

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SAPANCA GÖLÜ ÇÖKELLERİNDE DEPREM KAYNAKLI KÜTLE AKMASI
BİRİMLERİNİN BELİRLENMESİ VE TARİHİ DEPREMLERLE
EŞLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Burak YALAMAZ

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeoloji Mühendisliği Programı

Aralık, 2016

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SAPANCA GÖLÜ ÇÖKELLERİNDE DEPREM KAYNAKLI KÜTLE AKMASI
BİRİMLERİNİN BELİRLENMESİ VE TARİHİ DEPREMLERLE
EŞLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Burak YALAMAZ
(505131302)**

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeoloji Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. M. Namık Çağatay

Aralık, 2016

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 505131302 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi Burak YALAMAZ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “Sapanca Gölü Çökellerinde Deprem Kaynaklı Kütle Akması Birimlerinin Belirlenmesi Ve Tarihi Depremlerle Eşleştirilmesi” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. M. Namık ÇAĞATAY**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Erol SARI**
İstanbul Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Gülsen Uçarkuş
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **02 Aralık 2016**

Savunma Tarihi : **20 Aralık 2016**

ÖNSÖZ

Bu tezin ortaya çıkması için destek veren Türkiye Ulusal Jeodezi ve Jeofizik Birliğine (TUJJB-UDP-03-10 no'lu proje), İTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine (39654 no'lu BAP projesi) ve İTÜ EMCOL Araştırma Merkezine, tezim boyunca bana yol gösteren, hertürlü laboratuvar imkanı sağlayan, beni bu alanda yetiştiren ve desteğini esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. M. Namık Çağatay'a, karot alımındaki destekleri ve jeofiziksel çalışmaları için projede yer alan ekibe, ayrıca başta proje yürütücüsü Prof. Dr. Levent Gülen ve Prof. Dr. Emin Demirbağ'a projelerinde yer almamı sağlayarak bu tezi oluşturma imkanı verdikleri için, Nurdan Güngör ve Emin Güngör'e yaşlandırma çalışmalarındaki yardımları için, laboratuvar çalışmalarında büyük emeği geçen Dursun Acar'a manevi desteği için, soru ve sorunlarımda yılmadan tüm sabrıyla bana yardımcı olan, yol gösteren ve manevi destek veren Yrd. Doç. Dr. Demet Biltekin'e, Dr. Cengiz Zabcı'ya, EMCOL Araştırma Merkezinden Doç. Dr. K. Kadir Eriş, Yrd. Doç. Dr. Nazlı Olgun Kıyak, Yrd. Doç. Dr. Gülsen Uçarkuş, Gülüm Albut, Nazik Öğretmen, Cansu Demirel, Güliz Yıldız, Nurettin Yakupoğlu, Asen Sabuncu ve Betül Filikçi'ye yardımları, anlayışları ve manevi destekleri için, ailem Nedim ve Gülseren Yalamaz'a hayatım boyunca gösterdikleri sınırsız sabır, maddi ve manevi destek, anlayış ve zor zamanlarında bile esirgemedikleri teşvikleri için, kardeşim Ali Yalamaz'a anlayışı ve desteği için, ayrıca hayatta bana yardımcı olmuş, desteklemiş herkese çok teşekkür ederim.

Aralık, 2016

Burak YALAMAZ

Jeoloji Mühendisi

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	iii
KISALTMALAR	vii
SEMBOLLER	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1.GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı.....	1
1.2 Literatür Araştırması	3
1.3 Su Altı Paleosismolojisinin Diğer Paleosismoloji Çalışmalarından Farkı.....	8
1.4 Çalışma Alanı ve Coğrafi Özellikleri.....	9
1.5 Çalışma Alanının Jeolojisi	11
1.6 Çalışma Alanının Depremselliği ve Tektonik Durumu	12
2. KULLANILAN EKİPMAN VE YÖNTEMLER	17
2.1 Göl Tabanından Çökel Örneklenmesi ve Litolojilerinin tanımlanması	17
2.2 Jeokimya Analizleri	17
2.2.1 XRF karot tarayıcısı analizleri	17
2.2.2 Toplam organik karbon ve inorganik karbon analizleri (TOK-TİK)	19
2.2.3 ¹⁴ C yaş tayinleri	20
2.2.4 ²¹⁰ Pb ve ¹³⁷ Cs analizleri	20
2.3 Fiziksel Özellikler	21
2.3.1 Çok sensörlü karot log alıcısı (MSCL) Analizleri	21
2.3.2 Tane boyu analizleri.....	23
3. SONUÇLARIN SUNUMU	25
3.1 Karotların Litolojisi ve Radyografisi	25
3.2 Karotların Kronolojisi	28
3.3 Karotların Fiziksel Özellikleri.....	30
3.3.1 Tane boyu özellikleri.....	30
3.3.2 Karotların MSCL sonuçları.....	33

3.4 Karotların Jeokimyası	37
3.4.1 Karotların organik karbon jeokimyası.....	37
3.4.2 XRF karot tarayıcı analizleri	40
4. SONUÇLARIN TARTIŞILMASI VE YORUMLAR.....	47
4.1 Kütle Akması Birimlerinin Kökeni	47
4.2 Sismo-Türbidit Birimlerinin Yaşları ve Tarihi Depremlerle Eşleştirilmesi.....	59
4.3 Kütle Akması Birimlerinin Kalınlığını Etkileyen Parametreler.....	59
4.4 Bölgenin Deprem Riski	62
5. SONUÇLAR	72
KAYNAKLAR.....	74
ÖZGEÇMİŞ.....	81

KISALTMALAR

AMS	: Hızlandırıcı kütle spektrometresi (Accelerator Mass Spectrometry)
DEP.	: Deprem
ICDP	: Uluslararası Kıtasal Sondaj Programı
GD	: Gama yoğunluk (Gama Density)
HCl	: Hidroklorik asit
KAF	: Kuzey Anadolu Fayı
KAFZ	: Kuzey Anadolu Fay Zonu
Man. Duy.	: Manyetik duyarlılık
ml	: Mililitre
MSCL	: Çok Sensörlü Karot Tarayıcı (Multi Sensor Core Logger)
IODP	: Uluslararası Okyanus Keşif Programı
Ort	: Ortalama
Rpm	: Dakikada devir sayısı (Revolution per minute)
SED.	: Sediman
ST	: Sismo-türbidit
T.B.D.	: Tane Boyu Dağılımı
TH	: Türbidit-Homojenit
TİK	: Toplam İnorganik Karbon
TK	: Toplam Karbon
TOK	: Toplam Organik Karbon
TUJJP	: Türkiye Ulusal Jeodezi ve Jeofizik Birliği
XRD	: X ışını kırınım yöntemi
μ-XRF	: Mikro-X ışını Floresans (micro-X-Ray Fluorescence)

SEMBOLLER

^{14}C	: Karbon 14 İzotopu
$\delta^{13}\text{C}$	: $\left(\left(\frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}}\right)_{\text{örnek}} - \left(\frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}}\right)_{\text{Standart}}\right) \times 1000\text{‰}$
Cps	: Saniyede Sayım Sayısı
^{137}Cs	: Sezyum 137 İzotopu
Mw	: Deprem Moment Büyüklüğü
$\delta^{18}\text{O}$	: $\left(\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}\right)_{\text{örnek}} - \left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}\right)_{\text{Standart}}\right) / \left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}\right)_{\text{Standart}} \times 1000\text{‰}$
^{210}Pb	: Kurşun 210

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1: Karotların koordinatları, su derinliği ve uzunluk bilgilerini gösteren tablo.....	2
Çizelge 4.1: Sismo-türbidit birimleri ile eşleştirilen depremlerin adları ve oluş yıllarını gösteren tablo.....	60
Çizelge 4.2: Sapanca3 karotunda belirlenen sismo-türbidit birimlerini oluşturan depremler arasında çökelen normal göl çökellerinin, iki deprem arasında geçen süreden hesaplanan gerçek yaşları, çökellerin karottaki kalınlıkları ve kalınlıklarının sedimantasyon hızına (1.8 mm/yıl) oranından hesaplanan yaşlarını gösteren tablo.....	62
Çizelge 4.3: Sapanca3 karotundan hesaplanan iki deprem arasında olması gereken çökel kalınlığı miktarı, karotta olan çökel kalınlığı ile bunların arasındaki farktan hesaplanan son depremin aşındırdığı çökel miktarını gösteren tablo.....	69

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Çalışma alanını ve yakın çevresiden geçen Kuzey Anadolu Fayının uzanımını gösteren yer bulduru haritası	2
Şekil 1.2: Sapanca gölünden alınan karotların sismik kesit üzerindeki yerleri ve koordinatları.....	2
Şekil 1.3: Devlet Su İşleri tarafından 2002 yılında yapılan Sapanca Gölünün derinlik haritası.....	2
Şekil 1.4: Sapanca gölünden geçen Kuzey Anadolu Fayının ve gölden alınan karotlarının lokasyon haritası.....	10
Şekil 1.5: Sapanca gölünün drenaj sahası ve çevre jeolojisini gösteren harita (Gürbüz ve Gürer, 2008a).....	11
Şekil 1.6: Sapanca Gölü ve çevresinin 3D topografya modeli ve jeolojisi (Bol, 2003).....	12
Şekil 1.7: Sapanca gölü ve çevresinin 3D’lu tektonik ve yapısal unsurlarının modellemesi (Gürbüz ve Gürer, 2008).....	13
Şekil 1.8: Sakarya havzası ve yakın çevresi için basitleştirilmiş stratigrafik kesit.....	14
Şekil 1.9: A:Türkiye ve çevresinin tektonik unsurlarını gösteren harita (Hempton 1987; Koçyiğit vd., 2001), B: Kuzey doğu Marmara Bölgesinde KAFZ’nun uzanımı (Bozkurt vd., 2001), C: Sapanca Göl ve çevresinin yapısal jeolojisi (Koçyiğit vd., 1988).....	15
Şekil 1.10: Sapanca Gölü ve çevresinde KAFZ’nun segmentlerini ve kırıklarını gösteren harita (Lettis vd., 2002).....	15
Şekil 2.1 : ITU-EMCOL laboratuvarındaki ITRAX mikro XRF karot tarayıcısı.....	19
Şekil 2.2: MSCL cihazının şematik gösterimi.....	23
Şekil 3.1: Sapanca1 karotunun litolojik tanımlaması.....	27
Şekil 3.2: Sapanca2 karotunun litolojik tanımlaması.....	27
Şekil 3.3: Sapanca3 karotunun litolojik tanımlaması.....	28
Şekil 3.4: Sapanca3 karotuna ait ²¹⁰ Pb ve ¹³⁷ Cs radyonüklid yaş analizi sonuçları ve sismo-türbidit birimlerinin geçmiş depremlerle korelasyonun grafiği.....	30
Şekil 3.5: Sapanca1 karotunun tane boyu dağılımının ve özelliklerinin logu.....	32
Şekil 3.6: Sapanca2 karotunun tane boyu dağılımının ve özelliklerinin logu.....	33
Şekil 3.7: Sapanca3 karotunun tane boyu dağılımının ve özelliklerinin logu.....	34
Şekil 3.8: Sapanca1 karotunun MSCL analizleri sonucunda elde edilen gama yoğunluk ve manyetik duyarlılık profili.....	35
Şekil 3.9: Sapanca2 karotunun MSCL analizleri sonucunda elde edilen gama yoğunluk ve manyetik duyarlılık profili.....	36
Şekil 3.10: Sapanca3 karotunun MSCL analizleri sonucunda elde edilen gama yoğunluk ve manyetik duyarlılık profili.....	37
Şekil 3.11: Sapanca1 karotunun toplam karbon, inorganik karbon, organik karbon logları.....	38
Şekil 3.12: Sapanca2 karotunun toplam karbon, inorganik karbon, organik karbon logları.....	39

Şekil 3.13: Sapanca3 karotunun toplam karbon, inorganik karbon, organik karbon logları.....	40
Şekil 3.14: Sapanca1 Karotunun XRF elemental analiz sonuçlarının logu.....	43
Şekil 3.15: Sapanca2 Karotunun XRF elemental analiz sonuçlarının logu.....	44
Şekil 3.16: Sapanca3 Karotunun XRF elemental analiz sonuçlarının logu.....	45
Şekil 4.1: Fleitmann ve diğ. (2009)'nin Sofular Mağarasından alınan speleolog örneğinde yaptıkları $\delta^{13}\text{C}$ analizi sonuçlarına göre bölgenin son 250 yıldaki iklimsel değişimlerini gösteren grafik.....	51
Şekil 4.2: Sapanca1 karotunda sismo-türbiditleri belirlemede kullanılan parametrelere ait grafikler ve belirlenen sismo-türbidit seviyeleri.....	52
Şekil 4.3: Sapanca2 karotunda sismo-türbiditleri belirlemede kullanılan parametrelere ait grafikler ve belirlenen sismo-türbidit seviyeleri.....	53
Şekil 4.4: Sapanca3 karotunda sismo-türbiditleri belirlemede kullanılan parametrelere ait grafikler ve belirlene sismo-türbidit seviyeleri.....	54
Şekil 4.5: Sapanca gölünde sismotürbidit oluşumunun empirik modellemesi.....	55
Şekil 4.6: Sapanca karotlarının radyografileri ve tane boyu dağılımları kullanılarak kütle akması birimlerinin (TH) korelasyonu.....	56
Şekil 4.7: Sapanca karotlarının TİK ve TOK değerleri kullanılarak kütle akması birimlerinin (TH) korelasyonu.....	57
Şekil 4.8: Sapanca karotlarının XRF verilerinden hazırlanmış Ca/Ti grafikleri kullanılarak kütle akması birimlerinin (TH) korelasyonu.....	57
Şekil 4.9: Sapanca karotlarının XRF verilerinden hazırlanmış kırıntı girdisini gösteren (Si+K+Ti+Rb) grafikler kullanılarak kütle akması birimlerinin (TH) korelasyonu.....	58
Şekil 4.10: Sapanca karotlarının MSCL verilerinden hazırlanmış manyetik duyarlılık ve gama yoğunluk grafikleri kullanılarak kütle akması birimlerinin (TH) korelasyonu.....	58
Şekil 4.11: Sismo-türbiditlerin kalınlığını etkileyen deprem parametrelerinin (depremin büyüklüğü, deprem merkezinin depolanma alanına uzaklığı, depremin derinliği, gölün simetrisi) 3 boyutlu diyagramda gösterimi.....	65
Şekil 4.12: Sapanca3 karotunda bölgedeki son 250 yılda olmuş depremlere ait Büyüklük-Uzaklık, Çökel Kalınlığı- Çökel Birikim Zamanı, Türbidit Kalınlığı ve Deprem Şiddeti grafikleri.....	67
Şekil 4.13: Sapanca3 karotundaki sismo-türbidit birimlerinin kalınlıklarının, bu birimleri oluşturan depremlerin büyüklüğüne (A), deprem odak merkezinin göle olan uzaklığına (B), bir önceki depremden itibaren geçen süreye (C) ve deprem büyüklüğü ve odak noktası uzaklığı kullanılarak gölde hissedilen deprem şiddetine göre değişimlerini ve bu veriler arasındaki korelasyon katsayısını (r) gösteren grafikler.....	68
Şekil 4.14: Sismo-türbiditlerin kalınlığını etkileyen parametrelerden korelasyon katsayısı en yüksek çıkan deprem odak noktasının uzaklığı ve hissedilen deprem şiddetinin sismo-türbidit kalınlığına göre değişimlerini gösteren üç eksenli grafik.....	70
Şekil 4.15: Sapanca gölünün çevresinde olmuş tarihsel depremlerin yerini, büyüklüklerini ve kırılma zonlarını gösteren fay haritası (Emre vd., 2013)....	71

SAPANCA GÖLÜ ÇÖKELLERİNDE DEPREM KAYNAKLI KÜTLE AKMASI BİRİMLERİNİN BELİRLENMESİ VE TARİHİ DEPREMLERLE EŞLEŞTİRİLMESİ

ÖZET

Sapanca Gölü, Türkiye'nin kuzeybatısında, Marmara bölgesinde, İzmit ve Sakarya illeri arasında yer alan en derin yerleri 50-55 metre arasında değişen, doğu batı eksenini 15.79 km, kuzey güney eksenini 5.44 km uzunluğunda ve yüzölçümü 46.9 km² olan tatlı su gölüdür. Göl, yıllarca bölgenin içme suyu ihtiyacını karşılamıştır.

Çalışma alanı, Türkiye'nin kuzeyinde Avrasya ve Anadolu levhalarının sınırını oluşturan sağ yanal doğrultu atımlı Kuzey Anadolu Fay Zonunun (KAFZ) tektonik aktiviteleri sonucunda çek ayr havza olarak oluşmuş ve KAFZ'nun Marmara Bölgesindeki en aktif olan kuzey kolunun üzerinde yer almaktadır. Gölün çevresinde bu fay zonuna ait birçok segment bulunmakta ve bu segmentler belirli aralıklarla deprem üretmektedir. Bundan dolayı geçmişte bölgede birçok büyük deprem olmuştur. Bu çalışmanın amacı, bölgede geçmişte olmuş depremlerin sarsıntıları ile meydana gelen türbidit akıntılarının oluşturduğu kütle akması birimlerini (sismo-türbidit) çok disiplinli analiz yöntemleri ile tespit edip, tarihlendirerek geçmiş depremlerle eşleştirip, bölgenin deprem riskine değinmek ve sismo-türbidit birimlerinin oluşum mekanizmasını incelemektir.

Bu amaçla TUJJB-UDP-03-10 no'lu proje kapsamında gölde yapılan sismik çalışmalar sonucunda yerleri belirlenen ve boyları 42,5 cm'den 75,5 cm'ye giden üç adet su-sediman ara yüzeyi (interface- gravite) karotları alınarak çalışılmıştır. Karotlarda sistematik bir şekilde sedimantolojik, jeokimyasal ve fiziksel analizler yapılarak sismo-türbidit birimleri ayıklanmıştır. Laboratuvar çalışmalarında karotların litolojileri tanımlandıktan sonra fiziksel özellikler için Çok Sensörlü Karot Loglayıcısı (MSCL) ve radyografi çekimi, jeokimyasal özellikler için μ -XRF element analizi ve toplam karbon, toplam inorganik karbon ve organik karbon analizi, sedimantolojik özellikler için ise tane boyu analizi yapılmıştır. Karotlar radyonüklid (²¹⁰Pb ve ¹³⁷Cs) ve radyokarbon (¹⁴C) yöntemleri ile tarihlendirilmiştir..

Yapılan çalışmalar sonucunda yedi adet sismo-türbidit, normal göl çökellerinden kaba taneli, yüksek gama yoğunluk, yüksek manyetik duyarlılık ve detritik girdi içeriği ile düşük karbonat ve düşük organik karbon içerikleri ile ayıklanmıştır. Belirlenen sismo-türbiditler yaşlandırılarak geçmiş depremler ile eşleştirilmiştir. Bu eşlemeye göre ilk sismo-türbidit birimi (TH1) 1999 İzmit ve Düzce Depremlerinin, ikincisi (TH2) 1967 Mudurnu Depreminin, üçüncüsü (TH3) 1957 Abant Depreminin, dördüncüsü (TH4) 1943 Hendek Depreminin, beşincisi (TH5) 1894 Marmara Depreminin, altıncısı (TH6) 1878 Eşme Depreminin ve yedincisi (TH7) ise 1754 İzmit Depreminin tetiklemesiyle oluşmuştur.

Sismo-türbidit birimlerini oluşturan depremlerin genel özellikleri ile çalışma alanına ait genel özellikler belirlenmiş ve bunların sismo-türbidit kalınlığına olan etkileri tartışılmıştır. Ayrıca iki deprem arasında geçen sürede çökmesi gereken çökel

kalınlığı belirlenmiş ve karotlarda belirlenen çökel kalınlığına göre aşınan çökel kalınlığı hesaplanmıştır.

Ayrıca çalışma ışığında sismo-türbiditlerin kalınlığını etkileyen depremsel ve çevresel faktörler de tartışılmıştır. Bu kapsamda geçmiş depremlerin büyüklüğü ile çalışma alanına uzaklığından, şiddetleri belirlenmiş, depremler arası geçen zaman süresince biriken çökel kalınlığı hesaplamaları yapılmıştır. Buna göre deprem odak noktasına uzaklık ve depremin şiddeti ile sismotürbidit kalınlığı arasında anlamlı istatistiksel ilişki bulunmuştur.

Bu sonuçlar ışığında bölgedeki deprem tekrarlanma süreleri dikkate alınırsa, 1719 depreminin olduğu segmentte 1967 Mudurnu Depremi, 1754 depreminin olduğu segmentte 1999 İzmit depremi olmuştur. 1754 depreminden sonra 124 yıllık intersismik sürece geçilmiştir. Bunun anlamı 1999 İzmit depreminden sonra yeni bir intersismik dönem başlamış ve önümüzdeki 100 yıl içinde KAFZ'nun kuzey kolunda çalışma alanı çevresindeki segmentlerinde büyük bir deprem beklenmemektedir.

DETERMINATION OF EARTHQUAKE MASS FLOW UNITS IN LAKE SAPANCA SEDIMENT AND CORRELATION WITH HISTORICAL EARTHQUAKES

SUMMARY

Lake Sapanca has a maximum depth of 55 m and a surface area of 46.8 km², measuring 16 km in East-West and 5 km in North-South directions. The lake is important to the Marmara region because of its freshwater character and has been used as a source of drinking water by this most populated region of Turkey. The catchment area of Lake Sapanca is surrounded by mountains in the south and small hills in the north. Water is taken from the Lake for domestic and industrial needs. Several streams and ground water entering from the bottom feed the lake. There is only one stream draining the lake.

The margins of Lake Sapanca are defined by a series of mountain ranges. The Samanlı Mountains to the south of the study area were uplifted as a pressure ridge structure and isolated from the surrounding morphology between the northern and southern strands of the North Anatolian Fault Zone (NAFZ). Lake Sapanca is located on a tectonic hole, which is situated between Izmit Bay and Adapazari Meadow and runs parallel to Iznik Lake.

The mountain ranges are composed of Paleozoic to Early Tertiary metamorphic and sedimentary rocks which form the basement of the region. On the Eşme front of the Kocaeli Peneplain to the north of the lake, Paleozoic-Early Tertiary rocks crop out as uplifted basement against the Plio-Quaternary units and consist of sandstone, clayey limestone, marl and interbedded sandstone, shale and siltstone. The Sapanca front of the Samanlı Mountains, situated on the southern margin of the lake, consists of Paleozoic-Mesozoic rocks that include metamorphic (schist, marble, gneiss and quartzite) and meta-ophiolitic rocks (peridotite, gabbro and amphibolite).

Lake Sapanca developed with its East-West trending elongated morphology on the Izmit-Sapanca Corridor and the floor of the depression is filled with Plio-Quaternary alluvial fan and alluvium deposits.

Lake Sapanca is a pull-apart basin located along the North Anatolian Fault Zone in NW Anatolia, Turkey. Large earthquakes are common to different fault segments (Gölcük Segment, Sapanca Segment, Sakarya Segment, Karadede Segment, Düzce Segment, Mudurnu Segment and Abant Segment) of the North Anatolian Fault Zone in the eastern Marmara region around Lake Sapanca. The lake is located on quaternary sequence (alluvium). Therefore, the Lake is easily effected by earthquake's shaking and we can catch their records in lake sediments.

The main objective of this study is to determine and date the records of past earthquakes in the lake's sedimentary sequence, which is important for earthquake risk

assessment for the area. We carried out a systematic study of the sedimentological, physical and geochemical properties of three water-sediment interface cores (Sapanca1, Sapanca2 and Sapanca3). The cores, which were collected along a depth transect ranging from 43 to 51.7 m water depth on a high resolution seismic line, are up to 75.7 cm long and cover the last 250 years..

Within the aim of the study, the cores were described lithologically and analyzed for grain size using Fritsch laser diffraction at a sampling resolution of 1 cm, for total organic (TOC) and inorganic carbon (TIC) using Shimadzu Total Organic Carbon Analyzer at 2 cm resolution, for physical properties using Multi Sensor Core Logger (MSCL) and for elemental composition and digital radiography using Itrax-XRF Core Scanner. The resolution of the XRF and Multi Sensor Core Logger analyses were 0.25 mm and 0.5 mm. The chronology was determined using accelerator mass spectrometry (AMS) radiocarbon method in core Sapanca2 and radionuclide (^{210}Pb , ^{137}Cs) methods in core Sapanca3. ^{210}Pb activity measurements were made by alpha counting of ^{210}Po . ^{137}Cs was measured by gamma-ray spectrometry using a germanium detector. The Constant Flux–Constant Sedimentation (CF–CS) model for the unsupported ^{210}Pb supply was used to calculate the sedimentation rate. AMS radiocarbon analysis of a piece of plant collected at 37.5 cm in core Sapanca2, provided an age between the years 1900-1950. ^{210}Pb results give an average sedimentation rate of 1.8 mm/yr and an age of 250-260 years for the base of core Sapanca3. The Chernobyl nuclear accident signal was found at a core depth of 18 cm. This systematic multi-parameter study was performed on the dated lake sediments (Sapanca1, Sapanca2, Sapanca3), which respectively cover the uppermost 42.5 cm, 59.2 cm and 75.7 cm record of the lacustrine archive

The earthquake records are represented by mass-flow deposits accumulated in the form of turbidite-homogenite (TH) units, The upper part of mass flow units are homogeneously clayey silt (homogenite), which together with the coarse basal part (turbidite), has the features of a turbidite-homogenite (TH) unit.

The lake sedimentary sequence consist of brown clayey silt interrupted by mass-flow units, which are characterized by grey or dark grey coarse to fine sand and silty mud with sharp basal and transional upper boundaries. The units commonly show normal size grading with their basal parts showing high density, high magnetic susceptibility, low inorganik and organic carbon contents, enrichment in one or more elements such as Si, Ca, Ti, K, Rb, Zr, Fe which are indicative of coarse detrial input, and depletion in total carbonate (TIC).

Mass flow units are formed with various effects which are earhtquake, volcanic activity, flood and storm. There isn't any volcanic formation around the Lake Sapanca. Lake Sapanca is not affected by the violent storms. Because Lake Sapanca is a sheltered field because of Samanlı Mountains and Kocaeli Penepline. Previous studies indicate that a drier climate is dominant in the region last 250 years according to present. Therefore, volcanic activity, flood and storm aren't origin of mass flow units in Lake Sapanca cores. However, tectonic activity is common for this area because of North Anatolian Fault Zone. Therefore, earthauqke is origin of mass flow units. Earthquake-induced mass flow units are called sismo turbidites.

Based on radionuclide and radiocarbon datings, the mass flow units are correlated with 1999 Izmit and Düzce earthquakes ($M_w=7.4$ and 7.2 , respectively), 1967 Mudurnu earthquake ($M_w= 6,8$), and 1957 Abant ($M_w= 7.1$) earthquake, 1943 Hendek

Earthquake ($M_w=6.6$), 1894 East Marmara Earthquake ($M_w=6.7$), 1878 Esme Earthquake ($M_w=6.7$), and 1754 Izmit Earthquake ($M_w=6.8$).

The relations between earthquake parameters (magnitude, distance from epicentre, intensity and sediment thickness of deposit since previous earthquake) and mass-flow parameters (thickness, sedimentary structure, grain size, composition) are discussed. Earthquake parameters influence to thickness of sismo-turbidite. Sismo-turbidites of core Sapanca3 correlated with earthquake parameters. Our data set is in sufficient for precise interpretation. Because we determined only seven earthquake records. However, preliminary results showed that increasing intensity of earthquake and decreasing distance from epicentre cause increase in thickness of the sismo-turbidite units.

1.GİRİŞ

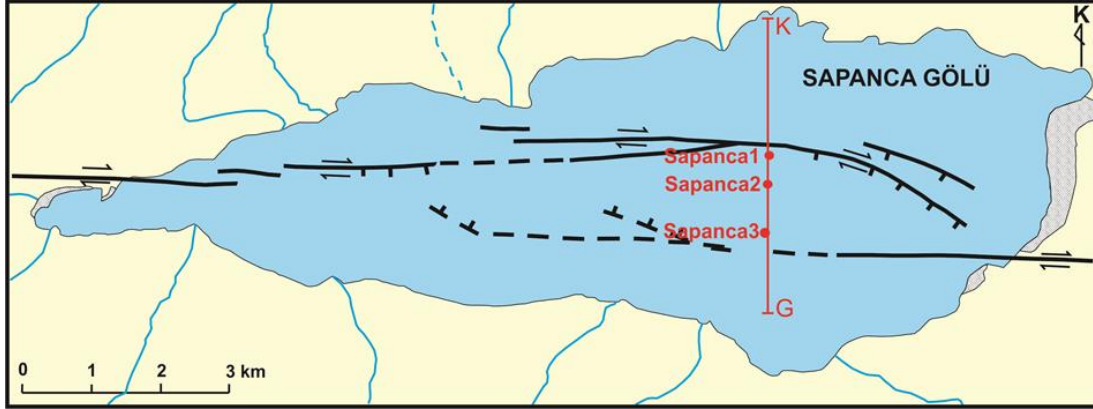
Bu bölümde tezin genel amacı, önceki çalışmalar ve çalışma alanı hakkında genel bilgiler verilmiştir. Çalışmada nelerin amaçlandığı, bu konuda ve bölgede yapılmış daha önceki çalışmalar, çalışma alanının jeolojisi ve tektonizmasına değinilmiştir.

1.1 Tezin Amacı

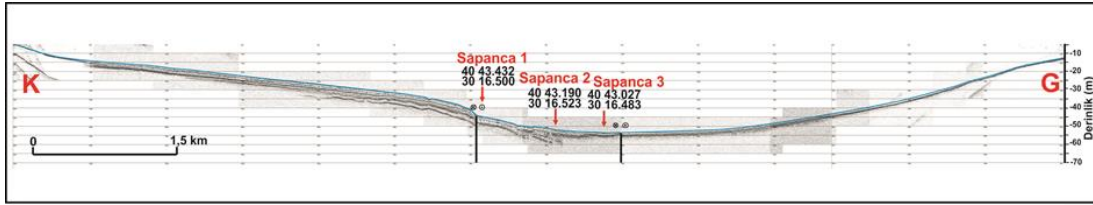
Türkiye'nin bir deprem ülkesi olması gerçeği, bu alanda yapılan çalışmalara hem toplumsal hem de bilimsel anlamda önem kazandırmıştır. Bu çalışmada, Türkiye'nin kuzey batısında, Avrasya ve Anadolu levhalarının sınırını oluşturan sağ yanal atımlı Kuzey Anadolu Fay Zonunun (KAFZ) tektonik aktiviteleri sonucunda çek ayrır havza olarak oluşmuş (Barka, 1997; Lettis vd., 2002; Sengor ve diğ., 2005; Gürbüz ve Gürer, 2008) Sapanca Gölü'nden alınan sismik profiller ve derinlik haritası kullanılarak yerleri belirlenen (Şekil 1.2, 1.3) Sapanca1, Sapanca2 ve Sapanca3 karotlarındaki (Şekil 1.1) çökel kayıtları incelenmiştir (Çizelge 1.1). Çalışmanın amacı, Sapanca Gölünün yakın çevresinde olmuş geçmiş deprem kayıtlarının göl çökellerinde tespit edilip, bölgenin depremselliği hakkında yorumlamalar getirmektir. Ayrıca ülkemizde çok fazla gelişmemiş olan su altı paleosismolojisinin önemi de vurgulanmıştır.

Deprem dalgaları ulaştıkları alanlarda meydana getirdikleri sallantılar ile denizel ve gölsel havzalarda türbidit akıntıları oluşturmaktadırlar. Bu akıntılar sığ ve kıyı kesimlerden derin kesimlere malzeme taşıyarak sismo-türbidit birimlerini çökeltirler. Sismo-türbidit birimlerini oluşturan çökellerin fiziksel, jeokimyasal ve sedimantolojik özellikleri, normal göl ve deniz çökellerinden daha farklıdır (Heezen and Ewing, 1952; Sims, 1975; Doig, 1990; Inouchi ve diğ., 1996; Gorsline ve diğ., 2000; Ken-Tor ve diğ., 2001; Goldfinger ve diğ., 2003; Sarı ve Cagatay 2006; McHugh ve diğ., 2006; Cagatay ve diğ., 2012; Eriş ve diğ. 2012; Cagatay ve diğ., 2013). Biz de bu farklı özellikleri sayesinde tespit edilen sismo-türbiditleri Sapanca gölü çökellerinde belirleyip, yaşlandırılarak geçmiş deprem kayıtları ile eşleştirdik. Bu sayede Sapanca Gölünün hem bölgede olmuş geçmiş depremlerden etkilenip etkilenmediğini belirleyip, hem de bu kayıtları kullanarak KAFZ'nun farklı segmentlerinde oluşmuş depremlerin tekrarlanma aralığını bulunup, bölgenin depremselliği yorumlanmıştır.

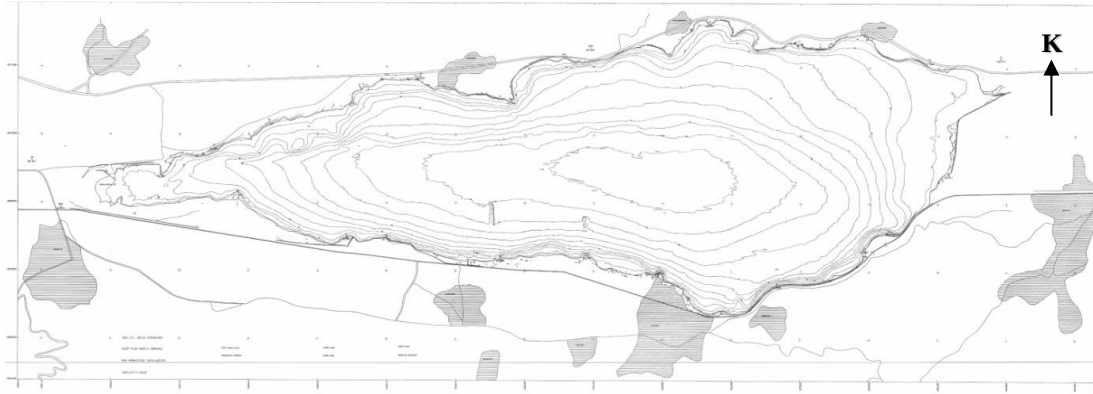
Bu çalışma ile Sakarya ve İzmit illerinde gelecekte beklenen olası depremlerin zamanı hakkında yorumlamalar yapılmıştır.



Şekil 1.1: Sapanca gölünden geçen Kuzey Anadolu Fayının ve gölden alınan karotların yer bulduru haritası (TUJJB-UDP-03-10).



Şekil 1.2: Sapanca gölünden alınan karotların sismik kesit üzerindeki yerleri ve koordinatları



Şekil 1.3: Devlet Su İşleri tarafından 2002 yılında yapılan Sapanca Gölünün derinlik haritası

Çizelge 1.1: Karotların koordinatları, su derinliği ve uzunluk bilgilerini gösteren resim

Karot adı	Enlem/Boylam	Su derinliği (m)	Uzunluk (cm)
Sapanca1	40°43.432' / 30°16.500'	43	42.5
Sapanca2	40°43.190' / 30°16.523'	50	59.2
Sapanca3	40°43.027' / 30°16.483'	51.5	75.2

1.2 Önceki Çalışmalar

Tektonik aktivite sırasında deniz ve göllerde oluşan türbidit akıntılarının derin depolanma alanlarında çöktüğü sismo-türbidit birimlerinin, geçmiş deprem kayıtlarının araştırılması amacıyla kullanılması çalışmaları dünyada önem kazanmakta olan ve henüz tam olarak gelişmemiş bir bilim dalıdır. Son yıllarda ülkemizde ve dünyada bu alanda birçok önemli çalışma yapılmakta ve ulusal- uluslararası (TUJJP, Tübitak, EU, IODP) kuruluşlar bu konudaki araştırmaları önemli bütçeler ile desteklemektedir. Ülkemizin deprem kuşağında yer alması gerçeği 1999 depremlerinden sonra daha iyi anlaşılmış ve bu alandaki çalışmalarda önemli artışlar gözlenmiştir. Paleosismoloji araştırmaları genellikle hendek çalışmalarıyla (Akyüz ve diğ., 2002; Rockwell ve diğ., 2002; Ferry vd., 2004, Palyvos ve diğ. 2007; Pantosti ve diğ., 2008; Dikbaş ve diğ., 2009; Zabcı ve diğ., 2010) karada yapılırken, son yıllarda deniz ve göl çökellerindeki çalışmalara yönelimler başlamıştır (Sarı ve Çağatay., 2006, Boex ve diğ., 2010, Çağatay ve diğ., 2012, Eriş ve diğ., 2012; Hubert-Ferrari ve diğ., 2012, Avşar ve diğ., 2014a,b; Avşar ve diğ., 2015).

Çalışmanın temel amacı olan kütle akması birimlerinin oluşmasına sebep olan deprem dalgaları deniz veya göllere ulaştığı zaman sığ kesimlerden derin kesimlere doğru tabanı aşındırarak malzeme taşıyan türbidit akıntılarını oluşturmaktadır. Bu akıntılar sığ alanlardaki malzemeleri taşıyıp derin çökme alanlarına getirerek, bunların burada çökmesini sağlar. Bu olay ile derin havzalarda normal çökellerin üzerini örten sismo-türbidit birimi çöker (Forel, 1885; Grover ve Howard, 1938; Heezen and Ewing, 1952; Sims, 1975; Doig, 1990; Inouchi ve diğ., 1996; Gorsline ve diğ., 2000; Kentor ve diğ., 2001; Goldfinger ve diğ., 2003; Sarı ve Çağatay 2006; McHugh ve diğ., 2006; Çağatay ve diğ. 2012, Çağatay ve diğ., 2013). Bu seviyenin üstüne tekrardan normal koşullardaki sedimantasyon devam eder ve normal yoldan çökelen derin havza çökelleri arasında farklı sedimantolojik, jeokimyasal ve fiziksel özellikleri olan sismotürbidit birimi yer alır. Bu birimin çökme yaşı deprem oluşum yaşını birebir vermektedir.

Sismo-türbidit birimleri çökerken ilk önce kaba ve ağır malzemeler çökelmektedir. Hızlıca çökelen bu birime kütle akmasının türbidit kısmı denir. Daha sonra tabana yakın alandaki suda süspansiyon halinde bulunan ince taneli malzemeler çökelmektedir. Türbidit kısmının üzerine süspansiyondan çökelen ve derin havza

ökellerine benzeyen homojen bir çamur birim (homojenit) ökeler. Bu iki birim beraber sismo-türbiditleri oluşturur. Bazı kaynaklarda bu ikili birim türbidit-homojenit birimi olarak da adlandırılır (Friedman and Sander, 1978; Sturm ve diğ., 1995). Ama her sismo-türbidit biriminde homojenit kısmı ayıklanamamaktadır.

Sismo-türbiditler kıyı ve sığ kesimlerden gelen malzemelerden oluştuğu için derin kısımlarda çökelen normal göl/deniz çökellerinden daha farklı özelliklere sahiptir. Bu özellikler kullanılarak sismo-türbidit birimleri tanınabilir. Sismo-türbiditlerin en önemli özelliği genel olarak tabanlarının kaba taneli olmasıdır. Bunun yanında sığ kısımlardan gelen malzemein içeriğinde kırıntı girdisi olmasından dolayı genellikle Si, K, Ti, Rb ve Fe gibi elementler daha yoğundur (Dean ve diğ., 1993; Rollingson ve diğ., 1995; Eusterhues, ve diğ., 2002). Bu birimler kaba taneli ve manyetik özelliği olan elementlerce zengin olmasından (Sangade ve diğ., 2001; Geiss ve diğ., 2003; Arnoud, ve diğ., 2005) dolayı yoğunluğu da fazladır. Bir akıntı şeklinde, suda çözünmüş halde gelen malzemelerden oluşması ve kaba taneli olmasından dolayı organik karbon ve karbonatça fakirlerdir. Bu özellikler sismo-türbiditlerin genel özellikleridir.

Menahem (1976), Jordan Rift vadisinde bulunan Ölü Denizden alınan çamur karotlarını incelemiştir. Çalışılan alandaki fayın, yapılan jeofizik, jeolojik ve morfolojik çalışmalar sonunda son 2000 yıldaki aktivitesi araştırılmıştır. Bu fayın her yüzyılda 5 ile 7 büyüklüğünde iki veya üç deprem meydana getirdiği tespit edilmiş. Alınan karotlarla son 2000 yıllık çökel kayıtlarına ulaşmışlar. Karotlarda deprem etkisiyle oluşmuş 50 adet beyaz birim ayıklanmış. Bunlardan 2 tanesi son yüzyılda olmuş depremlerle eşleştirilmiştir. Eğer daha derin karotlar alırsa Sodome ve Gomorre efsanesinin kaydına bile ulaşılabileceği belirtilmiştir.

İnouchi ve diğ. (1996), Güneybatı Japonyada bulunan Biwa Gölündeki türbidit çalışmalarında 20 tane türbidit geçmiş depremlerle eşleştirilmiş ve bunların yaş modelleri oluşturulurken sedimantasyon hızı ve tefra seviyeleri kullanılmış. Türbiditler göl çökellerinden gama yoğunlukları ve tane boyu dağılımlarındaki artışla belirlenmiştir. Geçmiş depremlerle eşleştirilen türbidit seviyelerinin tarihsel kayıtlardaki göreceli büyüklük ve merkezüstü bilgileri kullanılarak şiddet hesaplaması yapılmıştır. Bizim Sapanca Gölü alışmamızda da burada kullanılan şiddet hesaplama yöntemini uygulanmıştır.

Ambraseys ve Jackson (2000), Marmara bölgesinde geçmişte olmuş tarihsel deprem kayıtlarını yaptıkları araştırmalarda kronolojik olarak listelemişlerdir. Osmanlı İmparatorluğunun tuttuğu kayıtların yanı sıra yabancı devletlerin ticaret amaçlı Osmanlı İmparatorluğunda olan temsilcilerinin kayıtları da incelenmiştir. Sapanca gölünde yaptığımız çalışmadaki sismo-türbiditleri geçmiş depremleer ile eşleştirenken bu makalede ki geçmiş deprem literatürü kullanılmıştır.

Chapron ve diğ. (1999), Le Bourget Gölü karotlarında yaptığı çalışmada, 1822 yılında olmuş depremin tetiklediğı göl tabanında seiche efek etkisiyle oluşmuş homojenit biriminde yüksek çözünürlükte tane boyu çalışmaları yapmış ve homojenitin yapısını incelemiştir. Karotun yaşlandırmasında ^{210}Pb radyonüklid yöntemini kullanmıştır. Çalışmada ayrıca yüksek çözünürlüklü sismik profiller kullanılmıştır. Bu profiller yardımıyla türbidit akıntısıyla gelen malzemenin yayılımı ve gelişini hakkında yorumlamalar da yapılmıştır.

Sarı ve Çağatay (2006), Marmara Denizi Çınarcık Çukurluğı'ndaki deprem ile oluşmuş TH birimlerinin sedimentolojik, mineralojik, jeokimyasal ve paleontolojik özelliklerini inceleyerek ve radyokarbon yöntemleri ile yaşlandırarak, bu birimlerin tarihsel depremlerle olan ilişkilerini araştırmışlardır. Türkiye'de yapılmış ilk sismo-türbidit çalışmalarından biri olması açısından ve kullanılan yöntemlerden dolayı bizim çalışmamız için önem taşımaktadır.

Gürbüz ve Gürer (2008a), Sapanca gölünden aldıkları taban çökellerinde yaptıkları incelemelerde gölü besleyen 15 adet akarsuyun göl çökeline etkisine bakmışlardır. Bazı nehirlerin önünde oluşmuş setlerden dolayı sadece güçlü seller ile göle kaba malzeme girebileceğı ve ayrıca kuzeydoğuda bulunan Çarksuyu ile dışarı akan göl sularının, akarsuyun önüne kurulan regülatör ile su çıkışları azaltılmış ve bundan dolayı göle kil boyutunda malzemelerin çökmesine neden olacak sedimantasyon hızını da arttırdığı belirlenmiştir.

Gürbüz ve Gürer (2008b), Sapanca gölü ve çevresinde KAFZ ait farklı segmentlerin tektonik aktiviteleri ve meydana getirdikleri deformasyonlar jeomorfolojik, sismik ve batimetrik veriler kullanılarak incelenmiştir. Çalışmalar sonucunda gölün güneyinde yüksek tektonik etkinliğe karşın, kuzeyinde daha düşük düzeyde tektonizmanın etkili olduğu saptanmıştır. Gölün, geç PleYistosen döneminde Sapanca-İzmit kolidorunda asimetric çek-ayır havza şeklinde oluştuğı belirlenmiştir.

Pantosti ve diğ. (2008), Düzce segmentinde 1999 yılında olan Düzce depremi sonrasında bu segment üzerinde geçmiş deprem kayıtlarını incelemek amacıyla hendek çalışması yapmışlardır. Açılan hendekte bu segmente ait kırıklar radyokarbon, radyonüklid ve arkeolojik yöntemlerle yaşlandırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda dört deprem kaydına ulaşılmıştır. Bu segmente 967 yılındaki depremin, 1495 ve 1700 yılları arasında olmuş bir depremin, 1878 depreminin ve 1999 Düzce depreminin kırıkları depremit edilmiştir. Bu sonuçlardan elde edilen veriler ile deprem tekrarlanma aralığı ve yıllık atım hesaplamaları yapılmıştır.

Bertrand ve diğ. (2009), İzmit körfezindeki Hersek lagününden aldıkları sondaj karotu örneklerinde yaptıkları çeşitli analizler (manyetik duyarlılık, TOK-TİK, C/N, XRD), minerolojik ve paleoekolojik çalışmalar sonucunda KAF'da meydana gelmiş depremlerin ve tsunamilerin kayıtlarına ve kosismik çökmenin çökel kayıtlarına bakılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda kosismik çökme sonucunda tabanında tsunami çökellerinin olduğu kalın organikçe zengin çamurdan oluşan birimler ile 740 987, 1509 ve 1719 yıllarında meydana gelmiş depremlerin kayıtlarına ulaşmışlardır.

Shwap ve diğ. (2009), Sapanca gölünün limnolojisi çalışmasında Sapanca Gölü'nden alınan karotlarda yaptıkları çalışmalarla sismo-türbiditleri belirlemek için yoğunluk, manyetik duyarlılık, tane boyu, jeokimya, polen ve diatom çalışması gibi yöntemleri kullanarak radyonüklid yöntemi ile yaşlandırma yapmışlardır. Buldukları seviyeler dört deprem ile eşleştirilmiştir.

Leroy ve diğ. (2010), Sapanca Gölü'nün merkezinden aldığı piston karotta detaylı çalışmalarla birlikte polen analizi çalışmaları yapmıştır. Radyokarbon yöntemiyle karotun taban yaşının 1500 yıl önceye gittiği belirlenmiştir. Çalışmaları sonucunda göl çökellerinin hangi yamaçlardan gelen malzemelerden çökeldiğini belirlemiş ve deprem etkisi ile oluşmuş birimleri tespit etmiştir.

Boex ve diğ. (2010), Kuzey Anadolu Fay Zonunda olan depremlerin sismik döngüsünü incelemek üzere Boludan Erzincan'a kadar olan bölgede KAFZ'u üzerinde altı adet gölden alınmış karotlarda deprem kayıtlarını incelemiştir. Radyonüklid yöntemiyle yaşlandırılan göl çökellerinin element içeriğine ve yoğunluğuna bakılmıştır. Yapılan analizler sonucunda gölleden alınan karotlarda depremlerin etkisiyle oluşmuş birimler tespit edilmiş ve yaşlandırılmıştır. 1939 yılında olan depremin izleri farklı göllerdeki kayıtlarda bulunmuştur.

Çağatay ve diğ. (2012), Marmara denizinin doğusunda yeralan İzmit Körfezinden alınan karotlarda yaptıkları çalışmalarda, yüksek yoğunluk ve manyetik duyarlılık, tane boyu dağılımında artış, kırıntı girdisini temsil eden elementlerde zenginleşme, kalsiyumda ise fakirleşme özellikleri ile sismo-türbidit seviyelerini tanımlamışlardır. Ayrıca bu çalışmada sismo-türbidit oluşumundan sonra oluşan yeni redox koşullarında Mn tükenmesi olduğu da belirlenmiştir. Bu çalışmada kullanılan metodlar bizim çalışmamıza da ışık tutmuştur.

Eriş K.K. ve diğ. (2012), Marmara Denizinin 1276 m derinliğinden Çınarcık Çukuru'ndan alınan karotta yapılan çalışmada geç Pleyistosen'den Holosene kadar geçen sürede yüksek ölçekteki yerçekimi etkisi ile türbidit çökellerinin etkisinde derin çukur sedimentlerinin karakteristiğini incelemiştir. Yapılan çalışmada kalınlıkları 20 cm'den büyük olan 20 adet sismo-türbidit birimi tespit edilmiştir. Göl döneminde çökelmiş sismo-türbidit birimlerinin kalınlıklarının, deniz döneminde çökellen birimlerinkinden daha kalın olduğu belirlenmiştir. Çalışmada sismo-türbidit birimlerinin belirlenmesinde litoloji, tane boyu çalışmaları ve manyetik duyarlılık verileri kullanılmıştır.

Hubert ve diğ. (2012), sığ ve küçük göllerde genellikle rastlanılmayan deprem kayıtlarına, 2 m derinliği ve 700 m uzunluğu olan Aşağıtepecik gölündeki çalışmada ulaşmıştır. Yaptıkları karbon, tane boyu ve minarolojik çalışmalar ile aldıkları farklı karotlardaki radyonüklid ve radyokarbon yaşlandırma yöntemleri ile KAFZ'nunda olmuş geçmiş depremlerin kayıtları tespit edilmiştir. Çalışmanın genelinde dört deprem kaydı bulunmuş ve bunlardan ilki 1939 yılındaki Erzincan depremi ile, ikincisi 1668 depremi ve dördüncüsü ise 1254 depremiyle eşleştirilmiştir. Üçüncü kayıt ise bölgedeki geçmiş deprem kayıtlarından herhangi biriyle eşleşmemiştir.

Avşar ve diğ. (2014a), Kuzey Anadolu fayı (KAF) üzerinde bulunan Yeniçağ gölünden alınmış karoda yaptığı multi-parametre çalışmalar ile geçmiş depremlerin tetiklediği kütle akması birimlerini radyografi çekimde koyu rengi, yüksek yoğunluğu, düşük organik karbon yüzdesi, ve silika-klastik malzemede zenginleşme özellikleri ile tanımlamış ve göl çökellerinden ayırarak yaşlandırıp, bu kütle akması birimlerini (sismo-türbidit) geçmiş depremlerle eşleştirmiştir. Ayrıca Sofular Mağarasında yapılmış olan iklim çalışmasındaki $\delta^{13}\text{C}$ sonuçları ile kendi çalışmasındaki $\mu\text{-XRF}$ verilerinden elde ettiği döküntülü aminosilikat elementlerini sülfür ile oranlayarak

yüksek eşleşme katsayıları elde etmiştir. Bu karşılaştırma sonucunda kendi çalışmasındaki kütle akması olaylarının iklimsel sebeplerle olmadığını belirtmiştir.

Avşar ve diğ. (2014b), KAFZ'nun doğu kesiminde yeralan Göllüköy Gölü'nden alınan 650 yıl öncesine giden karotta geçmiş deprem kayıtlarını çok disiplinli yöntemler kullanılarak incelemiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda altı geçmiş deprem kaydına rastlanılmıştır. Depremler sonucunda oluşan bu birimlerde LOI₅₅₀ ve toplam organik karbon değerlerinde anomalilerin görüldüğü ve birimlerin radyografi görüntüsünde açık renkli seviyeler olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca sediment birimlerinin karakterine bakmak için μ -XRF verileri kullanılmıştır. Radyonüklid yaşlandırma sonucunda yakın zamanda olmuş 1939 yılındaki deprem kaydı tespit edilmiştir. Ayrıca radyokarbon yaş verileri kullanılarak sedimantasyon hızı tespit edilmiştir. Bu çalışmaların yanı sıra sedimantasyon hızıyla yaşlandırılan organik malzeme kayıtları, Narlıköy gölünde varvli seviyelerde yapılmış $\delta^{18}\text{O}$ sonuçlarıyla eşleştirilerek iklimsel yorumlamalar yapılmıştır.

Avşar ve diğ. (2015), KAFZ'nun doğu kısmının merkezinde yer alan Borabey Gölü'nde yaptığı çok disiplinli sedimantolojik karot çalışmasında geçmiş deprem kayıtlarını incelemiştir. Gölün yapısından dolayı şiddetli yağmur ve fırtınalardan etkilendiği ve bundan kaynaklı olarak göl çökelinin karasal bitki kökenli yüksek organik madde içeren birimler ile kesildiğini belirtmiştir. Radyonüklid ve radyokarbon yöntemleriyle yaşlandırdığı karotta, bazı birimlerin geçmiş depremlerle eşleştiği tespit edilmiştir.

1.3 Su Altı Paleosismolojisinin Diğer Paleosismoloji Çalışmalarından Farkı

Paleosismoloji çalışmalarında birçok yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan dünyada en yaygın olanı karada yapılan hendek çalışmalarıdır. Faya dik ve yatay açılan hendekler ile hem fayı daha önceden kırmış depremlerin kayıtları yaşlandırılırken hem de yaptığı atım miktarı hesaplanabilmektedir. Bir diğer yöntem ise arkeopaleosismolojidir. Çok yaygın olmasa da eski yapılar üzerinden geçen fay hattında olan bir depremin o eser üzerinde yaptığı atım hesaplanmaktadır. Bazı bilim adamları da fay hattına çok yakın eski ağaçların büyüme halkalarındaki anomalileri kullanarak paleosismoloji çalışmaları yapmaktadır. Bu tez çalışmasında da kullanılan diğer yöntem ve yaklaşık

40 yıl önce başlayan ama son 10 yılda gelişen teknolojiler ile güvenilirliği ve kullanımı ivme kazanan sualtı paleosismolojisi.

Sualtı paleosismolojisinde karotlarda belirlenen sismotürbidit birimlerin taban sınırlarının çok net olmasından dolayı, hemen üstünden ve altından yaşlandırma için kolaylıkla örnek alınabilmektedir. Hendek çalışmalarının en büyük sorunu olan çok sayıda depremi yaşlandırma, sualtı sismo-türbidit çalışmalarında geçerli değildir. Bu açıdan tarihsel kayıtlara geçmemiş depremlerin zamanlarının elde edilmesi sismo-türbidit çalışmaları ile mümkündür.

Hendek çalışmaları ve arkeopaleosismoloji ile çalışılan segmentte meydana gelen depremlerin kırıkları yaşlandırılarak geçmiş deprem bilgilerine ve bölgenin deprem potansiyeline yönelik yorumlamalar yapılmaktadır. Sualtı paleosismolojisinde ise birçok segmente ait depremin kaydına rastlanması mümkündür.

Hendek ile sualtı paleosismoloji çalışmalarının yapılabilmesi için özel çalışma ortamları gerekmektedir. Hendek çalışması için fay hattı üzerinde olduğu bir alan gerekirken, sualtı paleosismolojisi için fay ile ilişkisi olan derin su dolu havzalar (göl ve deniz) gerekmektedir. Genellikle karasal alanlarda fay hatları üzerinde tektonik göllere rastlanılmaktadır.

Tektonikce aktif bölgelerde farklı metodlar kullanılarak yapılan paleosismoloji çalışmaları birbirini tamamlamaktadır. Bölgenin gerçek deprem potansiyeli ve geçmiş deprem kayıtlarının net şekilde ortaya konulabilmesi için hendek ve sualtı paleosismolojisi çalışmaları beraber yapıldığında en verimli sonuç alınacaktır.

1.4 Çalışma Alanı ve Coğrafi Özellikleri

Çalışma alanı olan Sapanca Gölü Türkiye'nin kuzeybatısında Marmara bölgesinde İzmit ve Sakarya illeri arasında yer almaktadır (Şekil 1.4). Göl elips şeklinde bir morfolojiye sahip olup, en derin yeri 55 m'dir. Doğu batı eksenini 15.79 km; kuzey güney eksenini 5.44 km ve yüzölçümü 46,9 km² olan tatlı su gölüdür (Şekil 1.1). Göl geçmişten günümüze kadar bölgenin içme ve kullanma suyu ihtiyacını karşılamıştır.

KAFZ'nun etkisiyle yükselmiş olan Samanlı Dağları gölün güneyinde, akarsu rejimi ve fay kontrolünde oluşmuş Kocaeli Penepleni (Gülbüz ve Gürer, 2008b) ise kuzeyinde yer almaktadır (Şekil 1.5). Gölün doğusunda Sakarya nehrinin taşıdığı

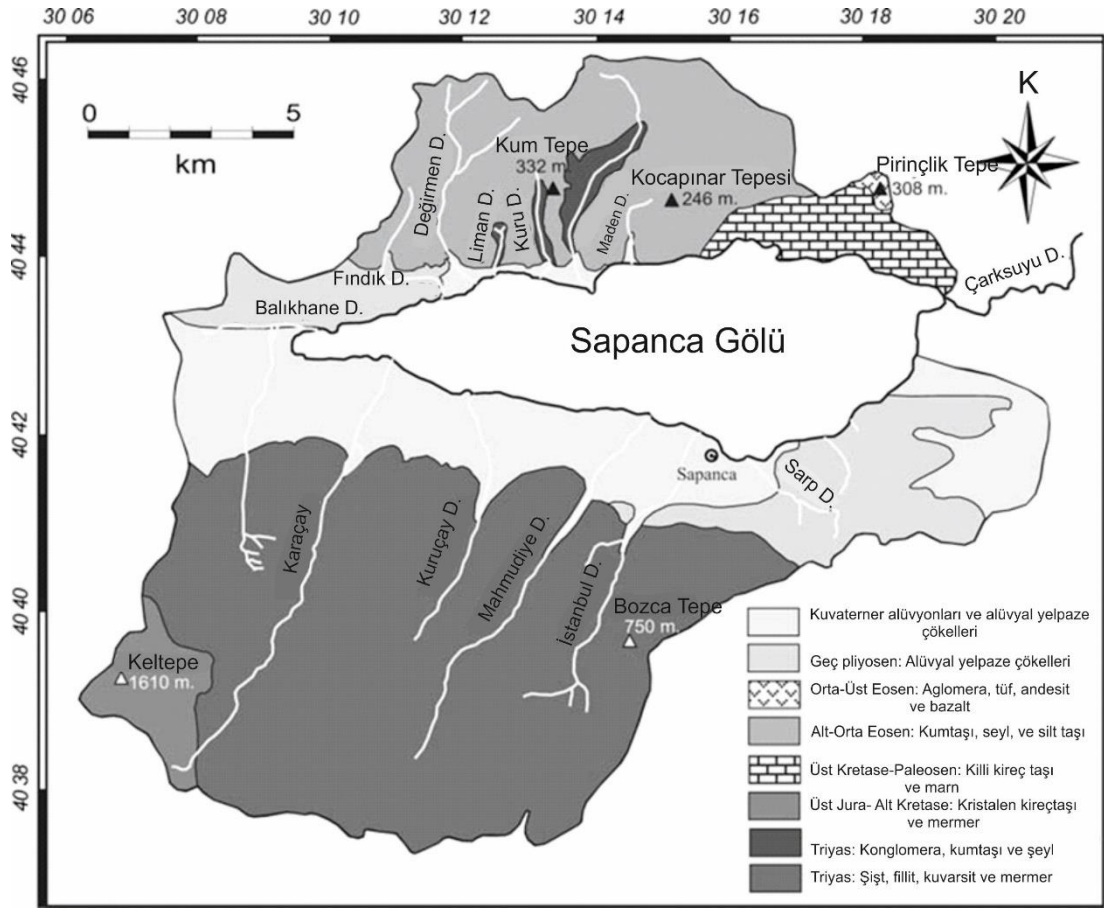
alüvyonlardan oluşan Adapazarı ovası, batısında ise akarsulardan kaynaklı oluşmuş alüvyal düzlükler bulunmaktadır (Şekil 1.6).

Sakarya ilinin Karadeniz kıyılarında Karadeniz iklimi, güney kısmında Marmara bölgesinde görülen Akdeniz iklimi etkilidir. Samanlı Dağları bu iki iklimi birbirinden ayırmaktadır. Kuzey kesimler daha yağışlıyken güneye doğru gidildikçe yağış miktarı azalmaktadır. Sakarya'da iklimin etkisiyle nemcil Karadeniz Ormanları hakimdir. Sakarya ovası önemli tarım alanıdır.

Sapanca gölü birçok irili ve ufaklı derelerden beslenmektedir. Bu derelerin geneli kuzey güney uzantılıdır. Güneyden doğup Samanlı dağlarından göle doğru metamorfik birimler içinden akanlar sırasıyla Karaçay, Kuruçay, Mahmudiye, İstanbul ve Sarp dereleridir. Kuzeyden güneye doğru Kocaeli Penepleninden sedimanter birimler içinden göle akanlar ise Fındık, Değirmen, Liman, Kuru ve Maden dereleridir. Göle batıdan alüvyal birimler içinden Balıksırtı deresi akmaktadır. Gölün doğusunda yeralan Çarksuyu ise gölden doğup gölün fazla sularını Sakarya ovasına doğru taşımaktadır (Şekil 1.6).



Şekil 1.4: Çalışma alanını ve yakın çevresiden geçen Kuzey Anadolu Fayının uzanımını gösteren yer bulduru haritası (Emre ve diğ., 2013).

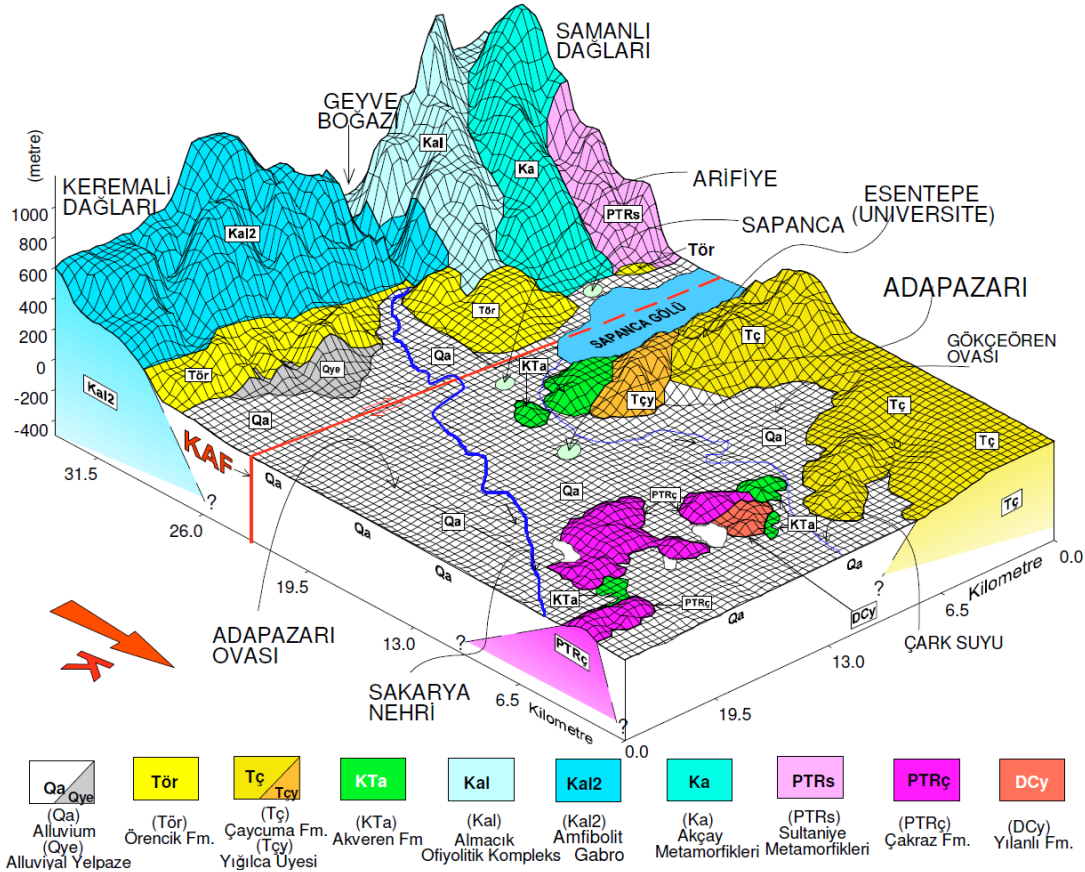


Şekil 1.5: Sapanca gölünün drenaj sahası ve çevre jeolojisini gösteren harita (Gürbüz ve Gürer, 2008a)

1.5 Çalışma Alanının Jeolojisi

Sapanca Gölü Kuzey Anadolu Fay Zonunun kuzey kolu üzerinde, İzmit-Sapanca koridorunda yer alır (Şekil 1.4). İzmit-Sapanca koridoru tektonik açıdan kompleks bir zonda bulunur (Şekil 1.8 ve 1.9). Esas olarak bölgenin morfolojisi Geç Pliosen-Kuvaterner'de 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 1.6). Sapanca Gölünün güneyinde yer alan Samanlı Dağları Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca bir basınç sırtı olarak yükselmiş ve bugünkü morfolojilerini kazanmıştır (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 dokanak oluştururlar. Sapanca Gölünün güneyinde yer alan Samanlı Dağları ise

Paleozoik-Mezozoik yaşı 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 uzanımlı olarak Kuzey Anadolu Fay Zonuna (KAFZ) bağlı olarak oluşmuştur ve Pliokuvaterner yaşı genç çökeller göl tabanını oluşturur (Emre vd 1998; Tom, 1999; Gürbüz and Gürer. 2008 a,b).



Şekil 1.6: Sapanca Gölü ve çevresinin 3D topografyası ve jeolojisi (Bol, 2003)

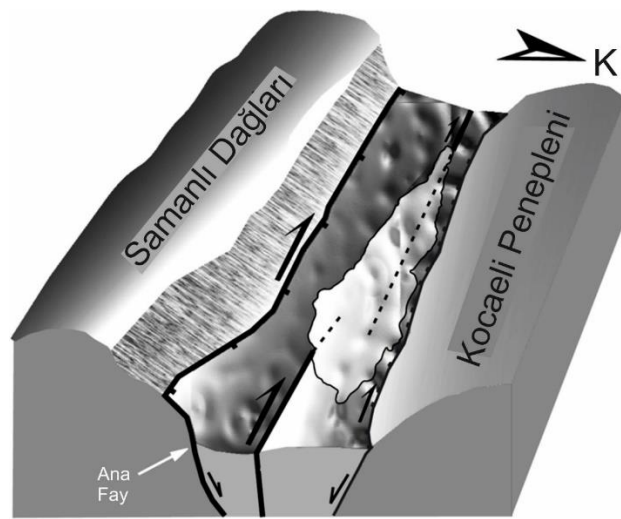
1.6 Çalışma Alanının Depremselliği ve Tektonik Durumu

Çalışma alanı Avrasya ile Anadolu levhalarını birbirinden ayıran sağ yanıl atımlı KAFZ üzerinde yer almaktadır. Bu zon Türkiye'nin doğusunda Karlıovadan başlayıp Ege Denizine (Saros Körfezi) kadar devam etmektedir. Yaklaşık olarak 1200 km uzunluğa sahiptir (Taymaz ve diğ. 1991; Özeren 2002). KAFZ'nun kuzey kolu, kayma hızına göre fayın en aktif kısmıdır (Straub ve diğ. 1997; Hubert-Ferrari ve diğ. 2000). Sapanca Gölü; KAFZ boyunca, sağ yanıl doğrultu atımlı tektonizma altında, çek-ayır havza (pull apart) mekanizmasıyla gelişmiş bir tektonik göldür (Barka, 1997; Barka

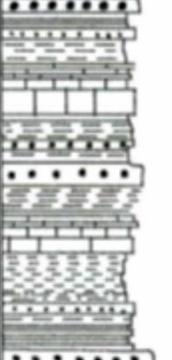
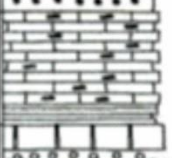
ve diğ., 2000; Lettis ve diğ., 2002; Gürbüz ve Gürer, 2008). Gölün doğu kesiminde KAFZ'ü iki kola ayrılmaktadır. Kollardan kuzeyde olanı kuzey kol olarak adlandırılırken güneyde olanı orta kol olarak adlandırılmaktadır (Şekil 1.8).

Göl çevresinde KAFZ'na ait birçok segment yer almaktadır. Bunlar gölün batısında Sapanca ve Gölcük, doğusunda Sakarya, Karadere ve Düzce, güneydoğusunda ise Mudurnu ve Abant segmentleridir. Ayrıca gölün çevresinde geçmiş depremlere ait birçok kırık zonunda bulunmaktadır. Bunlarda bize bölgenin sismik açıdan çok aktif olduğunu göstermektedir (Şekil 1.9). Ayrıca tarihsel dönemde bölgede birçok deprem oluşmuştur (Ambraseys ve Finkel, 1995; Ambraseys ve Jackson, 2000; Ambraseys, 2002 a,b). Son 100 yılda bölge ve yakın çevresinde KAFZ'da 6.5 Mw'den daha büyük deprem sayısı beştir.

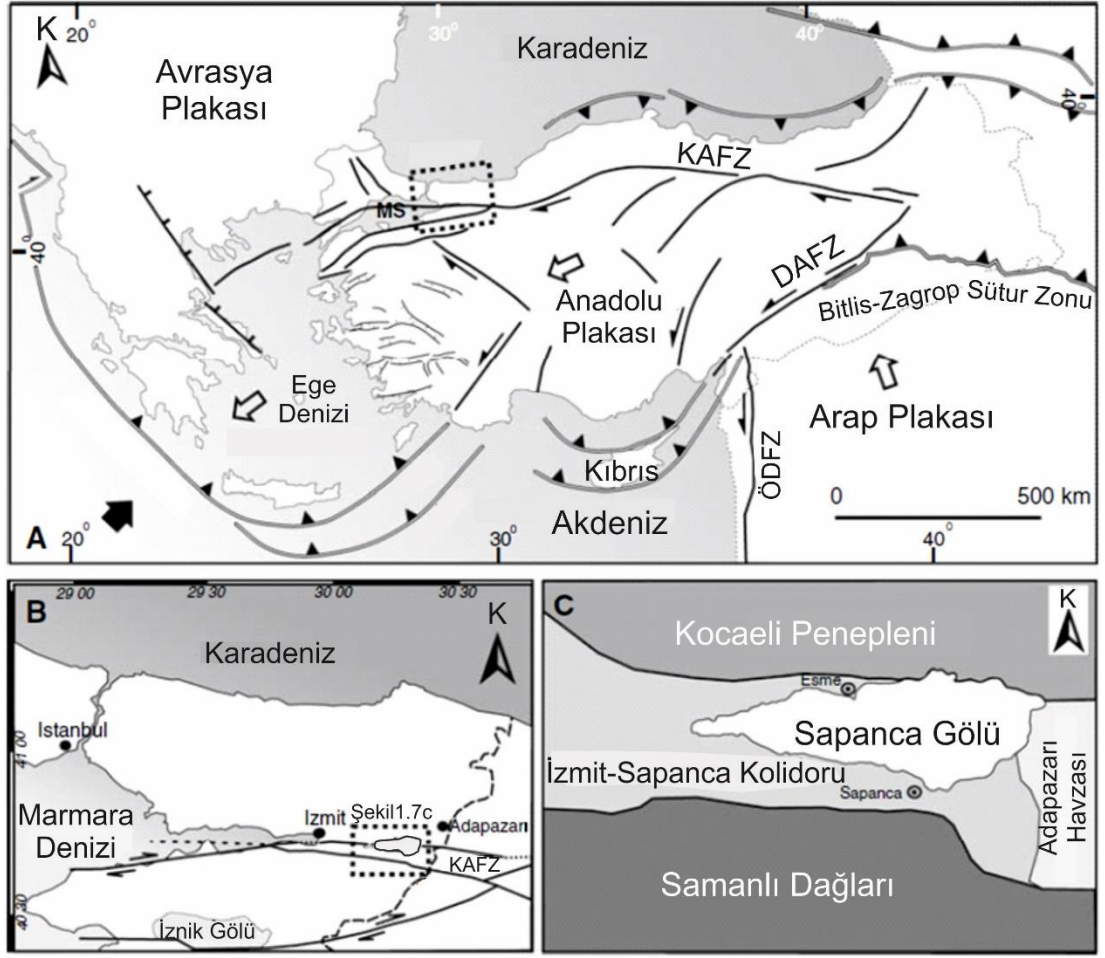
Sapanca Gölü havzası KAFZ'nun farklı segmentlerinin geç Pliyosen'den günümüze gelişimiyle burada asimetrik çek ayır havza olarak oluşmuştur. Havzanın güneyinde Samanlı Dağları Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca bir basınç sırtı olarak yükselmiş ve bugünkü morfolojilerini kazanmışlardır (Tom, 1999). Havzanın güneyi ile Samanlı dağları arasındaki sınırı ana fay, havzanın kuzeyi ile Kocaeli penepleni arasındaki sınırı antitetik fay kontrol etmektedir (Şekil 1.10). Gülen ve diğ. (2014) tarafından yapılan detaylı sismik çalışmalar sonucunda KAFZ'nun Sapanca Gölü'nün içindeki uzanımı da ortaya konulmuştur (Şekil 1.1). Bu haritada da görüldüğü üzere fay göl içinde bir sıçrama yapmaktadır.



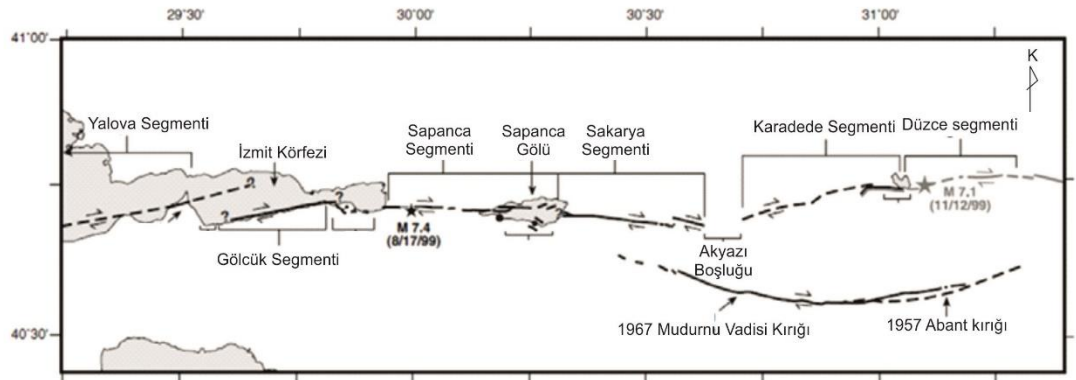
Şekil 1.7: Sapanca gölü ve çevresinin 3B'lu tektonik ve yapısal unsurlarının modellenmesi (Gürbüz ve Gürer, 2008)

YAŞ FORMASYON KALINLIK (m)	KAYA TÜRÜ (FASİYES)	OLUŞUM ORTAMI	KAYA TÜRÜ ÖZELLİKLERİ
KUVATERNER SAKARYA 300		Taşkın Ovası Yelpaze Akarsu Menderesi Nehir	-Kahverenkli, kahverengi- siyah, güncel tarım toprağı (1-4 m kalınlıklı) - Çakıl ve kum mercekleri içeren, gri-yeşil-siyah renkli silt ve kil ardaşımı - Kanal içi ve nokta barları olarak oluşmuş çakıl kum ve ince katmanlı kil bantları ardaşımı
GEÇ PLİYOSEN KARAPÜRÇEK - KANLIÇAY 780		Akarsu (kanal) Taşkın Ovası	DİSKONFORMİTİ - Merceksek kalın katmanlı-masif, çok tür birleşimli, az gelişmiş çapraz katmanlı, çok tür birleşenli, çatlaklı çakıltaşı merceksele çakıltaşları, karbonat bantları ve kumtaşı kamaları içeren silttaşı-şeyl-marlı ardaşımı. Çatlaklı ve kalsit damarlarıyla kesilir. -Seçilmemiş kalın tabakalı-masif, çoktür birleşimli, birleşenler iyi yuvarlaklaşmamış, yer yer çapraz katmanlı, kesme kırıklarıyla kat edilmiş çakıltaşı. -Taban çakıltaşı, çoktür birleşenli, 1 m'ye varan boyutta blok ve çakılları içerir.
GEÇ KRETASE - EOSEN YİĞLİCA-ÇAYCUMA 500		Açık Derin Deniz	AÇISAL UYUMSUZLUK -B. FİİŞ. Başlıca ince tabakalı pelajik kireçtaşı, kumtaşı, şeyl- marlı ardaşımı. Çatlaklı ve 3 'ye dek ayrışmalı. -A. VOLKANİK KAYALAR. Başlıca volkanik breş, tüf, andezitik ve bazaltik lav, az oranda da gri-mavi renkli, ince katmanlı-laminalı şeylli-killi kireçtaşı ve volkanik malzemece zengin kumtaşı ardaşımından oluşur. Lav düzeyleri oldukça sert ve dayanımlı, yer yer 4 m'ye değin ayrışmalı ve çatlaklı. -FİİŞ. Başlıca pelajik kireçtaşı, şeyl, marn ve türbiditik kumtaşı ardaşımından oluşur. Kireçtaşları sarı-beyaz renkli, ince-orta-kalın katmanlı, çatlaklı ve killi. -Seyl ve marnlar mavi-gri renkli, dilinimli, organik maddece zengin. Kumtaşları ince-orta-kalın katmanlı, dereceli katmanlı, çatlaklı. Yer yer ayrışma gösterir. Çatlaklar yoğun kalsit dolgulu.
AKVEREN 780		Sığ Denizel Akarsu	-İnce-orta katmanlı, çatlaklı, kıvrımlı, çört(silis) yumrulu, killi kireçtaşı -İnce katmanlı, çatlaklı, kıvrımlı, killi kireçtaşı. Kalın katmanlı, çatlaklı, gözenekli resifal çakıltaşı çoktür birleşenli, taban çakıltaşı.
180			AÇISAL UYUMSUZLUK
80		Yaşlı Temel Kayalar	-Çoğunlukla Paleozoyik ve triyas yaşlı kireçtaşı, dolomit, değişik tür metamorfik ve ofiyolitik kaya topluluğu. Kıvrımlı, kırıklı ve ezik.
GEÇ KRETASE ÖNCESİ			

Şekil 1.8: Sakarya havzası ve yakın çevresi için basitleştirilmiş stratigrafik kesit (Tübitak, ODTÜ, MTA, 1999).



Şekil 1.9: A: Türkiye ve çevresinin tektonik unsurlarını gösteren harita (Hempton 1987; Koçyiğit vd., 2001), B: Kuzey doğu Marmara Bölgesinde KAFZ'nun uzanımı (Bozkurt vd., 2001), C: Sapanca Gölü ve çevresinin yapısal jeolojisi (Koçyiğit vd., 1988).



Şekil 1.10: Sapanca Gölü ve çevresinde KAFZ'nun segmentlerini ve kırıklarını gösteren harita (Lettis vd., 2002).

2. KULLANILAN EKİPMAN VE YÖNTEMLER

Bu bölümde, çalışmada kullanılan ekipman ve yöntemler anlatılmıştır. Çalışmada kullanılan örnekleme yöntemi, fiziksel ve jeokimyasal analizlerin yöntemlerine değinilmiştir.

2.1 Göl Tabanından Çökel Örneklenmesi ve Litolojilerinin tanımlanması

Çalışma kapsamında 2013 yılında Sapanca gölünde TUJJP-UDP-10-3 no'lu proje kapsamında yapılan sismik çalışmalar sonucunda elde edilen profillerden yararlanılarak kuzey-güney doğrultulu 22-1P ve 22-2P profilleri birleştirilerek elde edilen 22P profili üzerinde yerleri belirlenen 3 adet gravite sediman-su ara yüzeyi karotu alınmıştır (Şekil 1.2).

Karotlar alınırken karotiyer tekneden derinlik hesaplama ile göl tabanına 2 metre kalana kadar yavaşça sabit olarak indirilmiş ve dengesini sağladıktan sonra hızlıca göl tabanına bırakılmıştır. Kendi ağırlığı ile göl tabanına saplanan karotiyer vakumlama sistemi sayesinde içirisindeki pimaşa dolan çökeli piston etkisiyle hapsetmiş ve tekneye tekrardan geri çekilmiştir.

Çizelge 1.1'de koordinatları, su derinliği ve boyları verilen bu karotlardan kuzeyde olanı Sapanca1, merkezde olanı Sapanca2 ve güney kesimde olanı ise Sapanca3 karotudur (Şekil 1.1).

Karotlar ITU-EMCOL laboratuvarlarında analizler ve çökel örnekleme için iki parçaya ayrılarak yarım karot haline getirilmiştir. Litoloji tanımlamaları karotlar yarılanıp oksidasyona uğradıktan sonra yüzeyleri düzeltilerek yapılmıştır. Litojilerin renk tanımlamalarında Munsel skalasından yararlanılmıştır.

2.2 Jeokimya Analizleri

2.2.1 XRF Karot Tarayıcısı Analizleri

EMCOL Karot Analizi Laboratuvarında bulunan μ -X-ray fluorescence, yarım karotlara zarar vermeden, çökellerin detaylı çoklu element analizlerinin yarı nicel olarak yapılmasını sağlar (Croudace ve diğ. 2006). ITRAX karot tarayıcı, 50 μ m piksel⁻¹

maksimum çözünürlükte optik kamera, lazer topoğrafik tarayıcı, X-ışını kamerası ve XRF detektör sistemden oluşur (Şekil 2.1).

ITRAX karot tarayıcısı ile iki tür analiz gerçekleştirilmiştir:

1. XRF (X-ışınları floresans = X-ray fluorescence) yöntemi: Çökel yüzeyinin X-ışınına maruz bırakılması sonucu μm çözünürlüğünde, çökellerin element içeriği ve konsantrasyonları tespit edilir. X-ışını yayınımları ile atomun iç kabuğundan elektron koparılmasıyla oluşan boşluk dış kabuktan gelen elektron ile doldurulur ve elektron elektromanyetik radyasyon şeklinde artan enerjisini bırakır. Elektron kabukları arasındaki enerji farkına eşit olan bu artık enerji, X-ışınları olarak görülür. Bu nedenle her bir kabuk çifti kendine özgü radyasyon yaratır, yani her atom kendine özgü enerji ve dalgaboyu spektrumunu oluşturur. Karotun yüzeyindeki çok ince bir tabakadan yayılan karakteristik X-ışınlarının etkileşim derinliği, her bir element için, radyasyonun dalga boyuna ve matriksin kimyasal bileşimine göre farklılık gösterir (Jenkins ve De Vries, 1970). ITRAX sistemi tarafından sağlanan QSpec yazılımı, standard çakıştırma (fitting) yöntemlerini kullanarak elementlerin pik yaptığı alanları spektrumdan tespit etmeye yardımcı olur. Her pik, düşük enerjili kısımları üssel olarak azalan Gauss fonksiyonu ile tanımlanır. X-ışını spektrumundan tespit edilen elementler (Si, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Rb, vb.) veya aralarındaki oranlar çizdirilerek yorum yapılır. XRF element profillerinin (Si, S, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Ni, Co, Cu, Zn, Rb) elde edilmesi için 0,5 mm örnekleme aralıklarında ve 10 s'lik etki sürelerinde Mo tübü kullanılarak taranmıştır. XRF ile karot boyunca analiz her 250 μm de bir ayrıntıda gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde karot boyunca zaman içerisinde çökel paketi içindeki karbonat miktarı ve kırıntı girdisini temsil eden elementlerdeki değişimler incelenmiştir.

2. X-ışınları radyografisi (X-ray radiography): Bu teknik, X-ışınlarının çökellere iletimindeki farklılığa dayanır (Bouma, 1969). Bu iletim sırasında X-ışınları, çökelin genel yoğunluğuna bağlı olarak soğrulurken tane boyu ve litojenik içerikten (karbonat ve silis) etkilenir. Ayrıca, ışın soğrulması, su içeriğindeki ve gözeneklilikteki değişim gibi fiziksel parametrelerden de etkilenir. Bu teknik ile karotlar 20 μm de bir taranarak sayısal sedimanter yapı (tabakalanma yapısı ve laminasyon gibi) görüntüleri alınmıştır. X-ışını radyografi görüntüleri çökel yoğunluğuna yani kabaca tane boyu

dağılımına ait bilgi içermesiyle birlikte biyotürbasyonların, sedimanter birim, fasiyeslerin ve lamilanaların tespitinde kullanılır.

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 nicelikselidir. Element oranlarının kullanılması ile gerek mineralojik ve tane boyu değişimlerine gerekse sistematik hataları gidermek için bir normalizasyon yapılır.



Şekil 2.1 : ITU-EMCOL karot laboratuvarındaki ITRAX mikro XRF karot tarayıcısı

2.2.2 Toplam Organik Karbon ve İnorganik Karbon Analizleri (TOK-TİK)

Çökel örneklerindeki toplam karbon ve inorganik karbon oranları, Shimadzu toplam organik karbon analizöründe ölçülmüştür.

Üç karottan (Sapanca1, Sapanca2 ve Sapanca3) 5 cm aralıklarla alınan örnekler Freeze Dryer'da kurutulmuş, agat havanda öğütülerek analize hazır hale getirilmiştir. Her bir örnekten 50 mg tartılarak 900 °C'lik kül fırında steril hale getirilen seramik kapların içinde analizöre yerleştirilmiştir.

Analizlerde ilk olarak üzerine kuvars pamuğu konulan örnek 900 de yakılarak toplam karbon (TK) değeri bulunmuştur. Daha sonra inorganik karbon (TİK) değeri örnek % 85'lik fosforik asitle muamele edilerek çıkan CO₂ miktarından ölçülmüştür. Toplam

karbondan inorganik karbon değeri çıkarılarak toplam organik karbon (TOK) değeri elde edilmiştir. Yapılan analizlerin sonucu % ağırlık olarak hesaplanmaktadır.

2.2.3 ^{14}C yaş tayinleri

Sapanca2 karotunun 37 cm'den seçilen bitki parçası (kanaryaotu) örneği ^{14}C yaş analizi için saf su ve düşük derişimli (%10>) HCl asit ile temizlenmiştir. Beta

Analytical laboratuvarlarında ^{14}C yaş analizi AMS yöntemi ile yapılmıştır.

2.2.4 ^{210}Pb ve ^{137}Cs analizleri

Sapanca3 karotunun ilk 20 cm birer cm örnekleme aralığı, 20cm ve 75 cm aralığı ise 5 cm örnekleme aralığında 1cm kalınlıkla örneklenip, freeze dryerda kurutulduktan sonra öğütülerek analize hazır hale getirilmiştir. ^{210}Pb ve ^{137}Cs radyonükleid analizleri Küçükçekmece Nükleer Araştırmalar Enstitüsü (ÇNAEM) radyoizotop laboratuvarlarında sırasıyla alfa spektrometre ve gama spektrometre kullanılarak yapılmıştır (Appleby ve Oldfield, 1983). Bu radyoizotopların yarı ömürleri ^{210}Pb için 22.26 yıl, ^{137}Cs için 30.17 yıldır. Günümüzde ^{210}Pb metodu, modern oşinografide deniz tabanı çökellerini tarihlendirmede yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. ^{210}Pb , ^{238}U 'ın radyoaktif bozunma serisi içinde doğal olarak meydana gelen radyonüklidlerinden birisidir. Çökel içinde bulunan ^{210}Pb hızlı bir şekilde denge oluşturur ve bu tip tarihleme çalışmalarında ilgi duyulan zaman skalasında sabit kalır. Çökelerde var olan ^{210}Pb 'a destekli (supported), buna karşılık atmosferdeki ^{222}Rn 'un bozunması ile meydana gelen ^{210}Pb 'a desteksiz (unsupported veya excess) ^{210}Pb denir. Desteksiz (unsupported) ^{210}Pb sedimantasyon hızı hesaplamasında ve yaş tayininde kullanılır.

Toprakta var olan ^{226}Ra 'un bozunmasıyla gaz haline geçen ve atmosfere sızan ^{222}Rn , bir dizi kısa yarı ömürlü bozunmalardan sonra nispeten daha uzun yarı ömürlü partikül halindeki ^{210}Pb 'a dönüşür. Parçacık-reaktif özelliği nedeniyle bu element atmosferde 30 günden daha az bir zamanda deniz ve göllerin tabanında çökellerde desteksiz (unsupported veya excess) ^{210}Pb 'u meydana getirirler. Bundan dolayı deniz tabanında oluşan atmosferik kökenli ^{210}Pb , deniz tabanında zaten var olan ^{226}Ra 'dan kaynaklanan ^{210}Pb 'a ilave olur. Böylece çökel parçacıklarına yapışan ^{210}Pb , çökel kayıtlarında herhangi bir yere hareket etmeksizin kalır. Desteksiz ^{210}Pb aktivitesi çökelerde zaten var olan ^{226}Ra 'dan kaynaklanan destekli (supported) ^{210}Pb aktivitesinin toplam ^{210}Pb

aktivitesinden çıkartılması ile bulunur. Böylece dip çökellerinin tarihlendirilmesi işlemi, uygun matematik modellerin yardımı ile çökel karotunun her bir dilimindeki ^{210}Pb ve ^{226}Ra radyonüklid konsantrasyonlarının tayini esasına indirgenir. ^{210}Pb son 100-150 yıl hakkında bilgi verir (Appleby ve Oldfield, 1992). Çökelerde depolanan ^{210}Pb 'nin aktivitesi radyoaktif bozuşma kanununa göre derinlikle geometrik (üstel) olarak azalır ve bu azalma ^{226}Ra 'dan kaynaklanan ^{210}Pb 'nin konsantrasyonuna ulaşıncaya kadar devam ederek sabit kalır. Bu değer bize çökeldaki ^{226}Ra 'a bağlı doğal (destekli) seviyeyi verir.

Bu çalışmada CRS: “Constant Rate of unsupported ^{210}Pb Supply” modeli kullanılmıştır. CRS'e göre herhangi bir yerdeki ^{210}Pb 'un atmosferik depolanmasında coğrafik ve meteorolojik faktörlerin etkili olduğu ve bunun birkaç yılın ortalaması alındığında sabit olduğu varsayılır. CRS modelinde başlangıçtaki ($t=0$) desteksiz ^{210}Pb aktivitesi kütle derinliği (Mass Depth) veya x derinliğiyle ters orantılı olarak azalır. CRS modeline göre x derinliğindeki çökelin yaşı aşağıda verilen denklemle hesaplanır (Appleby and Oldfield, 1983) :

$$A_{\text{Pb-210ex.}} = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \quad (2.1)$$

^{137}Cs yapay bir radyonükliddir. Çevreye nükleer fizyon reaksiyonları sonucu ve özellikle 1945'den sonraki atom bombası denemeleri ve reaktör kazaları (örneğin Çernobil) ile karışmıştır. Bu radyonüklid 30.17 yıllık yarı ömrü ile çökelerde üstten alta doğru bir konsantrasyon azalması gösterir. Ayrıca pik gösterdiği en önemli çökel seviyesi 1986 Çernobil kazası ile ilgilidir. Bu özellikleri genç çökellerin yaşlandırılmasında kullanılmaktadır.

2.3 Fiziksel Özellikler

2.3.1 Çok Sensörlü Karot Log Alıcısı (MSCL: Multi Sensor Core Logger) Analizleri

Çok Sensörlü Karot Loglayıcısı, farklı koşullar altında çökel karotlarında çeşitli fiziksel özellikleri çeşitli dedektörler yardımıyla ölçmektedir (Şekil 2.2). Tamamen otomatikleştirilmiş karot tarama işleminin kontrolü ve verilerin işlenmesi için 'Windows' işletim sistemi tabanlı bir yazılım kullanılmaktadır. Ölçümlerin karot

boyunca çözünürlüğü istenildiği şekilde seçilebilmekte olup, bu çalışmada Sapanca1, Sapanca2 ve Sapanca3 karotları için 0,25 cm ölçüm aralığı seçilmiştir.

Cihazın üzerinde bulunan yaklaşık 4 m boyundaki ray ve sensörler ile her karotun boyu otomatik olarak ölçülmekte ve kullanıcı tarafından tanımlanmış olan adım aralığı ile karotlar sabit dedektörlere doğru bir motor tarafından itilmektedirler. Cihaza el ile yerleştirilen karotun ölçümleri yapılırken bilgisayarda gerçek zamanlı grafik olarak izlenebilmektedir. Cihaz üzerinde sıralı olarak bulunan dedektörler, gama yoğunluk, P-dalgası, elektrik özdirenç ve manyetik duyarlılık ölçümleri yapmaktadırlar. Sapanca karotlarında kullandığımız başlıca MSCL ölçüm bileşenleri şunlardır:

2.3.1.1. Gama yoğunluk (GD)

Yoğunluk, Compton saçılması prensibine dayanarak karot içerisinden geçen gama ışınlarının soğrulmasına göre ölçülür. Kısmi enerji kaybıyla alıcıya ulaşan fotonlar elektronlar tarafından saçılır, bu nedenle Compton soğrulması, gama ışın yolundaki elektron sayısıyla, karot kalınlığıyla ilişkilidir. ^{137}Cs gama kaynağı 5 mm çapındaki kolimatör ile oluşturulan ince gama ışını, karotun içerisinden geçerek diğer taraftaki gama algılayıcısına ulaşır. Bu algılayıcı, karot malzemesinin gama yoğunluk özelliklerine bağlı olarak ışının şiddetini ölçer. Yoğunluk, hesaplama zamanına ve karotun durumuna bağlı olarak %1 hassasiyetle ölçülebilmektedir.

2.3.1.2. Manyetik duyarlılık (MS)

Manyetik duyarlılık (k), malzemelerin bir dış alan etkisinde kazandığı mıknatıslanma değerinin katsayısıdır. Manyetik duyarlılık ölçümleri için iki tip sensör mevcuttur. Birincisi halka sensör olup bütün karotlar için kullanılmaktadır. İkinci tip sensör ise nokta sensör olup ikiye kesilmiş yarım karotlarda kullanılmaktadır.

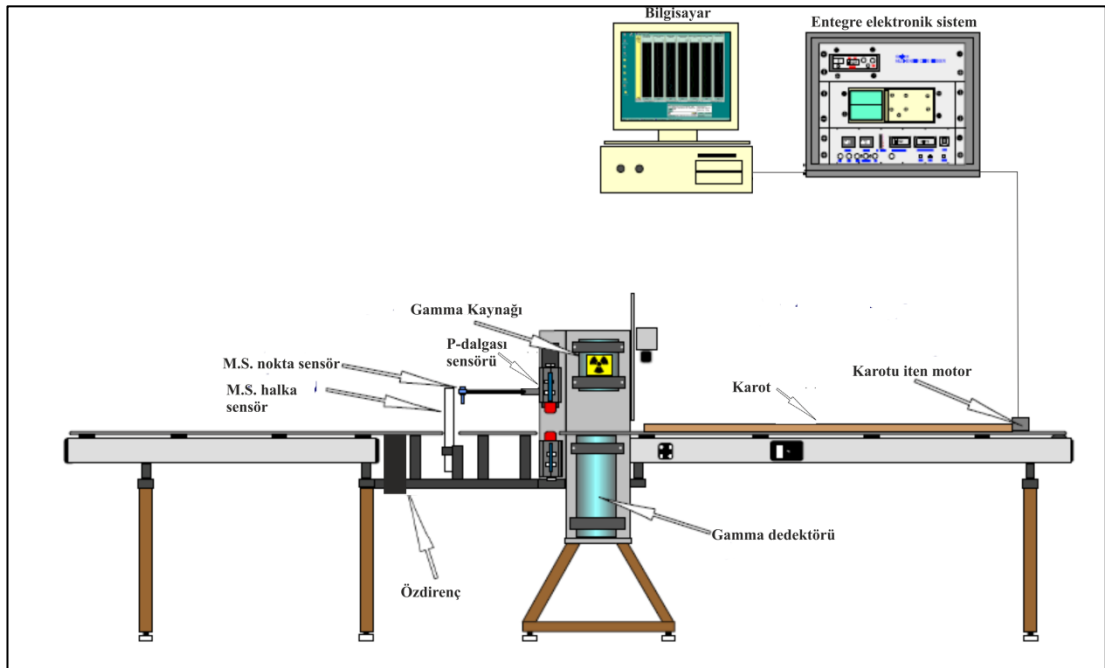
Bu çalışmada yarım karotlarda 5mm'den daha iyi çözünürlükte ölçüm yapılabilen Bartington MS2E nokta sensörü kullanılmıştır.

Ölçümlere başlanmadan önce ölçüm yapılacak olan karotun özelliklerine göre her bir sensörün kalibrasyonun yapılması gereklidir. Ölçümler için kalibrasyon özdirenci bilinen değişik konsantrasyonlarda tuz içeren tuzlu su standartları kullanılarak yapılmıştır.

2.3.2 Tane Boyu Analizleri

Tane boyu analizleri için İTÜ-EMCOL Araştırma Merkezi Sedimentoloji Laboratuvarında bulunan Frisch Analysette22 Lazer Tane Boyu Analizörü kullanılmıştır. Karotların tane boyuna yönelik analizler 1 cm örnekleme aralığında alınan örneklerde yapılmıştır. Bu cihaz ile karot çökel örneklerinde 300 μm 'den daha küçük olan tane boyu dağılımı ile ilgili parametrelerin (ortalama, boylanma ve çarpıklık) yanında ince kum, silt ve kil yüzdeleri hesaplanmıştır.

Analiz için çökellere ön işlem uygulanmıştır. Bu ön işlem sırasında karottan alınan



Şekil 2.2: MSCL cihazının şematik gösterimi

numuneler 50 ml lik beherlere koyulmuştur. Daha sonra bu beherlere %10 çözelti 20 ml HCl asit eklenmiş ve oda sıcaklığında 2 saat ve daha sonra sıcak su banyosunda 60°C'de reaksiyon bitene kadar (en az 2 saat) bekletilmiştir. Numuneyi asitten temizlemek için asitli örnekler 50 ml'lik tüplerine koyulmuş ve 3000 rpm'de 5 dakika boyunca santrifüj yapılmıştır. Bu işlemden sonra çökelden ayrılan asit boşaltılmış ve çökele distile su eklenmiş ve 3000 rpm'de 5 dakika boyunca santrifüj yapılmıştır. Bu işlem bir kere daha tekrarlanmıştır.

İlk ön işlemin ardından HCl asitten tamamen temizlenen örnekler %15 çözelti 20 ml H₂O₂ çözeltisi eklenmiştir. İlk gün oda sıcaklığında üç saat bekletilen örnekler daha sonra sıcak su banyosunda 60°C'de iki saat bekletilmiştir. Ertesi gün tekrardan sıcak su

banyosunda 60°C’de altı saat bekletilmiştir. Üçüncü günde sıcak su banyosunda yine 60°C’de beş saat bekletildikten sonra ilk ön işlemde yapılan şekilde çözelti santrifüj yöntemiyle çökelden temizlenmiştir.

H₂O₂ çözeltisinden temizlenen örnekler son olarak %10’ luk 10 ml’lik KOH çözeltisi eklenmiştir. Örnekler ilk olarak oda sıcaklığında iki saat daha sonrasında yarım saat 60°C’de sıcak su banyosunda bekletilmiştir. Daha önceki işlemlerde ki gibi çökel çözeltiden santrifüj yöntemiyle temizlenmiştir.

Ön işlemlerin ardından örnekler %1’lik 20 ml kalgon (pirofosfat) çözeltisi eklenmiş ve analizden önce örnekler çözeltiyle beraber manyetik balıklar yardımıyla titreşim makinesinde 12 saat larıştırılmıştır. Pastör pipeti ile analize hazır hale gelen çözünmüş örneklerden bir miktar alınmış ve analizöre damla damla eklenmiştir. Makinenin ölçüm aralığı olan %7-14 derişimi aralığında örnek eklendikten sonra tane boyu ölçümleri otomatik olarak yapılmıştır. Her örnekten iki adet ölçüm yapılmıştır. Tüm ölçümlerden sonra makineden analiz sonuçları excel formatında alınmıştır. Her örnekte yapılan iki ölçümün ortalaması o örneğin sonucu olarak kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Panplot ve Matlab programları yardımıyla grafiklere çevrilmiştir.

3. SONUÇLARIN SUNUMU

3.1 Karotların Litolojisi ve Radyografisi

Sapanca1 Karotu: Karot kuzeydeki fayın hemen güneyinde gölün yamacından alınmıştır (Şekil 1.1 ve 1.2). 42.5 cm uzunluğundaki karot en üstte 7.5 cm'lik gri çamurdan oluşmuştur. Üstteki bu gri renk organik kirlenme ve dip suyunda oksijensizliğe işaret etmektedir. Birimin alt kısmı radyografi görüntüsünde daha yoğun olarak gözükmemektedir. Üstteki bu birimin altında, 7.5-13 cm aralığında, kahverengi çamur; 13-18 cm aralığında gri çamur; 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. Karotun litolojisi tanımlanırken gözle görülemeyen ama radyografide yoğunluğundan ayırt edilen birimler kesikli çizgiler ile gösterilmiştir (Şekil 3.1).

Sapanca2 Karotu: Karot gölün merkezi derin kısmına yakın, 50 m su derinliğinden alınmıştır (Şekil 1.1 ve 1.2). Uzunluğu 59.2 cm olan karotun en üst 7 cm kalınlığındaki kısmı organik kirliliği ve dip suyunda oksijensizliği gösteren koyu gri çamurdur (Şekil 3.2). Birimin alt kısmı radyografi görüntüsünde koyu renkle daha yoğun olarak gözükmemektedir. Altında 7-17.5 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

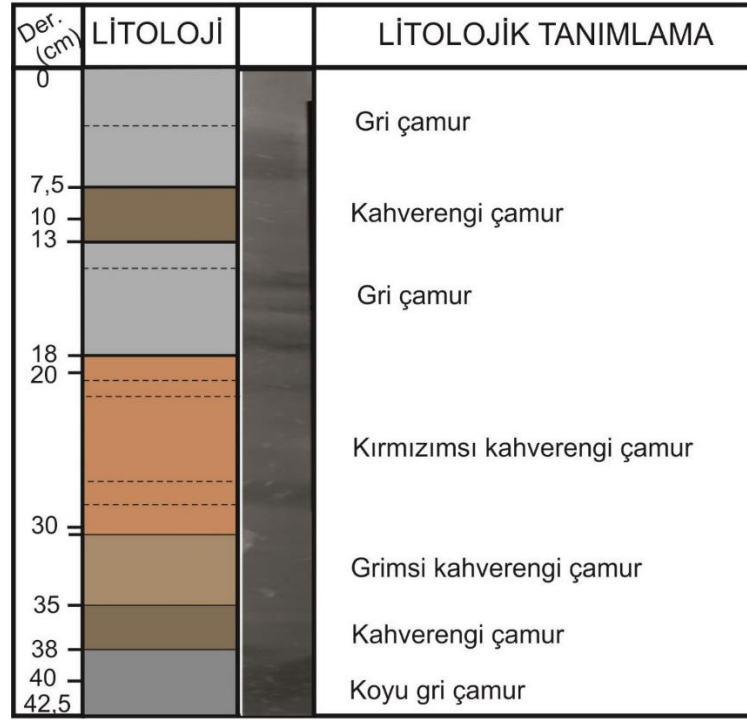
birimler yaklaşık 15° lik bir eğim göstermektedir. Eğim gösteren bu tabakaların en üstünde 36,5-43 cm aralığında koyu gri kaba silt bandı içeren paslı kahverengi çamur bulunur. Bu birim radyografi görüntüsünde alta doğru koyulaşan ve olasılıkla tane boyu artan bir özellik gösterir. Karotun 43-45 cm aralığında açık yeşilimsi bir gri çamur bandı bulunur. 45-50 cm'ler arasında kahverengimsi gri çamur tabakası izlenir. Bu tabaka görelî 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 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 bölüm bulunur. Karotun yaklaşık 18 cm kalınlığındaki eğimli taban kısmı deformasyona işaret etmektedir. Tabanda eğimli bulunan birimlerin en üstündeki 38-43 cm aralığındaki kaba siltli birim büyük olasılıkla bir kütle akması sonucu çökelmiştir.

Sapanca3 Karotu: Karot, Sapanca Gölü derin düzlüğünün üzerinde, güneydeki faya yakın bir konumda, 51.5 m su derinliğinden alınmıştır (Şekil 1, 2). En üstte 3 cm kalınlığında sulu gri-koyu gri bir çamur bulunur. Altta 3-24 cm arasında, tabanı dalgalı kahverengimsi gri çamur birimi görülür (Şekil 3.3). Birimin dalgalı tabanı akıntı veya deformasyona işaret eder. Karotun radyografisinde üsteki birinci birimin altı ile ikinci birimin üst kısmı kapsayan bir bölüm yoğun (koyu gri renk) olarak gözükmemektedir. 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, yoğundur. Altta, 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. Bu karottada gözle görülemeyen ama radyografi görüntüsünde seçilen birimlerin sınırları kesikli çizgilerle gösterilmiştir.

Karot No: SAPANCA1

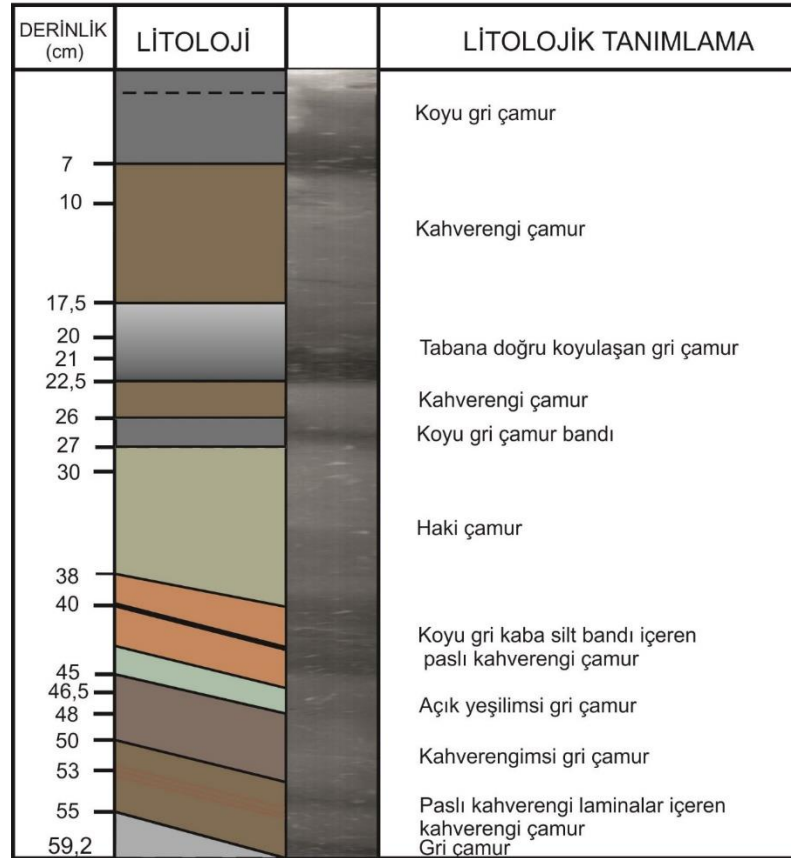
Derinlik: -43 m.



Şekil 3.1: Sapanca1 karotunun litolojik tanımlaması ve radyografi görüntüsü

Karot No: SAPANCA2

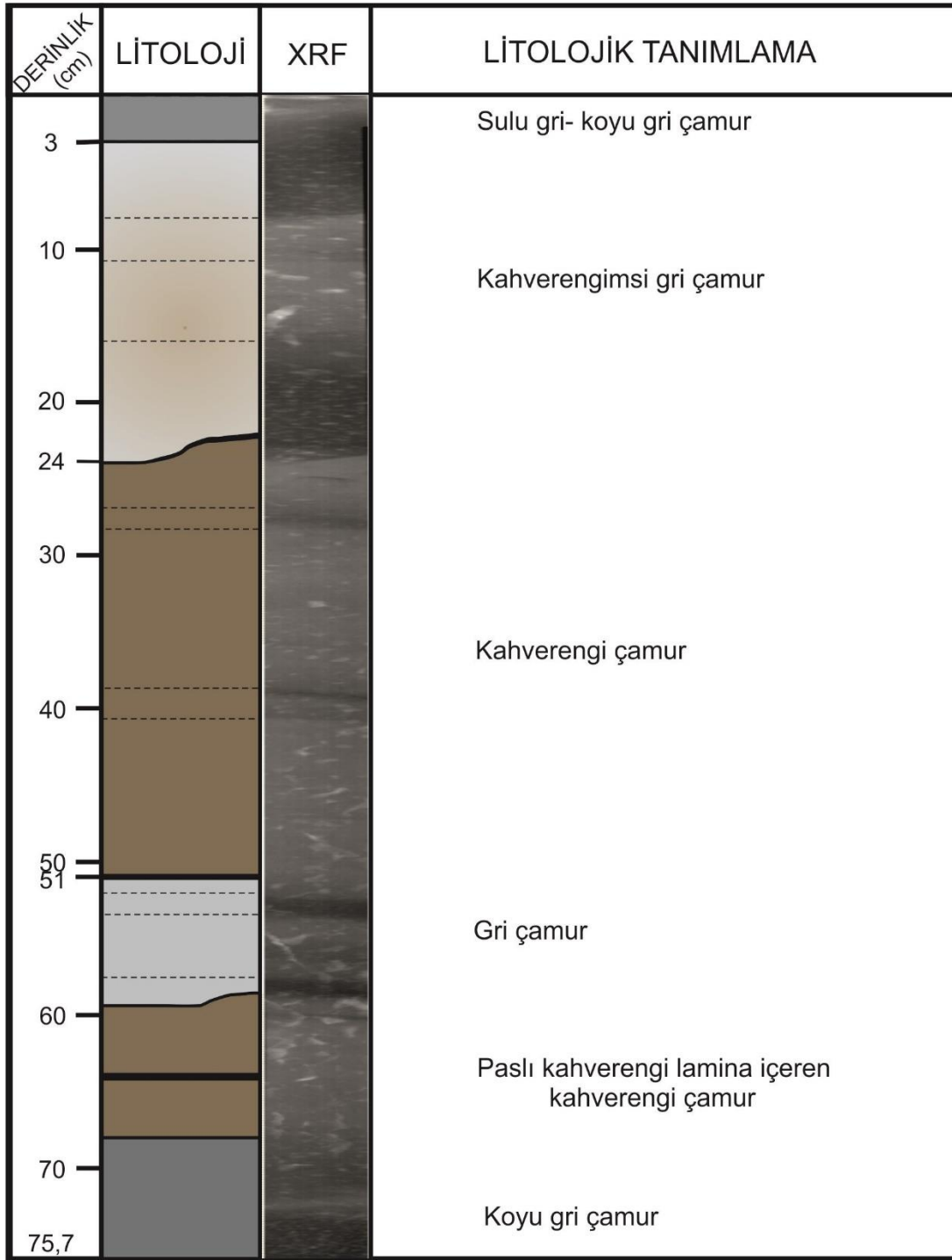
Derinlik: -50 m.



Şekil 3.2: Sapanca2 karotunun litolojik tanımlaması ve radyografi görüntüsü

Karot: SAPANCA3

Derinlik: -51,5 m.



Şekil 3.3: Sapanca3 karotunun litolojik tanımlaması ve radyografi görüntüsü

3.2 Karotların kronolojisi

Sapanca karotlarının yaşlandırma çalışmaları için radyonüklid (^{210}Pb ve ^{137}Cs) ve radyokarbon tarihlendirme yöntemleri kullanılmıştır. Radyonüklid analizleri

Sapanca3 karotunda AMS radyokarbon analizi; Sapanca2 karotunda Asteraceae ailesinden senecio vernalis (kanaryaotu) türü bir bitkinin çiçek sapından yapılmıştır.

Sapanca3 karotunda ^{210}Pb profili, normalde beklenildiği gibi alta doğru düzgün azalmamaktadır (Şekil 3.4). 0-3 cm aralığında maksimum 80-85 Bq/kg'dan, 3-12 cm aralığında 45-55 Bq/kg değerlerine düşmektedir. 12-17 cm derinliğinde tekrar 85 Bq/kg değere yükseldikten sonra 19-20 cm'de 45 Bq/kg değerine düşmektedir. ^{210}Pb değerleri, 24-35 cm arasında yaklaşık 60 Bq/kg düzeyinde seyrettikten sonra, azalma eğilimine girmekte ve 44-45 cm'de en düşük 25 Bq/kg değerine ulaşmaktadır. 51 cm'nin altında 40-50 Bq/kg arasındaki tekdüze değerlerle karotun tabanına devam etmektedir. ^{210}Pb profilinin inişli çıkışlı davranışı özellikle son yüz yılda oluşmuş kütle akmaları ile açıklanabilir. Genel olarak hızlı değişimlerin olduğu seviyeler radyografide koyu renkli, kütle akması olarak tanımladığımız gri renkli çamur birimlerine karşılık gelmektedir.

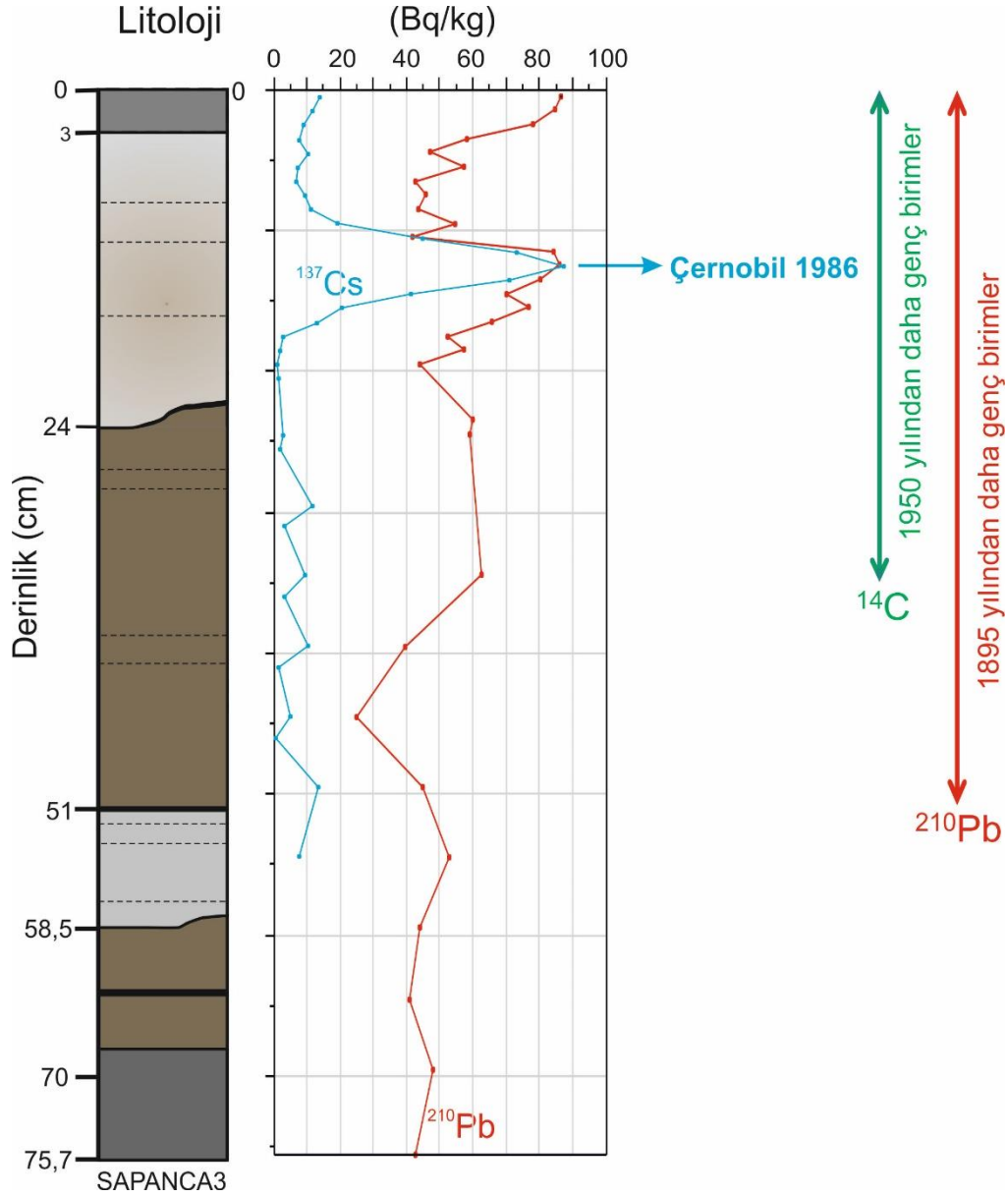
Tekdüze düşük ^{210}Pb değerleri 51 cm'nin altında izlendiğinden, yaklaşık bu seviye ^{210}Pb 'un 5. yarılanma yaşı olan günümüzden önce (G.Ö.) 120 yıla denk gelmektedir. Buna göre bu seviye, karotun alım yılından 120 yıl öncesini, yaklaşık olarak 1890 yılını temsil etmektedir (Şekil 3.4).

^{210}Pb analizlerinden tüm karot boyunca ortalama sedimantasyon hızı yılda 1.8 mm/yr olarak bulunmuştur. Bu sonuç, Leroy, ve diğ., (2009)'nin gölde daha önce yaptıkları polen çalışmalarında bulduğu ortalama 1.88 cm/yr değeri ile uyumludur. Sedimantasyon hızı kullanılarak kütle akması seviyeleri ayıklandığı zaman Sapanca3 karotunun taban yaşı günümüzden önce yaklaşık 200 yıldan daha fazladır. Yapılan korelasyon çalışmalarına göre Sapanca2 ve Sapanca1 karotlarının taban yaşları ise günümüzden 135 yıl öncesine varmaktadır.

^{137}Cs profili 12-13 cm karot derinliğinde 1986 tarihli Çernobil Nükleer Reaktör kazasının çok belirgin olarak 85 Bq/kg değeri ile vermektedir (Şekil 3.4). ^{137}Cs analizlerinde 1955-1960 yıllarına ait nükleer faaliyetleri temsil eden yüksek değerlere Sapanca karotu profilinde rastlanılmamıştır.

Sapanca2 karotunun 37. cm'sinde bitki parçasından alınan AMS radyokarbon yaşı 1900 yılından daha genç; 1955 nükleer denemelerinden daha yaşlıdır. Bu bilgi ışığında çalışma sonucunda belirlenen ve Sapanca2 karotunda 37 cm'den yukarıda

olan çökel birimleri 1950 yılından sonra çökelmiştir. Sapanca2 karotundaki bu seviye Sapanca3 karotu ile eşleştirildiği zaman bu karotta 35-36 cm'ye denk gelmektedir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4: Sapanca3 karotuna ait ^{210}Pb ve ^{137}Cs radyonüklid yaş analizi sonuçları ve sismo-türbidit birimlerinin geçmiş depremlerle korelasyonun grafiği

3.3 Karotların Fiziksel Özellikleri

3.3.1 Tane Boyu Özellikleri

Karot boyunca normal kil ve siltli göl çökeltileri istifli kum içeren çökeltilerle bozulmuştur (Şekil 3.5, 3.6, 3.7). Bu seviyeler olasılıkla kütle akması ile sıkı yerlerden

taşınmıştır. Ortalama tane boyunun arttığı bu seviyelerde aynı zamanda boylanma kötüleşmekte ve pozitif çarpıklık artmaktadır.

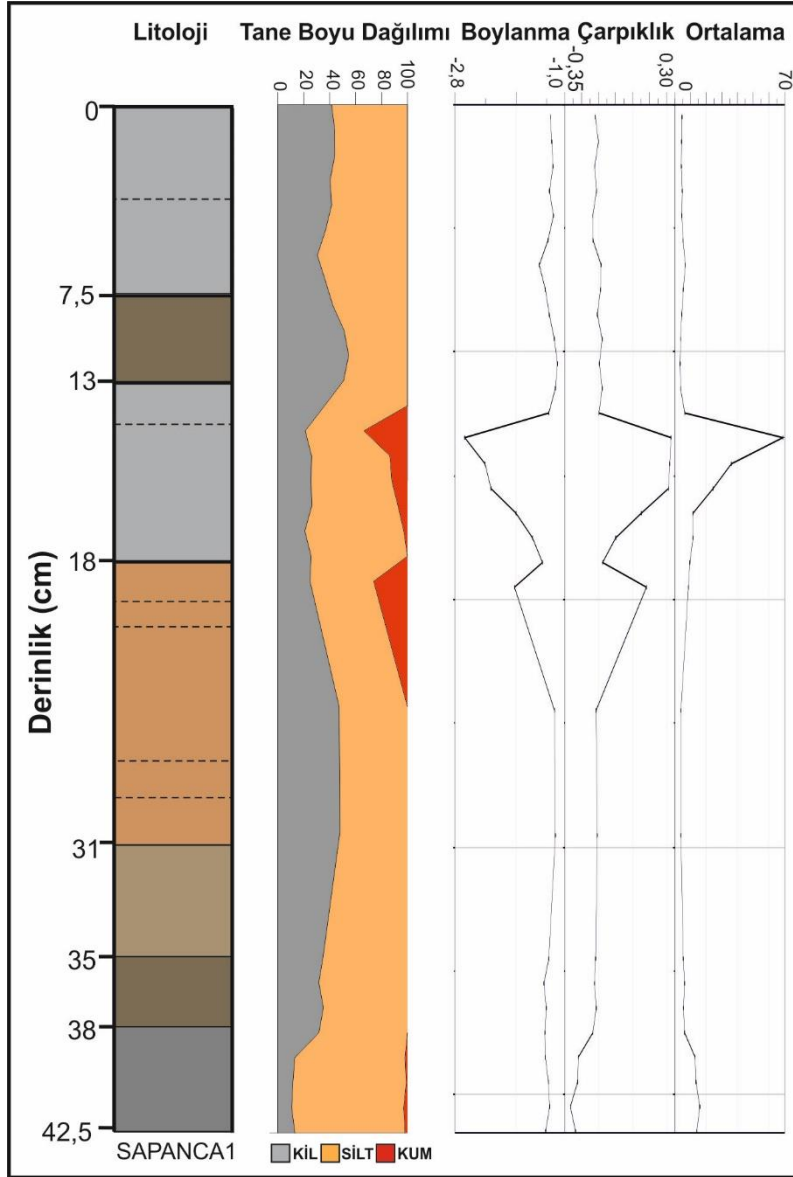
Karotlarda tane boyunda artış genellikle litoloji sınırlarına veya sınırların alt ve üst kısımlarına denk gelmektedir. Radyografi görüntüsünde tane boyu dağılımlarında artış görülen (silt yüzdesinin kil yüzdesinden daha fazla olduğu ve ince kum içeren) seviyeler belirgin şekilde koyu renkte (yüksek yoğunlukta) 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 3.7’de sınırları kesik çizgilerle gösterilerek karotlar arasındaki korelasyonları yapılmıştır.

Sapanca1 Karotu: Karotun kum olmayan seviyelerinde genellikle %40 kil ile %60 oranında silt gözlenmektedir (Şekil). Kumlu seviyelerde ise %20 ile %40 arasında değişen kum içeriği vardır. Kumlu seviyelerdeki boylanmaların kötüleştiği ortalama tane boyunun arttığı ve pozitif çarpıklığın da arttığı görülmektedir.

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.

Sapanca2 Karotu: Yapılan tane boyu analizleri sonucunda karotun genelinin %40 kilden % 60 ise siltten oluşmaktadır. Karotun belirli seviyelerinde ise yer yer miktarı %25 ile %50 arasında kumlu malzeme görülmektedir. Sapanca2 karotunda da kumlu seviyelerdeki boylanmaların kötüleştiği ortalama tane boyunun arttığı ve pozitif çarpıklığın da arttığı görülmektedir.

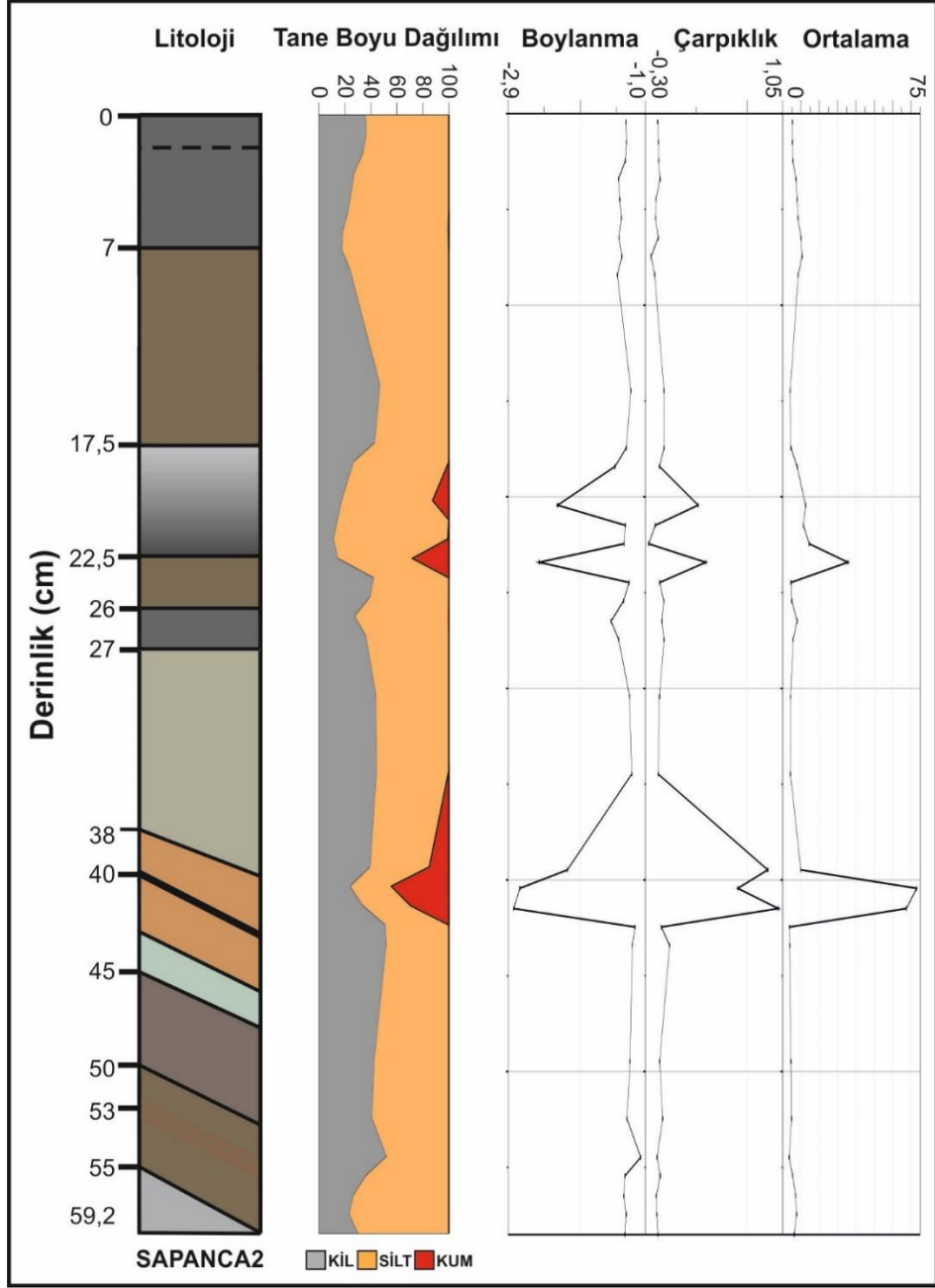
Karottaki üst üç birim, altıncı ve yedinci birimler ile karotun tabanında tane boyu dağılımı artış göstererek, 17.5-22.5cm ve 36-40 cm aralığında ince kum içermektedir. Şekil 3.6’da karotun analiz sonuçlarından hazırlanan grafikler verilmiştir.



Şekil 3.5: Sapanca1 karotunun tane boyu dağılımının ve özelliklerinin loğu

Sapanca3 Karotu: Sapanca3 karotuna ise tane boyu dağılımlarını incelediğimizde karotun kum olmayan seviyelerinde genellikle %40 kil ile %60 oranında silt gözlenmektedir. Kumlu seviyelerde ise %20 ile %40 arasında değişen kum içeriği vardır. Kumlu seviyelerdeki boylanmaların kötüleştiği ortalama tane boyunun arttığı ve pozitif çarpıklığın da arttığı görülmektedir.

Karotun üst 4 cm'lik kısmı, ikinci, üçüncü, dördüncü, beşinci birimler ile en tabandaki birim içerisinde değişik seviyelerde tane boyu dağılımında artış gözlenmektedir (Şekil 3.7). Karotun ilk cm'leri ile 27-29 cm aralığında ince kum seviyeleri bulunmaktadır.

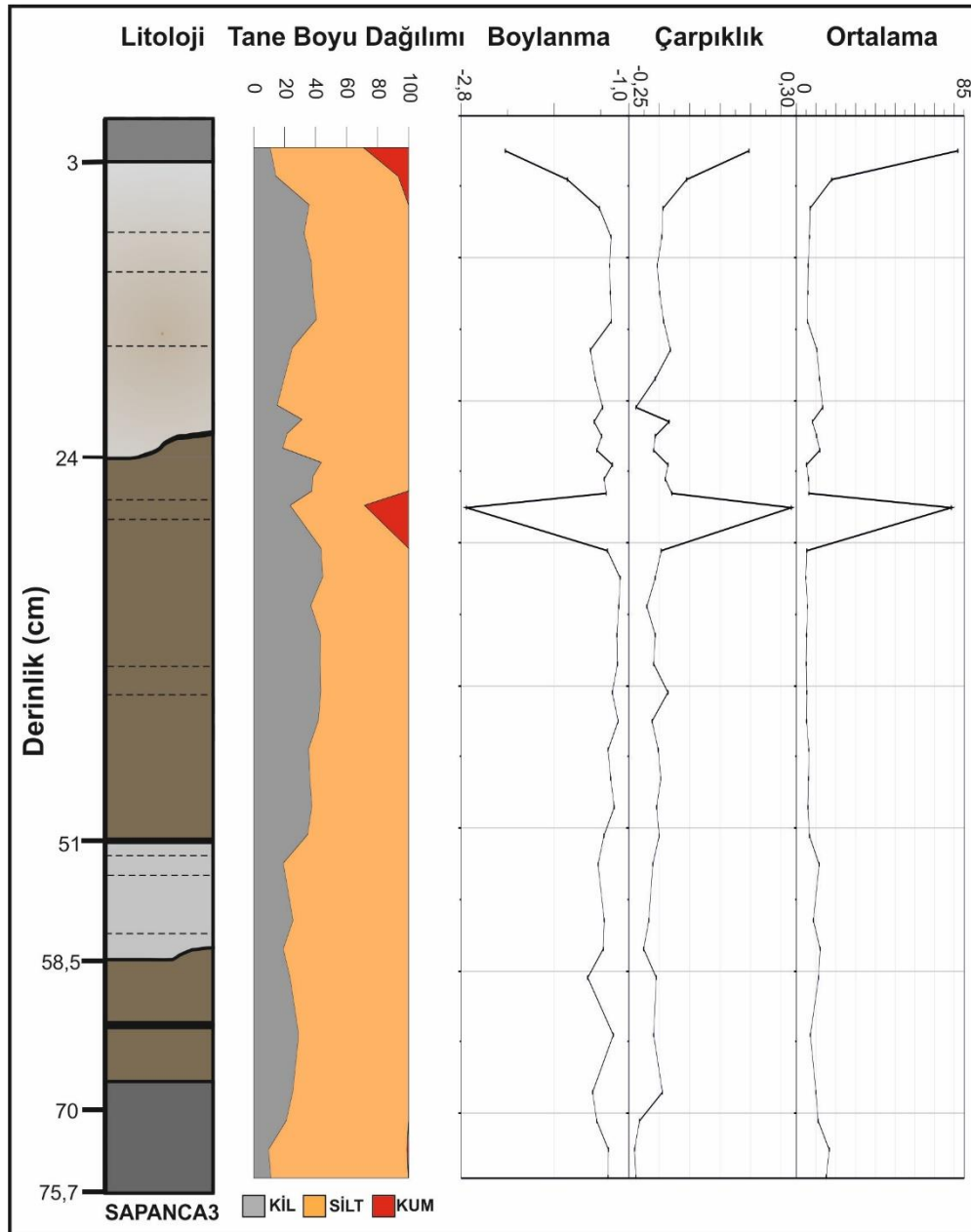


Şekil 3.6: Sapanca2 karotunun tane boyu dağılımının ve özelliklerinin logu

3.3.2 Karotların MSCL Sonuçları

Sapanca1 Karotu: Manyetik duyarlılık değerleri en üstteki sulu koyu gri çamur biriminde oldukça düşüktür (Şekil 3.8). Bu birimin altındaki birimlerde sürekli artarak 28 cm derinlikte maksimum değerlere (~30 u.S.I.) ulaşır (Şekil 3.8). İkinci bir pik tabandaki koyu gri çamur biriminin üst seviyelerinde görülür.

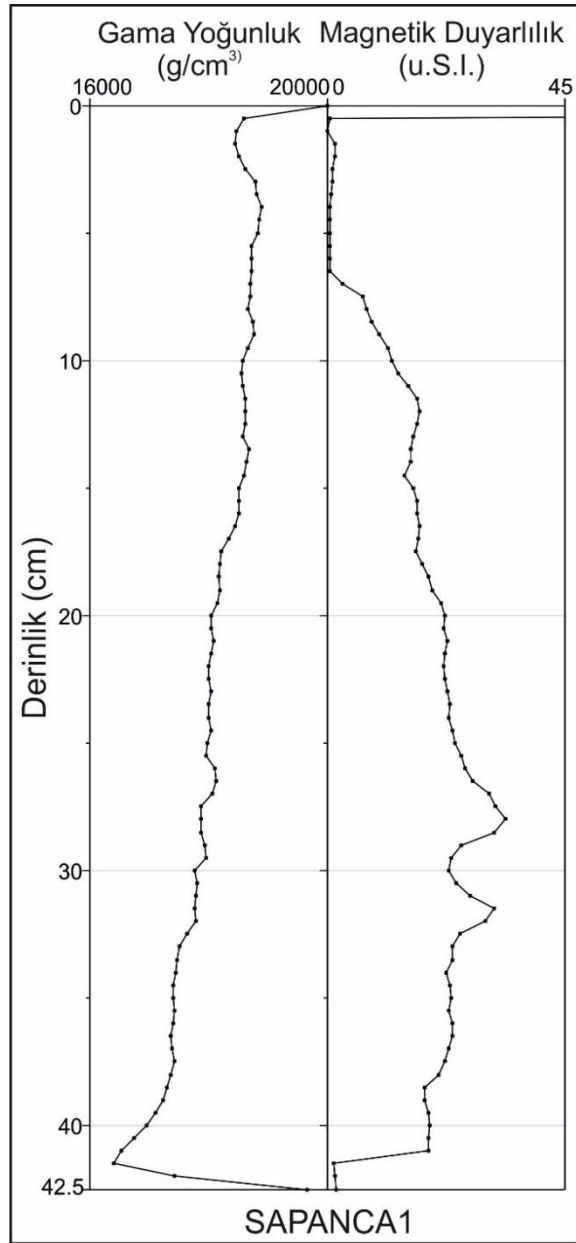
Gama yoğunluk değerleri üstten karot boyunca artarak 18 cm’de sulu koyu gri çamur birimin tabanında 1.72 g/cm^3 maksimum değerine ulaşır. Yoğunluk değerlerinde 18 cm’den başlayarak 25 cm karot derinliğine doğru bir azalma görülür. Daha aşağılarda



Şekil 3.7: Sapanca3 karotunun tane boyu dağılımının ve özelliklerinin logu

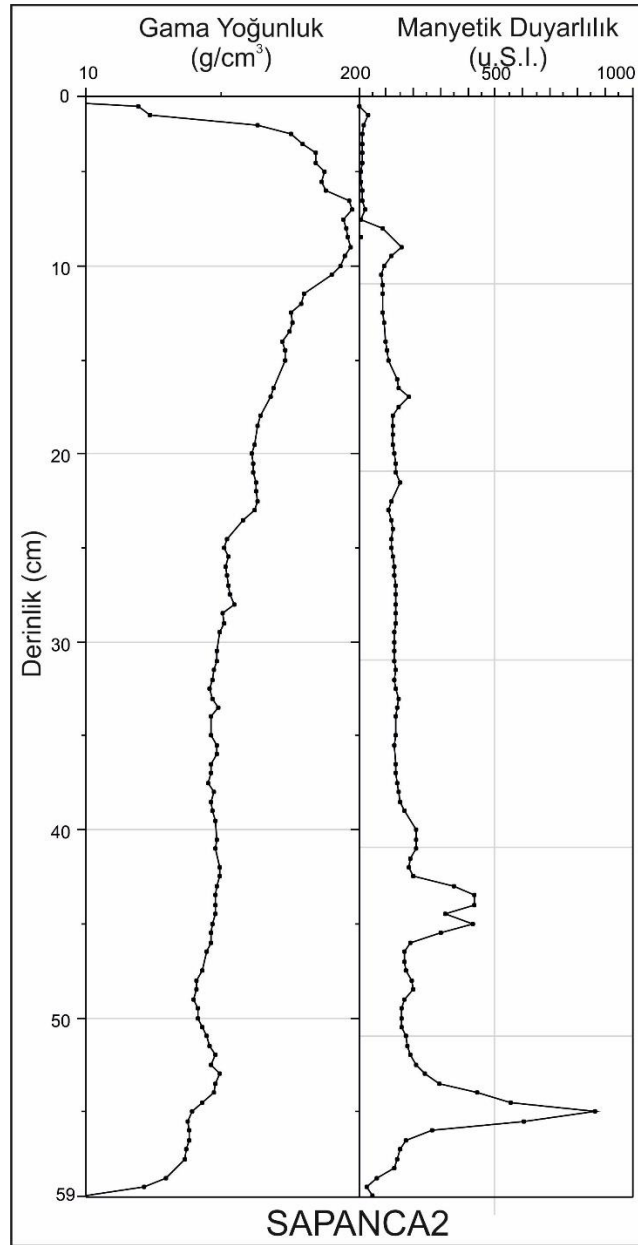
1.62 g/cm³ değerleri civarında değerler 37 cm derinliğe kadar seyreder. Bu derinlikten karotun tabanına doğru azalma görülür.

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



Şekil 3.8: Sapanca1 karotunun MSCL analizleri sonucunda elde edilen gama yoğunluk ve manyetik duyarlılık profili

Sapanca2 Karotu: Karotta manyetik duyarlılık değerleri üst yedi cm’de düşüktür. 9 cm, 20 cm, 43 cm ve 55 cm karot derinliklerinde manyetik duyarlılık değerlerinde pikler görülür (Şekil 3.9). Bu piklerin 21 cm ve 43 cm de olanları litolojik birim sınırlarına karşılık gelir. 110 u.S.I. 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/cm^3 değerine ulaşan bir pik oluşturduktan sonra karot boyunca aşağı doğru genel bir azalma gösterir (Şekil 3.9).

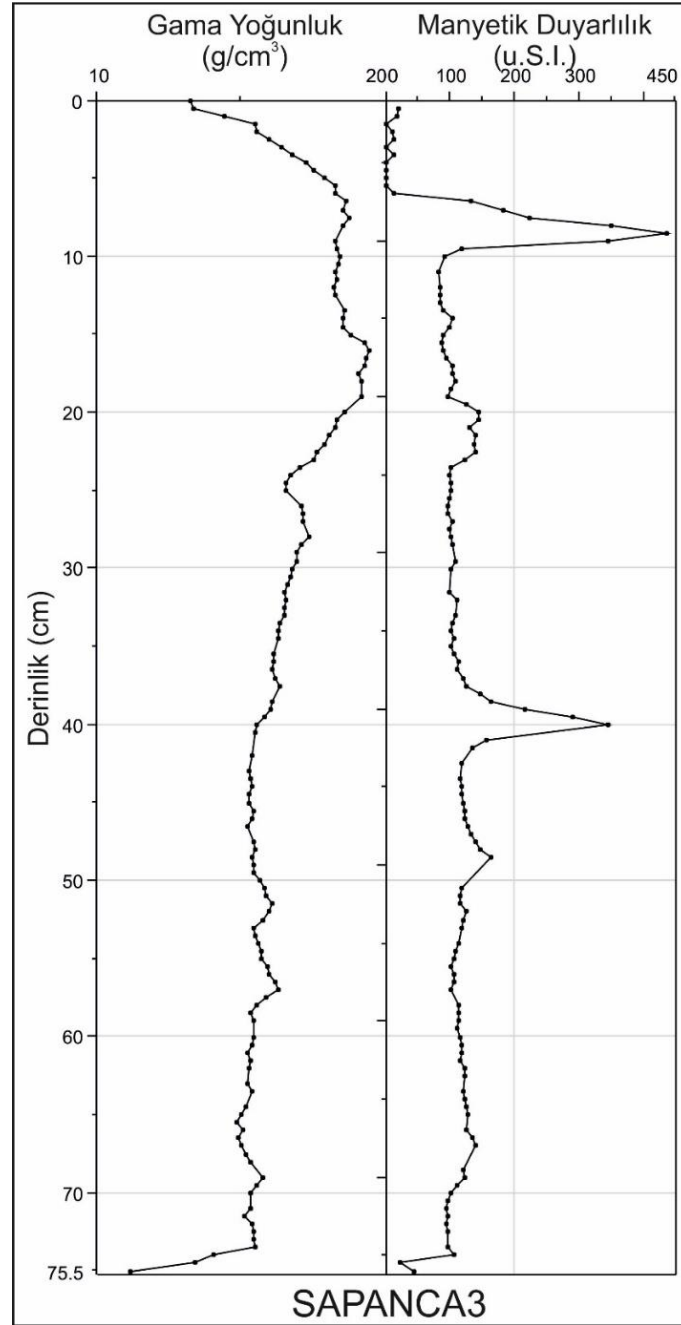


Şekil 3.9: Sapanca2 karotunun MSCL analizleri sonucunda elde edilen gama yoğunluk ve manyetik duyarlılık profili

Sapanca3 Karotu: Karot boyunca 10 cm, 20-22 cm, 40 cm ve 50 cm derinliklerde man. duy. pikleri görülür (Şekil 3.10). Bu piklerden 10 cm derinliktekinin dışındakiler yaklaşık farklı renklerde olan litolojik birim sınırlarına karşılık gelmektedir. 10 cm derinlikte olan pik en belirginini olup 80 u.S.I. değerlerine ulaşır. Bu pik olasılıkla demir monosilfid minerallerinin çökeldiği diyajenetik bir sınırı temsil etmektedir.

Gama yoğunluk değerleri karotun üst 22 cm'sinde iki yüksek değer ($1.7-1.8 \text{ g/cm}^3$) oluşturduktan sonra, aşağılara doğru bir azalma gösterir. Karotun 23 cm altındaki bu

düşük yoğunluk değerleri arasında çoğunluğu litoloji sınırları ve göreceli yüksek man. duy. değerlerine karşılık gelen pikler görülür.



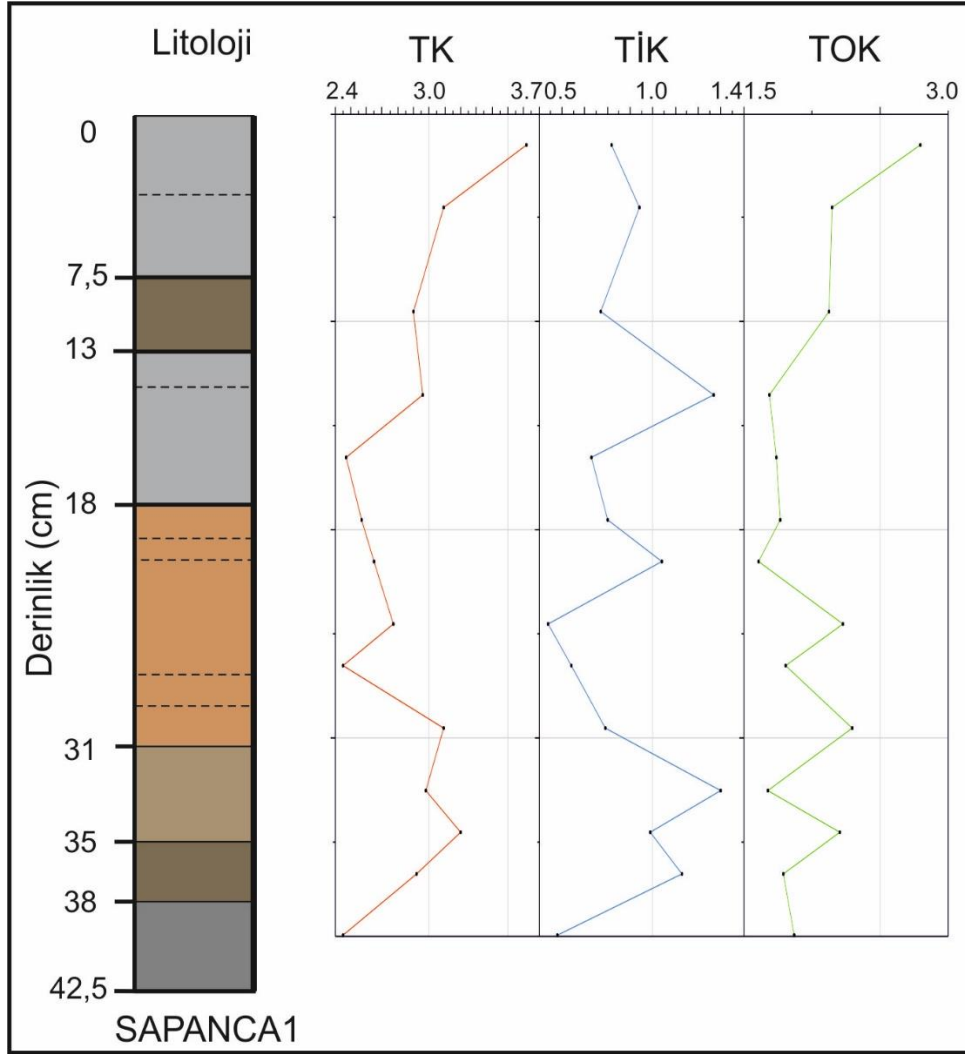
Şekil 3.10: Sapanca3 karotunun MSCL analizleri sonucunda elde edilen gama yoğunluk ve manyetik duyarlılık profili

3.4 Karotların Jeokimyası

3.4.1 Karotların Organik Karbon Jeokimyası

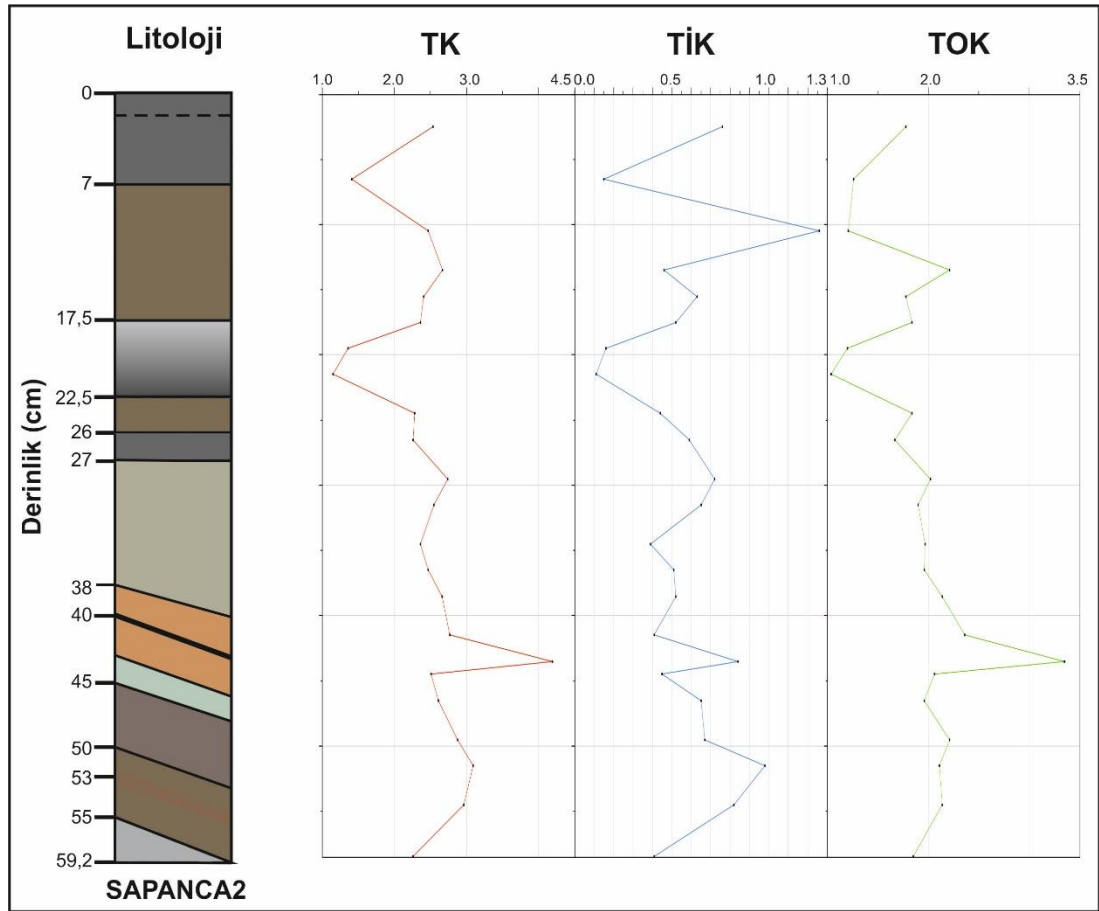
Sapanca1 Karotu: Karotta en yüksek toplam inorganik karbon değeri %1.3 ile 19,5 cm'de ve en yüksek toplam organik karbon değeri %2.8 ile karotun en üst kısmında

bulunmuştur (Şekil 3.11). Karotun en üstündeki yüksek toplam organik karbon değeri göldeki organik kirliliği ve ötrofikasyonu göstermektedir. En düşük toplam inorganik karbon değerleri %0.5 ile 24,5 ve 39,5 cm’de ve en düşük toplam organik karbon değeri ise %1.6 ile 13,5 cm’dedir.



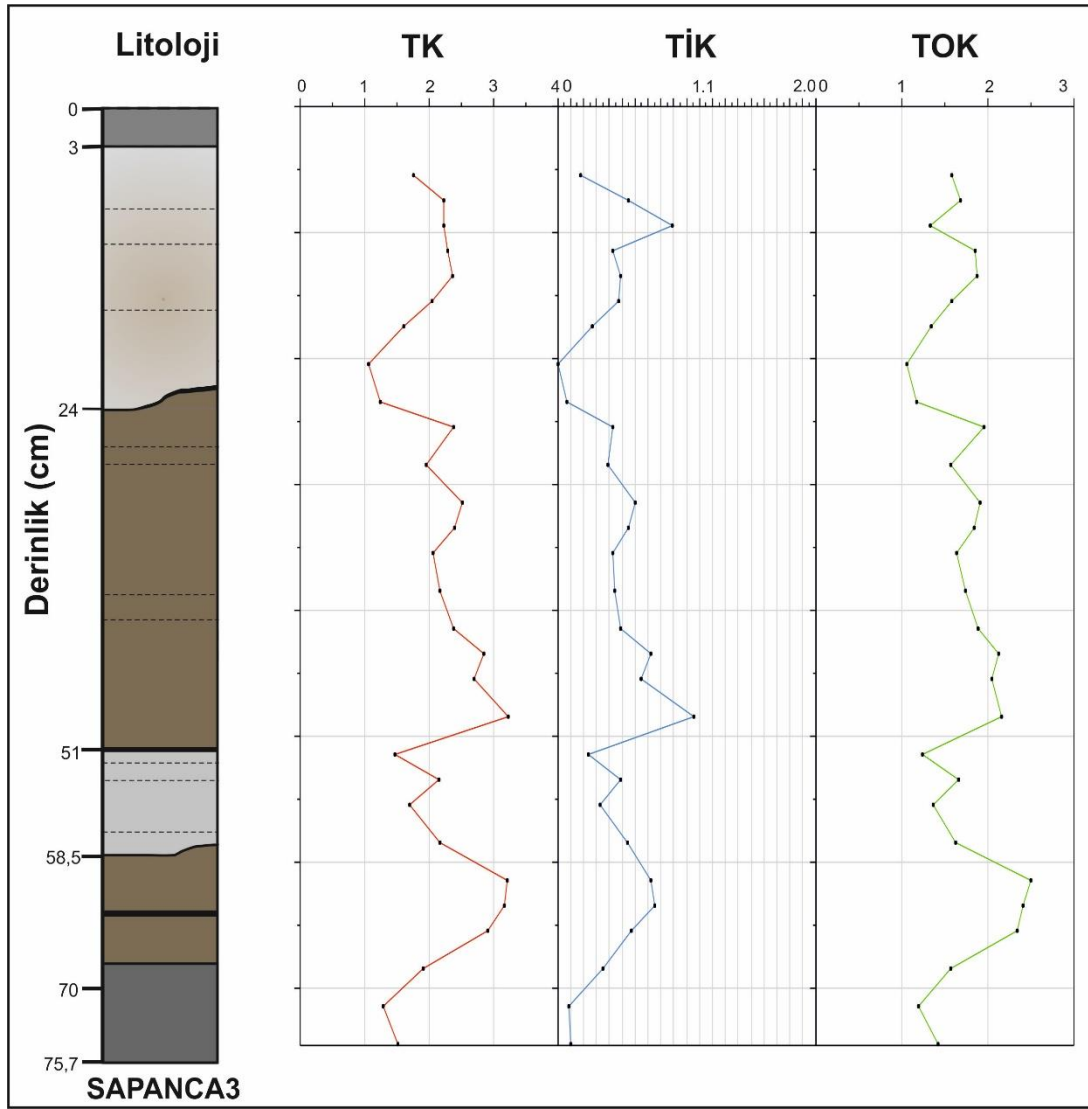
Şekil 3.11: Sapanca1 karotunun toplam karbon, inorganik karbon, organik karbon logları

Sapanca2 Karotu: Karotta toplam inorganik karbon değerleri % 0.15-1.3 aralığında değişmektedir. En yüksek toplam inorganik karbon değeri 11 cm ve en düşük inorganik karbon değerleri % 0.15 ile 6,5 ve 19,5 cm’de. Karotta toplam organik karbon değerleri %1.3 -3.3 arasında değişmektedir. En yüksek toplam organik karbon değeri 43.5 cm derinliğinde ve en düşük toplam organik karbon değerleri ise 10,5 ve 19,5 cm derinliğinde görülmüştür (Şekil 3.12).



Şekil 3.12: Sapanca2 karotunun toplam karbon, inorganik karbon, organik karbon logları

Sapanca3 Karotu: Karotun toplam inorganik karbon değerleri %0.003 ile % 1 aralığında değişmektedir (Şekil 3.13). En yüksek ve en düşük toplam inorganik karbon değerleri sırası ile 48.5 cm 20.5 cm’de izlenmiştir. toplam organik karbon değerleri %1.00-2.42 aralığındadır. En yüksek toplam organik karbon değeri 63.5 cm, ve en düşük toplam organik karbon değeri 20.5 cm derinlikte bulunmaktadır. Karotta 10 cm derinliği dışında tüm seviyelerde toplam organik karbon ve toplam inorganik karbon arasında yüksek bir pozitif korelasyon vardır. En üst kütle akması biriminde toplam organik karbon azalırken toplam inorganik karbon artmaktadır. 16-23 cm, 53 cm, 58 cm ve tabandaki kütle akması birimlerinde ise hem toplam organik karbon hem de toplam inorganik karbon değerleri azalma göstermektedir. Bu birimlerde kırıntı silikat malzemenin arttığını göstermektedir. 26.5-28 cm derinliğindeki yüksek yoğunluklu kütle akması birimi ise göreceli yüksek toplam organik karbon ve toplam inorganik karbon değerleri içermekte ve daha az kırıntı içeriklidir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13: Sapanca3 karotunun toplam karbon, inorganik karbon, organik karbon logları

3.4.2 XRF Karot Tarayıcı Analizleri

Sapanca1 Karotu: Sapanca1 karotunda yapılan μ -XRF elementel analiz sonucunda karot boyunca bazı major elementlerin (Ca, Si, K, Rb, Ti, Mn, Fe, Co, Ni, Zn) gibi değişimine bakılmıştır. Alınan sonuçlar 10 değerli hareketli aritmetik ortalama işlemi yapıldıktan sonra şekil 3.14’de gösterilmiştir.

Analiz verilere göre elementlerin derişiminde belirli seviyelerde artış ve azalışlar gözlenmektedir. Çalışma kapsamında kullanılacak olan elementlerdeki değişimlerinden karbonat içeriğini temsil eden Ca karotun en genç çökeli olan 0 ile 7,5 cm’ler arasındaki gri renkli çamurda ortalama 1500 cps ile altındaki 7,5-13 cm aralığındaki kahverengi çamura (ortalama 2200 cps) göre daha düşüktür. Kahverengi

çamurun altındaki 13-18 cm aralığındaki gri renkli çamurda ise 1000 cps civarında gözlenmektedir. 18 cm altındaki 38 cm'e kadar olan kahverengi tonlarında birimlerde yine artış görülmekte ve yaklaşık 1750-2500 cps aralığında değerler almaktadır. Son çökel birim 38-42,5 cm aralığındaki gri çamurda ise yine azalarak 500-1000 cps arasında değişmektedir. Kırıntı girdisini temsil eden Si, K, Ti, Fe ve Rb elementlerinin derişimlerine bakarsak eğer 0-7,5 cm aralığındaki ilk birimin tabanında yüksek değerler alırken üst kısımlarında azalmaktadırlar. Üçüncü gri renkli birimde 14-18 cm aralığında, dördüncü kırmızımsı kahverengi birimde 29 cm'de, beşinci grimsi kahverengi birimde 34 cm'de ve son gri renkli birimde önemli artış pikleri göstermektedirler.

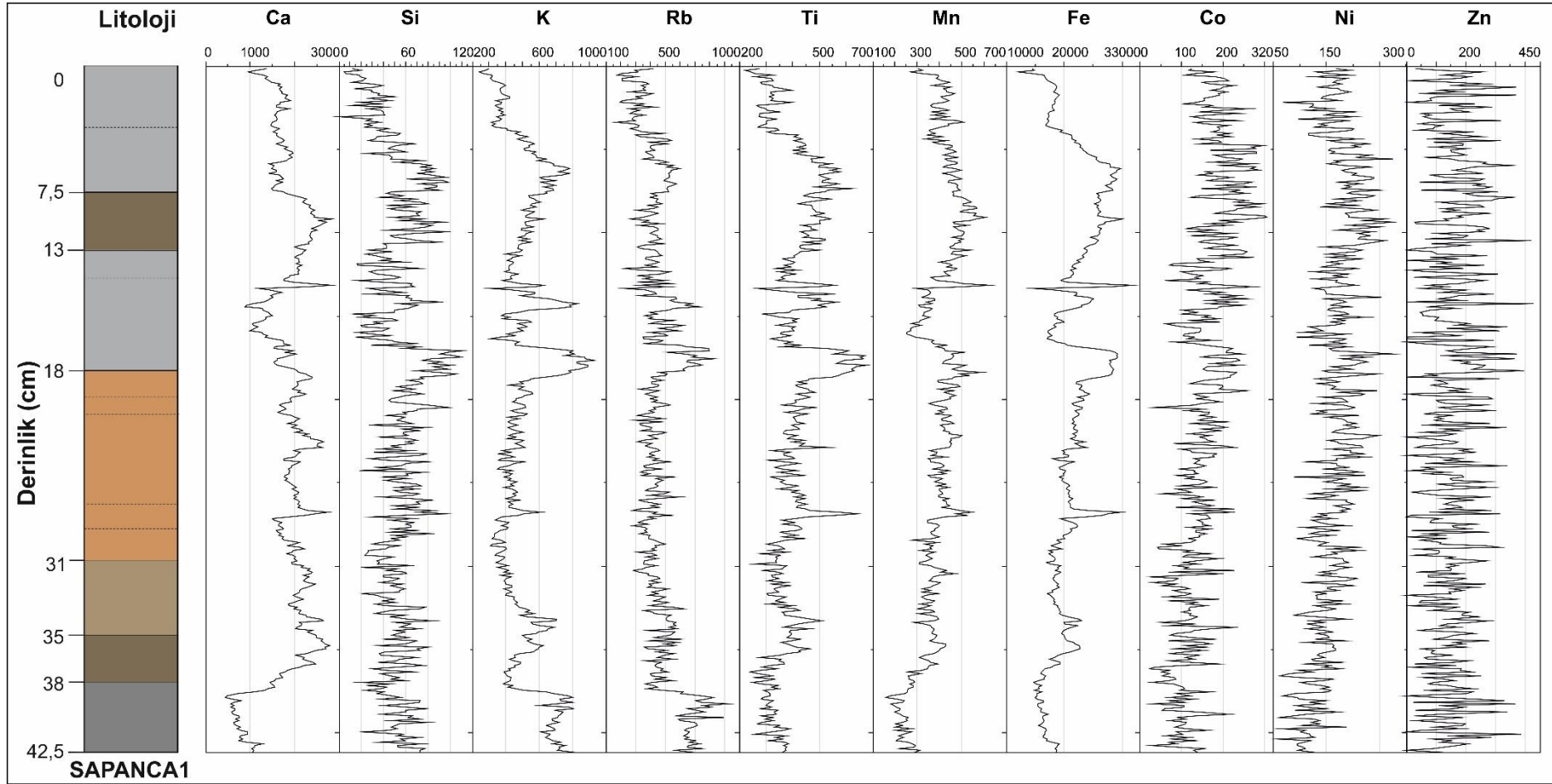
Sapanca2 Karotu: Sapanca1 karotundaki gibi Sapanca2 karotunda da karot boyunca bazı major elementlerin (Ca, Si, K, Rb, Ti, Mn, Fe, Co, Ni, Zn) gibi değişimine bakılmıştır. Alınan sonuçlar 10 değerli hareketli aritmatik ortalama işlemi yapıldıktan sonra şekil 3.15'de gösterilmiştir.

Bu karottaki Ca derişimdeki değişimlere bakacak olursak eğer ilk 0-7 cm aralığındaki koyu gri renkli birimin tabanında düşükken, üst kısımlara doğru artmaktadır. İkinci kahverengi birimde ise yüksek Ca değerleri gözlenmektedir. İlk birimdeki gibi üçüncü 17,5-22 cm aralığında ki birimde de tabanda çok düşük olan Ca değerleri birimin üst kısımlarında artmaktadır. Karotun 27. cm'den tabanına doğru Ca değerleri azalmakta ve tabanda nerdeyse sıfır değerine gelmektedir. Kırıntı girdisini temsil eden elementlere baktığımızda ise birinci birimin tabanında yüksek iken birimin üst kısımlarına doğru azalmaktadırlar. 7-17,5 cm aralığındaki ikinci birimde ise bu elementlerin derişimde düşme görülmektedir. İlk birimdeki gibi üçüncü birimde de yine tabanda artan değerler birimin üst kısımlarına doğru azalış göstermektedirler. Karotun 22,5 cm den sonraki kısmında ise element derişimleri tabana doğru azalarak tükenmektedirler.

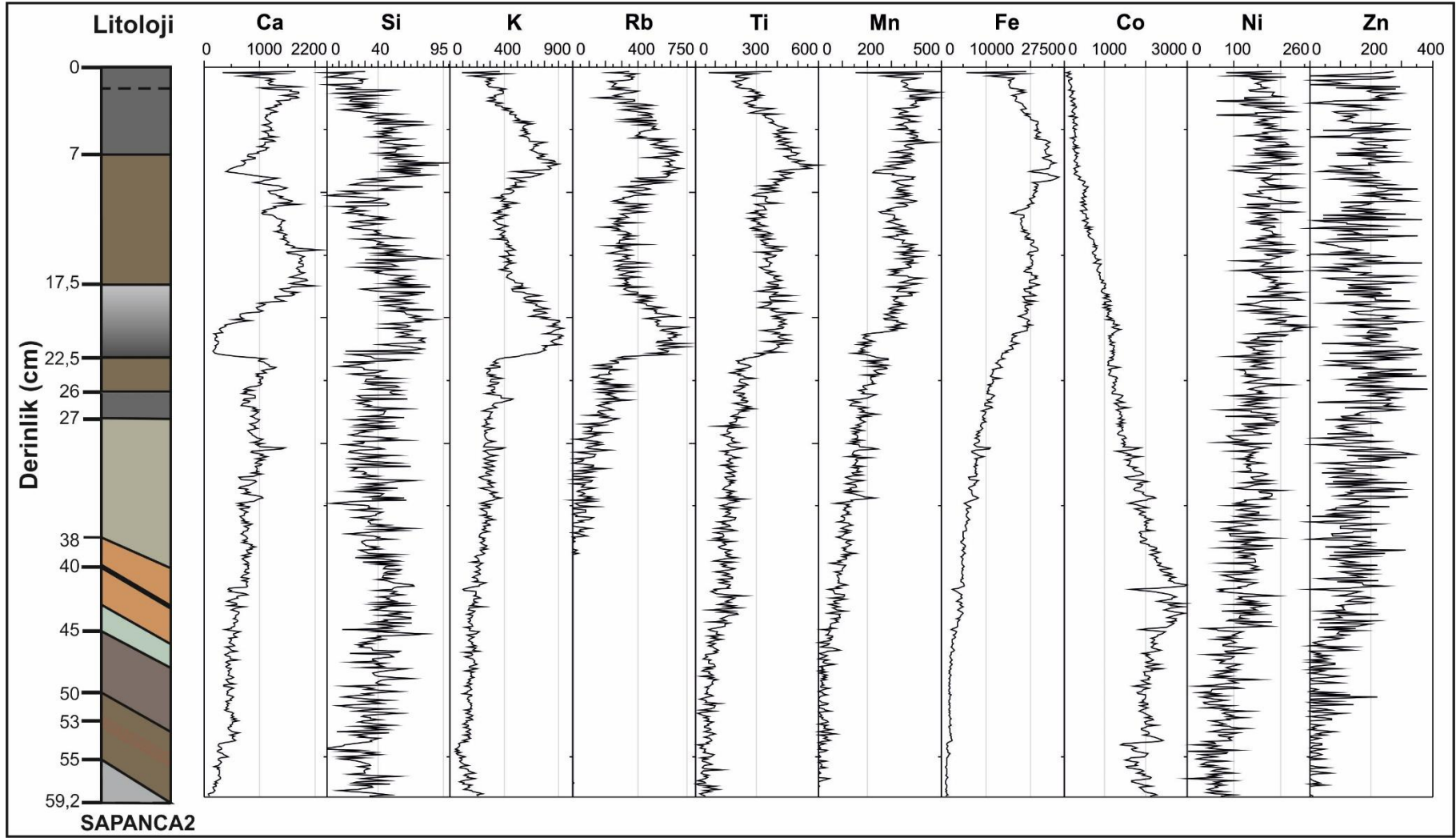
Sapanca3 Karotu: Diğer karotlardaki gibi Sapanca3 karotunda da karot boyunca bazı major elementlerin (Ca, Si, K, Rb, Ti, Mn, Fe, Co, Ni, Zn) gibi değişimine bakılmıştır. Alınan sonuçlar 10 değerli hareketli aritmatik ortalama işlemi yapıldıktan sonra şekil 3.16'de gösterilmiştir.

Sapanca3 karotu boyunca Ca elementindeki değişimleri incelersek eğer ilk 3 cm'deki

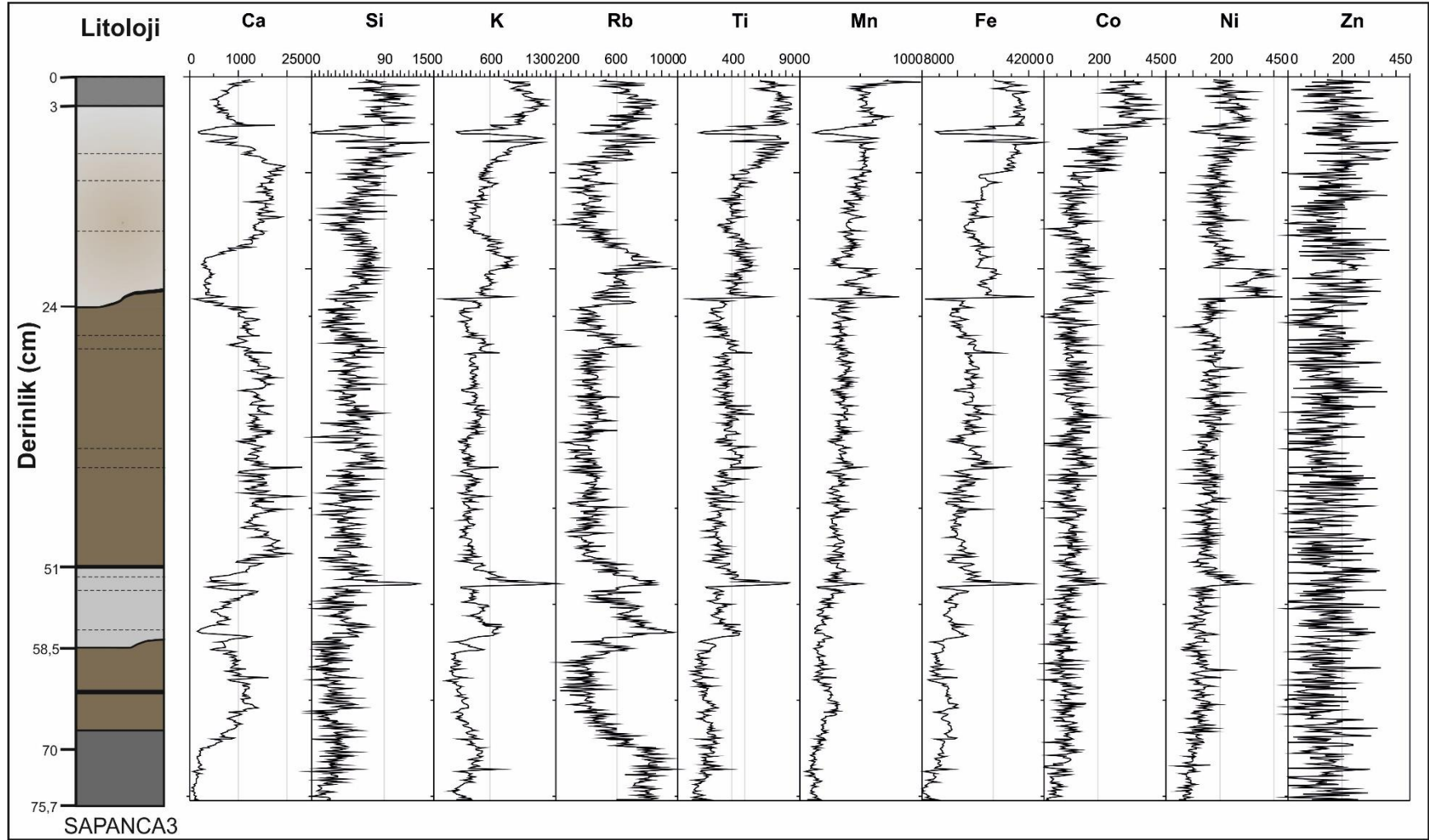
sulu koyu gri renkli çamurun tabanından üste doğru artış gözlenmektedir. İkinci kahverengimsi gri birimin tabanında çok düşükken üste doğru artmak ama birimin en üst kısmında yine azalmaktadır. 24-51 cm aralığındaki üçüncü kahverengi birimin genelinde yüksek Ca değerleri gözlenmektedir. Dördüncü 51-58,5 cm aralığındaki gri renkli birimin tabanı ve tavanında ani azalma pikleri görülmektedir. Beşinci 58,5-68 cm aralığındaki kahverengi birimin içinde ise yine yüksek değerler almaktadır. Hemen altındaki altıncı koyu gri renkli çamurun ise Ca değerleri düşüktür. Kırıntı girdisini temsil eden elementlerin karot boyunca olan değişimine bakarsak eğer İkinci 3-24 cm aralığındaki kahverengimsi gri birim içinde 6. cm’de ani azalam pikleri dikkat çekmektedir. Aynı birimin tabanında yüksek değerler alan elementler üst kısımlara doğru azalmaktadırlar. Üçüncü kahverengi birim içerisinde herhangi önemli bir değişim göstermeyen bu elementler dördüncü gri renkli birimin üst kısmında ve tabanında ani artış pikleri vermektedirler. Son birim olan 68-75,7 cm aralığındaki koyu gri renkli birimde ise K ve Rb’da artış, Si ve Fe değerlerinde azalış ile Mn ve Ti değerlerinde herhangi bir değişim gözlenmemektedir.



Şekil 3.14: Sapanca1 Karotunun XRF elemental analiz sonuçlarının logu



Şekil 3.15: Sapanca2 karotunun XRF elemental analiz sonuçlarının logu



Şekil 3.16: Sapanca3 karotunun XRF elemental analiz sonuçlarının logu

4. SONUÇLARIN TARTIŞILMASI VE YORUMLAR

Bu bölümde tez kapsamında yapılan analizler sonucunda elde edilen veriler yorumlanmış ve tezin amacına yönelik bilimsel konular tartışılmıştır. Kütle akması birimlerinin kökeni, deprem kaynaklı kütle akmalarının tarihi depremlerle eşleştirilmesi, bu birimlerin kalınlığını etkileyen faktörler ve çalışma alanının deprem riskine bu bölümde değinilmiştir.

4.1 Kütle Akması Birimlerinin Kökeni

Sapanca Gölü'nün derin kısımlarındaki çökel istifini temsil eden incelediğimiz karotlarda; litolojik, fiziksel ve jeokimyasal özelliklerine göre genel olarak iki farklı çökel türü ayırt edilmektedir (Şekil 4.2, 4.3, 4.4). Bunlardan birincisi; homojen ince taneli (killi ince silt), yüksek karbonat ve organik karbon içeriğine ve düşük yoğunluk ve manyetik duyarlılığa sahip çamur birimleridir. İkinci gruptakiler; Sapanca1 karotunda 3-10.5 cm (TH1), 14-18 cm (TH2), 21-22 cm (TH3), 27-28 (TH4) cm, 32-35 cm (TH5) ve 39,5-42 cm (TH6) derinliğinde, Sapanca2 karotunda 3-8 cm (TH1), 18-24 cm (TH2), 26-27 cm (TH3), 38-45 cm (TH4), 50-55 cm (TH5) ve 58-59,5 cm (TH6) derinliğinde ve Sapanca3 karotunda 3-10.5 cm (TH1), 18-24 cm (TH2), 26-27 cm (TH3), 39-41 cm (TH4), 51-52 cm (TH5), 58-59 cm (TH6) ve 69-75.7 cm (TH7) derinliğinde bulunmaktadır. Bu çökel birimleri, birinci çökel grubundan farklı şu özelliklere sahiptir (Şekil 4.2, 4.3, 4.4):

- 1) Litolojik olarak; daha koyu gri renkli, göreceli daha kaba malzemeli olup, keskin ve/veya dalgalı bir tabana sahiptir.
- 2) Tane boyu analizlerine göre; göreceli olarak iri tane boyu (ince kum-kaba silt), kötü boylanma ve pozitif çarpıklık gösterirler.
- 3) MSCL gama yoğunluk ve sayısal radyografik ölçümlere göre daha yüksek yoğunlukta dırlar.
- 4) Genel olarak , daha yüksek MSCL manyetik duyarlılık değeri gösterirler.
- 5) Göreceli olarak daha düşük TOK ve TİK içeriğine sahiptirler.
- 6) μ -XRF karot tarayıcı analizlerine göre yüksek kırıntı mineral belirteci olan litofil elementlerce (Si, K, Ti, Rb) zengin; karbonatça (Ca) fakirdirler.

Sapanca gölünde normal koşullar altında her sucul ortamda olduğu gibi yüksek enerjiye sahip kıyı kesimlerde daha kaba taneli (kumlu-siltli) malzemeler, düşük enerjili derin kısımlarda daha ince taneli (killi) çökeller çökelmektedir (Gürbüz ve Gürer, 2008). Havzanın derin çökeltme alanlarını temsil eden, analizlerini yaptığımız karotlarda birinci gruptaki çökeller normal göl çökellerini temsil etmektedir. Buna karşın ikinci grupta TH olarak adlandırdığımız birimler, daha kaba taneli ve kötü boylanmalı olması, düşük organik ve inorganik karbon içeriği, yüksek yoğunluk ve manyetik duyarlılık, yüksek kırıntı içeriği ve en önemlisi keskin taban sınırı gibi özellikleri ile kütle akması birimlerini temsil etmektedir (Şekil 4.2, 4.3, 4.4).

Bu tür kütle akmaları; başlıca deprem, iklim olayları (sel, fırtına) ve volkanik patlamalarla tetiklenebilir veya delta gibi hızlı çökelen çökel paketlerinin biriktiği alanlardan zaman zaman yamaç duraysızlığı ile oluşabilir (Heezen ve Ewing, 1952; Dean ve diğ., 1993; Mulder ve Syvitski, 1995). Sapanca Gölü, KAFZ'nun geçmişte büyük depremler oluşturmuş, en aktif kuzey kolu üzerinde yer aldığından bu kütle akmalarının en olasılıklı tetikleme mekanizmasının depremler olduğu söylenebilir. Nitekim, Bölüm 4.2'de tartışıldığı üzere, sismotürbidit birimlerinin yaşları bölgede KAFZ'nunda meydana gelmiş olan tarihsel büyük depremlerle ($M_w > 6.5$) eşleştirilebilmiştir.

Deprem dışında diğer tetikleme mekanizmalarından volkanik patlamalar çalışma alanı için geçerli değildir. Zira bölge en azından kuvaterner boyunca volkanik olarak aktif bir alan olmamıştır. Kütle akmalarını tetikleyecek iklimsel olaylar seller ve şiddetli fırtınalardır. Göl, kuzeyde Çatalca-Kocaeli Platosu ve güneyde Samanlı Dağları arasında korunaklı bir konumda olup şiddetli fırtınalardan etkilenmez. Sellenmelerden kaynaklı oluşabilecek kütle akmaları için ise bölgenin geçmiş iklim kayıtlarından incelenebilir. Fleitmann ve diğ. (2009), çalışma alanının 140 km kuzey doğusunda bulunan Sofular Mağarasından alınan sarkıtlarda (speleothem) $\delta^{13}C$ izotop analizleri ile iklim kayıtlarına ulaşmıştır (Şekil 4.4). Buna göre son 250 yıl için Batı Karadeniz-Doğu Marmara bölgesine ait geçmiş iklim kayıtları ortaya çıkarılmıştır. Bu sonuçlara göre günümüz için $\delta^{13}C$ izotop değerini -10.5‰VPDB referans alarak, son 250 yılda genel olarak bölgede günümüzden daha kurak bir iklimin egemen olduğu görülmektedir. Daha ayrıntıda 1750 yıllarından 1840 yılına kadar olan dönemde günümüze göre daha kurak bir iklim dönemi, 1840 yılından 1930 yılları arasında kuraklaşan bir iklim dönemi, 1930 yılından itibaren ise kurak iklimden günümüzdeki

daha nemli bir iklime geçiş döneminin egemen olduğu görülmektedir (Şekil 4.4). Bu da bize genel olarak son 250 yılda gl çevresinde son birkaç yıla göre Şiddetli sellere neden olabilecek yağışlı bir dönemin olmadığını göstermektedir.

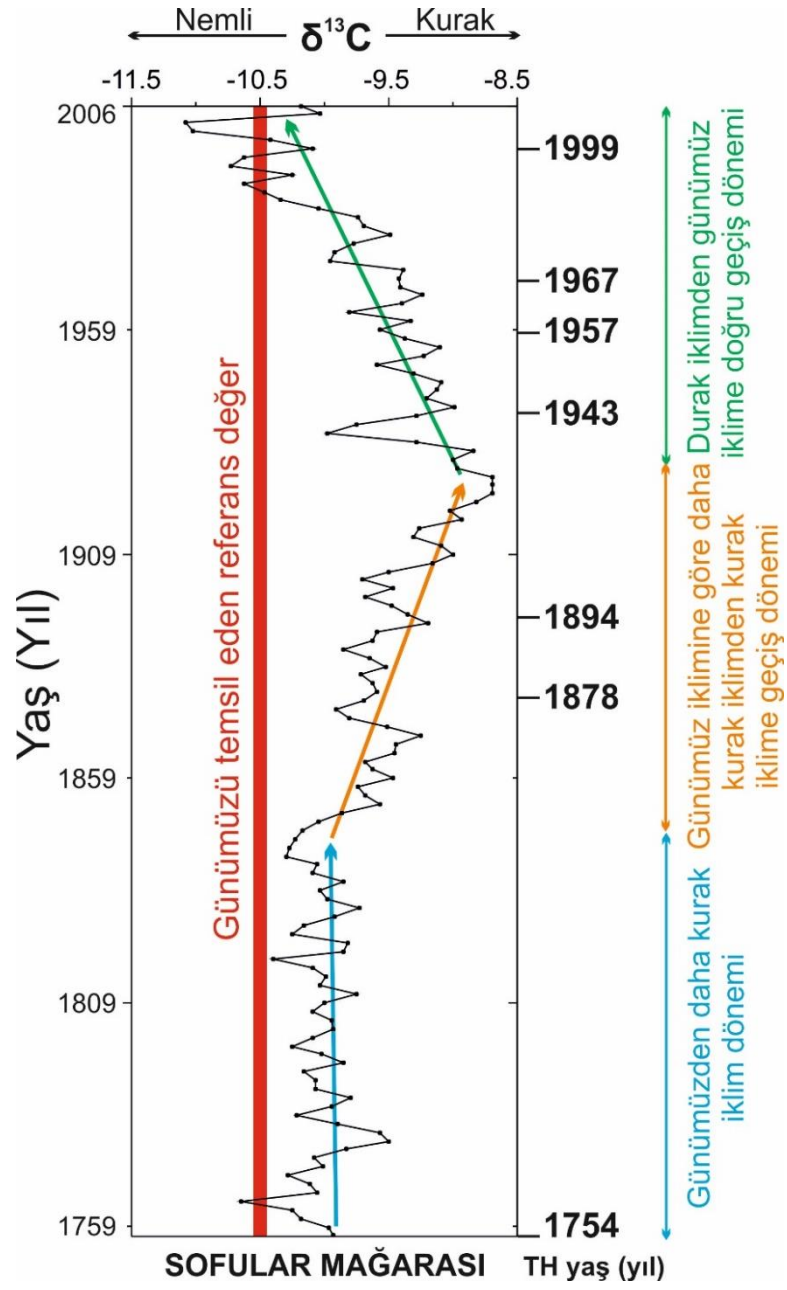
Bu verilerin yanında Gürbüz ve Gürer (2008a) de yaptıkları çalışmada Sapanca glne yağışlı zamanlarda dereler ile kaba malzemenin gelmesinin dere önündeki setlerden dolayı zor olduğunu ve gölde çökellerinin bu nedenle çoğunlukla silt-kil boyutundaki malzemeler olduğunu belirtmişlerdir. Bu da karotlarda analizlerini yaptığımız kaba taneli birimlerin sel etkisiyle oluşmuş türbiditler olmadığını göstermektedir.

Sapanca3 karotunda yapılan ^{210}Pb analiz sonuçlarında bazı anomalilere rastlanılmıştır (Şekil 3.4). Normalde bu analizlerde karotun en st seviyesinde ^{210}Pb değerlerinin en yüksek değerden başlayıp, karot boyunca aşağı doğru logaritmik olarak azalması ve belli bir seviyenin altında da sabitlenmesi gerekmektedir (Krishnaswamy ve diğ., 1971; Appleby, 2001). Sapanca3 karotunda bu verilerde düzenli bir azalış yerine bazı seviyelerde verilerde salınımlar görülmektedir (Şekil 3.4). Salınımlarda azalış piklerinin TH ile gösterilen kütle akması birimlerine denk gelmektedir (Şekil 4.6). Bu durum, TH birimlerinin türbidit akıntılarının sığ yerlerden havza tabanındaki eski göl çökellerini taşıyarak, o zamanki genç (güncel) kellerin üzerine çökeltmesi ile oluştuğunu göstermektedir.

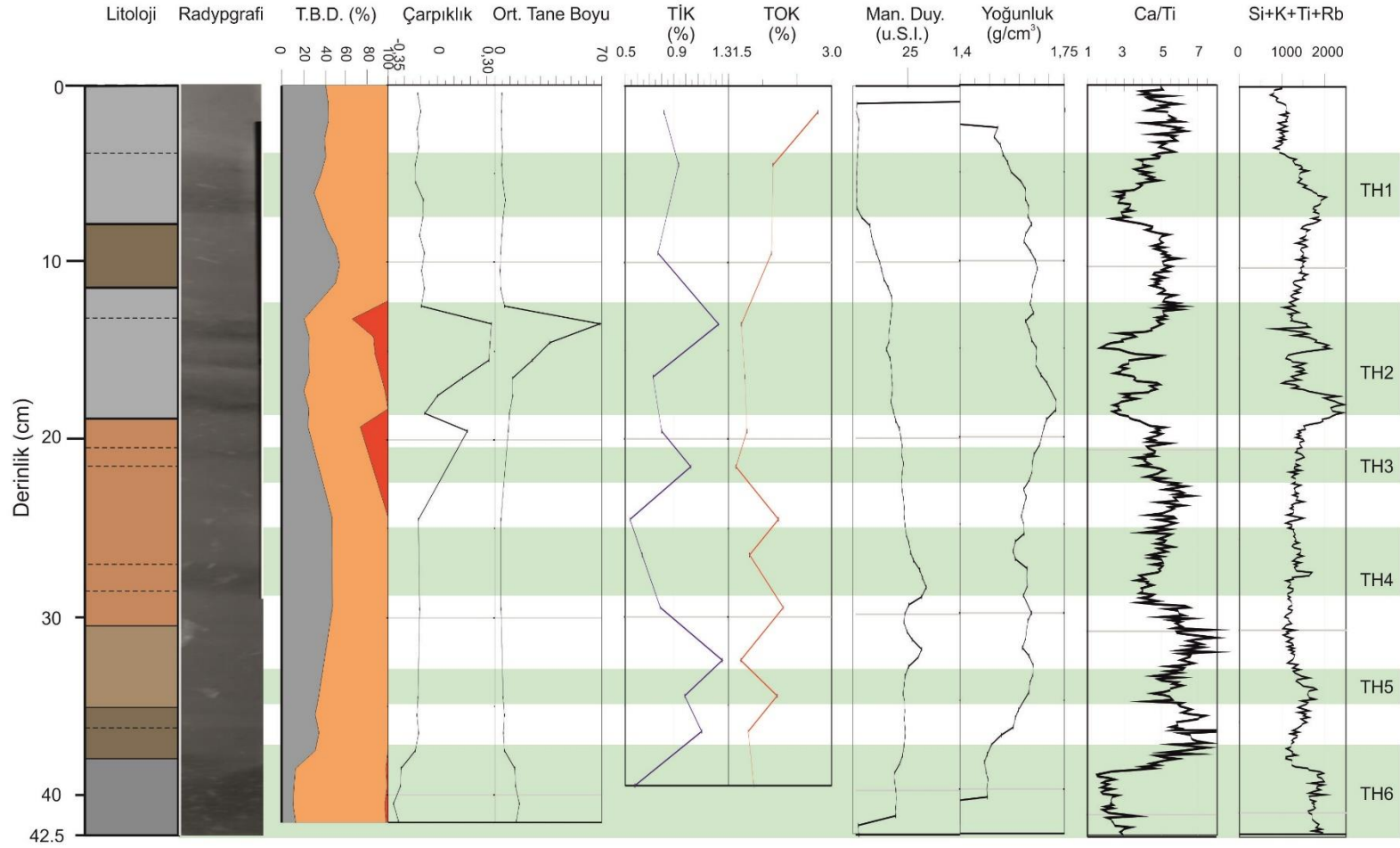
Kütle akması birimleri, genel olarak Bölüm 4.1'in başlangıcında özetlenen sedimentolojik, fiziksel ve kimyasal özellikleri taşımakla birlikte, çok seyrek de olsa bazı birimlerde genel özelliklerden sapmalar ve karotlar (lokasyonlar) arası farklılıklar izlenebilmektedir. Örneğin, bazı kütle akması birimlerinde manyetik duyarlılıkta artış gözlenmemektedir. TH1 biriminin manyetik duyarlılığında Sapanca1 ve Sapanca2 karotlarında artış yokken, Sapanca3 karotunda bu birimin tabanında artış görülmektedir. Bazı birimlerde ise tane boyu dağılımında artış olmasına rağmen kum girdisi olmamıştır. TH6 biriminde tane boyu dağılımında artış olmasına rağmen kum girdisi sadece Sapanca1 karotunda görülmektedir. Bunun nedeni ise karotların farklı lokasyonlardan alınmış olmasından kaynaklanmaktadır.

Tüm bu bilgilerin ışığında deprem esnasında sarsıntı ile çökel malzemeyi içeren bir yoğunluk (türbidit) akıntısının oluşarak, yamaçlardan aşağı doğru hareketle gl tabanında kütle akma birimlerini (TH; sismotürbidit) kelttiği anlaşılmaktadır (Şekil 4.5).

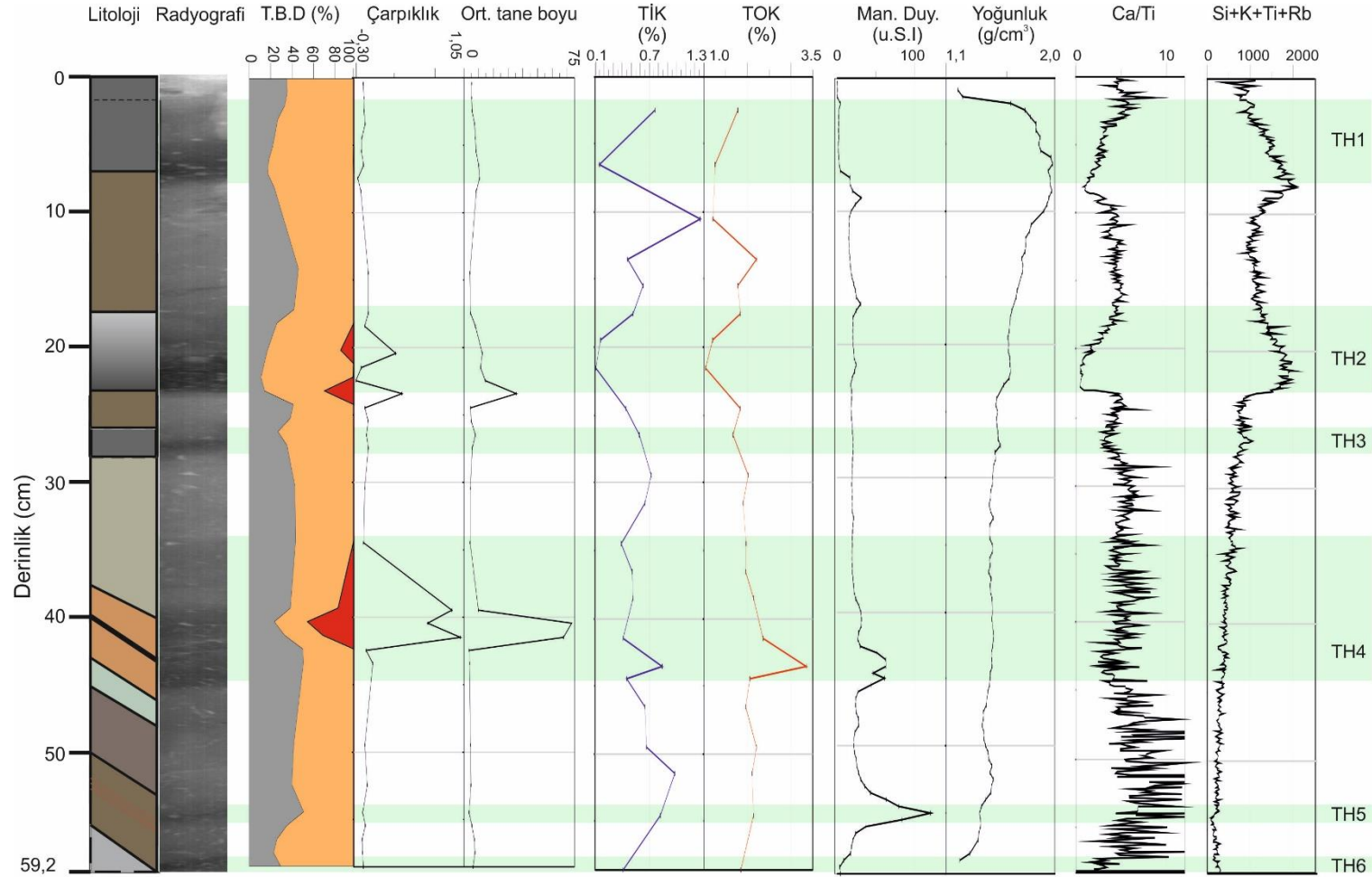
Bu bölüm başında da açıklandığı üzere, Sapanca Gölü karot çökel istiflerinde sismo-türbidit birimleri normal göl çökellerinden daha kaba tane boyu (Şekil 4.6), daha yüksek yoğunluk (Şekil 4.10), manyetik duyarlılık (Şekil 4.10) ve kırıntı girdisi (Şekil 4.9), ve daha düşük organik karbon (Şekil 4.7) ve karbonat içerikleri (Şekil 4.8) ile ayırt edilirler. Özellikle yüksek yoğunlukları nedeniyle sismo-türbidit birimleri radyografi görüntülerinde koyu gri renkleriyle normal göl çökellerinden belirgin bir şekilde ayırt edilebilmektedirler (Şekil 4.6). Ayrıca radyografi görüntülerinde sismo-türbiditlerin kalınlıkları, dokanıkları, tabakalanmaları ve içyapıları gibi birçok özelliği de görülebilmektedir. Tanımlamaları ve kimyasal ve fiziksel analizleri yapılan üç karottaki sismotürbidit birimleri bu özellikleri kullanılarak karotlar arası eşleştirmeleri yapılabilmektedir (Şekil 4.6-4.10).



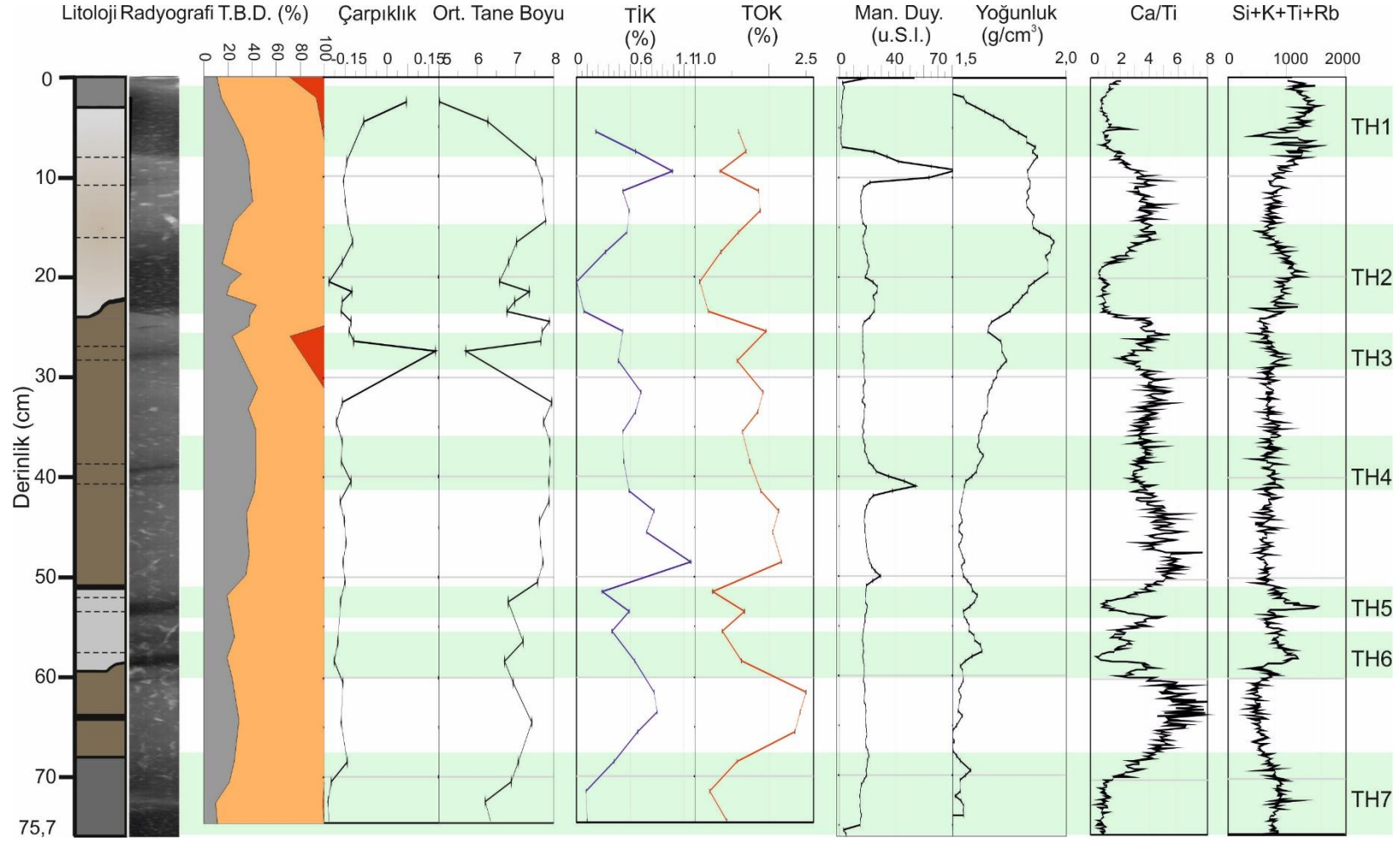
Şekil 4.1: Fleitmann ve diğ. (2009)'nin son 250 yıllık Sofular Mağarası speleothem $\delta^{13}\text{C}$ kayıtlarına göre yaptığımız iklimsel yorum.



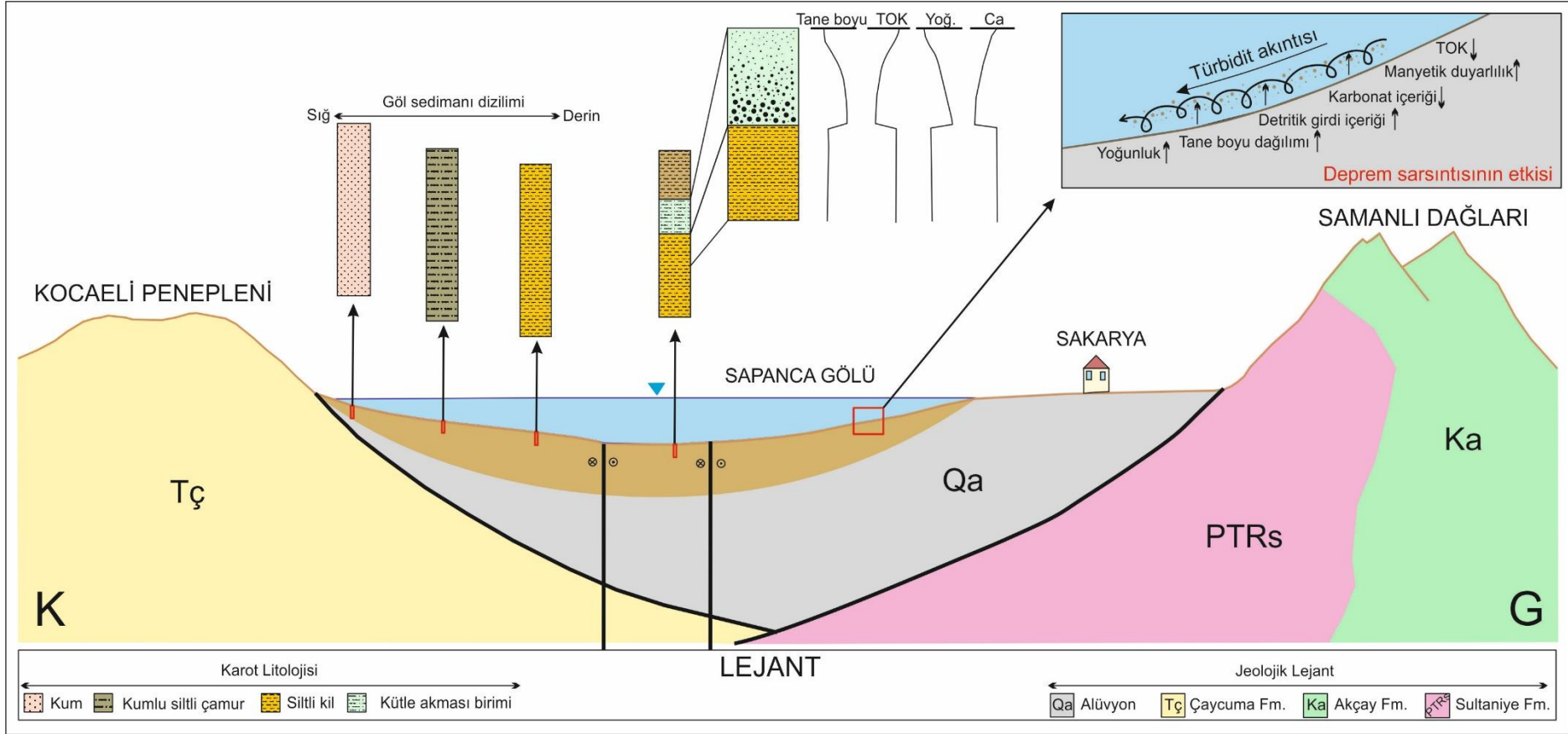
Şekil 4.2: Sapanca1 karotunda sismo-türbiditlerin (TH) sayısal radyografi görüntüsü, tane boyu parametreleri, toplam organik karbon (TOC), inorganik karbon (TİK), kırıntı malzeme girdisi (Si+K+Ti+Rb) ve Ca/Ti oranı.

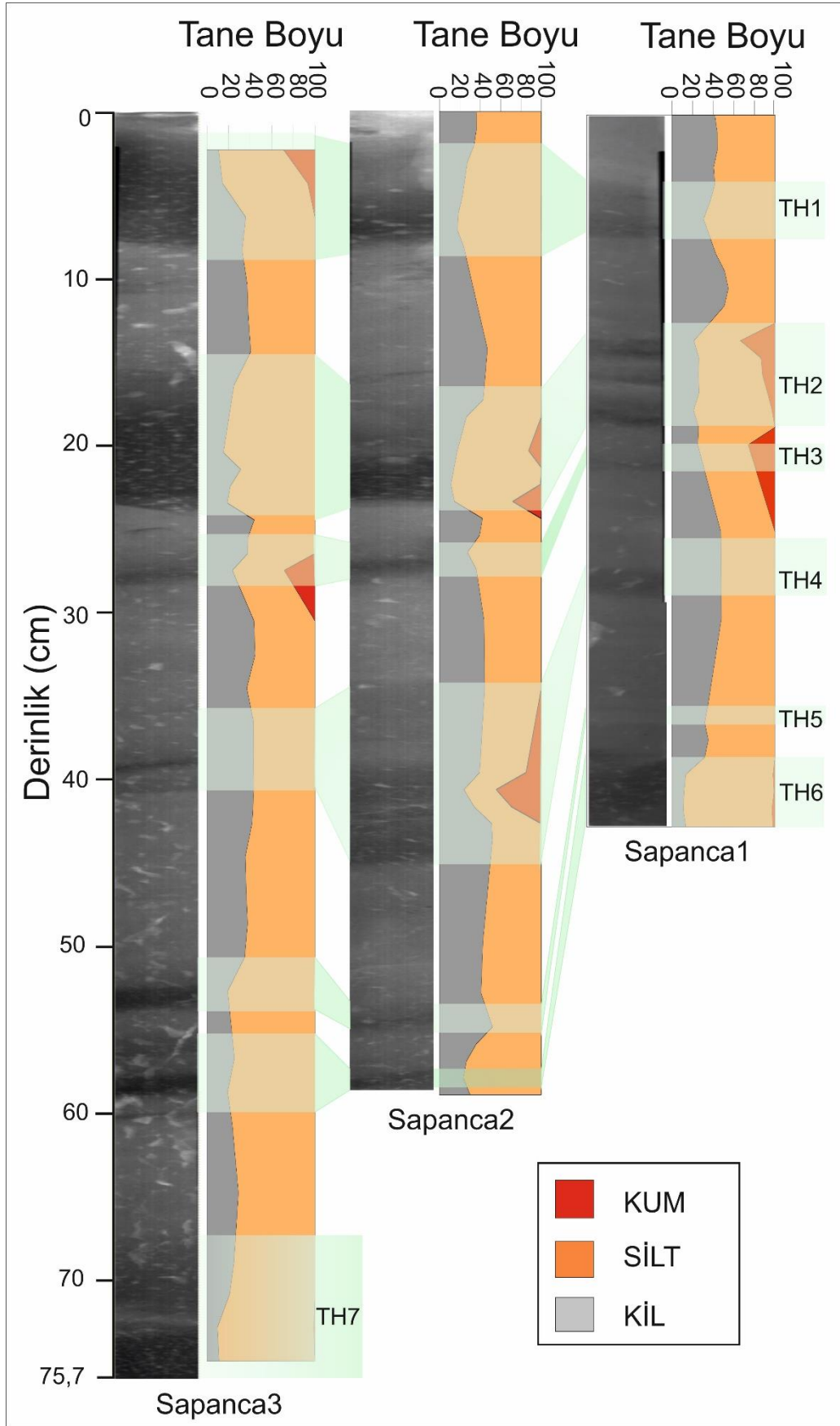


Şekil 4.3: Sapanca2 karotunda sismo-türbiditlerin (TH) sayısal radyografi görüntüsü, tane boyu parametreleri, toplam organik karbon (TOC), inorganik karbon (TİK), kırıntı malzeme girdisi (Si+K+Ti+Rb) ve Ca/Ti oranı.

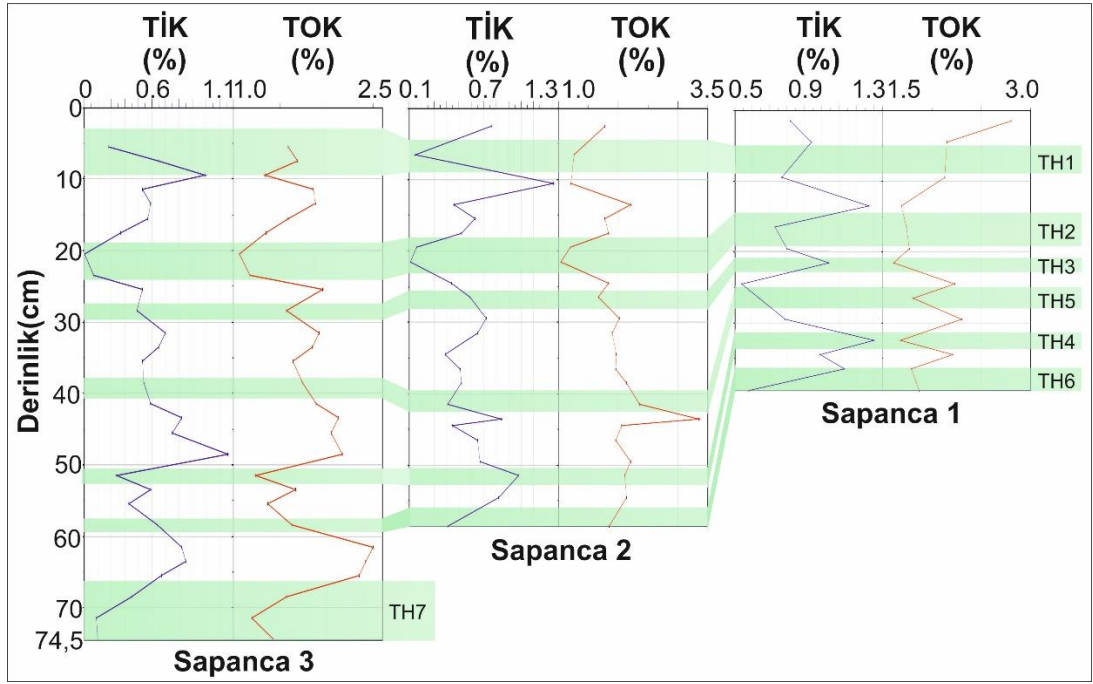


Şekil 4.4: Sapanca3 karotunda sismo-türbiditlerin (TH) sayısal radyografi görüntüsü, tane boyu parametreleri, toplam organik karbon (TOC), inorganik karbon (TİK), kırıntı malzeme girdisi (Si+K+Ti+Rb) ve Ca/Ti oranı.

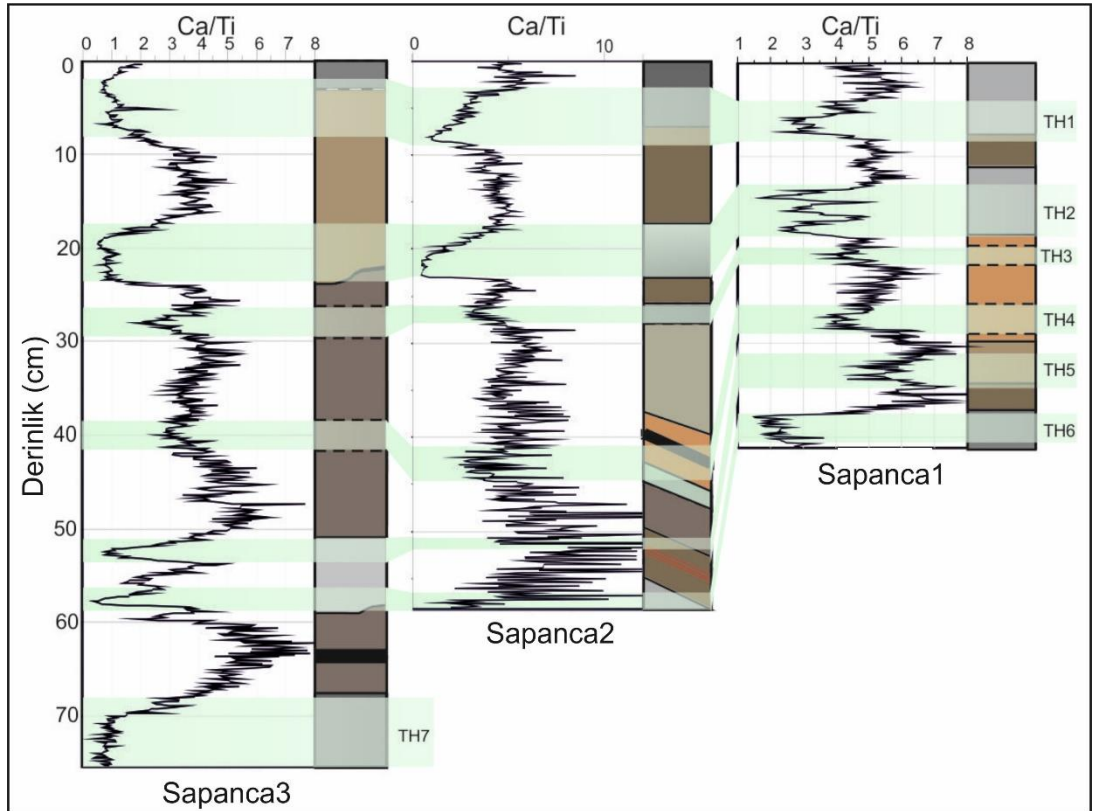




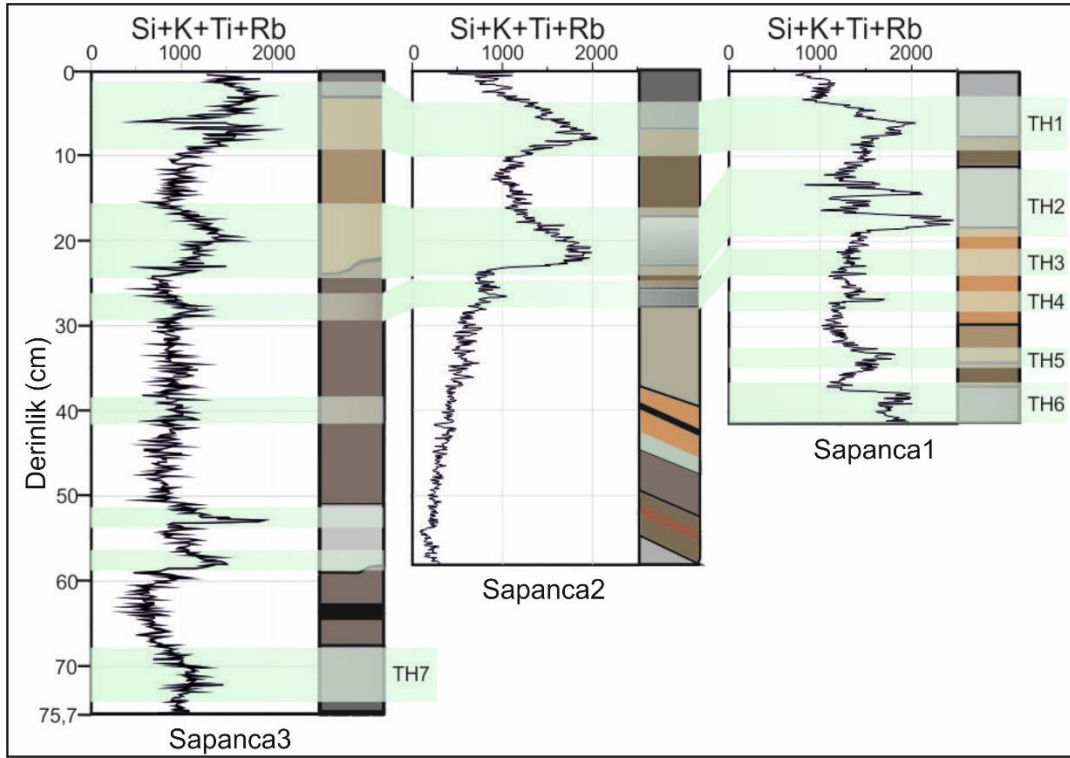
Şekil 4.6: Radyografi ve tane boyu dağılımları kullanılarak Sapanca Gölü karotlarındaki sismo-türbidit birimlerinin korelasyonu



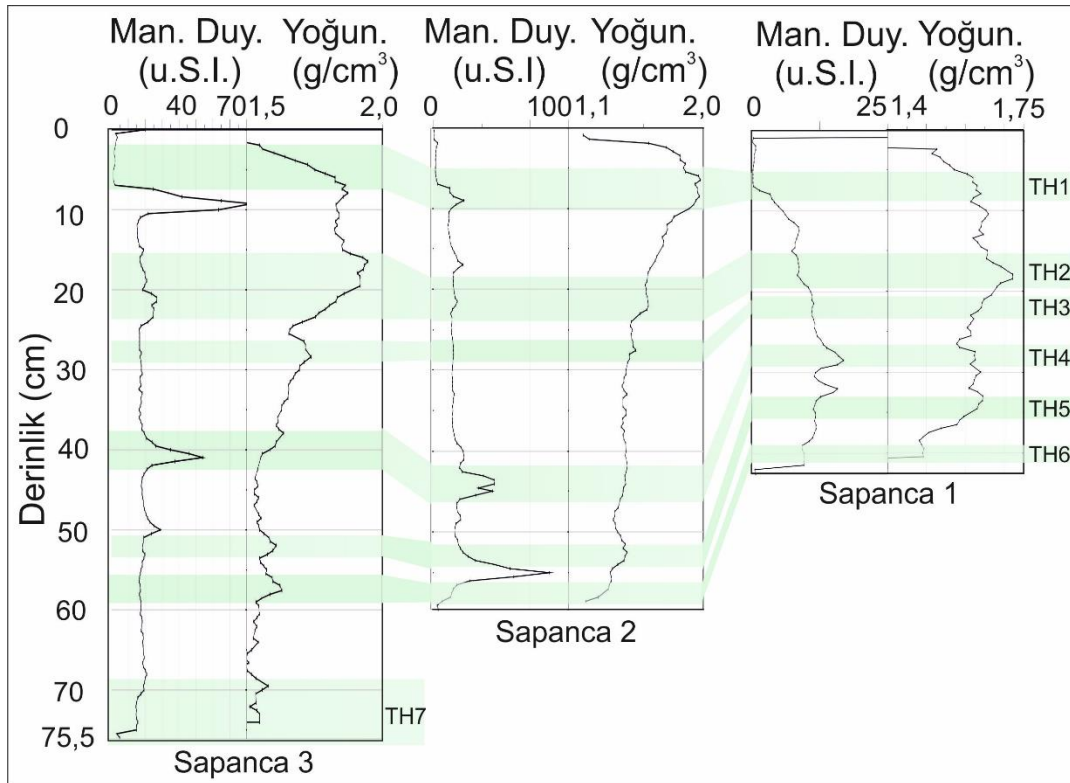
Şekil 4.7: TiK ve TOK değerleri kullanılarak Sapanca karotlarının sismo-türbidit birimlerinin korelasyonu



Şekil 4.8: XRF Ca/Ti oranına göre Sapanca karotlarında sismo-türbidit birimlerinin korelasyonu.



Şekil 4.9: Kırınıtı girdisi (XRF Si+K+Ti+Rb) verilerine göre Sapanca karotlarında sismo-türbidit birimlerinin korelasyonu



Şekil 4.10: MSCL manyetik duyarlılık ve gama yoğunluk verilerine göre Sapanca karotlarında sismo-türbidit birimlerinin korelasyonu.

4.2 Sismotürbidit Birimlerinin Yaşları ve Tarihi Depremlerle Eşleştirilmesi

Kuzey Anadolu Fay zonu üzerinde yer aldığından, çalışma alanı ve yakın çevresinde tarihsel dönemde çok sayıda deprem meydana gelmiş ve bu depremler bölgede birçok zarara sebep olmuştur. Bu depremlerin bilgileri Bizans ve Osmanlı İmparatorluğu dönemlerinde çeşitli kaynaklarca kayıt altına alınmış ve bu kayıtlar bir deprem kataloğu olarak Ambraseys ve Finkel (1995) tarafından yayınlanmıştır.

Bu kataloğun yanı sıra depremlerin hangi fay segmentine ait olduğunu saptamak amacı ile bölgede birçok paleosismoloji çalışması yapılmıştır. Pantosti ve diğ. (2008)' nin yaptığı çalışmalar sonucunda açılan hendekte 1999 Düzce depreminin yanı sıra 1878 Eşme Depremi ve 957 depreminin kayıtlarına da ulaşılmıştır. 1999 İzmit depremine yönelik çok disiplinli birçok çalışma yapılmıştır. Bölgede Klinger ve diğ. (2003); Pavlides ve diğ. (2006); Dikbaş ve Akyüz (2010) yapmış oldukları hendek paleosismolojisi sonuçlarına göre İzmit- Sapanca arasında kalan segmentte 1999 İzmit (Gölcük) Depremi, 1719 İzmit Depremi, 1509, 989, 554 ve 120 yıllarında olmuş depremlerinin kayıtlarına ulaşmışlardır. 1967 Mudurnu depremine yönelik de birçok hendek çalışması yapılmış ve bu çalışmalar ışığında 1967 yılında olan depremin Mudurnu Segmentinde olduğu belirlenip bir önceki depremin 1719 depremi mi yoksa 1668 depremi mi olduğu tartışılmıştır (Pınar ve diğ., 1996; Palyvos ve diğ., 2007).

Karadaki bu çalışmaların yanında, Sapanca Gölü'nde daha önce Leroy ve diğ., (2009) ile Schwap ve diğ., (2009) Sapanca3 karotunun doğusundan aldıkları K7.1 (38 cm) ve K7.2 (35 cm) karotlarında yaptıkları çalışmalarda 1999, 1967 ve 1957 depremlerinin kayıtlarını tespit etmişlerdir. Bu kayıtlarda 1999 depreminin kaydını yaklaşık beş cm kalınlığında, 1967 depreminin kaydını 10 cm ve 1957 depreminin kaydını 5 cm kalınlığında türbidit birimiyle temsil edildiğini belirtmişlerdir. Bu birimlerin kalınlığı hemen hemen Sapanca3 karotunda aynı depremleri temsil eden seviyeler ile benzer kalınlıktadırlar. Ayrıca Leroy ve diğ., (2010) Sapanca Gölü'nde yaklaşık 6 m uzunluğundaki R6 karotunda yaptıkları polen çalışmaları sırasında depremlerle tetiklenen yaşlandırılmamış dört birim bulmuşlardır.

Bölüm 3.2'de açıklandığı üzere; Sapanca karotlarının yaşlandırması Sapanca3 karotunda radyonüklid (^{210}Pb ve ^{137}Cs) ve Sapanca2 karotunda bir adet AMS radyokarbon tarihlendirme yöntemleri ile yapılmıştır. Bu çalışmaların sonuçlarına göre Sapanca3 karotunda ortalama sedimantasyon hızı 1.8 mm/yıl, 12.5 cm karot

derinliğindeki yaşı 1986 (Çernobil nükleer kazası), 51 cm karot derinliğindeki yaşı yaklaşık 120 yıl, karotun taban yaklaşık 255 yıl bulunmuştur. Sapanca2 karotunda AMS karasal bitkiden alınan yaş ise 1900-1950 yılları arasında bulunmuştur. Sapanca2 karotundaki 37 cm seviyesi Sapanca3 karotu ile eşleştirildiğinde bu karotta 35-36 cm'e denk gelmektedir (Şekil 3.4). Yapılan korelasyon çalışmalarına göre Sapanca2 ve Sapanca1 karotlarının taban yaşları günümüzden 135 yıl öncesine varmaktadır.

Bu tarihlendirme verileri ışığında, Sapanca Gölü çökellerinde tespit edilen sismo-türbiditlerin yaşları, göreceli olarak yaşlandırılmış ve deprem kataloğu (Ambraseys ve Finkel, 1995) ve yukarıda anlatılan paleosimoloji çalışmaları sonuçlarına göre geçmiş depremler ile eşleştirilebilmiştir (Çizelge 4.1, Şekil 4.6). Buna göre; ilk birim (TH1) 1999 İzmit ve Düzce Depremlerinin, ikinci birim (TH2) 1967 Mudurnu Depreminin, üçüncü birim (TH3) 1957 Abant Depreminin, dördüncü birim (TH4) 1943 Hendek Depreminin, beşinci birim (TH5) 1894 Doğu Marmara Depreminin, altıncı birim (TH6) 1878 Eşme Depreminin ve son birim (TH7) ise 1754 İzmit Depreminin tetiklemesi ile çökelmiştir.

Çizelge 4.1: Sismo-türbidit birimleri ile eşleştirilen depremlerin adları ve oluş yıllarını gösteren tablo.

Sismo-Türbidit Birimi	Deprem Adı	Deprem Yılı
TH1	İzmit ve Düzce Depremleri	1999
TH2	Mudurnu Depremi	1967
TH3	Abant Depremi	1957
TH4	Hendek Depremi	1943
TH5	Doğu Marmara Depremi	1894
TH6	Eşme Depremi	1878
TH7	İzmit Depremi	1754

Depremlerin yaşları, Sapanca3 karotundan elde edilen çökelme hızı ve birbirini takip eden iki deprem arasındaki göl çökel kalınlığı dikkate alınarak hesaplanan yaşlarla denetlenmiştir (Çizelge 4.2). Buna göre 2013 yılında alınan Sapanca3 karotunda 1999 depreminden sonra 14 yıl sedimantasyon devam etmiştir. 1999 depremine ait sismo-türbidit biriminin üstünde bir cm kalınlığında çökel birimi (Göl Çökeli 1) bulunmaktadır. Bu kalınlık ortalama çökelme hızına göre 5.5 yıla karşılık gelmektedir. Aradaki süre farkı, karotun üst kısmında olan bu birimin, sulu çamur (fluffy)

özelliğinden ötürü karotun taşınması ve örneklenmesi sırasında kaybedilmiş olması ile açıklanabilir. 1999 depremi ile 1967 depremi arasında 32 yıl süren bir çökelme dönemi bulunmaktadır. Bu depremlerin temsil eden sismo-türbidit birimleri arasındaki göl çökel biriminin (Göl Çökeli 2) kalınlığı altı cm'dir. Bu kalınlıktan hesaplanan çökelme süresi 33.3 yıl olup, gerçekte geçen zamanla benzerlik göstermektedir. 1967 depremi ile 1957 depremi arasında 10 yıl süren çökelme dönemi bulunmaktadır. Bu depremlere ait sismo-türbidit birimlerinin arasındaki normal göl çökel kalınlığı (Göl Çökeli 3) 1.5 cm'dir. Sedimentasyon hızından hesaplanan çökelme süresi ise 8.3 yıldır. Bu süre depremler arasındaki gerçek süre (10 yıl) uyumludur. 1957 depremi ile 1943 depremi arasındaki çökelme dönemi 14 yıldır. Bu depremlerin sismo-türbiditleri arasındaki çökel kalınlığı (Göl Çökeli 4) 3.5 cm'dir. Bu kalınlığa ve sedimentasyon hızına göre hesaplanan çökelme süresi 19.4 yıldır. Aradaki beş yıllık zaman farkı %25 lik bir hata payına karşılık gelmektedir. 1943 depremi ile 1894 depremleri arasındaki çökelme süresi 49 yıldır. Depremlerin sismo-türbidit birimleri arasındaki 9.5 cm kalınlığındaki çökel biriminden (Göl Çökeli 5) sedimentasyon hızına göre hesaplanan süre 52.8 yıldır. Aradaki zaman farkı %6 lık küçük bir hataya karşılık gelmektedir. 1894 depremi ile 1878 depremi arasında geçen süre 16 yıldır. Bu depremler arasında Sapanca3 karotunda 1.5 cm kalınlığında çökel birimi (Göl Çökeli 6) bulunmaktadır. Bu birimin kalınlığından sedimentasyon hızına göre hesaplanan çökelme süresi 8.3 yıl olarak hesaplanmıştır. Depremler arası için hesaplanan ve gerçek zaman aralıkları arasında yaklaşık 8 yıl ve göreceli olarak %50'lik bir hata payı vardır. 1878 depremi ile 1754 depremi arasındaki çökelme dönemi 124 yıldır. Bu süreyi karotta 7.4 cm kalınlığında bir çökel birimi (Göl Çökeli 7) temsil etmektedir. Bu kalınlığın sedimentasyon hızına göre çökelme süresi 41 yıldır. Bu birimin gerçek çökelme süresi ile hesaplanan süre arasındaki fark 83 yıl ve hata payı %67'dir. Bu son üç deprem arasındaki süre aralıkları ile karotlarda çökelme hızlarından hesaplanan süreler arasındaki büyük uyumsuzluk çeşitli nedenlerden kaynaklanmış olabilir. Bunlardan biri türbidit akıntılarının normal göl çökellerinde neden olabileceği olası aşındırmadır. Simotürbiditlerden TH6'nın tabanı oldukça keskin ve olasılıkla aşındırmalıdır. En alttaki TH7'nin tabanı ise karotun tabanı altında kaldığından bu tabanın özelliği konusunda yorum yapılamamaktadır. Yüksek hata paylarına neden olabilecek diğer faktörler; tekdüze varsayılan çökel birikim hızının zaman içerisinde sabit olmayıp değişken olmasıdır. Bu değişkenlik iki önemli faktöre bağlı olabilir: (1) iklime bağlı olarak çökelme hızının zaman içerisinde değişimi ve, (2) çökel sıkışmasına

(kompaksiyon) bağı olarak çökelme hızının karot tabanına doğru daha düşük değerlerde olmasıdır.

Çizelge 4.2: Sapanca3 karotunda belirlenen sismo-türbidit birimlerini oluşturan depremler arasında süre ile iki sismotürbidit birimi arasında çökelen normal göl çökellerinden 1.8 mm/yıl ortalama çökelme hızına göre hesaplanan zaman aralıklarının karşılaştırılması.

Sapanca3 Göl Çökel Birimleri	Gerçek Yaş (Yıl)	Çökel Kalınlığı (cm)	Hesaplanan Yaş (Yıl)	Aradaki Fark (Yıl)	Aradaki Fark (%)
Göl Çökeli 1	14	1	5.5	8.5	61
Göl Çökeli 2	32	6	33.3	1.3	4
Göl Çökeli 3	10	1.5	8.3	1.7	17
Göl Çökeli 4	14	3.5	19.4	5.4	36
Göl Çökeli 5	49	9.5	52.8	3.8	8
Göl Çökeli 6	16	1.5	8.3	7.7	48
Göl Çökeli 7	124	7.4	41.1	82.9	67

4.3 Kütle Akması Birimlerinin Kalınlığını Etkileyen Parametreler

Deprem dalgalarının deniz veya göl havzasına ulaşması, o havzanın sallanmasına neden olur. Bu sallanma sırasında havza yamacındaki çökeller stabilitesini kaybederek, derin çökelme alanlarına doğru türbidit akıntılarıyla hareket ederken, havza tabanındaki çökeller de su sütununda süspansiyon haline geçer ve sonuçta havza tabanında çökelererek sismotürbidit birimini oluştururlar (Inouchi ve diğ., 1996; Gorsline ve diğ., 2000; Ken-Tor ve diğ., 2001; Goldfinger ve diğ., 2003; Sarı ve Çağatay., 2006; Çağatay ve diğ., 2012; Eriş 2012, Çağatay ve diğ., 2013). Bu sürecin sismo-türbiditleri oluşturan genel mekanizma olmasına karşın, farklı depremlerde oluşmuş veya aynı depremde farklı havzalarda oluşmuş sismo-türbidit kalınlıkları ve sedimanter yapıları birbirinden farklı olabilir. Bu kısımda bu kalınlık farklılığına neden olabilecek parametreler tartışılmıştır. Bu parametreleri iki ana grup altında toplayabiliriz. İlki depreme ait parametreler, ikincisi ise havzaya ait parametreler grubudur (Şekil 4.7).

Depremlerin parametrelerine göre, en önemli özellik depremin büyüklüğüdür. Farklı fay kinematiklerinde deprem büyüklüğü çok önemlidir. Fayların yüzey atımlarının gözlenebilmesi için her fay kinematığında farklı bir büyüklük eşiği lazımdır. Yüzeyde

atımın en kolay izlendiği fay tipi doğrultu atımlı faylardır. 6.5 ve üzeri büyüklükteki (Mw) depremler belirgin bir yüzey atımı oluşturmaktadır. Sapanca Gölü de doğrultu atımlı bir fay olan Kuzey Anadolu Fayı üzerinde bulunmakta, bu fayın 6.5 ve üzeri büyüklükte depremleri ortalama 250 yıllık aralıklarla oluşturduğu bilinmektedir (Ambrseys ve Finkel, 1995; Ambraseys, 2002a, 2002b). Sapanca Gölü çalışmamıza göre de sismo-türbiditleri tetikleyen aletsel ve tarihsel dönemlerdeki depremler 6.5 Mw'den daha büyük depremlerdir.

Deprem odak merkezinin göl veya denize olan uzaklığı da sismotürbiditlerin kalınlığında rol oynayan depreme bağlı ikinci önemli unsurdur. Deprem ne kadar yakında olursa havzayı etkileme gücünde o kadar artar. Bu da mobilize edilen çökel miktarı ve sismo-türbidit kalınlığını doğrudan etkiler. Uzaktan gelen güçsüz (sönümlenmeye başlayan) deprem dalgaları havzayı etkileme gücü az olacağından ya hiç sismotürbidit oluşturmaz ya da ince bir sismotürbidit tabakası oluşturur.

Deprem odak derinliği bir başka önemli bir faktördür. Depremler yüzeye yakın bir derinlikte (5-20 km) oldukları zaman, depremin şiddeti az ama geniş alanda sarsıntısı hissedilirken, derinlerde (>80 km) olan depremler daha şiddetli olmasına rağmen hissedilme alanı daha dardır. Bu özellik bizim çalışmamız için çok önemlidir. Çünkü KAFZ'da olan depremler genellikle sığ depremlerdir ve odak derinlikleri 5 ile 20 km arasında değişmektedir. Bundan dolayı da deprem odak noktası uzak olan depremler de bölgede hissedilmektedir. Bu nedenle odak uzaklığı 100 km olan iki depremin (1957 Abant ve 1894 Doğu Marmara depremleri) kaydına Sapanca Gölü çökellerinde rastlanmıştır.

Havzaya ait özelliklerden ilki havzanın geometrisidir. Havza dik yamaçlı ve derin ise yamaçlarında birikmiş çökellerin harekete geçmesi daha kolay olur. Bu tür sarp yamaçlardan harekete geçen kütle akması ivme kazanır. Sapanca gölü elipsiodal bir geometriye sahiptir. D-B ekseninde geniş uzunluğa, K-G ekseninde ise dardır. Karotların alındığı hattın kuzeyi ve doğusunda yayvan az açılı yamaçlar bulunurken, güneyinde ise daha dik bir yamaç bulunur. Batı kesiminde ise havzanın depolanma merkezinin olduğu derin kısım yer alır.

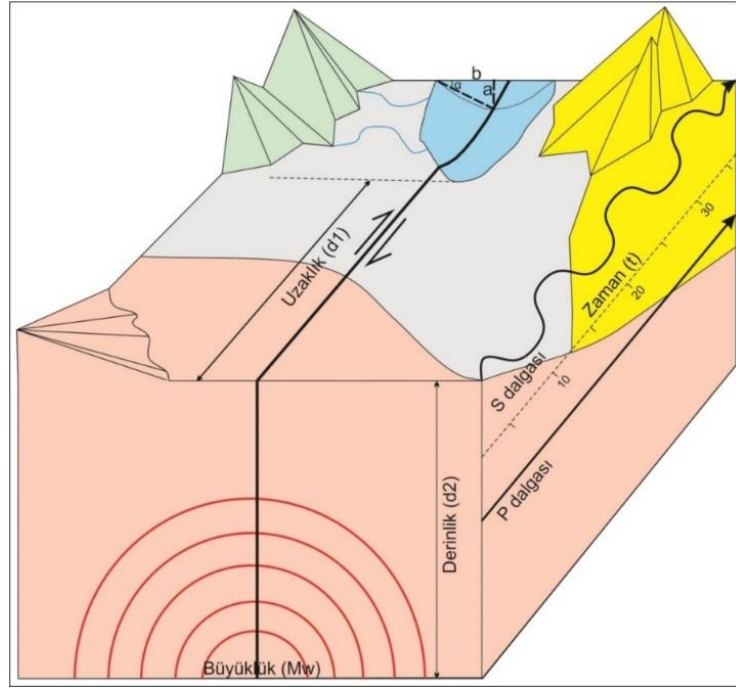
Göl havzasının drenaj alanı, jeolojisi ve iklimi (yağış ve biriki örtüsü) havza ile ilgili diğer önemli parametrelerdir. Bu parametreler, havzadaki çökeltme hızını ve çökel kalınlığını denetler ve depremlerle tetiklenen kütle akmalarının miktarına ve biriken

sismotürbidit kalınlığına etki eder. Drenaj alanı büyük ve yüksek topoğrafyaya sahip ve tutturulmamış kolay aşındırılan çökellerden oluşan havzalar yüksek çökme hızına sahiptir. Buna karşın küçük, düz ve sert kristalin kayalardan oluşan drenej havzaları düşük çökme hızlarına neden olur. Sapanca Gölü'nün drenaj havzası 250 km² olup, özellikle güneyi Samanlı Dağları ile sarp ve engebelidir. Drenaj alanı metamorfik ve magmatik kayalarlar ile daha yumuşak Tersiyer yaşlı sedimanter kayalardan oluşmuştur. Karotlarda bulunan 1.8 mm/yıl çökme hızı görece olarak yüksek olup, geniş ve engebeli drenej alanının etkilerini yansıtmaktadır. Buna karşın drenaj alanındaki bitki örtüsünün yağışlı iklimden dolayı görece yoğunluğu çökme hızının daha yüksek olmasını engellemiştir.

Bir başka önemli detay ise iki deprem arasında geçen süredir. Zira, bu sürenin uzun olması durumunda yamaçlarda daha kalın çökel birikecek ve sonrasında oluşacak depremde bu çökel mobilize edilerek havzanın derin kısımlarında daha kalın sismotürbidit birimi oluşturacaktır.

Sapanca Gölü'nde Sapanca3 karotunda belirlenen sismo-türbiditlere ait yukarıda belirtilen özellikler Çizelge 4.2 de liste halinde, Şekil 4.8'de ise grafik halinde verilmiştir. Deprem büyüklüğü değerlerine göre odak merkezi göle 30 km uzaklıkta olan 7.4 (Mw) büyüklüğündeki 1999 İzmit (Gölcük) depremine ait sismo-türbidit (TH1) kalınlığı 7.5 cm'dir. Bu kalınlığa odak merkezi uzaklığı 77 km olan 7.2 Mw büyüklüğündeki 1999 Düzce Depreminin olası sismo-türbiditi de dahildir. Bu TH1'in tek bir birim niteliğinde olup, büyük ölçüde İzmit depremine ait olduğu düşünülmektedir. Zira İzmit Körfezi depreminin tetiklemesi ile göl tabanındaki tutturulmamış çökeller büyük ölçüde mobilize edildiğinden üç ay gibi kısa bir zaman sonra oluşan Düzce Depreminin sismo-türbidit oluşturmaya yetecek çökel birikintisi oluşmamıştır. İzmit depremi en büyük deprem olmasına rağmen bu depremin oluşturduğu birimin kalınlığı dördüncü en kalın birimdir. 6.8 (Mw) büyüklüğünde hissedilen ve odak merkezi gölden 20 km uzak olan 1967 depreminin sismo-türbidit kalınlığı ise 10 cm'dir. Görece olarak büyüklüğü düşük olan bu depremin sismo-türbidit kalınlığını arttıran faktörün deprem odak merkezinin göle yakın oluşudur. Odak noktası göle 100 km uzak olan 7.1 (Mw) büyüklüğündeki Abant depreminin sismo-türbidit kalınlığı 3 cm'dir. Abant depreminin odak merkezinin göle uzak olmasından dolayı sismo-türbidit biriminin kalınlığının az olduğu düşünülmektedir. Odak merkezi göle 22 km olan 6.6 (Mw) büyüklüğündeki Hendek depreminin

oluşturduğu sismo-türbidit kalınlığı 8.5 cm'dir. Birimin bu kadar kalın olmasının nedeni odak merkezinin göle yakın olması ve göl ile odak merkezi arasında yeralan jeolojik birimleri deprem dalgalarını güçlü ileten kuvaterner yaşlı alüvyonların oluşturması olabilir. Odak merkezi göle 98 km olan 6.7 (Mw) büyüklüğündeki Doğu Marmara depreminin sismo-türbidit kalınlığı 3.5 cm'dir. Gölün kuzeyinde olan 1878 Eşme Depreminin sismo-türbidit kalınlığı 4.5 cm'dir. Karotun tabanını oluşturan ve odak merkezi göle 20 km olan 6.8 (Mw) büyüklüğündeki 1754 depreminin sismo-türbidit kalınlığının fazla olmasının nedeni bölgede bu depremde önce 1719 yılında meydana gelen depremin sismo-türbiditi ile bu depremin sismo-türbiditin bir arada bu kalınlığı oluşturabileceği veya tarihsel kayıtlarda yeralan büyüklükten daha büyük bir deprem olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.11: Sismo-türbiditlerin kalınlığını etkileyen deprem parametrelerinin (depremin büyüklüğü, deprem merkezinin depolanma alanına uzaklığı, depremin derinliği, gölün geometrisi) blok diyagramda gösterimi.

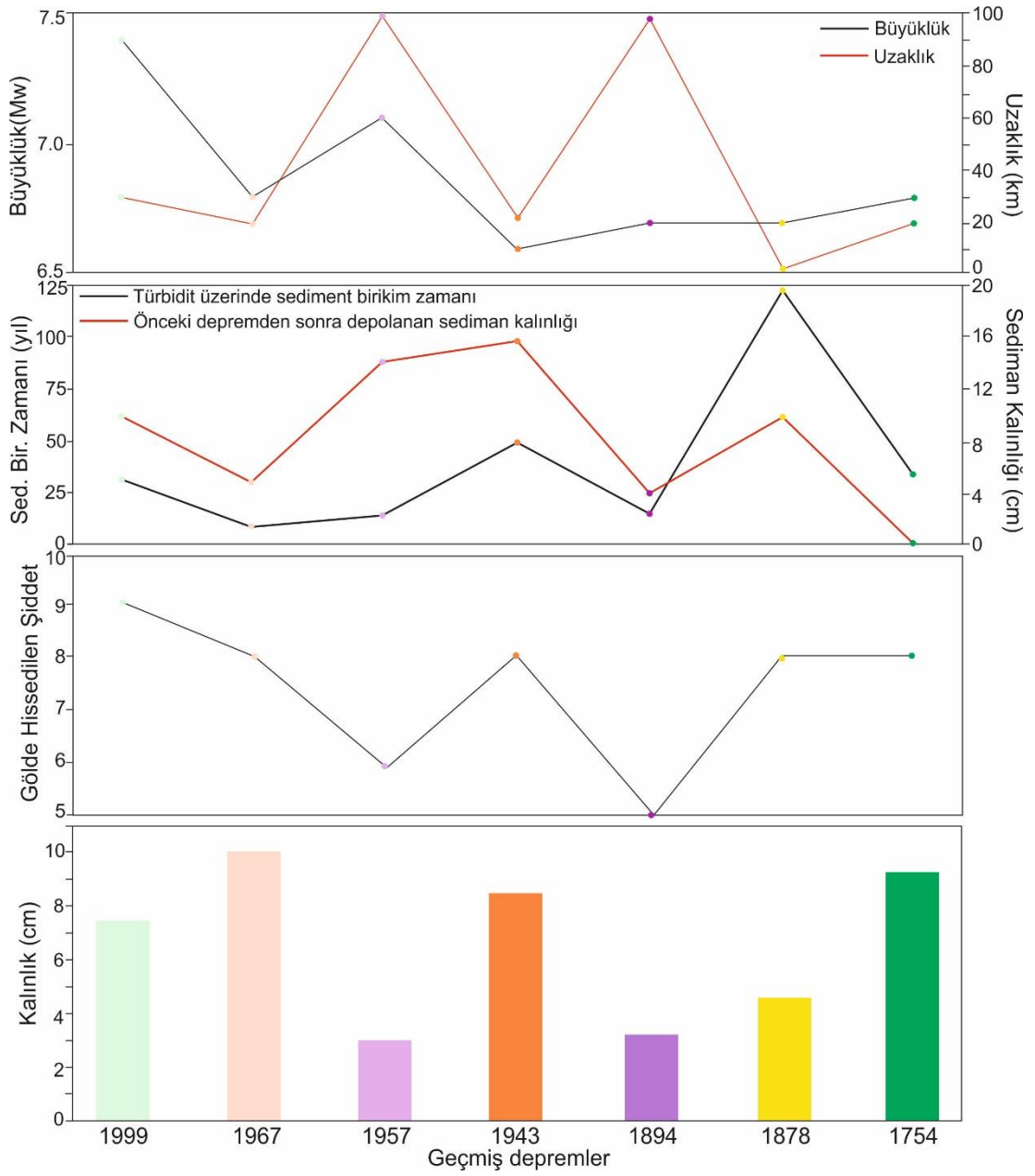
Sapanca3 karotunda belirlenen sismo-türbidit birimlerinin kalınlığı ile bu kalınlığı etkileyen faktörler arasındaki ilişkiyi gösteren ikili grafikler (bi-plot) Şekil 4.13'de verilmiştir. Veri setinin az sayıda (yedı adet) depreme ait olması sağlıklı bir istatistiksel analize olanak sağlamamakla birlikte, bazı çıkarımlar yapmak mümkündür. Buna göre sismotürbidit kalınlığı ile depremin şiddeti ve gölün deprem odak merkezine olan uzaklığı arasında kuvvetli sayılabilecek pozitif korelasyonlar (sırası ile $r=0.74$ ve 0.69) bulunmuştur. Buna karşın sismotürbidit kalınlığı ile birbirini

izleyen iki deprem arasındaki süre ve deprem büyüklüğü arasında istatistiksel olarak doğrudan anlamlı bir ilişki bulunamamıştır.

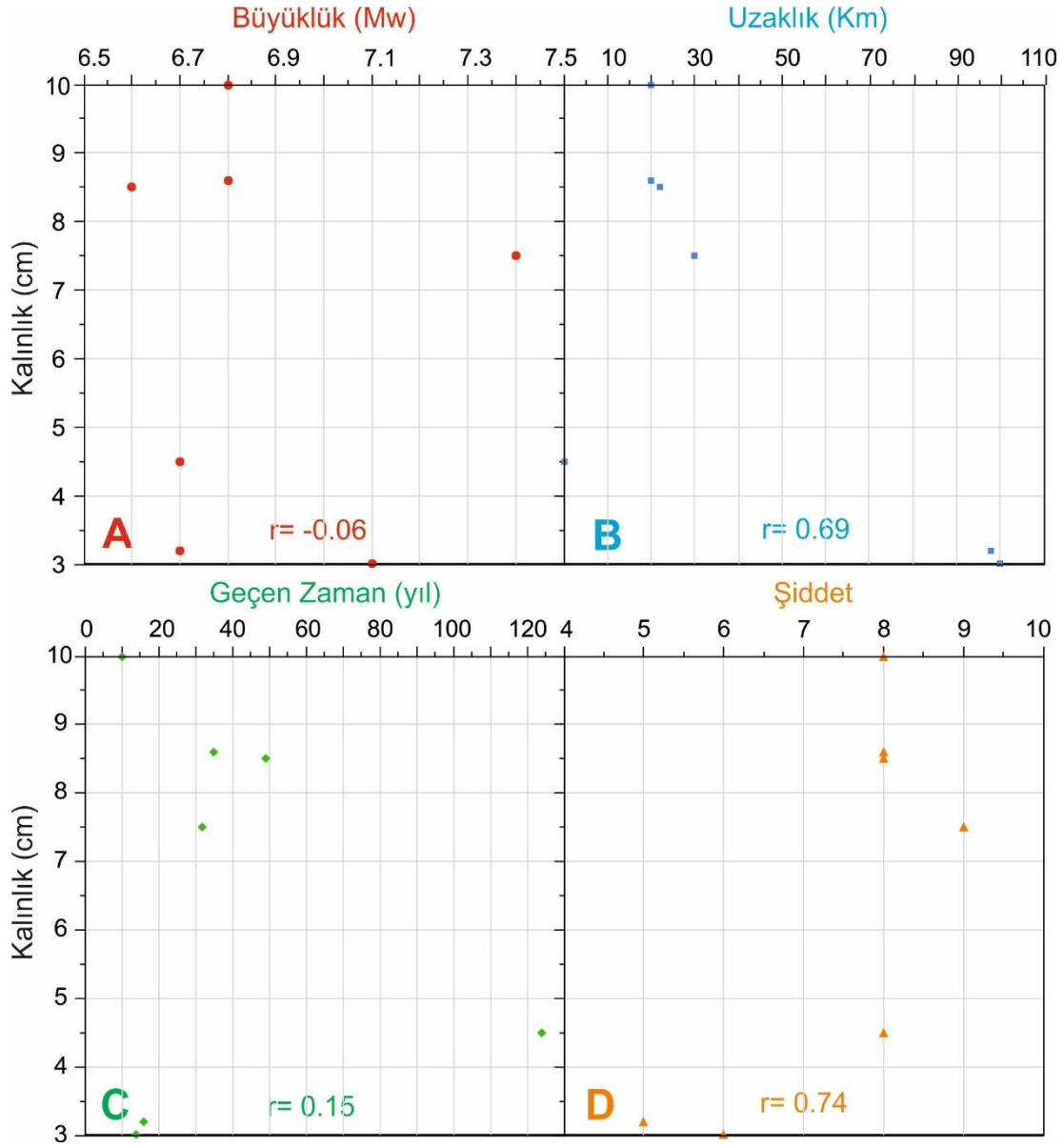
Gölde hissedilen deprem şiddeti ile sismo-türbidit kalınlığı arasındaki ilişki Şekil 4.13'de D grafiğinde verilmiştir. Gölde dokuz şiddetinde hissedilen 1999 depreminin sismo-türbidit kalınlığı 8 şiddetinde hissedilen 1967, 1943 ve 1754 depremlerinin sismo-türbidit birimlerinden daha ince 1878 depreminin sismo-türbidit biriminden ise daha kalındır. Daha düşük şiddetli diğer depremlerin sismo-türbidit kalınlıkları da azdır. Bu parametrenin kalınlık üzerinde etkili olduğu yüksek korelasyon katsayısı ($r=0.74$) ile de belirlenmiştir.

Deprem odak merkezinin uzaklığı ile sismo-türbidit kalınlığı arasındaki ilişki Şekil 4.13'de B grafiğinde verilmiştir. Deprem odak merkezine olan uzaklık arttıkça oluşacak sismo-türbidit biriminin kalınlığının azalması beklenmektedir. Odak merkezi göle en uzak Abant ve Doğu Marmara Depremlerinin sismo-türbidit kalınlığı beklendiği gibi azdır. Ama odak merkezi göle en yakın olan Eşme Depreminin kalınlığı ise beklenenden daha azdır. Araştırılan parametrenin sismo-türbidit kalınlığında etkili olabileceği belirlenmiştir. Uzaklık-kalınlık arasındaki korelasyon katsayısı ($r=0.69$) yüksek çıkmıştır.

Değişik deprem parametreleri ile karot kalınlığı arasındaki istatistiksel ilişkilerin ilerde daha çok sayıda deprem kaydı içeren KAF üzerindeki çok sayıda gölden elde edilen verilerin multivariate analizleri ile yapılması daha sağlıklı sonuçlar verecektir. Sismo-türbidit kalınlığını artmasında en etkili olan yüksek korelasyon katsayılı deprem odak merkezinin uzaklığı ve hissedilen şiddeti beraber incelendiğinde, odak noktası uzak olan 1957 ve 1894 depremleri uyumsuz bir grup, diğer depremler uyumlu artış gösteren diğer bir grubu oluşturmaktadır (Şekil 4.14).



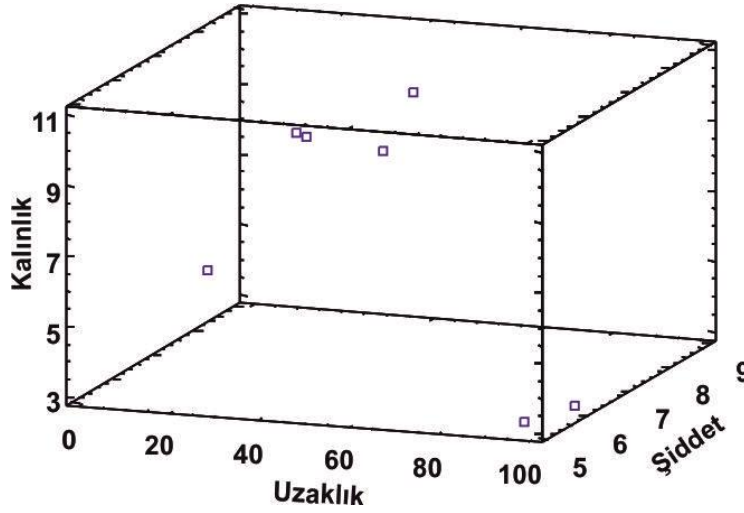
Şekil 4.12: Sapanca3 karotunda bölgedeki son 250 yılda olmuş depremlere ait Büyüklük-Uzaklık, Çökel Kalınlığı- Çökel Birikim Zamanı, Türbidit Kalınlığı ve Deprem Şiddeti grafikleri



Şekil 4.13: Sapanca3 karotundaki sismo-türbidit birimlerinin kalınlıklarının, bu birimleri oluşturan depremlerin büyüklüğü (A), gölün deprem odak merkezine olan uzaklığı (B), bir önceki depremden itibaren geçen süre (C) ve deprem büyüklüğü ve odak noktası uzaklığı kullanılarak gölde hissedilen deprem şiddetine göre değişimleri gösteren grafikler ve veriler arasındaki korelasyon katsayıları (r).

Çizelge 4.3: Sapanca3 karotunda Sapanca gölü ve çevresinde son 250 yılda olmuş depremlere ait parametreleri (göle olan uzaklık, depremin büyüklüğü, türbidit üzerinde çökel birikim süresi ve önceki depremden sonra depolanan çökel kalınlığı) ve özellikleri (depremin şiddeti ve türbidit kalınlığı) gösteren tablo.

Deprem	Parametreler	Sapanca3	Şiddet	Türbidit Kalınlığı
Gölcük/Düzce	Sapanca Gölünden Uzaklık	30/77 km	9	7.5 cm
Depremleri	Büyüklik (Mw)	7.4/7.2		
1999	ST üzerinde sed. Birikim süresi	32 yıl		
	Önceki dep. sonra depolanan sed. kalınlığı	6 cm		
Mudurnu Depremi	Sapanca Gölünden Uzaklık	46 km	8	10 cm
	Büyüklik (Mw)	6.8		
1967	ST üzerinde sed. Birikim süresi	10 yıl		
	Önceki dep. sonra depolanan sed. kalınlığı	1.5 cm		
Abant Depremi	Sapanca Gölünden Uzaklık	100 km	6	3 cm
	Büyüklik (Mw)	7.1		
1957	ST üzerinde sed. Birikim süresi	14 yıl		
	Önceki dep. sonra depolanan sed. kalınlığı	3.5 cm		
Hendek Depremi	Sapanca Gölünden Uzaklık	22 km	8	8.5 cm
	Büyüklik (Mw)	6.6		
1943	ST üzerinde sed. Birikim süresi	49 yıl		
	Önceki dep. sonra depolanan sed. kalınlığı	9.5 cm		
Doğu Marmara Depremi	Sapanca Gölünden Uzaklık	98 km	5	3.5 cm
	Büyüklik (Mw)	6.7		
1894	ST üzerinde sed. Birikim süresi	16 yıl		
	Önceki dep. sonra depolanan sed. kalınlığı	1.5 cm		
Eşme Depremi	Sapanca Gölünden Uzaklık	0 km	8	4.5 cm
1878	Büyüklik (Mw)	6.7		
	ST üzerinde sed. Birikim süresi	124 yıl		
	Önceki dep. sonra depolanan sed. kalınlığı	7.4 cm		
İzmit Depremi	Sapanca Gölünden Uzaklık	20 km	8	9 cm
1757	Büyüklik (Mw)	6.8		
	ST üzerinde sed. Birikim süresi	35 yıl		
	Önceki dep. sonra depolanan sed. kalınlığı	-		



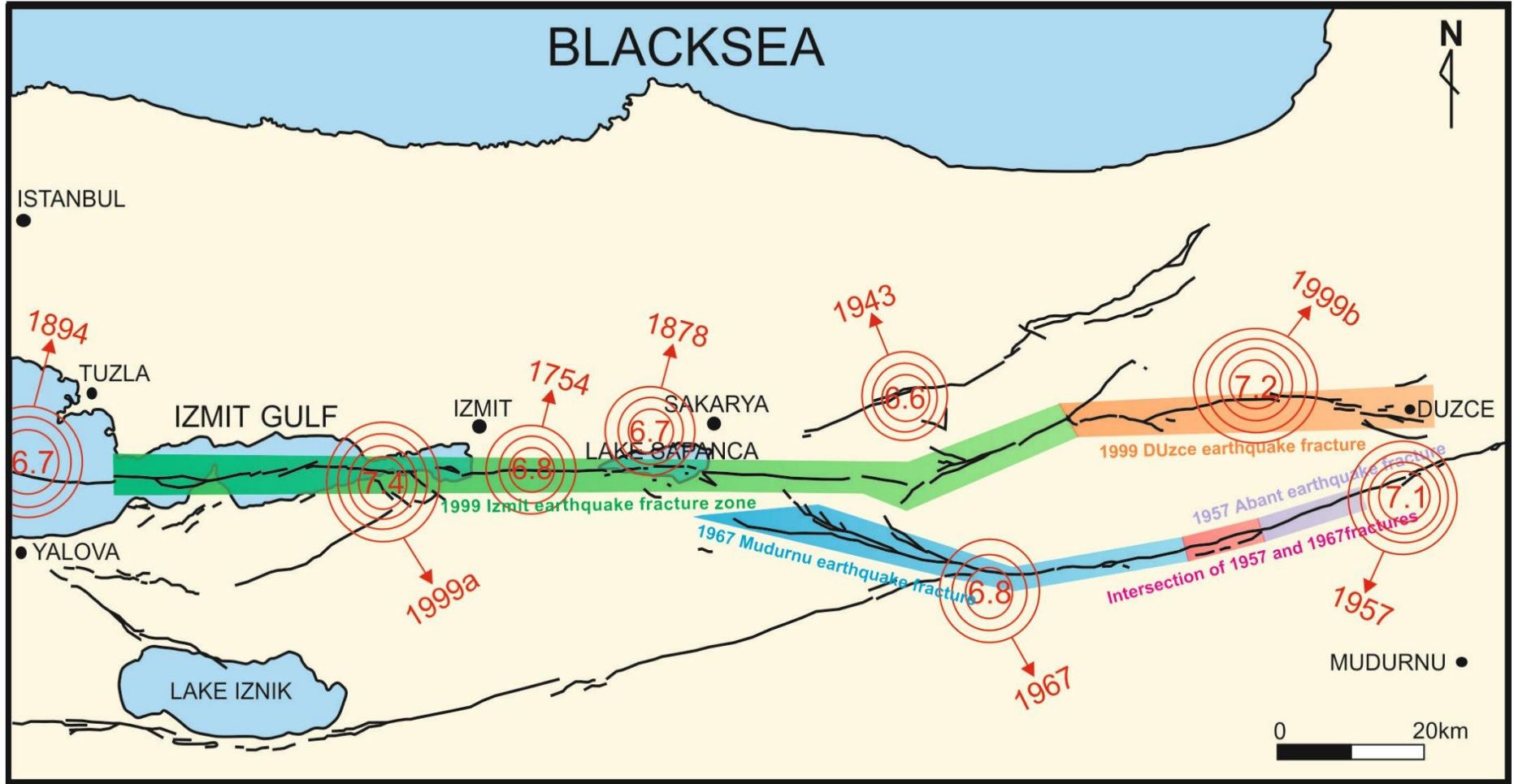
Şekil 4.14: Sismo-türbiditlerin kalınlığını etkileyen parametrelerden korelasyon katsayısı en yüksek çıkan deprem odak noktasının uzaklığı ve hissedilen deprem şiddetinin sismo-türbidit kalınlığına göre değişimlerini gösteren üç eksenli grafik.

4.4 Bölgenin Deprem Riski

Yaptığımız çalışma sonucunda 1754 yılından itibaren Sapanca Gölü ve çevresinde olmuş 8 tane büyük depremin Sapanca Gölü karotlarında kaydına rastlanılmıştır (Şekil 4.9). Bu sonuçlar bize bölgenin deprem riski açısından çok tehlikeli bir alan olduğunu (1. derecede deprem bölgesi) olduğunu göstermektedir. Bu depremlerin yaşlandırılması yapıldıktan sonra bölgede son 250 yıldaki KAFZ'nun segmentlerinde deprem tekrarlanma aralıkları belirlenebilir. Ancak bu temsili bir deprem tekrarlanma aralığı hesaplamak için çok kısa bir süredir.

Karot deprem kayıtlarını en eskisi 1754 yılındaki İzmit Depremidir. Bu deprem ile 1999 yılında olan Gölcük Depreminin kırığı ile aynı segmentte meydana gelmiştir (şekil 4.13). Bu iki deprem arasında 245 yıl vardır ve bu aralık 20-25 mm/yıl GPS hızları (Flerit ve diğ., 2003; Reilinger ve diğ., 2006) ile uyumludur. Bu iki deprem arasında oluşan deprem 1878 Eşme depremidir ve daha doğuda Sapanca Gölü yakınında oluşmuştur. 1999 İzmit ve Eşme 1878 depremleri birlikte düşünüldüğünde bu segmentin en az gelecek yüzyılda kırılması beklenmemektedir.

Sakarya, Karadere, Düzce, Mudurnu ve Abant segmentleri son yüzyılda kırılmıştır. GPS hızlarına göre KAF segmentleri üzerindeki ortalama deprem oluşum aralığı 250 yıl düşünüldüğünde, bu segmentlerin de en azından gelecek 100 yıl içerisinde herhangi bir deprem oluşturması beklenmemektedir.



Şekil 4.15: Sapanca gölünün çevresinde olmuş tarihsel depremlerin yerini, büyüklüklerini ve kırılma zonlarını gösteren fay haritası (Emre, ve diğ., 2013)

5. SONUÇLAR

Yapılan çalışmalar sonucunda Sapanca Gölünden alınan ve yaşlandırılmaları yapılan karotlardan Sapanca3'de geçmiş 8 depreme ait 7 adet sismotürbidit birimi, Sapanca2 ve Sapanca1'de geçmiş 7 depreme ait 6 adet sismotürbidit birimi belirlenmiş (TH1-TH7) ve bunlar bölgede 1754 İzmit, 1878 Eşme, 1894 Doğu Marmara, 1943 Hendek, 1957 Abant, 1967 Mudurnu, 1999 İzmit ve Düzce depremleri ile eşleştirilmiştir.

Sismotürbiditlerde yapılan detaylı fiziksel, jeokimyasal ve sedimentolojik çalışmalar sonucunda Sapanca Gölünde oluşan sismo-türbiditlerin özellikleri belirlenmiştir. Buna göre, göldeki sismotürbiditler; genellikle keskin taban dokunaklarının olmasına rağmen, bazıları göl çökellerinden gözle ayırt edilememiş ancak yapılan deneyler sonucunda varlıkları tespit edilmiştir. Tane boyu analizlerinin sonucuna göre bu birimler göl çökellerinden daha kaba tane içerdiği ve pozitif çarpıklıkta artış, boylanmada ise kötüleşme göstermektedir. Fiziksel özelliklerine göre ise yüksek manyetik duyarlılık ve yoğunluğa sahiptir. Yüksek yoğunluklarından dolayı radyografi görüntülerinde koyu renkli olarak görülmektedir. Jeokimyasal bileşimlerine göre sismo-türbiditler sığ kısımlardan taşınarak gelmelerinden dolayı yüksek detritik girdi içeriğini belirten K, Rb, Ti, Zr gibi elementlerce zenginleşmiştir. Ayrıca türbidit akıntısıyla taşınıp çökeltilen bu birimler göreceli kaba malzeme bileşimi nedeniyle karbonat ve organik malzeme içeriği açısından fakirdir.

Sismotürbiditler, sığ yerlerden türbiditik akıntıların tabandan aşındırarak aldığı malzemeleri derin havzalarda çökertmesiyle oluştuğu için ^{210}Pb grafiğinde stabil bir grafik gözlenememektedir. Sismo-türbidit birimleri, ^{210}Pb grafiğinde düşük değerli pikler vermektedir. Buda bize gelen malzemenin aşınma ürünü olan eski çökellerden oluştuğunu göstermektedir.

Geçmiş deprem kayıtları incelendiği zaman çalışma alanının ve çevresinin depremsellik açısından çok tehlikeli olduğu ve 1. dereceden deprem bölgesi olduğu gerçeği görülmüştür. Bölgede fay segmentleri üzerinde son depremlerin oluşum zamanları ve GPS hızlarına göre ortalama 250 yıllık deprem oluşum aralığı aralığı

dikkate alındığında gelecek 100 yıl içerisinde bu bölgede KAFZ'nun kuzey kolundaki segmentlerinde büyük bir deprem beklenmemektedir.

Çalışma alanının jeolojisi ve engebeli morfolojisi göl tabanındaki nisbeten yüksek çökelme hızını (1.8 mm/yıl) açıklamaktadır. Bu nedenle birbirine yakın zamanlarda oluşmuş depremlerin kayıtları birbirinden ayırt edilebilmiştir. Ayrıca yaklaşık 100 km uzakta oluşan depremlerin (örneğin 1894 Doğu Marmara Depremi ve 1957 Mudurnu depremleri) kayıtları gölde tespit edilebilmiştir.

Çalışma sonucunda belirlenen sismotürbiditlerin kalınlıklarının farklı olmasının nedenleri üzerinde durulmuştur. Bu kalınlığa sebep olacak nedenler belirlenmiş ve bunlar hakkındaki veriler derlenmiştir. Bu veriler ışığında deprem büyüklüğünün, deprem odak noktasının göle olan uzaklığının, iki deprem arasındaki sürede biriken çökel miktarının ve deprem şiddetinin sismotürbidit biriminin kalınlığındaki etkilerine bakılmıştır. Deprem odak noktasının yakınlığı ve şiddetinin büyüklüğü kalınlığın artmasında etkili olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Ambraseys, N.N. and Finkel, C.,** (1995). *The seismicity of Turkey and adjacent areas; A historical review: 1500-1800*. Eren Yayıncılık, Istanbul.
- Ambraseys, N.N. and Jackson, J.A.,** (2000). Seismicity of Sea of Marmara (Turkey) since 1500. *Geophysics Journal International* 141, F1–F6.
- Ambraseys, N.N.,** (2002a). Seismic sea waves in the Marmara Sea Region during the last 20 centuries. *J. Seismol.*, 6, 571-578.
- Ambraseys, N.N.,** (2002b). The seismic activity of the Marmara Sea Region over the last 2000 years. *Bull Seis. Soc. Amer.*, 92, 1-18
- Appleby, P. G and Oldfield, F.,** (1983). The assessment of ^{210}Pb data from sites with varying sediment accumulation rates, *Hydrobiologia* 103 : 29-35
- Appleby, P.G. and Oldfield, F.,** (1992). Application of ^{210}Pb to sedimentation studies, M. Ivanovich, R.S. Harmon (Eds.), Uranium Series Disequilibrium, *Oxford University Press, Oxford*, , pp. 731–778.
- Appleby, P.G.,** (2001). Chronostratigraphic techniques in recent sediments. In: Last, W.M., Smol, P.M. (Eds.), *Tracking Environmental Change using Lake Sediments*, Volume 1: Basin Analysis, Coring, and Chronological Techniques. Kluwer Academic, pp. 171–203.
- Avşar, U., A. Hubert-Ferrari, M. De Batist, and N. Fagel** (2014), A 3400 year lacustrine paleoseismic record from the North Anatolian Fault, Turkey: Implications for bimodal recurrence behavior. *Geophys. Res. Lett.*, 41, 377–384, doi:10.1002/2013GL058221.
- Avşar, U., Hubert-Ferrari, A., De Batist, M., Schmidt S., Fagel N.,** (2015). Sedimentary records of past earthquakes in Boraboy Lake during the last ca 600 years (North Anatolian Fault, Turkey). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 433, 1–9.
- Barka, A.,** (1997). Neotectonics of the Marmara region. In: Schindler, C., Pfister, M. (Eds.), *Active Tectonics of Northwest Anatolia*. The Marmara Poly-Project, Hochschulverlag AG ETHZ, Zurich, pp. 55–87.
- 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. Rességuier A. de, Jaouen, A.,** (2007).

Late Quaternary co-seismic sedimentation in the Sea of Marmara's deep basins. *Sedimentary Geology*, 199, 65-89.

- Bertrand, S.,** Doner, L., Akçer Ön, S., Sancar, U., Schudack, U., Mischke, S., Çağatay, M.N., Leroy, S.A.G., (2011). Sedimentary record of coseismic subsidence in Hersek coastal lagoon (Izmit Bay, Turkey) and the late Holocene activity of the North Anatolian Fault. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 12(6), 1-17, doi: 10.1029/2011GC003511.
- Boex, X.,** Moran, S. B., King, J., Cagatay, M. N., Hubert-Ferrari, A., (2010). Records of large earthquakes in lake sediments along the North Anatolian Fault, Turkey. *J Paleolimnol*, 43, 901–920 doi: 10.1007/s10933-009-9376-x
- Bol, E.,** (2003). *Adapazarı Zeminlerinin Geoteknik Özellikleri*. (Doktora Tezi), Sakarya Üniversitesi, 197 sayfa.
- Bozkurt, E.,** (2001), Neotectonics of Turkey—a synthesis. *Geodinamica Acta*, 14, 3–30.
- Çağatay, M.N.,** Erel, L., Bellucci, L.G., Polonia, A., Gasperini, L. Eriş, E., Sancar, Ü., Biltekin, 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.
- Çağatay, M.N.,** Erel, L., Biltekin D., Uçarkuş G., Ülgen U.B., Acar D., Ozmaral, A., Albut G., (2013). Marmara Denizi Çökel Karotlarında Eski Deprem Kayıtlarının Analizi ve Yaşlandırılması (Rapor no: TUJJB-UDP-02-10). Türkiye Ulusal Jeodezi Ve Jeofizik Birliği (TUJJP).
- Chapron, E.,** Beck, C., Pouchet, M., Deconninck, J.F., (1999). 1822 earthquake-triggered homogenite in Lake Le Bouget (NW Alps). *Terra Nova*, 11, 86–92.
- Dean, W.E.,** (1993). Physical properties, mineralogy, and geochemistry of Holocene varved sediments from Elk Lake, Minnesota. In: Bradbury, J.P., Dean, W.E. (Eds.), Elk Lake, Minnesota: Evidence for Rapid Climate Change in the North-Central United States, Vol. 276. *Geological Society of America Special Paper*, Boulder, CO, 135–157.
- Dikbaş, A.,** Akyüz, H.S., (2010). KAF Zonu üzerinde İzmit-Sapanca Gölü segmentinin fay morfolojisi ve paleosismolojisi. *İTÜ Dergisi/d Mühendislik* 9(3), 141-152.
- Doig, R.,** (1990). 2300 yr history of seismicity from silting events in Lake Tadiussac, Charlevoix, Quebec. *Geology*, 18, 820-823.
- 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.

- Eusterhues, K.**, Lechterbeck, J., Schneider, J., Wolf-Brozio, U., (2002). Late- and postglacial evolution of Lake Steisslingen (I). Sedimentary history, palynological record and inorganic geochemical indicators. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 187, 341–371.
- Flerit, F.**, R. Armijo, G.C.P., King, B. Meyer, and A. Barka, 2003. Slip partitioning in the Sea of Marmara pull-apart determined from GPS velocity vectors. *Geophys J Int.*, 154: 1-7.
- Friedman, G.M.**, Sanders, J.E., (1978). *Principles of Sedimentology*. John Wiley & Sons, New York.
- Geiss, C.E.**, Umbanhowar, C.E., Camill, P., Banerjee, S.K., (2003). Sediment magnetic properties reveal Holocene climate change along the Minnesota prairie-forest ecotone. *Journal of Paleolimnology*, 30, 151–166.
- Goldfinger, C.**, Nelson, C.H., Johnson, J.E., (2003). Deep-water turbidities as Holocene earthquake proxies: the Cascadia subduction zone and Northern San Andreas Fault systems. *Annals of Geophysics*, 46 (5), 1169–1193.
- Gorsline, D.S.**, Diego, T.D., Nava-Sanchez, E.H., (2000). Seismically triggered turbidities in small margin basins: Alfonso Basin, Western Gulf of California and Santa Monica Basin, California Borderland. *Sedimentary Geology*, 135, 342–352.
- Gülen, L.**, Demirbag, E., Cagatay, M.N, Utkucu, M., Imren, C., Yıldırım E., Yalçın H., Yalamaz B., (2014). Sapanca Gölünün ayrıntılı batimetrisi ve genç çökel istifi, aktif yapısal unsurların vasıtasıyla yakın bölgesinin sismojenik davranışlarının incelenmesi (Rapor no: TUJJB-UDP-03-10). Türkiye Ulusal Jeodezi Ve Jeofizik Birliği (TUJJP).
- Gurbuz, A.**, Gürer, Ö.F., (2008). Tectonic Geomorphology of the North Anatolian Fault Zone in the Lake Sapanca Basin (Eastern Marmara Region, Turkey). *Geosciences Journal*, 12, 215-225, doi: 10.1007/s12303-008-0022-9
- Gurbuz, A.**, Gürer, Ö.F., (2008). Anthropogenic affects on lake sedimentation process: a case study from Lake Sapanca, NW Turkey. *Environ Geol*, 56, 299–307, doi: 10.1007/s00254-007-1165-0.
- Gurbuz, A.**, Leroy S.A.G., (2010). Science versus myth: was there a connection between the Marmara Sea and Lake Sapanca?. *Journal of Quaternary Science*, 25(2), 103-114.
- Heezen, B.C. and Ewing. M.**, (1952). Turbidity currents and submarine slumps, and the 1929 Grand Banks earthquake. *Am. J. Sci.*, 250, 849-873.
- Hempton, M.R.**, (1987), Constraints on Arabian plate motion and extensional history of Red Sea. *Tectonics*, 6, 687–705

- Hubert-Ferrari, A.,** A. Barka, E. Jacques, S. Nalbant, B. Meyer, R. Armijo, P. Tapponnier, and G. King (2000), Seismic hazard in the Sea of Marmara following the Izmit Earthquake. *Nature*, 404, 269–273, doi:10.1038/35005054.
- Hubert-Ferrari, A.,** Avsar, U., Ouahabi, M.E., Lepoint, G., Martinez P., Fagel, N., (2012). Paleoseismic record obtained by coring a sag-pond along the North Anatolian Fault (Turkey). *Annals of Geophysics*, 55(5), 929-953, doi: 10.4401/ag-5460.
- 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.
- Ken-Tor, R.,** Agnon, A., Enzel, Y., Stein, M., Marco, S., Negendank, J.F.W., (2001). Highresolution geological record of historic earthquakes in the Dead Sea basin. *Journal of Geophysical Research*, 106, 2221–2234.
- Klinger, Y.,** Sieh, K., Altunel, E., Akoglu, A., Barka, A., Dawson, T., Gonzalez, T., Meltzner, A. ve Rockwell, T., (2003). Paleoseismic evidence of characteristic slip on the western segment of the North Anatolian fault, Turkey, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 93(6), 2317-2332.
- Koçyiğit, 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 theAnatolion nappe, Turkey. *Metu Journal of Pure and Applied Sciences*, 21, (1-3), 183-210.
- Koçyiğit, A.,** Yllmaz, A., Adamia S., and Kuloshvili, S., (2001), Neotectonics of East Anatolian Plateau (Turkey) and Lesser Caucasus: implication for transition from thrusting to strike-slipfaulting. *Geodinamica Acta*, 14, 177–195.
- Krishnaswamy, S.,** Lal, D., Martin, J.M., Meybeck, M., (1971). Geochronology of lake sediments. *Earth and Planetary Science Letters*, 11, 407–414.
- Leroy S.A.G.,** Boyraz, S., Gurbuz, A., (2009). High-resolution palynological analysis in Lake Sapanca as a tool to detectrecent earthquakes on the North Anatolian Fault. *Quaternary Science Reviews*, 28, 2616–2632.
- Leroy S.A.G.,** Schwab, M.J., 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.,** Bachhuber, J., Witter, R., Brankman, C., Randolph, C.E., Barka, A., Page, W.D., Kaya A., (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. Am.*, 92, 19-42.

- McHugh, C.M.G.,** Seeber, L., Cormier, M.H., Dutton, J., Çagatay, 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 Planetary Science Letters*, 248, 661-684.
- Menahem, B.,** (1976). Dating of historical earthquakes by mud profiles of lake-bottom sediments. *Nature*, 262, 200-202.
- Özeren M.S.,** (2002). *Crustal structure and forces in continental deformation*. (PhD thesis). Univ. Cambridge, Fitzwilliam Coll., 255 pp.
- Palyvos, N.,** Pantosti, D., Zabcı, C., D'Addezio, G., (2007). Paleoseismological Evidence of Recent Earthquakes on the 1967 Mudurnu Valley Earthquake Segment of the North Anatolian Fault Zone. *Seismological Society of America*, 97(5), 1646–1661, doi: 10.1785/0120060049.
- 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. *Journal of Geophysical Research*, 113, B01309, doi:10.1029/2006JB004679.
- Pavrides, S.B.,** Chatzipetros, A., Tutkun, Z. S, Özaksoy, V. ve Doğan, B., (2006). Evidence for late Holocene activity along the seismogenic fault of the 1999 Izmit earthquake, NW Turkey. *Geological Society London, Special Publications*, 260, 635-647.
- Pinar, A.,** Honkura, Y., Kikuchi, M., (1996). A rupture model for the 1967 Mudurnu Valley, Turkey earthquake and its implication for seismotectonics in the western part of the North Anatolian Fault Zone. *Geophysical Research Letters*, 23(1), 29-32.
- Polonia, A.,** Nelson, C.H., Romano, S., Vaiani, S.C., Colizza, E., Gasparotto, G., Gasperini, L., (2016). A depositional model for seismo-turbidites in confined basins based on Ionian Sea deposits. *Marine Geology*, yayın aşamasında.
- Reilinger, R.,** S. McClusky, P., Vernant, S., Lawrence, S., Ergintav, R., Cakmak, H., Ozener, F; Kadirov, I., Guliev, R., Stepanyan, M., Nadariya, G., Hahubia, G., Mahmoud, K., Sakr, A., ArRajehi, D., Paradissis, A., Al-Aydrus, M., Prilepin, T., Guseva, E., Evren, A., Dmitrova, S.V. Filikov, F. Gomez, R. Al-Ghazzi, and G. Karam, 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.

- Rockwell, T. K.,** Lindvall, S., Dawson, T., Langridge, R., Lettis, W. & Klinger, Y. (2002). Lateral offsets on surveyed cultural features resulting from the 1999 Izmit and Düzce earthquakes, Turkey. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92(1), 79–94.
- Rollingson, H.,** (1995). *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*. Longman Group, Harlow.
- Sangode, S.,** Suresh, J., Bagati, N., (2001). Godavari source in the Bengal fan sediments: Results from magnetic susceptibility dispersal pattern. *Current Science*, 80, 660–664.
- Sarı, 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.
- Sengor, A.M.C.,** Tuysuz, O., Imren, C., Sakıncı, M., Eyidogan, H., Gorur, N., Le Pichon, X., Rangin, C., (2005). The North Anatolian Fault: a new look. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 33, 37–112, doi: 10.1146/annurev.earth.32.101802.120415
- Siegenthaler, C.,** Finger, W., Kelts, K., Wang, S., (1987). Earthquake and seiche deposits in Lake Lucerne, Switzerland. *Eclogae Geologicae Helveticae* 80, 241–260.
- Sims, J.D.,** (1975). Determining earthquake recurrence intervals from deformational structures in young lacustrine sediments. *Tectonophysics*, 29, 141- 152.
- Sturm, M.,** Siegenthaler, C., Pickrill, R.A., (1995). Turbidites and ‘homogenites’. A conceptual model of flood and slide deposits. *International Association of Sedimentologists 16th Regional Meeting of Sedimentology*, Publication ASF 22, Paris.
- Taniguchi M.,** and Fukuo, Y., (1996). An effect of seiche on groundwater seepage rate into Lake Biwa, Japan. *Water Resources Research*, Vol. 32, No. 2, 333-338.
- Taymaz, T.,** Jackson J, McKenzie, D. (1991). Active tectonics of the north and central Aegean Sea. *Geophys. J. Int.* 106, 433–90.
- Zabci, C.,** Akyüz, H.S., Karabacak, V., Sançar, T., Altunel, E., Gürsoy, H., Tatar O., (2010). Palaeoearthquakes on the Kelkit Valley segment of the North Anatolian Fault, Turkey: Implications for the surface rupture of the historical 17 August 1668 Anatolian earthquake. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 20, 4, 411-427.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Burak YALAMAZ

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul / 08.02.1988

Adres: İstasyon Mah. Şehitler Cad. Ayhan Sok. No: 11 D:9

34940 Tuzla/ İSTANBUL



E-Posta: byalamaz@itu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans:** İstanbul Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği, 2013

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2013-2015 yılları arasında İTÜ-EMCOL Araştırma Merkezinde, MARSite projesi kapsamında deniz jeolojisi ve limnoloji üzerine araştırmacı olarak çalıştı.
- 2016 yılında 115Y766 no'lu Tübitak projesinde limnoloji üzerine araştırmacı öğrenci olarak çalıştı.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

- **Yalamaz, B.,** Çağatay, M.N., Acar, D., Güngör, E., Güngör, L.N., Demirbağ, E., Gülen, L. (2014) Earthquake Records from Sapanca Lake Sediments. *67th Geological Congress of Turkey*, Ankara, 14-18 April 2014, (Poster sunum).
- **Yalamaz, B.,** Çağatay, M.N., Acar, D., Güngör, E., Güngör, L.N., Demirbağ, E., Gülen, L. (2014). Earthquake Records of North Anatolian Fault from Sapanca Lake Sediments, NW Anatolia. *EGU General Assembly*, Vienna, Austria, 27 April – 2 May 2014, (Poster sunum).
- **Yalamaz, B.,** Çağatay, M.N., Acar, D., Güngör, E., Güngör, L.N., Demirbağ, E., Gülen, L. (2014). Earthquake Sedimentary Records in the Lake Sapanca (NW Anatolia) and Their Relations with Earthquake Parameters. *ISEMG*, Muğla, Turkey, 13-17 October 2014, (Sözlü sunum).
- Gülen, L., Demirbağ, E., Çağatay, M.N., Yıldırım, E., **Yalamaz, B.,** (2014). Delineation of the North Anatolian Fault Within the Sapanca Lake by Seismic Reflection Method and Correlation of Sapanca Lake SeismoTurbidites With Earthquakes. *68th Geological Congress of Turkey*, Ankara, 6-10 April 2015.
- Gülen, L., Demirbağ, E., Çağatay, N., Yıldırım, E., **Yalamaz, B.,** (2015). Delineation of the North Anatolian Fault Within the Sapanca Lake and

Correlation of Seismo-Turbidites With Major Earthquakes, *American Geophysical Union (AGU) Fall Meeting*, 14-18 Aralık, 2015, San Francisco, CA, USA.

- Gulen, L., Demirbag, E., Cagatay, M.N, Utkucu, M., Imren, C., Yıldırım E., Yalçın H., **Yalamaz B.**, (2014). Sapanca Gölünün ayrıntılı batimetrisi ve genç çökel istifı, aktif yapısal unsurların vasıtasıyla yakın bölgesinin sismojenik davranışlarının incelenmesi (Rapor no: TUJJB-UDP-03-10). Türkiye Ulusal Jeodezi Ve Jeofizik Birliği (TUJJP).