

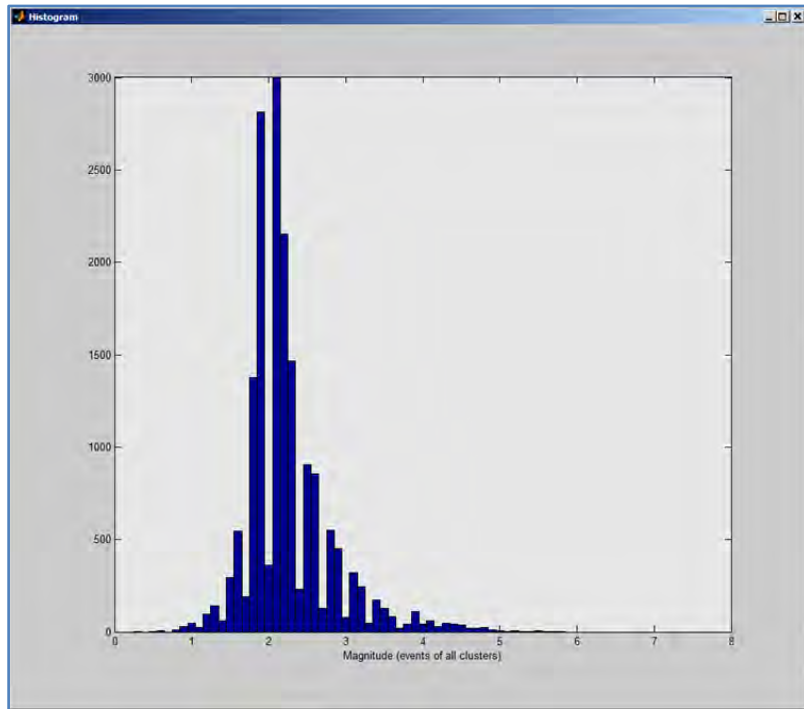


Şekil 26. Süreye bağlı magnitüde (M_d) ve local magnitüde türlerinin (M_l) moment magnitüdüne (M_w) dönüştürülmesi için kullanılan ampirik bağıntılar.

Ham deprem veri seti Gardner and Knopoff (1974) ve Reasenber (1985) algoritmaları yardımıyla arındırıldıktan sonra patlatma verileri de kaldırılmış (Wiemer ve Baer, 2000) ve bölge için kapsamlı ve homojen bir katalog oluşturulmuştur (Şekil 27 ve 28).

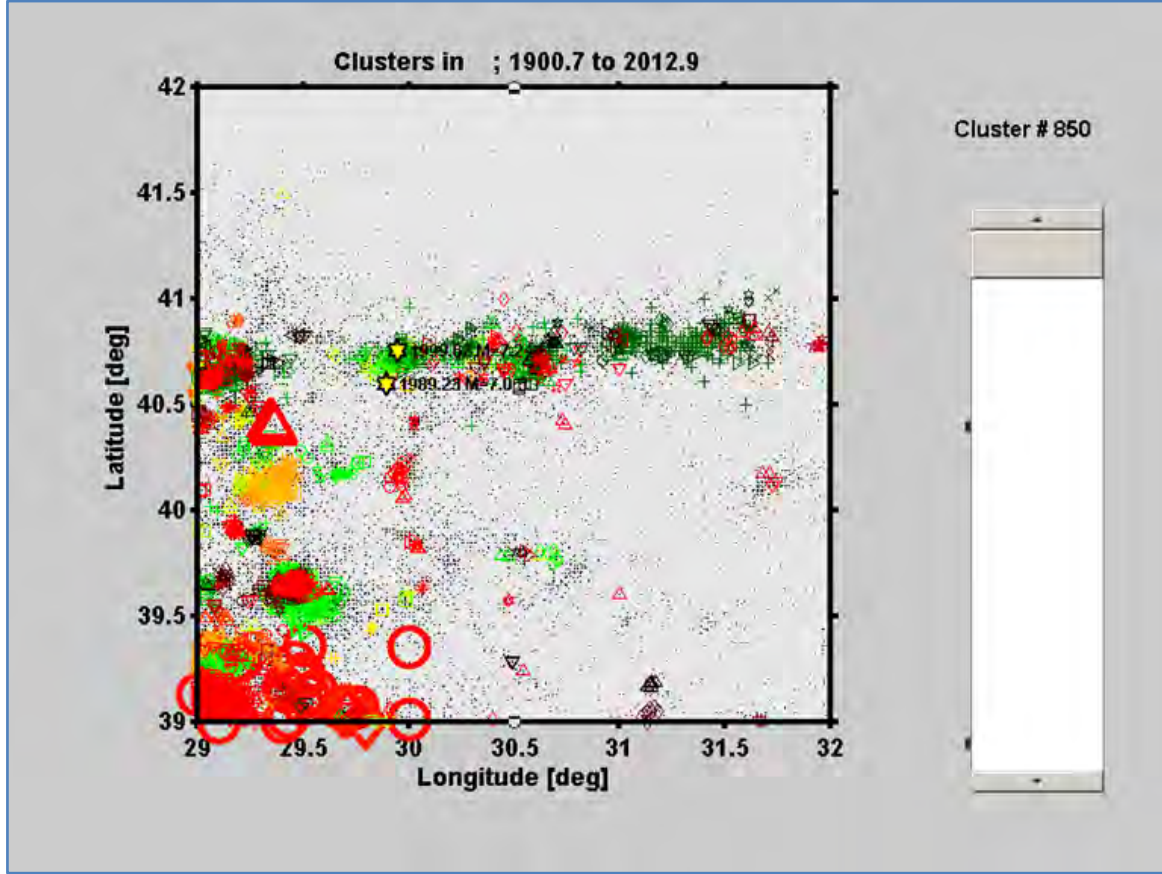


Şekil 27. Ham deprem kataloğundan Gardner ve Knopoff , 1974 algoritmasına göre 2422 deprem kümesi tespit edilmiş ve buna göre 25810 deprem verisinden 17360 adedi kaldırılmıştır.



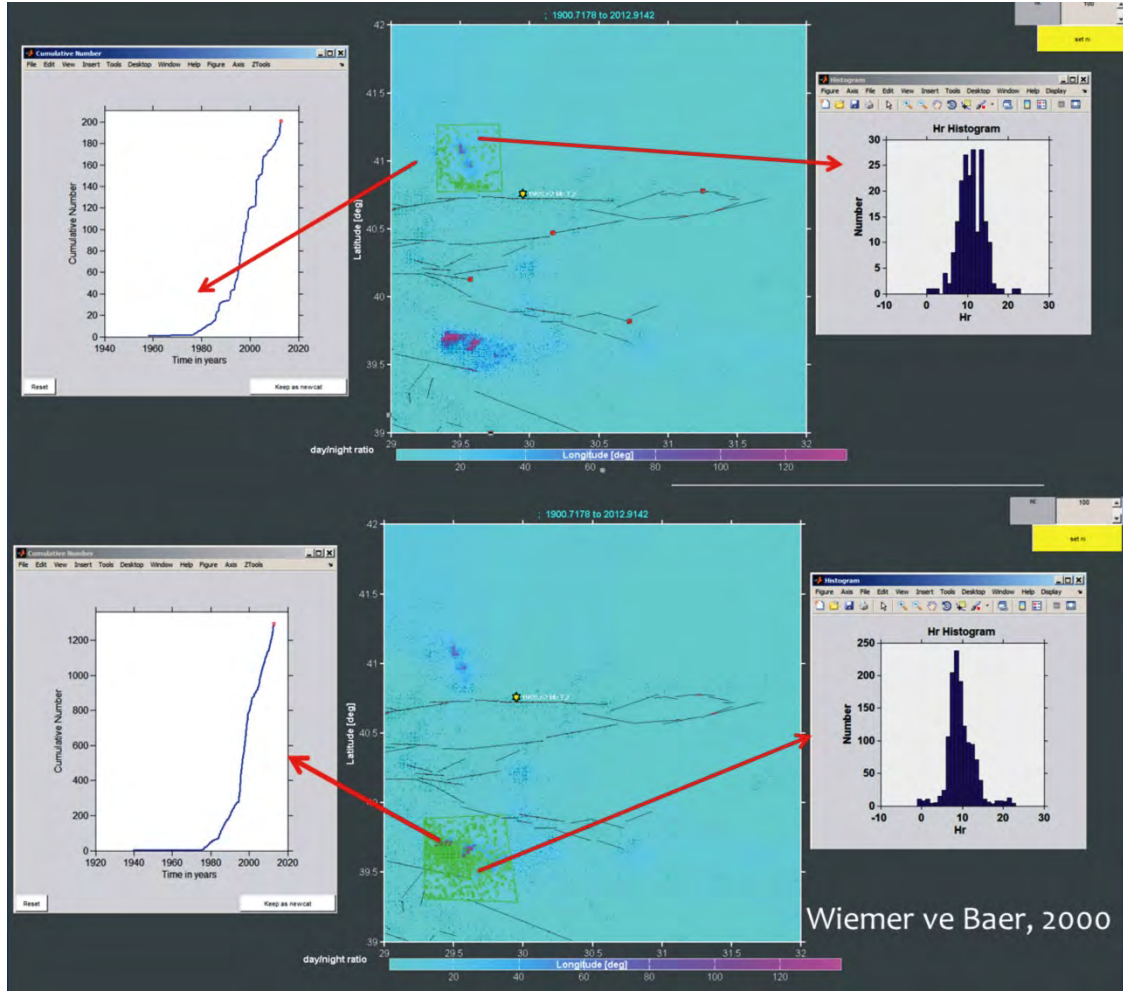
Şekil 28. Ham deprem kataloğundan kaldırılan olayların magnitude-sayı histogramı (Gardner and Knopoff , 1974 algoritmasıyla elde edilmiştir).

Bir başka method olarak kullanılan Reasenberg, 1985 algoritması ile 850 adet deprem kümesi elde edilmiş ve 7516 olay katalogdan kaldırılmıştır (Şekil 29).



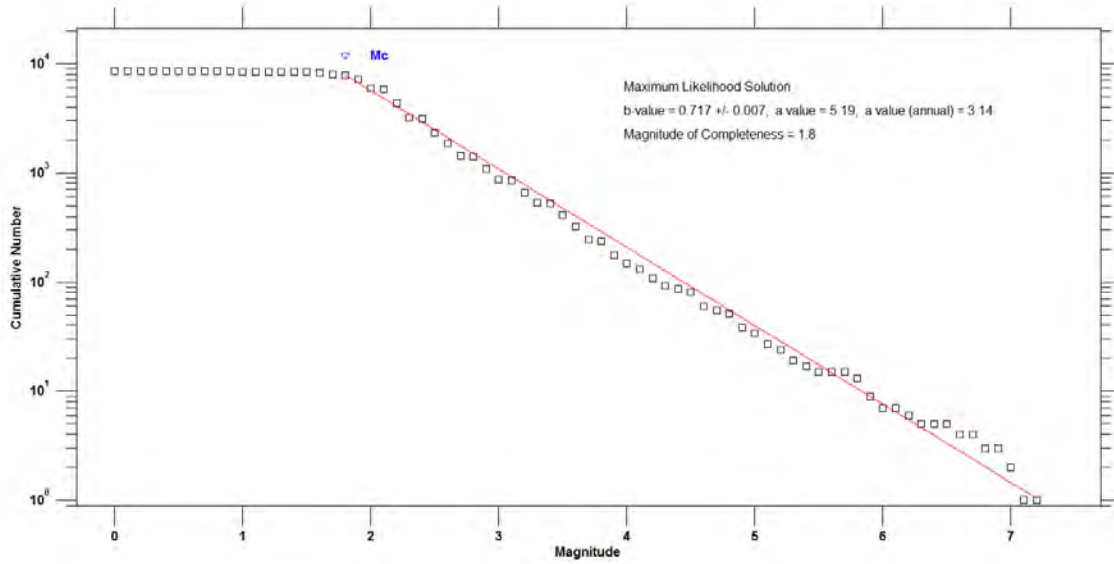
Şekil 29. Reasenberg, 1985 yöntemine göre belirlenmiş 850 adet deprem kümesinin yeri.

Patlatma verilerinin katalogdan ayırt edilmesinde Wiemer ve Baer, 2000 algoritması kullanılmıştır. Algoritmanın tabanı taşocağı patlatmalarının genellikle gün içinde yapıldığı esasına dayanır. (Gün içi zaman/ gece zamanı= R_q). Patlatma verileri Gün / Gece oranı (D/N ratio) hesaplanırken her nodda 0.1×0.1 lik hücre ve 100 olay, b değerleri haritalanırken ise 0.025×0.025 lik gridler de ise en yakın 50 olay kullanılmıştır. En açık yöntem bütün gün içerisi patlatmaları çıkarmaktır. Histogramdaki olay sayısının özellikle gün içerisinde belli saat aralıklarında artışından açıkça görülmektedir. Bununla birlikte kullanılabilen veri sayısını yaklaşık %50 oranında azalmaktadır. Gün içi bazı tektonik kaynaklı depremler de kaçınılmaz olarak veri setinden çıkarılmaktadır. Bu konuda sayısal veri analizleri ve deprem odak derinliği iyi bir ayırıcı etmen olsa da katalogun büyüklüğü bunu zorlaştırmaktadır. Özellikle ülkemizde meydana gelen depremlerin küçük olayların ayrılması güvenilir olmayabilir (Kalafat ve diğ., 2010; Wiemer ve Wyss, 2010). Bu bölgelerde b değerinin genellikle yüksek ($b > 1.5$) olduğu belirlenmiştir (Kalafat ve diğ., 2010, Şekil 30).

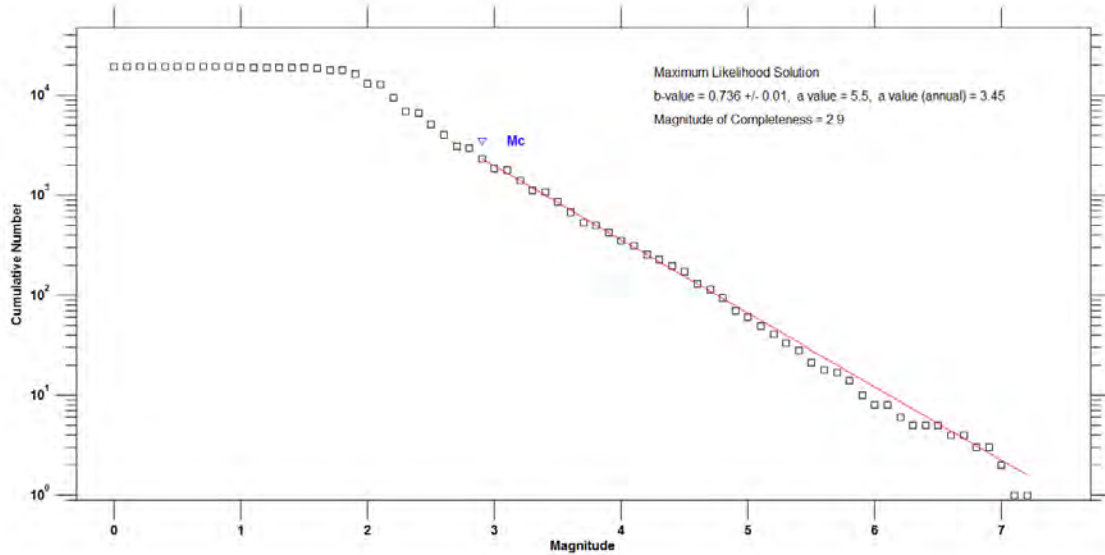


Şekil 30. Bölgede tespit edilen patlatma verilerinin olduğu bölgeler ve gün içerisinde belli saat aralıklarında meydana gelen olayların kümülatif sayı histogramları (Wiemer ve Baer, 2000 yöntemi kullanılmıştır).

Çalışılan bölgede elde edilen her iki yöntemle de elde edilen homojen deprem kataloğu analiz edilmiş ve patlatma verileri ham deprem kataloğundan arındırılmıştır. Gutenberg – Richter parametreleri (a ve b değerleri) hesaplanmış ve b değerlerinin uzaysal ve zamansal ortamda değişimleri incelenmiş ve haritalanmıştır. Gutenberg-Richter (1954) tarafından tanımlanan; $\log N = a - b$; bilindiği üzere a değeri deprem etkinliğini ifade etmektedir ki, a değeri gözlem dönemi ve incelenen alanın genişliğine bağlıdır. a değeri magnitüd-frekans bağıntısında $\log N$ eksenini kestiği noktadır. b değerinin ise depremlerin magnitüd-oluşum sayılarının logaritmaları ($\log N$) arasındaki eğim miktarıdır ve depremin oluşum fiziki ile doğrudan ilişkilidir. Genel olarak magnitüd-frekans bağıntılarından elde edilen b değerlerinin kabuktaki gerilime bağlı ve ters orantılı olarak değiştiği belirlenmiştir.



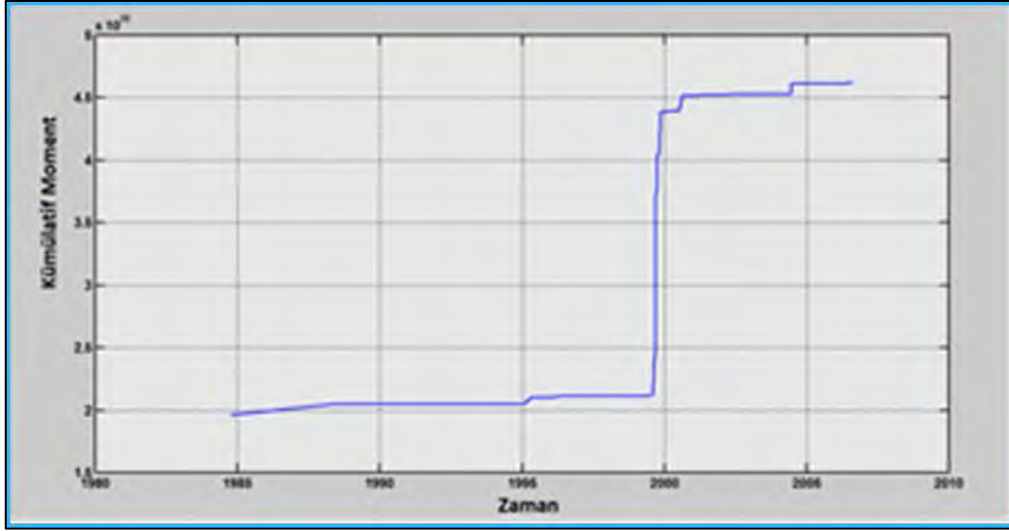
Şekil 31. Gardner ve Knopoff, 1974 yöntemi ile analiz edilen katalogtan yararlanılarak elde edilen en büyük olasılık yöntemine göre (Aki, 1965) hesaplanan depremsellik parametreleri (ZMAP yazılımı (Wiemer, 2001) ile oluşturulmuştur).



Şekil 32. Reasenber, 1985 yöntemi ile analiz edilen katalogtan yararlanılarak elde edilen en büyük olasılık yöntemine göre (Aki, 1965) hesaplanan depremsellik parametreleri (ZMAP, Wiemer, 2001 ile oluşturulmuştur).

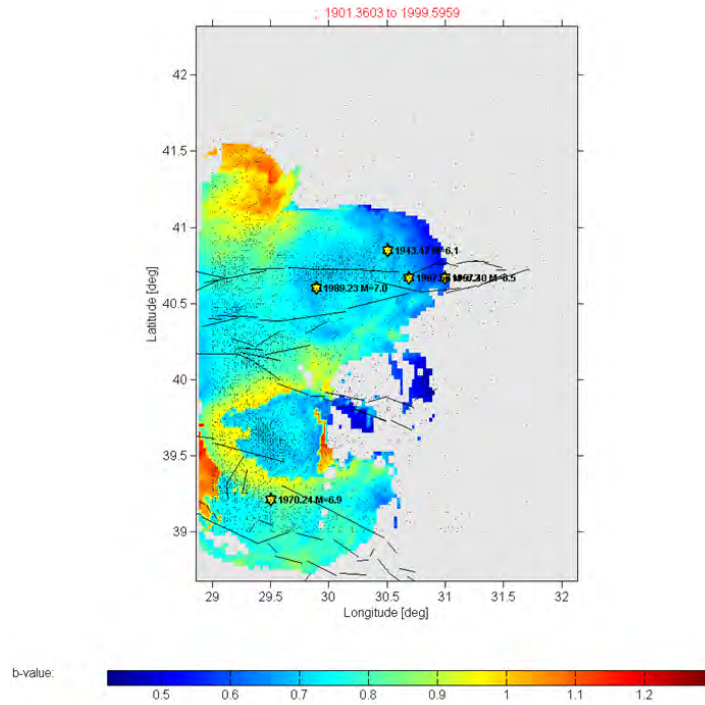
Bölge için Gardner ve Knopoff yöntemine göre hazırlanan homojen katalogtan yararlanılarak elde edilen $b=0.71\pm0.007$; a değeri ise $= 5.19$, M_c (tamamlılık magnitüdü) $=1.8$; Reasenber, 1985 yönteminden elde edilen kataloğa göre elde edilen $b=0.736\pm0.01$, $a=5.5$ ve M_c (eşik değer magnitüdü) $=2.9$ olarak hesaplanmıştır (Şekil 31 ve 32). Buna göre her iki yöntem sonucu depremsellik parametreleri arasında büyük bir fark gözlenmese de M_c (tamamlılık

magnitüdü) değerindeki farklılığın kataloğun 1900-2013 yılları arasında çok uzun bir zaman aralığında alınmasından kaynaklanmaktadır (Şekil 33).

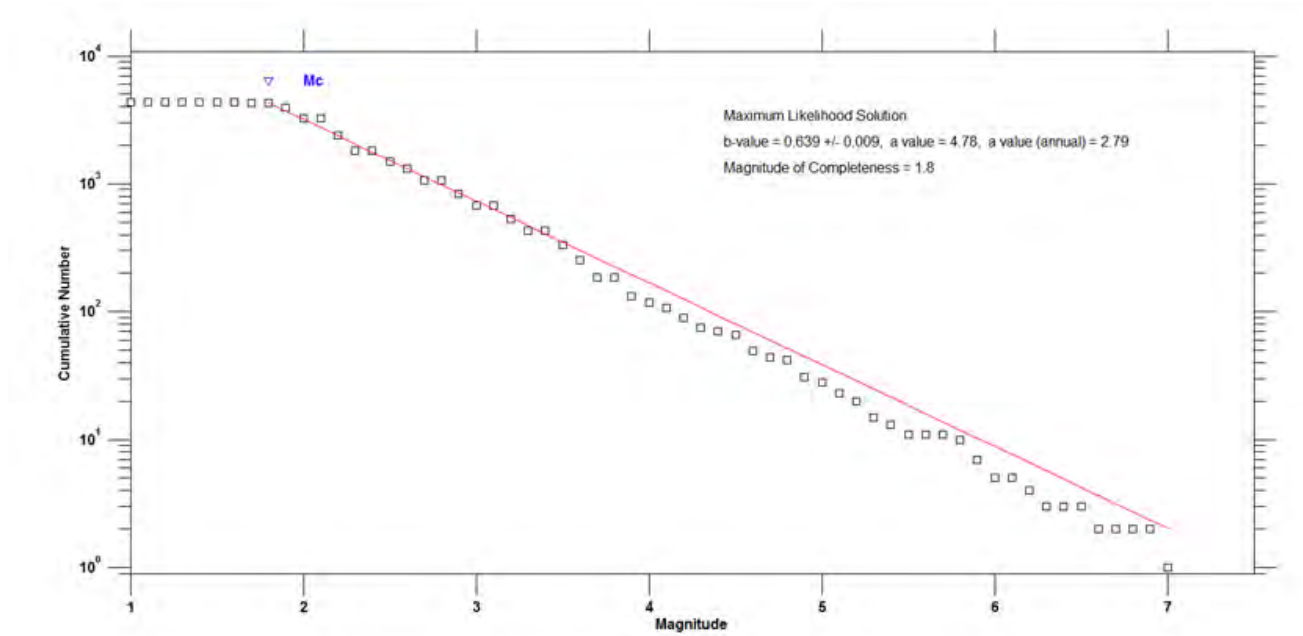


Şekil 33. Bölgede meydana gelen kümülatif deprem enerjisinin 1985-2006 yılları arasındaki dağılımı grafiği

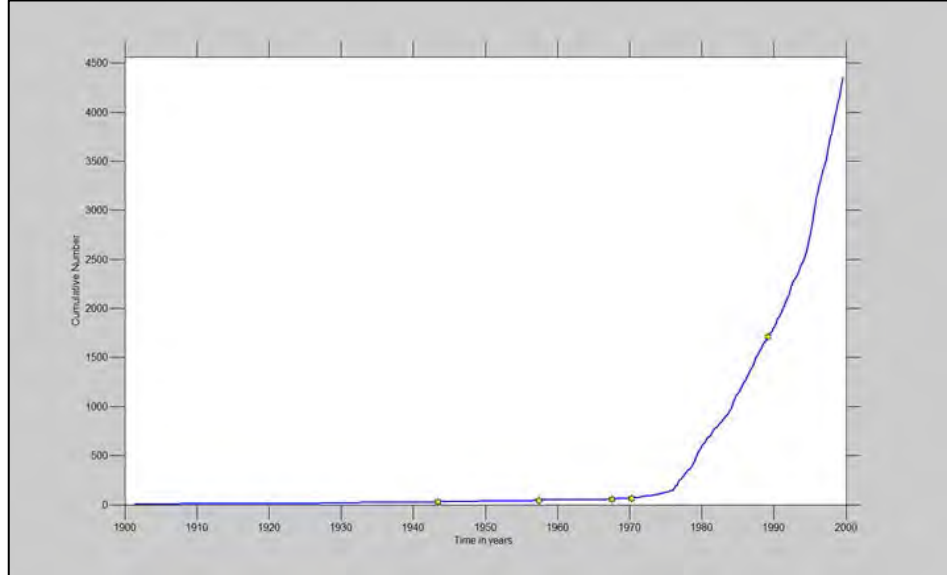
Bu zaman periyodunda kabuğun kümülatif enerji dağılımına bakıldığında 1999 yılı öncesi ve sonrası büyük bir enerji değişimi olduğu açıkça gözlenmektedir (Şekil 32). b değeri değişimi haritaları hazırlanırken bu ayrıntı gözönünde bulundurularak analizler yapılmıştır.



Şekil 34. Sapanca Bölgesi ve civarı için 1900-1999 yılları arasında hesaplanan b değeri değişimi haritası



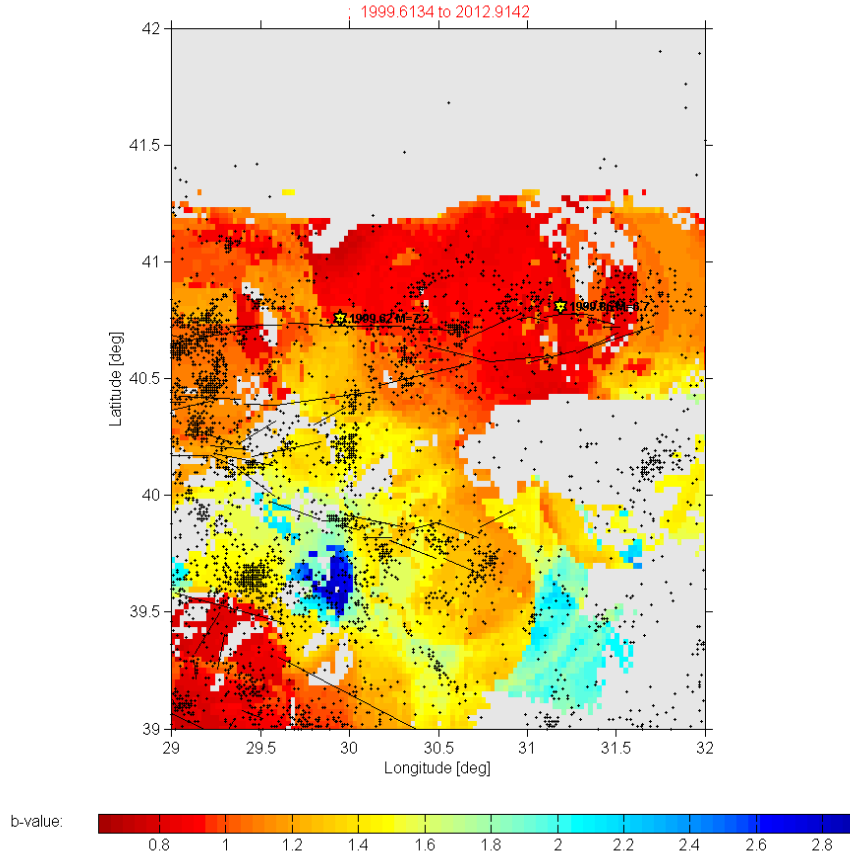
Şekil 35. Sapanca Bölgesi ve civarı için 1900-1999 yılları arasında hesaplanan b değeri , a değeri ve M_c değerlerinin en büyük olasılık yöntemine (Aki, 1965) göre hesaplanması (ZMAP, Wiemer, 2001 ile oluşturulmuştur).



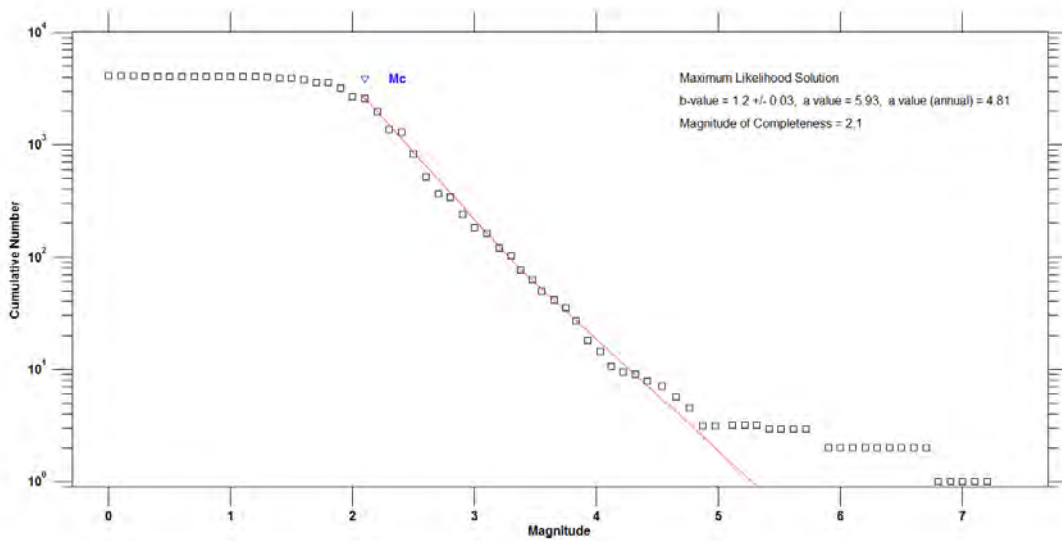
Şekil 36. Sapanca Bölgesi ve civarı için 1900-1999 yılları arasında değişen kümülatif deprem sayısı

Çalışmada yapılan uzaysal dağılım hesaplamalarında kullanılan karelaajlama aralıkları ve veri daire yarıçaplarının farklı değerleri için de hesaplamalar yapılmıştır. Bunun için veri tabanı Zmap programının (Wiemer, 2001) okuma formatına uygun hale getirilerek alan kaynaklarda b değerleri incelenmiştir. Sapanca Bölgesi ve civarı için 1900-1999 yılları arasında

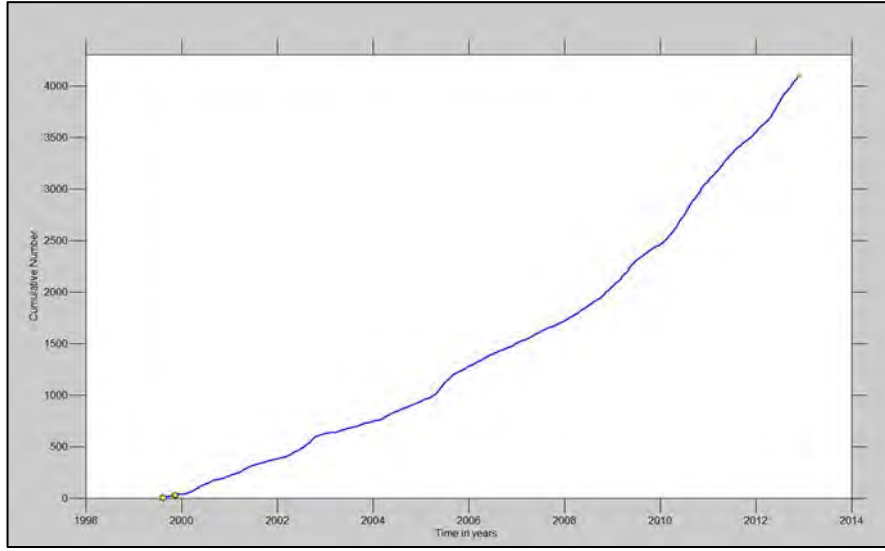
hesaplanan b değerlerinin 0.5-1.2 arasında değiştiği elde edilmiş ve özellikle Sapanca civarı ile adaların etrafında b değerinin oldukça düşük olduğu tespit edilmiştir (Şekil 34,35,36).



Şekil 37. Sapanca Bölgesi ve civarı için 1999-2013 yılları arasında hesaplanan b değeri değişimi haritası.



Şekil 38. Sapanca Bölgesi ve civarı için 1999-2013 yılları arasında hesaplanan b değeri, a değeri ve Mc değerlerinin en büyük olasılık yöntemine (Aki, 1965) göre hesaplanması (ZMAP, Wiemer, 2001 ile oluşturulmuştur).



Şekil 39. Sapanca Bölgesi ve civarı için 1900-1999 yılları arasında değişen kümülatif deprem sayısı

Sapanca Bölgesi ve civarı için 1999-2013 yılları arasında hesaplanan b değerlerinin 0.8-1.6 arasında değiştiği elde edilmiştir (Şekil 37, 38, 39).

7. SAPANCA GÖLÜ SİSMİK YANSIMA VE SONAR ÇALIŞMASI

7.1. Saha Çalışmaları:

Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde bulunan Sapanca Gölü'nde gölün oluşumuna neden olan yapısal unsurların ortaya çıkarılması amacıyla proje kapsamında 14-17 Aralık 2012 tarihlerinde sismik yansıma ve sonar çalışmaları yapılmıştır. Çalışmalarda yerel bir balıkçıdan kiralanmış bir motor-yat kullanılmıştır. Sismik ve sonar cihazları ile navigasyon sistemi teknenin en uygun görülen yerlerine monte edilmiştir. Alıcı ve kayıt sisteminin özellikleri ile kayıt geometrisindeki farklılıklardan kaynaklanan nedenler dolayısıyla sismik ve sonar verileri ayrı zamanlarda ve hatlar üzerinde toplanmıştır. Çalışmalar öncelikle sismik hatlar üzerinde sismik yansıma verileri toplanmakla başlamış, sismik çalışmaları takiben gölün batı kesiminde sonar verileri toplanmıştır.

Sismik ve Sonar Sistemi ve Elemanları:

Çalışma İTÜ-EMCOL Laboratuvarında bulunan SES2000 Compact Sub-Bottom-Profiler sığ sismik sistemi ve proje kapsamında satın alınan sonar sensörü ile yapılmıştır (Şekil 40 ve Şekil 41).

- Sismik enerji ünitesi: Akustik enerji üretiminde kullanılmıştır.
- Kontrol ve veri depolama ünitesi: kayıt parametrelerinin seçilmesi, verilerin kayıt edilmesi, kayıt esnasında verilerin kalite kontrolü ve navigasyon için monitoring amacıyla kullanılmıştır.
- Transducer cihazları: akustik enerjinin suya iletilmesi ve göl tabanı ile taban altından yansıyarak geri gelen enerjiyi algılayan cihazlardır. Bu çalışmada sismik ve sonar transducer cihazları ayrı zamanlarda kullanılmıştır.
- 2 kW jeneratör: sismik ve navigasyon sistemine 220 V 50 Hz elektrik enerjisi sağlamak amacıyla kullanılmıştır.
- DGPS mobil navigasyon sistemi: istenilen sismik ve sonar hatları üzerinde gidilmesi ve koordinat bilgilerini kayıt etmek amacıyla kullanılmıştır.
- Askı: transducer cihazlarının suya sarkıtılması amacıyla tekne kenarına monte edilmesini sağlayan boyu ayarlanabilen metal çerçevedir.



Şekil 40. Çalışmada kullanılan cihazlar (arkada soldan sağa: sismik transducer, sismik enerji ünitesi, control sistemi; önde: mobil navigasyon sistemi).

7.2. SES-2000 Compact Sistem Özellikleri:

- 1/2 19" 7HE sistem ünitesi ve gerekli bütün alıcı-verici elektroniği, ağırlık 25 kg
- Primer frekans 100kHz, Sekonder frekans: 5, 6, 8, 10, 12, 15 kHz
- Işın genişliği $\pm 1.8^\circ$, Elektrik güç aktarımı: $> 12 \text{ kW}$
- Derinlik aralığı: 1m - 400m
- Saniyede 30 puls, sığ sularda cisimlerin araştırılmasında saniyede 50 puls
- Puls uzunluğu 67 – 800 μs
- Sistem kontrolü için USB arayüzü ile PC veya Notebook bilgisayara bağlantı
- Tetikleyici Girişi/Çıkışı
- Dalga yükseklik-alçaklık algılayıcısı (MRU, TSS, Octans) için RS-232 girişi
- Bant-sınırlı LS-sinyali için Analog Çıkış

- Veri toplama, veri depolama, sistem kontrolü, online/offline kağıt baskısı ve veri görüntülemesi için SESWIN yazılımı (GPS/konum belirleme için RS232 arayüz, derinlik değerlerinin online çıkışı)

- 110-220V/50-60 Hz elektrik gücü

7.3. Sonar Transducer Özellikleri:

- Transducer boyutları: 0.6m × 0.1m × 0.15m; ağırlık: 20kg
- Frekans: 100 kHz
- Işın genişliği: yatay $\pm 0.9^\circ$ / düşey $\pm 35^\circ$ (each side)
- Elektriksel puls gücü: > 4kW
- Güç seviyesi: > 220dB/ μ Pa re 1m
- Pulse length: 100 μ s – 250 μ s
- Operasyon aralığı: 20m – 200m
- Pulse sayısı: saniyede 25 puls
- Gerçek zamand eğik yol düzeltmesi ve gürültü giderme fonksiyonlu
- SS-2000 sistemi ile sayısal veri kaydı



Şekil 41. Çalışmada kullanılan sismik transducer (solda) ve sonar transducer cihazları (sağda)

7.4. Operasyon:

Yukarıda özellikleri belirtilen sistemler uygun bir şekilde çalışma botuna yerleştirilmiştir. Elektronik cihazlar dalga ve yağmur suyundan etkilenmemeleri için tekne kabinine konulmuştur. GPS anteni tekne kabini dışına, açık havayı görecektir şekilde yerleştirilmiştir. Sismik ve sonar sensorleri imalatçı firmanın teknik talimatları çerçevesinde teknenin yan tarafına bu amaç için imal edilmiş bir metal askı ile monte edilmiştir (Operator's Manual, SES-2000 Compact, 2012-08). Transducer cihazlarının tekne kenarına montajı önemli olup gerek gürültü seviyesinin azaltılması gerekse sinyal kalitesinin artırılması bakımından uyulması gereken koşullar bulunmaktadır. Herşeyden önce askı teknik talimatlara uygun imal edilmiş olup tekneden gelen titreşimi en az algılayacak şekilde tasarlanmıştır. Askı teknenin motor gürültüsünün en az hissedileceği yere monte edilmiş ve askı ucundaki transducer cihazının daima su içinde kalmasını temin edecek şekilde yaklaşık 40 cm kadar suya batırılmıştır (Şekil 42).



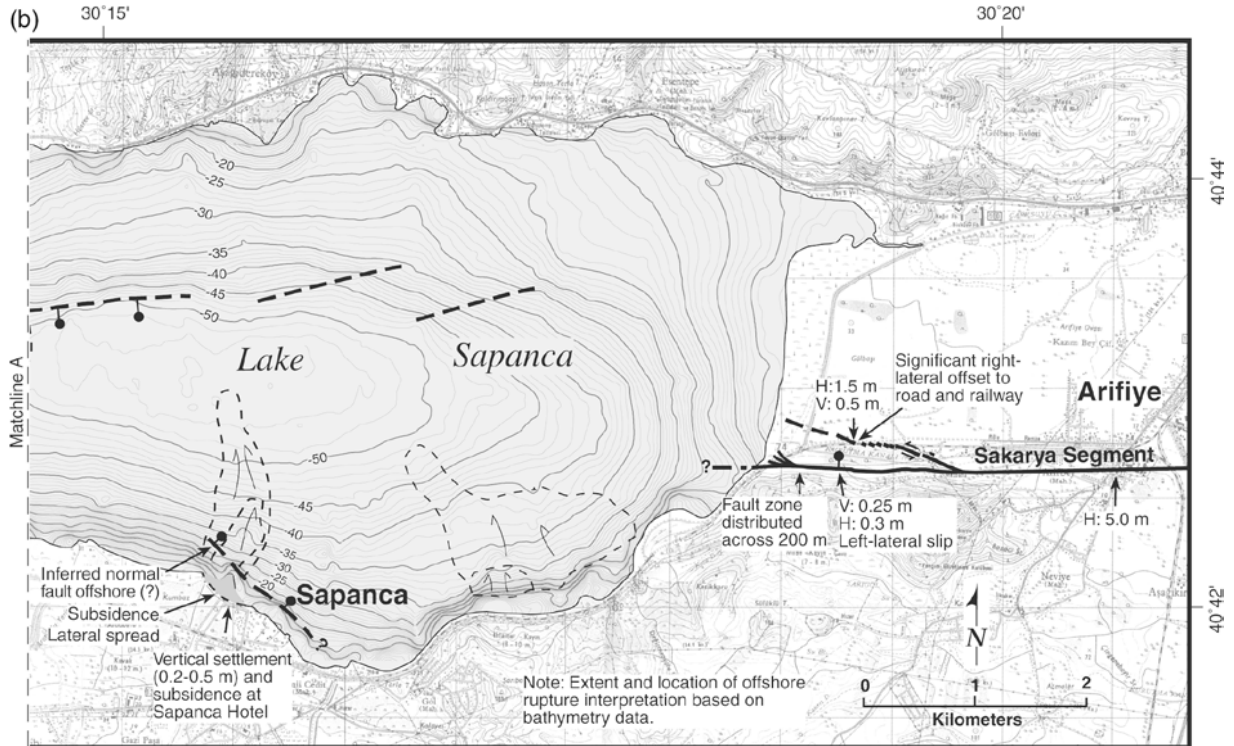
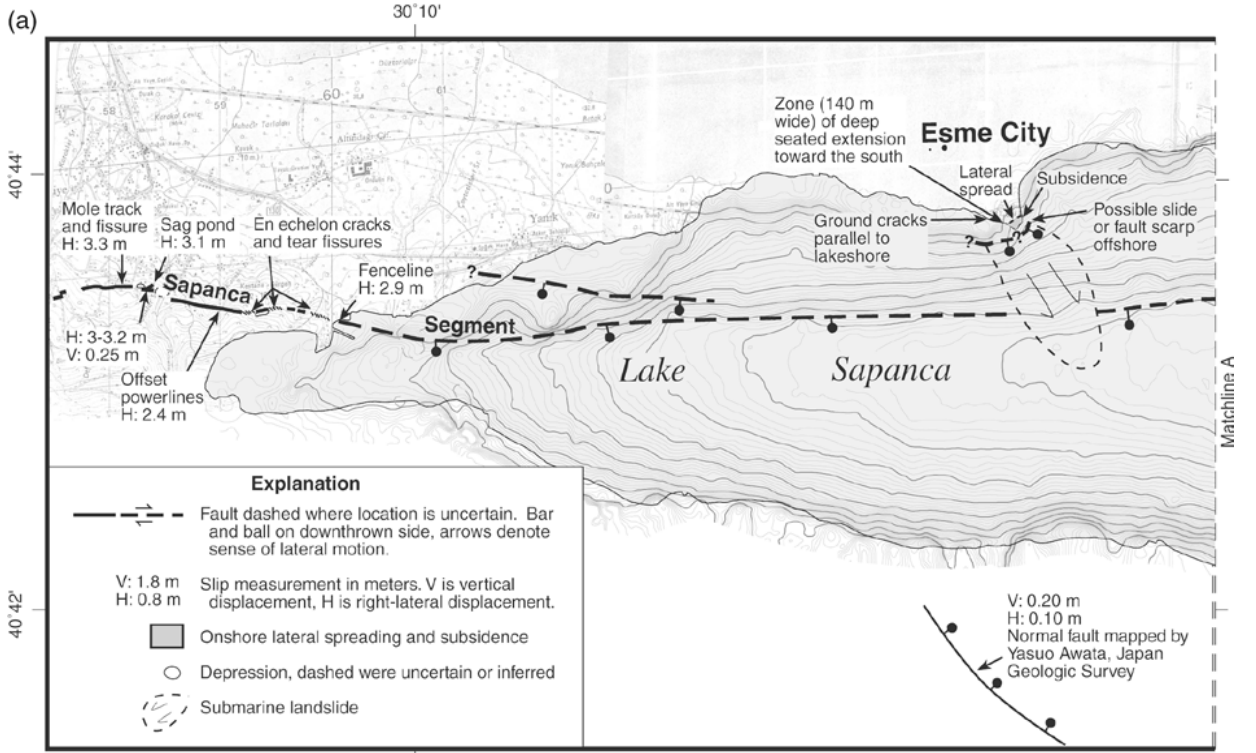
Şekil 42. Tekne kenarına askı ile monte edilmiş sismik transducer cihazı. Turuncu renkli kablo güç ve veri kablosudur. Transducer tablası askı borusuna sismik izolator vazifesi gören lastik contalar ile sabitlenmiştir.

7.5. Çalışma stratejisi:

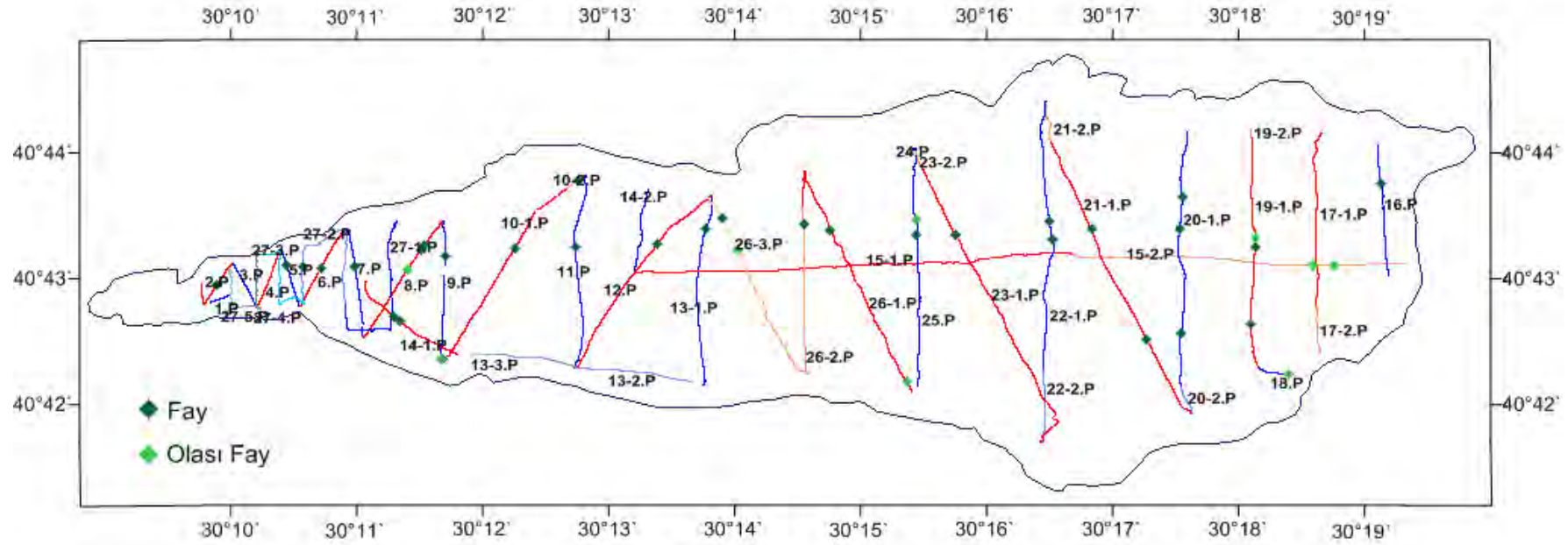
Karada yapılan çalışmalara dayalı olarak Lettis v.d. (2002) göl içinde muhtemel fay hattı doğrultuları önermektedir (Şekil 43). Göle doğudan ve batıdan giren yanal atımlı ana fay hatları dikkate alınarak havzayı oluşturabilecek normal fayların bulunabileceği muhtemel alanları bulmak amacıyla gölün tamamında ilk aşamada yaklaşık K-G ile KB-GD hatlarda çalışılmıştır. Bu sismik hatlardan elde edilen ilk gözlemlere bağlı olarak ikinci aşamada gölün batı kesimine ağırlık verilecek şekilde ilave K-G ve KB-GD sismik hatlar ile K-G ve D-B doğrultulu sonar hatları çekilmiştir (Şekil 44).

Çalışmanın başında sismik sinyalin frekans bandı için 4, 6, 8 ve 10 kHz.'de testler yapılmış ve en iyi sinyal/gürültü oranı ve penetrasyon 8 kHz ile elde edildiğinden dolayı çalışmalara bu frekans bandı seçilerek devam edilmiştir. Sismik sistem çok yüksek rezolüsyon sağlamak amacıyla tasarlanmış olduğundan penetrasyon kabiliyeti fazla olmamakla birlikte göl tabanı altında jeolojik birimlerin elverişli olduğu hallerde tabandan itibaren yaklaşık 10 m derinliklere kadar penetrasyon sağlamıştır. Göl tabanında çürümüş bitki artıklarından kaynaklanan gaza doymuş çökellerin bulunduğu alanlarda veya göl tabanının yoğun bitki kaplı olduğu alanlarda (özellikle gölün batı kesiminde sığ sularda) yer yer yüksek soğrulma ve/veya saçılma dolayısıyla önemli ölçüde sismik ve sonar sinyal kaybı meydana gelmiştir.

Özellikle gölün daraldığı batı kesiminde sismik verilerde görülen fay hatları dolayısıyla bu hatlara paralel ve dik olacak şekilde sonar hatları çekilmiştir.

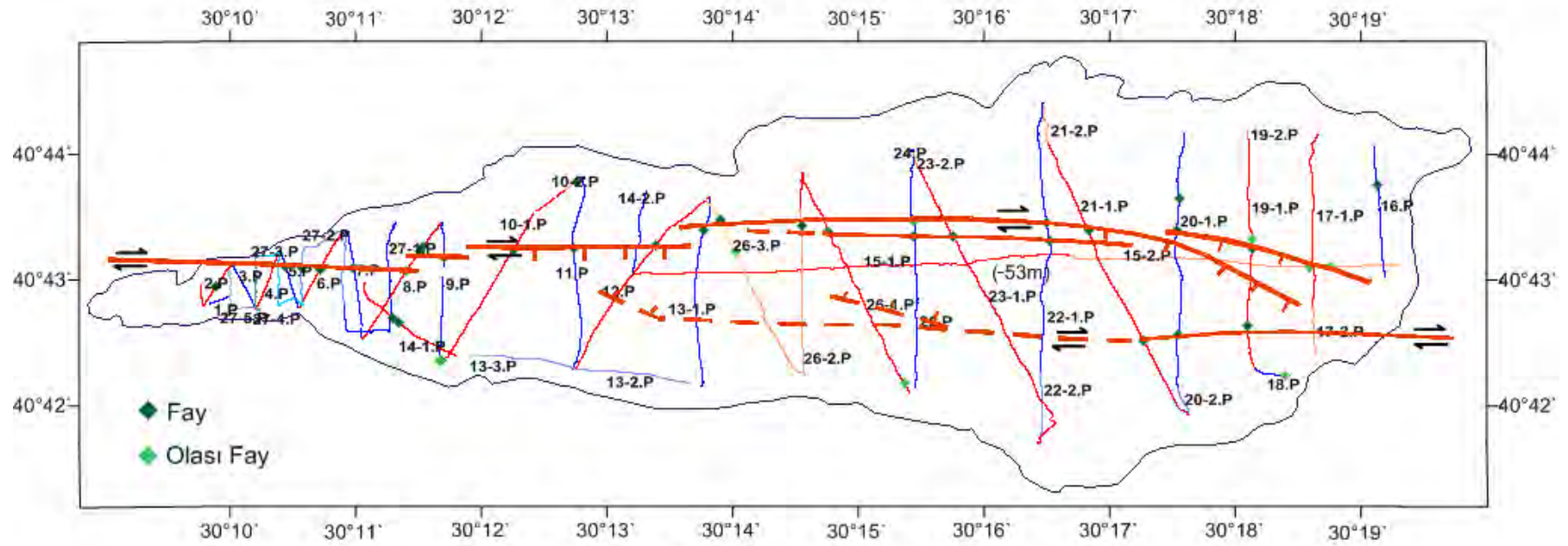


Şekil 43. Kuzey Anadolu Fay zone üzerinde bulunan Sapanca Gölü'ne doğu ve batı kıyılarından giren fay kolları ile göl içinden geçmesi beklenen fay kollarının gösterildiği harita (Lettis vd., 2002'den alınmıştır).



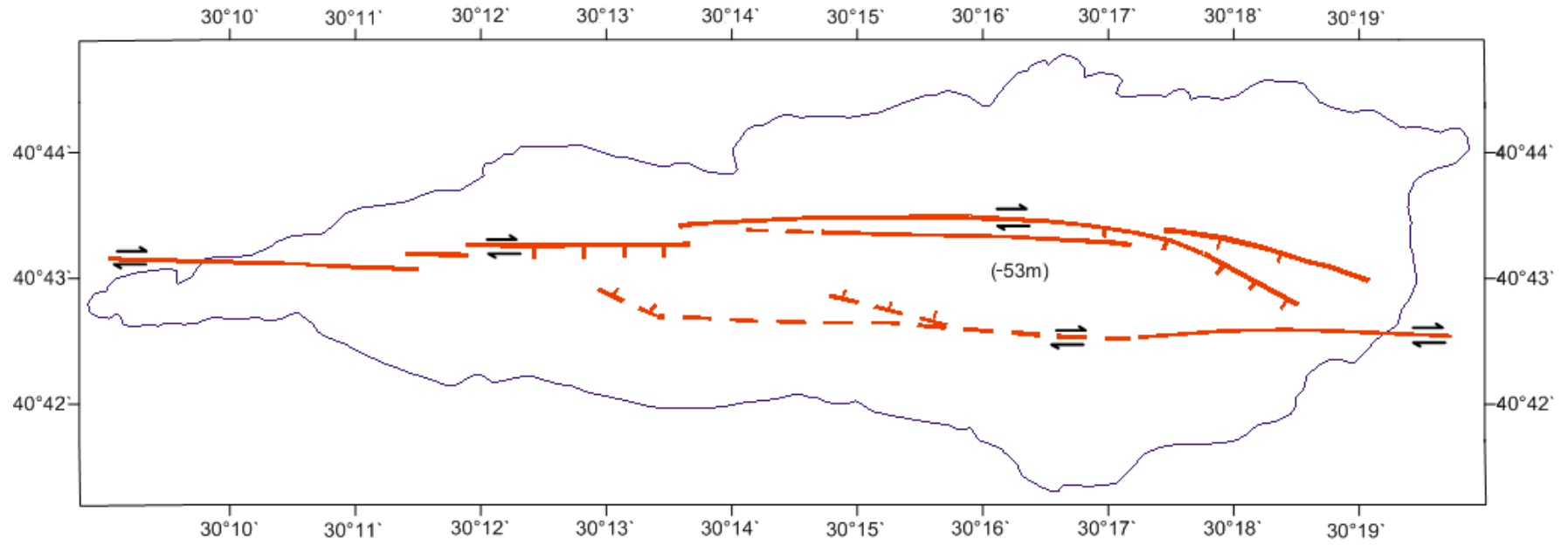
* Sismik kesitlerdeki profil uzunluğu ve ölçek yaklaşık olarak verilmiştir.

Şekil 44. Sismik hatlar ve bu hatlar üzerinde işaretlenen aktif fayların gözlemlendiği yerleri gösteren harita. Küçük koyu ve açık yeşil renkli daireler göl tabanı ve çökellerini kesen aktif fayları, yüksek yamaç eğimi veya çökel istifteki kesilmeler dolayısıyla tanımlanan aktif fayları göstermektedir.



* Sismik kesitlerdeki profil uzunluğu ve ölçek yaklaşık olarak verilmiştir.

Şekil 45. Sismik hatlar ve bu hatlarda işaretlenen fay anomalilerinin birleştirilmesiyle oluşturulmuş aktif fay haritası.



Şekil 46. Sapanca gölü aktif fay haritası.

7.5. Sismik ve Sonar Verilerinin Değerlendirmesi:

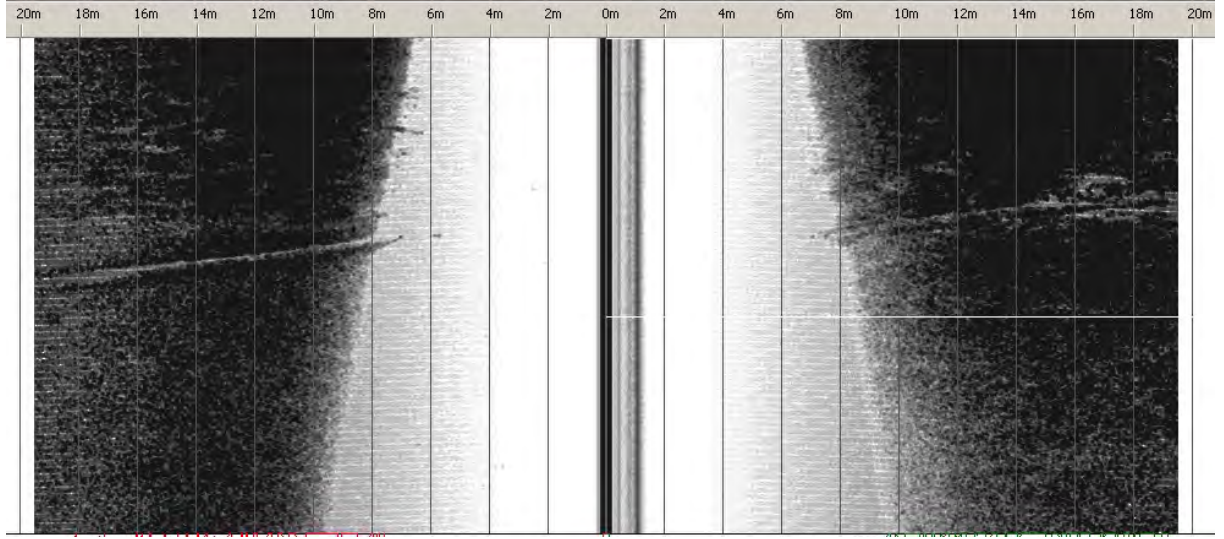
Karada yapılan çalışmalara dayalı olarak Lettis vd. (2002) göl içinde muhtemel fay hattı doğrultularını önermiştir (Şekil 43). Lettis vd. (2002) tarafından önerilen fay hatlarının test edilmesi ve havzayı oluşturabilecek fayların bulunabileceği muhtemel alanlar sismik ve sonar çalışmasından elde edilen veriler kullanılarak çalışılmıştır. Ayrıca Emre vd (2003) bir Japon Projesi sonuçlarına dayanarak fay hattının Sapanca Gölü içindeki uzantısını en echelon olarak göstermişlerdir.

Sismik kesitler öncelikle aktif yapısal unsurların (faylar) belirlenmesi amacıyla değerlendirilmiştir. Bu amaçla göl tabanı ve taban altındaki çökelleri kesen faylar kesitler üzerinde işaretlenmiş ve haritaya işlenmiştir. Şekil 44de sismik hatlar ve bu hatlar üzerinde alınan sismik kesitlerde gözlenen aktif fayların bulunduğu yerleri gösteren küçük daire şeklinde işaretleri göstermektedir. Şekil 45 de sismik hatlar ve işaretlenen fay anomalilerinin birleştirilmesi ile oluşturulmuş aktif fay haritası görülmektedir. Şekil 46 da ise fay haritası tek başına gösterilmiştir. Şekil 46 daki fay haritasına göre gölün batı kesiminde yaklaşık D-B doğrultulu aktif bir fay sistemi muhtemelen aşmalı (en-echelon) bir şekilde gelişmiş olup (Emre vd 2003) gölün hemen batısında karada Lettis vd. (2002) tarafından işaretlenen fay hatlarının doğrultusunda bulunmaktadır. Çalışmada kullanılan sismik kesitlerin yorumlanmamış ve yorumlanmış şekilleri Ek'lerde verilmiştir.

Sismik kesitlerde batimetrik değişim ve genç çökellerde gözlenen kesilmeler ve yorumlama sırasında kesite uygulanan düşey abartmaya bağlı olarak belirlenen fay anomalilerinin ilave incelenmesi amacıyla alınan sonar kayıtlarında ise belirgin bir anomali gözlenememiştir. Şekil 47'de sonar hat haritası görülmektedir. Sonar kayıtları bilgisayar ortamında playback modunda incelenmiş ancak fay haritasının oluşturulmasına beklenen katkıyı sağlayamamıştır. Buna neden olarak sismik ve sonar çalışmalarından sonra Mayıs-2013 tarihinde yapılan karot çalışmasından elde edilen yüzey sediman örneklerinden de anlaşılabileceği üzere yüzeydeki ve sığ derinliklerdeki son derece yumuşak çökeller dolayısıyla göl tabanında sonar tarafından belirlenebilecek keskinlikte bir fay atımı veya düşey ofsetlenme görülememesidir. Sonar verilerinde genel olarak göl tabanı ince taneli yumuşak çökellerden oluşan düzlük alanlar şeklinde belirlemekte ve insan yapısı cisimler (boru hattı güzergahı, dip taraması, döküntü v.b.) gözlenmektedir (Şekil 48).



Şekil 47. Sonar hatları.



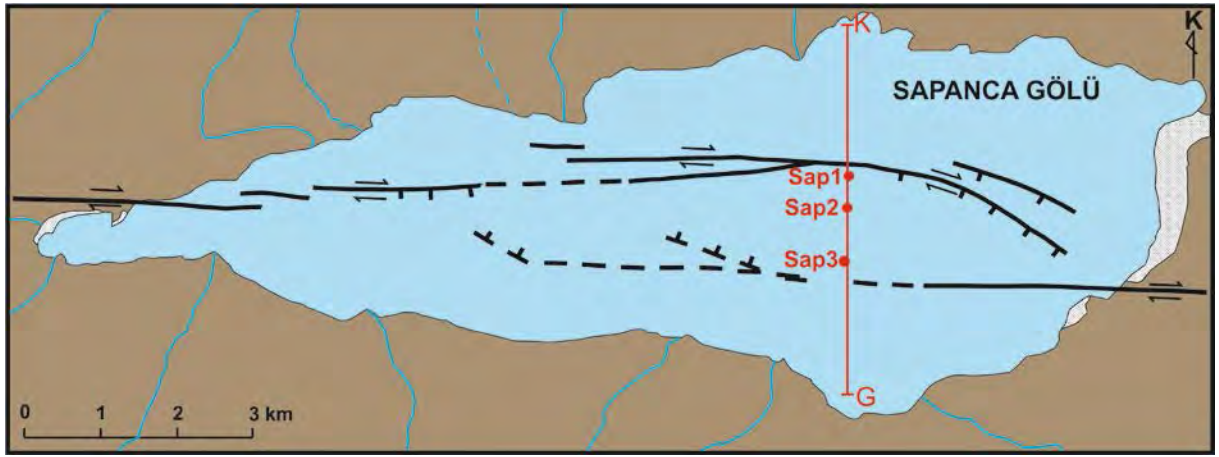
Şekil 48. Sonar kayıt örneği.

8. SAPANCA GÖLÜ KAROT ÇALIŞMALARI

Gölde Mayıs 2013’de uzunlukları 42.5 cm ile 75.7 cm arasında değişen üstü örselenmemiş üç adet gravite piston karotu alınmıştır (Şekil 49, Tablo 4). Karotlar sismik hatlarda net olarak görülen aktif fayın hemen güneyinde başlayarak gölün en derin yerine doğru uzanan kuzey-güney yönlü bir hat üzerinde konumlandırılmıştır (Şekil 49, 50).

Karotlar açılarak tanımlanmış, Çok sensörlü Karot Log Alıcısı (Multi-Sensor Core Logger, MSCL) ile fiziksel özellikleri ve XRF Karot tarayıcısıyla da sayısal radyografisi ve element analizleri yapılmıştır. Aşağıda karot tanımları ve analizlerle ilgili ön bilgiler verilmektedir.

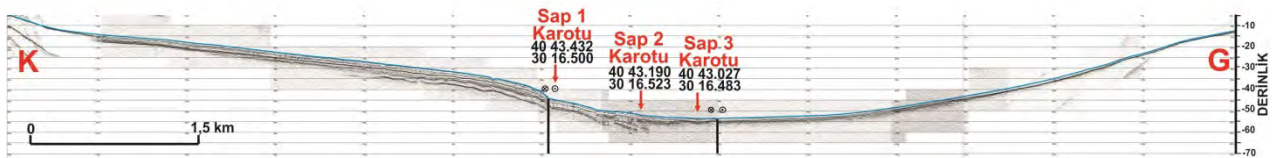
Karotlarda kütle akma birimlerinin istifin yaklaşık %40’ını kapsaması ve stratigrafik sürekliliği bozması proje önerisinde konu edilen paleo-iklim çalışmalarının yapılmasına olanak tanımamıştır.



Şekil 49. Sapanca Gölünde karot lokasyonlarını (Sapanca 1, 2, 3) ve fayları gösteren harita.

Tablo 4. Karotların lokasyon, derinlik, uzunluk bilgileri.

Karot adı	Enlem/Boylam	Su derinliği (m)	Uzunluk (cm)
Sapanca 1	40°43.432' / 30°16.500'	43	42.5
Sapanca 2	40°43.190' / 30°16.523'	50	59.2
Sapanca 3	40°43.027' / 30°16.483'	51.5	75.2



Şekil 50. Sapanca Gölü’nde K-G yönlü sismik kesit üzerinde karotların yerleri.

8.1 Karotların litolojik tanımları

Litolojik tanımlamaları laboratuvarında açılan yarım karotların çıplak gözle incelenmesi, genel çökel tane boyu ve renk değişimi dikkate alınarak yapılmış ve birimler buna göre tespit edilmiştir.

Sapanca 1: Karot kuzeydeki fayın hemen güneyinde gölün yamacından alınmıştır (Şekil 49,50). 42.5 cm uzunluğundaki karot en üstte 7.5cm'lik gri çamurdan oluşmuştur (Şekil 51). Üstteki bu gri renk organik kirlenme ve dip suyunda oksijensizliğe işaret etmektedir. Birimin alt kısmı radyografi görüntüsünde daha yoğun; üst 4 cm'si daha az yoğun olarak gözükmetedir. Üstteki bu birimin altında, 7.5-13 cm aralığında, kahverengi çamur; 13-18 cm aralığında gri çamur bulunmaktadır. Radyografi görüntüsüne göre bu birimin içerisinde kalınlıklar 1-1.5 cm arasında değişen üç adet koyu gri bant bulunmaktadır. 18-31 cm aralığında kırmızımsı kahverengi çamur; 31-35 cm aralığında grimsi kahverengi çamur; 35-38 cm aralığında kahverengi çamur ve tabanda 38-42.5 cm aralığında koyu gri çamur bulunmaktadır. Karotun radyografisinde, üstten ikinci birim içerisinde 14-18 cm aralığı, kırmızı kahverengi birim içerisinde 27-28 cm aralığı ve tabandaki birimin tamamına yakını koyu rengiyle göreceli olarak yoğunluğu yüksek ve olasılıkla iri tanelidir. Ayrıca, 36-37 cm aralığında karotta daha açık gri renkli bir bant bulunmaktadır.

Sapanca 2: Karot gölün merkezi derin kısmına yakın, 50 m su derinliğinden alınmıştır (Şekil 49, 50). Uzunluğu 59.2 cm olan karotun en üst 8 cm kalınlığındaki kısmı organik kirliliği ve dip suyunda oksijensizliği gösteren koyu gri çamurdur (Şekil 52). Radyografi görüntüsünde birimin ilk 3 cm'si açık; alt kısmı koyu renkle daha yoğun olarak gözükmetedir. Altında 8-17.5 cm aralığında kahverengi çamur vardır. Birimin radyografi görüntüsü görece düşük yoğunluğa sahip olduğunu göstermektedir. Altta 5 cm kalınlığında 22.5 cm derinliğe kadar rengi tabana doğru koyulaşan gri çamur bulunur. Bu özellik radyografi görüntüsünde de belirgin olarak görülmekte ve olasılıkla normal tane boyu derecelenmesine işaret etmektedir. 22.5-26 cm arasında kahverengi çamur bulunur. Birimin yoğunluğu radyografi görüntüsüne göre görece olarak düşüktür. Bu birimin altında 26-27 cm aralığında koyu gri çamur birimi radyografi görüntüsünde de koyu gri bir banda karşılık gelmektedir. 27-38 cm aralığında haki yeşil çamur bulunmaktadır. Bu çamur birimi radyografide homojen olup, göreceli olarak açık renge (düşük yoğunluğa) sahiptir. Bu tabakanın altında tüm birimler yaklaşık 15° lik bir eğim göstermektedir (Şekil 52). Eğim gösteren bu tabakaların en üstünde 38-45 cm aralığında koyu gri kaba silt bandı içeren paslı kahverengi çamur bulunur. Bu birim radyografi görüntüsünde alta doğru koyulaşan ve olasılıkla tane boyu artan bir özellik gösterir. 45-50 cm'ler arasında kahverengimsi gri çamur tabakası izlenir. Bu tabaka görece olarak düşük yoğunluğa sahiptir. Bu tabakanın altında 50-55 cm aralığında paslı kahverengi laminalar içeren kahverengi çamur bulunur. Paslı kahverengi laminalar diyajenez sonucu çökelmiş demir monosülfidlerden oluşmaktadır ve radyografide 54-55 cm aralığında koyu gri (yüksek yoğunluklu) bir özellik sunmaktadır. Karotun tabanında 4 cm kalınlığında 55-59.2 cm aralığında gri çamur görülür. Radyografi görüntüsünde, birimin tabanında 1 cm kalınlığında yüksek yoğunluklu bir kısım bulunur.

Karotun yaklaşık 18 cm kalınlığındaki eğimli taban kısmı deformasyona işaret etmektedir. Tabanda eğimli bulunan birimlerin en üstündeki 38-45 cm aralığındaki kaba siltli birim büyük olasılıkla bir kütle akması sonucu çökelmiştir.

Sapanca 3: Karot, Sapanca Gölü derin düzlüğünün üzerinde, güneydeki faya yakın bir konumda, 51.5 m su derinliğinden alınmıştır (Şekil 49,50). En üstte 3 cm kalınlığında sulu gri-koyu gri bir çamur bulunur. Altta 3-24 cm arasında gözle ayırt edilebilen, tabanı dalgalı

kahverengimsi gri çamur birimi görülür (Şekil 53). Birimin dalgalı tabanı akıntı veya deformasyona işaret eder. Karotun radyografisinde 3-24 cm aralığındaki bu birim içerisinde 3-8 cm aralığında koyu gri bir bant, altında 3-10.5 cm aralığında açık gri bant ve tabanda 18-24 cm aralığında koyu gri bant bulunur. Karotta 24-51 cm arası kahverengi çamurdur. Radyografide bu çamur birimi içerisinde 27-28 cm ile 39-41 cm aralıklarında iki yoğun bant bulunmaktadır. Karotta 51-59 cm arasında tabanı düzensiz (dalgalı) gri çamur görülür. Bu düzensiz taban muhtemelen deformasyon sonucu oluşmuştur. Birimde 51-52 cm ile 58-59 cm aralıkları radyografide koyu gri renkte iki çamur bandı yer almaktadır. Alta, 59-67.5 cm'ler arasında, ortasında paslı kahverengi lamina içeren kahverengi çamur görülür. Bu birim radyografi görüntüsünde homojen açık gri (düşük yoğunluk) renktedir. Karotun tabanı yaklaşık 8 cm kalınlığında koyu gri çamur biriminden oluşmaktadır. Birim radyografi görüntüsünde alta doğru koyulaşan ve ortasında açık renkli lamina gösteren özelliğe sahiptir.

Karot No: SAPANCA-1

Derinlik: -43 m.

Derinlik cm	LİTOLOJİ	XRF	LİTOLOJİK TANIMLAMA
0			Gri çamur
7,5			Kahverengi çamur
10			
13			Gri çamur
18			
20			Kırmızımsı kahverengi çamur
30			Grimsi kahverengi çamur
35			Kahverengi çamur
38			
40			Koyu gri çamur
42,5			

Şekil 51. Sapanca 1 karotunun litolojik tanımlaması (sağ stratigrafik kesit) ve radyografisi. Radyografide görülen gri ton farklılıkları istifte yoğunluk farklılığını göstermektedir (bakınız Tane boyu analizleri ve radyografi” bölümü).

Karot No: SAPANCA-2

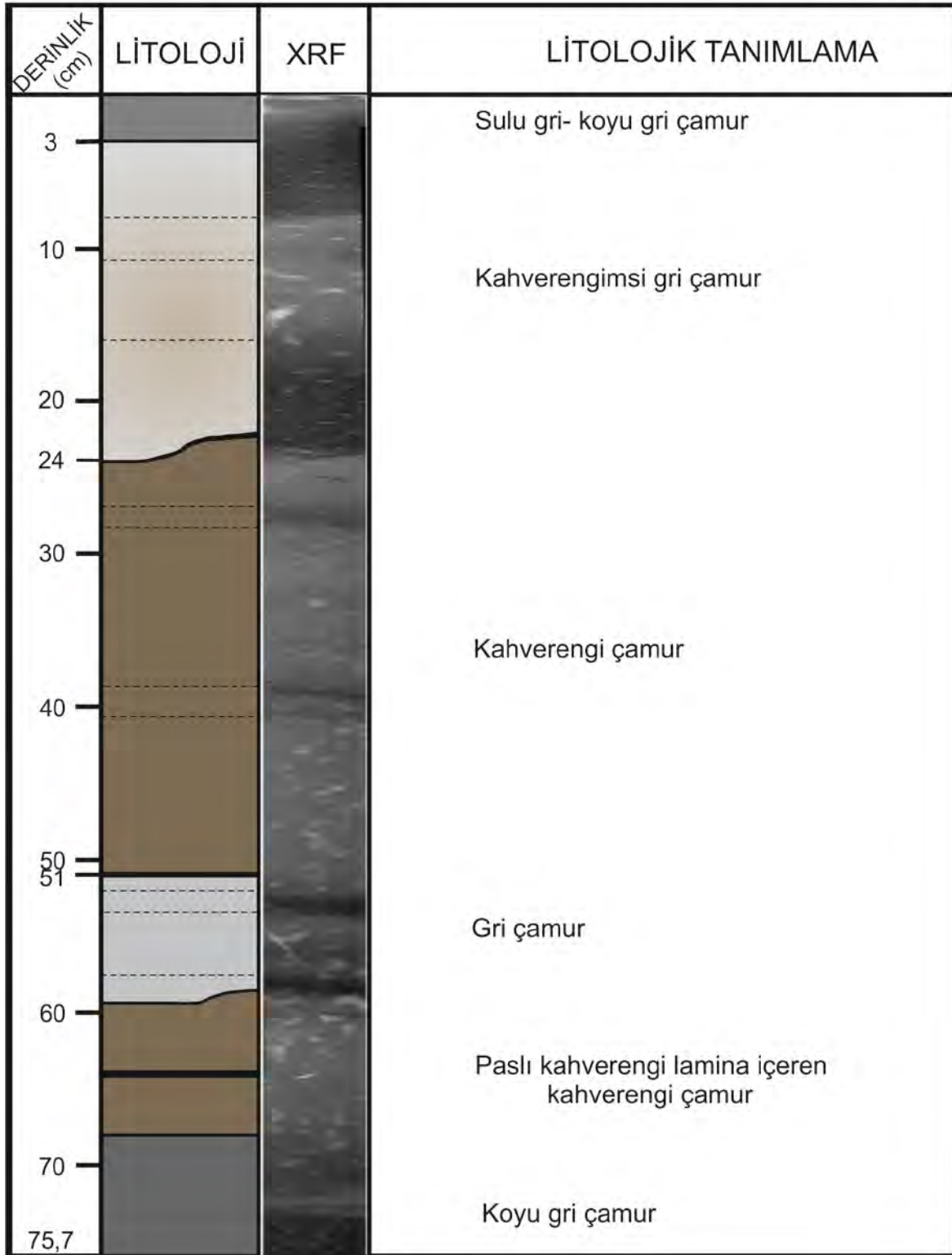
Derinlik: -50 m.

DERİNLİK (cm)	LİTOLOJİ	XRF	LİTOLOJİK TANIMLAMA
7			Koyu gri çamur
10			Kahverengi çamur
17,5			Tabana doğru koyulaşan gri çamur
20			
21			
22,5			Kahverengi çamur
26			Koyu gri çamur bandı
27			
30			Haki çamur
38			
40			Koyu gri kaba silt bandı içeren paslı kahverengi çamur
45			
46,5			Açık yeşilimsi gri çamur
48			
50			Kahverengimsi gri çamur
53			
55			Paslı kahverengi laminalar içeren kahverengi çamur
59,2			Gri çamur

Şekil 52. Sapanca 2 karotunun litolojik tanımlaması (sağ stratigrafik kesit) ve radyografisi. Radyografide görülen gri ton farklılıkları istifte yoğunluk farklılığını göstermektedir (bakınız “Tane boyu analizleri ve radyografi” bölümü)

Karot: SAPANCA-3

Derinlik: -51,5 m.

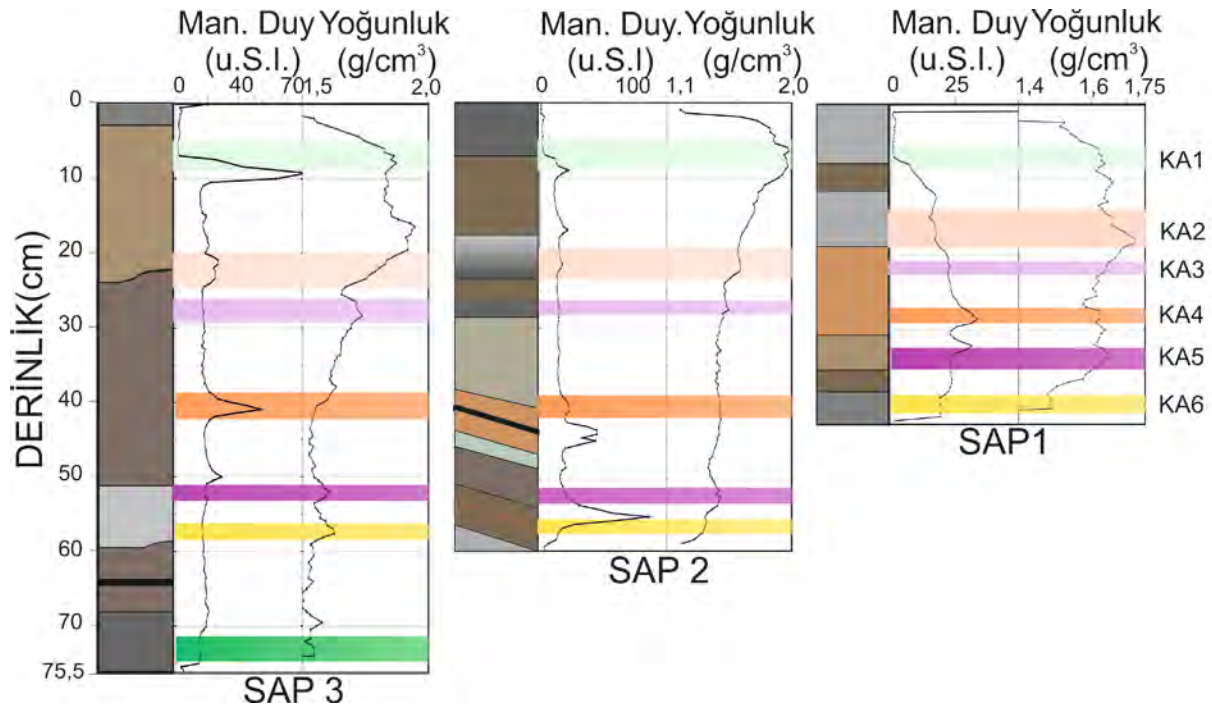


Şekil 53. Sapanca 3 karotunun litolojik tanımlaması (sağ stratigrafik kesit) ve radyografisi. Radyografide görülen gri ton farklılıkları istifte yoğunluk farklılığını göstermektedir (“Tane boyu analizleri ve radyografi” bölümüne bakınız).

8.2 Karotların fiziksel özellik analizleri

Karotların Çok Sensörlü Karot Log Alıcısı (Multi-Sensor Core Logger, MSCL) ile manyetik duyarlılık (susceptibility, MS) ve gama yoğunluk değerleri 1 cm çözünürlükte ölçülmüştür. Bu fiziksel parametrelerin değişimi üç karot için Şekil 54’de verilmiştir.

Sapanca 1: Manyetik duyarlılık değerleri (MS) en üsteki sulu koyu gri çamur biriminde oldukça düşüktür (Şekil 54). Bu birimin altındaki birimlerde sürekli artarak 28 cm derinlikte maksimum değerlere (~30 uSI) ulaşır (Şekil 54). İkinci bir pik tabandaki koyu gri çamur biriminin üst seviyelerinde görülür.



Şekil 54. Sapanca Gölü karotları boyunca manyetik duyarlılık (susceptibility) ve gama yoğunluk değişimi. Sütün stratigrafi kesiti gözle görünür birimlere göre yapılmıştır.

Gama yoğunluk değerleri üstten karot boyunca artarak 18 cm’de sulu koyu gri çamur biriminin tabanında 1.72 g/cc maksimum değerine ulaşır. Yoğunluk değerlerinde 18 cm’den başlayarak 25 cm karot derinliğine doğru bir azalma görülür. Daha da aşağılarda 1.62 g/cc değerleri civarında değerler 37 cm derinliğe kadar seyrederek. Bu derinlikten karotun tabanına doğru azalma görülür.

Sulu koyu çamur biriminin tabanına doğru yoğunluktaki dereceli artış, bu birimde tane boyu derecelenmesi olduğuna ve dolayısı ile birim kütle akması ile çökelmiş olabileceğine işaret etmektedir. Tane boyu analizleri bunu desteklemektedir (“Tane boyu analizleri ve radyografi bölümü”ne bakınız).

Sapanca 2: Karotta MS değerleri üst 7 cm’de düşüktür. 9 cm, 20 cm, 43 cm ve 55 cm karot derinliklerinde MS değerlerinde pikler görülür (Şekil 54). Bu piklerin 21 cm ve 43 cm de olanları litolojik birim sınırlarına karşılık gelir. 110 mSI değerlerine ulaşan 55 cm derinliğinde

en büyük pikin nedeni ferrimanyetik özellikli olan siyah renkli diyajenetik demir monosülfidlerdir. Yoğunluk 7-11 cm aralığında 2.0 g/cc değerine ulaşan bir pik oluşturdudan sonra karot boyunca aşağı doğru genel bir azalma gösterir (Şekil 54).

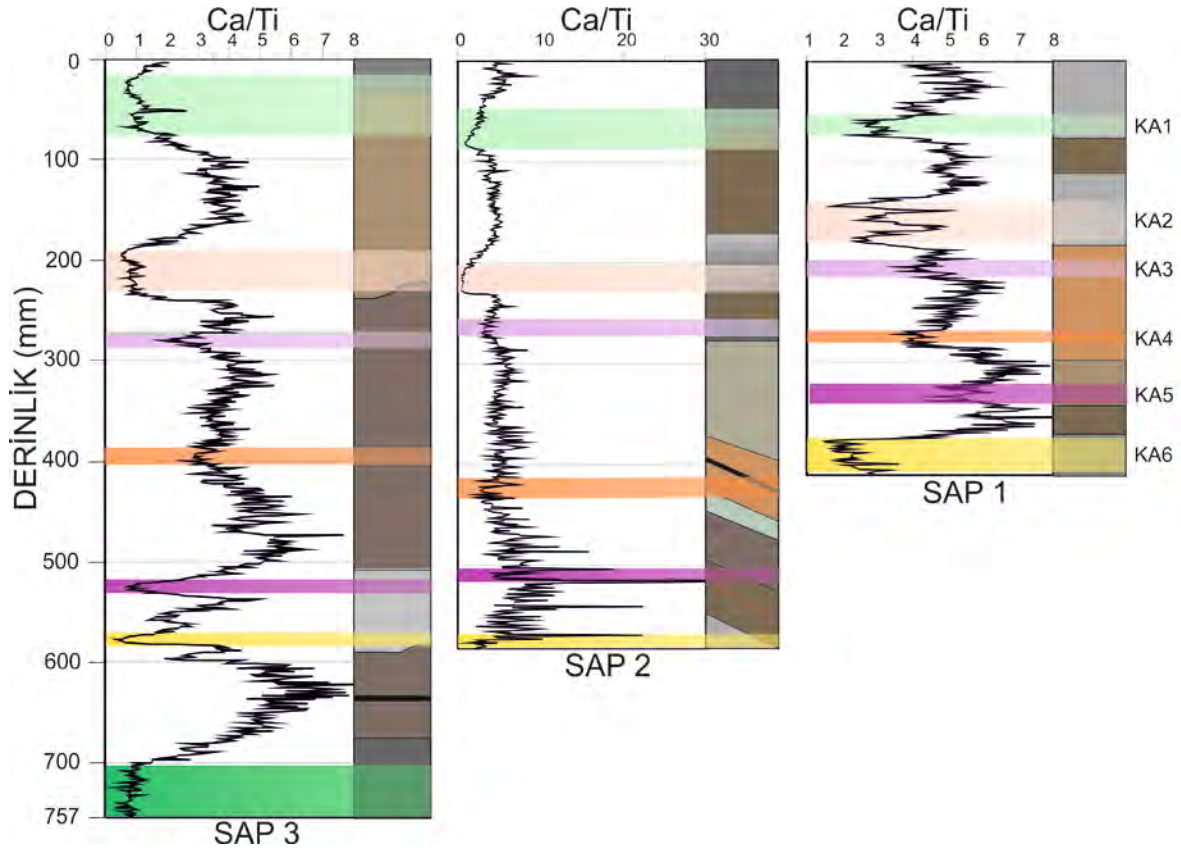
Sapanca 3: Karot boyunca 10 cm, 20-22 cm, 40 cm ve 50 cm derinliklerde MS pikleri görülür (Şekil 54). Bu piklerden 10 cm derinliktekinin dışındakiler yaklaşık farklı renklerde olan litolojik birim sınırlarına karşılık gelmektedir. 10 cm derinlikte olan pik en belirgin olup 80 uSI değerlerine ulaşır. Bu pik olasılıkla demir monosülfid minerallerinin çökeldiği diyajenetik bir sınırı temsil etmektedir.

Gama yoğunluk değerleri karotun üst 22 cm'sinde iki yüksek değer (1.7-18 g/cc) oluşturdudan sonra, aşağılara doğru bir azalma gösterir. Karotun 23 cm altındaki bu düşük yoğunluk değerleri arasında çoğunluğu litoloji sınırları ve göreceli yüksek MS değerlerine karşılık gelen pikler görülür.

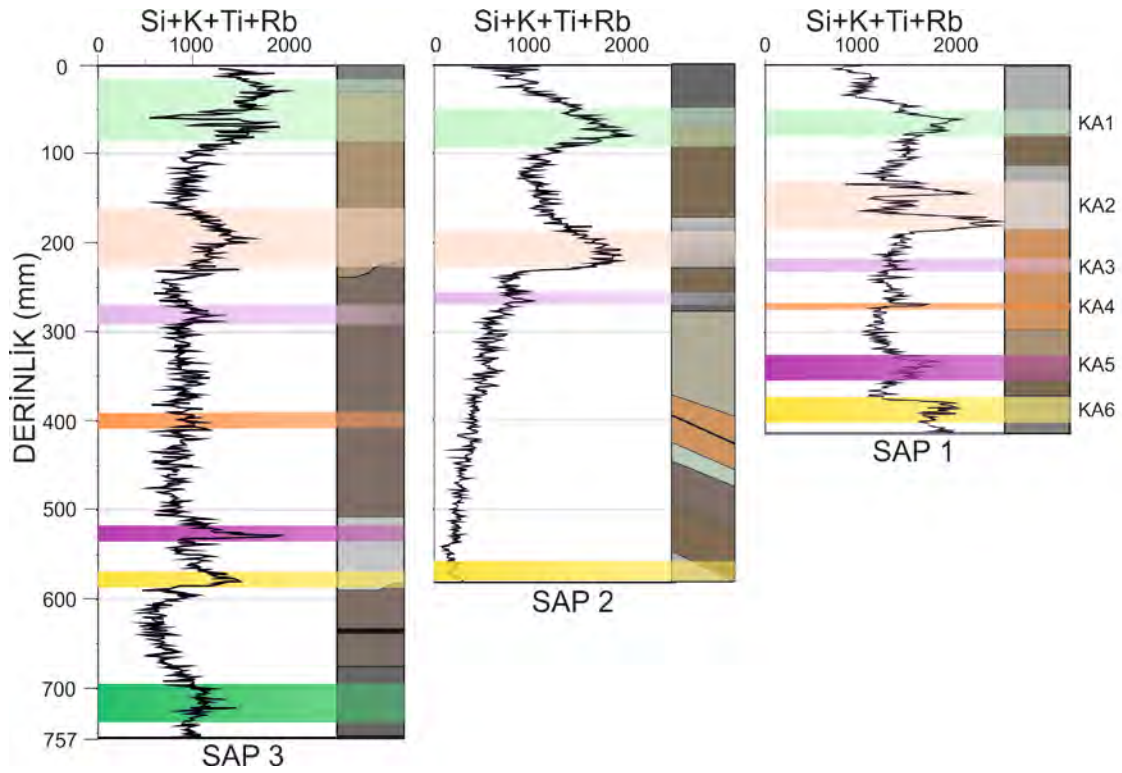
8.3 Karotların XRF Karot Tarayıcı element analizleri

Karotların XRF Karot Tarayıcı ile element analizleri 1 mm çözünürlükte yapılmıştır. Çalışmada bu elementlerden Si, Ca, Fe K, Ti, Rb, Sr, Mn ve Zr analiz sonuçları kullanılmıştır. Bunlardan Si, K, Ti, Rb, Fe ve Zr kırıntı mineral girdisini; gölden çökelen Ca ve Sr karbonat miktarını ve Mn ve Fe redoks koşullarını gösterir. Zr tane boyuna bağlı olup, genel olarak kabalaşan tane boyu ile artış gösterir. Bu metotla elde edilen element konsantrasyon değerleri saniyede sayım (counts per second, cps) olarak ifade edilir ve yarı nicelikseldir. Element oranlarının kullanılması ile gerek mineralojik ve tane boyu değişimlerine gerekse sistematik hataları gidermek için bir normalizasyon yapılır.

Karotların Ca/Ti ve Si+K+Ti+Rb değerlerindeki değişimleri karotlar arası korelasyon yapılarak Şekil 55 ve 56'da verilmiştir. Bu parametrelerden ilki gölden çökelen karbonatın kırıntı girdisine oranını; ikincisi ise kırıntı mineral girdisini vermektedir.



Şekil 55. Sapanca karotlarında XRF Karot tarayıcı Ca/Ti değerleri. Sütün stratigrafi kesiti gözle görünür birimlere göre yapılmıştır.



Şekil 56. Sapanca karotlarında XRF Karot tarayıcı Si+K+Ti+Rb değerleri. Sütün stratigrafi kesiti gözle görünür birimlere göre yapılmıştır.

Her üç karotta da Ca/Ti değerleri karot derinliği boyunca önemli salınımlar göstermektedir (Şekil 55). Bu salınımlar karotlar arasında korele edilebilmektedir. İlk açıldığında en üstteki koyu gri-siyah birim hariç, genel olarak yüksek Ca/Ti değerleri daha kahverengi birimlerde görülmektedir. Buna tezat oluşturan tek gri birim nispeten yüksek Ca/Ti değerleri içeren Sapanca 2 Karotunda 45-50 cm derinliğinde olmaktadır. Yüksek kırıntı mineral girdisini temsil eden yüksek Si+K+Ti+Rb değerleri çoğunlukla gri ve koyu gri çökel birimlerinde görülmektedir. Kırıntı girdisi (Si+K+Ti+Rb) karotların üst seviyelerinde birbirleri ile korele edilebilir iki büyük pik vermektedir. Sapanca 2 karotunun alt kısmında 24 cm derinliğinin altında kırıntı mineral girdisinde aşağı doğru bir azalma görülür (Şekil 56). Karotta 40 cm de görülen kaba siltli lamina veya benzeri bir birim Si+K+Ti+Rb parametresi tarafından algılanamamıştır.

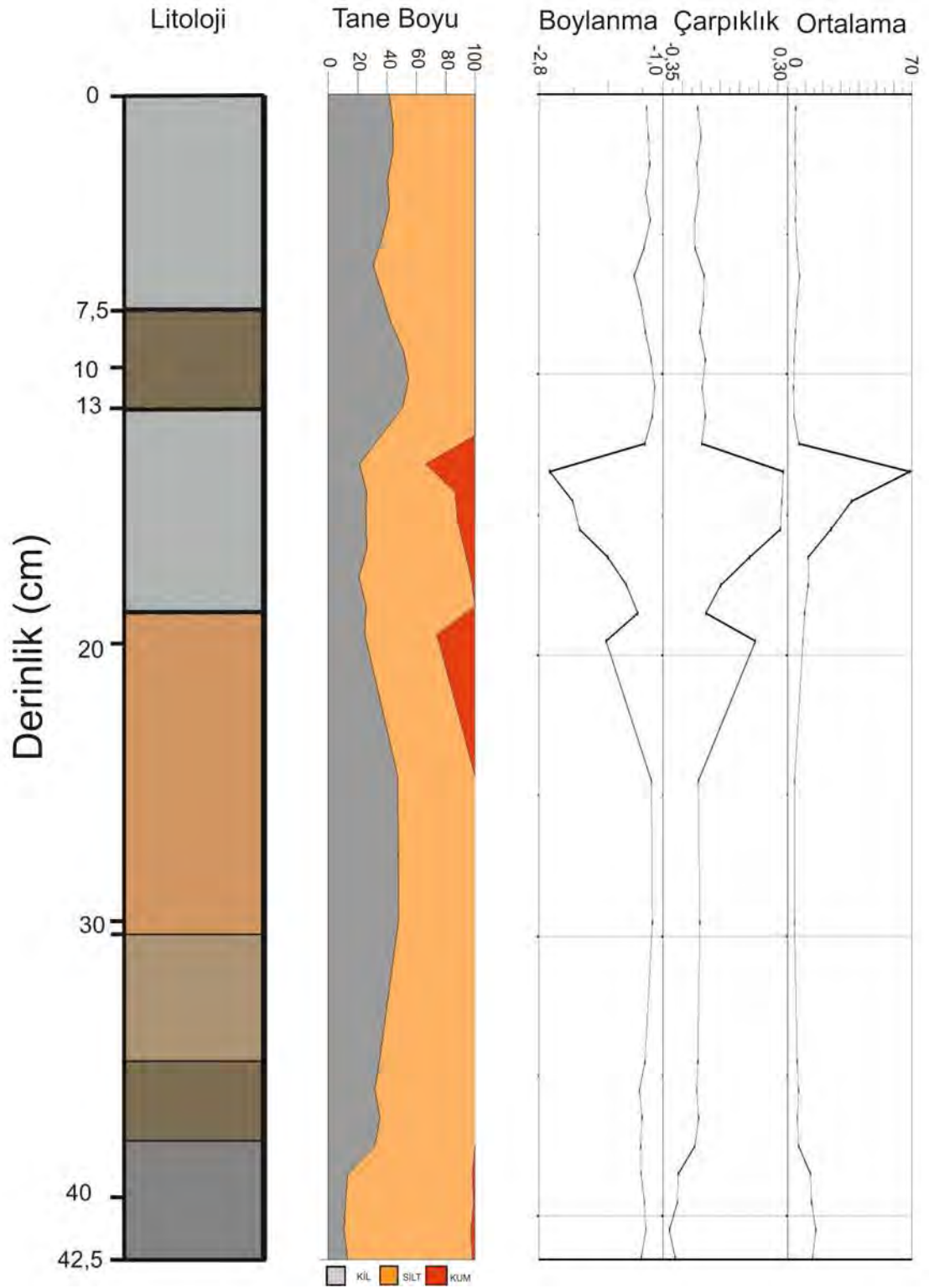
8.4 Karotların Tane Boyu Özellikleri ve Radyografi

Karotların tane boyuna yönelik analizler *Analysette 22 Laser* Tane Boyu Analizörü ile 1 cm aralıkla alınan örneklerde yapılmıştır. Bu cihaz ile karot çökel örneklerinde 300 µm'den daha küçük olan tane boyu dağılımı ile ilgili parametreler (ortalama, boylanma ve çarpıklık) yanında ince kum, silt ve kil yüzdeleri hesaplanmıştır. Karot boyunca normal kil ve siltli göl çökelleri istifi kum içeren çökellerle bozulmuştur (Şekil 57,58,59). Bu seviyeler olasılıkla kütle akması ile sıkı yerlerden taşınmıştır. Ortalama tane boyunun arttığı bu seviyelerde aynı zamanda boylanma kötüleşmekte ve pozitif çarpıklık artmaktadır.

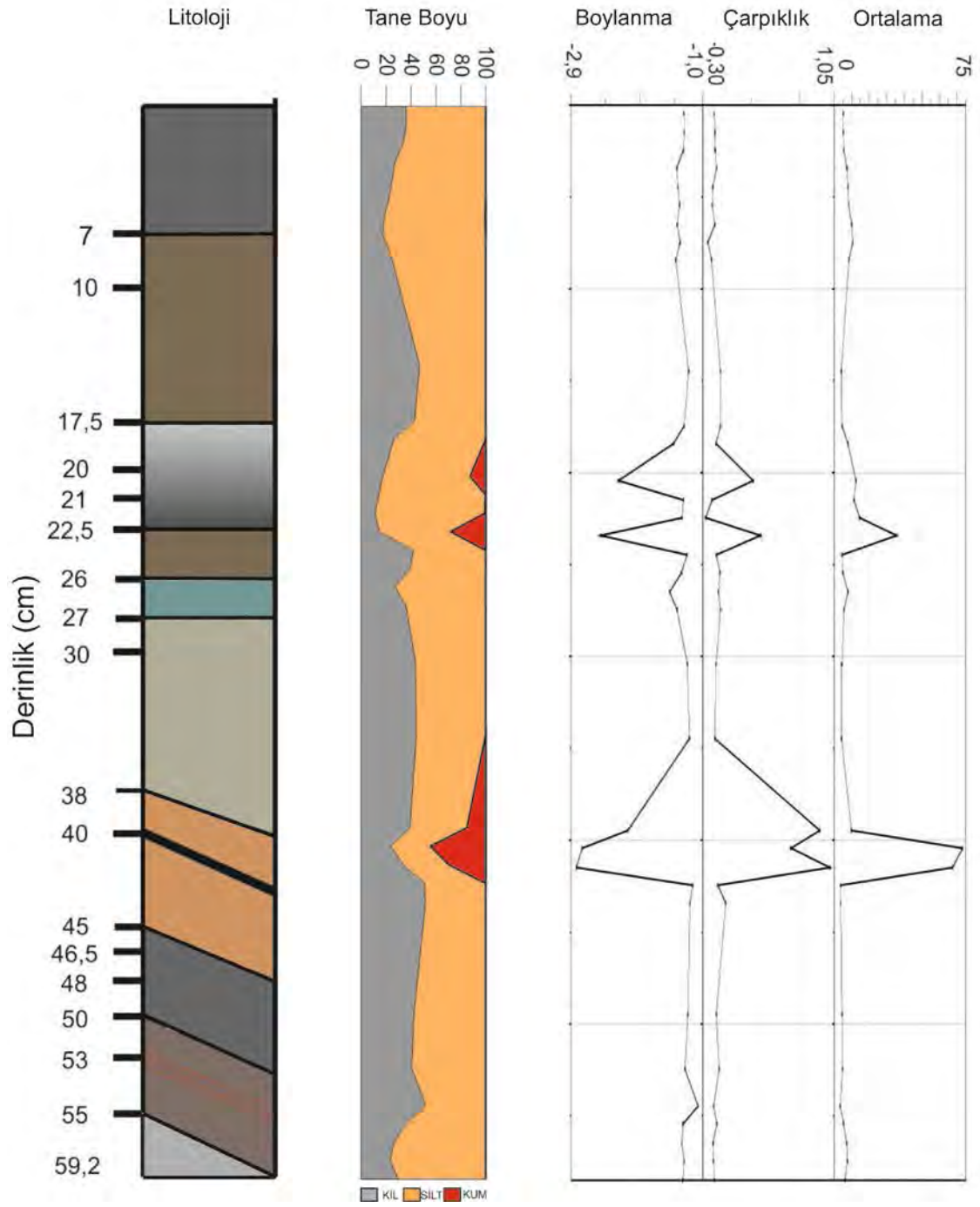
Sapanca 1 Karotu: Tane boyu analiz verileri Şekil 57'de verilmiştir. Tane boyu karotun ilk biriminin tabanında, üçüncü birimin genelinde, dördüncü birimin üst kısmında ve karotun tabanındaki birimde artış göstermektedir. Karotun 14-18cm, 20-24 cm ve 38-42,5 cm aralığında ince kum seviyeleri yer almaktadır. Ortalama tane boyunda artış görülen seviyelerde boylanma değerlerinde azalma, çarpıklık değerlerinde ise artış görülmektedir.

Sapanca 2 Karotu: Karottaki üst üç birim, altıncı ve yedinci birimler ile karotun tabanında tane boyu dağılımı artış göstererek, 17.5-22.5cm ve 36-40 cm aralığında ince kum içermektedir. Şekil 58'de karotun analiz sonuçlarından hazırlanan grafikler verilmiştir.

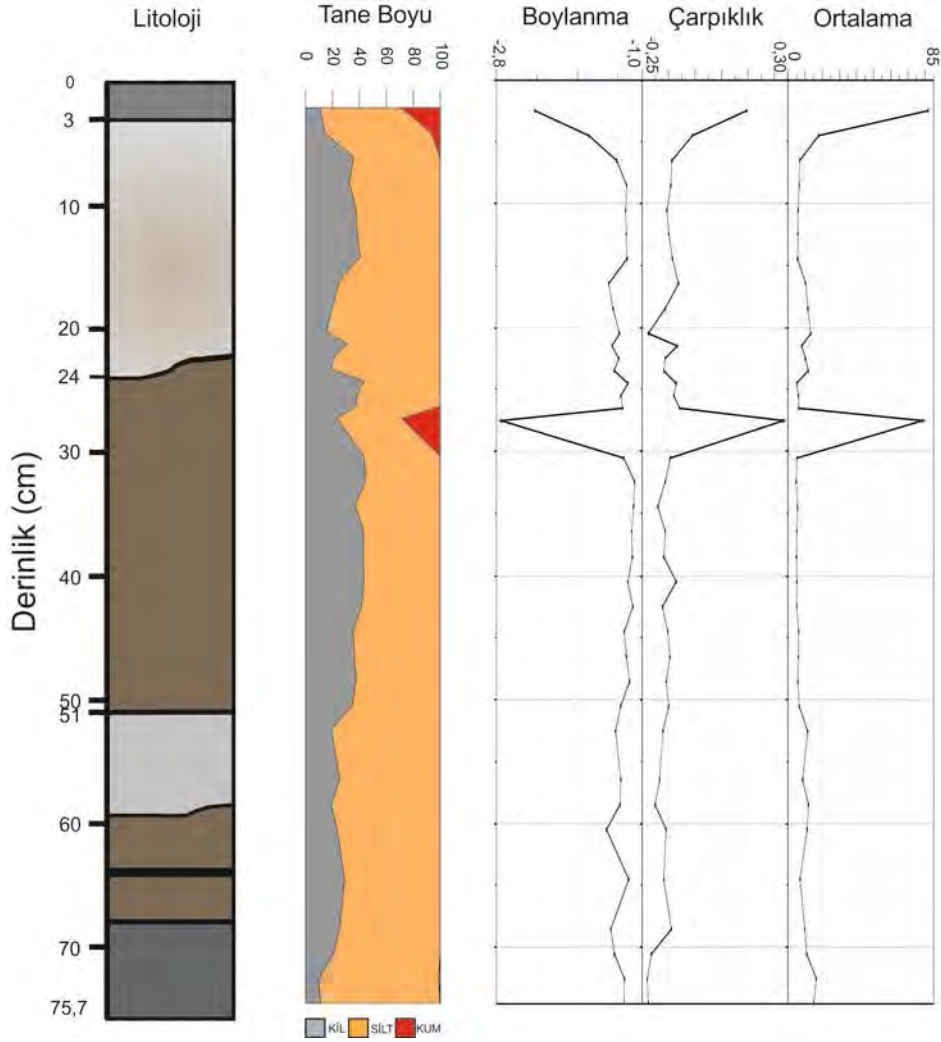
Sapanca 3 Karotu: Karotun üst 4 cm'lik kısmı, ikinci, üçüncü, dördüncü, beşinci birimler ile en tabandaki birim içerisinde değişik seviyelerde tane boyu dağılımında artış gözlenmektedir (Şekil 59). Karotun ilk cm'leri ile 27-29 cm aralığında ince kum seviyeleri bulunmaktadır.



Şekil 57. Sapanca 1 karotuna ait tane boyu, boylanma, çarpıklık ve ortalama değerlerinin değişimi. Sütun stratigrafi kesiti gözle görünür birimlere göre yapılmıştır.



Şekil 58. Sapanca 2 karotuna ait tane boyu, boylanma, çarpıklık ve ortalama değerlerinin değişimi. Sütun stratigrafi kesiti gözle görünür birimlere göre yapılmıştır.



Şekil 59. Sapanca 3 karotuna ait tane boyu, boylanma, çarpıklık ve ortalama değerlerinin değişimi. Sütun stratigrafi kesiti gözle görünür birimlere göre yapılmıştır.

Karotlarda tane boyunda artış genellikle litoloji sınırlarına veya sınırların alt ve üst kısımlarına denk gelmektedir. Radyografi görüntüsünde tane boyu dağılımlarında artış görülen (silt yüzdesinin kil yüzdesinden daha fazla olduğu ve ince kum içeren) seviyeler belirgin şekilde koyu renkte (yüksek yoğunlukta) izlenmektedir. Buna göre çıplak gözle görülen birimlere ek olarak, radyografi görüntüsü ve tane boyu değişimleri de dikkate alınarak bazı ek kütle akması birimleri tespit edilmiştir. Bu birimler Şekil 60'da sınırları kesik çizgilerle gösterilerek karotlar arasındaki korelasyonları yapılmıştır.

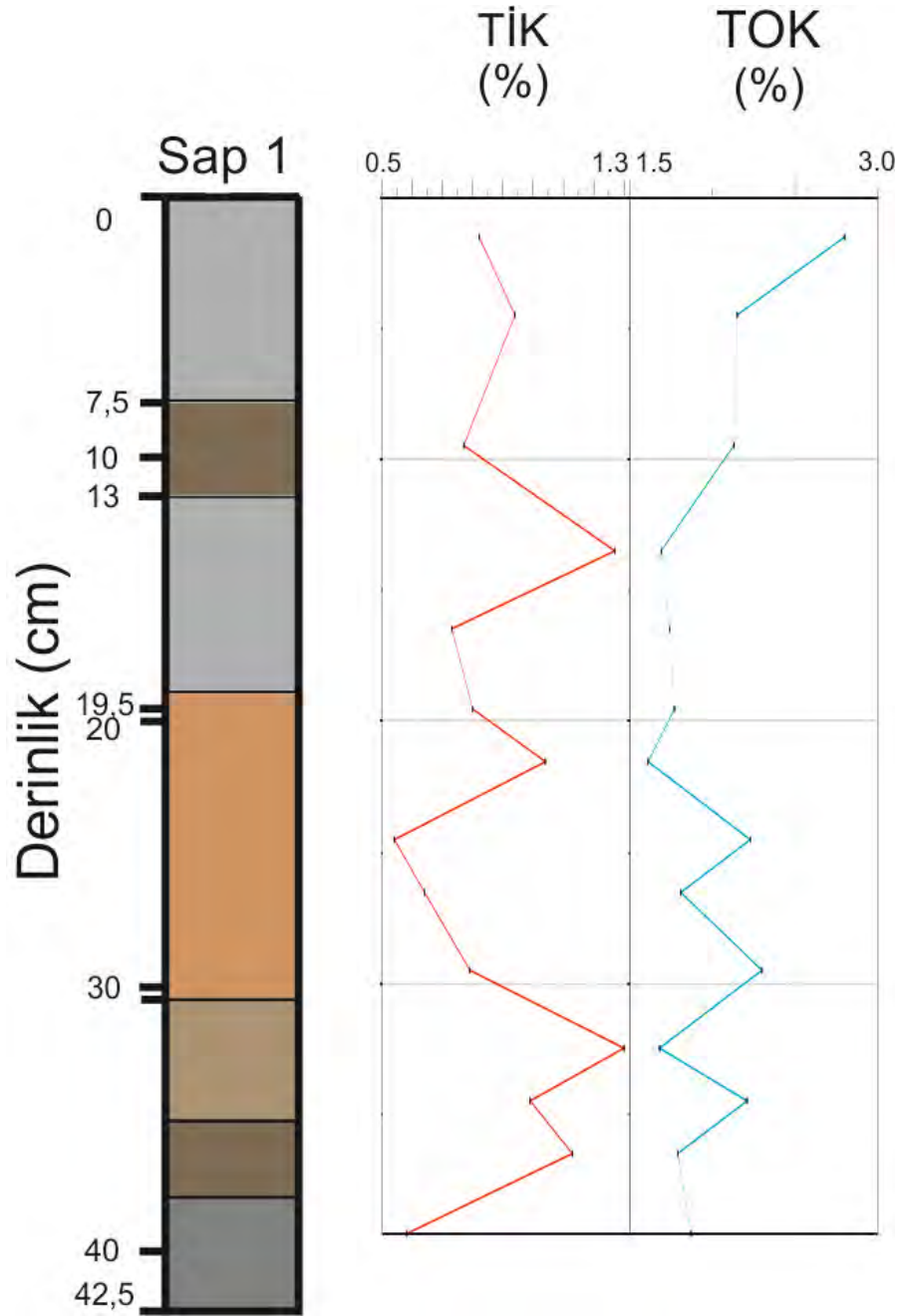
8.5 Karotların Toplam Organik ve İnorganik Karbon Dağılımları

Karotlardan 5 cm aralıklarla alınan örneklerde *Shimatzu TOC* Analizörü kullanılarak karbon analizi yapılmıştır. Analizlerde ilk olarak örnek 900⁰ de yakılarak toplam karbon (TK) değeri bulunmuştur. Daha sonra inorganik karbon (TİK) değeri örnek asitle muamele edilerek çıkan CO₂ miktarından ölçülmüştür. Toplam organik karbondan inorganik karbon değeri çıkarılarak toplam organik karbon (TOK) değeri elde edilmiştir. Yapılan analizlerin sonucu % ağırlık olarak hesaplanmaktadır.

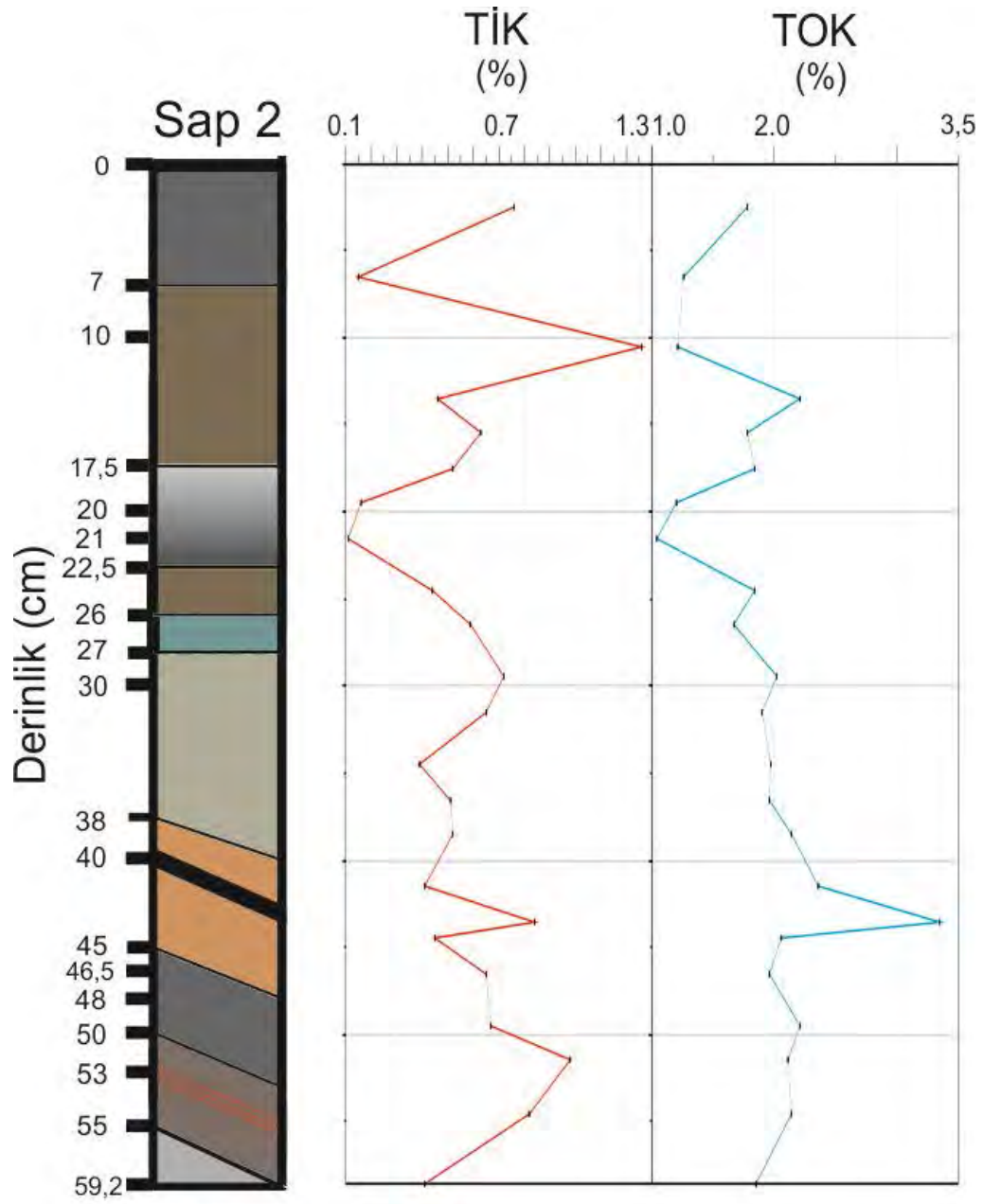
Sapanca 1 Karotu: Karotta yapılan analizler sonucunda en yüksek TİK değeri %1.3 ile 19,5 cm aralığında ve en yüksek TOK değeri %2.8 ile karotun an üst kısmında bulunmuştur (Şekil 61). Karotun en üstündeki yüksek TOK değeri göldeki organik kirliliği ve ötrofikasyonu göstermektedir. En düşük TİK değerleri %0.5 ile 24,5 ve 39,5 cm aralığında ve en düşük TOK değeri ise %1.6 ile 13,5 cm aralığındadır.

Sapanca 2: Karotta TİK değerleri %0.15-1.3 aralığında değişmektedir. En yüksek TİK değeri 11 cm ve en düşük inorganik karbon değerleri %0.15 ile 6,5 ve 19,5 cm aralıklarında izlenmiştir. Karotta TOK değerleri %1.3 -3.3 arasında değişmektedir. En yüksek TOK değeri 43.5 cm derinlikte ve en düşük TOK değerleri ise 10,5 ve 19,5 cm derinliklerinde görülmüştür (Şekil 62).

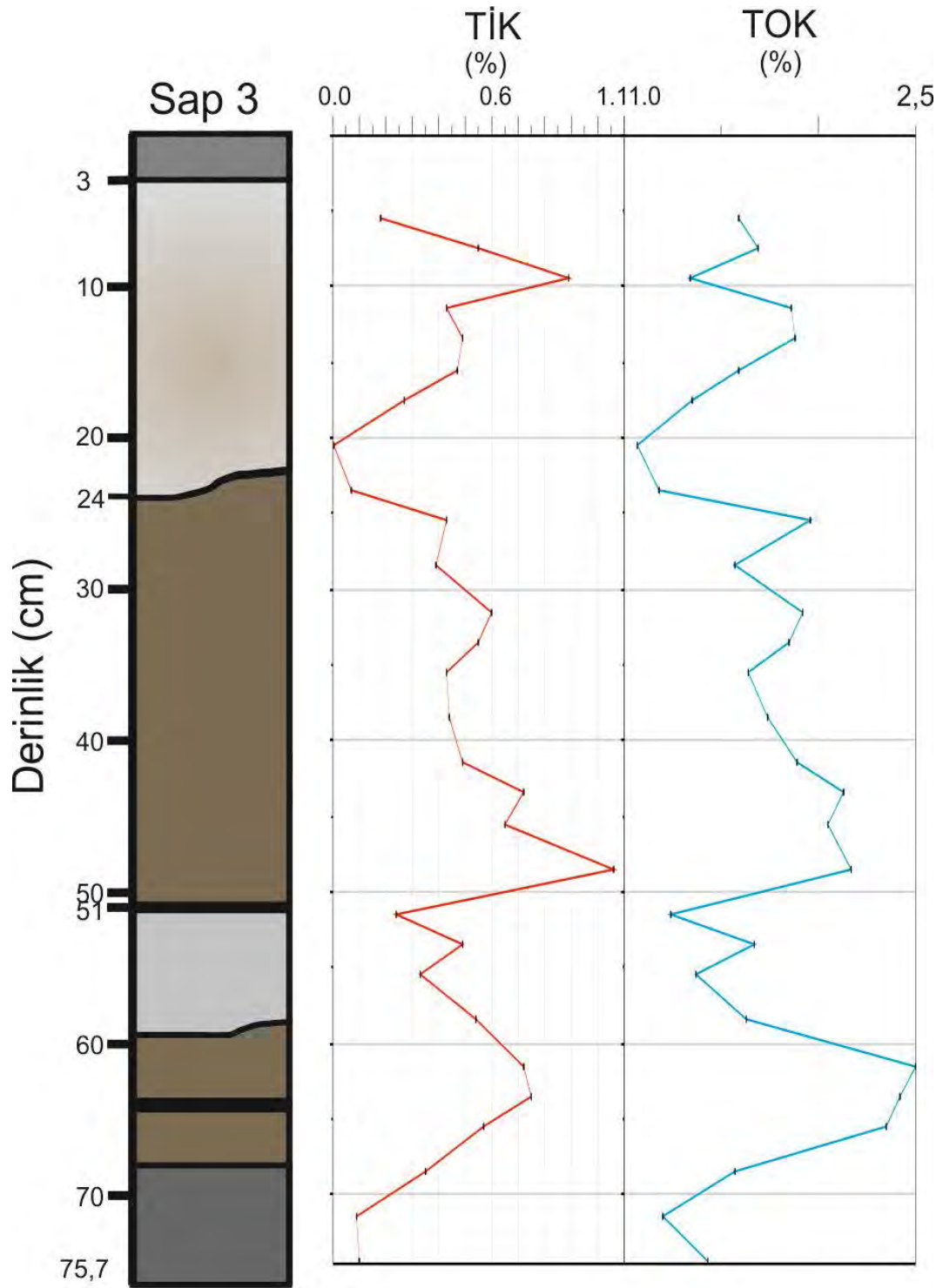
Sapanca 3 Karotu: Karotun TİK değerleri %0.003 ile % 1 aralığında değişmektedir (Şekil 63). En yüksek ve en düşük TİK değerleri sırası ile 48.5 cm 20.5 cm'de izlenmiştir. TOK değerleri %1.00-2.42 aralığındadır. En yüksek TOK değeri 63.5 cm, ve en düşük TOK değeri 20.5 cm derinlikte bulunmaktadır. Karotta 10 cm derinliği dışında tüm seviyelerde TOK ve TİK arasında yüksek bir pozitif korelasyon vardır. En üst kütle akması biriminde TOK azalırken TİK artmaktadır. 16-23 cm, 53 cm, 58 cm ve tabandaki kütle akması birimlerinde ise hem TOK hem de TİK değerleri azalma göstermektedir. Bu birimlerde kırıntı silikat malzemenin arttığını göstermektedir. 26.5-28 cm derinliğindeki yüksek yoğunluklu kütle akması birimi ise göreceli yüksek TOK ve TİK değerleri içermekte ve daha az kırıntı içeriklidir.



Şekil 61. Sapanca 1 karotu boyunca toplam inorganik karbon (TİK) ve organik karbon (TOK) dağılımları. Sütun stratigrafi kesiti gözle görünür birimlere göre yapılmıştır.



Şekil 62. Sapanca 2 karotu boyunca toplam inorganik karbon (TİK) ve organik karbon (TOK) dağılımları. Sütün stratigrafi kesiti gözle görünen birimlere göre yapılmıştır.



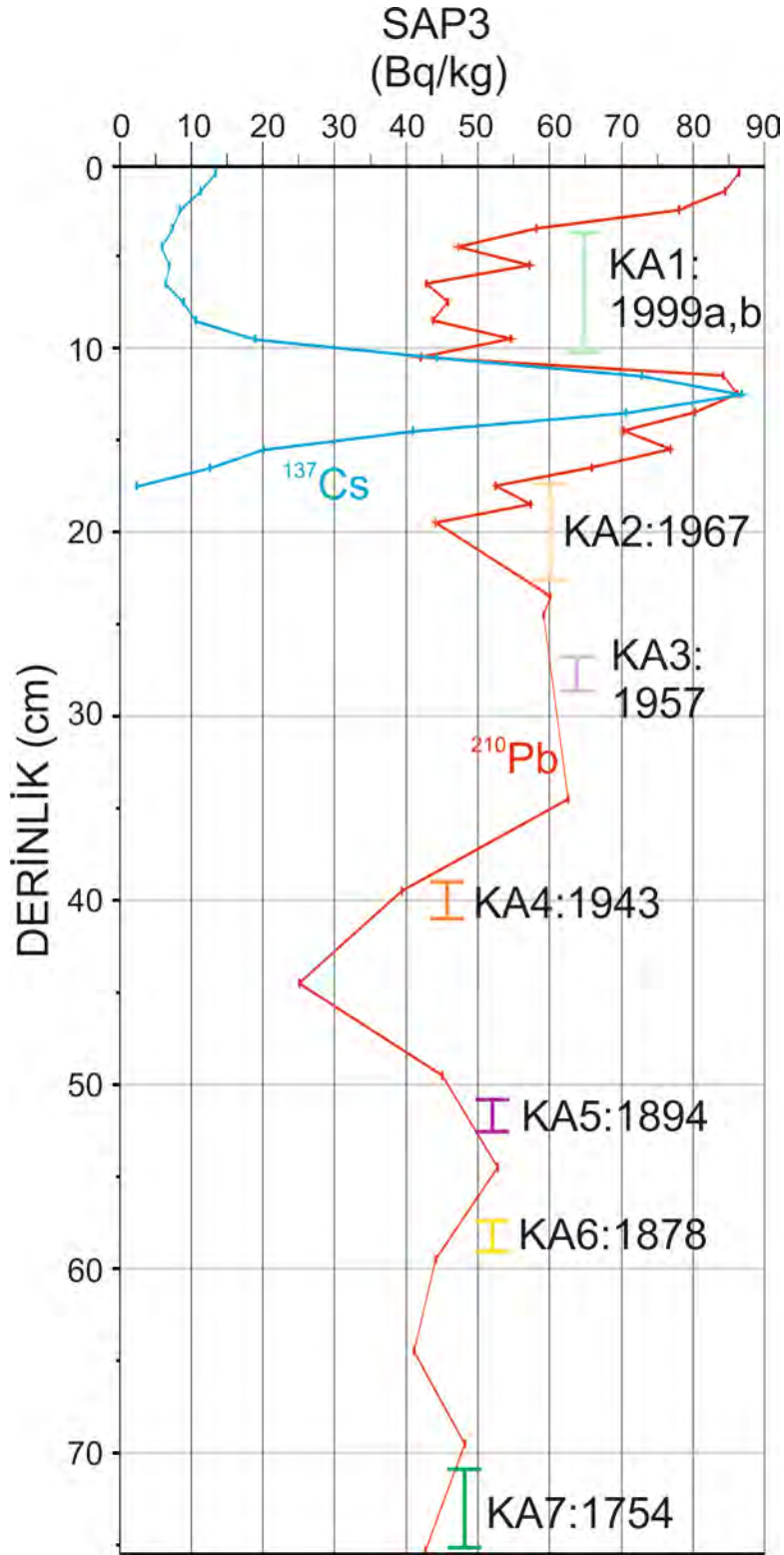
Şekil 63. Sapanca 3 karotu boyunca toplam inorganik karbon (TİK) ve organik karbon (TOK) dağılımları. Sütun stratigrafi kesiti gözle görünür birimlere göre yapılmıştır.

8.6 Karotların Kronostratigrafisi

Karotların radyometrik yaşı konusunda sadece bir Accelarator Mass Spectrometry (AMS) radyokarbon yöntemi ile Sapanca 2 karotundan alınmış tek bir veri elde edilmiştir. Radyonüklid analizleri (Pb-210 ve Cs-137) Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ÇNAEM)'de yaptırılmıştır.

AMS radyokarbon analiz A.B.D.'nde Beta Analytic laboratuvarlarında yaptırılmıştır. Sapanca 2 karotunun 37.5 cm'sinde bir bitki örneğinden alınan yaş 10 ± 30 yıl olarak rapor edilmiştir. Sapanca 2 karotunda yaş analizi için örnek alınan seviye yapılan seviye Sapanca 3 karotunda benzer derinliğe, Sapanca 1 karotunda ise yaklaşık olarak 5 cm daha yukarı kısma denk gelmektedir. Analizi yapılan bitki örneğinde herhangi nükleer deneme ^{14}C içeriğine rastlanmamıştır. Buna göre bu yaş 1950 nükleer denemeleri öncesinde, 1900 ile 1950 arasında bir yaşı işaret etmektedir. Buna göre 37.5 cm üstündeki tüm kütle akması birimleri 1950'den daha gençtir.

Sapanca 3 karotunda radyonüklid analizleri yapılmıştır. Bunun için karotun ilk 25 cm'si 1 cm; daha sonraki kısımlar 5 cm aralıklarla örneklenmiştir. Örnekler Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezinde (ÇNAEM) ^{210}Po (^{210}Pb 'nin radyoaktif bozuşma ürünü) için alfa spektrometreis ile analiz edilmiştir. Ayrıca gama spektrometrisi ile örneklerin ^{137}Cs analizine başlanmış ve üst 19 cm'sinin analizi tamamlanmıştır. Bugüne dek elde edilen analiz sonuçları an ^{210}Po ve ^{137}Cs konsantrasyonlarının derinlikle değişim grafiği halinde Şekil 63'de verilmiştir. ^{210}Po profiline göre ^{210}Pb in yaklaşık beş yarı ömrüne denk gelen, günümüzden önce 120 yıl, yaklaşık 55 cm derinliğe karşılık gelmektedir. Buna göre Sapanca Gölünde kütle akması birimleri çıkarıldıktan sonra ortalama çökme hızı 1,87 mm/yıl olarak bulunmuştur. Kütle akması birimlerinin olduğu seviyelerde ^{210}Po ve ^{137}Cs konsantrasyonlarında azalmalar görülmektedir. Bunun nedeni kütle akması birimlerinin yamaçlardan akan yaşlı çökelleri de içermeleridir. Bu özellikle üst iki birimde (KA1 ve KA2) çok belirgin bir şekilde görülmektedir. ^{210}Po profilinde en üst birimin (KA1) 3 cm ile 10.5 cm arasında yer aldığı izlenmektedir (Şekil 64).



Şekil 64. Sapanca 3 karotunda ^{210}Po (^{210}Pb 'nin radyoaktif bozuşma ürünü) ile ^{137}Cs değerlerinin derinlikle değişim grafiği ve tarihi depremlerin bu grafik üzerindeki konumları (açıklama için “Sapanca Gölü çökellerindeki deprem kayıtları” bölümüne bakınız).

8.7 Sapanca Gölü Çökellerindeki Deprem Kayıtları

Çalışma alanı olan Sapanca Gölü Kuzey Anadolu Fay (KAF) hattının tektonik etkileriyle oluşmuş tektonik bir göldür. Aktif bir tektonizmaya sahip olan KAF hattı bölgede geçmişte önemli büyük depremleri tetiklemiştir. Fay hattı üzerinde oluşan depremler sırasındaki sarsıntılar göller ve denizlerde kütle akmalarına neden olmakta ve yamaçlardan akan çökellerin tabanda yoğun olan türbidit akıntıları ile derin kesimlere kadar ulaşarak türbidit birimlerini oluşturduğu bilinmektedir (örneğin, Beck v.d., 1996, 2006, Inouchi v.d., 1996; Sarı ve Çağatay, 2006; Çağatay v.d., 2011). Sapanca Gölü'nde incelenen üç karotta Sapanca Gölünü kesen fay hattı üzerinde kütle akma birimleri değişik analiz yöntemleri ile tespit edilmiş ve karotlar arası korelasyonu yapılmıştır (Şekil 60). Kütle akma birimleri kimyasal, fiziksel, tane boyu, TOK/TİK içeriği ve radyografik özellikleriyle normal göl çökellerinden farklılık göstermektedir. Birimler MSCL gama ve radyografi analizlerine göre yüksek yoğunluğa; tane boyu analizine göre iri tane boyu, kötü boylanma ve pozitif çarpıklığa; XRF karot tarayıcı analizlerine göre yüksek kırıntı mineral miktarına (yüksek Si+K+Ti+Rb ve düşük Ca/Ti); ve TOK analizlerine göre ise genel olarak düşük TOK ve TİK içeriğine sahiptir. Ayrıca bu birimler, radyonüklid analizleri yapılan Sapanca3 karotunda alt ve üstteki normal göl çökellerine göre düşük ^{210}Po ve ^{137}Cs değerlerine sahiptir.

Bu tür kütle akma birimleri Sapanca 1 karotunda 3-10.5 cm, 14-18 cm, 21-22 cm, 27-28 cm ve 39,5-42 cm derinlik; Sapanca 2 karotunda 3-8 cm, 18-24 cm, 26-27 cm, 38-45 cm, 50-55 cm ve 58-59,5 cm derinlik ve Sapanca 3 karotunda 3-10.5 cm, 18-24 cm, 26-27 cm, 39-41 cm, 51-52 cm, 58-59 cm ve tabandaki 69-75.7 cm derinliğinde tabanı oluşturan koyu gri çamur birimleri kütle akması birimleridir. Birimlerin bazılarının tabanlarının keskin ve dalgalı olması (örneğin Sapanca 3 karotunda 24 cm ve 58 cm'deki taban dokanaklar) kütle akması ile erozyon veya deformasyonun bir işareti olabilir.

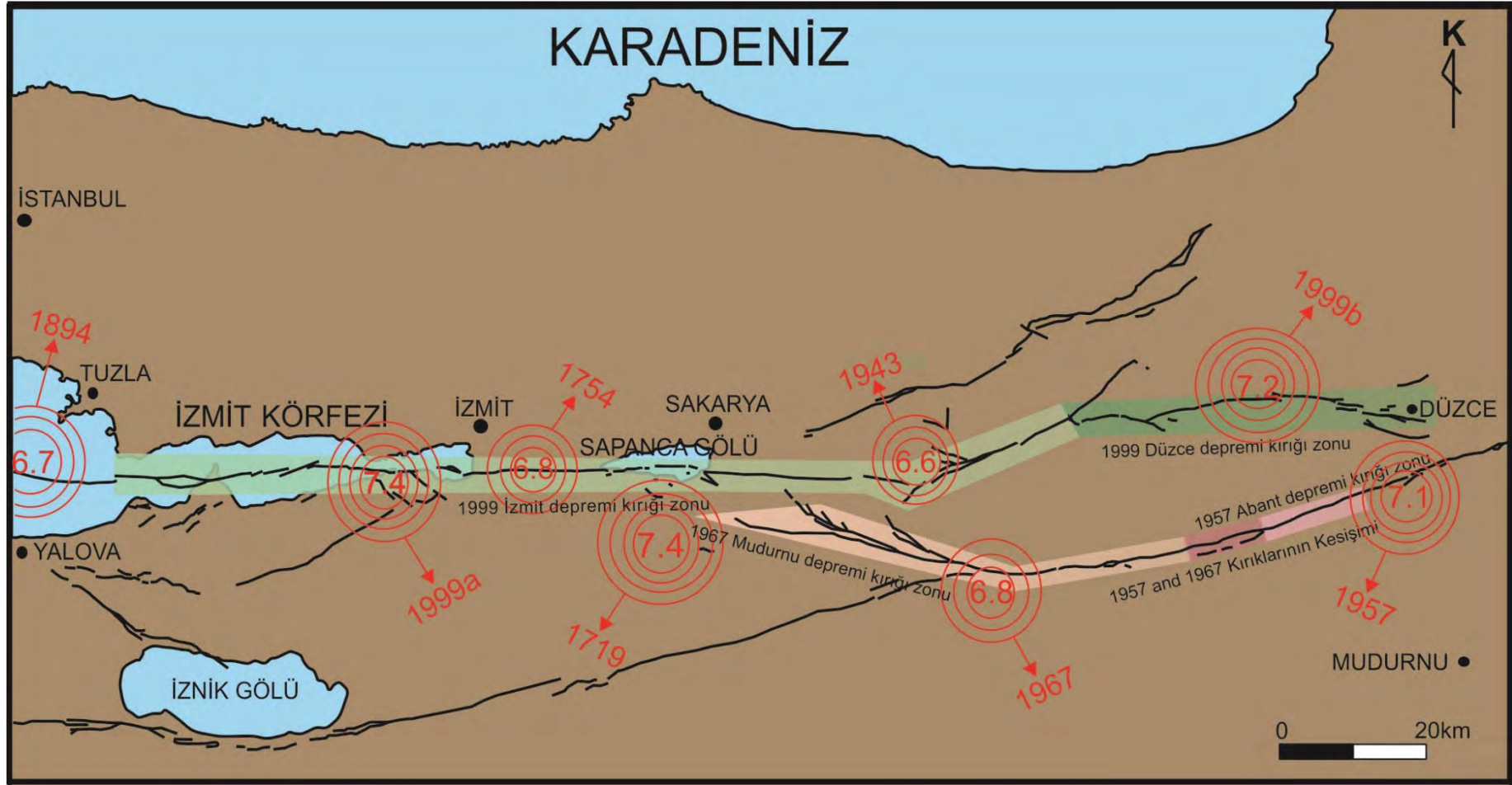
Sapanca Gölü'ne yakın bölgede, gölün üzerinde yer aldığı Kuzey Anadolu Fay Zonunda (KAFZ) değişik segmentler üzerinde son 250 yılda sekiz ayrı büyük deprem meydana gelmiştir (Şekil 65). Bunlar geçmişten günümüze doğru sırasıyla merkez üssü Ambraseys (2002a)'e göre İzmit olan 1754 Depremi ($M_w=6.8$), 1878 Depremi (Pantosti, vd., 2008), 1894 Doğu Marmara depremi, 1943 Hendek depremi ($M_w=6.8$), 1957 Abant depremi ($M_w=7.1$), 1967 Mudurnu depremi ($M_w=6.8$) ile 1999 İzmit ($M_w=7.4$) ve Düzce depremleridir ($M_w=7.2$). Bu depremlerin bazılarına ait kırıklar Sapanca Gölü civarındaki KAFZ üzerinde bulunmaktadır (Emre Ö. vd., 2013) (Şekil 64). İzmit depreminin etkisiyle oluşan kırık hattı Sapanca gölünü baştanbaşa katederken, Düzce depreminin kırık hattı fölün 50 km doğusunda, Mudurnu depremi kırık hattı 10 km güneydoğusunda, Abant depreminin kırık hattı 64 km doğusunda başlamaktadır (Şekil 65).

Bu depremlerin Sapanca Gölü'nde hangi kütle akması birimine karşılık geldiği karotların kronostratigrafisinin ayrıntılı bilinmesini gerektirmektedir. Sapanca 2 karotunda 37.5 cm'den elde edilen AMS Radyokarbon yaş verisi ve radyonüklid analizleri bu konuda önemli ipuçları vermektedir. Buna göre; büyük olasılıkla karotun en üst 3-10.5 cm aralığındaki birim (KA1) 1999 İzmit ($M_w=7.4$) ve Düzce ($M_w=7.2$) depremlerine karşılık gelmektedir. Zira bu birimin en üstte sadece 3 cm'lik bir çökel örtüsü altında yer alıyor olması ve hemen altındaki göl çökelleri altında yüksek ^{137}Cs değerleri içermesi bu kütlenin çok genç olduğunu göstermektedir. Karotun üst 55 cm'si içerisinde yer alan diğer dört kütle akması birimi, (KA2, KA3, KA4, KA5) ^{210}Pb 'nin beş yarı ömrüne karşılık gelen 120 yıl öncesi tarihten (yaklaşık 1890 yılı), daha genç olmalıdır (Şekil 63). Bu veri, aradaki çökellerin kalınlıkları ve ortalama 1.87 mm/yıl çökel (sedimentasyon) hızı dikkate alınarak bu kütle akma birimlerinden ikincisi

(KA2) 1967 Mudurnu Depremi ($M_w=6.8$); üçüncü birim (KA3) 1957 Abant Depremi ($M_w=7.1$); dördüncü birim (KA4), 1943 Hendek Depremi ve beşinci birim (KA5) 1894 Doğu Marmara depremi ile denestirilebilir. En altta, yer alan iki kütle akması birimi (KA6 ve KA7) ise 1890'dan daha yaşlı olmalıdır. Çökelme hızı da dikkate alınarak bu birimlerden KA6 1878 depremini ve Sapanca3 karotunun tabanında görülen KA7 birimi büyük olasılıkla 1754 İzmit depremini temsil etmektedir.

Daha önce Sapanca Gölünde yapılan radyonüklid analizleri ile kısa (45 cm) karotlarda yapılan çalışmalarda kütle akma birimleri (türbidit-homojenit) çıkarıldıktan sonra ortalama çökelme hızlarının 3.3 -1.8 mm/yıl arasında değıştiğı bulunmuştur (Schab vd., 2009). Leroy ve diğ. (2010) gölün en derin merkezi yerinden alınan 5.86 m uzunluğunda bir karotta ortalama çökelme hızını normal göl ve kütle akıntısı birimlerinin tümünü dikkate alarak 2.9 mm/yıl olarak bulmuştur. Bu çalışmacılar ayrıca karotlarında 1999 İzmit, 967 Mudurnu ve 1957 Abant depremlerinin kayıtlarını da bulmuştur.

Çalışmamızda kısa karotlarla yaklaşık son 250 yıldaki deprem kayıtları elde edilmiştir. Çok daha uzun süreli deprem kayıtları elde etmek için uzun karotların alınması ve analizi gerekmektedir.



Şekil 65. Sapanca gölü ve çevresindeki Kuzey Anadolu Fay Zonunu ve büyük depremlerin etkisiyle oluşmuş kırık zonlarını (Emre, vd., 2013) ve depremlerin merkez üstleri ile büyüklüklerini (Ambraseys ve Finkel, 1995; Gülen vd., 2002) gösteren harita.

9. SONUÇ ve ÖNERİLER

Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde bulunan Sapanca Gölü'nde gölün oluşumuna neden olan yapısal unsurların ortaya çıkarılması amacıyla sismik yansıma ve yandan taramalı sonar çalışmaları yapılmıştır. Sapanca Gölünde 28 adet K-G ve iki adet D-B uzanımlı olmak üzere toplam 84 km sismik profil alınmıştır. Sismik verilerin yorumlanmasıyla Kuzey Anadolu Fay Zonunun Sapanca Gölü içerisinde bir çekme-ayırma (pull-apart) fay geometrisine sahip olduğu saptanmış ve aktif fay kolları ayrıntılı olarak haritalanmıştır. Ayrıca Sapanca Gölünün ayrıntılı bir batimetri haritası elde edilmiştir.

Sapanca Gölünden alınan ve uzunluğu 76 cm'ye varan üç karotun sedimantolojik, fiziksel ve jeokimyasal özellikleri eski deprem kayıtlarını araştırmak amacı ile sistematik bir şekilde analiz edilmiştir. Karotların tane boyu analizi lazer difraksiyon, fiziksel özellikleri Çoklu Sensör Karot Loglayıcısı (MSCL), Toplam organik karbon (TOC) ve inorganik karbon (IC) analizleri Shimadzu TOC Analizörü, yüksek çözünürlüklü sayısal X-Işınları radyografisi ve mikro-XRF element analizleri Itrax Karot Tarayıcısı kullanılarak yapılmıştır. Karotların Jeokronolojisi için AMS Radyokarbon (C_{14}) and Radyonüklid (Pb_{210} , Cs_{137}) metodları kullanılmıştır.

Sapanca Gölü deprem kayıtları karotlarda alt kısımda gri veya koyu gri, kaba kumdan ince kuma değişen, üstte siltli kil çamurdan oluşan ve dereceli tane boyu gösteren kütle akması birimleriyle karakterize edilmektedir. Tabandaki kaba taneli kısmın tabanı keskindir. Birimin üstü ise dereceli geçişlidir. Birimlerin kaba taneli tabanları genellikle yüksek yoğunluk, yüksek manyetik duyarlılığa sahiptir ve kaba kırıntılı silikat malzemenin belirteci olan Si, Ca, Ti, K, Rb, Zr ve Fe gibi elementlerden bir veya birkaçı bakımından zenginleşme göstermektedir. Radyonüklid ve radyokarbon tarihlendirme analizlerine göre kütle akması birimleri 1999 İzmit ($M_w=7.4$) - Düzce ($M_w= 7.2$) , 1967 Mudurnu ($M_w= 6,8$), ve 1957 Abant ($M_w= 7.1$) depremleri ile korele edilmiştir.

Daha önce Sapanca Gölünde yapılan radyonüklid analizleri ile kısa (45 cm) karotlarda yapılan çalışmalarda kütle akma birimleri (türbidit-homojenit) çıkarıldıktan sonra ortalama çökme hızlarının 3.3 -1.8 mm/yıl arasında değiştiği bulunmuştur (Schab vd., 2009). Leroy ve diğ. (2010) gölün en derin merkezi yerinden alınan 5.86 m uzunluğunda bir karotta ortalama çökme hızını normal göl ve kütle akıntısı birimlerinin tümünü dikkate alarak 2.9 mm/yıl olarak bulmuştur. Buna göre incelediğimiz Sapanca1, Sapanca 2 ve Sapanca 3 karotlarının tabanlarının yaşı sırası ile yaklaşık, 150, 200 yıl ve 250 yıldır. Böylece karotlardaki deprem kayıtları yaklaşık 250 yıl öncesine kadar uzayabilecektir. Daha uzun süreli deprem kayıtları elde etmek için daha uzun karotların alınması ve analizi gerekmektedir.

Bu çalışmada ayrıca Sapanca ve yakın çevresinin depremselliği, ve güncel stress durumu incelenmiş ve bölgenin tektoniğiyle ilişkilendirilmiştir. Yapılan gerilme analizleri sonucu S1, S2 S3 asal gerilme yönleri elde edilmiş ve bölgenin ağırlıklı olarak doğrultu atımlı faylanma rejiminden kuzeybatıya doğru gidildikçe açılma rejimi atında kaldığı gözlenmiştir. Çalışmada 29° - 32° boylamları, 39° - 42° enlemleri arasında kalan bölgede Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsünden temin edilen ham deprem kataloğu verisi kullanılarak (1900-2012 yılları arası) Gardner ve Knopoff (1974) yöntemi ve Reasenber (1985) yöntemleri ile ayrı ayrı analiz edilmiştir. Patlatma verileri de Wiemer ve Baer, 2000 algoritması kullanılarak katalogtan kaldırılmıştır. Bu iki yöntemin sonuçları karşılaştırılarak a, b, M_c parametreleri hesaplanmıştır. Bölge çok yoğun bir deformasyon altında kalmakta ve bunun sonucu olarak yüksek bir deprem aktivitesi göstermektedir. Bu sonuçlara göre; b değerinin 1999 İzmit ve Düzce depremlerinin olduğu bölgelerde düşük değerlerde çıktığı görülmektedir.

KAYNAKLAR

- AMBRASEYS, N.N. and Zatopek, A., 1969. The Mudurnu Valley, West Anatolia, Turkey, earthquake of 22 July 1967. *Bull. Seism. Soc. Am.* 59 (2), 571-589.
- AMBRASEYS, N.N. and Finkel, C.F., 1987. The Saros-Marmara earthquake of 9 August 1912. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 15, 189-211.
- AMBRASEYS, N.N. and Finkel, C. F., 1995. The seismicity of Turkey and adjacent areas; A historical review: 1500-1800, Eren Yayıncılık, İstanbul, 240s.
- AMBRASEYS, N.N., 2000. The seismicity of the Marmara Sea Area 1800-1899. *Journal of Earthquake Engineering*, 4, 377-401.
- AMBRASEYS, N.N., 2002, The seismic activity of the Marmara Sea Region over the last 2000 years, *Bull. Seism. Soc. Amer.*, 92, 1-18.
- AMBRASEYS, N.N., 2002a. Seismic sea waves in the Marmara Sea Region during the last 20 centuries, *J. Seismol.*, 6, 571-578.
- ARMİJO, R., Meyer, B., Navarro, S., King, G. and Barka, A., 2002. Asymmetric slip partitioning in the Sea of Marmara pull-apart: a clue to propagation processes of the North Anatolian Fault? *Terra Nova*, 14, 80-86.
- AYHAN, E., Alsan, E., Sancaklı, N. and Üçer, S.B., 1984. Türkiye dolayları deprem kataloğu 1881-1981. Boğaziçi University Kandilli Observatory, İstanbul, Turkey, 126 pp.
- BARKA, A. and Kadinsky-Cade, K., 1988. Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. *Tectonics*, 7, 663-684.
- BARKA, A., Altunel, E., Sunal, G., Çakır, Z., Dikbaş, A., Yerli, B., Armijo, R., Meyer, B., de Chabalier, J.B., Rockwell, J.R., Dolan, J.R., Hartleb, R., Dawson, T., Christofferson, S., Tucker, A., Fumal, T., Langridge, R., Stenner, H., Lettis, W., Bachhuber, J., Page, W., 2002. The surface rupture and slip distribution of the 17 August 1999 İzmit earthquake (M 7.4), North Anatolian Fault. *Bull. Seism. Soc. Amer.* 92, 43-60.
- BECK C, Manalt F, Chapron E, Rensbergen PV, Batist M.D., 1996. Enhanced seismicity in the early post-glacial period: evidence from the post-würm sediments of Lake Annecy, Northwestern Alps, *J. Geodynamics*, 5(22):155-171
- BECK, C., Mercier de Lépinay, B., Schneider, J-L., Cremer, M., Çağatay, N., Wendenbauma, E., Boutareaud, S., Ménot-Combes, G., Schmidt, S., Olivier, W., Kadir Eris, K., Armijo, R., Meyer, B., Pondard, N., Gutcher M-A., and the MARMACORE Cruise Party, Turon, J.-L., Labeyrie, L. Cortijo, E. Gallet, Y., Bouquerel, H., Gorur, N., Gervais, A., Castera, M.-H., Londeix, L. Ressayguier A. de, Jaouen, A. 2006. Late Quaternary co-seismic sedimentation in the Sea of Marmara's deep basins. *Sedimentary Geology*, 199, 65-89.
- BOL, E., 2003. "Adapazarı Zeminlerinin Geoteknik Özellikleri". Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi , 197 sayfa.

- ÇAĞATAY, M.N., Erel, L., Bellucci, L.G., Polonia, A., Gasperini, L. Eriş, E., Sancar, Ü., Bıltekin, D., Uçarkuş, G., Ülgen, U.B., Damcı, E., 2012. Sedimentary earthquake records in the İzmit Gulf, Sea of Marmara, Turkey. *Sedimentary Geology*, 282:347-359.
- CORMIER, M. H., Seeber, L., McHugh, C.M.G., Polonia, A., Çağatay, N., Emre, Ö., Gasperini, L., Görür, N., Bortoluzzi, G., Bonatti, E., Ryan, W.B.F. and Newman, K.R., 2006. North Anatolian Fault in the Gulf of İzmit (Turkey): Rapid vertical motion in response to minor bends of a nonvertical continental transform. *J. Geophys. Res.* 111, B04102, doi:10.1029/2005JB003633.
- CRAMPIN, S. and Üçer, B., 1975. The seismicity of Marmara Sea Region of Turkey, *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 40, 269-288.
- ÇEKEN, U., 2007. Marmara Bölgesinin Kuvvetli Yer Hareketi Azalım İlişkisi Modeli; Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi.
- DEWEY, J.W., 1976. Seismicity of northern Anatolia, *Bull. Seism. Soc. Amer.*, 66, 843-868.
- DSİ, 1960. Sapanca Gölünün derinlik haritası, 1/12.500 ölçekli.
- DSİ, 1990. Sapanca Gölünün derinlik haritası, 1/12.500 ölçekli.
- DSİ, 2002. Sapanca Gölünün derinlik haritası, 1/12.500 ölçekli.
- DUMAN, T.Y., Emre, Ö., Okumura, K., Awata, Y., 2007. Kuzey Anadolu Fayı üzerinde 1999 İzmit depremiyle eşzamanlı oluşan bir çek-ayır havzası: Aktif Tektonik Araştırma Grubu 11. Çalışmayı, sf.58.
- ELMAS, A., 2003. Late Cenozoic tectonics and stratigraphy of the northwestern Anatolia: the effects of the North Anatolian Fault to the region. *Int. J. Earth Sci.*, 92:380–396.
- EMRE, Ö., Awata, Y., Duman, T.Y., 2003. 17 Ağustos 1999 İzmit Depremi Yüzey Kırığı, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi:1 (ISBN:975-6595-53-1), Ankara, 280p.
- EMRE, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş. and Şaroğlu, F., 2013. Türkiye Diri Fay Haritası, Özel Yayın Serisi-30. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- EMRE, Ö., T. Erkal, A. Tchepalyga, N. Kazancı, M. Keçer, E. Ünay (1998). Doğu Marmara bölgesinin Neojen-Kuvaterner evrimi, *MTA Dergisi*, 120, 289-314.
- ERİNÇ, S., 1949. Sapanca Gölünün derinlik haritası ve morfometrisi, *Türk Coğrafya Dergisi*, Sayı (XI-XII), 139-141.
- EYİDOĞAN, H., 1988. Rates of crustal deformation in Western Turkey as deduced from major earthquakes, *Tectonophysics*, 148, 1-2, 83-92.
- FLERIT, F., Armijo, R., King, G.C.P., Meyer, B. and Barka, A., 2003. Slip partitioning in the Sea of Marmara pull-apart determined from GPS velocity vectors. *Geophys. J. Int.*, 154, 1-7.
- GARDNER, J. K., and Knopoff, L., 1974. Is the sequence of earthquakes in Southern California, with aftershocks removed, Poissonian?, *Bull. Seis. Soc. Amer.*, 64(5), 1363-1367.

- GEPHART, J. W., and Forsyth, D. W., 1984. An improved method for determining the regional stress tensor using earthquake focal mechanism data: application to the San Fernando earthquake sequence. *J. Geophys. Res.* 89, 9305–9320.
- GEPHART, J.W., 1990. FMSI: a Fortran program for inverting fault/slickenside and earthquake focal mechanism data to obtain the regional stress tensor, *Comp. Geosci.*, 16, 953–989.
- GUTENBERG, R. And Richter, C. F., 1944. Frequency of earthquakes in California. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, 34, 185-188.
- GÜLEN, L., Pınar A., Kalafat, D., Özel, N., Horasan, G., Yılmaz, M., Işıkara A.M., 2002. Surface Fault Breaks, Aftershock Distribution, and Rupture Process of the August 17, 1999 Izmit, Turkey Earthquake, *Bull. Seism. Soc. Amer.*, 92, 230-244.
- GÜRBÜZ, C., Aktar, M., Eyidoğan, H., Cisternas, A., Haessler, H., Barka, A., Ergin, M., Türkelli, N., Polat, O., Üçer, S. B., Kuleli, S., Barış, S., Kaypak, B., Bekler, T., Zor, E., Bicmen, F., and Yörük, A., 2000. The seismotectonics of the Marmara region (Turkey): results from a microseismic experiment, *Tectonophysics*, 316, 1-17.
- GÜRBÜZ A, ve Gürer Ö F., 2008a. Anthropogenic affects on lake sedimentation process: a case study from Lake Sapanca, NW Turkey, *Environ. Geol.*, 56, 299-307.
- GÜRBÜZ A., ve Gürer Ö. F. 2008b. Tectonic geomorphology of the North Anatolian Fault Zone in the Lake Sapanca Basin (Eastern Marmara Region, Turkey), *Geosciences J.*, 12, 215-225.
- GÜRER. Ö.F., Kaymakçı, N., Çakır, Ş. And Özburan, M., 2003, Neotectonics of the southeast Marmara region, NW Anatolia, Turkey, *J. Asian Earth Sci.*, 21(9), 1041-1051.
- HERECE E, Akay E (2003) Atlas of North Anatolian Fault (NAF), General Directorate of Mineral Research and Exploration Special Publication series-2, Ankara, p 61 + 13 maps as Appendices.
- IKEDA, Y., Suzuki, Y., Herece, E., Şaroğlu, F., Işıkara, A.M. and Honkura, Y., 1991. Geological evidence for the last two faulting events on the North Anatolian fault zone in the Mudurnu valley, western Turkey. *Tectonophysics*, 193, 335-345.
- INOUCHI, Y., Kinugasa, Y., Kumon, F., Nakano, S., Yasumatsu, S., Shiki, T., 1996. Turbidites as records of intense palaeoearthquakes in Lake Biwa, Japan. *Sedimentary Geology*, 104, 117–125.
- KALAFAT, D., Öz, N., Kara, M., Ögütçü, Z., Kılıç, K., Pınar, A. and Yılmaz, M., 2000. An earthquake catalogue for Turkey and surrounding area. Boğaziçi University, İstanbul, Turkey, 236 pp.
- KALAFAT, D., Güneş, Y., Kara, M., Pınar, D., Kekovalı, K., Kuleli, S., Gülen, L., Yılmaz, M., Özel, N.M., 2007. Bütünleştirilmiş Homojen Türkiye Deprem Kataloğu (1900-2005; $M \geq 4.0$): A revised and extended earthquake catalogue for Turkey since 1900 ($M \geq 4.0$), Boğaziçi Üniversitesi Yayınları No: 977, 558s., Bebek-İstanbul.
- KALAFAT, D., Kekovalı, K., Kılıç, K., Güneş, Y., Yılmaz, M., Ögütçü, Z., Kara, M., Güngör, A., Küsmezer, A., Comoğlu, M., Deniz, P., Berberoğlu, A., Kılıçer Bekler, F., Berberoğlu, M., Gümüş, H., Altuncu, S., Suvaraklı, M., Kepekçi, D., Gül, M., Çok, Ö.,

- Polat, R., 2008. Türkiye ve Çevresi Deprem Kataloğu (1900-2008; $M \geq 3.0$); An Earthquake Catalogue for turkey and Surrounding Area ($M \geq 3.0$; 1900-2008).
- KALAFAT, D., 2010. Türkiye Deprem Kataloğunun İstatistik Açısından Değerlendirilmesi: Örnek Çalışma-Statistical Evaluation of Turkey earthquake Catalog: Case Study, Boğaziçi Üniversitesi Yayınları, Yayın No: 1039, 87s., Bebek-İstanbul.
- KARABULUT, H., Bouin, M.-P., Bouchon, M., Dietrich, M., Cornou, C. & Aktar, M., 2002. The seismicity in the eastern Marmara Sea after the 17 August 1999 Izmit earthquake, *Bull. Seism. Soc. Amer.*, 92, 387–393.
- KLINGER, Y., Sieh, K., Altunel, E., Akoğlu, A., Barka, A., Dawson, T., Gonzalez, T., Meltzner, A. and Rockwell, T., 2003. Paleoseismic evidence of characteristic slip on the western segment of the North Anatolian Fault, *Bull. Seism. Soc. Amer.*, 93, 2317-2332.
- KOÇYİĞİT, A., Özkan, S., and Rojay, F. B., 1988. Examples from the forearc basin remnants at the active margin of northern neo-tethys; development and emplacement ages of the Anatolian nappe, Turkey, *METU Journal of Pure and Applied Sciences*, Vol. 21, No.1-3, pp. 183-210.
- LE PICHON, X., Şengör, A.M.C., Demirbağ, E., Rangin, C., İmren, C., Armijo, R., Görür, N., Çağatay, N., Mercier de Lepinay, B., Meyer, B., Saatçılar, R. and Tok, B., 2001. The active Main Marmara Fault. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 192, 595-616.
- LEROY, S.S.G., Schwab, M.J. and Costa, P.J.M., 2010. Seismic influence on the last 1500-year infill history of Lake Sapanca (North Anatolian Fault, NW Turkey). *Tectonophysics*, 486, 15-27.
- LETTIS, W., J. Bachhuber, R. Witter, C. Brankman, C.E. Randolph, A. Barka, W.D. Page, A. Kaya 2002. Influence of releasing stepovers on surface fault rupture and fault segmentation: examples from the 17 August 1999 İzmit earthquake on the North Anatolian Fault, Turkey. *Bull. Seism. Soc. Amer.* 92, 19-42.
- MICHAEL, A. J., 1987. Use of focal mechanisms to determine stress: A control study, *J. Geophys. Res.*, 92, 357-368.
- McHUGH, C.M.G., Seeber, L., Cormier, M.H., Dutton, J., Çağatay, N., Polonia, A., Ryan, W.B.F. and Görür, N., 2006. Submarine earthquake geology along the North Anatolia Fault in the Marmara Sea, Turkey: A model for transform basin sedimentation, *Earth and Planet. Sci. Lett.*, 248, 661-684.
- Operator's Manual, SES-2000 Compact, 2012-08, Innomar Technologie GmbH, Schutower Ringstr, 4 D-18069, Rostock, Germany, pp.112.
- ÖNCEL, A.O. and Wyss, M., 2000. The major asperities of the 1999 MW=7.4 İzmit earthquake defined by the microseismicity of the two decades before it. *Geophys. J. Int.*, 143, 501-506.
- ÖRGÜLÜ, G. and Aktar, M., 2001. Regional Moment Tensor Inversion for Strong Aftershocks of the August 17, 1999 Izmit Earthquake ($M_w=7.4$). *Geophys. Res. Lett.*, 28, 2, 371-374.
- ÖRGÜLÜ, G., 2011. Seismicity and source parameters for small-scale earthquakes along the splays of the North Anatolian Fault (NAF) in the Marmara Sea. *Geophys. J. Int.*, 184, 385-404.

- ÖZALAYBEY, S., Ergin, M., Aktar, M., Tapırdamaz, C., Biçmen, F. and Yörük, A., 2002. The 1999 İzmit earthquake sequence in Turkey: Seismological and Tectonic Aspects, *Bull. Seism. Soc. Amer.*, 92 (1), 376-386.
- PALYVOS, N., Pantosti, D., Zabcı, C. and D'Addezio, G., 2007. Paleoseismological evidence of recent earthquakes on the 1967 Mudurnu Valley Earthquake segment of the North Anatolian Fault Zone, *Bull. Seism. Soc. Amer.*, 97, 5, 1646-1661.
- PANTOSTI, D., Pucci, S., Palyvos N., De Martini, P. M., Addezio, G. D., Collins, P. E. F., and Zabcı, C., 2008. Paleoeearthquakes of the Duzce fault (North Anatolian Fault Zone): Insights for large surface faulting earthquake recurrence, *J. Geophys. Res.*, 113, B01309, doi:10.1029/2006JB004679.
- PAPAZACHOS, B.C. and Papazachou, C.B., 1997. The earthquakes of Greece. Ziti Publication, Thessaloniki, 304 pp.
- PINAR, A., Kuge, K. And Honkura, Y., 2003. Moment tensor inversion of recent small to moderate sized earthquakes: implications for seismic hazard and active tectonics beneath the Sea of Marmara. *Geophys. J. Int.*, 153, 133–145.
- PONDARD, N., Armijo, R., King, G.C.P., Meyer, B. and Flerit, F., 2007. Fault interactions in the Sea of Marmara pull-apart (North Anatolian Fault): earthquake clustering and propagating earthquake sequences. *Geophys. J. Int.*, 171, 3, 1185- 1197.
- REILINGER, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., Ozener, H., Kadirov, F., Guliev, I., Stepanyan, R., Nadariya, M., Hahubia, G., Mahmoud, S., Sakr, K., ArRajehi, A., Paradissis, D., Al-Aydrus, A., Prilepin, M., Guseva, T., Enren, E., Dmitrotsa, A., Filikov, S.V., Gomez, F., Al-Ghazzi, R., Karam, G., 2006. GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *J. Geophys. Res.*, 111, B05411, doi:10.1029/2005JB004051.
- SARI, E. and Çağatay, M.N., 2006. Turbidites and their association with past earthquakes in the deep Çınarcık Basin of the Marmara Sea. *Geo-Marine Letters*, 1-8.
- SCHWAB, M.J., Werner, P., Dulski, P., McGee, E., Nowaczyk, N., Bertrand, S., Leroy, S.A.G., 2009. Palaeolimnology of Lake Sapanca and identification of historic earthquake signals, Northern Anatolian Fault Zone (Turkey). *Quaternary Science Reviews* 28: 991–1005.
- SIBSON, R.H., 2002. Geology of the crustal earthquake source, International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology, Edited by William Lee, Hiroo Kanamori, Paul Jenkins and Carl Kisslinger, Vol.81A, p455-473, ISBN: 0-12-440652-1.
- ŞAROĞLU, F., Emre, Ö. and Kuşçu, İ., 1992. Active fault map of Turkey. Publ. Miner. Res. Explor. Ins. Turk., Ankara, Turkey.
- TAYMAZ, T., Jackson, J. and McKenzie, D., 1991. Active tectonics of the North and Central Aegean Sea, *Geophys. J. Int.*, 106, 433-490.
- TÜBİTAK-ODTÜ-MTA (TOM) Raporu, (1999). 17 Ağustos 1999 Gölcük-Arifiye (Kuzeydoğu Marmara) Depremleri sonrası Sakarya İli ve ona bağlı yerleşkeler için yeni yerleşim alanları araştırma raporu, 148 s.

- UTKUCU, M., Budakoğlu, E., Durmuş, H., 2011. Marmara Bölgesinde (KB Türkiye) Depremsellik ve Deprem Tehlikesi Üzerine Bir Tartışma, *Yerbilimleri*, 32,187-212.
- WIEMER, S., 2001. A software package to analyze seismicity: ZMAP, *Seis. Res. Lett.*, 72(2); 374-383.
- YALÇIN, H., Gülen, L., Utkucu, M., Kalafat, D., 2012. "Marmara ve Çevresinin Depremselliği ve Depremlerin Stres Tensör Analizleri" 9 Ağustos 1912 Mürefte Depreminin (Mw=7.4) 100. Yıldönümü Sempozyumu, sf. 90-102.
- YALÇIN, H. ve Gülen, L., 2013. Sapanca ve Yakın Çevresinin Depremselliği ve Stres Tensör Analizleri, 20. Uluslararası Jeofizik Kongresi, 25-27 Kasım, Antalya.
- YİĞİTBAŞ, E, Elmas A, Sefunç, A, Özer, N., 2004. Major neotectonic features of eastern Marmara region, Turkey: development of the Adapazarı–Karasu Yörük, A., 2000. The seismotectonics of the Marmara region (Turkey): results from a microseismic experiment, *Tectonophysics*, 316, 1-17.
- YİĞİTBAŞ, E, Elmas A, Sefunc, A, Özer N (2004) Major Neotectonic features of eastern Marmara region, Turkey: development of the Adapazarı–Karasu corridor and its tectonic significance. *Geol. J.*, 39,179–198.
- ZOBACK, M. L., 1992. First and second order patterns of stress in the lithosphere: the world stress map project. *J. Geophys. Res.*, 97, 11,703– 11,728.

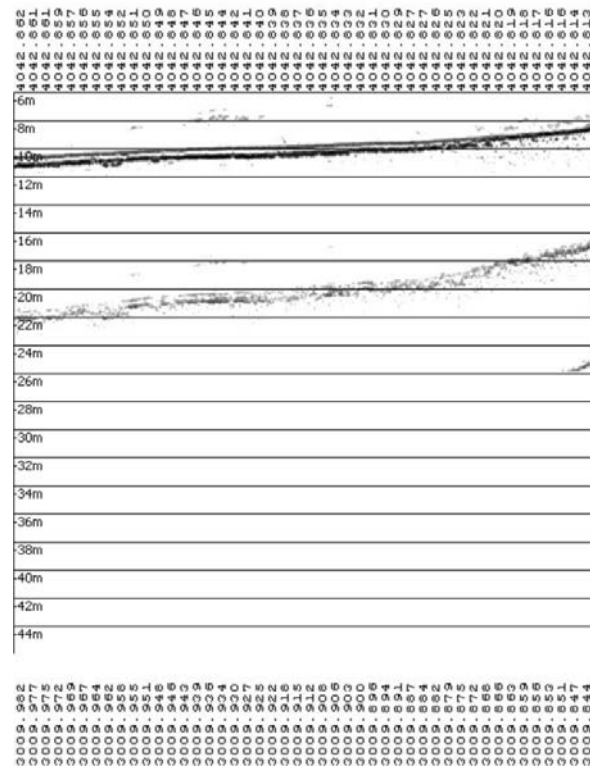
EK-1

SİSMİK PROFİLLER

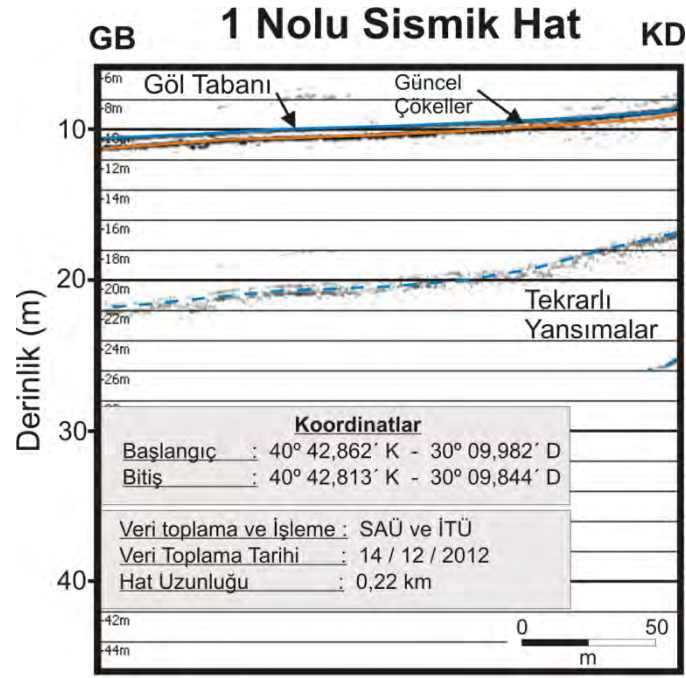
LEJANT

	: Göl Tabanı
	: Güncel Çökeller
	: Fay
	: Olası Fay
	: Tekrarlı Yansımalar
	: Profilin Dönme Kısım

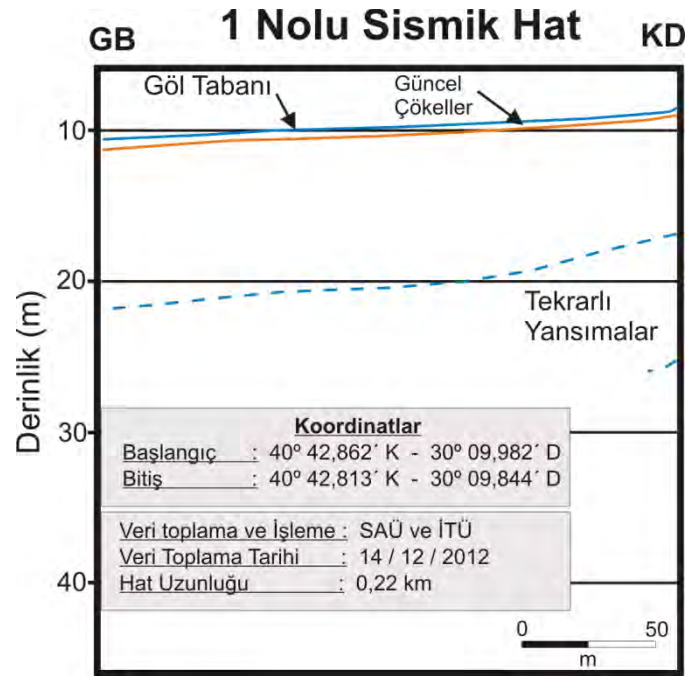
Sediment Echo Sounder SE.
Ship : Sismik2
Freq/Puls: 8kHz/2
Start : -6.00m
Profile: 1



Şekil 1a. 1 Numaralı sismik kesit

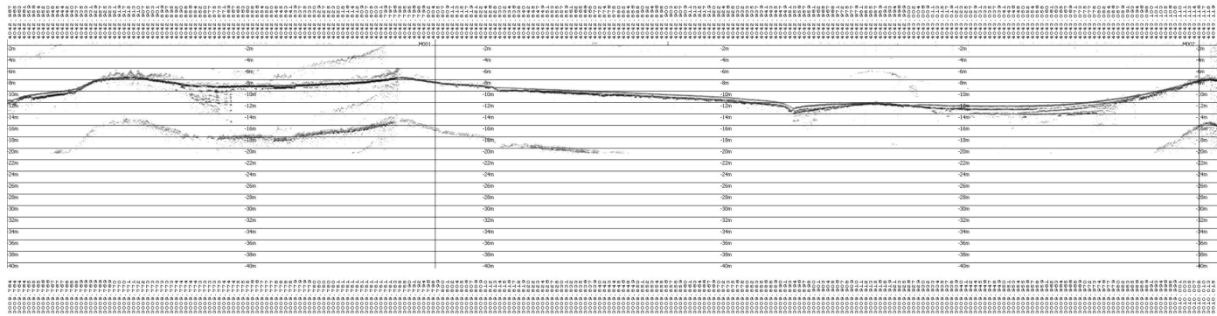


Şekil 1b. 1 Numaralı sismik kesit ve yorumu

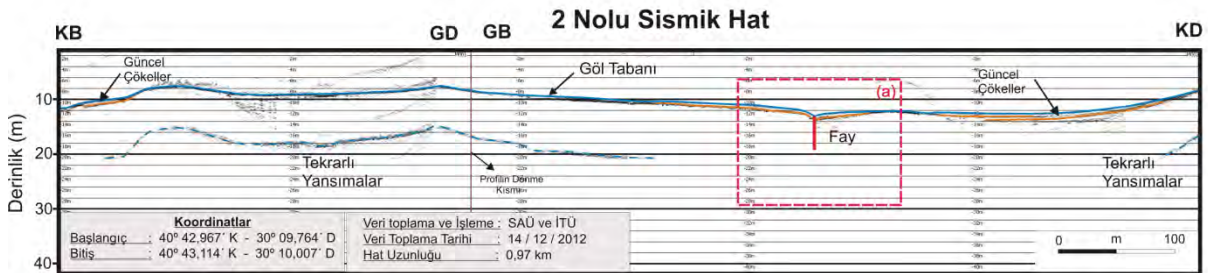


Şekil 1c.1 Numaralı sismik kesite ait yorum

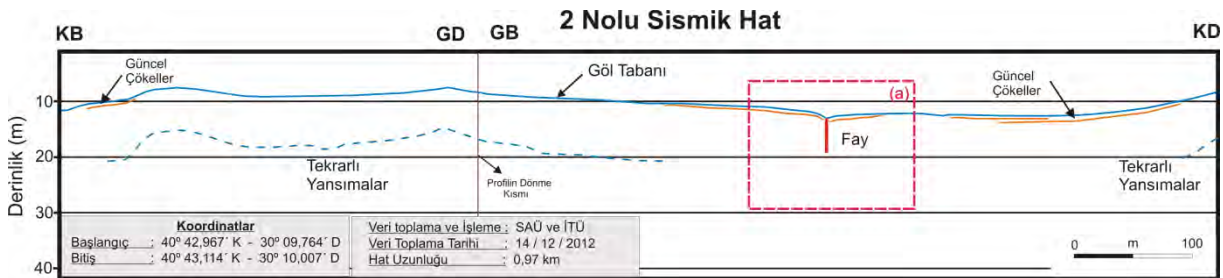
Sediment Echo Sounder SES-96/SES-2000
Ship : Sismik2 Travel: Sapanca Area : Sapanca
Freq/Puls: 8kHz/2 Gain : 26 dB Accum.: -/5/1 Time : 14.12.2012 16:00:35
Start : -1.00m Height: 40m HeaveCorr.: yes Threshold : 5/5
Profile: 2 SoundVel.: 1500 m/s



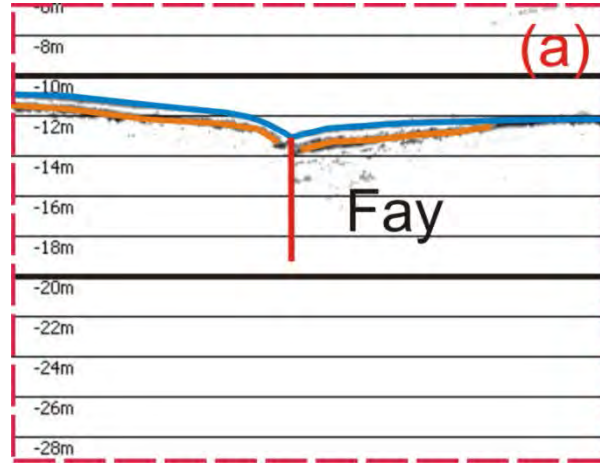
Şekil 2a.2 Numaralı sismik kesit



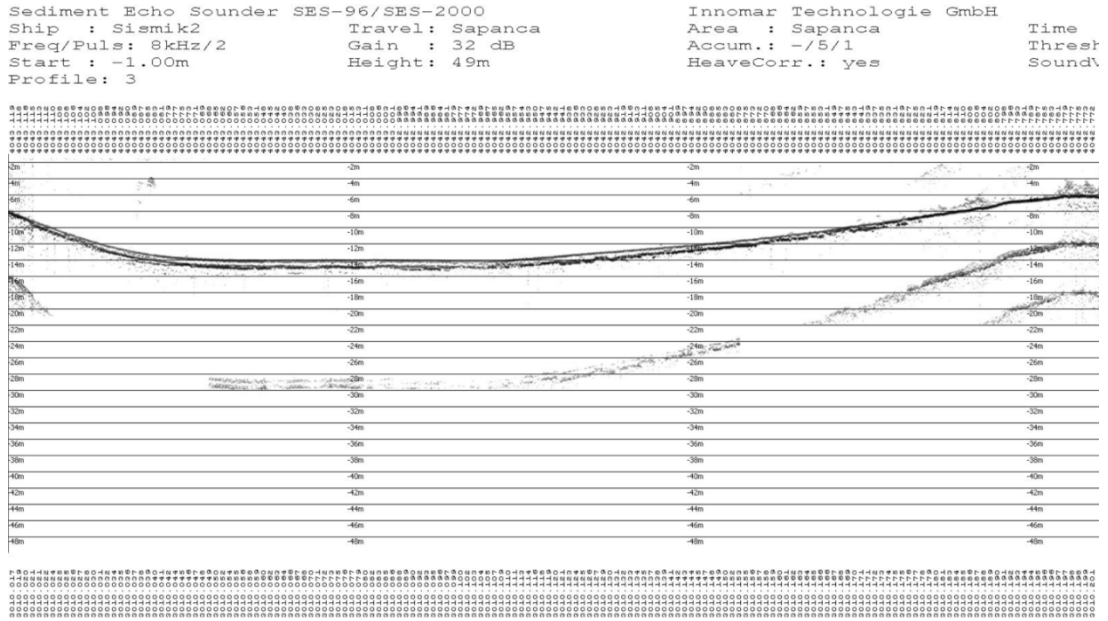
Şekil 2b.2 Numaralı sismik kesit ve yorumu



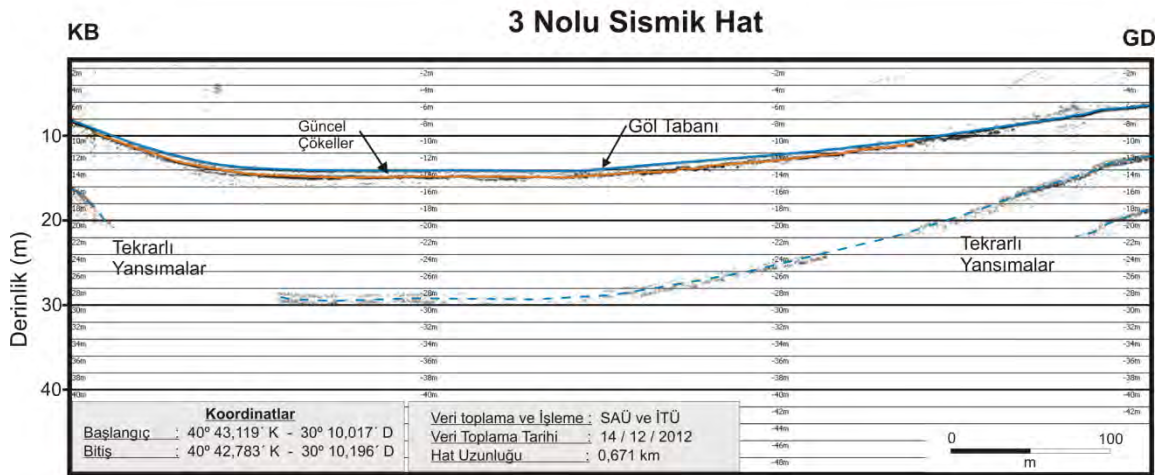
Şekil 2c.2 Numaralı sismik kesite ait yorum



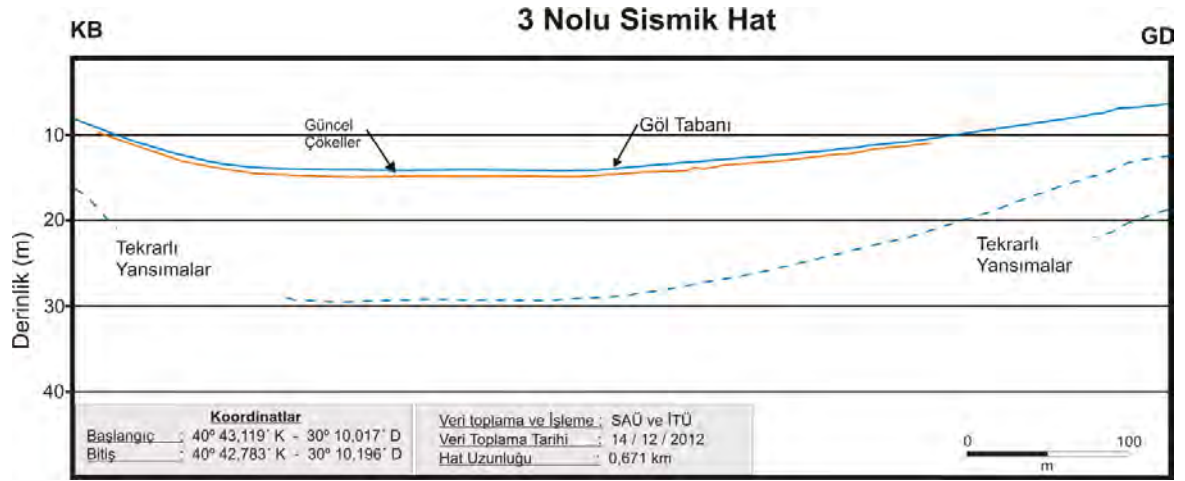
Şekil 2d. 2 Numaralı sismik kesitte tespit edilen Faylı bölgenin detaylı görünümü



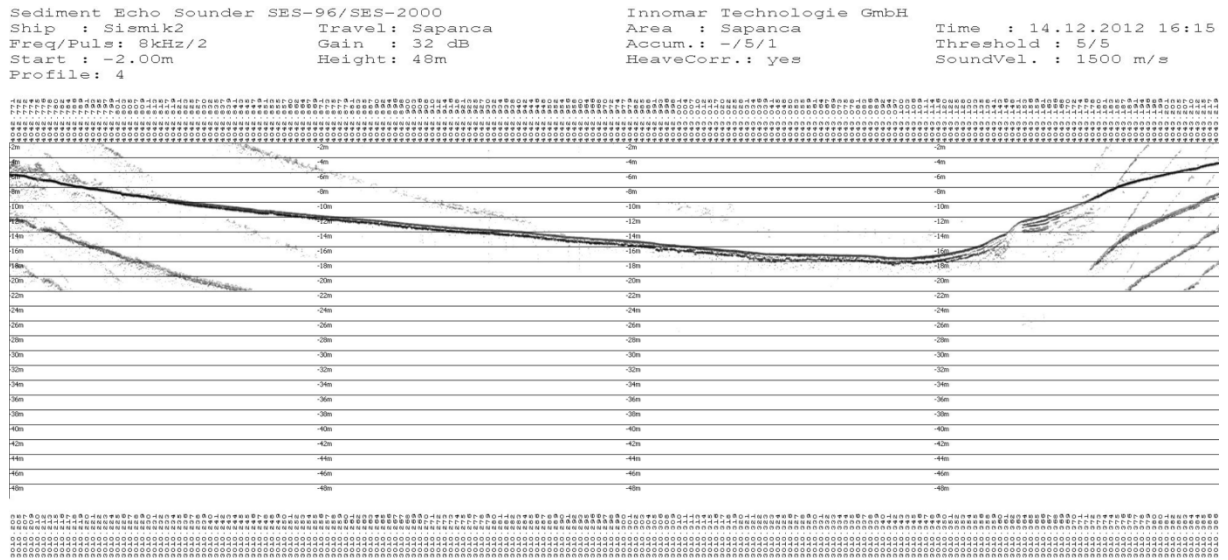
Şekil 3a. 3 Numaralı sismik kesit



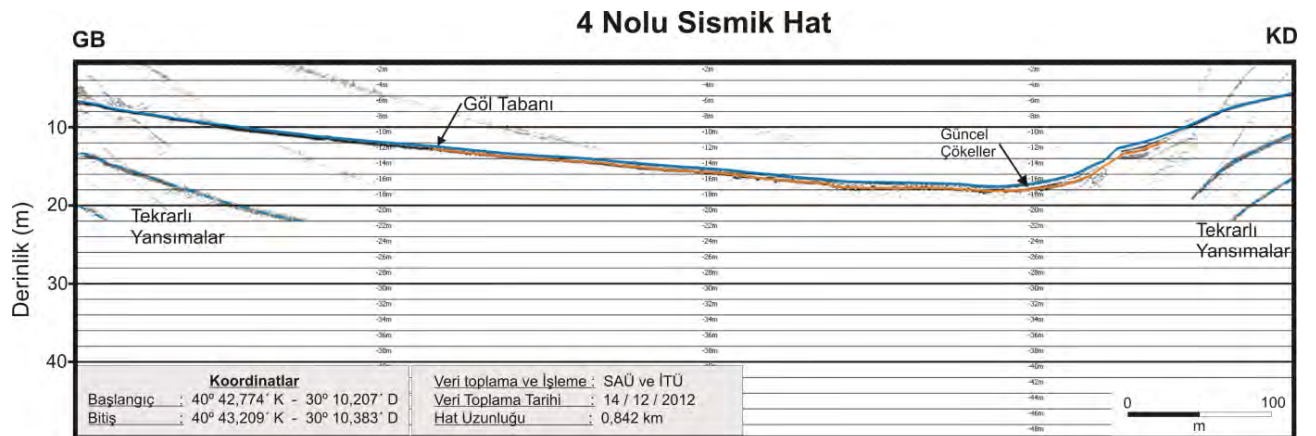
Şekil 3b. 3 Numaralı sismik kesit ve yorumu



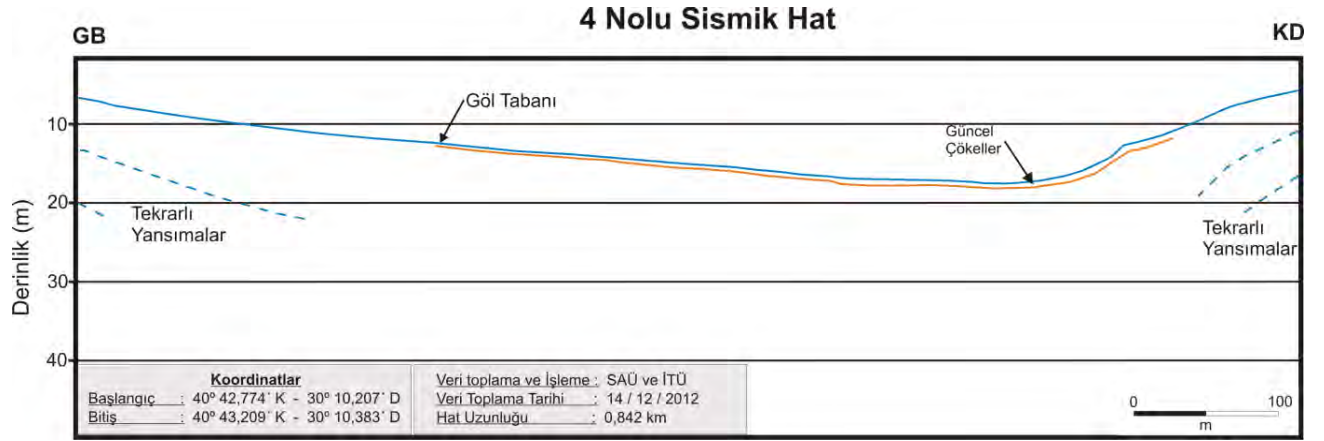
Şekil 3c. 3 Numaralı sismik kesite ait yorum



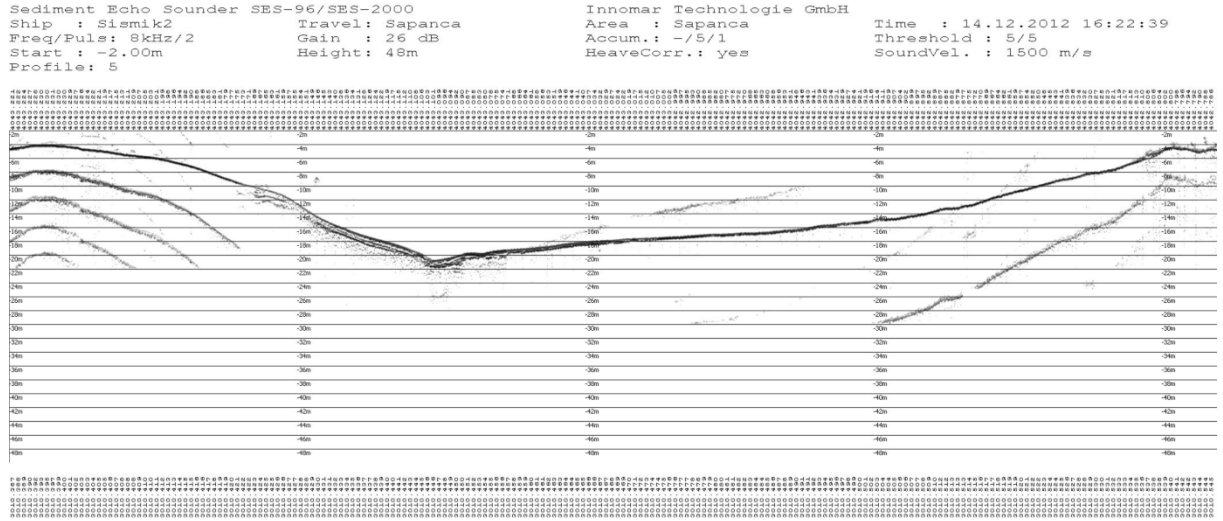
Şekil 4a. 4 Numaralı sismik kesit



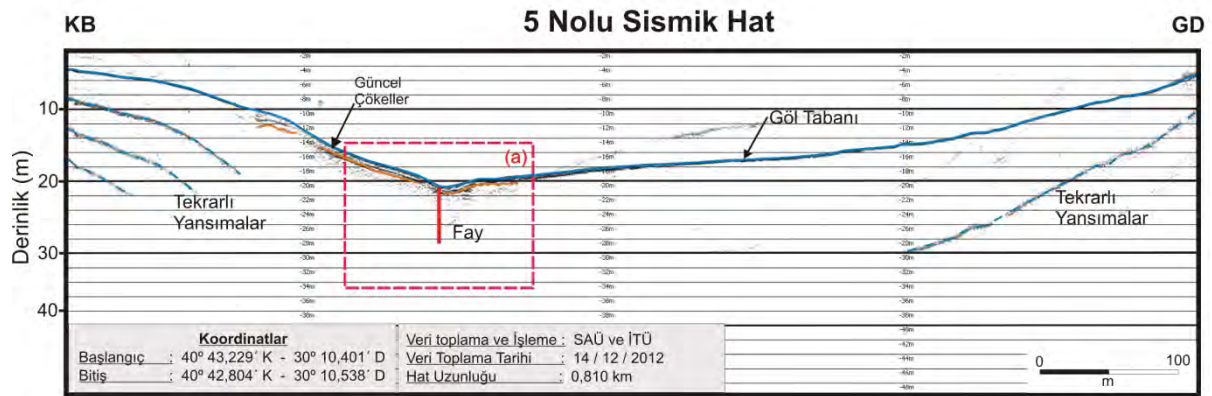
Şekil 4b. 4 Numaralı sismik kesit ve yorumu



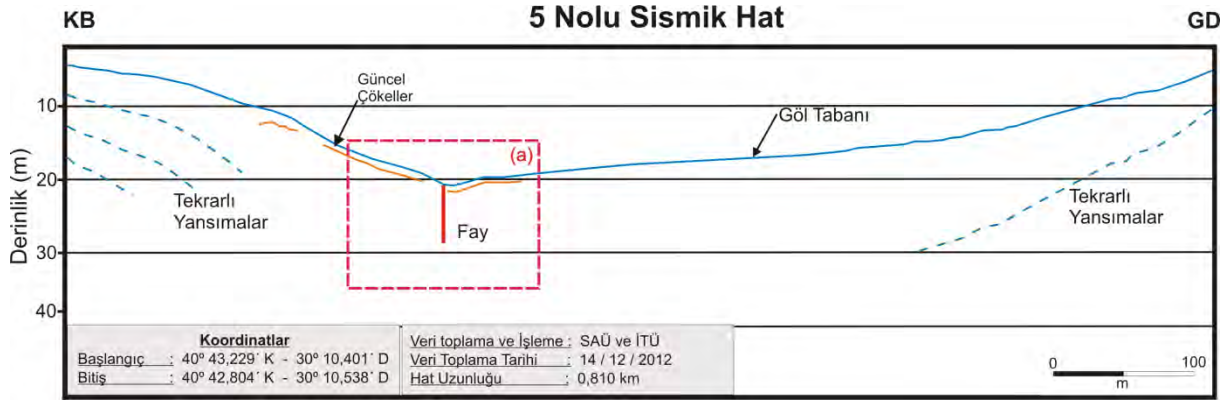
Şekil 4c. 4 Numaralı sismik kesite ait yorum



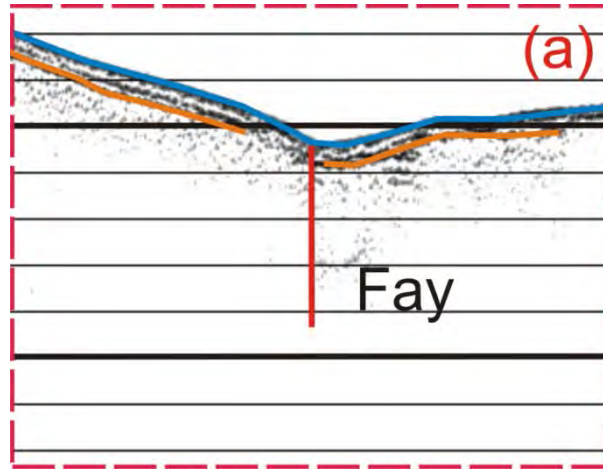
Şekil 5a. 5 Numaralı sismik kesit



Şekil 5b. 5 Numaralı sismik kesit ve yorumu

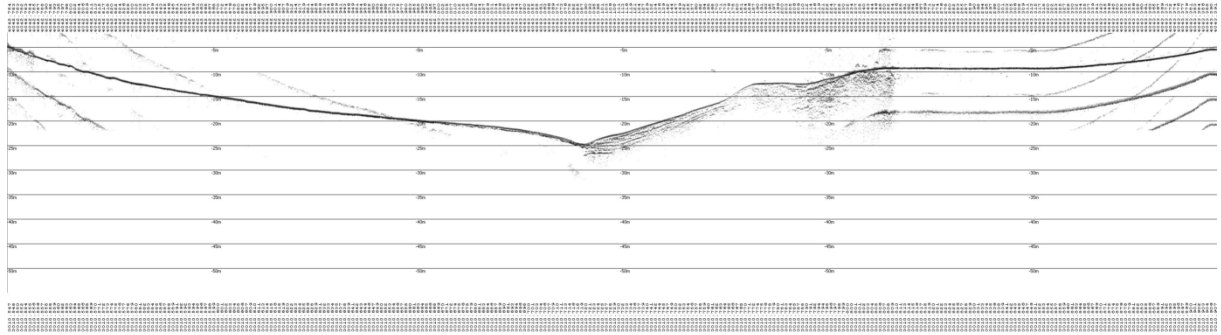


Şekil 5c. 5 Numaralı sismik kesite ait yorum

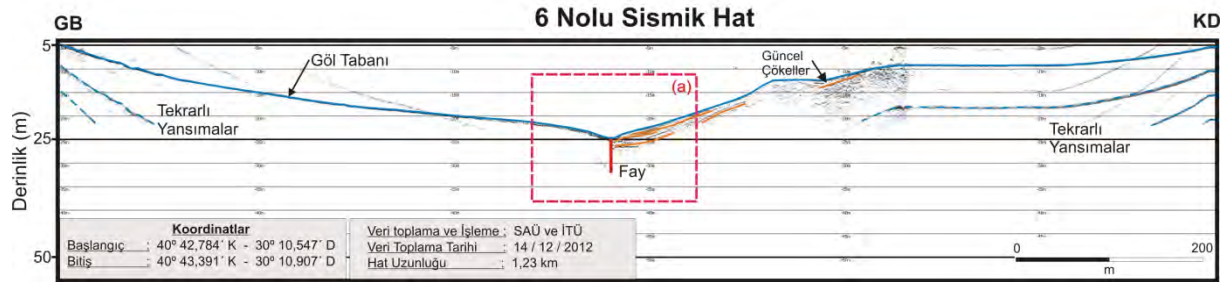


Şekil 5d. 5 Numaralı sismik kesitte tespit edilen Faylı bölgenin detaylı görünümü

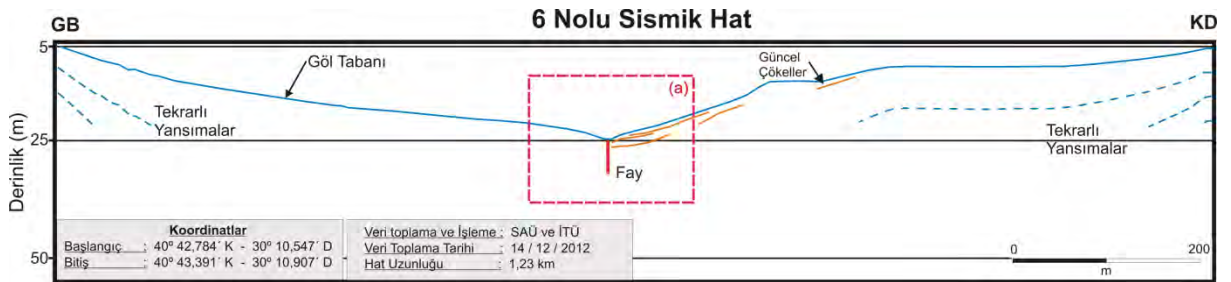
Sediment Echo Sounder SES-06/SES-2000
 Ship : Siemk2 Travel : Sapanca
 Freq/Pulse : 8kHz/2 Gain : 26 dB
 Start : -2,00m Height : 53m
 Profile : 6
 Innomar Technologie GmbH
 Area : Sapanca
 Accum. : -/5/1
 HeaveCorr. : yes
 Time : 14.12.2012 16:30:59
 Threshold : 5/5
 SoundVel. : 1500 m/s



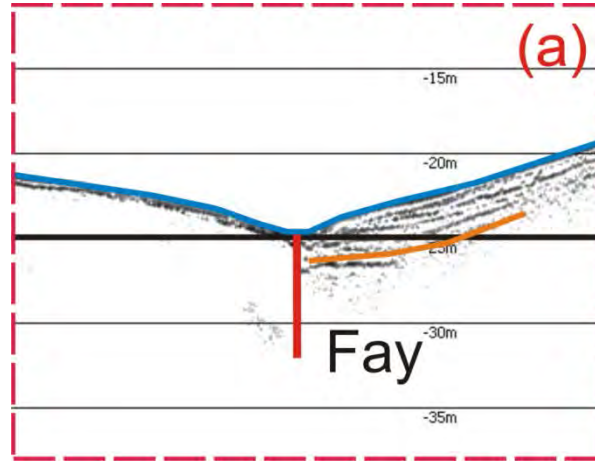
Şekil 6a. 6 Numaralı sismik kesit



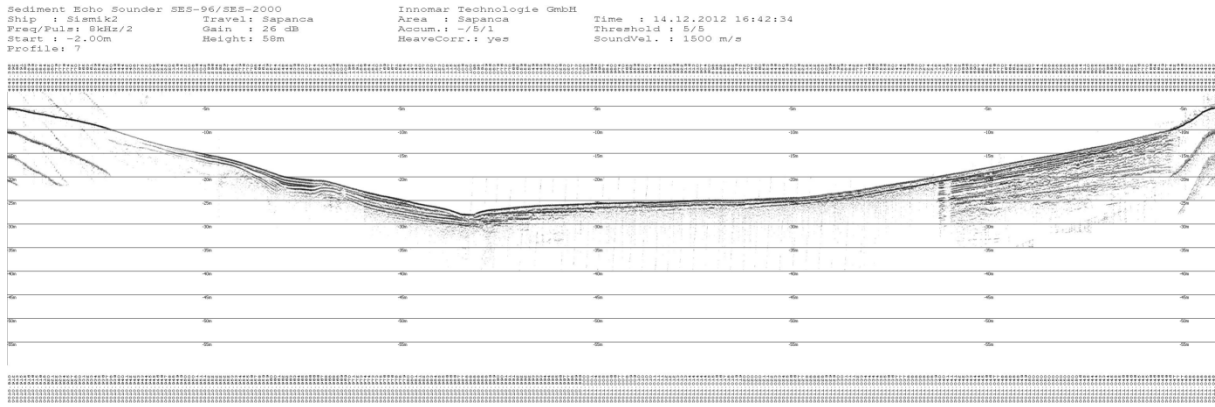
Şekil 6b. 6 Numaralı sismik kesit ve yorumu



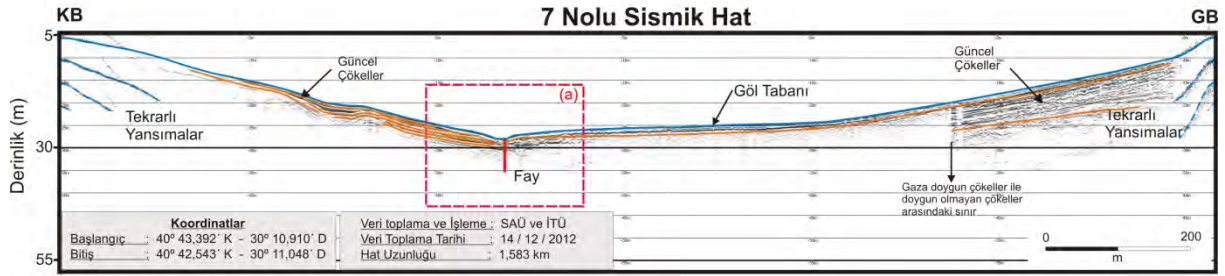
Şekil 6c. 6 Numaralı sismik kesite ait yorum



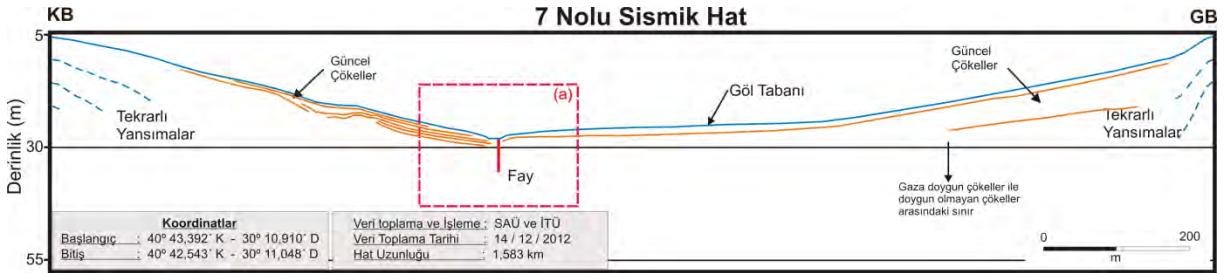
Şekil 6d. 6 Numaralı sismik kesitte tespit edilen Faylı bölgenin detaylı görünümü



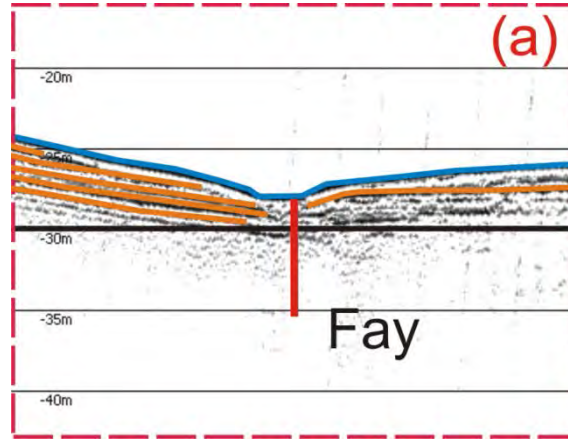
Şekil 7a. 7 Numaralı sismik kesit



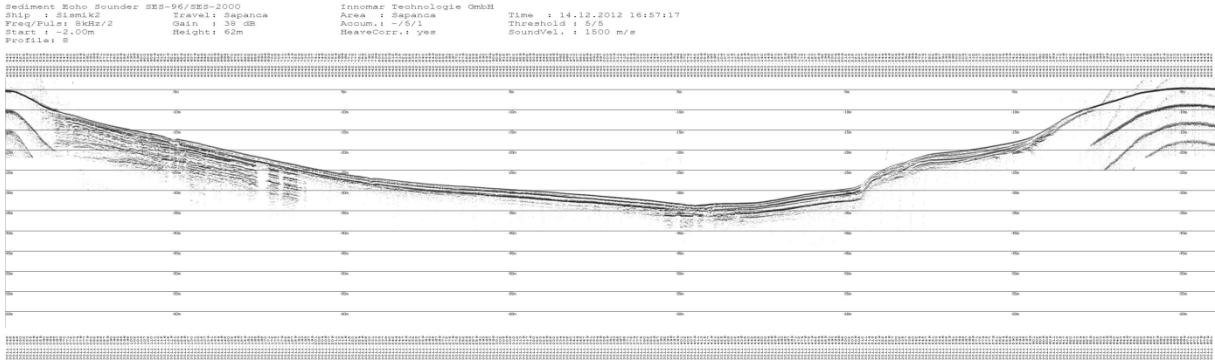
Şekil 7b. 7 Numaralı sismik kesit ve yorumu



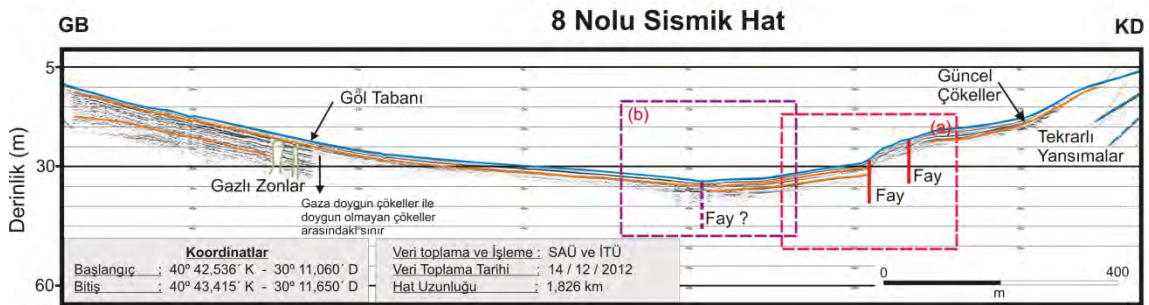
Şekil 7c. 7 Numaralı sismik kesite ait yorumu



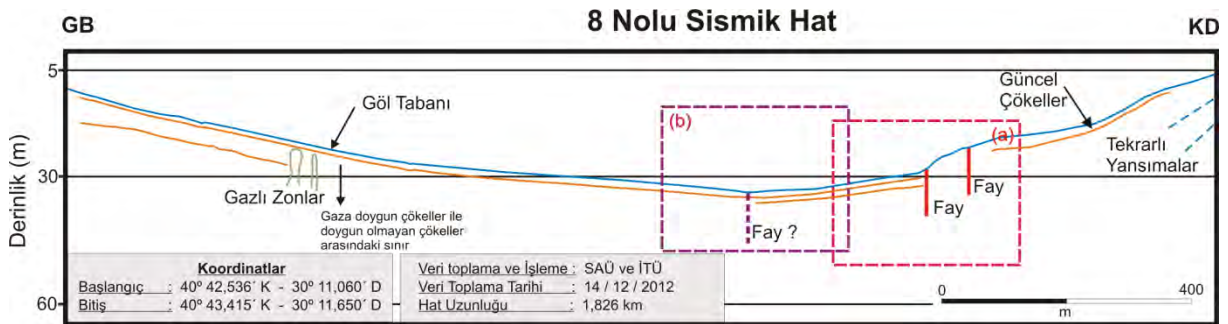
Şekil 7d. 7 Numaralı sismik kesitte tespit edilen Faylı bölgenin detaylı görünümü



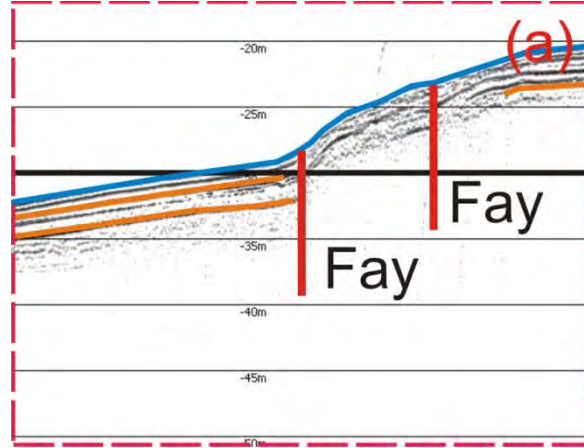
Şekil 8a. 8 Numaralı sismik kesit



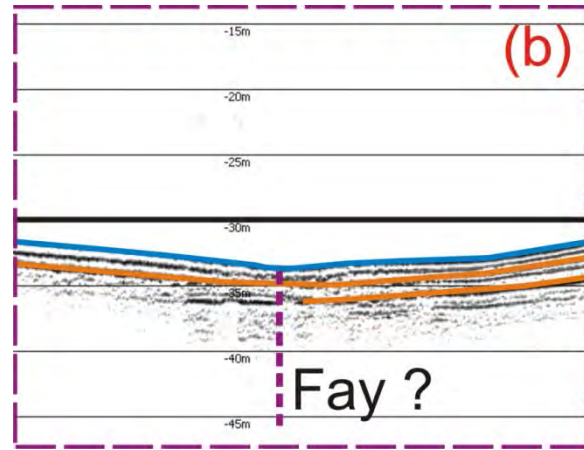
Şekil 8b. 8 Numaralı sismik kesit ve yorumu



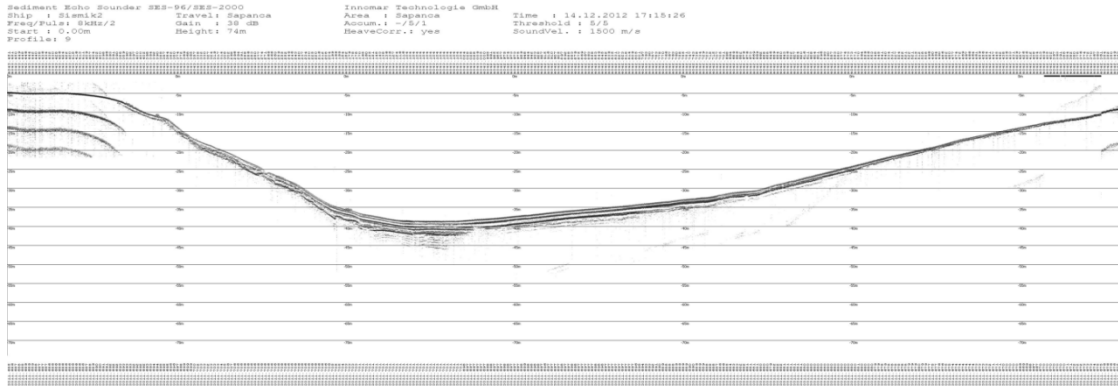
Şekil 8c. 8 Numaralı sismik kesite ait yorumu



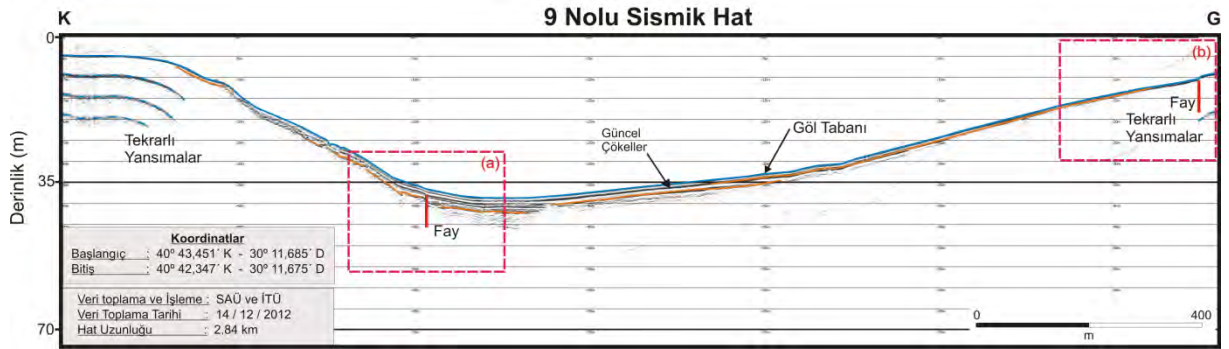
Şekil 8d. 8 Numaralı sismik kesitte tespit edilen Faylı bölgenin (a) detaylı görünümü



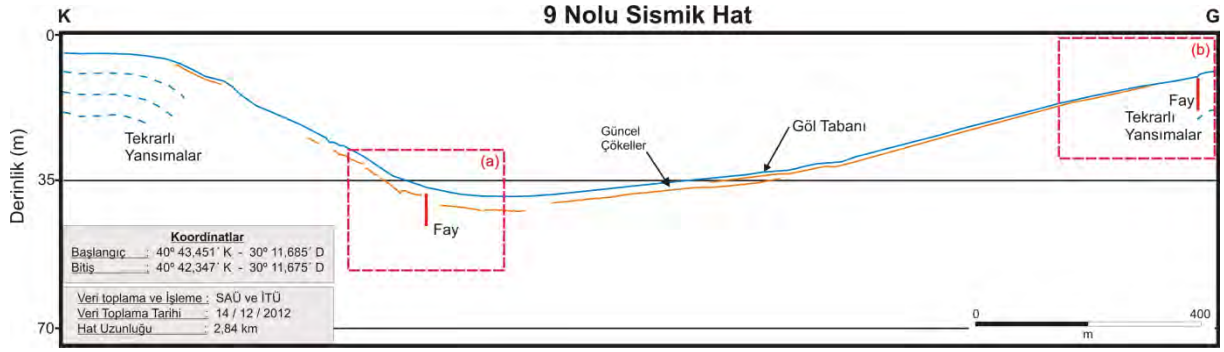
Şekil 8e. 8 Numaralı sismik kesitte tespit edilen Faylı bölgenin (b) detaylı görünümü



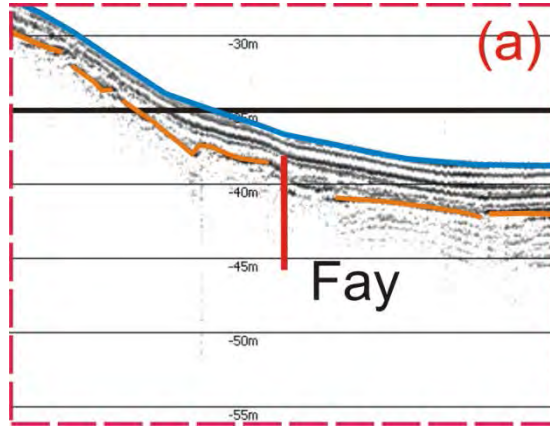
Şekil 9a. 9 Numaralı sismik kesit



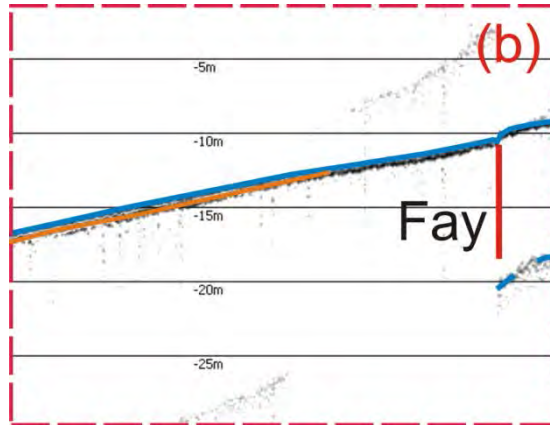
Şekil 9b. 9 Numaralı sismik kesit ve yorumu



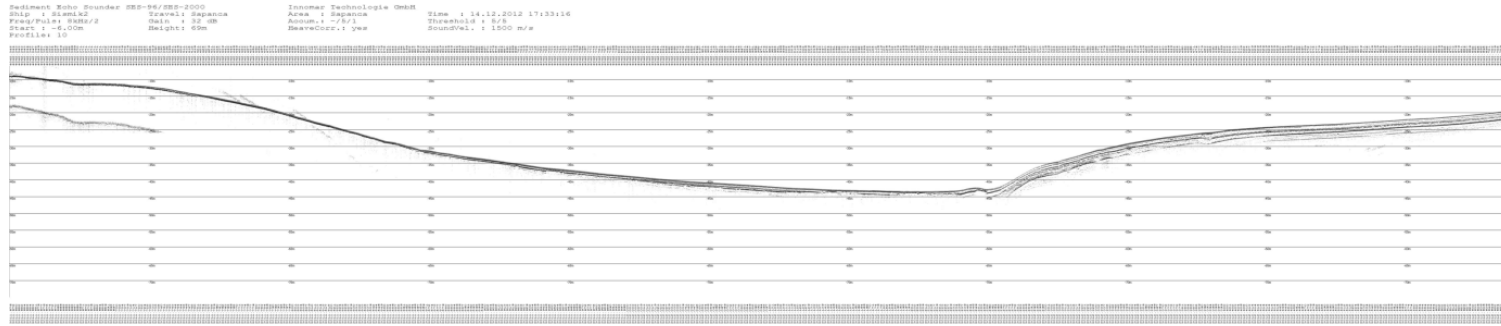
Şekil 9c. 9 Numaralı sismik kesite ait yorum



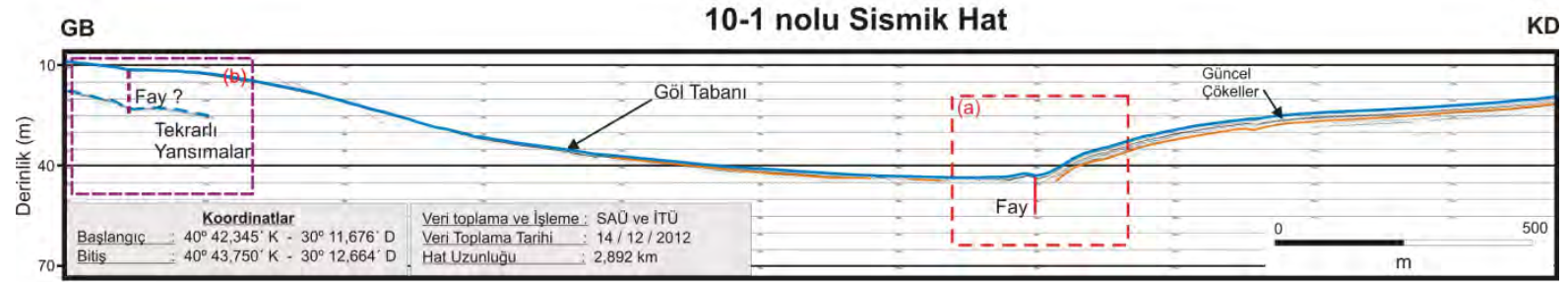
Şekil 9d. 9 Numaralı sismik kesitte tespit edilen Faylı bölgenin (a) detaylı görünümü



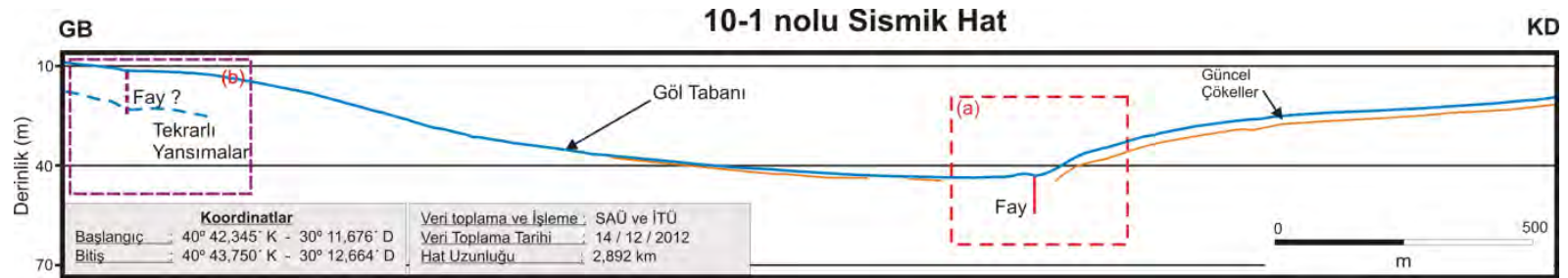
Şekil 9e. 9 Numaralı sismik kesitte tespit edilen Faylı bölgenin (b) detaylı görünümü



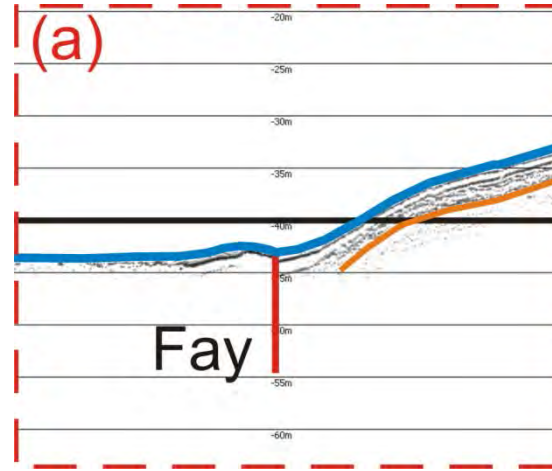
Şekil 10a. 10-1 Numaralı sismik kesit



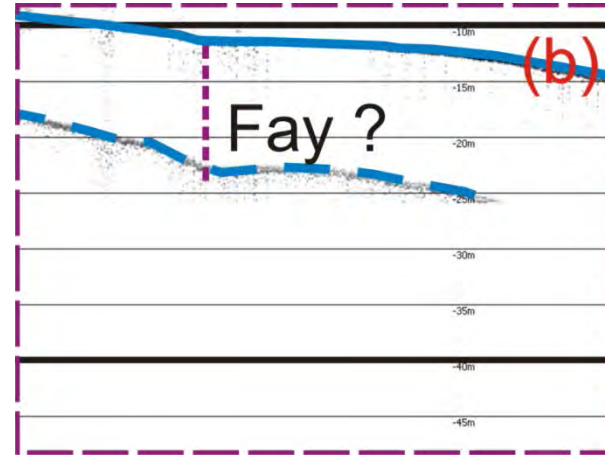
Şekil 10b. 10-1 Numaralı sismik kesit ve yorumu



Şekil 10c. 10-1 Numaralı sismik kesite ait yorum

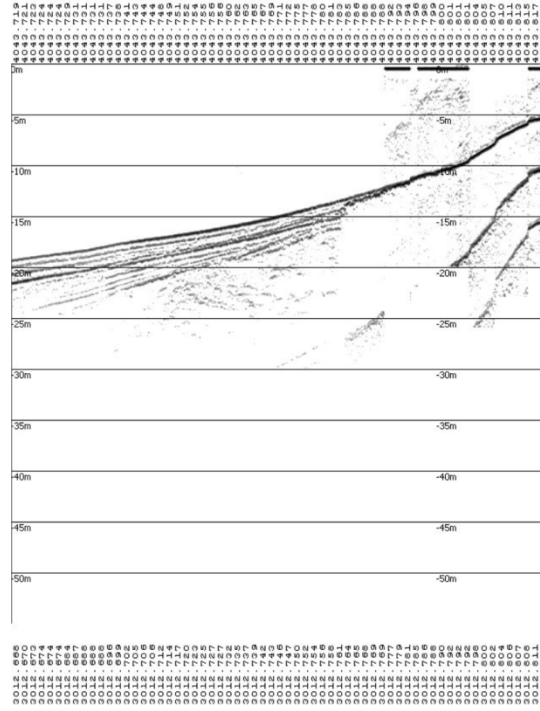


Şekil 10d. 10-1 Numaralı sismik kesitte tespit edilen Faylı bölgenin (a) detaylı görünümü

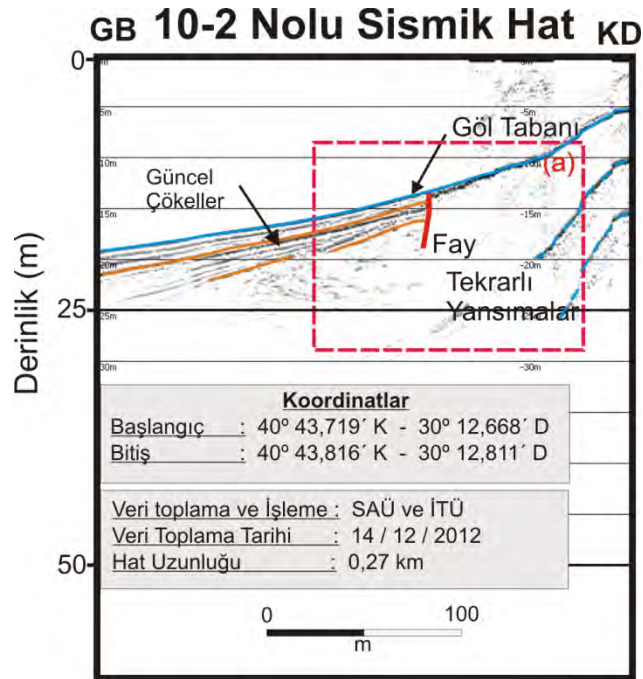


Şekil 10e. 10-1 Numaralı sismik kesitte tespit edilen Faylı bölgenin (b) detaylı görünümü

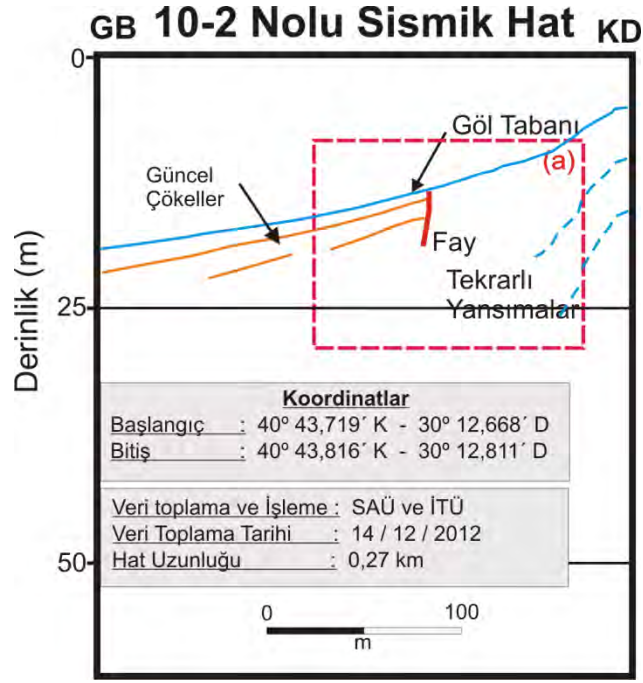
Sediment Echo Sounder SES-96/SES-
 Ship : Sismik2 Travel :
 Freq/Puls : 8kHz/2 Gain :
 Start : 0.00m Height :
 Profile : 10



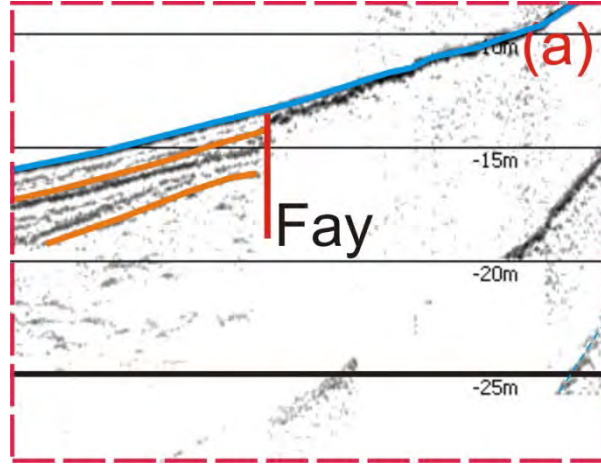
Şekil 11a. 10-2 Numaralı sismik kesit



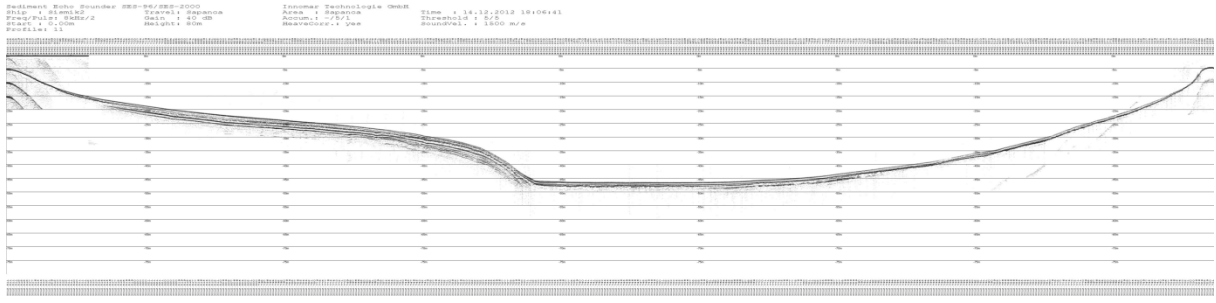
Şekil 11b. 10-2 Numaralı sismik kesit ve yorumu



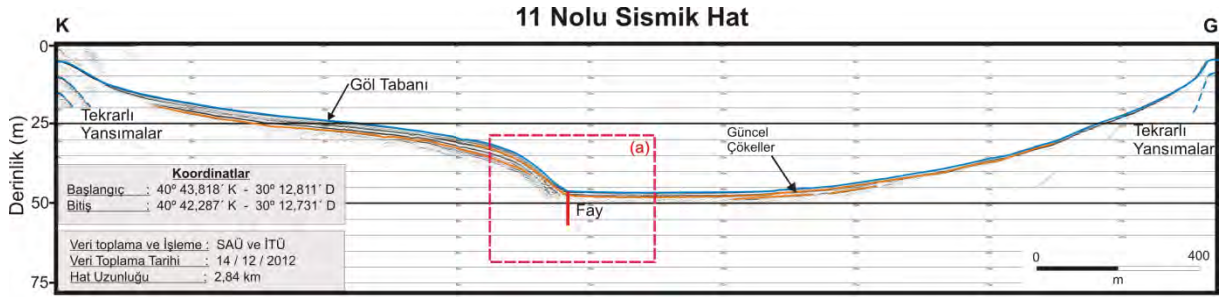
Şekil 11c. 10-2 Numaralı sismik kesite ait yorum



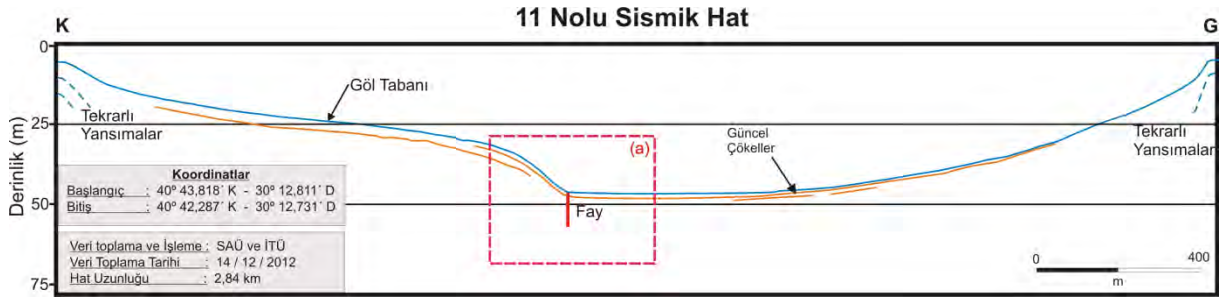
Şekil 11d. 10-2 Numaralı sismik kesitte tespit edilen Faylı bölgenin (a) detaylı görünümü



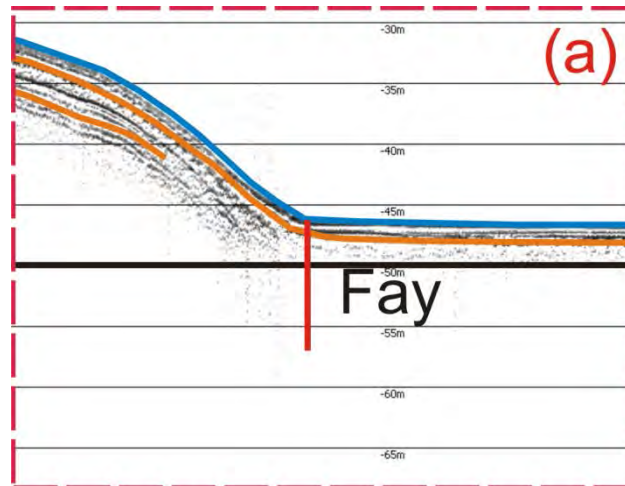
Şekil 12a. 11 Numaralı sismik kesit



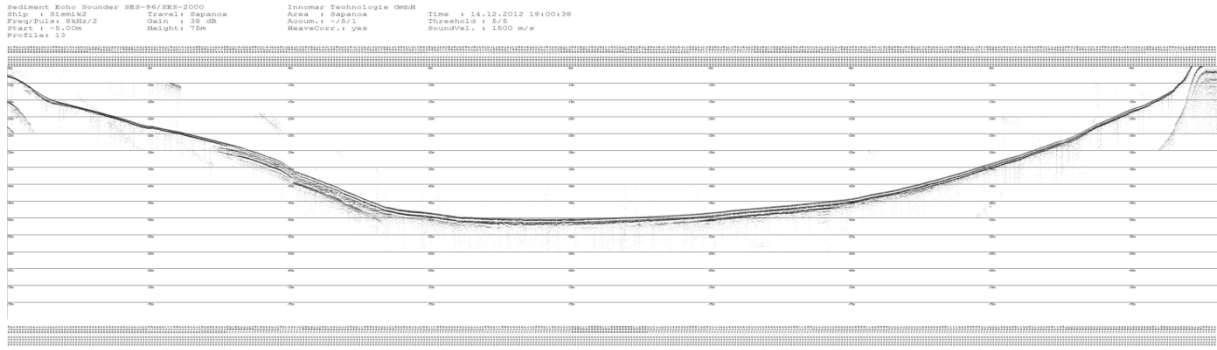
Şekil 12b. 11 Numaralı sismik kesit ve yorumu



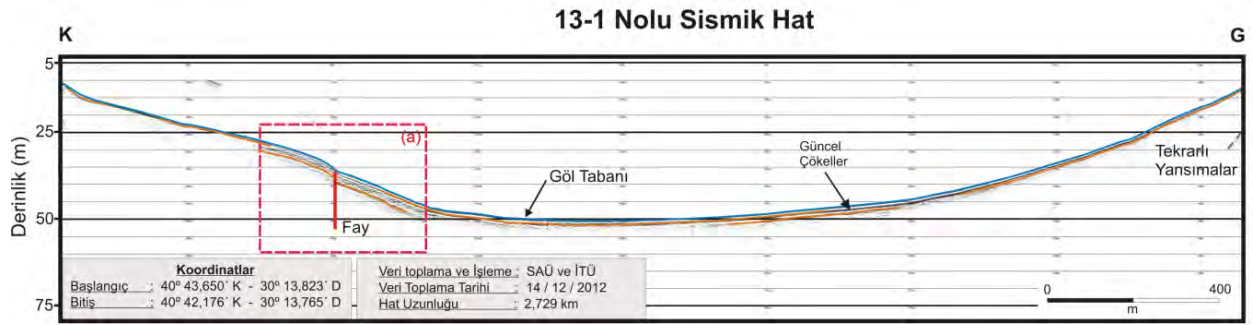
Şekil 12c. 11 Numaralı sismik kesite ait yorum



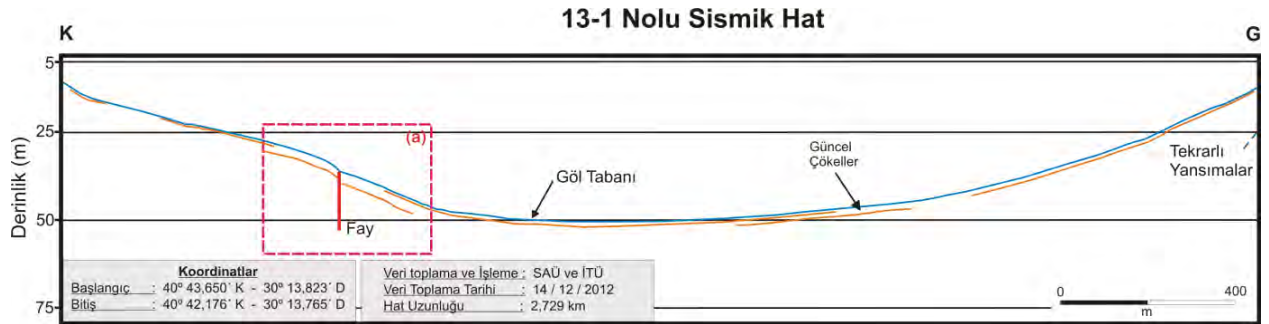
Şekil 12d. 11 Numaralı sismik kesitte tespit edilen Faylı bölgenin (a) detaylı görünümü



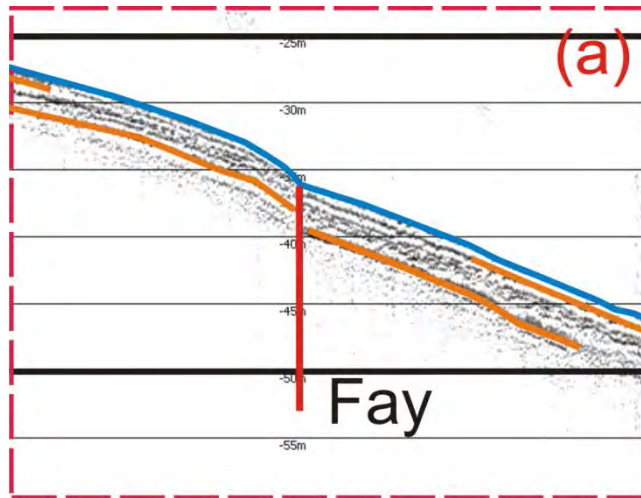
Şekil 14a. 13-1 Numaralı sismik kesit



Şekil 14b. 13-1 Numaralı sismik kesit ve yorumu

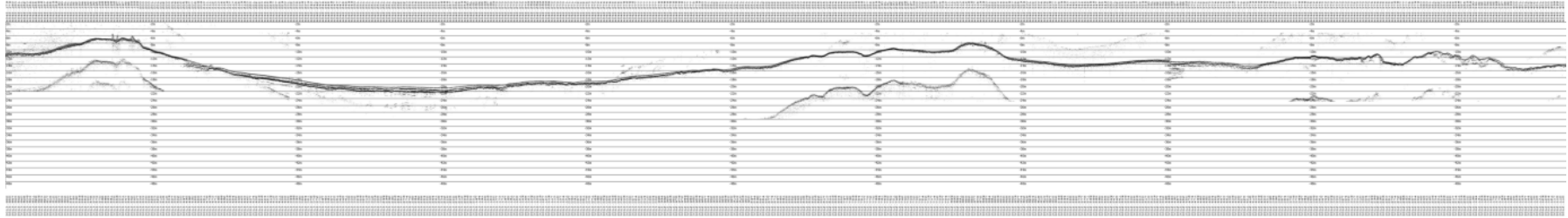


Şekil 14c. 13-1 Numaralı sismik kesite ait yorum

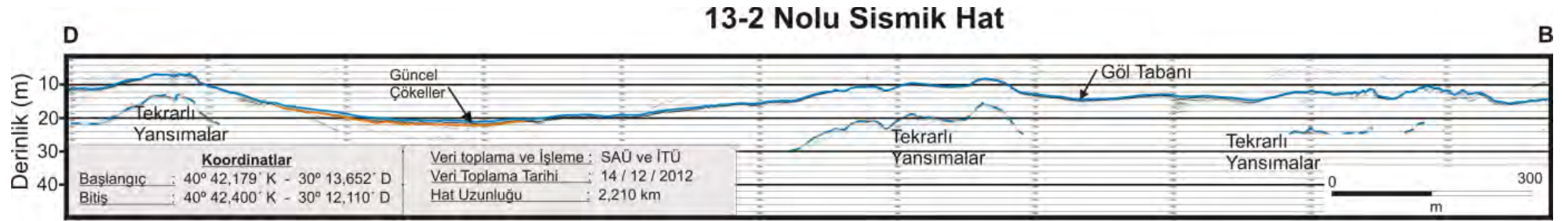


Şekil 14d. 13-1 Numaralı sismik kesitte tespit edilen Faylı bölgenin (a) detaylı görünümü

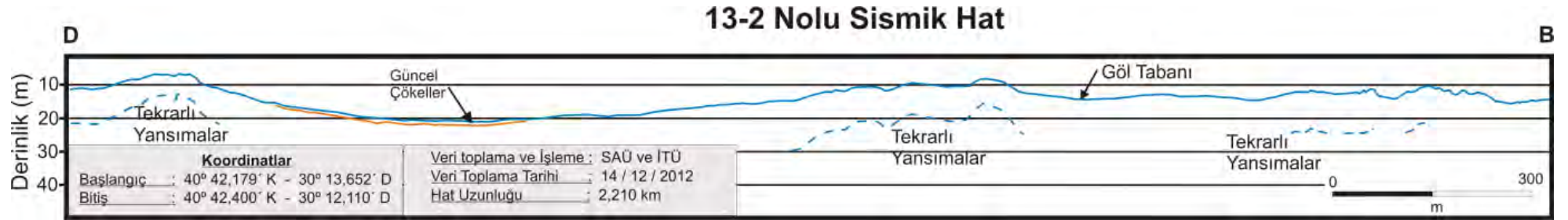
Sediment Echo Sounder SES-94/SES-2000
Ship : Sismik2
FREQ/Pulse: 5kHz/2
Start : -2.0m
Profile: 13
Innomar Technologie GmbH
Area : Sapanca
Acum.: -75/1
BeaveOver: yes
Time : 14.12.2012 19:29:56
Threshold : 8/5
SoundVel.: 1500 m/s



Şekil 15a. 13-2 Numaralı sismik kesit

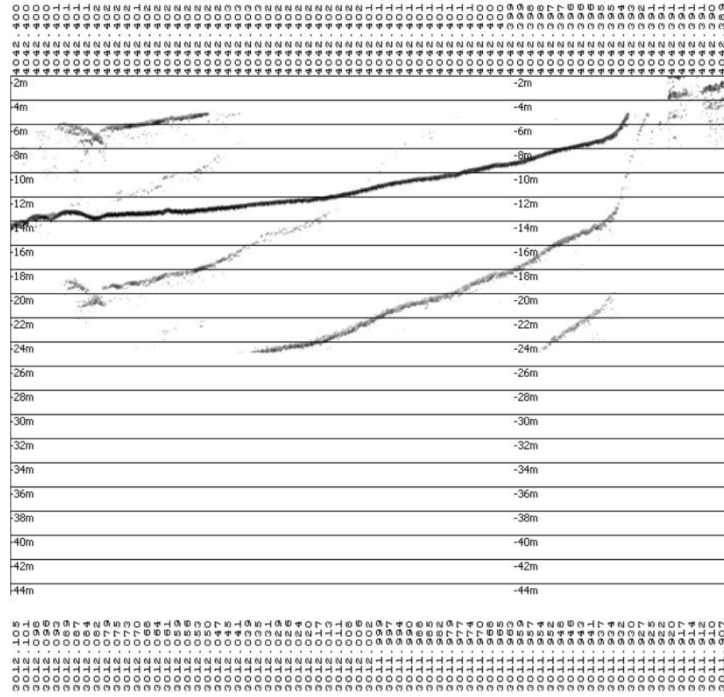


Şekil 15b. 13-2 Numaralı sismik kesit ve yorumu

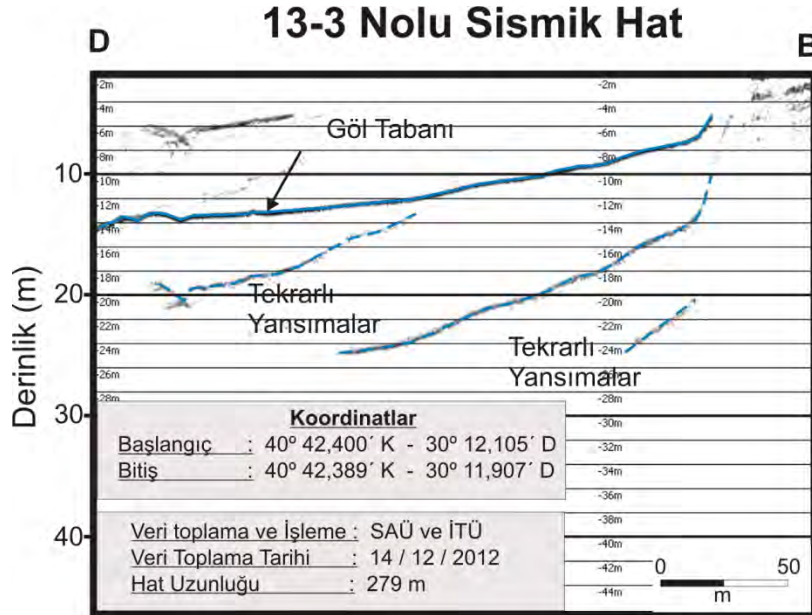


Şekil 15c. 13-2 Numaralı sismik kesite ait yorum

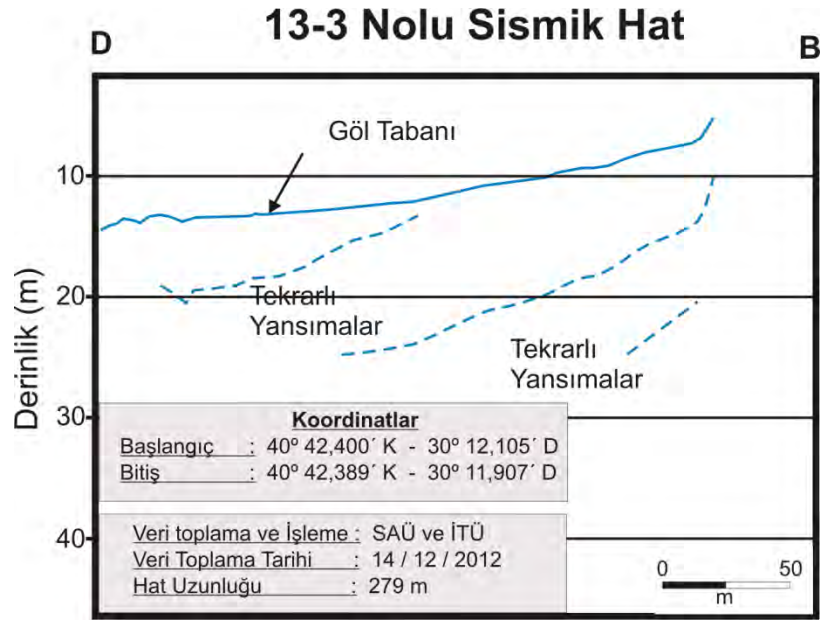
Sediment Echo Sounder SES-96/SES-2000
 Ship : Sismik2 Travel : Sapa
 Freq/Puls : 8kHz/2 Gain : 32
 Start : -2.00m Height : 43m
 Profile : 13



Şekil 16a. 13-3 Numaralı sismik kesit

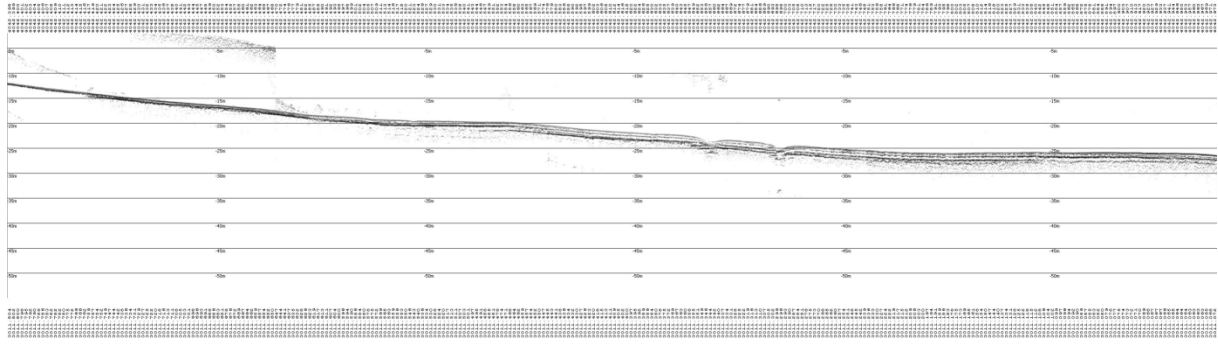


Şekil 16b. 13-3 Numaralı sismik kesit ve yorumu

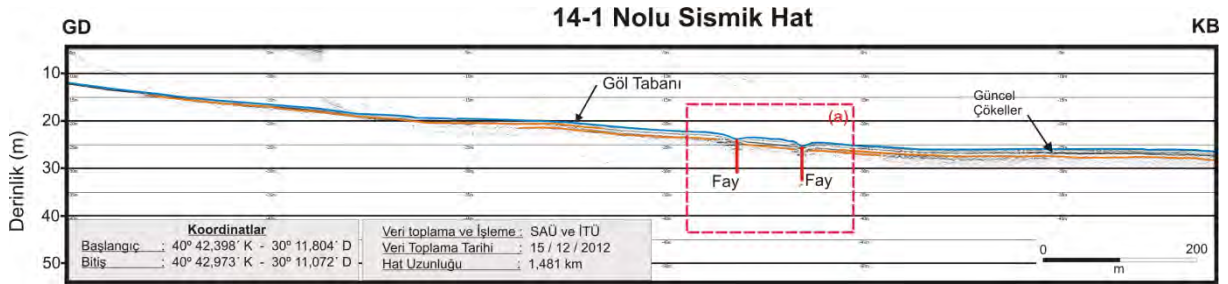


Şekil 16c. 13-3 Numaralı sismik kesite ait yorum

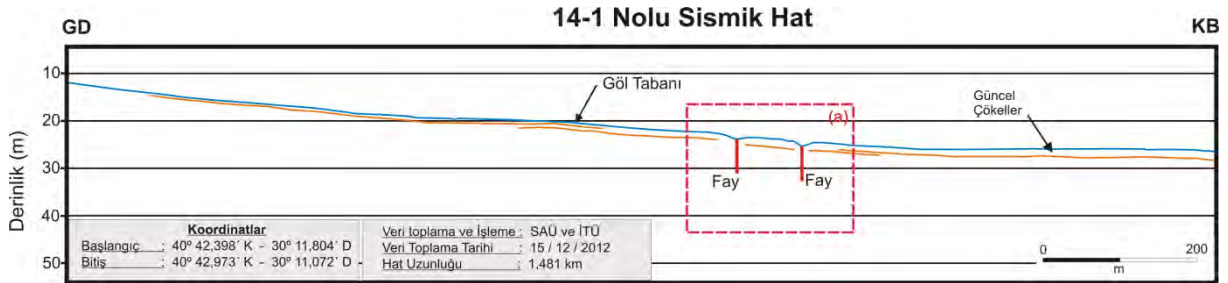
Sediment Echo Sounder SES-96/SES-2000
 Ship : Siemk2
 Freq/Pulse : 8kHz/2
 Start : -2.00m
 Profile : 14
 Innomar Technologie GmbH
 Area : Sapanca
 Accum. : ~5/1
 HeaveCorr. : yes
 Time : 15.12.2012 09:53:51
 Threshold : 5/5
 SoundVel. : 1500 m/s



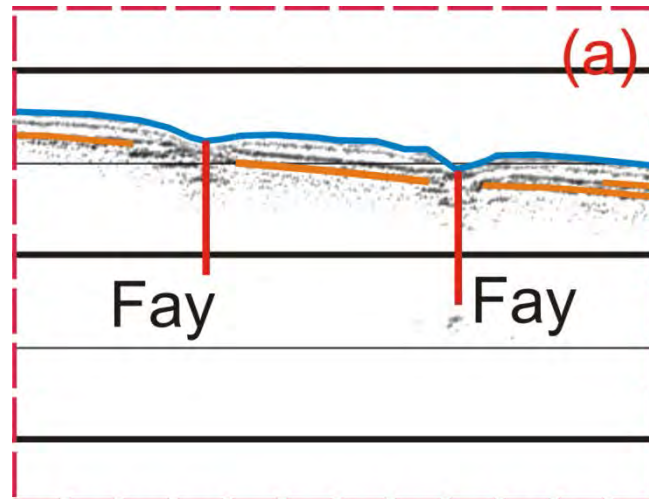
Şekil 17a. 14-1 Numaralı sismik kesit



Şekil 17b. 14-1 Numaralı sismik kesit ve yorumu



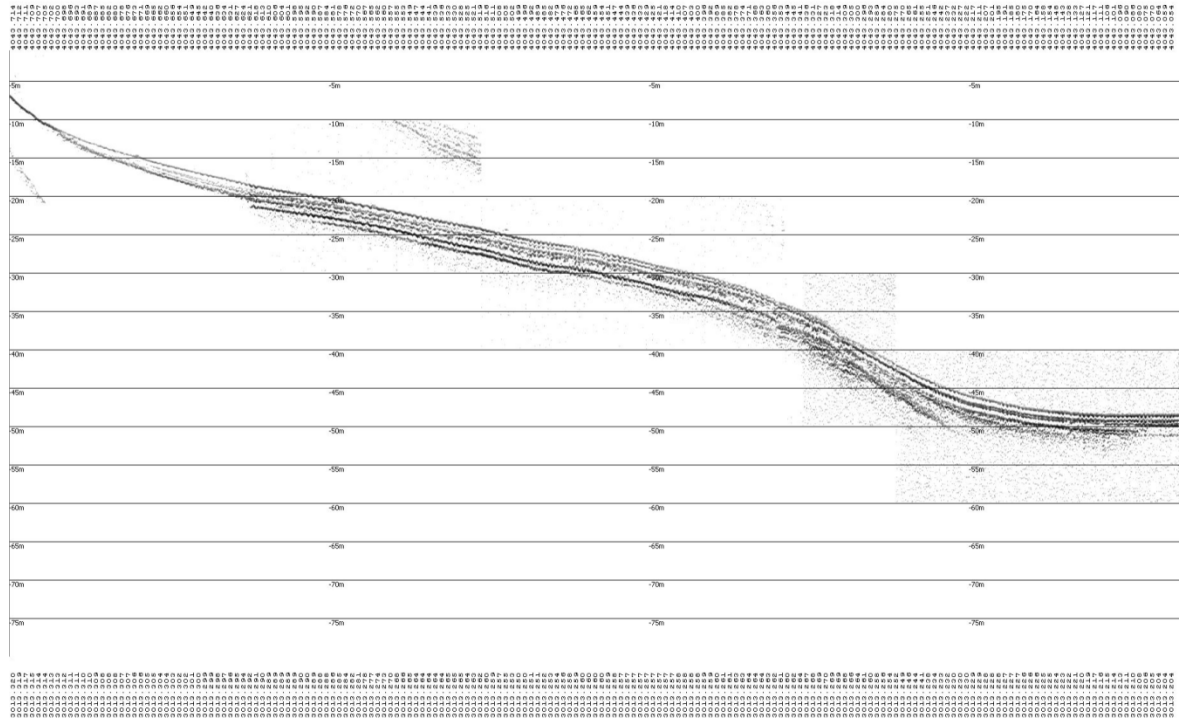
Şekil 17c. 14-1 Numaralı sismik kesite ait yorum



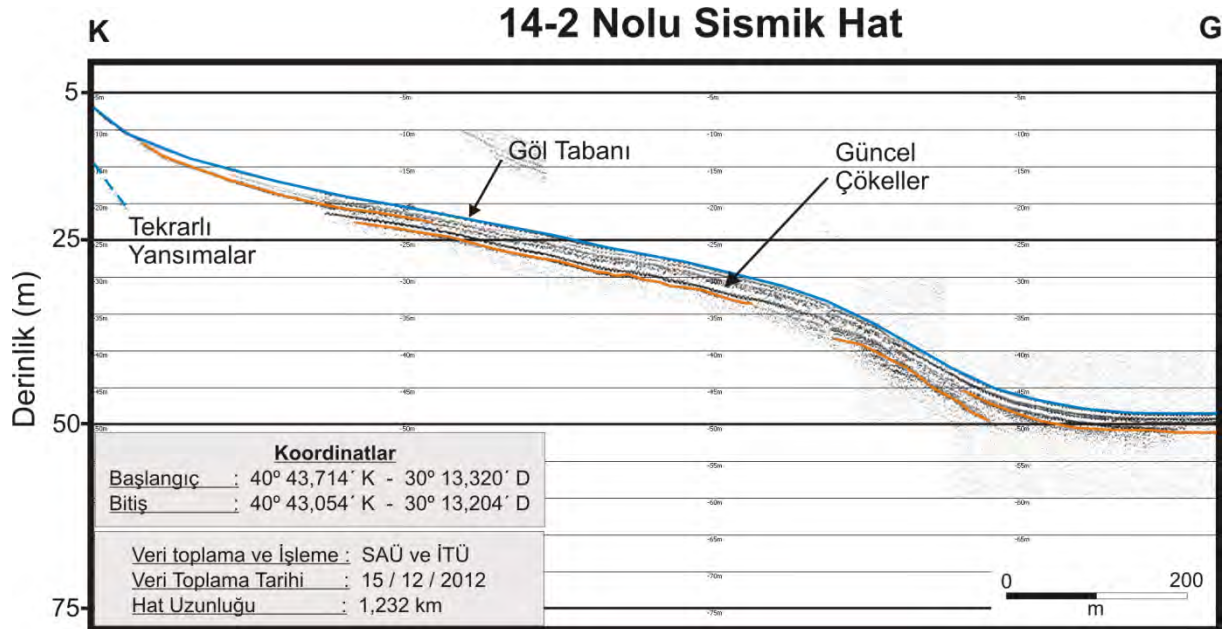
Şekil 17d. 14-1 Numaralı sismik kesitte tespit edilen Faylı bölgenin (a) detaylı görünümü

Sediment Echo Sounder SES-96/SES-2000
 Ship : Sismik2 Travel: Sapanca
 Freq/Puls: 8kHz/2 Gain : 26 dB
 Start : -1.00m Height: 79m
 Profile: 14

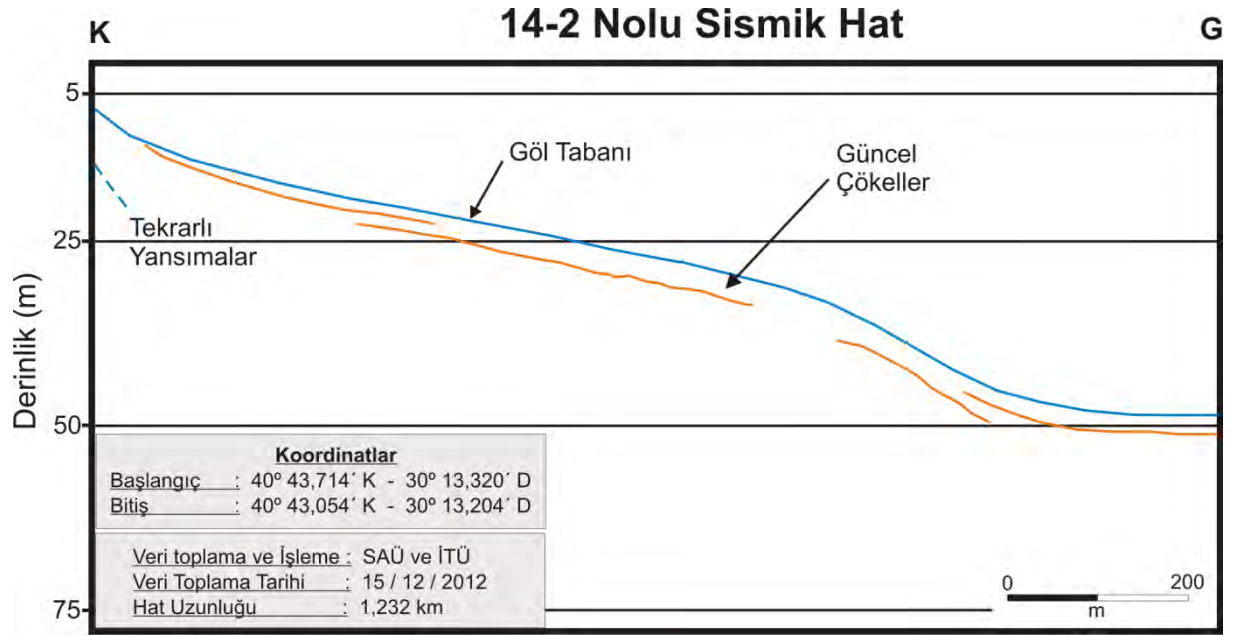
Innomar Technologie GmbH
 Area : Sapanca
 Accum.: -/5/1
 HeaveCorr.: yes
 Time : 15.12.201.
 Threshold : 5/5
 SoundVel. : 1500 :



Şekil 18a. 14-2 Numaralı sismik kesit

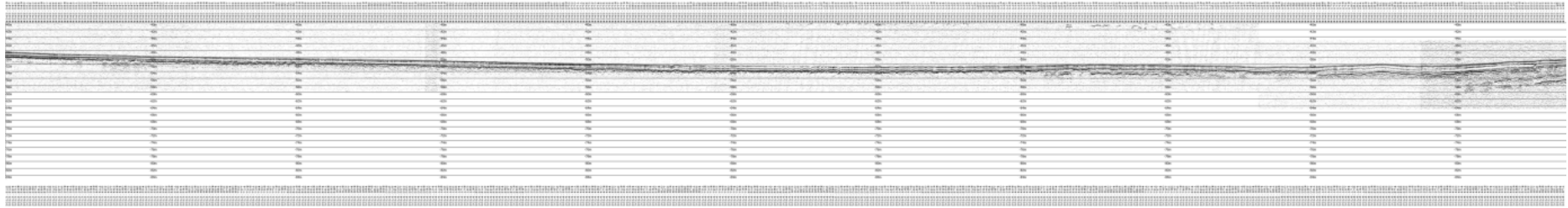


Şekil 18b. 14-2 Numaralı sismik kesit ve yorumu

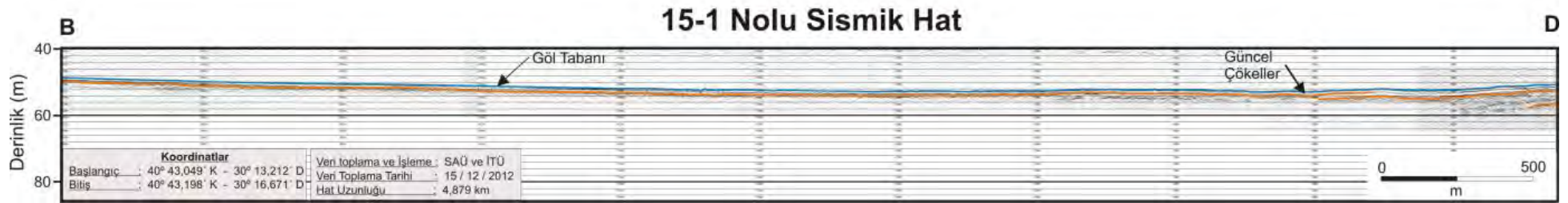


Şekil 18c. 14-2 Numaralı sismik kesite ait yorum

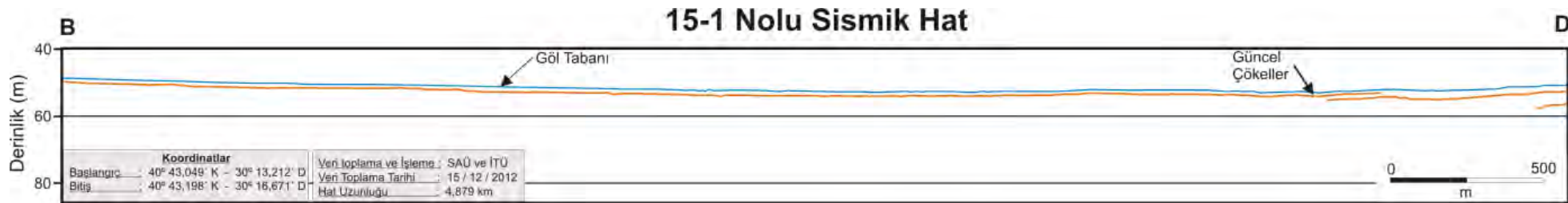
Sediment Echo Sounder SES-96/SES-3000
 Ship : Sismik2
 Freq/Pulse: 900Hz/2
 Start : -40.00m
 Profile: 15
 Innomar Technologies GmbH
 Area : Sapanca
 Acum.: -75/1
 BeamCorr.: yes
 Time : 15.12.2012 11:42:10
 Threshold : 8/5
 SoundVel.: 1500 m/s



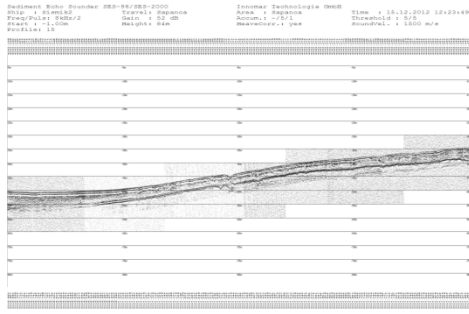
Şekil 19a. 15-1 Numaralı sismik kesit



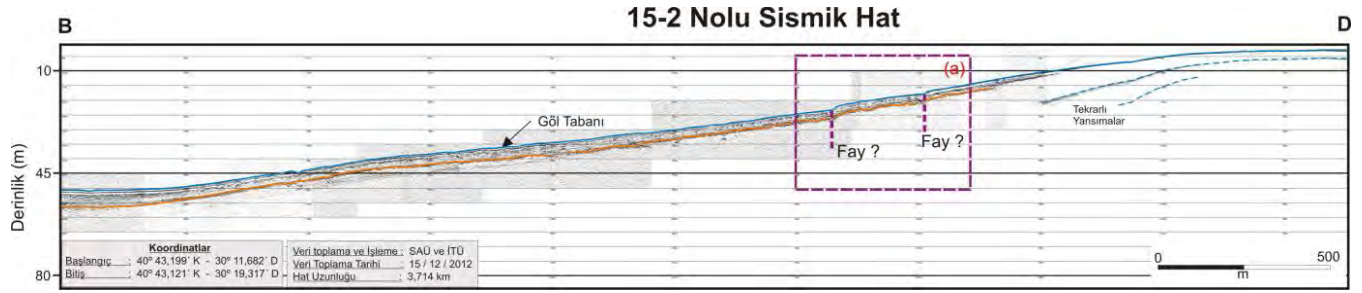
Şekil 19b. 15-1 Numaralı sismik kesit ve yorumu



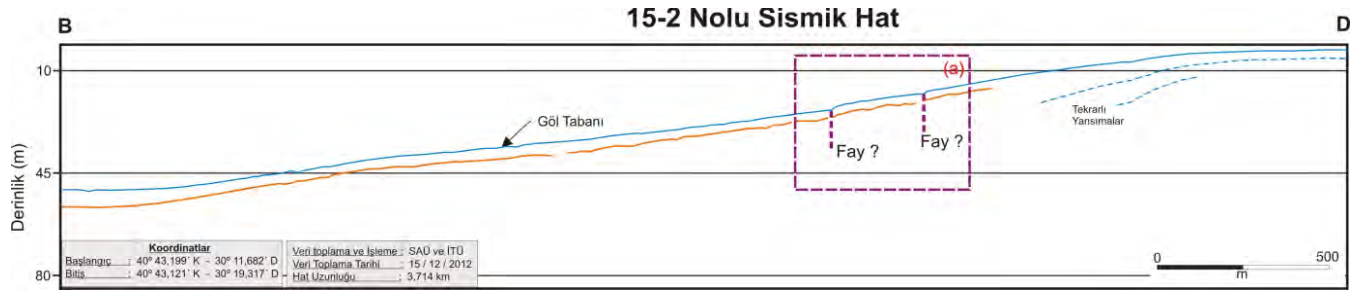
Şekil 19c. 15-1 Numaralı sismik kesite ait yorum



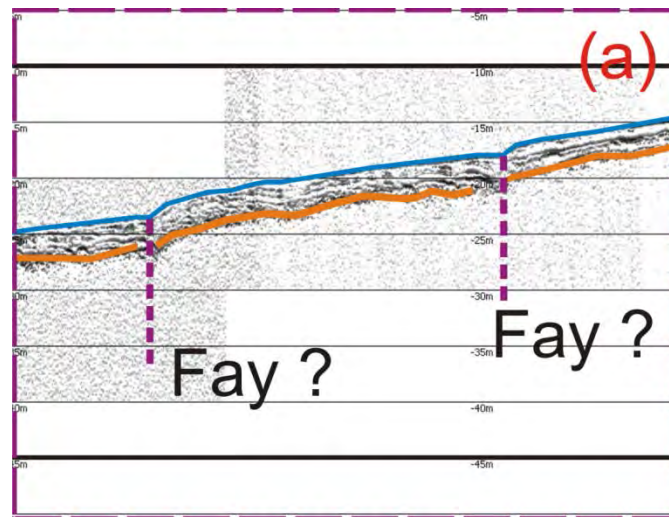
Şekil 20a. 15-2 Numaralı sismik kesit



Şekil 20b. 15-2 Numaralı sismik kesit ve yorumu

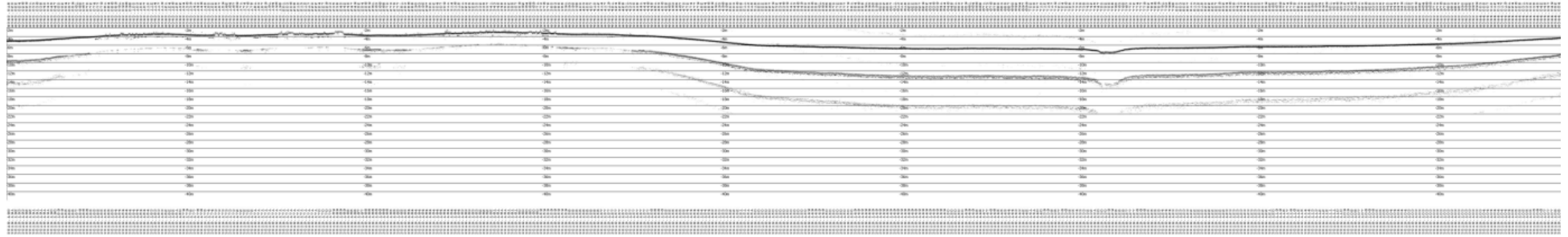


Şekil 20c. 15-2 Numaralı sismik kesite ait yorum

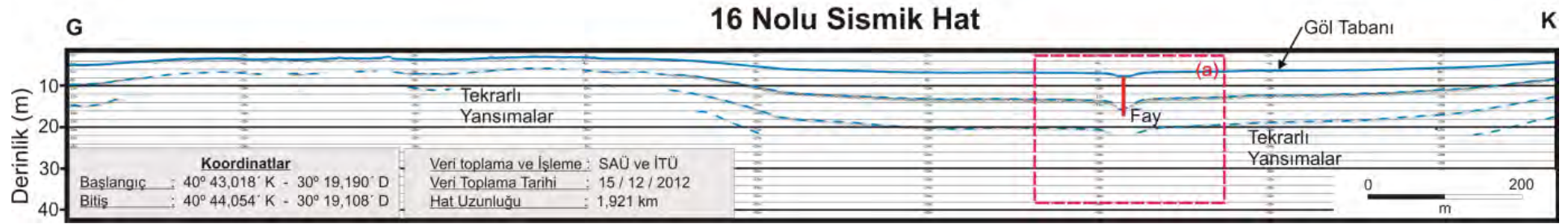


Şekil 20d. 15-2 Numaralı sismik kesitte tespit edilen Faylı bölgenin (a) detaylı görünümü

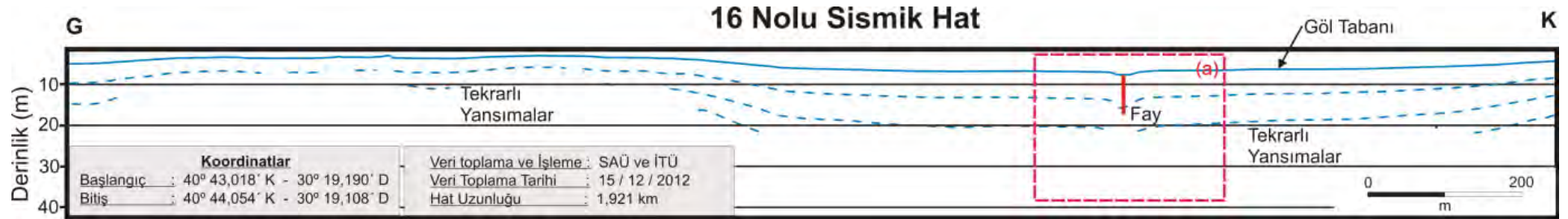
Sediment Echo Sounder SES-96/SES-2000
 Ship : Slemik2 Traveller : Sapanca
 Freq/Pulse : 8kHz/2 Gain : 26 dB
 Start : -2.00m Height : 40m
 Profile : 16
 Innomar Technologie GmbH
 Area : Sapanca
 Accum. : -5/1
 HeaveCorr. : yes
 Time : 15.12.2012 13:00:45
 Threshold : 6/8
 SoundVel. : 1500 m/s



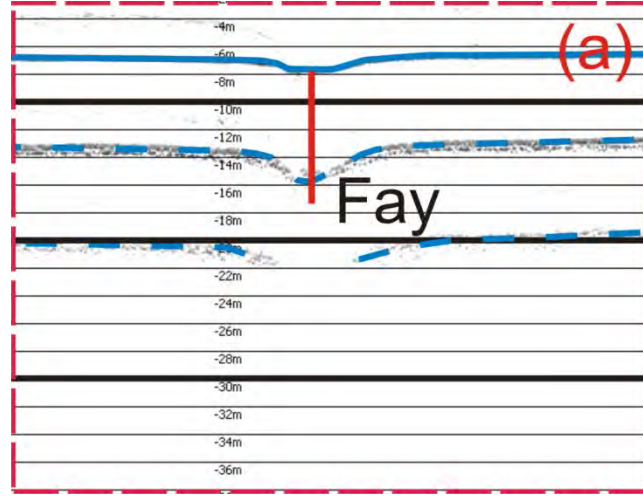
Şekil 21a. 16 Numaralı sismik kesit



Şekil 21b. 16 Numaralı sismik kesit ve yorumu

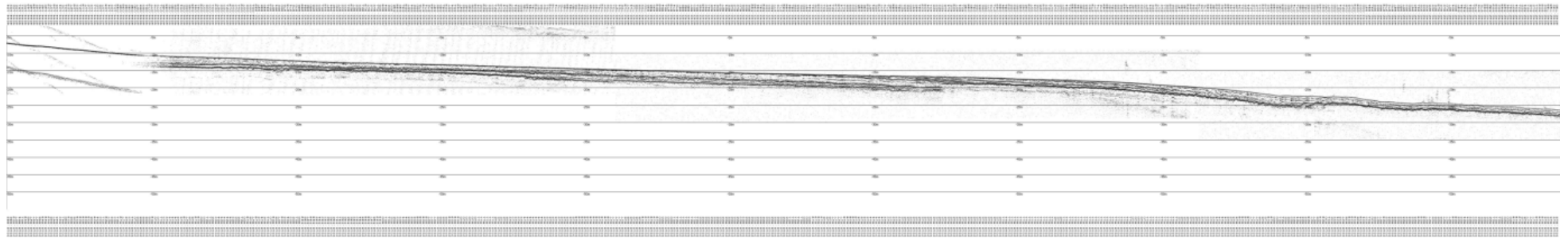


Şekil 21c. 16 Numaralı sismik kesite ait yorum

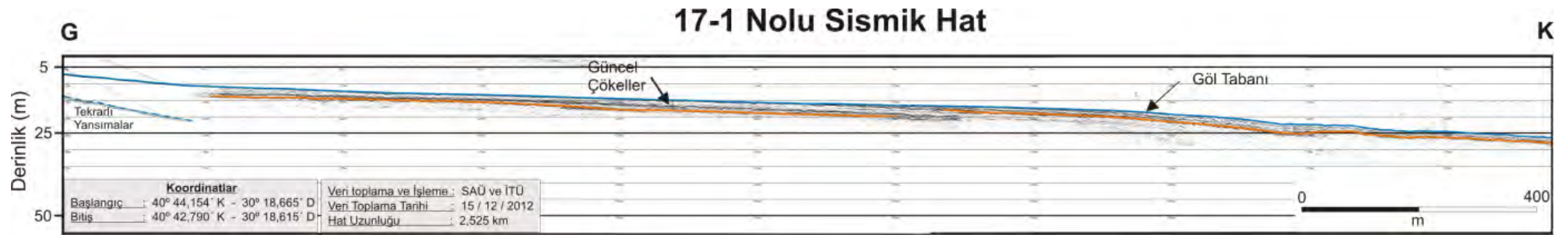


Şekil 21d. 16 Numaralı sismik kesitte tespit edilen Faylı bölgenin (a) detaylı görünümü

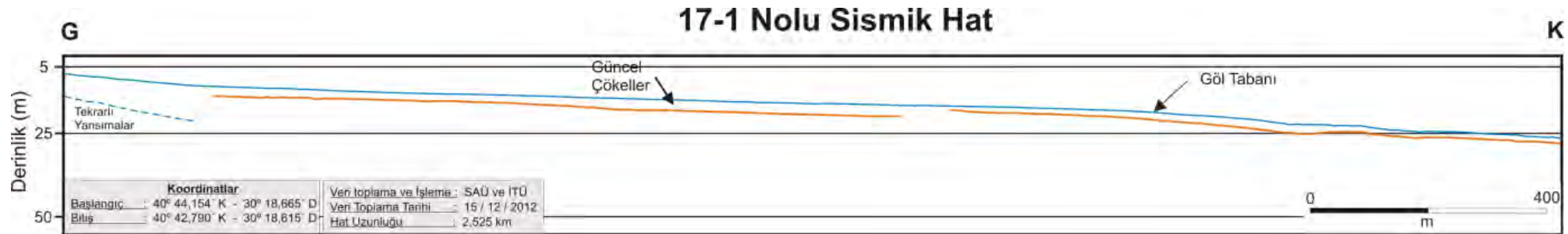
Sediment Echo Sounder SES-96/SES-2000
 Ship : Sismik2
 Freq/Pulse: 9kHz/2
 Start : -2.00m
 Profile: 17
 Innomar Technologie GmbH
 Area : Sapanca
 Acoust. : -5/1
 BeamCorr. : yes
 Time : 15.12.2012 13:31:32
 Threshold : 5/5
 SoundVel. : 1500 m/s



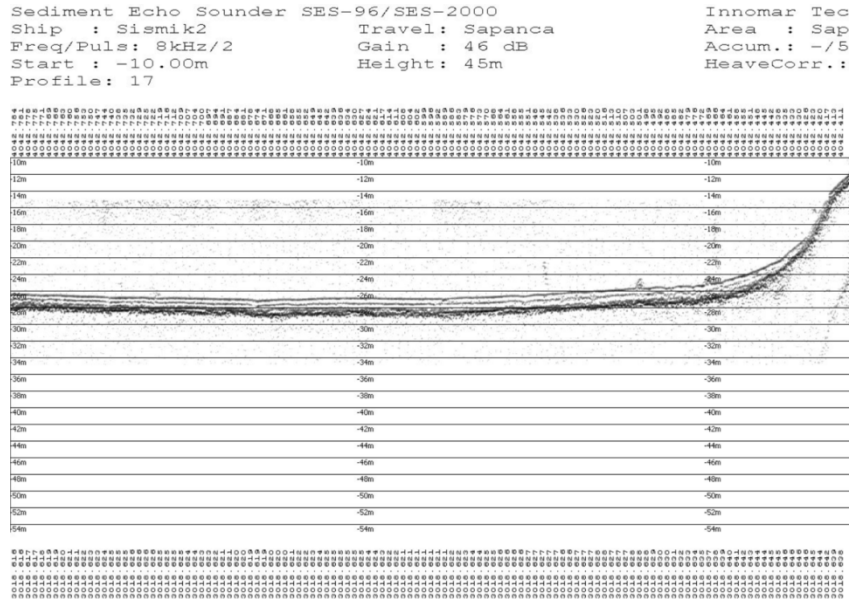
Şekil 22a. 17-1 Numaralı sismik kesit



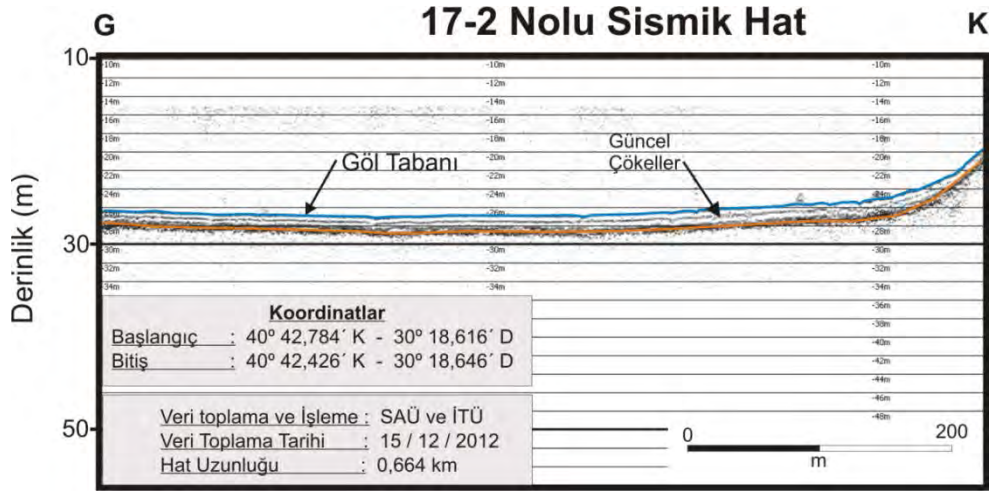
Şekil 22b. 17-1 Numaralı sismik kesit ve yorumu



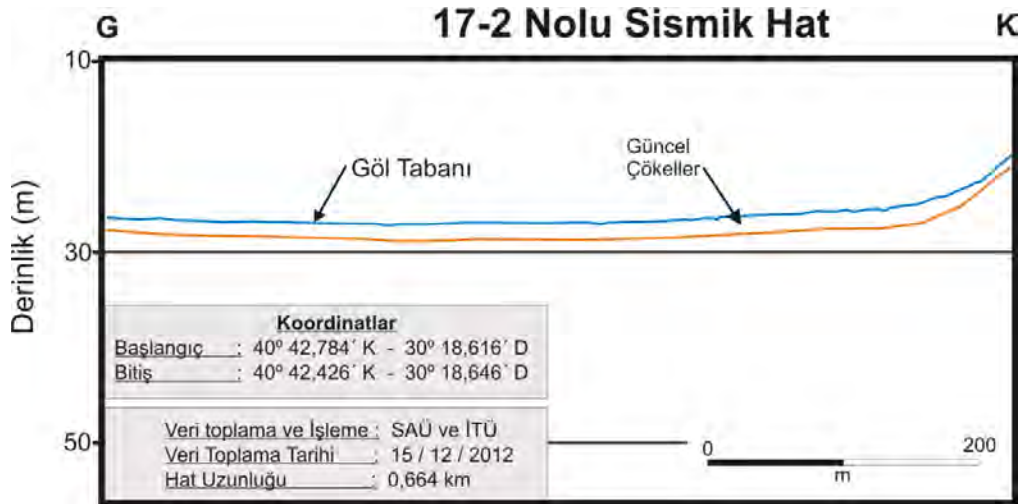
Şekil 22c. 17-1 Numaralı sismik kesite ait yorum



Şekil 23a. 17-2 Numaralı sismik kesit

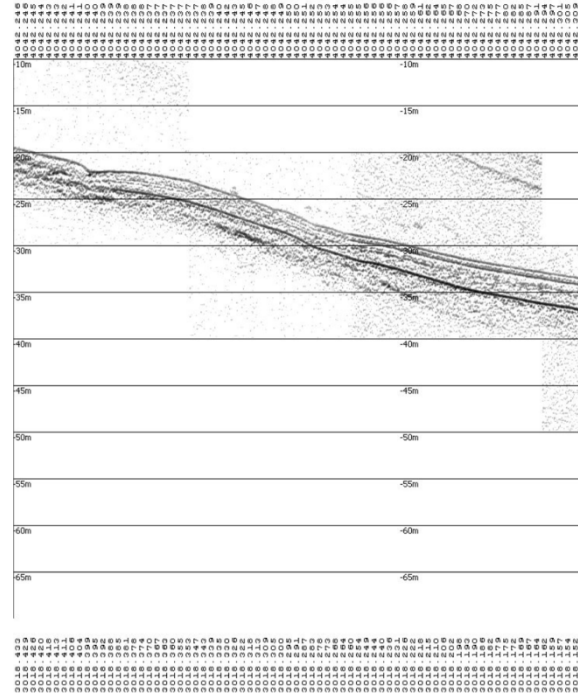


Şekil 23b. 17-2 Numaralı sismik kesit ve yorumu

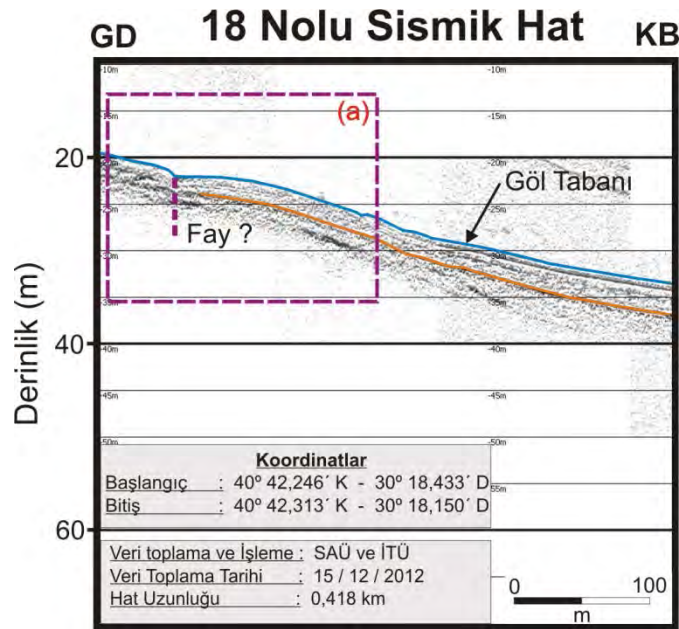


Şekil 23c. 17-2 Numaralı sismik kesite ait yorum

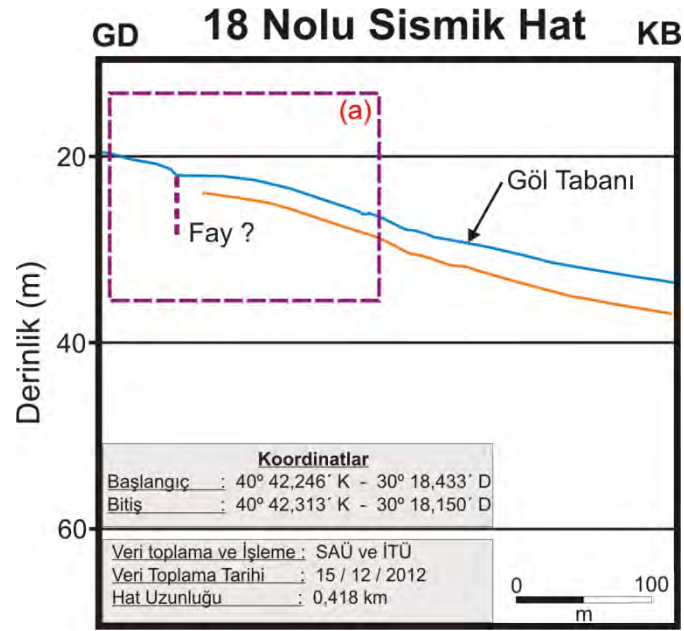
Sediment Echo Sounder SES-96/SES-2000
 Ship : Sismik2 Travel: Sapar
 Freq/Puls: 8kHz/2 Gain : 46 dB
 Start : -10.00m Height: 60m
 Profile: 18



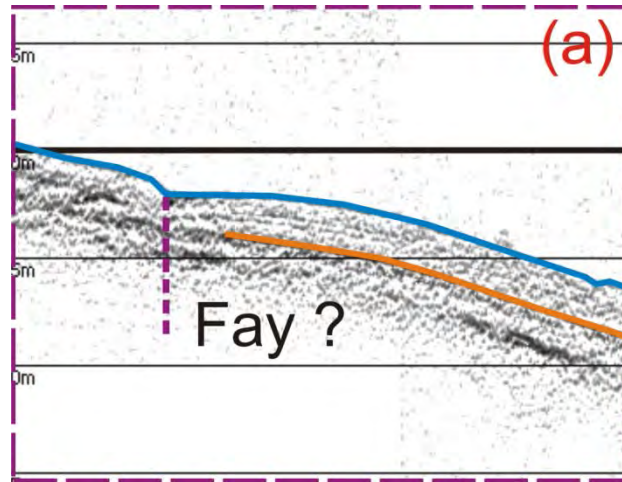
Şekil 24a. 18 Numaralı sismik kesit



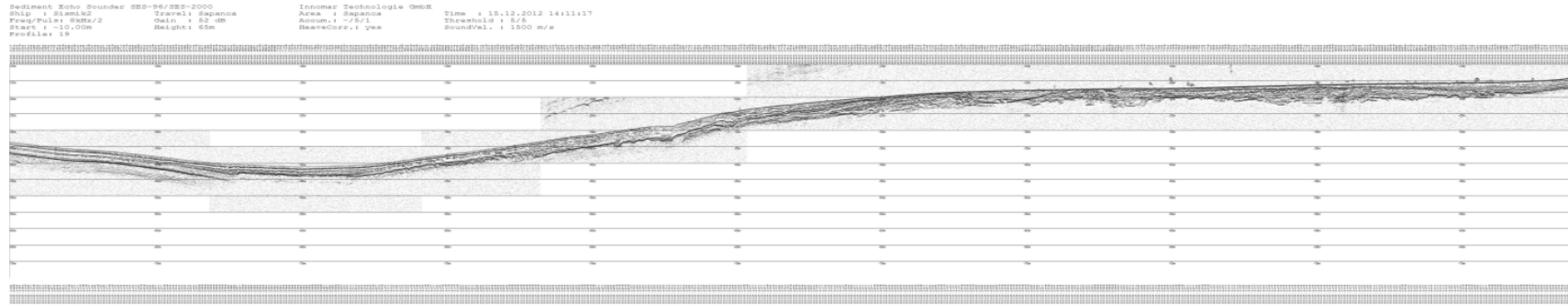
Şekil 24b. 18 Numaralı sismik kesit ve yorumu



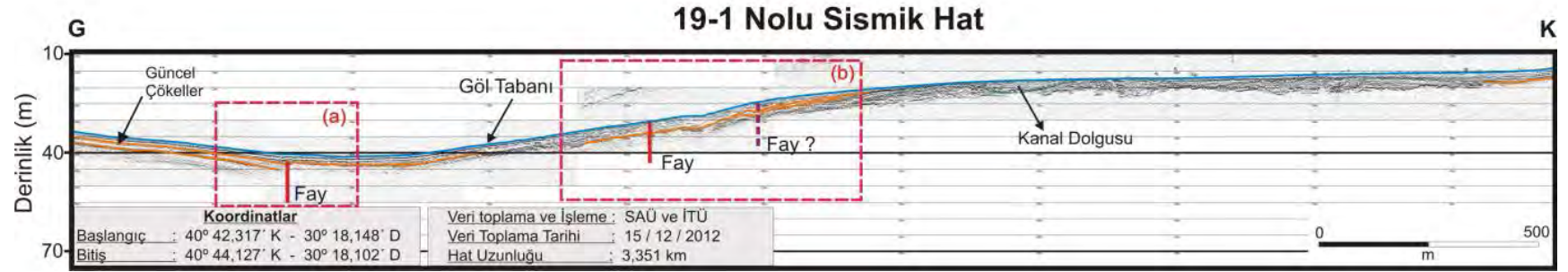
Şekil 24c. 18 Numaralı sismik kesite ait yorum



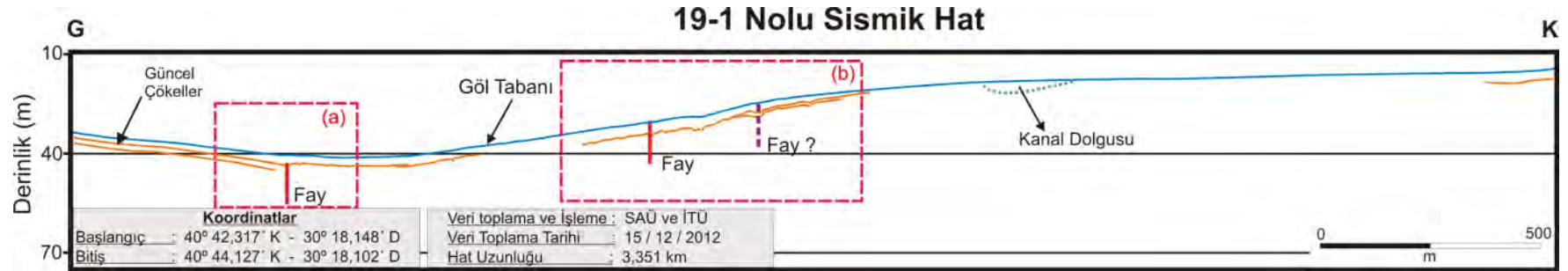
Şekil 24d. 18 Numaralı sismik kesitte tespit edilen Faylı bölgenin (a) detaylı görünümü



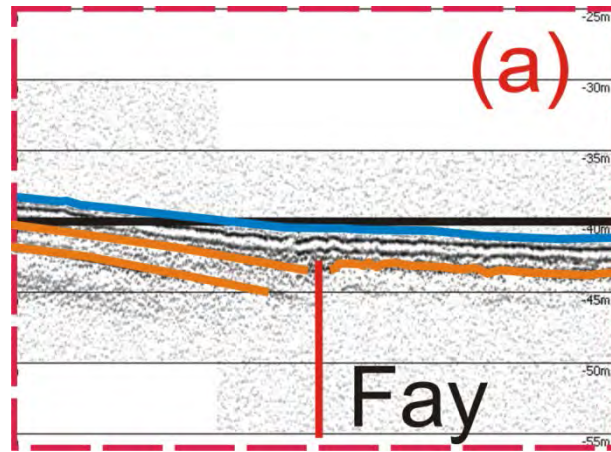
Şekil 25a. 19-1 Numaralı sismik kesit



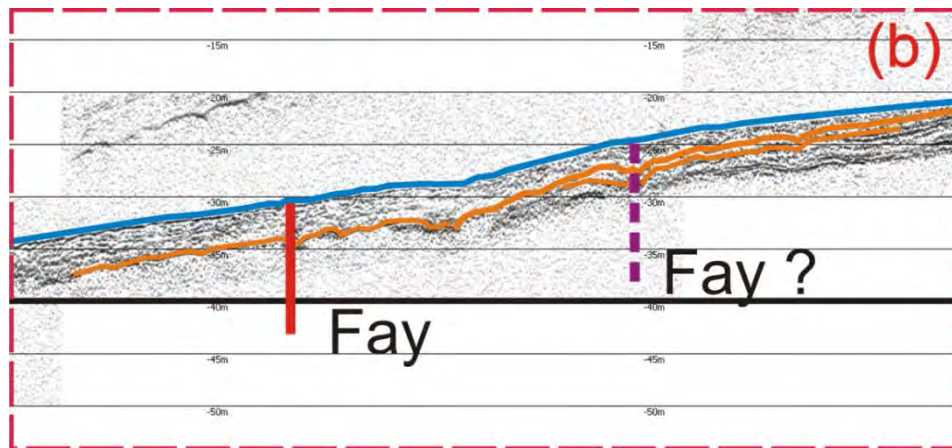
Şekil 25b. 19-1 Numaralı sismik kesit ve yorumu



Şekil 25c. 19-1 Numaralı sismik kesite ait yorum

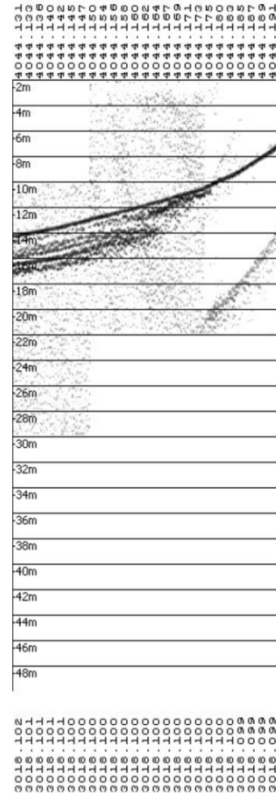


Şekil 25d. 19-1 Numaralı sismik kesitte tespit edilen Faylı bölgenin (a) detaylı görünümü



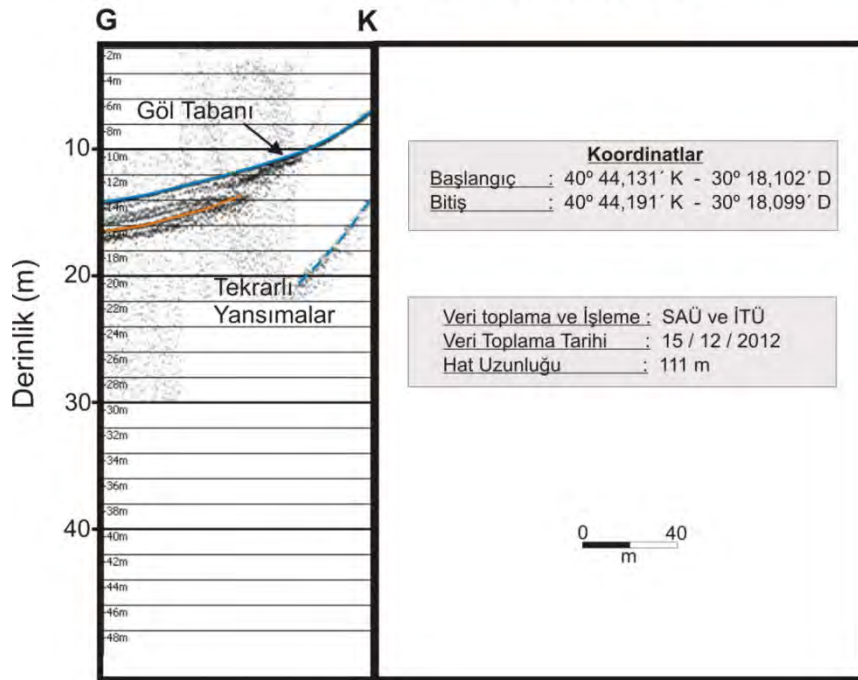
Şekil 25e. 19-1 Numaralı sismik kesitte tespit edilen Faylı bölgenin (b) detaylı görünümü

Sediment Echo
Ship : Sismik
Freq/Puls: 8kHz
Start : -2.00r
Profile: 19



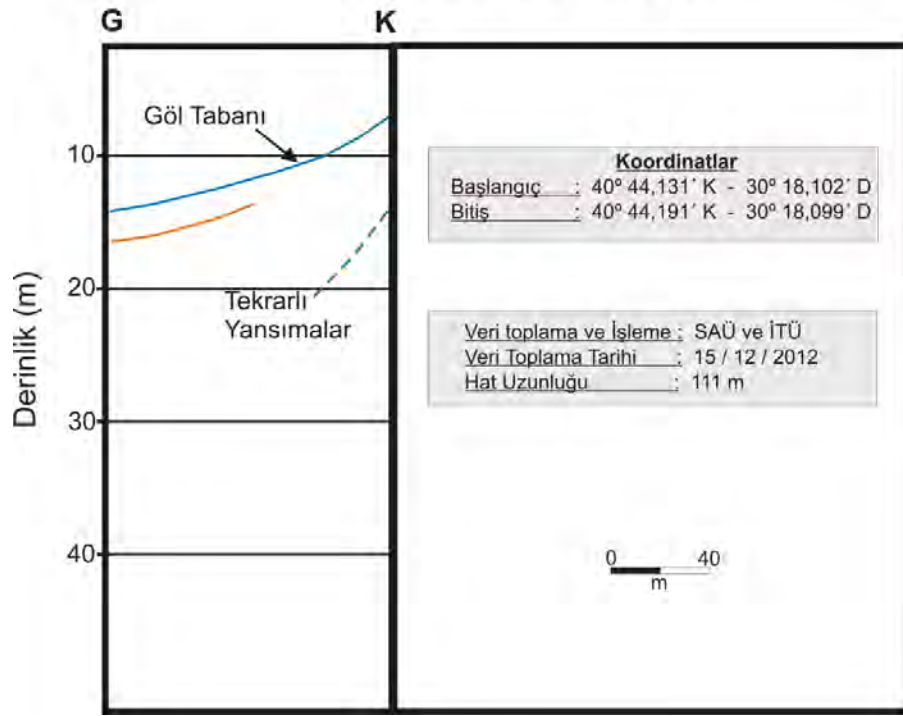
Şekil 26a. 19-2 Numaralı sismik kesit

19-2 Nolu Sismik Hat

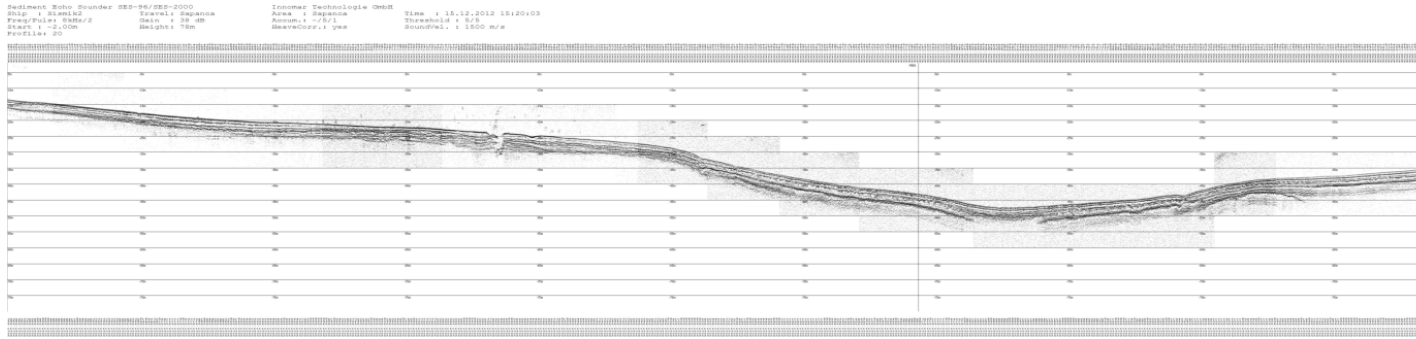


Şekil 26b. 19-2 Numaralı sismik kesit ve yorumu

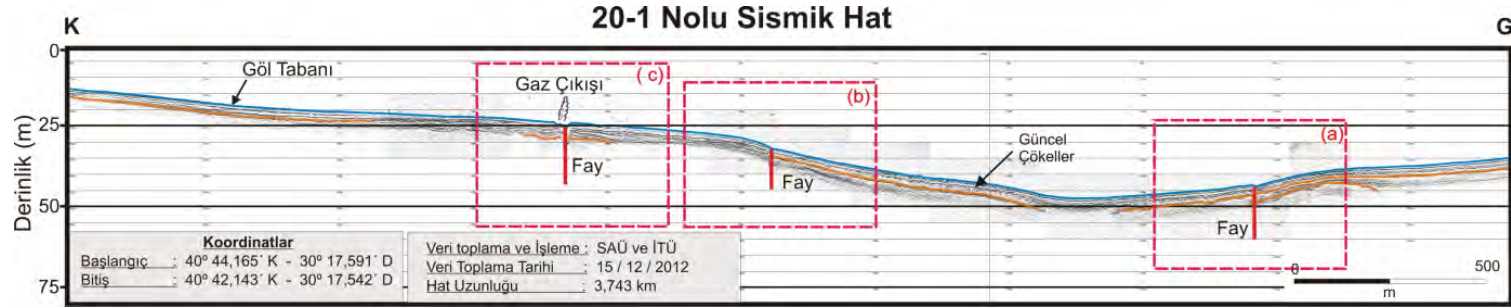
19-2 Nolu Sismik Hat



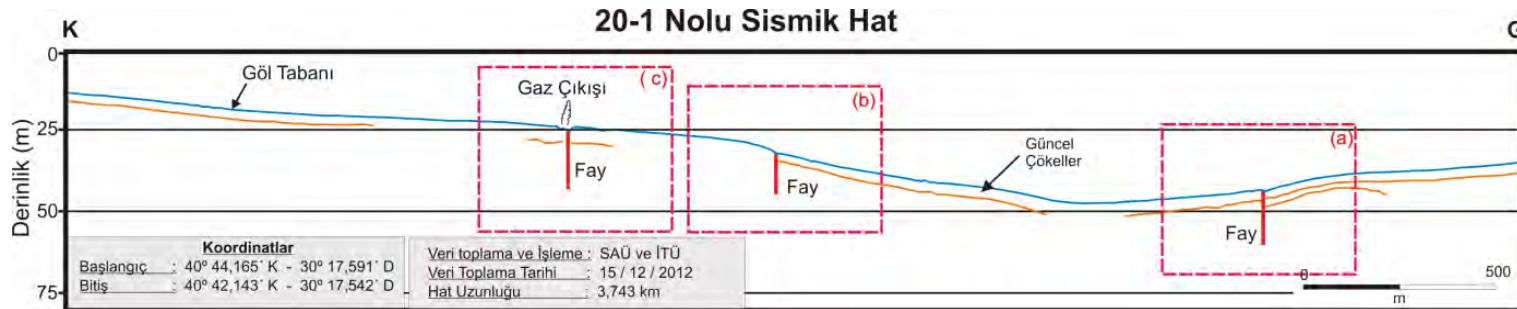
Şekil 26c. 19-2 Numaralı sismik kesite ait yorum



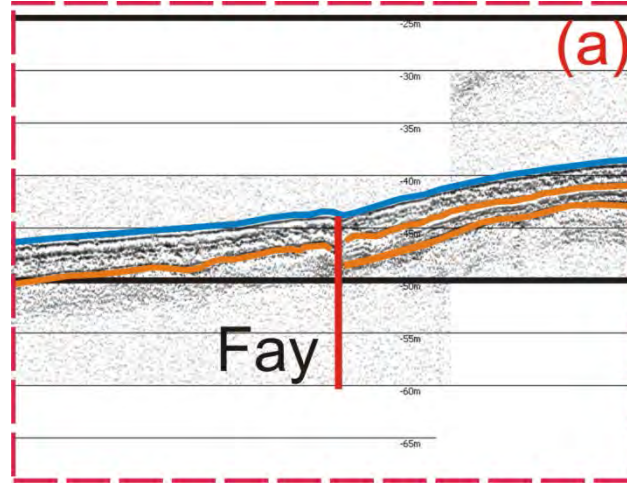
Şekil 27a. 20-1 Numaralı sismik kesit



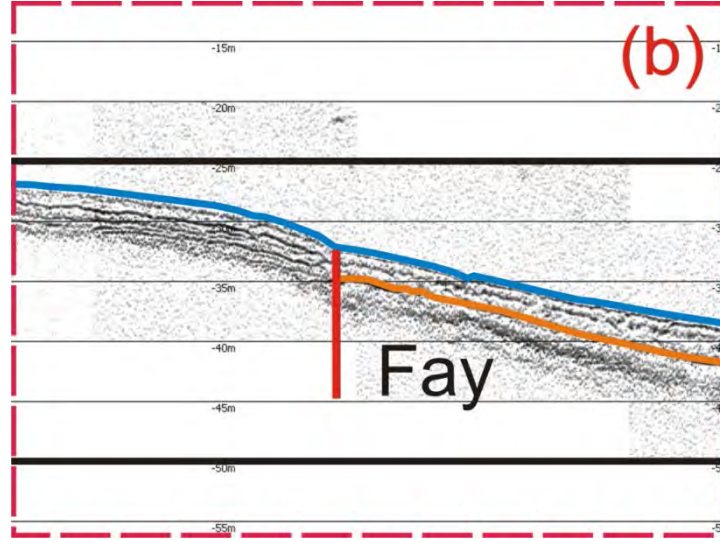
Şekil 27b. 20-1 Numaralı sismik kesit ve yorumu



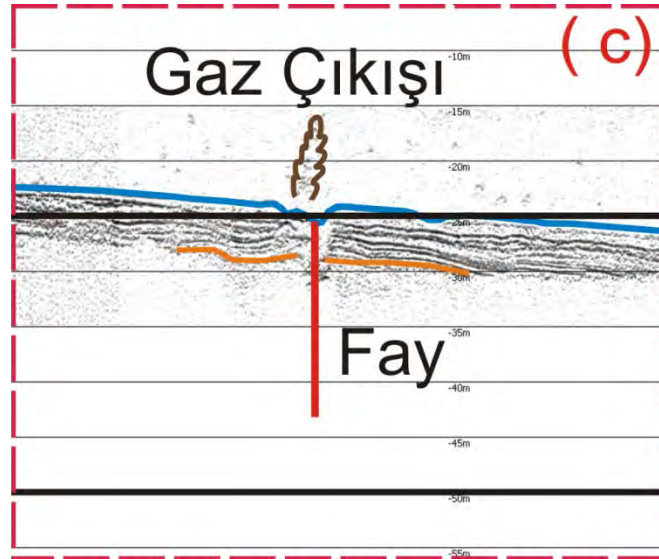
Şekil 27c. 20-1 Numaralı sismik kesite ait yorumu



Şekil 27d. 20-1 Numaralı sismik kesitte tespit edilen Faylı bölgenin (a) detaylı görünümü

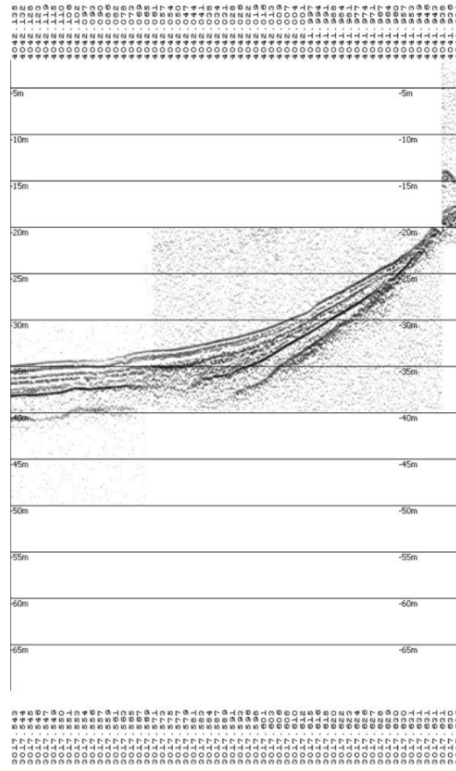


Şekil 27e. 20-1 Numaralı sismik kesitte tespit edilen Faylı bölgenin (b) detaylı görünümü



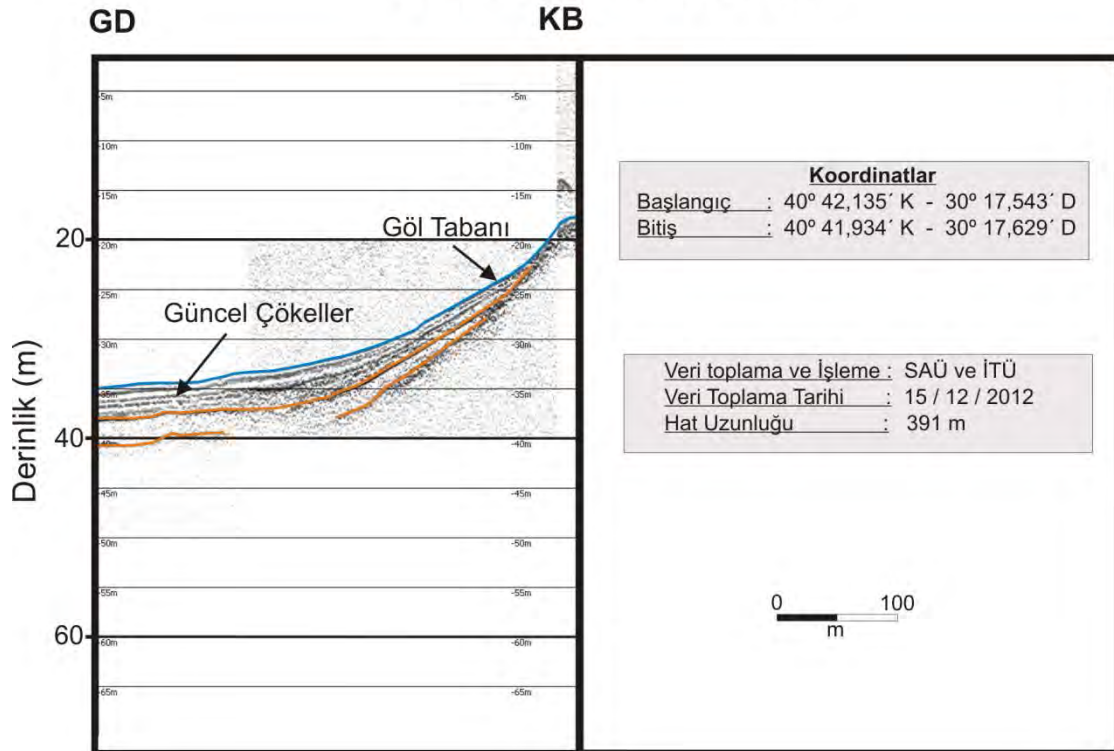
Şekil 27f. 20-1 Numaralı sismik kesitte tespit edilen Faylı bölgenin (c) detaylı görünümü

Sediment Echo Sounder SES-96/SE
 Ship : Sismik2 Trav
 Freq/Puls : 8kHz/2 Gain
 Start : -2.00m Heigl
 Profile: 20



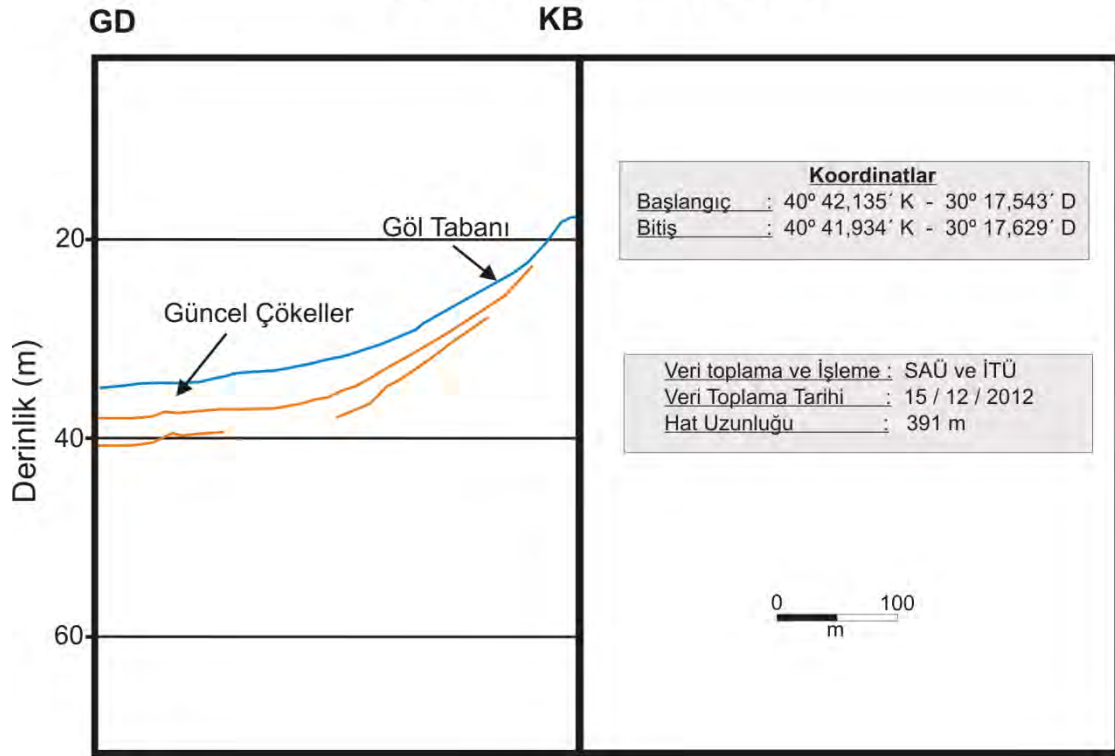
Şekil 28a. 20-2 Numaralı sismik kesit

20-2 Nolu Sismik Hat

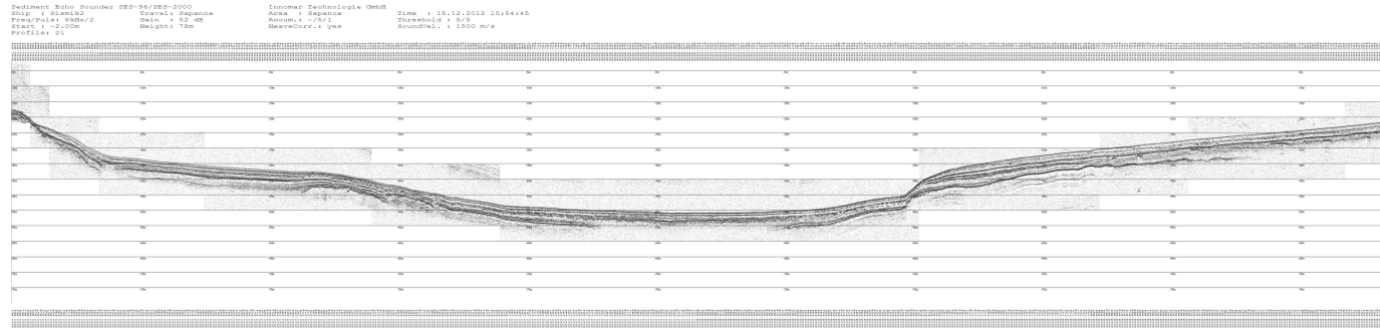


Şekil 28b. 20-2 Numaralı sismik kesit ve yorumu

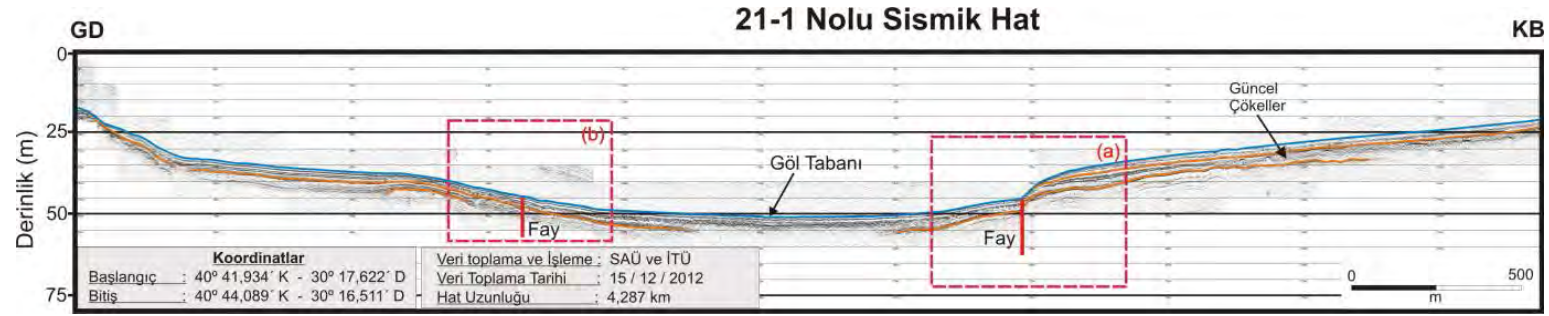
20-2 Nolu Sismik Hat



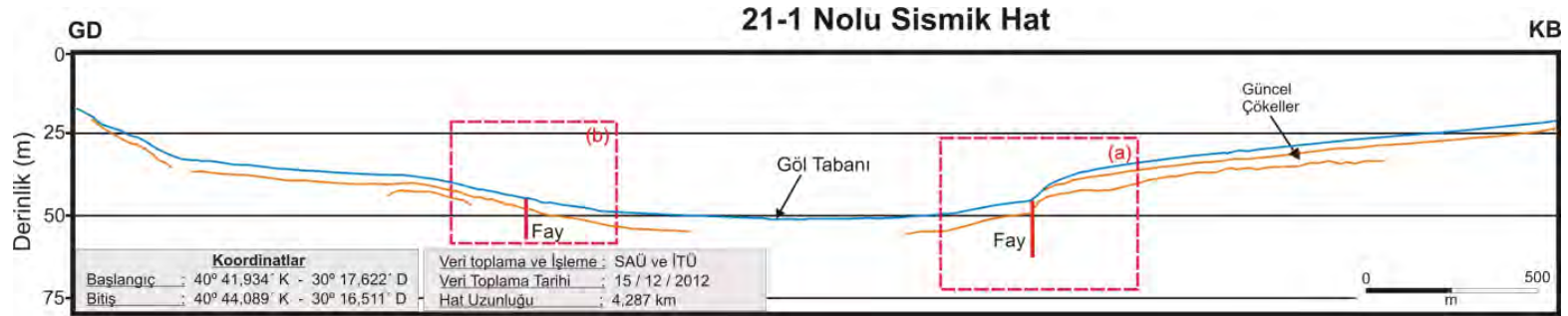
Şekil 28c. 20-2 Numaralı sismik kesite ait yorum



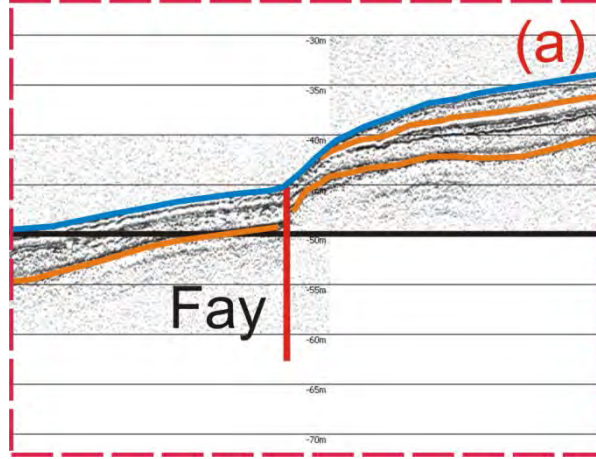
Şekil 29a. 21-1 Numaralı sismik kesit



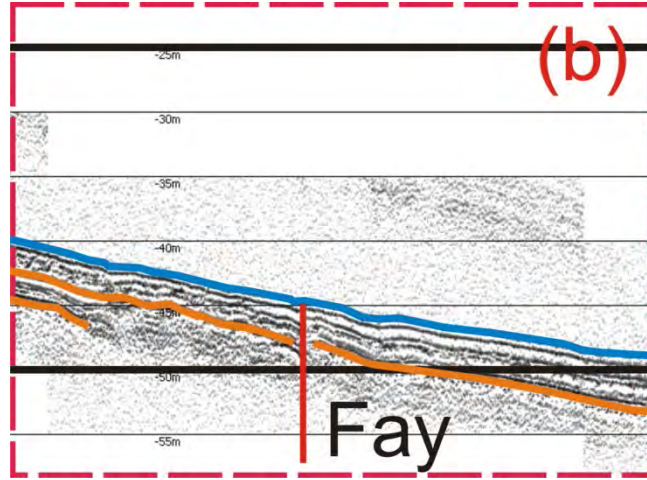
Şekil 29b. 21-1 Numaralı sismik kesit ve yorumu



Şekil 29c. 21-1 Numaralı sismik kesite ait yorum



Şekil 29d. 21-1 Numaralı sismik kesitte tespit edilen Faylı bölgenin (a) detaylı görünümü



Şekil 29e. 21-1 Numaralı sismik kesitte tespit edilen Faylı bölgenin (b) detaylı görünümü

Sediment Echo Sounder SES-96/SES-2000

Ship : Sismik2

Travel: Sapanca

Innomar Te

Freq/Puls: 8kHz/2

Gain : 52 dB

Area : Sa

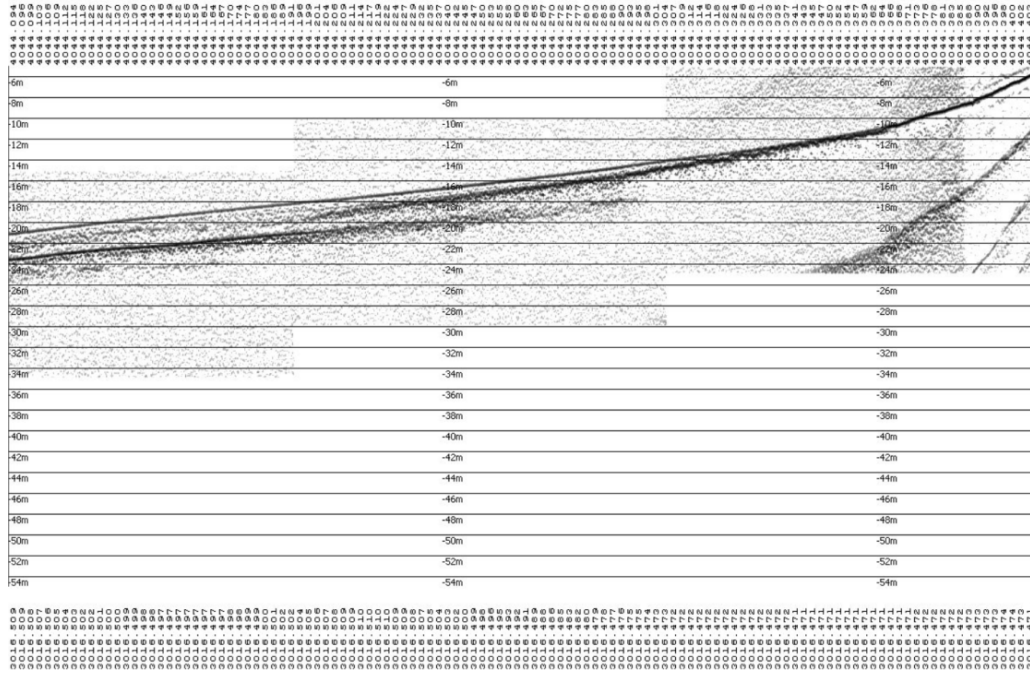
Start : -5.00m

Height: 50m

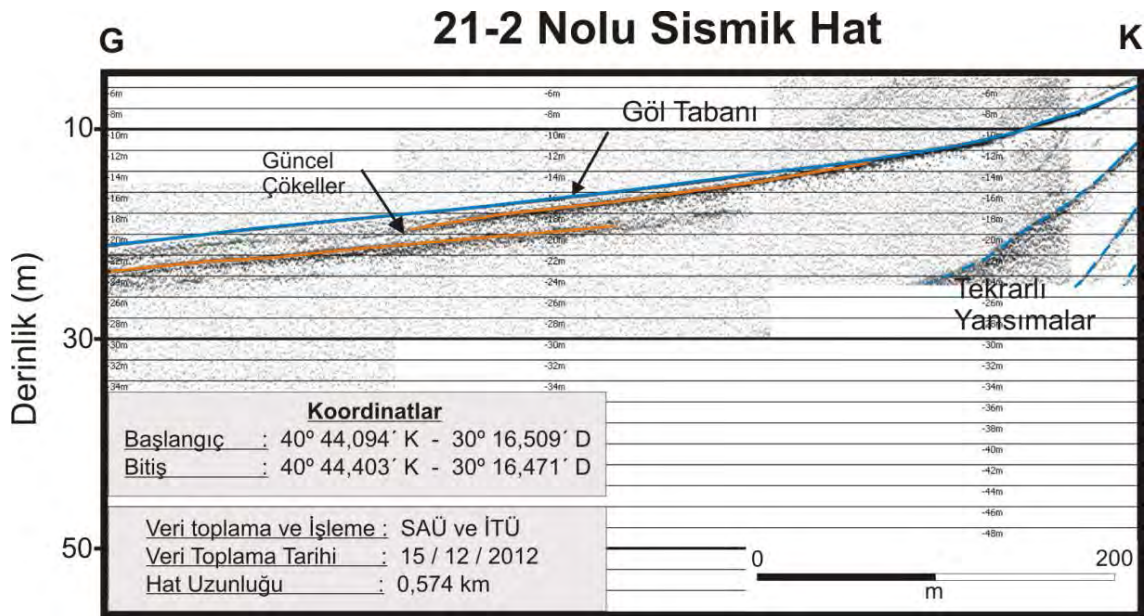
Accum.: -/

Profile: 21

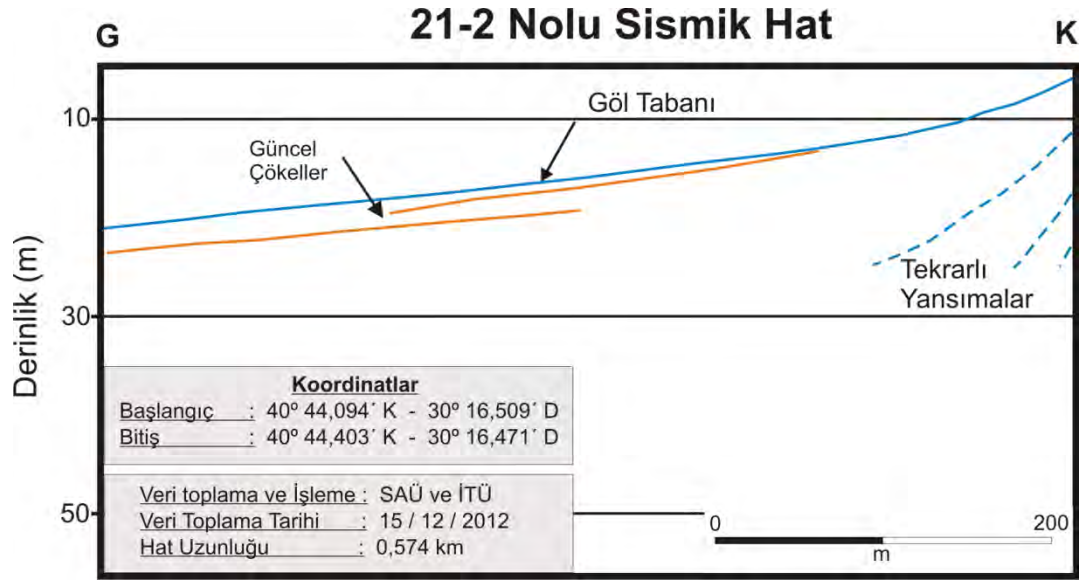
HeaveCorr.



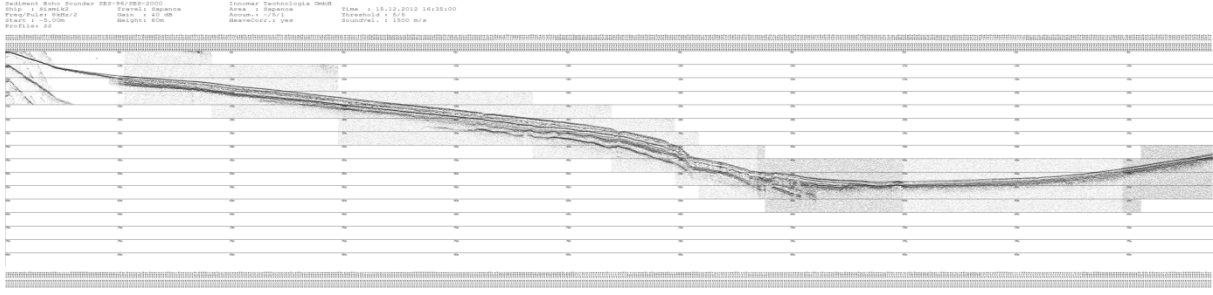
Şekil 30a. 21-2 Numaralı sismik kesit



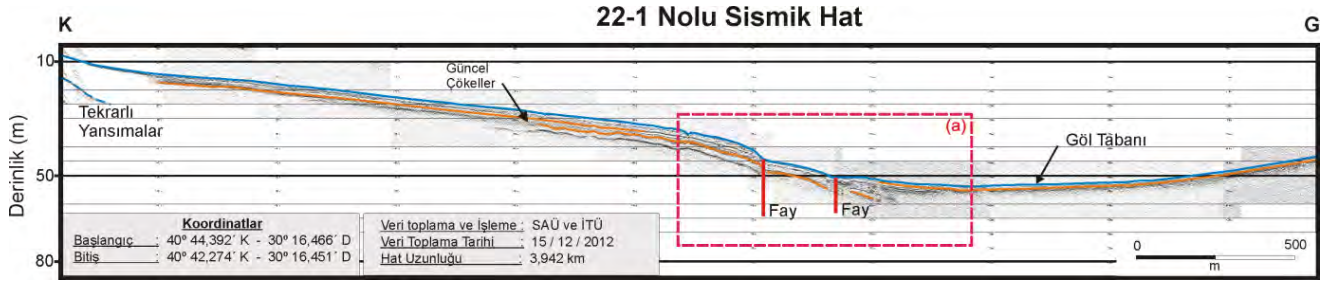
Şekil 30b. 21-2 Numaralı sismik kesit ve yorumu



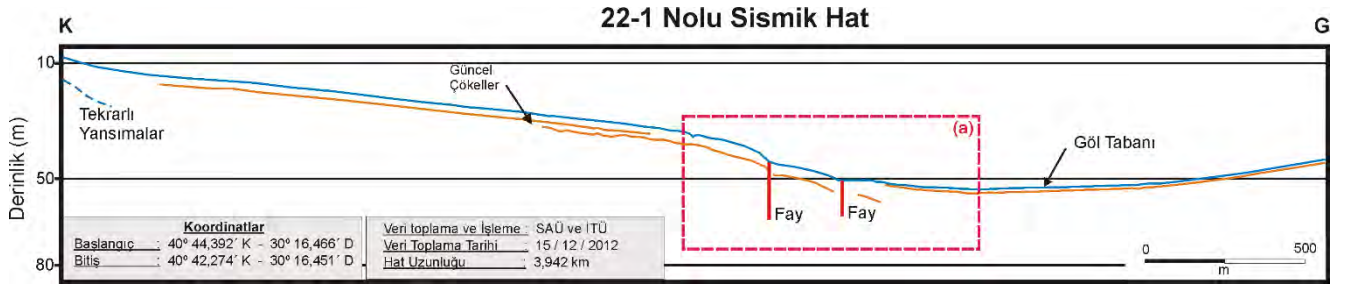
Şekil 30c. 21-2 Numaralı sismik kesite ait yorum



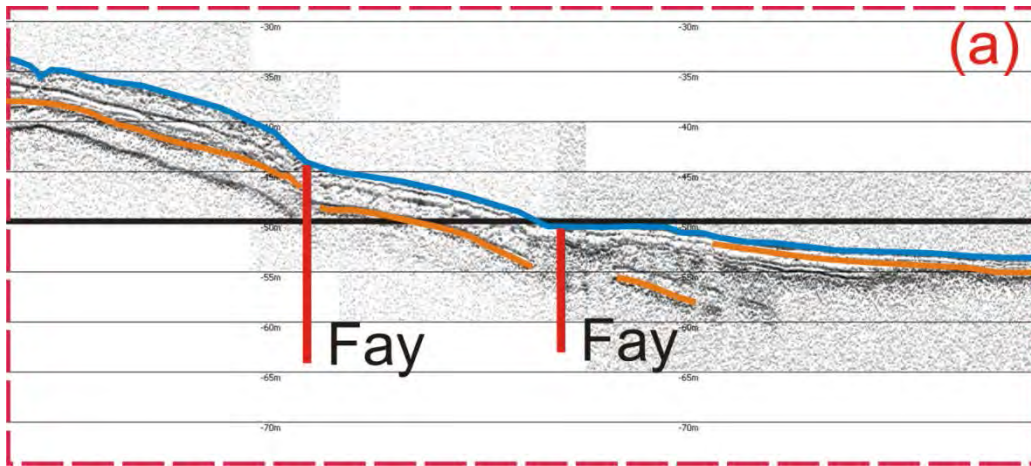
Şekil 31a. 22-1 Numaralı sismik kesit



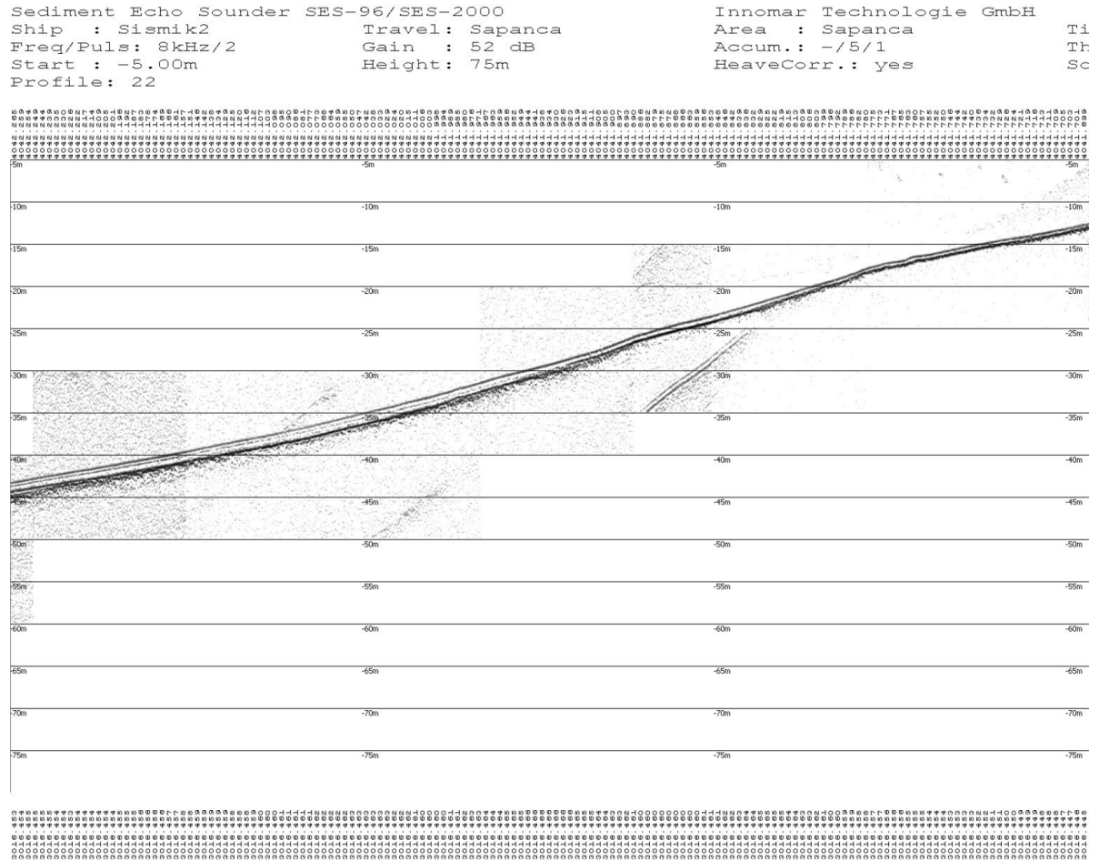
Şekil 31b. 22-1 Numaralı sismik kesit ve yorumu



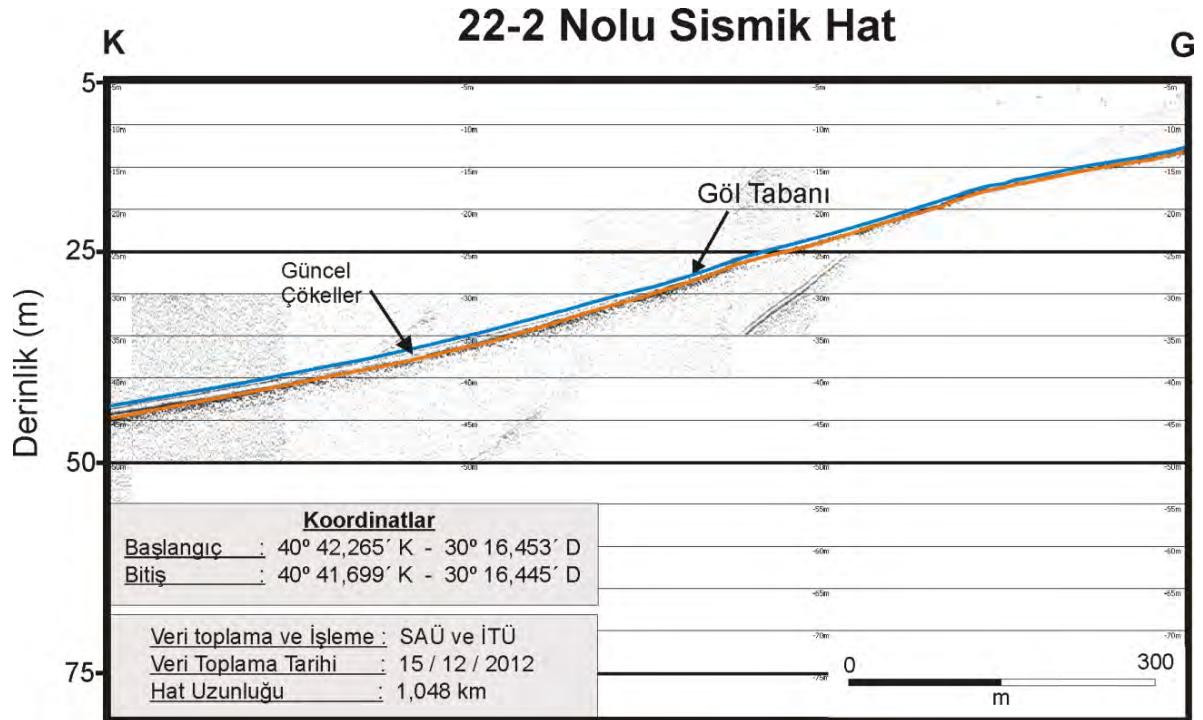
Şekil 31c. 22-1 Numaralı sismik kesite ait yorum



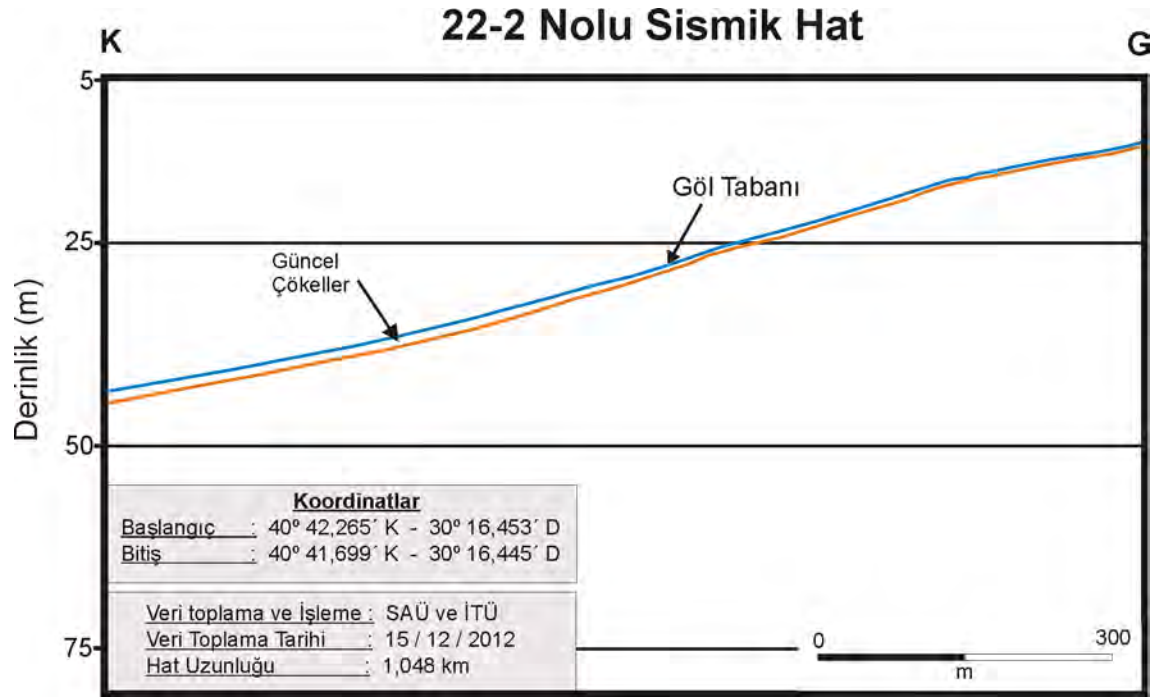
Şekil 31d. 22-1 Numaralı sismik kesitte tespit edilen Faylı bölgenin (a) detaylı görünümü



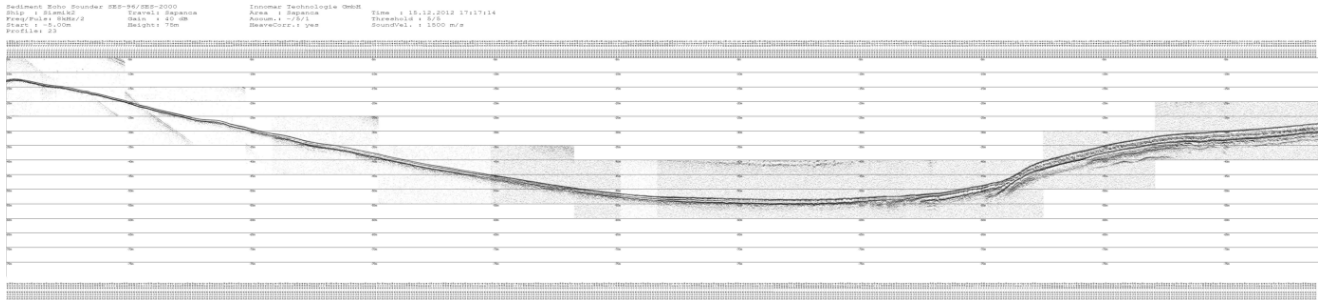
Şekil 32a. 22-2 Numaralı sismik kesit



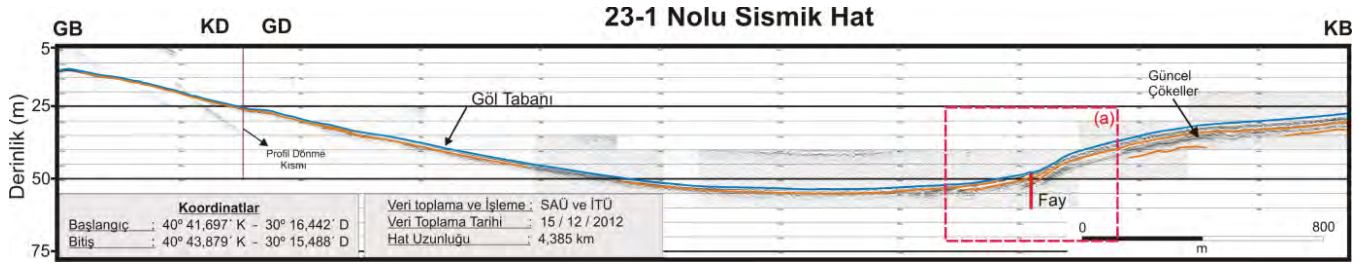
Şekil 32b. 22-2 Numaralı sismik kesit ve yorumu



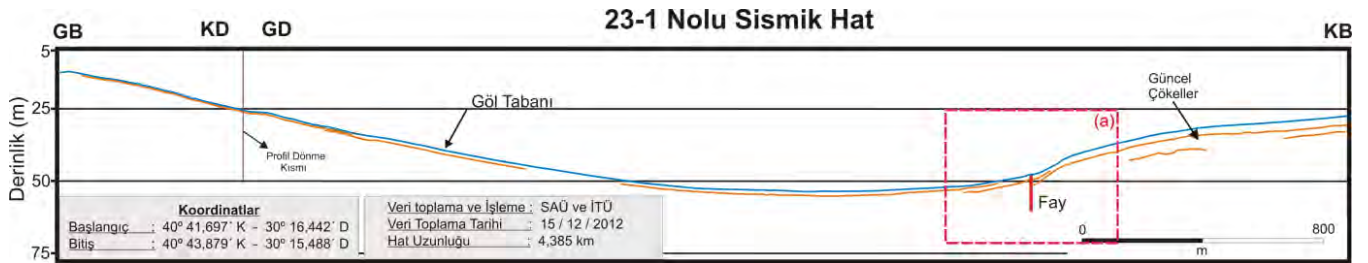
Şekil 32c. 22-2 Numaralı sismik kesite ait yorum



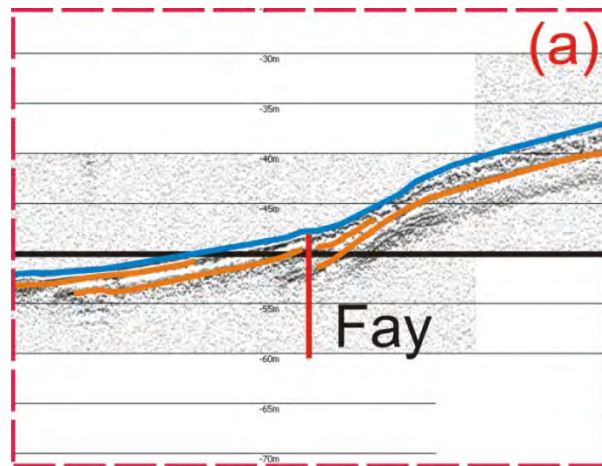
Şekil 33a. 23-1 Numaralı sismik kesit



Şekil 33b. 23-1 Numaralı sismik kesit ve yorumu

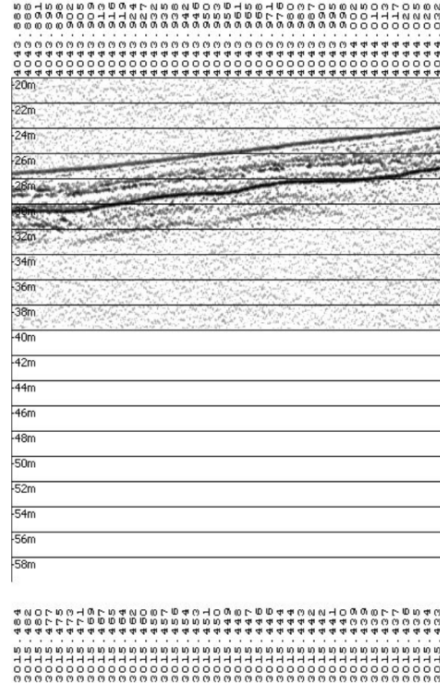


Şekil 33c. 23-1 Numaralı sismik kesite ait yorum



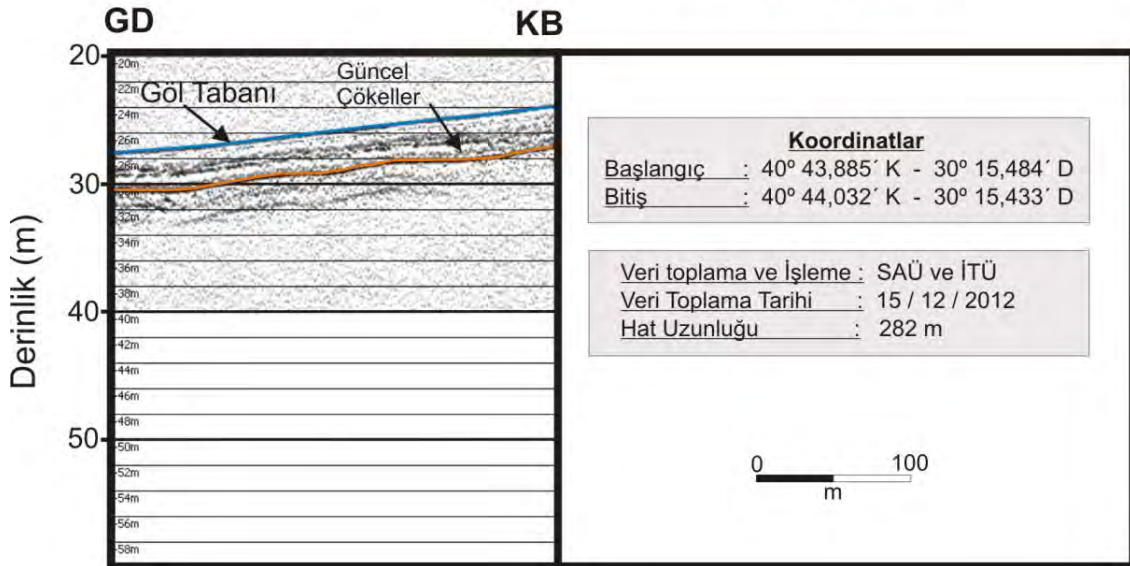
Şekil 33d. 23-1 Numaralı sismik kesitte tespit edilen Faylı bölgenin (a) detaylı görünümü

Sediment Echo Sounder
 Ship : Sismik2
 Freq/Puls: 8kHz/2
 Start : -20.00m
 Profile: 23



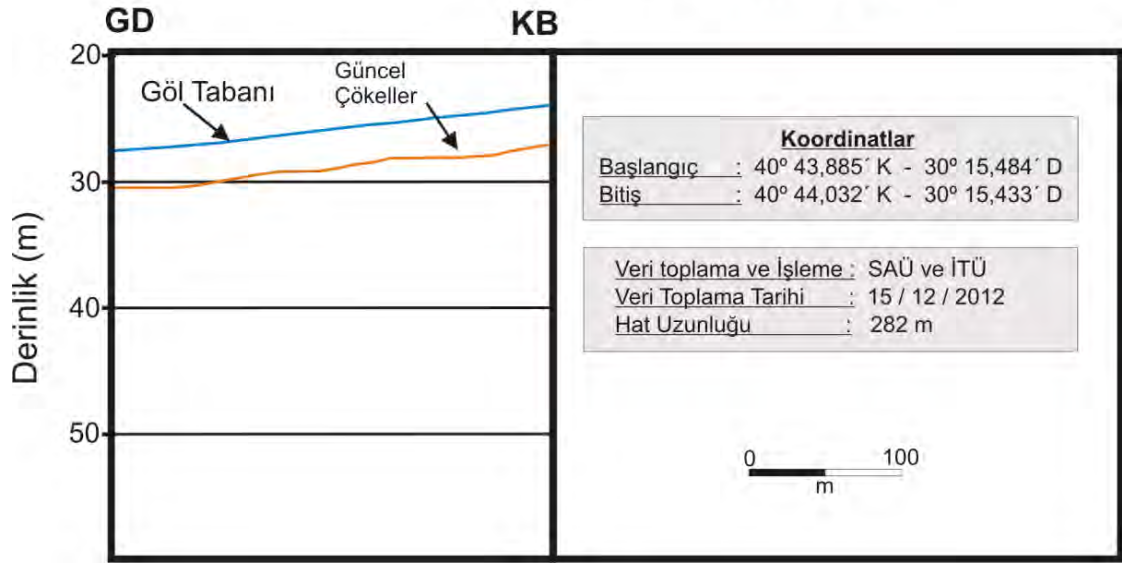
Şekil 34a. 23-2 Numaralı sismik kesit

23-2 Nolu Sismik Hat



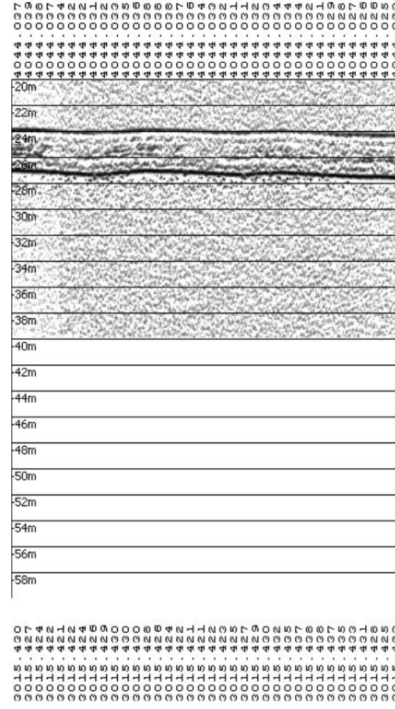
Şekil 34b. 23-2 Numaralı sismik kesit ve yorumu

23-2 Nolu Sismik Hat



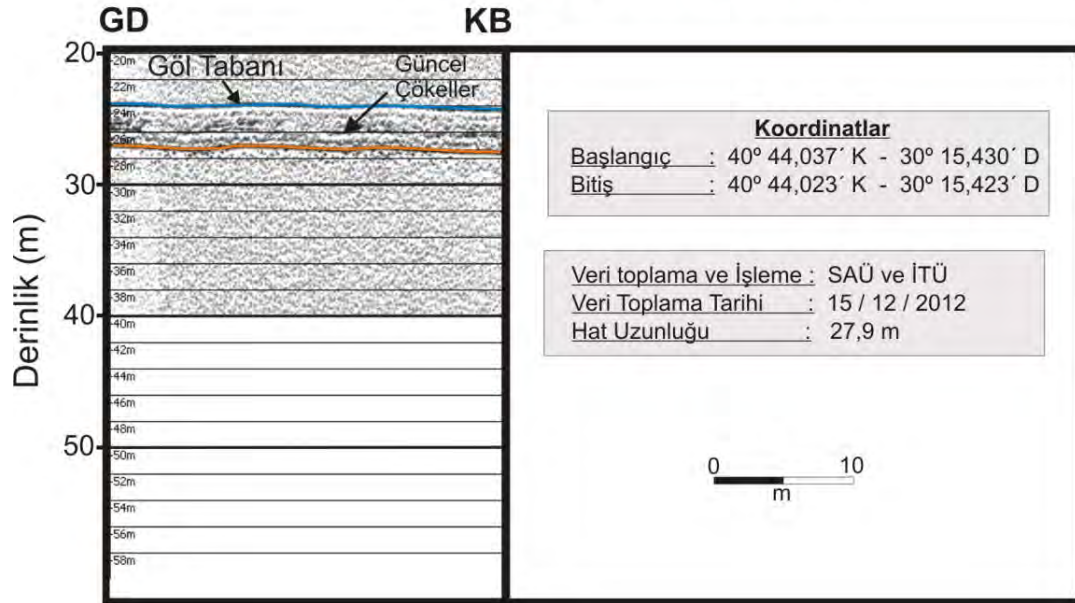
Şekil 34c. 23-2 Numaralı sismik kesite ait yorum

Sediment Echo Sound
 Ship : Sismik2
 Freq/Puls: 8kHz/2
 Start : -20.00m
 Profile: 24



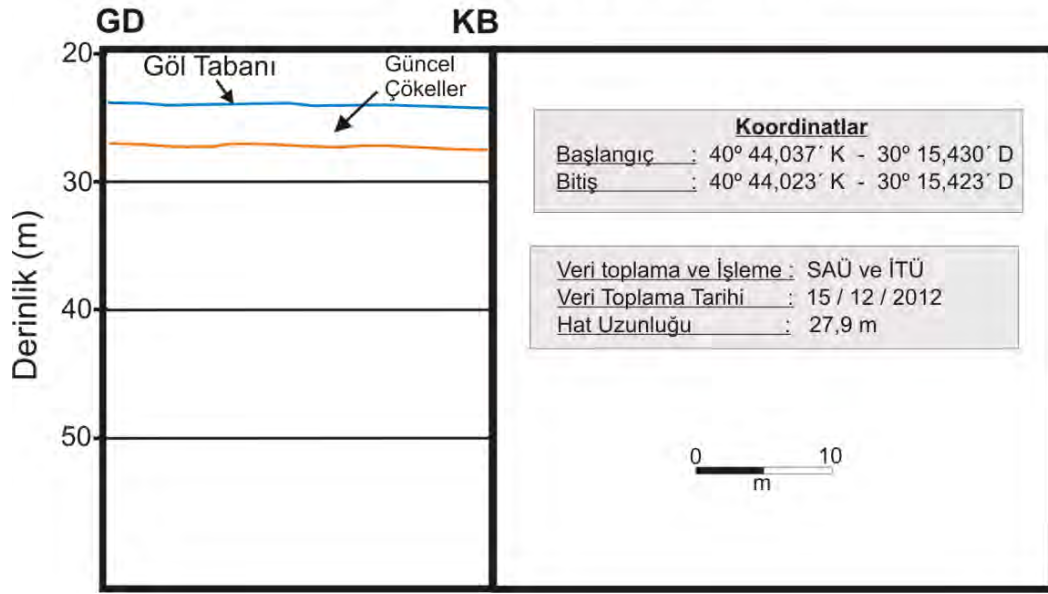
Şekil 35a. 24 Numaralı sismik kesit

24 Nolu Sismik Hat



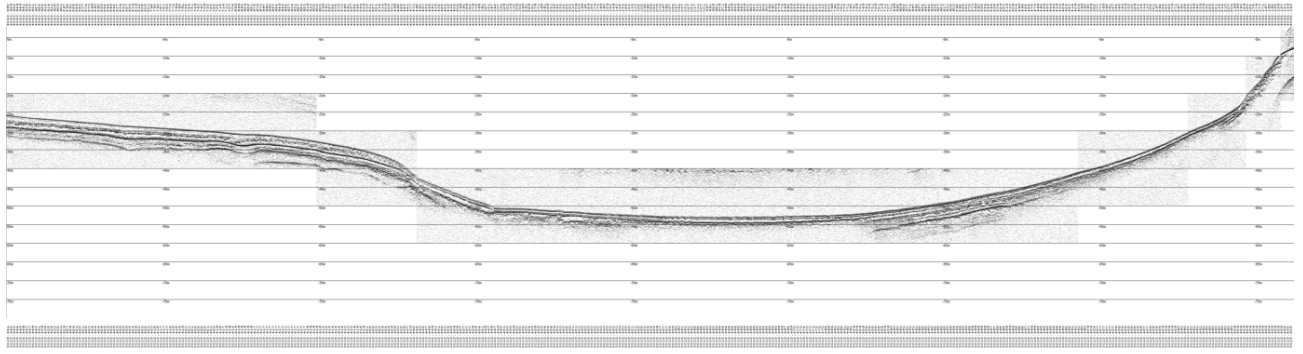
Şekil 35b. 24 Numaralı sismik kesit ve yorumu

24 Nolu Sismik Hat

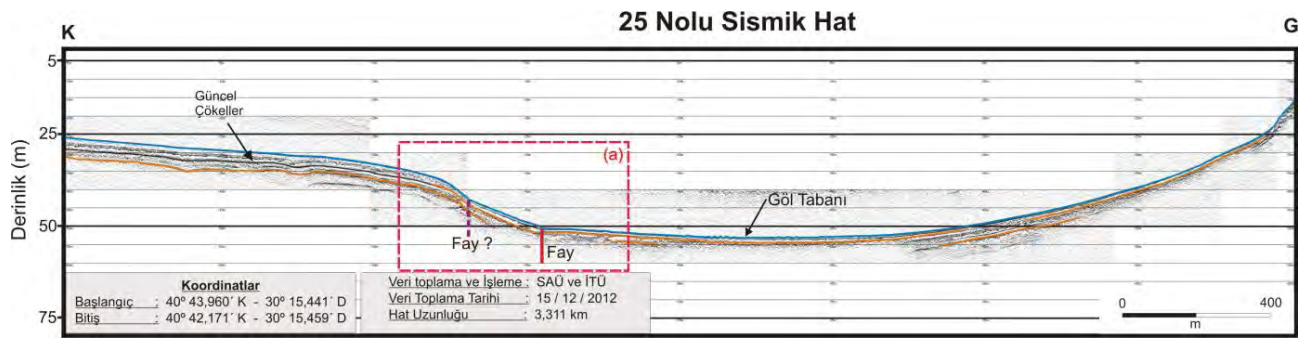


Şekil 35c. 24 Numaralı sismik kesite ait yorumu

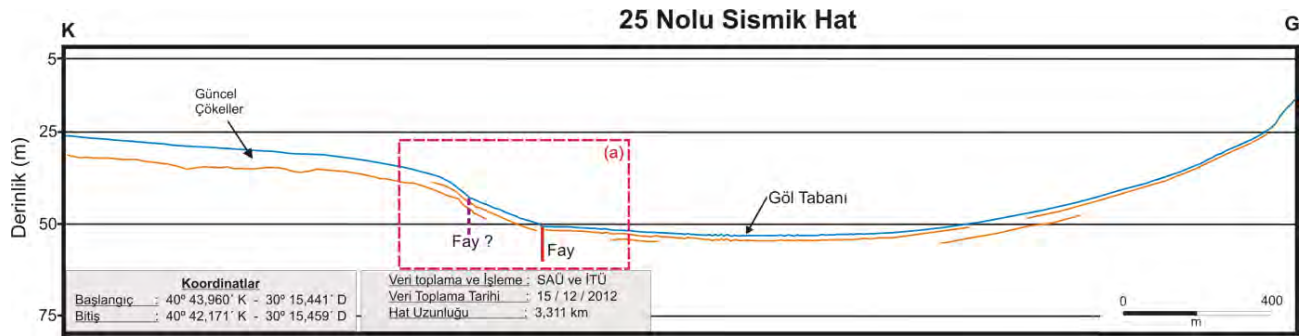
Sediment Echo Sounder SES-96/SES-2000
 Ship : Sismik2
 Transducer : SES-96/2
 Start : -2.00m
 Profile : 25
 Innomar Technologie GmbH
 Area : Sapanca
 Accum : 1/5/1
 BeamComp : yes
 Time : 15.12.2012 18:00:15
 Transducer : S/S
 SoundVel : 1500 m/s



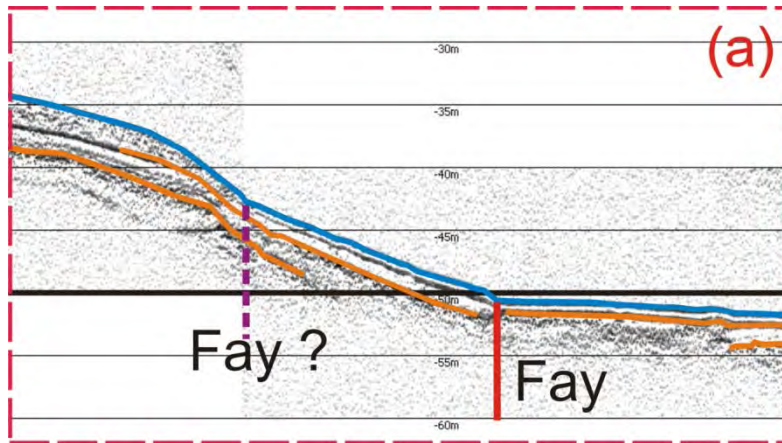
Şekil 36a. 25 Numaralı sismik kesit



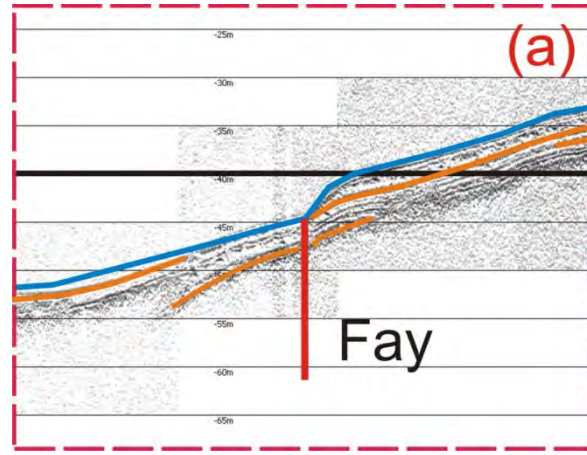
Şekil 36b. 25 Numaralı sismik kesit ve yorumu



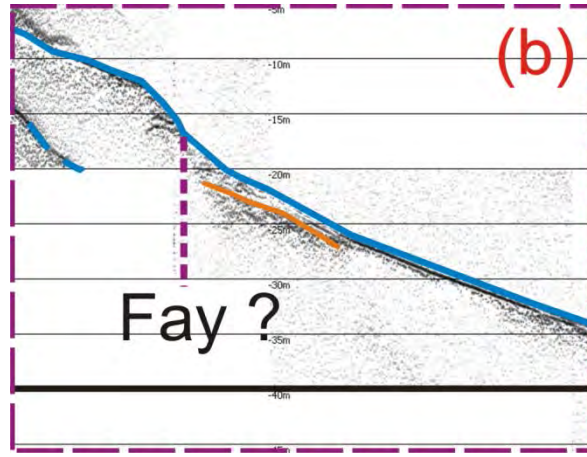
Şekil 36c. 25 Numaralı sismik kesite ait yorum



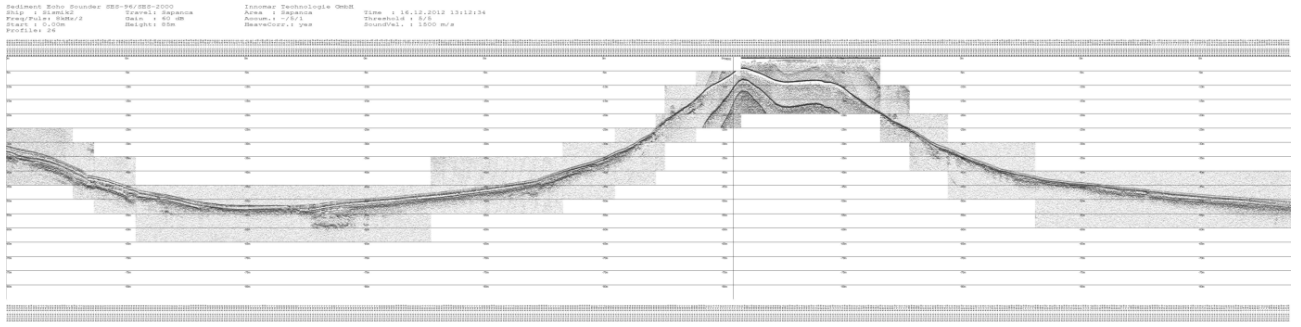
Şekil 36d. 25 Numaralı sismik kesitte tespit edilen Faylı bölgenin (a) detaylı görünümü



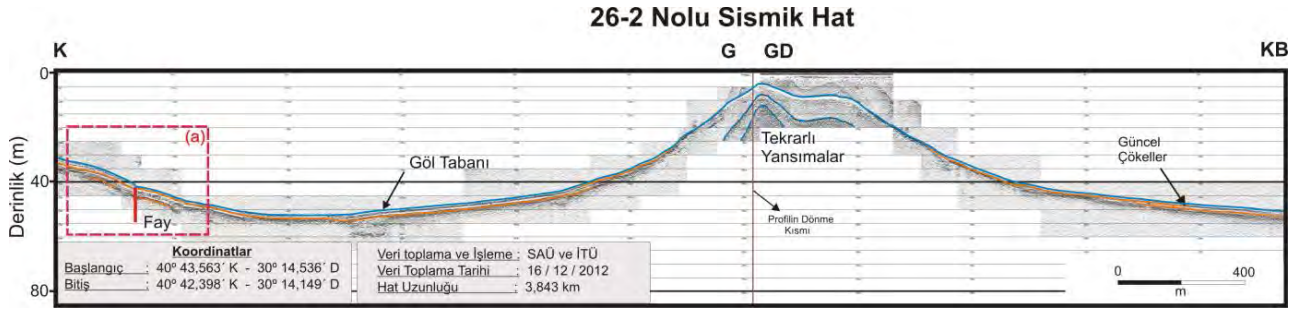
Şekil 37d. 26-1 Numaralı sismik kesitte tespit edilen Faylı bölgenin (a) detaylı görünümü



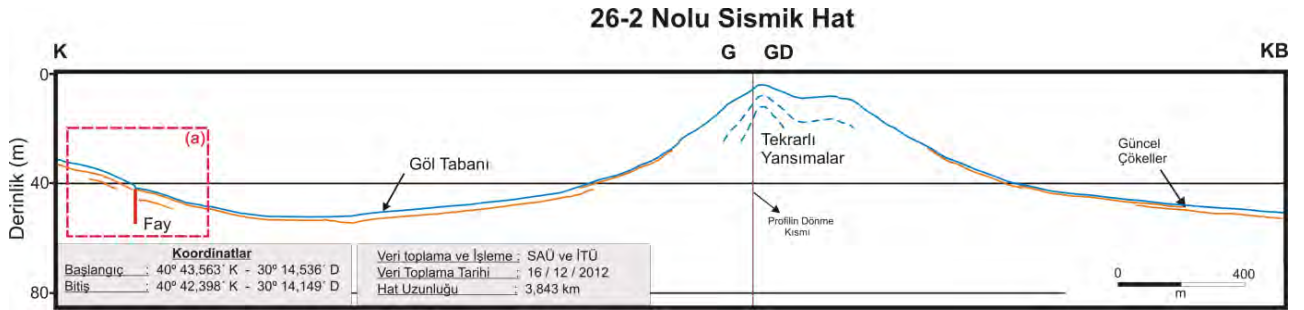
Şekil 37e. 26-1 Numaralı sismik kesitte tespit edilen Faylı bölgenin (b) detaylı görünümü



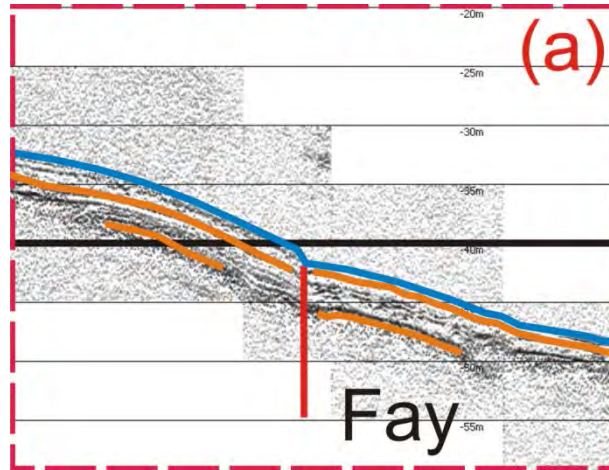
Şekil 38a. 26-2 Numaralı sismik kesit



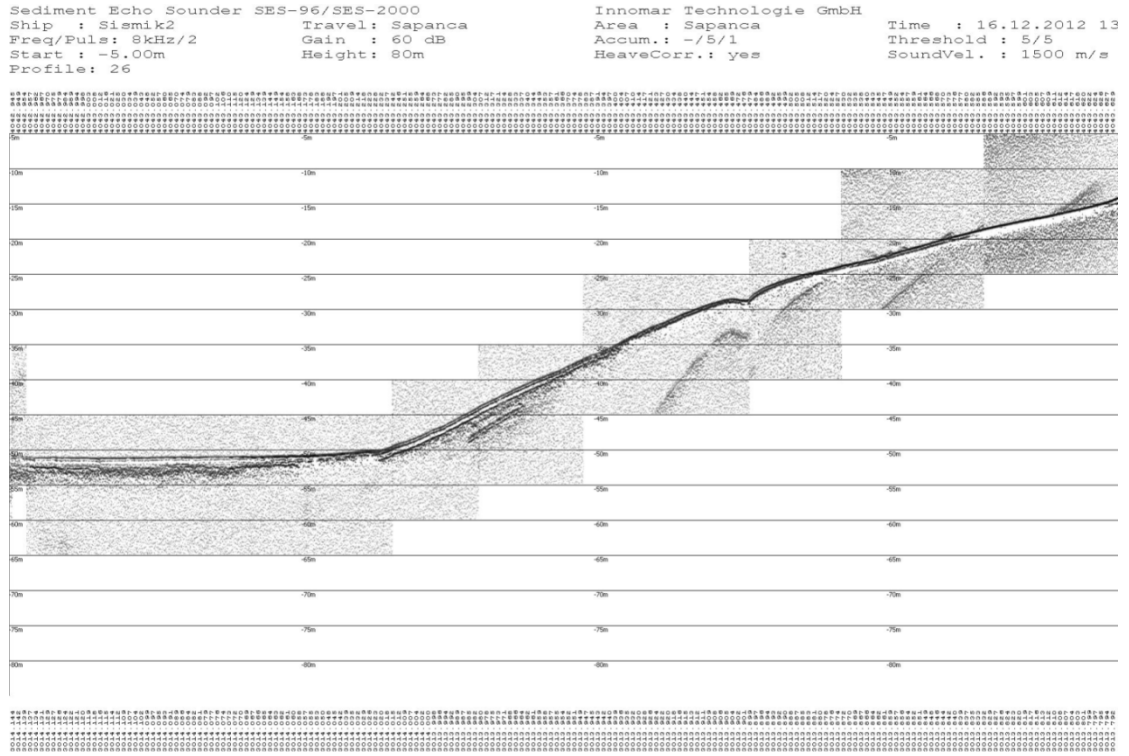
Şekil 38b. 26-2 Numaralı sismik kesit ve yorumu



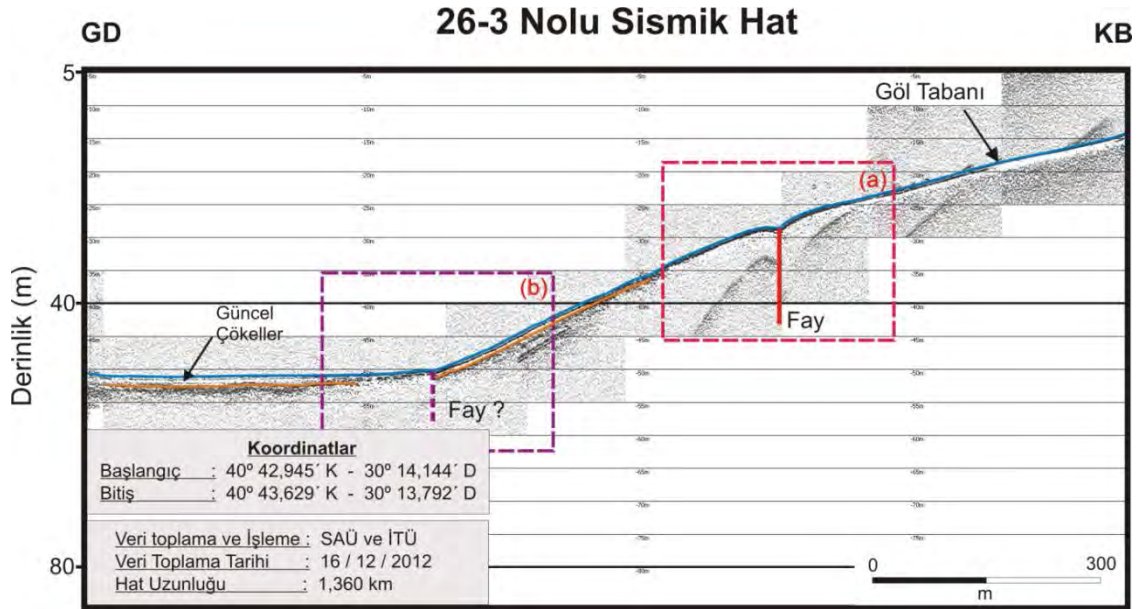
Şekil 38c. 26-2 Numaralı sismik kesite ait yorum



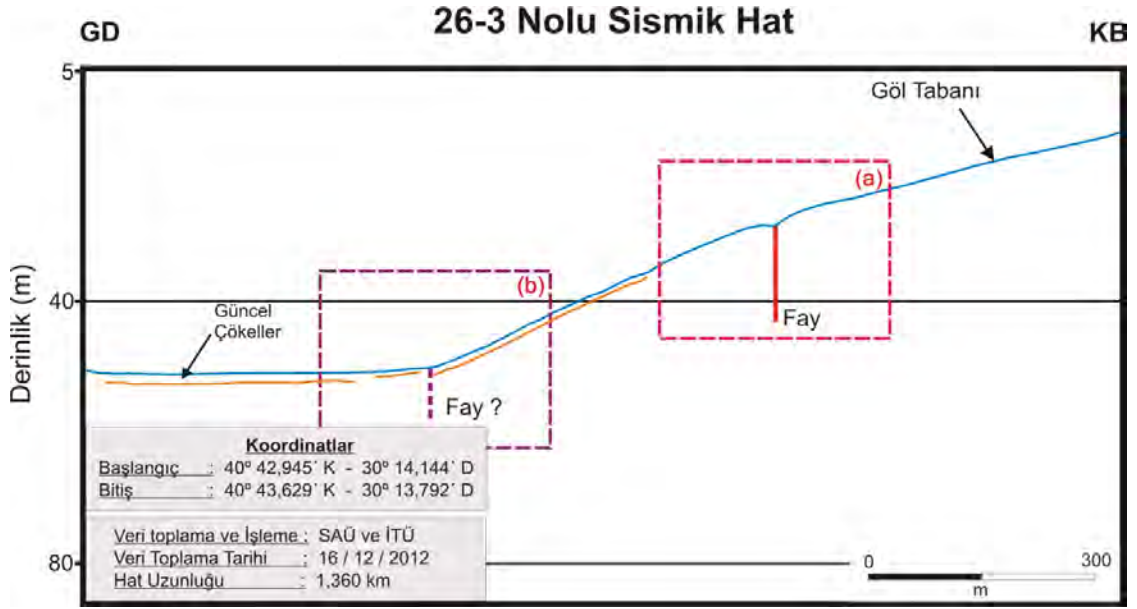
Şekil 38d. 26-2 Numaralı sismik kesitte tespit edilen Faylı bölgenin (a) detaylı görünümü



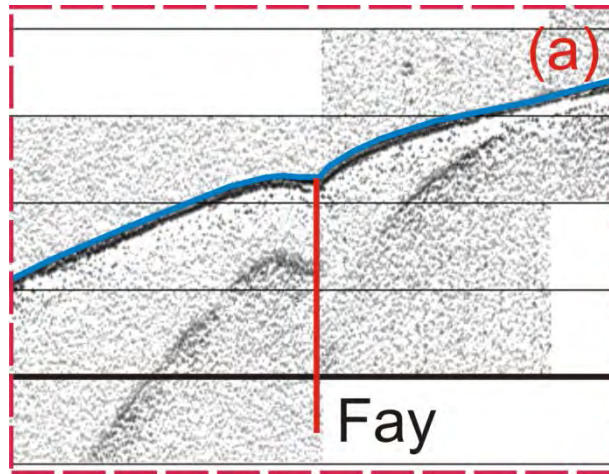
Şekil 39a. 26-3 Numaralı sismik kesit



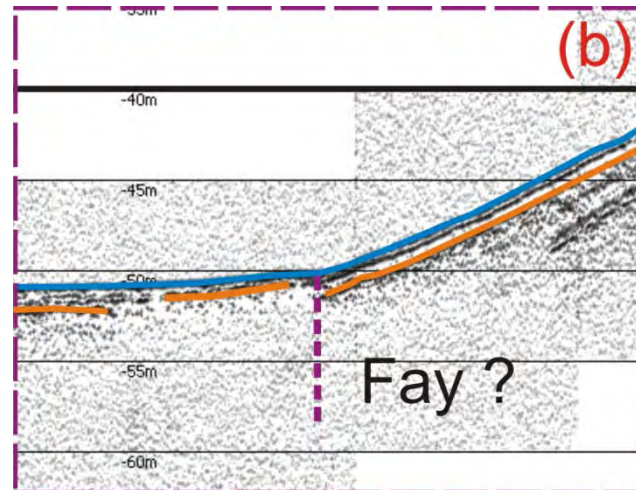
Şekil 39b. 26-3 Numaralı sismik kesit ve yorumu



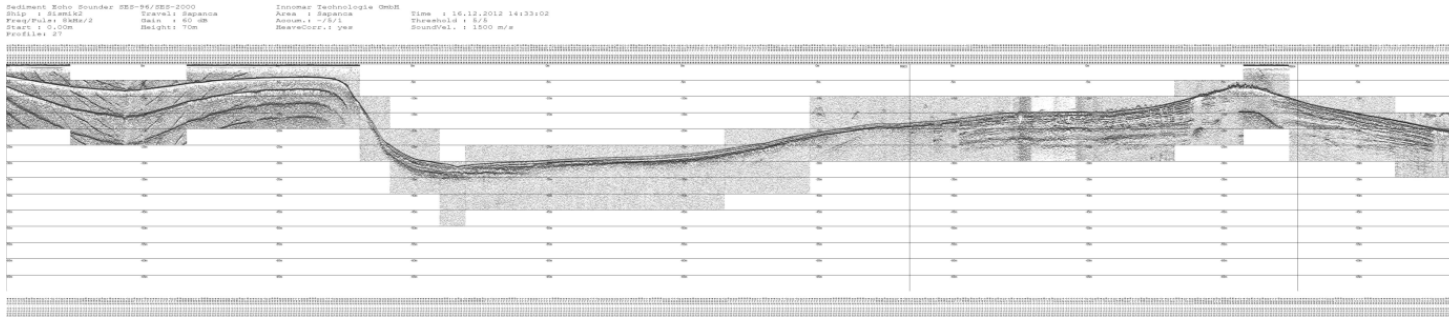
Şekil 39c. 26-3 Numaralı sismik kesite ait yorum



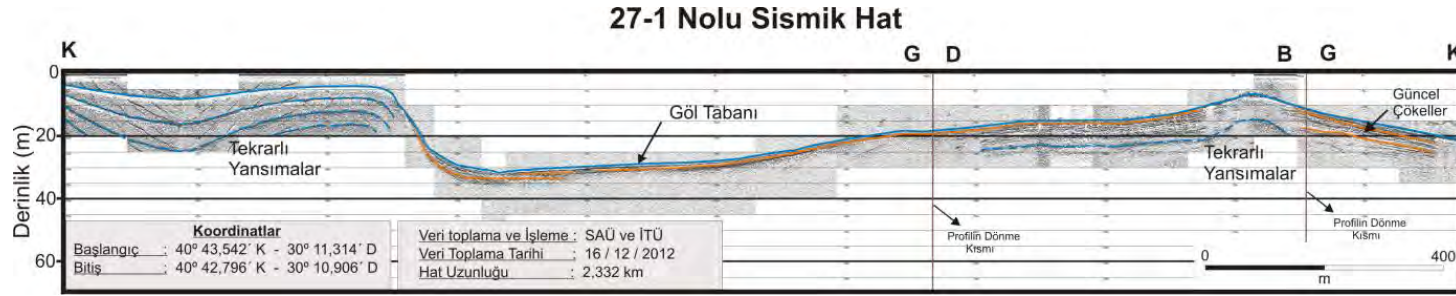
Şekil 39d. 26-3 Numaralı sismik kesitte tespit edilen Faylı bölgenin (b) detaylı görünümü



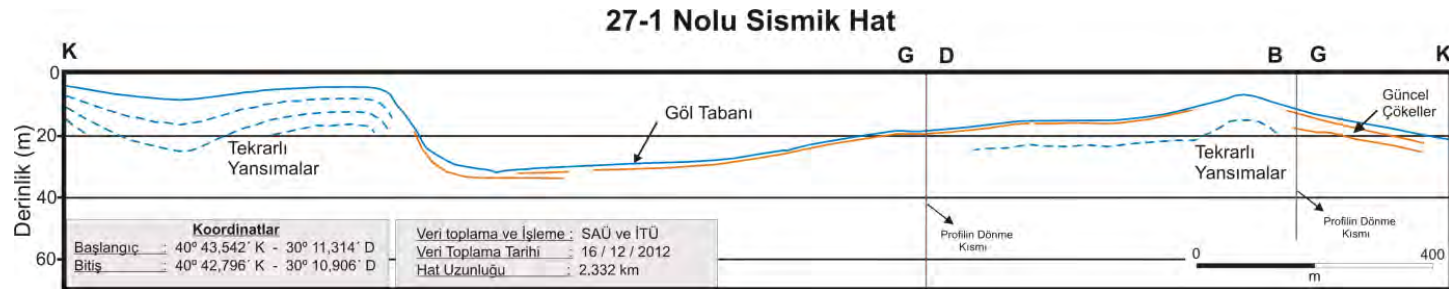
Şekil 39e. 26-3 Numaralı sismik kesitte tespit edilen Faylı bölgenin (a) detaylı görünümü



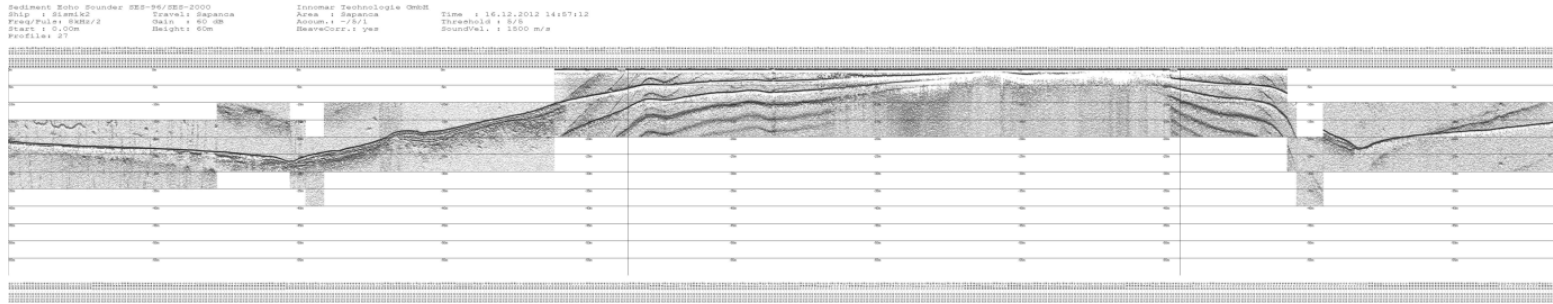
Şekil 40a. 27-1 Numaralı sismik kesit



Şekil 40b. 27-1 Numaralı sismik kesit ve yorumu

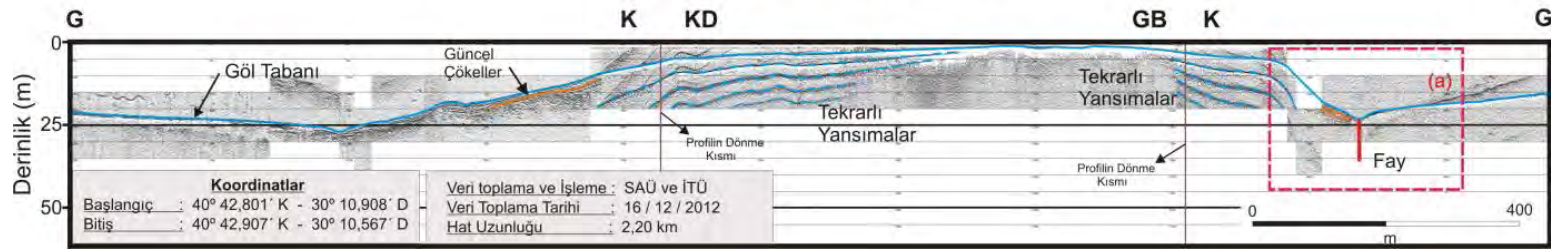


Şekil 40c. 27-1 Numaralı sismik kesite ait yorum



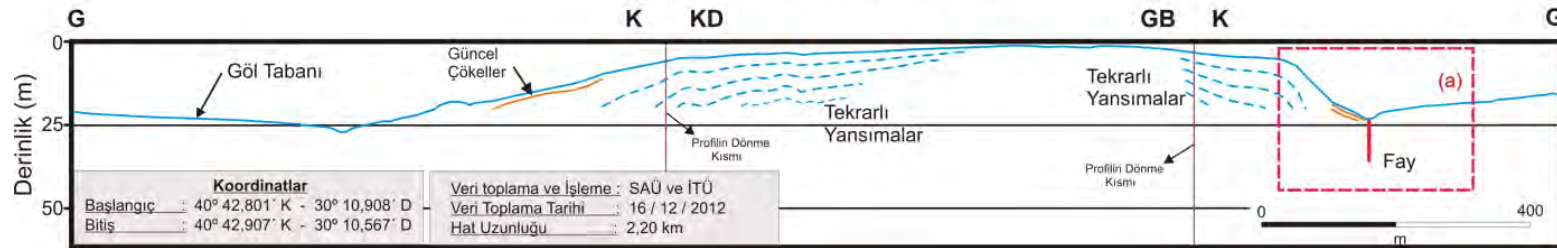
Şekil 41a. 27-2 Numaralı sismik kesit

27-2 Nolu Sismik Hat

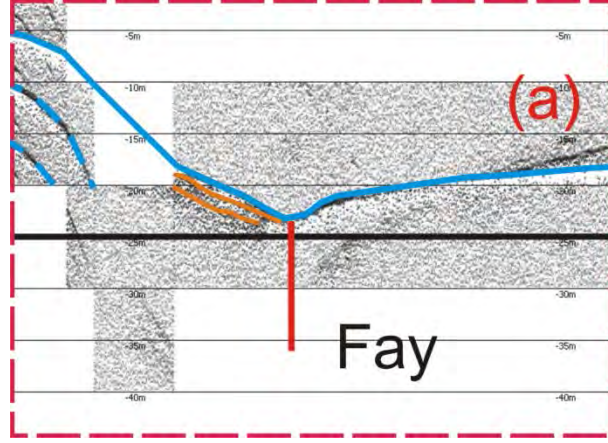


Şekil 41b. 27-2 Numaralı sismik kesit ve yorumu

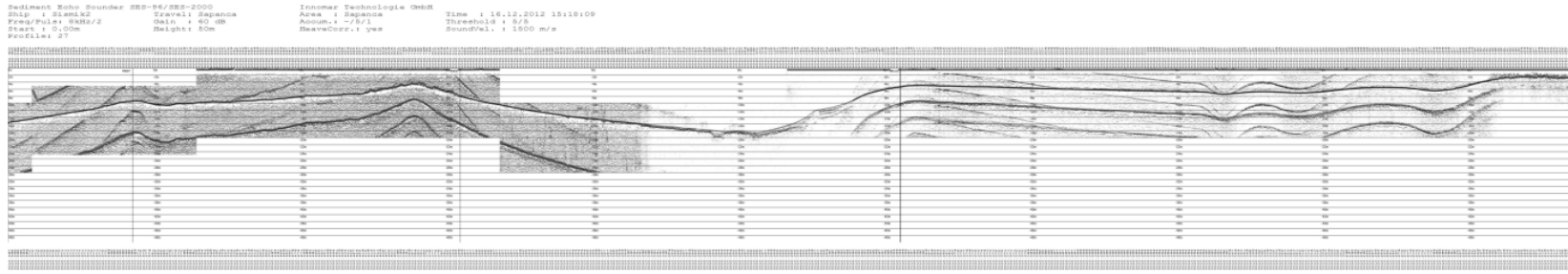
27-2 Nolu Sismik Hat



Şekil 41c. 27-2 Numaralı sismik kesite ait yorum

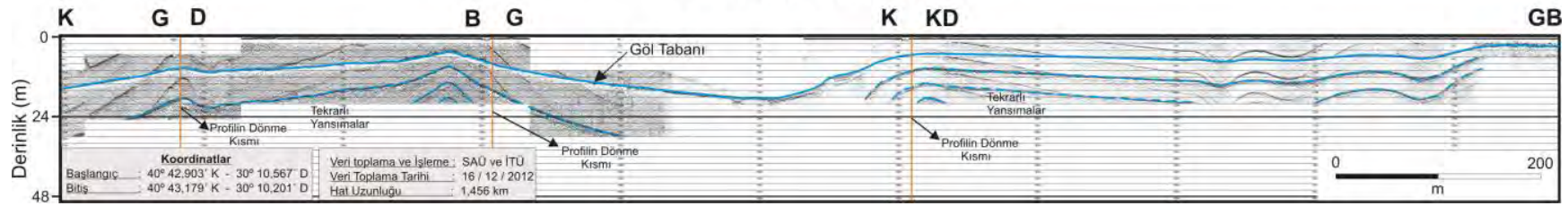


Şekil 41d. 27-2 Numaralı sismik kesitte tespit edilen Faylı bölgenin (a) detaylı görünümü



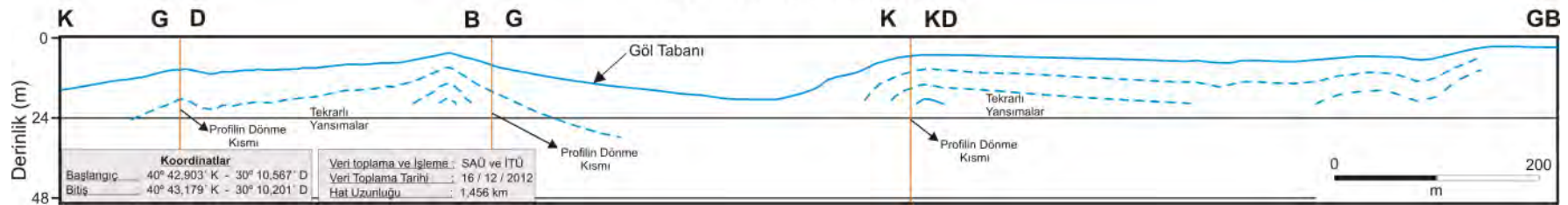
Şekil 42a. 27-3 Numaralı sismik kesit

27-3 Nolu Sismik Hat



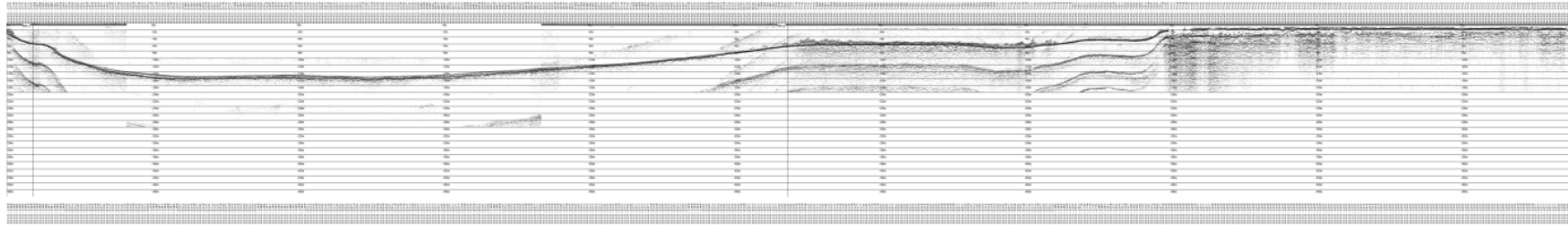
Şekil 42b. 27-3 Numaralı sismik kesit ve yorumu

27-3 Nolu Sismik Hat



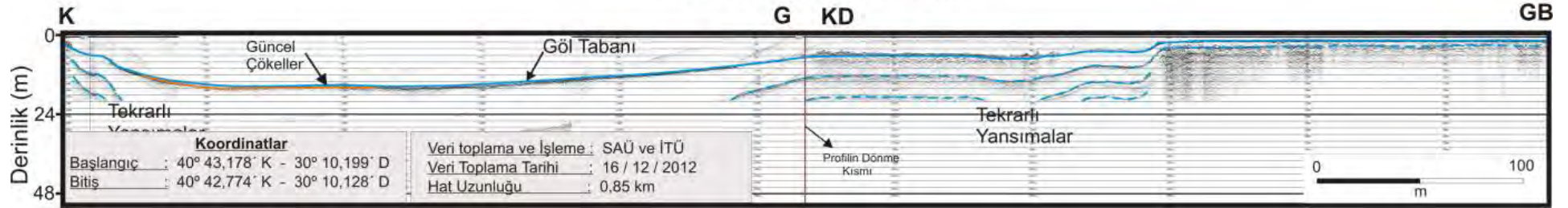
Şekil 42c. 27-3 Numaralı sismik kesite ait yorum

Sediment Echo Sounder SS-16/SS-2000
Ship : Sismik2
Transducer : SSB-2
Beam : 5.0m
Profile : 27
Innovar Technologie GmbH
Area : Sapanca
Acoustic : 75/1
BeamCorrect : yes
Time : 16.12.2012 15:36:51
Threshold : 8/8
SoundVel. : 1500 m/s



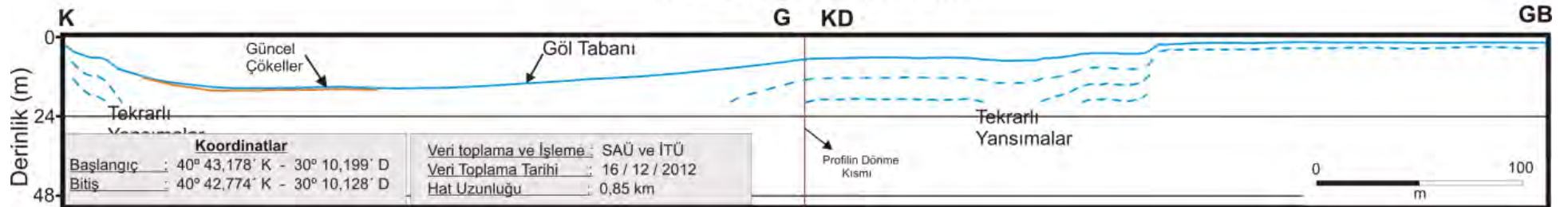
Şekil 43a. 27-4 Numaralı sismik kesit

27-4 Nolu Sismik Hat

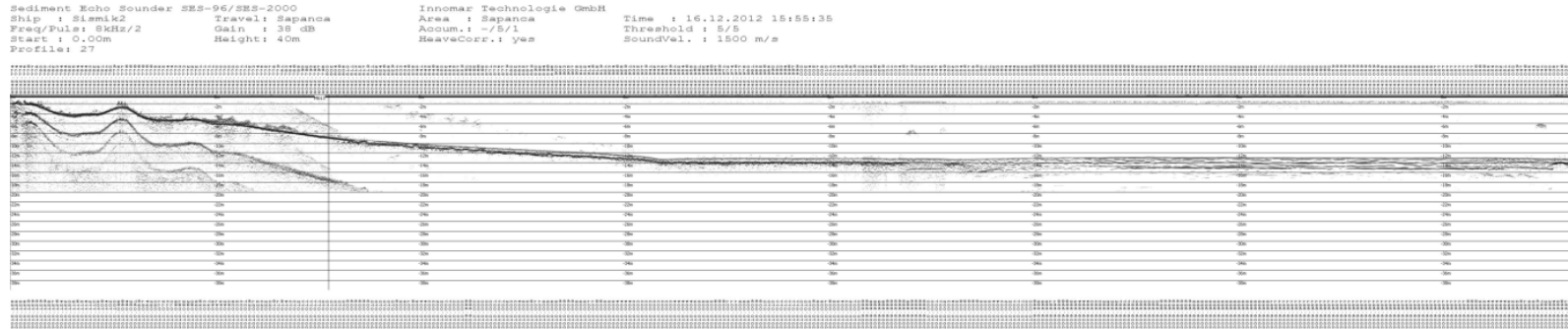


Şekil 43b. 27-4 Numaralı sismik kesit ve yorumu

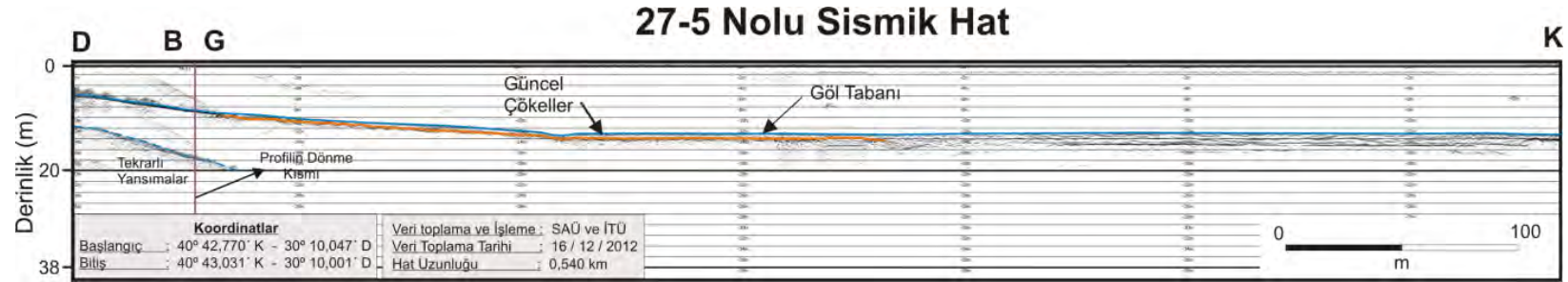
27-4 Nolu Sismik Hat



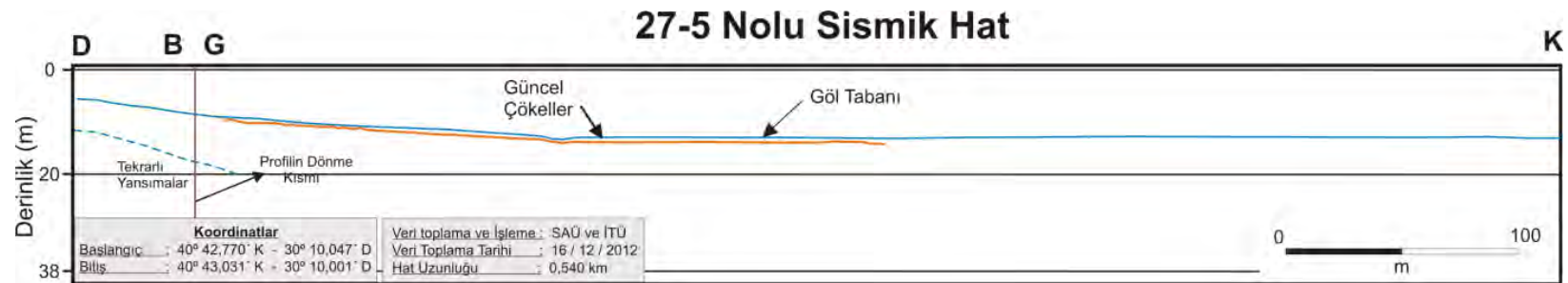
Şekil 43c. 27-4 Numaralı sismik kesite ait yorum



Şekil 44a. 27-5 Numaralı sismik kesit



Şekil 44b. 27-5 Numaralı sismik kesit ve yorumu



Şekil 44c. 27-5 Numaralı sismik kesite ait yorum