

**T.C.**  
**GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**YER VE DENİZ BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SON BİN YILDAKİ İKLİMSEL VE HİDROLOJİK**  
**DEĞİŞİMLERİN SAKARYA NEHRİ (KB ANADOLU)**  
**TAŞKIN OVASI ÇÖKELLERİNDE ÇOKLU VEKİL**  
**VERİLER İLE BELİRLENMESİ**

**HİLAL OKUR ERTURAÇ**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**YER VE DENİZ BİLİMLERİ ANABİLİM DALI**

**GEBZE**

**2023**

**T.C.  
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
YER VE DENİZ BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SON BİN YILDAKİ İKLİMSEL VE  
HİDROLOJİK DEĞİŞİMLERİN  
SAKARYA NEHRİ (KB ANADOLU)  
TAŞKIN OVASI ÇÖKELLERİNDE  
ÇOKLU VEKİL VERİLER İLE  
BELİRLENMESİ**

**HİLAL OKUR ERTURAÇ  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
YER VE DENİZ BİLİMLERİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMANI  
DR. ÖĞRETİM ÜYESİ MELTEM ÇELEN**

**GEBZE**

**2023**

**T.R.**  
**GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY**  
**INSTITUTE OF EARTH AND MARINE SCIENCES**

**UNDERSTANDING THE CLIMATIC AND  
HYDROLOGICAL CHANGES DURING  
THE LAST MILENNIUM BY USING  
MULTI-PROXY DATA FROM SAKARYA  
RIVER (NW ANATOLIA) FLOOD PLAIN  
SEDIMENTS**

**HİLAL OKUR ERTURAÇ**  
**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF SCIENCE**  
**INSTITUTE of EARTH and MARINE SCIENCES**

**THESIS SUPERVISOR**  
**ASST. PROF. DR. MELTEM ÇELEN**

**GEBZE**  
**2023**



## YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 08/06/2023 tarih ve 2023/14 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 22/06/2023 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Hilal OKUR ERTURAÇ'ın tez çalışması Yer ve Deniz Bilimleri Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

### JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI)

: Dr. Öğr. Üyesi Meltem ÇELEN

ÜYE

:Prof. Dr. Mehmet Salim ÖNCEL

ÜYE

:Doç. Dr. Sena AKÇER ÖN

### ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
...../...../..... tarih ve ...../..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

# ÖZET

Hidrolojik ekstrem ve kritik olaylar (HEX), genellikle bir nehrin debisinin, ortalama değerinin çok üstünde (sel) ya da çok altında (kuraklık) akışa sahip olması şeklinde tanımlanır. HEX çalışmaları günümüzde aletsel ölçümlerden öteye uzanarak tarihsel kayıtların derlenmesi ve flüviyal kaydın değerlendirilmesi ile bir akarsu havzasında geçmiş hidroloji ve iklim değişimlerinin ortaya konulmasını hedeflemektedir. Bu tez çalışmasında Adapazarı Ovası'nın güney kesiminde Sakarya Nehri'nin güncel taşkın ovasına ait çökel paketler detaylandırılmıştır.

Ovanın özgün tektonik özellikleri Geyve Boğazı'nın çıkışında MS 1365'den itibaren günümüze kadar 4.5 metrelik ince taneli taşkın ovası çökelinin depolanmasına izin vermektedir. Bu zaman aralığı, Kuzey Avrupa için önemli bir kurak ve soğuk dönem olan Küçük Buz Çağı (LIA) ve aynı zamanda da Osmanlı İmparatorluğu'nun egemenlik süresine karşılık gelir. Bu çalışma ile detaylandırılan kesit kapsamında yapılan çok disiplinli ve çoklu vekil araştırmalar (tane boyu, mineraloji, jeokimya, mikroplastiklerin bulgulanması) nehrin geçmiş akış rejimine yönelik ve detayda da HEX olaylarının tanımlanmasını sağlamıştır. Tanımlanan tüm olaylar; dendrokronoloji, radyokarbon, lüminesans ve olay bazlı tarihlendirme ile detaylı bir zaman ölçeğine yerleştirilmiştir.

Hedef akarsu çökel kaydının detaylandırılması ile inceleme alanında Sakarya Nehri'nin son 600 yılda geçirdiği belirgin uzun dönem optimum akış, görece kurak dönemler ile ani sel ve şiddetli kurak dönemler tanımlanmıştır. Bu zaman dilimi içerisinde belirsizlik aralıkları ile 1350 yılından 1950 yılına dek üç kurak üç optimum hidrolojik rejim saptanmıştır. Bu hidrolojik rejimler içerisinde ekstrem olarak tanımlanabilecek 9 kuraklık dönemi ve 10 sel olayı bulgulanmıştır. Elde edilen sonuçlar literatürdeki geçmiş iklim kayıtları ile uyum göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler: Antroposen, Çoklu Vekil Yaklaşımı, Hidrolojik Ekstremler (HEX), Küçük Buz Çağı, Ortaçağ İklim Anomalisi.**

# SUMMARY

Hydrological Extremes and Critical Events (HEX) are often described as situations where a river experiences flow above (floods) or below (droughts) its average discharge. HEX studies aim to go beyond instrumental measurements by compiling historical records and evaluating fluvial archives to reveal past hydrological and climatic changes in a river basin. In this thesis, sedimentary packages from the contemporary floodplain of Sakarya River in the southern part of Adapazarı Basin are detailed.

The unique tectonic features of the basin have allowed the deposition of a 4.5-meter-thick fine-grained floodplain sediment since AD 1365. This time interval corresponds to the Little Ice Age (LIA), a significant cold and dry period for Northern Europe, as well as the reign of the Ottoman Empire. The characterization of past flow regimes of the river and the detailed identification of HEX events within the studied section have been facilitated through a multidisciplinary and multi-proxy approach (grain size, mineralogy, geochemistry, microplastic analysis). All identified events have been precisely dated using dendrochronology, radiocarbon, luminescence, and event-based dating techniques.

The focus sedimentary record revealed that the Sakarya River experienced distinct long-duration optimum flow and drought episodes with intermittent flooding events for the last 600 years. Within this time frame, with intervals of uncertainty, three dry and three optimal hydrological regimes have been identified from the year 1350 to 1950. Within these hydrological regimes, 9 periods of extreme drought and 10 flood events have been identified. These episodes are closely comparable with the published local and regional paleo-climatic record.

**Key Words: Anthropocene, Hydrological Extremes (HEX), Little Ice Age, Medieval Climate Anomaly, Multi-proxy Approach.**

## TEŞEKKÜR

Değerli bilgi birikimi ve tecrübeleri ile bana rehberlik eden danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Meltem Çelen'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, "Sakarya Nehri Güncel Taşkın Ovası Örneğinde Akarsu Çökellerinin Geçmiş Hidrolojik Ekstremler (Hex) Açısından Olay Stratigrafisinin Çoklu-Vekil Yaklaşımı İle Belirlenme Potansiyelinin Araştırılması" başlıklı 121Y110 Nolu TÜBİTAK-ARDEB 1002 (ÇAYDAG) projesi tarafından desteklenmiştir. Proje ekibinde yer alan başta; proje yürütücüsü Doç. Dr. Mehmet Korhan Erturaç'a, değerli proje araştırmacıları ile proje danışmanı hocalarıma ve proje bursiyeri arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Çalışmanın gerçekleşmesinde her aşamada sonsuz destekleri için değerli hocam Prof. Dr. Mehmet Salim Öncel'e teşekkür ederim.

Çalışma süresince her zaman desteklerini hissettiğim Doç. Dr. Sena Akçer Ön ve Dr. Bora Ön'e çok teşekkür ederim.

Tezin saha çalışmaları süresince desteğini esirgemeyen Boğazköy Spor Kulübü başkanı Günay Ömür'e çok teşekkür ederim.

Hem bu çalışmada hem de hayatımda en büyük destekçim eşim Korhan Erturaç'a çok teşekkür ederim. Annem Kezban Okur, babam Ünal Okur ve kardeşim Nihal Okur hep yanımdalardı, destekleri için minnettarım. En büyük teşekkürüm, uykusuz gecelerimin yıldızı oğlum Deniz Fera Erturaç'a.

# İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa</u></b>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xviii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin amacı ve kapsamı	2
2. LİTERATÜR ÖZETİ	3
2.1. Nehirlerde Paleo-akış rejimi Çalışmaları	3
2.2. Hidrolojik ekstrem ve kritik olaylar (HEX)	7
2.3. Küçük Buzul Çağı	8
3. MATERYAL VE METOT	12
3.1. Çalışma alanı	12
3.1.1. Sakarya Nehri	14
3.1.2. Jeolojik Çerçeve	17
3.2. Çalışma Alanının Tespiti, Ölçüm ve Örnekleme Çalışmaları	24
3.2.1. Arazi Çalışmaları ile Kesit Tespiti ve Ölçümleri	24
3.2.2. Örnekleme	28
3.2.3. Fotogrametri ve ArcGIS Veritabanı Oluşturulması	29
3.2.4. Ölçekli Stratigrafi Çizimleri	30
3.3. Analitik Çalışmalar	31
3.3.1. Tane Boyu Analizleri	31
3.3.2. Jeokimyasal Analizler	32
3.3.2.1 ICP-OES Analizleri	33
3.3.2.2 WD-XRF Analizleri	36
3.3.3. Yoğunluğa Göre Mineral Ayırma Analizi (SPT)	38
3.3.4. Mikroplastik Analizleri	41

3.4. Tarihlendirme ve yaş modelinin kurulması	43
3.4.1. Lüminesans Tarihlendirme	43
3.4.1.1. Örnekleme Aşaması	44
3.4.1.2. Mineral Ayıklama Aşaması	45
3.4.2. Radyokarbon	46
3.4.3. Dendrokronoloji	46
3.4.4. Olay seviyesi tarihleri	47
4. SONUÇLAR	50
4.1. Tane Boyu Analizi Sonuçları	50
4.2. Jeokimyasal Analiz Sonuçları	54
4.2.1. ICP-OES Analizi Sonuçları	55
4.2.2. WD-XRF Analizi Sonuçları	58
4.3. Yoğunluğa Göre Mineral Ayırma Analizi (SPT) Sonuçları	65
4.4. Mikroplastik Analizi Sonuçları	67
4.5. Tarihlendirme Sonuçları	73
4.5.1. Radyokarbon Tarihlendirme	75
4.5.2. Lüminesans Tarihlendirme	76
4.5.3. Dendrokronolojik tarihlendirme	76
4.5.4. Olay Seviyesi Tarihleri	78
4.5.4.1. MS 1719 Depremi Olay Seviyesi	78
4.5.4.2. Sel Olayları	80
5. DEĞERLENDİRME VE KARŞILAŞTIRMA	81
5.1. Aşağı Sakarya Nehri Holosen Gelişimi	81
5.2. Yaş Modelinin Kurulması	82
5.3. Boğazköy Kesitinin Stratigrafisi	85
5.4. Sakarya Nehri'nin Paleohidrolojisi	91
5.5. Kesitlerin çoklu veri yaklaşımı ile değerlendirilmesi	93
5.6. Karşılaştırma ve Tartışma	97
6. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER	99
KAYNAKLAR	101
ÖZGEÇMİŞ	109
EKLER	110

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler ve Açıklamalar

### Kisaltmalar

CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
cm	: Santimetre
DSİ	: Devlet Su İşleri
HES	: Hidroelektrik Enerji Santrali
HEX	: Hidrolojik Ekstremler ve Kritik Olaylar
KAFZ	: Kuzey Anadolu Fay Zonu
ICP-OES	: Endüktif Eşleştirilmiş Argon Plazma-Optik Emisyon Spektrometresi
km	: Kilometre
LIA	: Küçük Buzul Çağı
m	: Metre
mm	: Milimetre
µm	: Mikrometre
MP	: Mikroplastik
Mw	: Moment Büyüklüğü
ppm	: Milyonda Bir
ppb	: Milyarda Bir
GTÜ	: Gebze Teknik Üniversitesi
WD-XRF	: Dalgaboyu Dağıtıcılı X-Işını Floresans Spektroskopisi

# ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Taşkın ovasının jeomorfolojik birimleri.	5
2.2: Son 1000 yıldaki özellikle Avrupa'da gözlenen solar minimum dönemleri, Ortaçağ İklim Anomalisi ve Anadolu'da gözlenen olaylar.	10
3.1: a) Türkiye Kuvaterner birimleri , b) Aşağı Sakarya Havzası'nın konumu, c) Çalışma alanının lokasyon haritası.	12
3.2: Taşkın Havzası ve nehir kanalı depolanma birimleri. a) Menderesli nehir kanalı jeomorfolojisini, b) Kanal kenarı Birimlerini, c) Taşkın ovası depolanma birimlerini göstermektedir.	14
3.3: Sakarya Nehri'nin akaçlama alanı, yükseltiler ve akarsu ağı.	15
3.4: Sakarya Nehri DSİ Doğançay istasyonunda (Geyve Boğazı Kuzeyi) yıllık akım değerleri değişimi.	16
3.5: İnceleme alanı ve yakın çevresinin genelleştirilmiş jeoloji haritası.	18
3.6: İnceleme alanının genel morfotektonik üyeleri.	19
3.7: Sakarya Nehri'nin Samanlı Dağları-Karadeniz arasındaki yakın çevresinin genel fizyografisi ve Kuvaterner birimleri.	20
3.8: Arifiye-Boğazköy taraçalarının jeomorfoloji haritası.	21
3.9: Sakarya Nehir kanalının 1945-1975 yılları arasındaki değişimi.	22
3.10: Adapazarı Ovası güney kesiminin Kuvaterner Jeoloji haritası.	23
3.11: T0 basamağının izlendiği Boğazköy kesimindeki kesitin güncel Sakarya Nehri kanalı ile ilişkili konumu.	25
3.12: Sakarya Nehri güncel taşkın ovası Boğazköy kesitinin kum ocakları tarafından açılmış ilksel hali.	26
3.13: Boğazköy kesitinin temizlenme ve karelaj aşamaları.	27
3.14: Boğazköy kesitinin 1m'lik karelajlama ağının yerleşimi.	27
3.15: Farklı örnekleme yöntemleri ve kesitin görünümü.	29
3.16: Kesitin ortofotosu ve üzerinde örnek noktaları.	30
3.17: Boğazköy kesitinin ölçekli ortofoto görünümü, karelaj sistemi ve örnekleme yerleri.	30

3.18:	Malvern Mastersizer 2000 cihazının ve tüpler içerisindeki çökel örneklerin görünümü.	32
3.19:	a) ve b) Sediment numunelerinin analize hazırlama aşamaları ve c) ICP-OES cihazı ile analiz aşaması.	34
3.20:	XRF ölçümü için üretilen pelletlerin yapım aşamaları (a, b, c) ve ZSX Primus IV cihazının görünümü (d, e).	37
3.21:	Yoğunluğa göre mineral ayırma analizi (SPT/ Ağır sıvı) aşamaları akış şeması.	39
3.22:	Ağır sıvıya doyurulmuş numunelerin a) fotoğrafı ilk hallerini, b) fotoğrafı ise 24 saat bekledikten sonra minerallerin yoğunluğuna göre ayrıştığı hallerini göstermektedir.	40
3.23:	Çalışma alanından mikroplastik analizi yapmak üzere örnek alınması çalışmaları.	41
3.24:	Mikroplastik Çalışması Laboratuvar Analizlerinde Örnek Fotoğraflar.a) Mps tartım aşamasını, b) Islak peroksit oksidasyon işlemini, c) NaCl yüzdürme işlemini, d) vakum filtrasyon aşamasını ifade etmektedir.	42
3.25:	Lüminesans amaçlı mineral ayırma prosedürünün akış şeması.	46
3.26:	İnceleme alanı ve yakın çevresinde son yüzyıl içerisinde gerçekleşen depremler.	48
4.1:	Tane boyu analizi sonuçlarının derinliğe bağlı grafikleri.	52
4.2:	H-1 kesiti tane boyu ilişkisi ve ICP-OES yöntemi ölçülmüş eser elementlerin oranları ve derinliğe bağlı değişimleri.	56
4.3:	H-2 kesiti tane boyu ilişkisi ve ICP-OES yöntemi ölçülmüş eser elementlerin oranları ve derinliğe bağlı değişimleri.	57
4.4:	H-3 kesiti tane boyu ilişkisi ve ICP-OES yöntemi ölçülmüş eser elementlerin oranları ve derinliğe bağlı değişimleri.	58
4.5:	H-1 Kesitinde toplam kumun yüzdelik dağılımı ve XRF ölçümlerine ait bazı element oranlarının ve bazı major oksitlerin dağılımı.	61
4.6:	H-2 Kesitinde toplam kumun yüzdelik dağılımı ve XRF ölçümlerine ait element oranlarının ve bazı major oksitlerin dağılımı.	64
4.7:	SPT analizi sonrasında yoğunluğuna göre ayrılan minerallerin binoküler mikroskop ile çekilmiş fotoğrafları.	65

4.8:	H-1 kesitinin yoğunluğa göre mineral ayırma (SPT) analizi sürecinde elde edilen verilerin yüksekliğe bağlı kesit boyunca değişimleri.	66
4.9:	H-2 kesitinin yoğunluğa göre mineral ayırma (SPT) analizi sürecinde elde edilen çeşitli verilerin yüksekliğe bağlı kesit boyunca değişimleri.	67
4.10:	Mikroplastik örneklerinin alındığı noktaların nehre göre lokasyonları.	68
4.11:	Örnekleme noktalarına ait mikroplastiklerin şekilsel dağılımı.	70
4.12:	Örnekleme noktalarına ait mikroplastiklerin renklerine göre dağılımı.	71
4.13:	Farklı örnek noktalarına ait mikroplastiklerin mikroskop fotoğrafları.	72
4.14:	Toplulaştırılmış farklı örnek noktalarına ait mikroplastiklerin binoküler mikroskop fotoğrafları.	72
4.15:	Boğazköy Kesitinin koordinatlı ortoplane görünümü üzerinde yaş sınırlamaları.	74
4.16:	Radyokarbon tarihlerinin kalibrasyon sonucundaki zamansal karşılıkları.	75
4.17:	Boğazköy kesitinde gömülü bulunan ağaç gövdesinin örnekleme aşamaları.	77
4.18:	Çınar örneğine ait ortalama yıllık halka kronolojisinin (kırmızı renkli) referans kronoloji ile karşılaştırılması.	78
4.19:	Boğazköy kesitinde gözlenen yumuşak çökel deformasyonunun fotomozaik görünümü ve şematik çizimi.	79
5.1:	Sakarya Nehri'nin son 2500 yıllık zaman çizelgesi ve iklimsel olaylar.	82
5.2:	Çalışma kapsamında üretilen yaşların kesit derinliği boyunca tarihleri.	83
5.3:	Boğazköy kesitinin rbacon paketi ile elde edilmiş yas-derinlik modeli.	84
5.4:	Taşkın ovası çökelleri içerisindeki depolanma mimarisi elemanları.	85

5.5:	a) ve b) numaralı fotoğraflar, kile doygun bir ortama gelen kum boylu malzeme içerisinde gelişmiş yük yapılarını göstermektedir.	86
5.6:	Kil tane boyu ağırlıklı bir ortamın ardından kanal yapısı ile gelen taşkın yarattığı yük yapısının görünümü.	86
5.7:	Boğazköy kesitinin farklı noktalarında gördüğümüz yük yapılarına örnekler.	87
5.8:	Boğazköy kesitinde tanımlanan taşkın fasiyeslerine bir örnek olarak bu fotoğrafta, taşkın ardında bıraktığı sedimantolojik izlere örnek dalgalı katmanlanma (yaygı seli) yapısı.	87
5.9:	Kesit tabanında yer alan okside olmuş ince çakıl ve kum seviyesini üzerleyen killi birimler.	88
5.10:	Boğazköy kesitinin tane boyu ve fasiyes ile sedimanter yapılarına göre sadeleştirilmiş kesiti.	90
5.11:	Takvim yılı tane boyu (toplam kum ve kil, clr) değişimi ile paleohidrolojik rejim modelinin gösterimi.	92
5.12:	Sakarya Nehri'nin takvim zamanı içerisinde Paleohidrolojik rejim modeli ve ekstremleri.	93
5.13:	Hidrolojik dönemler ve ekstremlerin kesit boyunca analitik veriler ile karşılaştırılması.	95
5.14:	Hidrolojik dönemler ve ekstremlerin kesit boyunca analitik veriler ile karşılaştırılması.	96
5.15:	Son 60 yıl içerisinde Sakarya Nehri'nin hidrolojik dönemleri ve çevresel paleoklimatolojik verilerle karşılaştırılması.	98

# TABLolar DİZİNİ

<b><u>Tablo No:</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
3.1: ICP-OES cihazında ölçülen elementler ve kalibrasyon katsayıları.	35
4.1: MP örnek noktalarının derinliği ve bulgularan MP sayıları.	69
4.2: Sakarya Nehri güncel taşkın ovası ve Boğazköy Kesitine ait radyokarbon yaşları.	75
4.3: Boğazköy kesitinde IR50 protokolü ile çalışılan örneklerin model lüminesans yaşları.	76
4.4: Boğazköy H2 kesiti boyunca tanımlanan sel paketlerinin kesit yüzeyinden konumları ve kalınlıkları.	80
5.1: Boğazköy kesitinde tarihlendirme yapılan ve yaş-derinlik modelinde kullanılan seviyeler ve o seviyelerin yaşları.	82
5.2: Tane boyu (merkezileştirilmiş log oranı cırl) dağılımına göre hidrolojik rejim sınıflandırması.	91
5.3: Bu çalışma kapsamında tespit edilen hidrolojik dönemler ve bu dönemler içerisindeki ekstremeler.	93

# 1. GİRİŞ

Taşkın ovası, nehrin yüksek debi dönemlerinde kanalı aşan suyun taşıdığı ince taneli çökelin birikmesi ile oluşan düzlük olarak tanımlanmaktadır [Nanson and Croke, 1992], [Miall, 2006], [Charlton, 2007], [Pazzaglia, 2013]. Bu depolanma ortamı ve jeomorfolojik düzlem, doğası gereği büyük aşınma dönemleri vb. durumlar dışında, sürekli kanal göçüne eşlik eden devamlı bir birikme ile oluşur. İnce taneli tortular (killer, siltler ve kumlar) çok daha geniş bir akış hızı aralığında asılı halde veya yatak yükü olarak taşınır ve taşkın olayları sırasında bu tortular genellikle nehir kanalının sınırlarını aşan bir akım ile taşkın ovasına yayılırlar.

Bu çalışma ülkemizin en önemli nehirlerinden olan Kuzebatı Anadolu'nun önemli bir kısmını akaçlayan Sakarya Nehri'nin Adapazarı Ovası güneyinde yer alan güncel taşkın ovası seviyesi kesitinde yürütülmüştür. Deniz ve göller gibi depolanma alanları, oldukça önemli çökel ortamlardır ve iklim değişikliği araştırmaları için çok yıllık kayıtların korunabildiği yüksek paleo-çevresel potansiyeli olan alanlar olma özelliği sunarlar [Moreno et.al., 2007]. Bununla birlikte karaların en önemli şekillendiricisi olan nehirler de geçmiş ve mevcut çökel dinamikleri hakkında sedimentolojik, stratigrafik ve jeokimyasal bilgileri depolayabilen çeşitli çökelleme ortamlarına ev sahipliği yapar. Paleo-çevre ile bağlantı kurabilecek temel araçlar olan analitik analiz ve tarihlendirme yöntemlerinin ilerlemesi, gelişmesi ile akarsu sistemlerinin jeomorfolojik duyarlılığını ve alüvyon çökellerinin yerel ve bölgesel çevresel değişimin arşivleri olarak kullanılabilmesini mümkün kılmaktadır [Macklin and Lewin, 2008], [Macklin et.al., 2010]. Bu kapsamda her geçen gün oldukça önem kazanan “Hidrolojik Ekstremler ve Kritik Olaylar” (HEX), bu çalışmanın konusunu oluşturmuştur.

Hidrolojik ekstrem ve kritik olaylar (HEX) bir nehrin olağan akış rejimi içerisinde gözlenen, kritik bir eşikten daha yüksek (taşkın) veya daha düşük (kuraklık) durumlar olarak tanımlanmaktadır [IPCC, 2012], [Camuffo et.al., 2020]. HEX çalışmaları oldukça geniş kapsamlı olarak, uzun süreli ölçümü mevcut olan ülkelerde tarihsel kayıtlara dayanarak nehirlerin geçirdiği taşkın (flood, flash-flood) veya iklimsel olarak önemli kuraklıkları (drought) ve onların gelecekteki tekrarlanma sıklıklarının modellenmesi konularını içerdiği gibi tarihsel kayıtların olmadığı daha eski zaman aralıklarını veya bölgeleri, nehirlerin uygun ortamlarından-jeolojik kayıtlardan analitik yöntemlerle veri elde ederek çalışılmasını da kapsar. Bu anlamda

HEX, benzer amaçlara hizmet eden ancak farklı yöntemleri olan bir çalışma konusudur.

## 1.1. Tezin amacı ve kapsamı

Nehirlerin alüvyal birikim ortamları yazılı olmayan bir sel kaydını temsil eder. Doğal haliyle korunmuş taşkın havzası depolanma ortamları, ekstrem olaylar sırasında ve sonrasında; hem taşkın yatakları veya diğer adıyla havzaları boyunca hem gevşek malzemeli ortamlarda hem de kaba taneli kanal depolanma ortamlarında korunur [Jones et.al., 2010]. Bununla birlikte sel çökellerini ayırt etmek, bunları tarihlendirebilecek belirli sel olaylarına atamak ve böylece bireysel geçmiş sellerin tarihini bulmak son yıllara kadar oldukça zor olmuştur. Bu zorluk yalnızca bazı ortamlarda ve uzun zaman dilimlerinde ve sınırlı ayrıntı, düşük çözünürlüklü bir çözümleme ile mümkün olabilmektedir. Bazı depolanma ortamlarında yalnızca tek bir selin meydana getirdiği ortamlar olabilir, bir başka ortamda ise çökel kayıttan yola çıkarak selin büyüklüğünün nicel tahminleri yapılabilir. Tarihlendirme çalışmaları mümkün olduğunda ise, çalışılan nehir kanal boyutları, yatak biçimleri, çökel boyutlarının da dahil olduğu bir denklem içerisinde geçmiş sellerin çökel kayıt içerisinde tespiti mümkün olabilmektedir [Jones et.al., 2010]. Çökel kayıttan tane boyuna göre ayıklanabilen sellerin ardından bölgenin iklimsel değişimlere göre görece optimum ve kurak dönemler de çalışmayı destekleyen çoklu veri yaklaşımı ile tespit edilebilmektedir. Bu çalışma kapsamında Sakarya Nehri'nin oluşturduğu taşkın ovası çökel paketi olan Boğazköy kesiti çeşitli analitik yöntemlerle çalışılmıştır. Bu taraça basamağının en iyi gözlemlendiği yerde, 17 metre yatay, 4 metre boyuna uzanan kesit çalışılmıştır. Paleo-iklim araştırmaları kapsamında göl veya deniz çökel paketleri çalışılırken kullanılan analitik yöntemler bu akarsu ortamında uygulanmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan analitik yöntemler; tane boyu analizleri, jeokimyasal analizler, mineral ayırma analizleridir. Taşkın ovasında yer alan fasiyeler ve anahtar seviyeler; lüminesans, radyokarbon, dendrokronoloji ve olay seviyesi stratigrafisi kullanılarak tarihlendirilmiştir. Çalışma kapsamında yaş ve depolanma modeli oluşturulmuştur. Çoklu vekil yaklaşımı ile elde edilen veriler yaş-depolanma modeli ile bir zaman serisi verisine dönüşebilmiştir.

Bu çalışma ile taşkın ovasının ince taneli çökellerinin çoklu vekil (multi-proxy) yöntemleri kullanılarak bölgenin paleo-çevre ve paleo-hidroloji değişimlerinin belirlendiği ilk Türkiye örneği sunulmaktadır.

Çalışma aynı zamanda Anadolu'da flüviyal ortamda çalışılmış ve Küçük Buzul Çağı'nın (Little Ice Age, LIA) Anadolu'daki etkisini bulgulamış ilk çalışma olma özelliğini de sunmaktadır. Küçük Buzul Çağı Anadolu'da speleothem kayıtları, göl karotları gibi çeşitli paleo-çevre ve paleo-iklim çalışmaları ile bulgulanmıştır, ancak akarsu ortamında bu çalışma ile ilk kez bulgulanmış ve etkileri tartışılmıştır.

## **2. LİTERATÜR ÖZETİ**

### **2.1. Nehirlerde Paleo-akış rejimi Çalışmaları**

Nehirler yer yüzeyinin evriminde önemli bir rol oynar ve nehir havzaları; geçmiş ve mevcut çökel dinamikleri hakkında sedimentolojik, stratigrafik ve jeokimyasal bilgileri depolayabilen çeşitli çökelme ortamlarına ev sahipliği yapar.

İnsanlık tarihi boyunca tatlı suya erişmek ve taşkın ovalarının verimli tarım arazilerinden ürün elde etmek birincil öncelik olmuştur. Bu nedenle nehirler ve onların taşkın ovaları yerleşim alanı olarak tercih edilmiştir. Bugün Kuvaterner yaşlı ovalar ve nehirlerin taşkın ovalarına yayılan büyük şehirler ile yerleşim alanlarının yanı sıra nehirlerden elektrik üretimi, içme, sulama vb ihtiyaçlara yönelik inşa edilen barajlar ile bu yönelim devam etmektedir. Dünya çapında, nehir kanalı ve havza yönetimi hedefleri uzun süredir devam etmektedir. Çağdaş toplumun karşılaştığı eşi görülmemiş nüfus baskıları ve tahminleri ile belirsiz iklim geleceklere göz önüne alındığında, akarsu sistemlerini ve durağan olmayan davranışlarını (ekstrem) anlamak oldukça önemli bir hal almıştır. Nehirlerin doğal gelişimi içerisinde önemli bir yere sahip olan taşkınlar, nehir kenarlarında arazi kullanımının artması ile afet özelliğini almıştır. Taşkınlar, ülkemizde son 64 yılda %26.3 oranla depremden sonra gelen en önemli afet türüdür [Koç ve Thieken, 2018].

Akarsu ortamlarındaki çökellerin sedimentolojik özellikleri; deşarj, kanal eğimi, depolanmalı enerji ortamı, kanal geometrisi, çökel temini ve havza özelliklerine bağlıdır. İri çakıllı tortular genellikle yalnızca taşkın akışları sırasında hareketlidir ve taşkın olayı özellikle büyük olmadığı sürece çökel genellikle kanal yatağında taşınır

ve ardından biriktirilir. İnce taneli tortular (killer, siltler ve kumlar) çok daha geniş bir akış hızı aralığında asılı halde veya yatak yükü olarak taşınır ve taşkın olayları sırasında bu tortular genellikle nehir kanalının sınırlarını aşan bir akım ile taşkın ovasına yayılır. Taşkın ovası, nehrin yüksek debi dönemlerinde kanalı aşan suyun taşıdığı ince taneli çökelin birikmesi ile oluşan düzlük olarak tanımlanmaktadır [Nanson and Croke, 1992], [Miall, 2006], [Charlton, 2007], [Pazzaglia, 2013]. Bu depolanma ortamı ve jeomorfolojik düzlem, doğası gereği büyük aşınma dönemleri vb. durumlar dışında, sürekli kanal göçüne eşlik eden devamlı bir birikme ile oluşur. Menderesli morfoloji gösteren düşük gradyanlı nehirlerin taşkın ovaları, asılı yükün fazla ve görece yatak eğiminin düşük olması, birikme ortamındaki kaydın kesintisiz ve ince taneli olması ve içerdikleri fasiyes birlikleri ile geçmiş hidrolojik ekstremelerin belirlenmesi çalışmalarında detaylandırılmaktadır [Jones et.al., 2012], [Benito et.al., 2020]. Kendi çökelleri içerisinde düşük bir eğimle akan, depolanmalı nehir sistemlerinin çökellerinde kanal, taşkın ovası ve değişen fasiyeslerde çökel paketleri araldanmalı olarak gözlenir.

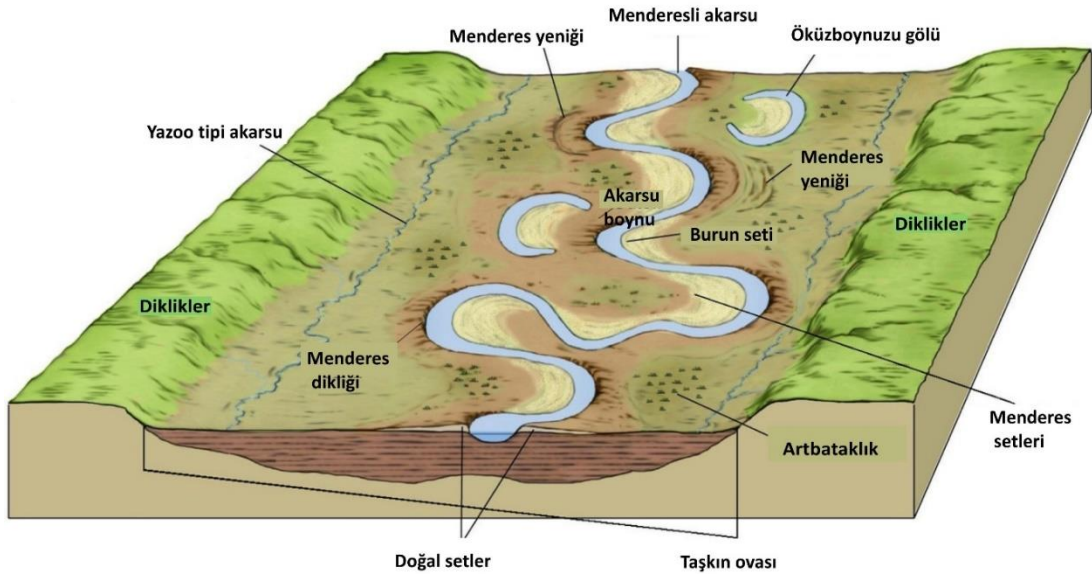
Taşkın ovası çökellerinde gözlenen başlıca çökeltme yapıları söz konusudur. Bu yapıları şu şekilde sıralanabilir [Nichols, 2009]:

- Normal derecelenmeli kum boylu malzemeden kil boylu malzemeye değişen çeşitli kalınlıktaki tabakalar,
- Hızlı çökeltmenin eşlik ettiği, düzlemsel paralel tabakalanma,
- Çoğunlukla birkaç cm kalınlığı olan sürekli kesit boyunca uzun süre sürekliliği olabilen çökel yaygısı,
- Leve üstü çökel yaygısı
- Paleosol seviyesi oluşmasına da olanak sağlayabilen kesintili (hiatus) depolanmaya dair kanıtlar.

Ağırlıklı olarak ince taneli çökeller taşkın ovası ortamlarında ardında çeşitli sedimentolojik izler bırakarak birikirler. İnce taneli çökeller, büyük taşkın olayları sırasında oluşan kum ve çakıl tabakaları ile ilişkili daha kaba dalgali ve çapraz tabakalı tabakalarla ara katkılı olabilirler (Şekil 2.1). Şekil 2.1; Kerey ve Erkal 2014' ten düzenlenerek üretilmiştir ve menderesli akarsu ortamlarının taşkın ovası jeomorfolojik birimlerini gösterir. Dinamik akarsu ortamlarında ve uzun zaman

dilimlerinde, akarsu çökel kayıtları, yeniden işleme ve erozyon nedeniyle doğada oldukça heterojen ve bir şekilde süreksiz olabilir. Akarsu arşivlerinin yorumlanmasında göreceli kanal konumu kritik bir parametredir. Kanalın derinliği, çökelme ilişkisini etkiler ve paleo-çevresel kayıtların korunma potansiyeli önemli ölçüde kontrol eder [Lewin and Macklin, 2003].

Düşük enerjili flüviyal ortamlarda (örneğin, taşkın ovaları, paleokanallar ve sulak alanlar), sedimentasyon süreçleri daima tekrarlıdır (Şekil 2.1). Nemli ılıman bölgelerde, taşkın olayları her yıl birkaç kez meydana gelebilir ancak kurak alanlarda önemli ölçüde daha az sıklıkta taşkın olayı gözlenmektedir [Wolman and Miller, 1960], [Tooth, 2000].



Şekil 2.1: Taşkın ovasının jeomorfolojik birimleri.

Taşkın olaylarının çökel arşivlerini barındıran taşkın ovaları, aşırı olayların izlenmesi de dahil olmak üzere taşkınların rekonstrüksiyonunun yapılabilmesi için de potansiyel sunar ancak pek çok havzada hidrolojik kayıtlar oldukça sınırlı ya da yalnızca son yıllarda yaygındır [Baker et.al., 1983], [Benito et.al., 2004]. Bu da jeolojik kayıt olarak taşkın ovalarının ince taneli çökel paketlerinin önemini tekrar ortaya çıkarır. Taşkın çökelleri akan su tarafından bırakıldığından, göreceli taşkın büyüklükleri hakkında değerli bilgiler sağlayabilen tane boyutundaki değişimlerdir. Bununla birlikte, alüvyon arşivlerden taşkın büyüklüğü-frekans ilişkileri hakkında bilgi edinmenin çeşitli zorlukları mevcuttur. Bu, özellikle ağırlıklı olarak ince taneli

(silt ve kil boyutlu) çökellerde iki nedenden dolayı geçerlidir. İlk olarak, birbirini takip eden taşkın çökelleri arasındaki sınırların belirlenmesi çoğu zaman mümkün değildir. İkincisi, birçok sel olayında biriken tortunun kalınlığı birkaç milimetre veya daha az olabilir [Jones et al. 2010]. Bu da yapılacak çalışmanın, çalışma alanı olarak seçilen bölgenin ya da alüvyon arşivin, pek çok jeolojik, jeomorfolojik ve yakın zaman dilimleri için antropojenik jeomorfoloji etkenlerinin kontrolünde olduğunu gösterir.

Günümüz iklim değişimini ve onun muhtemel etkilerini anlamak kuraklık tehdidi altındaki ülkemiz için stratejik öneme sahiptir. İklim değişimlerinin bölgesel sonuçları fiziksel modellerle öngörülebileceği gibi, geçmiş iklim çalışmaları ile daha detaylı ve sağlıklı sonuçlar ile model tahmininin ötesine de geçebilir. Son buzul döneminin ardından içinde yaşadığımız Holosen buzularası döneminde (son 11700 yıl) gerçekleşen iklim salınımları birçok farklı zaman ve detayda veri sunan geçmiş iklim kayıtları ile (göl çökelleri, speoitem, ağaç kayıtları vb.) detaylandırılmış ve ani iklim değişiklikleri (Rapid Climate Change) bulgulanmıştır. Holosen'in en önemli özelliği insanın kültürel gelişimine de tanıklık etmesi ve onu yönlendirmesidir. Örneğin, Holosen iklim optimum (yada hipsitermal) dönemi olarak tanımlanan günümüzden önce (GÖ) 9 ila 6 binyıl arasındaki görece sıcak ve nemli dönemi [Wanner et.al., 2008] ve bu dönemin içerisinde bulgularanan 9.2 ve 8.2 binyıl iklim anomalilerinin Neolitik toplulukların üzerindeki etkileri önemli bir tartışma konusudur [Mayewski et.al., 2004]. Yakın dönemde Orta-Geç Holosen (Nortgrippiyen-Meghalayan) sınırı olarak tanımlanan [Walker et.al., 2018] 4.2 binyıl iklim olayı ise Doğu Akdeniz ile Yakın-Orta Doğu bölgesi olarak tanımlanan geniş bir bölgede Erken Tunç Çağı'nda kurulmuş önemli kent devletlerinin çöküşü ve Orta Tunç Çağı'nın başlangıcı örtüşmektedir [Kuzucuoğlu, 2009], [Ön vd., 2021]. Geçtiğimiz son 2000 yıl içerisinde kuzey yarım küreyi etkisi altına alan büyük ölçekli ardışık soğuk / kurak ile ılıman / yağışlı dönemlerin kapsamı, zamansal sınırları, nedenleri ve toplumsal etkileri, geçmiş iklimin tanımlanmasına yönelik güncel araştırma konularının başında gelmektedir [Luterbacher et.al., 2012].

## 2.2. Hidrolojik ekstrem ve kritik olaylar (HEX)

Hidrolojik ekstremler ve kritik olaylar (HEX), bir nehrin olağan akış rejimi içerisinde gözlenen, kritik bir eşikten daha yüksek (taşkın) veya daha düşük (kuraklık) değerler olarak tanımlanmaktadır [IPCC, 2012; Camuffo et.al., 2020]. HEX'ler aynı zamanda nadir gözlenen ancak kritik doğal afetler olarak da kamusal hayatı ve ekonomisi üzerinde doğrudan etki sahibidir [WMO, 2016]. Bu nedenle günümüzden geçmişe doğru, meteorolojik ve hidrolojik rasatların yanı sıra tarihsel kayıtlar [Blöschl et.al., 2020] ile çeşitli jeolojik kayıtları (vekil/Proxy) kullanılarak gerçekleştirilen HEX araştırmaları da son yıllarda öne çıkmaktadır [Wilhelm et.al., 2018]. Örneğin Avrupa'da son 750 yıllık zaman dilimi süresince gerçekleşen kurak ve yağışlı dönemlere yönelik bir katalog son yıllarda ağaç halkalarından elde edilen iklimsel rekonstrüksiyonlar ile derlenmiş [OWDA, Eski Dünya Kuraklık Atlası, Cook et.al., 2015] ve yine ağaç halkalarından izotop analizleri ile son 2000 yıla ait kurak ve yağışlı dönemler tanımlanmıştır [Büntgen et.al., 2021].

Doğrudan ölçümlerin (aletsel dönem) olmadığı dönemlerde, bölgesel etkiye sahip geçmiş sellenme ve kurak dönemlerin bulunmasını, tarihlendirilmesini, sonuçların tarihsel veriler ile karşılaştırılabilmesini ve toplumlar üzerindeki etkilerinin anlaşılabilmesini kapsayan HEX çalışmaları, iklim araştırmaları içinde yer alan önemli bir yöntemdir. Böylece özellikle büyük sellerle ilgili sistematik kayıt geliştirilir. Dünya çapında aletsel nehir rasatlarının (sel kayıtlarının) büyük çoğunluğu 1950 yılından itibaren ve sellerin tarihsel kayıtları da sadece önemli nehirler ve büyük yerleşim yerlerinde tutulmuştur [Macklin and Rumsby, 2007], [Jones et.al., 2012].

Taşkın ovası çökel arşivleri, on yıldan yüz yıla değişen zaman ölçekleri için sediman yükü ve nehrin debisi ilişkisi üzerine detaylı ve göreceli/mutlak yöntemlerle tarihlendirilebilir sedimantolojik ve analitik kanıtlarla ortaya konulabilecek çeşitli zaman ölçeklerinde bölgesel iklim değişimi ve kısa dönem HEX'lerin doğrudan kayıtlarını içerir [Jones et.al., 2012], [Benito et.al., 2015; 2020], [Wilhelm et.al., 2018].

Uzun süreli taşkın kronolojisinin kurulması için kullanılan sedimantolojik kayıtlar, bugün Dünya'nın birçok nehirlerinde çalışılan, her gün daha da hız kazanan bir çalışma konusudur. Son yıllarda artan ilgi; özellikle Avrupa'dan çalışmalarla, önemli akademik dergilerde özel sayılarda, iyi oluşturulmuş veri kayıtlarının

değerlendirmeleri ile ve birçok farklı çalışma ekibi tarafından üretilmiş tekil veriler üzerinden meta analizler yapılmaktadır [Macklin et.al., 2006], [Jones et.al., 2012], [Toonen et.al., 2015], [Pears et.al., 2020]. Son yıllarda, doğruluğu ve tutarlılığı yüksek tarihlendirme verileriyle desteklenen flüvyal çökel kayıtlarının detaylandırması çalışmaları artmıştır [Benito et.al., 2020]. Böylece Dünya’da birçok alanda bölgesel HEX kronolojisi kurulmuştur [Gregory et.al., 2006]. Bununla birlikte yine de bölgesel ve küresel paleo-hidrolojik rekonstrüksiyonlar ve sentezler henüz geliştirilme aşamasındadır [Benito et.al., 2020]. Dünya’da son yıllarda yaygınlaşan akarsu çökel arşivlerinin çoklu-vekil (multi-proxy) yaklaşımıyla çalışılması ve HEX anlamında değerlendirilmesi üzerine ülkemizde yapılan ilk çalışma bu tez ile sunulmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında seçilen çalıştığımız çökel arşiv, Küçük Buzul Çağı (Little Ice Age, LIA) başından itibaren günümüzden son 50 yıl öncesine kadar depolanan Sakarya Nehri taşkın ovasıdır (T0 taraçası).

### **2.3. Küçük Buzul Çağı**

Küçük Buzul Çağı terimi, 1939’da Matthes, tarafından son 4000 yıllık iklim aralığını (Geç Holosen) tanımlamak için kullanılmıştır. Sıcak Ortaçağ İklim Anomalisini (MCA; Medieval Climate Anomaly) takiben ve 20. yüzyılda kaydedilen ısınmadan önce (Modern Dönem) daha soğuk iklim koşullarını tanımlamak için Küçük Buzul Çağı (LIA; Little Ice Age) terimi kullanılmıştır [Mann et.al , 1998]. Holosen’de özellikle Avrupa’nın kuzeyinde iklim salınımları dikkati çeker. Bu değişimlere güneşteki patlamaların, volkanik aktivitenin, eriyen buzulların termohalinin su dolaşımına olan etkisinin sebep olduğu düşünülmektedir [Matthes, 1939], [Mann et.al., 1998].

Holosen’de gözlenen Küçük Buz Çağı, Ortaçağ İklim Anomalisi veya Bond Döngüleri tarihsel dönemde dünya ikliminde saptanan önemli değişimlerdir. Küçük Buzul Çağı’nın (Little Ice Age), farklı yerlerde farklı zamanlarda gözlenmesiyle beraber bu konudaki en yaygın görüş, MS 1450-1850 yılları arasında meydana geldiğidir [Muller and MacDonald, 2000], [Masson-Delmotte et.al., 2013]. Bu dönem, genellikle MS 800-1200’teki sıcaklıklarla ilişkilendirilen Ortaçağ İklim Anomalisi (MCA) olarak da bilinen Ortaçağ Sıcak Dönemiyle tezat oluşturur [Mann et.al., 2009]. Küçük Buz Çağı ilk olarak, kuzey yarımkürenin dağlık bölgelerinde gözlenmiştir.

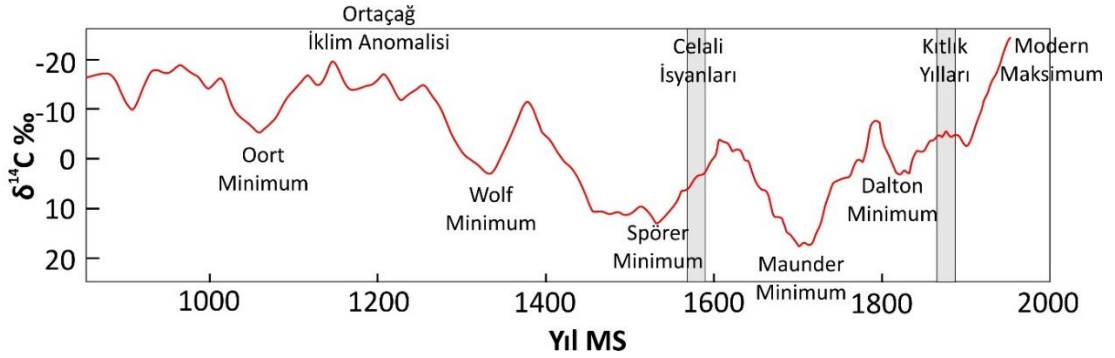
Sıcaklığın 1950 yılı ortalamasından sadece 0.5-0.7°C düşük olmasına karşın; Avrupa’da göl, kanal ve nehirlerin donduğu, buzulların alt enlemlere doğru ilerlediği ve bunun sonucu olarak da açlık, toplumsal karmaşa ve savaşların baş gösterdiği bilinmektedir [Tuchman, 1978]. Ancak bunun küresel bir soğuma olabileceği ve sebepleri hala tartışılmaktadır [Bond et.al., 1997], [Winkler, 2000].

Bu çağın en soğuk dönemi olan ve M.S.1650-1750 yılları arasında yaşanmış olan Geç Maunder Minimum’un çok belirgin kayıtları Karadeniz çökellerinde bulunmuştur [Akçer Ön 2011]. Küçük Buz Çağı’nın hemen öncesinde Ortaçağ İklim Anomalisi /Ortaçağ İklimsel Optimumu (MCA) veya Ortaçağ Ilık/Sıcak Dönemi (Medieval Warm Period), veya Ortaçağ Maksimumu (Medieval Maximum) olarak bilinir ve Avrupa’da M.S. 800-1200 yılları arasında yaşandığı saptanmıştır [Steinhilber et.al.,2012]. Bu dönemde Avrupa’da sıcaklıklar 1950 yılı ortalama sıcaklığından 0.5-0.8 °C daha yüksektir. Avrupa’da refah ve üretim artmış, “Karanlık Dönemden” çıkış yaşanmıştır. Bu olumlu dönem; ani olarak, fırtınalar ve sellerin görüldüğü bir iklim süreci ile son bulmuştur [Raymond et.al., 2003], [Akçer-Ön 2011; 2017]. Küçük Buzul Çağı terimi, dağ buzullarının genişlemesinin en kapsamlı son dönemi için kullanılmıştır ve geleneksel olarak Avrupa ikliminin en güçlü şekilde etkilendiği 15.–19. yüzyıl ortası dönemi olarak tanımlanmaktadır. Daha soğuk koşulların en görünür sonuçlarından biri, özellikle Alpler gibi orta enlem dağ ortamlarında buzulların genişlemesiyle ilişkili olarak gözlenmiştir. Sert kışlar ve serin yazlar, Avrupa'daki buzul ilerlemelerini desteklemiştir. Bu dönem, Ortaçağ Sıcak Dönemi ya da Avrupa'nın Ortaçağ İklimsel Optimumu olarak adlandırılan sıcak koşulların ardından Avrupa'da gelişmiş buzul koşullarına doğru bir eğilimle başlar ve buzulların hızlı geri çekilmesi ile ifade olunan sıcak modern dönemde 20.yy da son bulur [Nussbaumer et.al., 2012].

Küçük Buzul Çağı, Avrupa toplumlarında aşırı olayların tetiklediği doğal tehlikeleri ve sosyo-ekonomik etkileri ile birlikte değerlendirilmektedir. Büyük volkanik patlamaların artışı [Luterbacher and Pfister, 2015] ve güneşteki patlamaların azalması (Solar Minimumlar) kuzey yarım kürede yaz sıcaklığının düşmesine neden olduğu düşünülmektedir. Bu da Kuzey Kutbu'ndaki deniz buzunun büyüklüğünün artması gibi dolaylı etkilerin oluşmasına neden olmuştur. Yüksek enlemlerde başlayan sıcaklık düşüşü daha sonra Avrupa'da daha düşük enlemlere doğru genişlemiştir, özellikle güneş enerjisinin minimum olduğu dönemlerde, bu dönemlerin bilinen en

soğuk dönemi olan Maunder Minimum'unda önemli ölçüde daha düşük sıcaklıklar gözlenmiştir (Maunder Minimum, 1650-1750) [Luterbacher et.al., 2001]. Küçük Buzul Çağı, Holosen döneminin en soğuk ve aynı zamanda uzun süreli soğuk dönemlerden biri olarak tanımlanmış olmasına rağmen günümüz yıllık sıcaklık değerlerine göre, Maunder Minimum sırasında kaydedilen en soğuk sıcaklıklar sadece 1950 yılı sıcaklık ortalamasından 0.5-1 °C daha düşüktür [Oliva, 2018].

Küçük Buzul Çağı, ortalama iklimin kendisindeki değişikliklerden ziyade, iklimin değişkenliğinin artması açısından daha önemli olması ile ilişkili düşünülmektedir. İklimin değişkenliğinin artması, alışılmadık derecede soğuk kışlar ile serin geçen yazlar arasında değişimlere yol açmış olabilir. İklim geçmişte toplumlar üzerinde günümüze kıyasla daha etkili idi, günlük yaşam aktivitelerini güçlü bir şekilde şartlandırmaktaydı [Oliva, 2018].



Şekil 2.2: Son 1000 yıldaki özellikle Avrupa'da gözlenen solar minimum dönemleri, Ortaçağ İklim Anomalisi ve Anadolu'da gözlenen olaylar.

Solar minimum dönemleri güneş radyasyonunun azaldığı çoğunlukla kuraklıkla ilişkilendirilen dönemlerdir [Jones et.al., 2006], [Pears et.al., 2020].

Son yirmi yılda yapılan Küçük Buzul Çağı ile ilgili akademik çalışmalar, Avrupa kıtasındaki KBC ikliminin mekansal-zamansal kalıplarını daha iyi anlamak amacıyla, tarihsel belgeler ve çok çeşitli çoklu vekil kayıtlar da dahil olmak üzere farklı veri kaynaklarını birleştiren çalışmalarla yürütülmektedir [Oliva, 2018]. Küçük Buzul Çağı sırasında iklim ve çevre sistemleri üzerine yapılan araştırmalar, birkaç temel soruya odaklanmaktadır. Bunlar;

- Farklı kuvvetlerin mekansal-zamansal kalıplarını (volkanik patlamalar, güneş ışınımı vb.) ortaya çıkarmak. Küçük Buzul Çağı sırasında iklim değişkenliğinin anlaşılması.

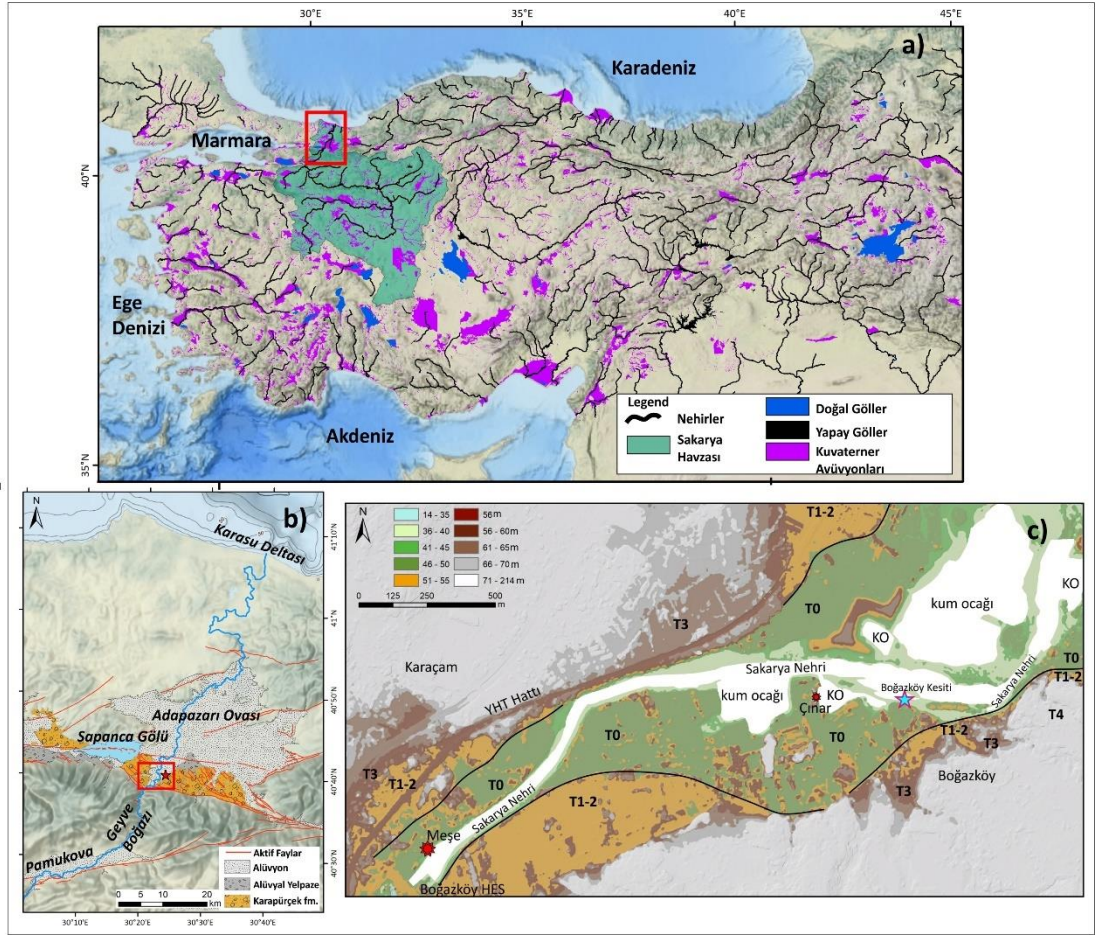
- İklim modellerinin iyileştirilmesi için tarihsel iklim gözlemleri, erken enstrümental (direkt ölçüm/aletsel) veriler ve çoklu vekil (multiproxy) rekonstrüksiyonları (örneğin ağaç halkaları, göl çökelleri, mağara sarkıt-dikitleri) arasındaki bağlantıyı daha yüksek bir doğrulukla çoğaltmak.
- Küçük Buzul Çağı gibi değişen bir iklim senaryosunda büyük tehlikeleri tetikleyen aşırı (ekstrem) olayların sıklığını ve büyüklüğünü anlamak.
- Küçük Buzul Çağı sonrası ısınmanın karasal ekosistemlerdeki arazi kullanım değişiklikleri, insan etkileri, demografik baskı konularının anlaşılması gibi özetlenebilir.

Anadolu topraklarında Küçük Buzul Çağı kıtlık, veba ve çeşitli ayaklanmalar ile tarih kitaplarında yer almıştır. Osmanlı İmparatorluğu'nun egemenliği süresince yaşanan en kurak dönem olarak tanımlanan Küçük Buzul Çağı, özellikle sert kışlar, kurak ilkbaharlar ve serin yazlar şeklinde gözlenmiştir. Anadolu'da 1560 ların sonlarından 1580'lere kadar her yıl gıda sıkıntıları yaşandığı ve bu gıda sıkıntılarının bazen yerel ölçekte kalırken bazen ise geniş bölgeleri kapsayan büyük kıtlıklar seviyelerine çıkmıştır [White, 2011].

## 3. MATERYAL VE METOT

### 3.1. Çalışma alanı

Çalışma alanı; Anadolu'nun kuzeybatı kesimini akaçlayan aşağı Sakarya Nehri Havzası'nda, Doğu Marmara Bölgesi'nde, Adapazarı Ovası'nın güney kesiminde, Geyve Boğazı'nın kuzey çıkışından Boğazköy Köyü'ne kadar tanımlı nehir kıyısıdır. Bu alanda Sakarya Nehri'nin güncel taşkın ovasına ait çökelleri yapay kesitler sunar (Şekil 3.1).



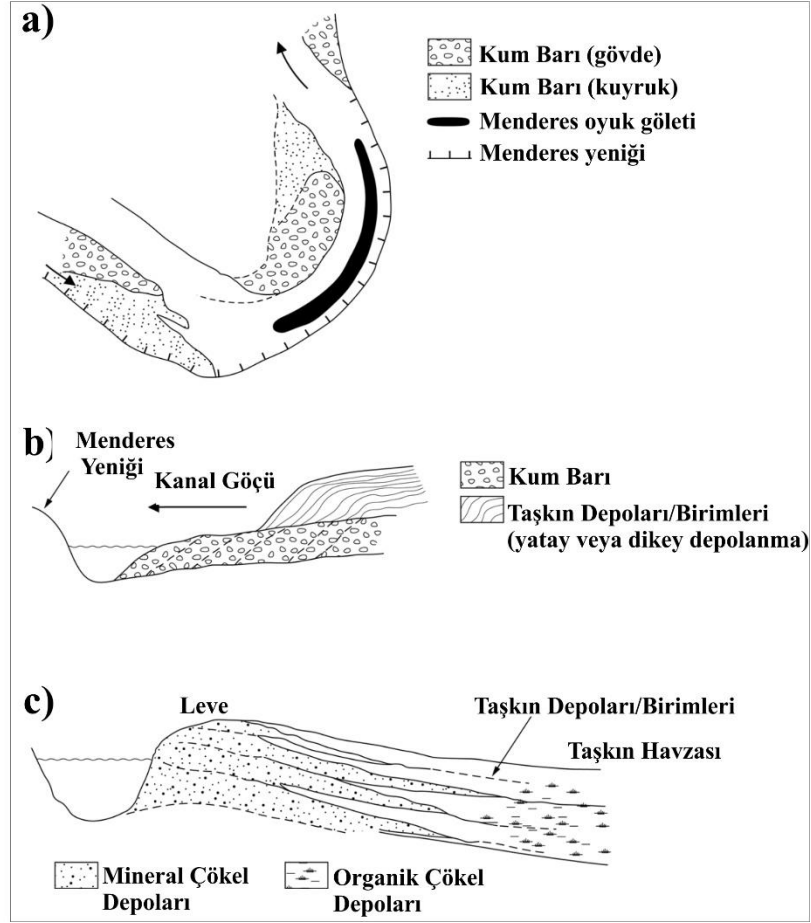
Şekil 3.1: a) Türkiye Kuvaterner birimleri , b) Aşağı Sakarya Havzası'nın konumu, c) Çalışma alanının lokasyon haritası.

Çalışma kapsamında detaylandırılan ve Şekil 3.1'de mavi yıldız ile gösterilen Boğazköy çökel istifine ait kesit Sakarya Nehri'nin Geyve Boğazından çıkış yaptığı ve yaklaşık 3 km D-B doğrultuda aktığı kesiminde yer almaktadır. Detaylandırılan

güncel taşkın ovasının genişliği nehrin en kesitine göre sağ yakada 300, sol yakada ise 180 metre genişliğindedir. Bu kesimde hem nehir kanalı hem de taşkın ovası önemli antropojenik düzenlemeye maruz kalmıştır [Okur and Erturaç, 2021]. Özellikle Boğazköy-Doğançay HES inşaatı sırasında Sakarya Nehri kanalı 10 m kazılmıştır. Bu sayede güncel bir taşkın ovasını Boğazköy kesiti detayında çalışmak ve örneklemek mümkün olabilmektedir.

Kesitin nadir görülen derin yapısı ve ince taneli çökel varlığı bu çalışmanın yapılabilmesi için olanak sağlamıştır (Şekil 3.2), [Jones et.al., 2010]. Kesitin bu özelliklerinin oluşumunda şu faktörlerin etkisi olduğu düşünülmektedir:

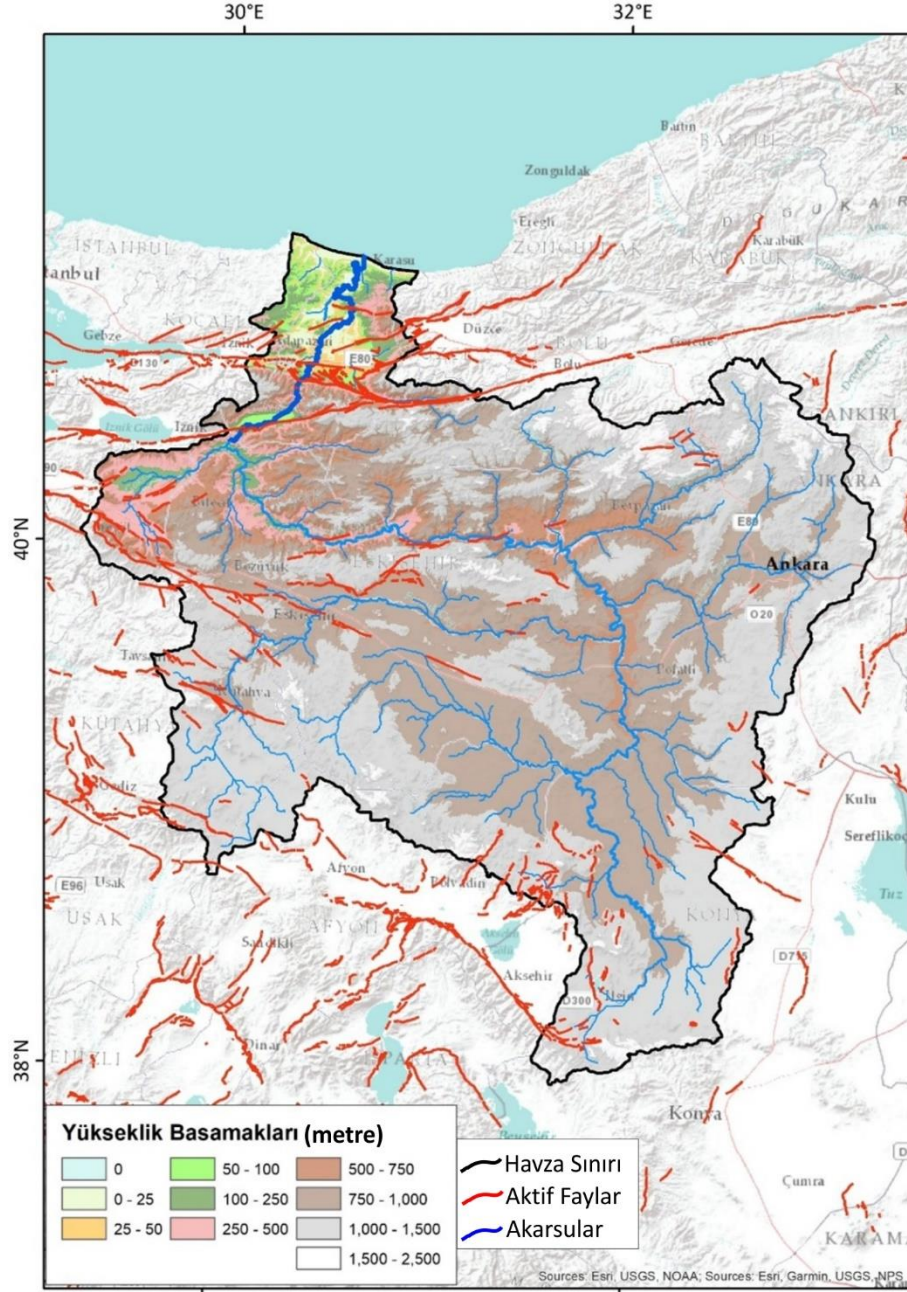
- Adapazarı Ovası gibi büyük bir çökel havza, nehir çökelleri için kapan görevi gören bir ovanın başlangıç kısmında yer alması,
- Geyve Boğazı'nın girişinde 70 m olan nehir kotunun boğaz çıkışında 40 m ye düşmesi ve Sakarya Nehri çökellerinin boğaz çıkışında önce kaba tane yükünü bırakması ardından ince taneli çökelleri Boğazköy kesitine dek taşınması,
- Kesitin yer aldığı konum ana nehir kanalının menderes yeniğinin karşında bir depolama (point-bar- uç depoları, leve üstü bank depoları) alanında yer alması gibi özellikler mevcuttur (Şekil 3.2).



Şekil 3.2: Taşkın Havzası ve nehir kanalı depolanma birimleri. a) Menderesli nehir kanalı jeomorfolojisini, b) Kanal kenarı Birimlerini, c) Taşkın ovası depolanma birimlerini göstermektedir.

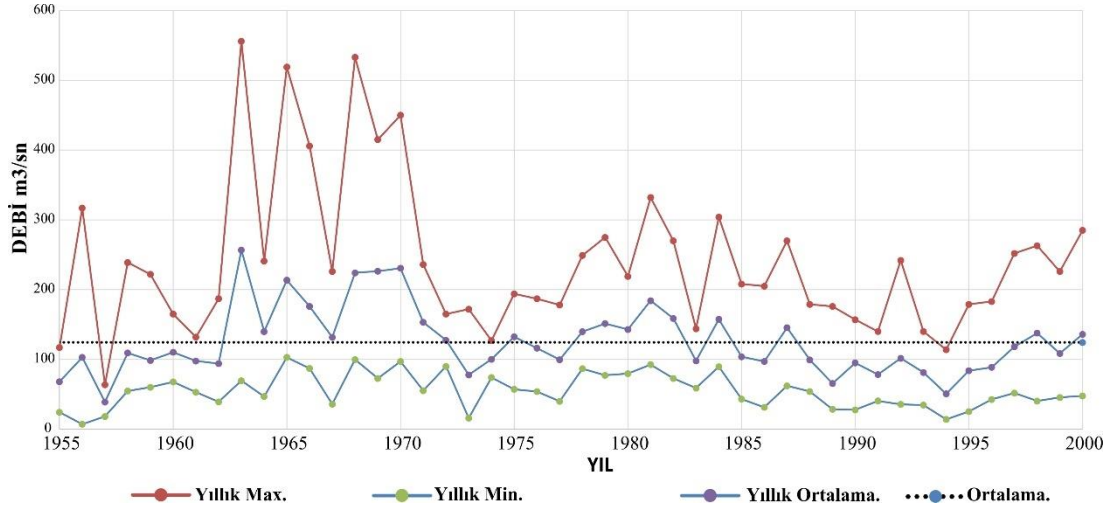
### 3.1.1. Sakarya Nehri

Bu çalışmanın konusunu oluşturan Sakarya Nehri, kuzeybatı Anadolu'nun büyük kısmını akaçlamaktadır. Nehrin uzunluğu DSİ verilerine göre 824 km olup, akaçlama havzasının alanı ASTER GDEM verisi ile ArcHydroTools kullanılarak elde edilen havza sınırlarına göre yaklaşık 63344 km<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.3). Şekil 3.3'de verilen haritadaki diri fay hatları Emre vd., 2018'den alınmıştır.



Şekil 3.3: Sakarya Nehri'nin akaçlama alanı, yükseltiler ve akarsu ağı.

Sakarya Nehri'nin debisi, DSİ'nin Geyve Boğazı kuzeyinde yer alan Doğançay istasyonunun 1953-2000 yılları arasındaki verilerine göre  $124 \text{ m}^3/\text{sn}$ 'dir. Şekil 3.4'te verilen grafiğe göre bu istasyonda Şubat-Nisan ayları arasında yüksek akım değerleri ölçülmüştür. Grafikteki diğer dikkat çekici unsur ise 1963-1970 yılları arasında  $500 \text{ m}^3/\text{sn}$ 'yi aşan akım değerlerinin görülmesidir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4: Sakarya Nehri DSİ Doğançay istasyonunda (Geyve Boğazı Kuzeyi) yıllık akım değerleri değişimi.

Sakarya Nehri, Türkiye akarsuları içerisinde denizlere taşınan toplam asılı çökel yükünün %15.6 taşımaktadır [Öztürk, 1996]. Havza genelinde süspansen taşınan toplam çökel miktarı  $182 \text{ ton/km}^2$  ve 1963-1991 yılları arasında, toplam yıllık yaklaşık asılı yük çökel taşıması 11.953.516 ton olarak hesaplanmıştır [Öztürk, 1996]. Bu değere %10-50 oranında yatak yükü de eklendiğinde, Sakarya Nehri'nin çökel taşıma kapasitesi ortaya çıkmaktadır. Günümüzde nehrin akımı batıdan doğuya Yenice, Gökçekaya ve Sarıyar Barajları ve Mekece-Geyve Boğazı-Adapazarı Ovası arasında kurulan hidroelektrik santraller ile kontrol edilmektedir.

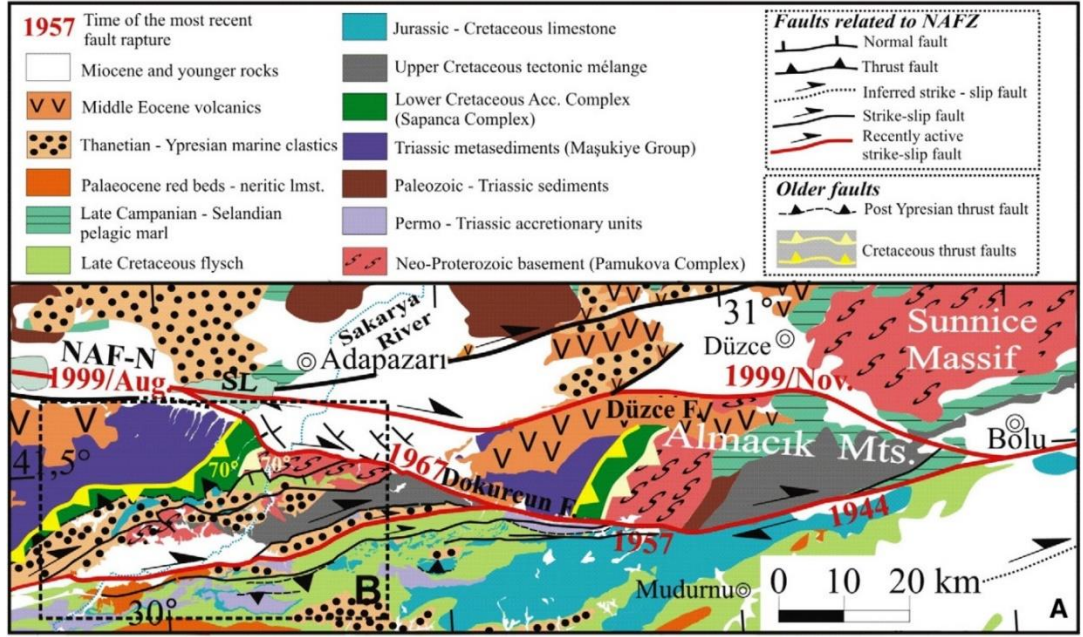
Sakarya Nehri, Sündiken ve Köroğlu Dağları arasında doğu batı yönünde ~150 km ilerledikten sonra Bilecik güneyinde K-G rotasına ulaşır. Köroğlu ve Samanlı Dağlarını dar ve derin kazılmış boğazlar ile KAFZ üzerinde gelişmiş Pamukova ve Adapazarı ovalarını geçerek Karasu'da dar ve enine uzanan bir delta oluşturarak Karadeniz'e kavuşmaktadır.

İnceleme alanı içerisinde Sakarya Nehri ana kolu, deniz seviyesinden 30 ila 450 metre yükseklikler arasında, toplam 450 km uzunluğa sahiptir.

### 3.1.2. Jeolojik Çerçeve

Sakarya Zonu içerisinde yer alan inceleme alanında geniş bir yaş ve litoloji yelpazesi içerisinde yer alan kayaçlar yüzlek vermektedir [Akartuna ve Atan, 1981], [Akbayram et.al., 2016]. (Şekil 3.5). Nehir Geyve Boğazı'nda, Sakarya Zonu'na ait Üst Kretase ve Pamukova güneyinde yüzlek veren Protozoik Pamukova kompleksine ait amfibolit ve onları kesen granitler, Permian yaşlı Sakarya Zonu'na ait İznik Metamorfiklerini, Jura-Kretase yaşlı karbonatları, Geç Kretase yaşlı meta-ofiyolit ve olisostromları ile fliş istifini ve Eosen yaşlı denizel klastikleri keser. Geyve Boğazı'nda yüzlek veren metamorfik kayaçlar granitoyitik kökenli kayaçlar tarafından kesilmektedir. Geyve Boğazının kuzey sınırında gnays, amfibolit ve metaperidotitler Kretase yaşlı flişler [Yılmaz vd., 1995] ile tektonik dokanaktır. Okay vd., [2008] bu gnaylardan elde edilen yedi zirkon mineraline uyguladıkları TIMS Pb-Pb metodu ile Kambriyen (516 My, kalıt yaş) ile Orta Ordovisiyen (464 My, sokulum yaş) yaşları elde etmişlerdir. Bu birim kuvars ve K-Feldispat açısından zengindir, İznik Metamorfikleri de şist ve fillat litolojisine sahiptir ve içerisinde bolca kuvarsit bulunmaktadır. Bu durum Sakarya Nehri çökellerindeki mineral kompozisyonunu açıklamaktadır. İnceleme alanı MTA G24 1/100.000 jeoloji paftasında bulunmaktadır (Şekil 3.5).

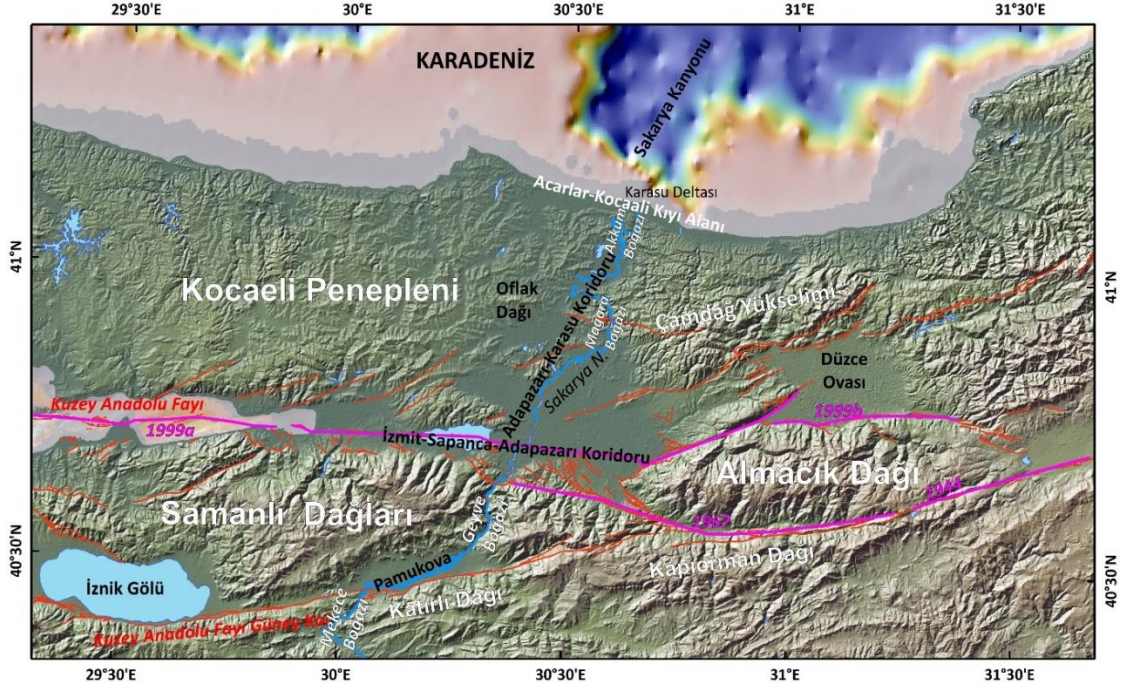
Şekil 3.5, Akbayram et.al., 2016'dan düzenlenerek alınmıştır. Yazarlara göre KAFZ anakolu, Triyas yaşlı Maşukiye grubuna ait metasedimanlar ve Alt Kretase yaşlı Sapanca Kompleksine ait yığılım karmaşığına ait birimleri sınırlayan Kretase yaşlı bindirme faylarını 52±1 km ötelemiştir.



Şekil 3.5: İnceleme alanı ve yakın çevresinin genelleştirilmiş jeoloji haritası.

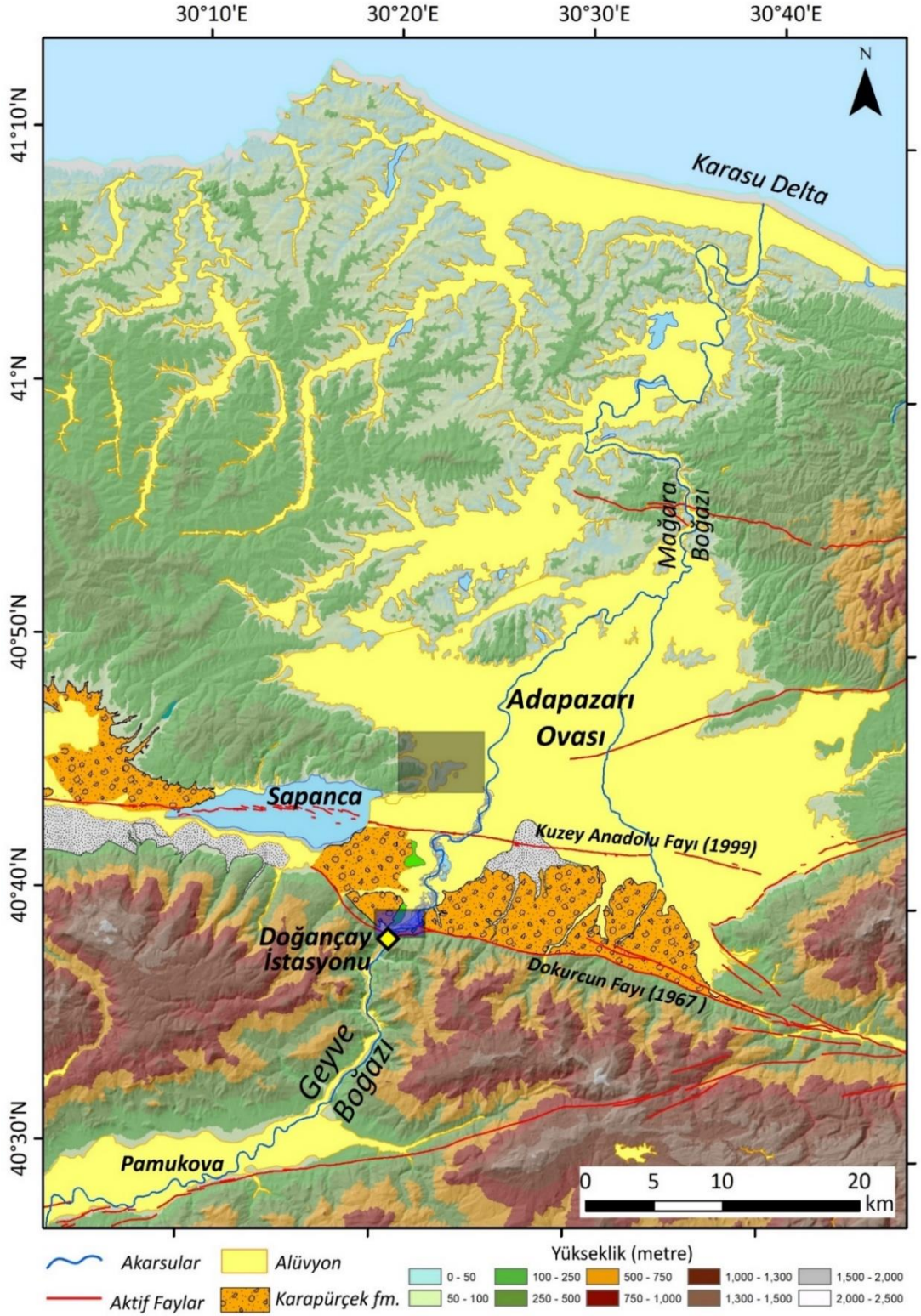
Çalışma alanının morfolotektonik üyeleri Şekil 3.6’da verilmektedir. Araştırma alanı Anadolu’da paleotektonik ve neotektonik dönem yer şekillerinin bir arada bulunduğu ender alanlardan birisidir. Paleotektonik dönem rölyef grubu ilksel morfolojisini korumuş olduğu kesimlerde, tektonik çöküntü alanları hariç bölgenin en alçak topografyasını oluşturmaktadır. Marmara denizi kuzeyi ve Karadeniz kıyılarında ise bu dönem morfolojisi su altındaki şelf düzlüklerine karşılık gelmelidir. Neotektonik dönem rölyefi ise yüksek dağ kuşakları, fay zonları boyunca veya bunlar arasında yer alan tektonik çöküntü havzaları ve oluklar şeklindedir [Emre vd., 1998].

Türkiye Yenilenmiş Diri Fay Haritası 1/250000 ölçekli Adapazarı Paftası, Emre vd., 2013’den düzenlenerek üretilmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6: İnceleme alanının genel morfotektonik üyeleri.

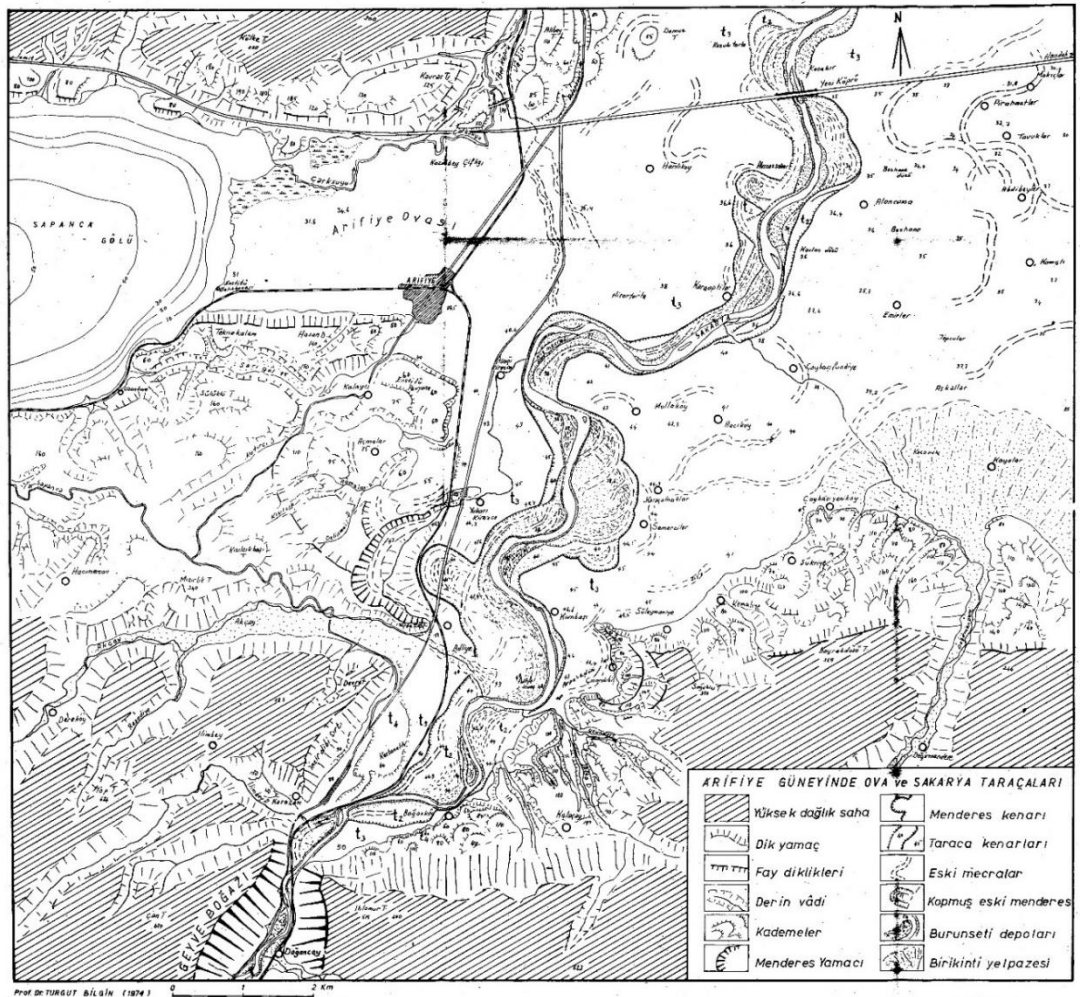
Bir tektonik havza olan Adapazarı Ovası, gelişimini erken Pleyistosen'den itibaren Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) kontrolünde sürdüren İzmit-Sapanca-Adapazarı tektonik koridorunun önemli bir üyesidir [Emre vd., 1998]. Ova, kuzeybatıdan 100-250 metre yüksekliğe sahip Kocaeli Platosu (penepleni), kuzeydoğudan ise 500-900 metre arasında yüksekliğe sahip Çamdağ yükselimi ile güney kesiminde ise 1000-1600 metre yüksekliklere sahip Samanlı, Köroğlu ve Kapıorman-Almacık sıradağları ile sınırlanır (Şekil 3.6; 3.7).



Şekil 3.7: Sakarya Nehri'nin Samanlı Dağları-Karadeniz arasındaki yakın çevresinin genel fizyografisi ve Kuvaterner birimleri.

Turgut Bilgin [1984] inceleme alanında detaylandığı çalışmada bölgedeki yerçekillerinin sınıflandırmasını ve dağılımını kapsamlı bir jeomorfoloji haritasında sunmuştur (Şekil 3.8).

Bölgenin en önemli akarsuyu olan Sakarya Nehri güneyde bulunan yükselimleri sırasıyla Sakarya, Lefke ve Geyve boğazlarından keserek havzaya girer. Yaklaşık boyutları 31x38 km olan paralelkenar şekilli Adapazarı Ovası'nın tamamen bu akarsuların çökelleri ile doldurulmuş durumdadır. Toplam çökel kalınlığının 1000 metreye kadar ulaştığı [Emre vd. 1998] ovada yüzeyden yaklaşık ~350 metre derinliğin fasiyes özellikleri DSİ sondajları ile belirlenmiştir [Doğan, 2004].

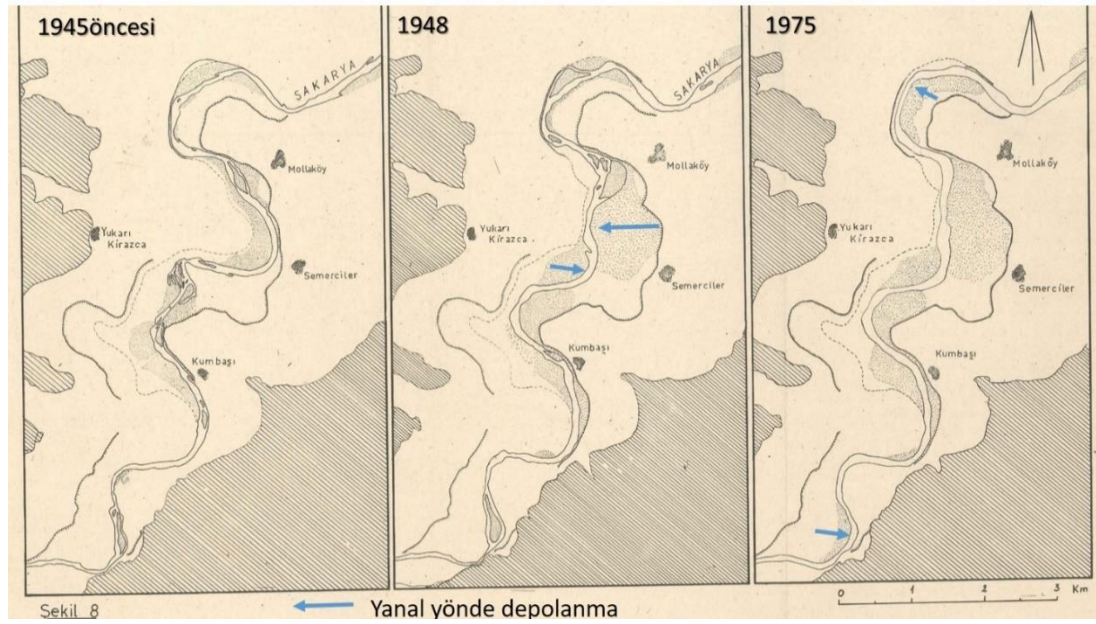


Şekil 3.8: Arifiye-Boğazköy taraçalarının jeomorfoloji haritası.

İnceleme alanında gerçekleştirilen önceki kapsamlı çalışmalar Sakarya Nehri'nin Geyve Boğazı'nı geçerek Adapazarı Ovası'na giriş yaptığı kesimde iyi gelişmiş bir taraça sistematığı bulgulamıştır [Bilgin, 1984], [Demir vd., 2004],

[Doğan, 2004] (Şekil 3.8; 3.9). Kirazca formasyonu olarak tanımlanan bu taraçalar, en üst kotta tanımlanan aşınmalı seviyelerden güncel akarsu taşkın ovasına kadar (200, 60, 50-40, 30-25, 10 m seviyelerinde) gözlenir [Bilgin, 1984], [Doğan, 2004].

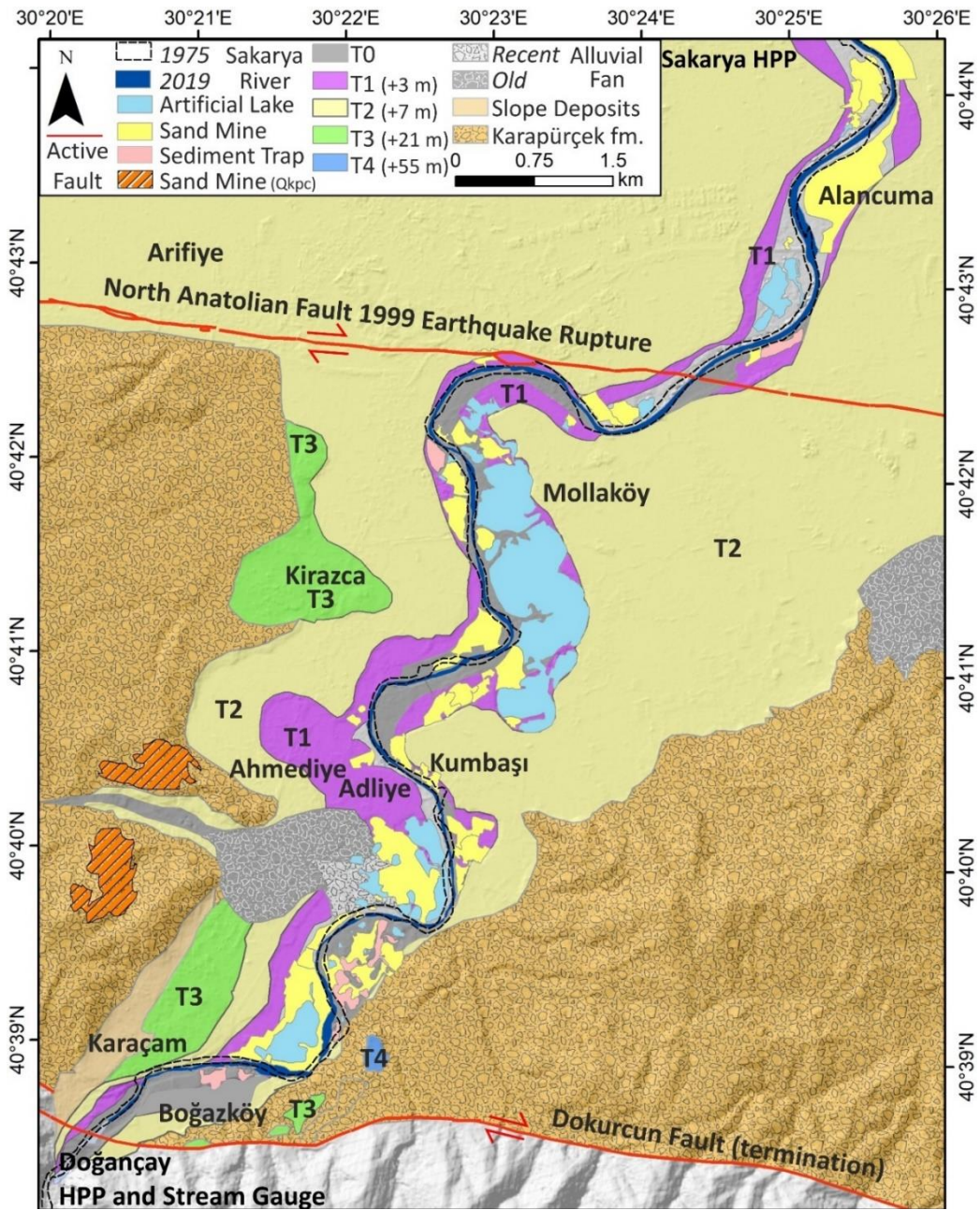
Sakarya Nehri ve Adapazarı Ovası'nda gözlenen taraça sistematığı üzerine ilk kapsamlı çalışma Boğazköy'de iki farklı seviye bulunduğunu ortaya koymuştur (Şekil 3.8). Bilgin (1984), çalışmasının taraça sistematığı ve Sakarya Nehri'ndeki değişimlerini tartışan bölümlerinde farklı tarihlerde çekilmiş Hava Fotoğrafları ve DSİ tarafından yapılmış 1/5000 ölçekli topoğrafik harita ile saha çalışmalarına dayandırmıştır (Şekil 3.8). Bölge jeomorfolojisi için ilksel nitelikte olan bu kapsamlı çalışmanın en önemli katkısı günümüzde hızla yapılaşan taraça düzlükleri ve özellikle de 1980'lerden itibaren kum ocağı işletmeleri tarafından şiddetli bir şekilde tahrip edilen taşkın ovasının özellikleri hakkında ve Sakarya Nehri'nin bu 1945-1975 yılları arasında kanal göçleri konusunda detaylı bilgi vermesidir. Şekil 3.9'da 1945-1975 yılları arasındaki Nehir kanalının değişimini gösteren haritalar sunulmuştur [Bilgin, 1984].



Şekil 3.9: Sakarya Nehir kanalının 1945-1975 yılları arasındaki değişimi.

İnceleme alanının Kuvaterner Jeolojisi, 115Y132 ve 117Y426 kodlu TÜBİTAK projeleri kapsamında detaylı olarak çalışılmıştır [Erturaç et.al., 2019], [Erturaç, 2021]. Bu tez çalışmasının da desteklendiği 121Y110 projesinin öncülü olan bu çalışmalar ile Adapazarı Ovası'nın gelişiminde geç Pleyistosen Karadeniz Seviye değişiklikleri ve

Holosen içerisinde gözlenen belirgin iklim anomalileri ile Kuzey Anadolu Fayı'nın ilişkisini ortaya konulmuştur. Şekil 3.10'da Adapazarı ovasının Kuvaterner Jeoloji haritası verilmektedir [Erturaç, 2021 ve Okur and Erturaç, 2021]. İnceleme alanında Holosen içerisinde gelişmiş güncel taşkın ovası dahil 4 farklı taraça basamağı bulunmaktadır (Şekil 3.10). Bu taraça basamaklarından T2 ~9000-1800 yılları arasında, T1 1100-1000 yılları arasında, güncel taşkın ovasını oluşturan T0 ise son 750 yıl içerisinde depolanmıştır.



Şekil 3.10: Adapazarı Ovası güney kesiminin Kuvaterner Jeoloji haritası.

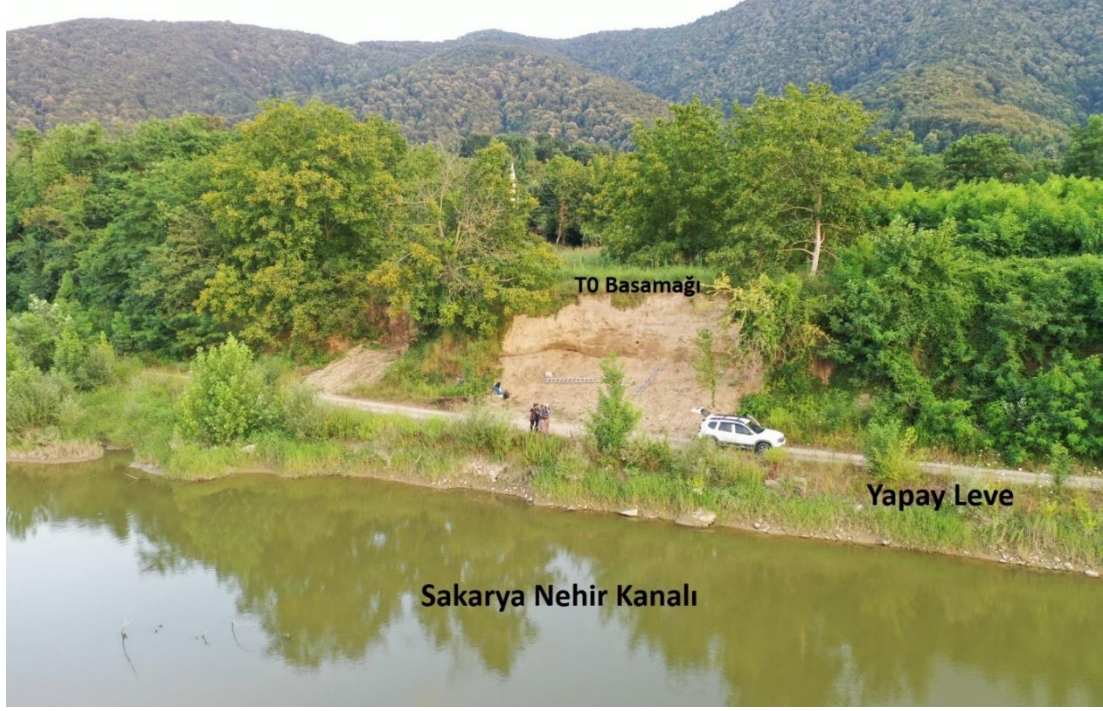
Depolanmanın kesintiye uğradığı dönemler Sakarya Nehri'nde debinin belirgin bir şekilde arttığı bir hidrolojik rejimi yansıtır. Bu dönemler Roma Ilıman Dönemi (RWP) ve Ortaçağ İklim Anomalisi (MCA) ile karşılaştırılmaktadır (Erturaç et.al., 2019). T0 taraçası ise Küçük Buzul Çağı-Modern aralığında nehrin depolanmalı bir dönemi ifade eder. Bu konu tezin "Aşağı Sakarya Nehri Holosen gelişimi" bölümünde ayrıntılı olarak anlatılmaktadır. Günümüzde Sakarya Nehri güncel taşkın ovası kum ocakları tarafından parçalanmış ve büyük oranda tahrip olmuş durumdadır [Okur and Erturaç, 2021].

## **3.2. Çalışma Alanının Tespiti, Ölçüm ve Örneklemeye Çalışmaları**

Çalışma kapsamında arazi çalışmaları ile yürütülmüş olan ilk işlerden biri, akarsu çökel paketinden yola çıkarak nehrin paleohidrolojisinin ve geçmişte nehrin geçirdiği ekstrem olaylarının tespiti amacıyla uygun çökel paketin bulgulanması olmuştur. Çalışmanın amacına en uygun kesit yerlerinin tespiti, temizlenmesi, ölçümü ve analitik çalışmalar yapmak üzere örneklenmesi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Ardından ArcGIS ortamında geçici veritabanı oluşturulması ve ölçekli litostratigraflerinin oluşturulması izlemiştir. Aşağıda bu adımların ayrıntıları paylaşılmıştır.

### **3.2.1. Arazi Çalışmaları ile Kesit Tespiti ve Ölçümleri**

Çalışma kapsamında Sakarya Nehri Boğazköy mevki yakınlarındaki güncel taşkın ovasına ait (T0 basamağı) ince taneli çökel paketler çalışılmıştır (Şekil 3.11). Bu farklı çökel fasiyeslerine sahip kesitler Sakarya Nehri T0 basamağı boyunca arazi çalışmaları ile tespit edilmiştir. Esasında, bu kesitlerin Aşağı Sakarya Nehri boyunca kalınlıklarının, çökel içerikleri ve dağılımlarının tespiti başlı başına bir çalışma konusudur. Aşağı Sakarya Nehri'nde yapılan önceki çalışmalara dayanarak yürütülen arazi çalışmaları kapsamında Geyve Boğazı'nın kuzeyinde Adapazarı Ovası'nın en güney kısmı olan kesimde Boğazköy T0 basamağının, nehirdeki farklı lokasyonlara göre daha kalın kesitler sunduğu ve bu kesitlerin ince taneli malzeme cinsinden zengin olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3.11: T0 basamağının izlendiği Boğazköy kesimindeki kesitin güncel Sakarya Nehri kanalı ile ilişkili konumu.

İnceleme alanında son 40 yıldır yoğun faaliyet gösteren kum ocakları ve 2014 yılından bu yana faaliyete başlamış olan HES ve buna bağlı kanal kazıları – 10 metreye kadar nehir kanalının taban kotunun düşürülmesine neden olmuştur. T0 basamağına ait Boğazköy kesitinin, kanal yükünden oluşan tabanı MS 1250 ±30 (Ca14C, Kalibrasyonu yapılmış Radyokarbon yaşı) olarak tarihlendirilmiştir ve 450 cm kalınlığında farklı çökel fasiyeslerde depolanmış çökellerin ardalanması ile oluşmaktadır [Erturaç et.al., 2019]. T0 çökellerinin çoğu, inceleme alanında nehir kanalının -10 metre kotuna derinleştirilmesi ve devamında açılmış olan kum ocakları nedeniyle çok sayıda farklı konumda kesit sunmaktadır. Boğazköy kesiti taban çakıllarından itibaren 450 cm kadar açık kesit sunmaktadır. Bu tez çalışması için özellikle HEX (taşkın ya da kuraklık) izlerini yansıtan çökel fasiyesleri ve sedimanter yapıları içeren bu kesit; yakın çevresinde bulunan ve ince taneli çökellerden oluşan kesitler arasında ve bu çalışma kapsamında yapılması hedeflenmiş analizler için en uygun kesiti sunmaktadır. Bu amaçla da yaklaşık 17 metre enine takip edilebilen bu kesit üç ayrı kolon kesit özelinde örneklenmiştir. Bu 17 metrelik kesitin tamamı, hem düşeyde hem de yatayda akarsu çökel fasiyeslerinin ilişkileri takip edilmiş ve çalışılmıştır (Şekil 3.11).

Boğazköy kesiti, Sakarya Nehir kanalının ve 2021 yılına kadar faaliyet gösteren bir kum ocağı işletmesinin sınırında yer almaktadır. Kesit ilksel olarak kum ocağı işletmeleri tarafından açılmıştır Kesit aynı zamanda Boğazköy mahallesinin yerleşim alanı sınırında yer aldığından bu haliyle korunmayı başarmıştır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12: Sakarya Nehri güncel taşkın ovası Boğazköy kesitinin kum ocakları tarafından açılmış ilksel hali.

Boğazköy, Geyve Boğazının kuzey kısmında yer alır. Nehir bu bölgede boğazdan çıkar ve akış dinamikleri açısından yatağının genişlemesi ile enerji azalması yaşadığı için yükünün büyük bir kısmını burada bırakır. Bu sebeple de Boğazköy-Karaçam arası alan, Geyve Boğazı çıkışı, ovaya henüz ulaşmış olan nehir için, taşıdığı kaba taneli yatak yükünü bıraktığı bir ön depolama havzasıdır. Bu kısım aynı zamanda Sakarya Nehri akaçlaması içerisinde en büyük tektonik çöküntü olan Adapazarı Ovası'nın da güney sınırını oluşturur. Boğazköy taraça basamağının diğer alanlara kıyasla bu denli kalın gözlenmesinin en önemli sebeplerinden biri de inceleme alanında nehir kanalının bölgede faaliyet gösteren HES'ler sebebiyle -10 metre kotuna derinleştirilmesidir. Dolayısıyla hem Antropojenik hem de nehrin doğal akış dinamikleri göz önüne alındığında Boğazköy kesiti çalışma alanı için en uygun lokasyonu oluşturmuştur. Klasik nehir taşkın ovaları akarsu kanalından yaklaşık birkaç metre yükseklikte rastlanmaktadır. Bu sebeplerle Boğazköy kesiti taşkın ovasının düşeyde 4,5 metre kalınlığında ve nehre göre yüksekte olması bu çalışmanın yürütülmesi için avantaj sağlamıştır.

Kesit peyzaj çalışmalarında kullanılan paletli bir mini kepçe yardımıyla temizlenmiştir (Şekil 3.13). Ardından 1m'lik karelajlama çalışması yapılmıştır. Kesit sol alt köşesinden (0, 0) başlayarak X ve Y noktaları her 1m'de bir etiketlenerek işaretlenmiştir. Kesitin en sağ ve üst kısmı da 17, 4 (X, Y) şeklinde etiketlenmiştir. Bu da kesit boyunca bir koordinat sistemi oluşturmaya yardımcı olmuştur. Bu noktadan sonra alınan örnekler ve çizim çalışmaları ölçekli ve koordinatlı olarak hem elle çizimde hem de ArcGIS ortamında kullanılmıştır (Şekil 3.14).



Şekil 3.13: Boğazköy kesitinin temizlenme ve karelaj aşamaları.



Şekil 3.14: Boğazköy kesitinin 1m'lik karelajlama ağının yerleşimi.

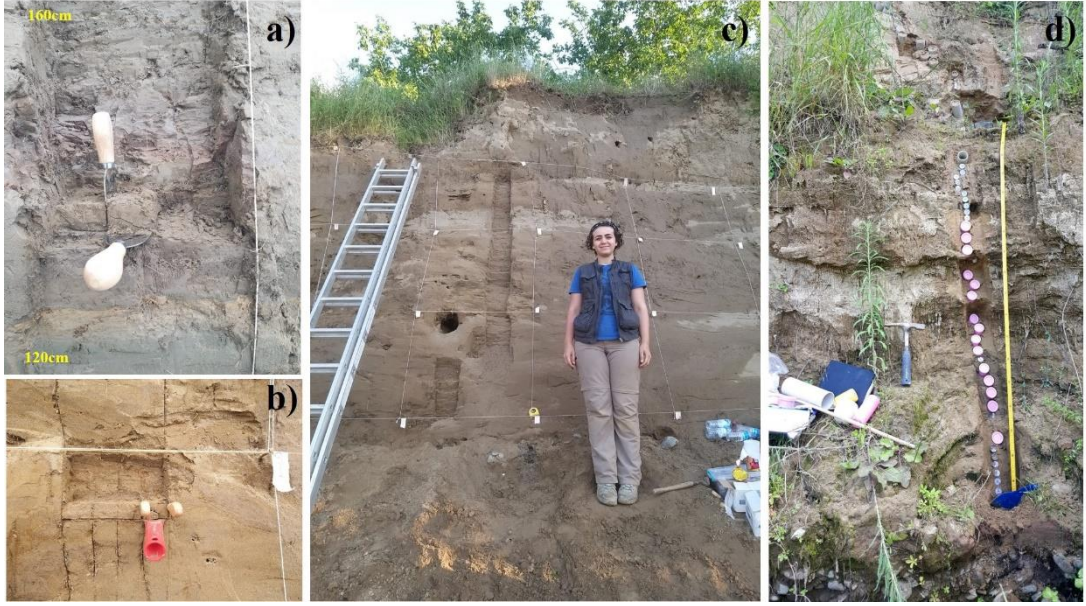
### 3.2.2. Örnekleme

Kesit boyunca 3 farklı kolon kesitte örnekleme yapılmıştır. Örnekler iki farklı yöntem kullanılarak alınmıştır. İlk yöntem, fasiyeslerin kalınlığına bağlı olarak örnekler 2.5 ile 7 cm arasından değişen çaplarda plastik örnek kaplarına alınmıştır. İkinci örnekleme yönteminde ise kesitin büyük kısmının siltli ve killi fasiyeslerden oluşması sebebiyle spatula benzeri aletler kullanılarak yine tane boyu ve fasiyes tipinin dağılımına bağlı olarak 1 cm den 10 cm dek değişen hassasiyette plastik torbalara örneklenmiştir. Bu örnekleme yönteminde sınırlı miktarda örnek alınabildiği için yapılacak analizlere yeterli örneğin toplanabilmesi amacıyla her noktadan 4 aynı örnek alınmıştır. Böylece enine yaklaşık 20 cm 'lik bir alandan 4 farklı torbaya aynı fasiyesten örnekler alınmıştır. Toplamda birinci tip örnekleme ile 80 noktadan 80 örnek, ikinci tip örnekleme ile de toplam 154 noktadan (154x4= 616) örnekler alınmıştır. Alınan örnek torbalarının her biri üzerine kesit üzerinde bulunduğu nokta X ve Y koordinatları, analiz amacı, örnek numarası şeklinde not edilmiştir (Şekil 3.15). Örnek vermek gerekirse her bir örnekleme seviyesinden

X: 380-385 cm / Y: 3-6 cm / Kodu: H-1-001 / 'Jeokimya + tane boyu örneği' şeklinde örnekleme yapılmıştır.

'Jeokimya+ tane boyu' ifadesi örneğin hangi analizi yapmak üzere alındığını temsil etmektedir. Bu yöntemle farklı analizler yapmak üzere toplam her bir yükseklikten yan yana 4 farklı torbaya örnekler alınmıştır.

Yapılan örnekleme fasiyesin tane boyu ve sürekliliğine göre değişkenlik göstermiştir. Örneğin, kil-silt tane boyuna sahip alanlarda 1-2 cm de bir örnekleme yapılmışken orta-kaba kum gibi tane boylarına sahip fasiyes alanlarında 5-7 cm de bir örnekleme yapılmıştır. Şekil 3.15' de birinci ve ikinci numune alma yöntemi ve kesit kolon 2 (H-2) yakın plan görünümü ile ilişkili fotoğrafla sunulmuştur.



Şekil 3.15: Farklı örnekleme yöntemleri ve kesitin görünümü.

### 3.2.3. Fotogrametri ve ArcGIS Veritabanı Oluşturulması

Kesit temizlenip, karelajlama işlemleri tamamlandıktan sonra Mavic2Pro İHA ile kesitin yaklaşık 3 metre uzaklıktan, fotoğrafları çekilmiştir. Yaklaşık %50 bindirme ile çekilen fotoğraflar Pix4D yazılımı ile değerlendirilmiştir. Elde edilen nokta bulutu verisi, kesite dikey bir düzlemle kesiştirilerek ortodüzlem (orthoplane) olarak tanımlanan ortofoto görüntüsü üretilmiştir (Şekil 3.16). Oluşturulan görüntü yapılan karelajlamaya uyumlu olarak ArcGIS ortamında karelaj sistemini esas alan düzlemsel bir koordinat sistemi içerisinde koordinatlandırılmıştır. Bu koordinat sisteminde sağa (X) ve yukarı (Y) sistemi uygulanmaktadır. Bu sistem içerisinde çalışma kapsamında analitik çalışmalar ve tarihlendirme örnek noktaları gibi tüm örnek noktaları bu veritabanı içerisinde koordinatlı olarak gözlenebilmektedir. Ardından, oluşturulmuş olan koordinatlı ortofoto ve arazide milimetrik kağıtlara yapılan ölçekli fasiyes çizimleri birlikte kullanılarak kesitin ölçekli stratigrafik çizimleri yapılabilmektedir.

Şekil 3.16'da renkli sütunlar analitik çalışmalar yapmak üzere alınan örnek yerlerini göstermektedir. Sağdaki kırmızı çerçeve örnek kutuları kullanılarak alınan örneklerin kesitini göstermektedir. Kırmızı yıldızlar mikroplastik analizi için alınan örnek noktalarını temsil ederken siyah daireler lüminesans tarihlendirme için alınan örnek noktalarını, kırmızı üçgenler ise radyokarbon tarihlendirme yapılmak üzere alınan örnek noktalarını gösterir.



fasiyes tanımlamalarına ve gruplamalarına uygun olarak hidrolojik rejim/olay tanımı gözetilerek yürütülmüştür [Miall, 2006], [Miall, 2014]. Fasiyes birliklerinin sedimanter yapı tane boyu tanımlamalarına göre sınıflandırılmaları ayıklanmıştır.

### **3.3. Analitik Çalışmalar**

#### **3.3.1. Tane Boyu Analizleri**

Tane boyu, kırıntılı çökellerin en ayırt edici özelliklerinden biridir. Çökellerin çakıl, kum, silt, kil olarak sınıflandırılabilmesine olanak sağlar. Aynı zamanda tanenin taşınmasını sağlayan akışın özelliği, ortamın maruz kaldığı enerjiyi, tane taşınım mesafesi gibi pek çok değişken hakkında kanıtlar sunar. Tane boyu çökelin türediği kaynak kaya ve aşınma fonksiyonlarının da belirteçidir [Kerey ve Erkal 2014]. Tane boyu ayrıca farklı fasiyes ve ortamlarda oluşmuş çökelleri birbirinden ayırt etmekte, taşınma süreçlerini, çökeltme mekanizmalarını bize anlatabilen sedimentolojinin en temel önemli veri kaynaklarından biridir. Tane boyu verisi sedimentoloji çalışmalarının yanı sıra jeomorfoloji çalışmalarında da kullanılmaktadır [Erinç, 2000].

Kesitte gözlenen tane boyunun oldukça değişken olması çeşitli ölçütler belirlenmesi gereksinimi doğurmuştur. Bu çalışma kapsamında Wentworth, 1922 sınıflandırma biçimi kullanılmıştır.

Tez çalışması kapsamında, tane boyu analizi Gebze Teknik Üniversitesi demirbaşında yer alan Malvern Mastersizer 2000 cihazının Hydro-2000 modülü kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3.18). Cihaz hem katı hem de suya doyurulmuş örnek ile ölçüm yapabilmektedir. Bu çalışma kapsamında su içerisinde ölçüm yapılan modül kullanılmıştır. Şekil 3.18'da sağdaki fotoğraf ise saf suya doyurulmuş örnekleri göstermektedir. Bu yöntemle ölçüm sırasıyla, orijinal neme sahip 5 gr örneğin 25 ml ultra saf su ile örnek tüpü içerisinde seyreltilmiştir. Ardından yaklaşık 1 litre saf su içerisine çalkalanarak örnek tüpünün içerisinden pipetle alınan yaklaşık 2-3 gr süspansiyon örnek saf su içerisinde lazer yöntemi ile ölçülmüştür. Cihaz ölçüm aralığı 0.020-2000 µm'dir. Her bir tane boyu aralığına ait % cinsinden hacimsel sonuç vermektedir.



Şekil 3.18: Malvern Mastersizer 2000 cihazının ve tüpler içerisindeki çökel örneklerin görünümü.

Çalışmada yapılan tane boyu analizleri oldukça önemli ve çok temel sedimentolojik bir veri seti sunmaktadır. Yapılan diğer analizlerin çoğu tane boyu verisi ile denetlenmiştir. Boğazköy kesiti boyunca 3 kolon kesitte (H-1, H-2, H-3) toplam 250 örneğin tane boyu analizi yapılmıştır.

### 3.3.2. Jeokimyasal Analizler

Bu çalışma kapsamında taşkın ovası çökellerinin sistematik örnekleme ile elde edilen sedimentlerin major ve iz elementlerin analizleri yapılmıştır. Major elementlerin analizi için XRF, iz elementlerin analizi için ICP-OES kullanılmıştır. Literatürde tanımlanan özellikle yerel ve dış koşullar etkisi altında oluşan major oksit ve iz elementlerin konsantrasyonlarını belirlemek için jeokimyasal analiz çalışması yürütülmüştür.

Minerallerin ve oluşturdukları kayaçların bileşimleri içerdikleri element bolluklarıyla ifade edilirler. Mineral ve kayaçların yüzde cinsinden bileşimini oluşturan elementler major elementler, bir mineral veya kayaç içerisinde milyonda bir (ppm) veya milyardabir (ppb) konsantrasyonda bulunan elementlere ise eser (iz) elementler denir. Elementlerin bolluklarına göre yapılan bu sınıflandırmada bölümler arası sınırlar kesin değildir, örneğin bazı kayaçlarda eser miktarda bulunan bir element başka bir kayacın ana bileşeni olabilir.

### 3.3.2.1 ICP-OES Analizleri

Endüktif Eşleştirilmiş Argon Plazma-Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES), sulu çözeltilerdeki çözülmüş elementlerin analizinde kullanılan bir yöntemdir. Bu teknik ile sıvı örnekler çeşitli nebulizer ya da örnek giriş sistemleriyle radyofrekans dalgaları ile uyarılmış argon plazmaya enjekte edilirler.

ICP-OES tekniğinin çalışma prensibi plazma enerjisi, analiz edilecek olan örneğe verildiğinde elementlerin atomlarının ve iyonlarının uyarılması üzerine kurulmuştur. Uyarılan atomlar daha düşük enerji seviyelerine geri döndüklerinde, yayılan ışınlar serbest bırakılır ve foton dalga boylarına tekabül eden bu emisyon ışınları ölçülür. Element türü foton ışınlarının durumuna göre belirlenir, element içerikleri ise ışınların yoğunluğu temel alınarak bulunur.].

ICP-OES tekniğinin diğer analitik uyarma kaynağı içeren cihazlara oranla temel analitik avantajları çeşitli matrisler içindeki geniş aralıktaki elementleri etkili ve tekrar edilebilir buharlaştırma, atomlaştırma, uyarma ve iyonlaştırma yeteneğidir. Bu yetenek ICP cihazının ölçüm bölgesinde oluşturduğu elektromanyetik indüksiyon ile yüksek sıcaklıklara (6000-10000 °K) ulaşılan argon plazması tarafından numunenin uyarılması ile sağlanır. Uyarılmış elementlerin yaydıkları belirli dalga boylarına göre emisyon yoğunluklarının belirlenmesi tekniğin temelini oluşturur. ICP cihazının yüksek sıcaklığı aynı zamanda ısıya dayanıklı elementlerin uyarılması için de yeterlidir, bu sebeple matriks etkileşimleri içeren örnekler için de daha yüksek duyarlılıklar sağlanmış olur. Numunelerin analizinden önce diğer tüm analitik cihazlarda olduğu gibi ICP-OES cihazı da ölçülecek elementlerin standart kimyasalı ile hazırlanmış bilinen konsantrasyonlara göre kalibre edilmektedir.

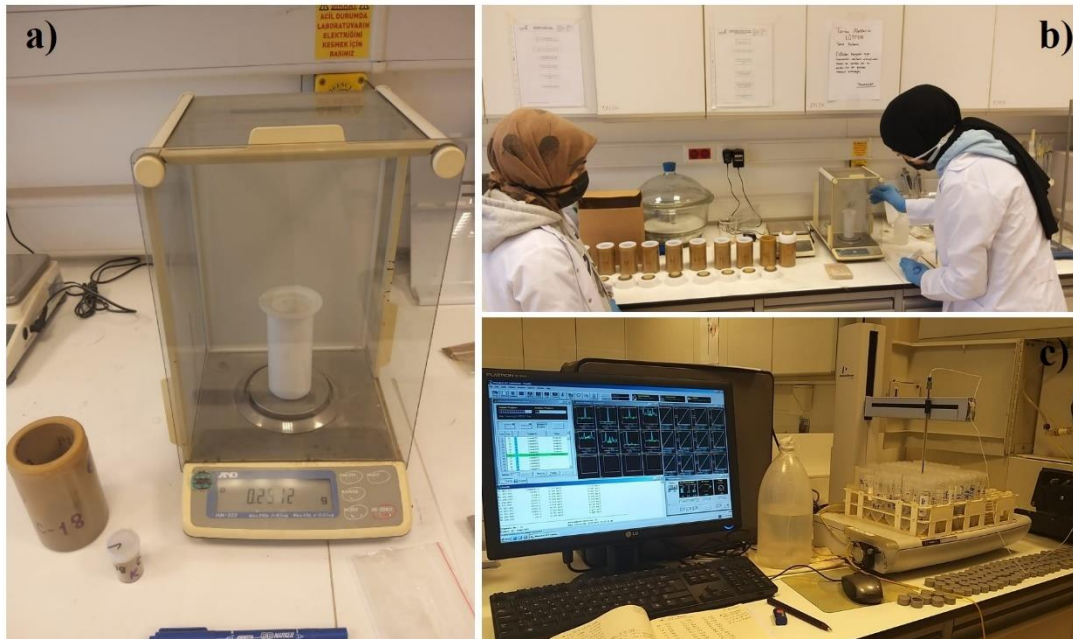
Bu çalışma kapsamında, Perkin Elmer The Optima™ 7000 DV ICP-OES cihazı kullanılmıştır. ICP-OES cihazları yukarıda da bahsedildiği gibi sıvı fazdaki malzemelerin element okumalarını yapabilen bir cihazdır. Katı fazda bulunan bir materyal çeşitli teknikler kullanılarak sıvı faza geçiş yapabilirler. Bu sebeple bu çalışma kapsamında asitli parçalama tekniği kullanılmıştır. Taşkın ovası çökelleri çeşitli işlemlerden geçirilerek ICP-OES cihazında okuma yapmak üzere hazırlanmıştır. Kullanılan yöntem aşağıda açıklanmıştır:

ICP-OES için örnek hazırlama, asitli yakma (ıslak yakma metoduyla) işlemi ile gerçekleştirilmiştir. Bunun için ilk adım taşkın ovası çökellerinin tane boyu agat havan

yardımıyla pudra haline getirilmesi olmuştur. Asitli parçalama sırasında parçalamanın daha etkili olabilmesi açısından bu oldukça önemlidir. Kum tanelerini parçalamak silt ya da kil boylu malzemeyi parçalamaktan çok daha zor olmaktadır. Pudra haline getirilen ve kuru olan örnekler teflon kapların içerisine 0.25 gr tartılarak alınırlar. Teflon kaplar içerisine alınan örneğe asit karışımı ilave edilir. Analizler kapsamında kullanılan asit kombinasyonu 4 ml HNO<sub>3</sub> + 1.5 ml HF + 2 ml HClO<sub>4</sub> + 1 ml H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> şeklindedir.

Ardından numuneler kaplara eklenen asitlerle birlikte mikrodalgaya konulur. Mikrodalga işlemi asitli parçalama sürecini oldukça hızlandırmaktadır. Mikrodalgaya 4 adımlı toplam 24 dk işlem süresi 10 dk da soğutma süresi olan bir program yazılmıştır. Ardından teflon kaplarda örnek en az 1 saat soğumaya bırakılır ve teflon kaplar dikkatlice açılır. Teflon kap içerisinde sediment numunesi asitlerle parçalanmış bulunmaktadır. Yaklaşık 8-9 ml olan bu karışım, 50 ml'lik asite dayanıklı örnek tüplerine aktarılır ve 50 ml'e dek üzeri ultra saf su ile tamamlanır (Şekil 3.19).

Şekil 3.19 a ve Şekil 3.19.b'de pudra halindeki numunelerin teflon kaplara tartılarak alınmasından oluşan numune hazırlama adımları ve Şekil 3.20.c'de mikrodalgada asitli parçalama işlemi yapılmış ve saf su ile 50 ml'ye tamamlanmış numunelerin analiz aşamalarının fotoğrafları verilmiştir.



Şekil 3.19: a) ve b) Sediment numunelerinin analize hazırlama aşamaları ve c) ICP-OES cihazı ile analiz aşaması.

Çalışma kapsamında yaklaşık 250 örneğe ICP-OES ölçümü için yukarıda adımları sıralanan asitli parçalama işlemi uygulanmıştır. Taşkın ovası çökelleri sıvı faza geçtikten sonra diğer adım ölçüm için standart (kalibrasyon) çözeltilerinin hazırlanması olmuştur.

Kalibrasyon işlemi, her bir element için ve 4 farklı konsantrasyon değeriyle ve korelasyon katsayısı ( $R^2$ ) en az 0.99 olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon işlemi için 4 farklı mix çözeltiler hazırlanmıştır. Ölçümü yapılacak her element için değişen standart çözeltiler bu mix solüsyon içerisinde birbiri ile reaksiyona girmediğine, mix çözeltilerinde buğulanma benzeri durumlar olmamasına dikkat edilmiştir. Kalibrasyon işleminin ardından, katı fazdaki numunelerden ıslak yakma metoduyla sıvı çözeltilere geçirilmiş olan örneklerdeki iz elementler ve ağırmetal konsantrasyonları ICP-OES cihazı yardımıyla ölçülmüştür.

Ölçümü yapılan eser elementler, kalibrasyon katsayıları ve standart konsantrasyonları Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1: ICP-OES cihazında ölçülen elementler ve kalibrasyon katsayıları.

Sıra No	Elementler	$R^2$ Değerleri
1	Zr	0.999215
2	Sr	0.999854
3	Cr	0.999949
4	Ni	0.999994
5	Co	0.999945
6	V	0.999941
7	Y	0.999772
8	Sc	0.999843
9	Cs	0.999062
10	Cu	0.999981
11	Zn	0.999984
12	Pb	0.999933
13	Rb	0.999964

### 3.3.2.2 WD-XRF Analizleri

Çalışma kapsamında, Gebze Teknik Üniversitesi Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü bünyesinde yer alan Rigaku ZSX Primus IV Tube-Above Wavelength Dispersive X-Ray Fluorescence (WD-XRF) cihazı ile element ölçümleri yapılmıştır.

WD-XRF, floresan spektrumunu her elementin ayrı dalga boylarına dağıtmak için kristaller kullanır ve element konsantrasyonlarının doğru belirlenmesi için yüksek çözünürlük ve düşük arka plan spektrumları sağlar. Dalgaboyu Dağıtıcılı X-Işını Floresans Spektroskopisi (WD-XRF), malzemelerin kimyasal element bileşimini, karakteristik radyasyonlarına dayanarak hem niteliksel hem de niceliksel olarak ölçen fiziksel bir analitik tekniktir. WD-XRF diğer spektroskopik yöntemlere göre bazı avantajlar sunmaktadır. Herhangi bir faz değişimi yapmadan (katı veya sıvı örnekleri, gevşek pudra veya preslenmiş pudra) örneklerden multi-element analizi doğrudan yapılabilmektedir. Örneklerin ölçüm için hazırlık süreçlerinin kısa ve basit olması, cihazların birden çok sayıda örneği ölçüm tablasında bulundurup sırayla ölçebilmesi gibi çeşitli avantajları vardır. Kısa analiz süresi ve bu tekniğin kullanım kolaylığı, düşük algılama limitleri ise, WD-XRF spektrometresinin diğer avantajlarıdır.

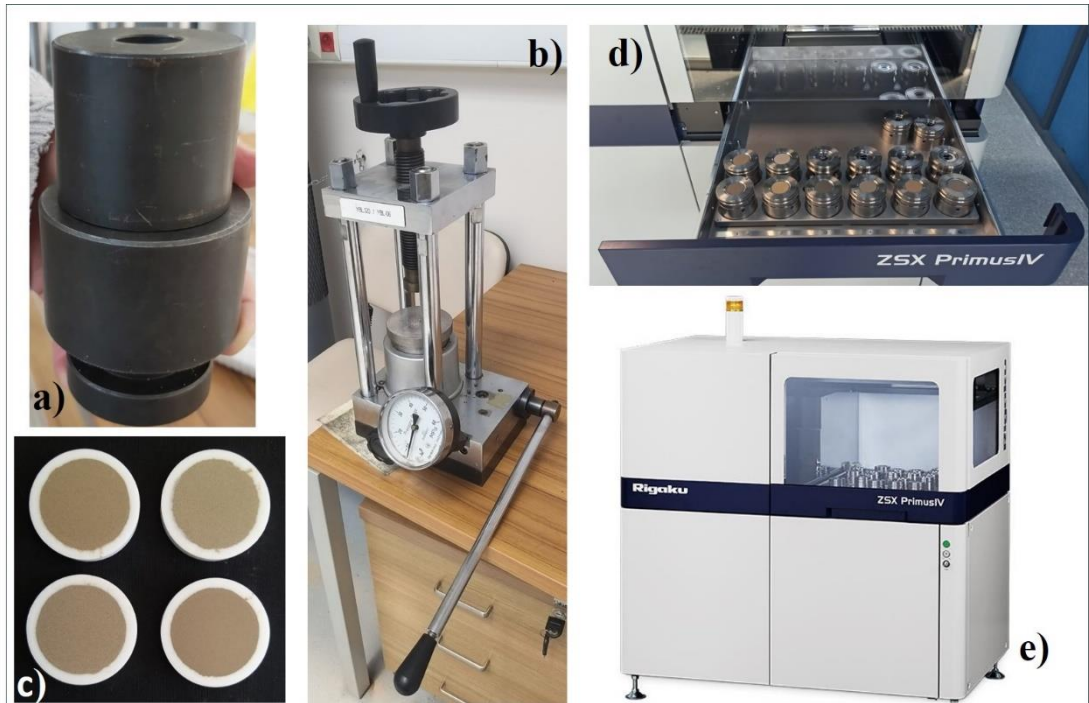
XRF tekniği, element bileşimini ve birim alan başına element konsantrasyonunu ölçmek için kullanılan temassız, tahribatsız bir tekniktir. XRF yöntemi katı,sıvı vb, çok çeşitli numune tiplerinde Berilyumdan (Be) Uranyuma (U) kadar majör ve eser atomik elementlerin oldukça az sayıda standart kullanarak hızlı nicel tayinini sağlar.

Bu tez kapsamında taşkın ovası çökelleri ile çalışıldığından örnekler herhangi bir faz değişimine maruz bırakılmadan katı halleriyle ölçülmüştür. Farklı tane boylarına sahip çökeller agat havanda öğütülerek pudra boyutuna getirilmiştir. Ardından pudra haline getirilen örneklerden, hidrolik pres cihazı ile pelletler hazırlanmıştır (Şekil 3.20). Tüm analitik ölçüm yöntemlerinde dikkat edilmesi gereken hususlar, XRF için örnek hazırlama aşamasında da oldukça önemlidir. Numunelerin preslendiği kapların her örnekten sonra temizlenmesi, preslenen örneklerin ölçüm sırasını beklerken tek tek kilitli torbalarda saklanması, bağlayıcı olarak kullandığımız borik asitin numune ile okuma yapılan pellet yüzünde karışmaması, pelletlerin çatlak içermemesi gibi örnek hazırlama ayrıntıları, sonucu etkileyebilecek düzeyde önemlidir.

XRF cihazı ile ölçüm, EZ-Scan isimli, cihazın kütüphanesine bağlanan bir program ile yarı-kantitatif analiz yapma imkanı sağlayan bir uzantı kullanılarak tamamlanmıştır. Bu program ile her örnek için 8 dk çekim süreci uygulanmıştır. Cihaz, 12 adet örnek kapasitesine sahiptir ve ölçümler 12 şer setler şeklinde tamamlanmıştır.

XRF cihazı ile tekil örneklerin sıkıştırılmış pudra (pressed powder) halinde pelletlerden element okuması yapılmıştır. XRF cihazı ile H-1 ve H-2 kesitine ait toplam 154 örnekte major oksitler % cinsinden ölçülmüştür.

Şekil 3.20’de pudra halindeki örnek ve borik asit ilavesi ile pelletlerin hidrolik preste oluşturulması (a,b,c). Ölçümü yapılmadan hemen önce pelletlerin cihaz içindeki konumu (d) ve WD-XRF cihazı (e) gösterilmektedir.

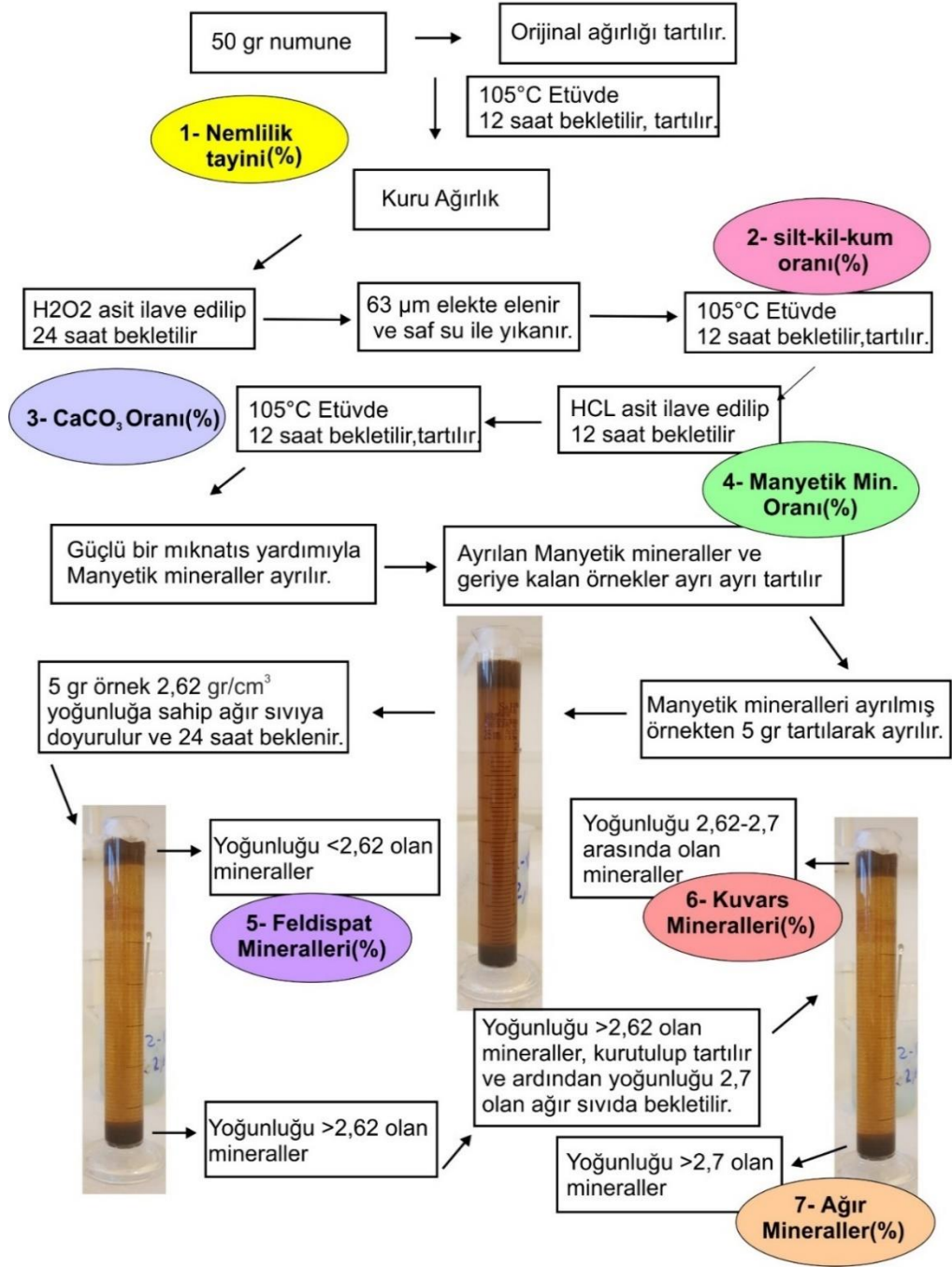


Şekil 3.20: XRF ölçümü için üretilen pelletlerin yapım aşamaları (a, b, c) ve ZSX Primus IV cihazının görünümü (d, e).

### 3.3.3. Yoğunluğa Göre Mineral Ayırma Analizi (SPT)

Yoğunluk farklılıklarına göre mineral ayırma analizi pek çok tarihlendirme yönteminde kullanılan temel bir laboratuvar sürecidir. Bu çalışma kapsamında lüminesans tarihlendirme yöntemi için mineral ayırma protokolünde kullanılan benzer bir analiz taşkın ovası çökellerinin mineral kompozisyonunun ayırt edilmesi amacıyla kullanılmıştır. Lüminesans için mineral ayırma kırmızı ışık altında yürütülürken, bu analiz yöntemi normal gün ışığı altında yürütülmüştür çünkü hedef tarihlendirme amacıyla mineral ayırma değildir. Literatürde benzer bir uygulamaya rastlanılmamıştır ve ilk defa kesit boyunca mineral topluluklarının anlaşılması, anomalilerinin ve dağılımının tespiti için bu çalışma kapsamında üretilmiş ve uygulanmıştır. Boğazköy kesitinin iki kolon kesitinin tamamında, (H-1, H-2) toplam 154 örnekte bu analiz uygulanmıştır. Uygulanan bu laboratuvar işleminin adımları Şekil 3.21’de ayrıntılı olarak akış şeması halinde verilmiştir.

## Yoğunluğa Göre Mineral Ayırma Analizi (SPT) Aşamaları

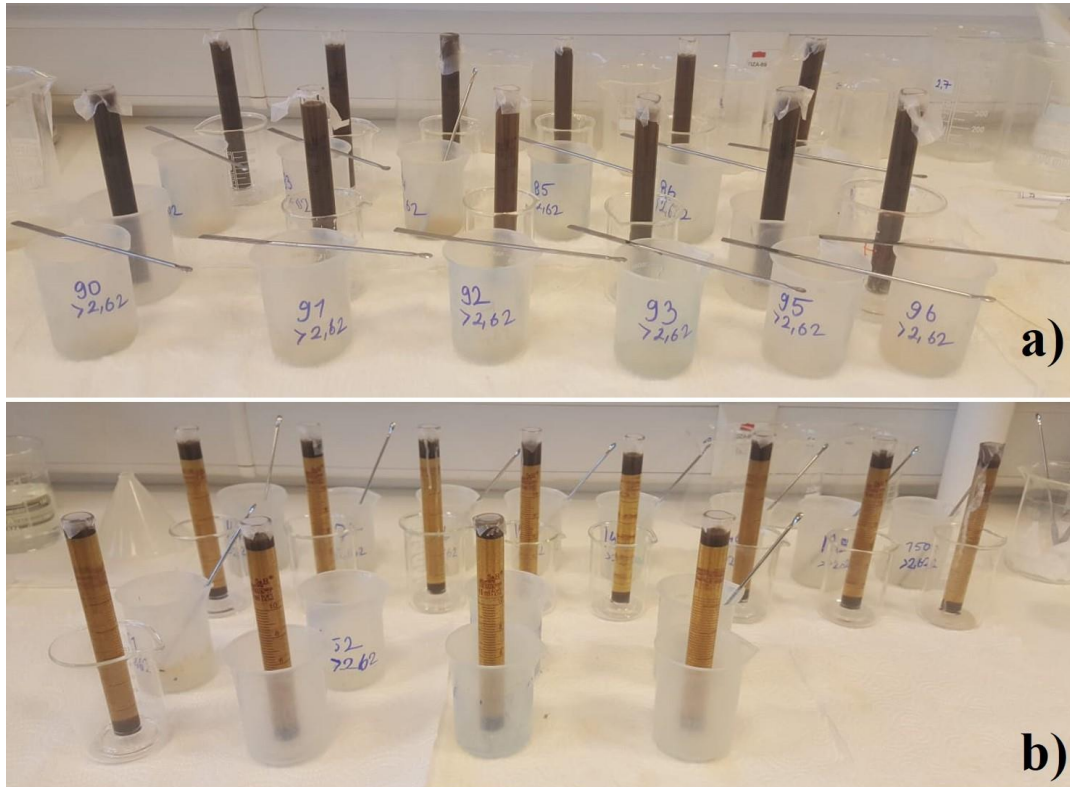


Şekil 3.21: Yoğunluğa göre mineral ayırma analizi (SPT/ Ağır sıvı) aşamaları akış şeması.

Bu çalışma kapsamında kullanılan ağır sıvı, SPT kısaltması ile kullanılan, Sodyum politungstate adlı bileşiktir. Suda kolayca çözünebilen, yoğunluğu 3 gr/cm<sup>3</sup> olan beyaz kristal şekilli bu kimyasal 2,62 gr/cm<sup>3</sup> ve 2,7 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluklarında ultra saf su ile seyreltilerek elde edilmektedir. SPT'nin yoğunluğu ortam sıcaklığına göre değişkenlik göstermektedir. Dolayısıyla analiz yapılırken SPT'nin yoğunluğa her

işlem aşamasından önce sıklıkla hidrometre ile ölçülmüştür. Bu analiz Şekil 3.21’de de görüldüğü gibi pek çok aşamadan geçerek yapılmaktadır. Amacımız; hedef minerallerin; feldispat, kuvars ve daha ağır minerallerin taşkın fasiyesleri içerisindeki değişimlerini incelemektir ve bu amaçla mineral saflaştırma aşamalarında geçirilmektedir. Mineraller yoğunluk farklarına göre mezürde dibe çöker ya da üst kısımda birikirler. Bu aşamada farklı yoğunluktaki mineraller kağıt filtreler yardımıyla süzülerek ayrıştırılır (Şekil 3.22).

Analiz yorumlanırken, sınıflandırdığımız her bir yoğunluktaki (<2,62-feldispat, 2,62-2,7-kuvars, >2,7-ağır mineraller) minerallerin büyük çoğunluğunun binoküler mikroskop ile de analizi yapılmış ve %70’in üstünde hedef mineralin saflaştırılabildiği gözlenmiştir.



Şekil 3.22: Ağır sıvıya doyurulmuş numunelerin a) fotoğrafı ilk hallerini, b) fotoğrafı ise 24 saat bekleddikten sonra minerallerin yoğunluğuna göre ayrıştığı hallerini göstermektedir.

### 3.3.4. Mikroplastik Analizleri

Mikroplastikler; su, hava, toprak, sediment, nehir kanalı çökelleri, deniz tabanı çökelleri, delta ortamları, göl tabanları, leveler-güncel taşkın ovası çökelleri gibi pek çok ortamda bulunurlar. Bu çalışma kapsamında taşkın ovası ve güncel leve alanlarında mikroplastikler incelenmiştir.

Çalışma havzasındaki mikroplastik varlığı, yoğunluğu, sayısı ve hatta kesitteki konumuna bağlı olarak tarihsel kaydı güncel taşkın ovasının üst kesimlerinden, nehrin leve kısımlarından çökel örnekler alınarak araştırılmıştır.

Çalışma kapsamında Boğazköy kesitinde ve çevresindeki leve ve gölet alanlarından alınan 5 farklı noktanın üç farklı derinliğinden alınan 15 örnekte mikroplastik varlığı araştırılmıştır (Şekil 3.23).



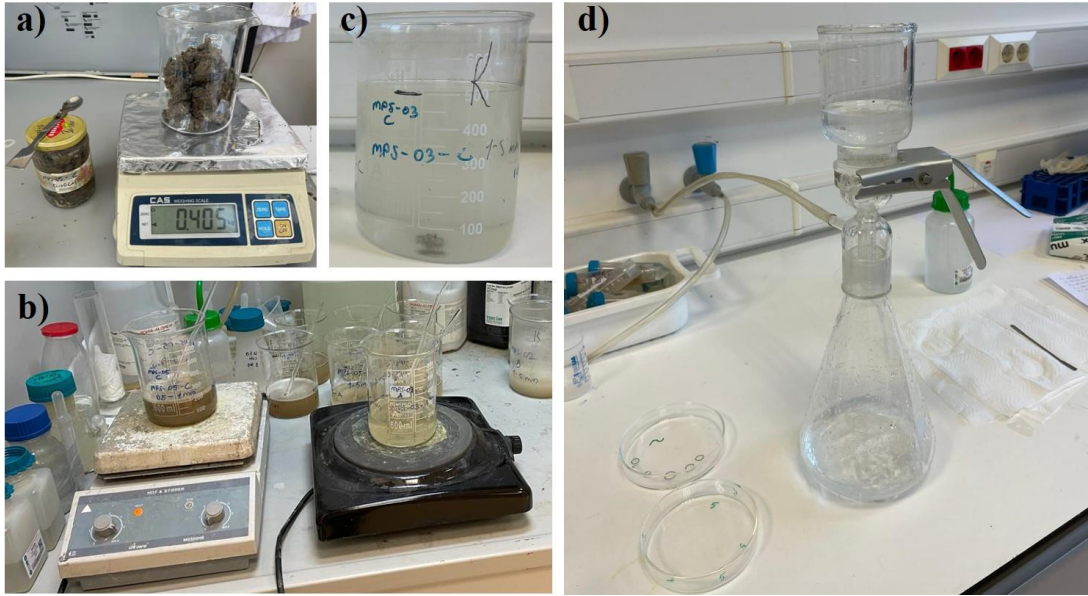
Şekil 3.23: Çalışma alanından mikroplastik analizi yapmak üzere örnek alınması çalışmaları.

Arazide örnekler saf su ile steril edilmiş cam kavanozlara alınmıştır. Mikroplastik varlığının derinliğe göre değişim gösterdiği bilinmektedir. Bu sebeple her bir noktadan numuneler 3 farklı derinlikte alınmıştır.

Mikroplastik analizi için örnek hazırlama aşağıda sunulmaktadır;

Cam kavanozlara alınan örnekler cam beherlerde tartıldıktan sonra (Şekil 3.24 a) killerin dağılması ve elek işleminin kolaylaşması amacıyla saf suya doyurulmuş ve ıslak elek öncesi bir gün bekletilmiştir. Ardından 5, 1 ve 0.5 mm'lik çelik eleklerde saf su kullanılarak ıslak elek yapılmıştır. Elek işleminin ardından 1-5 mm ve 0.5-1 mm olmak üzere iki fraksiyon 75°C'ye ayarlı etüvde elekten aktarılırken behere biriken su buharlaştırılmıştır. Her bir örnekten iki farklı fraksiyonla birlikte 30 farklı beher içerisinde numune ile çalışma yürütülmüştür. Ardından beherlere %30 derişime sahip

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ilave edilmiştir ve oksidasyona maruz bırakılmıştır. Asit içerisinde bir gün doğal reaksiyon haliyle bekleyen örnekler sıcak tablalara alınarak hem reaksiyonu hızlandırmak hem de asiti buharlaştırmak amacıyla sıcak tablada yaklaşık 75-80°C sıcaklıkta ısıtılmıştır (Şekil 3.24 b). Isıtma işlemi her bir örnek için iki kez tekrarlanmıştır.



Şekil 3.24: Mikroplastik Çalışması Laboratuvar Analizlerinde Örnek Fotoğraflar. a) Mps tartım aşamasını, b) Islak peroksit oksidasyon işlemi, c) NaCl yüzdürme işlemi, d) vakum filtrasyon aşamasını ifade etmektedir.

Numuneler içerisinde yüksek miktarlarda organik malzeme bulunduğundan organik malzemenin tamamen giderilmesi mümkün olmamıştır. Bunun için daha yüksek konsantrasyonlu peroksit ve kaynatma seçenekleri mevcuttur ancak bu protokoller mikroplastiklerin parçalanması, renklerinin solması gibi durumlara neden olabildiğinden bu çalışmada tercih edilmemiştir. Islak peroksit oksidasyon işlemi beher içerisindeki asitli numunenin buharlaşarak 50 ml seviyelerine inmesi ile sonlanmış ve yüzdürme işlemine geçilmiştir. Bu çalışma kapsamında 5 M NaCl çözeltisi (yoğunluğu 1,2 g/cm<sup>3</sup>) kullanılmıştır. Cam beher içerisindeki 50 ml seviyesindeki asitli numune NaCl çözeltisi ile 500ml'ye tamamlanmıştır (Şekil 3.24 c). Cam çubuklar ile karıştırılan numune yüzdürme işlemi için bekletilmiştir. Yaklaşık 3 saat yüzdürülen numuneler vakum filtrasyon sistemi ile süzülmüştür (Şekil 3.24 d). Vakum filtrasyonda 1,12 mikronluk cam elyaf filtre kağıtları kullanılmıştır. Filtre kağıtları, 75 °C etüvde 2 saat bekletilip desikatör içerisinde de 30 dk bekletilerek sabit

tartıma getirilmiştir. Filtrasyon sonrası tekrar 75°C etüvde 2 saat bekletilip kurutulan süzölmüş örneğlerin yer aldığı filtre kağıtları desikatör içerinde 30dk bekletildikten sonraki tartımları not edilmiştir.

Vakum filtrasyon sonrasında tartımı yapılan filtre kağıtları cam petri kapları içerisinde muhafaza edilmiştir. Ardından Leica Binoköler mikroskop ile fotoğraflanmış ve mikroplastikler sayılmıştır.

### **3.4. Tarihlendirme ve yaş modelinin kurulması**

Bu alışma kapsamında detaylandırılan 14 m genişliğinde 3.5-4 m yüksekliğine sahip Boğazköy kesitinde gözlenen çökel paketlerinin tarihlendirilmesi amacıyla, birçok farklı tarihlendirme yöntemi ve yaklaşımı uygulanmıştır. Bu yöntemler hem analitik hem de tarihsel/olaysal niteliktedir.

Tarihlendirme analizleri ve modelleme çalışmaları bu tez çalışmasının desteklendiğı 121Y110 TÜBİTAK projesi kapsamında yürütölmüş ve elde edilen bulgular tez çalışmasının sonuçlarının yorumlanabilmesi amacıyla kullanılmıştır. Boğazköy kesitinde gözlenen sedimanter fasiyelerin tarihlendirilmesi söz konusu projenin en önemli hedeflerinden birisini oluşturmaktadır. Bu nedenle, Lüminesans Tarihlendirme, Radyokarbon, Dendrokronoloji ve Olay seviyesi tarihleri olmak üzere 4 farklı yöntemden faydalanılmıştır. Her bir yöntemin uygulanış şekli aşağıdaki bölümlerde kısaca sunulmuştur.

#### **3.4.1. Lüminesans Tarihlendirme**

Bu bölümde tez çalışmasının de desteklendiğı 121Y110 Numaralı TÜBİTAK Projesinde detaylandırılan lüminesans protokolleri yer almaktadır. Kesit genelinin temizlenmesi ve karelajlanmasını takiben önemli bulunan seviyelerden kesit boyunca ve enine 14 adet lüminesans örnek alınmıştır.

Lüminesans yöntemi ile tarihlendirme, çökelme süreçleri sonucu ışık ve ısıdan soyutlanan çökel tanelerin içerisindeki lüminesans sinyalinin ölçölmesi olarak tanımlanabilir [Aitken, 1998]. Bu sinyal, içinde bulunduğı kapanlardan taşınma sırasında tamamen boşalmaktadır. Gömölme sonrasında çevrede bulunan U, Th, Rb ve K gibi radyoaktif elementlerden yayılan  $\alpha$ ,  $\beta$  ve  $\gamma$  parçacıklarının etkisiyle

lümnesans tuzakları yeniden dolar. Araziden ışık görmeden alınan örneklerden hedef minerallerin karanlık ortamda ayrılması ve eş değer dozunun ölçülmesi ile yıllık çevre dozu oranının belirlenmesi, lümnesans yönteminin temelini oluşturur.

Temel silikat mineralleri olan kuvars ve potasyum feldispat kristalleri içerisinde, mineralin oluşumu ve sonrasında da iyonize edici radyasyona maruz kalmasıyla, kafes yük yapısında bozulmalar gerçekleşir. Bu yük bozukluk yapıları, çeşitli derinlik tuzaklarında elektron saklamaya olanak vermektedir [Duller, 2008], [Mellet, 2013], [Forman, 2015]. Minerallerin ışık ve sıcaklığa (en az 300°C) maruz kalması söz konusu tuzakların uyarılarak boşalması, başka bir tabirle ölçülebilir oranda kalıntı seviyesine inmesi ile sonuçlanır.

Lümnesans çevrimi, sedimanter süreçler içerisinde aşınma, taşınma sırasında sinyal sıfırlanması ve gömülme aşamalarında da iyonize edici radyasyona maruz kalma olarak gerçekleşir, böylece lümnesans tarihlendirme, çökelin depolanma yaşının belirlenmesine yönelik önemli bir yaklaşım sunabilmektedir.

Ölçümler Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü Lümnesans tarihlendirme araştırma laboratuvarında bulunan Risø TL/OSL DA-20 okuyucusunda yapılmıştır.

### **3.4.1.1 Örneklem Aşaması**

Örnekler, örnek yerinin temizlenmesinden sonra 20 cm uzunluğunda 5 cm çapında ışık geçirmez PVC boruların kesite dik ve hedef tabaka içine borulara uygun çapta üretilen PE tapa ve balyoz kullanılarak çakılması ile elde edilmiştir. PVC borunun ön ve arka kısımları alüminyum folyo ile örnek sıkıştırılmış ve ışık geçirmez siyah bantla kapatıldıktan sonra ışık geçirmez torbada saklanmıştır. Her bir örneğin koordinatları kesitin karelaj sistemi içerisinde belirlenmiş ve yüzeyden derinliği ölçülmüştür.

### 3.4.1.2 Mineral Ayıklama Aşaması

Lüminesans tarihlendirme için kullanılan hedef mineraller olan kuvars ve K-feldispat kristallerinin örnek tüpünden ayrıştırılması, kırmızı ışık ile aydınlatılmış karanlık odada yürütülmektedir.

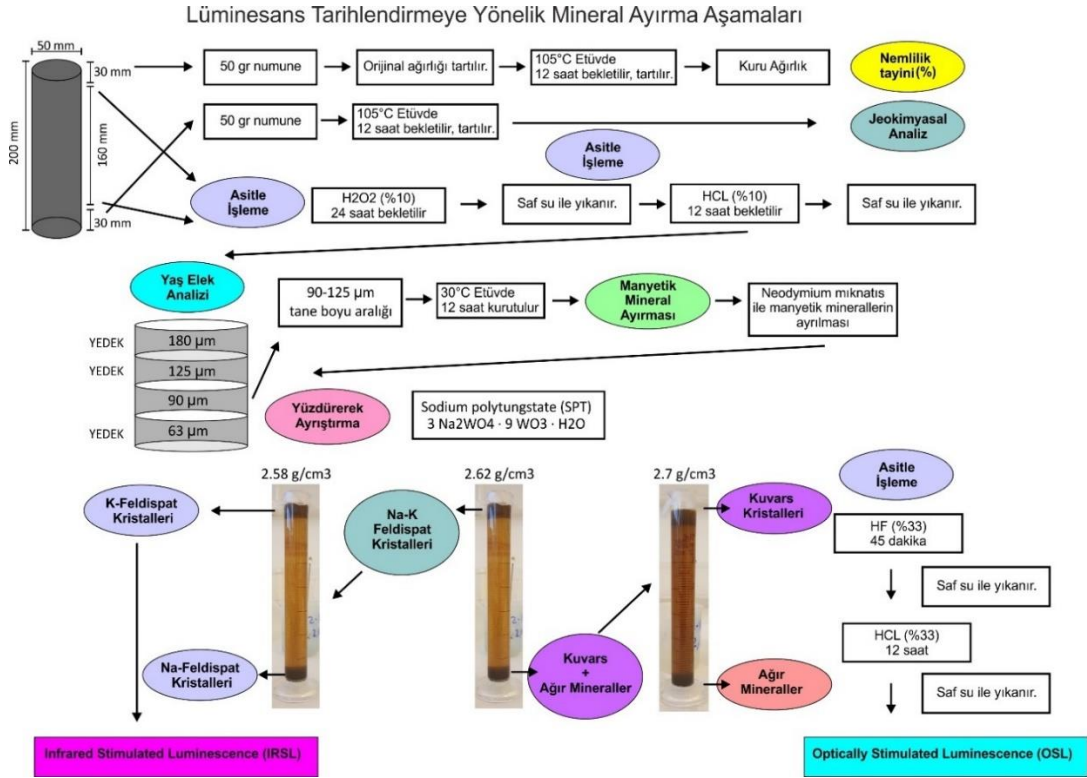
Lüminesans tarihlendirme amaçlı testler ve eş değer doz ölçülmesi için 5-10 gr saf kristale ihtiyaç duyulmaktadır. Çökellerin çeşitli fiziksel ve kimyasal işleme tabi tutulması olarak tanımlanan bu ayırma aşamaları Şekil 3.25’de sunulmaktadır.

Mineral ayırma aşaması ilk olarak çökellerdeki karbonatların çözülmesi için HCl (%10) ve sonrasında da organik bileşenlerin ayrılması için H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (%10) ile doyurulur. Bu işlemler çökel ve çözelti arasındaki reaksiyon bitene kadar sürdürülür.

Manyetik mineraller, güçlü bir mıknatıs yardımıyla ayrıştırılır. Örnek daha sonra ıslak elek yöntemiyle 180-63 µm arasında çeşitli fraksiyonlara ayrılır. Bu aşamada en bol olan fraksiyon seçilebilir ancak saçılım ve uygulama kolaylığı anlamında en ideal tane boyu 90-140 µm olarak belirlenmiştir.

Üçüncü aşamada seçilen fraksiyonun ağır sıvıda yüzdürülmesi ile hedef minerallerin ayrıştırılmasıdır. Bu amaç için çeşitli ağır sıvılar kullanılabilir, bu çalışmada ise sodium polytungstate, SPT (~2.9 g/cm<sup>3</sup>) kullanılmıştır. Granül halde temin edilen SPT, çeşitli oranda arı su içerisinde çözülerek üç farklı yoğunlukta (2.58; 2.62; 2.7 g/cm<sup>3</sup>) sıvı elde edilir. Bu sıvılarda yüzdürme ile K-Feldspat → Na-Feldspat → Kuvars → ve apatit ile zircon gibi ağır mineraller birbirinden ayrılır.

Dördüncü aşamada kuvars kristalleri hem mineral topluluğunu saflaştırmak hem de alfa emisyonunu ortadan kaldırmak için dış 10-20 µm kesimini aşındırmak için %33 derişiminde Hidroflorik asite ~40 dk maruz bırakılır. Bu aşamada oluşabilecek ikincil karbonatlar örnek saf suda yıkandıktan sonra %33 derişiminde HCL ile eritilir (Şekil 25).



Şekil 3.25: Lüminesans amaçlı mineral ayırma prosedürünün akış şeması.

### 3.4.2. Radyokarbon

İnceleme alanında Sakarya Nehir yatağının 10 m derine kazılması ve kum ocaklarının faaliyetleri sonucunda oluşan Boğazköy kesiti bu çalışma kapsamında temizlenmiştir. Kesitin temizlenme sürecinde bulunan organik malzemeler nokta koordinatları ile etiketlenerek alüminyum folyo içerisinde örnek poşetlerinde saklanmıştır. Kesit boyunca 15 noktadan organik karbon örneği alınmıştır. Bu örneklerden 5 tanesi (BOG-00 – 04) TÜBİTAK MAM AMS Laboratuvarına tarihlendirme amacıyla gönderilmiştir.

### 3.4.3. Dendrokronoloji

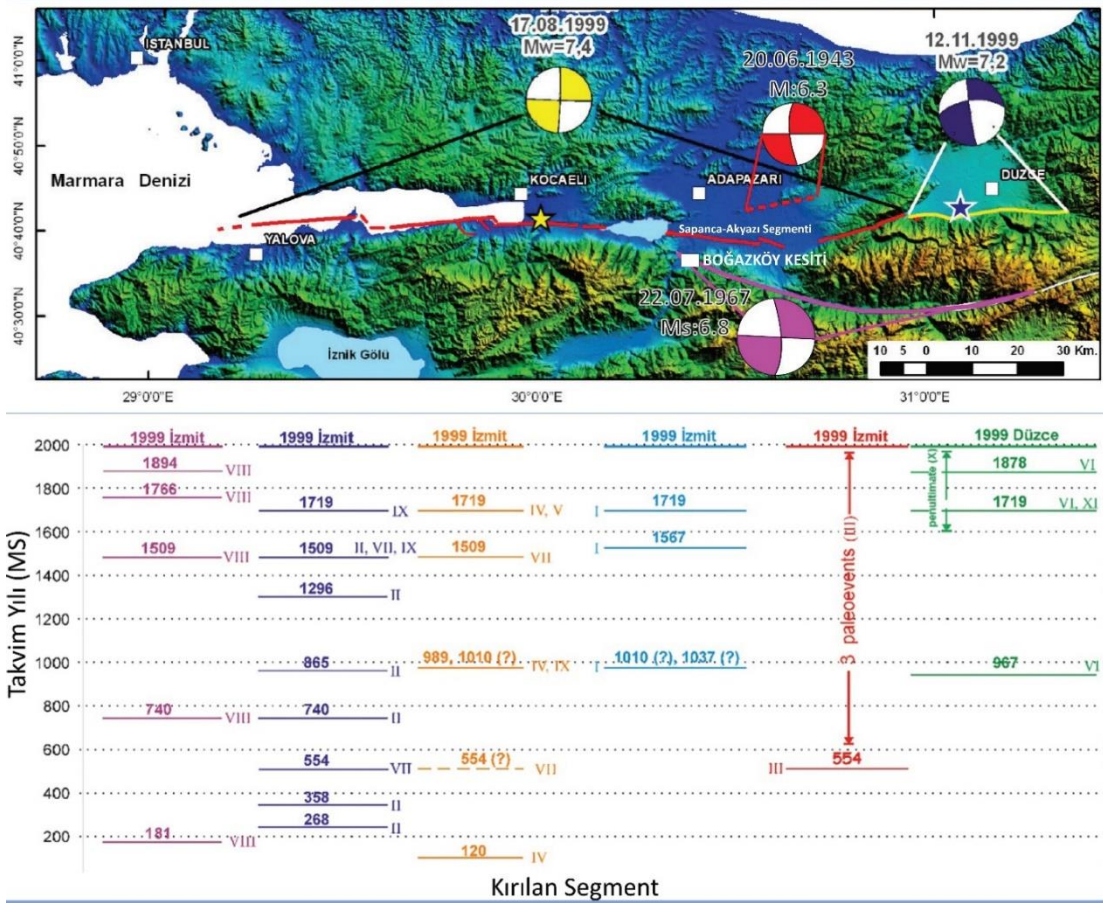
Dendrokronoloji, yıllık halkalara dayanarak yaş saptama bilimi olarak tanımlanmaktadır. Yıllık halka genişlikleri ölçülerek elde edilen ‘ana kronolojiler’, başlangıç ve bitiş yılları belli olan kronolojilerdir. Hangi yıllara ait olduğu bilinmeyen hareketli kronolojiler elde edildikten sonra, bunlar takvim yılları belli olan ana kronoloji üzerinde gezdirilmekte ve çakıştığı yıllar belirlenmektedir. Bu şekilde bir

yandan ana kronoloji geriye uzatılmakta, diğer yandan da tarih belirleme çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Bu tez çalışmasında, Sakarya Nehri güncel taşkın ovasında yaygın olarak işletilen kum ocaklarında, taban çakılların içerisinde gömülü olarak yer yer gözlenebilen, fosilleşmiş ağaçların yaş tayininin yapılması dendrokronoloji yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında yerinde iki adet ağaç kütüğü bulunmuştur. Bunlardan yalnızca birisi dendrokronolojik olarak değerlendirmeye uygun bulunmuştur.

#### **3.4.4. Olay seviyesi tarihleri**

İnceleme alanı aktif tektonizma ve deprem açısından aktif bir bölgede yer almaktadır. Bölgede yer alan Kuzey Anadolu Fay Zonu'na ait fay segmentleri 20.06.1943 Adapazarı (M:6.3); 22.07.1967 Mudurnu Vadisi (Ms:6.8), 17.08.1999 Doğu Marmara (Mw: 7.4) ve 12.11.1999 Düzce (Mw: 7.2) depremleri ile tamamen kırılmıştır (Şekil 3.26).

Tarihsel dönemde Kuzey Anadolu Fayı'nın (KAF) batı kesiminde, Marmara Denizi'nin doğu kesimini etkileyen önemli bir deprem kaydı yer almaktadır. 25 Mayıs 1719 yılında gerçekleşen bu deprem sonucunda İstanbul'un doğu kesimi, İzmit Körfezi ve Sapanca hattı üzerinde önemli yıkımlar ve can kayıpları gerçekleşmiştir [Ambraseys and Finkel, 1995]. Ambraseys ve Jackson, (2000) bu depremin büyüklüğünü Ms:7.4 olarak hesaplamışlardır. Kuzey Anadolu Fayı 17 Ağustos 1999 (Mw:7.4) depremi yüzey kırığı üzerinde yapılan paleosismoloji çalışmalarında 1719 depreminin İzmit-Sapanca Gölü (ISGS) ve Sapanca-Akyazı (SAS) segmentlerini kırıdığını tespit etmişlerdir (Şekil 3.26) [Langridge et.al., 2002], [Ferry et.al., 2004], [Dikbaş, 2009], [Dikbaş ve Akyüz, 2010], [Dikbaş vd., 2018]. Boğazköy kesiti, KAF-SAS fayına 7 km dik uzaklığa sahiptir.



Şekil 3.26: İnceleme alanı ve yakın çevresinde son yüzyıl içerisinde gerçekleşen depremler.

Bu çalışma kapsamında kesit içerisinde bir seviyede yumuşak çökel deformasyonu gözlenmektedir ve bu bir sismit seviyesi olarak kabul edilmiştir. Çalışma kapsamında yaş modelinin kurulması aşamasında diğer bir olay seviyesi olarak; kesitte stratigrafik ve analitik veriler ile oluşturulmuş taşkın seviyeleri belirlenmiştir.

Bir başka olay seviyesi veya yaş modeli için kabul olarak nitelendirilebilecek durum ise, çalışma alanının son 40 yıldır geçirdiği antropojenik değişimler ile kesit tavanının 1950 yılı olarak belirlenmesi olmuştur.



## 4. SONUÇLAR

Bu bölümde tez çalışmasında yürütülmüş olan analitik çalışmaların ve tarihlendirme çalışmalarının sonuçları yer almaktadır. Yapılan analizler; çalışmanın sedimentolojik alt yapısını oluşturan ve taşkın ovası ortamlarında paleo-hidroloji çalışmaları için anahtar öneme sahip olan tane boyu analizi sonuçları, eser ve major elementlerin varlığı, kesit boyunca değişimi ve bunların paleo akış rejimi içerisindeki anlamlarının yer aldığı jeokimya analizlerinin sonuçları, başta mineral kompozisyonun, nemliliğin, kuvars, feldispat gibi temel minerallerin kesitteki değişimlerinin yer aldığı SPT analizi sonuçları, kesitte toprak seviyesinden ve yakın çevre güncel leve noktalarından alınmış çökel örneklerde mikropplastik analiz sonuçlarıdır. Son olarak bu bölüm içerisinde farklı yöntemler ile yapılmış tarihlendirme sonuçlarına yer verilmiştir.

### 4.1. Tane Boyu Analizi Sonuçları

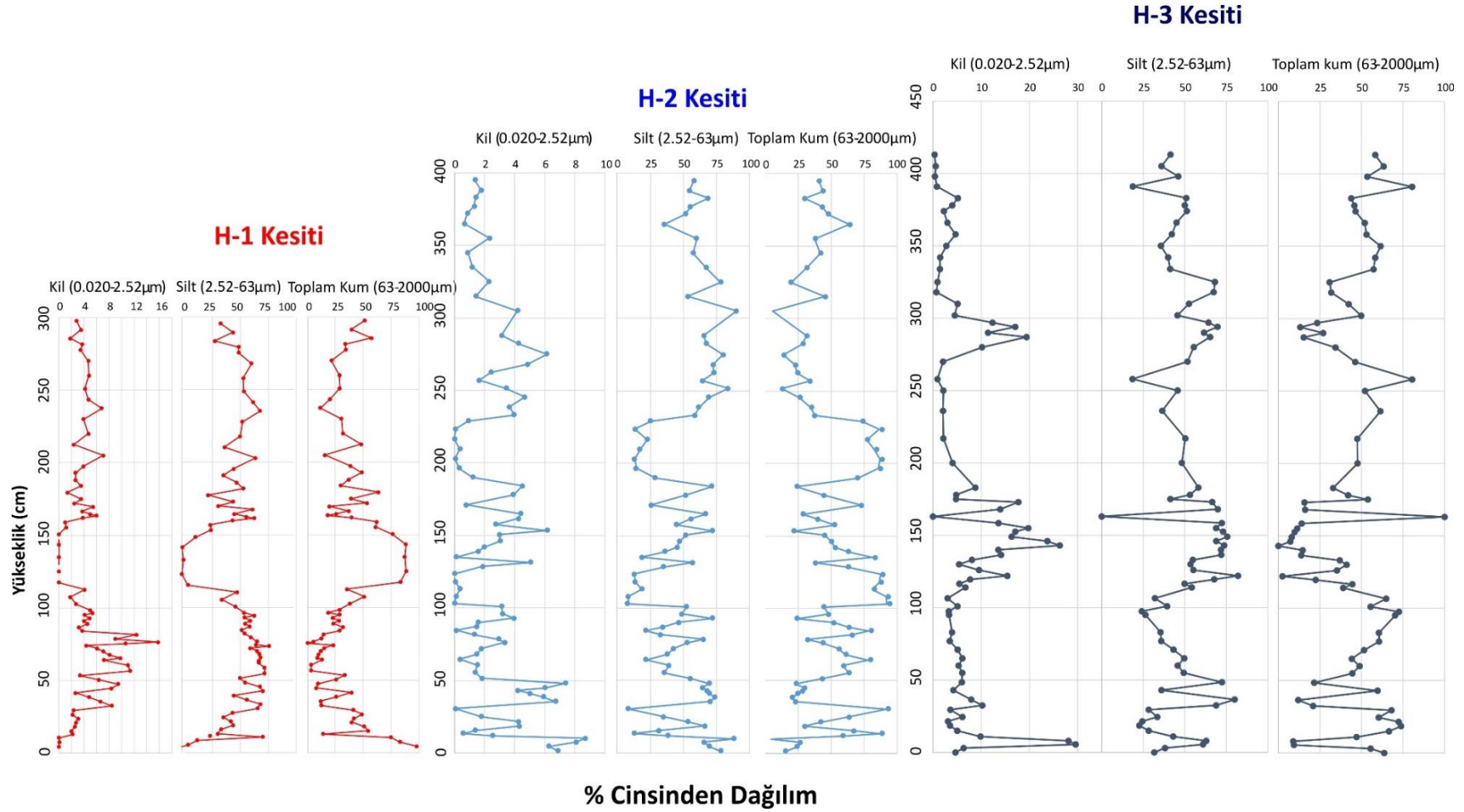
Gerek güncel çökel depoların gerekse görece yaşlı olan sedimanter kayaçların tane boyu dağılımları ve parametreleri karşılaştırılarak ortamlar ve mekanizmalar hakkında çıkarımlar yapılabilmektedir [Kerey ve Erkal 2014]. Akarsu ortamının önemli jeomorfolojik birimlerinden olan taşkın ovası ortamında yürütülen bu çalışma kapsamında yapılan tane boyu analizi ile nehirdeki depolanma boyunca değişen enerji, paleo-debi ve paleo-ortam yorumları yapılmak üzere tane boyu analizi yapılmıştır.

Paleo-taşkın ve kuraklık varlığının geçmiş kanıtlarından en önemli fiziksel gösterge tane boyu değişimi olarak kabul edilir [Benito et.al., 2020]. Nehirlerin debilerinin artış gösterdiği dönemlerde taşıyabildiği tane boyutu da debi ile doğru orantılı olarak artar. Çökel kaynağı da dahil olmak üzere değişkenler mineralojik kompozisyon ve çökel tane büyüklüğündeki önemli değişikliklerin, sel büyüklüğündeki değişimden kaynaklandığı varsayımı, özellikle alüvyon nehirlerinde, flüvyal çökel kayıtlarından sel geçmişlerini yeniden yapılandırmak için kullanılan birçok yöntemde açıkça ifade edilmiştir. Bu varsayım, ilk olarak Hjulström [1935] tarafından ölçülen çökel birikimi için eşik hızının tane büyüklüğü ile ilişkisine dayanmaktadır. Taşkın yatağının topoğrafyası ve sedimentasyon stilindeki değişiklikler (yanal veya dikey yönde birikim), taşkın yatağının belirli bir yerinde

biriken tortunun tane boyutunu da etkiler [Jones et.al., 2012]. Bu nedenle kesitler boyunca nehrin debisindeki değişiklikler ve ortam yorumları yapabilmek amacıyla tane boyu analizi gerçekleştirilmiştir.

Boğazköy kesiti'nde üç kolon kesitte yapılan tane boyu analizini sonuçlarına ait grafikler Şekil 4.1'de sunulmaktadır. Tane boyu analizi sonuçları bu çalışma kapsamında yapılan diğer tüm analitik verilerle korelasyon yapabilmemize olanak sağlayan, analizlerin yorumunda temel yapı taşı olmuştur. Çalışma kapsamında, tane boyunun kilden kuma geçiş yaptığı alanlar ve fasiyeslerde nehrin debisinin arttığı yorumu yapılabilir.

Şekil 4.1'de yer alan tane boyu grafiklerine dayanarak, kum yüzdesinin arttığı alanların taşkın/sellenme olayına, kil ve silt yüzdesinin arttığı alanlara da optimum veya görece kurak ortam olduğu yorumu yapılabilir. Literatürde tane boyunun özellikle paleo-taşkımları belirlemedeki önemli bir belirteç olduğu vurgulanmaktadır [Benito, 2020]. Tane boyu verisi ile kesitte yapılan gözlemler ve çizimler de kıyaslanabilmektedir. Kesit içerisinde çeşitli kanal yapıları gözlenmiştir. Örn: H-1 kesitinde 100-150 cm aralığında gözlenen belirgin bir kanal yapısıdır (Şekil 4.1). Benzer bir kanal yapısı H-1 kesitinin hemen sağ tarafında yer alan H-2 kesitinde yaklaşık 100- 130 cm'ler ve 190-230 cm'ler aralığında belirgin olarak gözlenir. H-3 kesitinde ise debinin artış gösterdiği ve kum boylu malzemenin arttığını 4 veya 5 farklı noktada (örn: 20-30 cm aralığı, 0-120 cm aralığı gibi) gözlemleyebilmekteyiz .



Şekil 3.1: Tane boyu analizi sonuçlarının derinliğe bağlı grafikleri.

Yine tane boyu analizi ile söylenebilir ki akarsu ortamına bağı bir depolanma ortamında yatayda süreklilik beklemek imkansızdır. İlişkiler (tane boyu, fasiyesler vb) çok kısa mesafelerde değışir, ya da kesitte görmemize engel olacak şekilde derine gömülebilir.

H-1 kesiti toplamda enine 17 metrelik bir depolanma ortamının 3-4 m'lik grid içerisinde, H-2 kesiti 8-9 m'lik kısmından, H-3 kesiti ise 15-16 m'lik kısımlarından örneklenmiştir. Fasiyeslerin ve dolayısıyla tane boyu değışiminden yola çıkarak kesitte yatayda devamlılığın olmadığı açıkça gözlenmektedir. Kanal yapıları her üç kesitte de gözlenir ancak bu yapıların birbirinden bağımsız kanallar olduğu arazi gözlemleri ve çizimlerle desteklenir ancak benzer depolanma dönemi- zaman aralıklarında gözlendiğı ve her bir kesitte farklı derinliklerde yer aldığı yorumu yapılabilir.

Boğazköy kesitinde taban çakılları ve onu üzerleyen kaba kumlu fasiyes en net şekilde H-1 kesitinde gözlenmektedir. Kesitte sağa doğru gidildikçe bu seviye derine gömülmektedir. 300 cm kalınlığı gözlenen ve örneklenen H-1 kesitinde tane boyu grafiğinin tabanında kum boylu malzemenin arttığı gözlenmektedir. Arazi gözlemleriyle bu kumların oksitlenmiş oldukları da tespit edilmiştir. H-1 kesitinde taban kum seviyesinin ardından büyük bir kanal yapısı (100-150 cm aralığında) ve ince kum barları (180, 210, 280 cm'lerde) gözlenmektedir (Şekil 4.1).

H-2 kesiti, 17 metrelik kesit boyunca fasiyeslerin en uygun, ayırt edilebilir şekilde gözlendiğı alanlardan biri olduğu için örnekleme amacıyla seçilmiştir. Bu kesitin aynı zamanda kesitin orta noktasında yer alması da Boğazköy kesitini genelleyebilecek kesitin H-2 olduğunu bize göstermektedir. H-2 kesitinde 9 veya 10 farklı noktada tane boyunun kum yüzdesinin arttığını ve bu fasiyeslerin debinin arttığı dönemlerde depolandığını varsayabiliriz. H-3 kesitinde 6 farklı dönemde tane boyunun kum yüzdesinin arttığı gözlenmektedir (Şekil 4.1).

## 4.2. Jeokimyasal Analiz Sonuçları

İnorganik element oranları, deniz ve göl ortamlarında ince taneli çökel dizilerinin paleo-çevre analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır [Boyle, 2001]. Element oranları, bir dizi çevresel gösterge olarak kullanılmıştır. Si/Al, Ti/Al, Zr/Al, Zr/Ti, ve Zr/Rb oranları çevresel değişim analizlerinde sıklıkla kullanılmaktadır [Jones et.al., 2012], [Pears et.al., 2020]. Açık bir sistem olan akarsularda taşkın ovası çökellerinin kimyasal bileşimi drenaj alanında yüzlek veren kayaçların jeokimyasal özelliklerini yansıtır. Örneğin sellenme dönemlerinde nehrin taşıma gücünün artması, çalışma alanına göre uzakta yer alan kaynak kayaçlardan türeyen elementlerin zenginleşmesi beklenir.

Literatürde Zr/Rb oranı Barents Denizi'nden gelen deniz çökellerinin analizinde ve Çin lös platosu'ndan gelen lös çökeltilerinde tane boyu vekili olarak kullanılmıştır [Chen et.al., 2006], [Dypvik and Harris, 2001]. Zr ve Rb elementlerinin tane boyu vekili olarak kullanımı, elementlerin su veya rüzgarla taşınması sırasında belirli tane boyu fraksiyonlarında konsantre olma eğilimine dayanır. Esas olarak nispeten dirençli mineral zirkonda bulunan Zr ince taneli silisiklastik çökellerin iri taneli fraksiyonunda konsantre olma eğilimindeyken Rb, ince taneli silisiklastik çökeltilerin ince taneli fraksiyonunda (özellikle killerde) konsantre olma eğilimindedir [Dypvik and Harris, 2001]. Bu nedenle, çökellerde Zr/Rb oranı artışı, çökel tane boyunun kabalaştığını ve çökeli biriktiren taşkınların deşarjında buna karşılık gelen bir artışı gösterir ve Zr/Rb oranındaki düşüş ise taşkın deşarjlarının görece azaldığını veya durağan bir ortamda bulunulduğunun işareti olabilir [Dypvik and Harris, 2001].

Kaynak kaya kimyası ve çökel taşınımının mesafesi ve enerjisi gibi diğer faktörler de çökeldaki Zr/Rb oranını etkileyebileceğinden [Dypvik ve Harris, 2001], bağımsız tane büyüklüğü verileri ile tortu Zr/Rb oranı arasında bir karşılaştırma yapılarak değerlendirilmelidir [Jones et. al., 2010].

Bu çalışma kapsamında yapılan jeokimyasal analiz sonuçlarına ait grafikler aşağıda sunulmuştur. Çalışmanın bu kısmı ile ilgili genel olarak; inorganik element oranları, başta tane boyu ilişkisi ile bağlamı kurulabilecek değerli sonuçlar sunmuştur. Fasiyelerde elementlerin veya diğer veri türleri ile jeokimya verilerinin karşılıklı ilişkileri her fasiyeste, değişen her olayda ve ortamda önemli değişkenlikler göstermektedir.

### 4.2.1. ICP-OES Analizi Sonuçları

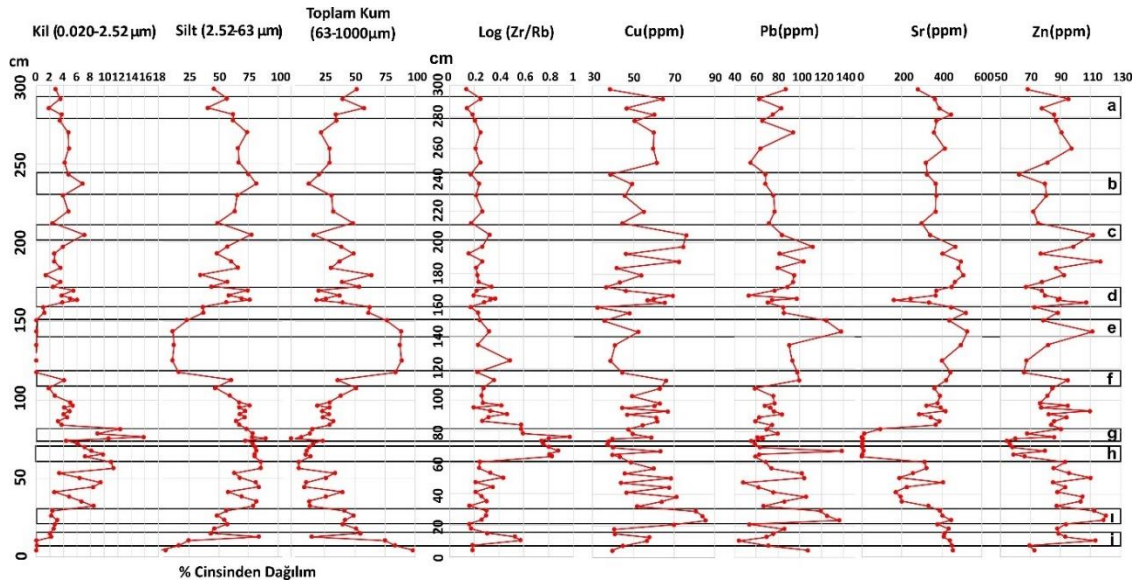
Tane boyu ve element oranları arasında her fasiyeste değişen korelasyonlar söz konusudur. Genel olarak kil tane boyunun arttığı yerlerde ağır metal konsantrasyonlarının arttığı görülmektedir. Aynı zamanda bir taşkın referansı olarak literatürde yer alan Zr/Rb oranı oldukça farklı olarak birinci kesitte kil ve ağır metaller ile pozitif korelasyona sahiptir. Yine birinci kesitte ağır metallerin artış gösterdiği alanlarda kum sınıfı tane boyuna sahip materyal azalmaktadır. Bu durum deniz ve nehir vb. farklı ortamlardaki çökellerde, ağır metallerin kil üzerindeki absorblanma eğilimi ile açıklanabilmektedir [Zhang et.al., 2002], [Kim et al., 2020] Bu gözlemler neticesinde iri tane boyu ile ağır metallerin negatif bir korelasyona sahip olduğu çıkarımı yapılabilir. Bahsedilen bu ilişkilerin derecesi kesit boyunca her fasiyeste birebir aynı olmayıp bir seviyede kil ve ağır metaller yüksek pozitif korelasyon gösterirken başka bir seviyede aynı derecede yüksek bir korelasyon gözlenmeyebilmektedir.

Şekil 4.2-4.4 arasında harfler ile belirtilen alanlar çeşitli element oranları ile tane boyu ilişkilerine örnekler içermektedir. Her 3 kesitteki bu bölümlere bakıldığında jeokimyasal ilişkilerin çok çeşitli olabildiği anlaşılmaktadır.

Literatürde deniz karotlarından yapılan biotürbasyonlu fasiyesler ve laminalı şeyller arasındaki ilişkilerin jeokimyasal olarak farklılaşmasını araştıran çalışmalarda laminalı şeyllerde Cu, Zn gibi ağır metallerin daha yüksek bulgalandığı, Sr'nin ise biotürbasyon olan seviyelerde daha yüksek değerlerde olduğu bulgulanmıştır [Calbert vd., 1996]. Biotürbasyonlu seviyelerdeki yüksek Sr değerlerinin, laminalı yapının bozulduğu ve mevcut tane boyunun çeşitliliğinin arttığı alanlar olduğu yorumu yapılabilir. H-1 kesitinde Sr'un kesit boyunca diğer ağır metallere kıyasla kum tane boyu ile daha fazla korelasyonu olduğu gözlenmektedir. Sr oranını tane boyunun laminalı olmadığı akarsu ortamındaki kanal vb yapıların yer aldığı kum yönünden zengin fasiyeslerde de benzer şekilde görece fazla değerlerde gözlenebildiği anlaşılabilir.

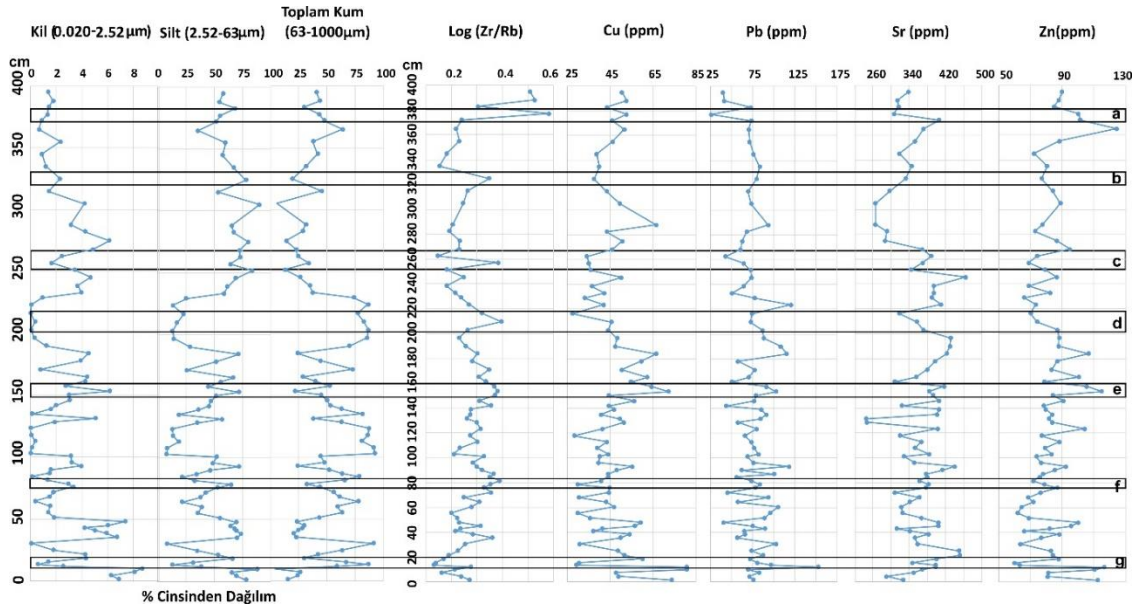
Şekil 4.2'de tane boyu, Zr/Rb oranı ve ağır metallerin dağılımı a harfi ile gösterilen bölge için incelendiğinde tane boyunun arttığı %50'den daha fazla kum olan bir fasiyeste yer aldığı ancak Zr/Rb oranının aynı noktada görece düşük olduğu

görülmektedir. Aynı noktadan alınan örneklerden yapılan Cu, Sr, Zn gibi metallerin analiz değerleri düşük iken Pb diğer ağır metallere zıt bir korelasyon göstermektedir. b ile isimlendirilmiş bölgeye bakıldığında; killi ve siltli bir tane boyu hakim olan bir fasiyeste Zr/Rb oranının görece artış gösterdiğini ve Cu elementinin de görece bununla uyumlu olduğu yorumu yapılabilir. c bölgesinde yer alan ilişki ise yine kil ve silt ağırlıklı bir fasiyeste Zr/Rb oranı ile, Cu ve Zn elementlerinin görece artış gösterdiği söylenebilir. Yine örneğin f isimli bölgede yer alan ilişkilere göre tane boyu kil ve silt ağırlıklı bir noktada Zr/Rb oranı ve seçilmiş ağır metaller pozitif bir korelasyon göstermektedir. Dolayısıyla kesit boyunca ağır metal değişimleri, tane boyu ilişkisi ve literatürde taşkın belirteci olarak kullanılabilen Zr/Rb oranı belirgin bir rutin göstermemektedir. Her fasiyes her bir tane boyu dağılımı ve oran birbirinden farklı şeyler ifade edebilmektedir. H-1 kesiti ile ilgili söylenebilecek en önemli çıkarım, kil miktarının artış gösterdiği bazı noktalarda ağır metallerin pozitif korelasyon gösterme oranının yüksek olduğudur. Bu örneğe uygun en iyi örnekler; d, h, ı, i bölgeleri olarak gösterilebilir. Bu yoruma tamamen zıt olan bölge ise e noktasıdır. Bu fasiyeste kum tane boyu ile diğer seçilmiş ölçümler pozitif korelasyon gösterirler. g bölgesinde yer alan fasiyesten/örnek noktası için yapılabilecek yorum Zr/Rb oranı ile Sr konsantrasyonunun bu kesitte pek çok noktada negatif korelasyon göstermesidir.



Şekil 4.2: H-1 kesiti tane boyu ilişkisi ve ICP-OES yöntemi ölçülmüş eser elementlerin oranları ve derinliğe bağlı değişimleri.

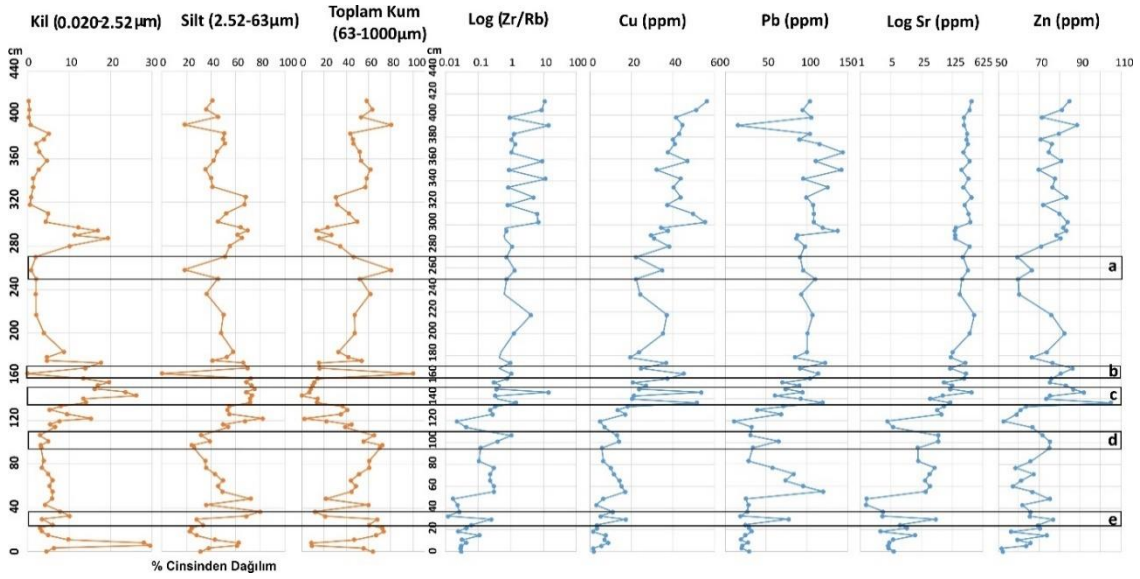
Şekil 4.3’de H-2 kesitinde yer alan tane boyu, Zr/Rb oranı ve ağır metal konsantrasyonlarının dağılımına bakıldığında; a ile gösterilen bölgede, kum ve silt sınıfı tane boyunun yüksek olduğu, Zr/Rb oranının kesitteki en yüksek değeri aldığı ve Cu elementinde artış gözlenirken Pb ve Sr elementlerinde belirgin düşüşlerin olduğu gözlenmektedir. b kutucuğunda, kum miktarı azalırken silt ve kil artmış aynı noktada da Zr/Rb artış göstermiştir. Aynı noktada ağır metallerde belirgin bir artış ya da azalış gözlenmemektedir. c kutucuğunda silt ağırlıklı bir tane boyuna sahip olan bir noktada, yüksek Zr/Rb oranı gözlenmektedir. Aynı noktada Sr dışındaki diğer ağır metaller düşük konsantrasyonlara sahiptir. Sr bu kesitte de pek çok seviyede kum tane boyu ile iyi bir korelasyon gösterdiği söylenebilir. d noktası için kum tane boyunun baskın olduğu bir ortam yorumu yapılabilir. Bu noktadaki örnekleme Zr/Rb oranı ve Cu artış göstermiştir. Diğer elementler ise görece düşük konsantrasyona sahiptir. e ile gösterilen nokta yukarıda da ifade edilen kil ve ağır metaller arasında gözlenen pozitif korelasyona bir örnektir. f ve g noktalarında ise kil/ağır metal ilişkisinin gözlenmediğini söylenebilir.



Şekil 4.3: H-2 kesiti tane boyu ilişkisi ve ICP-OES yöntemi ölçülmüş eser elementlerin oranları ve derinliğe bağlı değişimleri.

Şekil 4.4 H-3 kesitinde yer alan tane boyu, Zr/Rb oranları ve ağır metal konsantrasyonlarının dağılımına bakıldığında; a ve b bölgelerinde, kum tane boyu ile birlikte, Zr/Rb oranında, Cu, Sr ve Zn elementlerinde aynı noktada artış eğilimi

gözlenmektedir. c, d ve e alanlarında ise kil ve silt tane boyu ile artış gösteren ağır metal konsantrasyonlarında artış izlenebilmektedir.



Şekil 4.4: H-3 kesiti tane boyu ilişkisi ve ICP-OES yöntemi ölçülmüş eser elementlerin oranları ve derinliğe bağlı değişimleri.

#### 4.2.2. WD-XRF Analizi Sonuçları

Şekil 4.5-4.6 de sırasıyla H-1 ve H-2 kesitlerinin toplam kum yüzdelerinin yüksekliğe bağlı dağılımı, logaritma parantezinde Zr/Ti, Si/Al, Fe/Al ve Ti/Al element oranları ve örneklerin yaklaşık %90'ını oluşturan dört önemli major oksitin kesitte yüksekliğe bağlı değişen fasiyeslerindeki dağılımları yer almaktadır. Zr/Ti, Si/Al, Fe/Al ve Ti/Al element oranları, literatürde çevresel değişimlerin işaretçisi olarak kullanılmaktadır [Jones et.al., 2012], [Pears et.al., 2020].

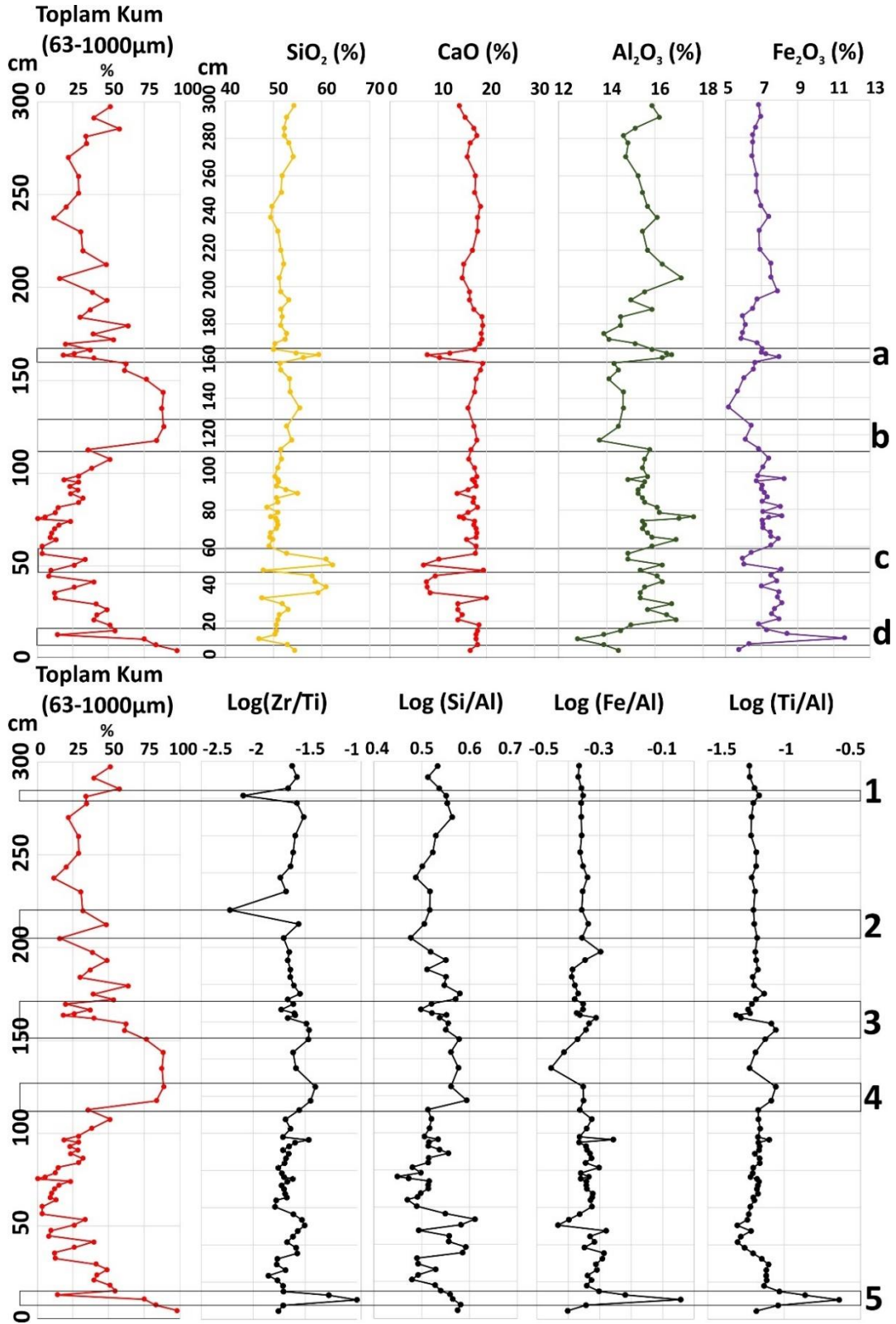
Major oksitlerden; SiO<sub>2</sub>, ölçümü yapılan iki kesitte de çoğunlukla %50'nin üstünde bulgulanmıştır. %50'nin altına düştüğü sınırlı sayıda örnek ise kil-silt tane boyu ağırlıklı laminalı fasiyeslerden elde edilmiştir. Kesitlerde SiO<sub>2</sub> 'in ardından en çok Ca ve Al oksitler yer almaktadır. Bu iki elementi kil-silt tane boylu örneklerin yer aldığı fasiyeslerde görece daha fazla bulunan Fe elementinin oksitleri izlemektedir. Ayrıca Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, kesit tabanında oksitlenmiş olarak gözlediğimiz, taban yükü üstüne gelen çok kaba kum tane boyunda oldukça yüksek konsantrasyonlarda gözlenmiştir.

Şekil 4.5 ile gösterilen H-1 kesitinde SiO<sub>2</sub> ve CaO değerlerinin birbiri ile negatif korelasyon sunduğu gözlenmektedir (Şekil 4.5). Yüzdeler bir dilimde ifade edilen bu

elementlerin en çok bulunan iki tanesinin bir element egemen olduğunda diğerinin azalması, birbiri ile zıt ilişki göstermesi oldukça anlaşılabilir. H-1 kesitinde en belirgin elemental ilişkilerden biri olan tane boyunun kil-silt oranı arttıkça  $Fe_2O_3$  konsantrasyonu artış göstermektedir. Bu da toplam kum yüzdesi ile zıt bir ilişki demektir. Boğazköy kesitinin depolanmadaki görece kurak koşullara hakim olması ile Fe oksit konsantrasyonunun artması çıkarılabilecek sonuçlardan biridir. Dört majör oksitin yer aldığı grafiklerde belirgin piklerin seçildiği 4 noktadan; a kutucuğunun kapsadığı bölgede, toplam kum yüzdesinin belirgin bir şekilde düştüğü bir noktada, kesitte görece yüksek,  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$  ve  $Fe_2O_3$  değerleri yer alırken, CaO yüzdesi görece düşüktür, b noktasında ise, toplam kum tane boyunun artış gösterdiği, bir taşkın/nehirin yüksek debi değerleri ile depolanmış bir ortam olduğu yorumu yapılabilmektedir [Miall, 2006]. Bu noktada  $Al_2O_3$  ve  $Fe_2O_3$  değerleri görece düşük konsantrasyonlarda bulunmuştur. Tane boyu grafiğinden hareketle bir taşkın seviyesinin olduğu bu seviyenin taşkın sonrası ağır metallerin ve manyetik minerallerin taban seviyesinde artış göstermesi hipotezi belirgin bir elemental değişikliğe sebep olmazken yalnızca  $Al_2O_3$  ve  $Fe_2O_3$  değerlerinin düştüğü gözlenmektedir. C noktasında, kum tane boyunda göreceli bir artış ile  $SiO_2$  değerleri artış gösterirken diğer major oksitlerde düşüş gözlenmektedir. d noktasındaki kum tane boyunda kesitte gözlemlenen en belirgin düşüş ve kil ve silt tane boyundaki artış gösterdiği ince tane boylu bir fasiyeste olduğunu gösterir. Bu noktada  $Fe_2O_3$  değeri kesitteki en yüksek seviyededir.  $SiO_2$  ve  $Al_2O_3$  değerlerinin ise kesitte en düşük konsantrasyonlarda bulgalandığı bir bölgedir.

Şekil 4.5 ile gösterilen, H-1 kesitinde  $\log(Zr/Ti)$ ,  $\log(Si/Al)$ ,  $\log(Fe/Al)$  ve  $\log(Ti/Al)$  element oranlarına bakıldığında;  $\log(Si/Al)$  oranının tane boyu ile iyi bir korelasyon gösterdiği, logaritması alınan element oranlarına ait piklerin de belirginleştiği görülmektedir.  $\log(Fe/Al)$  oranı ise tane boyunun küçüldüğü fasiyeslerde artış gösteren, nehrin görece kurak koşullara sahip depolanma dönemlerini yansıtan fasiyeslerde artış gösteren bir grafiğe sahiptir. Sayılar ile gösterilen bölgelere ayrıntılı bakıldığında; 1 no'lu bölgenin kum oranının %50'nin altına düştüğü kil ve silt yönünden zengin bir fasiyeste belirgin Zr/Ti oranında düşüş göze çarpar. Kesitin üst kısmı hem tane boyundan yola çıkarak hem de diğer element oranları ile kesitin diğer kısımlarına göre daha durağan bir ortamı işaret eder. 2 no'lu bölgede dd aynı şekilde Zr/Ti oranının tane boyu ile orantılı bir değer artış ve düşüşü

gözlenir. 3 no'lu bölgenin temsil ettiği alanda tane boyunun geniş bir değer aralığında değiştiği, bir kanal seviyesini üzerleyen cm boyutunda bir fasiyes ve debi değerinin değişimi olarak yorumlanabilir. Aynı şekilde element oranlarının da bu tane boyu değişimine benzer geniş aralıklarda değiştiği gözlenir. 3 ve 4 no'lu bölgeler arasında kalan bölge kesitteki en belirgin kanal seviyesidir ve bu alanda kanalın orta kesimlerinde muhtemelen kaba kumun artması ile log (Si/Al) haricindeki diğer element oranlarında belirgin bir düşüş gözlenmektedir. 4 no'lu bölgede log (Si/Al) oranının yine tane boyundaki artışa paralel olarak arttığı diğer element oranlarında ise belirgin bir değişikliğin olmadığı göze çarpmaktadır. 5 no'lu bölgede ise bütün kesitteki tane boyu ve element oranı ilişkisini özetler niteliktedir. Tane boyu kum yönünden zenginleştğinde Si/Al oranı düşerken veya sabit seviyelerde kalırken, diğer element oranları belirgin artış gösterir. Bu da bu kesit için Log parantezindeki Zr/Ti, Fe/Al ve Ti/Al elementlerinin görece nehrin debisinin düşük olduğu dönemlerde depolanmış fasiyeslerde değerlerin artış gösterdiği yorumunun yapılmasına olanak sağlar.



Şekil 4.5: H-1 Kesitinde toplam kumun yüzdelik dağılımı ve XRF ölçümlerine ait bazı element oranlarının ve bazı major oksitlerin dağılımı.

Şekil 4.6'da verilen grafikten anlaşılacağı gibi, H-1 kesitinde SiO<sub>2</sub> ve CaO arasında gözlemlenen ilişki H-2 kesitinde de bulunmakta olup negatif bir korelasyon

göstermektedir. Bu aynı zamanda kırıntılı girdisi arttıkça CaO çökeliminin azalması olarak da ifade edilebilir. H-2 kesitinde CaO ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> arasında da çoğu noktada negatif bir korelasyon göze çarpmaktadır. Bu aynı zamanda SiO<sub>2</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> konsantrasyonlarının pozitif bir korelasyon gösterdiği anlamına gelmektedir. a isimli bölgede, toplam kum yüzdesinin düşük olduğu bir fasiyesin yer aldığı örnekleme noktasında, SiO<sub>2</sub> oldukça düşük konsantrasyonlarda bulunur. Bu noktada Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> değeri ile birlikte Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de görece yüksek konsantrasyonda bulunduğu gözlenmektedir. Tane boyunun ağırlıklı silt-kil boylu olduğu fasiyeslerde Al ve Fe oksitlerin arttığı yorumu yapılabilir. Ama Si değerinin kum boylu malzemenin artması ile artması veya azalması ilişkisi her zaman geçerli değildir (Şekil 37 a).Yalnızca tane boyu ve debi ilişkisi ile belli elementlerin artışı ya da azalışı yorumunu yapmak doğru olmayacağı için kesit bazında pik değerlerini ayrı ayrı değerlendirmek ve değişen tane boyu-elemental sonuç ilişkileri kurmak gerekmektedir. H-2 kesitinin b noktasında ise kesitteki en yüksek SiO<sub>2</sub> ve en düşük CaO değerleri göze çarparken yüksek Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> değerleri gözlenir. c noktasında, düşük kum yüzdesi ve yüksek Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> değerleri okunmuştur. d noktasında ve kesitin ilk 50 cm'lik bölgesinde element konsantrasyonları geniş bir değer aralığında değişmektedir. Burada yine tane boyu ilişkileri ve arazideki gözlemleri ile nehrin değişken bir akış rejiminde depoladığı bir çökel pakette bulunduğu yorumu yapılabilir.

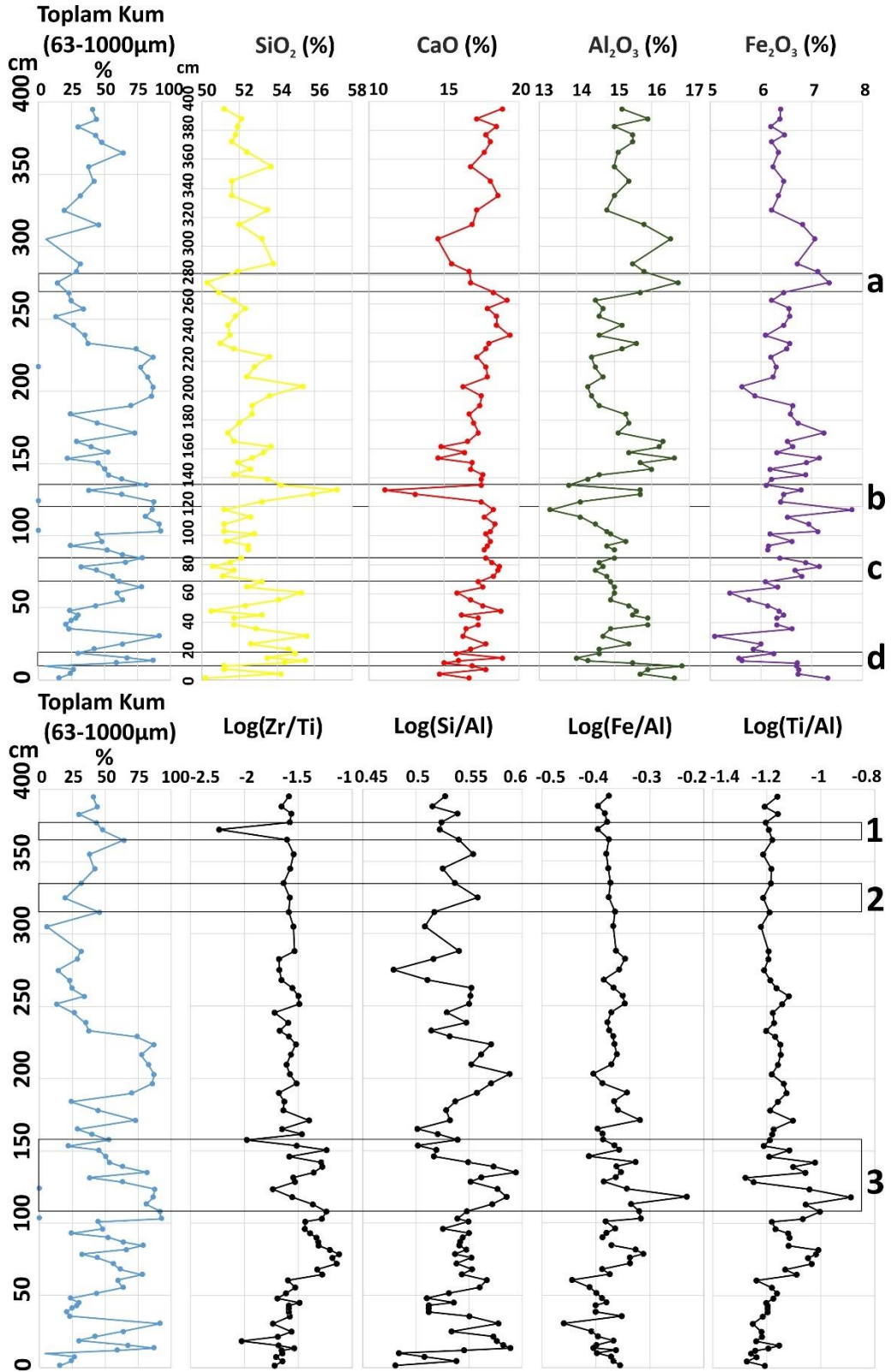
H-2 kesitinde H-1 kesitine göre Log(Si/Al) oranının tane boyu grafiği ile çok daha belirgin benzerliği gözlenmektedir.

Şekil 4.6'da 1 no'lu bölgenin temsil ettiği alanda kum yüzdesinin %50 gibi bir değere sahip olduğu bir fasiyeste Log(Zr/Ti) oranının kesitteki en düşük değerde yer aldığı gözlenmektedir. Bu noktada bu ilişkinin kum tane boyundaki belirgin değişimden ziyade tane boyu % dağılımında silt ve kum boylu malzemenin olduğu ve kil yüzdesinin belirgin olarak düşük olduğu tane boyu grafiğinden anlaşılmaktadır (Şekil 4.6). Buradaki bu pik değerinin düşük kil yüzdesi sebebiyle olabileceği yorumu yapılabilir. Ancak, tane boyu ve element oranları ile kurulan bu ilişkiler tek başına açıklayıcı olmamaktadır. Kaynak kaya jeokimyasının değişmesi; nehrin farklı daha uzaktaki bir kayadan türeyen bir çökeli depolanmış olması veya depolanma sonrası jeokimyasal değişikliklerin olması söz konusudur ve göz önünde bulundurulmalıdır. 2 no'lu bölgede ise kum tane boyunun %25'in altında olduğu fakat silt yönünden fasiyesin %75 civarında olduğu tane boyu grafiğinden anlaşılmaktadır (Şekil 4.6). Bu

noktada belirgin  $\text{Log}(\text{Si}/\text{Al})$  artışı gözlenmektedir. Diğer element oranlarında ise belirgin bir değişim gözlenmemektedir.

3 no'lu bölge ise tane boyu ve element oranlarının en geniş değer aralıklarında değiştiği bir fasiyes grubunu kapsamaktadır. Bu değişimler cm kalınlığında kil-silt seviyelerini ve hemen ardıllı kum barlarını ifade etmektedir. Jeokimyasal analizler de bu tane boyu değişimini yine geniş bir değer aralığında yansıtır durumdadır.

H-2 kesitinde, H-1 kesiti ile benzer olarak, nehrin debisinin görece düşük olduğu dönemlerde depolanmış fasiyeslerde  $\text{Zr}/\text{Ti}$ ,  $\text{Fe}/\text{Al}$  ve  $\text{Ti}/\text{Al}$  element oranlarının logaritma değerlerinin artış gösterdiği yorumu yapılabilir.

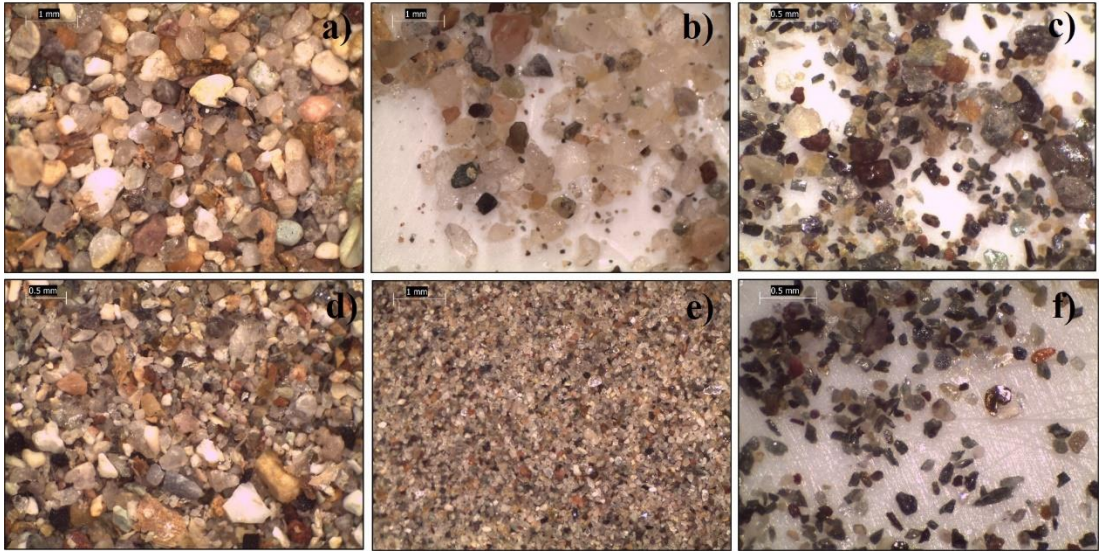


Şekil 4.6: H-2 Kesitinde toplam kumun yüzdelik dağılımı ve XRF ölçümlerine ait element oranlarının ve bazı major oksitlerin dağılımı.

### 4.3. Yoğunluğa Göre Mineral Ayırma Analizi (SPT) Sonuçları

SPT analizi H-1 ve H-2 kesitinde toplam 154 örneğe uygulanarak kesit boyunca fiziksel mineral değişimleri anlaşılmaya çalışılmıştır. H-1 ve H-2 kesitlerine ait örneklerin SPT analizi ile nemlilik oranları ve basit bir tane boyu sınıflaması yapılabilmektedir

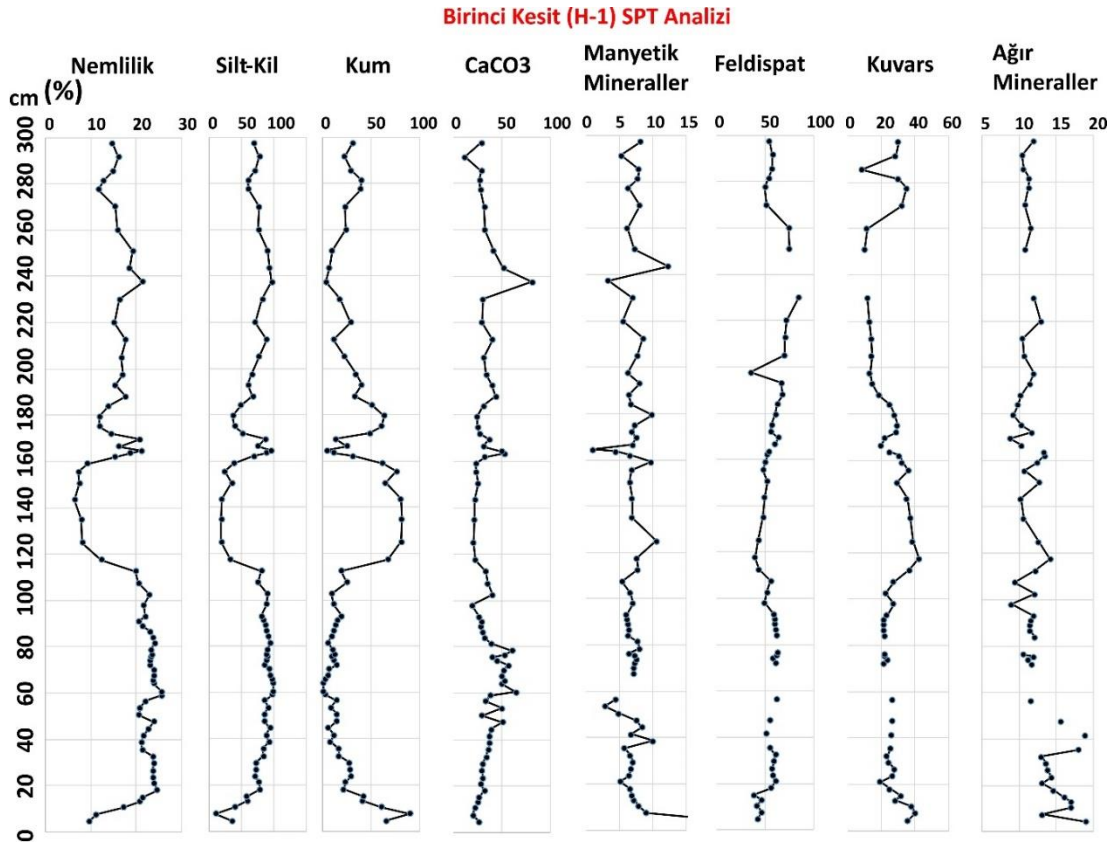
Her bir örneğe ait yoğunluk farkı ile ayrılan feldispat, kuvars ve Ağır mineraller ayrı ayrı arşivlenmiştir ve örnek mikroskop fotoğrafları çekilmiştir (Şekil 4.7). Şekil 4.7'de yer alan; H-2-75 kodlu örneğe ait olan a,b,c fotoğrafları, a)  $<2,62\text{gr/cm}^3$  yoğunluğa sahip ayrılmış minerallerin 16X büyütme ile çekilmiş fotoğrafı, b)  $2,62-2,7\text{gr/cm}^3$  yoğunluğa sahip minerallerin 16X büyütme ile çekilmiş fotoğrafı, c)  $>2,7\text{gr/cm}^3$  yoğunluğa sahip ayrılmış minerallerin 35X büyütme ile çekilmiş fotoğrafıdır. Bir diğer örnek, H-2-76 kodlu örneğe ait olan d,e,f fotoğrafları, d)  $<2,62\text{gr/cm}^3$  yoğunluğa sahip ayrılmış minerallerin 25X büyütme ile çekilmiş fotoğrafı, e)  $2,62-2,7\text{gr/cm}^3$  yoğunluğa sahip minerallerin 35X büyütme ile çekilmiş fotoğrafı, f)  $>2,7\text{gr/cm}^3$  yoğunluğa sahip ayrılmış minerallerin 35X büyütme ile çekilmiş fotoğrafıdır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7: SPT analizi sonrasında yoğunluğuna göre ayrılan minerallerin binoküler mikroskop ile çekilmiş fotoğrafları.

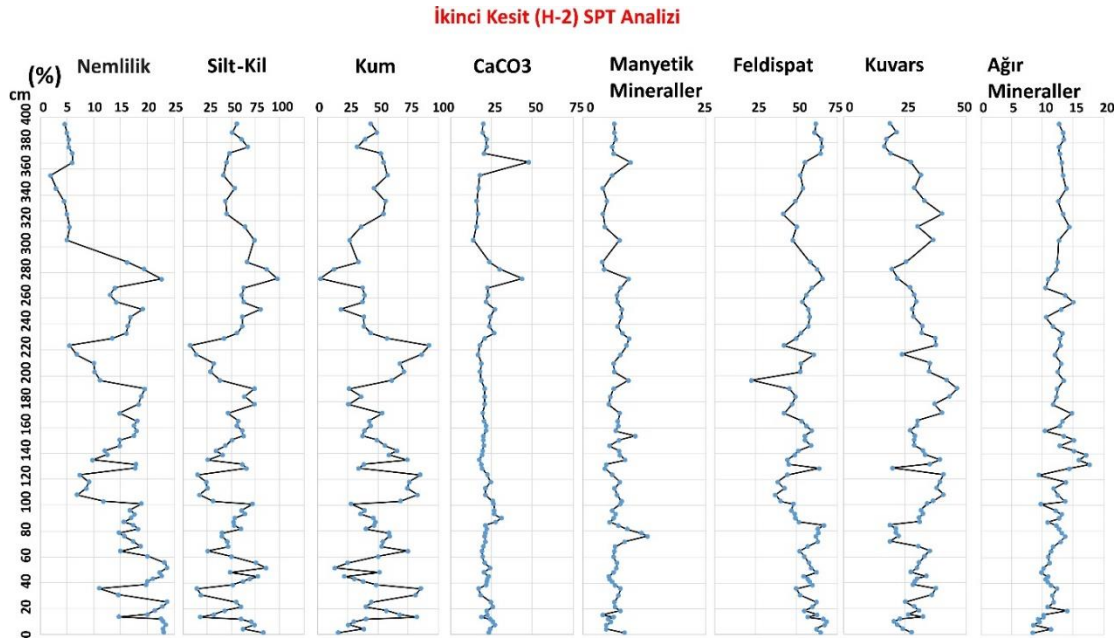
SPT analizi ile kesitin çeşitli fiziksel ve kimyasal özellikleri hakkında yorum yapmak mümkün olabilmektedir (Şekil 4.8, Şekil 4.9). Şekil 4.8 ve 4.9 'da kesitlere

ait SPT sonuçlarının grafikleri yer almaktadır. Şekil 4.8’de 3 metrelik H-1 kesiti boyunca yapılan SPT analiz aşamalarının sonuçları yer almaktadır. Şekilde, kum tane boyunun artış gösterdiği 120-160 cm ler arasında taban kısmında manyetik minerallerin arttığı gözlenmektedir (Şekil 4.8). Bu beklenmedik bir sonuç değildir ve bir taşkın ortamını yansıtan bu alanda taşkın ile pek çok tane boyunda malzemenin hızlıca depolandığını ve görece ağır olan manyetik minerallerin killi görece geçirimsiz bir ortam üzerinde biriktiği düşünülebilir. Yine kesit boyunca net bir şekilde killi fasiyelerde nemliliğin kumlu fasiyeslere göre belirgin şekilde yüksek olduğu görülebilmektedir. Bu analiz ile kesit boyunca yapılabilecek geliştirilebilir yorumlardan bir diğeri killi fasiyelerde  $CaCO_3$  miktarının artış gösterdiğidir. Kum ağırlıklı fasiyesler ve kuvars yüzdeleri arasında da pozitif bir korelasyon gözlenebilmektedir. Örnek miktarı içerisindeki kum miktarının çok düşük yüzdelerde olması SPT analizi aşamasına gelene dek örnek miktarının 1 gr’ın altına düştüğü ve SPT analizi yapılamadığı da 60 ve 240 cm de görülebilmektedir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8: H-1 kesitinin yoğunluğa göre mineral ayırma (SPT) analizi sürecinde elde edilen verilerin yüksekliğe bağlı kesit boyunca değişimleri.

Şekil 4.9’da 4 metrelik bir kesit olan H-2 kesiti boyunca yapılan SPT analiz aşamalarının sonuçları sunulmaktadır. Kesit boyunca nemlilik yüzdesi ve kum yüzdesi negatif bir korelasyon gösterirken silt-kil yüzde nemlilik ile pozitif bir korelasyon göstermektedir (Şekil 4.9). Kesitte 280 cm’de olduğu gibi belirgin bir kil tane boyu artışı ve onunla pozitif korelasyon gösteren CaCO<sub>3</sub> miktarından söz etmek mümkündür. Kum tane boyu ve kuvars miktarının büyük oranda kesit boyunca pozitif korelasyon gösterdiğini söylemek mümkündür. Kesitin 130 Cm seviyesinde kum oranının belirgin bir düşüş gösterdiği, kil ve silt miktarının arttığı gözlenir. Aynı noktada feldispat ve ağır minerallerin oranı artarken kuvars miktarında düşüş gözlenmektedir. SPT analizi kesitten elde edilen diğer veri türleri ile (Tane boyu, jeokimya vb.) karşılıklı korelasyon yapılabilecek değerli veriler sunmaktadır (Şekil 4.9).



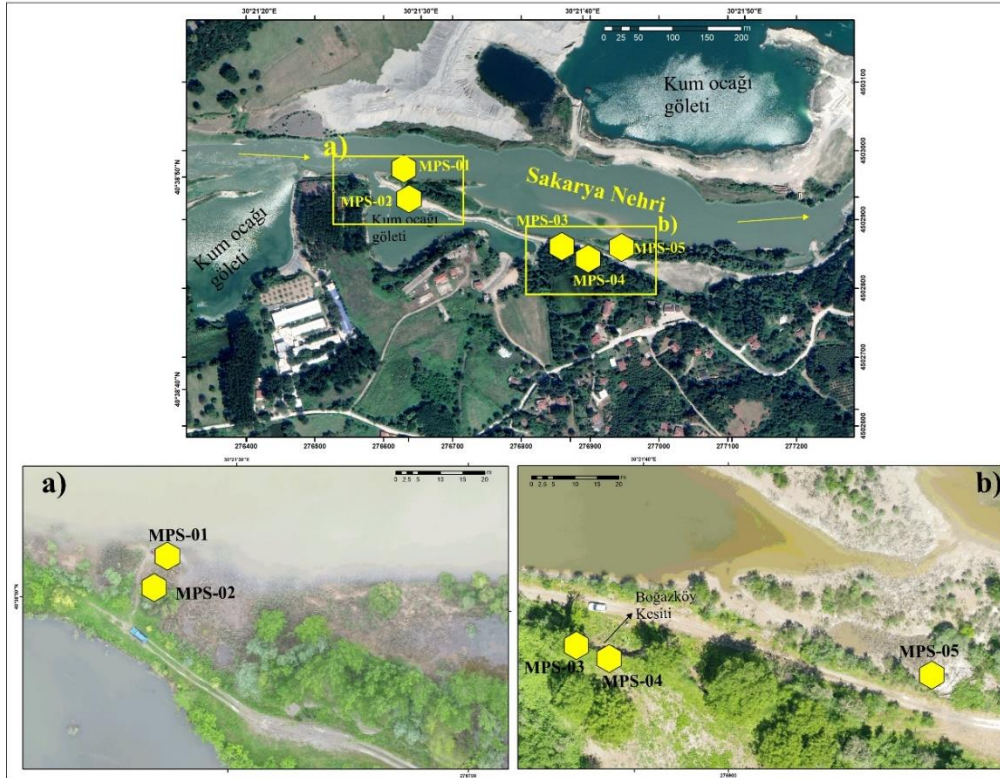
Şekil 4.9: H-2 kesitinin yoğunluğa göre mineral ayırma (SPT) analizi sürecinde elde edilen çeşitli verilerin yüksekliğe bağlı kesit boyunca değişimleri.

#### 4.4. Mikroplastik Analizi Sonuçları

Bu çalışmada mikroplastik analizleri geçmiş iklim ve paleo-hidroloji çalışmasına ek olarak güncel bir vekil veri üretimesi amacıyla yapılmıştır. Çalışma alanı 40 yılı aşkındır süren kum ve taş ocakları ile yoğun atropojenik stres altındadır.

Mikroplastikler ise 1980 yılı ve sonrasında artış gösteren önemli çevresel sorunlardan biridir. Mikroplastiklerin , fasiyelerin yaş tayininin yapılması ile ilgili kullanılmaya başladığı çalışmalar mevcuttur. Çökel ortamlarının yaş tayinlerinde mikroplastik verileri ile  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  gibi kısa ömürlü izotop analizleri veya Radyokarbon, OSL tarihlendirme yöntemlerinden elde edilen veriler kıyaslanmaktadır [Kawamura, 2021; Wang vd., 2018; Chen vd., 2020].

Bu çalışma kapsamında, örnekleme noktaları; kapsayıcı bir çalışma olabilmesi adına nehir ve onun taşıdığı çökel veya plastik malzeme yönünden farklılaşabilecek ortamlardan seçilmiştir.. MPS-01 noktası nehir kanalının sığılaştığı, üst kısmı killi farklı siltli ve kumlu seviyelerin de iyi gözlemlendiği bir noktadadır. MPS-02 noktası nehrin güncel leve seviyesinde ufak bir çökel kapan görevi gören mevsimlik bir çukurluktan alınmıştır. Burada da kil tane boyu baskındır ve geçmiş mevsimler içerisindeki nehrin çökel ve su taşınımını yansıtabilecek bir lokasyona sahiptir. MPS-03 ve MPS-04 noktaları Boğazköy kesitinde en iyi gözlenen toprak seviyelerinden seçilmiştir. MPS-05 örnek lokasyonu ise Boğazköy kesitinin nehir kıyısında yer alan güncel leve içerisinde görece masif killi bir birimden alınmıştır (Şekil 4.10).



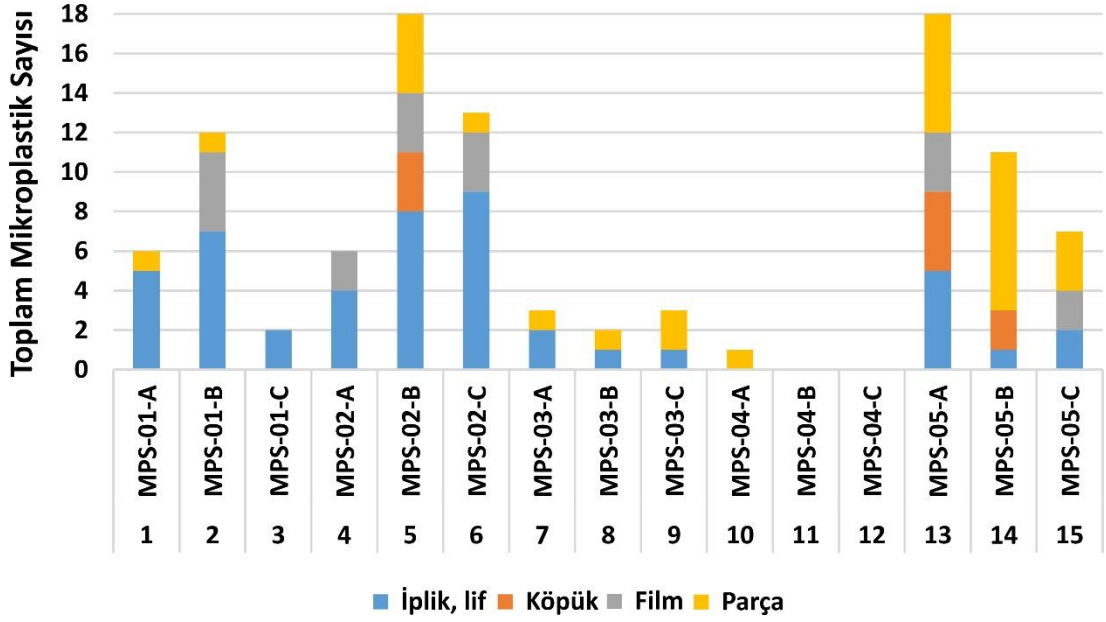
Şekil 4.10: Mikroplastik örneklerinin alındığı noktaların nehre göre lokasyonları.

MPS-02-B ve MPS-03-A örneklerinden mikroplastiklerin araştırılması 0.5-1 mm tane boyu aralığından, diğer örneklerde ise 1-5 mm tane boyu aralığında yer alan örneklerden MP araştırması yapılmıştır (Tablo 4.1).

Tablo 4.1: MP örnek noktalarının derinliği ve bulgularan MP sayıları.

ID	Örnek Adı	Derinlik	Örneğin Doğal Ağırlığı (gr)	MP sayısı
1	MPS-01-A	20-30cm	400	6
2	MPS-01-B	10-20cm	415	12
3	MPS-01-C	0-10cm	305	2
4	MPS-02-A	20-30cm	400	6
5	MPS-02-B	10-20cm	415	18
6	MPS-02-C	0-10cm	425	13
7	MPS-03-A	40-55cm	401	3
8	MPS-03-B	25-40cm	401	2
9	MPS-03-C	5-25cm	402	3
10	MPS-04-A	30-40cm	406	1
11	MPS-04-B	10-30cm	403	0
12	MPS-04-C	0-10cm	408	0
13	MPS-05-A	20-30cm	403	18
14	MPS-05-B	10-20cm	400	11
15	MPS-05-C	0-10cm	405	7

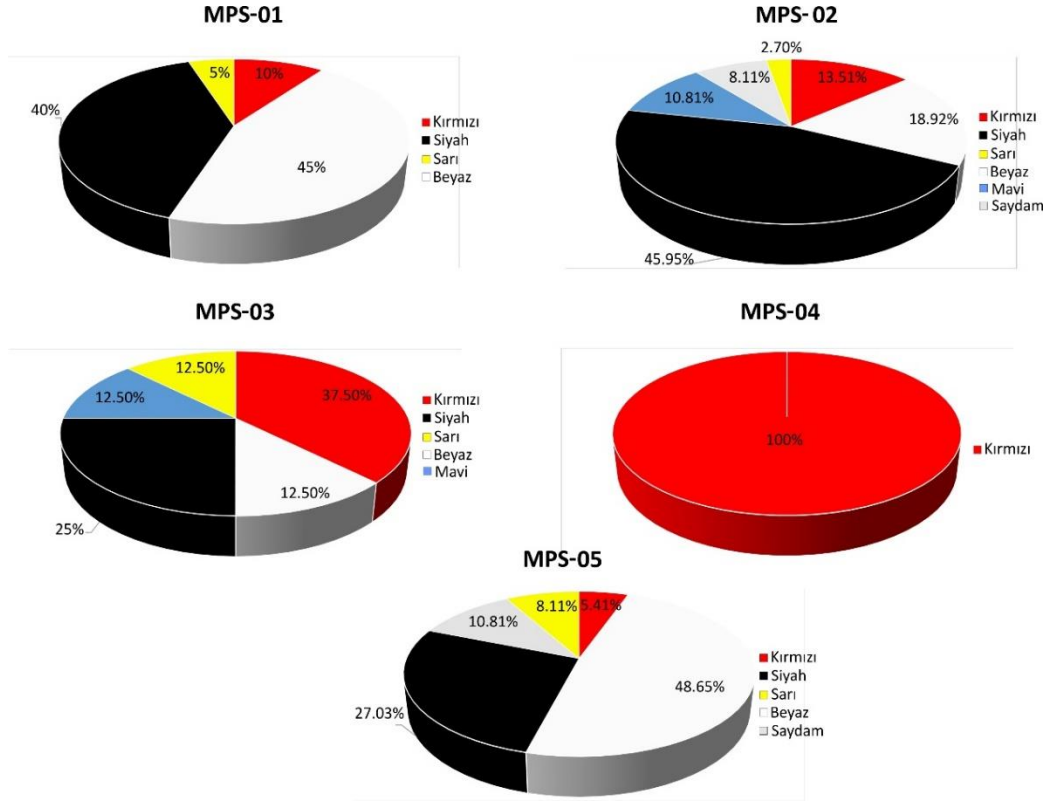
Analizler sonucunda en çok mikroplastik (MP) içeren noktalar; MPS- 02- B ve MPS-05-A' dır ve bu noktalar, MPS-02 noktasının 10-20 cm aralığını yansıtan kısmı ile MPS-05 noktasının 20-30 cm'lik kısmı olmuştur. Toplam 15 örnekte en çok MP bulgularan bu noktaların ortak özelliği nehrin mevsimlik taşkınlar veya herhangi bir yağış artışı ile nehrin çökel ve sularını hapseden killi-siltli çökel kapanları olmasıdır. MPS- 02- B ve MPS-05-A güncel leve seviyesinde bulunmakla beraber suyun sürekli ulaştığı noktada değildirler. MPS-02 ve MPS-05 noktalarından alınan örneklerin her birinde 37 adet farklı özelliklerde MP tespit edilmiştir. Bu iki noktadan sonra toplam 20 MP sayılan MPS-01 noktası en fazla MP bulunan nokta olarak nitelendirilebilir. MPS-01 noktası yaklaşık olarak nehir ile aynı seviyededir. (Şekil 4.10). Bu noktada, en fazla MP, 10-20 cm derinliğinde tespit edilmiştir. Özellikle ilk 10 cm'lik kısımda görece az MP sayılmıştır (Şekil 4.11).



Şekil 4.11: Örnekleme noktalarına ait mikroplastiklerin şekilsel dağılımı.

Çalışmanın önemli sorularından biri olan Boğazköy Kesiti toprak seviyelerindeki olası MP varlığına bakıldığında, MPS-03 ve MPS-04 ile iki ayrı noktadan alınan toprak örneklerinde diğer noktalara kıyasla çok az MP bulunmaktadır ve bu çalışmanın hipotezini ve sonuçlarını destekler niteliktedir. Şöyle ki; Boğazköy kesitinin 1950 itibari ile nehir ile birebir bağlantısı kopmuştur ve depolanması sonlanmıştır. Burada gözlemlenen sınırlı mikroplastik ise tarımsal aktiviteler vb. etkiler ile gözleniyor olabilir.

MP'ler renk açısından değerlendirildiğinde en yaygın renkler beyaz ve siyah olmuştur (Şekil 4.12).



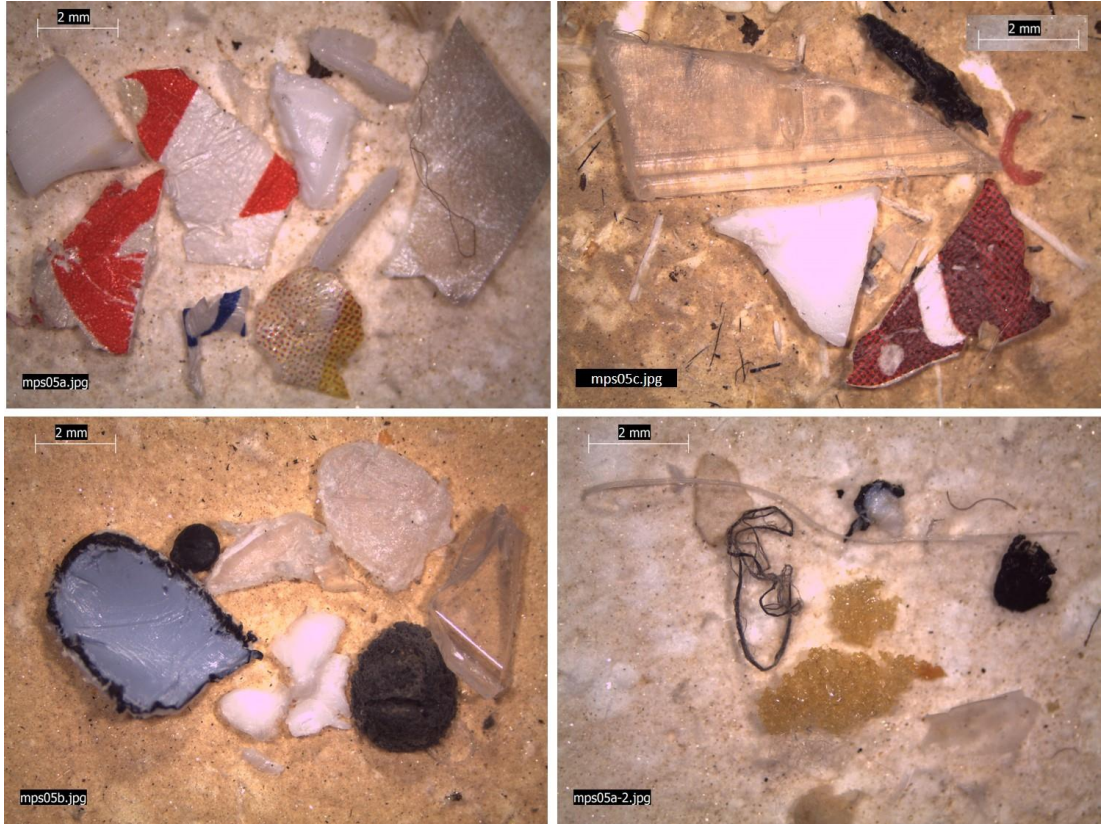
Şekil 4.12: Örnekleme noktalarına ait mikroplastiklerin renklerine göre dağılımı.

Örneklere en fazla gözlenen MP'ler iplik ve lif formundadırlar. Diğer önemli grup ise parça şeklinde olan MP'lerden oluşmaktadır. Bu üç grubu film ve köpük formundaki MP'ler takip etmektedir. Farklı formdaki mikroplastikler değişen büyüklüklerde gözlemlenmiştir (Şekil 4.13, 4.14).

Mikroskop görüntülerine göre MP'lerin renkleri ve aşınma seviyeleri nispeten yeni depolandıklarını gösterir niteliktedir.



Şekil 4.13: Farklı örnek noktalarına ait mikroplastiklerin mikroskop fotoğrafları.



Şekil 4.14: Toplulaştırılmış farklı örnek noktalarına ait mikroplastiklerin binoküler mikroskop fotoğrafları.

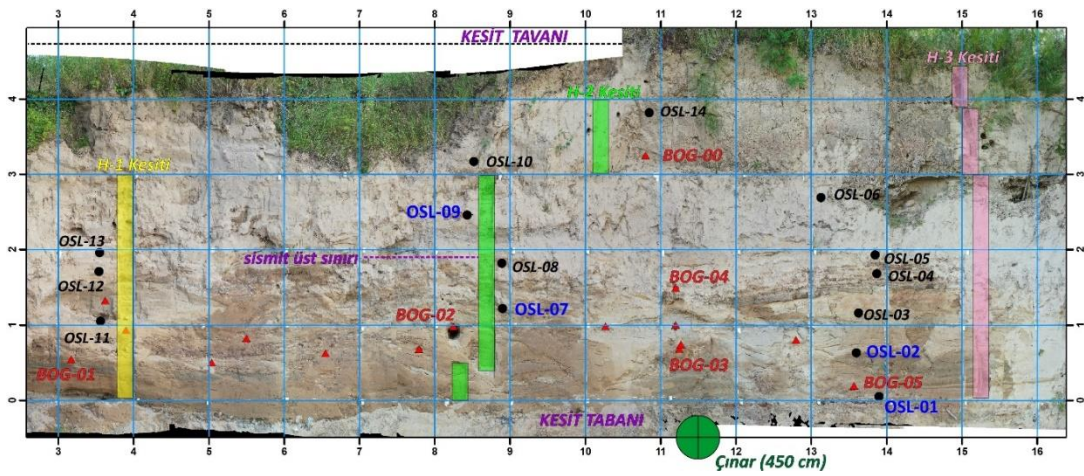
## 4.5. Tarihlendirme Sonuçları

Taşkın ovası ortamında sedimantolojik vekiller ile tanımlanan taşkın olayları, uygun tarihlendirme yöntemlerinin sonuçları ve alüvyon birimi veya formu ile bir zaman dilimine atanabilir [Jones vd., 2010]. Tarihlendirme çalışmalarının sonuçları 121Y110 TÜBİTAK Projesi kapsamında üretilen verilerden oluşmaktadır. Proje kapsamında detaylandırılan 17 m genişliğinde 3.5-4 m yüksekliğine sahip Boğazköy kesitinde gözlenen çökel paketlerinin tarihlendirilmesi amacıyla, birçok tarihlendirme yöntemi ve yaklaşımı uygulanmıştır. Bu yöntemler hem analitik hem de tarihsel/olaysal niteliktedir. Analitik yöntemler ; (1) kesit boyunca tespit edilen organik malzemelerin (6) mutlak tarihlendirilmesi için radyokarbon ( $^{14}\text{C}$ ) yönteminin TÜBİTAK-MAM ve POZNAN laboratuvarlarından hizmet alınarak uygulanması, (2) kesitten sistematik olarak alınan 14 örneğe Ankara Üniversitesi ile proje ortaklığı kapsamında lüminesans tekniğinin uygulanması , (3) BOG kesitinin 280 m batısında yer alan ve aynı taraça basamağına ait çökel paketleri içerisinde yatak yükü ile taşkın ovası fasiyesi arasında yatay pozisyonda gömülü bulunan ağaç gövdesi kullanılarak İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesince dendrokronolojik tarihlendirme uygulamasıdır.. Tarihsel/olaysal olarak sınıflandırılacak tarih kısıtlamaları olarak da (4) BOG kesitinin yatayda 630-850 cm düşeyde ise 100-195 cm aralıklarında bulunan deforme (kıvrımlanmış) bir zon kullanılmıştır. Taban ve tavanından yatay tabakalar ile sınırlanan bu zon inceleme alanına 7 km dik uzaklığa sahip Kuzey Anadolu Fayı'nda gerçekleşen bir deprem sonucu oluşan yumuşak çökel deformasyonu olarak yorumlanmış ve zonunun üst kesimini sınırlayan ilk yatay tabakanın taban kesiminin konumu (kesit tavanından 295 cm) olay seviyesi olarak değerlendirilerek derinlik/yaş modelinde kullanılmıştır. (5) BOG kesitinin üst seviyesi güncel taşkın ovasının gelişiminin sonlanmasını ifade etmektedir. Sakarya Nehri üzerine yapılan büyük ölçekli barajlar (Sarıyar (1956) Gökçekaya (1972) ve Yenice (1999) ile regüle edilmiştir. Bu nedenle 1950 yılı kesitin üst sınırı olarak kabul edilmiştir. Bunun yanı sıra Geyve Boğazı çıkışında yer alan Doğançay Hidroelektrik Santralinin 2000 yılındaki inşası süresince Sakarya Kanalı 10 m derinleştirilerek günümüz morfolojisini antropojenik olarak düzenlemiştir. (6) Boğazköy H2 kesiti referans alınarak ve kesitte yapılan sedimanter yapılar ve tane boyu dağılımına göre 9

adet sel deposu ayıklanmış, bu sellenme dönemlerinin konumları ve kalınlıkları yaş/depolanma modelinde kullanılmıştır.

Şekil 4.15’de tarihlendirme örneklerinin (siyah dolgulu daireler lüminesans ve kırmızı dolgulu radyokarbon) alındığı yerler, kesit tavan ve tabanı, sismit seviyesini sınırlayan katmanın taban seviyesi ve Çınar gövde örneğinin ilişkili konumu gözlenmektedir.

Bu bölümün alt kesimlerinde kısaca çalışmada kullanılan mutlak ve model tarihlendirme sonuçlarına yer verilecektir. Tarihlendirme sonuçları için daha ayrıntılı bilgilere 121Y110 TÜBİTAK-1002 Projesi’nin sonuç raporundan ulaşılabilmektedir.



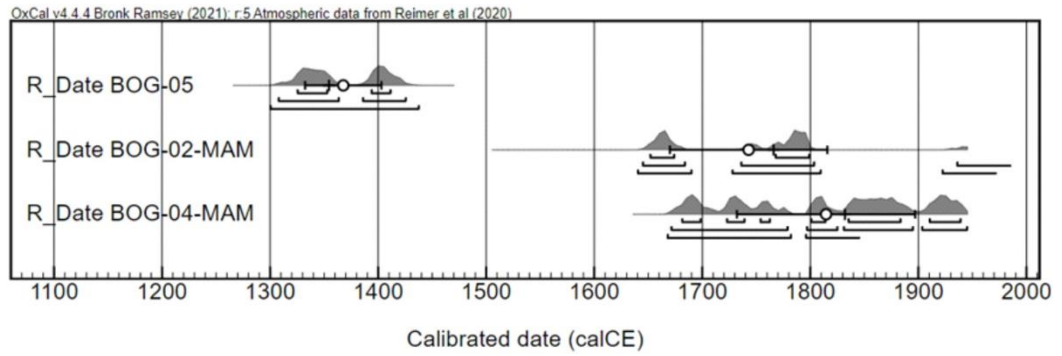
Şekil 4.15: Boğazköy Kesitinin koordinatlı ortoplana görünümü üzerinde yaş sınırlamaları.

#### 4.5.1. Radyokarbon Tarihlendirme

Tarihlendirme sonuçları Şekil 4.16 ve Tablo 4.2 da sunulmaktadır. BOG-00, BOG-01 ve BOG-03 örneklerinin laboratuvar ölçümleri sonuçları 1950 sonrası (Post-Bomb) olarak değerlendirilmiştir. 121Y110 projesi öncesinde örneklenen BOG-05 örneği proje önerisinin hazırlanması sürecinde POZNAN AMS laboratuvarına gönderilmiş ve yaş sonucu alınmıştır.

Tablo 4.2: Sakarya Nehri güncel taşkın ovası ve Boğazköy Kesitine ait radyokarbon yaşları.

Sıra No	Lab. No:	Örnek Kodu:	Karbon 14 Yaşı (GÖ Yıl)	Örnek Türü
1	TÜBİTAK-2087	BOG-02	142 ± 21	Ağaç
2	TÜBİTAK-2090	BOG-04	215 ± 21	Karbon
6	POZNAN Poz-120758	BOG-05	565 ± 30	Karbon
7	POZNAN Poz-94789	SB- 24C14	760 ± 30	Ağaç
3	TÜBİTAK-2086	BOG-00	1.0621 ± 0.0028	Karbon
4	TÜBİTAK-2088	BOG-01	1.0983 ± 0.0028	Karbon
5	TÜBİTAK-2089	BOG-03	1.0378 ± 0.0029	Karbon



Şekil 4.16: Radyokarbon tarihlerinin kalibrasyon sonucundaki zamansal karşılıkları.

#### 4.5.2. Lüminesans Tarihlendirme

Bu çalışma kapsamında 4 adet örnek seçilerek hem kuvars hem de feldspat kristallerinden lüminesans ölçümleri yapılmıştır (Tablo 4.3). Ölçüm sonuçlarına göre OSL yaşları kesitten diğer yöntemlerle elde edilen tarihlere görece yaşlı sonuç vermiştir. IRSL yaşları ise konum ve sonuçlar açısından oldukça uyumludur. Bu nedenle bu çalışma kapsamında sadece IRSL<sub>50</sub> protokolü ile elde edilen yaşlar değerlendirilmiştir (Tablo 4.3).

Tablo 4.3: Boğazköy kesitinde IR50 protokolü ile çalışılan örneklerin model lüminesans yaşları.

Örnek No	OSL-01	OSL-02	OSL-07	OSL-09
Yüzeyden Derinlik (cm)	440	385	326	203
Eşdeğer Doz (Gy)	2.07 ± 0.32	1.38 ± 0.24	1.14 ± 0.5	0.84 ± 0.15
U (ppm)	2.362913	2.177339	2.06429	2.838447
Th (ppm)	10.12466	9.228278	7.667716	9.707221
Rb (ppm)	78.68502	54.67337	59.49109	57.31003
K (%)	2.003241	1.673047	1.98	1.846276
Nem (%)	8	6	5	5
Çevresel Doz Hızı (Gy/by)	3.297 ± 0.032	2.946 ± 0.03	3.159 ± 0.027	3.389 ± 0.034
Lüminesans Yaş (2020'den önce)	0.628 ± 0.097	0.468 ± 0.083	0.361 ± 0.048	0.248 ± 0.044
Tarih (Milattan Sonra)	1392 ± 97	1552 ± 83	1659 ± 48	1772 ± 44

#### 4.5.3. Dendrokronolojik tarihlendirme

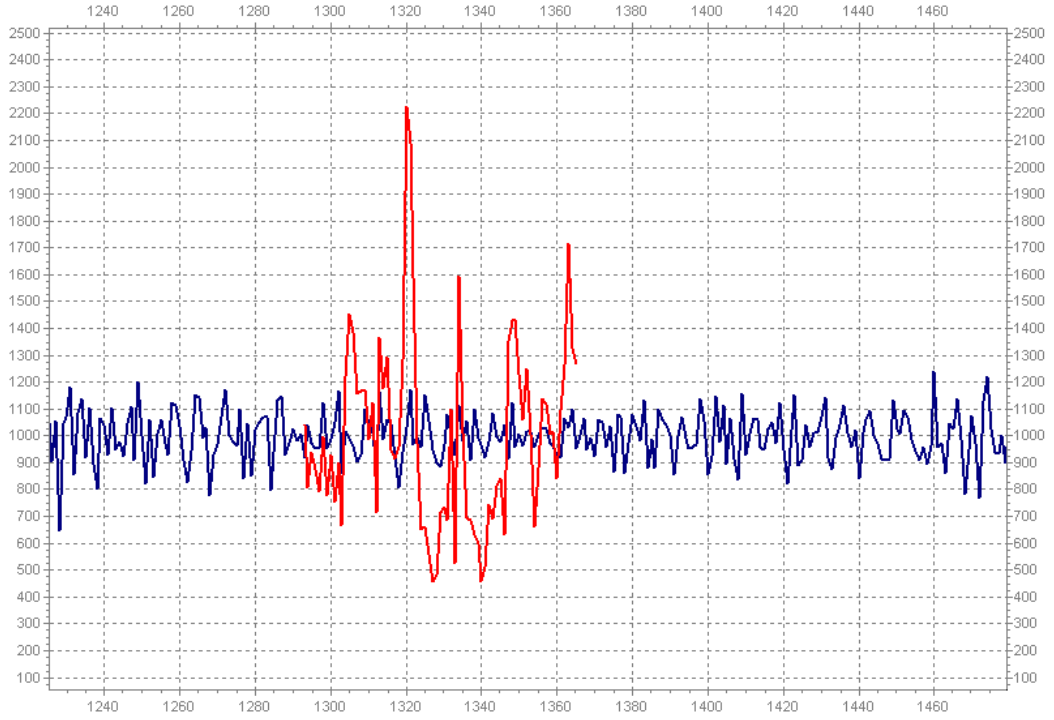
Çalışma alanında tarihlendirmeye uygun, toprak içerisinde yatık halde bulunan bir ağaç gövdesinin enine yüzeyinden (Şekil 4.17) benzin motorlu testere yardımıyla disk şeklinde bir kesit alınarak İÜC Orman Fakültesi, Odun Anatomisi ve Yıllık Halka Araştırmaları Laboratuvarına ulaştırılmıştır. Öncelikle odundan enine, radyal ve teğet kesitler alınarak mikroskop altın ağaç cins teşhisi yapılmıştır. Teşhiste, Akkemik ve Yaman (2012) tarafından hazırlanan ve Türkiye'deki doğal odunsu taksonların incelendiği "Wood Anatomy of Eastern Mediterranean Species" isimli odun anatomisi

kitabından faydalanılmıştır. Dendrokronolojik tarihlendirmelerde, ağaç cinsinin belirlenmesi referans kronolojinin belirlenmesi açısından önem taşımaktadır.



Şekil 4.17: Boğazköy kesitinde gömülü bulunan ağaç gövdesinin örnekleme aşamaları.

Çınar ağacının, ilk halkası 1293, son yıllık halkası 1365 yılına tarihlendirilmiştir (Şekil 4.18). Şekil 4.18’de kırmızı renkli eğri çınar ağacına ait ortalama yıllık halka kronolojisini temsil ederken, mavi renki eğri referans kronolojisini göstermektedir [Kuniholm 2000].



Şekil 4.18: Çınar örneğine ait ortalama yıllık halka kronolojisinin (kırmızı renkli) referans kronoloji ile karşılaştırılması.

#### 4.5.4. Olay Seviyesi Tarihleri

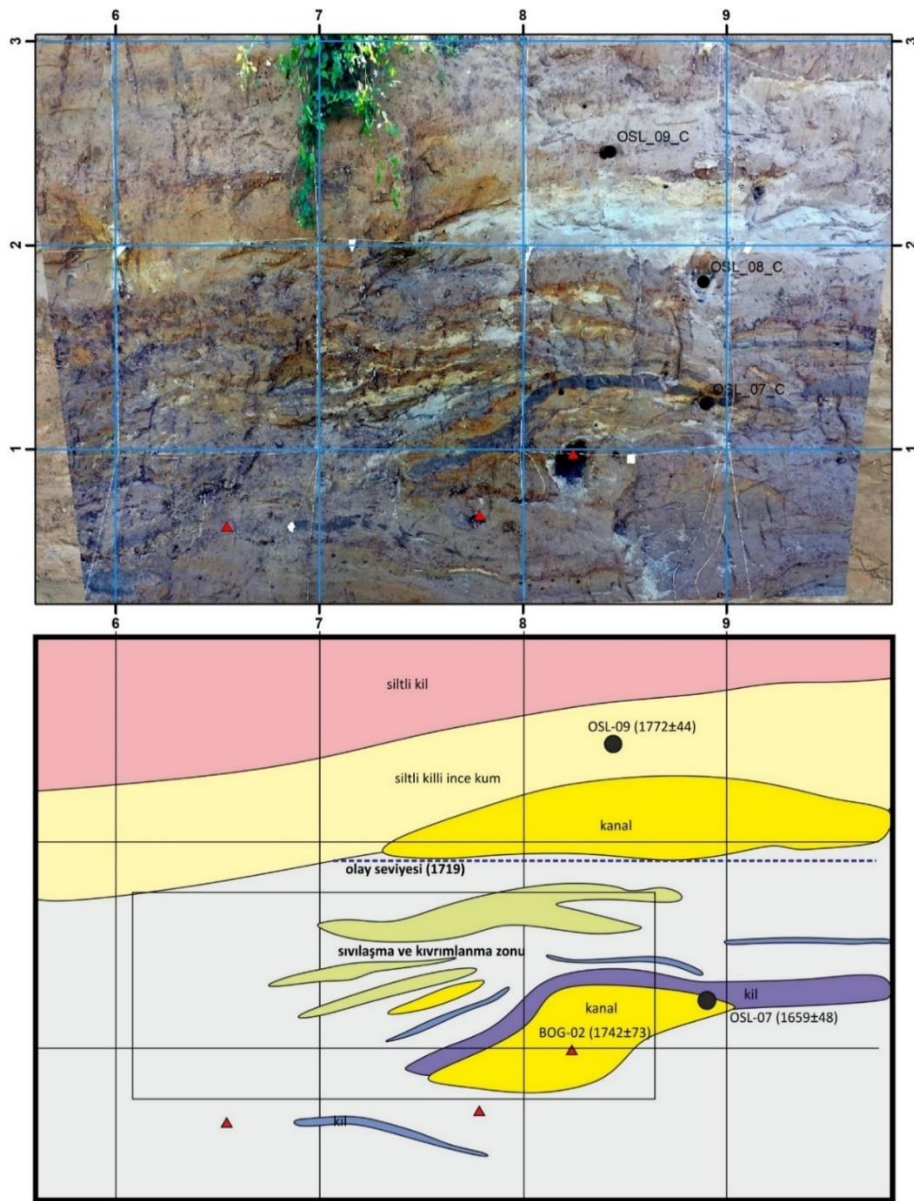
##### 4.5.4.1 MS 1719 Depremi Olay Seviyesi

Depremler büyük ölçekli yer deformasyonuna neden olmaktadır. Bu deformasyonun büyük bir kısmı kırılan fay segmenti üzerinde gerçekleşse de deprem dalgaları etkisi altında konsolide olmamış, suya doymuş çökellerde de sıvılaşmaya neden olarak deformasyonla sonuçlanmaktadır [McCalpin, 1996]. Simit yada yumuşak çökel deformasyonu olarak tanımlanan bu yapılar (Seilacher, 1969) gölsel ve sığ denizel çökellerde,  $M > 5$  büyüklüklerdeki depremlerin odağına uygun bir mesafede oluşabilirler ve jeolojik kayıta yaygın olarak gözlenirler [Rodriguez-Pascua et.al., 2010], [Üner vd., 2019].

Flüvyal çökellerde simit görünümü görece nadirdir, ancak ince taneli taşkın ovası fasiyeslerinde büyük depremlerle yumuşak çökel deformasyonu oluşturabilecek tane boyu ve suya doymuşluk gibi koşullar sağlanabilir.

Bu tez çalışması kapsamında detaylandırılan Boğazköy kesitinin yatayda 6-9 metreler ve düşeyde 0.5-2 metreler arasına kısıtlanmış olarak bulunan, yatay

çökellerde kıvrımlanma ve sıvılaşma yapıları tespit edilmiştir (Şekil 4.24). Bu yapıların düzensizliği ve devamsızlığı özellikle su içeriği yüksek ince taneli fasiyeslere ait katmanlarda belirgin olmaları (sel kanallarının etkilenmemesi) ve üstten yatay çökellerle sınırlandırılması nedenleri ile deprem kaynaklı yumuşak çökel deformasyonu olarak kabul edilmiştir. Kesitin depolanma tarihçesi ve diğer model yaşlar göz önüne alınarak bu deformasyonu üretebilecek en önemli olayın 1719 depremi olduğuna karar verilmiştir. Deformasyonu zonunu yatayda örten ve yüzeyden 295 cm aşağıda bulunan seviye yaş modelinin kurulması aşamasında MS 1719 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.19: Boğazköy kesitinde gözlenen yumuşak çökel deformasyonunun fotomozaik görünümü ve şematik çizimi.

#### 4.5.4.2 Sel Olayları

Sedimanter ortamlarda depolanma hızı ile tane boyu arasında doğrudan bir ilişki vardır. Çökel tane boyu incelidikçe sedimantasyon hızı düşer, kalınlaştıkça artar. Akarsu ortamlarında akış enerjisi ve debi arttıkça kum boylu malzemenin taşınım oranı artmaktadır. Özellikle sellenme dönemlerinde nehir yatağını aşarak taşkın ovasına kum biriktirir. Bu çalışma kapsamında detaylandırılan Boğazköy Kesitinde örneklenen H1-H2 ve H3 kesitlerinde cm ölçeğinde lazer granülometre ile hassas tane boyu analizi yapılmıştır. Bu kesitlerden H2 kesiti temel alınmıştır. Kesitte kum oranının %50'yi aştığı 9 seviye bulunmaktadır. Bu seviyeler kanal geometrisi sunar, çapraz katmanlanma ve tabanlarında yük yapıları da gösterir. Bu dönemler Sakarya Nehri'nin olağanın üzerinde bir debiye sahip olduğu sel dönemleri olarak tanımlanmıştır. Sel olayları sonucu depolanan kum boylu malzemeler çok hızlı taşınmakta ve depolanmaktadır. Bu nedenle bu 9 seviyenin yaş modeli hesaplanırken 1 yıl içerisinde depolandığı varsayılmıştır (Tablo 4.4).

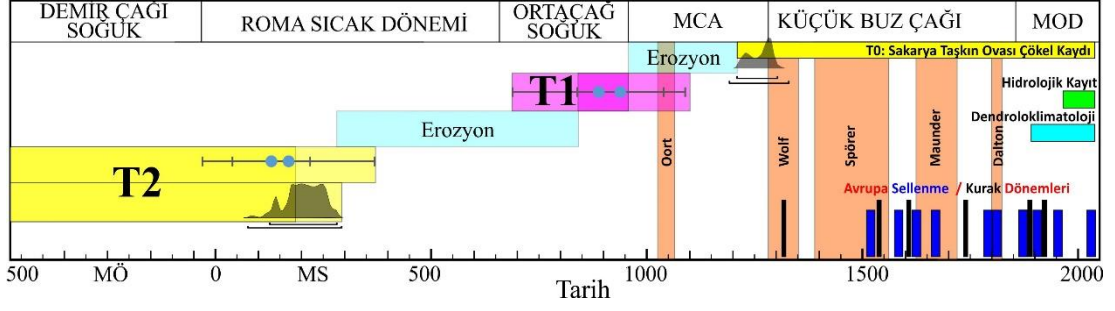
Tablo 4.4: Boğazköy H2 kesiti boyunca tanımlanan sel paketlerinin kesit yüzeyinden konumları ve kalınlıkları.

No	Derinlik başlangıç (cm)	Derinlik bitiş (cm)	Kalınlık (cm)
F1	435	425	10
F2	420	412	8
F3	384	377	7
F4	367	356	11
F5	343	318	25
F6	258	213	45
F7	134	127	7
F8	83	76	7
F9	37	30	7

## 5. DEĞERLENDİRME VE KARŞILAŞTIRMA

### 5.1. Aşağı Sakarya Nehri Holosen Gelişimi

Adapazarı Tektonik Çökel Havzası Kuzey Anadolu Fay Zonu batı kesiminde gelişmiş Kuvaterner yaşlı bir depolanma ortamıdır. Havza, erken-orta Pleyistosen yaşlı Karapürçek formasyonu ve orta-geç Pleyistosen yaşlı güncel Adapazarı Ovası'ndan oluşur [Emre vd., 1998], [Ünay vd., 2001]. Havzanın gelişimi, KAF, Dokurcun Fayı önünde gelişmiş alüvyal yelpaze ve akarsu çökellerinden oluşan görünür 400 m kalınlığa sahip kırıntılı bir istifle başlar. Karapürçek formasyonu olarak isimlendirilen bu birim Adapazarı Ovası ile İzmit Körfezi arasında yayılım gösterir [Emre vd., 1998]. Günümüz Adapazarı Ovası KAF'ın kuzeye sıçrama yapması sonucunda orta-geç Pleyistosen'de açılmaya başlamıştır. Adapazarı Tektonik Havzası, Dokurcun Fayı ve KAF (Sapanca-Akyazı Segmenti-SAS) kuzeyinde tanımlanmaktadır. Sapanca-Akyazı Segmenti Adapazarı Ovası'nda normal bileşene sahiptir (2.5 mm/yıl) ve toplam kalınlığı 500 m'den fazla, aktif bir depolama alanıdır. SAS güneyinde geç Pleyistosen depoları akarsu taraça basamaklanmaları olarak gözlenir [Erturaç, 2021]. Bu basamaklanma dört farklı seviye olarak Karapürçek formasyonu üzerine uyumsuz olarak yerleşir [Erturaç et.al., 2019], [Erturaç, 2021], [Bilgin,1985]. Erturaç vd. (2019); bu basamaklanmaların buzul çağı ve Holosen içerisinde Karadeniz seviye değişimlerini akarsunun cevabı olarak geliştiğini ortaya koymuştur. İnceleme konusunu oluşturan Holosen taraça basamaklanması üç farklı seviyeden oluşur ve Karadeniz'in son seviye yükselmesinden itibaren 9 binyıldan (by) günümüze oluşumunu sürdürmüştür [Yanclina et.al., 2017]. Bu taraça basamaklanması Holosen içerisindeki belirgin iklim değişikliklerine cevaben oluşmuştur. T2 taraça seviyesi 9-2 by arasında; T1 seviyesi 1 by; T0 seviyesi ise güncel taşkın ovasını oluşturan son 650 yıl içerisinde depolanmıştır (Şekil 5.1), [Erturaç et.al., 2019].



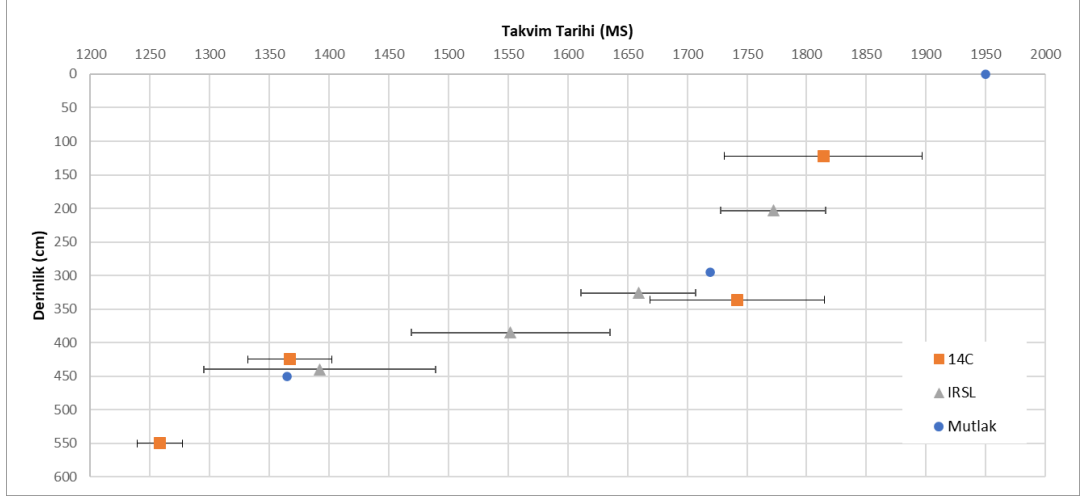
Şekil 5.1: Sakarya Nehri'nin son 2500 yıllık zaman çizelgesi ve iklimsel olaylar.

## 5.2. Yaş Modelinin Kurulması

Yaş modelinin kurulması bölümü 121Y110 proje çıktılarından alınarak yine söz konusu proje kapsamında üretilmiştir. Bu bölümün ilk aşamasında tanımlanan 6 farklı grupta jeokronolojik kısıtlama, dört adet radyokarbon, dört adet IRSL yaş, istifin tavan seviyesi (1950 senesi) ve 295 cm derinlikte gözlemlenen 1719 depremine ait sismitin üst sınır seviyesi ve 450 cm derinlikte bulunan çınar kütüğü halkalarından elde edilen tarih modelde kullanılmıştır. Yaş-derinlik modelinde kullanılan veriler Tablo 5.1 ve Şekil 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.1: Bogazköy kesitinde tarihlendirme yapılan ve yaş-derinlik modelinde kullanılan seviyeler ve o seviyelerin yaşları.

Örnek Kodu	Tarihlendirme Sonuçları (GÖ)	Derinlik (cm)	Yöntem
İstif Tepesi	0±1	0	-
BOG-04	140±20	122	C-14 (MAM)
OSL-09	180±40	203	IR50
Deprem	230±1	295	Sismit üst sınırı
OSL-07	290±50	326	IR50
BOG-02	220±20	336	C-14 (MAM)
OSL-02	400±80	385	IR50
BOG-05	560±30	425	C-14 (Poznan)
OSL-01	560±100	440	IR50
Çınar	585±1	450	Dendrokronoloji
SB-25C	765±30	550	C-14 (Poznan)

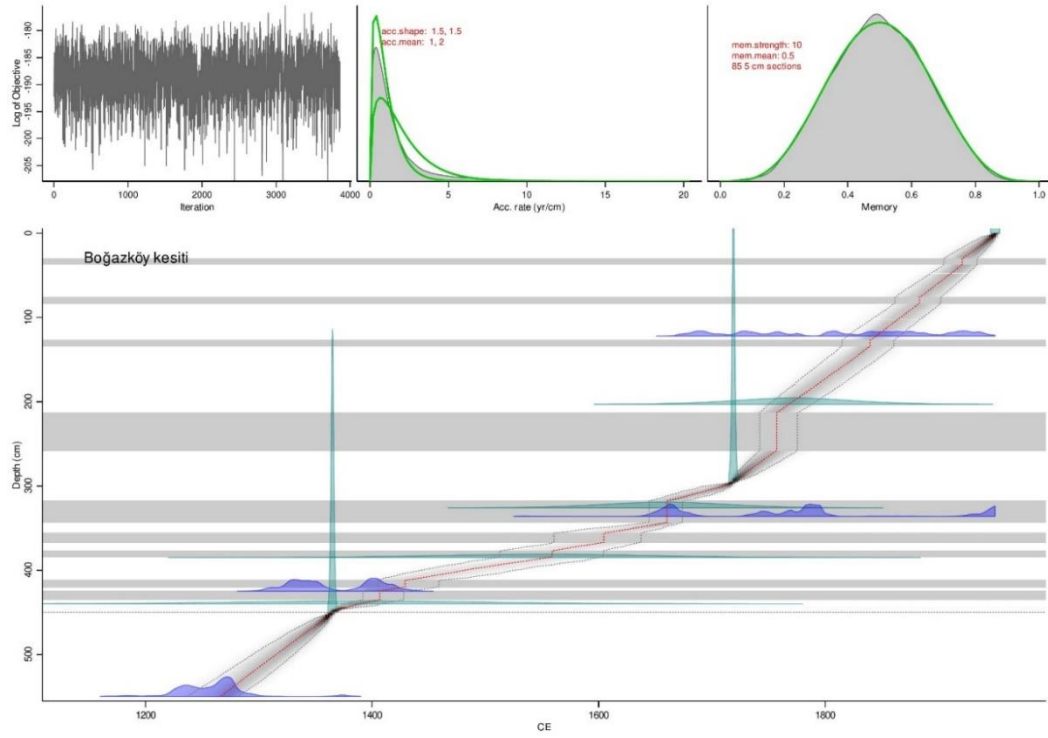


Şekil 5.2: Çalışma kapsamında üretilen yaşların kesit derinliği boyunca tarihleri.

Yaş-derinlik modeli R programı (R Core Team 2019) altında rbacon paketi ile oluşturulmuştur [Blaauw and Christen 2011]. Bu paket geleneksel olarak tercih edilen lineer ya da spline interpolasyon yöntemlerinden farklı olarak Bayes istatistiği yaklaşımıyla tarihlendirilmiş seviyeler arasında iki değişkenli monoton Markov süreci uygulayarak bir yaş-derinlik modeli oluşturmaktadır. Modele göre çökme önsel bir gamma dağılımı ile tanımlanmaktadır. Bu dağılımı belirleyen parametre ile çökmenin hızını (yıl/cm biriminde) belirleyen parametre ikilisi sırasıyla gamma dağılımındaki ikilisidir. Bu ikili önsel olarak seçilmiştir. Ancak kesitin tabanında (450–550 sm arasında) gözlemlenen çakıl taşlı birimin daha genç birimlerden daha hızlı çöklediğine dair olasılık dağılımı bu aralık için yeniden tanımlanmıştır (Şekil 5.3). Buna göre 450–550 sm arasında gamma dağılımı için seçilmiştir. İstifteki çökme hızının istif boyunca ne kadar birbiriyle ilişkili olduğunu belirleyen önsel dağılım ise beta dağılımıdır. Çökmenin hafızasının gücünü ve ortalamasını belirleyen önsel parametreler sırasıyla dağılımın parametreleri olan ikilisidir. Bu ikili önsel olarak seçilmiştir. Bunların dışında sellenmeyle ani çökmenin gözlemlendiği kumlu seviyeler modelde ani çökme seviyeleri olarak kabul edilmiştir. Sellenme aralıkları Şekil 5.3 üzerinde yatay gri boyama ile gösterilmiştir (Tablo 4.4).

Şekil 5.3'de Gri düşey bulutlar ani çökme aralıklarını göstermektedir. Eğri etrafındaki gri bulut %89 Bayes belirsizlik aralığını, eğri üzerindeki kırmızı çizgi ise sonsal dağılımın medyan değerini göstermektedir. Üstteki grafikler Markov Zinciri Monte Carlo (MCMC) sonuçlarının yakınsama testleri için analiz sonrası yapılan gözlemlerdir. Üstte soldaki grafik MCMC iterasyonlarını gösteren iz grafiğidir. Üst

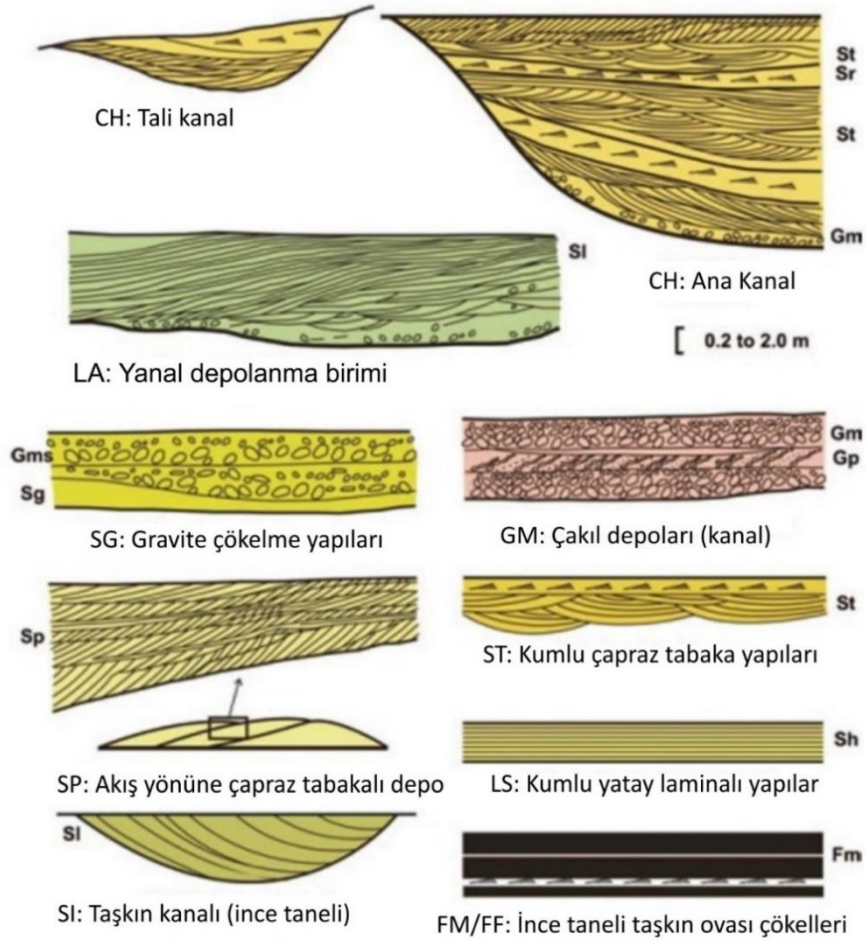
ortada olan grafik yeşille ilksel gamma dağılımlarını, griyle sonsal dağılımı gösteren grafikdir. Üst sağdaki de, ortadaki gibi ama beta dağılım için verilen grafikdir.



Şekil 5.3: Boğazköy kesitinin rbacon paketi ile elde edilmiş yas-derinlik modeli.

### 5.3. Boğazköy Kesitinin Stratigrafisi

Sedimanter ortamlarda depolanma hızı ile tane boyu arasında doğrudan bir ilişki vardır (Şekil 5.4). Çökel tane boyu inceldikçe sedimantasyon hızı düşer, kalınlaştıkça artar. Akarsu ortamlarında akış enerjisi ve debi arttıkça kum boylu malzemenin taşınım oranı artmaktadır. Özellikle sellenme dönemlerinde nehir yatağını aşarak taşkın ovasına kum biriktirir [Miall, 2006].



Şekil 5.4: Taşkın ovası çökelleri içerisindeki depolanma mimarisi elemanları.

Boğazköy kesitinin detaylı çizilmesi süresince akarsu taşkın ovası içerisinde depolanma mimarisi elemanları tespit edilmiş ve ilişkilendirildikleri fasiyes ve hidrolojik ortam/olay açısından yorumlanmışlardır (Şekil 5.5). Şekil 5.5-5.8 ani hidrolojik olaylara ait sedimanter fasiyes şekillerinden örnekler sunulmaktadır.

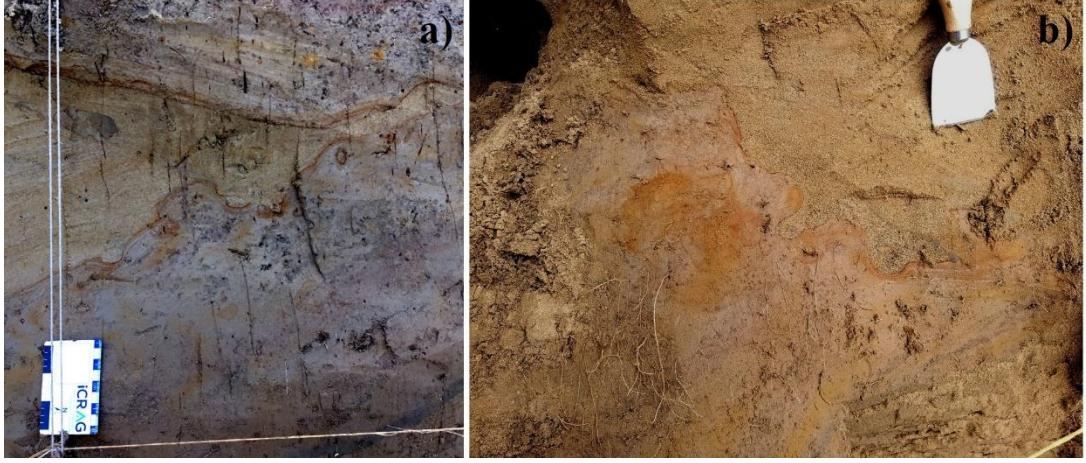


Şekil 5.5: a) ve b) numaralı fotoğraflar, kile doymun bir ortama gelen kum boylu malzeme içerisinde gelişmiş yük yapılarını göstermektedir.

Şekil 5.6'da sunulan fotoğrafta, suya doymun killi seviye ve onu üzerleyerek ve kazarak gelen kanal yapısı gözlenmektedir. Taşkın ile oluşan kanal yapısını üzerleyen kil seviyelerine bakılarak, depolanmada daha durgun bir ortama geçiş yapıldığı söylenebilir.



Şekil 5.6: Kil tane boyu ağırlıklı bir ortamın ardından kanal yapısı ile gelen taşkının yarattığı yük yapısının görünümü.



Şekil 5.7: Boğazköy kesitinin farklı noktalarında gördüğümüz yük yapılarına örnekler.



Şekil 5.8: Boğazköy kesitinde tanımlanan taşkın fasiyeslerine bir örnek olarak bu fotoğrafta, taşkınını ardında bıraktığı sedimantolojik izlere örnek dalgalı katmanlanma (yaygı seli) yapısı.

Şekil 5.9 'da taban çakıllarının ince çakıllı üst seviyesi ile kaba kum boylu malzemenin yer aldığı boğazköy kesiti gridinin en sol alt kısmı yer almaktadır. Taban noktasını, taşkın ovasının daha kurak iklim şartlarında yaptığı depolanmalı fasiyesler

üzerlemektedir. Killi, siltli birimler kesitin bu noktasında bir-iki cm aralanmalı olarak gözlenirler.

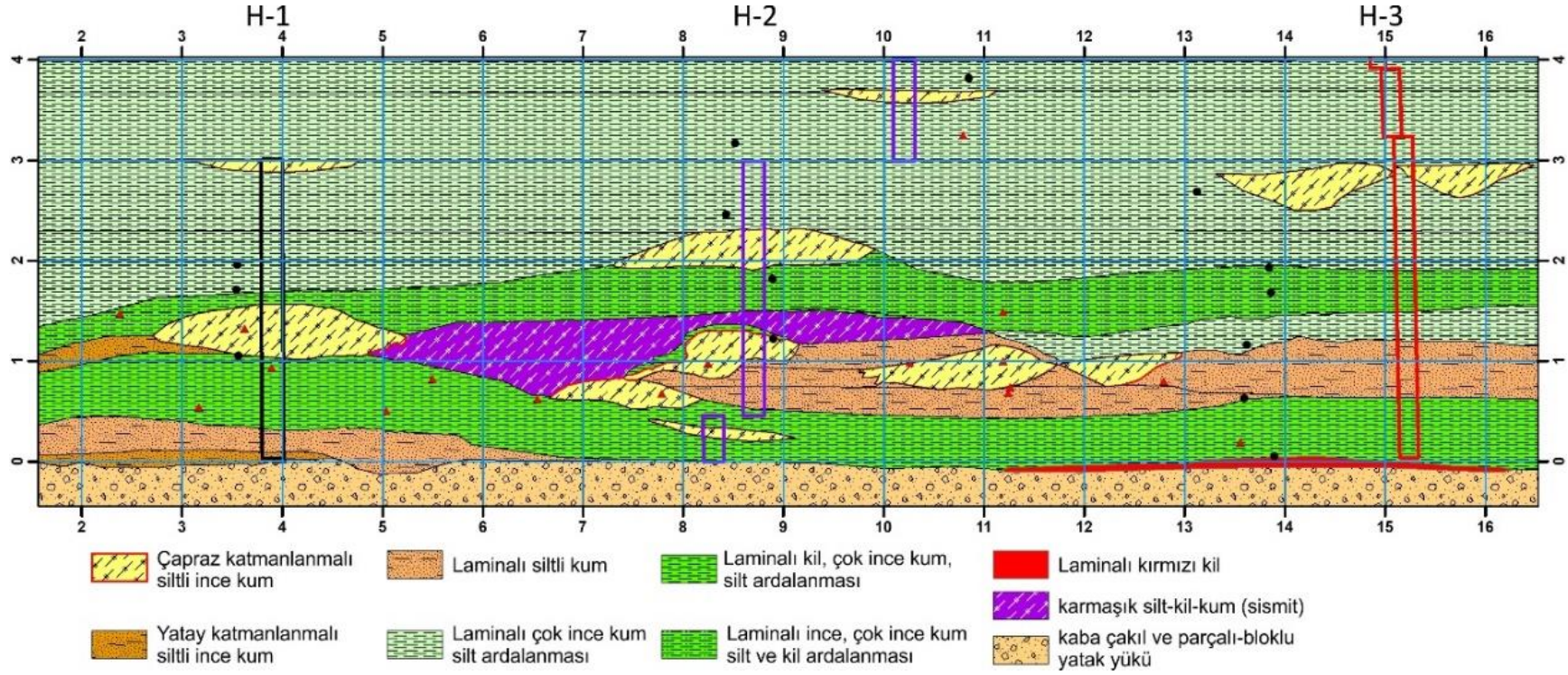


Şekil 5.9: Kesit tabanında yer alan okside olmuş ince çakıl ve kum seviyesini üzerleyen killi birimler.

Boğazköy kesiti, blok ve kaba çakıl boylu yatak yükü çökellerinden başlayarak ince taneli taşkın ovası fasiyesleri ile birlikte yaklaşık 5 metre görünür kalınlığı ile Sakarya Nehri'nin güncel taşkın ovasını detaylandırmaktadır. Kesit boyunca tabandan tavana akarsu taşkın ovası fasiyesine ait yapısal elemanlar gözlenmiştir. Buna göre Boğazköy kesitinde 8 farklı fasiyes birliği bulunmaktadır (Şekil 5.10). Tabanda gözlenen kaba çakıllı parçalı yatak yükü fasiyesi yatay bir seviye izler. Kesitin yatayda

5-11; düşeyde 0.5-1.5 arasındaki kesimi yumuşak çökel deformasyonu nedeniyle karmaşıklaşmış durumdadır. Bu nedenle bu kesim ayrı bir sınıf olarak gruplanmıştır. Kesit geneli değerlendirildiğinde tabandan ilk 2 metrelik kesimin yatayda devamsız olduğu gözlenmektedir. Bunun önemli bir nedeni nehrin yatak yükünü taşkın ovası çökellerini oluştururken sürekli göç etmesidir. Kanalın yerinin kesitte 2m etreden sonra bugünkü pozisyonunu aldığı düşünülebilir. Kesit boyunca belirgin kanal yapısı ve çapraz katmanlanma sunan 12 sel paketi tanımlanmıştır. Bunun yanısıra dalgalı ve paralel laminalı ince kumlu katmanlar da yaygı (sheet) seli çökeli olarak yorumlanmıştır. Silt egemen çökeller durağan dönemleri, kil içeriği yüksek (kum yüzdesi düşük) seviyeler ise kurak / çok kurak dönemleri ifade ettiği yönünde yorumlanmıştır. Kanallar tabanda kazdıkları çok ince taneli seviyelerin üzerine uyumsuz olarak gelirler ve tabanlarında yük ve alev yapıları yaygındır. Çapraz katmanlanma gösteren orta-ince kum tane boyu egemen bu seviyelerin sunan ince kumlu seviyeler de vardır. Bu düzlemler taşkın olarak yorumlanmıştır (Şekil 5.10).

Kesitte kum oranının %50'yi aştığı 9 seviye bulunmaktadır (Tablo 4.4). Bu dönemler Sakarya Nehri'nin olağanın üzerinde bir debiye sahip olduğu sel dönemleri olarak tanımlanmıştır. Sel olayları sonucu depolanan kum boylu malzemeler çok hızlı taşınmakta ve depolanmaktadır.



Şekil 5.10: Boğazköy kesitinin tane boyu ve fasiyes ile sedimanter yapılarına göre sadeleştirilmiş kesiti.

## 5.4. Sakarya Nehri'nin Paleohidrolojisi

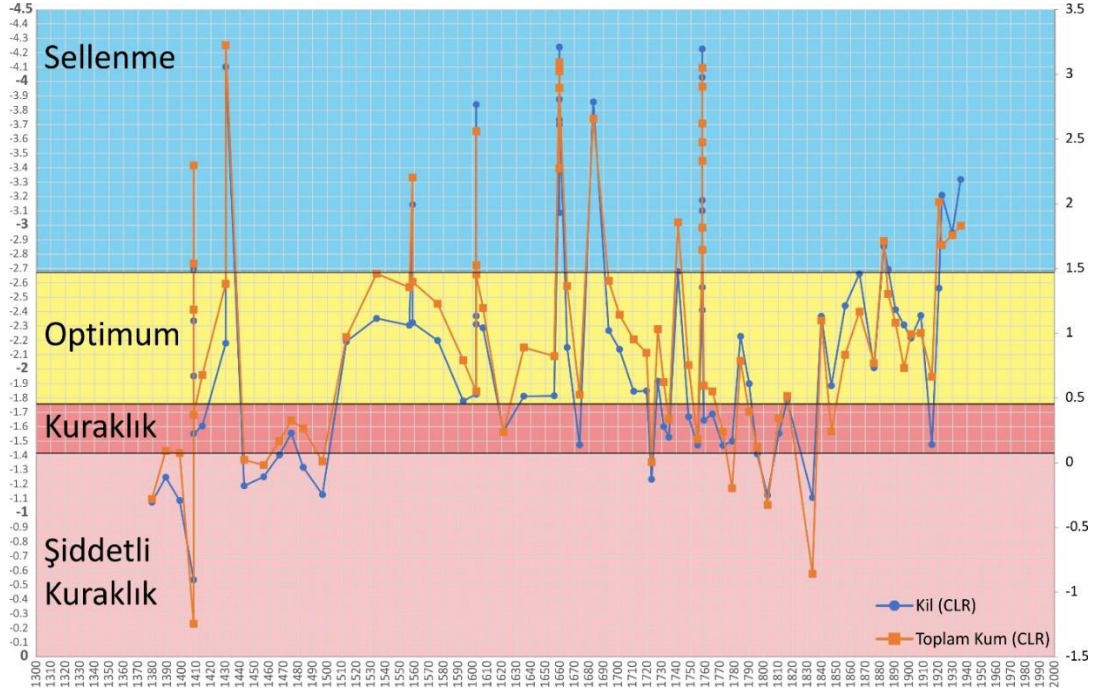
Boğazköy kesiti verilerinden Sakarya Nehri'nin paleohidrolojik (debi) özelliklerinin anlaşılması için kesit boyunca gözlemlerin yanı sıra kapsamlı olarak analiz edilen tane boyu verisi kullanılmıştır. Tane boyu verileri birleşik veri tanımına uyduğu için veriler yorumlanmadan önce her bir ölçüm belirlenmiş sabit bir pozitif sayıya oranlanmalı, bu şekilde veri kapatıldıktan sonra verinin incelenmesi gerektiğinde veya analiz edilmesi gerektiğinde logaritmik bir dönüşüm yaparak verinin açılması gerekmektedir [Aitchison, 1986], [van den Boogaart and Tolosana-Delgado, 2013], [Pawlowsky-Glahn et.al., 2015], [Filzmoser et.al., 2018]. Bu çalışmada diğer dönüşümlere göre en az varsayım gerektiren merkezileştirilmiş log-oranı (clr) kullanılmıştır. Ancak clr dönüşümünde 0 değerini içeren derinlikler dönüşümde tanımsız değerler çıkarmaktadır. Bu sorun 0 içeren hücreleri küçük bir değer (0,1) tanımlanarak çözülmüştür.

H2 kesitine ait tane boyu verisinin (toplam kum ve kil) merkezileştirilmiş log-oranına (clr) göre değerlendirilmesi ile zaman serisi verisine bağlı olarak Şekil 5.11 de verilen grafik çizdirilmiştir. Kum ve kil oranlarında depolanma ortamının koşullarına ve nehrin taşıma enerjisine bağlı olarak belirgin bir negatif korelasyon görülmektedir. Kesit boyunca yapılan gözlemlerde kanal geometrisi sunan, çapraz katmanlanmalı iç yapıya sahip seviyeler sel dönemleri olarak halihazırda tanımlanmıştır. Kesit boyunca sellenmeleri işaret eden seviyelerin kalınlıklarına bakılmaksızın aynı anda depolandığı varsayılmış ve bu varsayım yaş modeli kurulurken kullanılmıştır. Bu kesit boyunca tane boyu analizine (clr) göre depolanan çökel paketleri 4 farklı sınıftaki hidrolojik rejime göre sınıflandırılmıştır (Tablo 5.3).

Tablo 5.2: Tane boyu (merkezileştirilmiş log oranı clr) dağılımına göre hidrolojik rejim sınıflandırması.

Hidrolojik Rejim	Toplam Kum (% clr)	Kil (% clr)
Sel	>1.5	<-2.68
Optimum	0.45-1.5	-1.75- -2.68
Kurak	0.1-0.45	-1.4- -1.75
Aşırı Kurak	<0.1	>-1.4

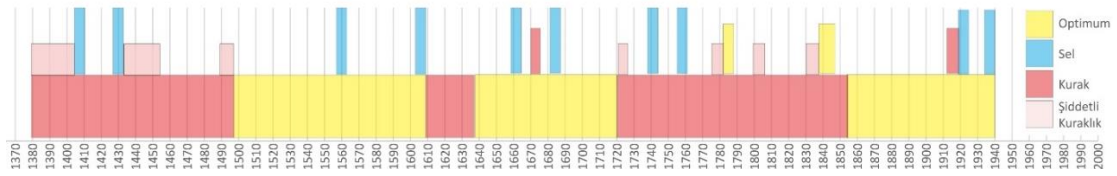
Tablo 5.2’de yer alan sınıflamaya göre Şekil 5.11 deki bütünleşik paleohidrolojik rejim modeli üretilmiştir. Tablo 5.2’de tanımlanan eşik değerleri aralığında, kısa süreli hidrolojik ekstrem olarak tanımlanabilecek sel ve şiddetli/aşırı kurak dönemler ile uzun süreli akış rejimini ifade edebilecek optimum ve kurak dönemler bu şekilde zaman serisi olarak sunulmaktadır.



Şekil 5.11: Takvim yılı tane boyu (toplam kum ve kil, clr) değişimi ile paleohidrolojik rejim modelinin gösterimi.

Bu değerlendirmeye göre MS 1380 yılından günümüze inceleme alanında Sakarya Nehri akış rejimi için optimum ve görece kurak sınıflarında altı farklı uzun süreli dönem tanımlanmıştır. Bu altı dönem içerisinde kısa süreli tanımlanan 10 sel olayı, 7 şiddetli kurak dönemi, iki de kurak dönemden oluşan 19 hidrolojik ekstrem yorumlanmıştır (Tablo 5.3).

Tablo 5.4’de yer alan başlangıç ve bitiş için verilen değerler, Bayes yaş-derinlik modeli sonuçlarında derinliğe karşılık gelen sonsal dağılımın ortancası iken belirsizlik aralıkları bu sonsal dağılımda %89 Bayes güven aralığını belirtmektedir.



Şekil 5.12: Sakarya Nehri'nin takvim zamanı içerisinde Paleohidrolojik rejim modeli ve ekstremleri.

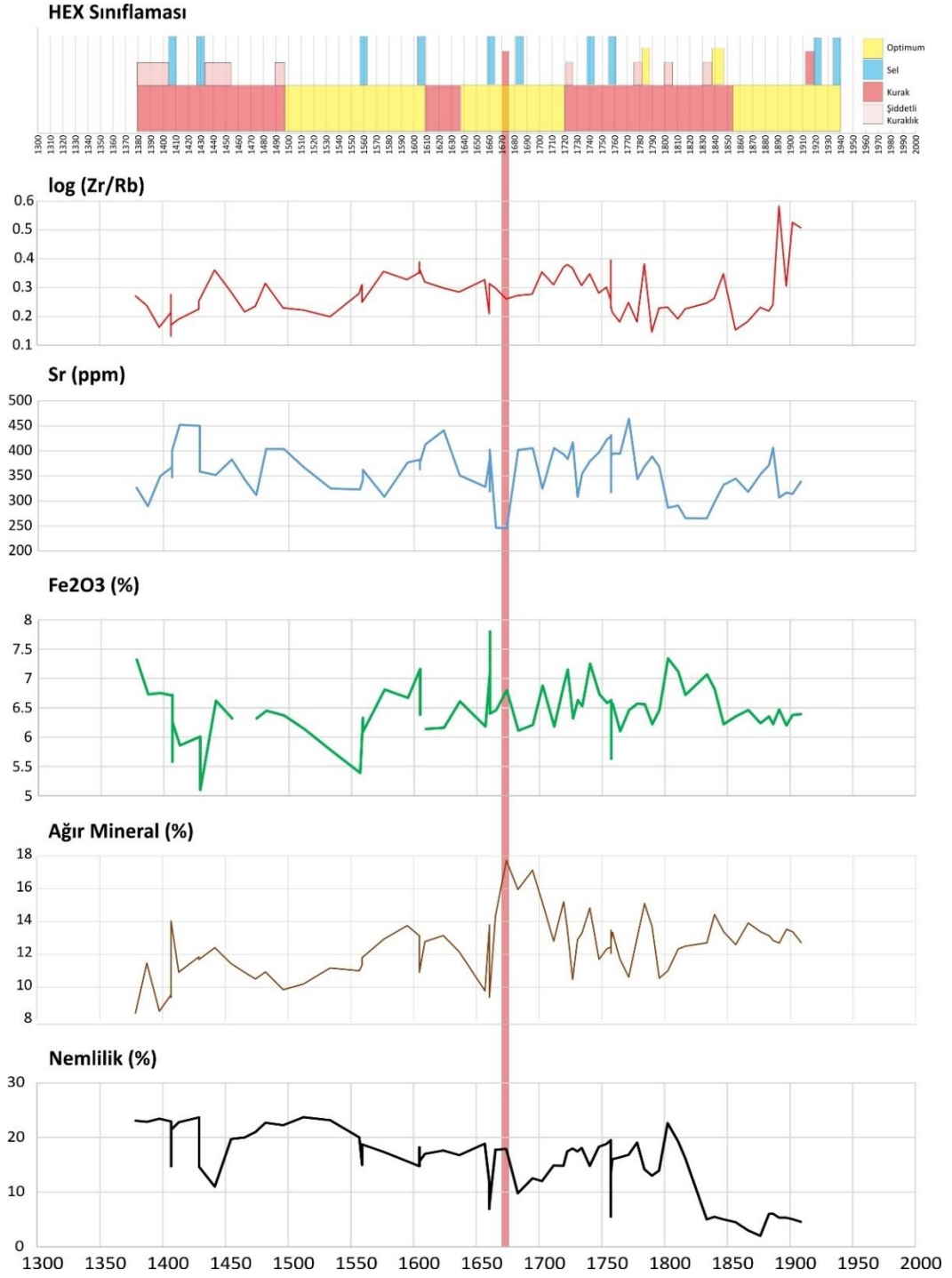
Tablo 5.3: Bu çalışma kapsamında tespit edilen hidrolojik dönemler ve bu dönemler içerisindeki ekstremler.

Dönem	Hidrolojik Rejim	Başlangıç	Belirsizlik Aralıkları	Bitiş	Belirsizlik Aralıkları	Eksrem (Kurak)	Ekstrem (Sel)
1	Kurak	1380	1350-1400	1500	1480-1520	3	2
2	Optimum	1500	1480-1520	1610	1600-1620	-	2
3	Kurak	1610	1600-1620	1640	1620-1650	-	-
4	Optimum	1640	1620-1650	1720	1700-1750	1	2
5	Kurak	1720	1700-1750	1855	1830-1870	4	2
6	Optimum	1855	1830-1870	1940	1900-1950	1	2

## 5.5. Kesitlerin çoklu veri yaklaşımı ile değerlendirilmesi

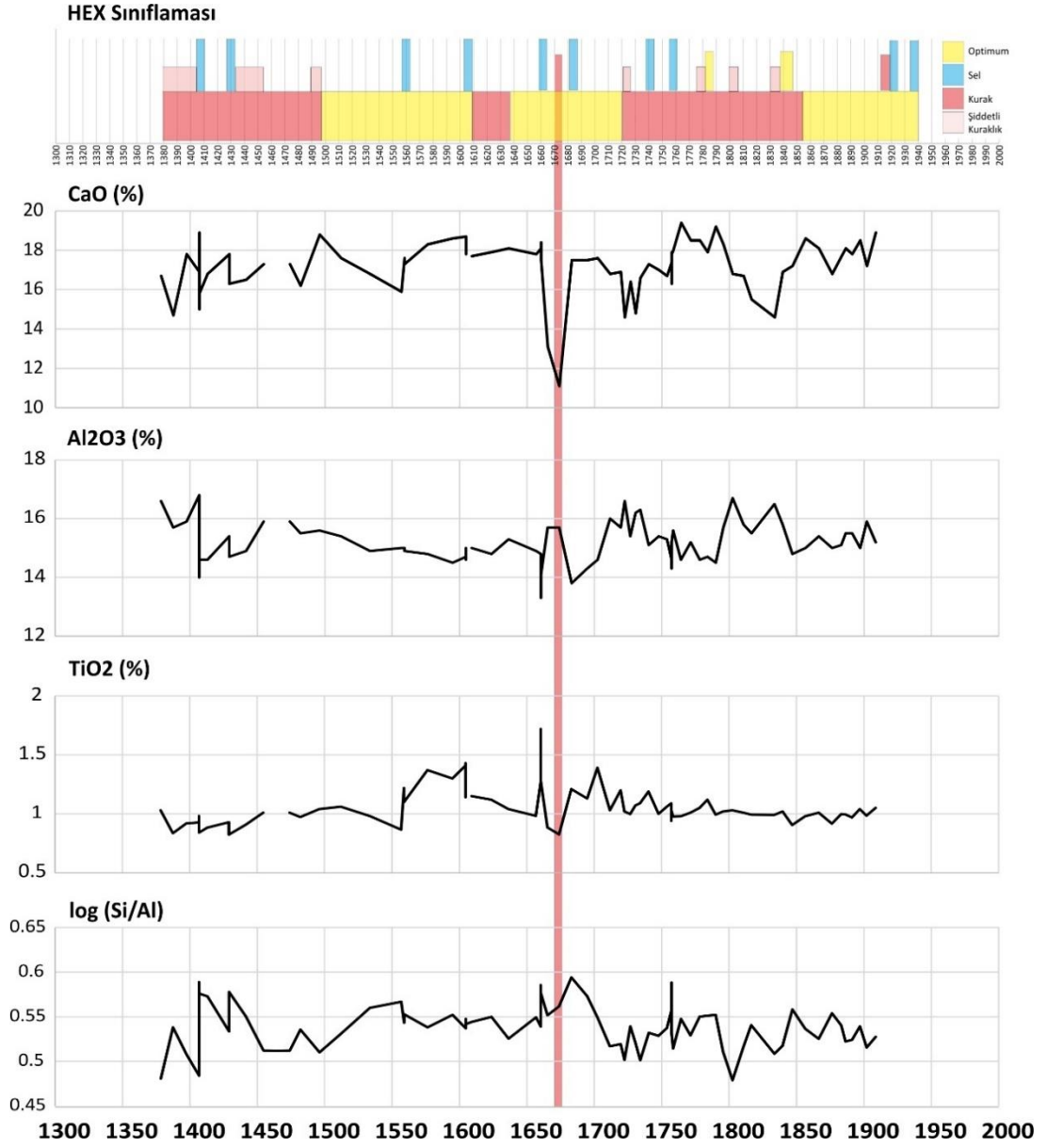
Yaş modelinin oluşturulması ile kesit derinlik ve stratigrafik ayrımın ötesinde tarih ile ifade edilebilmiştir. Yaklaşık 400 cm'den oluşan Boğazköy kesiti yaş-depolanma modelinin kullandığı farklı verilere bağlı olarak bir hata payı içerisinde yaklaşık 1380 yılından 1940 yılına dek depolanmıştır. Yaş modeli sayesinde çalışma alanında derinliği bilinen bütün vekil verilerin zamansal bir karşılığı olmuştur. Şekil 5.13 ve 5.14'de Aşağı Sakarya Nehri paleohidrolojine bir yaklaşım sunulmuş ve elde edilen analitik veriler yaşa göre çizdirilmiştir. Şekil 5.13 ve 5.14'de en üstte yer alan grafik HEX sınılamasını ifade etmektedir. Üç kurak (kırmızı), üç optimum dönem (sarı) ayırtlanmıştır ve bu dönemler içerisinde çeşitli ekstrem durumlar; mavi barlar taşkını, sarı barlar nehrin optimum şartlarda yer aldığı dönemleri, kırmızı barlar kurak dönemleri, açık pembe renkli barlar ise şiddetli kuraklık dönemlerini ifade edecek şekilde çizilmiştir (Şekil 5.13 ve 5.14). Şekil 5.13'de yer alan vekil verilerden; Log (Zr/Rb) oranı ve Sr değerleri ICP-OES yöntemi ile elde edilmiş verilerdir. Zr/Rb oranı bir taşkın belirteci olarak kullanılmaktadır [Jones vd., 2010]. Ancak Şekil 5.13'de gözlenebilecek çok belirgin bir Zr/Rb taşkın ilişkisi gözlenmemektedir. Sr değerlerinin nehrin kurak dönemlerinde düştüğünü optimum dönemlerde ise artış

trendi gösterdiği yorumu yapılabilir. XRF yöntemi ile ölçülmüş  $Fe_2O_3$  değerlerinin kurak dönemlerde artış eğilimi gösterirken taşkın olaylarının bazılarında belirgin düşüşler gözlenmektedir. Grafikteki diğer vekil veriler Ağır mineraller ve Nemlilik analizleridir. Bu analizler mineral ayırma analizi ile elde edilmiştir. Özellikle nemlilik değerleri kesitteki tane boyu ile ilişkili olarak killi-siltli birimlerde artış gösterirken kum içeriği yüksek birimlerde düşüktür. Ağır mineraller ise genellikle killi birimlerde pik değerler sunmaktadır.



Şekil 5.13: Hidrolojik dönemler ve ekstremlerin kesit boyunca analitik veriler ile karşılaştırılması.

Şekil 5.14’de yer alan HEX sınıflamasına ek, XRF verileri olan CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> ve Log(Si/Al) oranı yer almaktadır. Kullanılan tüm verilerin HEX sınıflaması ile oldukça yüksek uyum gösterdiği yorumu yapılabilir.



Şekil 5.14: Hidrolojik dönemler ve ekstremlerin kesit boyunca analitik veriler ile karşılaştırılması.

Şekil 5.13 ve 5.14’de ortak olarak çizilmiş olan yaklaşık 1675 yıllarını kapsayan kırmızı renkli bar elde edilen pek çok vekil veride bir pik değere karşılık gelmektedir. Bu aralık, HEX sınıflandırmasında bir optimum dönem içerisinde iki taşkın seviyesinin arasında tanımlanmış bir kuraklık dönemidir. Birçok farklı ölçüm tekniği, cihazı vb ile üretilmiş birbirinden farklı bu veri setinde belirgin bir pik değerine karşılık gelen bu dönem çalışmanın kendi içinde bir sağlaması olarak düşünülebilir.

## 5.6. Karşılaştırma ve Tartışma

Nehirlerin alüvyal depoları yazılı olmayan bir sel kaydını temsil eder.

Çalışma kapsamında üretilen Sakarya Nehri'nin MS-1380-1950 yıllarına ait hidrolojik sınıflandırması, modeli ve ekstrem dönemleri verisi (Şekil 5.15) inceleme alanı yakın çevresi ve bölgesel paleoiklim ve paleohidroloji verileri ile son 1000 yılı kapsayacak ölçüde karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada Eski Dünya Kuraklık Atlası (Old World Drought Atlas, OWDA) scPDSI [Cook vd., 2015], Karasu havzası paleohidrolojik değişimi [Güner et.al., 2018], Trakya Uzuntarla Mağarası stalagmiti duraylı karbon izotop oranı değişimi ve 11 yıl ortalaması [Göktürk, 2011], KB Anadolu Çubuk Gölü taban çökelleri duraylı oksijen izotop oranı verisi [Ocakoglu et.al., 2018], İç Anadolu Nar Gölü duraylı oksijen izotop verisi [Jones et.al., 2006], Kuzey İskoçya Tartair Mağarası stalagmit büyüme hızı [Baker et.al., 2015] ve güneş aktivite dönemleri [Steinhilber et.al., 2012] zaman serisi verileri kullanılmıştır (Şekil 5.15).

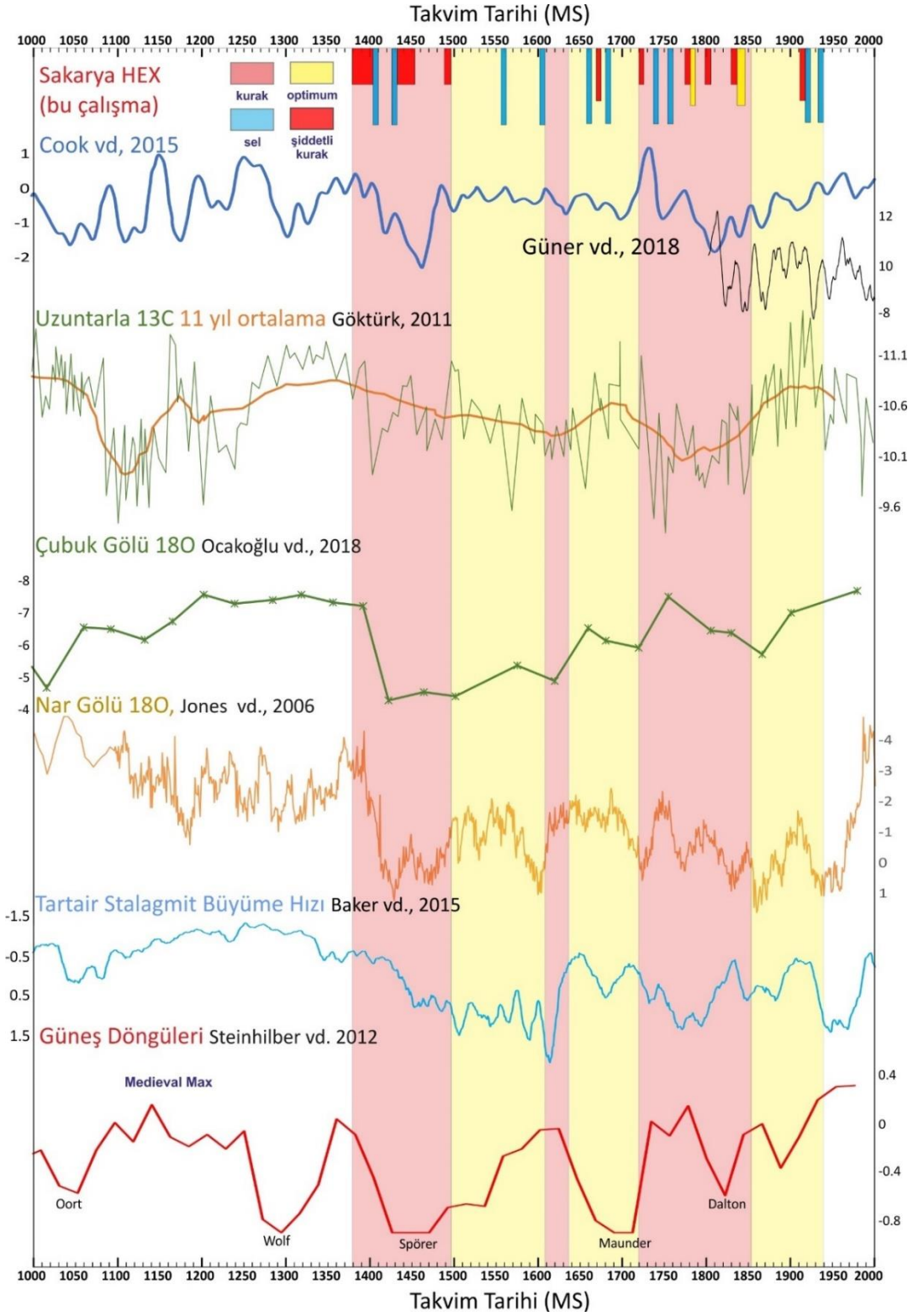
Bu çalışmada elde edilen verilerden üretilen Sakarya Nehri paleohidrolojik rejim modeli belirgin bir kuraklık dönemi ile başlar.1380-1500 yılları arasında yaklaşık 120 yıl süren bu dönem içerisinde yer yer şiddetli kurak dönemlerde yer almış ve 2 adet belirgin sel dönemi kayıtlanmıştır. Bu dönem ve kapsadığı zaman karşılaştırmada kullanılan tüm literatür verisi ile uyumludur. 1400-1600 yılları arasında tanımlanan 1. optimum ve 1630-1730 yılları arasında tanımlanan 2. optimum dönemleri ile arasında yer alan kurak dönem özellikle OWDA, Nar Gölü, Tartair olmak üzere tüm paleoiklim kayıtlarıyla belirgin bir uyum göstermektedir.

Günümüze yaklaştıkça karşılaştırmalı kullanılan verilerin kendi aralarındaki korelasyonu da düşmektedir. Bunun önemli bir nedeni verilerin yaş modelinde kullanılan tarihlendirme yöntemi (özellikle radyokarbon) ve sayısı olduğu düşünülebilir.

Bununla birlikte 1730-1850 yılları arasında tanımlanan kurak dönem tüm karşılaştırma verilerinde karşılığını bulmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında tanımlanan ekstremler (sel ve şiddetli kurak) özellikle detaylı zaman serisi verisi sunan OWDA, Uzuntarla ve Nar Gölü verilerinin zirve ya da dip yaptığı konumlara karşılık gelmektedir.

Sakarya Nehri'nin paleohidrolojik rejim modeli güneş döngüleri ile doğrudan/görünür bir korelasyon sunmamaktadır.



Şekil 5.15: Son 60 yıl içerisinde Sakarya Nehri'nin hidrolojik dönemleri ve çevresel paleoklimatolojik verilerle karşılaştırılması.

## 6. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Bu çalışma ile Türkiye’de ilk kez Küçük Buzul Çağı’nı bulgulayan akarsu çökel paketinden birçok farklı analitik sonuçlar yoluyla paleohidroloji çıkarımları yapılmıştır. Bu ayrıntıda bir çalışma Dünya’da da sayılıdır. Günümüzde göl, deniz, mağara, buzul kayıtlarından farklı zaman aralıklarını kapsayabilen paleoiklim çalışmaları Kuvaterner çalışma konularının önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Akarsuların paleohidroloji ve aynı zamanda paleoiklim verisini barındıran kayıtlarını bulmak nadir olsa da, çökel kaydın yer aldığı nehirler bulunduğu takdirde bölgesel veya yerel paleoiklim verisi üretmek ve yaygınlaştırmak oldukça yeni ve önemli bir çalışma konusudur. Bu çalışmada diğer iklim verisi üretilen ortamlarda kullanılan veri türleri akarsu ortamına göre yeniden düzenlenerek kullanılmıştır. Bunun yanı sıra özgün teknikler de uygulanmıştır. Literatürde çoklu-vekil olarak isimlendirilen bir yaklaşım benimsenmiştir. Bu çalışma kapsamında kullanılan analitik yöntemler ve onların kısaca kullanım amaçları şu şekilde özetlenebilir;

- Lazer granülometre cihazıyla yapılmış cm hassasiyetinde tane boyu analizi temel sedimantolojik veri setini oluşturmaktadır. Bu analiz, akarsu ortamındaki geçmişte yaşanan herhangi debi değişimine taşıdığı tane boyu ile tepki vermesi hipotezine dayanmaktadır ve diğer yöntemler ile denetirme yapılabilecek sonuçlar bulgulanmıştır.
- XRF ve ICP-OES gibi iki farklı teknikte yapılmış çökel jeokimyası çalışması tamamlanmıştır. Akarsuların normal akış rejiminde taşıdığı çökel içerisindeki jeokimyasal bileşim ile sel veya kuraklık gibi ekstrem olaylar sırasındaki jeokimyasal bileşim arasında fark olduğu ve bunun başta farklı, daha uzak yerlerde bulunan ana kayadan türeyen çökelin kaynak kaya jeokimyasının değişmesi veya çökeltme sonrası jeokimyasal değişimlerin tespit edilebilmesi gibi hipotezlere dayanmaktadır. Pek çok element oranında belirgin ekstrem olayların ilişkileri tespit edilmiştir.
- Mineral ayırma analizi ile diğer analitik veriler ile denetirilebilecek, başta nemlilik gibi veriler üretilmiştir. Bu analiz ile numunenin fiziksel bileşimi ve mineral kompozisyonu ile kesit boyunca bu ilişkilerin diğer veriler ile denetirilmesi mümkün olmuştur.

- Tezde kullanılan analitik yöntemlerden en güncel vekil veriyi sunan Mikroplastik analizi ile kesitin 1950 yılında depolanmanın bitip bitmediği hipotezi test edilmiştir. Aynı zamanda nehir dinamikleri açısından önemli sonuçlar bulgulanmıştır.

Çalışma kapsamında kullanılan radyokarbon, lüminesans, dendrokronoloji ve olay seviyeleri gibi yaşlandırma yöntemleri ve yaş modelinin sunmuş olduğu belirsizlik aralıkları ile birlikte aşağı Sakarya Nehri'nin son 600 yılda geçirdiği 3 kurak zaman dilimi 3 tane de nehir için optimum zaman dilimi içerisinde gerçekleşen ekstrem olayların tarihsel ve stratigrafik karşılıkları oluşturulmuştur. Çalışmanın birbirinden farklı yaşlandırma yöntemleri kullanması, hem model hem de mutlak yaşların yaş modelinde değerlendirilmiş olması en önemli avantajlarından. Tez çalışması kapsamında tarihler ve onların model sonuçları 121Y110 TÜBİTAK Projesi çıktılarından sadeleştirerek alınmıştır.

Akarsu ortamında çalışmanın sınırlayıcı ve destekleyici yönleri söz konusudur. Akarsu çalışmalarının zor ve sınırlayıcı tarafları; fasiyeslerin yatayda devamlılığının olmaması, akarsuların açık bir sistem olması sebebiyle jeokimyasal yorumların zorluğu, jeolojik çeşitlilik varlığı, çökme sonrası kesitin geçirdiği çevresel değişikliklerin ayırt zorluğu gibi sıralanabilir.

Akarsu çökme paketinden paleo-hidroloji yorumu yapabilmeyen avantajları ise: çok sayıda nehrin taşkın ovası çökeli barındırması ve bu çalışmanın farklı zaman aralıkları ve iklim, tektonik özelliklere sahip bölgeler için yaygınlaştırabilme zenginliği; tarihsel taşkın ve kuraklık kaydının tutulmadığı alanlarda çökme kaydını yazılı olmayan bir kayıt sunma avantajı; göl, mağara gibi iklim çalışmasının yürütüldüğü alanlara kıyasla akarsuların çok daha yaygın bulunması ve büyük havzalarda bölgesel etkilerinin anlaşılabilmesi gibi sıralanabilir.

Bu çalışma kapsamında kullanılan yöntemler, farklı nehirlerde, farklı iklim kuşaklarında ve farklı zaman aralıklarında gelecekte uygulanırsa; her nehir ve kesit yönteme katkı sağlayarak kullanılan metod ve yaklaşımları zenginleştirecektir. Böylece kendi içinde kıyaslama da yapılabilir olacaktır. Böylelikle nehirlerin paleohidrolojisi hakkında çıkarımlar yapılabilecektir. Bu aynı zamanda paleo-iklim hakkında önemli sonuçlar elde edebilme fırsatı sağlayacaktır.

## KAYNAKLAR

Aitchison J., (1984), "The statistical analysis of geochemical compositions", *Journal of the International Association for Mathematical Geology*, 16, 531-564.

Aitken M.J., (1998), "An introduction to optical dating: the dating of quaternary sediments by the use of photon-stimulated luminescence", Oxford University Press, New York.

Akartuna M., Atan O. R., (1981), "Geyve-Ikramiye-Fındıksu (Sakarya) dolayının jeolojisi", *Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Dergisi*, (1), 25-46.

Akbayram K., Sorlien C. C., Okay A. I. (2016), "Evidence for a minimum  $52\pm 1$  km of total offset along the northern branch of the North Anatolian Fault in northwest Turkey", *Tectonophysics*, 668, 35-41.

Akçer Ön S., (2011) "Küçükçekmece lagünü, Yeniçağa, Uludağ Buzul ve Bafa göllerinin (Batı Türkiye) geç Holosen'deki iklim kayıtları: Avrupa ve Orta Doğu iklim kayıtları ile karşılaştırılması", *Doktora Tezi, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü*.

Akçer Ön S., (2017), "Küçük Buz Çağı'nda Güneş Etkisine Bağlı İklim Değişimleri: Köyceğiz Gölü Çökel Kayıtları (GB Anadolu)", *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 60, 569-588.

Ambraseys N. N., Jackson J. A., (2000), "Seismicity of the Sea of Marmara (Turkey) since 1500", *Geophysical Journal International*, 141(3), F1-F6.

Ambraseys N.N., and Finkel C., (1995), "The Seismicity of Turkey and Adjacent Areas. A Historical Review, 1500-1800", Eren Yayıncılık, ISBN / ISSN: 9789757622383.

Baker A. C., Hellstrom J., Kelly B. F., Mariethoz, G., Trouet, V., (2015), "A composite annual-resolution stalagmite record of North Atlantic climate over the last three millennia", *Scientific reports*, 5(1), 10307.

Baker D. E., Amacher M. C., (1983), "Nickel, copper, zinc, and cadmium", *Methods of Soil Analysis, Part 2 Chemical and Microbiological Properties*, 9, 323-336.

Benito G., Harden T. M., O'Connor J., (2020), "Quantitative Paleoflood Hydrology", *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*, 0-22.

Benito G., Lang M., Barriendos M., Llasat M. C., Francés F., Ouarda T., Thorndycraft V., Enzel Y., Bardossy A., Coeur D., Bobée, B. (2004), "Use of systematic, palaeoflood and historical data for the improvement of flood risk estimation", *Review of scientific methods. Natural hazards*, 31, 623-643.

Benito G., Macklin M. G., Zielhofer C., Jones A. F., Machado M. J., (2015), "Holocene flooding and climate change in the Mediterranean", *Catena*, 130, 13-33.

Bertin E. P., (1978), "Properties of X-rays", Introduction to X-ray spectrometric analysis, 59-81.

Bilgin T., (1984), "Adapazarı Ovası ve Sapanca Oluđu'nun alüvyal jeomorfolojisi", İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayınları, 2572.

Blaauw M., Christen J. A., (2011), "Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process", Bayesian Analysis 6(3): 457–474.

Blaauw M., Christen J. A., Bennett K. D., Reimer P. J. (2018), "Double the dates and go for Bayes—Impacts of model choice, dating density and quality on chronologies", Quaternary Science Reviews, 188, 58-66.

Blöschl G., Kiss A., Viglione A., Barriendos M., Böhm O., Brázdil R., Wetter O., (2020), "Current European flood-rich period exceptional compared with past 500 years", Nature, 583(7817), 560–566.

Bond G.C., Showers W., Cheseby M., Lotti R., Almasi P., de-Menocal P., Priore P., Cullen H., Hadjas I., Bonani G., (1997), "A pervasive millennial-scale cycle in North Atlantic Holocene and glacial climate", Science 278, 1257-1266.

Boss C. B., Fredeen K. J., (1997), "Concepts, Instrumentation and Techniques in Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry", Second Edition. Perkin elmer, pp. 36-71.

Boyle J., (2001), "Redox remobilization and the heavy metal record in lake sediments: a modelling approach", Journal of Paleolimnology, 26(4), 423-431.

Bozcu M., (1992), "Geyve (Adapazarı)-Sapanca dolayinin jeolojik ve petrolojik incelenmesi", Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi.

Büntgen U., Urban O., Krusic P. J., Rybníček M., Kolář T., Kyncl T., Trnka M., (2021), "Recent European drought extremes beyond Common Era background variability", Nature Geosciences.

Calvert S. E., Bustin R. M., Ingall E. D., (1996), "Influence of water column anoxia and sediment supply on the burial and preservation of organic carbon in marine shales", Geochimica et Cosmochimica Acta, 60(9), 1577-1593.

Camuffo D., della Valle A., Becherini F., (2020), "A critical analysis of the definitions of climate and hydrological extreme events", Quaternary International, 538, 5-13.

Charlton R., (2007), "Fundamentals of fluvial geomorphology". Routledge.

Cook E. R., Seager R., Kushnir Y., Briffa K. R., Büntgen U., Frank D., Zang C., (2015), "Old World megadroughts and pluvials during the Common Era", Science Advances, 1(10), 1–10.

Cook E., (1985), "A time series analysis approach to tree-ring standardization", Unpublished PhD Dissertation, University of Arizona, Tucson, AZ.

Dikbaş A., 2009, “Kuzey Anadolu Fay Zonunun İzmit-Gölyaka (Düzce) arasındaki segmentlerinin paleosismolojisi ve morfolojik özellikleri”, Doktora tezi, İTÜ Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü.

Dikbaş A., Akyüz H. S., Meghraoui M., Ferry M., Altunel E., Zabcı C., Langridge R., Yalçın C. Ç., (2018), “Paleoseismic history and slip rate along the Sapanca-Akyazi segment of the 1999 İzmit earthquake rupture (Mw= 7.4) of the North Anatolian Fault (Turkey)”, *Tectonophysics*, 738, 92-111.

Dikbaş A., Akyüz H.S., (2010), “KAF Zonu üzerinde İzmit-Sapanca Gölü segmentinin fay morfolojisi ve paleosismolojisi”, *İTÜ Dergisi/d 9 (3)*, 141–152.

Doğan A., (2004), “Sakarya Havzası (Plio-Kuvaterner) Güney Kesimi Holosen İstifinin Sedimanter Özellikleri ve Jeolojik Evrimi”, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi.

Duller G. A. T., (2008), “Luminescence Dating: Guidelines on Using Luminescence Dating in Archaeology”, *English Heritage*, Swindon.

Dypvik H. and Harris N. B., (2001), “Geochemical facies analysis of fine-grained siliciclastics using Th/U, Zr/Rb and (Zr+ Rb)/Sr ratios”, *Chemical geology*, 181(1-4), 131-146.

Emre Ö., Erkal, T., Tchepalyga A., Kazancı N., Keçer M., Ünay E., (1998), “Doğu Marmara Bölgesinin Neojen-Kuvaternerdeki Evrimi”, *MTA Dergisi*, 120, 289-314.

Erturaç M. K., (2021), “Late Pleistocene-Holocene characteristics of the North Anatolian Fault at Adapazarı Basin: evidence from the age and geometry of the fluvial terrace staircases”, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 30(1), 93–115.

Erturaç M. K., Şahiner E., Zabcı C., Okur H., Polymeris G. S., Meriç N., İkiel C., (2019), “Fluvial response to rising levels of the Black Sea and to climate changes during the Holocene: Luminescence geochronology of the Sakarya terraces, Holocene, 29(6), 941–952.

Ferry M., Meghraoui M., Girard J., Rockwell T.K., Kozacı O., Akyüz H.S., Barka A., (2004), “Ground-penetrating radar investigations along the North Anatolian Fault near İzmit, Turkey: constrains on the right-lateral movement and slip history”, *Geology* 32 (1), 85–88.

Filzmoser P., Hron K., Templ M., (2018), “Applied Compositional Data Analysis: With Worked Examples in R. Springer Series in Statistics”, Springer.

Fleitmann D., Cheng H., Badertscher S., Edwards R. L., Mudelsee M., Göktürk O. M., Tüysüz O., (2009), “Timing and climatic impact of Greenland interstadials recorded in stalagmites from northern Turkey”, *Geophysical Research Letters*, 36(19), 1–5.

Forman S.L., (2015), “Luminescence Dating in Paleoseismology”. *Encyclopedia of Earthquake Engineering*, Springer.

Göktürk O. M., Fleitmann D., Badertscher S., Cheng H., Edwards R. L., Leuenberger M., Kramers J., (2011), “Climate on the southern Black Sea coast during the Holocene:

Implications from the Sofular Cave record”, *Quaternary Science Reviews*, 30(19–20), 2433–2445.

Gregory L. C., Meert J. G., Pradhan V., Pandit M. K., Tamrat E., Malone S. J. (2006), “A paleomagnetic and geochronologic study of the Majhgawan kimberlite, India: implications for the age of the Upper Vindhyan Supergroup”, *Precambrian Research*, 149(1-2), 65-75.

Güner H. T., Köse N., Harley G. L., (2017), “A 200-year reconstruction of Kocasu River (Sakarya River Basin, Turkey) streamflow derived from a tree-ring network”. *International Journal of Biometeorology*, 61(3), 427–437.

Hjulström F., (1935), “Studies of the morphological activity of rivers as illustrated by the River Fyris”, Doctoral dissertation, The Geological institution of the University of Upsala.

IPCC, (2012), Field C. B., Barros V., Stocker T. F., Qin D., Dokken D. J., Ebi K. L., Mastrandrea M. D., Mach K. J., Plattner G. K., Allen S. K., Tignor M., Midgley P. M. (Eds.), “Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation”, Annex II: Glossary. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge.

Jones A. F., Lewin J., Macklin M. G. (2010), “Flood series data for the later Holocene: available approaches, potential and limitations from UK alluvial sediments”, *The Holocene*, 20(7), 1123-1135.

Jones A. F., Macklin M. G., Brewer P. A., (2012), “A geochemical record of flooding on the upper River Severn, UK, during the last 3750 years”, *Geomorphology*, 179, 89–105.

Jones M. D., Roberts C. N., Leng M. J., Türkeş M., (2006), “A high-resolution late Holocene lake isotope record from Turkey and links to North Atlantic and monsoon climate”, *Geology*, 34(5), 361-364.

Kawamura K., Oguri K., Toyofuku T., Radakovitch O., Fontanier C., Sasaki K., Murayama M., (2021), “Tsunami-triggered dispersal and deposition of microplastics in marine environments and their use in dating recent turbidite deposits”, *Characterization of Modern and Historical Seismic–Tsunamic Events, and Their Global–Societal Impacts*, Geological Society, London, Special Publications.

Kerey İ. E., Erkal T., (2014), “Sedimantoloji”, Nobel Yayınları, Ankara.

Kim S., Yang D. S., Kim Y. S., (2020), “Distribution of metal contamination and grain size in the sediments of Nakdong River, Korea”, *Environmental Monitoring Assessment*, 192: 502.

Koç G., Thielen A. H., (2018), “The relevance of flood hazards and impacts in Turkey: What can be learned from different disaster loss databases?”, *Natural hazards*, 91(1), 375-408.

Kuniholm P. I., (2000), "Dendrochronologically dated Ottoman monuments", in: U. Baram, L. Carroll (Eds.), *A historical archaeology of the ottoman empire: breaking new ground*, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, pp. 93–136.

Kuzucuoğlu C., (2009), "Climate and Environment in times of cultural changes from the 4th to the 1st mill. BC in the Near and Middle East", *Scienze Dell'antichità* 15: 193–216.

Langridge R. M., Stenner H. D., Fumal T. E., Christofferson S. A., Rockwell T. K., Hartleb R. D., Bachhuber J., Barka A. A., (2002), "Geometry, slip distribution and kinematics of the surface rupture on the Sakarya fault segment during the 17 August 1999 İzmit, Turkey, earthquake", *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92, 107–125.

Luterbacher J., Garcia-Herrera R., Acker Ö S., Allen R., Alvarez Castro M. C., Benito G., Booth J., Buntgen U., Cagatay N., Colombaroli D., Davis B., Esper J., Felis T., Fleitman D., Frank D., Gallego D., Garcia Bustamante E., Glaser R., Gonzales Rouco F. J., Goosse H., Kiefer T., Macklin M. G., Manning S. W., Montagna P., Newman L., Power M. J., Rath V., Ribera P., Riemann D., Roberts N., Sicre M. A., Silenzi S., Tinner W., Tzedakis P. C., Valero Garces, B., van der Schrier G., Vanniere B., Vogt S., Wanner H., Werner J. P., Willitt G., Williams M. H., Xoplaki E., Zerefos C. S., Zorita E., (2012), "A review of 2000 years of paleoclimatic evidence in the mediterranean", *The Climate of the Mediterranean Region*.

Luterbacher J., Pfister C., (2015), "The year without a summer", *Nature Geoscience* 8, 246-248.

Macklin M. G., Benito G., Gregory K. J., Johnstone E., Lewin J., Soja R., Starkel L., Thorndycraft, V. R., (2006), "Past hydrological events reflected in the Holocene fluvial history of Europe", *Catena* 66 (1–2), 145–154.

Macklin M. G., Jones A. F., Lewin J., (2010), "River response to rapid Holocene environmental change: evidence and explanation in British catchments", *Quaternary Science Reviews*, 29(13-14), 1555-1576.

Macklin M. G., Lewin J. (2003) "River sediments, great floods and centennial-scale Holocene climate change", *Journal of Quaternary Science: Quaternary Research Association*, 18(2), 101-105.

Macklin M. G., Lewin J. (2008), "Alluvial responses to the changing Earth system", *Earth Surface Processes and Landforms*: 33(9), 1374-1395.

Macklin M. G., Rumsby B. T., (2007), "Changing climate and extreme floods in the British uplands", *Transactions of the Institute of British Geographers* 32: 168–186.

Mann M. E., Bradley R. S., Hughes M. K., (1998), "Global-scale Temperature Patterns and Climate Forcing Over the Past Six Centuries", *Nature*, 392, 779–787.

- Mann M. E., Zhang Z., Rutherford S., Bradley R. S., Hughes M. K., Shindell D., Ni F., (2009), "Global signatures and dynamical origins of the Little Ice Age and Medieval Climate Anomaly", *Science*, 326(5957), 1256-1260.
- Masson Delmotte V., (2013), *The Physical Science Basis Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (ed Stocker, T. F.383–464. Cambridge Univ. Press.
- Mayewski P. A., Rohling E. E., Stager J. C., Karlén W., Maasch K. A., Meeker L. D., Steig E. J. (2004), "Holocene climate variability", *Quaternary research*, 62(3), 243-255.
- McCalpin J.P., (1996), "Paleoseismology", Academic Press, New York.
- Mellett C. L., (2013), "Luminescence dating". In: Clarke LE (ed) *Geomorphical techniques* (online edition). British Society for Geomorphology, London, pp 1–11.
- Miall A. D., (2014), "Fluvial depositional systems", Vol. 14, p. 316, Springer International Publishing.
- Miall, A. D., (2006), "The geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis, and petroleum geology", 4th ed. 582 pp., Springer, New York.
- Muller R. A., McDonald G. J., (2000), "Ice Ages and Astronomical Causes: Data, spectral analysis and mechanisms", Praxis Publishing, UK.
- Nanson G. C., Croke J. C., (1992), "A genetic classification of floodplains", *Geomorphology*, 4(6), 459-486.
- Nichols G., (2009), "Sedimentology and stratigraphy", John Wiley & Sons.
- Nussbaumer S. U., Zumbühl H. J., (2012), "The Little Ice Age history of the Glacier des Bossons (Mont Blanc area, France): a new high-resolution glacier length curve based on historical documents". *Climatic Change* 111 (2), 301-334.
- Ocañoğlu F., Dönmez E. O., Akbulut A., Tunoğlu C., Kır O., Açıkalın S., Leroy S. A. G., (2016), "A 2800-year multi-proxy sedimentary record of climate change from Lake Çubuk (Göynük, Bolu, NW Anatolia)", *Holocene*, 26(2), 205–221.
- Okur H., Erturaç M. K., (2021), "Temporal monitoring of vast sand mining in NW Turkey: Implications on environmental/social impacts", Preprint. EarthArxiv.
- Oliva M., (2018), "The Little Ice Age, the climatic background of present-day warming in Europe", *Cuadernos de investigación geográfica/Geographical Research Letters*, (44), 7-13.
- Ön Z. B., Greaves A. M., Akçer Ön S., Özeren M. S., (2021), "A Bayesian test for the 4.2 ka BP abrupt climatic change event in southeast Europe and southwest Asia using structural time series analysis of paleoclimate data", *Climatic Change*, 165(1), 1-19.

Öztürk F., (1996), “Suspended sediment yields of rivers in Turkey”. IAHS Publications-Series of Proceedings and Reports-Intern Assoc Hydrological Sciences, 236, 65-72.

Pawlowsky-Glahn V., Egozcue J. J., Tolosana Delgado R., (2015), “Modelling and Analysis of Compositional Data”, John Wiley & Sons, Ltd.

Pazzaglia F.J., (2013), “Fluvial terraces”. In: Shroder JF (ed.) Treatise on Geomorphology, vols 9–22. San Diego, CA: Academic Press, pp. 379–412.

Pears B., Brown A. G., Toms P. S., Wood J., Sanderson D., Jones R., (2020), “A sub-centennial-scale optically stimulated luminescence chronostratigraphy and late Holocene flood history from a temperate river confluence”, *Geology*, 48(8), 819-825.

R Core Team., (2019), R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Raymond, S. B., Hughes, M.K., Diaz, H.F. 2003. Climate in Medieval Time, *Science*, Vol: 302.

Rodriguez Pascua M. A., Garduno Monroy V. H., Israde Alcantara I., Perez Lopez R., (2010), “Estimation of the paleoepicentral area from the spatial gradient of deformation in lacustrine seismites (Tierras Blancas Basin, Mexico)”, *Quaternary International*, 219, 66–78.

Steinhilber F., Abreu J. A., Beer J., Brunner I., Christl M., Fischer H., ..Wilhelms, F. (2012), “9,400 years of cosmic radiation and solar activity from ice cores and tree rings”, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(16), 5967-5971.

Toonen W. H. J., Winkels T. G., Cohen K. M., Prins M. A., Middelkoop H., (2015), “Lower Rhine historical flood magnitudes of the last 450 years reproduced from grain-size measurements of flood deposits using End Member Modelling”, *Catena* 130, 69–81.

Tooth S., (2000), “Process, form and change in dryland rivers: a review of recent research”, *Earth-Science Reviews*, 51(1-4), 67-107.

Ülgen U. B., Franz S. O., Biltekin D., Çagatay M. N., Roeser P. A., Doner L., Thein J., (2012), “Climatic and environmental evolution of Lake Iznik (NW Turkey) over the last ~4700 years”, *Quaternary International*, 274, 88–101.

Ünay E., Emre Ö., Erkal T., Keçer M., (2001), “The rodent fauna from the Adapazarı pull-apart basin (NW Anatolia): Its bearings on the age of the North Anatolian fault”, *Geodinamica Acta*, 14(1-3), 169-175.

Üner S., Özsayın E., Selçuk A. S., (2019), “Seismites as an indicator for determination of earthquake recurrence interval: A case study from Erciş Fault (Eastern Anatolia-Turkey)”. *Tectonophysics*, 766, 167-178.

Van den Boogaart KG., Tolosana Delgado R., (2013), “Analyzing Compositional Data with R. Use R!” Springer. ISBN 978-3-642-36809-7.

Walker M., Head M. J., Berkelhammer M., Björck S., Cheng H., Cwynar L., Weiss H., (2018), “Formal ratification of the subdivision of the Holocene Series/Epoch (Quaternary System/Period): two new Global Boundary Stratotype Sections and Points (GSSPs) and three new stages/subseries”, *Episodes*, 41(4), 213-223.

Wang J., Zheng L., Li J. (2018), “A critical review on the sources and instruments of marine microplastics and prospects on the relevant management in China”, *Waste Management & Research*, 36(10), 898-911.

Wanner H., Beck C., Brázdil R., Casty C., Deutsch M., Glaser R., Jacobeit J., Luterbacher J., Pfister C., Pohl S., Sturm K., Werner P.C., Xoplaki E., (2004), “Dynamic and socio-economic aspects of historical floods in Central Europe”, *Erdkunde* 58 (1), 1-16.

White S., (2011), “The climate of rebellion in the early modern Ottoman Empire”, Cambridge University Press.

Wilhelm B., Canovas J. A. B., Aznar J. P. C., Kämpf L., Swierczynski T., Stoffel M., Toonen W., (2018), “Recent advances in paleoflood hydrology: From new archives to data compilation and analysis”, *Water Security*, 3, 1-8.

Winkler S., (2000), “The ‘Little Ice Age’ maximum in the Southern Alps, New Zealand: preliminary results at Mueller Glacier”, *The Holocene*, 105, pp. 643–647.

WMO, (2016), “Guidelines on the Definition and Monitoring of Extreme Weather and Climate Events” – TT-DEWCE WMO 4/14/2016. World Meteorological Organization, Geneva.

Xoplaki E., Fleitmann D., Luterbacher J., Wagner S., Haldon J. F., Zorita E., Izdebski A., (2016), “The Medieval Climate Anomaly and Byzantium: A review of the evidence on climatic fluctuations, economic performance and societal change”, *Quaternary Science Reviews*, 136, 229-252.

Yiğitbaşıoğlu H., Dean J. R., Eastwood W. J., Roberts N., Jones M. D., Leng M. J., (2015), “A 600 year-long drought index for central Anatolia”, *Journal of the Black Sea/Mediterranean Environment*, 84-88.

Zhanga C., Wanga L., Lia G , Donga S., Yanga J., Wangb X., (2002), “Grain size effect on multi-element concentrations in sediments from the intertidal flats of Bohai Bay, China”, *Applied Geochemistry* 17 59–68.

Zumbühl H.J., Steiner D., Nussbaumer S.U., (2008), “19th century glacier representations and fluctuations in the central and western European Alps: An interdisciplinary approach”, *Global and Planetary Change* 60 (1- 2), 42-57.

## ÖZGEÇMİŞ

Hilal OKUR ERTURAÇ, 2013 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü'ne başladı. 2017' de lisans öğrenimini tamamladıktan sonra aynı yıl Sakarya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı'nda yüksek lisansa başladı. 2020 yılında yüksek lisans öğrenimini tamamladı. 2021 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü'nde Yüksek Lisans öğrenimine başladı, 2022 yılından beri Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü'nde Arş. Gör. olarak çalışmaktadır.

## EKLER

### **Ek A: Tez Çalışması Kapsamında Yapılan Yayınlar**

Okur H., Çelen M., Erturaç M. K., Öncel M. S., (2022), “Aşağı Sakarya Nehri Havzası Güncel Taşkın Ovası Çökellerinin Çevre Jeokimyasının Araştırılması”, GTU Lisansüstü Araştırmalar Sempozyumu, Gebze, Türkiye, 1-2 Haziran.

Okur H., Erturaç M. K., Çelen M., Şahiner E., Ön Z. B., Köse N., Akçer-Ön S., Makaroğlu Ö., Karlıoğlu-Kılıç N., Güner H. T., Bulut E., Küçük F., Öncel M. S., (2022), “Investigation of past hydrological extremes (HEX) using river flood plain sediments: Sakarya River, NW Türkiye”, The 6th Asia-Pacific Conference on Luminescence and Electron Spin Resonance Dating (APLED), 26 -28 September.

Okur H., Erturaç M. K., Çelen M., Şahiner E., Ön Z. B., Akçer-Ön S., Köse N., Makaroğlu Ö., Karlıoğlu-Kılıç N., Güner H. T., Gürbüz A., Öncel M. S., (2023), “Kuzeybatı Anadolu’nun Son 600 Yıllık Hidrolojik Geçmişi ve Ekstrem Olayları”, 75. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, 10-14 Nisan.