

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
COĞRAFYA ANABİLİM DALI

**ORTA SAKARYA VADİSİNİN (İNHİSAR-OSMANELİ ARASI) FLÜVYAL
JEOMORFOLOJİSİ**

DOKTORA TEZİ

EBUBEKİR KARAKOCA

TEZ DANIŞMANI
DOÇ. DR. LEVENT UNCÜ

BİLECİK, 2022

10242378

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
COĞRAFYA ANABİLİM DALI

**ORTA SAKARYA VADİSİNİN (İNHİSAR-OSMANELİ ARASI) FLÜVYAL
JEOMORFOLOJİSİ**

DOKTORA TEZİ

EBUBEKİR KARAKOCA

TEZ DANIŞMANI
DOÇ. DR. LEVENT UNCU

BİLECİK, 2022

10242378

BEYAN

“Orta Sakarya Vadisinin (İnhisar-Osmaneli Arası) Flüvyal Jeomorfolojisi” adlı doktora tezi projesinin hazırlık ve yazımı sırasında bilimsel araştırma ve etik kurallarına uyduğumu, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel kurallara uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, tezin herhangi bir kısmının Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını, aksinin tespit edileceği muhtemel durumlarda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Bu çalışmanın, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP), TÜBİTAK veya benzeri kuruluşlarca desteklenmesi durumunda; projenin ve destekleyen kurumun adı proje numarası ile birlikte, ETİK KURUL onayı alınması durumunda ise ETİK KURUL tarih karar ve sayı bilgilerinin beyan edilmesi gerekmektedir.			
DESTEK ALINMIŞTIR	X	DESTEK ALINMAMIŞTIR	
Destek alındı ise;			
Destekleyen kurum; Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi			
Desteğin Türü		Proje Numarası	
1- BAP (Bilimsel Araştırma Projesi)		BAP: 2020-01.BŞEÜ.01-01	
2- TÜBİTAK			
Diğer;.....			
ETİK KURUL onayı var ise;			
ETİK KURUL karar tarih/sayı:		/.....	

Ebubekir KARAKOCA

Tarih

.....

İmza

.....

ÖN SÖZ

“Orta Sakarya Vadisinin (İnhisar-Osmaneli Arası) Flüvyal Jeomorfolojisi” adlı çalışma Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı’nda doktora tezi olarak hazırlanmıştır. Sakarya Nehri’nin Bilecik’e bağlı İnhisar ve Osmaneli yerleşmeleri arasında kalan kesiminde tespit edilen jeomorfolojik birimler, bölgenin Kuvaterner sırasındaki jeomorfolojik gelişiminin aydınlatılması bakımından büyük önem taşımaktadır. Bu birimlerin özelliklerini detaylı bir şekilde ortaya koyabilmek için saha gözlemleri, stratigrafik ve sedimantolojik yorumlama, morfometrik analizler, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algıma ile OSL tarihlendirme yöntemi kullanılmıştır.

Çalışmanın birinci bölümünde araştırmanın konusu, amacı ve soruları, yöntemi, çalışma sahasının yeri ve sınırları ile birlikte literatür değerlendirilmesi belirtilmiştir. İkinci bölümde; araştırma sahasının jeolojik özellikleri (stratigrafi, paleocoğrafya ve tektonik), üçüncü bölümde; çalışma sahasının jeomorfolojik ve morfometrik özellikleri detaylı bir şekilde ortaya konulmuştur. Dördüncü bölümde; çeşitli morfometrik analizler yardımıyla çalışma sahasındaki yer şekillerinin morfometrik özellikleri, kantitatif olarak değerlendirilmiştir. Beşinci bölümde çalışmada elde edilen bulgular tartışılmış, tezin altıncı bölümünde ise ulaşılan sonuçlar belirtilmiştir.

Hazırlamış olduğum doktora çalışmasının her aşamasında yanımda olan, bilimsel desteğini ve yardımlarını benden esirgemeyen, olaylara yaklaşımı ve coğrafi bakış açısıyla bana her zaman rehberlik eden ve beni yönlendiren saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Levent UNCU’ya teşekkürü bir borç bilirim. Bunun yanı sıra, tez izleme toplantılarında yapmış olduğu katkı ve önerileriyle ufkumu açan ve çalışmamı başından beri destekleyen sayın hocam Prof. Dr. Mehmet Akif SARIKAYA’ya teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım. Ayrıca, Tez İzleme Komitesi toplantılarında çalışmama sunmuş oldukları katkılardan dolayı sayın hocam Doç. Dr. Serpil MENTEŞE’ye ve çalışmada kullanılan OSL tarihlendirmelerinde desteklerini eksik etmeyen sayın Doç. Dr. Eren ŞAHİNER’e teşekkür ederim.

Çalışmanın şekillenmesinde bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen, beni destekleyen değerli hocalarım Prof. Dr. Harun TUNÇEL’e, Prof. Dr. Uğur DOĞAN’a, Prof. Dr. Cengiz YILDIRIM’a, Prof. Dr. Yaşar KİBİCİ’ye, Doç. Dr. Taner KILIÇ’a ve Prof. Dr. Halil İbrahim ZEYBEK’e şükranlarımı ve saygılarımı sunarım.

Çalışmanın her aşamasında manevi desteğini hiçbir zaman eksik etmeyen ve esirgemeyen saygıdeğer hocam Prof. Dr. Mutlu YILMAZ’a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmanın birçok aşamasında olduğu gibi özellikle arazi çalışmaları sırasında çalışmaya sunmuş oldukları katkılardan dolayı kıymetli arkadaşlarım Arş. Gör. Serhat AY’a, Arş. Gör. Yusuf TUNA’ya, Ebru Tuna’ya, Oğuzhan KÖSE’ye ve Dr. Öğr. Üyesi Arda BAY’a teşekkür ederim.

Bununla birlikte bu çalışma, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 2020-01.BŞEÜ.01-01 numaralı proje ile desteklenmiştir. Bu desteklerinden dolayı Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi’ne teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her aşamasında maddi ve manevi desteğini benden esirgemeyen, her daim yanımda olan ve bu günlere ulaşmamda en büyük pay sahibi olan kıymetli babam Mehmet Ali KARAKOCA’ya, sevgili annem Emine KARAKOCA’ya, biricik kardeşim Nurgül KARAKOCA’ya ve değerli eşim Ümmühan KARAKOCA’ya şükranlarımı sunarım. Son olarak, bu tezi her zaman yanımda ve kalbimde hissettiğim sevgili kardeşim Sema KARAKOCA’ya armağan ediyorum.

Ebubekir KARAKOCA

2022

ÖZET

ORTA SAKARYA VADİSİNİN (İNHİSAR-OSMANELİ ARASI) FLÜVYAL JEOMORFOLOJİSİ

Kuzeybatı Anadolu'nun en büyük akarsuyu olan Sakarya Nehri, orta çığırında Orta Sakarya Platoları olarak bilinen bölgenin sularını akaçlamaktadır. Sündiken Dağları'nın batıdaki Sakarya vadisine doğru alçalarak plato görünümü kazanan bu bölümü; tektonik bakımdan, kuzeyden Kuzey Anadolu Fay Zonu, güneyden ise Eskişehir-İnönü Fay Zonu olarak bilinen ve ülkemizin en aktif fay zonları arasında yer alan iki doğrultu atımlı fay zonu arasında bulunmaktadır.

Çalışma alanı, Orta Sakarya Platoları jeomorfolojik ünitenin en batı kısmında bulunmaktadır. Sakarya Nehri'nin D-B uzanışının K-G yönüne doğru değiştiği bu kesimi, bölgenin tektonik ve jeomorfolojik evriminin ortaya konulabilmesi açısından son derece önemli jeomorfolojik birimleri (plato yüzeyleri, boğazlar, vadi yamaçları, seki sistemleri ve akarsu yatağı vb.) kapsamaktadır.

Bu çalışmada, bölgenin ana jeomorfolojik üniteleri arasında dikkat çeken ve özellikle İnhisar-Osmaneli arasında gelişmiş olan akarsu seki sistemleri ve boğazlar detaylı bir şekilde incelenmiştir. Çalışmanın amacı, seki sistemleri ve boğazların oluşumunda etkili olan süreçleri, Kuvaterner dönemindeki bölgesel/yerel tektonik aktivite ve küresel iklim değişikliklerine bağlı Karadeniz'deki seviye değişimleri bağlamında ortaya koymaktır.

Çalışmada; jeomorfoloji çalışmalarındaki ayrıntılı saha gözlemleri, sedimantolojik ve stratigrafik yorumlama gibi klasik yöntemlerin yanı sıra, morfometrik analizler, coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama teknikleri gibi modern yöntemlerde kullanılmıştır. Ayrıca, "Optik Uyarmalı Lüminesans (OSL)" tarihlendirme yöntemi kullanılarak, ilk defa bu bölgede bir tarihlendirme çalışması yapılmış ve seki sistemleri kronostratigrafik bir çerçeveye oturtulmuştur.

Çalışma sahasında, ana morfolojik birimleri boğazlar (Hamitabat, Şeytankaya, Darca ve Paşalar Boğazı) ve bunların kontrolünde gelişen seki sistemleri oluşturmaktadır. Sakarya Nehri'nin vadi tabanından itibaren birkaç seviye halinde izlenen seki sistemleri; Yakacık'ta dört (+10 m, +18 m, +34 m ve +52 m), Hamitabat'ta üç (+12 m, +24 m ve +36 m), Gemiciköy'de iki (+10 m ve +19 m), Küçükyenice'de iki (+9 m ve +21 m) ve Selimiye'de dört (+9 m, +24 m, +37 m ve +50 m) seviye halinde tespit edilmiştir.

Bu seki sistemlerinin jeokronolojik özelliklerinin ortaya konulabilmesi için yapılan üç OSL tarihlendirmesi sonucunda ise 158.03 ± 12.93 ka, 150.97 ± 8.49 ka ve 55.07 ± 4.57 ka olmak üzere üç farklı yaş elde edilmiştir. Seki seviyelerinin uzun dönemli yükselim hızı ise Hamitabat yakınlarında 0.22 ± 0.03 mm/yıl, Gemiciköy yakınlarında 0.18 ± 0.03 mm/yıl ve Küçükyenice çevresinde ise 0.14 ± 0.03 mm/yıl olarak hesaplanmıştır. Buna göre birbirinden farklı konum ve yükseltiye sahip olan sekiler Orta-Geç Pleyistosen'den itibaren sabit bölgesel hızı ortalama 0.18 ± 0.03 mm/yıl olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla elde edilen OSL yaş sonuçları, çalışma sahasında en az son 158 bin yıldan beri devam eden bölgesel yükselmeye karşılık akarsu yarılmasını ortaya koymaktadır.

Buna göre seki sistemlerine ait depolar, kabaca 50-160 ka arasında değişen zamanlardaki biriktirme ve gömülme süreçlerine işaret etmektedir. Denizel İzotop Evreleri'ne (MIS) göre, söz konusu tarihlerden genç olan Geç Pleistosen'deki MIS3c'ye (interglasyal), yaşlı olanların ise Orta Pleistosen sonlarındaki MIS6b'ye (interstadyal) karşılık gelmektedir. Buna göre Sakarya Nehri, göreceli ılık, nemli geçen interglasyal ve interstadyal dönemler boyunca yatağında birikim yapmıştır. Buna karşılık, soğuk ve/veya soğuk-sıcak geçiş dönemlerinde ise yatağını kazarak sekileri oluşturmuştur. Elde edilen tarihllemeler, akarsu yatağının kazılımı için ise “Penultimate Buzul Maksimumu” ve “Son Buzul Maksimumu”nu işaret etmektedir.

Bunun yanı sıra, çalışma sahası içerisindeki jeomorfolojik birimlerin kantitatif olarak değerlendirilmesi ve morfometrik özelliklerinin açıklanabilmesi için çeşitli morfometrik analizlerden yararlanılmıştır. Analiz sonuçları, bölgedeki tektonik aktivitenin drenaj sistemi üzerinde önemli etkileri olduğunu ortaya koymuştur.

Sonuç olarak, Orta-Geç Pleyistosen'den günümüze kadar geçen zaman içerisinde Sakarya Nehri vadisinin orta çığırında boğazların kontrolünde gelişen seki sistemleri, hem bölgesel/lokal tektonik etkilerin ortaya konulması hem de bölgenin jeomorfolojik gelişiminin aydınlatılması açısından önemli jeomorfolojik ve sedimantolojik veriler sunmuştur. Bu çalışma, Sakarya Nehri vadisinin orta çığırındaki seki sistemlerinin daha çok bölgesel/lokal tektonik ve kısmen de global iklim değişimlerinin kontrol ettiği karmaşık yapılı bir sistem içerisinde geliştiğini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Sakarya Nehri, Akarsu Seki Sistemleri, Optik Uyarmalı Lüminesans (OSL), Tarihlendirme Yöntemi, Bilecik.

ABSTRACT

FLUVIAL GEOMORPHOLOGY OF MIDDLE SAKARYA RIVER (BETWEEN İNHISAR-OSMANELİ)

The Sakarya River, which is the longest river in the Northwest Anatolia, drains water of the Middle Sakarya Plateaus Region in its middle section. This section, which has a plateau appearance by descending towards the Sakarya valley of the Sündiken Mountains in the west, is tectonically located between two strike-slip fault zones known as the North Anatolian Fault Zone from the north and the Eskişehir-İnönü Fault Zone from the south and which are among the most active fault zones in Turkey.

The study area covers the westernmost part of the geomorphological unit in the Middle Sakarya Plateau. This part of the Sakarya River, where the east-west extension of the Sakarya River changes towards the north-south direction, contains extremely important geomorphological units (plateau surfaces, gorges, valley slopes, terrace systems, and stream bed) in terms of revealing the tectonic and geomorphological evolution of the region.

In this study, the river terrace systems and gorges, which are noteworthy among the main geomorphological units of the region and formed especially between İnhisar and Osmaneli, were examined in detail. The goal of the study is to reveal the processes that are effective in the formation of the terrace systems and straits in the context of regional/local tectonic movements in the Quaternary period and sea level changes in the Black Sea due to global climate changes.

Besides traditional methods such as comprehensive field observations and sedimentologic and stratigraphic interpretation in geomorphology studies, modern methods such as morphometric analysis, Geographic Information Systems, and Remote Sensing techniques were applied. In addition, using the "Optical Stimulated Luminescence (OSL)" dating method, a dating study was carried out for the first time in the region and the terrace systems were placed in a chronostratigraphic framework.

In the study area, the main morphological units are the gorges (Hamitabat, Satankaya, Darca, and Pasalar Gorge) and the terrace systems formed under their control. The terrace systems of the Sakarya River, followed in several levels from the valley floor, are four (+10 m, +18 m, +34 m and +52 m) in Yakacık and three (+12 m, +24 m, and +52 m) in Hamitabat. 36 m), two in Gemiciköy (+10 m and +19 m), two in Küçükyenice (+9 m and +21 m), and four in Selimiye (+9 m, +24 m, +37 m and + 50 m) level was found.

Three different ages, 158.03 ± 12.93 ka, 150.97 ± 8.49 ka, and 55.07 ± 4.57 ka, were obtained as a result of three OSL dates to reveal the geochronological features of these terrace systems. The long-term rise rate of terrace levels was determined as 0.22 ± 0.03 mm/year near Hamitabat, 0.18 ± 0.03 mm/year near Gemiciköy and 0.14 ± 0.03 mm/year around Küçükyenice. Accordingly, the constant regional velocity of the terraces, which have different locations and altitudes from each other, has been determined as 0.18 ± 0.03 mm/year, starting from the Middle-Late Pleistocene. Consequently, the OSL dating results reveal the presence of river split in the study area, despite the regional uplift that has continued for at least the last 158,000 years.

Accordingly, the deposits in the terrace systems point to the accumulation and excavation processes of approximately 50-160 ka. Based on Marine Isotope Stages (MIS), the younger ones correspond to Late Pleistocene MIS3c (interglacial), while older ones correspond to MIS6b (interstadial) late Middle Pleistocene. As a result, the Sakarya River accumulated in its bed during the relatively warm and humid interglacial and interstadial periods, while excavation of its bed during the cold and/or cold-hot transition periods formed the terraces. The datings indicate “Penultimate Glacial Maximum” and “Last Glacial Maximum” for excavation of stream bed.

In addition, various morphometric analyses were applied in order to quantitatively evaluate the geomorphological units in the study area and to explain their morphometric features. The results revealed that tectonic activity in the region has important effects on the drainage system.

In conclusion, the terrace systems have formed under the control of the gorges in the middle section of the Sakarya River valley from the Middle-Late Pleistocene to the present have provided important geomorphological and sedimentological data in terms of both revealing the regional/local tectonic effects and clarifying the geomorphological formation of the region. This study revealed that the terrace systems in the Middle Sakarya River valley formed within a complex system controlled mostly by regional/local tectonic and partly by global climate changes.

Keywords: Sakarya River, River Terrace Systems, Optically Stimulated Luminescence (OSL), Dating Method, Bilecik.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖN SÖZ.....	i
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
FOTOĞRAFLAR LİSTESİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	xvii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Araştırma Sahasının Yeri ve Sınırları	6
1.2. Araştırmanın Amacı ve Araştırma Soruları	8
1.3. Materyal ve Yöntem	9
1.3.1. Saha Çalışmaları.....	12
1.3.2. Haritalama	12
1.3.3. Morfometrik Analizler	14
1.3.3.1. Hipsometrik Eğri (Hc) ve Hipsometrik İntegral (Hi).....	16
1.3.3.2. Vadi Tabanı Genişliği-Vadi Yüksekliği Oranı (Vf).....	17
1.3.3.3. Akarsu Uzunluk-Gradyan İndisi (SL).....	19
1.3.3.4. Asimetri Faktörü (AF)	20
1.3.3.5. Akarsu Sinüselliği (Eğrilik) Oranı ve Kanal Paterni	22
1.3.3.6. Topografik Alan (SWATH) Profili Üretimi.....	23
1.3.3.7. Akarsu Boyuna Profili Üretimi	24
1.3.3.8. Vadinin Enine Profil Üretimi	25
1.3.4. Tarihlendirme ve Laboratuvar İşlemleri	26
1.3.4.1. OSL Örnekleme.....	30
1.3.4.2. Örnek Hazırlama.....	30
1.3.4.3. OSL ölçümleri.....	31
1.4. Literatür Değerlendirmesi	33
1.4.1. Türkiye’de Flüvyal Çalışmaların Genel Değerlendirilmesi.....	33
1.4.2. Sakarya Nehri Havzasını Konu Alan Çalışmaların Genel Değerlendirilmesi	38

2.	ARAŞTIRMA SAHASININ JEOLJİK ÖZELLİKLERİ.....	46
2.1.	Stratigrafi.....	47
2.2.	Formasyonlar	51
2.2.1.	Temel Birimler	51
2.2.2.	Örtü Birimleri.....	54
2.3.	Paleocoğrafya	64
2.4.	Tektonik Özellikler	65
3.	ARAŞTIRMA SAHASININ JEOMORFOLOJİK ÖZELLİKLERİ	72
3.1.	Plato Yüzeyleri	73
3.2.	Sakarya Nehri Vadisi.....	77
3.3.	Boğazlar	79
3.3.1.	Hamitabat Boğazı	80
3.3.2.	Şeytankaya Boğazı.....	81
3.3.3.	Darca Boğazı	82
3.3.4.	Harmankaya Kanyonu.....	83
3.4.	Seki Sistemlerinin Genel Özellikleri.....	86
3.4.1.	Seki Sistemlerinin Morfometrik Özellikleri ve Alansal Dağılımları.....	86
3.4.2.	Seki Sistemlerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama Teknikleri Kullanılarak Haritalanması	87
3.4.3.	Seki Sistemlerinin Stratigrafik ve Sedimentolojik Özellikleri.....	94
3.4.3.1.	Yakacık Köyü ve Çevresindeki Seki Sistemleri.....	94
3.4.3.2.	Hamitabat Köyü ve Çevresindeki Seki Sistemleri	98
3.4.3.3.	Gemiciköy ve Çevresindeki Seki Sistemleri.....	101
3.4.3.4.	Küçükkenice Köyü ve Çevresindeki Seki Sistemleri.....	103
3.4.3.5.	Selimiye Köyü ve Çevresindeki Seki Sistemleri	107
3.4.4.	Seki Sistemlerinin OSL Tarihlandırme Yöntemi Kullanılarak Kronolojik Özelliklerinin Belirlenmesi	108
3.5.	Sakarya Nehri Vadi Tabanı	114
3.5.1.	Akarsu Yatağı	115
3.5.2.	İrmak Adası ve Burun Seti Depoları	115
4.	ARAŞTIRMA SAHASININ MORFOMETRİK ÖZELLİKLERİ.....	117
4.1.	Profil Analizleri.....	118
4.1.1.	Akarsu Vadisinin Enine Profilleri.....	120
4.1.2.	Akarsu Boyuna Profilleri.....	121
4.1.3.	Topografik Alan (SWATH) Profilleri.....	123
4.2.	Eğim Analizleri.....	130

4.3. Morfometrik Analizler (İndisler)	133
4.3.1. Hipsometrik Eğri (Hc) ve Hipsometrik İntegral (Hi).....	133
4.3.2. Vadi Tabanı Genişliği-Vadi Yüksekliği Oranı (Vf).....	135
4.3.3. Akarsu Uzunluk-Gradyan İndisi (SL).....	137
4.3.4. Asimetri Faktörü (AF)	139
4.3.5. Akarsu Sinüsellik Oranı ve Kanal Paterni.....	141
5. TARTIŞMA	143
5.1. Tektonik Süreçler ve Uzun Dönemli Bölgesel Yükselimi	143
5.2. İklimsel Süreçler	149
5.3. Teras Yataklarının Sediment Değerlendirmesi ve Paleo-nehir Vadisinin Yorumlanması.....	153
6. SONUÇ.....	155
KAYNAKÇA.....	160
EKLER	180

TABLÖLER LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1. Türkiye’deki Akarsu Taraçalarının Tarihlendirme Yöntemleri Kullanılarak Oluşum Yaşı Verilerini Kapsayan Çalışmalar.	4
Tablo 1.2. Flüvyal Jeomorfoloji Konusunda Yapılan Çalışmaların Literatür Değerlendirilmesi.	34
Tablo 3.1. Çalışma sahası içerisindeki seki sistemlerinin konumları ve yükseltileri.	87
Tablo 3.2. DJI Mavic Mini Kullanılmasıyla Elde Edilen Dijital Yükseklik Modelinin Özellikleri.....	93
Tablo 3.3. Optik Uyarmalı Lüminesans (OSL) Tarihlendirme Verileri ve Sonuçları.....	112
Tablo 4.1. Çalışma Sahasının Eğim Gruplarının Alansal (km ²) ve Oransal (%) Dağılımı. ..	132
Tablo 4.2. Akarsu Yataklarının Sınıflandırılması	142
Tablo 5.1. Sakarya Nehri Vadisi İçerisinde Yer Alan Seki Sistemleri ile Birlikte OSL Yaş Verileri ve Bölgesel Yükselim Hızları.Hata! Yer işareti tanımlanmamış.	
Tablo 5.2. Anadolu’nun Farklı Akarsu ve Denizel Sekileri İçerisinde Yapılan Çalışmalarda Elde Edilen Bölgesel Yükselim Hız Verileri	146

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Araştırma Sahasının Yeri ve Sınırları	7
Şekil 1.2. Çalışma Yönteminin İşleyiş Şeması	11
Şekil 1.3. Hipsometrik Eğri (Hc) ve Hipsometrik İntegral (Hi) Profili	17
Şekil 1.4. Vadi Tabanı Genişliği-Vadi Yüksekliği Oranı İşleyiş Şeması	18
Şekil 1.5. Akarsu Uzunluk-Gradyan İndisi Hesaplama Şeması.....	20
Şekil 1.6. Asimetri Faktörüne Bağlı Meydana Gelen Tiltlenmeyi Gösteren Kesit.....	22
Şekil 1.7. Akarsu Sinüselliği (Eğrilik) Oranı ve Kanal Paterni İndisi	23
Şekil 1.8. OSL Yönteminin Uygulanabileceği Ana Ortamların Karikatür Çizimi	27
Şekil 1.9. Akarsu Sistemlerinde OSL Yaşlandırması İçin Tarihlenebilir Tortulları ve Şekilleri Temsil Eden Çizim.....	28
Şekil 1.10. Tarihlendirme Yöntemlerinin Zamansal Sınırlılıkları	29
Şekil 2.1: Anadolu'nun Genelleştirilmiş Paleo-Tektonik Haritası	47
Şekil 2.2. Çalışma Sahasının Genelleştirilmiş Stratigrafik Kesiti.	48
Şekil 2.3. Çalışma Sahasının Jeolojik Özelliklerini Gösteren Harita	50
Şekil 2.4. Geç Kretase Döneminde Anatolid-Torid Bloğunun Kıta Kenarının Dalmasıyla Birlikte İzmir-Ankara Okyanusunun Kapanması.....	51
Şekil 2.5. Türkiye'nin Başlıca Aktif Tektonik Yapıları ve Neotektonik Bölgelerini Gösteren Harita.....	66
Şekil 2.6. Çalışma Sahasındaki Fay Tiplerini Gösteren Harita.....	67
Şekil 3.1. Çalışma Sahasının Jeomorfoloji Haritası.....	73
Şekil 3.2. Red Relief Image Map (RRIM) Görselleştirme Yönteminin Kullanılmasıyla Birlikte Elde Edilen Görselde Çalışma Sahası İçerisindeki Önemli Morfolojik Birimlerin Ayrımı Ortaya Konulmuştur.....	76
Şekil 3.3. Çalışma Sahası ve Yakın Çevresinin Drenaj Ağı Haritası.	78
Şekil 3.4. Çalışma Sahasındaki Boğazların Bindirilmiş Enine Profilleri.	79

Şekil 3.5. Hamitabat Boğazı'nın Enine Kesiti	80
Şekil 3.6. Şeytankaya Boğazı'nın Enine Kesiti	82
Şekil 3.7. Harmankaya Kanyonu'nun Kabartmalı (3D) Harita Gösterimi	83
Şekil 3.8. DSİ (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü) Tarafından Gemiciköy ile Şeytankaya Boğazı Arasında Yapılan Sondajlara Ait Bulguları Gösteren Harita.....	85
Şekil 3.9. Çalışma Sahasındaki Seki Sistemleri Yakacık, Hamitabat, Gemiciköy, Küçükyenice ve Selimiye Olmak Üzere 5 Farklı Sahada Yoğunlaşmaktadır.....	86
Şekil 3.10. Gemiciköy Çevresindeki Seki Sistemleri Üzerinde DJI Mavic Mini İHA Modeli Kullanılması Sonucunda Elde Edilen Yüksek Çözünürlüklü Sayısal Yüzey Modeli ve Ortomozaik Görüntüsü.....	88
Şekil 3.11. Hamitabat Çevresindeki Seki Sistemleri Üzerinde DJI Mavic Mini İHA Modeli Kullanılması Sonucunda Elde Edilen Yüksek Çözünürlüklü Sayısal Yüzey Modeli ve Ortomozaik Görüntüsü.....	90
Şekil 3.12. Küçükyenice Çevresindeki Seki Sistemleri Üzerinde DJI Mavic Mini İHA Modeli Kullanılması Sonucunda Elde Edilen Yüksek Çözünürlüklü Sayısal Yüzey Modeli ve Ortomozaik Görüntüsü.....	91
Şekil 3.13. İHA Kullanılarak Elde Edilen Fotoğrafların Agisoft Metashape Professional ve ArcMap 10.5 Yazılımı Aracılığıyla Sayısal Yüzey Modelinin Üretim Aşamaları	92
Şekil 3.14. Yakacık Köyü ve Yakın Çevresinde Sakarya Nehri Vadisinin Jeomorfoloji Haritası	95
Şekil 3.15. Sakarya Nehri Vadi Tabanından İtibaren Yükseklikleri; +52 m (T1), +34 m (T2), +18 m (T3) ve +10 m (T4) Olarak Ölçülmüş Seki Sistemlerinin Enine Profili.....	95
Şekil 3.16. Yakacık Köyü Yakınlarındaki T3 Numaralı Seki Deposunun Paleozoyik Yaşlı Söğüt Metamorfikleri ile Dokanağı	97
Şekil 3.17. Hamitabat Köyü ve Yakın Çevresinde Sakarya Nehri Vadisinin Jeomorfoloji Haritası.....	98
Şekil 3.18. Sakarya Nehri Vadi Tabanından İtibaren Yükseklikleri; +36 m (T2), +24 m (T3) ve +12 m (T4) Olarak Ölçülmüş Seki Sistemlerinin Enine Profili.....	99
Şekil 3.19. Gemiciköy Köyü ve Yakın Çevresinde Sakarya Nehri Vadisinin Jeomorfoloji Haritası	101

Şekil 3.20. Sakarya Nehri Vadi Tabanından İtibaren Yükseklikleri; +19 m (T3) ve +10 m (T4) Olarak Ölçülmüş Seki Sistemlerinin Enine Profili.	102
Şekil 3.21. Küçükyenice Köyü ve Yakın Çevresinde Sakarya Nehri Vadisinin Jeomorfoloji Haritası	104
Şekil 3.22. Küçükyenice Yakınlarındaki T3 (+21 m) Deposunun Sedimentolojik ve Stratigrafik Görünümü.....	106
Şekil 3.23. Sakarya Nehri Vadi Tabanından İtibaren Yükseklikleri; +50 m (T1), +37 m (T2), +24 m (T3) ve +9 m (T4) Olarak Ölçülmüş Seki Sistemlerinin Enine Profili.....	107
Şekil 3.24. Denizel İzotop Katları (MIS- Lisiecki ve Raymo, 2005) ve MIS-16'dan Günümüze Kadar Değişen Karadeniz Deniz Seviyesi Eğrileri	113
Şekil 4.1. Çalışma Sahasının Sayısal Yükselti Basamakları Haritası	118
Şekil 4.2. Çalışma Sahasının Genelleştirilmiş Boyuna ve Enine Profilleri	119
Şekil 4.3. Çalışma Sahasındaki Sakarya Nehri Vadisinin Enine Profilleri.....	120
Şekil 4.4. Sakarya Nehri Yatağı Boyunca Alınan Akarsu Boyuna Profili	122
Şekil 4.5. Sakarya Nehri'nin Önemli Kolları Yenipazar Çayı ve Erbis Deresi Yatağı Boyunca Alınan Boyuna Profiller	123
Şekil 4.6. Yakacık Çevresinde Elde Edilen Topografik Alan Profili (SWATH Profil)	125
Şekil 4.7. Hamitabat Çevresinde Elde Edilen Topografik Alan Profili (SWATH Profil)	126
Şekil 4.8. Gemiciköy Çevresinde Elde Edilen Topografik Alan Profili-1 (SWATH Profil). 127	
Şekil 4.9. Gemiciköy Çevresinde Elde Edilen Topografik Alan Profili-2 (SWATH Profil). 128	
Şekil 4.10. Küçükyenice Çevresinde Elde Edilen Topografik Alan Profili (SWATH Profil).	129
Şekil 4.11. İnhisar-Osmaneli Arasında (Bilecik) Sakarya Nehri Vadisinin Eğim Haritası ...	131
Şekil 4.12. Eğim Gruplarının Dağılışı	132
Şekil 4.13. Çalışma Sahasının Hipsometrik Eğrilerini Gösteren Profiller.....	134
Şekil 4.14. Çalışma Sahası İçerisindeki Havzaların Gelişim Evrimini Gösteren Harita	135
Şekil 4.15. Çalışma Sahasında Dar ve Derin Bir Profile Sahip Olan Boğazlar Üzerinde Uygulanan Vf İndisinin Sonuçları ve Profilleri	136

Şekil 4.16. Sakarya Nehri'nin SL İndis Dağılımı Haritası ve Profilleri	138
Şekil 4.17. Sakarya Nehri'nin Boyuna Profili ile Birlikte SL İndis Dağılımı Profili	138
Şekil 4.18. Çalışma Sahasında Uygulanan Asimetri Faktörü İndis Sonuçlarının Haritada Gösterimi.....	140
Şekil 5.1. Anadolu'nun Tektonik Durumunu Gösteren Harita	148
Şekil 5.2. Orta Pleyistosen-Holosen Korelasyonları.....	152



FOTOĞRAFLAR LİSTESİ

Sayfa

Foto 2.1. Geçitli Doğusunda Yüzeyleyen Söğüt Metamorfitleri	53
Foto 2.2. Yakacık Doğusunda Yüzeyleyen Bilecik Kireçtaşları	57
Foto 2.3. Gemiciköy Çevresinde Vadi Tabanından +19 m (T3) Yükseklikte Bulunan Seki Seviyesi, Gemiciköy Formasyonuna Açısal Bir Uyumsuzlukla Gelmektedir	61
Foto 2.4. Yakacık Köyü Yakınlarındaki T3 Numaralı Seki Deposunun Paleozoyik Yaşlı Söğüt Metamorfitleri ile Dokanağı; Çapraz Katmanlı, İnce-Orta Çakıl İçeren Akarsu Yatağı Çökellerinden İnce Çakıl, Killi Siltli Taşkın Ovası Çökellerine Geçiş ve Toprak Örtüsünü Göstermektedir.....	62
Foto 2.5. Sakarya Nehri Yatağı İçerisinde Gözlenen Irmak Adaları.....	63
Foto 2.6. Hamitabat Kuzeyinde Kuzeybatı-Güneydoğu Uzanımlı Olan Tuzaklı-Nallıhan Bindirmesi	68
Foto 2.7. Gemiciköy Kuzeyinde Batı-Doğu Uzanımlı Olan Bilecik-Çayköy Bindirmesi	69
Foto 2.8. Medetli Köyü Kuzeyindeki Doğu-Batı Uzanımlı Olan Medetli Fayı	70
Foto 2.9. Geçitli Köyünün Hemen Güneyinde Yer Alan Doğu-Batı Uzanımlı Geçitli Fayı...	71
Foto 3.1. Orta Sakarya Platoları Olarak Adlandırılan Ünitelerin Batı ile Doğu Kısmını Gösteren Drone Görüntüleri	75
Foto 3.2. Çalışma Sahasındaki Sakarya Nehri Vadisinin Çeşitli Görünümleri	77
Foto 3.3. Yakacık Köyü Çevresindeki Konumları ve Yükselteleri Haritada Belirtilmiş Olan Seki Sistemlerinin Drone Görüntüsü.....	96
Foto 3.4. Hamitabat Köyü Çevresindeki Konumları ve Yükselteleri Haritada Belirtilmiş Olan Seki Sistemlerinin Drone Görüntüsü.....	99
Foto 3.5. Hamitabat Köyü Yakınlarındaki T2 Numaralı Seki Deposunun Genel Görünümü	100
Foto 3.6. Gemiciköy Köyü Çevresindeki Konumları ve Yükselteleri Haritada Belirtilmiş Olan Seki Sistemlerinin Drone Görüntüsü.....	102
Foto 3.7. Gemiciköy Çevresindeki Yüksek Seki (T3) Deposu; Yarı Yuvarlanmış-Yuvarlanmış, İnce-Orta Boy Çakıllardan Oluşurken, Yer Yer İri Çakıl Boyutundaki Malzemeler İçermektedir..	103

Foto 3.8. Küçükyenice Çevresindeki Yüksek Seki (T3) Deposunun Panoramik Görüntüsü; Depo Yarı Yuvarlanmış-Yuvarlanmış, İnce-Orta Boy Çakıllardan Oluşurken, Yer Yer İri Çakıl Boyutundaki Malzemeler ile Köşeli Taşlardan ve Kil Silt Boyutundaki Malzemelerin Bir Araya Gelmesi Sonucu Oluşmuştur.....	105
Foto 3.9. Sakarya Nehri’nde Vadi Tabanından İtibaren Dört Farklı Seviyede Tespit Edilen Seki Sistemlerinin Görünümü.	107
Foto 3.10. Hamitabat Köyü Çevresinde Vadi Tabanından İtibaren +36 m (T2), +24 m (T3) ve +12 m (T4) Yükseklikte Bulunan Seki Seviyeleri; T2 Deposu İçerisindeki OSL Numune Yeri ve Yaş Tayini Analizi Sonucu.....	109
Foto 3.11. Gemiciköy Çevresinde Vadi Tabanından +19 m (T3) ve +10 m (T4) Yükseklikte Yer Alan Seki Seviyeleri; T3 Deposu İçerisindeki OSL Numune Yeri ve Yaş Tayini Analizi Sonucu.....	110
Foto 3.12. Küçükyenice Çevresinde Vadi Tabanından +21 m (T3) Yükseklikte Yer Alan Seki Depoları, Yer Yer İri Çakıllı ve Killi-Siltli Tabakalar İçeren Yarı Yuvarlatılmış-Yuvarlatılmış İnce-Orta Boy Çakıllardan Oluşmaktadır. Depo İçerisinde OSL Tarihlemesi için Alınan Örneğin Yeri ve Yaş Tayini Analizi Sonucu	111
Foto 3.13. İnhisar-Yakacık Arasındaki Burun Seti Depoları ile Hamitabat ve Gemiciköy’deki Irmak Adalarının Görünümü.....	116

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

α : Alfa

β : Beta

γ : Gama

$^{\circ}$: Derece

' : Dakika

" : Saniye

%: Yüzde

$^{\circ}$ C: Santigrat Derece

3B: 3 Boyutlu

AF: Asimetri Faktörü

Ar-Ar: Argon-Argon

BAP: Bilimsel Araştırma Projesi

Be: Berilyum

C14: Karbon 14

CBS: Coğrafi Bilgi Sistemleri

Cl: Klor

Cm/pix: Santimetre/piksel

DEM: Digital Elevation Model

DSİ: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü

DSM: Digital Surface Model

GİS: Geographic Information System

GPS: Global Positioning System-Küresel Konumlama Sistemi

Hc: Hipsometrik Eğri

Hi: Hipsometrik İntegral

ESR: Elektron Spin Rezonans

H2O2: Hidrojen Peroksit

HCl: Hidroklorik Asit

İHA: İnsansız Hava Araçları

ka: binyıl

KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu
K-Ar: Potasyum-Argon
km²: Kilometre Kare
MGM: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MIS: Marine Isotope Stages
mm²: Milimetre Kare
mm/yıl: milimetre/yıl
MTA: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
Myr: Milyon yıl
Ne: Neon
OSL: Optik Uyarmalı Lüminesans
Rb: Rubidyum
SAR: Geliştirilmiş Tek Disk Yenileme
SBM: Son Buzul Maksimumu
SL: Akarsu Uzunluk-Gradyan İndisi
RRIM: Red Relief Image Map-Kırmızı Relief Görseli Haritalaması
SYM: Sayısal Yükseklik Modeli
SfM: Structure from Motion-Hareketten Oluşum
SWATH: Topografik Alan Profili
TL: Termolüminesans
TUBİTAK: Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu
U/Th: Uranyum/Toryum
UA: Uzaktan Algılama
UAV: Unmanned Aerial Vehicle
UTM: Universal Transverse Mercator
Vf: Vadi Tabanı Genişliği-Vadi Yüksekliği Oranı
yy: Yüzyıl

1. GİRİŞ

Akarsu sistemleri, yeryüzünü şekillendiren etmen ve süreçler arasında önemli bir dış güçtür. Yeryüzündeki karalarının yüz ölçümünün (149 milyon km²) yaklaşık olarak 2/3'ünden biraz daha fazla bölümü (105-106 milyon km²) akarsu sistemlerinin kontrolü altındadır (Erinç, 2000: 373). Akarsu sistemleri akarsu kanallarından drenaj ağlarına kadar birçok farklı morfolojik birimi bünyesinde barındırmaktadır. Bununla birlikte, akarsu sistemlerinin boyutu sadece birkaç metre karelik küçük su havzalarını değil, aynı zamanda büyük nehir sistemlerini de kapsamaktadır. Bu sistemler zamansal olarak değerlendirildiğinde, birkaç dakikalık günümüz aktivitesinden geçmiş jeolojik zaman periyotlarına kadar değişkenlik gösterebilmektedir. Bu nedenle, akarsu sistemlerinin zamansal ve mekânsal boyutlarının aralığı büyük değişkenlikler göstermektedir (Schumm, 2005).

Genel olarak akarsu sistemleri, yeryüzünün iç ve dış dinamiklerinin kontrolü altında gelişen ve bu dinamiklerin (süreçlerin) zaman içerisindeki etkilerini ortaya çıkaran jeomorfolojik öğelerdir (Pazzaglia, 2013). Yeryüzünün şekillendirilmesinde önemli bir paya sahip olan akarsu sistemleri, aynı zamanda Kuvaterner sırasında küresel ölçekte meydana gelen iklimsel değişimleri ve genel kaide seviyesi oynamaları ile birlikte bölgesel ve/veya lokal tektonik hareketlere en hızlı tepki veren alanları oluşturmaktadır (Schumm vd., 2000; Vandenberghe, 2002; Westaway vd., 2003; Lord vd., 2009).

Bu tepkilerin tutulduğu en önemli jeomorfolojik birimlerin başında biriktirme ve yarıma süreçlerinin eseri olan seki/taraça sistemleri gelmektedir. Seki sistemleri; bu tepkilerin sedimantolojik, stratigrafik, iklimsel, hidrolojik ve jeomorfolojik kayıtlarının tutulduğu doğal arşivler durumundadır (Karakoca ve Uncu, 2020: 167). Bunun yanı sıra seki sistemleri, hem meydana geldikleri dönemdeki akarsuyun akış koşullarını, sediment özelliklerini, su potansiyelini vermesi hem de çevresel değişimlere karşı akarsuyun göstermiş olduğu tepkiyi yansıtması bakımından oldukça önemlidir (Erinç, 2000; Larson vd., 2015; Olszak, 2017). Böylece, akarsu seki sistemleri mekânsal ve zamansal olarak birbirleriyle ilişkilendirildikleri takdirde hem bulundukları vadilerin jeomorfolojik evrimini hem de daha geniş ölçekteki bölgesel jeomorfolojik evrimin anlaşılması için önemli ipuçları sunmaktadır (Karakoca ve Uncu, 2020: 167).

Bu doğrultuda, seki sistemlerinin kökenleri ve oluşum nedenleri hakkında yapılacak detaylı arazi gözlemlerinin yanı sıra sedimantolojik analizler, morfometrik hesaplamalar ve tarihlendirme yöntemleri gibi kantitatif çalışmalar da Kuvaterner’de meydana gelen çevresel değişimlerin anlaşılmasında büyük önem taşımaktadır. Bununla birlikte, günümüzde seki sistemlerini konu alan flüvyal jeomorfoloji çalışmalarında, klasik arazi yöntemlerinin yanı sıra modern teknolojik gelişmelerden de faydalanılmaktadır. Özellikle, düşük maliyetli İnsansız Hava Araçları (İHA/UAV) ve modern fotogrametri yöntemleri, hem sekilerin detaylı ve hassas olarak tanımlanmasına hem de konumsal ve zamansal olarak yüksek çözünürlüklü topografya verilerinin elde edilmesine imkân sağlamasından dolayı tercih edilmektedir.

Dünyanın birçok yerindeki akarsu vadilerinde gözlenen seki sistemleri yerbilimciler tarafından uzun yıllardan beri çalışılmaktadır. İlk olarak 1980’li yıllarda Playfair (1802) tarafından akarsu teraslarının morfolojik birimler arasındaki önemini ortaya koymak için yapılan çalışmalar daha sonraki dönemlerde çeşitlilik kazanmıştır. Özellikle, Gilbert (1887) ve Davis (1902) tarafından hazırlanan çalışmalar konu hakkındaki temel çalışmalar arasında yerini almıştır (Karakoca, 2017: 77).

Türkiye’de akarsu sekileri konusundaki çalışmalar, İlgüz (1940) ile başlamış ve özellikle 2000’li yıllarda önemli bir artış göstermiştir. Önceleri sekilerin jeomorfolojik ve morfometrik özelliklerine dayalı olan bu çalışmalar (İlgüz, 1940; Pfannenstiel, 1941; İnandık, 1955; Akkan, 1970; Erol, 1973), radyokarbon yönteminin kullanılmaya başlanıldığı 1950’lerden itibaren özellikle Optik Uyarmalı Luminesans (OSL) ve kozmojenik radyonüklid tarihlendirme yöntemlerinin kullanılmasıyla birlikte sekilerin oluşum yaşı verilerini de kapsayan jeokronolojik bir boyut kazanmıştır (Karakoca ve Uncu, 2020).

Bu tür çalışmalara konu olan akarsularımız arasında Kızılırmak (Doğan, 2011; Yıldırım vd., 2013; Çiner vd., 2015; Berndt vd., 2018; Doğan ve Şenkul, 2020; Hubert-Ferrari vd. 2019; 2021), Yeşilırmak (Altın vd., 2017; Erturaç ve Kıyak, 2017), Dicle (Bridgland vd., 2007; Westaway vd., 2009; Karadoğan ve Kuzucuoğlu 2019), Gediz (Westaway vd., 2003; Westaway vd., 2006; Maddy vd., 2017; Demir vd., 2016; Maddy vd., 2020), Göksu (Avşin vd., 2019), Melendiz (Doğan vd., 2019), Asi (Bridgland vd., 2012), Filyos (McClain vd., 2019, 2021); Murat (Avşin vd., 2021) ve Sakarya (Erturaç vd., 2019, Erturaç, 2021; Karakoca vd., 2021) Nehri bulunmaktadır (Tablo 1.1). Bununla birlikte kullanılan radyometrik tarihlendirme yöntemi çalışmanın amacına uygun olarak çeşitlilik göstermektedir. Özellikle sürekli volkanizma etkisi altında gelişen seki sistemlerinin tarihlendirilmesinde K-Ar ve Ar-Ar gibi tarihlendirme yöntemleri kullanılmıştır (Rhodes, 2011; Rixhon vd., 2017).

Araştırma sahası ve yakın çevresi birçok farklı çalışmaya konu olmuştur. Bu çalışmaların büyük bir çoğunluğu araştırma sahası ve yakın çevresinin jeolojik (Eroskay, 1965; Altınlı ve Saner, 1971; Demirkol, 1977; Şentürk ve Karaköse, 1979; Saner, 1980; Yılmaz, 1981, 1985; Emre vd., 1998; Akyazı vd., 2001; Güdücü vd., 2007; Soylu vd., 2007; Önde, 2012; Gürbüz ve Seyitoğlu, 2014 vd.) ve kısmen jeomorfolojik (Bilgin, 1980, 1990; Ekmekçi ve Nazik, 2004; Tuncer, 2004, 2008; Karakoca, 2017; Okur, 2020) özelliklerinin ortaya konulmasına yöneliktir. Özellikle bu çalışmalar arasında Bilgin (1980) tarafından Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu projesi olarak hazırlanan “Orta Sakarya Platolarında Yapı Satırları ve Drenaj” isimli rapor araştırma sahası ve yakın çevresi hakkında en kapsamlı jeomorfoloji çalışmasıdır. Bu ve buna benzer çalışmalar çoğunlukla arazi gözlemlerine dayalıdır ve herhangi bir nicel veriyi ortaya koymamaktadır. Özellikle, Sakarya Nehri vadisinin, literatürde “Orta Sakarya Platoları” (Bilgin, 1980) olarak bilinen sahayı batıdan sınırlayan kesimi jeomorfolojik olarak, lokal havzaları birbirine bağlayan dar ve derin birleştirme boğazları (Hamitabat, Şeytankaya, Kırılbağı ve Darca Boğazı gibi) ve birkaç basamak halinde gözlenen seki sistemlerinin varlığı ile karakterize edilmektedir (Karakoca ve Uncu, 2020). Buna karşılık, Erturaç (2021) tarafından Sakarya Nehri’nin aşağı çıkışında, Sakarya Nehri vadisinin Geyve Boğazı ile Karasu arasında kalan kesiminde yapılmış olan çalışma, seki sistemlerinin birikme-yarılma dönemlerini ve yaşlarını jeokronolojik yöntemlerin (Lüminesans-OSL, p-IR-IRSL ve radyokarbon) kullanılmasıyla birlikte ortaya konulması bakımından oldukça önemlidir. Söz konusu çalışmada seki sistemlerinin Kuvaterner sırasındaki iklim dalgalanmaları ve Karadeniz’deki ana kaide seviyesi oynamalarına bağlı olarak oluştuğu sonucuna varmışlardır (Erturaç vd., 2019; Erturaç, 2021).

Tablo 1.1. Türkiye’deki Akarsu Taraçalarının Tarihlendirme Yöntemleri Kullanılarak Oluşum Yaşı Verilerini Kapsayan Çalışmalar.

Nehir	Yazar (Yıl)	Tarihlendirme Yöntemi
Kızılırmak Nehri	Akkan (1970)	-
	Avşin (2010, 2011)	-
	Doğan (2009, 2010, 2011)	Ar/Ar
	Yıldırım vd. (2011)	-
	Yıldırım vd. (2013)	10Be, 21Ne, 36Cl
	Çiner vd. (2015)	10Be ve 26Al
	Berndt vd. (2018)	OSL
	Doğan ve Şenkul (2020)	Ar-Ar
	Hubert-Ferrari vd. (2019; 2021)	10Be, 26Al, 36Cl
Yeşilirmak Nehri	Gürbüz vd. (2015)	-
	Altın vd. (2017)	OSL
	Erturaç ve Kıyak (2017)	OSL
Fırat Nehri	Kuzucuoğlu vd. (2004)	-
	Demir vd. (2008)	K-Ar
	Westaway vd. (2011)	-
Dicle Nehri	Doğan (2005)	-
	Bridgland vd. (2007)	Ar-Ar
	Westaway vd. (2009)	K-Ar
	Karadoğan ve Kuzucuoğlu (2019)	-
Gediz Nehri	Westaway vd. (2003)	K/Ar
	Westaway vd. (2004)	K/Ar ve Ar/Ar
	Maddy vd. (2005, 2008)	K/Ar
	Westaway vd. (2006)	K-Ar
	Maddy vd. (2012)	-
	Kent (2015)	OSL
	Demir vd. (2016)	Ar-Ar
	Maddy vd. (2017, 2020)	Ar-Ar
Sakarya Nehri	Ardel (1955)	-
	Tanoğlu ve Erinç (1956)	-

	Bilgin (1980, 1990)	-
	Çiçek (2001)	-
	Karakoca (2017)	-
	Karakoca ve Uncu (2020)	-
	Erturaç vd. (2017, 2019)	OSL
	Erturaç (2021)	OSL
	Karakoca vd. (2021)	OSL
Büyük Menderes Nehri	Kazancı vd. (2011)	-
	Özpolat vd. (2020)	-
Göksu Nehri	Avşin (2014, 2019)	OSL
Filyos Nehri	McClain vd. (2019)	OSL
	McClain vd. (2021)	36Cl-OSL
Murat Nehri	Demir vd. (2009)	K-Ar
	Avşin vd. (2021)	OSL
Ceyhan Nehri	Isola vd. (2017)	-
Melendiz Nehri	Doğan vd. (2019)	-
Asi Nehri	Bridgland vd. (2003)	-
	Bridgland vd. (2012)	-
	Bridgland vd. (2017)	-

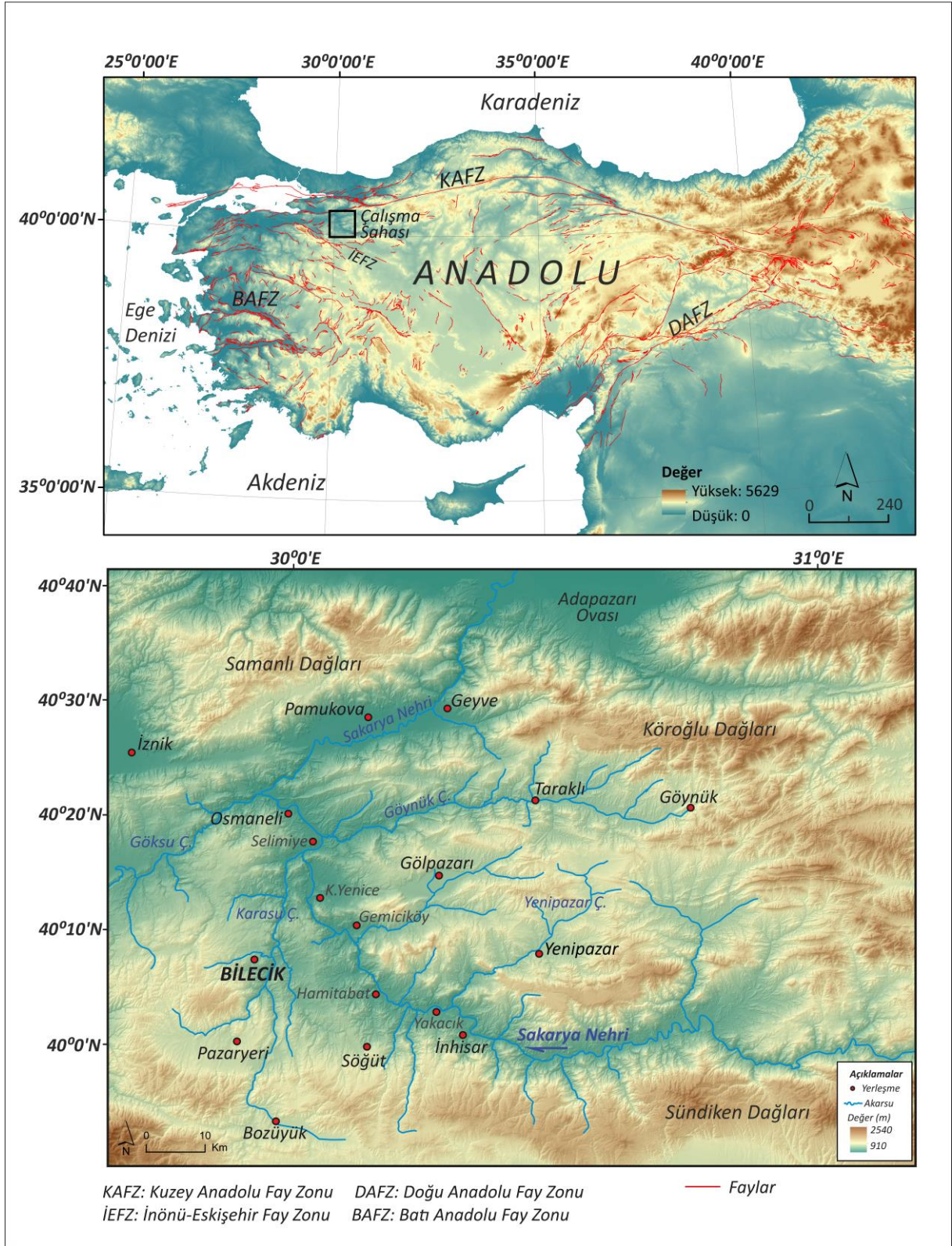
Sakarya Nehri vadisindeki seki sistemleri hakkında bu çalışmaların dışında literatürde önemli bir boşluk bulunmaktadır. Özellikle, bu bölgede iyi korunmuş ve açığa çıkarılmış seki seviyelerinin gelişiminde iklimsel dalgalanmalarının yanı sıra bölgesel ve lokal tektonik hareketlerin rolü hala tam olarak açıklanamamıştır. Bu nedenle doğru jeokronolojik kısıtlamalara sahip Kuvaterner akarsu arşivlerinin incelenmesi, nehirlerin hem tektonik olarak aktif aralıklar boyunca dikey yer değiştirmelerine hem de buzul arası döngüleri sırasında hızlı çevresel değişime tepkilerini ortaya çıkarabilmesine yardımcı olmaktadır (Rixhon vd., 2011; Stokes vd., 2012; Cordier vd., 2017; Vandenberghe vd., 2018). Dolayısıyla, akarsu sekilerinin oluşum ve gelişiminde etkili olan iklimsel değişiklikler ile tektonik hareketler arasındaki göreceli etkileşimi anlamak için hem akarsu sekilerinin tarihlendirilmesi ve seki depolarının sedimentolojik-stratigrafik olarak değerlendirilmesi hem de Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) gibi sayısal haritalama teknikleri yardımıyla yüksek çözünürlüklü görüntülerin elde edilmesi oldukça önemli olacaktır.

1.1. Araştırma Sahasının Yeri ve Sınırları

Kuzeybatı Anadolu'nun en önemli akarsuyu olan Sakarya Nehri, 824 km uzunluğa ve yaklaşık olarak 58.160 km²'yi bulan bir akaçlama alanına sahiptir. Bunun yanı sıra kaynağını Eskişehir ilinin Çifteler ilçesindeki Sakaryabaşı mevkisinden alan Sakarya Nehri, kabaca batı-doğu yönünde akış gösterdikten sonra Polatlı kuzeybatısındaki Yassıhöyük yakınında Porsuk Çayı ile birleşir. Daha sonra Sarıyar yakınlarında ani bir dirsekle batıya doğru yönelen nehir, buradan itibaren Sündiken Dağlarının kuzey etekleri boyunca doğu-batı yönlü bir oluk içerisinde akar. Söğüt kuzeyinde ise kuzey-güney yönünü alarak bir dizi boğazdan (güneyden kuzeye doğru; Hamitabat, şeytankaya, Darca, Paşalar ve Geyve Boğazı) Adapazarı ovasına ulaşır ve Karasu'dan Karadeniz'e dökölür (Karakoca, 2017: 54).

Sakarya Nehri'nin Orta Sakarya Platoları ile Sündiken Dağları arasında GD-KB yönünde akış gösterdiği ve Orta Sakarya Vadisinin İnhisar-Osmaneli arasında yaklaşık olarak 72 km uzunluğunda vadi boyu ile boğazların kontrolü altında olan araştırma sahası, Sakarya Nehri ve yan kolları Yenipazar, Erbis ve Karasu deresi tarafından drene edilen bir alandır.

Orta Sakarya Platoları olarak adlandırılan ünitenin en batı kısmında bulunan araştırma alanı, genel konumu itibariyle kuzeyden Kuzey Anadolu Fay Zonu, güneyden ise Eskişehir Fay Zonu olarak bilinen son derece aktif iki doğrultu atımlı fay zonu arasında kalan bir bölgede bulunmaktadır. Aynı zamanda, idari olarak Bilecik iline bağlı İnhisar ile Osmaneli ilçelerinin içerisinde yer alırken coğrafi bölge sınırlandırması bakımından Batı Karadeniz Bölümü'nde yer almaktadır. Çalışma sahası 40° 20' 50"- 40° 00' 45" kuzey enlemleri ile 29° 21' 08"- 30° 05' 10" doğu boylamları arasında bulunmaktadır. (şekil 1.1). Çalışma alanı morfografik olarak kabaca kuzeyde Pamukova, güneyde Sündiken Dağları, doğuda Kocadağ ve Göldağı'nın batıya bakan yamaçları ile batıda Karasu vadisi tarafından sınırlandırılmaktadır. Çalışma sahasındaki Kocadağ (1020 m), Göldağı (1244) ve Meryemanağı Tepe (712 m) çalışma sahasının en yüksek alanları durumundadır.



Şekil 1.1. Araştırma Sahasının Yeri ve Sınırları

1.2. Araştırmanın Amacı ve Araştırma Soruları

Bu çalışma, Sakarya Nehri vadisinin orta çıkırında bulunan Bilecik iline bağlı İnhisar ve Osmaneli yerleşmeleri arasında kalan kesiminde birbirini izleyen dar ve derin boğazlar ile vadinin nispeten genişlediği alanlarda birkaç basamak halinde tespit edilen seki sistemlerinin morfometrik, sedimantolojik-stratigrafik ve kronolojik özelliklerinin ortaya konulmasını amaçlamaktadır.

Çalışmada Sakarya Nehri vadisinin bu bölümünün tercih edilmesindeki en önemli neden iyi korunmuş seki basamaklarının bulunması ve jeomorfolojik evrimin henüz ortaya konulamamış olmasıdır.

Bu doğrultuda, bu çalışma ile Sakarya Nehri flüvyal sisteminin oluşumu ve gelişimi üzerinde hem bölgesel ve yerel tektoniğin hem de iklimsel değişimlerin rolünün ortaya konulması hedeflenmektedir. Böylece bölgenin jeomorfolojik gelişimi konusundaki çalışmalara bir katkı sunulacaktır.

Çalışma için araştırma soruları belirlenmiştir. Bunlar:

1. Sakarya Nehri vadisinin orta çıkırındaki ana jeomorfolojik birimler nelerdir?
2. Bu jeomorfolojik birimlerin oluşum ve gelişiminde etkili olan faktörler nelerdir?
3. Seki sistemlerinin morfometrik, sedimantolojik ve stratigrafik özellikleri nasıldır?
4. Seki sistemlerinin jeokronolojik özellikleri hakkında neler söylenebilir?
5. Kuvaterner dönemindeki iklimsel döngüler ile bölgesel/yerel tektonik hareketler arasındaki ilişki Sakarya Nehri flüvyal sistemini nasıl etkilemiştir?
6. Sakarya Nehri flüvyal sisteminin, Türkiye'deki diğer akarsu sistemleri ile karşılaştırıldığı zaman gerek jeokronolojik özellikleri gerekse tektonik ve iklimsel süreçleri bakımından nasıl bir ilişki söz konusudur?

1.3. Materyal ve Yöntem

Bu çalışma, araştırmanın amacına uygun olarak arazi öncesi hazırlık çalışmaları, saha çalışmaları ve saha sonrası çalışmaları olmak üzere üç bölüm olarak yürütülmüştür. İlk olarak araştırma konusu ve sahası belirlenmiş, konu hakkında ilgili haritalar temin edilmiş ve önceki çalışmalar değerlendirilmiştir. Daha sonra arazi çalışmaları ile birlikte Sakarya Nehri vadisi içerisinde bulunan morfolojik birimler (seki sistemleri başta olmak üzere boğazlar, akarsu yatağı ve vadi yamaçları) hakkında ayrıntılı bir değerlendirme yapılmıştır. Özellikle çalışma sahası içerisinde iyi korunmuş bir şekilde bulunan seki seviyelerinin kronolojik özelliklerinin ortaya konulabilmesi için Optik Uyarmalı Lüminesans (OSL) ve Radyo karbon tarihlendirme yönteminde kullanılmak üzere numune alınmıştır. Son olarak hem arazi çalışmaları sırasında hem de büro çalışmaları esnasında elde edilen veriler bir araya getirilerek, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama ortamları içerisinde kullanılabilir hale dönüştürülmüştür.

Çalışma yönteminin işleyiş şeması Şekil 1.2’de ayrıntılı bir şekilde verilmiştir. Buna göre, çalışmanın amacı doğrultusunda ilk olarak araştırma sahasında yer alan morfolojik birimlerin ve morfometrik özelliklerinin ortaya konulabilmesi için Harita Genel Komutanlığından alınan 1/25.000 ölçekli topografya haritalarından (H24 a4-d1-d2-d3-c3-c4 paftaları) ve Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü’nden temin edilen 1/25.000 ölçekli jeoloji haritasından yararlanılmıştır. Özellikle 1/25.000 ölçekli topografya verileri, ArcMap 10.5 yazılımı ortamında kullanılarak vektör veri formatından raster veri formatını dönüştürülmüş ve 10 metre piksel çözünürlüğü sahip Sayısal Yükseklik Modeli (SYM-Digital Elevation Model-DEM) verisi üretilmiştir. Bu veri çalışmanın birçok aşamasında altlık veri olarak kullanılmıştır.

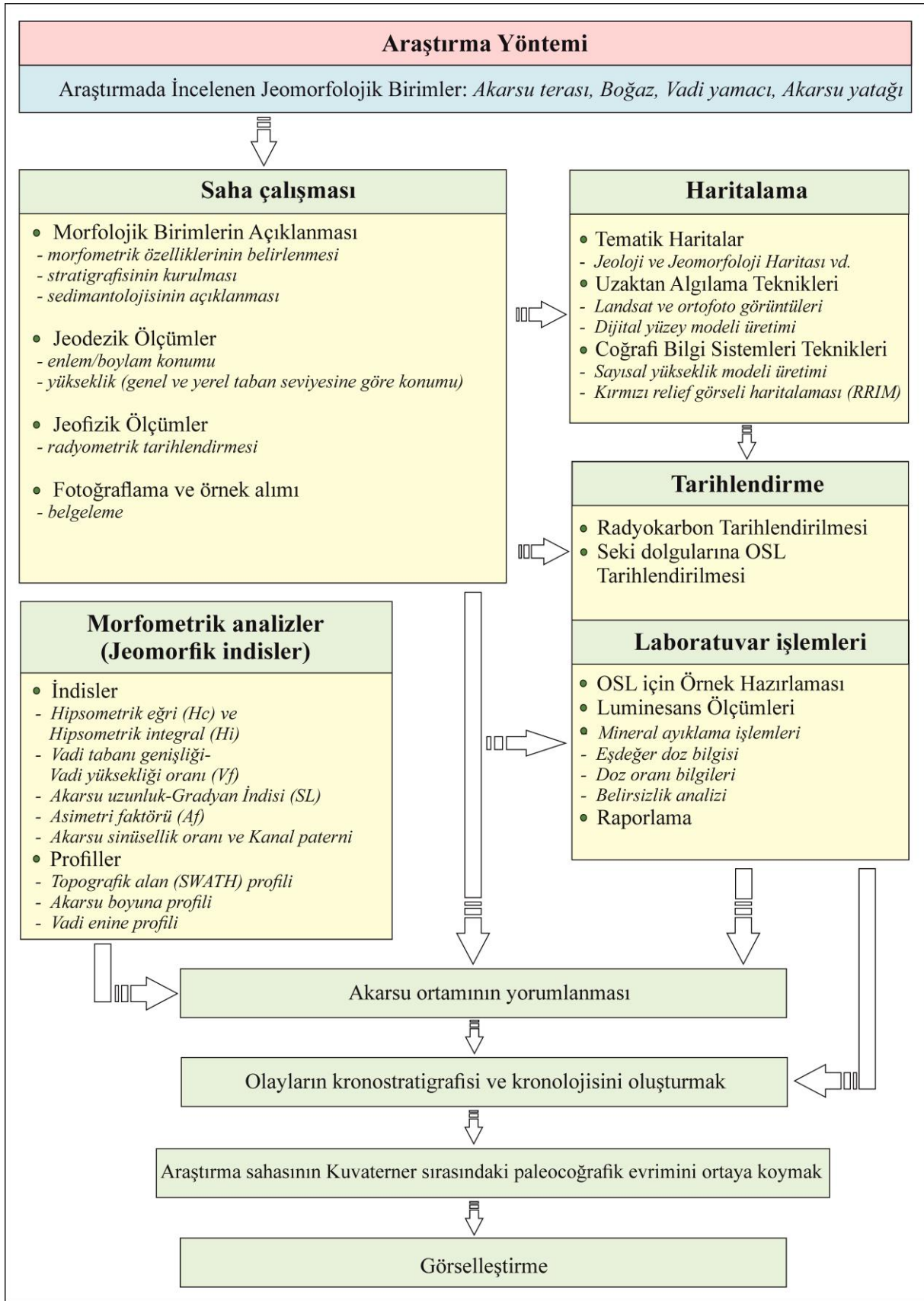
Bununla birlikte, birçok tematik haritanın üretilmesi ve morfometrik yüzey analizlerinin yapılmasında ArcMap 10.5, SAGA GİS 7.9, QGIS 3.12.1, Global Mapper 21.0, Agisoft Metashape Professional, CorelDRAW X7, Adobe Photoshop 21.1.3 ve Google Earth Pro yazılımları kullanılmıştır.

Özellikle akarsu seki sistemlerinin morfometrik özelliklerinin belirlenmesi, stratigrafisinin kurulması ve sedimantolojisinin açıklanması için belirli aralıklarla saha çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Saha çalışmaları sırasında jeodezik (enlem-boylam konumu, yükseklik konumu gibi) ve jeokronolojik (radyometrik tarihlendirilmesi) ölçümler yapılmıştır. Öncelikle tespit edilen seki seviyelerinin koordinat ve yükseklikleri (genel ve yerel kaide seviyesine göre konumu), GPS (Garmin-Oregon 650 marka) ve el metresi kullanılarak ölçülmüştür.

Sekilerin sedimantolojik özellikleri ve stratigrafik dizilimi ise arazide yapılan gözlemler sırasında ölçülmüş ve fotoğraflanarak belgelenmiştir. Daha sonra bu veriler önce CBS ortamına aktarılmış ve sonrasında CorelDRAW X7 17.5 yazılımı aracılığıyla çizimleri tamamlanmıştır. Böylece, seki basamaklarının yüksekliği ve alansal dağılımlarındaki farklılıklar ortaya konulmuştur. Bunun yanı sıra, son yıllarda seki sistemlerini konu alan flüvyal jeomorfoloji çalışmalarında, klasik arazi yöntemlerinin yanı sıra modern teknolojik gelişmelerden de faydalanılmaktadır. Bu çalışmada DJI Mavic Mini IHA (İnsansız Hava Aracı-UAV) modeli ve modern fotogrametri yöntemleri (SfM-Structure from Motion-Hareketten Oluşum) kullanılarak hem sekilerin detaylı ve hassas olarak tanımlanmasına hem de konumsal ve zamansal olarak yüksek çözünürlüklü topografya verilerinin elde edilmesine fırsat sağlamıştır.

Sakarya Nehri'nin açmış olduğu ve seki oluşumlarını büyük ölçüde kontrol eden dar ve derin boğazlar ile diğer morfolojik birimlere (vadi yamaçları, akarsu yatağı gibi) uygulanan morfometrik analizler (hipsometrik eğri ve hipsometrik integral, vadi tabanı genişliği- vadi yüksekliği oranı, akarsu uzunluk-gradyan indisi ve asimetri faktörü vb.) ve çalışma sahası içerisinde alınan çeşitli profiller (eğim kırıklıklarını gösteren akarsu boyuna profili, topografik alan (SWATH) profili ve vadi enine profili) oldukça önemli bilgiler vermiştir. Özellikle bu analizler sayesinde elde edilen bulgular çalışma sahasındaki morfolojik birimlerin oluşum süreçleri ve sahanın tektonik özellikleri hakkında önemli sonuçlar ortaya koymuştur.

Ayrıca seki sistemlerinin yanı sıra Orta Sakarya vadisi boyunca vadinin morfolojik gelişimini aydınatabilecek diğer önemli morfolojik birimler (nehir yatağı, vadi yamaçları, boğazlar, taşkın ovası ve birikinti yelpazeleri vb.) de bulunmaktadır. Özellikle Sakarya Nehri'nin yatak morfolojisi, tektonik aktivitenin ve değişen iklim şartlarının kontrolü altında gelişmektedir. Dolayısıyla akarsu yataklarının (kanal) şekli, türü ve taban eğimleri yatak morfolojisi konusunda önemli bir veri kaynağı oluşturmaktadır. Bu doğrultuda, Sakarya Nehri vadisinin gelişim sürecinin yorumlanması için DSİ (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü) tarafından yapılmış olan sondaj verilerinden de yararlanılmıştır. Bu veriler, Sakarya Nehri'nin sondaj yapılan alanlardaki aşınım ve birikim süreçlerinin yorumlanmasında yardımcı olmuştur.



Şekil 1.2. Çalışma Yönteminin İşleyiş Şeması

1.3.1. Saha Çalışmaları

Literatür değerlendirilmesi tamamlandıktan sonra belirli zaman aralıklarında arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda 2018-2021 yaz dönemlerinde gerçekleştirilen arazi gözlemleri sırasında, özellikle Sakarya Nehri'nin Bilecik'e bağlı İnhisar-Osmaneli yerleşmeleri arasında kalan kesiminde tespit edilen seki sistemleri, hem bölgenin Kuvaterner sırasındaki jeomorfolojik gelişiminin aydınlatılması hem de bölgeyle ilgili yerbilimleri literatürüne katkı sunması bakımından büyük önem taşımaktadır. Çalışma alanında, İnhisar yakınlarındaki Yakacık köyü çevresinde vadi tabanından itibaren birçok seviyede izlenebilen seki basamakları tespit edilmiştir. Bu doğrultuda, arazi çalışmaları sırasında hem çalışmanın konusunu oluşturan seki sistemlerinin hem de diğer morfolojik birimlerin morfometrik, sedimantolojik ve stratigrafik özelliklerinin ortaya konulabilmesi için gerekli çalışmalar (gözlem, ölçüm, fotoğraflama, not tutulması ve belgeleme) yapılmıştır. Daha sonra seki sistemlerinin kronolojik olarak yaşlarının belirlenmesi amacıyla Optik Uyarmalı Lüminesans (OSL) tarihlendirme yönteminde kullanılmak üzere iyi korunmuş seki basamaklarının uygun yerlerinden inorganik sediman örnekleri alınmıştır. Bunun yanı sıra Hamitabat, Gemiciköy ve Küçükyenice çevresinde akarsu ortamlarının daha detaylı ve hassas olarak tanımlanması amacıyla yüksek çözünürlüklü topoğrafya verileri elde edebilmek için farklı zamanlarda DJI Mavic Mini İHA modeli kullanılmıştır.

1.3.2. Haritalama

Tematik Haritalar: Arazi çalışmaları sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri teknikleri yardımıyla özel çizim programları kullanılarak çeşitli haritalar ve çizimler (profil, kesit gibi) üretilmiştir. Haritaların üretilmesinde ArcMap 10.5 ve Metashape Agisoft Professional yazılımları, çizimlerin oluşturulmasında ise Adobe Photoshop 21.1.3 ve CorelDraw X7 programları kullanılmıştır. Böylece hem topoğrafya, jeoloji, jeomorfoloji, sayısal yükseklik modeli (SYM/Digital Elevation Model-DEM), eğim, gölgeli kabartma (hillshade) ve hidroğrafya gibi çeşitli tematik haritalar üretilmiş hem de kesitler, profiller ve tablolar çizilmiştir.

Özellikle üretilen Sayısal Yükseklik Modeli çalışma kapsamında birçok haritanın üretilmesinde altlık veri olarak kullanılmıştır. Aynı zamanda jeomorfoloji haritaları arazi gözlemleri sırasında hazırlanan taslak çizimler ile orto-fotoğraf ve topografik haritalar yardımıyla üretilmiştir.

Dijital Yüzey Modellemesi (Digital Surface Model): Hamitabat, Gemiciköy ve Küçükyenice köyleri çevresinde yer alan seki basamaklarının yüzey özelliklerinin detaylı bir şekilde analiz edilmesi amacıyla İnsansız Hava Aracı (Drone-DJI Mavic Mini) kullanılmıştır. Sonuçta elde edilen görüntüler, Agisoft Metashape Professional programı aracılığıyla bir araya getirilmiş ve nokta bulutları çıkarılarak yüksek çözünürlüklü dijital yüzey modelleri (Digital Sureface Model) oluşturulmuştur. Oluşturulan yüzey modellemesi daha sonra CorelDraw yardımıyla görsel olarak son haline getirilmiştir.

Kırmızı Relief Görsel Haritalaması: Yeni bir görüntü işleme tekniği olan Kırmızı Relief Görseli Haritası (Red Relief Image Map-RRIM) ise jeomorfolojik özelliklerin tespitinde önemli katkılar sağlamaktadır. Bu görsel hem mekânsal verilerin daha kolay algılanabilmesi ve haritalanabilmesinde hem de jeomorfolojik birimlerin haritalanabilmesinde önemli avantajlar sunmaktadır (Yokoyama vd., 2002). Aynı zamanda, 2 boyutlu ortam aracılığıyla 3B topografik bilgileri etkin bir şekilde temsil etmektedir (Fujii vd., 2012).

Sayısal yükseklik modeli kullanılarak elde edilen hillshade (kabartma) relief görselindeki raster veri gri renk ile temsil edilmektedir (Tzvetkov, 2018). Hillshade görüntüleri belirli aydınlatma yönüyle (güneş azimut yüksekliği 315° ve 45°) oluşturulduğundan gri rengin kullanımı bazen yanlış yorumlanmalara sebep olabilmektedir (Chiba vd., 2008). Bu yüzden RRIM görselinde ışık kategorisinde dalga boyu en uzun renk olan kırmızı tercih edilmektedir (Canpolat, 2021). Böylece morfolojik birimler kolay bir şekilde ayırt edilebilmektedir.

RRIM analiz yöntemi; topografik eğim, pozitif açıklık (positive openness) ve negatif açıklık (negative openness) olmak üzere üç temel unsurdan oluşmaktadır. Pozitif açıklık yüzeyin dışbükeyliğini (konveks), negatif açıklık ise yüzeyin içbükeyliğini (konkav) tanımlamaktadır. Negatif açıklık vadi, krater içi ve oyuk gibi yerlerde yüksek değer alırken, pozitif açıklık tepe ve sırt gibi alanlarda yüksek değer almaktadır (Chiba vd., 2008).

RRIM üretilmesinde kullanılan formül;

$$I = (Op - On) / 2$$

şeklindedir.

Formülde yer alan I=görüntü, Op=pozitif açıklık, On=negatif açıklık olarak kullanılmaktadır (Chiba vd., 2008).

Çalışma kapsamında, SAGA GIS 7.9.0 ve ArcMap 10.5 yazılımı ortamında ASTER ve AlosPALSAR uydularına ait DEM verileri kullanılarak Kırmızı Relief Görseli Haritası üretilmiştir.

İşlem basamakları şöyledir:

Öncelikle SAGAGIS yazılımında DEM verisi Raster veri analizine tabi tutularak pozitif ve negatif açıklık olmak üzere iki ayrı ölçekli gri renkli görüntü katmanı elde edilmiştir.

Bu veriler ArcMap 10.5 yazılımı ortamına aktararak görüntü işleme adımlarına devam edilmiştir. Önce ArcMap 10.5 yazılımında yer alan “ArcToolbox-Spatial Analyst Tools” sekmesi içerisinde bulunan “Map Algebra” seçilir ve RRIM formülünden yararlanılarak “Raster Calculation” işlemi gerçekleştirilir. Sonra “Spatial Analyst Tools-Surface” sekmesi içerisindeki “Slope” komutundan yararlanılarak eğim haritası üretilmiştir.

Eğim görüntüsü kırmızı (renk kataloğundaki beyaz-kırmızı) olarak düzenlenmiştir. Burada, “Table of Contents” kısmındaki eğim görseli katmanına sağ tıklanır ve “Properties-Symbology-Stretched” adımları gerçekleştirilir. Sekmeyi kapatmadan “Display” bölümündeki “Transparency” değeri %50 olacak şekilde belirlenir. Böylece topografik eğim raster verisinde yüksek eğim değerlerine geçildikçe kırmızı rengin koyulaştığı, buna karşılık düz veya düze yakın yerlerde ise kırmızı ve hatta düz alanlarda beyaz rengin yoğunlaştığı görülmektedir. Dolayısıyla çok katmanlı bir görüntü elde edilmiş ve Kırmızı Relief Görseli Haritası hazır hale getirilmiştir.

1.3.3. Morfometrik Analizler

Yer bilimleri (jeomorfoloji, hidroloji, ekoloji vb.), matematik (geometri, topoloji, bilgi teorisi, jeoistatistik) ve bilgisayar bilimlerinin (Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama) bir araya gelmesiyle disiplinlerarası bir alan olarak gelişen morfometri/jeomorfometri, aslında yer şekillerinin sayısal (kantitatif) olarak ölçülmesi şeklinde tanımlanmaktadır (Pike, 2000; Keller ve Pinter 2002).

Morfometri çalışmaları topografya haritalarından ortalama yükseklik ve eğim, hacim, nispi rölyef ve drenaj yoğunluğunun hesaplamasına yönelik olarak ortaya çıkmış olmasına rağmen son zamanlarda arazi-yüzey sınıflandırması, yükseklik verilerinin iyileştirilmesi ve işlenmesi, topografyanın tanımlanması ve görselleştirmesi gibi çok çeşitli sayısal analizleri barındırmaktadır. Özellikle kantitatif ölçümler, jeomorfoloğların farklı bölgelerdeki yer şekillerinin kıyaslanması ve bir sahanın tektonik aktivitesinin belirlenmesi konusunda önemli sonuçlar ortaya koymaktadır (Burbank ve Anderson, 2001; Keller ve Pinter, 2002).

Aslında sayısal yükseklik modeli (SYM) içerisindeki mekânsal özelliklerin (kara-yüzey nesneleri) ve ölçümlerin (arazi-yüzey parametreleri) ortaya konulması jeomorfometrinin temel amacı olarak düşünülmektedir. İlk olarak 1958 yılında tanımlanan Sayısal Yükseklik Modeli (SYM-DEM) teknolojinin gelişmesiyle birlikte kullanımını giderek arttırmıştır (Pike, 2000). Özellikle bu verinin değerlendirilmesiyle birlikte her geçen gün yenisi geliştirilen çok sayıda morfometrik analizin jeomorfoloji çalışmalarında kullanımı mümkün hale gelmiştir.

Özellikle tektonik deformasyon geçiren sahaların tanımlamasında morfometrik analizler oldukça faydalıdır. Çalışma sahasının morfometrik özellikleri, çeşitli morfometrik indisler ve profiller kullanılarak detaylandırılmıştır. Araştırma sahasında morfometrik indislerin uygulanabilmesi için ArcMap 10.5 yazılımı aracılığıyla elde edilen 10 m piksel çözünürlüğe sahip DEM verisi kullanılmıştır. Öncelikle programda yer alan “ArcToolbox” sekmesi içerisindeki “Spatial Analyst Tools-Hydrology (hidroloji)” aracı yardımıyla; sırasıyla “fill (boşluk doldurma), flow direction (akım yönü), flow accumulation (kümülatif akım hesaplama), stream order (akış sırası), stream to feature (vektöre çevirme), basin (havza sınırı)” aşamaları tamamlanarak çalışma sahasının drenaj ağı ortaya çıkarılmış ve drenaj alanları belirlenmiştir. Böylece çalışmanın amacı doğrultusunda çeşitli morfometrik indislerin uygulanması ve profillerin çıkarılması için bir altlık hazırlanmıştır.

Özellikle hipsometrik eğri- hipsometrik integral (H_i), akarsu uzunluk-gradyan indisi (SL), vadi tabanı genişliği-vadi yüksekliği oranı (V_f) ve asimetri faktörü (AF) gibi indisler kullanılmıştır. Topografik alan profili (SWATH), akarsuyun boyuna profili ve vadinin enine profili ise morfometrik özelliklerin ortaya konulmasında tercih edilen profiller olmuştur.

Analiz sonuçları bölgedeki tektonik aktivitenin drenaj sistemi üzerindeki etkisini göstermesi açısından oldukça önemli sonuçlar ortaya koymuştur.

Çalışmada kullanılan indis ve profiller aşağıda ayrıntılı bir şekilde belirtilmiştir.

1.3.3.1. Hipsometrik Eğri (Hc) ve Hipsometrik İntegral (Hi)

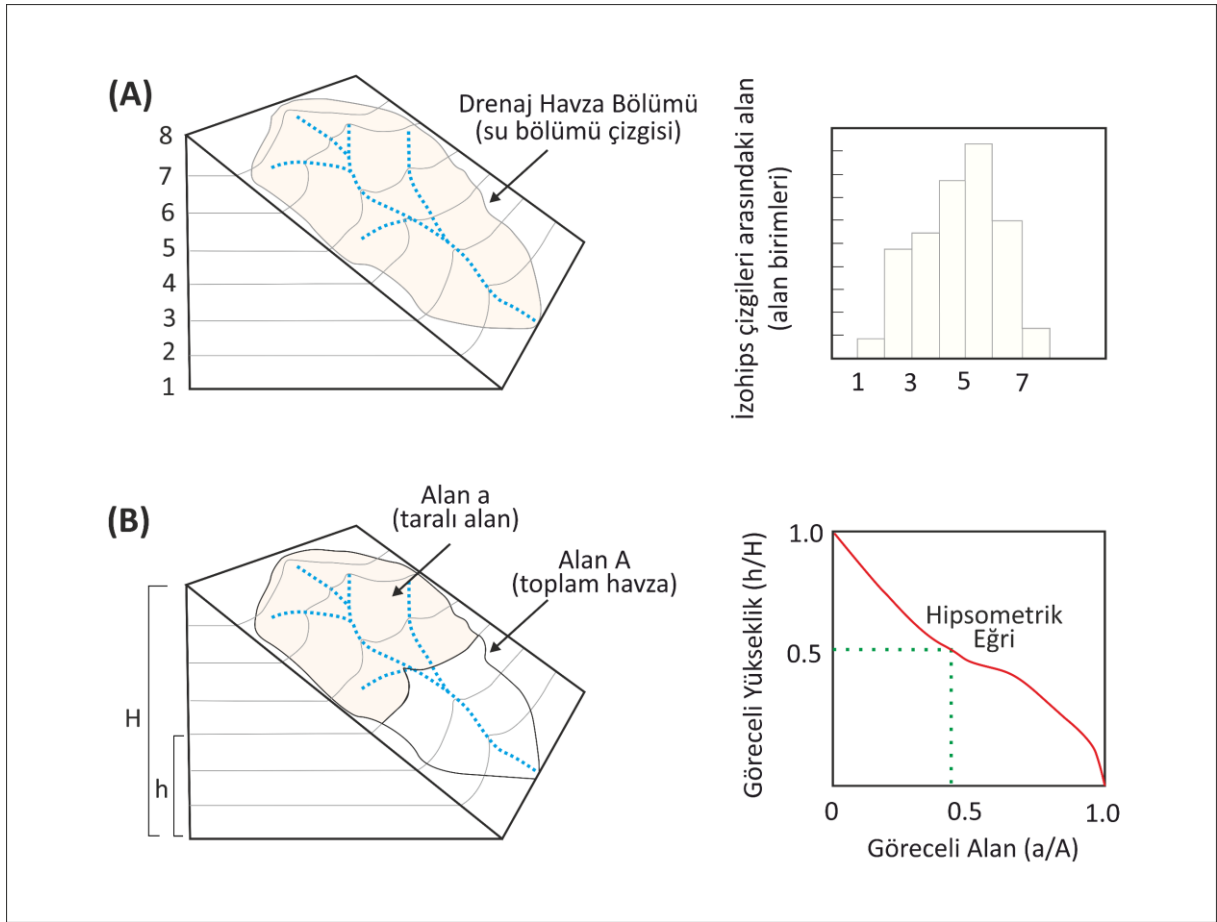
Hipsometrik eğri (Hc), toplam havza yüksekliği oranı (h/H = rölatif yükseklik) ile toplam çalışma alanı oranının (a/A = rölatif alan) birlikte değerlendirilmesi sonucunda elde edilmektedir (Strahler, 1952). Bu eğri, yüksekliğin drenaj havzası içerisindeki dağılımlarını ifade etmektedir. Bununla birlikte bu indis aracılığıyla farklı büyüklükteki drenaj havzalarının karşılaştırılması da söz konusu olmaktadır (Keller ve Pinter, 2002; Perez-Pena vd., 2010).

Bu eğrinin şekli, havzanın gelişim evresi ve havzadaki erozyon aşaması ile ilgili bilgi vermektedir. Dışbükey hipsometrik eğriler göreceli olarak “genç” ve zayıf aşınmış bölgeleri, S şekilli eğriler orta derecede aşınmış bölgeleri ve içbükey eğriler ise nispeten “yaşlı” ve daha fazla aşınmış bölgeleri karakterize etmektedir (Perez-Pena vd., 2010). Dolayısıyla hipsometrik eğrinin şekli su toplama alanını kontrol eden tektonik, iklimsel ve litolojik faktörler hakkında bilgiler sunmaktadır.

Hipsometrik eğrinin altında kalan alan ise hipsometrik integral (Hi) olarak ifade edilmektedir (Strahler, 1952). Hipsometrik integral, hipsometrik eğrinin sayısal olarak ifade edilmesidir. Bu değer aşağıdaki formüle göre hesaplanmaktadır:

$$Hi = \frac{\text{Ortalama Yükseklik} - \text{Minimum Yükseklik}}{\text{Maksimum Yükseklik} - \text{Minimum Yükseklik}}$$

Bu formül sonucunda 0-1 arasında bir değer elde edilmektedir. 0 (sıfır)’a yakın değerler aşınımın yüksek olduğu bölgeleri, 1 (bir)’e yakın değerler ise aşınımın zayıf olduğu bölgeleri göstermektedir. Genellikle 0,5’ten büyük değerler dışbükey yüzeyleri, 0,4-0,5 arasındaki değerler içbükey-dış bükey veya düz yüzeyleri ve son olarak ise 0,4’ten düşük değerlerde içbükey yüzeyleri ifade etmektedir. Dolayısıyla değer 0’a yakın olması olgun bir topografyanın varlığını işaret ederken 1’e yakın olması ise genç bir topografyanın hâkim olduğunu göstermektedir (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. Hipsometrik Eğri (Hc) ve Hipsometrik İntegral (Hi) Profili

Kaynak: (Keller ve Pinter, 2002)

1.3.3.2. Vadi Tabanı Genişliği-Vadi Yüksekliği Oranı (Vf)

Vadi tabanı genişliği-yüksekliği oranı V profilli ve U profilli düz zeminli vadileri ayırt etmek için tasarlanmış bir jeomorfik indistir (Bull ve McFadden, 1977). Bu indis değeri şu formüle göre belirlenir (Keller ve Pinter, 2002):

$$Vf = 2 * Vf_w / (Eld - Esc) + (Erd - Esc)$$

Formüldeki;

Vf = vadi tabanı genişliği-vadi yüksekliği oranı,

Vf_w = vadi tabanı genişliği,

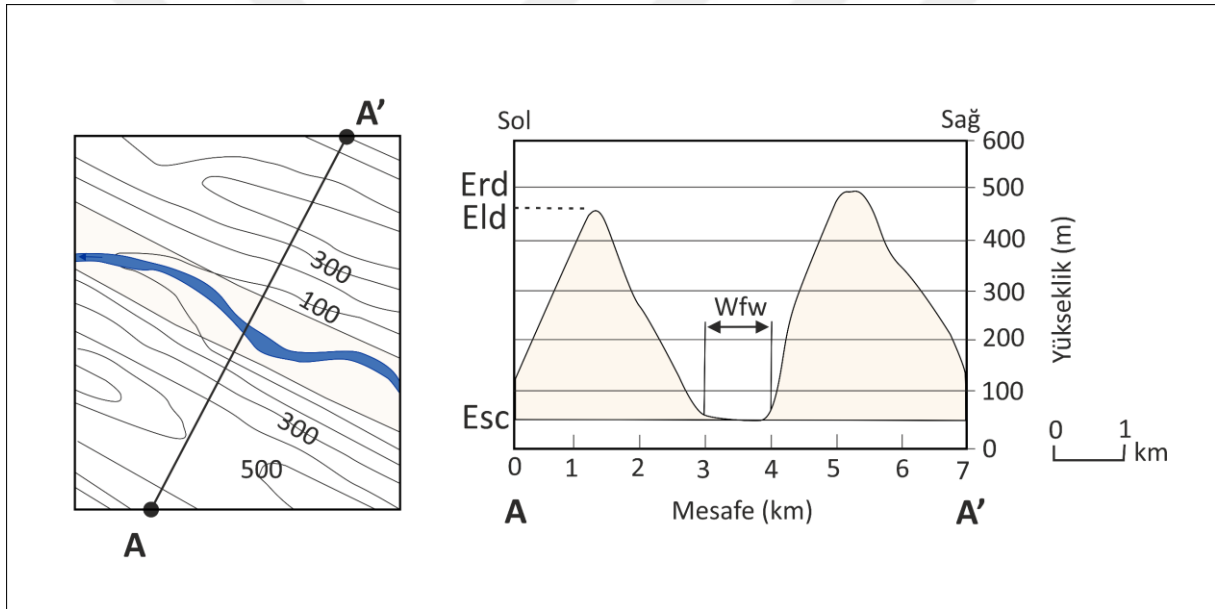
Eld = vadinin sol yamaç yüksekliği,

Erd = vadinin sağ yamaç yüksekliği,

Esc = vadi tabanı yüksekliğini ifade etmektedir (Şekil 1.4).

Vadi tabanı genişliği-vadi yüksekliği oranı indisi, tektonik hareketlerin vadi yamaç profili üzerindeki etkileri hakkında fikir vermesi bakımından tercih edilmektedir. Formülünden elde edilen sonuca göre, $V_f \geq 1$ olduğu zaman düşük seviyede tektonik aktivite, $1 < V_f < 0$ arasında olduğu zaman orta seviyede tektonik aktivite ve $V_f \leq 0.5$ olduğu zaman ise yüksek seviyede tektonik aktivite göstergesi olarak sınıflandırılmaktadır. Böylece, yüksek V_f değerleri düşük yükselme oranını ve yamaç işlenmesini dolayısıyla vadi tabanının genişliğini karakterize ederken, düşük V_f değerleri tektonik yükselme paralelinde kuvvetle kazılan vadileri yani vadi tabanının darlığını göstermektedir (Bull ve McFadden, 1977; Öztürk ve Erginal, 2008).

Çalışma sahasında, Sakarya Nehri'nin açmış olduğu, seki oluşumlarını büyük ölçüde kontrol eden dar ve derin boğazlara uygulanan bu indisin sonuçları hem boğazların hem de sahanın tektonik özellikleri hakkında önemli bilgiler vermiştir.



Şekil 1.4. Vadi Tabanı Genişliği-Vadi Yüksekliği Oranı İşleyiş Şeması

Kaynak: (Keller ve Pinter, 2002)

1.3.3.3. Akarsu Uzunluk-Gradyan İndisi (SL)

Akarsu uzunluk-gradyan indisi, akarsuyun akış gücüyle ilişkili olup akarsu vadisinin boyuna profili boyunca meydana gelen değişimlerin sebebini belirlemek amacıyla tercih edilmektedir.

SL indisi akarsu yatak eğimindeki değişikliklere karşı hassastır ve bu hassasiyet olası tektonik aktivite, litoloji direnci ve topografya arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesine imkân sağlamaktadır (Keller ve Pinter, 2002).

Bu indis aşağıda belirtilen formüle göre hesaplanmaktadır:

$$SL = (\Delta H / \Delta L) * L$$

Formüldeki;

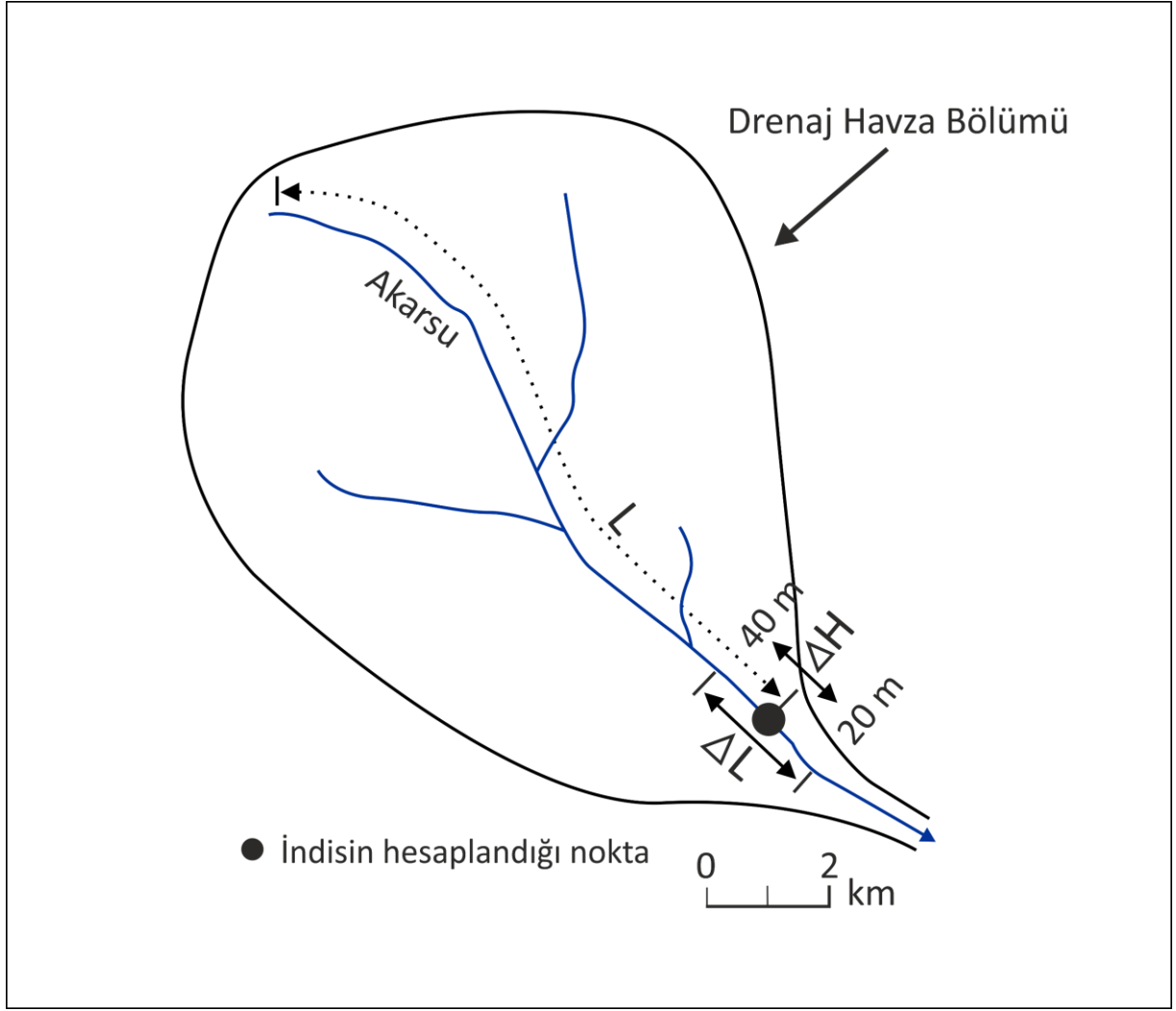
“SL” akarsu uzunluk-gradyan indisini,

“ΔH” akarsuyun incelenen parçasının başlangıç ve bitişindeki yükseklik değerlerinin farkını,

“ΔL” akarsuyun incelenen parçasının uzunluğunu (m) ve

“L” ise akarsuyun incelenen parçasının orta noktasından, akarsuyun memba (kaynak) tarafına doğru olan mesafesini (m) ifade etmektedir (Şekil 1.5).

Formülden elde edilen değer yüksekliği vadi profil eğiminin yükselmesini göstermektedir. Eğim değerindeki söz konusu yükselim, litolojik farklılık, akarsu su bütçesindeki değişim veya tektonik aktiviteden (fay gibi) kaynaklanabilmektedir. Dolayısıyla dirençsiz kayalardan oluşan bir sahada ve litolojide herhangi bir değişim olmamasına rağmen SL indis değerlerinde yüksek değerler tespit edilmesi tektonik aktiviteyi işaret etmektedir. Bunun yanı sıra değerlerin düşük olması dirençli kayalar veya düşük tektonik aktivitenin birer göstergesidir (Keller ve Pinter, 2002).



Şekil 1.5. Akarsu Uzunluk-Gradyan İndisi Hesaplama Şeması

Kaynak: (Keller ve Pinter, 2002)

1.3.3.4. Asimetri Faktörü (AF)

Akarsu ağlarının geometrisi hem niteliksel hem de niceliksel olarak çeşitli yollarla tanımlanabilmektedir. Akarsu drenajının aktif tektonik deformasyon içerisinde geliştiği yerlerde, akarsu ağı genellikle farklı bir patern ve geometriye sahip olmaktadır. Tektonik denetim altında gelişen drenaj sistemleri, etkilendikleri tektonik aktivitenin belirgin izlerini taşımaktadır (Keller ve Pinter, 2002).

Asimetri faktörü, drenaj havzasındaki veya daha büyük ölçeklerde akışa sahip yerlerde tektonik tiltlenmeyi (çarpılmayı) saptamak için geliştirilmiş kantitatif bir yöntemdir.

Bu indis aşağıda belirtilen formüle göre tanımlanır:

$$AF = 100 * Ar / At$$

Formüldeki;

“AF” drenaj havzası asimetrisi,

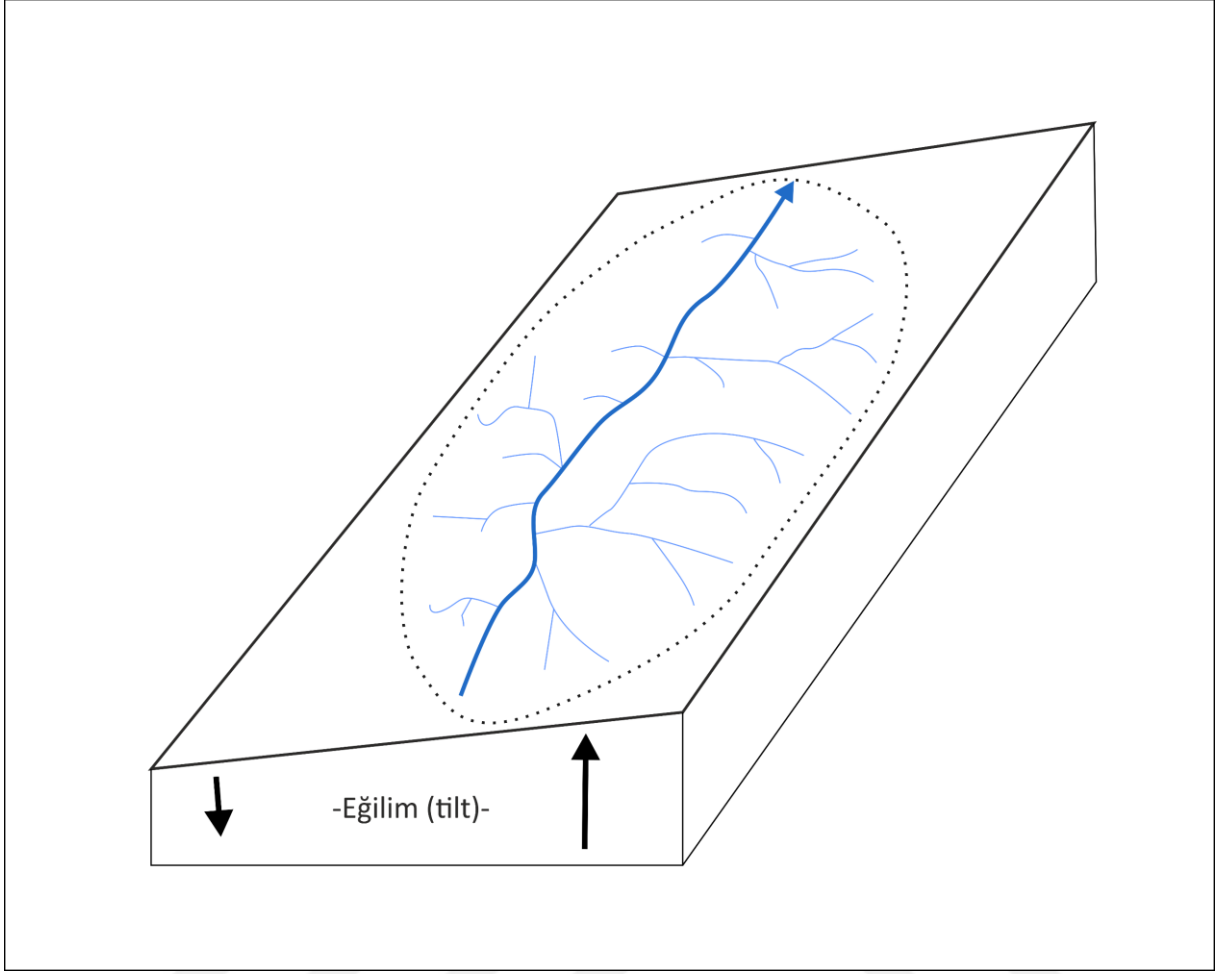
“Ar” akarsuyun kaynağından ağız kısmına bakarken, drenaj havzasının sağ tarafında kalan alanı,

“At” havzanın toplam alanı olarak ifade edilmektedir.

Formülden elde edilen AF sonucunun 50 değerinde olması havzanın duraylı olduğunu ifade etmektedir. Değerin 50’den düşük olması akarsuyun akış yönüne göre sağa doğru bir tiltlenmenin (eğimlenme) söz konusu olduğunu buna karşın 50’den yüksek değerler göstermesi ise sola doğru bir tiltlenmenin (eğimlenme) varlığını göstermektedir (Şekil 1.6; Keller ve Pinter, 2002).

Buna karşılık Perez-Pena vd. (2010) AF değerlerinin yorumlanmasında farklı bir sınıflandırma geliştirmiştir. Sınıflandırmada kullanılan formül $AF = (50 - Ar * 100) / At$ şeklindedir. Formülden elde edilen sonuçlara göre AF değerinin 5’ten küçük olması simetrik havzayı, 5-10 arasında olması az asimetric havzayı, 10-15 arasında olması orta derecede asimetric havzayı ve 15’ten büyük olması çok asimetric havzayı ifade etmektedir. Çalışma sahasındaki AF değerinin yorumlanmasında Keller ve Pinter (2002) tarafından hazırlanan formül kullanılmıştır.

Sonuç olarak, birçok morfometrik indiste olduğu gibi AF indisi de drenaj havzasının aynı litolojik yapıdan meydana geldiği yerlerde daha iyi sonuçlar vermektedir. Bunun yanı sıra havzalardaki litolojik farklılıklar ve lokal iklimsel farklılıkların etkili olduğu yerler ise genellikle asimetriye karşı duyarlı değildir.



Şekil 1.6. Asimetri Faktörüne Bağlı Meydana Gelen Tiltlenmeyi Gösteren Kesit

Kaynak: (Keller ve Pinter, 2002)

1.3.3.5. Akarsu Sinüselliği (Eğrilik) Oranı ve Kanal Paterni

Akarsu sinüselliği oranı, akarsu kanal uzunluğunun vadi uzunluğuna oranını ifade etmektedir. Genellikle akarsuyun mendereslenme derecesinin belirlenmesinde kullanılmaktadır.

Bu indis aşağıda belirtilen formüle göre tanımlanır:

$$S = C / V$$

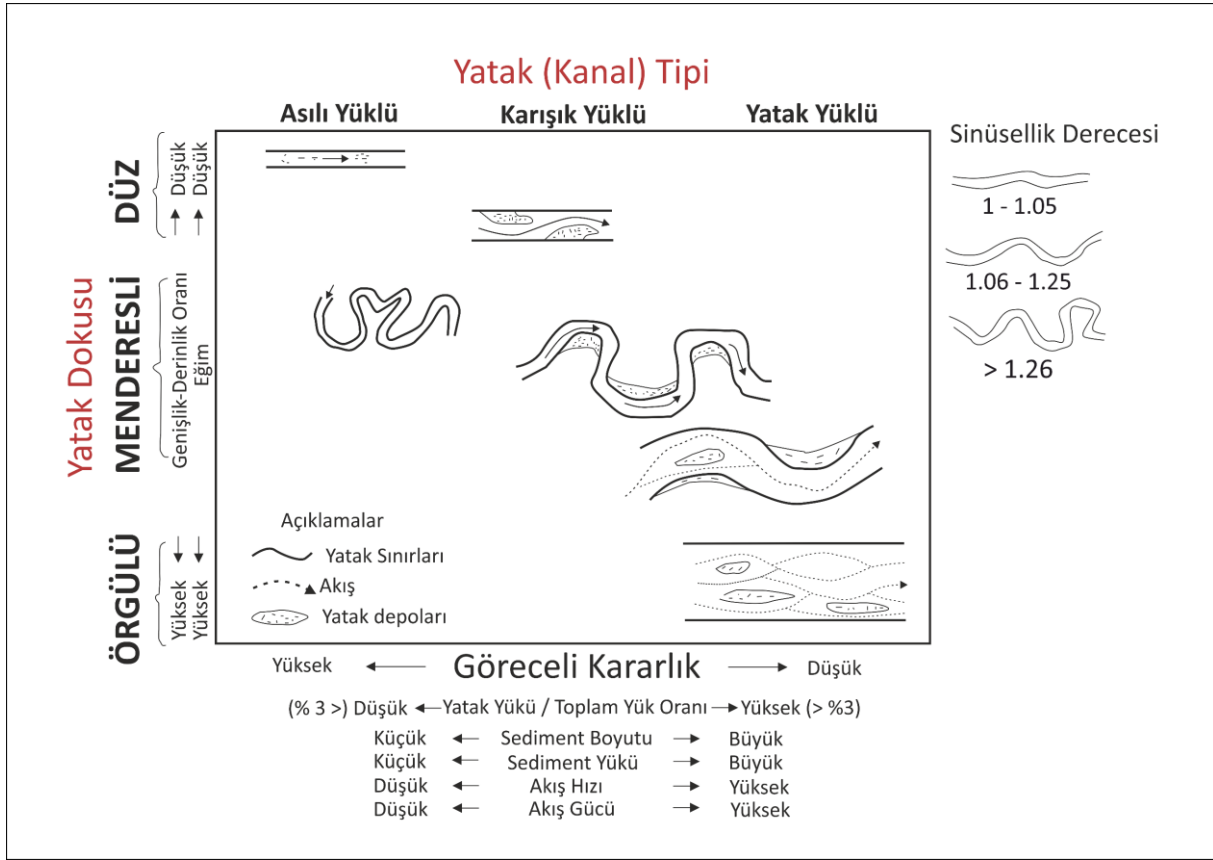
Formüldeki;

“S” sinüselliği,

“C” kanal (yatak) uzunluğu (m)

“V” vadi uzunluğu (m) olarak ifade edilmektedir.

Formülde elde edilen S değerinin 1-1,05 arasında olması düz kanal paternini, 1,06-1,25 arasında olması sinüslü kanal paternini ve 1,26-3,0 arasında olması ise menderesli kanal paternini göstermektedir (Şekil 1.7; Schumm, 1985).



Şekil 1.7: Akarsu Sinüselliği (Eğrilik) Oranı ve Kanal Paterni İndisi. Yatak Dokusu, Yatak Tipi ve Yatak Yüklü Arasındaki İlişki Ortaya Konulmuştur

Kaynak: (Schumm, 1985)

1.3.3.6. Topografik Alan (SWATH) Profili Üretimi

Tektonik jeomorfoloji çalışmalarında, topografik profiller ve nehrin boyuna profilleri, morfolojinin iç ve dış kuvvetlere verdiği tepkinin analiz edilmesinde ve bir bölgenin morfotektonik gelişiminin anlaşılmasında en yaygın kullanılan yaklaşımlar arasındadır (Yıldırım vd., 2011; Perez-Pena vd., 2017).

Topografik profiller uzun dönemli peyzaj dengesini gösterirken, nehrin boyuna profilleri peyzajın tektonik, litolojik ve iklimsel değişikliklere kısa vadeli tepkisini temsil etmektedir (Perez-Pena vd., 2017). Bir başka deyişle akarsu boyuna profilleri, jeolojik, jeomorfolojik ve iklimsel değişikliklere yakın geçmişten günümüze yanıt için bir yaklaşım olurken alan (SWATH) profilleri uzun dönemli peyzaj durumuna yanıt olabilmektedir.

SWATH profilleri, yüzey yükseltilerini analiz etmekle sınırlı değildir, aynı zamanda eğim ve rölyef gibi diğer jeomorfik özellikleri analiz ederek topografyanın nicel tanımına yardımcı olmaktadır (Hergarten vd., 2014).

SWATH profil; elde edilen alansal profil içerisinde minimum, ortalama ve maksimum yükseklikleri içermektedir. Profil içerisindeki ortalama yükseklik değerleri ile maksimum ve minimum yükseklik değerleri arasındaki ilişki, topografyanın durumu hakkında önemli bilgiler ortaya koymaktadır. Bu indis aşağıda belirtilen formüle göre tanımlanır:

$$Hi = Hortalama - Hminimum / Hmaksimum - Hminimum$$

Hipsometrik integral değerinin 1'e yakın olması, ortalama yüksekliklerin maksimum yüksekliklere yakın olduğunu, dolayısıyla genç bir topografyanın varlığını göstermektedir. Buna karşılık, değer 0'a yakın olması, ortalama yüksekliklerin minimuma yakın olduğunu ve olgun bir topografyanın varlığını işaret etmektedir.

Normalde ortalama yükseklik değeri, alan profili içerisinde peyzajın genel topografik eğilimine uygundur yani dengededir. Bir başka ifadeyle, SWATH profilinde ortalama yükseklik profili, maksimuma göre minimuma daha yakın olacaktır. Buna karşılık, ortalama yükseklik profilinin maksimuma yaklaşması, yani ortalama profilin yukarı doğru sapması, daha yüksek yükselme (uplift) oranlarına geçici bir uyum gösterdiğini ortaya koymaktadır (Keller & Pinter, 2002). Örneğin akarsu tarafından yakın zamanda kazınmış dar boğazlı bir vadide, ortalama yükseklik eğrisi maksimum yükseklik eğrisine daha yakın olacaktır. Bu doğrultuda, çalışma alanı içerisindeki topografya özelliklerinin kantitatif olarak ortaya koyabilmek adına SWATH profiller oluşturulmuştur.

1.3.3.7. Akarsu Boyuna Profili Üretimi

Akarsu boyuna profilleri, erozyon ve yükselme oranları arasındaki denge olarak yorumlanmakta ve özellikle litoloji, iklim, tektonik ve yamaç süreçleri gibi nehrin kontrol faktörlerindeki değişkenlikleri tespit etmek amacıyla son zamanlarda sıklıkla tercih edilmektedir (Schumm vd., 2000; Keller ve Pinter, 2002; Perez-Pena vd., 2017). Demoulin (1998), nehir boyuna profillerinin normalleştirilmiş bir biçimde sunulmasını önermiştir.

Normal şartlarda boyunu profiller, sabit tektonik ve iklim koşulları altında içbükey ve düzgündür. Buna karşılık yükselme oranlarına ve aylık yağış miktarına göre içbükey, içbükey-dışbükey ve dışbükey olmak üzere üç tip profil morfolojisi (eğrisellik) tanımlanmıştır. İçbükey profiller, yükselme ve erozyon oranları arasındaki uzun vadeli dengeyi temsil etmektedir. Profilin orta kesimindeki aşındırma basamakları olan içbükey-dışbükey profiller, aşınma süreçlerinin uzun vadeli baskınlığını göstermektedir. Dışbükey profiller ise yükselmenin (aktif tektoniğin) baskın olduğu alanları ifade etmektedir (Perez-Pena vd., 2010). Genellikle boyuna profillerdeki sapmalar, litolojideki, iklimdeki veya sediment akışındaki mekânsal değişkenlerin, geçici profil evriminin veya aktif yapılar boyunca düzgün olmayan kaya yükselmesinin bir sonucu olabilmektedir (Yıldırım vd., 2011).

Çalışma sahası içerisinde Sakarya Nehri ve onun kolları olan Yenipazar ile Erbis deresine ait akarsu boyuna profilleri çıkartılmıştır. Bu profillerde karşılaşılan eğim kırıklıkları (knickpoint) yardımıyla akarsu ortamı ile tektonik aktivite arasındaki ilişki ortaya konulmuştur. Akarsu boyuna profillerinin yorumlanmasında ise hem eğriselliklerin hem de eğim kırıklıklarının altına litoloji verileri de eklenerek litolojik farklılığın olmadığı alanlarda meydana gelen eğim kırıklıklarının özellikle yerel ve/veya bölgesel tektonik aktiviteden kaynaklı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

1.3.3.8. Vadinin Enine Profil Üretimi

Vadilerin yamaç özellikleri, genellikle iklim, litoloji, yapı, morfolojik evrim gibi faktörler tarafından belirlenmektedir (İnandık, 1957; Erinç, 2000). Bununla birlikte yamaçların şekillendirilmesinde özellikle bu faktörlere bağlı olarak gerçekleşen yana aşındırma, yüzeysel akış ve çözülme gibi faktörler de önemli rol oynamaktadır.

Özellikle Sakarya Nehri vadisi ve boğazların yamaç özelliklerinin belirlenmesi, nehrin kestiği jeolojik birimlerin ve yatak eğiminde meydana gelen değişimlerin gösterilmesi, vadinin jeomorfolojik gelişiminin aydınlatılması bakımından büyük öneme sahiptir. Bu doğrultuda boğazların yer aldığı kesimlerde enine profiller oluşturulmuştur.

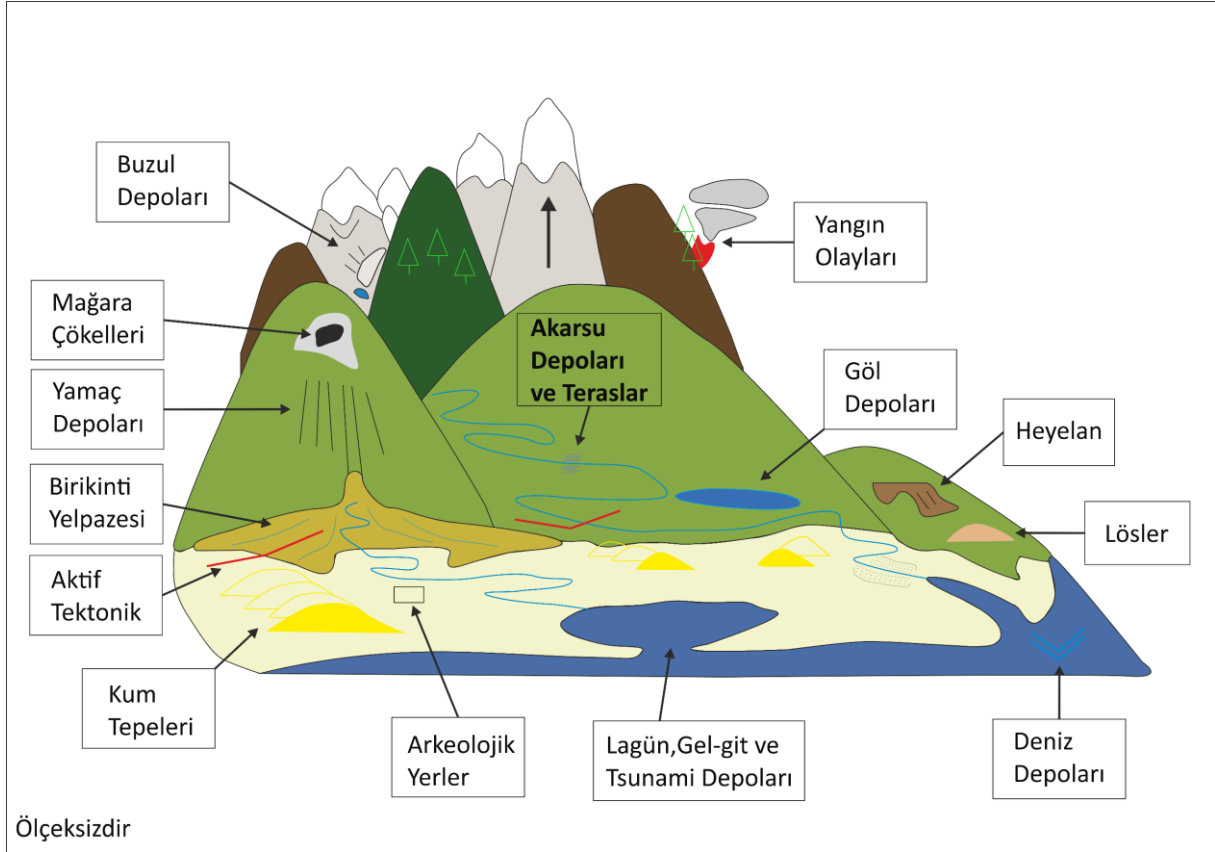
1.3.4. Tarihlendirme ve Laboratuvar İşlemleri

Tarihlendirme teknikleri, akarsu ortamlarının evrimini yeniden yapılandırmak ve iç-dış kuvvetlerin etkisini değerlendirebilmek için büyük önem taşımaktadır (Cordier vd., 2012). Özellikle radyometrik tarihlendirme yöntemleri, maruz kalınan radyasyonun değerlendirilmesi, radyokarbon ve uzun-kısa yarı ömürlü radyoaktif elementlerin incelenmesi şeklinde üç ana madde altında toplanabilmektedir (Walker, 2005). Maruz kalınan radyasyonun değerlendirilmesi konusunda termolüminesans (TL), elektron spin rezonans (ESR) ve optik uyarmalı lüminesans (OSL- Optically Stimulated Luminescence) en önemli yöntemler arasında yer almaktadır (Şahiner, 2015).

TL, ESR ve OSL yöntemleri, kristalin dış bir radyasyona maruz kalması sonucu elektronların kristal yapıdaki kusurları (safsızlıkları) aracılığı ile tuzaklanması ve tuzaklanan elektronların miktarının değerlendirilmesi şeklinde yapılır. Tuzaklanmış elektronların incelenmesi TL yöntemiyle ısıyla, OSL yönteminde ışıkla, ESR yönteminde ise manyetik alan aracılığıyla yapılmaktadır (Şahiner, 2015). Bir başka deyişle, lüminesans oluşumunda kullanılan uyarma kaynağına göre lüminesans yöntemleri farklı isimler alabilmektedir. Numuneyi uyarma amacıyla ısı kullanılırsa TL, manyetik alan uygulanırsa ESR, manyetik alan yerine farklı dalga boylarında ve farklı şiddetlerde ışık kullanılırsa OSL yöntemi ismini alır (Aitken, 1998). Bu nedenle çökel tanelerin içerisindeki lüminesans sinyallerinin ölçülmesi olarak tanımlanan OSL aslında elektron tuzaklarının en son ne zaman boşaltıldığını temsil eden yaşları sağlamaktadır (Aitken, 1998; Wallinga, 2002; Duller, 2004; Rhodes, 2011, Sarıkaya, 2012). Bir başka deyişle çökellerin gömülme zamanını gösteren bir tarihlendirme tekniğidir (Thorndycraft vd. 2008).

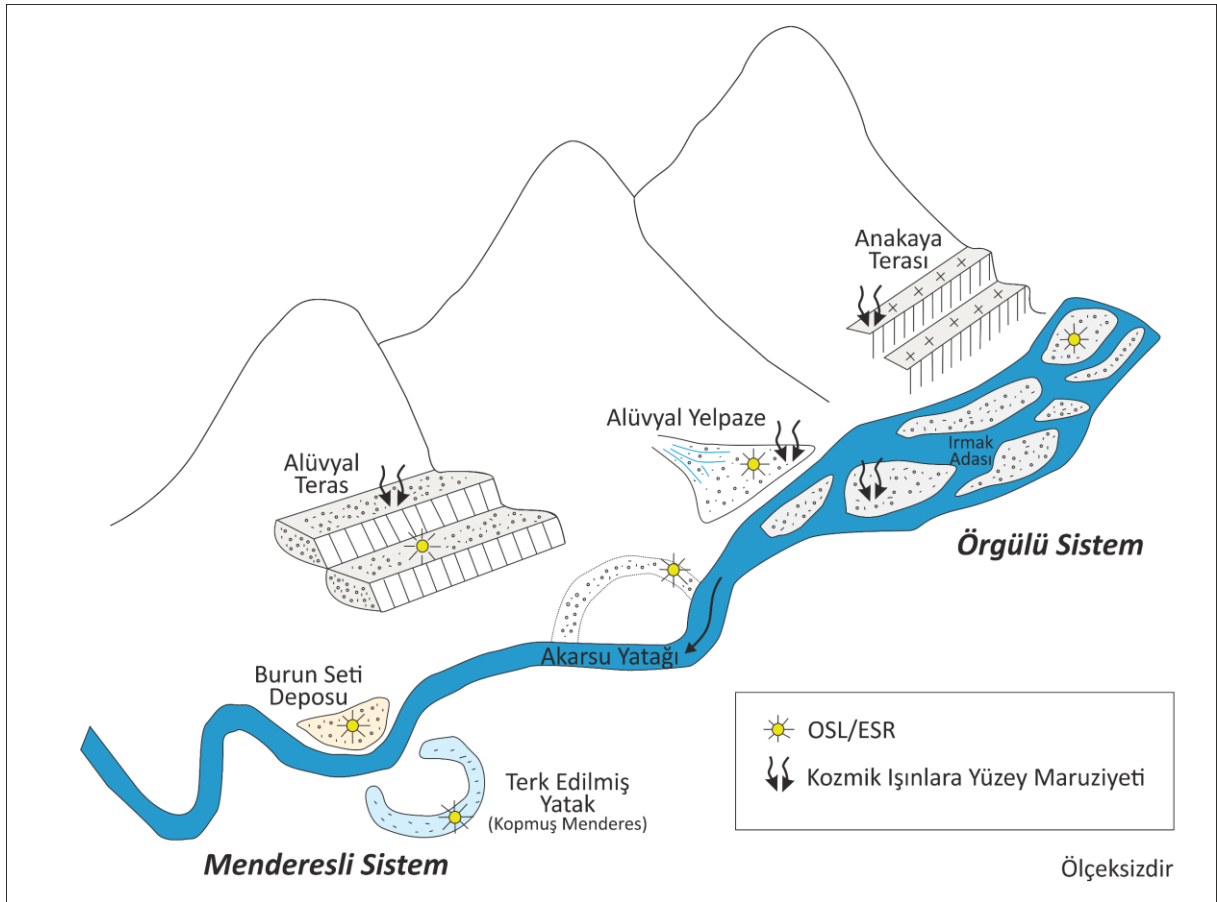
1960'lardan itibaren termolüminesans, 1980'lerden itibaren ise Optik uyarmalı lüminesans yöntemleri tarihlendirme amacıyla çeşitli çalışmalarda kullanılmaya başlanmıştır (Aitken 1998). Özellikle OSL yöntemini ilk olarak 1985 yılında minerallerin en son ışığa maruz kaldığı zamanı belirlemek üzere Huntley (1985) tarafından kullanılmıştır. Daha sonraki yıllarda özellikle 1990'lardan sonra cihazların teknik olarak gelişmesi ve tarihlendirme ile ilgili önemli gelişmelerin meydana gelmesi sonucunda birçok çalışmada tercih edilir duruma gelmiştir (Şahiner, 2015).

OSL tarihlendirme yöntemi, genellikle kuvars ve feldispat bakımından zengin Orta-Geç Pleistosen ve Holosen yaşlı denizel ve karasal istiflerin tarihlendirilmesinde kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra özellikle akarsu ortamlarının kronolojik özelliklerinin ortaya konulmasında tercih edilmektedir (Şekil 1.8., 1.9; Wallinga, 2002; Rhodes, 2011; Rixhon, 2017).



Şekil 1.8. OSL Yönteminin Uygulanabileceği Ana Ortamların Karikatür Çizimi. Özellikle Kuvaterner Buzullaşması, Flüvyal Depolar ve Teraslar, Kumul Analizleri ve Lös Kayıtları Çalışmalarına Önemli Ölçüde Katkıları Bulunmaktadır.

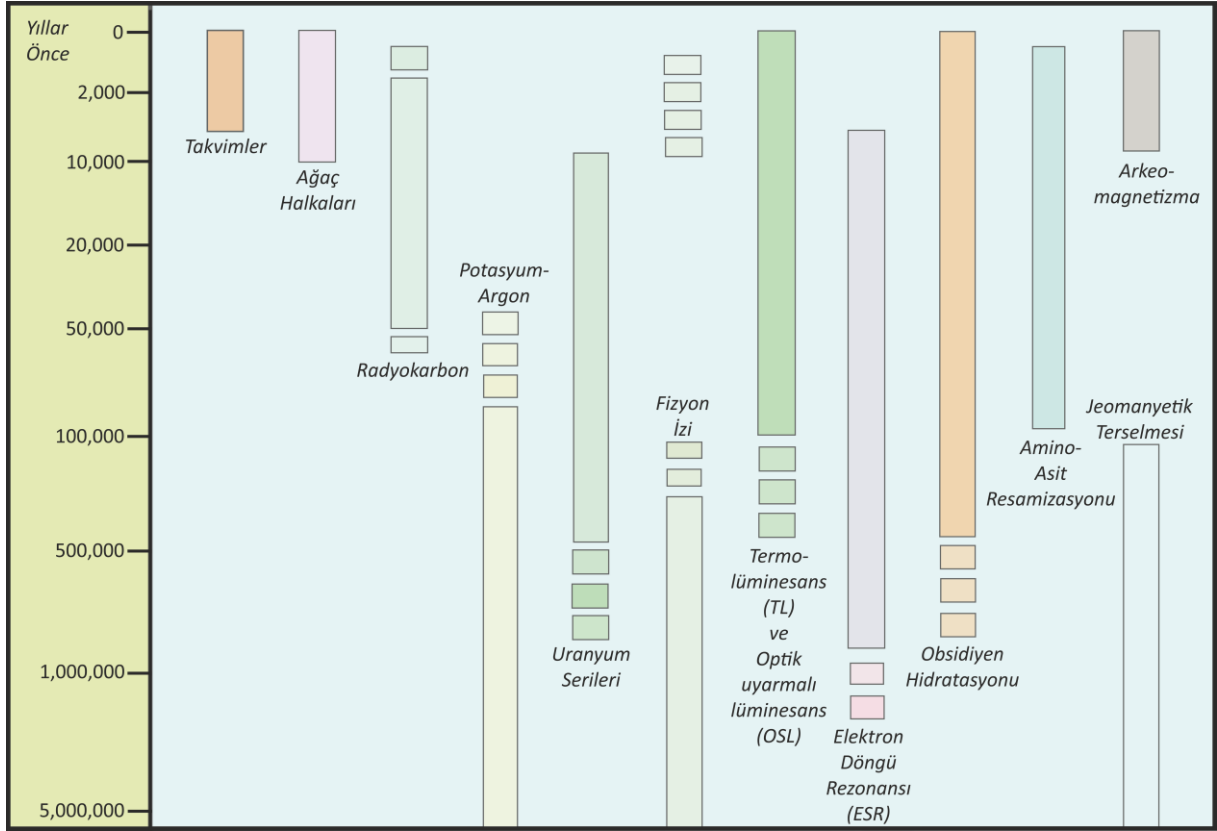
Kaynak: (Rhodes, 2011)



Şekil 1.9. Akarsu Sistemlerinde OSL Yaşlandırması İçin Tarihlenebilir Tortulları ve Şekilleri Temsil Eden Çizim

Kaynak: (Rixhon, 2017)

OSL tarihlendirme yöntemi gerek düşük maliyetli olması ve onlarca yıldan yüzbinlerce yıla kadar olan zaman aralığında tarihlendirmeye imkân sunması gerekse %5-10'luk yaş belirsizlikleri ile yeterince güvenilir ve çok doğru sonuçlar vermesi bakımından günümüzde sıklıkla tercih edilmektedir (Thorndycraft vd. 2008). Buna karşılık, çok sık tercih edilen bir yöntem olmasına rağmen 400.000 yıldan eski depolar için güvenilir sonuçlar vermemesi önemli bir sınırlılık olarak değerlendirilmektedir (Şekil 1.10; Rixhon vd., 2017).



Şekil 1.10. Tarihlendirme Yöntemlerinin Zamansal Sınırlılıkları. Özellikle OSL Tarihlendirme Yöntemi, 400.000 Yılda Eski Depolar için Güvenilir Sonuçlar Vermemesi Bakımından Önemli Bir Sınırlılık Olarak Değerlendirilmektedir.

Kaynak: (Renfrew ve Bahn, 2017)

Sedimanter tortulların OSL tarihlemesi aşağıdaki denkleme dayanmaktadır:

$$OSL \text{ yaş (yıl)} = Eşdeğer \text{ doz (Gy)} / \text{Doz hızı (mGY/yıl)}$$

Formülde yer alan doğal (eşdeğer) doz ile yıllık doz OSL için iki önemli değerdir. Örnekten (numune) alınan lüminesans sinyalinin büyüklüğü doğal doz ile doğru orantılıdır. Doğal doz, numunenin son olarak ışığa veya ısıya maruz kaldığı andan itibaren ölçümlerin yapıldığı tarihe kadar geçen süre ile ilişkilidir. Yıllık doz ise numunenin alındığı çevreden, içeriğindeki radyoaktif elementlerden ve kozmik ışınlardan bir yılda almış olduğu doz miktarına karşılık gelmektedir. Sonuç olarak, doğal dozun yıllık doza oranı numunenin yaşını vermektedir. Burada yaş olarak ifade edilen numunenin son defa ısıya veya ışığa maruz kaldığı tarihten itibaren ölçümlerin yapıldığı tarihe kadar geçen süreyi ifade etmektedir (Şahiner, 2015).

1.3.4.1. OSL Örnekleme

Çalışma kapsamında akarsu seki seviyeleri içerisinde depolamanın yaşını ifade edebilmek için akarsu çökelleri içerisinde bulunan ince taneli sedimanlardan (siltli-çok ince kumlu) örnek alınmıştır. Örnek alımı, OSL numune alımı prosedürlerine göre ve 6.5 cm çapında, 4 mm kalınlığında ve 30 cm uzunluğunda ışık geçirmez sert çelik boruların temizlenmiş kesit yüzeyine çakılması ile gerçekleştirilmiştir. Bunun yanı sıra örnek alındıktan sonra örnek alımında boru içine alınan numunenin ışık görmemesi büyük önem taşımaktadır. Aynı zamanda numune alma yerinin çevresel doz oranını belirlemek için numune borusunu çevreleyen malzemeden en az 500 gr sediman örneği alınmıştır. Çakılan boru kesitten alınarak ışık geçirmez torba, bant ile izole edilmiş ve taşıma sırasında borunun içindeki numunenin hareket etmesine izin verilmeyecek şekilde sıkıştırılıp paketlenmiştir. Son olarak numune yerinin yükseklik ve yüzeyden derinlik bilgileri not edildikten sonra numunenin alındığı kesit fotoğraflanmıştır.

1.3.4.2. Örnek Hazırlama

Çalışmada OSL yöntemi ile tarihlendirilmek üzere 3 adet örnek alınmış ve OSL tarihlendirmesinin tüm aşamaları (mineral ayıklama ve eşdeğer doz ölçümleri) Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü Lüminesans Tarihlendirme Araştırma Laboratuvarları'nda yürütülmüştür.

Lüminesans ölçümlerinde Risø TL/OSL-DA-20 cihazı ve yıllık doz değerlendirmesindeki doğal radyoaktif elementlerin tespiti için yüksek saflıkta germanyum dedektör (HpGe) kullanılmıştır. Sistem, fototüp, uyarma sistemi (ısı veya ışık) ve $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ beta radyasyon kaynağının bulunduğu ana cihaz, tüm bu donanımı kontrol eden bir kontrol ünitesi ve donanımın bilgisayar kontrolü ile sağlanabilmesi için özel bir bilgisayar programından oluşmaktadır. Bilgisayar programı kapsamında ışınlama, uyarma ve ölçüm programının sistemli bir şekilde yazılabildiği “Protokol”, elde edilen ölçüm sonuçlarının görüntülenebilmesi ve analiz edilebilmesi için kullanılır. Burada, “Gösterici”, “Analiz” ve sistemin düzgün çalışıp çalışmadığını kontrol edebilmek için “Kontrol Programı” adı verilen programlar kullanılmıştır. Bu sistemin en büyük avantajı eski sistemlere göre daha kolay programlanabilir olması ve aynı anda ısıtma ve OSL okuması yapılabilmesidir (Şahiner, 2015).

1.3.4.3. OSL ölçümleri

Mineral Ayıklama İşlemleri

Sediman örnekleri, ilk olarak laboratuvar ortamında herhangi bir şekilde sinyallere zarar vermemek şartıyla ve uygun filtreler aracılığıyla şiddeti zayıflatılmış kırmızı ışık altında açılmıştır. Daha sonra örnekler numune borusundan bir bütün halinde çıkarılmıştır. Numunenin alımı ve paketlenme işlemi sırasında ışık görme ihtimaline karşılık olarak numune borusunun her iki tarafından da yaklaşık olarak 10'ar cm'lik kısımları çıkartılmıştır. Örneklerden ölçümlerde kullanılabilir mineralleri ayrıştırmak amacıyla Aitken'in ve Wintle'in önerdiği bazı fiziksel ve kimyasal laboratuvar protokolleri ile prosedürleri zayıflatılmış kırmızı ışık altında uygulanmıştır (Aitken 1985, Wintle 1997).

Öncelikle, laboratuvar ortamında karanlık bir oda içerisinde ve kırmızı ışık altında numune borusundaki örneklenen ince taneli kırıntılardan kuvars kristallerinin ayrılması işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra ıslak eleme yöntemi kullanılarak mineral topluluğu 90-180 µm aralığında olacak şekilde elenmiştir. Devamında karbonatların ayrıştırılması için önce hidroklorik asit (HCl), ardından organiklerin uzaklaştırılması için hidrojen peroksit (H₂O₂) kullanılmış ve son olarak manyetik minerallerin uzaklaştırılmasında mıknatıs işlemine tabii tutulmuştur. Ayıklama işleminin devam etme sürecinde ise kalan numunenin, ağır sıvıda yüzdürülerek sırasıyla kuvars, ağır mineral ve K-feldspat bileşenlerine ayrılmıştır. Böylece minerallerin eritilmesi sağlanarak saflaştırılmıştır (Erturaç ve Kıyak, 2017).

Eşdeğer doz

Numunenin birikimi boyunca maruz kaldığı toplam doz, eşdeğer doz (birimi Gray'dir) olarak ifade edilmektedir. Çalışmadaki eşdeğer doz hesabı, SAR (Geliştirilmiş Tek Disk Yenileme) protokolü tekniği (Murray ve Wintle, 2000) kapsamında gerçekleştirilmiştir. SAR protokolü, kuvars kristal topluluklarının yerleştirildiği çelik disklerin, (a) ön ısıtma sonrasında kızılötesi ve mavi ışık altında öncelikle uyarılması, (b) daha sonra U-340 filtre ile lüminesans sinyalinin ölçülmesi ve (c) son olarak doz cevap eğrisinin oluşturulması için 90Sr/90Y (0.1 Gy/s) beta radyasyon kaynağı aracılığıyla doz içermesi aşamalarından oluşmaktadır (Kıyak ve Erturaç, 2008; Erturaç ve Kıyak, 2017). Bir başka deyişle, örneklerin ön ısıtılması ve OSL sinyallerinin ölçülmesi ile başlayan ölçüm basamaklarından meydana gelmektedir (Erginal ve Kıyak, 2008). Geliştirilmiş SAR teknikleri hassas, hızlı ve birçok testi bir arada yapabilme imkânına sahip olmasından dolayı son zamanlarda çoğunlukla tercih edilmektedir (Murray ve Wintle, 2000).

Doz-etki grafiği

Laboratuvar ortamında test doz düzeltmesi yapıldıktan sonra, 0-200 Gy doz aralığındaki radyasyon dozları içerisinde elde edilen OSL sinyalleri kullanılarak, doz-etki grafiği oluşturulmuştur. OSL eşdeğer doz ölçümlerinin güvenilirliği açısından doz-etki grafiğinin çizgisel bir eğri ile tanımlanabilir olması önemli bir kriter olmaktadır (Erginal ve Kıyak, 2008).

Yıllık doz

Yıllık doz, numunenin bir yılda absorbe ettiği radyasyon miktarı olarak ifade edilir. Aynı zamanda yaş hesabı formülündeki paydayı oluşturan değerdir. Numuneler yer ve uzay merkezli olmak üzere iki farklı istif süresince radyasyona maruz kalırlar. Uzay merkezli radyasyon kozmik ışınlardan oluşurken, yer merkezli radyasyon doğal radyoaktif elementlerden ^{232}Th , ^{238}U , ^{40}K ve ^{87}Rb 'den kaynaklanan alfa, beta ve gama radyasyonundan bir araya gelmektedir (Erginal ve Kıyak, 2008; Şahiner, 2015). Yıllık doz oranı, numune içerisinde doğal olarak oluşan radyoaktif elementlerin kozmik ışınlarla birlikte bozunma sürecine bağlı olarak hesaplanmaktadır.

Yıllık doz hesabının yapılabilmesi için örnekleme için yapıldığı toprağın bileşiminde bulunan radyoaktif elementler, çevre şartları, nem ve kozmik ışın katkısının ne durumda olduğunun bilinmesi gerekmektedir. Doğal radyoaktif elementlerin miktarları uygun dedektörler aracılığıyla hassas olarak belirlenebilir. Radyoaktif elementlerinin (U, Th, K, Rb vb.) bozunumu neticesinde çekirdeklerden yayınlanan α , β , γ ışınları yıllık dozun temel bileşenleri durumundadır. Yıllık doz hesaplamalarında bir diğer önemli faktör ise radon etkisidir. Radon, hem U hem de Th serisinde bulunan gaz halinde radyoaktif bir elementtir. Radon yıllık doz hesaplamalarında, gömü boyunca numunenin toprağın altında kapalı halde kaldığı öngörülür ve ona göre bir değerlendirme yapılır (Aitken 1985; Şahiner, 2015). Bu yüzden örnekleme için yapıldığı bölgede radon kaçağı olup olmadığının bilinmesi oldukça önemlidir.

Sonuç olarak bu yöntemin kullanılmasıyla birlikte çalışmanın kronostratigrafik temelini oluşturan yaşlandırma sonuçları elde edilmiştir.

1.4. Literatür Değerlendirmesi

1.4.1. Türkiye’de Flüvyal Çalışmaların Genel Değerlendirilmesi

Türkiye’de, coğrafi konumu itibarıyla özellikle ılıman-subtropikal kuşakta yer almasından dolayı akarsular yeryüzünün şekillendirilmesinde etkin güçtür. Dolayısıyla, Türkiye’deki büyük akarsu vadileri (Kızılırmak, Yeşilırmak, Fırat, Dicle, Sakarya vd.) Kuvaterner dönemindeki iklimsel değişimlerin yol açtığı hidrolojik değişimler ile süregelen lokal ve/veya bölgesel ölçekteki tektonik hareketlerden büyük ölçüde etkilenmiştir. Nitekim, akarsu vadileri boyunca yaygın bir şekilde flüvyal şekiller gözlenmektedir. Özellikle köken ve özellikleri bakımından birbirine göre farklılıklar gösteren seki sistemlerinin yeri oldukça önemlidir. Çünkü akarsu vadilerindeki seki sistemleri hakkında yapılan arazi gözlemlerine dayalı kantitatif çalışmalar (sedimentolojik analizler, morfometrik hesaplamalar ve tarihlendirmeler) Kuvaterner döneminin anlaşılması için büyük önem taşımaktadır.

Türkiye’de flüvyal jeomorfoloji konusundaki en erken araştırmaları 20. yy’ın ortalarında yapılan çalışmalar oluşturmaktadır. Bu konudaki ilk çalışmaların akarsu seki sistemleri (İlgüz, 1940; İnandık, 1955 gibi) hakkında olması dikkat çekicidir. Bunun yanı sıra çalışmaların çoğunlukla akarsu sistemleri ve rejimlerinin ortaya konulması ve vadi morfolojisinin tasvir edilmesi yönünde olduğu da görülmektedir. Bu çalışmalar daha çok yerli araştırmacılar tarafından yapılmış olmasına rağmen 2000’li yıllardan itibaren yerli araştırmacılar ile birlikte yabancı araştırmacılar da bu konudaki çalışmalara katkı sunmuştur (Westaway vd., 2003; Demir vd., 2004; Maddy vd., 2005; Doğan, 2011; Erturaç ve Kıyak, 2017; Maddy vd., 2017; Erturaç vd., 2019; Hubert-Ferrari vd. 2021 vb.). Son yıllarda ise yerli ve yabancı araştırmacılar tarafından özellikle çeşitli akarsu vadileri içerisindeki seki sistemlerinin kronolojik özelliklerinin ortaya konulabilmesi için tarihlendirme çalışmaları yapılmış ve yapılmaya devam edilmektedir (Tablo 1. 2).

Tablo 1.2. Flüvyal Jeomorfoloji Konusunda Yapılan Çalışmaların Literatür Değerlendirilmesi.

<i>Yayın Yılı</i>	<i>Yazar</i>	<i>Eser Adı</i>
1940	İlgüz	Ankara Sekileri
1941	Pfannenstiel	Ankara'nın Diluvyal Moloz Sekileri ve Avrupa'nın Quarter Kronolojisine Göre Tasnifleri
1947	Akyol	Türkiye'de Akarsu Sistemleri ve Rejimleri
1955	Ardel	Yukarı Sakarya Havzası
1955	İnandık	Morfolojide Taraçalar Meselesi
1956	Tanoğlu ve Erinç	Garsak Boğazı ve Eski Sakarya
1957	Erinç	Türkiye'de Akarsu Rejimlerine Toplu Bakış
1968	Akkan	Şahinkaya Yarma Vadisi
1970	Akkan	Bafra Burnu-Delice Kavşağı Arasında Kızılırmak Vadisinin Jeomorfolojisi
1970	Öztekin ve Erol	Türkiye Akarsu Rejimlerine Yağış, Yer Şekli ve Yapısının Etkisi
1973-1975	Bilgin	Adapazarı ve Sapanca Oluğunun Alüvyal Jeomorfolojisi ve Kuvaternerdeki Jeomorfolojik Tekamülü
1980	Bilgin	Orta Sakarya Platolarında Yapı, Satırlar ve Drenaj
1990	Bilgin	Orta Sakarya Vadisinin Jeomorfolojisi
1991	Soykan	Kepsut-Susurluk Kuzeyi Arasında Susurluk Çayı Vadisinin Jeomorfolojisi
1994	Doğu	Akköprü Sekilerinin (Dalaman Çayı) Güneybatı Anadolu Jeomorfolojisindeki Önemi
1995	Erol	Asi Nehri Deltasının Jeomorfolojisi ve Dördüncü Zaman Deniz-Akarsu Sekileri
1995	Uncu	Terme Çayı ile Kocamandere Çayı Havzalarında Fiziki Coğrafya Araştırmaları ve Doğal Çevre Sorunları
2001	Çiçek (a)	İlhan-Kirmir Çayı Kavşağı Çevresinin Jeomorfolojisi
2001	Çiçek (b)	Mut ve Yakın Çevresinin Jeomorfolojisi
2002	Doğan	Manavgat Nehri Havzasının Jeomorfolojik Evrimi
2003	Bridgland vd.	A Long Quaternary Terrace Sequence in the Orontes River Valley, Syria, a Record of Uplift and of Human Occupation
2003	Westaway vd.	Pliocene and Quaternary Surface Uplift of Western Turkey Revealed by Long-Term River Terrace Sequences
2004	Demir vd.	River Terrace Sequences in Turkey: Sources of Evidence for Lateral Variations in Regional Uplift

2004	Kuzucuoğlu vd.	Holocene Terraces in the Middle Euphrates Valley, between Halfeti and Karkemish (Gaziantep, Turkey)
2004	Westaway vd.	Pliocene and Quaternary Regional Uplift in Western Turkey, the Gediz River Terrace Staircase and the Volcanism at Kula
2004	Tuncer	Sakarya Nehri-Göynük Çayı Çatak Çayı Arasındaki Sahanın Karst Jeomorfolojisi
2005	Collins	Fluvial Stratigraphy and Palaeoenvironments in the Pasinler Basin, Eastern Turkey
2005	Doğan	Holocene Fluvial Development of the Upper Tigris Valley (Southeastern Turkey) As Documented by Archaeological Data
2005	Maddy vd.	An Obliquity-Controlled Early Pleistocene River Terrace Record From Western Turkey
2006	Avşin	Sarıhıdır-Çiftedam Arasında (Avanos) Kızılırmak Vadisinin Jeomorfolojisi
2007	Bridgland vd.	Dating Quaternary Volcanism and Incision by the River Tigris at Diyarbakır, Southeast Turkey
2007	Demir vd.	Terrace Staircases of the River Euphrates in SW Turkey Northern Syria and Western Iraq Evidence for Regional Surface Uplift
2008	Çalışkan	Flüvyal Jeomorfoloji Konularında Gezi- Gözlem Metodu ve Değerlendirilmesi
2008	Demir vd.	Late Cenozoic Surface Uplift Revealed by Incision by the River Euphrates at Birecik, Southeast Turkey
2008	Erginal ve Kıyak	Çanakkale Doğusundaki Geç Pliyosen Alüvyal Çökellerin Kökeni ve OSL Yöntemi ile Tarihlendirilmesi
2008	Kazancı	Eşen Vadisi Pleyistosen Tortullarının Sedimentolojik İncelemesi
2008	Maddy vd.	The Early Pleistocene Development of the Gediz River, Western Turkey, an Uplift-Driven, Climate-Controlled System
2009	Altın	Pleistocene and Holocene Fluvial Development of the Ecemiş Valley (Central Anatolia, Turkey).
2009	Demir vd.	Preservation by Basalt of a Staircase of Latest Pliocene Terraces of the River Murat in Eastern Turkey, Evidence for Rapid Uplift of the Eastern Anatolian Plateau
2009	Doğan	Gülşehir-Şahinler Arasında Kızılırmak'ın Uzun Dönemli Sekileri ve Taşkın Ovasının Gelişimi
2009	Westaway vd.	Late Cenozoic Surface Uplift, Basaltic Volcanism, and Incision by the River Tigris Around Diyarbakır, SE Turkey
2010	Avşin	1954 ve 2009 Yılları Arasında Kızılırmak'ın Yatak Tipinde Gözlenen Değişimler, Avanos
2010	Doğan	Fluvial Response to Climate Change During and After the Last Glacial Maximum in Central Anatolia, Turkey
2011	Avşin	Kızılırmak Sekilerinin Oluşumunda İklim ve Tektoniğin Rolü, Avanos
2011	Doğan	Climate-Controlled River Terrace Formation in the Kızılırmak Valley, Cappadocia Section, Turkey: Inferred From Ar-Ar Dating of Quaternary Basalts and Terraces Stratigraphy
2011	Kazancı vd.	Büyük Menderes Nehri'nin Jeolojisi ve Evrimi
2011	Ören	Karasu Çayı (Sakarya Nehrinin Bir Kolu) Havzasının Jeomorfolojisi
2011	Yıldırım vd.	Late Neogene and Active Orogenic Uplift in the Central Pontides Associated with the North Anatolian Fault

2012	Bridgland vd.	The River Orontes in Syria and Turkey, Downstream Variation of Fluvial Archives in Different Crustal Blocks
2012	Karataş	Kahta Çayı (Adıyaman) Taraçalarının Kuvaterner Jeomorfolojisi
2012	Maddy vd.	The Obliquity-Controlled Early Pleistocene Terrace Sequence of the Gediz River, Western Turkey
2013	Avşin	Göksu Nehri Vadisinin Flüvyal Jeomorfolojisi (Mut-Silifke Arası)
2013	Yıldırım Vd.	Tectonic Implications of Fluvial Incision and Pediment Deformation at the Northern Margin of the Central Anatolian Plateau Based on Multiple Cosmogenic Nuclides
2014	Avşin	Göksu Nehri Vadisinin Flüvyal Jeomorfolojisi (Mut ve Silifke Arası)
2014	Kazancı vd.	Güney Marmara Bölgesindeki Büyük Vadilerin Olası Deşilme Zamanı
2015	Çiner vd.	Quaternary Uplift Rates of the Central Anatolian Plateau, Turkey Insights from Cosmogenic Isochron-Burial Nuclide Dating of the Kızılırmak River Terraces
2015	Gürbüz vd.	Strike-Slip Faulting, Topographic Growth and Block Movements As Deduced from Drainage Anomalies, the Yeşilırmak River Basin, Northern Turkey
2015	Kent	The Relationship between Active Faulting and Fluvial Geomorphology, A Case Study in the Gediz Graben, Turkey
2017	Maddy vd.	The Gediz River Fluvial Archive, A Benchmark For Quaternary Research in Eastern Anatolia
2017	Altın vd.	Climatic and Tectonic Effects on Terrace Formation during the Late Quaternary in the Upper Yeşilırmak Valley, Northern Turkey
2017	Bridgland vd.	River Terrace Development in the NE Mediterranean Region (Syria and Turkey), Patterns in Relation to Crustal Type
2017	Erturaç ve Kıyak	Yeşilırmak Taraçalarında (Orta Kuzey Anadolu) Geç Pleistosen İklim Değişiklikleri ve Düşey Yönlü Deformasyona Akarsu Cevabının Araştırılması
2017	Karakoca	Hamitabat-Gemiciköy Arasında (Bilecik) Orta Sakarya Vadisinin Jeomorfolojisi
2017	Sol	Mudurnu Çayı Havzası'nın (Taşburun–Abant Gölü Batısı Arası) Flüvyo-Tektonik Jeomorfolojisi
2018	Berndt vd.	Quaternary Uplift of the Northern Margin of the Central Anatolian Plateau, New OSL Dates of Fluvial and Delta-Terrace Deposits of the Kızılırmak River, Black Sea Coast, Turkey
2019	Avşin vd.	Tectonic and Climatic Controls on Quaternary Fluvial Processes and River Terrace Formation in a Mediterranean Setting the Göksu River Southern Turkey
2019	Berndt vd.	A Multi-Proxy Study of the Kızılırmak River Terraces and its Delta, Northern Turkey
2019	Doğan vd.	Geomorphological Evolutionary History of the Melendiz River, Cappadocia, Turkey
2019	Erturaç vd.	Fluvial Response to Rising Levels of the Black Sea and to Climate Changes during the Holocene, Luminescence Geochronology of the Sakarya Terraces
2019	Karadoğan ve Kuzucuoğlu	Diyarbakır Civarında Dicle Vadisinde Nehirle İlişkili Yer Şekillerinin Yakın Evrimi, Yapısal Sınırlamalar, İklim Değişikliği, Çevre Dinamiği, İnsan Etkileri
2019	Vandenbergh ve Avşin	İklim Kontrolünde Şekillenen Akarsu Sekileri ve Sekilerin Beşeri Kullanımı

2019	Uncu ve Karakoca	Evaluating the Geomorphological Features and Geotourism Potentials of Harmankaya Canyon (Bilecik, Turkey)
2020	Altın ve Altın	Evaluation of Drainage in the upper Catchment of the Yeşilırmak River Basin along the Almus Fault, Northern Turkey
2020	Avşin	Kuzey Avrupa ve Türkiye Nehirlerinin Kuvaterner Buzul Devirlerine Farklı Tepkiselliği
2020	Doğan ve Şenkul	When Did the Drainage System of the Kızılırmak River Form in Cappadocia (Anatolia, Turkey), a Revised Geological and Geomorphological Stratigraphy
2020	Gürgöze	Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Kızılırmak ile Tersakan Çayı (Yeşilırmak) Arasındaki Kesiminin Tektonik Jeomorfolojisi
2020	Özpolat vd.	The Quaternary Landforms of the Büyük Menderes Graben System, The Southern Menderes Massif, Western Anatolia, Turkey
2020	Karakoca ve Uncu	Orta Sakarya Vadisi Akarsu Seki Sistemlerinin Morfometrik ve Sedimentolojik Özellikleri (İnhisar-Gemiciköy Arası, Bilecik)
2020	Maddy vd.	Early Pleistocene River Terraces of the Gediz River, Turkey, the Role of Faulting, Fracturing, Volcanism and Travertines in Their Genesis
2021	Avşin vd.	Flüvyal Ortamlarda Sedimentolojik ve Stratigrafik Analizleri, Fiziki Coğrafya Açısından Bir Değerlendirme
2021	Avşin vd.	The Quaternary Climatic and Tectonic Development of the Murat River Valley As Record by Fluvial Deposits Dated by OSL
2021	Erturaç	Late Pleistocene-Holocene Characteristics of the North Anatolian Fault at Adapazarı Basin Evidence from the Age and Geometry of the Fluvial Terrace Staircases
2021	Hubert-Ferrari vd.	Cosmogenic Data about Offset Uplifted River Terraces and Erosion Rates, Implication Regarding the Central NAF and the Central Pontides
2021	McClain vd.	River, Alluvial Fan and Landslide Interactions in a Tributary Junction Setting: Implications for Tectonic Controls on Quaternary Fluvial Landscape Development (Central Anatolian Plateau Northern Margin, Turkey)

1.4.2. Sakarya Nehri Havzasını Konu Alan Çalışmaların Genel Değerlendirilmesi

Araştırma sahası ve yakın çevresi birçok farklı çalışmaya konu olmuştur. Bu çalışmaların büyük bir kısmı alanın jeolojik ve jeomorfolojik (Bilgin, 1980, 1990; Ekmekçi ve Nazik, 2004; Tuncer, 2004, 2008) özelliklerinin ortaya konulmasına yöneliktir. Sakarya Nehri Havzası içerisindeki ilk çalışma Ardel (1955) tarafından hazırlanan “Yukarı Sakarya Havzası” adlı çalışmadır. Bu çalışma jeomorfolojik açıdan değerlendirilmiştir. Daha sonra Tanoğlu ve Erinç (1956) tarafından yapılan “Garsak Boğazı ve Sakarya Nehri” adlı çalışma Sakarya Nehri’nin yatak değişimini konu almaktadır. Dolayısıyla 1950’li yıllarda başlayan bu çalışmalar günümüze doğru coğrafi ve jeomorfolojik açıdan değerlendirilen birçok çalışma ile devam etmektedir.

Özellikle Bilgin (1980) tarafından hazırlanmış olan “Orta Sakarya Platolarında Yapı Satırları ve Drenaj” başlıklı Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TUBİTAK) projesi ve Tuncer (2004) tarafından hazırlanmış olan “Sakarya Nehri Göynük Çayı-Çatak Çayı Arasındaki Sahanın Karst jeomorfolojisi” adlı doktora tezi çalışma sahası ve yakın çevresi açısından en kapsamlı jeomorfoloji çalışmalarıdır (Karakoca, 2017). Tuncer (2004) tarafından hazırlanan bu çalışma, araştırma sahasındaki flüvyal süreçler ile karstik süreçlerin ortaya konulması bakımından oldukça önemli bir yere sahiptir. Bununla birlikte, bu çalışmalar daha çok arazi gözlemlerine dayalı olup herhangi bir kantitatif veriyi içermemektedir.

Bunun yanı sıra Erturaç vd. (2019) tarafından Sakarya Nehri’nin aşağı çığırında yapılmış olan çalışma, gerek Kuzeybatı Anadolu akarsuları için bir ilk olması gerekse bölgede yapılmış olan diğer Kuvaterner çalışmalarından elde edilen proxy (vekil) kayıtları ve jeokronolojik yöntemleri kullanması bakımından oldukça önemlidir (Karakoca ve Uncu, 2020).

Bu bölümde çalışma kapsamında yapılmış diğer çalışmalar tarih sıralamasına göre aşağıda verilmiştir:

Ardel (1955) tarafından hazırlanan “Yukarı Sakarya Havzası (Le Bassin du Haut Sakarya)” adlı çalışmada, Sakarya Nehri ve kollarının Yukarı Sakarya Havzası’nda Neojen örtü üzerinde kurulduktan sonra yer yer temele gömülerek sürempoze karakterli bir şebeke kurduğu ifade edilmiştir.

Tanoğlu ve Erinç (1956) tarafından hazırlanan “Garsak Boğazı ve Eski Sakarya” adlı çalışmada, Sakarya Nehri’nin aslında Karadin Oluğu ve İznik depresyonunu takiben batıya doğru aktığı, Garsak Boğazı’nın ise önemli bir delil olarak nehrin eseri olduğu ileri sürülmüştür.

İnandık (1958-1959) tarafından hazırlanan “Sakarya’nın Rejimine Dair Küçük Bir Not” adlı çalışmada, Sakarya Nehri’nin rejimini yağmurlu-karlı (plüvio-nival) bir rejim olduğu ortaya konulmuştur.

Eroskay (1965) tarafından hazırlanan “Paşalar Boğazı-Gölpazarı Sahasının Jeolojisi” adlı çalışma, bölgedeki en eski jeoloji araştırmasıdır ve bölge hakkında detaylı olarak 1/25000 ölçekli jeoloji haritasına sahip olması bakımından oldukça önemlidir. Bununla birlikte bu çalışmada detaylı bir şekilde stratigrafik kesit oluşturulmuştur.

Altınlı ve Saner (1971) tarafından hazırlanan “Bilecik Yakın Dolayının Jeoloji İncelemesi” adlı çalışmada, Bilecik ve yakın çevresinin kavram birliğine varılamayan jeolojisi değerlendirilmiştir. Yazarlar, oluşturdukları jeoloji haritasında en eski formasyon olarak Paleozoik yaşlı mikalı şistler, mermerler ve gnayslardan oluşan eski temeli açıklamışlardır. Eski temel üzerinde 1750 m kalınlığında bulunan tortul istifler, Derbent kireçtaşı (Üst Permiyen), Bayırköy formasyonu (Alt Jura), Bilecik kireçtaşı (Orta-Üst Jura), Vezirhan formasyonu (Üst Kretase), Gemiciköy formasyonu (Neojen) ve Kuvaterner yaşlı birimlerden oluşmaktadır.

Altınlı (1973) tarafından hazırlanan “Orta Sakarya Jeolojisi” adlı derleme çalışmada, Orta Sakarya platoları olarak isimlendirilen morfolojik ünitenin batı bölümünün özellikle Sakarya vadisini kapsayan bölgenin jeolojik özellikleri değerlendirilmiş ve genelleştirilmiş stratigrafik kesiti oluşturulmuştur. Bölgedeki kaya birimlerinin litolojik özellikleri, yaşları ve çökeltme ortamları açıklanmıştır. Bununla birlikte oluşturulan kesitte Ayrılmamış temel karmaşığı, Derbent kireçtaşı, Soğukçam kireçtaşı, Vezirhan formasyonu, Gölpazarı grubu, Selvipınar kireçtaşı, Kızılçay, Geçitli, Gemiciköy formasyonu ile Akköy kireçtaşları bölgedeki kaya stratigrafi birimleri olarak temsil edilmektedir.

Demirkol (1977) tarafından hazırlanan “Üzümlü-Tuzaklı (Bilecik) Dolayının Jeolojisi” adlı çalışma, önce 1973 yılında İstanbul Ün. Fen Fak. Tatbiki Jeoloji Kürsüsünde doktora tezi olarak hazırlanmıştır. Sonrasında ise 1977 yılında bilimsel bir yayın olarak sunulmuştur. Yazar, Sakarya Nehri’nin kuzeyinde Jura yaşlı kalkerler ile Gölpazarı grubunun Paleosen yaşlı birimler üzerine itilmesi sonucunda Tuzaklı Bindirmesini (Tuzaklı Sürüklenimi) belirlemiştir. Bindirmenin genişliği yaklaşık olarak 4 km’yi bulmaktadır. Bölgedeki karmaşık morfolojinin çoğunlukla son yükselmeye bağlı yarılmalar neticesinde geliştiği ve halen yükselmenin devam ettiği belirtilmektedir.

Saner (1978) tarafından hazırlanan “Geology and the Environments of Deposition of Geyve- Osmaneli- Gölpazarı- Taraklı Area” adlı çalışmada, bölge içerisindeki kaya birimleri; temel kayalar, Permien yaşlı kayalar, Mesozoyik-Tersiyer çanağı çökelleri, Neojen çökelleri ve Kuvaterner çökelleri olmak üzere 5 bölümde bir araya getirilmiştir.

Şentürk ve Karaköse (1979) tarafından hazırlanan “Orta Sakarya Dolayının Temel Jeolojisi” adlı çalışmada, detaylı olarak Orta Sakarya bölgesinin jeolojisi değerlendirilmiştir. Bölgedeki formasyonlar (Harmanköy formasyonu, Geçitli kireçtaşı ve Gemiciköy formasyonu) ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. Bununla birlikte saha çalışmaları esnasında elde edilen fosiller (mikro fauna örnekleri) yardımıyla birimlerin yaşları ortaya konulmuş ve kesitleri hakkında bilgi verilmiştir. Aynı zamanda jeomorfolojik olarak bazı tespitlerde söz konusudur. Özellikle saha çalışmaları sırasında Sakarya Nehri boyunca üç adet seki seviyesi tespit edilmiş ve haritalanmıştır. Tespit edilen bu seki seviyelerinin bu çalışmayla uyum sağlaması oldukça önemlidir.

Bilgin (1980) tarafından hazırlanan “Orta Sakarya Platolarında Yapı, Satırlar ve Drenaj” adlı proje çalışması ile bölge jeomorfolojisi detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Özellikle, Üst Pliyosen’den itibaren bölgeye kurulmaya başlayan Sakarya Nehri ve kolları Neojen depolarıyla birlikte yapıyı kesen aşınım yüzeyleri üzerinden menderesler oluşturarak bugünkü yatağına kademeli bir şekilde sürempoze olarak gömülmüştür. Bu gömülmelere bağlı olarak dar ve derin vadiler ile sürempoze boğazların meydana geldiği ifade edilmiştir. Ayrıca bu çalışma ile literatüre “Orta Sakarya Platoları” kavramı girmiştir.

Saner (1980) tarafından hazırlanan “Mudurnu-Göynük Havzasının Jura ve Sonrası Çökelim Nitelikleriyle Paleocoğrafya Yorumlanması” adlı çalışmada, bölge hakkında detaylı bir paleocoğrafya değerlendirmesi yapılmıştır. Bununla birlikte bölgede yapılmış ilk paleocoğrafya çalışması olması bakımından oldukça önemlidir. Tez çalışması kapsamında paleocoğrafya konusu ele alınırken bu eser temel çalışma olarak ele alınmış ve bölgenin paleocoğrafyası ona göre yorumlanmıştır.

Yılmaz (1981) tarafından hazırlanan “Sakarya Kıtası Güney Kenarının Tektonik Evrimi” adlı çalışmada, Sakarya Nehri’nin Sündiken Dağları’nın kuzeyinde doğu-batı yönünde aktığı Orta Sakarya bölgesinde yer alan kayaların bulunduğu konumu itibarıyla birbirine göre farklılık gösterdiğini ve özellikle kuzeyde yer alan kayaların güneyindeki kayalardan farklı zaman, yer ve koşullarda evrimlerini geçirdikleri belirtilmiştir.

Kibici (1982) tarafından hazırlanan “Sarıcakaya (Eskişehir İli) Masifinin Jeolojisi, Petrografisi ve Petrolojik Etüdü, Masife İlişkin Kalay Araştırması” adlı doktora tez çalışmasında, Sarıcakaya granodiyotleri hakkında ayrıntılı bir değerlendirme yapılmıştır. Bunun yanı sıra bölgedeki en etkili tektonik hattın Tuzaklı-Gümele Sürüklenimi olduğu ve Paleosen serileri üzerine Jura yaşlı sedimentitler ile Kretase yaşlı kireçtaşlarının sürüklendiği ifade edilmiştir.

Okay (1989) tarafından hazırlanan “Tectonic Units and Sutures in the Pontides, Northern Turkey” adlı çalışmada, Sakarya Kıtası, güneyinde İzmir-Ankara-Erzincan Sütur Kuşağı ve kuzeyinde Intra-Pontid Kuşağı ile sınırlandırılmış tektonik birlik olarak ifade etmiştir.

Bilgin (1990) tarafından hazırlanan “Orta Sakarya Vadisinin Jeomorfolojisi” adlı çalışmada, detaylı olarak Orta Sakarya vadisinin jeomorfolojisi değerlendirilmiştir. Sakarya Nehri’nin meydana getirdiği akarsu şebekesinin özellikle Üst Pliyosen döneminden itibaren gerek aşınım yüzeyleri gerekse havzaları birbirine bağlayan olukları takiben kurulduğu ve bu kurulmanın daha çok epirojenik karakterli genç tektonik hareketlerin etkisi altında sürempoze bir şekilde geliştiği ifade edilmiştir.

Emre vd. (1998) tarafından hazırlanan “Doğu Marmara Bölgesinin Neojen-Kuvaterner Evrimi” adlı çalışmada, araştırma sahasının Neojen-Kuvaterner dönemindeki paleocoğrafik gelişimi ve jeomorfotektonik evrimi ortaya konulmuştur. Bölgede Erken-Orta Miyosen, Geç Miyosen-Pliyosen ve en Geç Pliyosen-Günümüz olmak üzere üç ana şekillenme dönemi ve bu dönemler içerisinde farklı rölyef özelliklerine sahip dört morfotektonik kuşak ifade edilmiştir.

Çiçek (2001) tarafından hazırlanan “İlhan-Kirmir Çayı Kavşağı Çevresinin Jeomorfolojisi” adlı çalışmada, Orta Sakarya Vadisi içerisinde nispi yükseltileri 110-120 m, 70-80 m, 40-50 m ve 10-15 m olan dört akarsu seki seviyesi tespit edilmiş ve yaşlarının göreceli olarak Pleyistosen dönemine ait olduğu ifade edilmiştir.

Ekmekçi ve Nazik (2004) tarafından hazırlanan “Evolution of Gölpazarı-Huyuk Karst System (Bilecik-Turkey): Indications of Morpho-Tectonic Controls” adlı çalışmada, Orta Sakarya Havzası’nda Gölpazarı-Hüyük Karst Sistemi olarak tanımlanan sahanın Miyosen dönemi sonrasındaki epirojenik hareketler tarafından kontrol edildiği açıklanmıştır. Bu çalışmada, bölgedeki drenaj sisteminin etkilenmesi ve karbonatlı birimlerden meydana gelen alanların parçalanmaya başlanması tektonik aktivitenin önemli etkileri arasında gösterilmektedir.

Tuncer (2004) tarafından hazırlanan “Sakarya Nehri-Göynük Çayı ve Çatak Çayı Arasındaki Sahanın Karst Jeomorfolojisi” adlı doktora çalışmasında, bölgede jeomorfolojik şekillenmenin Alt-Orta Miyosen’de başladığı ve sonraki dönemlere ait yer şekillerinin varlığı belirtilmiştir. Bununla birlikte bölgenin karstik gelişimi ve karst topografyasına ait birimleri detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir. Sonuç olarak bölgede flüvyal süreçlerin karstik süreçlerden daha etkin olmasından dolayı karstlaşmanın ileri olgunluk devresinde olduğu ifade edilmiştir.

Güdücü vd. (2007) tarafından hazırlanan “Orta Sakarya Havzasının Jeoloji ve Petrol Olanakları” adlı çalışmada (MTA raporu: 11001), Orta Sakarya havzasının jeolojisi ve paleocoğrafik evrimi açıklanmış, aynı zamanda petrol olanakları belirlenmeye çalışılmıştır.

Soylu vd. (2007) tarafından hazırlanan “Nardın Mağarası (Bilecik) Dolgusunun Paleoortamsal Koşullar Açısından Değerlendirilmesi” adlı çalışmada, Nardın mağarası çökelleri farklı şekillerde (paleohidrolojik ve paleoiklimsel, stratigrafik, morfolojik, kimyasal analizler gibi) değerlendirilmiştir. Sonuç olarak mağaranın bulunduğu bölgedeki iklim şartlarında iki farklı dönemin (iki kez buzul ve bir kez buzul arası dönem) yaşandığı ifade edilmiştir.

Tuncer (2008a) tarafından hazırlanan “Orta Sakarya Akarsu Havzası (Eskişehir, Bilecik ve Güney Sakarya) Karstik Evriminde Pliyo-Kuvaterner Sakarya Nehri Gelişiminin Etkisi” adlı çalışmada, bölgedeki karstlaşmayı etkileyen en önemli etkenin Sakarya Nehri olduğu ve karstlaşmanın çok dönemli (paleo ve neokarst) gelişime sahip olduğu belirtilmiştir.

Tuncer (2008b) tarafından hazırlanan “Orta Sakarya Havzasında Karstın Morfojenetik Gelişimi” adlı çalışmada, Oligosen döneminden itibaren karalaşmaya başlayan havza içerisinde birçok farklı yer şekillerinin bulunduğu söylenmiştir. Sırasıyla öncelikle Miyosen dönemi (peneplen karakterli aşınım yüzeyleri, kapalı havzalar, asılı kalmış paleo vadiler ve paleo karstik çukurluklar), sonrasında Pliyosen dönemi (asılı kalmış paleo vadiler ve kapalı sedimanter havzalar) ve son olarak Alt Pleyistosen (derin vadi, birleştirme boğazları, kanyon şekilli vadiler, asılı vadiler, akarsu sekileri, kapma boğaz ve dirsekleri, traverten depoları ve mağaralar) dönemine ait yer şekillerinin geliştiği açıklanmıştır. Özellikle bu şekillerin gelişiminde yapısal özellikler, flüvyal ve karstik aşınım, iklim ve morfolojik taban düzeyi değişimlerinin etkili olduğu belirtilmiştir.

Tuncer vd. (2010) tarafından hazırlanan “Aşağı ve Orta Sakarya Havzasının (Eskişehir, Bilecik, Sakarya) Doğal Mağaraları ve Bu Mağaraların Ekosistemlerinin Bozulmasına Yönelik Tehditler” adlı çalışma kapsamında 46 mağara etüd edilmiştir. Aynı zamanda havzanın morfojenetik gelişimi açıklanarak bu mağaraların fiziksel, kimyasal, biyolojik ve atmosferik kökenli tehditlerle karşı karşıya kaldığı açıklanmıştır.

Önde (2012) tarafından hazırlanan “Gölpazarı Havzası’nın (KB Türkiye) Jeolojik Evrimi” adlı yüksek lisans çalışmasında, Gölpazarı Havza’sının oluşumu hakkında önemli sonuçlar ortaya konulmuştur. Özellikle Sakarya Nehri ile kollarının oluşumu ve gelişimi göz önünde bulundurularak havzanın oluşum yaşı Erken-Orta Pleyistosen olarak ifade edilmiştir. Bununla birlikte bölgenin jeolojik evrimi de ayrıntılı bir şekilde değerlendirilmiştir.

Gürbüz ve Seyitoğlu (2014) tarafından hazırlanan “Gölpazarı Havzası’nın Kuvaterner Gelişimi (KB Türkiye)” adlı çalışmada, pull-apart karakterine sahip olan Gölpazarı havzasının Pleyistosen’de kapalı bir havza durumunda iken Üst Pliyosen’de bölgeye yerleşen Sakarya Nehri’nin havza içerisindeki Akçay’ı kapması sonucunda dış drenaja açıldığını belirtmişlerdir.

Erturaç vd. (2017) tarafından yapılmış olan “Sakarya Nehri Boyunca Taraça Sistemi Gelişiminin Geç Pleyistosen Kronolojisi” adlı çalışmada, aşağı Sakarya vadisi içerisinde saha gözlemleri sırasında teras seviyeleri tespit edilmiştir. Yazarlar birbirinden farklı 3 seviye (+25m, +10m, +3m) belirlemiş ve tarihlendirme yöntemleri aracılığıyla bu seviyelerin son buzul çağı içerisinde oluştuğunu ve gelişimlerinde tektonik yükselme ile birlikte deniz seviyesi değişimlerinin katkısı olduğunu açıklamışlardır.

Karakoca (2017) tarafından Dr. Öğr. Üyesi Levent Uncu danışmanlığında yapılmış olan “Hamitabat-Gemiciköy Arasında (Bilecik) Orta Sakarya Vadisinin Jeomorfolojisi” adlı yüksek lisans çalışmasında, Sakarya Nehri vadisi içerisinde yer alan jeomorfolojik birimlerin oluşum ve gelişimleri detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir.

Sol (2017) tarafından Doç. Dr. Ahmet Ertek danışmanlığında yapılmış olan “Mudurnu Çayı Havzası’nın (Taşburun-Abant Gölü Batısı Arası) Flüvyo-Tektonik Jeomorfolojisi” adlı doktora çalışmasında, tektonik hareketlerin akarsular üzerinde etkisinin ortaya koyabilmek için hipsometrik ve morfometrik analizler kullanılmıştır. Böylece havzada tektonik olarak aktif olan bölgeler belirlenmiştir.

Erturaç vd. (2019) tarafından hazırlanmış olan “Fluvial Response to Rising Levels of the Black Sea and to Climate Changes during the Holocene: Luminescence Geochronology of the Sakarya Terraces” adlı çalışmada, Sakarya Nehri’nin aşağı çıkışında, Geyve Boğazı ile Karasu arasında kalan kesiminde 3 basamak (+22 m, +10 m, ve +3 m) halinde gözlenen seki sistemlerinin köken ve kronolojik gelişimleri (MIS3, SBM ve Roma sıcak dönemi), detaylı bir şekilde ortaya konulmuştur. Bu doğrultuda, Geç Pleyistosen’den itibaren Karadeniz’in seviyesindeki ve hidrolojik sistemdeki değişiklikler açıklanmıştır.

Uncu ve Karakoca (2019) tarafından hazırlanmış olan “Evaluating the Geomorphological Features and Geotourism Potentials of Harmankaya Canyon (Bilecik, Turkey)” adlı çalışmada, Sakarya Nehri’nin önemli bir kolu olan Yenipazar (Harmanköy) çayının açtığı Harmankaya Kanyonu’nun oluşumuna dair değerlendirilmeler yapılmıştır. Kanyonun oluşumunu yorumlayabilmek için morfometrik analizlerden faydalanılmıştır. Önceki çalışmalarda epijenik karakterli bir boğaz olarak değerlendirilen kanyon morfometrik indis sonuçlarına göre oluşumu itibarıyla farklılık göstermiştir. Indis sonuçları, önce tektonizmanın etkisi ile sahada yükselmenin gerçekleştiği, sonrasında akarsu yatağının şiddetli bir şekilde derine doğru gömüldüğünü ortaya koymuştur. Böylece kanyonun oluşumda epijenez olayının yanı sıra antesedans olayının rolü bulunduğu kanıtlanmıştır.

Karakoca ve Uncu (2020) tarafından hazırlanmış olan “Orta Sakarya Vadisi Akarsu Seki Sistemlerinin Morfometrik ve Sedimentolojik Özellikleri (İnhisar-Gemiciköy Arası, Bilecik)” adlı çalışmada, Sakarya Nehri vadisinin Bilecik iline bağlı İnhisar ile Gemiciköy yerleşmeleri arasında kalan kesiminde tespit edilen seki sistemlerinin sedimentolojik ve morfometrik özellikleri değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda, Sakarya Nehri’nin vadisi boyunca düzensiz bir şekilde dağılışı gösteren bu seki basamaklarının yüksekte bulunanları yarı yuvarlanmış-yuvarlanmış iri çakıllardan, alçakta olanları ise az yuvarlanmış küçük çakıllar ve ince taneli taşkın ovası sedimanlarından oluştuğu ifade edilmiştir.

Erturaç (2021) tarafından yapılmış olan “Late Pleistocene-Holocene Chareacteristics of the North Anatolian Fault at Adapazarı Basin: Evidence from the Age and Geometry of the Fluvial Terrace Staircases” adlı çalışmada, Adapazarı havzasının Geç Pleyistosen-Holosen evrimi, Sakarya Nehri’nin oluşturduğu birbirinden farklı 4 seviyenin stratigrafisi, geometrisi ve tarihlendirmesi kullanılarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre akarsu döngüsünün öncelikle Karadeniz seviye değişimleri ile ilgili olduğunu, aynı zamanda teras depolarının çökelme ve terk edilme yaşlarının sırasıyla MIS 5a, MIS 3 ve MIS 1 şeklinde olduğu ifade edilmiştir. Bununla birlikte, yazara göre teras basamakları arasındaki erozyon dönemleri ve deniz seviyesinin alçak olduğu dönemlerde Sakarya Nehri’nin tepkisini göstermiştir.

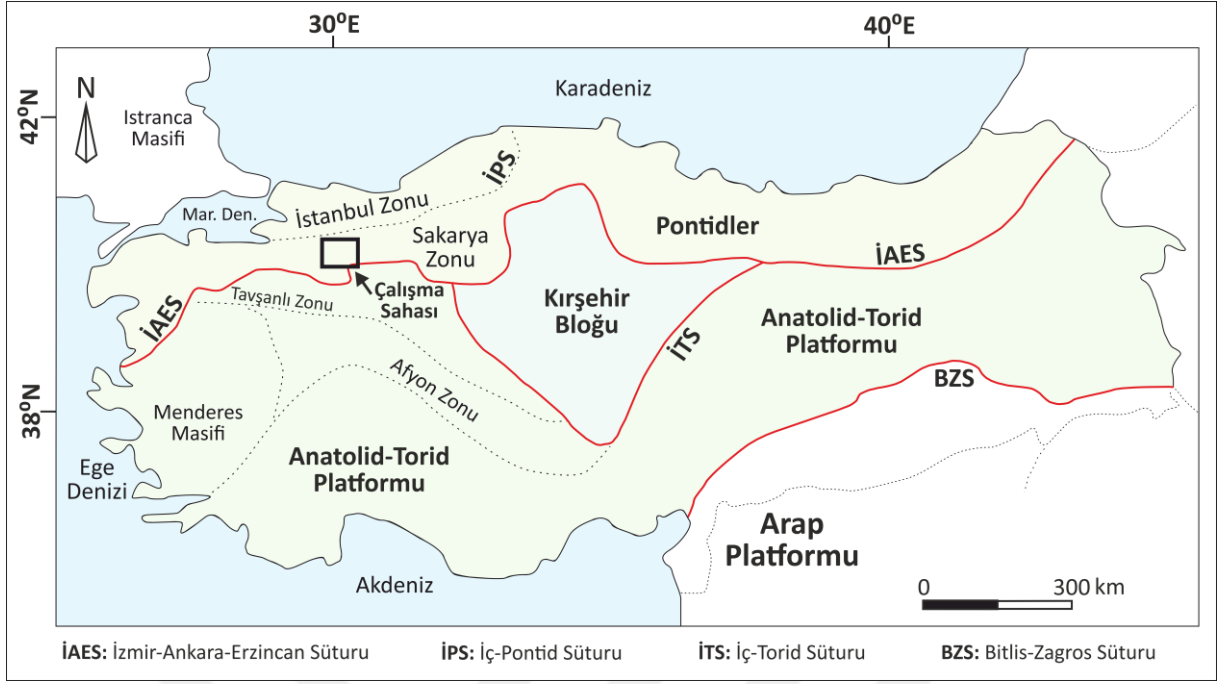


2. ARAŞTIRMA SAHASININ JEOLJİK ÖZELLİKLERİ

Araştırma sahası, Kuzeybatı Anadolu’da D-B yönünde uzanan, güneyde İzmir-Ankara Sütur Kuşağı, kuzeyde ise İntra-Pontid Kuşağı ile sınırlandırılmış ve Türkiye’deki önemli tektonik birliklerinden olan “Sakarya Kıtası tektonik kuşağı-Sakarya Zonu” içerisinde yer almaktadır (Şekil 2.1; Okay, 1989). Sakarya Zonu olarak nitelendirilen birim Jura-Tersiyer yaşlı tortul ve volkanik istif tarafından uyumsuz bir şekilde örtülen Jura öncesi bir temelden oluşmaktadır (Okay, 2020).

Sakarya kıtasının batı bölümünde yer alan çalışma sahası birçok ayrıntılı jeoloji çalışmalarına konu olmuştur (Eroskay, 1965; Akıncı, 1966; Altınlı ve Saner, 1971; Altınlı, 1973, 1974; Demirkol, 1977; Saner, 1978, 1980; Şentürk ve Karaköse, 1979; Yılmaz, 1979, 1981, 1985; Kibici, 1982; Okay, 1989; Emre vd., 1998; Akyazı vd., 2001; Güdücü vd., 2007; Soylu vd., 2007; Açıkalın, 2011; Önde, 2012; Gürbüz ve Seyitoğlu, 2014; Ocakoğlu vd., 2019; Mueller vd., 2019; Okay vd., 2020; Mueller vd. 2022 vb.).

Bölgedeki en eski jeoloji çalışması Eroskay (1965) tarafından hazırlanmıştır. Bu çalışma bölgenin jeolojik özelliklerinin detaylı bir şekilde açıklanması bakımından oldukça önemlidir. Bunu takip eden dönemde Altınlı (1973), Demirkol (1977), Şentürk ve Karaköse (1979) ile Güdücü vd. (2007) tarafından yapılan jeolojik çalışmalar, bölgenin daha detaylı açıklanması bakımından önemli katkılar sunmuştur. Son yıllarda ise Ocakoğlu vd., (2019), Mueller vd., (2019, 2022) ve Okay vd. (2020) tarafından yapılan çalışmalar bölgenin jeolojik özelliklerini değerlendiren güncel diğer çalışmalar arasında yer almaktadır.

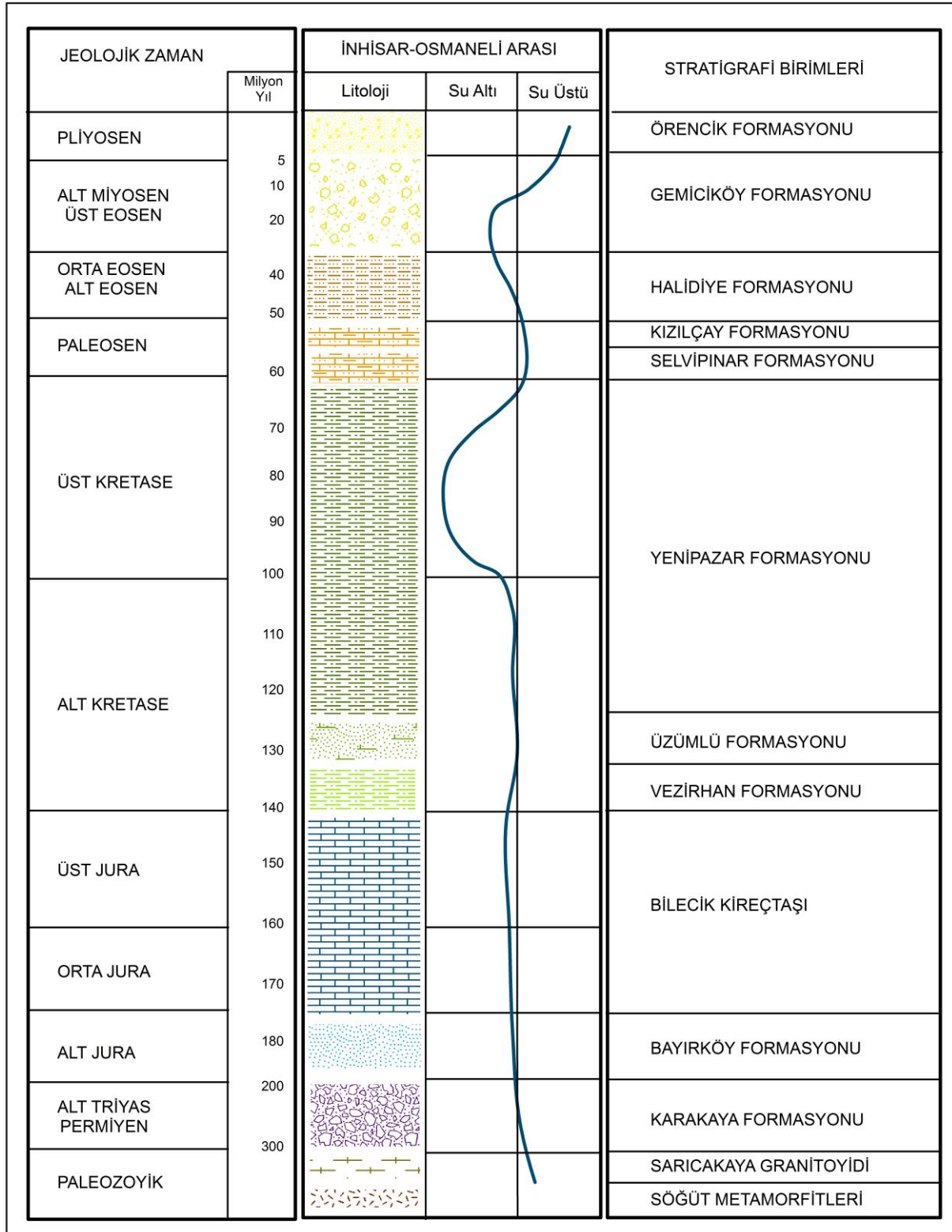


Şekil 2.1. Anadolu'nun Genelleştirilmiş Paleo-Tektonik Haritası. İAES: İzmir-Ankara-Erzincan Sutures, İPS: İç-Pontid Sutures, İTS: İç-Torid Sutures, BZS: Bitlis-Zagros Sutures.

Kaynak: (Kibici vd., 2010; Mueller vd., 2019)

2.1. Stratigrafi

Sahanın jeolojik özellikleri literatüre dayalı olarak değerlendirilmiş, arazi gözlemleri dikkate alınarak yeniden düzenlenmiş ve çalışma sahasına ait genelleştirilmiş stratigrafik kesiti oluşturulmuştur (Şekil 2.2).



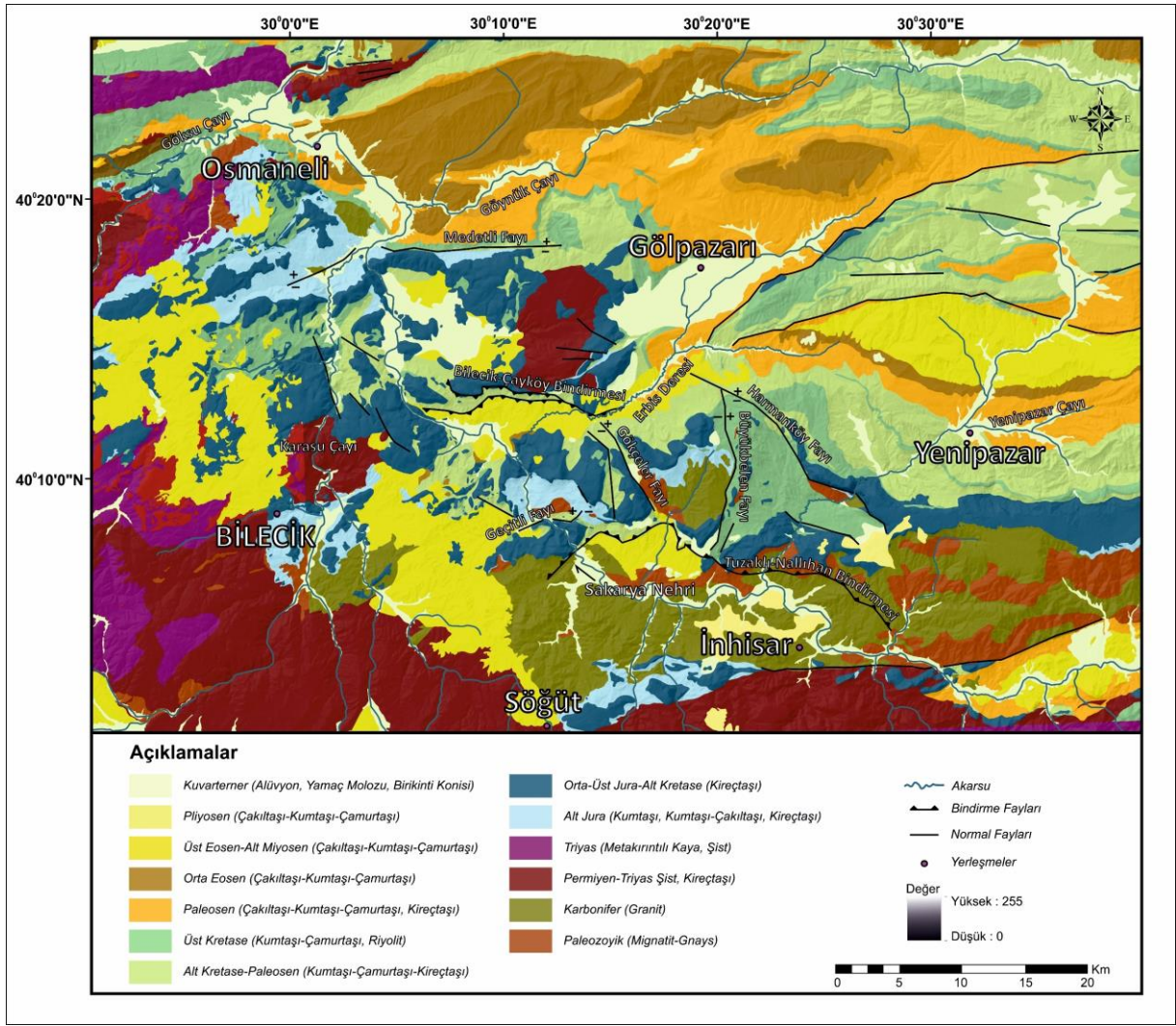
Şekil 2.2. Çalışma Sahasının Genelleştirilmiş Stratigrafik Kesiti.

Çalışma sahası içerisinde Paleozoyik dönemden Kuvaterner dönemine kadar değişen yaşta kayaçlar bulunmaktadır. Çalışma sahasındaki litolojik yapıyı oluşturan kayaç toplulukları; Paleozoyik yaşlı granit-granodiyoritler, Söğüt metamorfikleri (mermer ve şistler) ve Karakaya formasyonu, Mesozoyik yaşlı kumtaşı ve Bilecik kireçtaşı, Orta Eosen-Alt Miyosen yaşlı Gemiciköy formasyonu (akarsu-gölsel çökeller) ve bunları uyumsuz bir şekilde örten Kuvaterner yaşlı birimlerden oluşmaktadır (Şekil 2.3).

Çalışma sahası içerisinde Jura öncesi temel (Sakarya Zonu) (a) yüksek dereceli metamorfik kayalar ve Karbonifer yaşlı granitler (Kibici vd. 2010) ile (b) Karakaya formasyonundan meydana gelmektedir. Dolayısıyla çalışma sahasındaki kayaçlar Temel Birimler ve Örtü Birimleri olmak üzere iki farklı litostratigrafik birim halinde tanımlanmaktadır.

Temel birimler; Söğüt metamorfikleri, Sarıcakaya granodiyoriti ve Karakaya formasyonu olarak adlandırılmaktadır.

Örtü birimleri ise Bayırköy formasyonu, Bilecik kireçtaşı, Vezirhan formasyonu, Üzümlü formasyonu, Yenipazar formasyonu, Selvıpınar formasyonu, Kızılçay formasyonu, Halidiye formasyonu, Gemiciköy formasyonu, Örencik formasyonu ve Kuvaterner yaşlı birimleridir.



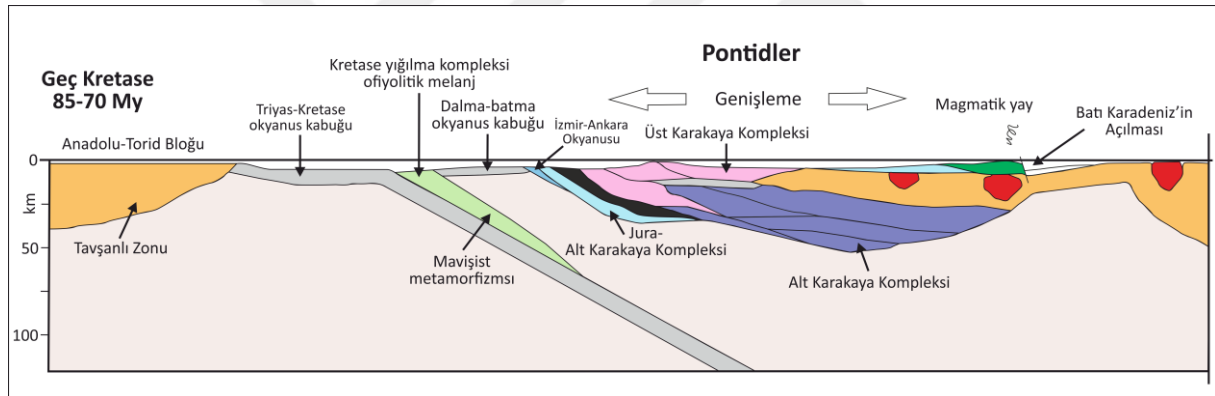
Şekil 2.3. Çalışma Sahasının Jeolojik Özelliklerini Gösteren Harita. Çalışma Sahasındaki Kayaçlar; Temel Birimler (Triyas Öncesi) ve Örtü Birimleri (Triyas Sonrası) Olmak Üzere İki Farklı Litostratigrafik Birim Halinde Tanımlanabilmektedir.

2.2. Formasyonlar

2.2.1. Temel Birimler

Araştırma sahası içerisinde yer alan temel birimleri; Sakarya kıtasını oluşturan Paleozoyik yaşlı Söğüt metamorfikleri, Sarıcakaya granitoyiti ve Karakaya formasyonları oluşturmaktadır.

Türkiye'nin kuzeydeki sıradağları olan Pontidler ile Orta ve Güney Anadolu'daki Anatolid-Torid bloğu arasında kalan bölgede gelişen okyanusun (İzmir-Ankara okyanusu) Geç Kretase döneminde (yaklaşık 80 milyon yıl önce) kapanmaya başlamasıyla birlikte bölge kara haline gelmeye başlamıştır (Şekil 2.4; Yılmaz vd. 1997; Okay vd. 2020). Anadolu'da İzmir-Ankara-Erzincan kenet zonu boyunca Pontidler ile Anatolid-Torid bloğu arasındaki çarpışmanın Geç Kretase döneminden Eosen dönemine kadar devam ettiği bilinmektedir (Mueller vd., 2022). Böylece bu çarpışma sonucunda kara haline gelen Sakarya Kıtası, tektonik kuşağı içerisinde bölgenin temel birimlerini oluşturan kayaç toplulukları meydana gelmektedir.



Şekil 2.4. Geç Kretase Döneminde (85-70 Milyon Yıl Önce) Anatolid-Torid Bloğunun Kıta Kenarının Dalmasıyla Birlikte İzmir-Ankara Okyanusunun Kapanması

Kaynak: (Okay vd., 2020)

Paleozoyik

a) Söğüt Metamorfikleri

Çalışma sahasında özellikle Akçasu ve Hamitabat köyleri arasında, Sakarya Nehri vadisi boyunca vadinin sadece doğu yakasında bulunan ve doğu-batı doğrultulu bir şekilde yüzeylenen birim, aynı zamanda Geçitli köyü doğusu (Muradın Tepe ve Kartal Tepe) ve Tuzaklı köyü kuzeyinde de görülmektedir (Foto 2.1).

Aslında Söğüt metamorfikleri ilk defa Altınlı (1973) tarafından “Ayırtlanmamış Temel Karmaşığı” olarak ifade edilmiş olmakla birlikte, ilk olarak Demirkol (1977) tarafından adlandırılmıştır.

Birim birçok çalışmada farklı isimler altında değerlendirilmiştir. Örneğin Eski temel karmaşığı (Yılmaz, 1977), Söğüt Metamorfikleri (Şentürk ve Karaköse, 1979), Karakaya Karmaşığı (Akyazı vd. 2001) içerisinde yer alan Söğüt metamorfikleri, Güdücü vd. (2007) tarafından Metamorfik şistler olarak adlandırmıştır. Söğüt metamorfikleri, Bilecik çevresinde yüzeylenen yeşil ve mavişistler ile gnays, amfibolit ve migmatitlerden oluşan kayaç topluluğu için kullanılmıştır (Demirkol, 1977). Bu çalışmada birim adı olarak Söğüt Metamorfikleri ismi kullanılmıştır.

Birim, Demirkol (1977)’a göre, Alt Paleozoyik yaşlı ve Karbonifer yaşlı Sarıcakaya granitoyiti tarafından kesilmektedir. Bunun yanı sıra Jura yaşlı litolojiler tarafından örtülmektedir.



Foto 2.1. Geçitli Doğusunda Yüzeyleyen Söğüt Metamorfitleleri

Kaynak: (Karakoca, 2017)

b) Sarıcakaya Granitoyidi

Birim, çalışma sahasında Hamitabat köyü ve çevresinde Sakarya Nehri vadisinin her iki yakasında güneybatı-kuzeydoğu doğrultulu olarak yaygın bir şekilde yüzeylemektedir. Aynı zamanda Osmaneli batısı ve güneyi ile Geçitli köyü çevresinde de yer yer mostra vermektedir.

Birim daha önceki yıllarda; Ayırtlanmamış temel karmaşığı (Altınlı, 1973), Akçasu magmatikleri (Demirkol, 1977), Orta-Sakarya karışık grubu (Şentürk ve Karaköse 1979) ve granit (Güdücü vd. 2007) gibi birçok farklı isimler altında tanımlanmıştır. Bu çalışmada birim adı olarak Sarıcakaya Granitoyidi ismi kullanılmıştır.

Sarıcakaya granitoyidi Göncüoğlu vd. (1996) tarafından Sarıcakaya ilçesi (Eskişehir) kuzeyinde yüzeyleyen ve Söğüt metamorfitlelerini kesen granit-granodiyorit kompleksini tanımlamak için kullanılmıştır.

Granodiyorit ve granit kompleksinden oluşan birim içerisinde hâkim kaya türü granodiyoritlerdir (Demirkol, 1977). Granodiyoritler kırmızı-pembe ve yeşil renkli olup, iri ve ince tanelidir. Granitler ise gri renklidir (Güdücü vd., 2007).

Birimin yaşı daha önce yapılan çalışmalara göre Karbonifer olarak belirlenmiştir.

c) *Karakaya formasyonu*

Çalışma sahası içerisinde İnhisar güneyinde yaygın bir şekilde yüzeylenen birim, Osmaneli ve Gölpaazarı batısında da görülmektedir.

Karakaya grubunun bir bölümüne eş değer olan Karakaya formasyonu, Biga yarımadasında yapılan çalışma sonucunda ilk kez Bingöl vd. (1973) tarafından adlandırılmıştır.

Karakaya formasyonu, Orta Jura-Alt Kretase yaşlı Bilecik kireçtaşlarından oluşan kalın bir istif ile Alt Jura yaşlı Bayırköy kumtaşları olarak nitelendirilen karasal-sığ denizel çakıltaşları ve kumtaşları tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir (Okay, 2020).

Kazdağı doğusundan Bilecik'e ve sonrasında Ankara'ya kadar uzandığı belirtilen birim (Güdücü vd., 2007), Bingöl vd. (1973) tarafından, "İçinde Permo-Karbonifer yaşlı kireçtaşı blokları kapsayan, hafif metamorfizma geçirmiş spilitik bazalt, çamurtaşı, radyolarit, feldspatlı kumtaşı, kuvarsit, konglomera, siltaşı ardalanmasından oluşan Alt Triyas yaşlı bir birim" olarak tanımlamıştır. Bunun yanı sıra sonraki yıllarda Saner (1977) tarafından yapılan çalışmada birimin yaşı Üst Permiyen olarak ifade edilmiştir.

2.2.2. Örtü Birimleri

Araştırma sahası içerisindeki örtü birimleri bölgede ilk defa Mesozoyik çökelimi olarak, Alt Jura döneminde başlamış ve Liyas yaşlı kumtaşları topografyanın çukurluklarını doldurmuştur. Daha sonra kireçtaşı, fliş karakterli kumtaşı-çamurtaşı-kireçtaşı birimleriyle birlikte altta akarsu çökelleriyle başlayan ve üste doğru göl sel çökellere geçişli olan Üst Miyosen-Alt Pliyosen istifi çökelmiştir. Son olarak ise Kuvaterner döneminde meydana gelen deniz seviyesi yükselmelerine bağlı olarak biriken çökeller günümüz alüvyon düzlüklerini oluşturmuştur (Karakoca, 2017: 27).

Mesozoyik

a) Bayırköy Formasyonu

Çalışma sahası içerisinde Geçitli köyü yakınlarındaki Sakarya Nehri vadisinin her iki yakasında bulunan ve kuzeybatı-güneydoğu doğrultulu olarak yaygın bir şekilde yüzeylenen birim aynı zamanda Osmaneli çevresinde ve Bayırköy-Vezirhan arasında da geniş bir yayılım alanına sahiptir.

Çalışma alanı içerisinde temele ait birimleri uyumsuz olarak örten ilk örtü birimi olan birim, Lias transgresyonu sonucu oluşmuş ve ilk olarak Kuphaflı (1954) tarafından “Lias tabakaları” olarak ifade edilmiştir (Altınlı, 1973; Akyazı vd., 2001; Uğuz, 2013). Lias yaşındaki bu birime sonraki yıllarda Granit ve Tintant (1960) “Bayırköy kumtaşı” adını vermiş ve son olarak Altınlı (1973) birçok yerde kumtaşından başka litolojileri de kapsaması sebebiyle “Bayırköy formasyonu” olarak tanımlamıştır.

Birim; kırmızı, alacalı renkli kumtaşı, çamurtaşı, konglomera, şeyl ve kireçtaşıdan oluşmaktadır. Birim içerisinde hâkim litoloji kumtaşıdır (Altınlı, 1973).

Kalınlığı yer yer farklılık gösteren birimin (300-650 m) özellikle alt seviyeleri karasal ve üst seviyeleri ise kıyı-sığ denizel ortamı temsil etmektedir. Bunun yanı sıra altındaki temel birimler ile uyumsuz olup üste doğru Bilecik kireçtaşı tarafından uyumsuz bir şekilde örtülmektedir (Altınlı vd., 1970; Alkaya, 1981; Akyazı vd., 2001).

Bununla birlikte, özellikle başta ammonit ve diğer fosiller (*Involutina liassica*, *Agerina martama*, foraminifer türleri, *Crinoid* vd.) barındırmasından dolayı formasyonun yaşı Lias (Alt Jura) olarak kabul edilmiştir (Altınlı, 1973; Saner, 1980).

b) *Bilecik Kireçtaşı*

Çalışma sahası içerisinde en geniş yayılıma sahip olan Bilecik kireçtaşı; Gölpazarı batısı, Medetli, Şahinler, Geçitli ve Gemiciköy köyü çevresinde geniş alanlarda yüzeilenmektedir (Foto 2.2). Özellikle çalışma kapsamında önemli bir morfolojik ünite olan boğazların (Şeytankaya Boğazı, Hamitabat Boğazı, Kırılbağı Boğazı, Darca Boğazı ve Harmankaya Kanyonu) oluşumunda önemli bir rol oynamaktadır.

Çalışma alanı içerisinde tek tip kireçtaşından oluşan birim, ilk olarak Granit (1960) tarafından tanımlanmış ve bölgede çalışan birçok araştırmacı tarafından Bilecik Kireçtaşı adı altında değerlendirilmiştir (Eroskay, 1965; Altınlı ve Saner, 1971, 1980; Demirkol, 1977; Şentürk ve Karaköse, 1979; Akyazı vd., 2001; Güdücü vd., 2007).

Sakarya Zonu'nu uyumsuz olarak örten önemli birimler arasında yer alan Bilecik kireçtaşı (Mueller vd., 2022), Bilecik civarında daha kalın istif oluşturmalarına rağmen (ortalama kalınlığı 250-300 m) doğuya doğru yanal ve düşey yönde Soğukçam formasyonu ile geçişli durumdadır. Formasyon beyaz, gri, krem ve pembemsi renkler içeren ve yer yer masif görünümlü, orta-kalın katmanlı kireçtaşlarından oluşmaktadır. Genellikle bölgede dik yamaçları oluşturmaktadır. Bunun yanı sıra bol kırık ve çatlaklı birimde, karstik oluşumlar, açığa çıkmış (mostra) yüzeylerinde çözülme yapıları ve günlenme etkisi yoğun bir şekilde görülmektedir (Demirkol, 1977; Şentürk ve Karaköse, 1979; Akyazı, 2001).

Birim birçok yerde Alt Jura yaşlı Bayırköy formasyonu üzerine uyumlu olarak gelirken Bayırköy formasyonunun çökemediği alanlarda ise temel birimler üzerine uyumsuz bir şekilde gelmektedir (Güdücü vd., 2007). Bunun yanı sıra birim Yenipazar formasyonu tarafından uyumsuz bir şekilde örtülmektedir.

Birimin yaşı Eroskay (1965) tarafından Orta-Üst Jura – Alt Kretase olarak ifade edilmiştir.



Foto 2.2. Yakacık Doğusunda Yüzeyleyen Bilecik Kireçtaşları

c) *Vezirhan Formasyonu*

Çalışma sahasındaki Bilecik-Osmaneli arasında özellikle Vezirhan köyü ve yakın çevresinde geniş bir yayılım alanına sahip olan birim, aynı zamanda Medetli-Gölpazarı çevresi ile Kasımlar ve Bayat köyleri güneyinde yer yer yüzeylenmektedir.

Vezirhan formasyonu ilk defa Eroskay (1965) tarafından adlandırılmıştır. Birim, sert, kırıklı, sık, belirgin ve düzenli ince katmanlı; beyaz, pembe, yeşilimsi ve kırmızı renkli killi kireçtaşlarından oluşmaktadır (Eroskay, 1965).

Formasyon alttaki ve üstteki birimler tarafından yüzeylenme durumuna göre farklılıklar göstermektedir. Özellikle, çalışma sahası içerisinde geniş bir yayılıma sahip olan Bilecik kireçtaşı birimin üzerine uyumsuz bir şekilde gelmektedir (Demirkol, 1977). Birim, Üzümlü köyü yakınlarında Üzümlü formasyonu ile derece ve yanal geçişli olmakla birlikte Üzümlü formasyonunun çökmediği yerlerde Yenipazar formasyonu tarafından örtülmektedir (Güdücü vd., 2007).

Birimin yaşı daha önce yapılan çalışmalara göre Alt Kretase olarak belirlenmiştir.

d) *Üzümlü Formasyonu*

Birim, Gölpazarı güneyindeki Üzümlü ve Arıcaklar köyü yakınlarında yaygın bir şekilde gözlenebilmektedir.

Üzümlü formasyonu ilk olarak Demirkol (1977) tarafından; kahverengi, ince-kalın katmanlı, seyrek olarak çamurtaşı, marn veya killi mikrit, kalkerenit ve konglomera içeren şeyl, kumtaşı ve kireçtaşı ardalanmasından oluşan birimi ifade etmek için kullanılmıştır. Daha sonra bölgede çalışan birçok araştırmacı tarafından Üzümlü formasyonu adı altında incelenmiştir (Göncüoğlu vd., 1996; Saner, 1980; Güdücü vd., 2007).

Birim, Üzümlü köyü yakınlarında Üzümlü formasyonu ile Gölpazarı güneyinde ise Vezirhan formasyonu ile dereceli ve yatay geçişli durumdadır (Güdücü vd., 2007).

e) *Yenipazar Formasyonu*

Çalışma sahası içerisinde özellikle Yenipazar güneyinde geniş bir yayılım gösteren birim, aynı zamanda Üzümlü ve Karahasanlar köyü arasında da yer yer yüzeylenmektedir.

Araştırma sahası içerisinde ilk olarak Saner (1980) tarafından adlandırılan birim, Eroskay (1965), Altınlı ve Saner (1971), Demirkol (1977) ile Şentürk ve Karaköse (1979) tarafından hazırlanan çalışmalarda Yenipazar formasyonu, Vezirhan formasyonu ve Üzümlü formasyonu veya Gölpazarı grubu gibi birçok farklı isimlerle ifade edilmiştir. Ancak MTA tarafından 2002 yılında hazırlanan 1/100.000 ölçekli jeoloji raporunda, formasyonun tanımlanması genişletilerek daha çok volkanitli, bloklu ve kumtaşı-şeyl ardalanmasından oluşan fliş fasiyesindeki çökel istifini (Saner, 1980) tanımlamak için “Yenipazar formasyonu” olarak kullanılmıştır.

Yenipazar formasyonu; gri-çamurtaşı, ince-orta tabakalı kumtaşı ve kalın-çok kalın yeşil tuf ardalanmasından oluşmaktadır. Birim, belirgin bir açısız uyumsuzlukla Kızılçay formasyonu tarafından örtülmektedir (Ocakoglu vd., 2019).

Önceki çalışmalara göre birimin yaşı Alt Kretase-Paleosen olarak belirtilmiştir.

Tersiyer

a) Selvipınar Formasyonu

Birim, çalışma sahasının yakın çevresindeki Gölpazarı kuzeyinde yaygın bir şekilde yüzeylenmektedir.

Çalışma sahası içerisindeki Selvipınar formasyonu ilk olarak Eroskay (1965) tarafından resifal kireçtaşlarından oluşan birimi ifade etmek için “Resifal kireçtaşı” olarak kullanılmıştır. Birim yer yer konglomera ve kumlu kireçtaşı içermesinden dolayı Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü tarafından 2002 yılında hazırlanan 1/100.000 ölçekli jeoloji raporunda araştırmacılar tarafından “Selvipınar formasyonu” olarak adlandırılmıştır.

Formasyon genellikle sarımsı beyaz, bej, yer yer kırmızı, pembe renkli, ince-kalın tabakalı sert, mercanlı ve algli resifal kireçtaşlarından oluşmaktadır (Güdücü vd., 2007).

Birim, altta Yenipazar formasyonu ile üstte ise Kızılçay formasyonu ile yanal ve düşey geçişlidir. Birimin yaşı içerdiği fosillere göre Paleosen olarak belirlenmiştir (Altınlı, 1973; Saner, 1980).

b) Kızılçay Formasyonu

Birim çalışma sahası içerisinde Medetli köyü, Gölpazarı ve Yenipazar kuzeyinde yaygın bir şekilde yüzeylenmektedir. Bunun yanı sıra Osmaneli güneyinde de yer yer görülmektedir.

Kızılçay formasyonu ilk olarak Eroskay (1965) tarafından kırmızı-alacalı renkli, ince-kalın tabakalı, kötü boylanmış konglomera, kumtaşı ve çamurtaşı ardalanmasını oluşan karasal çökelleri ifade etmek için kullanılmıştır.

Birimin yaşı önceki çalışmalara ve stratigrafik konumuna göre Paleosen olarak belirlenmiştir.

c) Halidiye Formasyonu

Çalışma sahası içerisinde Medetli-Osmaneli arasındaki Sakarya Nehri vadisinin doğu yakası boyunca yaygın bir şekilde yüzeylenen birim, aynı zamanda Gölpazarı kuzeydoğusunda da yüzeylenmektedir.

Halidiye formasyonu ilk olarak türbiditik kumtaşı, kilaşı ve kireçtaşı vb. türlerinden oluşan birimi tanımlamak için Saner (1977) tarafından kullanılmıştır.

Birim genellikle boz renkli ve ince tabakalı olarak başlar, kumtaşı-şeyl ardalanması şeklinde devam ederken, üste doğru tane boyu irileşerek sarımsı ve kahve-boz renkli kalın tabakalı Nummulites içeren kumtaşlarına geçmektedir (Güdücü vd., 2007).

Denizel ortamda çökelen birimin yaşı, barındırdığı fosiller bakımından (Nummulites, Alveolina, Anomalia, Ostracod vb.) Saner (1977) tarafından Alt-Orta Eosen olarak belirlenmiştir.

d) *Gemiciköy Formasyonu*

Çalışma sahası içerisinde Gemiciköy köyü çevresindeki yaygın bir şekilde yüzeylenen birim, aynı zamanda Geçitli ve Üyük köyü çevresinde, Tuzaklı ve Akçasu köyleri arasında da dağılışı göstermektedir. Özellikle çalışma kapsamı içerisinde önemli bir morfolojik ünite olan akarsu sekileri, Gemiciköy çevresinde yayılım göstermekte ve Gemiciköy formasyonu üzerine uyumsuz bir şekilde gelmektedir (Foto 2.3).

Çalışma sahası içerisindeki Gemiciköy formasyonu çakıltası, kumtaşı, çamurtaşı ve kireçtaşı vb. kaya türlerinden oluşan birimi ifade etmek için ilk olarak Eroskay (1965) tarafından adlandırılmıştır.

Gemiciköy formasyonu beyaz, killi beyaz, kül rengi ve yer yer kırmızı renkli olup orta-kalın tabakalıdır. Genellikle kötü boylanmış ve gevşek tutturulmuş olup yer yer çapraz tabakalanma gösteren kaba dokulu, orta boylanmalı, oldukça sert ve yanall yönde devamsız durumdadır (Şentürk ve Karaköse, 1979). Kısacası, birim, Kretase-Paleosen birimlerinin kırıntıları ile akarsu konglomeralarına doğru kabalaşan çamurtaşı ve çapraz tabakalı kumtaşı ardalanmasından oluşmaktadır (Oçakoğlu vd., 2007).

Birim yaklaşık olarak 225 metre bir kalınlık göstermektedir. Birimin genellikle devamsız ve az belirgin katmanlanma göstermesi, kumtaşlarında çapraz katmanlanma ve çakıltılaşlarındaki kötü derecelenmesiyle birlikte tatlı su gastropodları içeren kaba kireçtaşlarının varlığı akarsu ve/veya yüzeysel akışa geçen suların kavuştuğu bir göl ortamında çökeldiğini göstermektedir (Güdücü vd., 2007).

Birim, stratigrafik konumuna göre (Üst Eosen-Alt Miyosen yaşlı) karasal ve gölsel ortamda çökelmiştir. Aynı zamanda alttaki birimleri uyumsuz bir şekilde örten birim, üste doğru Kuvaterner yaşlı birimler tarafından da uyumsuz bir şekilde örtülmektedir (Güdücü vd., 2007).



Foto 2.3. Gemiciköy Çevresinde Vadi Tabanından +19 m (T3) Yükseklikte Bulunan Seki Seviyesi, Gemiciköy Formasyonuna Açısal Bir Uyumsuzlukla Gelmektedir.

e) *Örencik Formasyonu*

Çalışma sahasında İnhisar ve Akköy civarında geniş bir yayılım gösteren birim, Saner vd. (1980) tarafından Yörük üyesi olarak nitelendirilmiş ve tabanda konglomera ile başlayıp, üstte doğru kireçtaşlarına geçmektedir.

Birim ilk olarak Aydın vd. (1987) tarafından bölgenin en genç çökellerini oluşturan karasal konglomera, kumtaşı ve çamurtaşı ardalanmasını ifade etmek için Örencik formasyonu adı altında kullanılmıştır.

Örencik formasyonu; kırmızı, sarımsı kırmızı, kahve renkli konglomera, kumtaşı ve çamurtaşı ardalanması ile temsil edilmektedir. Birim genellikle çok az tutturulmuş olup, orta-kalın tabakalanma gösterir. Birim, kendinden yaşlı tüm birimlerin üzerine açısal uyumsuzlukla gelmektedir (Aydın vd., 1987). Birim; sarımsı, boz, kırmızımsı renklerde ve orta-kalın tabakalıdır. Çakıllar iyi yuvarlanmış, kötü boylanmalı ve gevşek tutturulmuştur. Birimin kaya türü özellikleri akarsu ve göl ortamında çökelmiş olduğunu göstermektedir. Nitekim formasyonunu oluşturan karbonatlar göl ortamını karakterize etmektedir.

Stratigrafik konumuna göre birime Pliyosen yaşı verilmiştir (Şentürk ve Karaköse vd., 1979).

Kuvaterner

a) Seki Dolguları

Çalışma alanı içerisinde Sakarya Nehri'nin vadi tabanından itibaren, Yakacık köyü çevresinde dört, Hamitabat köyü çevresinde üç, Gemiciköy ve Küçükyenice köyü çevresinde iki ve Selimiye köyü çevresinde dört seviye halinde gözlenebilen seki basamakları tespit edilmiştir. Genellikle Sakarya Nehri'nin vadisi boyunca düzensiz bir dağılış gösteren bu seki basamaklarının yüksekte bulunanları yarı yuvarlanmış-yuvarlanmış iri çakıllardan, alçakta olanları ise az yuvarlanmış küçük çakıllar ve ince taneli taşkın ovası sedimanlarından oluşmaktadır (Foto 2.4).



Foto 2.4. Yakacık Köyü Yakınlarındaki T3 Numaralı Seki Deposunun Paleozoyik Yaşlı Söğüt Metamorfikleri (A) ile Dokanağı; Çapraz Katmanlı, İnce-Orta Çakıl İçeren Akarsu Yatağı Çökellerinden (B) İnce Çakıl, Killi Siltli Taşkın Ovası Çökellerine Geçiş (C) ve Toprak Örtüsünü (D) Göstermektedir.

d) *Yamaç molozu (döküntüleri)*

Tutturulmamış veya az tutturulmuş, blok ve çakıllar, dağların yamaçlarında veya eteklerinde yer yer birikintiler halinde görülmektedir.

Birim, Şahinler köyü güneyi ve Geçitli köyü doğusunda yer alan asılı vadi önünde gelişme imkânı bulmuştur. Genellikle Bilecik kireçtaşlarının fayla kesildiği yerlerde olması, tektonik ile birimin oluşumu arasında bir ilişki olduğunu ortaya koymaktadır.

c) *Güncel Alüvyon*

Çalışma sahası içerisinde çok geniş alanlarda yayılış göstermeyen güncel alüvyonlar, çoğunlukla Sakarya Nehri yatağının genişleme imkânı bulduğu alanlarda yayılış göstermektedir. Özellikle İnhisar, Hamitabat, Geçitli, Gemiciköy, Üyük, Selimiye ve Osmaneli yakınlarında geniş alanlarda dağılış göstermektedir. Buna karşılık Hamitabat, Şeytankaya, Kırılbağı, Darca Boğazı ve Harmankaya Kanyonu'nun bulunduğu alanlarda dar vadi içerisinde dağılış imkânı bulamamaktadır. Birim genellikle; miltaşı, kiltası, kumtaşı, çakıl taşlarından oluşmakta ve sıklıkla kum ve çakıl malzemesi içermektedir. Güncel alüvyonlar oluşumuna halen devam ettiklerinden dolayı yaşları Holosen'dir (Foto 2.5).



Foto 2.5. Sakarya Nehri Yatağı İçerisinde Gözlenen Irmak Adaları.

2.3. Paleocoğrafya

Araştırma sahasının güneyinde ilk olarak Paleozoyik yaşlı Söğüt metamorfikleri, granit-granodiyoritler ve Karakaya formasyonu ile temsil edilen Sakarya Zonu'na ait temel birimler dağılışı göstermektedir. Temel birimler üzerine nemli iklim şartları altında ilk sürekli izostatik alçalma ve kırıntılı çökmesi Alt Jura döneminde deniz ilerlemesi ile başlamıştır (Yılmaz, 1981). İlk olarak deniz ilerlemesi sonucunda açılı diskordanslı olarak gelen birim, orta-iri kumtaşlarından oluşan Bayırköy formasyonu olmuştur. Sonrasında Orta-Üst Jura ve Alt Kretase döneminde devam eden sıcak iklim şartları altında deniz ilerlemiş ve Bayırköy formasyonu üzerine kireçtaşlarından oluşan Bilecik kireçtaşı gelmiştir. Özellikle Üst Kretase dönemindeki sıcak iklim şartları altında deniz iyice derinleşmiş ve bölge deniz altında kalmıştır. Böylece batıda Vezirhan formasyonu Bilecik kireçtaşı üzerine uyumlu bir şekilde gelmiş ve üstte doğru Üzümlü formasyonuna geçmiştir. Sonrasında Vezirhan formasyonu Üst Kretase döneminin fliş (kumtaşı-şeyl aralanması) fasiyesindeki Yenipazar formasyonuna geçmiş ve formasyonunun çökmediği alanlarda Yenipazar formasyonu Bilecik kireçtaşları üzerine uyumlu olarak yüzeylenmiştir. Üst Kretase sonlarında başlayan orojenik hareketler sonucunda hızlı yükselmenin neden olduğu regresyon, Eosen başlarına kadar devam etmiştir. Eosen'de ise sıcak/ılıman ve yağışlı bir iklimin etkisi altında yeni bir transgresyon meydana gelmiştir. Bu dönemde sıkışma ve yükselmeye bağlı olarak kara haline gelen bölgelerde oluşan kapalı havzalarda sel ve taşkın karakterli sular birikmiştir. Böylece akarsu ve gölsel çökellerden meydana gelen Geçitli formasyonu aşıl bir uyumsuzlukla alttaki birimler üzerine çökmüştür.

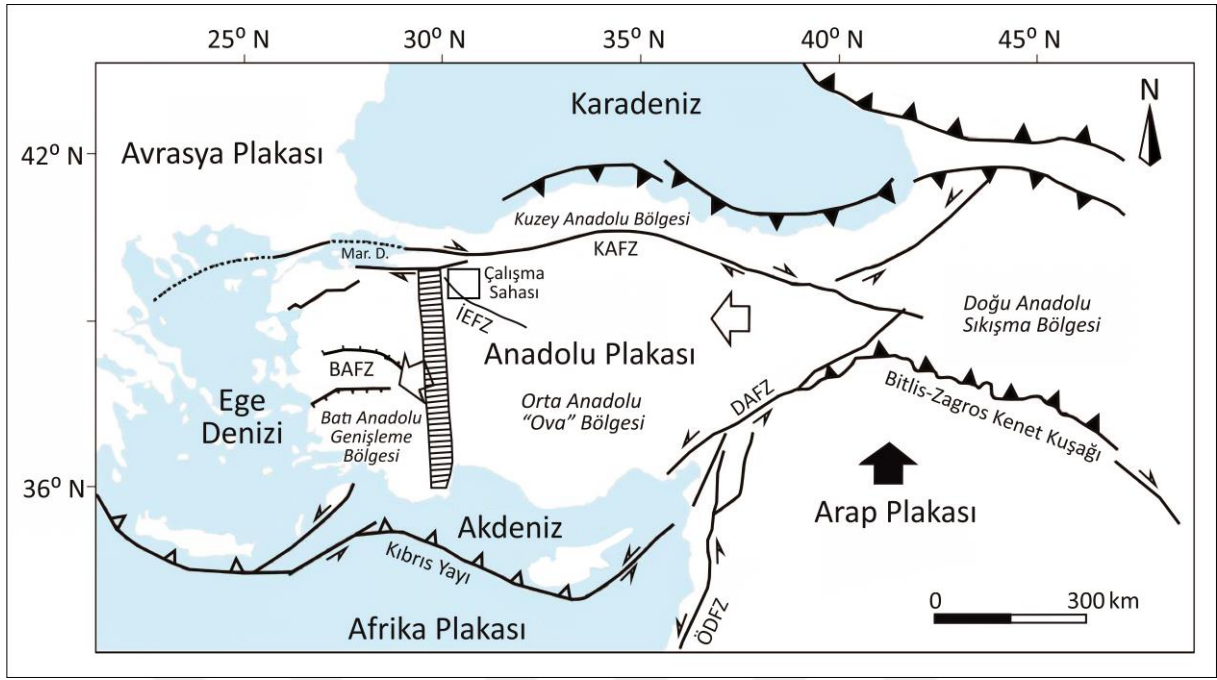
Dolayısıyla bölgede en yaşlı jeolojik formasyonlar ile temsil edilen Sakarya kıtasının bulunduğu sahayı çevreleyen Mesozoyik denizleri içerisinde biriktirilmiş olan materyaller (kireçtaşı, flişler) Alpin orojenine bağlı olarak Miyosen başlarında su yüzeyine çıkmış ve bölge karalaşmıştır. Bunu takip eden Orta Miyosen sırasındaki sıcak ve nemli iklim koşulları altında bölgede geniş alanlar kaplayan Mesozoyik yaşlı Bilecik kireçtaşları üzerinde karstlaşma gelişmeye başlamıştır. Orta-Üst Miyosen'de Arap Plakası'nın Anadolu'ya çarpmasıyla başlayan Neotektonik dönem sırasında (Şengör ve Yazıcı, 2020) ise Anadolu'nun bütünüyle yükselmesi ve batıya doğru hareketine bağlı olarak çalışma sahasının bulunduğu bölge kuzey-güney yönlü sıkışmaların etkisi altına girmiştir. Dolayısıyla Üst Miyosen-Alt Pliyosen boyunca meydana gelen şiddetli tektonik hareketlere bağlı olarak bloklar halinde parçalanmıştır. Böylece yükselen bloklar Orta Sakarya Platoları'nı ve çöken bloklar ise lokal havzaların (Hamitabat, Geçitli ve Gemiciköy havzaları) şekillenmesine neden olmuştur.

Üst Pliyosen'den itibaren bölgeye yerleşen Sakarya Nehri ve kolları, devam eden tektonik hareketler sonucunda oluşan zayıf direnç alanlarını ve karstlaşma olaylarının sağlamış olduğu imkânları kullanarak, Orta Sakarya Platolarına hızla gömülmüş ve bugünkü boğazları (Hamitabat, Şeytankaya, Kırılbağı ve Darca Boğazı) oluşturmuştur. Dolayısıyla Orta Sakarya havzasının bu kesiminde bulunan kapalı havzalar, Sakarya Nehri ve kolları tarafından dış drenaja açılmıştır. Sonuçta havzalardaki aşınım ve birikim süreçleri Sakarya Nehri tarafından kontrol edilmeye başlanmıştır (Karakoca ve Uncu, 2020).

2.4. Tektonik Özellikler

Anadolu'nun kuzeyini doğu-batı yönünde boylu boyuna kaplayan, güneyde İzmir-Ankara Sütur Kuşağı ve kuzeyde ise Intra-Pontid Kuşağı ile sınırlanmış olan tektonik birlik (Sakarya kıtası) içerisinde yer alan çalışma sahası, Neotektonik dönem başında peneplen morfolojisi gösterirken, Neotektonik dönem ile birlikte başlayan kuzey-güney yönlü sıkışmalı tektonik rejimi ve transform karakterli yatay tektonik hareketlerin (Kuzey Anadolu Fay Zonu/KAFZ) etkisi altında kalmıştır (Şekil 2.5).

Kuzey Anadolu Fay zonu Anadolu'nun kuzeyini Sakarya Nehri ile Van Gölü arasında 1150 km'lik bir mesafe boyunca boydan boya kesen doğrultu atımlı aktif bir fay sistemidir (Şekil 2.5; Ketin, 1969). Çalışma sahası, kuzeyde kuzey Anadolu fay zonunun güneydeki koluna 20 km uzaklıkta yer alırken, güneyde İnönü-Eskişehir Fay Zonu (İEFZ)'na 30 km mesafede bulunmaktadır.

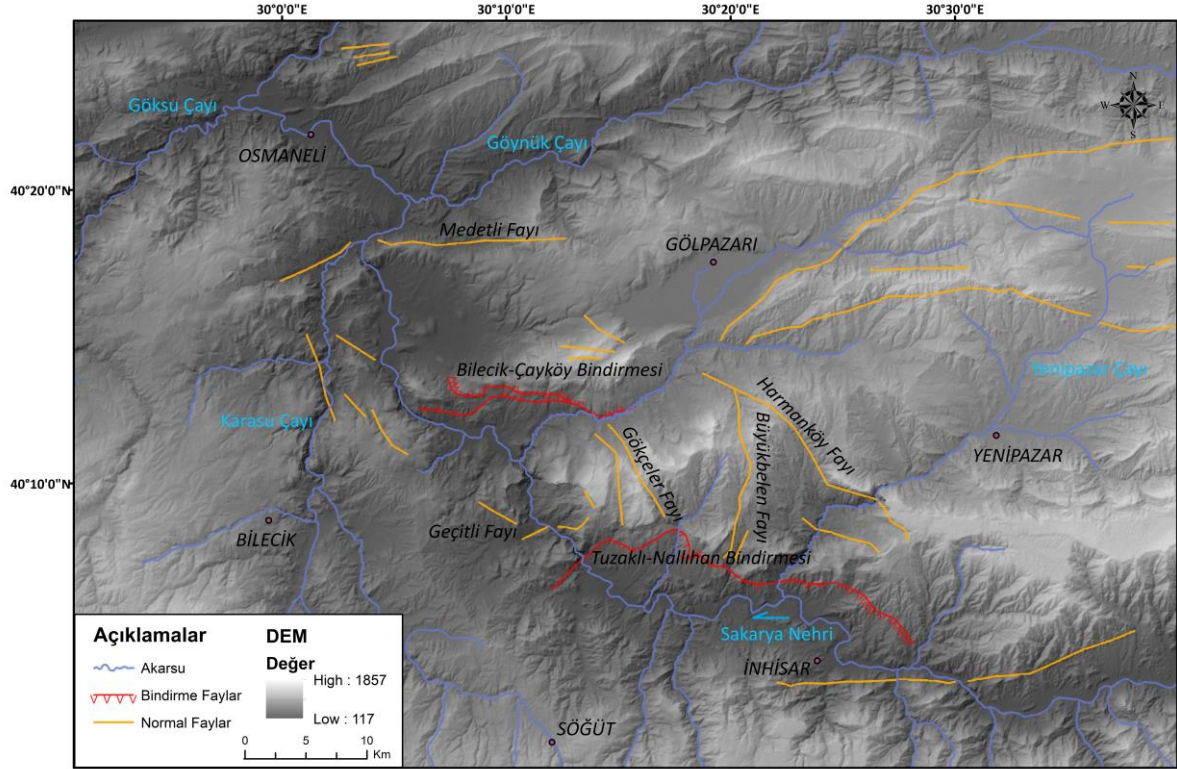


Şekil 2.5. Türkiye'nin Başlıca Aktif Tektonik Yapıları ve Neotektonik Bölgelerini Gösteren Harita

Kaynak: (Gürbüz, 2020)

Araştırma sahasının genel olarak rölyefi, Neotektonik dönem faylarının doğrultusu ile uyumlu olarak farklı yönlerde doğru uzanımlar göstermektedir. Bununla birlikte araştırma sahası içerisinde yer alan fayların büyük bir çoğunluğu normal fay olup, kuzeybatı-güneydoğu ve güneybatı-kuzeydoğu doğrultusunda gelişmiştir (Şekil 2.6). Aynı zamanda Neotektonik dönem öncesinde gelişmiş olan penneplen morfolojisi, özellikle Jura yaşlı birimlerin morfometrik olarak günümüzde yüksek dağ ve platolar seviyelerinde izlenmesi, çeşitli yönlerde doğru eğimlenmiş ve bloklanmış bir yapı sunmasıyla sıkışarak yükselen rölyef değişiminin birer göstergesi durumundadır (Karakoca, 2017: 47).

Çalışma sahası içerisinde normal fayların yanı sıra bindirme fayları da gelişmiştir. En önemli bindirmeleri "Tuzaklı-Nallıhan Bindirmesi (sürüklenim) ve Bilecik-Çayköy Bindirmesi" oluşturmaktadır. Bununla birlikte bölgenin morfolojik özelliklerinin belirlenmesinde etkili olan normal faylar arasında; Medetli fayı, Kurşunlu fayı, Harmanköy fayı, Büyükbelen fayı, Gökçeler fayı ve Geçitli fayı sayılabilmektedir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Çalışma Sahasındaki Fay Tiplerini Gösteren Harita.

a) *Tuzaklı-Nallıhan Bindirmesi*

Tuzaklı-Nallıhan bindirmesi ilk olarak Demirkol (1977) tarafından tanımlanmıştır. Jura yaşlı kalkerleri ve Gölpazarı grubunun (Yenipazar formasyonu) Paleosen yaşlı arazilerin üzerine itilmesi sonucunda (genişliği yaklaşık 4 km) meydana gelmiştir. Kibici (1982), Alpin orojenezi ile birlikte, Jura yaşlı sedimentitler ve Kretase yaşlı kireçtaşlarının Paleosen serileri üzerine sürüklenmesi sonucunda bindirmenin oluştuğunu açıklamıştır.

Genel olarak temel birimleri kapsayan Tuzaklı-Nallıhan bindirmesi, 54 milyon yıl önce Orta Sakarya havzasını bölmüş ve Sarıcakaya havzasının oluşmasında önemli bir rol oynamıştır (Mueller vd. 2022).

Çalışma sahası içerisinde ise Hamitabat kuzeyinde, kuzeybatı-güneydoğu uzanımlı olan bindirme geniş bir alanda etkili olmaktadır. Hamitabat kuzeyinden ilk olarak kuzeydoğuya doğru yöneldikten sonra, Tuzaklı kuzeyinden itibaren takip edilen bindirme, Akçasu köyü yakınlarında İnhisar kuzeyine doğru ilerlemeye devam etmektedir (Foto 2.6).



Foto 2.6. Hamitabat Kuzeyinde Kuzeybatı-Güneydoğu Uzunumlu Olan Tuzaklı-Nallıhan Bindirmesi.

b) Bilecik-Çayköy Bindirmesi

Bilecik ilinin doğusunda bulunan Bilecik-Çayköy bindirmesi, çalışma sahası içerisinde Gemiciköy kuzeyinden itibaren doğu-batı uzunumlu olarak gelişmekte ve Çayköy'ün yaklaşık 10 km doğusuna kadar da uzanmaktadır (Foto 2.7). Bu bindirme, Tuzaklı-Nallıhan bindirmesiyle aynı tektonik aktivitenin etkisi altında oluşmuştur. Bununla birlikte üzerine itildiği formasyonun Gemiciköy formasyonu (Üst Eosen-Alt Miyosen) olmasından dolayı, bindirme yaşının Üst Eosen-Alt Miyosen'den daha genç bir yaşa sahip olduğu kabul edilmiştir (Güdücü vd., 2007).



Foto 2.7. Gemiciköy Kuzeyinde Batı-Doğu Uzunımlı Olan Bilecik-Çayköy Bindirmesi.

c) *Medetli Fayı*

Çalışma sahası içerisinde yer alan Medetli köyünün kuzeyinde bulunan Medetli fayı, 11 km uzunluğunda ve doğu-batı yönlüdür (Foto 2.8). Aynı zamanda, eğim atımlı normal bir fay karakterinde olan Medetli fayında güney blok, kuzey bloka göre yükselmiştir.



Foto 2.8. Medetli Köyü Kuzeyindeki Doğu-Batı Uzunımlı Olan Medetli Fayı.

d) *Harmanköy Fayı*

Harmanköy fayı, çalışma sahası içerisindeki Gölpazarı ilçesinin güneyinde bulunan Türkmenköy ile Harmanköy arasında yer almaktadır. Kuzeybatı-Güneydoğu yönünde uzanan fay 18 km uzunluğunda ve eğim atımlı normal bir fay karakterindedir. Bununla birlikte kuzeydoğu blok güneybatı bloka göre yükselmiştir.

e) *Geçitli Fayı*

Söğüt ilçesinin kuzeyindeki Geçitli köyünün güneyinde bulunan Geçitli fayı, güneybatı-kuzeydoğu yönünde uzanır ve yaklaşık olarak 3 km uzunluğundadır. Geçitli fayı, eğim atımlı normal bir fay karakterinde olup, kuzey blok, güney bloka göre yükselmiştir (Foto 2.9).



Foto 2.9. Geçitli Köyünün Güneyinde Yer Alan Doğu-Batı Uzunlumlı Geçitli Fayı. Eğim Atımlı Normal Fay Karakterinde Olan Fay, Geçitli Mağarasının Açılmasına Sebep Olmuştur.

f) Büyükbelen Fayı

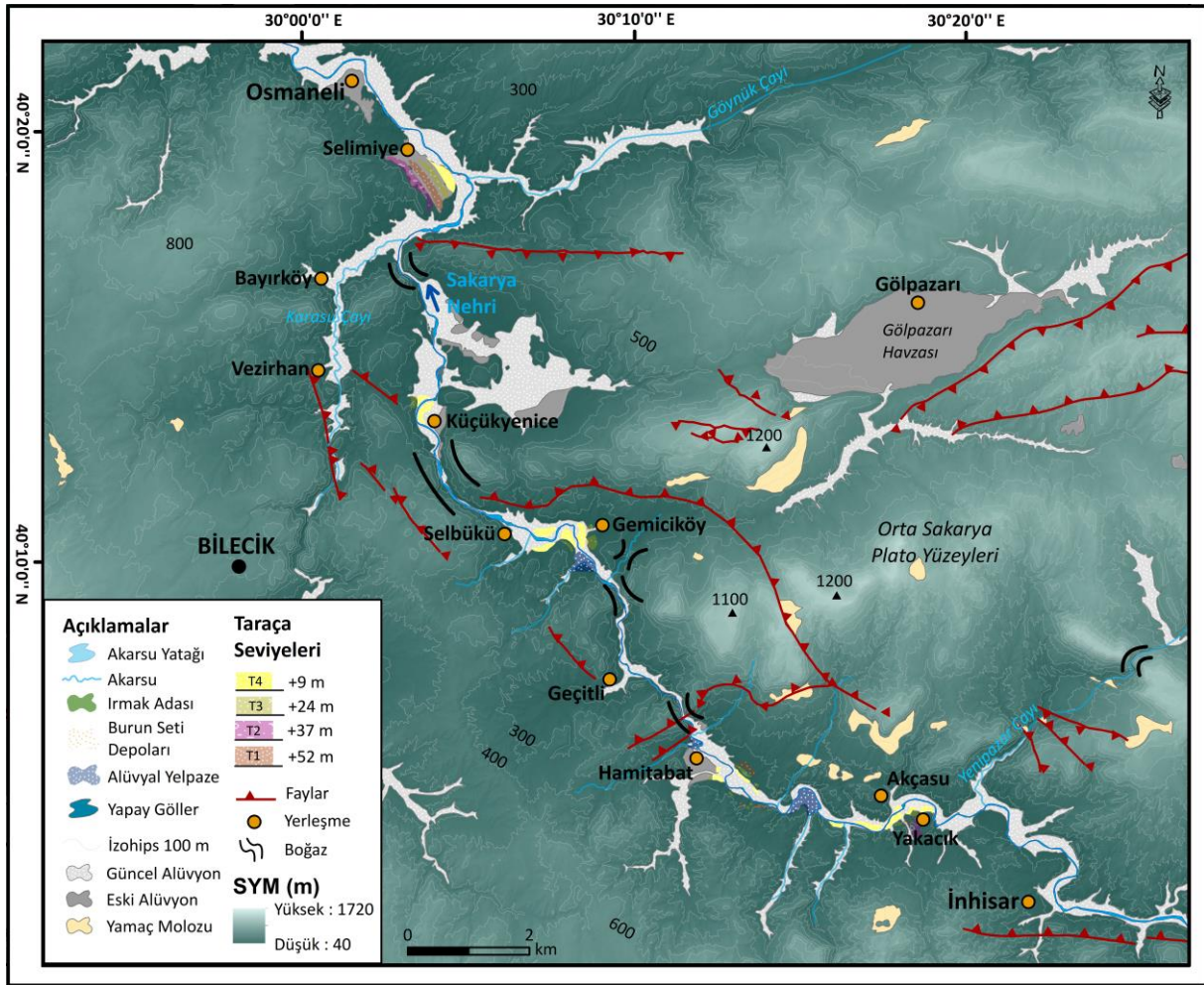
Büyükbelen fayı, çalışma sahası içerisindeki Gölpazarı ilçesinin güneyinde bulunan Büyükbelen köyü ile Akçasu köyü arasında yer almaktadır. Kuzey-güney yönünde uzanan fay, yaklaşık olarak 8 km uzunluğundadır. Büyükbelen fayı, diğer faylar gibi eğim atımlı normal bir fay karakterinde olup, doğu bloku, batı blokuna göre yükselmiştir.

3. ARAŞTIRMA SAHASININ JEOMORFOLOJİK ÖZELLİKLERİ

Kuzeybatı Anadolu'nun en büyük akarsuyu olan Sakarya Nehri, orta çığırında Orta Sakarya Platoları olarak bilinen bölgenin sularını akaçlamaktadır. Bu saha, Sakarya Nehri vadisi boyunca bölgenin tektonik ve jeomorfolojik evriminin ortaya konulabilmesi açısından son derece önemli jeomorfolojik birimleri (plato yüzeyleri, boğazlar, vadi yamaçları, seki sistemleri ve vadi tabanı-akarsu yatağı) kapsamaktadır (Şekil 3.1).

Bölgeye yerleşen Sakarya Nehri, tektonik hareketlerle birlikte araştırma sahasının jeomorfolojik özelliklerini belirleyen en önemli etken olmuştur. Böylece bölgedeki aşınım ve birikim süreçleri Sakarya Nehri tarafından kontrol edilmeye başlanmıştır (Karakoca ve Uncu, 2020). Sakarya Nehri kurulmaya başlandığı dönemden itibaren hem devam eden lokal/bölgesel tektonik hareketlerin kontrolü altında gelişen zayıf direnç alanlarını ve Orta Miyosen'den beri süregelen karstlaşma olaylarının sağlamış olduğu imkânları kullanarak hem de Kuvaterner sırasındaki iklimsel değişimlere bağlı olarak Karadeniz'de meydana gelen kaide seviyesi oynamalarının etkisi altında vadisini şekillendirmiştir. Kuvaterner dönemi boyunca ise bir yandan daha önce açmış olduğu boğazları derinleştirirken, diğer yandan vadisi boyunca uygun yerlerde birkaç basamak halinde izlenebilen seki sistemlerini oluşturmuştur.

Bu süreçlere bağlı olarak gelişen çalışma sahası ve yakın çevresindeki jeomorfolojik birimler plato yüzeyleri, boğazlar, vadi yamaçları, seki sistemleri ve vadi tabanı-akarsu yatağı olmak üzere 5 alt başlık altında toplanmıştır. Özellikle, çalışma kapsamında önemli bir jeomorfolojik ünite olan seki sistemlerinin tanıtılması, dağılışlarının ortaya konulabilmesi ve oluşum/gelişimlerinin açıklanabilmesi için 5 farklı bölüm (Yakacık, Hamitabat, Gemiciköy, Küçükyenice-Üyük, Selimiye ve yakın çevresi) ayırt edilmiştir. Sonuç olarak, çalışma alanı içerisinde tespit edilmiş olan jeomorfolojik birimler ayrıntılı olarak değerlendirilmiş ve haritalanmıştır.



Şekil 3.1. Çalışma Sahasının Jeomorfoloji Haritası.

3.1. Plato Yüzeyleri

Çalışma sahası, Orta Sakarya Platoları olarak adlandırılan ünitenin en batı kısmında yer almaktadır. Orta Sakarya Platoları, kuzeyde Adapazarı-Düzce-Yeniçağ-Bolu depresyon alanları ile güneyde Eskişehir-Porsuk oluk sahası ve batıda Bilecik-Osmaneli ile doğuda Ayaş-Kızılcahamam'a kadar geniş bir sahada gelişmiştir (Bilgin, 1980).

Orta Sakarya Platoları içerisinde batıya doğru 1100-1200 metrelerde uzanan düzlüklerin hâkim olmasıyla birlikte Bilecik-Söğüt Platolarına geçilmektedir. Bilecik-Söğüt Platoları kısmen Neojen örtüsüyle kaplı olan ancak genellikle metamorfik şist ve mermerlerin, Jura yaşlı kumtaşı ve kalkerlerin, Kretase flişinin ve çeşitli orojenik olayların safhalarında kıvrılmış olarak bulunan temelin aşınması sonucunda ve sonrasında ise akarsular tarafından derin bir şekilde yarılmasıyla birlikte çeşitli yükseltilerde gelişmiş olarak buradaki topografyaya hâkim karakterini vermiş bulunmaktadır (Bilgin, 1980).

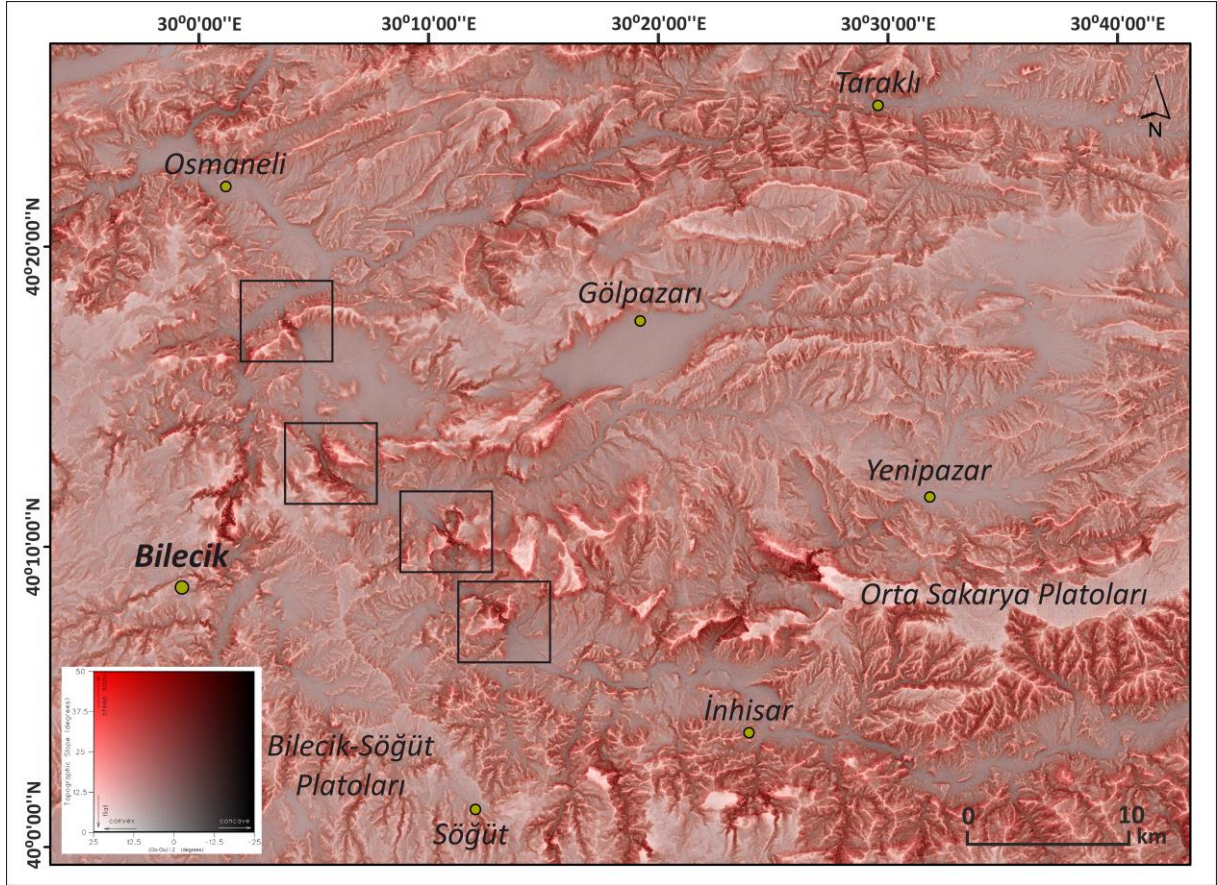
Çalışma sahası, Neotektonik dönem öncesinde peneplen morfolojisi göstermektedir (Emre vd. 1998). Orta-Üst Miyosen geçişi sırasında (Neotektonik dönem), Arap Plakası'nın Anadolu'ya çarpmasıyla başlayan Neotektonik dönem sırasında bölge, K-G yönlü sıkışmaların etkisi altına girmiş ve Üst Miyosen-Alt Pliyosen boyunca meydana gelen şiddetli tektonik hareketlere bağlı olarak, Anadolu'nun bütünüyle yükselmesine eşit olarak bloklar halinde parçalanmıştır. Böylece yükselen bloklar Orta Sakarya Platoları'nı ve çöken bloklar ise Pliyosen havzalarının şekillenmesine neden olmuştur. Üst Pliyosen ve Kuvaterner dönemindeki nemli iklim koşulları ve devam eden tektonik hareketler sonucunda yükselen sahalarda gelişen kırık-çatlak sistemleri, bölgedeki karstlaşmanın tekrar canlanmasına sebep olmuştur. Böylece Orta Sakarya Platoları içerisinde birbirinden bağımsız ve farklı özelliklere sahip karstik alanların (mağara sistemleri gibi) ortaya çıkmasına yol açmıştır (Uncu ve Karakoca, 2019).

Buradaki yapı hatları genellikle D-B veya KD-GB yönünde olup, Sakarya Nehri bu yapı hatlarını kateden bir şekilde uzanmaktadır (Foto 3.1). Sakarya Nehri ve kollarının geniş bir drenaj ağı meydana getirmeleri, daha az dirençli alanların aşınmasına ve alçaltılmasına; dirençli alanların ise genellikle topografyada sırtlar, tepeler ve plato yüzeyleri olarak kalmasına sebep olmuştur (Foto 3.1). Dirençli kısımlar genellikle Jura yaşlı kireçtaşlarının dağılışı gösterdiği dik yamaçlı dar ve derin boğazlara karşılık gelmektedir. Boğazlar ile birlikte özellikle plato yüzeyleri ve bunlar arasında yer alan bazı dağlık kısımlar çalışma sahasındaki yüksek sahaları meydana getirirken, Gölpazarı (500-550 m) ve Yenişehir (600-650 m) depresyonları gibi alanlarda alçak sahaları oluşturmaktadır (Şekil 3.2).

Çalışma sahası içerisinde yer alan bu birimlerin jeomorfolojik özelliklerini ortaya çıkarabilmek adına RRIM görselleştirme yöntemi kullanılmıştır. Bu görselleştirme tekniği ile birimlerin iç ve dış bükeyliği vurgulanmıştır. Bu sayede Orta Sakarya Platoları ile vadi yamaçlarının dolayısıyla boğazların morfolojik ayrımı net bir şekilde ifade edilmiştir (Şekil 3.2).



Foto 3.1. Orta Sakarya Platoları Olarak Adlandırılan Ünitinin Batı (A) ile Doğu Kısımını (B) Gösteren Drone Görüntüleri.



Şekil 3.2. Red Relief Image Map (RRIM) Görselleştirme Yönteminin Kullanılmasıyla Birlikte Elde Edilen Görselde Çalışma Sahası İçerisindeki Önemli Morfolojik Birimlerin (Plato Yüzeyleri, Boğazlar ve Vadi Yamaçları) Ayrımı Ortaya Konulmuştur. Siyah Kutular Boğazların (Güneyden Kuzeye; Hamitabat, Şeytankaya, Darca ve Paşalar Boğazı) Bulunduğu Alanları Temsil Etmektedir.

3.2. Sakarya Nehri Vadisi

Sakarya Nehri, kaynaklarını aldığı Eskişehir ili Çifteler ilçesi Sakaryabaşı mevkisinden itibaren Karadeniz’e dökülene kadar izlediği 824 km’lik yatağı boyunca; Porsuk, Ankara, Kirmir, Yenipazarı, Karasu, Göynük, Göksu ve Mudurnu gibi yan kolları almaktadır. Bunun yanı sıra Sakarya Nehri, bazı yerlerde dar ve derin, bazı yerlerde ise geniş tabanlı vadiler oluşturarak akmaktadır.

Orta Sakarya Platolarının en batı kısmında bulunan çalışma sahası içerisinde Sakarya Nehri vadisi genellikle geniş bir alüvyal tabana sahip değildir. Bununla birlikte akarsu vadisi; İnhisar, Hamitabat, Gemiciköy, Küçükyenice ve Selimiye köyü yakınlarında havza karakteri göstermesi bakımından nispeten genişleme imkânı bulmuştur. Buna karşılık Sakarya Nehri bu havzaları birbirine bağladığı yerlerde dar ve derin boğazlar (kuzeyden güneye doğru Hamitabat, Şeytankaya, Darca ve Paşalar Boğazı) meydana getirmiştir (Foto 3.2).

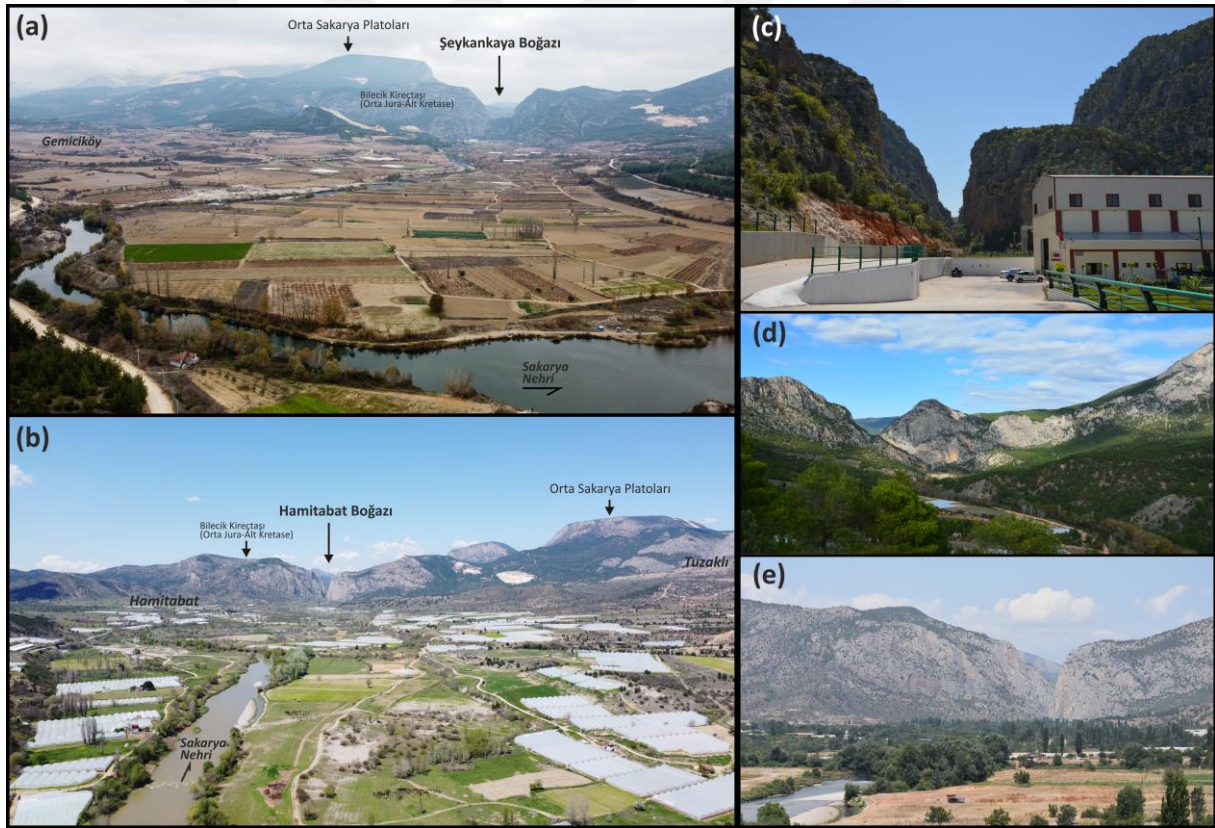


Foto 3.2. Çalışma Sahasındaki Sakarya Nehri Vadisinin Çeşitli Görünümleri. Akarsu Vadisi Gemiciköy ve Hamitabat Köyü Yakınlarında Havza Karakteri Göstermesi Bakımından Nispeten Geniş Bir Vadiye Sahipken (A-B) Buna Karşılık Boğazların Bulunduğu Alanlarda Genellikle Dar ve Derindir (C-D: Şeytankaya Boğazı; E: Hamitabat Boğazı).

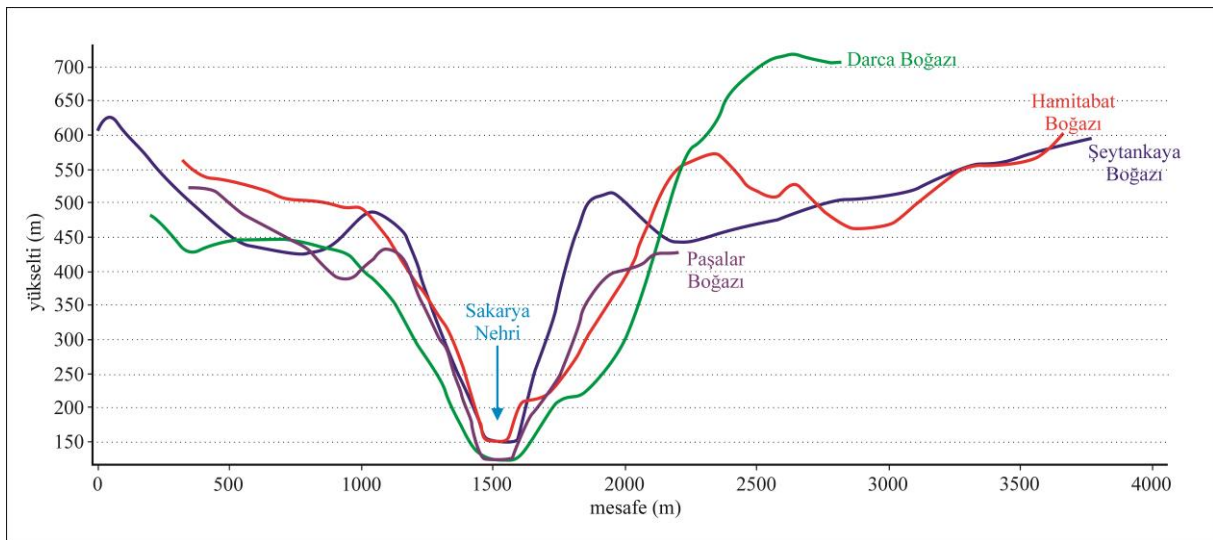
İnhisar-Osmaneli arasında yaklaşık olarak 72 km uzunluğunda vadi boyu ile boğazların kontrolü altında olan çalışma sahası, Sakarya Nehri ve önemli kolları; Yenipazar, Erbis, Karasu ve Göynük Çayı tarafından drene edilen bir alandır. Bununla birlikte Sakarya Nehri, kurulduğu sahanın topografik ve jeolojik özelliklerine göre dendritik bir akarsu şebekesi oluşturmuştur (Şekil 3.3).

Şekil 3.3. Çalışma Sahası ve Yakın Çevresinin Drenaj Ağı Haritası.

3.3. Boğazlar

Çalışma sahasının güneyinden itibaren Orta Sakarya Vadisi boyunca Sakarya Nehri; Hamitabat Boğazı, Şeytankaya Boğazı, Darca Boğazı ve Paşalar Boğazı'nı sırasıyla oluşturmaktadır. Bunun yanı sıra çalışma sahası içerisindeki Sakarya Nehri'nin önemli kolları olan; Yenipazar Çayı, Harmankaya Kanyonu'nu; Erbis Deresi ise Kırılbağı Boğazı'nı meydana getirmektedir. Bu boğazlar morfometrik özellikleri bakımından birbirlerine göre farklılıklar göstermektedir (Şekil 3.4).

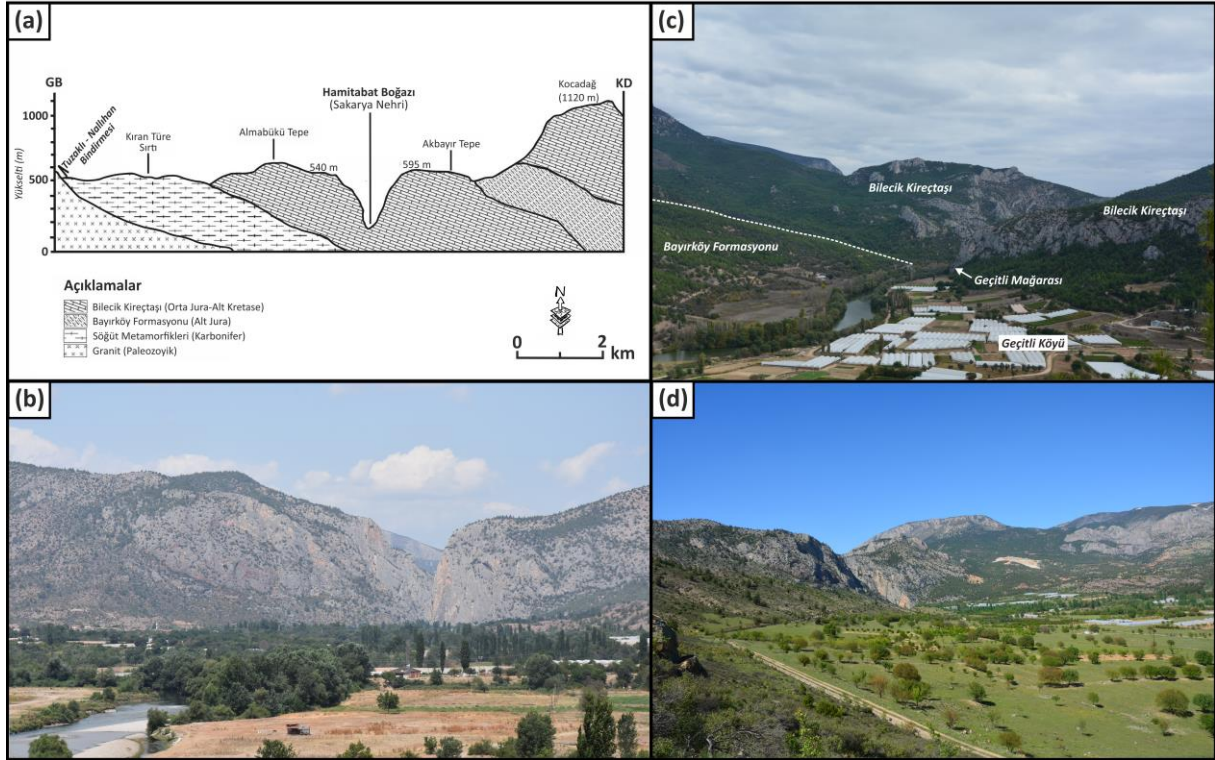
Boğazların bugünkü görünümünü kazanması, günümüze kadar Anadolu'nun geçirmiş olduğu jeomorfolojik evrim sonucunda gerçekleşmiştir. Üst Pliyosen sırasında bölgeye yerleşen Sakarya Nehri ve kolları, Neotektonik dönemde tektonik ve Orta Miyosen'den beri devam eden karstlaşma olaylarının sağlamış olduğu imkânları kullanarak kireçtaşlarının içine gömülmeye başlamıştır. Ardos (1996), Kuzeybatı Anadolu akarsu ağının kuruluşu için Üst Pliyosen'den itibaren Kuvaterner dönemi boyunca akarsuyun geriye doğru aşındırma yapması ve kapmalarla birlikte güneye doğru geliştiğini ve boğazların oluştuğunu ifade etmiştir. Bilgin (1980) ise Sakarya Nehri'nin Orta Sakarya Platolarına yer yer menderesler oluşturarak hızla gömüldüğünü ve bunun sonucunda epijenik boğazlar oluşturduğunu ileri sürmüştür. Ancak arazi çalışmaları sırasında tespit edilen boğazların yamaçlarındaki basamaklar ve uygulanan morfometrik indisler, boğazların oluşumunun sadece epijenez olayı ile açıklanamayacağını göstermektedir (Karakoca ve Uncu, 2020).



Şekil 3.4. Çalışma Sahasındaki Boğazların Bindirilmiş Enine Profilleri.

3.3.1. Hamitabat Boğazı

Sakarya Nehri'nin Hamitabat kuzeyinde Orta Jura-Alt Kretase yaşlı birimler (Bilecik kireçtaşları) içerisindeki zayıf dirençli alanları boyunca yatağına gömülmesi sonucunda açılan Hamitabat Boğazı yaklaşık olarak 4 km uzunluğa ve 350 m derinliği sahip dik yamaçlı dar ve derin bir boğazdır (Şekil 3.5).

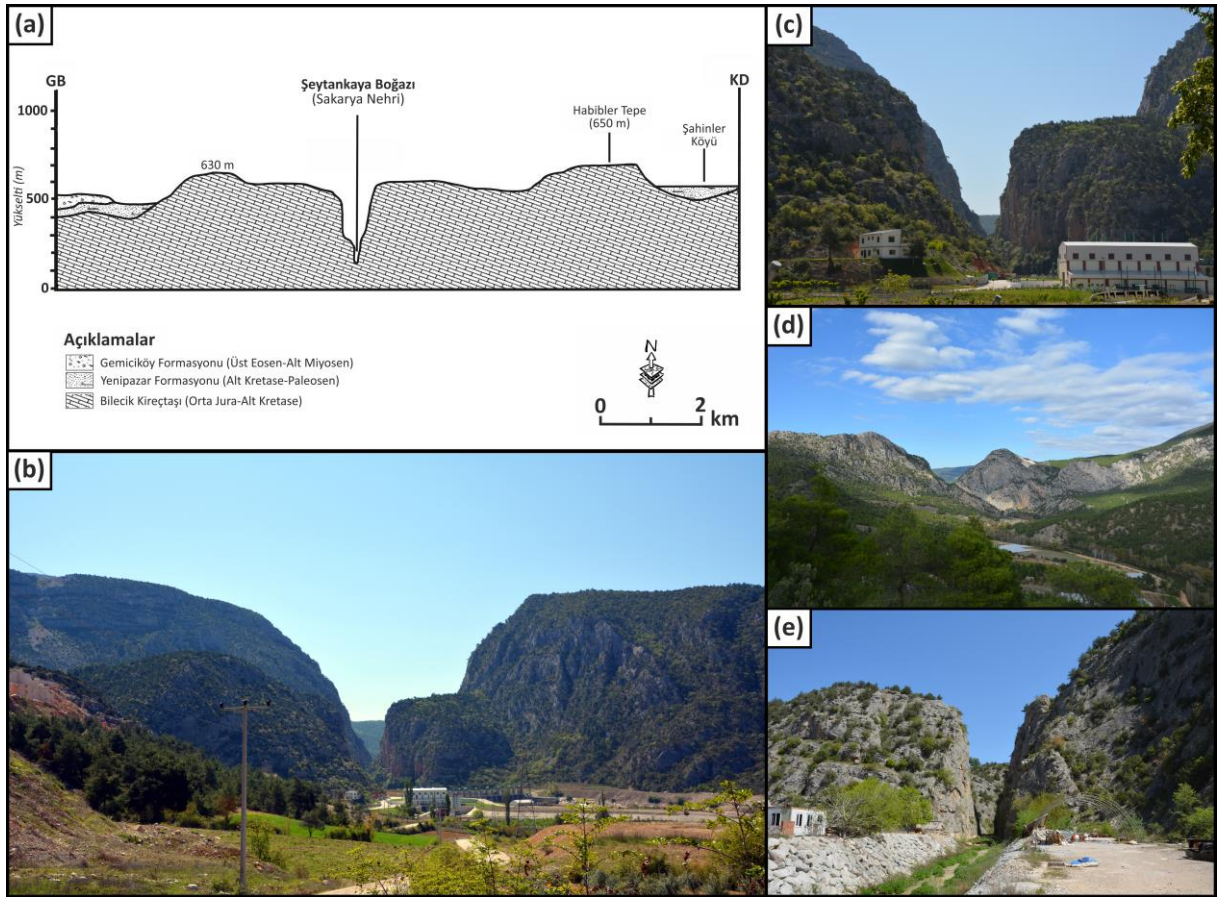


Şekil 3.5. Hamitabat Boğazı'nın Enine Kesiti (Bilgin, 1990) (a). Sakarya Nehri Tarafından Jura-Alt Kretase Yaşlı Bilecik Kireçtaşları İçerisinde Açılan Boğaz (b) Yaklaşık Olarak 4 Km Uzunluğunda, 350 m Derinliğinde (c) ve Dar Bir Vadiye Sahiptir (b-c-d). Boğaz Çıkışında (Geçitli Köyü Güneyi) Faylanmaya Bağlı Olarak Geçitli Mağarası Açığa Çıkmıştır (c).

3.3.2. Şeytankaya Boğazı

Sakarya Nehri tarafından Geçitli kuzeyinde Orta-Jura-Alt Kretase yaşlı kalker kütle yarılmış, dar ve derin bir boğaz olan Şeytankaya Boğazı açılmıştır. Boğaz, yaklaşık olarak 2 km uzunluğa, 25-30 m vadi tabanı genişliğine ve 370 m derinliğe sahiptir (Şekil 22). Boğazın vadisi içerisinde gözlenen omuz yüzeyleri, gömülmenin safhalar halinde meydana geldiğini göstermektedir (Karakoca, 2017).

Sakarya Nehri, boğazı terk ettikten hemen sonra önemli bir yan kolu Kırılbağı Deresi ile birleşmektedir. Kırılbağı Deresi KD-GB yönünde akış göstermekte ve D-B yönlü uzanıma sahip yapıları kesmektedir. Tuncer (2004) Kırılbağı Boğazı'nın açılmadan önce, kireçtaşı kütlesi üzerinde dolin veya dolinlerle beslenen bir mağara sisteminin varlığını ve bu derenin sistemini besleyen önemli bir akarsu olduğunu belirtmiştir. Sonrasında ise mağara sisteminin tavanının çökmesiyle birlikte, derenin buraya yerleşmesi sonucunda bugünkü boğazın oluştuğu ve mağara içinde görülebilen bulguların (mercan yapıları, basınçlı zonlardaki su yalama izleri ve boğazın burgulu bir yapı göstermesi) eski bir mağaranın morfolojik taban düzeyinin aşağıya düşmesine bağlı olarak derinleşmesinin bir sonucu olduğunu ortaya koymaktadır (Tuncer, 2004). Sonuçta, Kırılbağı Deresi, Sakarya Nehri ile denk bir dönemde yatağına gömülerek Kırılbağı Boğazı'nı açmış ve Şeytankaya Boğazı ile birlikte bir birleştirme boğazı meydana getirmiştir (Bilgin, 1980; Şekil 3.6).



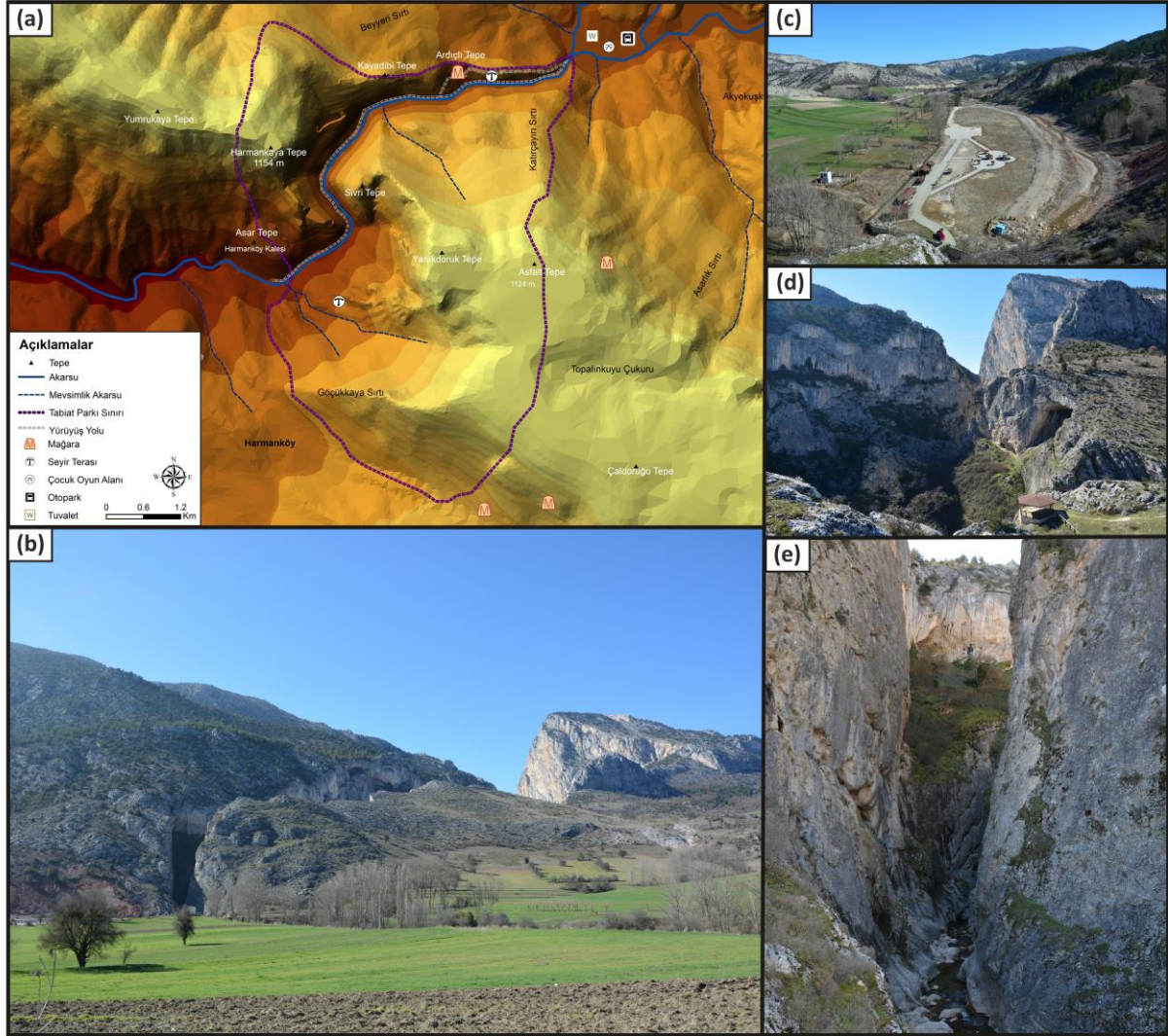
Şekil 3.6. Şeytankaya Boğazı'nın Enine Kesiti (Bilgin, 1990) (a). Sakarya Nehri Tarafından Jura-Alt Kretase Yaşlı Bilecik Kireçtaşları İçerisinde Açılan Boğaz (b) Yaklaşık Olarak 2 Km Uzunluğunda, 370 m Derinliğinde (c) Bir Vadiye Sahiptir (b-c-d). Sakarya Nehri, Şeytankaya Boğazını Terk Ettikten Hemen Sonra Kırılbağı Deresi ile Birleşerek Birleştirme Boğazı Meydana Getirmiştir (e).

3.3.3. Darca Boğazı

Sakarya Nehri, Gemiciköy ve Selbükü yakınlarında yaklaşık olarak 1 km genişliğinde bir alüvyal taban oluşturmaktadır. Bu yerleşmelerin kuzeyinde bulunan Darca Boğazı oluşumu itibarıyla Sakarya Nehri tarafından açılan diğer boğazlara benzemektedir. Orta Jura – Alt Kretase yaşlı Bilecik kireçtaşları içerisinde açılan Darca Boğazı yaklaşık olarak 4,5 km uzunluğa ve 580 m derinliğe sahiptir.

3.3.4. Harmankaya Kanyonu

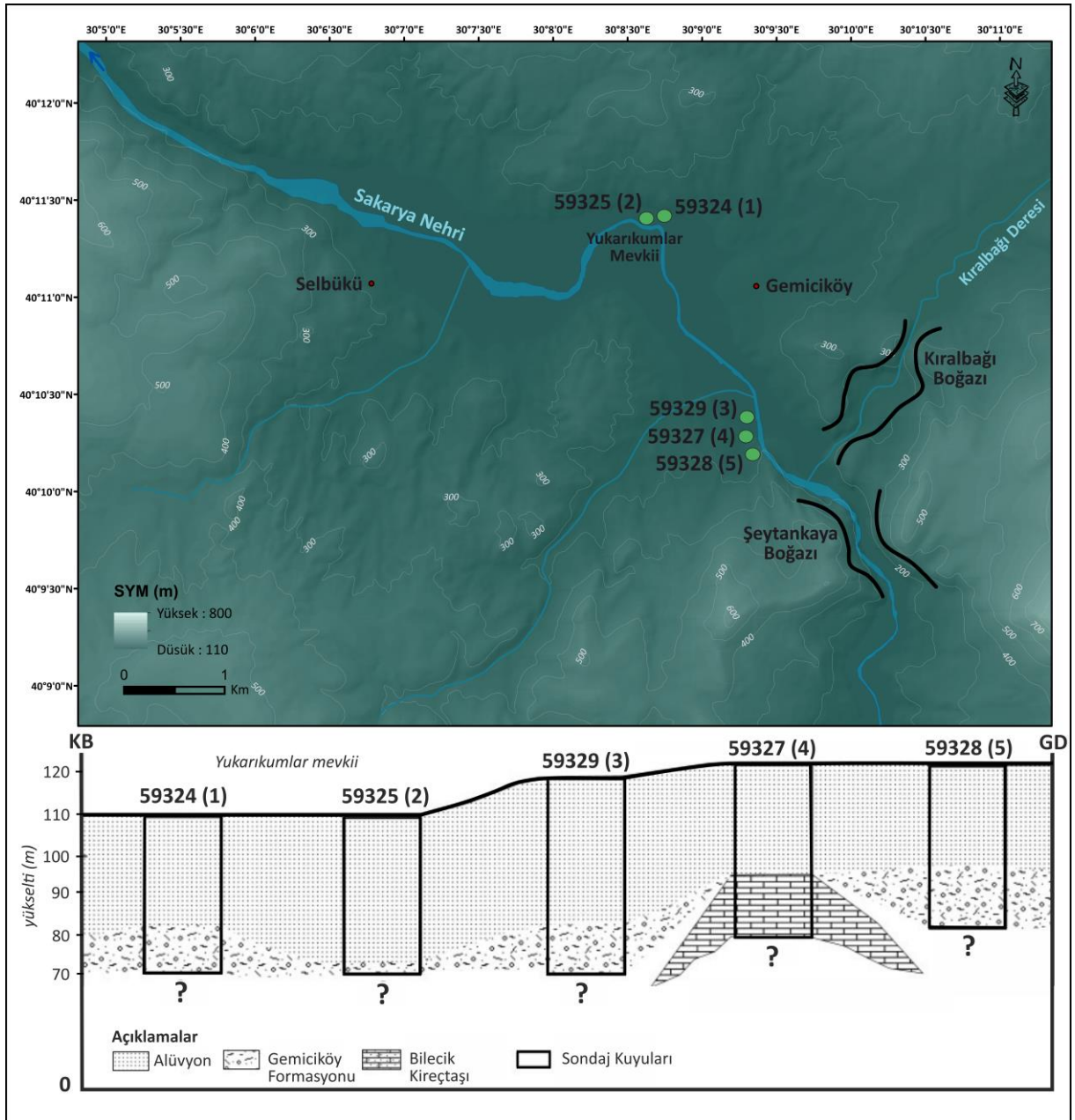
Harmankaya Kanyonu, Sakarya Nehri'nin önemli bir kolu olan Yenipazar Çayı (Harmanköy Dere) tarafından Orta Jura – Alt Kretase yaşlı Bilecik kireçtaşları içerisinde açılmıştır. Kanyon, yaklaşık olarak 3 km uzunluğa ve 650-700 m derinliğe sahiptir (Şekil 3.7). Bununla birlikte kanyonun içerisinde yüksekliği 20 metreye ulaşan basamakların bulunması ve tabanındaki sıcak su çıkışları lokal tektonik olayların devam ettiğini göstermektedir.



Şekil 3.7. Harmankaya Kanyonu'nun Kabartmalı (3D) Harita Gösterimi (a). Sakarya Nehri'nin Önemli Bir Kolu Olan Yenipazar Çayı Tarafından Jura-Alt Kretase Yaşlı Bilecik Kireçtaşları İçerisinde Açılan Kanyon (b) Girişinde Ziyaretçiler İçin Çeşitli Sosyal Tesisler (c) Bulunmaktadır. Bununla Birlikte Kanyon, Yaklaşık Olarak 3 Km Uzunluğunda, 650-700 m Derinliğinde (d) ve Dar Bir Vadiye Sahiptir (e).

Sonuç olarak, çalışma sahası içerisinde yer alan boğazlar Kuvaterner döneminde gerçekleşen flüvyal ve tektonik süreçlere bağlı olarak meydana gelmişlerdir. Çünkü, boğazların büyük kısmında yamaç gelişimi henüz yeni ve genç bir dönemi karakterize etmektedir. Özellikle yamaçların henüz denge profiline sahip olmaması ve eğim değerlerinin oldukça yüksek olması bu durumu desteklemektedir. Buna göre, özellikle boğazların bulunduğu yerlerde nehir akışının hızlı ve alüvyonlaşmanın söz konusu olmaması da boğazların gençliğini gösteren en önemli kanıtlar olarak gösterilmektedir (Ardos, 1996).

Bununla birlikte Devlet Su İşleri (DSİ) sondajlarına ait verilere göre, Sakarya Nehri'nin boğazları terk ettiği alanlarda hem alüvyal dolguların kalınlığının hem de oturdukları anakayanın litolojisinin değiştiğini göstermektedir. Şeytankaya Boğazı'nın çıkışındaki 59527 numaralı sondajda, yaklaşık 30 m kalınlıktaki dolgular Orta Jura-Alt Kretase yaşlı Bilecik kireçtaşları üzerine oturmaktadır. Buna karşılık, Gemiciköy yakınlarındaki Yukarıkumlar mevkiindeki 59524 ve 59525 nolu sondajlarda ise dolgu kalınlığı 40 metreye ulaşmakta ve depolar Orta Eosen-Alt Miyosen yaşlı Gemiciköy formasyonunun üzerine uyumsuz bir şekilde gelmektedir (Şekil 3.8). Boğazların oluşumuyla birlikte, Orta Sakarya havzasının bu kesimindeki kapalı havzalar Sakarya Nehri ve kolları tarafından birleştirilerek dış drenaja açılmış ve havzalardaki aşınım ve birikim süreçleri Sakarya Nehri tarafından kontrol edilmeye başlanmıştır (Karakoca ve Uncu, 2020).

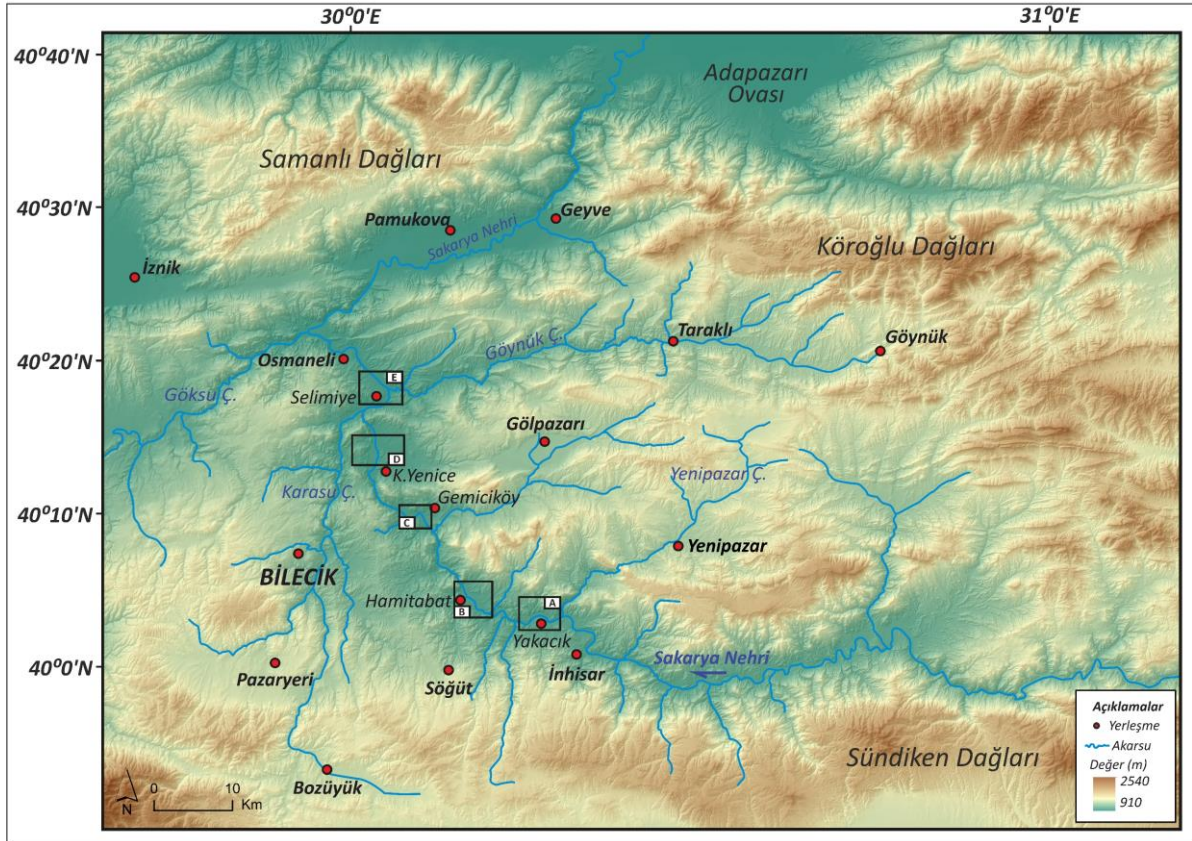


Şekil 3.8. DSİ (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü) Tarafından Gemiciköy (Yukarıkumlar mevki) ile Şeytankaya Boğazı Arasında Yapılan Sondajlara Ait Bulguları Gösteren Harita.

3.4. Seki Sistemlerinin Genel Özellikleri

3.4.1. Seki Sistemlerinin Morfometrik Özellikleri ve Alansal Dağılımları

Araştırma kapsamında seki sistemlerinin tanıtılması, dağılımlarının ortaya konulması ve oluşum-gelişim süreçlerinin açıklanması oldukça önemlidir. Sakarya Nehri vadisinin İnhisar ve Osmaneli arasında kalan 72 km'lik bölümünü kapsayan çalışma alanında belirlenen seki sistemleri; Yakacık köyü, Hamitabat köyü, Gemiciköy, Küçükyenice köyü ve Selimiye köyü çevresi olmak üzere 5 farklı sahada yoğunlaşmaktadır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Çalışma Sahasındaki Seki Sistemleri; Yakacık (A), Hamitabat (B), Gemiciköy (C), Küçükyenice (D) ve Selimiye (E) Olmak Üzere 5 Farklı Sahada Yoğunlaşmaktadır.

Sakarya Nehri'nin vadi tabanından itibaren, Yakacık köyü çevresinde dört (+52 m, +34 m, +18 m ve +10 m yükseklikte); Hamitabat köyü çevresinde üç (+36 m, +24 m ve +12 m yükseklikte); Gemiciköy çevresinde iki (+19 m ve +10 m yükseklikte); Küçükyenice köyü çevresinde iki (+26 m ve +9 m yükseklikte) ve Selimiye köyü çevresinde ise dört (+50 m, +37 m, +24 m ve +9 m yükseklikte) seviye halinde seki basamakları tespit edilmiştir (Tablo 3.1).

Tablo 3.1. Çalışma sahası içerisindeki seki sistemlerinin konumları ve yükseltileri.

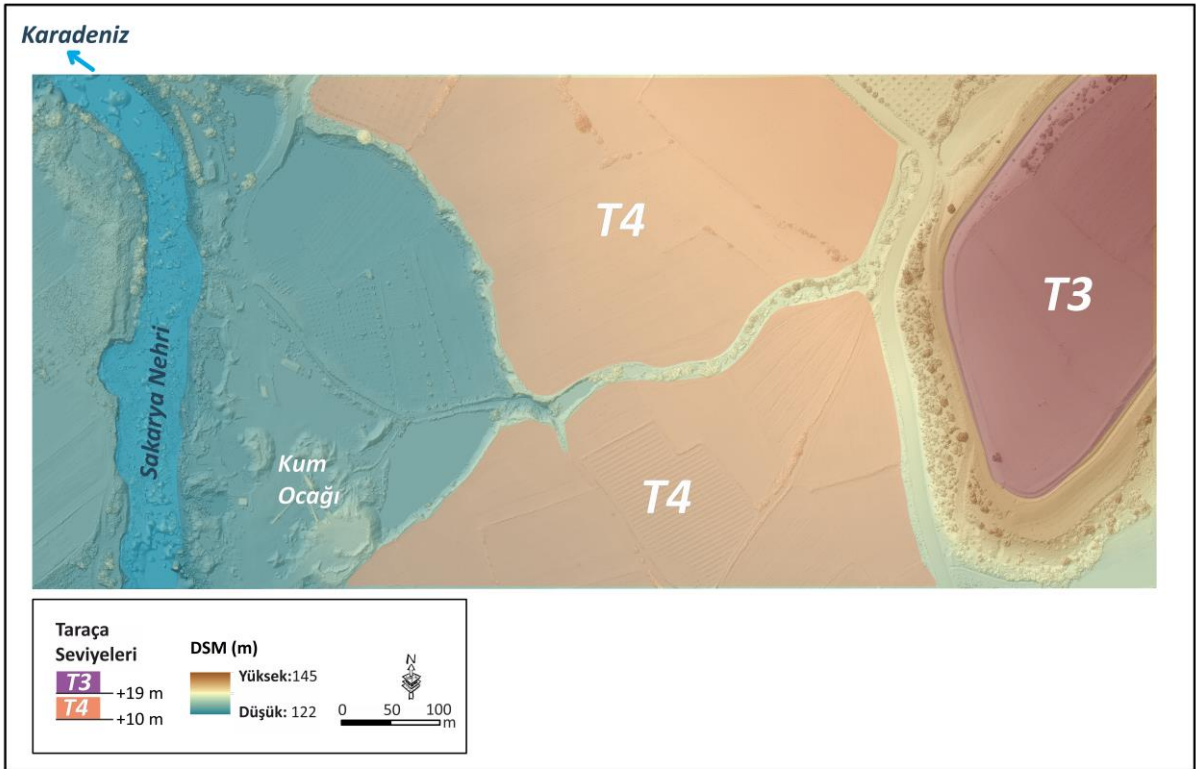
Yerleşme	Yakacık	Hamitabat	Gemiciköy	Küçükyenice	Selimiye
T4	+10 m	+12 m	+10 m	+9 m	+9 m
T3	+18 m	+24 m	+19 m	+21 m	+24 m
T2	+34 m	+36 m			+37 m
T1	+52 m				+50 m

3.4.2. Seki Sistemlerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama Teknikleri Kullanılarak Haritalanması

Bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere bağlı olarak Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama tekniklerinin kullanımında önemli bir artış gözlenmektedir. Özellikle Uzaktan Algılama platformları arasında önemli bir yere sahip olan İnsansız Hava Araçlarının kullanımıyla birlikte nehir ortamlarının izlenilmesi, haritalanması ve modellemesi kolaylıkla yapılabilmektedir. Böylece daha çok ortofotoların ve yüksek çözünürlüklü 3-boyutlu sayısal modellemelerin üretilmesinde kullanılan İnsansız Hava Araçları daha önceki yıllara göre erişilemeyecek kadar detay ve hassasiyette verileri üretme imkanına olanak sağlamaktadır.

Bu doğrultuda Hamitabat, Gemiciköy ve Küçükyenice köyleri çevresinde yer alan seki basamaklarının yüzey özelliklerinin analiz edilmesi amacıyla DJI Mavic Mini modeli İnsansız Hava Aracı (İHA-Drone) kullanılmıştır. İnsansız hava araçlarının kullanılmasıyla elde edilen görüntüler, Agisoft Metashape Professional programı aracılığıyla bir araya getirilmiş ve nokta bulutlarının çıkarılması sonrasında seki sistemlerinin Sayısal Yüzey Modelleri (DSM/Digital Surface Model) oluşturulmuştur. Üretilen sayısal yüzey modellemesi sonucunda tespit edilen seki seviyeleri arazide yapılan gözlemlerle stratigrafik ve sedimantolojik olarak da doğrulanmıştır.

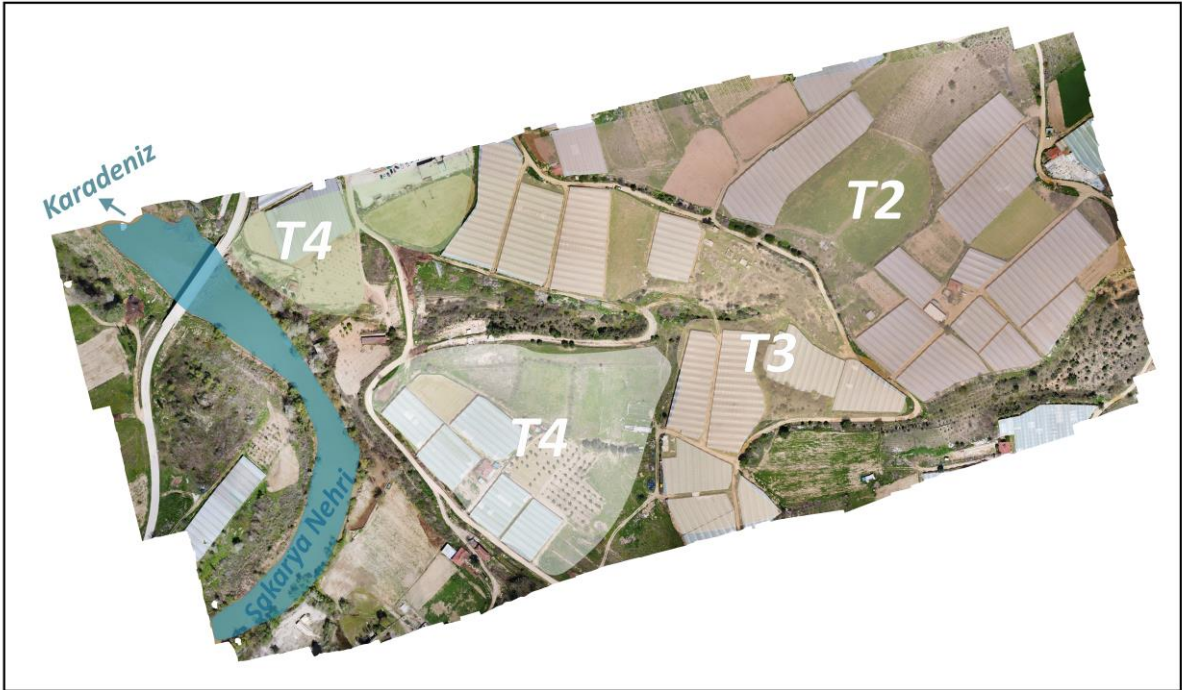
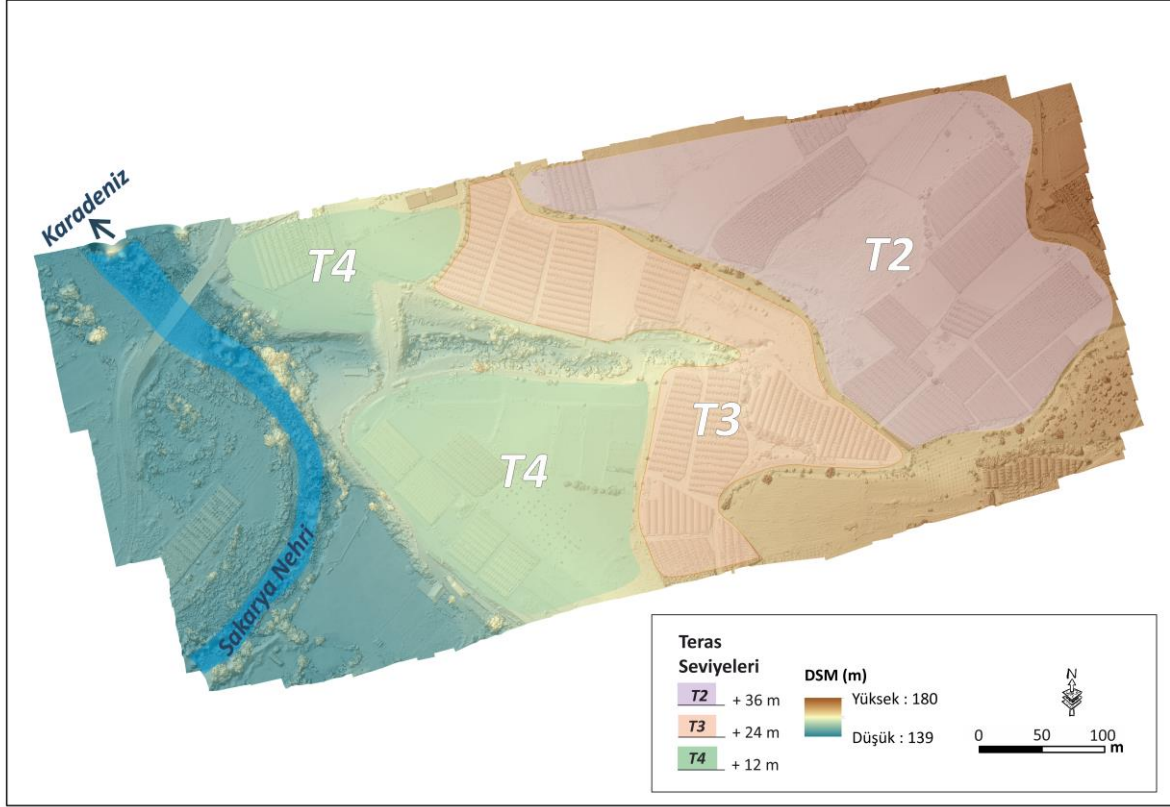
Hamitabat, Gemiciköy ve Küçükyenice çevresinde seki sistemlerinin detaylı haritalanması için İnsansız Hava Aracı tabanlı fotogrametrik esaslara dayalı olarak Hareketten Oluşum (Structure from Motion-SfM) yöntemi kullanılmıştır. Çalışma sırasında Gemiciköy çevresinde 13,9 hektarlık bir alan içerisinde DJI Mavic Mini İHA modeli kullanılarak planlanan uçuş doğrultusunda %80 örtüşme oranına sahip olan ve 100 m yükseklikten alınan 582 adet görüntü Agisoft Metashape Professional yazılımında değerlendirilmiştir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Gemiciköy Çevresindeki Seki Sistemleri Üzerinde (13,9 Hektarlık Bir Alan-T3 ve T4) DJI Mavic Mini İHA Modeli Kullanılması Sonucunda Elde Edilen Yüksek Çözünürlüklü Sayısal Yüzey Modeli (3,29 cm/pix) ve Ortomozaik Görüntüsü.

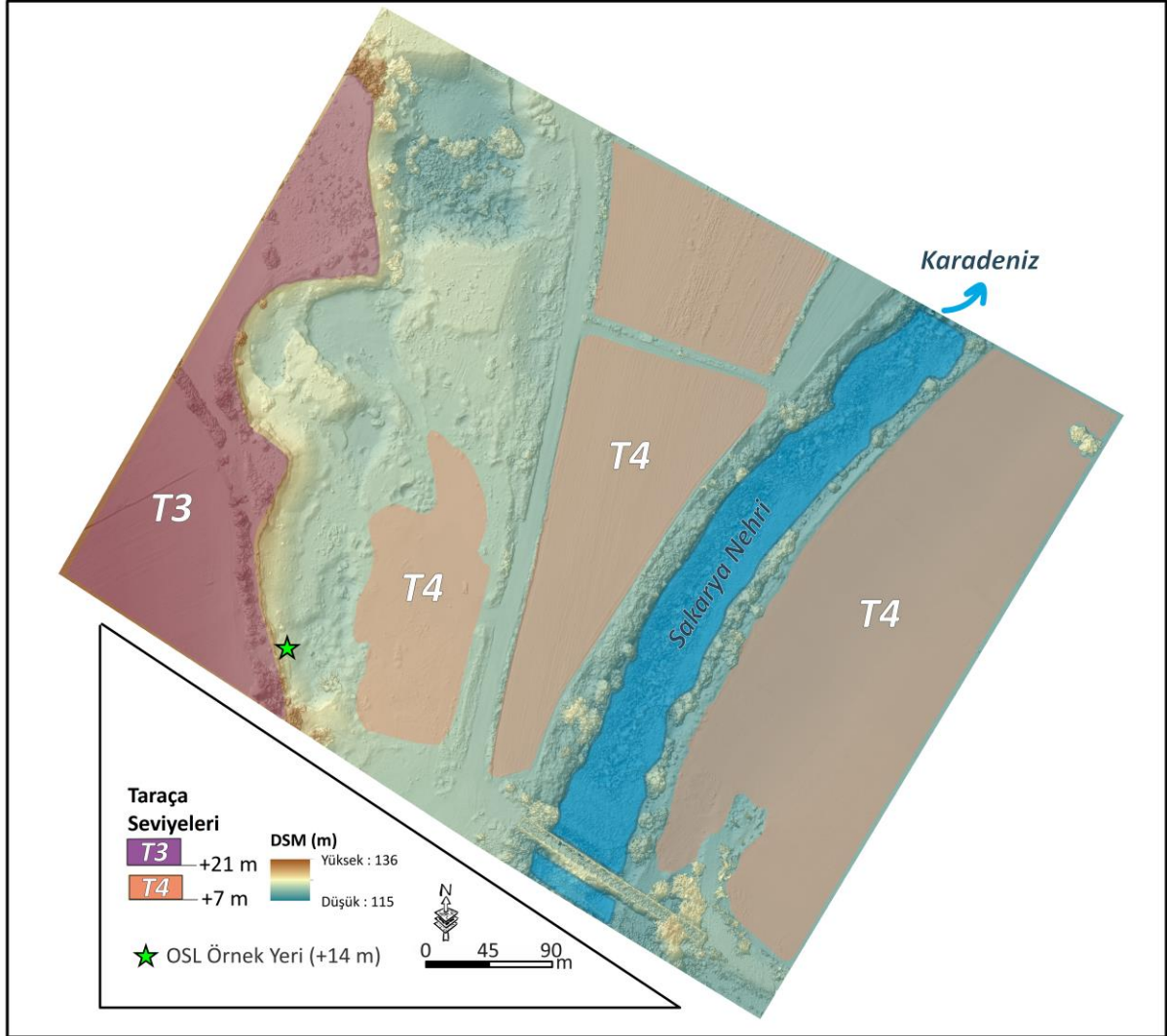
Bununla birlikte Hamitabat çevresinde gözlenen seki sistemlerinin 23 hektarlık bir alanı içerisinde gerçekleştirilen uçuş planları doğrultusunda %80 örtüşme oranına sahip olan ve 100 m yükseklikten alınan 426 adet görüntü, Agisoft Metashape Professional yazılımında değerlendirilmiştir. Görüntü işleme algoritmalarının kullanılmasıyla birlikte ilk olarak yoğun nokta bulutu elde edilmiş ve sonrasında 6,38 cm/pix (DEM) ve 3,19 cm/pix (ortomozaik) çözünürlüklü sayısal yüzey modeli üretilmiştir (Şekil 3.11).





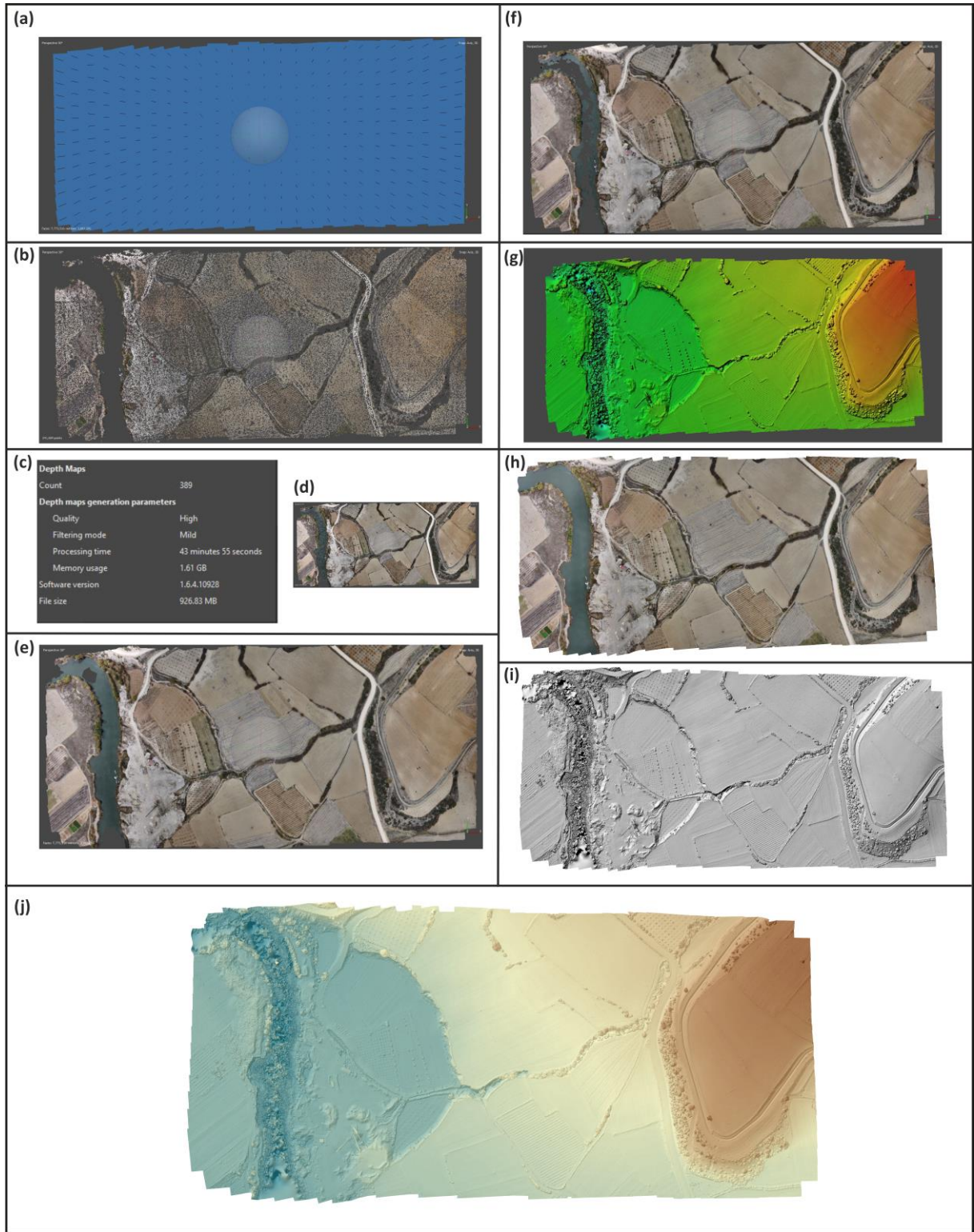
Şekil 3.11. Hamitabat Çevresindeki Seki Sistemleri Üzerinde (23 Hektarlık Bir Alan-T2, T3 ve T4) DJI Mavic Mini İHA Modeli Kullanılması Sonucunda Elde Edilen Yüksek Çözünürlüklü Sayısal Yüzey Modeli (6,38 cm/pix) ve Ortomozaik Görüntüsü.

Son olarak Küçükyenice çevresinde gözlenen seki seviyelerinin 9,5 hektarlık bir alanı içinde yukarıda ayrıntılı bir şekilde değerlendirilen yöntemin kullanılmasıyla birlikte 153 görüntü işlenmiş ve sonuç olarak 6,64 cm/pix çözünürlüklü sayısal yüzey modeli elde edilmiştir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Küçükyenice Çevresindeki Seki Sistemleri Üzerinde (9,5 Hektarlık Bir Alan-T3 ve T4) DJI Mavic Mini İHA Modeli Kullanılması Sonucunda Elde Edilen Yüksek Çözünürlüklü Sayısal Yüzey Modeli (6,64 cm/pix) ve Ortomozaik Görüntüsü.

İHA kullanılarak elde edilen fotoğrafların özellikleri ile Agisoft Metashape Professional ve ArcMap 10.5 yazılımı aracılığıyla Sayısal Yüzey Modelinin üretim aşamaları Şekil 3.13 ve Tablo 3.2’de ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.



Şekil 3.13. İHA Kullanılarak Elde Edilen Fotoğrafların Agisoft Metashape Professional ve ArcMap 10.5 Yazılımı Aracılığıyla Sayısal Yüzey Modelinin Üretim Aşamaları: (a) Fotoğrafların Çağrılması, (b) Tie Point, (c) Depth Maps, (d) Dense Cloud, (e) 3D Model, (f) Tiled Model (g) DEM, (h) Orthomosaic, (i) Hillshade ve (j) DYM/DSM Üretimi (Gemiciköy, Bilecik).

Tablo 3.2. DJI Mavic Mini Kullanılmasıyla Elde Edilen Dijital Yükseklik Modelinin Özellikleri

Yerleşme	İHA	Yazılım	Fotoğraf Adeti	İleri/ Yana Bindirme Oranı (%)	Yükseklik (m)	Hız (km/h)	Koordinatlar (Enlem - Boylam)		
Hamitabat	DJI Mavic Mini	Agisoft Metashape Pro.	426	80	100	32,2	A	40°5'59" N	30°13'40" E
							B	40°6'5" N	30°14'12" E
							C	40°5'56" N	30°14'15" E
							D	40°5'50" N	30°13'46" E
Gemiciköy	DJI Mavic Mini	Agisoft Metashape Pro.	364	80	100	26	A	40°11'27" N	30°8'43" E
							B	40°11'27" N	30°9'15" E
							C	40°11'17" N	30°9'15" E
							D	40°11'17" N	30°8'44" E
Küçük Yenice	DJI Mavic Mini	Agisoft Metashape Pro.	153	80	100	32	A	40°14'12" N	30°3'52" E
							B	40°14'6" N	30°4'7" E
							C	40°14'0" N	30°4'2" E
							D	40°14'5" N	30°3'47" E

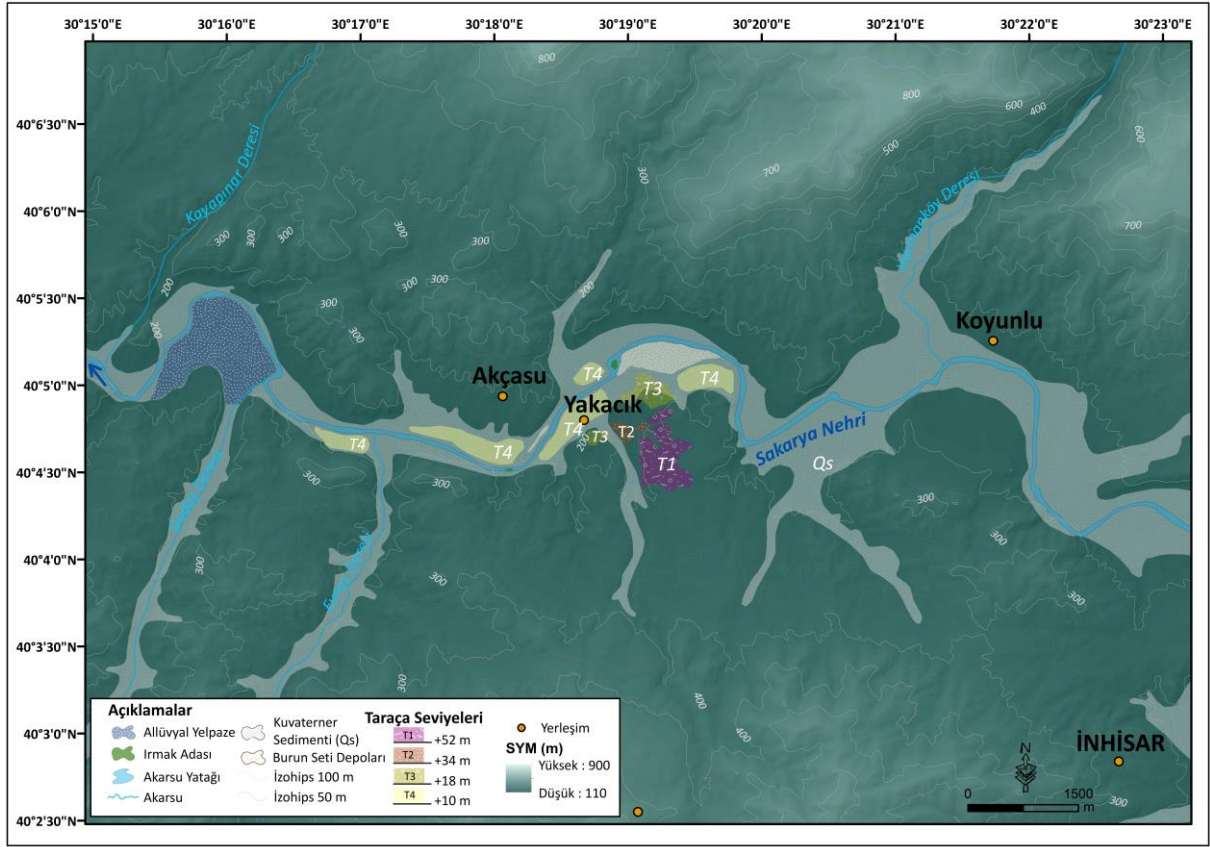
Sonuç olarak, modern flüvyal jeomorfoloji çalışmalarında ihtiyaç duyulan hassas ve çok yüksek çözünürlüklü topografya verilerinin üretilmesiyle birlikte akarsu ortamlarının çok daha detaylı bir şekilde izlenmesi, haritalanması ve analiz edilmesine olanak sunmaktadır. Dolayısıyla düşük maliyetli İnsansız Hava Araçları ve modern fotogrametri yöntemleri, hem sekilerin detaylı ve hassas olarak tanımlanmasına hem de konumsal ve zamansal olarak yüksek çözünürlüklü topografya verilerinin elde edilmesine imkân sağlamıştır.

3.4.3. Seki Sistemlerinin Stratigrafik ve Sedimentolojik Özellikleri

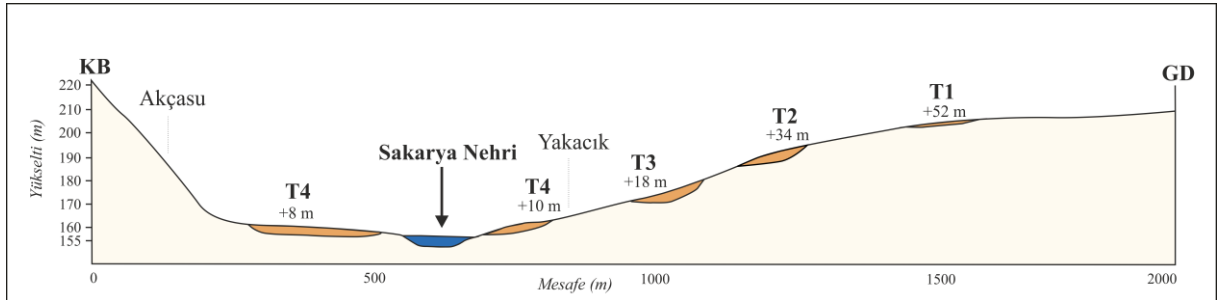
Akarsu sekileri, akarsuyun akış yönünde vadi tabanının yüksekliğinin de azalmasına bağlı olarak; Yakacık çevresinde 4 seviye, Hamitabat çevresinde 3 seviye, Gemiciköy yakınlarında 2 seviye, Küçükyenice çevresinde 2 seviye ve Selimiye’de ise 4 seviye halinde bulunmaktadır. Hamitabat çevresindekiler hariç Yakacık, Gemiciköy, Küçükyenice ve Selimiye çevresindeki sekiler vadi boyunca genelde tek bir yamaçta bulunmaktadır. Bununla birlikte vadinin bazı kesimlerinde yer alan sekiler süpürülmüş olmalarından dolayı, vadi boyunca düşey ve yatay doğrultuda düzenli bir devamlılık göstermemektedir (Karakoca ve Uncu, 2020).

3.4.3.1. Yakacık Köyü ve Çevresindeki Seki Sistemleri

İnhisar’ın kuzeybatısında bulunan Yakacık ve Akçasu köyleri çevresinde, Sakarya Nehri vadisini nispeten genişleterek akmakta ve yan kollar almaktadır. Burada deniz seviyesinden 150 m yükseklikte bulunan Sakarya Nehri’nin vadi tabanından itibaren yükseklikleri; +52 m (T1), +34 m (T2), +18 m (T3) ve +10 m (T4) olarak ölçülmüş dört seki basamağı tespit edilmiştir (Şekil 3.14). Buradaki seki basamakları, Sakarya’nın akış yönünde solda Paleozoyik yaşlı Söğüt metamorfikleri üzerine aşıl bir uyumsuzlukla gelmekte ve diğer üç seviyenin aksine sadece en alçaktaki sekiler (T4) akarsuyun her iki yakasında da gözlenebilmektedir (Şekil 3.14, Şekil 3.15).



Şekil 3.14. Yakacık Köyü ve Yakın Çevresinde Sakarya Nehri Vadisinin Jeomorfoloji Haritası. Vadi Tabanından İtibaren Dört Farklı Seki Seviyesi Bulunmaktadır. Akarsu Sekileri Dışında Diğer Önemli Morfolojik Birimler (Akarsu Yatağı, Irmak Adası, Alüvyal Yelpeze ve Burun Seti Depoları) de Haritada Belirtilmiştir.

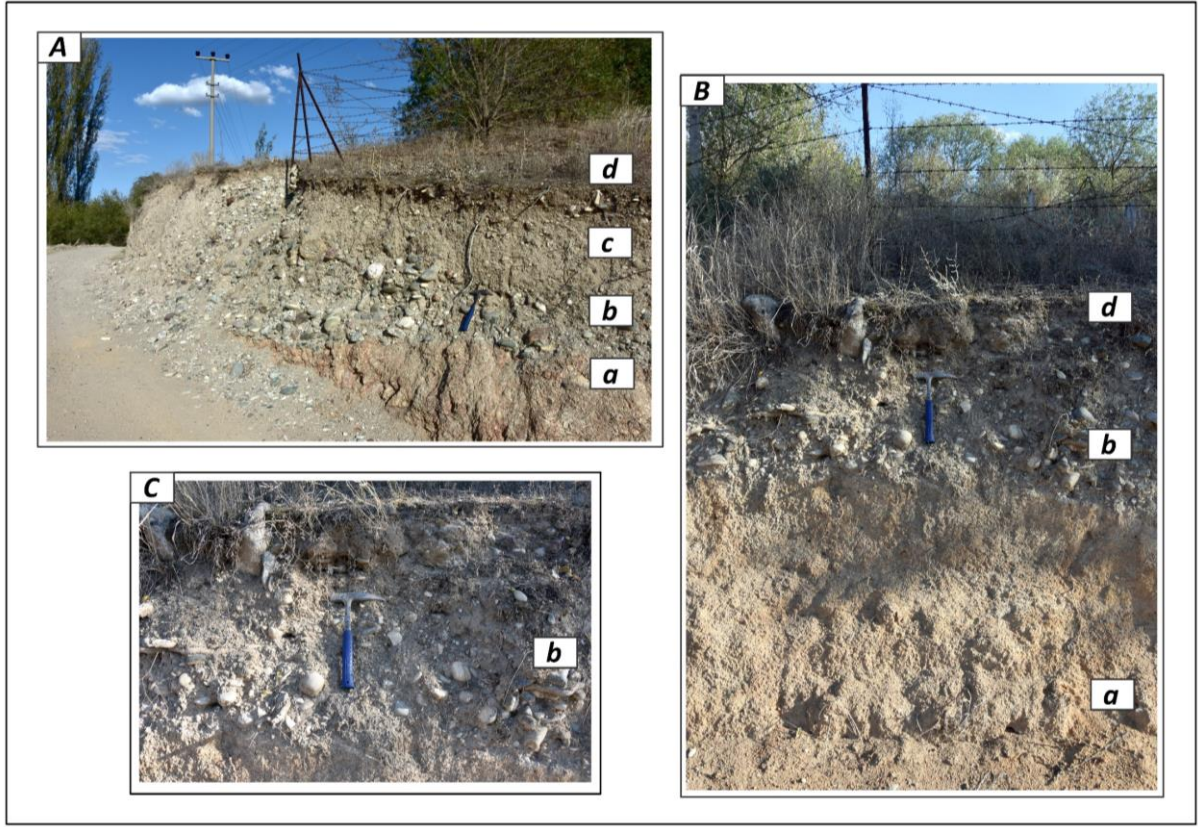


Şekil 3.15. Sakarya Nehri Vadi Tabanından İtibaren Yükseklikleri; +52 m (T1), +34 m (T2), +18 m (T3) ve +10 m (T4) Olarak Ölçülmüş Seki Sistemlerinin Enine Profili.

Seki sistemleri stratigrafik ve sedimantolojik açıdan değerlendirildiğinde en yüksekte bulunan seki basamağı (T1), tipik alüvyal seki dolgusundan yoksundur ve basamak yüzeyinde yayılmış olan ince bir çakıl örtüsü ile karakterize edildiği dikkati çekmektedir. Bu alandaki diğer seki basamakları (T2, T3 ve T4) ise nispeten daha yaygın olarak gözlenmektedir. Yakacık köyü, büyük ölçüde +34 (T2) ve +18 (T3) metrelerdeki seki basamaklarının üzerinde kurulmuştur (Foto 3.3). Özellikle Yakacık köyü içerisindeki bir yol yarmasında ortaya çıkan +18 m sekisinde (T3) alüvyal dolgunun kalınlığı 2 metreyi bulmaktadır. Bu alüvyal dolgu, biniklenmenin (çakıl yönelimi/imbrikasyon) nehrin kaynak kısmına doğru olduğu, ince-orta boy çakıllardan oluşan yatak dolgusu çökelleri ve onların üzerine gelen kil-silt boyutundaki taşkın ovası sedimanlarından oluşan iki bölümden meydana gelmekte ve en üst kısımda gelişkin bir toprak örtüsü bulunmaktadır (Şekil 3.16). Yakacık çevresindeki seki basamaklarının üzerinde, Sakarya Nehri vadisinin bu kesiminde tarıma elverişli alanların sınırlı olması nedeniyle yoğun seracılık faaliyetleri yürütülmektedir.



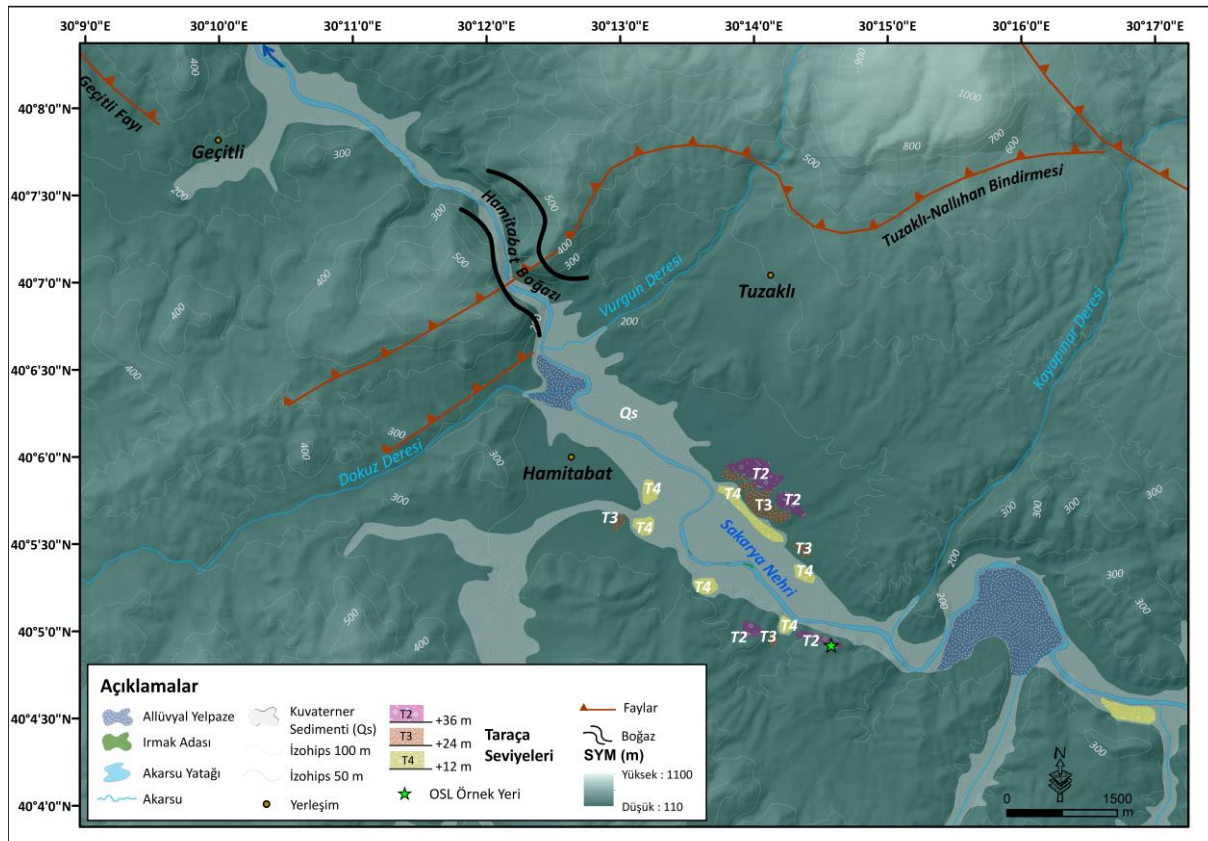
Foto 3.3. Yakacık Köyü Çevresindeki Konumları ve Yükseltileri Haritada Belirtilmiş Olan Seki Sistemlerinin Drone Görüntüsü.



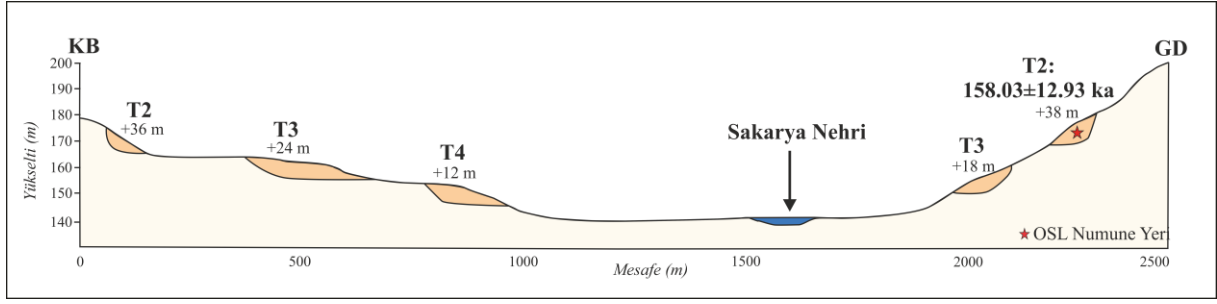
Şekil 3.16. Yakacık Köyü Yakınlarındaki T3 Numaralı Seki Deposunun Paleozoyik Yaşlı Söğüt Metamorfikleri (a) ile Dokanağı; Çapraz Katmanlı, İnce-Orta Çakıl İçeren Akarsu Yatağı Çökellerinden (b) İnce Çakıl, Killi Siltli Taşkın Ovası Çökellerine Geçişi (c) ve Toprak Örtüsü (d) (Karakoca ve Uncu, 2020).

3.4.3.2. Hamitabat Köyü ve Çevresindeki Seki Sistemleri

Çalışma sahası içerisinde seki basamaklarının gözlemlendiği ikinci alan, Hamitabat köyü çevresidir. Burada deniz seviyesinden 140 m yükseklikte bulunan Sakarya Nehri'nin tabanından itibaren +36 m (T2), +24 m (T3) ve +12 m (T4) yüksekliklerde üç seki seviyesi tespit edilmiştir (Şekil 3.17, Şekil 3.18; Foto 3.4). Bu sahada tespit edilen seki seviyeleri kalın alüvyal dolgulardan oluşmakta ve Bilecik kireçtaşlarının üzerine açısal uyumsuzlukla gelmektedir.



Şekil 3.17. Hamitabat Köyü ve Yakın Çevresinde Sakarya Nehri Vadisinin Jeomorfoloji Haritası. Vadi Tabanından İtibaren Üç Farklı Seki Seviyesi Bulunmaktadır. Sakarya Nehri Vadisi İçerisinde En Yüksek Konumda Bulunan Akarsu Seki Seviyesinden (T2) OSL Tarihlendirme Yönteminde Kullanılmak Üzere Numune Alınmıştır. Akarsu Sekileri Dışında Diğer Önemli Morfolojik Birimler (Akarsu Yatağı, Irmak Adası, Boğaz ve Alüvyal Yelpaze) de Haritada Belirtilmiştir.



Şekil 3.18. Sakarya Nehri Vadi Tabanından İtibaren Yükselikleri; +36 m (T2), +24 m (T3) ve +12 m (T4) Olarak Ölçülmüş Seki Sistemlerinin Enine Profili.



Foto 3.4. Hamitabat Köyü Çevresindeki Konumları ve Yükseltileri Haritada Belirtilmiş Olan Seki Sistemlerinin Drone Görüntüsü.

Bunlardan özellikle +24 m yükseklikteki seviye (T2), yol yarmasında görüldüğü üzere, yaklaşık 3-4 metre kalınlıkta bir alüvyal dolguya sahiptir ve sedimentolojik olarak birbirinden belirgin bir şekilde ayrılan iki bölümden oluşmaktadır. Bu bölümlerden altta bulunan kısmı yaklaşık olarak 2 metre kalınlığında, ağırlıklı olarak tane destekli ve iyi boylanmış, yatay ve paralel katmanlanmış orta irilikteki çakıllardan, üstte bulunan ise yaklaşık 1,5 metre kalınlığa sahip, yatay ve paralel laminalanmış kil-silt boyutunda taşkın ovası depolarından meydana gelmektedir (Foto 3.5). Bu durum akarsuyun akımının yüksek enerjiliden düşük enerjiliye doğru değiştiğinin de bir göstergesidir.

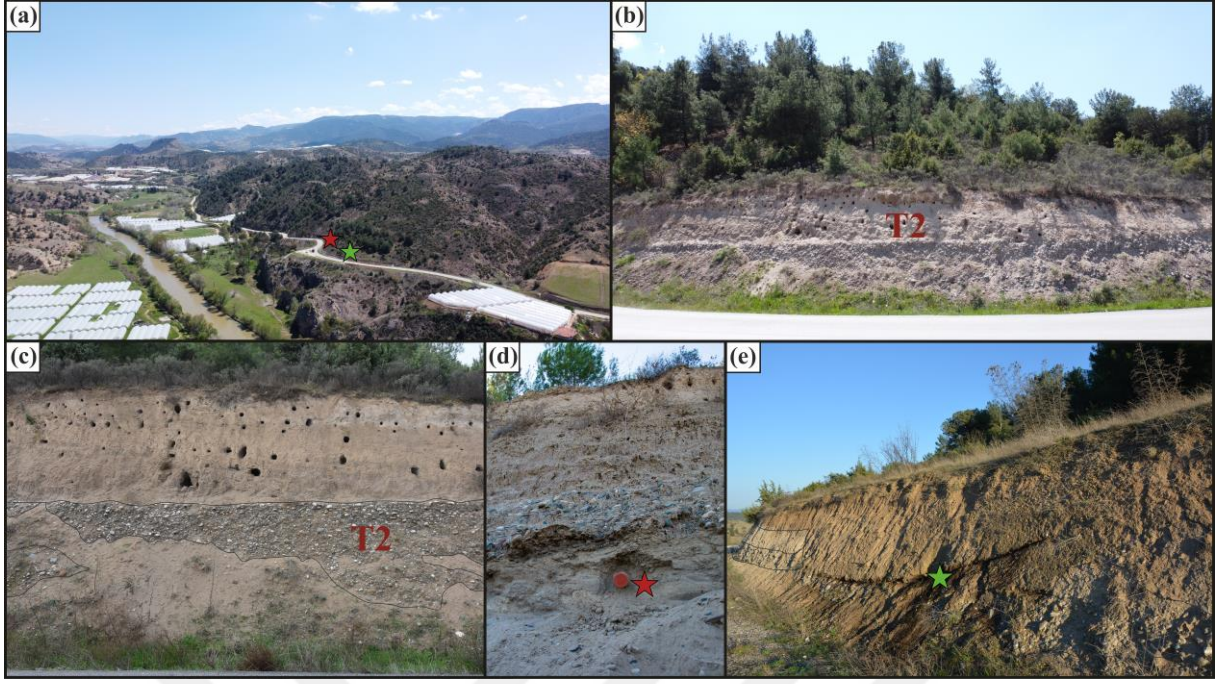
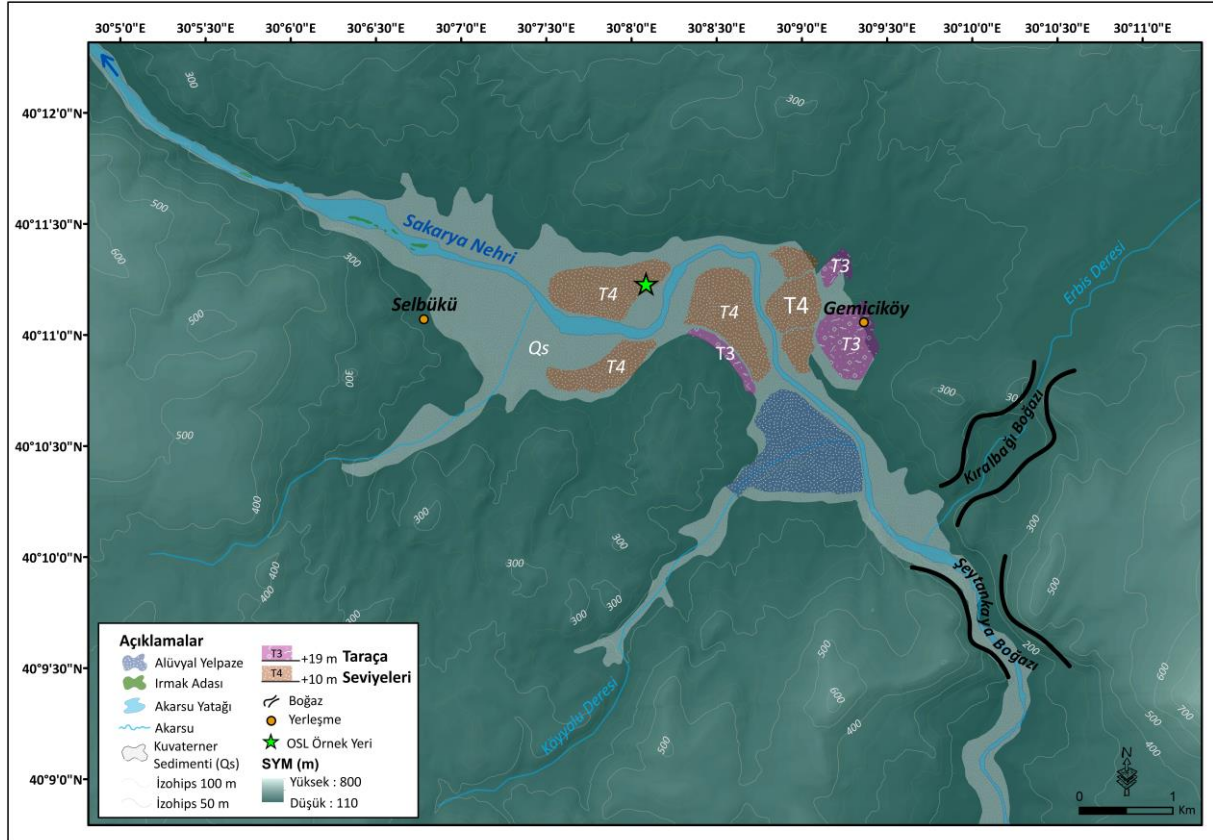


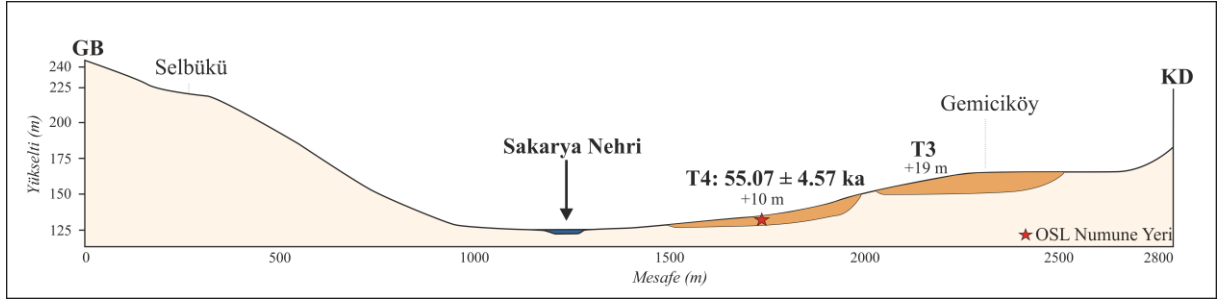
Foto 3.5. Hamitabat Köyü Yakınlarındaki T2 Numaralı Seki Deposunun Genel Görünümü. Kırmızı Yıldız OSL, Yeşil Yıldız ise C14 Tarihlendirme Yönteminde Kullanılmak Üzere Alınan Numune Yerini Göstermektedir (a-d-e). T2 Seviyesi (+24 m) Yaklaşık 3-4 metre Kalınlıkta Bir Alüvyal Dolguya Sahiptir (b) ve Sedimantolojik Olarak Birbirinden Belirgin Bir Şekilde Ayrılan İki Bölümden Oluşmaktadır (c). Bu Bölümlerden Altta Bulunan Yaklaşık Olarak 2 metre Kalınlığında, Ağırlıklı Olarak Tane Destekli ve İyi Boylanmış, Yatay ve Paralel Katmanlanmış Orta Çakıllardan Üstte Bulunan ise Yaklaşık 1,5 metre Kalınlığa Sahip, Yatay ve Paralel Laminalanmış Kil-Silt Boyutunda Taşkın Ovası Depolarından Meydana Gelmektedir (c-d).

3.4.3.3. Gemiciköy ve Çevresindeki Seki Sistemleri

Çalışma alanında sekilerin yaygın olarak gözlemlendiği üçüncü saha olan Gemiciköy çevresinde ise deniz seviyesinden 124 m yükseklikte bulunan Sakarya Nehri'nin vadi tabanından itibaren +19 m (T3) ve +10 m (T4) yüksekliklerde iki seki basamağı tespit edilmiştir (Şekil 3.19, Şekil 3.20; Foto 3.6). Seki basamakları genelde Gemiciköy formasyonunu oluşturan karasal depoların üzerine açısal bir uyumsuzlukla gelmektedir.



Şekil 3.19. Gemiciköy Köyü ve Yakın Çevresinde Sakarya Nehri Vadisinin Jeomorfoloji Haritası. Vadi Tabanından İtibaren İki Farklı Seki Seviyesi Bulunmaktadır. Sakarya Nehri Vadisi İçerisinde Alçak Konumda Bulunan Akarsu Seki Seviyesinden (T4) OSL Tarihlendirme Yönteminde Kullanılmak Üzere Numune Alınmıştır. Akarsu Sekileri Dışında Diğer Önemli Morfolojik Birimler (Akarsu Yatağı, Irmak Adası, Boğaz ve Alüvyal Yelpaze) de Haritada Belirtilmiştir.



Şekil 3.20. Sakarya Nehri Vadi Tabanından İtibaren Yükseklikleri; +19 m (T3) ve +10 m (T4) Olarak Ölçülmüş Seki Sistemlerinin Enine Profili.



Foto 3.6. Gemiciköy Köyü Çevresindeki Konumları ve Yükseltileri Haritada Belirtilmiş Olan Seki Sistemlerinin Drone Görüntüsü.

Yüksek sekiyi (T3) oluşturan yaklaşık olarak 1 metre kalınlığındaki seki deposu, yer yer iri çakıl boyutundaki yatak dolguları içeren yarı yuvarlanmış-yuvarlanmış ince-orta boy çakıllardan oluşmakta ve büyük oranda iyi çimentolanmış bir konglomera özelliği göstermektedir. Çalışma sahasında halen Yukarıkumlar mevkinde kum ocağı olarak işletilmekte olan alçak sekiyi (T4) meydana getiren depoların kalınlığı yaklaşık olarak 5 metredir. Alçak seki (T4) malzemeleri ise daha çok irili ufaklı köşeli taşlar ve kil-silt boyutundaki malzemelerden oluşmaktadır.

Düşük açılı düzlemsel çapraz katmanlanma gösteren depo içerisinde tane destekli ince çakıl tabakaları görülmektedir. Bu deponun en çarpıcı özelliği, masif katmanlanmış çakıllar içerisinde yer yer kesintili şekilde gözlenen ve dönem dönem durgunlaşan akışın göstergesi olan kil-silt bantlarının varlığıdır (Foto 3.7).

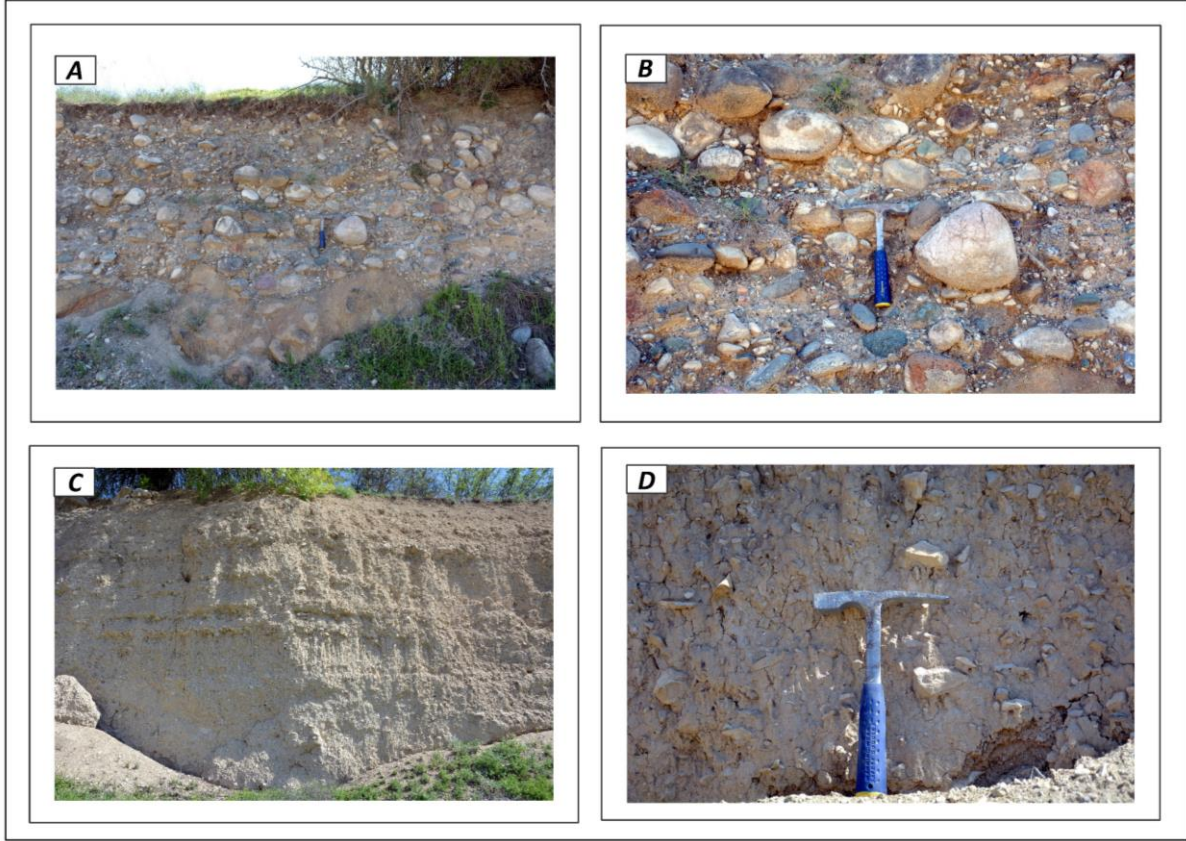
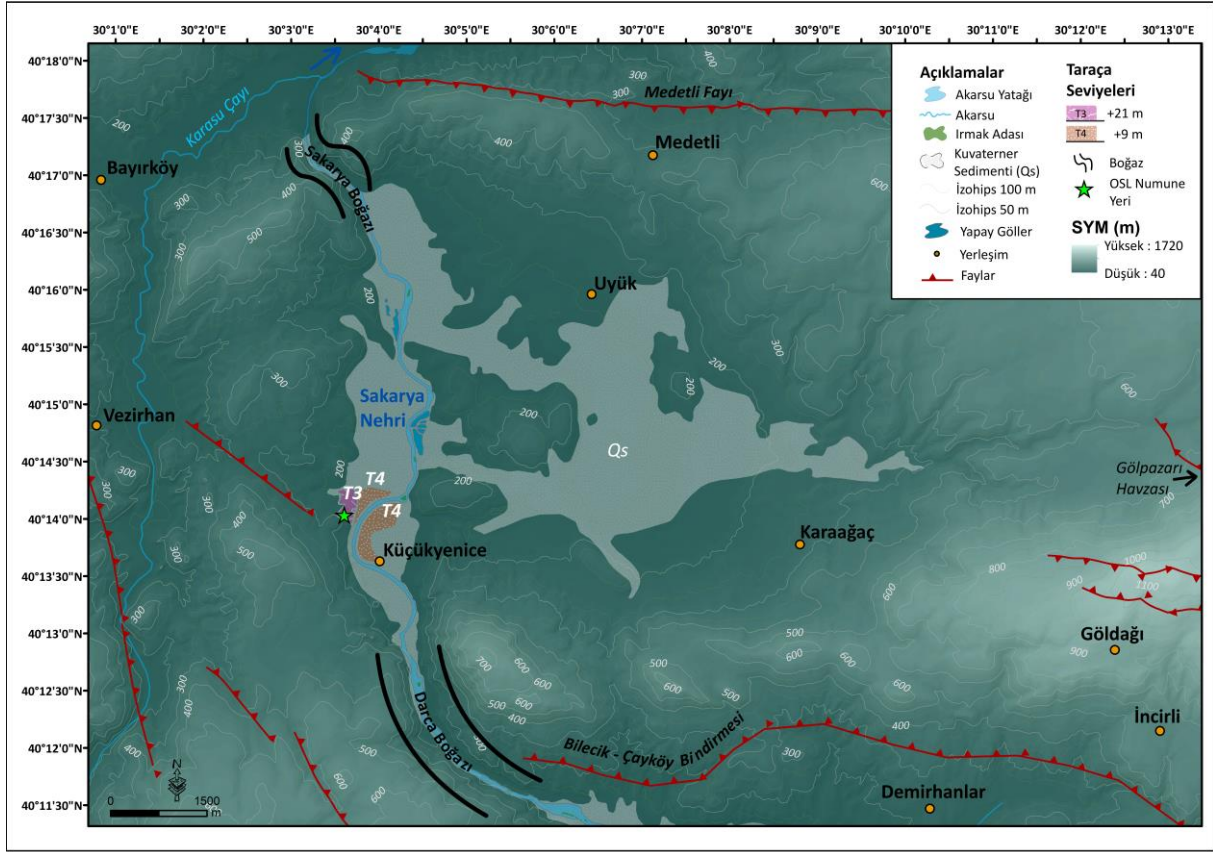


Foto 3.7. Gemiciköy Çevresindeki Yüksek Seki (T3) Deposu (A) Yarı Yuvarlanmış-Yuvarlanmış, İnce-Orta Boy Çakıllardan Oluşurken, Yer Yer İri Çakıl Boyutundaki Malzemeler İçermektedir (B). Buna karşılık Alçak Seki (T4) Deposu ise Köşeli Taşlardan ve Kil-Silt Boyutundaki Malzemelerin Bir Araya Gelmesi Sonucu Oluşmaktadır (C ve D) (Karakoca ve Uncu, 2020).

3.4.3.4. Küçükyenice Köyü ve Çevresindeki Seki Sistemleri

Çalışma alanında sekilerin yaygın olarak gözlemlendiği dördüncü saha olan Küçükyenice çevresinde ise deniz seviyesinden 115 m yükseklikte bulunan Sakarya Nehri'nin vadi tabanından itibaren +21 m (T3) ve +9 m (T4) yüksekte bulunan iki seki basamağı tespit edilmiştir (Şekil 3.21). Seki basamakları genelde Yenipazar formasyonunu oluşturan karasal depoların üzerine açısal bir uyumsuzlukla gelmektedir.



Şekil 3.21. Küçükyenice Köyü ve Yakın Çevresinde Sakarya Nehri Vadisinin Jeomorfoloji Haritası. Vadi Tabanından İtibaren İki Farklı Seki Seviyesi Bulunmaktadır. Sakarya Nehri Vadisi İçerisinde Yüksek Konumda Bulunan T3 Seviyesinden OSL Tarihlendirme Yönteminde Kullanılmak Üzere Numune Alınmıştır. Akarsu Sekileri Dışında Diğer Önemli Morfolojik Birimler (Akarsu Yatağı, Irmak Adası ve Boğaz) de Haritada Belirtilmiştir.

Bunlardan özellikle +21 m yükseklikteki seviye (T3), yaklaşık olarak 11-12 m kalınlıkta bir alüvyal dolguya sahiptir. Sedimentolojik olarak birbirinden belirgin bir şekilde ayrılan bölümleri mevcuttur. Bu bölümlerden altta bulunan yaklaşık olarak 3 m kalınlığında, ağırlıklı olarak tane destekli ve iyi boylanmış, yatay ve paralel katmanlanmış ince çakıllardan orta-iri çakıllara doğru bir geçiş gösteren kanal dolgularından oluşmaktadır. Üste doğru akarsu dinamikleri etkisinin azalmasına bağlı olarak düzlemsel çapraz katmanlanmış kumlu ve yarı yuvarlanmış-yuvarlanmış ince-orta çakıl içeren akarsu çökelleri gelmektedir. Bu birim içerisinde aynı zamanda yanık katı da mevcuttur. Daha sonra yaklaşık olarak 1-1.5 m kalınlıkta siltli ve ince kumlu birime geçiş vardır. Bu birimin üzerinde ise yeniden yarı yuvarlanmış-yuvarlanmış orta kumlu-çakıllı birimine geçiş söz konusudur (Foto 3.8).

Burada sedimanlarda derecelenmenin yanı sıra yer yer bataklık ortamını gösteren bulgular da gözlenmektedir. Sığ suların varlığını işaret eden bu tabakadan sonra ise öncelikle kumlu-siltli birim ve son olarak yaklaşık 2 metre kalınlığa sahip yatay ve paralel laminalanmış kil-silt boyutundaki taşkın ovası sedimanları gelmektedir. Bu durum akarsuyun bölgeden uzaklaştığını ve akarsu akımının yüksek enerjiliden, düşük enerjiliye doğru değiştiğini göstermektedir (Şekil 3.22).

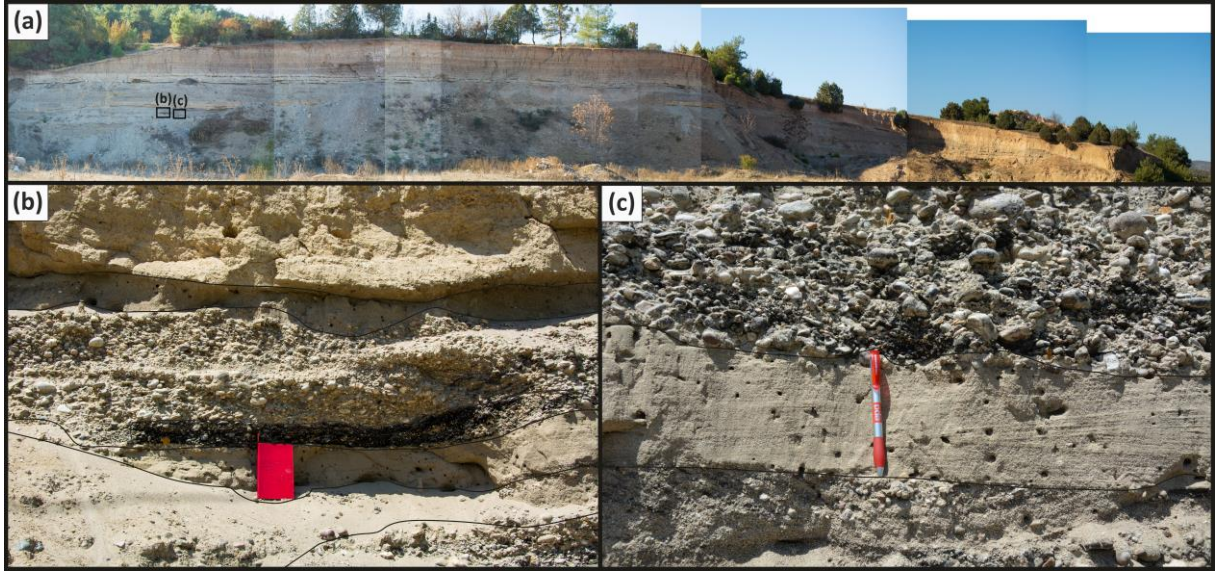
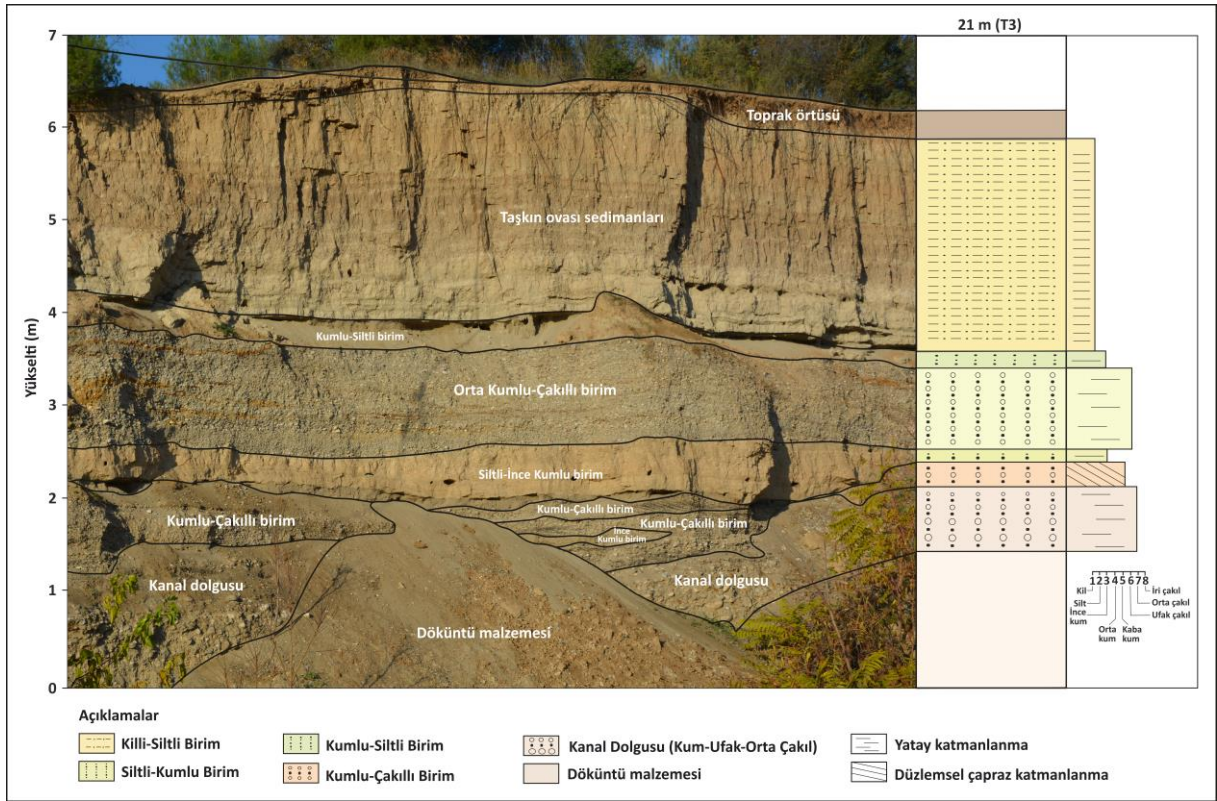


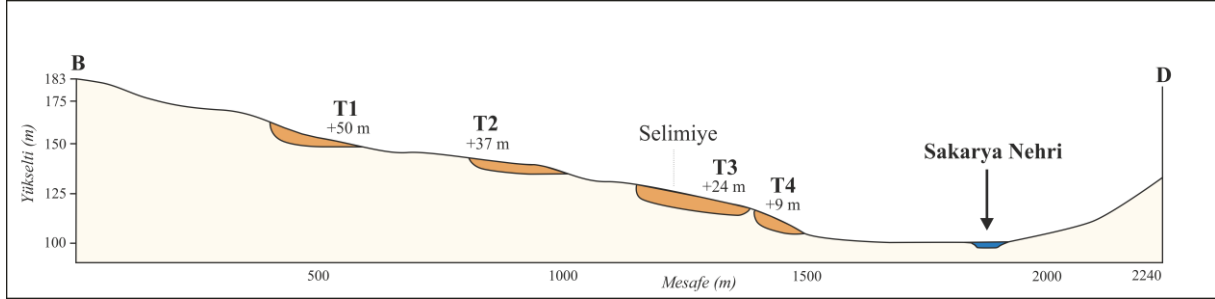
Foto 3.8. Küçükyenice Çevresindeki Yüksek Seki (T3) Deposunun Panoramik Görüntüsü (a); Depo Yarı Yuvarlanmış-Yuvarlanmış, İnce-Orta Boy Çakıllardan Oluşurken, Yer Yer İri Çakıl Boyutundaki Malzemeler ile Köşeli Taşlardan ve Kil Silt Boyutundaki Malzemelerin Bir Araya Gelmesi Sonucu Oluşmuştur. Çapraz Katmanlı ve İnce-Orta Çakıl İçeren Akarsu Yatağı Çökelleri İçerisinde Yanık Katı Mevcuttur (b-c).



Şekil 3.22. Küçük Yenice Yakınlarındaki T3 (+21 m) Deposunun Sedimentolojik ve Stratigrafik Görünümü. T3 Numaralı Seki Deposu, Yarı Yuvarlanmış-Yuvarlanmış, Yatay Tabakalı İnce-Orta Boy Çakıllardan Oluşurken Yer Yer İri Çakıl Boyutundaki Malzemeler ile Köşeli Taşlardan ve Düzlemsel Çapraz Tabakalı Kil, Silt ve Kum Boyutundaki Malzemelerin Bir Araya Gelmesi Sonucu Oluşmuştur. Bu Depo Karışık Yüklü ve Gezici Bir Kanalı Temsil Etmektedir.

3.4.3.5. Selimiye Köyü ve Çevresindeki Seki Sistemleri

Çalışma alanında sekilerin yaygın olarak gözlemlendiği son saha olan Selimiye yakınlarında ise deniz seviyesinden 100 m yüksekliklerde Sakarya Nehri'nin vadi tabanından itibaren +50 m (T1), +37 m (T2), +24 m (T3) ve +9 m (T4) yüksekte bulunan dört seki basamağı tespit edilmiştir (Şekil 3.23; Foto 3.9). Seki basamakları genelde Kızılçay formasyonunu oluşturan karasal depoların üzerine açısal bir uyumsuzlukla gelmektedir.



Şekil 3.23. Sakarya Nehri Vadi Tabanından İtibaren Yükseklikleri; +50 m (T1), +37 m (T2), +24 m (T3) ve +9 m (T4) Olarak Ölçülmüş Seki Sistemlerinin Enine Profili.



Foto 3.9. Sakarya Nehri'nde Vadi Tabanından İtibaren Dört Farklı Seviyede Tespit Edilen Seki Sistemlerinin Görünümü.

3.4.4. Seki Sistemlerinin OSL Tarihlendirme Yöntemi Kullanılarak Kronolojik Özelliklerinin Belirlenmesi

Bu çalışmada, Sakarya Nehri vadisi boyunca tespit edilen seki sistemlerinin stratigrafik-sedimentolojik özelliklerinin detaylı olarak değerlendirilmesi ve kronolojik özelliklerinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda iyi korunmuş seki basamaklarındaki uygun yerlerden alınan inorganik (kil-silt-ince kum) sediman örneklerine “Optik Uyarmalı Lüminesans (OSL)” tarihlendirme yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemin tercih edilmesinde sekilerin yaşlandırılmasında en güvenilir sonuçları veren yöntemlerden biri olarak kabul edilmesi ve Türkiye’deki laboratuvarlarda yapıyor olması etkili olmuştur. Bilimsel Araştırma Projesi’nden (BAP Proje No: 2020-01.BŞEÜ.01.01) elde edilen destek sonucunda ancak 3 adet sekiden alınan örnekler tarihlendirilebilmiştir.

OSL analizi için Hamitabat, Gemiciköy ve Küçükyenice civarındaki 3 farklı seki seviyesinin ana kayaya yakın olan siltli-çok ince kumlu bölümleri tercih edilmiştir. Yaşlandırılacak numunelerin alımı yöntem kısmında detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir. Depoların uygun olan bölümlerine 30 cm uzunluktaki kapalı metal borular çakılarak borunun içine alınmış ve gün ışığı görmemesi için karanlık bir ortamda paketlenmiştir. Daha sonra alınan örnekler, OSL tarihlendirilmesi yapılmak üzere Ankara Üniversitesi, Nükleer Bilimler Enstitüsü, Lüminesans Tarihlendirme Araştırma Laboratuvarı’na gönderilmiştir. Burada örnekler OSL tarihlendirilmesi için uygun bulunmuş ve Dr. Eren Şahiner tarafından çalışılmıştır.

OSL analiz sonuçlarına göre, Hamitabat köyü yakınındaki +36 m (T2) seki deposu içerisindeki +32 metreden alınan örnek (HMT20-01; Foto 3.10) 158.03 ± 12.93 ka, Gemiciköy çevresindeki +10 m (T3) yükseklikteki seki deposu içerisinde +5 metreden alınan örnek (GMC20-01; Foto 3.11) 55.07 ± 4.57 ka ve son olarak Küçükyenice çevresindeki +21 m (T4) yükseklikteki seki deposu içerisinde +13 metreden alınan örnek (KY20-01; Foto 3.12) ise 150.97 ± 8.49 ka yaşını vermiştir (Tablo 3.3).

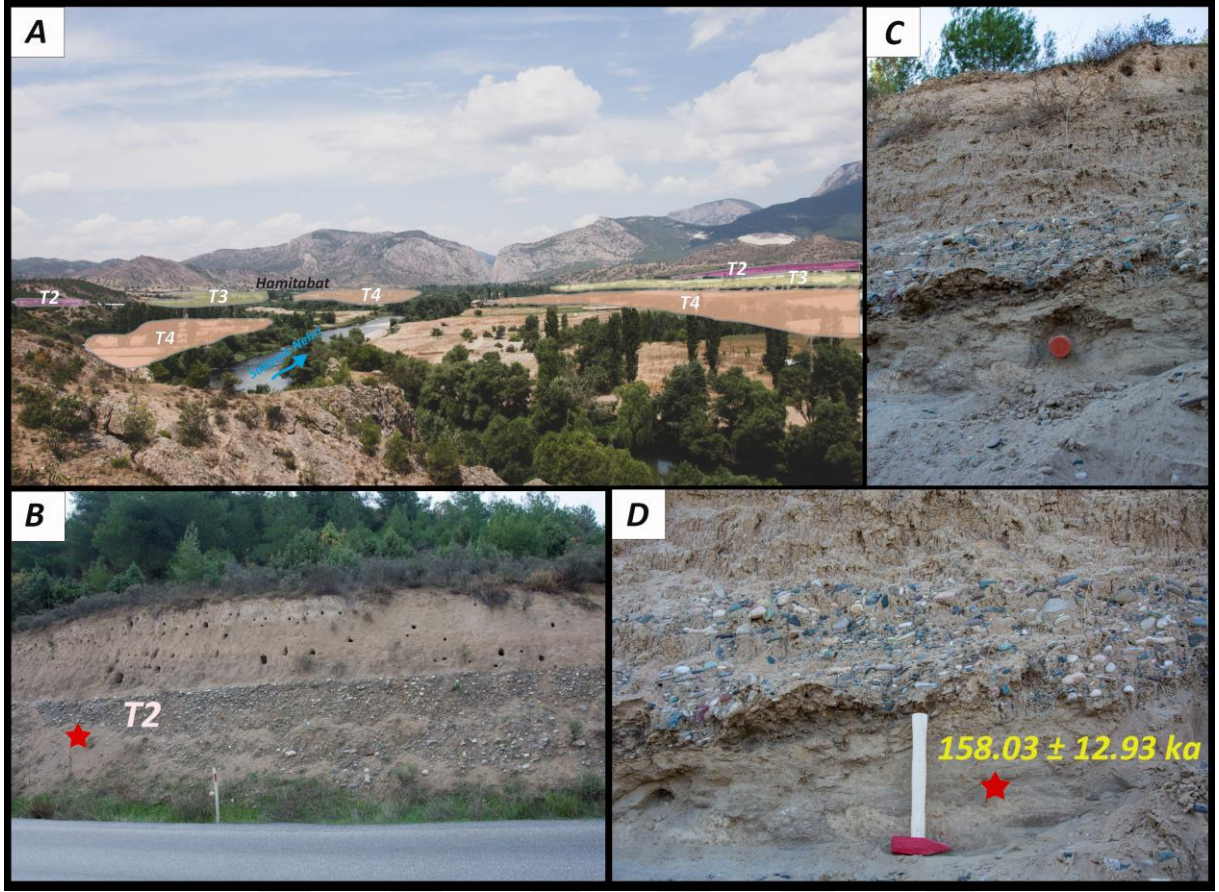


Foto 3.10. Hamitabat Köyü Çevresinde Vadi Tabanından İtibaren +36 m (T2), +24 m (T3) ve +12 m (T4) Yükseklikte Bulunan Seki Seviyeleri (A); T2 Deposu İçerisindeki OSL Numune Yeri (+32 m) ve Yaş Tayini Analizi Sonucu (HMT20-01: 158.03 ± 12.93 ka) (B-C-D).

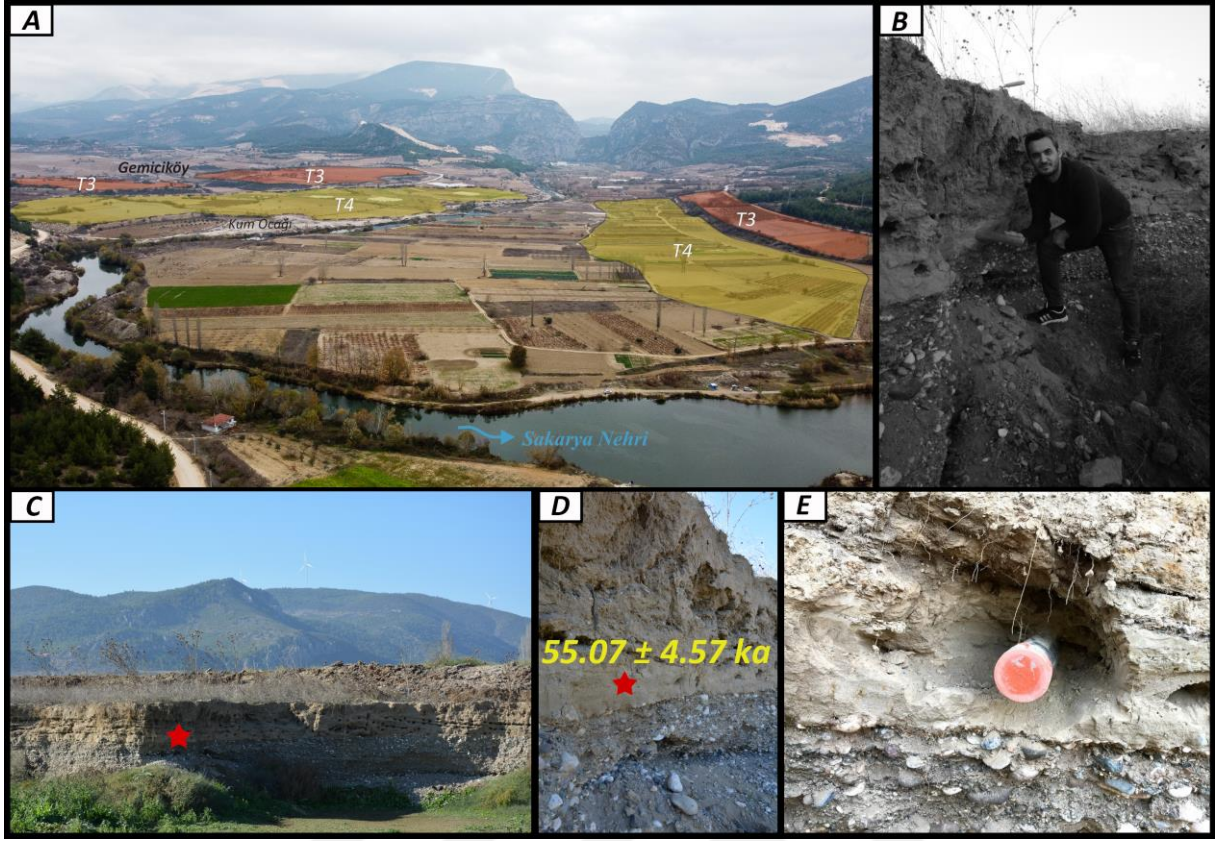


Foto 3.11. Gemiciköy Çevresinde Vadi Tabanından +19 m (T3) ve +10 m (T4) Yükseklikte Yer Alan Seki Seviyeleri (A); T3 Deposu İçerisindeki OSL Numune Yeri (+5 m, B-C) ve Yaş Tayini Analizi Sonucu (GMC20-01: 55.07 ± 4.57 ka) (D-E).

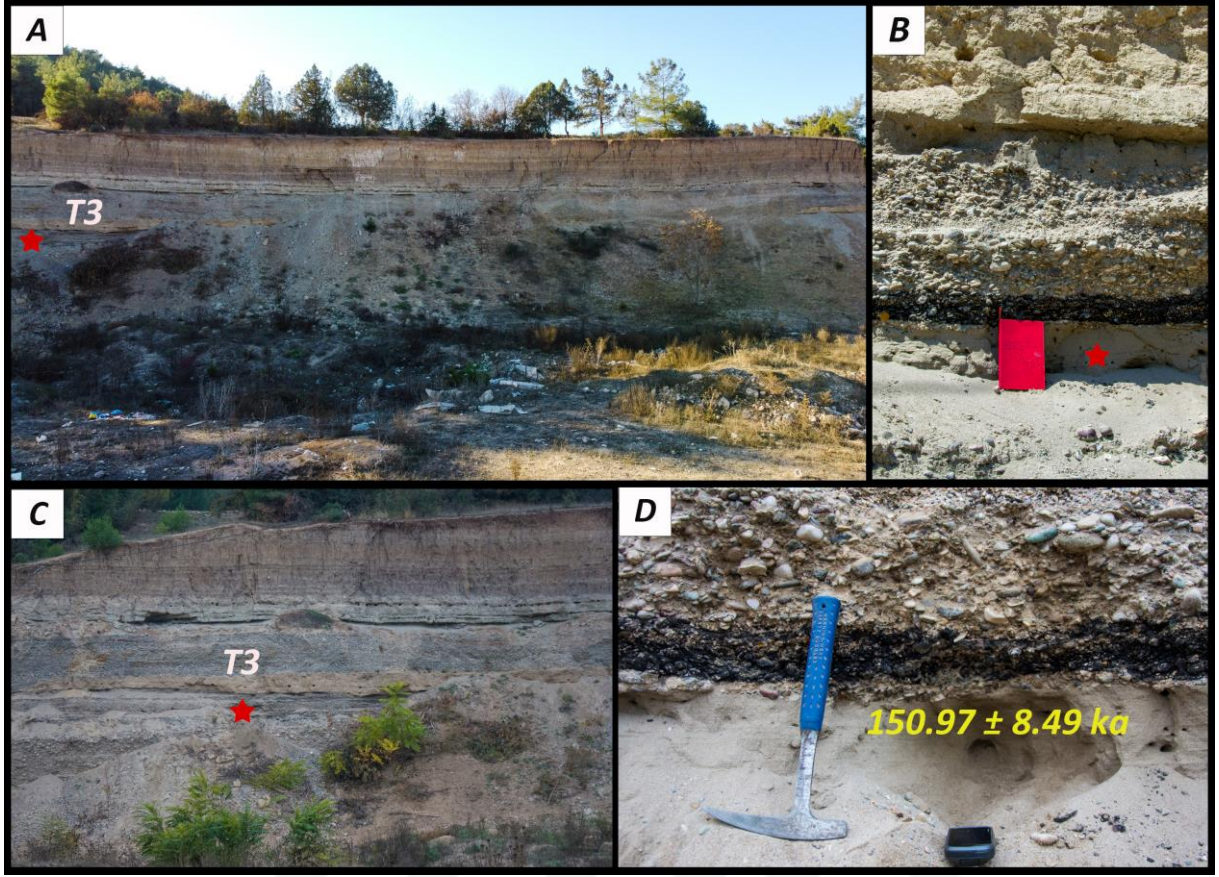
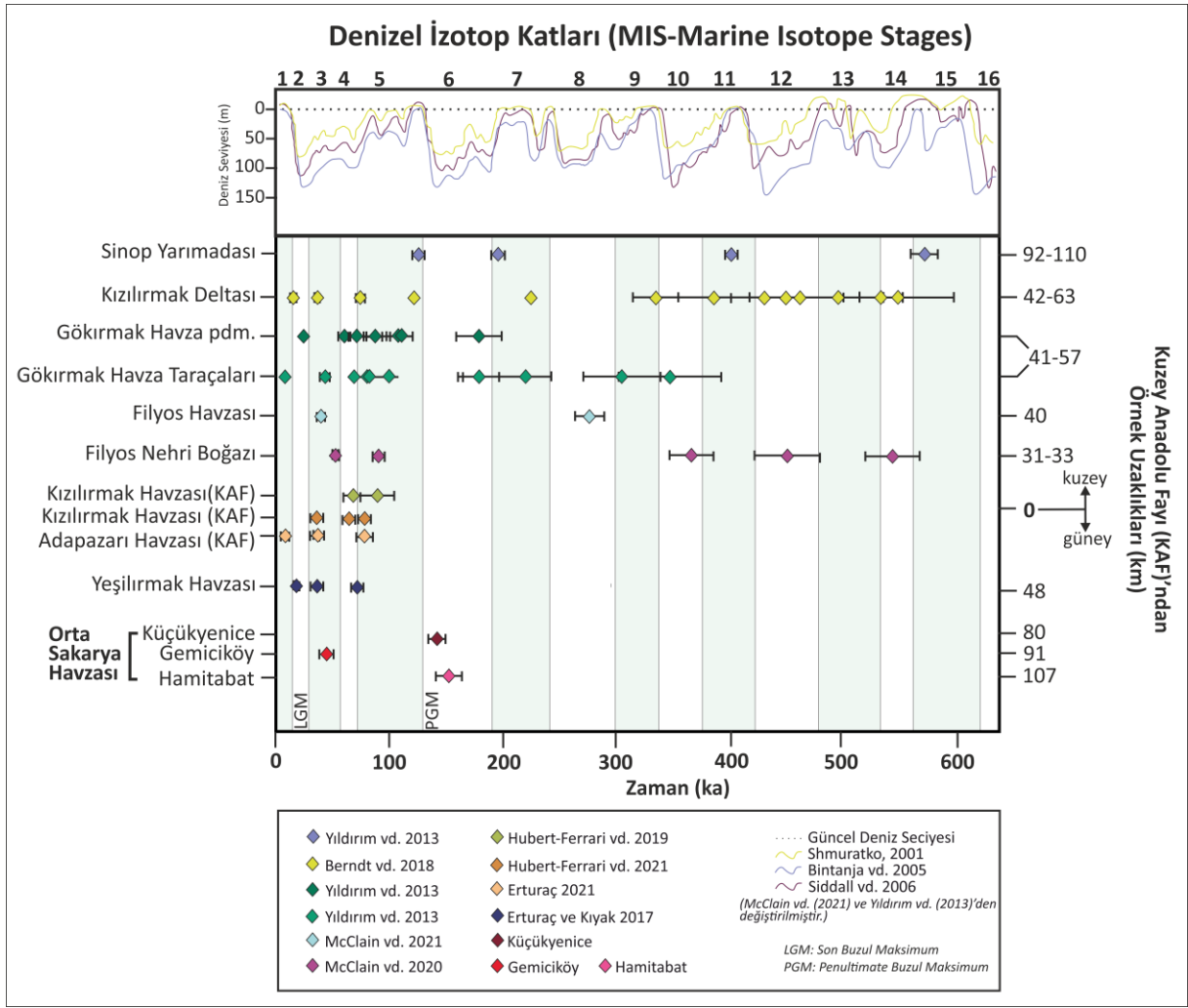


Foto 3.12. Küçükyenice Çevresinde Vadi Tabanından +21 m (T3) Yükseklikte Yer Alan Seki Depoları (A), Yer Yer İri Çakıllı ve Killi-Siltli Tabakalar İçeren Yarı Yuvarlatılmış-Yuvarlatılmış İnce-Orta Boy Çakıllardan Oluşmaktadır (B). Depo İçerisinde OSL Tarihlemesi için Alınan Örneğin Yeri (C) ve Yaş Tayini Analizi Sonucu (KY20-01: 150.97 ± 8.49 ka) (D).

Tablo 3.3. Optik Uyarmalı Lüminesans (OSL) Tarihlendirme Verileri ve Sonuçları

Saha No.	Derinlik (m)	Tam Bölen	Tane Büyüklüğü (µm)	Eşdeğer Doz (Gy)	OD (%)	U (ppm)	Th (ppm)	K (%)	Rb (ppm)	H ₂ O (%)	Kozmik Doz (mGy/yr)	Doz Oranı (mGy/yr)	Yaş (bin yıl/ka)
HMT20-01	0.3	16/16	90-140	270.58 ± 18.25	26 ± 5	1.56 ± 0.04	4.42 ± 0.66	1.31 ± 0.03	40.7803 ± 1.1439	30 ± 5	0.24 ± 0.02	1.71 ± 0.08	158.03 ± 12.93
GMC20-01	0.3	16/16	90-140	100.73 ± 7.2	28 ± 5	1.41 ± 0.04	4.94 ± 0.57	1.47 ± 0.03	46.8881 ± 1.1439	30 ± 5	0.24 ± 0.02	1.83 ± 0.08	55.07 ± 4.57
KY20-01	0.3	16/16	90-140	265.19 ± 8.18	11 ± 2	1.48 ± 0.04	5.3 ± 0.67	1.33 ± 0.03	41.5429 ± 1.1439	30 ± 5	0.24 ± 0.02	1.76 ± 0.08	150.97 ± 8.49

Buna göre seki sistemlerine ait depolar, kabaca 50-160 ka yılları arasında değişen zamanlardaki biriktirme süreçlerine işaret etmektedir. Denizel İzotop Evreleri dikkate alındığında, söz konusu tarihlerden genç olan MIS3c'ye (interglasyal) ve yaşlı olanlar ise MIS6b'ye (interstadyal) karşılık gelmektedir. Buna göre Sakarya Nehri, görelî ılık ve nemli geçen interglasyal ve interstadyal dönemler boyunca yatağında birikim yapmıştır. Buna karşılık soğuk ve/veya soğuk-sıcak geçiş dönemlerinde ise yatağını kazarak sekileri oluşturmuştur. Elde edilen tarihllemeler, akarsuyun yatağının kazılımı için “Penultimate Buzul Maksimumu” ve “Son Buzul Maksimumu”nu işaret etmektedir (Şekil 3.24).



Şekil 3.24. Denizel İzotop Katları (MIS- Lisiecki ve Raymo, 2005) ve MIS-16'dan Günümüze Kadar Değişen Karadeniz Deniz Seviyesi Eğrileri (Shmuratko, 2001; Bintanja vd., 2005; Siddall vd., 2006; Yıldırım vd., 2013 ve McClain vd., 2021'den değiştirilmiştir) (Üstte). Grafiğin Arka Planındaki Açık Yeşil Sütunlar MIS Sıcak Dönemlerini, Beyaz Renkler ise Soğuk Dönemleri İfade Etmektedir. Batı ve Orta Pontidler Boyunca Yapılan Çalışmaların Konumu ve Elde Edilen Radyometrik Tarihlendirme Sonuçları (Çalışmaların Kuzey Anadolu Fay Zonu'na Uzaklıkları Sağ Tarafta Belirtilmiştir) (Altta). Her Renk Bir Çalışma Sahasını Temsil Etmektedir. Çalışmaların Referansları Açıklamalar Kısımında Belirtilmiştir.

Bu durumda çalışma sahası içerisinde elde edilen OSL tarihlendirmeleri, Kuzey Anadolu’da daha önce yapılmış benzer çalışmaların sonuçları ile uygunluk göstermektedir (Kızılırmak, Doğan, 2009, 2010, 2011; Yeşilirmak, Erturaç ve Kıyak, 2017; Sakarya, Erturaç vd., 2019; Erturaç, 2021; Filyos, McClain vd., 2021). Buna karşın Türkiye’de farklı bölgelerde yapılan diğer çalışmalar (Demir vd., 2007; Seyrek vd, 2008; Demir vd., 2009; Demir vd., 2012; Altın vd., 2017) ve özellikle Avrupa nehirlerinin flüvyal biriktirme-kazılma evreleri ile örtüşmemektedir (Avşin, 2020).

Analiz sonuçları, daha önce Sakarya Nehri’nin aşağı çıkışında Erturaç vd. (2020) tarafından yapılmış olan çalışmaya ek olarak, Orta Sakarya vadisindeki seki sistemlerinde yapılmış ilk tarihlendirmeli çalışma olma özelliğini taşımaktadır. Buna göre çalışma sahasındaki seki sistemleri, Orta ve Geç Pleyistosen’e tarihlendirilmiştir. Tarihlendirme sonuçları, aynı zamanda sekilerin de oluşmasına neden olan “bölgenin yükselimi ve akarsuyun kazılım oranı” hakkında da fikir verecektir.

3.5. Sakarya Nehri Vadi Tabanı

Sakarya Nehri vadisi; İnhisar, Hamitabat, Gemiciköy, Küçükyenice ve Selimiye köyü çevresinde havza karakteri göstermesi bakımından nispeten genişleme imkânı bulmuştur. Burada yer yer geniş bir alüvyal tabana sahip olan Sakarya Nehri, kısmen menderesler çizerek akmaktadır. Bunun yanı sıra Sakarya Nehri’nin oluşturduğu dar ve derin boğazların bulunduğu yerlerde vadi tabanı genişleme imkânı bulamamıştır. Sakarya Nehri vadi tabanının özellikle genişleme imkânı bulduğu yerlerde akarsu yatağı, alüvyal yelpaze, ırmak adası ve burun seti depoları gibi önemli jeomorfolojik birimler bulunmaktadır.

3.5.1. Akarsu Yatağı

İnhisar ve Osmaneli arasında Sakarya Nehri'nin akışı iki farklı doğrultuda olmaktadır. İlk olarak İnhisar-Hamitabat arasında batıya doğru akış gösteren Sakarya Nehri, daha sonra Hamitabat'tan Osmaneli'ne kadar kabaca kuzey-kuzeybatı doğrultulu bir akış göstermektedir.

Bununla birlikte çalışma sahası içerisinde İnhisar-Osmaneli arasındaki akarsu yatağının deniz seviyesine göre yükselti değeri sürekli düşüş göstermektedir. İnhisar yakınlarında akarsu yatağının nispi yükseltisi yaklaşık olarak 170 metredir. İnhisar'dan itibaren batıya doğru gidildikçe akarsu yatağının deniz seviyesinden olan yükselti değeri, özellikle seki sistemlerinin gelişme imkânı bulduğu Yakacık yakınlarında 150 m, Hamitabat yakınlarında 140 m, Gemiciköy çevresinde 124 m, Küçükyenice yakınlarında 120 metrelere kadar değişim gösterirken çalışma sahasının kuzey sınırını oluşturan Selimiye-Osmaneli arasında yaklaşık olarak 100 metreye kadar düşmüştür. Böylece Sakarya Nehri yatağının nispi yükselti değeri sürekli düşüş göstermekte ve ortalama 70 metrelik bir seviye farkı ortaya koymaktadır. Bu durum da yatak içerisindeki eğim değerinin düzenli bir düşüş gösterdiğini de ortaya koymaktadır.

3.5.2. Irmak Adası ve Burun Seti Depoları

Çalışma sahası içerisinde özellikle Yakacık, Hamitabat, Gemiciköy, Küçükyenice ve Selimiye yakınlarında Sakarya Nehri'nin vadi tabanı genişlemektedir. Burada yaklaşık olarak 1-2 km kadar genişleme imkânı bulan Sakarya Nehri vadi tabanı içerisinde ırmak adası ve burun seti depoları bulunmaktadır (Foto 3.13).

Genel olarak kum ve çakıl içeren bu birimler, sadece Sakarya Nehri'nin dinamikleri ve hidrolojik özelliklerinden kaynaklı oluşmamaktadır. Bunun yanı sıra nehir üzerinde yapılan barajlarda suyun tutulması sonucunda nehir gücünün azalması ve yan kolların getirmiş olduğu malzemenin vadi tabanının genişleme imkânı bulduğu yerlerde birikim yapması bu birimlerin oluşumunda önemli bir rol oynamamaktadır.

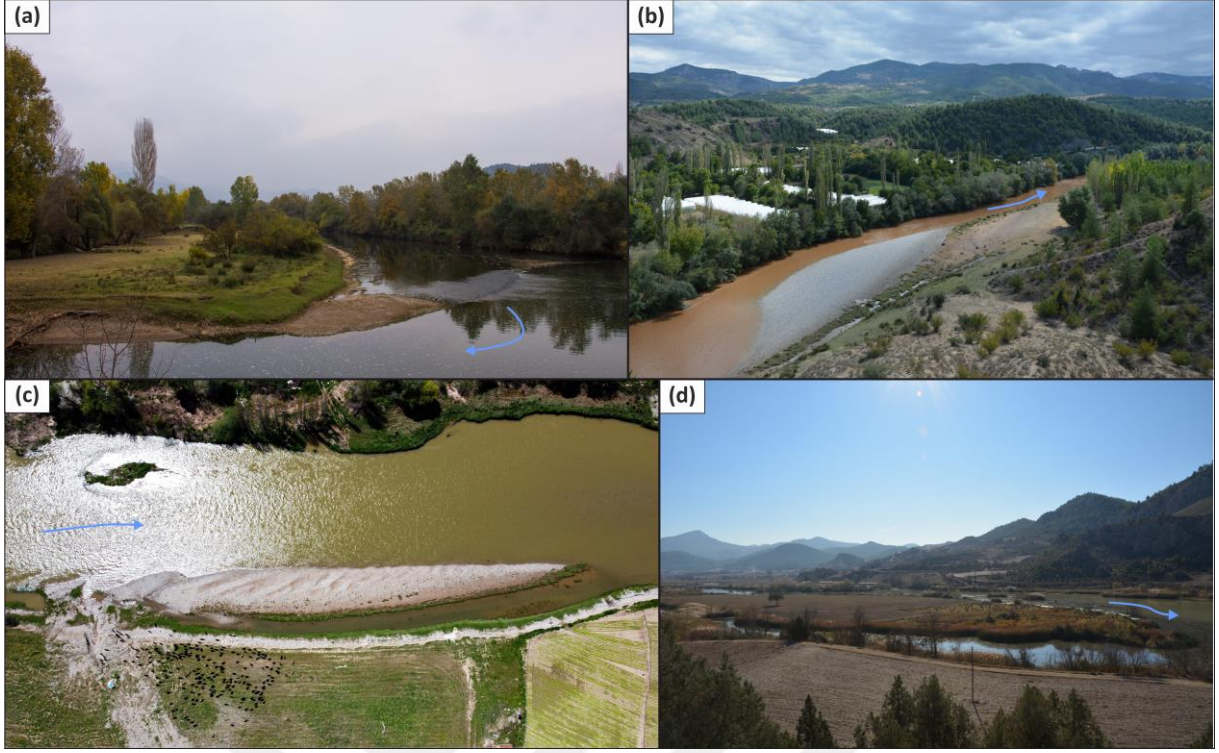


Foto 3.13. İnhisar-Yakacık Arasındaki Burun Seti Depoları (a-b) ile Hamitabat (c) ve Gemiciköy’deki Irmak Adalarının (d) Görünümü.

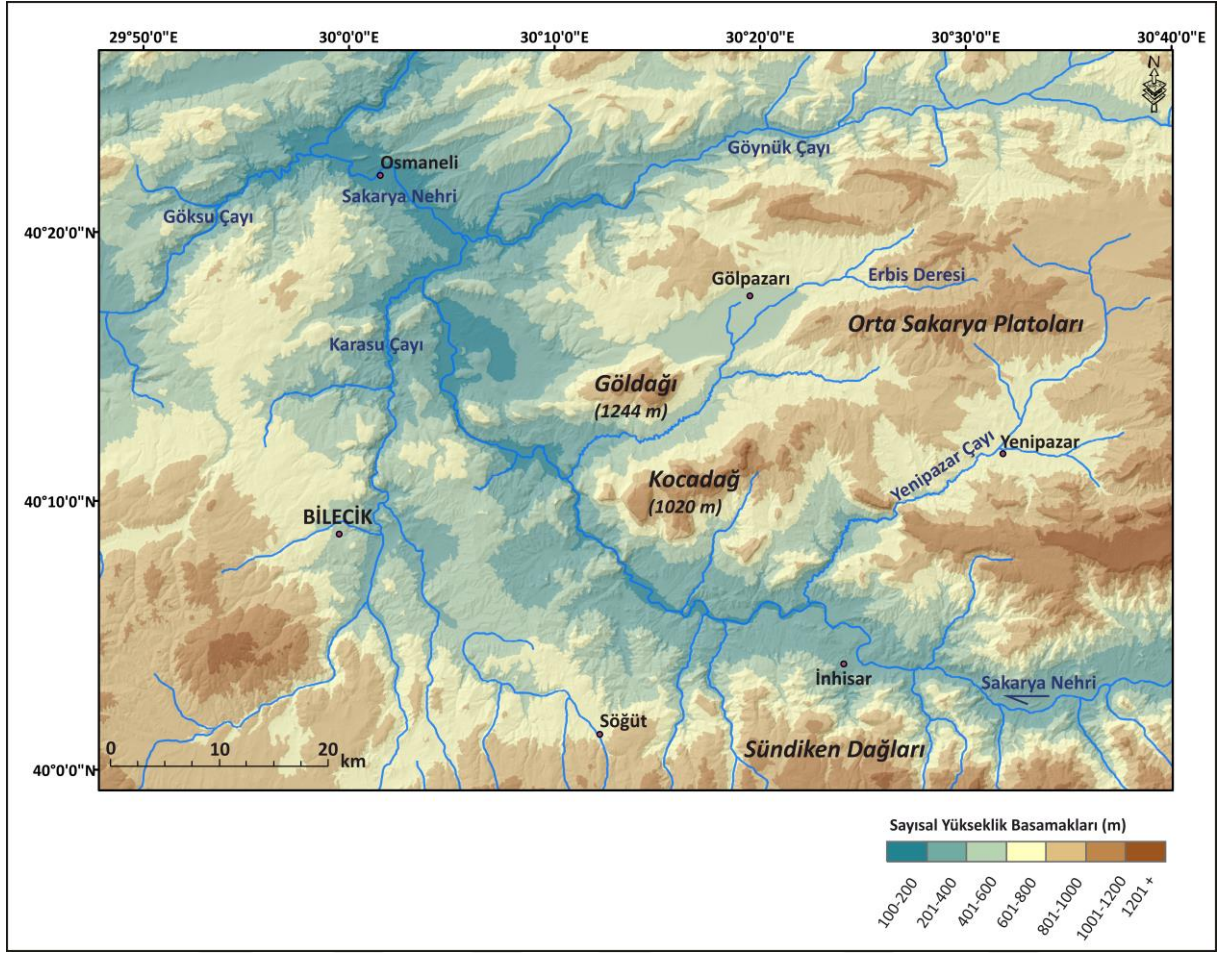
4. ARAŞTIRMA SAHASININ MORFOMETRİK ÖZELLİKLERİ

Çalışma sahasında bulunan yer şekillerinin, topografik özelliklerinin ve jeomorfolojik özelliklerinin sayısal (kantitatif) olarak ortaya konulabilmesi amacıyla profil ve eğim analizleri ile birlikte morfometrik indisler kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan başlıca analizler; akarsu boyuna profili, vadi enine profili, topografik alan (SWATH) profili ve eğim analizi ile birlikte morfometrik indisler (hipsometrik eğri (Hc)-hipsometrik integral (Hi), vadi tabanı genişliği-vadi yüksekliği oranı (Vf), akarsu uzunluk-gradyan indisi (SL) ve asimetri faktörü (AF) ile akarsu sinüsellik ve kanal paterni) oluşturmaktadır. Araştırma sahasında profillerin ve morfometrik indislerin nasıl uygulanması gerektiği konusundaki ayrıntılı bilgi yöntem kısmında verilmiştir.

Son yıllarda faylarla kontrol edilen drenaj havzalarında, tektonik aktivitenin drenaj sistemleri üzerine etkileri jeomorfolojik modellemeler ve morfometrik yaklaşımlar kullanılarak açıklanmaktadır. Topografya yüzeylerinin özelliklerini ortaya koymak amacıyla boyuna ve enine profiller çıkartılarak eğim analizleri yapılmaktadır (Karadoğan, 2005). Buna karşılık, morfometrik indis parametreleri ise bir sahanın tektonik aktivite durumunun ortaya konulması ve deformasyonun açıklanabilmesi bakımından büyük önem taşımaktadır (Keller ve Pinter, 2002).

Çalışma sahası jeomorfolojik olarak, Sakarya Nehri'nin Orta Sakarya Platoları ile Sündiken Dağları arasında GD-KB yönünde akış gösterdiği, lokal havzaları birbirine bağlayan dar-derin boğazları ve birkaç basamak halinde gözlenen seki sistemlerinin varlığı ile karakterize edilmektedir. Araştırma sahası içerisinde Sakarya Nehri'nin vadi tabanı ile yüksek dağlık alanlar ve plato yüzeyleri arasında yükselti farkı yer yer 1000 m'yi aşmaktadır. Çalışma sahası içerisindeki plato yüzeyleri 1100 m'lerde yer alan düzlükleri oluştururken 800-600 m civarında yarılmış ve kademeler halinde vadi tabanına geçilmektedir. Nitekim araştırma alanının en alçak kesimini Osmaneli yakınlarında Sakarya Nehri'nin vadi tabanı (100 m), en yüksek yerini ise çalışma sahasının doğusunda yer alan Göldağı (1244 m) ve Kocadağ (1020 m)'in doruğu oluşturmaktadır (Şekil 4.1).

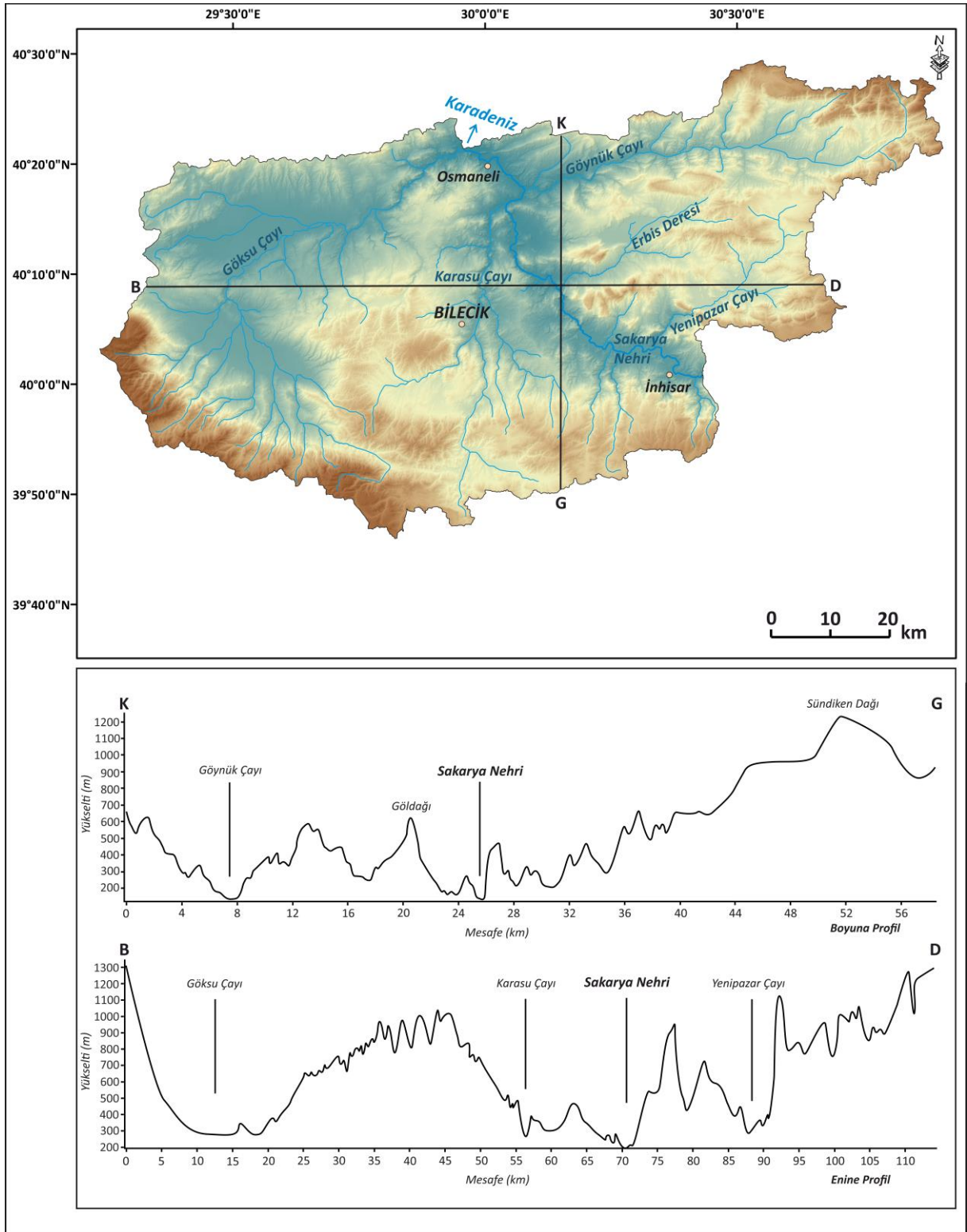


Şekil 4.1. Çalışma Sahasının Sayısal Yükselti Basamakları Haritası. Orta Sakarya Platoları Olarak Adlandırılan Morfolojik Ünitenin Batı Sınırını Oluşturan Çalışma Sahasında En Yüksek Alanları Göldağı (1244 m) ve Kocadağ (1020 m) Oluşturmaktadır.

4.1. Profil Analizleri

Morfolojinin iç ve dış kuvvetlere verdiği tepkinin analiz edilmesinde, topografik profiller, akarsu boyuna profilleri ve drenaj ağı analizleri en yaygın kullanılan yaklaşımlar arasındadır (Perez-Pena vd., 2017). Topografik profiller uzun vadeli morfoloji dengesini gösterirken, akarsu boyuna profilleri ve drenaj ağı analizleri morfolojinin tektonik, litolojik ve iklimsel değişikliklere kısa vadeli tepkisini ortaya koymaktadır.

Boyuna profiller, genellikle topografyadaki yer şekillerinin hâkim uzanışı yönünde çizilen bir hat boyunca çıkarılır ve genellikle arazinin yarıлма derecesini verir. Buna karşılık yer şekillerinin genel uzanışına dik ve bu şekilleri kesen hatlar boyunca alınan enine profiller topografyadaki eğim kırıklıkları, tektonik ve litolojik özellikleri gibi birçok durumun açıklanmasında yardımcı olmaktadır (Şekil 4.2; Karadoğan, 2005).

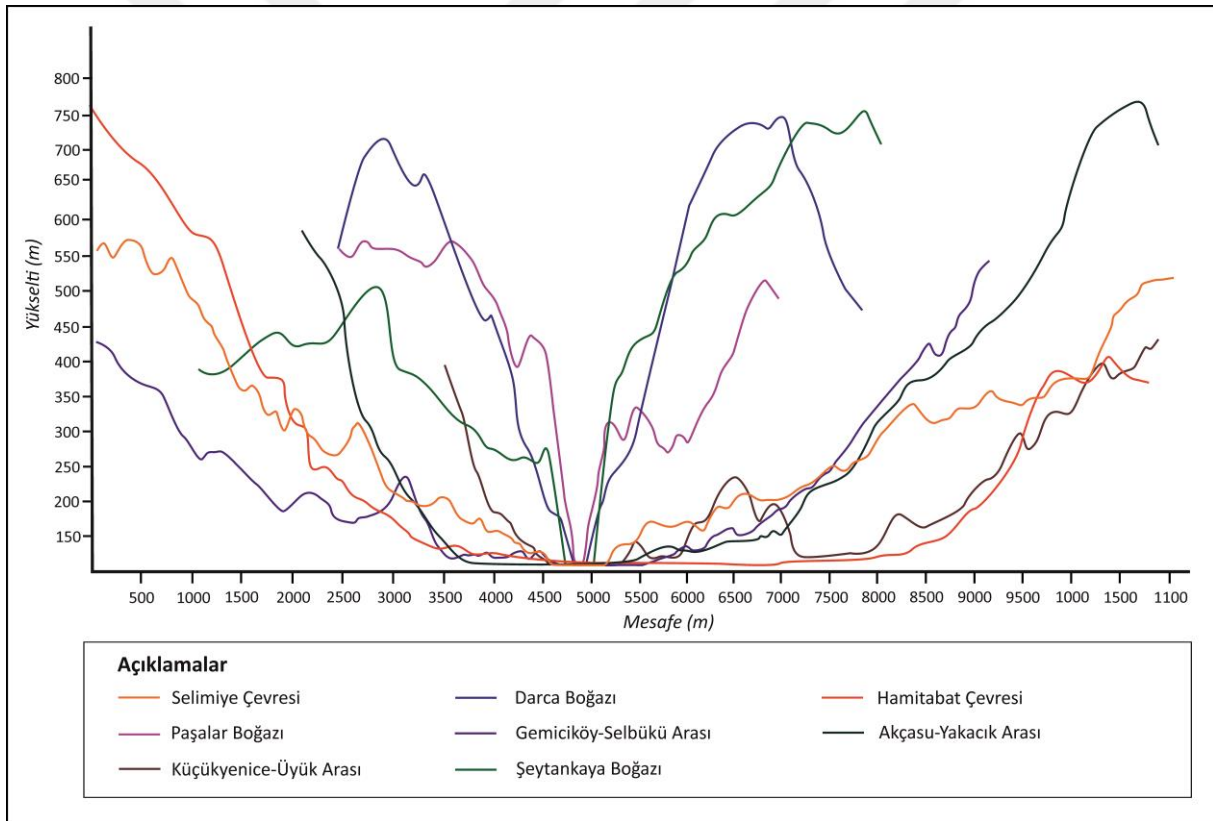


Şekil 4.2. Çalışma Sahasının Genelleştirilmiş Boyuna ve Enine Profilleri.

4.1.1. Akarsu Vadisinin Enine Profilleri

Akarsu vadisinin enine profilleri, vadinin yamaç özelliklerini, akarsuyun kestği jeolojik-litolojik birimleri ve yatak eğiminde meydana gelen değişimleri göstermesi bakımından oldukça önemlidir. Bununla birlikte akarsu yatağı boyunca çeşitli yerlerde gözlenen alüvyal tabanlar, boğazlar ve dar vadiler enine vadi profilleri yardımıyla kolaylıkla belirlenebilmektedir.

Araştırma sahasının genel topografik uzanışı KD-GB doğrultusundadır. Bu sebepten dolayı araştırma sahanın topografik karakterini daha iyi göstermesi açısından farklı doğrultulara sahip 8 adet vadi enine profilleri üretilmiştir (Şekil 4.3). Birbirinden farklı özelliklere sahip olan bu profiller, akarsu vadi tabanı yükseltisinde (100 m) çakıştırılmış ve sahanın genel morfolojik karakteri açıklanmaya çalışılmıştır.



Şekil 4.3. Çalışma Sahasındaki Sakarya Nehri Vadisinin Enine Profilleri.

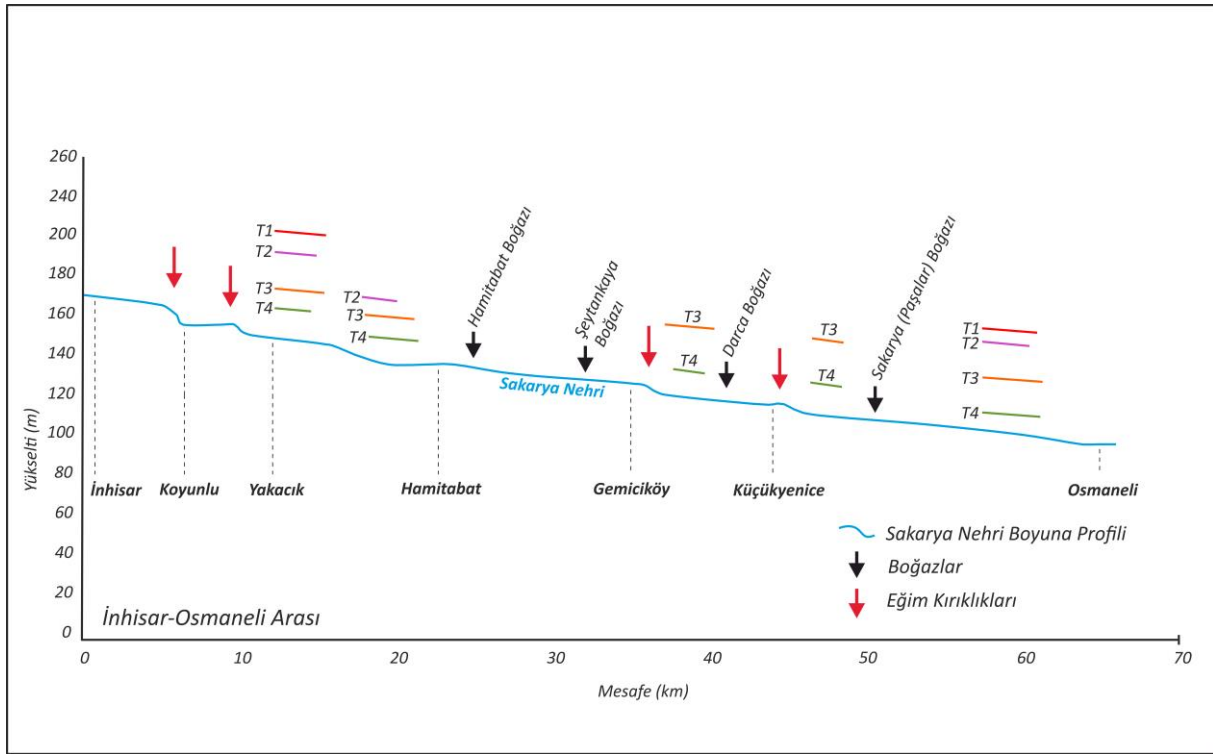
Vadi enine profillerine bakıldığında, Sakarya Nehri'nin oluşturmuş olduğu vadi yamaçlarının tek tip bir profile sahip olmadığı görülmektedir. Alınan profillerde, vadi yamaçlarındaki basamaklanmalar (bazı bölgelerdeki seki sistemleri), dar ve derin boğazlar (Şeytankaya, Darca ve Paşalar Boğazı vb.) ile alüvyon tabanlı vadiler dikkati çekmektedir. Özellikle Sakarya Nehri vadisinin her iki yamacında hem eğim şartları hem de basamaklanma durumunun farklı olduğu dikkati çekmektedir. Yakacık-Akçasu köyleri arasında, Hamitabat ve Gemiciköy köyü çevresi ile Selimiye köyü yakınlarında genellikle vadinin bir yamacında birkaç basamak haline gözlenen seki sistemlerinin bulunduğu alanlar basamaklı yapı göstermektedir. Bu mevkiiler aynı zamanda vadinin en çok genişlediği alanlara karşılık gelmekte ve tabanlı bir vadi gelişimine imkân sunmaktadır. Buna karşılık boğazların içinde yamaçlar oldukça dar ve derindir. Bazı yerlerde ise özellikle Hamitabat, Geçitli ve Küçükyenice çevresinde her iki yamaç profili arasında bir asimetrik durum söz konusudur. Genellikle vadi yamaçlarının her iki yamaçta aynı profillere sahip olmaması genellikle akarsuyun aşındırması, bölgede etkili olan bölgesel ve/veya lokal tektonik aktivite ile birlikte farklı litolojik birimlerin varlığıyla açıklanabilmektedir.

4.1.2. Akarsu Boyuna Profilleri

Akarsuyun boyuna profilleri, özellikle akarsu yatak eğiminde meydana gelen eğim kırıklıklarının (Knickpoint) yorumlanması için oldukça önemlidir. Bu eğim kırıklıkları tektonik aktivite, litolojik farklılıklar veya iklimsel değişimlere bağlı olarak gelişirler ve akarsu yatağının kısa vadeli tepkilerini yansıtır.

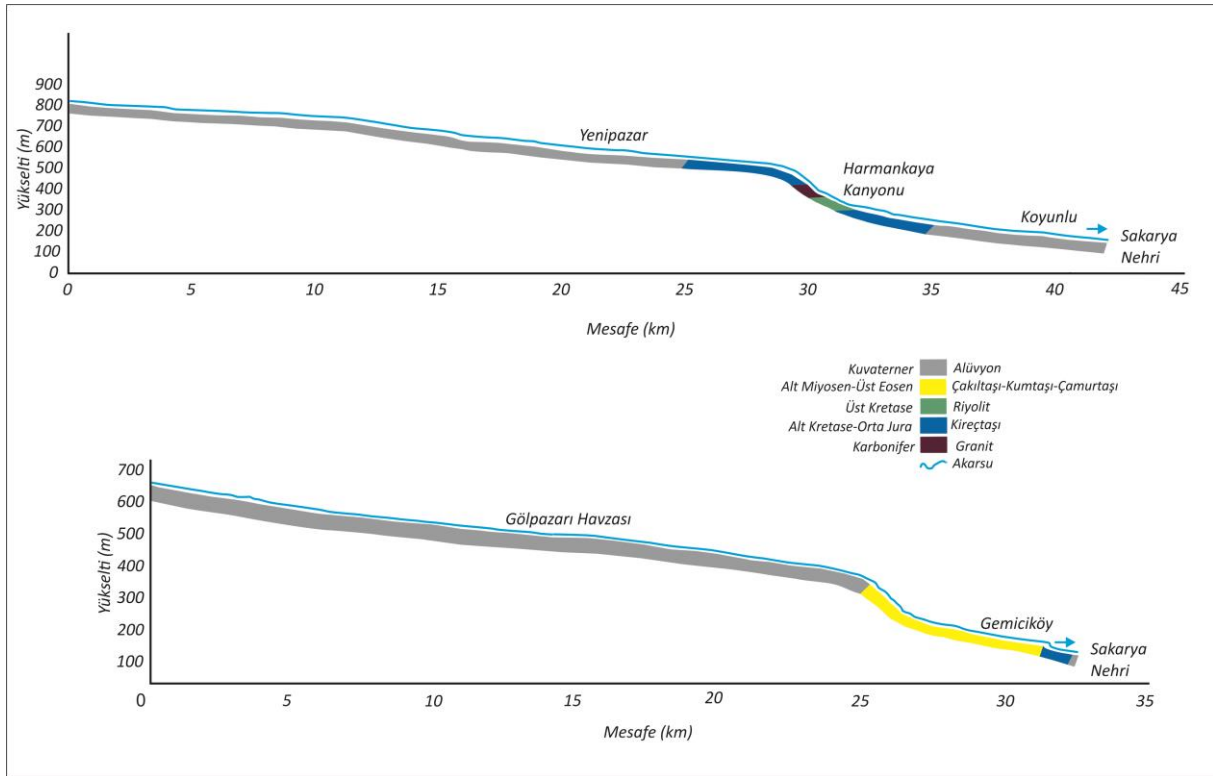
Çalışma sahası içerisindeki ana akarsu olan Sakarya Nehri ve önemli yan kollarından Yenipazar, Erbis ve Karasu Çayı'nın boyunu profilleri oluşturulmuştur. Bu profillerde eğriselliklerin (iç bükey-konkav ve dış bükey-konveks durumu) ve eğim kırıklarının değerlendirilmesi için her profilin altına ayrıca litolojik özellikleri eklenmiştir. Böylece profilde meydana gelen eğim kırıklığının sebebi belirlenmiştir. Özellikle tektonik aktivitenin vadi profili üzerindeki etkisini ortaya koyabilmek için morfometrik analizler (SL analizi gibi) kullanılmıştır.

İnhisar-Osmaneli arasında Sakarya Nehri'nin yatağı boyunca alınan boyuna profilde akarsu vadisinin aynı litolojik birim içerisinde düzenli bir eğim göstermesi beklenirken, bunun tersine Kuvaterner yaşlı alüvyal birimler içerisinde eğim kırıklıkları gösterdiği dikkati çekmektedir. Bu kırıklıklar araştırma sahasındaki lokal tektonik aktiviteye işaret etmektedir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Sakarya Nehri Yatağı Boyunca Alınan Akarsu Boyuna Profili. Kuvaterner Yaşlı Alüvyal Birimler İçerisinde Gözlenen Eğim Kırıklıkları Çalışma Sahasındaki Lokal Tektonik Aktiviteye İşaret Etmektedir.

Sakarya Nehri'nin ana vadisinin dışında önemli yan kolları olan Yenipazar Çayı ve Erbis Deresi'nin yatağı boyunca alınan boyuna profilde de çeşitli eğim kırıklıkları tespit edilmiştir. Yenipazar Çayı yatağı boyunca alınan boyuna profilde, Karbonifer yaşı birimlerden (granit) Üst Kretase yaşı kireçtaşlarına geçiş sırasında ve Erbis Deresi yatağı boyunca alınan profilde ise Üst Eosen-Alt Miyosen yaşı çakıltaşı-kumtaşı-çamurtaşı ardalanmalı birimler içerisinde bazı eğim kırıklıklarının olduğu tespit edilmiştir. Buradaki eğim kırıklıkları ise araştırma sahasındaki lokal tektonik aktivitenin aksine litolojik farklılıktan kaynaklanmaktadır (Şekil 4.5).



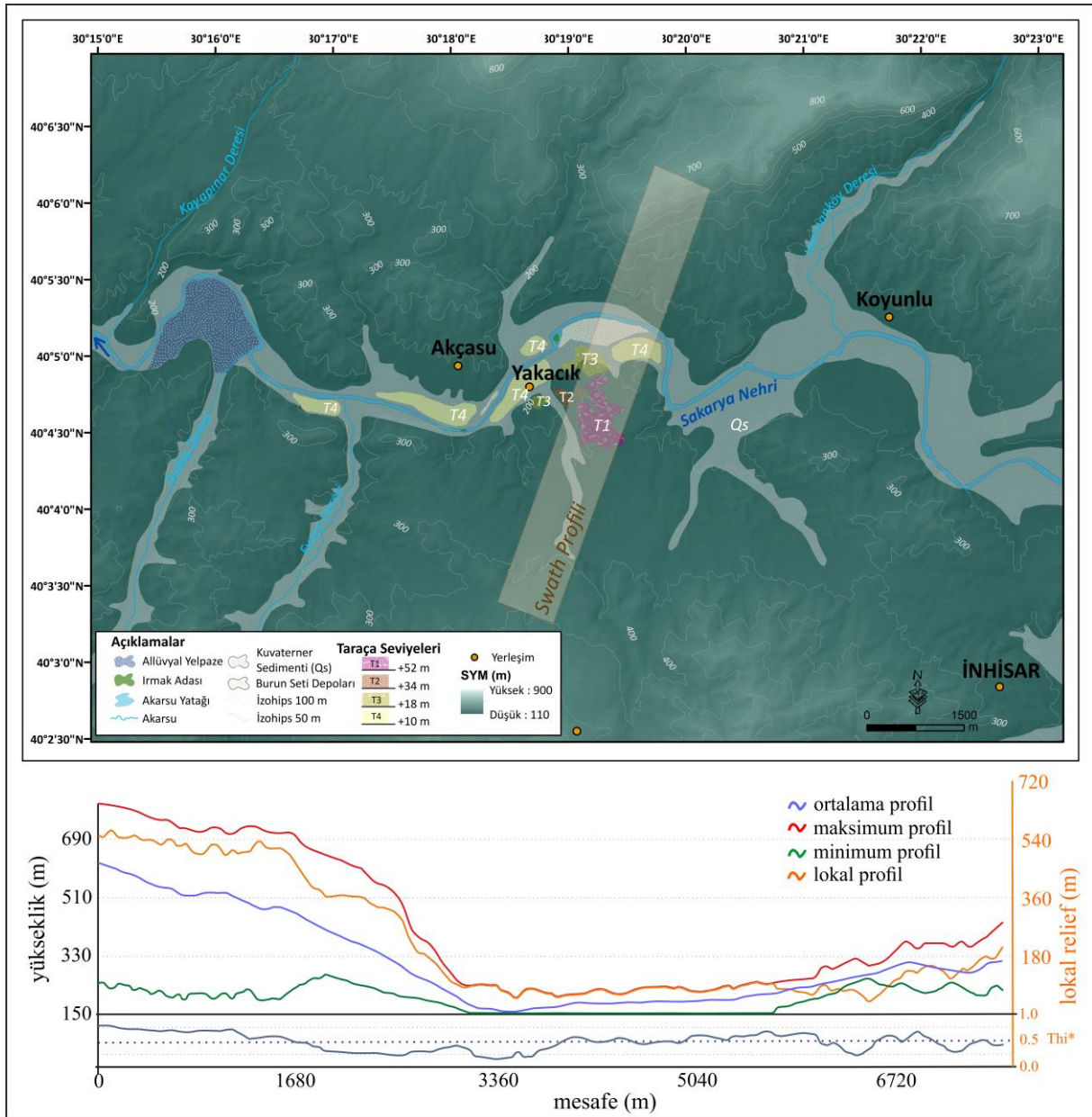
Şekil 4.5. Sakarya Nehri'nin Önemli Kolları Yenipazar Çayı ve Erbis Deresi Yatağı Boyunca Alınan Boyuna Profiller. Profillerde Gözlenen Eğim Kırıklıkları Litolojik Farklılıktan Kaynaklanmaktadır.

4.1.3. Topografik Alan (SWATH) Profilleri

Topografik alan profilleri (SWATH), morfolojinin, tektonik, litolojik ve iklimsel değişimlere karşı uzun vadeli tepkisini göstermesi bakımından oldukça önemlidir. SWATH profillerde, akarsu vadisinin boyuna ve enine profillerinde olduğu gibi çizgisellik değil alansal bir dağılım söz konusudur. Bu doğrultuda, SWATH profilleri oluşturulurken, her bir kesit için maksimum, minimum ve ortalama topografik yükseklik değeri elde edilmektedir. Ortalama yükseklik değeri, alan profili içerisindeki peyzajın genel topografik eğilimi için iyi bir yaklaşımdır. Çünkü maksimum ve minimum yükseklik değerleri ile ortalama yükseklik değerleri arasındaki ilişki, morfolojinin durumu hakkında önemli bilgiler ortaya koymaktadır. Normalde tipik bir SWATH profilinde ortalama yükseklik profilinin maksimum yükseklik profiline göre minimum yükseklik profiline daha yakın olması gerekmektedir. Buna karşılık, ortalama yükseklik profilinin maksimum yükseklik profiline doğru yaklaşması, yani ortalama profilin yukarı doğru sapması ve daha yüksek yükselme (uplift) oranlarına geçici bir uyum gösterdiğini ortaya koymaktadır (Keller ve Pinter, 2002).

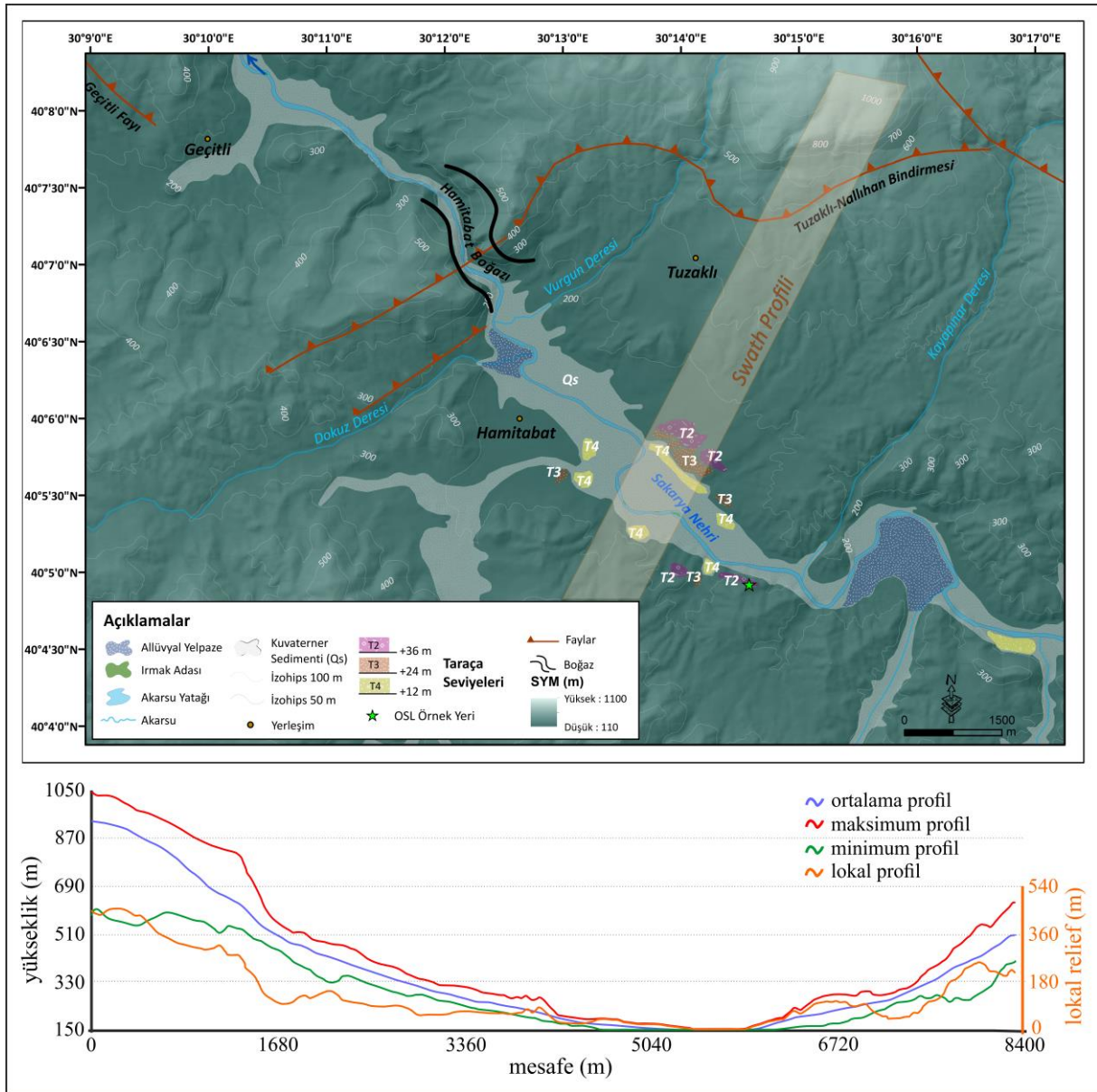
Bununla birlikte istatistiksel yöntemler kullanılarak elde edilen SWATH profiller, topografik hipsometrik integral (Hi) değerlerini de içermektedir. Hi değerlerine bakılarak profildeki sapmalar hakkında kantitatif yorumlar yapılabilir.

Çalışma sahası içerisinde Yakacık, Hamitabat, Gemiciköy ve Küçükyenice çevresinden 4 farklı SWATH profili üretilmiştir. Yakacık çevresinde kuzeydoğudan güneybatıya doğru alınan SWATH profilinde, akarsuyun akış güzergahına göre vadinin sağ yamacında ortalama yükseklik değerlerinin maksimum yükseklik değerlerine yaklaştığı gözlemlenmektedir. Söz konusu alanda ortalama profilin yukarı doğru sapması daha yüksek yükselme (uplift) şartlarına geçici bir uyumu göstermektedir. Bununla birlikte yine sağ yamaçta topografik hipsometrik integral değeri bir (1) yakındır. Dolayısıyla tektonik bakımdan genç bir topografyanın varlığını işaret etmektedir. Buna karşılık vadinin diğer yamacında ortalama yükseklik profilinin, maksimum yükseklik profiline göre minimum yükseklik profiline daha yakın olduğu görülmektedir. Bu durum vadinin bu yamacında tektonik aktivitenin etkisinin zayıf olduğunu göstermektedir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Yakacık Çevresinde Elde Edilen Topografik Alan Profili (SWATH Profil).

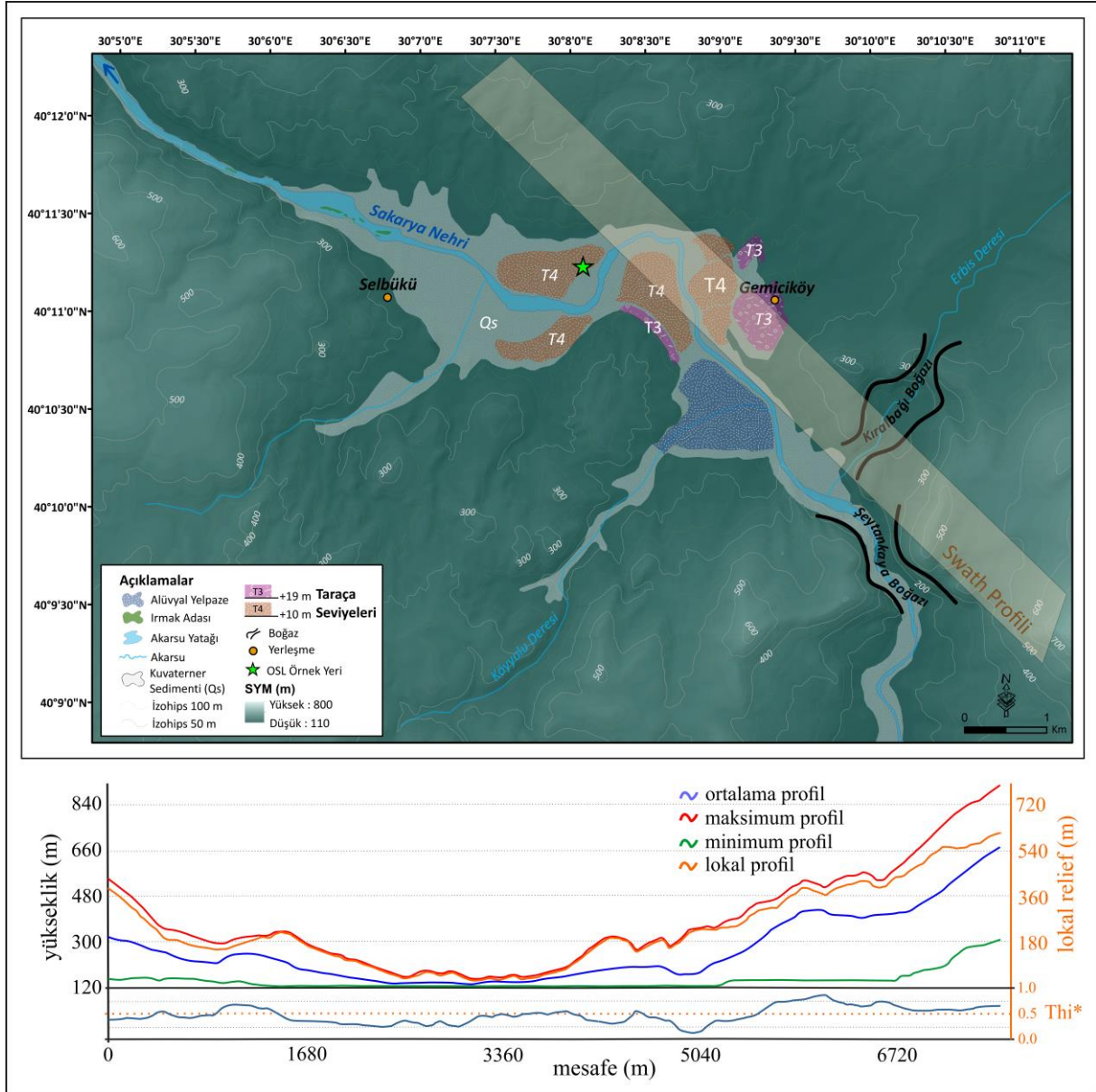
Hamitabat çevresinde kuzeyden güneye doğru elde edilen SWATH profilinde, akarsuyun akış güzergahına göre vadinin sağ yamacında ortalama yükseklik değerlerinin maksimum yükseklik değerlerine yaklaştığı gözlemlenmektedir. Profil, Tuzaklı-Nallıhan bindirme hattı boyunca topografyadaki yükselmeyi işaret etmektedir. Nitekim ortalama profilin yukarı doğru saptması Yakacık çevresinde olduğu gibi daha yüksek yükselme koşullarına geçici bir uyumu ifade etmektedir. Buna karşılık vadinin diğer yamacında ortalama yükseklik profiline bakıldığında zaman, maksimum yükseklik ile minimum yükseklik profili arasında stabil olduğu görülmektedir (Şekil 4.7).



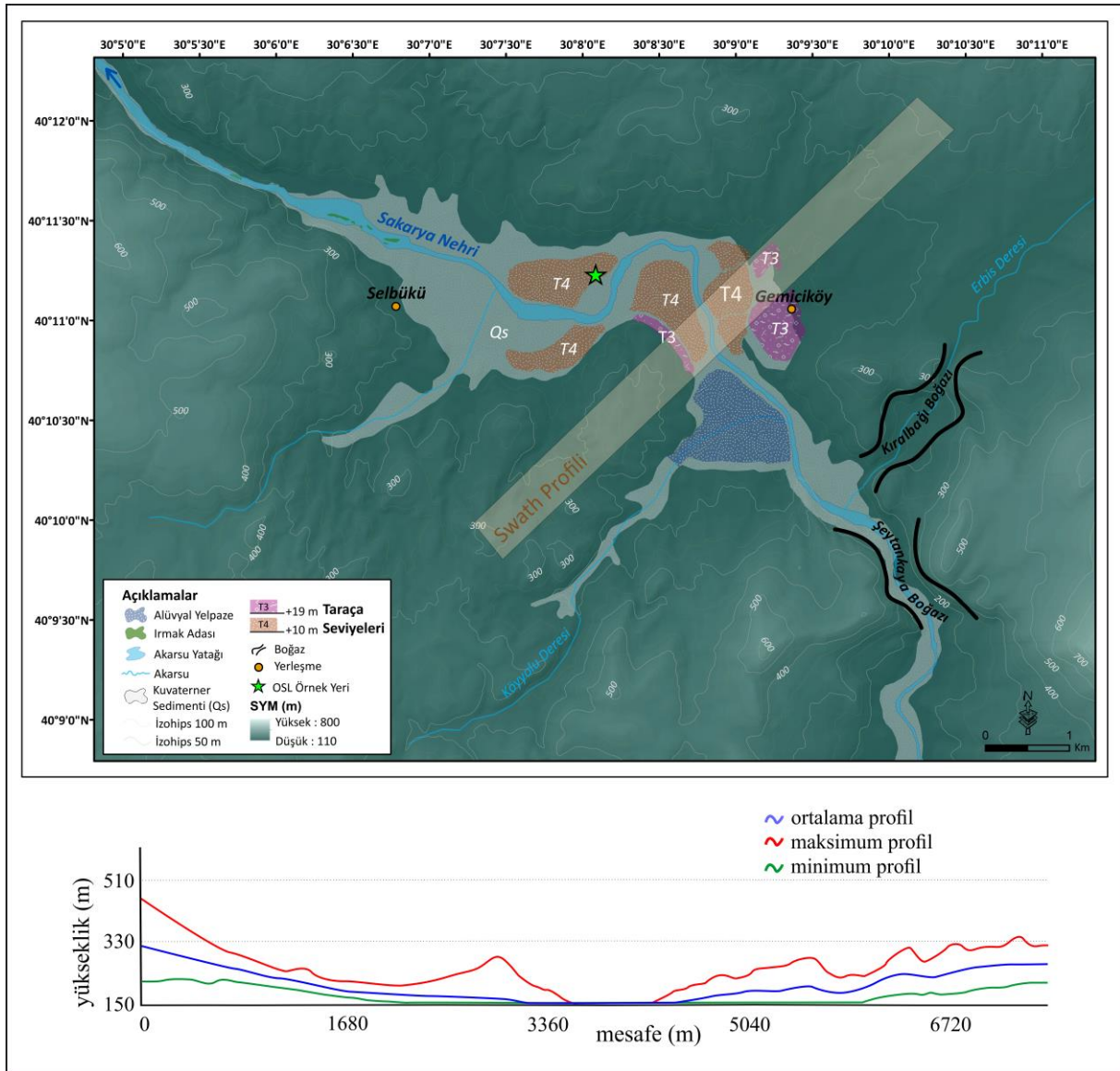
Şekil 4.7. Hamitabat Çevresinde Elde Edilen Topografik Alan Profili (SWATH Profili).

Gemiciköy çevresinde kuzeybatıdan güneydoğuya doğru elde edilen SWATH profilinde, Kırılbağı Boğazı'nın yer aldığı mevkisinde ortalama yükseklik değerlerinin maksimum yükseklik değerlerine yaklaştığı görülmektedir. Bununla birlikte elde edilen topografik hipsometrik integral değerinin boğazın bulunduğu alanda 1'e yakın olması bu bölgedeki topografyanın genç olduğunu göstermekte ve boğazın oluşumu hakkında da önemli ipuçları vermektedir. Özellikle, bölgenin önce tektonik olarak yükseldiğini ve sonrasında yükselen kütlelerin içerisine akarsuyun yerleşmesiyle birlikte boğazın oluştuğunu kanıtlamaktadır (Şekil 4.8).

Buna karşılık kuzeydoğudan güneybatıya doğru elde edilen SWATH profilinde ise ortalama yükseklik değerlerinin maksimum yükseklik ve minimum yükseklik değerleri arasında stabile yakın olduğu gözlenmektedir. Bu durum vadinin genişlediği alanlarda yamaç işlenmesinin olduğunu göstermektedir (Şekil 4.9).

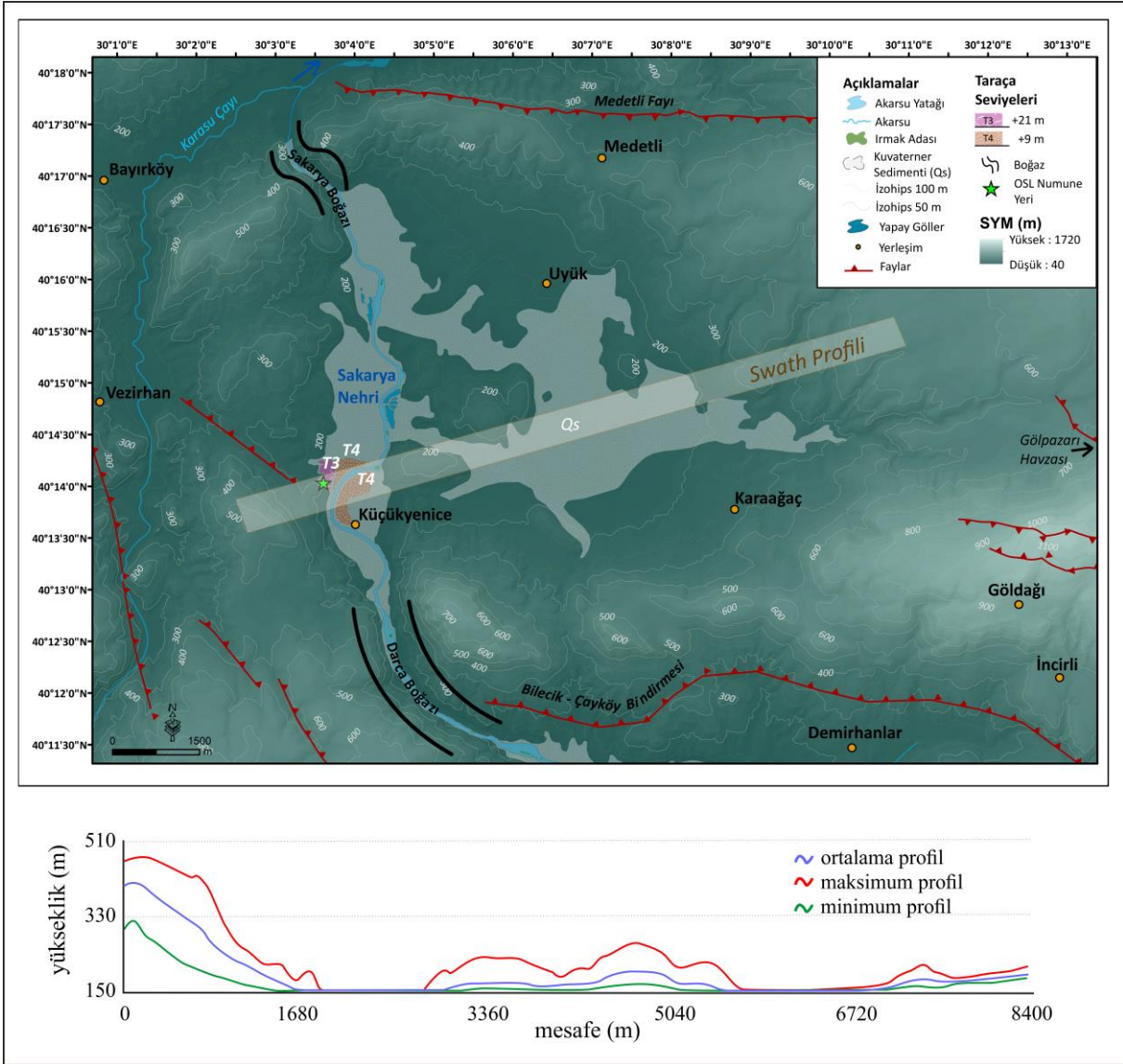


Şekil 4.8. Gemiciköy Çevresinde Elde Edilen Topografik Alan Profili-1 (SWATH Profili).



Şekil 4.9. Gemiciköy Çevresinde Elde Edilen Topografik Alan Profili-2 (SWATH Profili).

Küçükyenice çevresinde kuzeydoğudan güneybatıya doğru elde edilen SWATH profilinde, vadinin her iki yamacında ortalama yükseklik değerlerinin maksimum yükseklik ile minimum yükseklik değerleri arasında stabile yakın olduğu gözlenmektedir. Bu durum vadinin genişlediği alanlarda yükselmeden ziyade Gemiciköy çevresinde olduğu gibi yamaç işlenmesinin etkin olduğunu göstermektedir (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. Küçükyenice Çevresinde Elde Edilen Topografik Alan Profili (SWATH Profili).

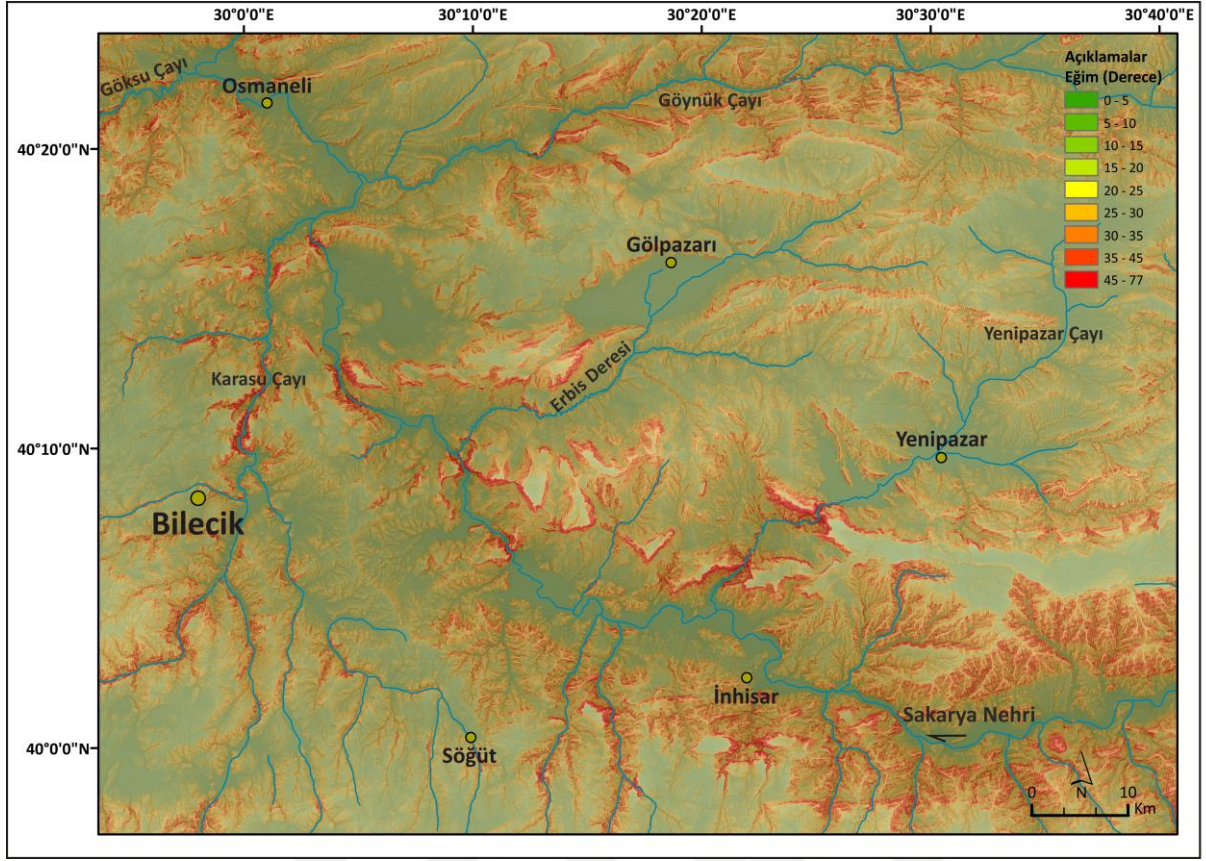
4.2. Eğim Analizleri

Topografyadaki eğim değerlerinin değerlendirilmesi ana morfolojik birimlerin ayrılmasında önemli bir yere sahiptir. Çalışma sahasının morfolojik özelliklerini ortaya koyabilmek adına RRIM görselleştirme yöntemi kullanılarak morfolojik birimlerin dış bükeyliği ve iç bükeyliği vurgulanmıştır. Böylece plato yüzeyleri ile vadilerin ve özellikle boğazların ayrımı net bir şekilde belirlenmiştir.

Çalışma sahası içerisinde vadi tabanları ile plato yüzeyleri düşük eğim değerine sahiptir. En az eğime sahip alanlar ise vadi tabanlarına karşılık gelmekte ve yaklaşık olarak 5 derecelik bir eğim görülmektedir. Buna karşılık boğazların bulunduğu dar ve derin vadiler ile dağların yamaçları yüksek eğim değerlerine karşılık gelmektedir. Özellikle Harmankaya Kanyonu ile Hamitabat Boğazı, Şeytankaya Boğazı, Darca ve Sakarya (Paşalar) Boğazı en yüksek eğim değerlerine sahip alanlardır. Buradaki eğim değerleri yaklaşık olarak 35-77 derece arasında olup ortalama 45 derecelik bir değere sahiptir (Şekil 4.11).

Özellikle araştırma sahası içerisinde eğim değerlerinin 45 dereceden fazla olduğu alanlar boğazların geliştiği ve faylı yamaçlı yüzeylerin bulunduğu alanlara denk düşmektedir. Burada tektonik hareketlilik ve litolojik farklılık önemli rol oynamaktadır. Boğazların oluşumunda etkili olan tektonik aktiviteye bağlı olarak oluşan zayıf alanlar içerisine yerleşen akarsular, yataklarını hızlı bir şekilde aşındırarak yamaç eğim değerlerinin artmasına neden olmaktadır.

Bunun yanı sıra litolojik faktörler de eğim değerlerinin değişkenlik göstermesine neden olmaktadır. Akarsu aşındırmasına karşı dirençli olan litolojik birimler üzerinde eğim değerleri artarken, aşınımına karşı daha az dirençli alanlarda eğim değerleri düşük değere sahip olmaktadır. Örneğin çalışma sahası içerisinde çakıltası-kumtaşı-çamurtaşı aralanmalı, Üst Eosen-Alt Miyosen yaşlı Gemiciköy formasyonunun yaygın bir şekilde gözlemlendiği alanlarda eğim değerleri genellikle düşük değer göstermektedir. Buna karşılık Orta-Üst Jura-Alt Kretase yaşlı kireçtaşlarının aşınımına karşı nispeten dirençli olmasından dolayı eğim değerleri genellikle yüksektir.

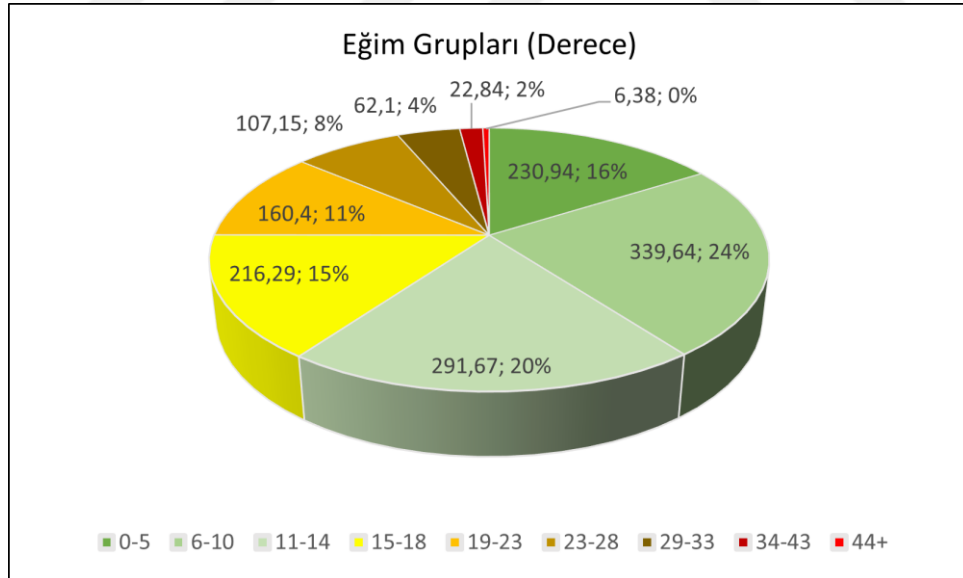


Şekil 4.11. İnhisar-Osmaneli Arasında (Bilecik) Sakarya Nehri Vadisinin Eğim Haritası.

Çalışma sahasındaki eğim değerlerinin alansal ve oransal dağılımı göz önüne alındığı zaman, en geniş dağılımı %23,6 ve %20,2’lik oranı ve 631,31 km²’lik alanı ile 6-14 derecelik eğime sahip vadi tabanları ve plato yüzeyleri oluşturmaktadır (Tablo 6). Eğimi en düşük alanları ise sahanın yaklaşık %2’lik oranı ve 29 km²’lik alanı kaplayan 34 derece ve üzerindeki alanlar meydana getirmektedir (Tablo 4.1.; Şekil 4.12).

Tablo 4.1. Çalışma Sahasının Eğitim Gruplarının Alansal (km²) ve Oransal (%) Dağılımı.

Eğitim (Derece)	Alan (km ²)	Oran (%)
0-5	230,94	16,07
6-10	339,64	23,63
11-14	291,67	20,29
15-18	216,29	15,05
19-23	160,4	11,16
23-28	107,15	7,45
29-33	62,1	4,32
34-43	22,84	1,59
44+	6,38	0,44
Toplam	1.437,41	100



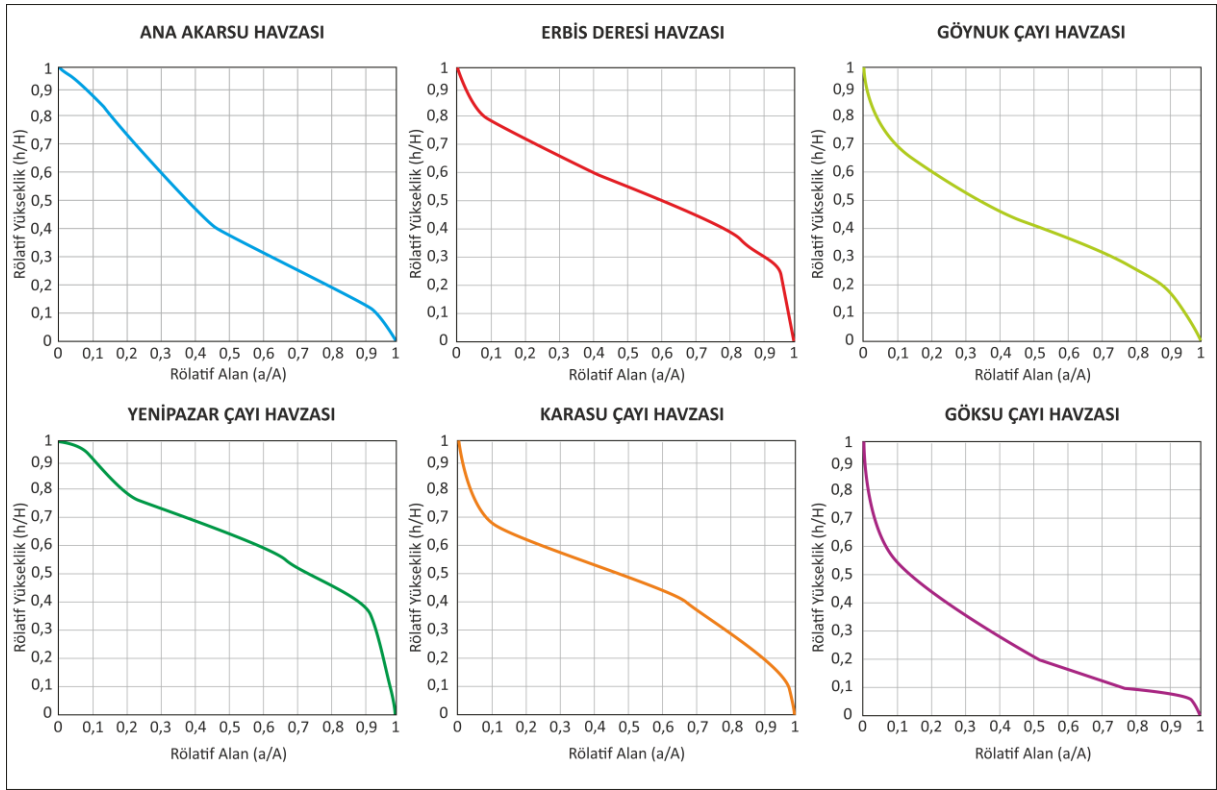
Şekil 4.12. Eğitim Gruplarının Dağılışı.

4.3. Morfometrik Analizler (İndisler)

Araştırma sahasının morfometrik özelliklerini belirlemek amacıyla çeşitli morfometrik analizler (indisler) uygulanmıştır. Bu doğrultuda özellikle çalışma sahasında bölgesel tektonik aktiviteyi (yükselim) ortaya koyabilmek amacıyla hipsometrik eğri (H_c)-hipsometrik integral (H_i) ve vadi tabanı genişliği-vadi yüksekliği oranı (V_f) indisi, lokal tektonik aktiviteyi ortaya koymak için akarsu uzunluk-gradyan indisi (SL), asimetri faktörü (A_f), akarsu sinüsellik (eğrilik) oranı ve kanal paterni indisleri kullanılmıştır.

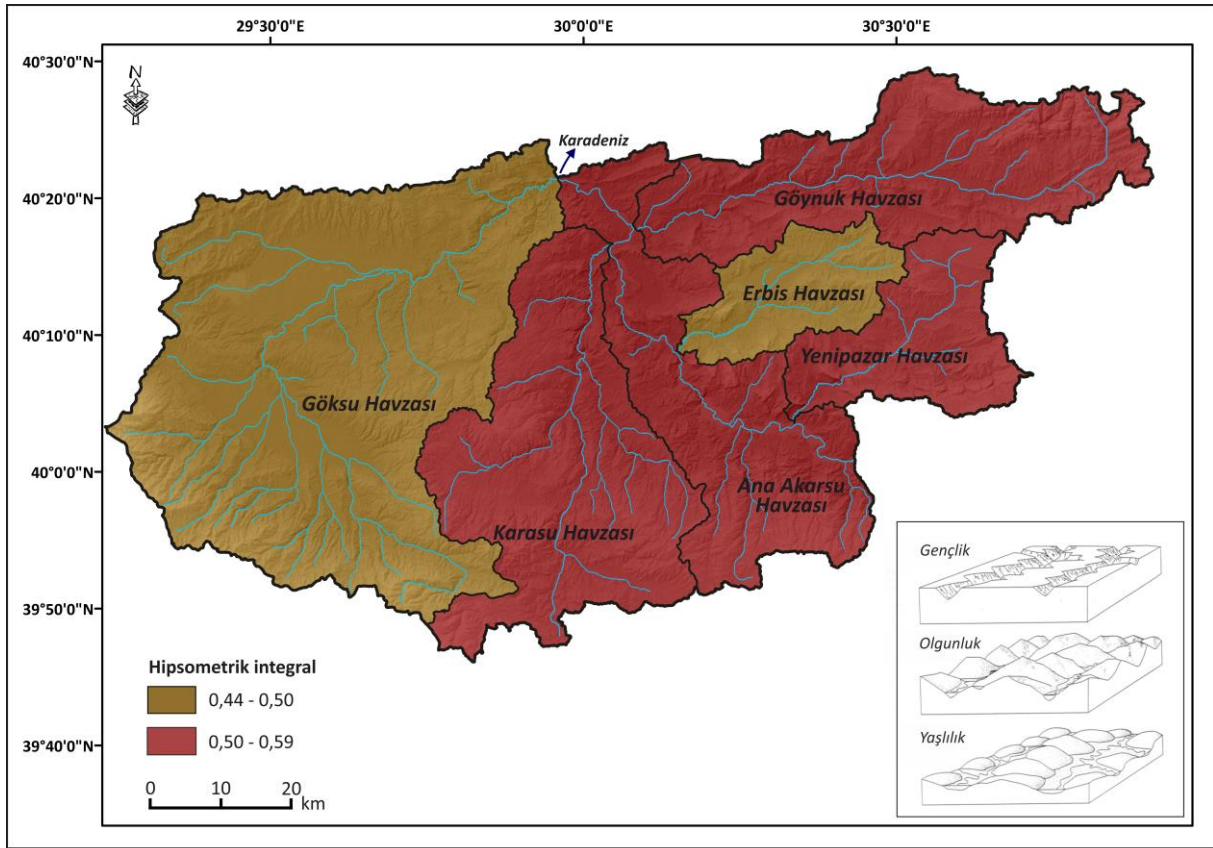
4.3.1. Hipsometrik Eğri (H_c) ve Hipsometrik İntegral (H_i)

Sakarya Nehri ve alt havzalar kapsamında Yenipazar, Erbis, Karasu, Göynük ve Göksu Çayı havzalarına uygulanan hipsometrik eğrilerden elde edilen sonuçlara göre, Sakarya Nehri ve Göksu Çayı havzasına ait eğrinin kısmen içbükey (konkav) bir eğriye sahip olması havzanın gelişimi açısından nispeten olgunluk döneminde olduğu göstermektedir. Buna karşılık Göynük Çayı havzasının nispeten denk bir profile sahip olması genç-olgun geçiş dönemini; Yenipazar, Erbis ve Karasu Çayı havzalarının ise dışbükey (konveks) bir profil göstermesi de havzanın gençlik safhasında olduğunu ortaya koymaktadır (Şekil 4.13). Özellikle Göksu Çayı havzasının olgunluk evresinde görülmesinin sebebi havza içerisindeki İnegöl ve Yenişehir ovalarının tabanındaki alçak ve düzlük alanlardan kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.13. Çalışma Sahasının Hipsometrik Eğrilerini Gösteren Profiller. Sakarya Nehri ve Göksu Çayı Havzasına Ait Eğri İçbükey (Konkav), Göynük Çayı Havzasının Nispeten Denk Bir Profil Gösterirken Buna Karşılık Yenipazar, Erbis ve Karasu Çayı Havzalarının ise Dışbükey (Konveks) Bir Profil Göstermektedir.

Hipsometrik eğrinin sayısal olarak ifade edilmesi kapsamında uygulanan hipsometrik integral indisi aracılığıyla Sakarya Nehri'nin ana akarsu havzası ile Yenipazar, Karasu ve Göynük Çayı havzalarında 0,5, Erbis ve Göksu Çayı havzasında ise 0,49 H_i değeri elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre, elde edilen yüksek H_i değeri indisin uygulandığı havzalarda havzanın gelişim evresi bakımından gençlik-olgunluk geçiş safhasında olduğuna işaret etmektedir (Şekil 4.14).



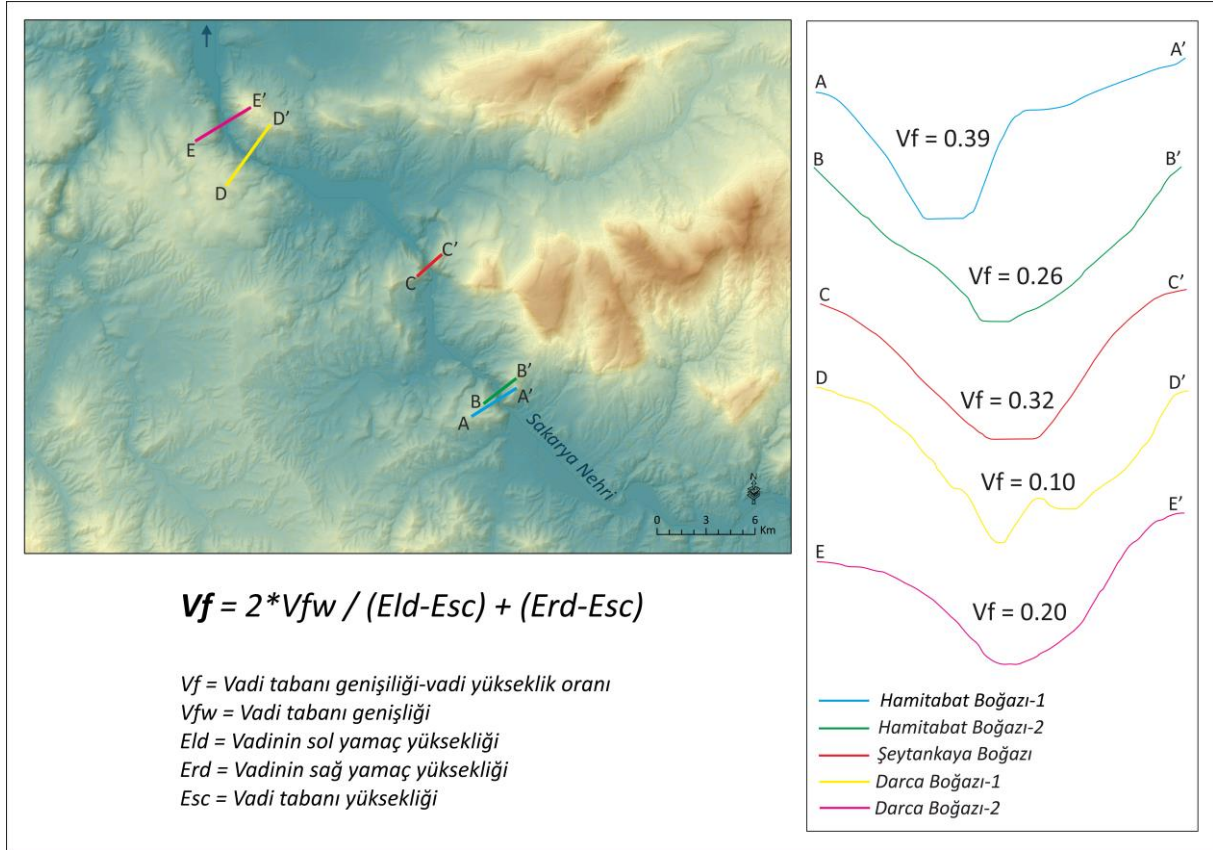
Şekil 4.14. Çalışma Sahası İçerisindeki Havzaların Gelişim Evrimini Gösteren Harita. Kahverengi Rengindeki Havzalar Olgunluk Dönemini Gösterirken, Kırmızı Renkli Havzalar Olgunluk Dönemini İfade Etmektedir.

4.3.2. Vadi Tabanı Genişliği-Vadi Yüksekliği Oranı (Vf)

Çalışma sahası içerisinde, Sakarya Nehri'nin açmış olduğu ve seki oluşumlarını büyük ölçüde kontrol eden dar ve derin boğazlara uygulanan Vf analizi ile özellikle boğazların oluşum süreçleriyle sahanın tektonik özellikleri hakkında önemli bilgiler vermiştir.

Analizin uygulanmasıyla birlikte Hamitabat Boğazı'nda 0,20 ve 0,10, Şeytankaya Boğazı'nda 0,32 ve Darca Boğazı'nda 0,26 ve 0,39 Vf değeri elde edilmiştir. Bununla birlikte Harmankaya Kanyonu'na uygulanan Vf indisi sonucunda ortalama 0,04 Vf değeri tespit edilmiştir (Karakoca ve Uncu, 2020). Bu sonuçlara göre, elde edilen düşük Vf değeri (ortalama 0,25), indisin uygulandığı alanlarda yüksek seviyede tektonik aktivitenin varlığını ve tektonik yükselime paralel olarak kuvvetle kazılan vadilere karakterize edildiğini göstermektedir (Şekil 4.15).

Bu durum boğazların oluşmaya başladığı dönemde öncelikle tektonizmanın etkisi ile sahada yükselmenin gerçekleştiği, sonrasında ise akarsu yatağının şiddetli bir şekilde derine doğru gömüldüğünü ortaya koymuştur. Dolayısıyla boğazların oluşumunda antedans olayının rolünün de olduğunu ortaya koymaktadır.

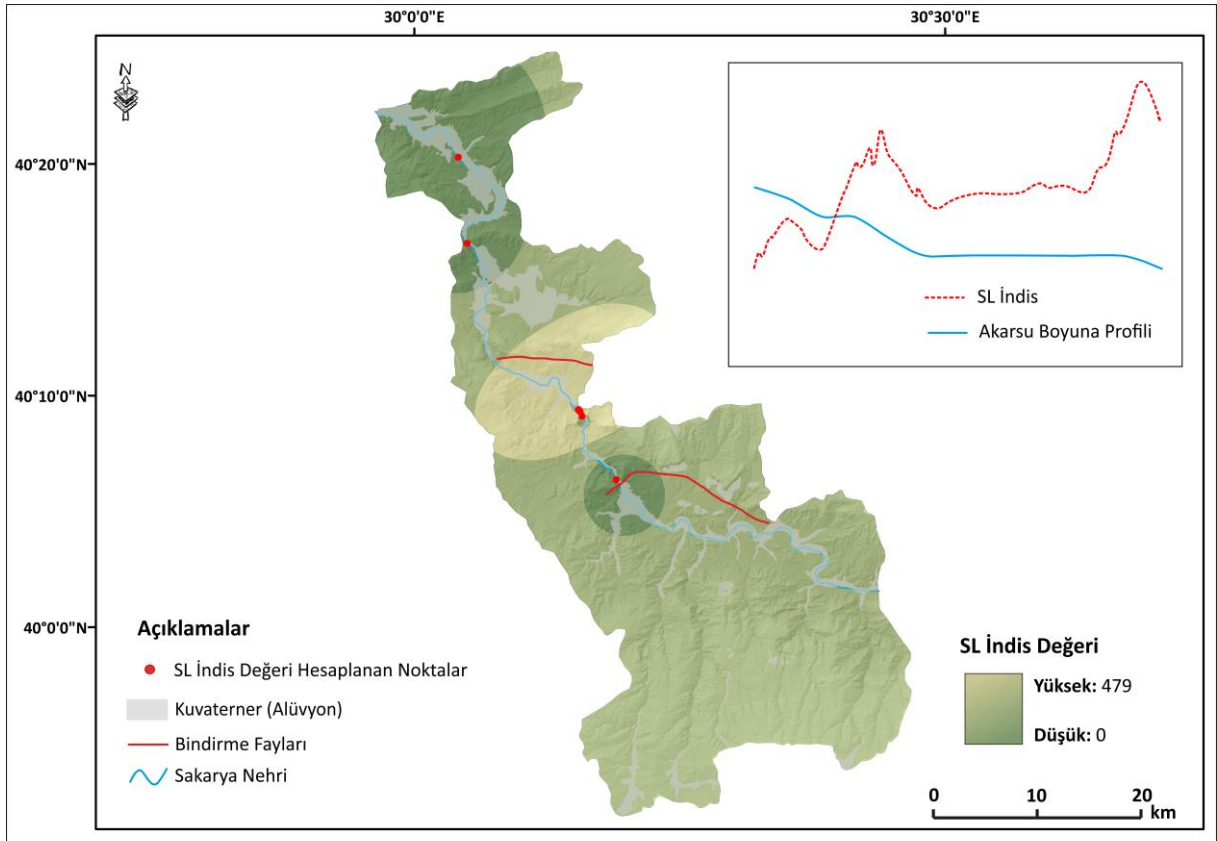


Şekil 4.15. Çalışma Sahasında Dar ve Derin Bir Profile Sahip Olan Boğazlar Üzerinde Uygulan Vf İndisinin Sonuçları ve Profilleri.

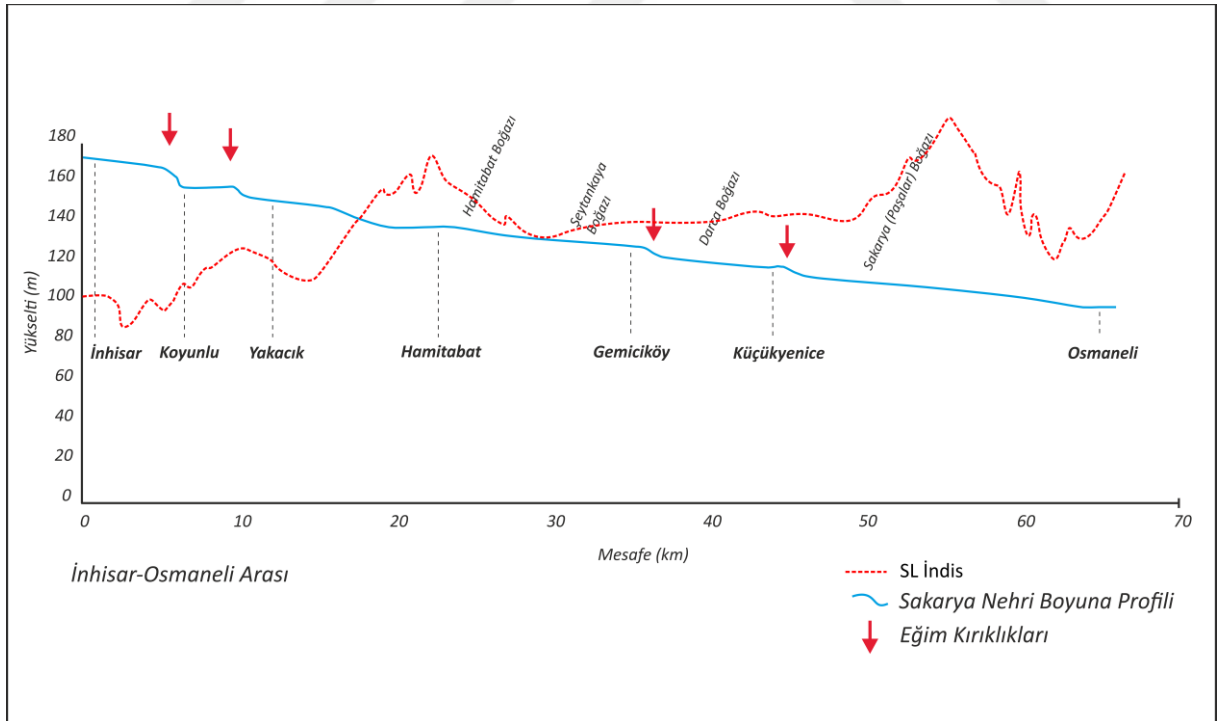
4.3.3. Akarsu Uzunluk-Gradyan İndisi (SL)

Bir akarsu vadisi boyunca topografya, tektonik aktivite ve litolojik farklılığa bağlı olarak kayaç direnci arasındaki ilişkiyi ortaya koyan en önemli morfometrik analizlerden birisi akarsu uzunluk-gradyan (SL) indisidir (Keller ve Pinter, 2002). Özellikle akarsu uzunluk-gradyan indisinin, akarsu yatağındaki eğim değişikliklerine karşı oldukça hassas olmasından dolayı litoloji ile tektonizmanın ilişkisi net bir şekilde ortaya konulabilmektedir. Nitekim, litolojide herhangi bir değişkenliğin söz konusu olmadığı ve/veya nispeten daha az dirençli olan bir sahada SL değerlerinin yüksek olması tektonik aktiviteyi işaret etmektedir (Keller ve Pinter, 2002; Sol, 2017).

Sakarya Nehri'ne ait SL indis değerlerinin dağılımı ise en yüksek değerlerin genellikle boğazların (güneyden kuzeye sırasıyla Hamitabat, Darca ve Paşalar boğazı) bulunduğu alanlarda olduğu görülmektedir (Şekil 4.16). Özellikle Hamitabat Boğazı yakınlarındaki yüksek değerlerin Tuzaklı-Nallıhan bindirme fayına bağlı olarak geliştiği düşünülmektedir. Bununla birlikte gerek Hamitabat boğazında gerekse Darca ve Paşalar Boğazı yakınlarında SL indis değerinin yüksek değerler göstermesi muhtemelen boğazların oluşum mekanizması ile doğrudan ilişkili olduğuna işaret etmektedir. Çünkü boğazların oluşumunda daha önce de belirtildiği üzere antesedans olaylarının da etkisi söz konusudur. Dolayısıyla litolojide herhangi bir değişkenlik olmamasına rağmen Sakarya Nehri'ne ait SL indislerindeki yüksek değerler göstermesi tektonik aktivitenin etkisinden kaynaklanmaktadır (Şekil 4.17).



Şekil 4.16. Sakarya Nehri'nin SL İndis Dağılımı Haritası ve Profilleri.



Şekil 4.17. Sakarya Nehri'nin Boyuna Profili ile Birlikte SL İndis Dağılımı Profili.

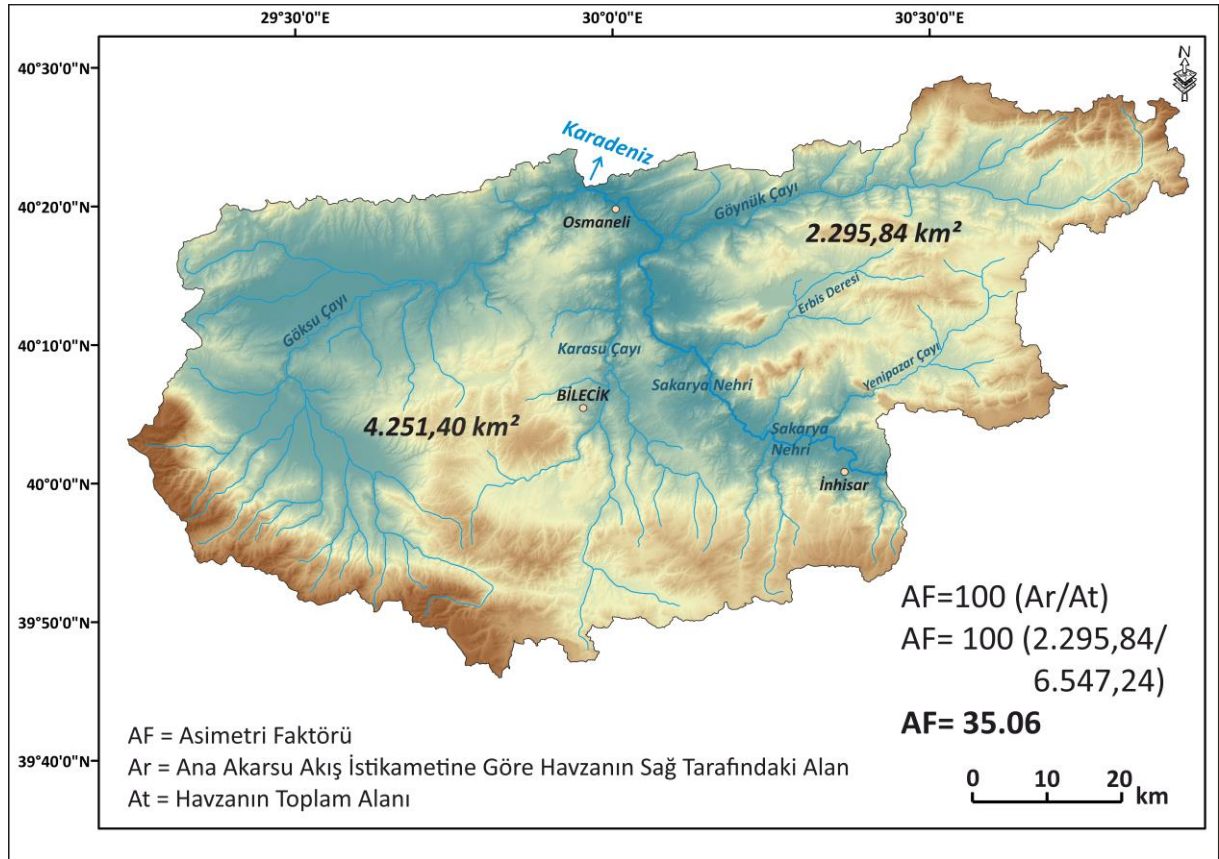
4.3.4. Asimetri Faktörü (AF)

Akarsu ağlarının geometrisi hem niteliksel hem de niceliksel olarak çeşitli yollarla tanımlanabilmektedir. Özellikle tektonik aktivitenin denetimi altında gelişmiş olan drenaj ağları, genellikle etkilendikleri tektonik rejimin izlerini taşımaktadır. Bu izleri tespit etmek amacıyla çalışma sahası içerisinde asimetri faktörü (AF) indisi uygulanmıştır. Bu indisin tercih edilmesindeki en önemli faktör, drenaj havzalarında meydana gelen tektonik tiltlenmeyi (çarpılmayı-eğimlenme) saptamak için geliştirilen kantitatif bir yöntem olmasından dolayıdır (Keller ve Pinter, 2002).

Formülün uygulanmasıyla birlikte elde edilen AF sonucunun 50 değerinde olması havzanın duraylı olduğunu göstermektedir. Buna karşılık değerin 50'den düşük olması akarsu havzasının akış yönünde sağa doğru ve 50'den yüksek bir değere sahip olması ise havzanın akış yönüne göre sola doğru bir tiltlenmenin varlığına işaret etmektedir (Keller ve Pinter, 2002).

Bununla birlikte birçok morfometrik indis de söz konusu olduğu gibi drenaj havzasının aynı litolojik birimden meydana geldiği yerler içerisinde uygulanan AF indisi çok daha iyi sonuçlar vermektedir. Dolayısıyla havzalardaki litolojik ve lokal iklimsel farklılıklar havzanın asimetrik durumunun belirlenmesinde etkili olabilmektedir.

Çalışma sahasının toplam alanı 6.547,24 km² olarak belirlenmiştir. Sakarya Nehri'nin akış doğrultusuna göre solunda kalan drenaj alanı 4.251,40 km² ve sağında kalan alan ise 2.295,84 km²'lik bir alana sahiptir. Bu değerlerin indise katılmasıyla birlikte çalışma sahasına uygulanan AF indisi sonucunda elde edilen değer 35,06 olarak belirlenmiştir. AF değerinin 50'den küçük olması (35,06) çalışma sahası içerisinde ana akarsuyun akış istikametine göre havzanın sağa doğru tiltlendiği göstermektedir (Şekil 4.18).



Şekil 4.18. Çalışma Sahasında Uygulanan Asimetri Faktörü İndis Sonuçlarının Haritada Gösterimi.

4.3.5. Akarsu Sinüsellik Oranı ve Kanal Paterni

Akarsu yataklarında uzun ve kısa dönemli değişimler olabilmektedir. Akarsuyun hidrolojik, sediment ve tektonik özellikleriyle birlikte iklimsel değişimler yatak değişimini etkileyen en önemli etmenler arasında yer almaktadır (Schumm, 1985). Bununla birlikte gerek litoloji ve vejetasyon özellikleri gerekse beşerî faaliyetler akarsu yatak özelliklerini etkileyen diğer önemli etkenler arasında değerlendirilmektedir (Lane, 1957). Özellikle akarsu yatak şeklinin tasnif edilmesi, akarsu yatağının morfometrik özelliklerinin ortaya konulması bakımından oldukça önemlidir.

Akarsu yatak şeklinin sınıflandırmasında birçok yöntem kullanılmaktadır. Özellikle sediman taşınması ile yatak arasında ilişkinin ortaya konulması sonucunda akarsu yatakları düz, menderesli ve örgülü yatak olmak üzere üç bölümde değerlendirilmektedir (Leopold ve Wolman, 1957). Bununla birlikte akarsu yatakları, taşınan sediment tipi (Schumm, 1963) ve akarsuların aşınma-biriktirme esnasında geçirdikleri sürece ve akarsuyun akış gösterdiği malzemenin tabiatına göre de sınıflandırılabilir (Schumm, 1963; Bledsoe ve Watson, 2001) (Tablo 4.2).

Sakarya Nehri'nin çalışma sahası içerisinde kalan bölümündeki akarsu yatağının kantitatif özelliklerinin ortaya konulması için morfometrik indislerden akarsu sinüsellik oranı ve kanal paterni analizi kullanılmıştır. Akarsu kanal uzunluğunun vadi uzunluğu oranına göre belirlenen indis akarsuyun mendereslenme derecesini ortaya koymaktadır. İndisin uygulanması sonucunda elde edilen değer 1-1.05 arasında olduğu zaman düz akarsu yatağı paternini, 1,06-1,25 arasında iken sinüslü-yarı menderesli ve 1,25-3,00 arasında ise tam menderesli akarsu yatağı paternini ifade etmektedir.

İndisin uygulandığı alanın başlangıç noktasını Sakarya Nehri vadisinin çalışma sahasının güneydoğusunda yer alan İnhisar yakınları, bitiş noktası ise kuzeybatısında bulunan Osmaneli arasındaki kalan kesimi oluşturmaktadır. Başlangıç ve bitiş noktası arasındaki kuş uçuşu mesafe yaklaşık olarak 46 km'dir. Çalışma sahası içerisinde bu mesafede Sakarya Nehri 72 km'lik bir akarsu uzunluğuna sahiptir. İndisin uygulanması sonucunda elde edilen sonuca göre akarsuyun çalışma sahası içerisindeki mendereslenme derecesi 1,56 olarak ölçülmüştür. Bir akarsu için tam mendereslenme derecesinin alt sınırı 1,5 olarak (Avşin, 2006) kabul edilirse elde edilen 1,56 değeri Sakarya Nehri'nin nispeten menderesli bir akış gösterdiğini ortaya koymaktadır. Özellikle Sakarya Nehri tarafından açılan dar ve derin boğazların dışında kalan vadinin genişlediği havza karakterli alanlarda gelişen akarsu taraçaları ve birikinti yelpazeleri akarsuyun menderesli bir akış göstermesine sebep olmaktadır.

Böylece Sakarya Nehri'nin çalışma sahası içerisinde kalan yatak kesimi, taşınan sediment türü ile yatak duraylılığı/kararlılığının birlikte değerlendirilmesi sonucunda elde edilen sınıflandırmaya göre “sabit-karışık yüklü yatak tipi” sınıfı içerisinde yer almaktadır (Tablo 4.2).

Tablo 4.2. Akarsu Yataklarının Sınıflandırılması.

Akarsu Yatak Tipi ve Sediment Taşınma Şekli	Yatak Sediment Miktarı (%)	Toplam Sediment Yük Oranı		Yatak Duraylılığı/Kararlılığı		
		Asılı Yük %	Yatak Yüklü %	Sabit	Depolanma	Aşınma
Asılı Yük	30-100	85-100	0-15	Sabit asılı yüklü yatakta genişlik/derinlik oranı < 7 ; genellikle sinüselliik oranı > 2.1 ; eğim nispeten hafif	Depolanma yapan asılı yüklü yatakta banklardaki depolanma yatağın daralmasına neden olur, ilksel akarsu yatağında birikme küçüktür.	Aşınma yapan asılı yüklü yatakta nehir yatağında aşınma baskındır. İlksel yatak genişliği küçüktür.
Karışık Yük	8-30	65-85	15-35	Sabit karışık yüklü yatakta genişlik/derinlik oranı $> 7 - < 25$; sinüselliik oranı genellikle $< 2.1 - > 1.5$; ortalama eğim söz konusudur.	Depolanma yapan karışık yüklü yatakta nehir yatağı depolanmasının ardından banklarda büyük depolanmalar olmaktadır.	Aşınma yapan karışık yüklü yatakta yatak genişlemesinin ardından nehir yatağının erozyonu gerçekleşmektedir.
Yatak Yüklü	0-8	30-65	35-70	Sabit yatak yüklü yataklarda genişlik/derinlik oranı > 25 ; sinüselliik oranı genellikle < 1.5 ; eğim nispeten diktir.	Depolanma yapan yatak yüklü nehirlerde nehir yatağı depolanması ve ada oluşumu söz konusudur.	Aşınma yapan yatak yüklü nehirlerde nehir yatağı erozyonu az olurken yatak genişliği baskındır.

Kaynak: (Kondolf & Piegay, 2003:178; Schumm, 1963, 1977)

Sonuç olarak indis sonuçları bölgede tektonik aktivitenin drenaj sistemi üzerinde etkili olduğunu göstermektedir.

5. TARTIŞMA

Flüvyal süreçler, havzasının bulunduğu bölgelerdeki tektonik, litolojik ve iklimsel süreçlerde meydana gelen değişimlerden bağımsız olarak düşünülemez. Bu etkenler akarsuyun aşınım-birikim süreçlerini kontrol etmektedir ve vadisinin şekillenmesinde önemli rol oynamaktadır. Dolayısıyla akarsu seki sistemlerinin (anakaya veya dolgu sekileri) oluşumu ve gelişiminde doğrudan bu süreçler doğrudan etkili olmaktadır (Bridgland, 2000; Bridgland ve Westaway, 2008; Vandenberghe, 2008).

Bu çalışmada, uzun yıllardır devam eden tektonik aktivite ile Orta-Geç Pleyistosen'den bu yana iklimsel olarak yönlendirilen Karadeniz seviyesindeki değişikliklerin Orta Sakarya Nehri vadisi boyunca gözlenen akarsu seki sistemleri ile boğazların oluşumu ve gelişimindeki rolü açıklanmaya çalışılmıştır.

5.1. Tektonik Süreçler ve Uzun Dönemli Bölgesel Yükselimi

Orta Sakarya Platoları olarak adlandırılan morfolojik ünitenin en batı kısmında bulunan çalışma sahası, tektonik olarak kuzeyden Kuzey Anadolu Fay Zonu, güneyden ise Eskişehir-İnönü Fay Zonu olarak bilinen ve son derece aktif iki doğrultu atımlı fay zonu arasında kalan bir bölgede bulunmaktadır. Bu nedenle çalışma sahası Neotektonik dönem boyunca bir yandan K-G yönlü sıkışma tektoniği rejiminin etkisi altında yükselirken diğer yandan da bloklanmalara uğramıştır.

Çalışma sahası içerisinde, Orta-Geç Pleyistosen'den (MIS 6b) itibaren bölgesel/yerel tektonik aktivite ve süregelen iklimsel değişikliklere bağlı olarak yaşanan taban seviyesi değişikliklerine tepki olarak, Sakarya Nehri vadisi boyunca birikme ve gömülme dönemleri yaşanmıştır. Bu süreçler sonucunda günümüzde en az birbirinden farklı dört seviye halinde izlenebilen seki basamakları meydana gelmiştir.

Bu seviyeler, Sakarya Nehri'nin vadi tabanından itibaren; Yakacık köyü çevresinde dört (+10 m, +18 m, +34 m ve +52 m), Hamitabat köyü çevresinde üç (+12 m, +24 m ve +36 m), Gemiciköy çevresinde iki (+10 m ve +19 m), Küçükyenice yakınlarında iki (+9 m ve +21 m) ve Selimiye çevresinde dört (+9 m, +24 m, +37 m ve +50 m) seviye halinde izlenebilmektedir (Tablo 5.1).

Sakarya Nehri'nin vadi tabanı esas alındığında, tespit edilen seki seviyeleri çoğunlukla morfometrik olarak birbirine benzerlik göstermektedir. Özellikle Yakacık ve Gemiciköy çevresindeki T3 ve T4 nolu son iki seki basamağı morfometrik olarak birbirine karşılık gelmektedir. Ayrıca Yakacık, Hamitabat ve Selimiye Köyü yakınlarındaki T2 nolu seki seviyesi ile Yakacık ve Selimiye köyü çevresindeki T1 nolu seki seviyesi de morfometrik olarak benzerlik göstermektedir. Buna karşılık çalışma alanının orta kesiminde yer alan Hamitabat köyü çevresindeki benzer seki basamakları diğerlerine göre daha yüksekte (T3, +2 m ve T2, +4-5 m.) bulunmaktadır (Tablo 5.1).

Sekilere ait konum ve yaş verileri kullanılarak bir bölgedeki yıllık sabit yükselim hızının (mm/yıl) hesaplanması bölgesel tektonik aktivitenin belirlenmesinde en somut bulgudur (Maddy vd., 2008; Pazzaglia, 2013). Bu nedenle, Anadolu'nun farklı yerlerindeki deniz ve akarsu sekilerine ait yaşlandırmalar bölgesel/yerel yükselim oranlarının belirlenmesinde kullanılmıştır. Bu çalışmalar Tablo 5.2'de ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

Buna göre denizel sekilere uygulanan bu yöntemle, Gelibolu ve Biga yarımadasında (Orta-Geç Pleyistosen) 0.26-0.72 mm/yıl (Vardar vd., 2002) bölgesel yükselim hızı belirlenmiştir. Bununla birlikte Sinop yarımadası'ndaki denizel sekiler (570 binyıldan beri) üzerinde bölgesel yükselim hızının 0.02-0.18 mm/yıl olduğu ve bu duruma bölgede etkili olan Kuzey Anadolu Fayı'nın sıkışmalı bükülmesinin yol açtığı ileri sürülmüştür (Yıldırım vd. 2013a).

Türkiye'deki akarsu sekilerinde yapılan çalışmalarda ise Orta Anadolu Platosunun uzun dönemli ortalama bölgesel yükselim hızı, Kızılırmak Nehri'nin orta kesiminde bulunan sekiler için 0.05-0.08 mm/yıl olarak hesaplanmıştır (Çiner vd., 2015; Doğan ve Şenkul, 2020). Bunun yanı sıra, Batı Anadolu'da Gediz Nehri'nin orta kesimindeki akarsu sekilerinin kullanılmasıyla birlikte 0.16 mm/yıl bölgesel yükselim hızı belirlenmiştir (Maddy vd. 2017). Güney Anadolu'daki Mut havzasında ise Kuvaterner yaşlı akarsu sekilerinin kullanılmasıyla bölgenin bölgesel yükselim hızı 0.6-0.7 mm/yıl olarak belirlenmiş ve bu durumun manto dinamikleri ile ilgili olduğu ortaya konulmuştur (Schildgen vd., 2012).

Türkiye'deki akarsu seki sistemleri kullanılarak yapılan bölgesel yükselim hızı çalışmalarında elde edilen sonuçlar, Kuzey Anadolu Fay Zonu'na yakınlık ve uzaklık durumuna göre önemli sonuçlar ortaya çıkarmıştır. Kuzey Anadolu fayı'nın kuzeyinde bulunan Kızılırmak Deltasında 0.28 ± 0.07 mm/yıl (Berndt vd., 2018; 2019), Kızılırmak'ın önemli bir kolu olan Gökırmak Çayı'nda 0.28 ± 0.07 mm/yıl (Yıldırım vd., 2013b), Filyos Çayı'nda $0.15-0.20 \pm 0.03$ mm/yıl (McClain vd., 2021), Güney Anadolu'daki Göksu Nehri vadisi içerisinde 0.05 mm/yıl (Avşin vd., 2019), Ceyhan Nehri vadisindeki akarsu teraslarından $0.25-0.4$ mm/yıl (Seyrek vd., 2008), Seyhan Nehri vadisi içerisinde 0.11 mm/yıl, Güneydoğu Anadolu'da Fırat Nehri vadisinde 0.15 mm/yıl ve Murat Nehri içerisinde 0.6 mm/yıl (Avşin vd., 2021) olarak belirlenmiştir.

Bununla birlikte bölgesel yükselim hızı, Kuzey Anadolu Fayı'nın Kızılırmak'ı kestiği Kâmil Havzasında 1.00 mm/yıl (Hubert-Ferrari vd., 2021), Yeşilırmak Nehri'nde 0.94 ± 0.26 mm/yıl (Erturaç ve Kıyak, 2017) ve 1.25 mm/yıl (Altın vd., 2017), Kuzey Anadolu fayının 1. kolunun hemen güneyinde kalan Sakarya Nehri'nin aşağı çıkışında ise ortalama 0.73 ± 0.06 mm/yıl (Şahiner vd., 2018; Erturaç vd., 2019b) olarak ifade edilmiştir (Tablo 5.2).

Tablo 5.1. Sakarya Nehri Vadisi İçerisinde Yer Alan Seki Sistemleri ile Birlikte OSL Yaş Verileri ve Bölgesel Yükselim Hızları.

Yerleşme	Yakacık	Hamitabat	Gemiciköy	Küçükyenice	Selimiye
T4	+10 m	+12 m	+10 m	+9 m	+9 m
T3	+18 m	+24 m	+19 m	+21 m	+24 m
T2	+34 m	+36 m			+37 m
T1	+52 m				+50 m
Yaş (binyıl-ka)		158.03 ± 12.93	55.07 ± 4.57	150.97 ± 8.49	
Yükselim Hızı (mm/yıl)		0.22 ± 0.03	0.18 ± 0.03	0.14 ± 0.03	
Ortalama Yükselim Hızı (mm/yıl)	0.18 ± 0.03				

Tablo 5.2. Anadolu'nun Farklı Akarsu ve Denizel Sekileri İçerisinde Yapılan Çalışmalarda Elde Edilen Bölgesel Yükselim Hız Verileri (mavi renk, Kızılırmak Nehri vadisi boyunca yapılan çalışmaları; turuncu renk, Kuzey Anadolu Fay Zonu içerisinde kalan çalışmaları; yeşil renk bu çalışmayı; sarı renk, Anadolu'da çeşitli akarsu vadileri boyunca yapılan çalışmaları; kırmızı renk ise denizel sekiler içerisindeki çalışmaları ifade etmektedir.)

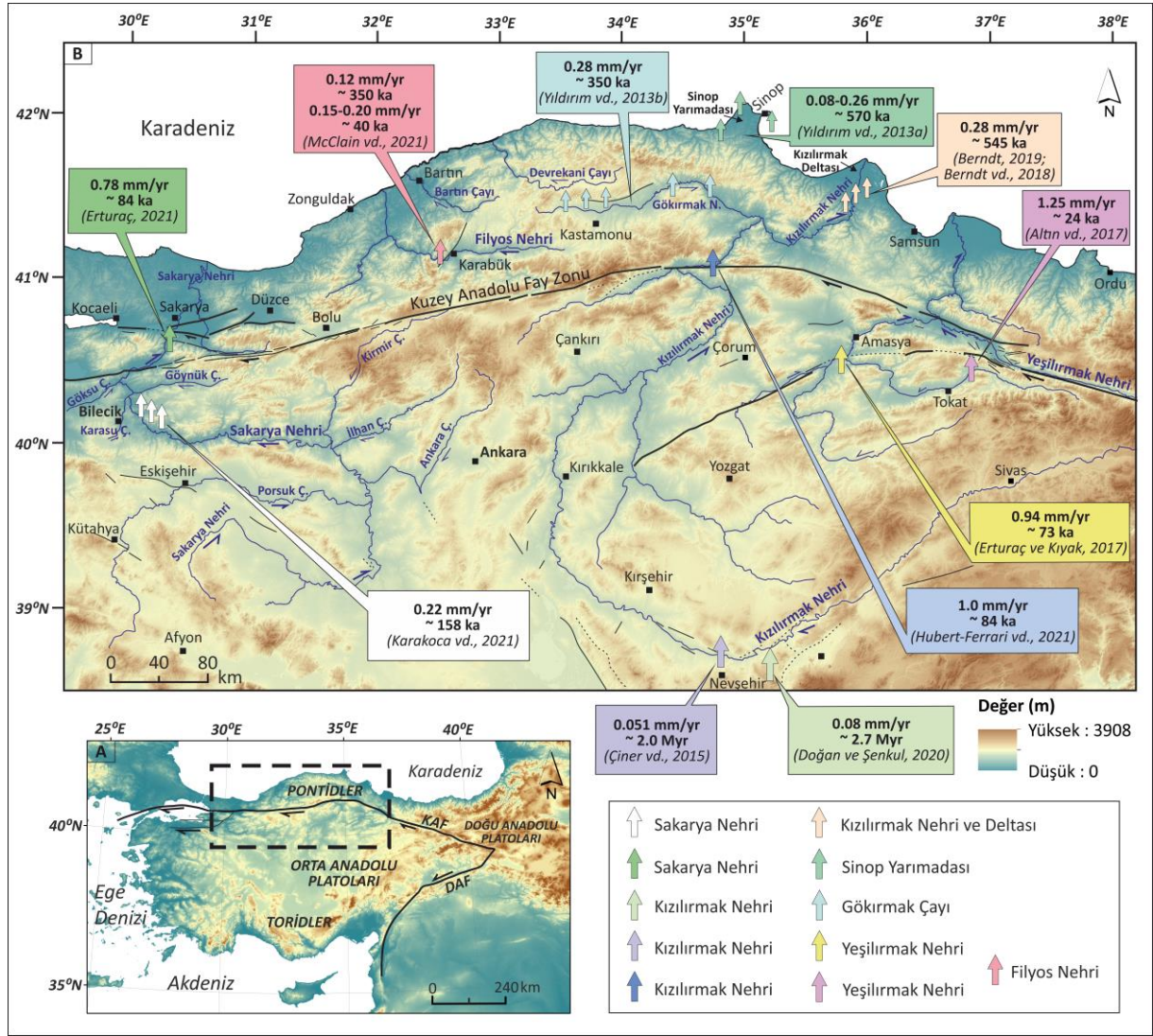
Çalışma Sahası	Yükselim Hızı (mm/yıl)	Yaş	Kullanılan Yöntem	Referans
Kızılırmak Nehri (Orta Anadolu)	0.08	2.0 My	^{40}Ar ve ^{39}Ar	<i>Doğan, 2011</i>
Kızılırmak Nehri (Orta Anadolu)	0.05	2.0 My	^{10}Be ve ^{26}Al	<i>Çiner vd., 2015</i>
Kızılırmak Nehri (Orta Anadolu)	0.08	2.7 My	-	Doğan ve Şenkul, 2020
Kızılırmak Nehri (Kızılırmak Deltası)	0.28	545 ka	OSL	Berndt vd., 2018,2019
Gökırmak Nehri	0.28	350 ka	^{10}Be , ^{26}Al ve ^{36}Cl	<i>Yıldırım vd., 2013b</i>
Kızılırmak Nehri (Kamil Havzası)	1.00	84 ka	^{10}Be , ^{26}Al ve ^{36}Cl	<i>Hubert-Ferrari, 2021</i>
Yeşilirmak Nehri	1.25	24 ka	OSL	<i>Altın vd., 2017</i>
Yeşilirmak Nehri (Geldilgen-Amasya Ovası)	0.94	73 ka	OSL	<i>Erturaç ve Kıyak, 2017</i>
Sakarya Nehri (Adapazarı Havzası)	0.78	84 ka	OSL	<i>Erturaç vd., 2019, Erturaç, 2021</i>
Sakarya Nehri	0.22	158 ka	OSL	<i>Karakoca vd., 2021</i>
Filyos Nehri	0.15-0.20	40 ka	^{36}Cl ve OSL	<i>McClain vd., 2021</i>
Gediz Nehri	0.16	1.3 My	^{40}Ar ve ^{39}Ar	<i>Maddy vd., 2017</i>
Murat Nehri	0.6	26 ka	OSL	<i>Avşin vd., 2021</i>
Göksu Nehri	0.05	240 ka	OSL	<i>Avşin vd., 2019</i>
Göksu Nehri (Mut Havzası)	0.6-0.7	1.6 My	^{10}Be ve ^{26}Al	<i>Schildgen vd., 2012</i>
Ceyhan Nehri	0.25-0.4	3.7 My	^{40}Ar ve ^{39}Ar	<i>Seyrek vd., 2008</i>
Gelibolu ve Biga Yarımadası	0.27-0.72	225 ka	U/Th	<i>Yaltırak, 2002</i>
Sinop Yarımadası	0.08-0.26	570 ka	OSL	<i>Yıldırım vd., 2013a</i>

Bu çalışmada ise tarihlenen sekilerden elde edilen yaş sonuçları, Anadolu'nun bu kesimindeki bölgesel yükselim hızı hakkında ilk verileri ortaya koyması bakımından oldukça önemlidir.

Seki seviyelerinin uzun dönemli yükselim hızı belirlenirken, teras basamaklarının yükselti değerleri (T2-Hamitabat: 36 m, T3-Küçükyenice: 21 m ve T4-Gemiciköy 9 m) ve OSL yaş sonuçları (ortalama 50~160 binyıl) kullanılmıştır. Bu doğrultuda çalışma sahası içerisinde bölgesel yükselim hızı Hamitabat yakınlarında 0.22 ± 0.03 mm/yıl, Gemiciköy yakınlarında 0.18 ± 0.03 mm/yıl ve Küçükyenice çevresinde ise 0.14 ± 0.03 mm/yıl olarak hesaplanmıştır. Buna göre birbirinden farklı konum ve yükseltiye sahip olan sekiler Orta-Geç Pleyistosen'den itibaren sabit bölgesel yükselim hızı ortalama 0.18 ± 0.03 mm/yıl olarak belirlenmiştir (Şekil 5.1). Dolayısıyla elde edilen OSL yaş sonuçları, çalışma sahasında en az son 158 bin yıldır devam eden bölgesel yükselmeye karşılık akarsu yarılmasını ortaya koymaktadır.

Özellikle, Sakarya Nehri vadisinin Geyve Boğazı ile Karasu arasındaki aşağı çığırında kalan kesiminde Erturaç vd. (2019) tarafından yapılmış olan çalışmada, bölgesel yükselim hızı ortalama 0.75 mm/yıl olarak belirlenmiştir. Bu sahanın güneyinde Sakarya Nehri'nin orta çığırında yaklaşık olarak 56 km kuş uçuşu mesafede bulunan bu çalışmadaki elde edilen yükselim hızı değerleri arasında farklılıklar söz konusudur. Bu durum, seki oluşumunda ve metrik farklılıklarda bölgesel tektonik aktivitenin önemli bir rolü olduğunu göstermektedir.

Bölgesel yükselim hız verileri karşılaştırıldığında, Kuzey Anadolu'da elde edilen verilerin Orta Anadolu'daki verilere göre daha yüksek olduğu dikkati çekmektedir. Nitekim Orta-Geç Pleyistosen sırasında ortalama bölgesel yükselim hızının Arap platformunda 0.1 mm, Batı ve Kuzey Anadolu'da ise 0.2-0.3 mm olarak hesaplanmıştır (Demir vd. 2004). Ayrıca bölgesel tiltlenme ve yarma boğazların varlığı ile Karadeniz denizel seki seviyelerinin yükseklikleri, Anadolu'nun kuzeyinde en azından bazı bölgelerinde meydana gelen yükselmenin daha fazla olduğunu ortaya koymaktadır (Demir vd., 2004). Dolayısıyla Kuzey ve Orta Anadolu'dan alınan bölgesel bilgilerle birlikte yükselme hızı, Kuzey Anadolu Fayı'nın ana koluna olan mesafe ile farklı bir yükselmeye işaret eder ve bu yavaş yükselen Orta Anadolu Platosu ile karşılaştırıldığında, sıkıştırıcı hızlandırılmış bölgesel yükselmeye neden olmaktadır. Bu durum, Orta Anadolu Platosu'nun kuzey kenarındaki yükselme modelini kontrol eden ana itici gücün Kuzey Anadolu Fayı olduğu fikrini desteklemektedir. Elbette bu sonuçlar uzun vadeli (Orta Pleyistosen'den beri) ortalama oranlarıdır ve zamansal olarak değişebilmektedir. Sonuçta, Kuzey Anadolu Fayı'na yakınlığın kaya yükselim hızını yönettiğini söylemek mümkündür (Şekil 5.1).



Bunun yanı sıra İnhisar-Gemiciköy arasında Sakarya Nehri'nin yatağı boyunca alınmış olan boyuna profilin, aynı litolojik birim (alüvyon) içerisinde düzenli bir eğim göstermesi beklenirken, bunun tersine eğimde yer yer kırıklıkların (knickpoint) bulunması da ancak lokal tektonik hareketlerin etkisi ile açıklanabilir. Ayrıca Hamitabat ve Gemiciköy yakınlarında seki dolgularında biniklenmenin (çakıl yönelimi/imbrikasyon) belirlenememesi, Yakacık, Gemiciköy, Küçükyenice ve Selimiye çevresindeki seki basamaklarının akarsuyun sadece bir yakasında gözlenmesi, Hamitabat çevresinde akarsuyun her iki yakasında bulunmasına rağmen seviyelerinin uyumsuzluklar göstermesi ve akarsu yatağındaki ötelenmelerin (Yakacık-Akçasu köyleri arasında) olması çalışma sahasındaki lokal tektonik aktivitelerin diğer göstergeleri durumundadır.

5.2. İklimsel Süreçler

Kuvaterner boyunca devam eden bölgesel yükselmeye bağlı olarak, Sakarya Nehri tarafından bir yandan çalışma sahasındaki boğazlar derinleştirilirken, diğer yandan bu boğazlar tarafından kontrol edilen vadinin nispeten genişlediği alanlardaki alüvyal dolgular yarılmıştır. Bunun yanı sıra Kuvaterner'deki iklimsel değişimler (sıcak-soğuk iklim geçişleri); bir yandan Karadeniz'deki seviye oynamalarına bağlı olarak kaide seviyesini kontrol ederken, diğer yandan ise Sakarya Nehri'nin su potansiyelini dolayısıyla taşıdığı sediment miktarını düzenleyerek kazılma-birikme döngülerini şekillendirmiştir (Karakoca ve Uncu, 2020).

Anadolu'da akarsu sekileri ile iklim değişikliği arasındaki ilişki birçok araştırmacı tarafından çalışılmıştır (Bridgland, 2000; Macklin vd., 2002; Westaway vd., 2004; Kuzucuoğlu vd. 2004; Demir vd., 2004, 2007, 2008, 2009; Doğan, 2010, 2011; Erturaç vd., 2019; Hubert-Ferrari vd., 2021). Bu çalışmalarda temel amaç, akarsu aşınım ve birikim süreçleri ile soğuk-sıcak dönemler (MIS) arasında bir korelasyonun söz konusu olup olmadığının tartışılmasıdır. Böylece seki oluşumu üzerinde sadece tektonik yükselmenin değil, aynı zamanda iklimsel değişimlerinde etkisinin de ortaya konulması amaçlanmıştır.

Nitekim bazı araştırmacılar akarsuyun ana aşınım ve birikim olaylarının sırasıyla soğuk (özellikle buzul maksimumları) ve sıcak (soğuk-sıcak iklim geçişleri dahil) dönemlerde meydana geldiğini (Doğan, 2010, 2011); buna karşılık diğer araştırmacılar (Demir vd., 2009; Westaway vd., 2006, Seyrek vd., 2008) ise soğuk dönemlerde akarsu birikiminin arttığını öne sürmektedir.

Özellikle Kuvaterner'deki iklimsel değişimler (sıcak-soğuk iklim geçişleri) hem deniz seviye oynamalarına bağlı olarak kaide seviyesini kontrol ederken, hem de nehirlerin su potansiyelini dolayısıyla taşıdığı sediment miktarını düzenleyerek kazılma-birikme döngülerini şekillendirmiştir (Armaş vd., 2019; Erturaç vd., 2019; Karakoca ve Uncu, 2020; Hubert-Ferrari vd., 2021).

Bu çalışmada, iklimsel süreçlerin akarsu sekileri üzerine etkisini ortaya koyabilmek için seki sistemlerinin OSL yaş verileri kullanılmıştır. Çalışma sahası içerisinde Sakarya Nehri'nin en eski sekisi durumunda olan T1'in tarihlendirmeye uygun çökeller bulundurmamasından dolayı tarihlendirme için T2-T3 ve T4 seviyelerindeki uygun çökeller tercih edilmiştir. Lüminesans verilerinin yorumlanması ise Tooth (2013)'a göre yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, akarsu teraslarının OSL yaşları, Orta Pleyistosen sonu (Orta-Geç Pleyistosen geçişi) (158.03 ± 12.93 ka ve 150.97 ± 8.49 ka) ve Geç Pleyistosen (55.07 ± 4.57 ka) arasında değişmektedir. Dolayısıyla seki sistemlerine ait depolar, kabaca 50-160 ka arasında değişen zamanlardaki biriktirme süreçlerine işaret etmektedir.

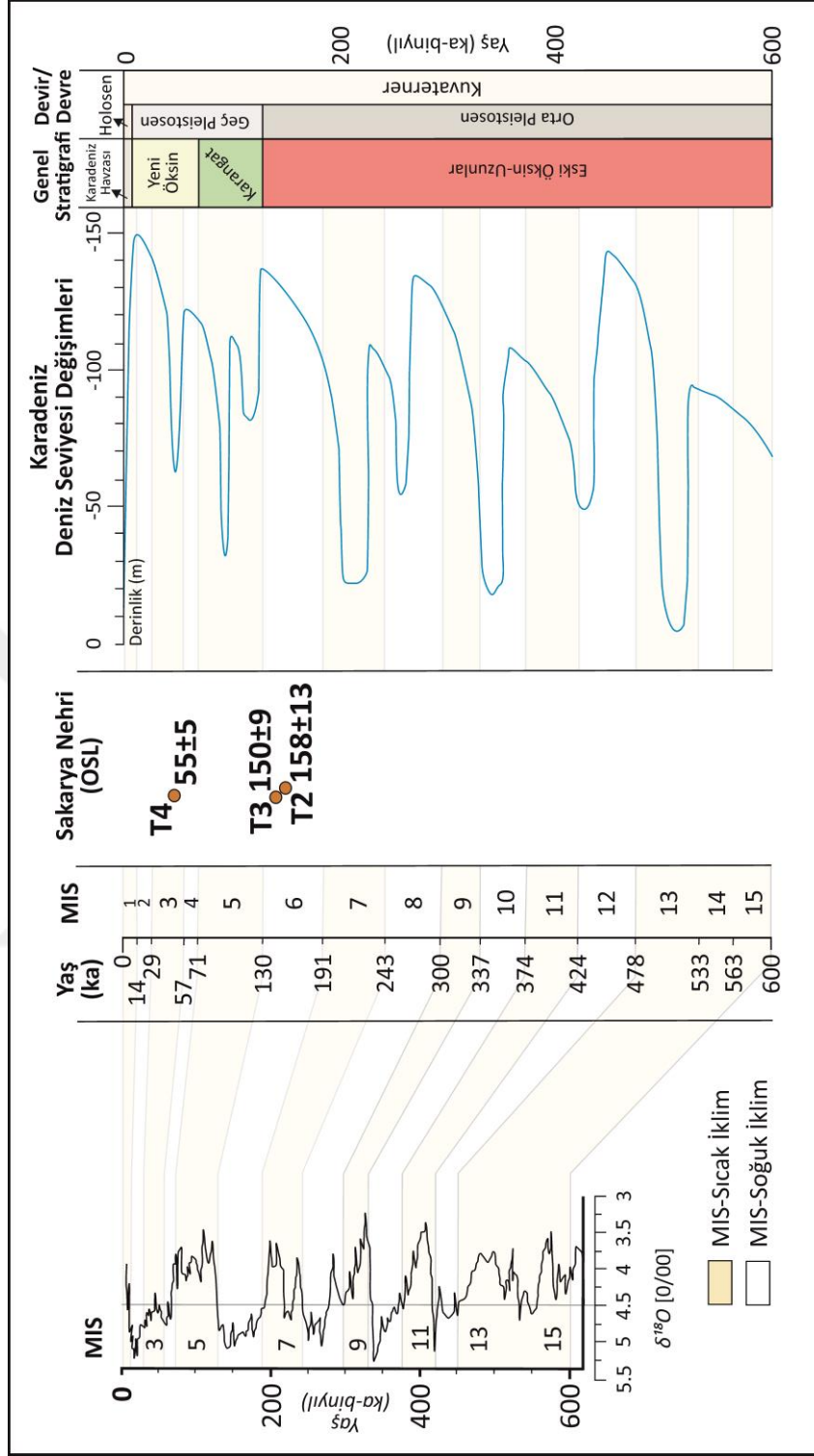
Denizel İzotop Evreleri dikkate alındığında, söz konusu tarihlerden genç olan (T4) MIS3c'ye (interglasyal), yaşlı olanlar (T3 ve T2) ise MIS6b'ye (interstadyal) karşılık gelmektedir (Şekil 5.2). Özellikle, 158.03 ± 12.93 ka önce tarihlendirilen eski seki seviyesi (T2) Sakarya Nehri tarafından yarılmıştır. Böylece Hamitabat'da yer alan T2 seviyesi Orta-Geç Pleyistosen'de önemli bir Karadeniz seviyesi düşüşünün başlangıcında oluşmuştur. Aynı şekilde 55.07 ± 4.57 ka öncesine tarihlendirilen Gemiciköy'deki T4 seviyesi de MIS3'ün alt kısmına denk gelmekte ve Karadeniz'deki Karangatian transgresyonundan sonraki son düşüş (Panin ve Popescu, 2007) sırasında Sakarya Nehri tarafından yarılmıştır.

Nitekim Sakarya Nehri vadisi boyunca MIS3 sırasında (55.07 ± 4.57 binyıl) meydana gelen seki oluşumu ile (Gemiciköy-T4) Karadeniz'e akan diğer nehirlerin oluşturduğu sekilerin yaşları karşılaştırıldığı zaman yaş sonuçları birbirine denk gelmektedir. Filyos Çayı'nda (52.5 ± 2.89 binyıl-McClain vd., 2020), Yeşilırmak Nehri'nde (48.5 ± 5 ka-Erturaç ve Kıyak, 2017), aşağı Sakarya vadisinde (41 ± 2 ka-Erturaç vd., 2019), Kamil Havzasında (~ 40 binyıl - Kızılırmak Nehri; Hubert-Ferrari vd., 2021), Gökırmak Çayı vadisi içerisinde (68 ± 6 binyıl-Yıldırım vd., 2013b), Düzce Havzası'ndaki Develi Nehri vadisi içerisinde (60 binyıl-Pucci vd., 2008) ve Tuna Nehri'nin en genç sekilerden (50 ± 6 binyıl-Armaş vd., 2019) elde edilen seki yaş sonuçları Gemiciköy'deki yaş verilerine karşılık gelmektedir. Bu durum Karadeniz'de seviye yükselmesine bağlı olarak sekilerin olduğu dönemde, Sakarya Nehri'nin vadisi içerisinde taşkınlar yapmasından kaynaklanmaktadır.

Bunun yanı sıra çalışma sahasına yaklaşık olarak 35 km kuş uçuşu mesafede bulunan İznik Gölü’nde Gastineau vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada, 40 bin yıl öncesinde önemli bir transgresyon evresine bağlı olarak göl seviyesinin 50 metreden fazla yükseldiği ortaya konulmuştur.

Buna göre Sakarya Nehri, Karadeniz’in deniz seviyesinin yükseldiği nispeten ılık ve nemli geçen interglasyal ve interstadyal dönemler boyunca yatağında birikim yapmış, buna karşılık deniz seviyesinin düştüğü soğuk ve/veya soğuk-sıcak geçiş dönemlerinde ise yatağını kazarak seki basamaklarını oluşturmuştur. Sonuç olarak, elde edilen tarihlendirmeler, akarsuyun yatağının kazılımı için MIS6b döneminden sonra “Penultimate Buzul Maksimumu” ve MIS3c’den sonrasında ise “Son Buzul Maksimumu”nu işaret etmektedir (Şekil 5.2).





Şekil 5.2. Orta Pleyistosen-Holosen Korelasyonları. Denizel İzotop Katları, ^{18}O Oksijen Eğrisi, Karadeniz Seviye Değişimleri ve Karadeniz Krono-Stratigrafisi ile Birlikte Uluslararası Stratigrafi Çizelgesinin Gösterimi. Sakarya Nehri Akarsu Teraslarının OSL Yaşları ve MIS Dönemleri İçerisindeki Yeri de Belirtilmiştir.

Kaynak: (Armaş vd., 2019; Panin ve Popescu, 2007)

5.3. Teras Yataklarının Sediment Değerlendirmesi ve Paleo-nehir Vadisinin Yorumlanması

Çalışma sahası içerisinde tespit edilen yüksek sekilere (T3 ve T2) ait dolgular, sedimantolojik olarak altta yarı yuvarlatılmış-yuvarlatılmış iri çakıllardan oluşan akarsu yatağı depolarıyla başlamakta, üste doğru ise küçük çakıllar ve ince taneli taşkın ovası materyalleriyle devam etmektedir. Bu durum, seki dolgularının biriktirilmeye başlandığı dönemde daha bol yağışlı ve nemli iklim koşullarına bağlı olarak, düzensiz ancak yüksek enerjili bir akış rejiminin olduğunu göstermektedir. Ancak günümüze doğru yaklaştıkça iklim koşullarının daha ılıman ve sıcak bir özellik kazanmasıyla birlikte, daha düzenli ve zayıf enerjili bir akış rejimine doğru değişimini göstermiştir.

Sakarya Nehri'nin vadi tabanının hemen yakınında gelişmiş bulunan en genç sekilere (S4) ait dolgular ise tamamen bu düşük akış rejiminin eseri olan ve çok az çakıl içeren ince taneli taşkın ovası sedimanlarından oluşmaktadır. Nitekim günümüzde de antropojenik etkiler sonucunda Sakarya Nehri düşük enerjili ve nehir yatağı içerisinde ırmak adası ve burun seti depoları gibi genç morfolojik üniteler bulundurmaktadır. Ayrıca çalışma sahası içerisinde akarsu sinüselliğinin oranının 1,56 olarak hesaplanması, bu bölgede Sakarya Nehri'nin çoğunlukla ara tabakalı, iri ve ince taneli çökellerle desteklenen menderesli bir akış gösteren nehir tipinde olduğunu işaret etmektedir.

Bununla birlikte Sakarya Nehri'nin her bir teras seviyesi nispeten benzer tortul yapıya ve fasiyes istifine sahiptir. Sakarya Nehri vadisi boyunca düzensiz bir dağılışı gösteren seki basamaklarından Yakacık ve Selimiye çevresinde tespit edilen +52 m ve +50 m yükseklikte ve üzerinde dağınık halde çakıllar bulunan seviye (T1) dışında kalan diğer tüm sekiler kalınlığı yer yer değişen dolgu sekisi özelliği göstermektedir. Küçükkenice yakınlarında tespit edilen +21 m yükseklikteki teras deposu (T3) yarı yuvarlanmış-yuvarlanmış, yatay tabakalı ince-orta boy çakıllardan oluşurken, yer yer iri çakıl boyutundaki malzemeler ile köşeli taşlardan ve düzlemsel çapraz tabakalı kil, silt ve kum boyutundaki malzemelerin bir araya gelmesi sonucu oluşmuştur. Böylece bu fasiyes karışık yüklü ve gezici bir kanalı temsil etmektedir.

Buna karşılık Gemiciköy yakınlarında tespit edilen +10 m yükseklikteki teras deposu (T4), daha çok irili ufaklı köşeli taşlar ve kil-silt boyutundaki malzemelerden oluşmaktadır. Düşük açılı düzlemsel çapraz katmanlanma gösteren depo içerisinde tane destekli ince çakıl tabakaları görülmektedir. Bu deponun en çarpıcı özelliği, masif katmanlanmış çakıllar içerisinde yer yer kesintili şekilde gözlenen ve dönem dönem durgunlaşan akışın göstergesi olan kil-silt bantlarının varlığıdır. Bu durum çalışma sahası içerisinde Gemiciköy yakınlarındaki en genç seki deposu (T4) oluşumuna devam ederken, önce yüksek enerjili bir akışa sahipken daha sonra ise nehir enerjisinin azalmaya başladığı ve günümüze doğru Sakarya Nehri'nin düşük bir enerjili akışa geçtiğini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla akarsu seki birikiminin bu özelliklerine göre, Sakarya Nehri'nin hem buzul hem de buzularası dönemlerinde benzer bir kanal yapısına sahip olduğu söylemek mümkündür. Bu durum bölgede etkili olan iklim koşullarının sekilerin sedimantolojik özelliklerini kontrol ederek şekillendirdiğini göstermektedir.

6. SONUÇ

Bu çalışmada, Geç Kuvaterner döneminde yaşanan bölgesel/yerel tektonik aktivite ile küresel iklim değişikliklerine bağlı olarak meydana gelen Karadeniz seviye dalgalanmalarının Sakarya Nehri vadisinin orta çığırında gelişmiş bulunan akarsu seki sistemleri ve boğazların oluşumu, gelişimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Tezin hazırlanmasında, ayrıntılı saha gözlemleri, sedimantolojik ve stratigrafik yorumlama, morfometrik analizler, coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama teknikleri ile birlikte OSL tarihlendirme yöntemi kullanılmıştır.

Çalışma sahasının Türkiye'nin önemli orojenik kuşaklarından birisi olan Pontid kuşağının batısını oluşturan Sakarya Kıtası içerisinde yer alması ve kuzeyden Kuzey Anadolu Fay Zonu, güneyden ise Eskişehir-İnönü Fay Zonu olarak bilinen son derece aktif doğrultu atımlı iki fay zonu arasında kalan bir bölgede bulunmasından dolayı Sakarya Nehri'nin flüvyal süreçleri üzerinde tektonik aktivitenin etkisinin önemi açıklanmıştır.

Çalışma sahasının önemli morfolojik ünitesi olan seki sistemleri, bölgesel/lokal tektonik etkilerin ortaya konulmasında ve bölgenin jeomorfolojik gelişiminin aydınlatılmasında kullanılabilecek son derece önemli jeomorfolojik ve sedimantolojik veriler sunmaktadır.

Kuzeybatı Anadolu'nun en önemli akarsuyu olan Sakarya Nehri vadisi boyunca çok sayıda akarsu seki seviyesi belirlenmiştir. Sakarya Nehri'nin vadi tabanından itibaren; Yakacık köyü çevresinde dört (+10 m, +18 m, +34 m ve +52 m), Hamitabat köyü çevresinde üç (+12 m, +24 m ve +36 m), Gemiciköy çevresinde iki (+10 m ve +19 m), Küçükyenice yakınlarında iki (+9 m ve +21 m) ve Selimiye çevresinde dört (+9 m, +24 m, +37 m ve +50 m) seviye halinde gözlenebilen seki basamakları Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama teknikleri yardımıyla haritalanmıştır.

Bununla birlikte seki sistemlerinin jeokronolojik özelliklerinin ortaya konulabilmesi için OSL tarihlendirme yöntemi kullanılmıştır. Analiz sonuçlarına göre 158.03 ± 12.93 ka, 150.97 ± 8.49 ka ve 55.07 ± 4.57 ka olmak üzere üç farklı yaş sonucu elde edilmiştir. Bu sonuçlar, Orta Sakarya vadisi içerisindeki seki sistemlerinin jeokronolojik bir çerçeveye oturtulması bakımından oldukça önemlidir. Bunun yanı sıra gerek bu bölgeye ait önemli bir veri boşluğunun doldurulması gerekse Anadolu'nun çeşitli bölgelerindeki seki sistemleri ile karşılaştırılması ve bu çalışmalara destek sunması açısından da önemli bir yere sahiptir.

OSL tarihlendirmelerinin sonuçlarına göre, Sakarya Nehri vadisi içerisinde MIS-6b (~158 binyıl) ve MIS3c (~55 binyıl) sırasında çökme başlangıcına ve yarıma dönemine ait yaşları belirlenmiştir. Bu sonuçlar, nehrin nispeten sıcak iklim dönemlerinde birikim yaptığını ve buna karşılık soğuk dönemlerde ve/veya geçiş dönemlerinde yatağını kazdığını göstermektedir. Bu nedenle muhtemelen teras birikiminin bu zamanlaması, bitki örtüsündeki azalma nedeniyle tortu taşımalarının daha fazla arttığı döneme karşılık gelmektedir.

Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun güneyinde bulunan çalışma sahasındaki bölgesel yükselim hızını hesaplamak için yüksek teras seviyelerinin (T2-T3) konumları ve yaşları kullanılmıştır. Bu terasların mekânsal ve zamansal konumu Orta-Geç Pleyistosen'den günümüze kadar ortalama 0.22 ± 0.03 mm/yıl sabit-tekdüze bölgesel yükselim hızını vermektedir.

Çalışma sahası içerisinde Sakarya Nehri vadisinin gelişim sürecinin ana hatlarını tektonik aktivite belirlemiştir. Özellikle çalışma sahası içerisindeki normal fayların boğazlar, mağaralar, akarsu yatağı ve seki seviyeleri üzerindeki etkisi dikkat çekicidir. Özellikle Hamitabat çevresindeki seki basamaklarının akarsuyun her iki yakasında bulunmasına rağmen seviyelerinin birbirine göre uyumsuzluklar göstermesi çalışma sahası içerisindeki vadi yamaçları arasında da lokal tektonik aktivitenin önemini göstermektedir. Bunun yanı sıra seki dolgularında biniklenmenin belirlenememesi, bazı yerlerde seki basamaklarının akarsuyun sadece bir yakasında bulunması ve akarsu yatağındaki ötelenmeler, çalışma sahasındaki lokal tektonik aktivitelerin diğer göstergeleri durumundadır. Dolayısıyla Sakarya Nehri vadisinin gelişiminde ve özellikle akarsu seki seviyelerinin oluşumunda, küresel iklim değişikliklerinin vadi taban seviyesine olan etkisinin yanı sıra bölgesel/yerel tektonik aktivite tarafından kontrol edilen temel düzeydeki süreçlerin oldukça önemli olduğu ortaya konulmuştur.

Aynı zamanda, çalışma sahası içerisinde Sakarya Nehri ve kollarının akarsu havzaları belirlenmiştir. Bu akarsu havzaları içerisindeki yer şekillerinin kantitatif olarak değerlendirilebilmesi ve morfometrik özelliklerinin açıklanabilmesi için çeşitli morfometrik analizlerden yararlanılmıştır. Bu doğrultuda CBS ortamında çalışma sahasının 10 m çözünürlüklü SYM verisi elde edilmiş ve bu veri altlık olarak kullanılarak hidroloji analizi yardımıyla akarsu ağları belirlenmiştir. Elde edilen verilere morfometrik analizler uygulanarak Sakarya Nehri ve kollarına ait akarsu havzalarının morfometrik özellikleri ortaya konulmuştur.

Çalışma sahasında morfometrik indisler Sakarya Nehri ve alt havzalar kapsamında Yenipazar, Erbis, Karasu, Göynük ve Göksu Çayı havzaları olmak üzere toplamda 6 drenaj havzasına uygulanmıştır. İlk olarak hipsometrik eğri-hipsometrik integral indisi uygulanmıştır. Hipsometrik eğrilerden elde edilen sonuçlara göre, eğrinin içbükey olduğu havzalar nispeten olgunluk safhasında (Sakarya Nehri ve Göksu Çayı havzaları), buna karşılık denk bir profile sahip olanlar genç-olgun döneminde (Göynük Çayı havzası), dışbükey profil gösterenler ise gençlik safhasında (Yenipazar, Erbis ve Karasu Çayı havzaları) olan havzaları ifade etmektedir. Hipsometrik eğrinin sayısal olarak ifade edilmesi kapsamında uygulanan hipsometrik integral indisi sonuçlarına göre 0,49 (Erbis ve Göksu Çayı havzaları) ve 0,50 (Sakarya Nehri ile Yenipazar, Karasu ve Göynük Çayı havzaları) değerleri hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre, elde edilen yüksek Hi değeri indisin uygulandığı havzalarda, havzanın gelişim evresi bakımından gençlik-olgunluk geçiş safhasında olduğunu göstermektedir.

Daha sonra, özellikle Sakarya Nehri'nin açmış olduğu ve seki oluşumlarını büyük ölçüde kontrol eden dar ve derin boğazların oluşum süreçleriyle sahanın tektonik özellikleri hakkında önemli bilgiler sağlaması bakımından, vadi tabanı genişliği-vadi yüksekliği oranı indisi uygulanmıştır. İndis sonuçlarına göre, elde edilen düşük Vf değeri (ortalama 0,25) indisin uygulandığı alanlarda yüksek seviyede tektonik aktivite olduğunu göstermektedir. Bu durum önce tektonik yükselmeye birlikte sahada yükselmenin meydana geldiğini, sonrasında ise akarsu yatağının lokal tektonik hareketlerin etkisiyle yatağına gömüldüğünü göstermiştir. Dolayısıyla boğazların oluşumunda ve akarsuyun gömülmesinde epijenez olayının yanı sıra antedans olayının önemli bir rolü olduğunu ortaya koymuştur.

Çalışma sahasında akarsu yatağındaki eğim değişiklikleri ile litoloji ve tektonizmanın ilişkisini açıklayabilmek için akarsu uzunluk-gradyan indisi uygulanmıştır. Öncelikle akarsuların boyuna profili çıkartılmış ve sonrasında indis hesaplaması yapılmıştır. İndis sonucuna göre, Sakarya Nehri'ne ait boyuna profilde özellikle litolojide herhangi bir değişkenlik söz konusu olmamasına rağmen SL indis sonuçlarındaki yüksek değerler tektonik aktivitenin etkisinden kaynaklandığını göstermektedir.

Drenaj havzalarında meydana gelen tektonik tiltlenmeyi (çarpılmayı-eğimlenme) belirlemek için Asimetri faktör indisi uygulanmıştır. AF indisi sonucuna göre, elde edilen AF değerinin (35,06) 50'den küçük olmasından dolayı, çalışma sahası içerisinde Sakarya Nehri havzasının akış istikametine göre sağa doğru tiltlendiği göstermektedir. Seki sistemlerinin akarsuyun akış güzergâhına göre genellikle sol yamaçta yoğunluk kazanması (Yakacık, Hamitabat, Küçükyenice ve Selimiye köyü çevresindekiler gibi) tiltlenmenin sağa doğru olduğunu gösteren bir diğer önemli kanıt durumundadır.

Bununla birlikte çalışma sahası içerisinde elde edilen akarsu boyuna profilleri ve topografik alan profilleri (SWATH) topografyanın tektonik, litolojik ve iklimsel değişimlere karşı kısa-uzun vadeli tepkisini göstermesi bakımından oldukça önemli sonuçlar ortaya koymuştur. Özellikle İnhisar-Osmaneli arasında Sakarya Nehri'nin yatağı boyunca alınan boyuna profilin aynı litolojik birim içerisinde düzenli bir eğim göstermesi beklenirken, aksine Kuvaterner yaşlı alüvyal birimler içerisinde eğim kırıklıklarının tespit edilmesi, çalışma sahasındaki lokal tektonik aktiviteye işaret etmektedir. Ayrıca söz konusu alan içerisinde elde edilen SWATH profillerde, ortalama yükseklik değerinin maksimum yükseklik değerine doğru sapması ve topografik hipsometrik integral değerinin bire (1) yakın olması topografyadaki yükselmeyi (uplift) ifade etmektedir. Bu durum çalışma sahasının tektonik bakımdan nispeten genç bir topografyaya hâkim olduğunu göstermektedir.

Sonuçta, çalışmada uygulanan morfometrik indis ve profil analizlerinin jeolojik-jeomorfolojik özelliklerle ilişkilendirilmesi sonucunda elde edilen bulgular, hem çalışma sahasının morfometrik özelliklerinin belirlenmesinde hem de çalışma sahasındaki drenaj ağının oluşumu ve gelişimi üzerinde önemli sonuçlar ortaya koymaktadır. Özellikle çeşitli morfometrik analiz uygulamalarının sayısal değerleri ve üretilen haritalar, bölgedeki tektonik aktivite, litolojik ve iklimsel farklılıkların çalışma sahasındaki flüvyal süreçler üzerindeki etkisini net bir şekilde ifade etmektedir.

Sonuç olarak, Orta-Geç Pleyistosen'den günümüze kadar geçen zaman içerisinde Sakarya Nehri vadisinin orta çığırında boğazların kontrolünde gelişen seki sistemleri, hem bölgesel/lokal tektonik etkilerin ortaya konulması hem de bölgenin jeomorfolojik gelişiminin aydınlatılması açısından önemli jeomorfolojik ve sedimantolojik veriler sunmuştur. Özellikle seki sistemleri, Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun güneyinde kalmasından dolayı bölgesel/lokal tektonik hareketlerden daha çok etkilenmiştir. Bunun yanı sıra iklimsel değişimlere bağlı olarak Karadeniz'de yaşanan deniz seviyesi değişimleri de sekilerin taban seviyesi ve sedimantolojik yapısını kontrol ederek etkili olmuştur. Dolayısıyla bu çalışma, Sakarya Nehri vadisindeki morfolojik birimlerin tektonik ve iklimsel etkenler tarafından kontrol edilen karmaşık yapılı bir sistem içerisinde geliştiğini göstermiştir. Bununla birlikte bu çalışmadaki sonuçlar, başka yerlerde bulunan benzer özelliklere sahip havzalardaki nehir sistemlerinin evrimini anlamak için de uygun bir örnek teşkil edecektir. Buna karşılık çalışma sahasının tektonik birlikler içerisinde dar bir alanı temsil etmesinden dolayı, çalışma kapsamı dışındaki diğer morfolojik birimlerin özelliklerinin detaylı bir şekilde ortaya konulabilmesi yerinde olacaktır. Özellikle bu birimlerden daha fazla zamansal ve mekânsal verilerinin elde edilmesi, bölge evriminin ortaya konulabilmesi açısından oldukça önemlidir.

KAYNAKÇA

- Açıklan, S.** (2011). *Orta Sakarya Bölgesi Kretase-Tersiyer İstifinin Kaynak Bölge ve İklimsel Açılardan İncelenmesi*. (Yayınlanmamış Doktora Tezi). Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.
- Aitken, M. J.** (1998). *An Introduction to Optical Dating: The Dating of Quaternary Sediments by the Use of Photon-Stimulated Luminescence*. Oxford University Press, 267p.
- Akıncı, Ö.** (1966). Bilecik Bölgesi Kaolin Yatakları ve Civarının Jeolojisi. *MTA Dergisi*, Ankara.
- Akkan, E.** (1968). Şahinkaya Yarmavadisi. *Coğrafya Araştırmaları Dergisi (Ankara Üniversitesi, DTCTF Araştırmaları Enstitüsü Yayını)*, S. 1, 271-299, Ankara.
- Akkan, E.** (1970). *Bafra Burnu-Delice Kavşağı Arasında Kızılırmak Vadisinin Jeomorfolojisi*. Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Yayınları, 191, Ankara.
- Akyazı, M., Toprak, Ö., Erdoğan, T., Karabaşoğlu, A., & Ursavaş, T. Ş.** (2001). Bilecik Yöresinin Mesozoyik Stratigrafisi. *Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, Seri A, Yerbilimleri C.16, S.1, S.27-46, Sivas.
- Akyol, İ. H.** (1947). Türkiye'de Akarsu Sistemleri ve Rejimleri. *Türk Coğrafya Dergisi*, S.9-10, Ankara.
- Altın, T. B., & Altın, B. N.** (2020). Evaluation of Drainage in the Upper Catchment of the Yeşilırmak River Basin Along the Almus Fault, Northern Turkey. *Coğrafya Dergisi*, S. 40.
- Altın, T. B., Altın, B. N., & Öztürk, M. Z.** (2017). Climatic and Tectonic Effects on Terrace Formation During the Late Quaternary in the Upper Yeşilırmak Valley, Northern Turkey. *Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, 40.
- Altın, T.** (2009). Pleistocene and Holocene Fluvial Development of the Ecemiş Valley (Central Anatolia, Turkey). *Quaternary International*, 204, 76-83.
- Altınlı, İ. E., Gürpınar, O., & Erşen, S.** (1970). Erenköy-Deresakarı (Bilecik İli) Alanının Jeolojisi. *İstanbul Üniversitesi, Fen Fak. Mec.*, Seri B, C.XXXV, S.1-2, İstanbul.
- Altınlı, İ. E., & Saner, S.** (1971). Bilecik Yakın Dolayının Jeoloji İncelemesi. *İstanbul Üniversitesi, Fen Fak. Mec.*, Seri B, C.36, S.9-21.
- Altınlı, İ. E.** (1973). Bilecik Jurasığı. *Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi Tebliğleri*, MTA Yayını, s. 103-111, Ankara.

- Altınlı, İ. E.** (1974). The Problem of the Depositional Environments of the Kızılçay Group Along the Sakarya Rivers Middle Reach. *İstanbul Üniversitesi Fen Fak. Mec.*, Seri B, 39 (3-4), 223-240.
- Altınlı, İ. E.** (1975). Orta Sakarya Jeolojisi. *Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi Tebliğleri*, MTA Yayını, s.159-191, Ankara.
- Ardel, A.** (1955). Yukarı Sakarya Havzası. *Türk Coğrafya Dergisi*, 13, 3-24, Ankara.
- Ardos, M.** (1996). Türkiye Akarsu Şebekesinin Kuvaterner'deki Oluşum ve Gelişimi. İ.Ü Edebiyat Fakültesi, *Coğrafya Dergisi*, S. 4, s. 1-6, İstanbul.
- Armaş, I., Necea, D., & Miclauş, C.** (2019). Fluvial Terrace Formation and Controls in the Lower River Danube, SE Romania. *Quaternary International*, 504, 5-23.
- Avşin, N.** (2006). *Sarıhıdır-Çiftedam Arasında (Avanos) Kızılırmak Vadisinin Jeomorfolojisi*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı, Ankara.
- Avşin, N.** (2010). 1954 Ve 2009 Yılları Arasında Kızılırmak'ın Yatak Tipinde Gözlenen Değişimler, Avanos. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 8 (1), 93-104.
- Avşin, N.** (2011). Kızılırmak Sekilerinin Oluşumunda İklim ve Tektoniğin Rolü, Avanos. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 9 (2), 221-238.
- Avşin, N.** (2013). *Göksu Nehri Vadisinin Flüvyal Jeomorfolojisi (Mut-Silifke Arası)*. (Yayınlanmamış Doktora Tezi). Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı, Ankara.
- Avşin, N.** (2014). Göksu Nehri Vadisinin Flüvyal Jeomorfolojisi (Mut-Silifke Arası). *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, C. 7, S. 34, s. 314-334.
- Avşin, N., Vandenberghe, J., Balen, V.R., Kıyak, N.G., & Öztürk, T.** (2019). Tectonic and Climatic Controls on Quaternary Fluvial Processes and River Terrace Formation in a Mediterranean Setting, The Göksu River, Southern Turkey. *Quaternary Research*, 91 (2), 533-547.
- Avşin, N.** (2020). Kuzey Avrupa ve Türkiye Nehirlerinin Kuvaterner Buzul Devirlerine Farklı Tepkiselliği. *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, Y. 8, S. 108, s. 206-218.

Avşın, N. (2021). *Flüvyal Ortamlarda Sedimentolojik ve Stratigrafik Analizler: Fiziki Coğrafya Açısından Bir Değerlendirme* (Ed. Ertekin, İ., Sülün, E.N., Kurt, M.B.). Sosyal ve Beşeri Bilimlerde Araştırma ve Değerlendirmeler, Cilt II, Bölüm 39, 335-356.

Avşın, N., Erturaç, M. K., Şahiner, E., & Demir, T. (2021). The Quaternary Climatic and Tectonic Development of the Murat River Valley (Muş Basin, Eastern Turkey) as Recorded by Fluvial Deposits Dated by Optically Stimulated Luminescence. *Quaternary*, 4, 29.

Aydın, M., Serdar, H. S., Şahintürk, Ö., Yazman, M., Çokuğraş, R., Demir, O., & Özçelik, Y. (1987). Çamdağ (Sakarya)-Sünnice Dağı (Bolu) Yöresinin Jeolojisi. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 30 (1), 1-14.

Berndt, C., Yıldırım, C., Çiner, A., Strecker, M. R., Ertunç, G., Sarıkaya, M. A., Özcan, O., Öztürk, T., & Kıyak, N.G. (2018). Quaternary Uplift of the Northern Margin of the Central Anatolian Plateau: New OSL Dates of Fluvial and Delta-Terrace Deposits of the Kızılırmak River, Black Sea Coast, Turkey. *Quaternary Science Reviews*, 201, 446-469.

Berndt, C. (2019). *A Multi-Proxy Study of the Kızılırmak River Terraces and Its Delta, Northern Turkey: Implications for Tectonics, Sedimentation, Sea Level and Environmental Changes*. (Ph. D. Thesis). Istanbul Technical University, Eurasia Institute of Earth Sciences, Department of Solid Earth Sciences, Istanbul.

Bilgin, T. (1973-1975). *Adapazarı Ovası ve Sapanca Oluğunun Alüvyal Jeomorfolojisi ve Kuaternerdeki Jeomorfolojik Tekamülü*. Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, 180 s., İstanbul.

Bilgin, T. (1980). Orta Sakarya Platolarında Yapı Satırları ve Drenaj. *TBTAK Projesi*, Proje No: TBAG275, s.302, Ankara.

Bilgin, T. (1990). Orta Sakarya Vadisinin Jeomorfolojisi. *Atatürk Kültür, Dil ve Tarih Yüksek Kurumu, Coğrafya Bilim ve Uygulama Kolu, Coğrafya Araştırmaları*, C.1, S.2.

Bingöl, E., Akyürek, B., & Korkmazer, B. (1973). Biga Yarımadasının Jeolojisi ve Karakaya Formasyonunun Bazı Özellikleri. *Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi Tebliğler*, MTA, s. 70-77, Ankara.

Bintanja, R., van de Wal, R. S. W., & Oerlemans, J. (2005). Modelled Atmospheric Temperatures and Global Sea Levels over the Past Million Years. *Nature*, 437, 125-128.

Bledsoe, B. P., & Watson, C. C. (2001). Logistic Analysis of Channel Pattern Thresholds: Meandering, Braiding and Incising. *Geomorphology*, 38, 281-300.

- Bridgland, D. R.** (2000). River Terrace Systems in North-West Europe an Archive of Environmental Change, Uplift and Early Human Occupation. *Quaternary Science Reviews*, 19, 1293-1303.
- Bridgland, D. R., Philip, G., Westaway, R., & White, M.** (2003). A Long Quaternary Terrace Sequence in the Orontes River Valley, Syria: a Record of Uplift and of Human Occupation. *Current Science*, Vol. 84, No. 8, pp. 1080-1089.
- Bridgland, D. R., Demir, T., Seyrek, A., Pringle, M., Westaway, R., Beck, A. R., Rowbotham, G., & Yurtmen, S.** (2007). Dating Quaternary Volcanism and Incision by the River Tigris at Diyarbakır, Southeast Turkey. *Journal of Quaternary Science*, 22 (4), 387-393.
- Bridgland, D., & Westaway, R.** (2008). Climatically Controlled River Terrace Staircases, A Worldwide Quaternary Phenomenon. *Geomorphology*, 98, 285-315.
- Bridgland, D. R., Westaway, R., Romieh, M. A., Candy, I., Daoud, M., Demir, T., Galiatsatos, N., Schreve, D. C., Seyrek, A., Shaw, A. D., White, T. S., & Whittaker, J.** (2012). The River Orontes in Syria and Turkey, Downstream Variation of Fluvial Archives in Different Crustal Blocks. *Geomorphology*, 165-166, pp. 25-49.
- Bridgland, D. R., Demir, T., Seyrek, A., Daoud, M., Romieh, M. A., & Westaway, R.** (2017). River Terrace Development in the NE Mediterranean Region (Syria and Turkey): Patterns in Relation to Crustal Type. *Quaternary Science Reviews*, Xxx, 1-17.
- Bull, W. B., & McFadden, M.C.** (1977). *Tectonic Geomorphology North and South of the Garlock Fault, California*. (Ed. Doehring, D.O.) In: *Geomorphology in Arid Regions: A Proceedings Volume of the 8th Annual Geomorphology Symposium*, State University of New York, Binghamton, 23-24 September, 115-138.
- Bull, W.B.** (1990). Stream-Terrace Genesis: Implications For Soil Development. *Geomorphology*, V.3, pp.351-367.
- Burbank, D.W., & Anderson, R.S.** (2001). *Tectonic Geomorphology*. Blackwell Science, Massachusetts, USA.
- Canpolat, E.** (2021). *Kırmızı Relief Görseli Analizi (Red Relief Image Analysis-RRIM) ve Erişilebilir Sayısal Yükselti Modeli (DEM-SYM) Verilerinin Karşılaştırılması* (Ed: Döker, M.F. & Akköprü, E.). Coğrafya Araştırmalarında Coğrafi Bilgi Sistemleri Uygulamaları II, PEGEM Akademi, Ankara.

- Chiba, T., Kaneta, S., & Suzuki, Y.** (2008). Red Relief Image Map: New Visualization Method For Three Dimensional Data. *The International Archives of the Photogrammetry, Remoto Sensing and Spatial Information Sciences*, 37 (B2), 1071-1076.
- Cordier, S., Bridgland, D., Vandenberghe, J., & Harmand, D.** (2014). Fluvial Archives from Past to Present-Introduction. *Boreas*, Vol. 43, pp. 377-383.
- Çiçek, İ.** (2001a). İlhan-Kirmir Çayı Kavşağı Çevresinin Jeomorfolojisi. *Ankara Üniversitesi TÛCAUM Dergisi*, S. 8, s. 27-48, Ankara.
- Çiçek, İ.** (2001b). Mut ve Yakın Çevresinin Jeomorfolojisi. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, C.11, S.2, s.1-20, Elazığ.
- Çiner, A., Doğan, U., Yıldırım, C., Akçar, N., Ivy-Ochs, S., Alfimov, V., Kubik, P. W., & Schlüchter, C.** (2015). Quaternary Uplift Rates of the Central Anatolian Plateau, Turkey: Insights from Cosmogenic Isochron-Burial Nuclide Dating of the Kızılırmak River Terraces. *Quaternary Science Reviews*, 107, 81-97.
- Demir, T., Yeşilnacar, İ., & Westaway, R.** (2004). River Terrace Sequences in Turkey: Sources of Evidence for Lateral Variations in Regional Uplift. *Proceeding of the Geologists Association*, 115, 289-311.
- Demir, T., Westaway, R., Bridgland, D., & Seyrek A.** (2007). Terrace Staircases of the River Euphrates in Southeast Turkey, Northern Syria and Western Iraq: Evidence for Regional Surface Uplift. *Quaternary Science Reviews*, 26, 2844-2863.
- Demir, T., Seyrek, A., Westaway, R., Bridgland, D., & Beck, A.** (2008). Late Cenozoic Surface Uplift Revealed by Incision by the River Euphrates at Birecik, Southeast Turkey. *Quaternary International*, 186, 132-163.
- Demir, T., Seyrek, A., Guillou, H., Scaillet, S., Westaway, R., & Bridgland, D.** (2009). Preservation by Basalt of A Staircase of Latest Pliocene Terraces of the River Murat in Eastern Turkey: Evidence for Rapid Uplift of the Eastern Anatolian Plateau. *Global and Planetary Change*, 68, 254-269.
- Demir, T., Seyrek, A., Westaway, R., Guillou, H., Scaillet, S., Beck, A., & Bridgland, D.** (2012). Late Cenozoic Regional Uplift and Localised Crustal Deformation within the Northern Arabian Platform in Southeast Turkey: Investigation of the Euphrates Terrace Staircase Using Multidisciplinary Techniques. *Geomorphology*, 165, 7-24.

Demirkol, C. (1977). Üzümlü-Tuzaklı (Bilecik) Dolayının Jeolojisi. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, C. 20/1, 9 -16, Ankara.

Demoulin, A., Mather, A., & Whittaker, A., F. (2017). Fluvial Archives, A Valuable Record of Vertical Crustal Deformation. *Quaternary Science Reviews*, 166, 10-37.

Doğan, U. (2002). Manavgat Nehri Havzasının Jeomorfolojik Evrimi. *Gazi Üniversitesi. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, C.22, S. 2, s. 51-65, Ankara.

Doğan, U. (2005). Holocene Fluvial Development of the Upper Tigris Valley (Southeastern Turkey) as Documented by Archaeological Data. *Quaternary International*, 129, 75-86.

Doğan, U. (2009). Gülşehir-Sahinler Arasında Kızılırmak'ın Uzun Dönemli Sekileri ve Taşkın Ovasının Gelişimi. *Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Raporu*, Proje No: 06B5358004. Ankara.

Doğan, U. (2010). Fluvial Response to Climate Change During and After the Last Glacial Maximum in Central Anatolia, Turkey. *Quaternary International*, 222, 221-229.

Doğan, U. (2011). Climate-Controlled River Terrace Formation in the Kızılırmak Valley, Cappadocia Section, Turkey: Inferred From Ar–Ar Dating of Quaternary Basalts and Terraces Stratigraphy. *Geomorphology*, Vol. 126 (1), 66–81.

Doğan, U., Yılmaz, E., & Koçyiğit, A. (2019). Geomorphological Evolution History of the Melendiz River, Cappadocia, Turkey. *Mediterranean Geoscience Reviews*, Vol. 1(2), 203-222.

Doğan, U., & Şenkul, Ç. (2020). When Did the Drainage System of the Kızılırmak River Form in Cappadocia (Anatolia, Turkey)? A Revised Geological and Geomorphological Stratigraphy. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 29, 1-14

Doğu, A. F. (1994). Akköprü Sekilerinin GB Anadolu Jeomorfolojisindeki Önemi. *Ankara Üniversitesi, Türkiye Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi*, s.162-177, Ankara.

Duller, G. A. T. (2004). Luminescence Dating of Quaternary Sediments: Recent Advances. *Journal of Quaternary Science*, 19 (2), 183-192.

Ekmekçi, M., & Nazik, L. (2004). Evolution of Golpazari-Huyuk Karst System (Bilecik-Turkey): Indications of Morpho-Tectonic Controls. *International J. Speleol*, 33 (1/4), 49-64.

Emre, Ö., Erkal, T., Tchepalyga, A., Kazancı, N., Keçer, M., & Ünay, E. (1998a). Neogene-Quaternary Evolution of the Eastern Marmara Region, Northwest Turkey. *Mineral Res. Expl. Bull.*, 120, 119-145.

- Emre, Ö., Erkal, T., Tchepalyga, A., Kazancı, N., Keçer, M., & Ünay, E.** (1998b). Doğu Marmara Bölgesinin Neojen-Kuvaternerdeki Evrimi. *MTA Dergisi*, S.120, s.233-258, Ankara.
- Erginal A. E., & Kıyak, N. G.** (2008). Çanakkale Doğusundaki Geç Pleistosen Alüvyal Çökellerin Köken ve OSL Yöntemi ile Tarihlendirilmesi: Ön Sonuçlar. *Türk Coğrafya Dergisi*, S. 51, s. 1-11, İstanbul.
- Erinç, S.** (1957). Türkiye'de Akarsu Rejimlerine Toplu Bakış. *Türk Coğrafya Dergisi*, S.17, Ankara.
- Erinç, S.** (2000). *Jeomorfoloji I.* İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enst. Yay., No:23, İstanbul.
- Erol, O.** (1973). *Ankara Şehri Çevresinin Jeomorfolojik Ana Birimleri.* A.Ü. DTCF Yay. No: 240, Ankara.
- Erturaç, M. K., & Kıyak, N. G.** (2017). Yeşilırmak Taraçalarında (Orta Kuzey Anadolu) Geç Pleyistosen İklim Değişiklikleri ve Düşey Yönlü Deformasyona Akarsu Cevabının Araştırılması. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 60, 615-63. Ankara.
- Erturaç, M. K., Selçuk, A. S., Şahiner, E., Gürbüz, A., & Okur, H.** (2019a). Chronology of the Sakarya River Terraces: Fluvial Response To Climate Change, Tectonic Uplift and to the Black Sea Level Changes. *International Union for Quaternary Research*, 25-31 July 2019, Dublin.
- Erturaç, M. K., Şahiner, E., Zabcı, C., Okur, H., Polymeris, G.S., Meriç, N., & İkiel, C.** (2019b). Fluvial Response to Rising Levels of the Black Sea and to Climate Changes During the Holocene, Luminescence Geochronology of the Sakarya Terraces. *The Holocene*, 1-12.
- Erturaç, M. K.** (2021). Late Pleistocene-Holocene Characteristics of the North Anatolian Fault at Adapazarı Basin: Evidences from the Age and Geometry of the Fluvial Terrace Staircases. *Turkish Journal of Earth Sciences*, Vol. 30, No. 1, s. 93- 115.
- Eroskay, S. O.** (1965). Paşalar Boğazı – Gölpazarı Sahasının Jeolojisi. *İ.Ü. Fen Fak. Mec.*, Seri B, C.XXX, S. 3-4. s. 135-187, İstanbul.
- Fujii, N., Saito, K., Chiba, T., Sata, I., Yoshinaga, T., & Tasaki, K.** (2012). The New Three-Dimensional Visualization Method of Heritage Sites By Lidar Data. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (ISPRS)*, Vol. XXXIX-B5, 87-92.

Gastinea, R., Anselmetti, F. S., Fabbri, S. C., Roeser, P., Sabatier, P., Şahin, M., Gündüz, S., Gebhardt, A. C., Franz, S. O., Niessen, F., & de Sigoyer, J. (2022). Lake-level Fluctuations from Lake Iznık Seismic Stratigraphy (NW Turkey): Implications for Past Climate, *EGU General Assembly 2022*, EGU22-3430.

Göncüoğlu, M. C., Turhan, N., Şentürk, K., Uysal, Ş., Özcan, A., & Işık, A. (1996). Orta Sakarya'da Nallıhan-Sarıcakaya Arasındaki Yapısal Birliklerin Jeoloji Özellikleri. *Yayınlanmamış MTA Raporu*, Ankara.

Granit, Y., & Tintant, H. (1960). Observation Preliminaires Sur Le Jurassie De La Region De Bilecik (Turquie). *Comptes Rendus Acad. Science Paris*, V. 251, pp. 1801-1803.

Güdücü, A., Granit, S., & Gönenç, O. (2007). Orta Sakarya Havzasının Jeolojisi ve Petrol Olanakları. *Yayınlanmamış MTA Raporu*, Rapor No: 11001, Ankara.

Gürbüz, E., & Seyitoğlu, G. (2014). Gölpazarı Havzası'nın Kuvaterner Gelişimi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, C. 57, S. 2, Ankara.

Gürbüz, E., Kazancı, N., & Gürbüz, A. (2015). Strike-Slip Faulting, Topographic Growth and Block Movements as Deduced from Drainage Anomalies: The Yeşilırmak River Basin, Northern Turkey. *Geomorphology*, 246, 634-648.

Gürbüz, A. (2020). Quaternary Tectonics As the Neotectonics in Turkey. *Geotectonics*, Vol. 54 (6), pp. 797-806.

Hergarten, S., Robl, J., & Stüwe, K. (2014). Extracting Topographic SWATH Profiles Across Curved Geomorphic Features. *Earth Surface Dynamics*, 2, 97-104. Doi:10.5194/esurf-2-97-2014

Hubert-Ferrari, A., Drab, L., Benedetti, L., Van der Woerd, J., & Van Campenhout, J. (2019). Cosmogenic Data About Uplifted River Terraces: Implications Regarding Central North Anatolian Fault Segment and the Central Pontide Orogenic Wedge. *72nd Geological Congress of Turkey*, January-February 2019, Ankara.

Hubert-Ferrari, A., Drab, L., Woerd, J. V. D., Benedetti, L., & Van Campenhout, J. V. (2021). Cosmogenic Data About Offset Uplifted River Terraces and Erosion Rates: Implication Regarding the Central North Anatolian Fault and the Central Pontides. *Mediterranean Geoscience Reviews*, 3 (1), pp. 129-157

Huntley, D. J. (1985). On the Zeroing of the Thermoluminescence of Sediments. *Physics and Chemistry of Minerals*, 12, 122-127.

- Isola, I., Bini, M., Ribolini, A., Zanchetta, G., & Lucia, A.** (2017). Geomorphology of the Ceyhan River lower Plain (Adana Region, Turkey). *Journal of Maps*, Vol. 13, No. 2, 133-141.
- İlgüz, N.** (1940). Ankara Sekileri. *Ziraat Vekâleti Yüksek Ziraat Enst. Çalışmalarından*, S: 104, Ankara.
- İnandık, H.** (1955). Morfolojide Taraçalar Meselesi. *Türk Coğrafya Dergisi*, S. 13-14. Ankara.
- İnandık, H.** (1957). Vadi Yamaçlarının Teşekkülü. *Türk Coğrafya Dergisi*, S.17, s.124-127, Ankara.
- İnandık, H.** (1958-1959). Sakarya Rejimine Dair Küçük Bir Not. *Türk Coğrafya Dergisi*, S. 18-19, Ankara.
- Karadoğan, S.** (2005). *Adıyaman Havzasının Genel ve Uygulamalı Jeomorfolojisi*. (Yayınlanmamış Doktora Tezi). Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı, Elazığ.
- Karakoca, E.** (2017). *Hamitabat-Gemiciköy Arasında (Bilecik) Orta Sakarya Vadisinin Jeomorfolojisi*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı, Bilecik.
- Karakoca, E., & Uncu, L.** (2019). Orta Sakarya Vadisi Seki Sistemlerinin Morfometrik ve Sedimentolojik Özellikleri (İnhisar-Gemiciköy Arası, Bilecik). *Uluslararası Jeomorfoloji Sempozyumu*, 10.10.2019-12.10.2019, Ankara.
- Karakoca, E., & Uncu, L.** (2020). Orta Sakarya Vadisi Akarsu Seki Sistemlerinin Morfometrik ve Sedimentolojik Özellikleri (İnhisar-Gemiciköy Arası, Bilecik). *Coğrafya Dergisi*, 41, 165-177.
- Karakoca, E., Uncu, L., Sarıkaya, M. A., Şahiner, E., & Köse, O.** (2021). Dating of Fluvial Terrace Systems in the Middle Sakarya Valley Using OSL Method, Sakarya River, Bilecik, Turkey. *British Society For Geomorphology Conference 2021*, 13-15th September.
- Karadoğan, S., & Kuzucuoğlu, C.** (2019). Diyarbakır Civarında Dicle Vadisinde Nehirle İlişkili Yer Şekillerinin Yakın Evrimi: Yapısal Sınırlamalar, İklim Değişikliği, Çevre Dinamiği, İnsan Etkileri. *Jeomorfoloji Derneği Bülteni*, S. 3, s. 33-37.
- Karataş, Z.** (2011). *Kahta Çayı (Adıyaman) Taraçalarının Kuvaterner Jeomorfolojisi*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı, Elazığ.

Kazancı, N. (2008). Eşen Vadisi Pleyistosen Tortullarının Sedimentolojik İncelenmesi. *Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Kesin Raporu*, Proje Numarası 2005-07-45-032, Ankara.

Kazancı, N., Gürbüz, A. & Boyraz, S. (2011). Büyük Menderes Nehri'nin Jeolojisi ve Evrimi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, C. 54, S. 1-2, s. 25-56.

Kazancı, N., Emre, Ö., Erturaç, K., Leroy, S. A. G., Öncel, S., İleri, Ö., & Toprak, Ö. (2014). Güney Marmara Bölgesindeki Büyük Vadilerin Olası Deşilme Zamanı. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 148, 1-17, Ankara.

Keller, E. A. & Pinter, N. (2002). *Active Tectonics: Earthquakes, Uplift and Landscape. 2nd Edition*. Prentice-Hall, Upper Saddle River, P. 362, New Jersey.

Kent, E. J. (2015). *The Relationship Between Active Faulting and Fluvial Geomorphology: A Case Study in the Gediz Graben, Turkey*. University of Plymouth, Earth and Environmental Science Faculty of Science and the Environment, Doktor of Philosophy, UK.

Ketin, İ. (1969). Kuzey Anadolu Fayı Hakkında. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, C. 72, S. 72-1, s. 1-27.

Kibici, Y. (1982). *Sarıcakaya (Eskişehir İli) Masifinin Jeolojisi, Petrografisi ve Petrolojik Etüdü, Masife İlişkin Kalay Araştırması*. (Yayınlanmamış Doktora Tezi). Eskişehir Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi, Eskişehir.

Kibici, Y. (1991). Orta Sakarya Havzasındaki Derinlik Kayaçlarının Petrografisi. *Akdeniz Üniversitesi Isparta Mühendislik Fakültesi Dergisi*, S. 5, s. 1-31, Antalya.

Kibici, Y., İlbeyli, N., Yıldız, A., & Bağcı, M. (2010). Geochemical Constraints on the Genesis of the Sarıcakaya Intrusive Rocks, Turkey: Late Paleozoic Crustal Melting in the Central Sakarya Zone. *Chemie der Erde*, 70 (3), 243-256.

Kondolf G. M., & Piegay, H. (2003), *Tools in Fluvial Geomorphology*. Willey-Blackwell, England.

Kuzucuoğlu, C., Michel, F., & Damase, M. (2004). Holocene Terraces in the Middle Euphrates Valley, between Halfeti and Karkemish (Gaziantep, Turkey) (Terrasses holocenes dans la moyenne vallee de l'Euphrate entre Halfeti et Karkemish (Gaziantep, Turquie). *Quaternaire*, Vol. 15, No. 1-2, pp. 195-206.

- Lane, E. W.** (1957). *A Study of Shape Of Channels Formed by Natural Streams Flowing in Erodible Material*. US Army Engineers Division, M.R.D. Sediment Series, No.9. p.121, U.S.A
- Larson, P.H., Dorn, R. I., Faulkner, D. J., & Friend, D. A.** (2015). Toe-Cut Terraces A Review and Proposed Criteria to Differentiate from Traditional Fluvial Terraces. *Progress in Physical Geography*, Vol. 39 (4), 417-439.
- Leopold, L. B., & Wolman, G. M.** (1957). *River Channel Patterns, Braided, Meandering and Straight*. Geological Survey Hydraulic Studies of Rivers, USGS Prof Paper, 282.
- Lisiecki, L. E., & Raymo, M. E.** (2005). A Pliocene-Pleistocene Stack of 57 Globally Distributed Benthic $\delta^{18}\text{O}$ Records. *Paleoceanography*, Vol. 20, PA1003.
- Lord M. D., Germanoski, D., & Allmendinger, N. E.** (2009). *Fluvial Geomorphology: Monitoring Stream Systems in Response to a Changing Environment* (in Young, R. & Norby, L.). Geological Monitoring: Boulder, Colorado, The Geological Society of America, pp. 69-103.
- Macklin, M. G., Fuller, I. C., Lewin, J., Maas, G. S., Passmore, D. G., Rose, J., Woodward, J. C., Balck, S., Hamlin, R. H. B., & Rowan, J. S.** (2002). Correlation of Fluvial Sequences in the Mediterranean Basin over the Last 200 ka and Their Relationship to Climate Change. *Quaternary Science Reviews*, 21, 1633-1641.
- Maddy, D., Demir, T., Bridgland, D. R., Veldkamp, A., Stemerding, C., Schriek, T. V. D., & Westaway, R.** (2005). An Obliquity-Controlled Early Pleistocene River Terrace Record from Western Turkey. *Quaternary Research*, 63, 339-346.
- Maddy, D., Demir, T., Bridgland, D. R., Veldkamp, A., Stemerding, C., van der Schriek, T., & Westaway, R.** (2008). The Early Pleistocene Development of the Gediz River, Western Turkey: An Uplift-Driven, Climate-Controlled System?. *Quaternary International*, 189, 115-128.
- Maddy, D., Demir, T., Veldkamp, A., Bridgland, D. R., Stemerding, C., van der Schriek, T., & Schreve, D.** (2012). The Obliquity-Controlled Early Pleistocene Terrace Sequence of the Gediz River, Western Turkey: A Revised Correlation and Chronology. *Journal of the Geological Society*, Vol. 169, pp. 67-82.

Maddy, D., Veldkamp, A., Demir, T., van Gorp, W. V., Wijbrans, J. R., Hinsbergen, D. J. J., Dekkers, M. J., Schreve, D., Schoorl, J. M., Scaife, R., Stemerink, C., Schriek, T., Bridgland, D. R., & Aytaç, A. S. (2017). The Gediz River Fluvial Archive: A Benchmark for Quaternary Research in Western Anatolia. *Quaternary Science Reviews*, 166, 289-306.

Maddy, D., Veldkamp, A., Demir, T., Aytaç, A. S., Schoorl, J.M., Scaife, R., Boomer, I., Stemerink, C., Schriek, T., Aksay, S., & Lievens, C. (2020). Early Pleistocene River Terraces of the Gediz River, Turkey, the Role of Faulting, Fracturing, Volcanism and Travertines in Their Genesis. *Geomorphology*, Vol. 358.

McClain, K., Yıldırım, C., Çiner, A., Şahin, S., Sarıkaya, M. A., Özcan, O., Kıyak, N. G., & Öztürk, T. (2019). Fluvial Response to Tectonic Deformation in the Western Flank of the Turkish Central Pontides; Inferences from OSL-Ages. *72nd Geological Congress of Turkey with International Participation*, 29 January-01 February 2019. Ankara.

McClain, K. P., Yıldırım, C., Çiner, A., Şahin, S., Sarıkaya, M. A., Özcan, O., Kıyak, N. G., & Öztürk, T. (2020). Quaternary Rock Uplift Rates and Their Implications for the Western Flank of the North Anatolian Fault Restraining Bend, Inferences from Fluvial Terrace Ages. *Tectonics*, 39 (10), 1-22.

McClain, K. P., Yıldırım, C., Çiner, A., Sarıkaya, M. A., Özcan, O., Görüm, T., Köse, O., Şahin, S., Kıyak, N. G., & Öztürk, T. (2021). River, Alluvial Fan and Landslide Interactions in a Tributary Junction Setting: Implications for Tectonic Controls on Quaternary Fluvial Landscape Development (Central Anatolian Plateau Northern Margin, Turkey). *Geomorphology*, 376, 107767.

Mueller, M. A., Licht, A., Campbell, C., Ocakoğlu, F., Taylor, M. H., Burch, L., Ugrai, T., Kaya, M., Kurtoğlu, B., Coster, P. M. C., Metais, G., & Beard, K. C. (2019). Collision Chronology along the İzmir-Ankara-Erzincan Suture Zone: Insights From the Sarıcakaya Basin, western Anatolia. *Tectonics*, 38, 3652-3674.

Mueller, M. A., Licht, A., Campbell, C., Ocakoğlu, F., Akşit, G. G., Metais, G., Coster P. M. C., Beard, K. C., & Taylor, M. H. T. (2022). Sedimentary Provenance From the Evolving Forearc-to-Foreland Central Sakarya Basin, Western Anatolia Reveals Multi-Phase Intercontinental Collision. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 23, 1-23.

Murray, A., & Wintle, A. (2000). Luminescence Dating of Quartz Using an Improved Single-Aliquot Regenerative Dose Protocol. *Radiation Measurements*, 32, 57-73.

Ocakoğlu, F., Yılmaz, İ.Ö., Demircan, H., Altiner, Ö.S., Hakyemez, A., İslamoğlu, Y., Tekin, U. K., Önoğlu, N., Yıldız, A., Uchman, A., Szulc, A., & Açıkalın, S. (2007). Orta Sakarya Bölgesi Geç Kretase-Paleojen Çökellerinin Sekans Stratigrafisi. *TUBİTAK (The Scientific and Technological Research Council of Turkey)*, Proje No: 104Y153, Sonuç Raporu, 476 s.

Ocakoğlu, F., Hakyemez, A., Açıkalın, S., Altiner, S. Ö., Büyükmeriç, Y., Licht, A., Demircan, H., Şafak, Ü., Yıldız, A., Yılmaz, İ.Ö., Wagreich, M., & Campbell, C. (2019). Chronology of subduction and Collision Along the İzmir-Ankara Suture in Western Anatolia: Records from the Central Sakarya Basin. *International Geology Review*, Vol. 61, No. 10, 1244-1269.

Olszak, J. (2017). Climatically Controlled Terrace Staircases in Uplifting Mountainous Areas. *Global And Planetary Change*, 156, 13-23.

Okay, A. (1989). *Tectonic Evolution of the Tethyan Region*. Şengör, A.M.C. (Ed.), Tectonic Units And Sutures in the Pontides, Northern Turkey. Kluwer Academic Publishers, (pp. 109-116). Springer, Dordrecht.

Okay, A. (2020). Uplift of Anatolia. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 29, 696-713.

Okur, H. (2020). *Sakarya Nehri'nin Arifiye-Boğazköy Arasındaki Taşkın Ovasının Gelişimi ve Değişiminin Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama Yöntemleri ile İncelenmesi*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Sakarya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sakarya.

Önde, E. (2012). *Gölpazarı Havzasının Jeolojik Evrimi*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.

Ören, A. (2011). *Karasu Çayı (Sakarya Nehrinin Bir Kolu) Havzasının Jeomorfolojisi*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı, İstanbul.

Özpolat, E., Yıldırım, C., & Görüm, T. (2020). The Quaternary Landforms of the Büyük Menderes Graben System, the Southern Menderes Massif, Western Anatolia, Turkey. *Journal of Maps*, 16:2, 405-419.

- Öztekin, N., & Erol, O.** (1970). Türkiye Akarsu Rejimlerine Yağış, Yer Şekli ve Yapısının Etkisi. *Jeomorfoloji Dergisi*, S. 2, s. 36-49, Ankara.
- Öztürk, B., & Erginal, A.E.** (2008). Bayramdere Havzasında (Biga Yarımadası, Çanakkale) Havza Gelişiminin Morfometrik Analizler ve Jeomorfik İndislerle İncelenmesi. *Türk Coğrafya Dergisi*, S. 50, s. 61-68, İstanbul.
- Panin, N., & Popescu, I.** (2007). *The Northwestern Black Sea: Climatic and Sea-Level Changes in the Late Quaternary*. In: The Black Sea Flood Question, Changes in Coastline, Climate and Human Settlement (Ed: Yanko-Hombach, V., Gilbert, A., Panin, N. & Dolukhanov, P. M.). Springer
- Pazzaglia, F. J.** (2013). *Fluvial Terraces*. In: Treatise on Geomorphology (Ed: J.F. Shroder). Academic Press, San Diego, CA, Vol:9.23, pp. 379-412.
- Perez-Pena, J. V., Al-Awabdeh, M., Azanon, J. M., Galve, J. P., Booth-Rea, G., & Notti, D.** (2017). Swathprofiler and Nprofiler: Two New Arcgis Add-ins For the Automatic Extraction of Swath and Normalized River Profiles. *Computers & Geosciences*, 104, 135-150.
- Pfannenstiel, M.** (1941). Ankara'nın Diluvyal Moloz Sekileri ve Avrupa'nın Quarter Kronolojisine Göre Tasnifleri. *Yüksek Ziraat Enstitüsü Çalışmaları*, S:120, Ankara.
- Pike, R. J.** (2000). Geomorphometry-Diversity in Quantitative Surface Analysis. *Progress in Physical Geography*, 24 (1), 1-20.
- Pucci, S., De Martini, P. M., & Pantosti, D.** (2008). Preliminary Slip Rate Estimates for the Düzce Segment of the North Anatolian Fault Zone from Offset Geographic Markers. *Geomorphology*, 97, 538-554.
- Renfrew, C., & Bahn, C.** (2017). *Arkeoloji, Kuramlar, Yöntemler ve Uygulama*. Homer Kitabevi, İstanbul.
- Rhodes, E. J.** (2011). Optically Stimulated Luminescence Dating of Sediments over the Past 200,000 Years. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 39: 461-488.
- Rixhon, G., Briant, R. M., Cordier, S., Duval, M., Jones, A., & Scholz, D.** (2017). Revealing the Pace of River Landscape Evolution During the Quaternary: Recent Developments in Numerical Dating Methods. *Quaternary Science Reviews*, 166, 91-113.

Saner, S. (1977). *Geyve-Osmaneli-Gölpazarı-Taraklı Alanının Jeolojisi: Eski Çökelme Ortamları Çökelmenin Evrimi.* (Yayınlanmamış Doktora Tezi). İstanbul Üniversitesi, 312, İstanbul.

Saner, S. (1978). Geology and the Environments of Deposition Of Geyve-Osmaneli-Gölpazarı-Taraklı Area. *İstanbul Üniversitesi Fen Fak. Mec.*, Seri B, 43, 63-91.

Saner, S. (1980a). Batı Pontidlerin ve Komşu Havzaların Oluşumlarının Levha Tektoniği Kuramıyla Açıklanması, KB Türkiye. *MTA Enstitü Dergisi*, S.93-94, s.1-19, Ankara.

Saner, S. (1980b). Mudurnu-Göynük Havzasının Jura ve Sonrası Çökelme Nitelikleriyle Paleocoğrafya Yorumlaması. *Türkiye Jeoloji Kurum Bülteni*, C.23, S.1, s. 39-52, Ankara.

Sarıkaya, M. A. (2012). *Kozmojenik Yaşlandırma Yöntemleri: Teori ve Uygulama Alanları* (Ed: Kazancı, N. & Gürbüz, A., Kuvaterner Bilimi). Ankara Üniversitesi Yayınları, 523–546, Ankara.

Schildgen, T., Cosentino, D., Bookhagen, B., Niedermann, S., Yıldırım, C., Echtler, H., Wittman, H., & Strecker, M. (2012). Multi-Phased Uplift of the Southern Magrin of the Central Anatolian Plateau, Turkey: A Record of Tectonic and Upper Mantle Processes. *Earth and Planetary Science Letters*, 317-318, 85-95.

Schumm, S. A. (1963). *A Tentative Classification of Alluvial River Channels.* Geological Survey Circular 477, Washington.

Schumm, S. A. (1977). *The Fluvial System.* The Blackburn Press, New Jersey.

Schumm, S. A. (1981). Evolution and Response of the Fluvial System, Sedimentologic Implications. *Special Publication*, No. 31, pp. 19-29.

Schumm, S. A. (1985). Patterns of Alluvial Rivers. *Ann. Rev. Earth Planet Science*. 13, 5-27.

Schumm, S. A. (1993). River Response to Base Level Change: Implications for Sequence Stratigraphy. *J. Geol.* 101, 279–294.

Schumm, S., Dumont, J., & Holbrook, J. M. (2000). *Active Tectonics and Alluvial Rivers.* Cambridge University Press, Cambridge.

Schumm, S. A. (2005). *River Variability and Complexity.* Cambridge University Press, New York.

- Seyrek, A. Demir, T., Pringle, M., Yurtmen, S., Westaway, R., Bridgland, Beck, A., & Rowbotham, G.** (2008). Late Cenozoic Uplift of the Amanos Mountains and İncision of the Middle Ceyhan River Gorge, Southern Turkey; Ar-Ar Dating of the Düziçi Basalt. *Geomorphology*, 97, 321-355.
- Shmuratko, V. I.** (2001). Gravity-Resonance Exotectonic (Gravitatsiono-Rezonansnaia Ekzotektonika). *Astoprint*, Odessa (in Russian).
- Siddall, M., Chappell, J., & Potter, E. K.** (2006). Eustatic Sea Level During Past İnterglacials. *Developments in Quaternary Science*, 75-92.
- Sol, B.** (2017). *Mudurnu Çayı Havzası'nın (Taşburun-Abant Gölü Batısı Arası) Flüvyo-Tektonik Jeomorfolojisi*. (Yayınlanmamış Doktora Tezi). İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı, İstanbul.
- Soylu, M. E., Ekmekçi, M., & Aydın, H.** (2007). Nardın Mağarası Bilecik Dolgusunun Paleoortamsal Koşullar Açısından Değerlendirilmesi. *Yerbilimleri Dergisi*, 28 (1), 15-31, Ankara.
- Strahler, A. N.** (1952). Hypsometric (Area-Altitude) Analysis of Erosional Topography. *The Bulletin of the Geological Society of America*, 63, pp. 1117-1142.
- Stokes, M., Cunha, P.P., & Martins, A.** (2012). Techniques for Analysing Late Cenozoic River Terrace Sequences. *Geomorphology*, 165-166, 1-6.
- Şahiner, E.** (2015). *Paleosismolojik Çalışmalarda TL/OSL ve ESR Yöntemlerinin Kullanılması: Kütahya-Simav Ve Kuzey Anadolu Fay Hattı*. (Yayınlanmamış Doktora Tezi). Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Şahiner, E., Erturaç, M. K., Polymeris, G. S., & Meriç, N.** (2018). Methodological Studies on Integration Time İnterval's Seletion for the Luminescence Ages Using Quartz and Feldspar Minerals; Sediments Collected from Sakarya, Turkey. *Radiation Measurements*, 120, 163-169.
- Şengör, A. M. C., & Yazıcı, M.** (2020). The Aetiology of the Neotectonic Evolution of Turkey. *Mediterranean Geoscience Reviews*, 2: 327-339.
- Şentürk, K., & Karaköse, C.** (1979). Orta Sakarya Dolayının Temel Jeolojisi. *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Temel Araştırmalar Daire Başkanlığı, Maden Tetkik Arama Raporu*, Rapor No: 6642, Ankara.

Tanoğlu, A., & Erinç, S. (1956). Garsak Boğazı ve Eski Sakarya. *İstanbul Üniversitesi Coğ. Ens. Der.*, C.4, S.7, s.17-30, İstanbul.

Thorndycraft, V. R., Benito, G., & Gregory, K. J. (2008). Fluvial Geomorphology: A Perspective on Current Status and Methods. *Geomorphology*, 98, 2-12.

Tooth, S. (2013). *Luminescence Geomorphological Processes*. In: Rink, W., Thompson, J. (Eds.), *Encyclopedia of Scientific Dating methods*, Springer, Dordrecht, pp. 470-475.

Tuncer, K. (2004). *Sakarya Nehri Göynük Çayı-Çatak Çayı Arasındaki Sahanın Karst Jeomorfolojisi*. (Yayınlanmamış Doktora Tezi). İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Tuncer, K. (2008a). Orta Sakarya Akarsu Havzası (Eskişehir, Bilecik ve Güney Sakarya) Karstik Evriminde Pliyo-Kuvaterner Sakarya Nehri Gelişiminin Etkisi. *61. TJK Bildiri Özetleri Kitabı*, s. 102-103, Ankara.

Tuncer, K. (2008b). Orta Sakarya Havzasında Karstın Morfojenetik Gelişimi. *Çanakkale 18 Mart Üniversitesi Ulusal Jeomorfoloji Sempozyumu*, Çanakkale.

Tuncer, K., Nazik, L., Poyraz, M., & Ferudun, D. (2010). Aşağı ve Orta Sakarya Havzasının (Eskişehir, Bilecik, Sakarya) Doğal Mağaraları ve Bu Mağaraların Ekosistemlerinin Bozulmasına Yönelik Tehditler. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Ulusal Jeomorfoloji Sempozyumu*, Afyonkarahisar.

Tzvetkov, J. (2018). Relief Visualization Techniques Using Free and Open Source GIS Tools. *Polish Cartographical Review*, 50 (2), 61-71.

Uğuz, M. F. (2013). Orta Sakarya Bölgesinde Yeni Bir Yaş Bulgusu. *MTA Dergisi*, 146: 1-25, Ankara.

Uncu, L. (1995). *Terme Çayı ile Kocamandere Çayı Havzalarında Fiziki Coğrafya Araştırmaları ve Doğal Çevre Sorunları*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı, Ankara.

Uncu, L., & Karakoca, E. (2019). Evaluating the Geomorphological Features and Geotourism Potentials of Harmankaya Canyon (Bilecik, Turkey). *Journal of Tourism and Hospitality Management*, Vol.7, No.1, pp.1-14.

Vandenberghe, J. (1995). Timescales, Climate and River Development. *Quaternary Science Reviews*, Vol. 14, pp. 631-638.

- Vandenberghe, J.** (2002). The Relation between Climate and River Processes, Landforms and Deposits During the Quaternary. *Quaternary International*. 91, 17–23.
- Vandenberghe, J., Bridgland, D., & Wang, X.** (2018). Specific Exogenetic (External) and Endogenetic (Internal) Effects on Fluvial System Evolution. *Quaternary*, 1, 27.
- Vandenberghe, J., & Aşın, N.** (2019). İklim Kontrolünde Şekillenen Akarsu Sekileri ve Sekilerin Beşerî Kullanımı. *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, C. 7, S. 98, s. 73-91.
- Vardar, D., Öztürk, K., Yaltırak, C., Alpar, B., & Tur, H.** (2014). Late Pleistocene-Holocene Evolution of the Southern Marmara Shelf and Sub-Basin: Middle Strand of the North Anatolian Fault, Southern Marmara Sea, Turkey. *Marine Geophysical Research*, 35, 69-85.
- Walker, M.** (2005). *Quaternary Dating Methods*. 1st Edition, John Wiley and Sons Ltd., 306 p, England.
- Wallinga, J.** (2002). Optically Stimulated Luminescence Dating of Fluvial Deposits: A Review. *Boreas*, 31, 303–322.
- Westaway, R., Pringle, M., Yurtmen, S., Demir, T., Bridgland, D., Rowbotham, G., & Maddy, D.** (2003). Pliocene and Quaternary Regional Uplift in Western Turkey Revealed by Long-Term River Terrace Sequences. *Current Science*, Vol. 84, No:8, 1090-1101.
- Westaway, R., Pringle, M., Yurtmen, S., Demir, T., Bridgland, D., Rowbotham, G., & Maddy, D.** (2004). Pliocene and Quaternary Regional Uplift in Western Turkey: The Gediz River Terrace Staircase and the Volcanism at Kula. *Tectonophysics*, 391, 121-169.
- Westaway, R., Guillou, H., Yurtmen, S., Beck, A., Bridgland, D., Demir, T., Scaillet, S., & Rowbotham, G.** (2006). Late Cenozoic Uplift of Western Turkey: Improved Dating of the Kula Quaternary Volcanic Field and Numerical Modelling of the Gediz River Terrace Staircase. *Global and Planetary Change*, 51, 131-171.
- Westaway, R., Guillou, H., Seyrek, A., Demir, T., Bridgland, D., Scaillet, S., & Beck, A.** (2009). Late Cenozoic Surface Uplift, Basaltic Volcanism, and Incision by the River Tigris Around Diyarbakır, SE Turkey. *Int Journal Earth Science (Geol Rundsch)*, 98: 601–625.
- Wintle, A .G.** (1997). Luminescence Dating: Laboratory Procedures and Protocols. *Radiation Measurements*, 27, 769-817.

Yaltırak, C., Sakiç, M., Aksu, A.E., Hiscott, R.N., Galeb, B., & Ulgen, U.B. (2002). Late Pleistocene Uplift History Along the Southwestern Marmara Sea Determined from Raised Coastal Deposits and Global Sea-Level Variations. *Marine Geology*, 190, 283-305.

Yokoyama, R., Shirasawa, M., & Pike, R. J. (2002). Visualizing Topography by Openness: A New Application of Image Processing to Digital Elevation Models. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 68 (3), 257-265.

Yıldırım, C., Schildgen, T.F., Echtler, H., Melnick, D., & Strecker, M. R. (2011). Late Neogene and Active Orogenic Uplift in the Central Pontides Associated with the North Anatolian Fault: Implications for the Northern Margin of the Central Anatolian Plateau, Turkey. *Tectonics*, Vol. 30, TC5005.

Yıldırım, C., Melnick, D., Ballato, P., Schildgen, T. F., Echtler, H., Erginal, A. E., Kıyak, N. G., & Strecker, M. R. (2013a). Differential Uplift Along the Northern Margin of the Central Anatolian Plateau: Inferences from Marine Terraces. *Quaternary Science Reviews*, 81, 12-28.

Yıldırım, C., Schildgen, T. F., Echtler, H., Melnick, D., Bookhagen, B., Çiner, A., Niedermann, S., Merchel, S., Martschini, M., Steier, P., & Strecker, M. R. (2013b). Tectonic Implications of Fluvial Incision and Pediment Deformation at the Northern Margin of the Central Anatolian Plateau Based on Multiple Cosmogenic Nuclides. *Tectonics*, 32: 1107-1120.

Yılmaz, Y. (1979). Söğüt-Bilecik Bölgesinde Polimetamorfizma ve Bunların Jeoteknik Anlamı. *TJK Bülteni*, 22, 85-100, Ankara.

Yılmaz, Y. (1981). Sakarya Kıtası Güney Kenarının Tektonik Evrimi. *İstanbul Üniversitesi Yerbilimleri Fakültesi Yayın Organı*, C.1, S.1-2, s.33-52, İstanbul.

Yılmaz, Y. (1985). Orta Sakarya Bölgesi Eski Temel ve Ofiyolit Sorunu. Sixth Colloquium on the Aegean Region, Second Edition, *Piri Reis International Contribution Series Publ.*, No. 2, pp. 699-704.

Yılmaz, Y., Tüysüz, O., Yiğitbaş, E., Genç, Ş.C., & Şengör, A.M.C. (1997). Geology and Tectonic Evolution of the Pontides. *Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region*, AAPG Memoir, 68, pp.183-226.



EKLER: OSL Sonuç Raporları

Single Aliquot Regeneration Method Using RISø - OSL/TL System Luminescence Age Comprehensive Report

Ankara University, Institute of Nuclear Sciences, Luminescence Dating Research Laboratory, Ankara, <http://osl.ankara.edu.tr/>

Field Basic Information:

Field number: **HMT20-01**
Sediment type: Sediments
Locality: Bilecik, Soğut, Hamitabat
Lat: 40.08472° Lon: 30.24417°
Elevation: 178 m a.s.l.
Depth: 0.3 ± 0.05 m

Dose Rate Information:

Uranium (U): 1.56 ± 0.04 ppm
Thorium (Th): 4.42 ± 0.66 ppm
Potassium (K): 1.31 ± 0.03 %
Rubidium (Rb): 40.7803 ± 1.1439 ppm
Water content: 30 ± 5 %
Dose rate: 1.71223 ± 0.08202 mGy/yr
Ex: 1.7186 ± 0.082 | In: 0 ± 0 mGy/yr
Cosmic dose rate: 0.23815 ± 0.02382 mGy/yr
Etching time: 60 min | with HF
Dose rate conversion factors: Guérin2011
Beta grain attenuation factors: Guérin2012-Q
Beta etch attenuation factors: Brennan2003
Uncertainty estimation method: Monte-Carlo simulation (repeats:2000)

Equivalent Dose Information:

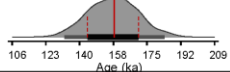
Lab number: NO211
Mineral used: Quartz
Pre-heat temperature: 220 °C
Cut-heat temperature: 160 °C
Test dose (TD): 11.02 Gy
Grain size fraction: 90-140 µm
Aliquots used: 16/16
Data/background: 1-5/100-150
Plate diameter: 2 mm
Overdispersion: 26 ± 5 %
Age model used: Central Age Model
Equivalent dose: 270.58 ± 18.25 Gy

Uncertainties analysis:

Luminescence measurements: 6.75 %
Dose rate measurements: 4.79 %
Total age errors: 8.18 % (158028 ± 12932 yr)

Final Age: 158.03 ± 12.93 ka

Asymmetric Age (1σ): [144.41, 170.48]



Submitter: eren şahiner
Analysist: eren şahiner

Summary Table:

Field No.	Depth (m)	Aliquots	Grain size (µm)	Equivalent dose (Gy)	OD (%)	U (ppm)	Th (ppm)	K (%)	Rb (ppm)	H ₂ O (%)	Cosmic dose (mGy/yr)	Dose Rate (mGy/yr)	CAM Age (ka)
HMT20-01	0.3	16/16	90-140	270.58 ± 18.25	26 ± 5	1.56 ± 0.04	4.42 ± 0.66	1.31 ± 0.03	40.7803 ± 1.1439	30 ± 5	0.24 ± 0.02	1.71 ± 0.08	158.03 ± 12.93

Submit date: 2021-mm-00 Irradiation Date: 2020-mm-00 Datum: 2020 C.E.

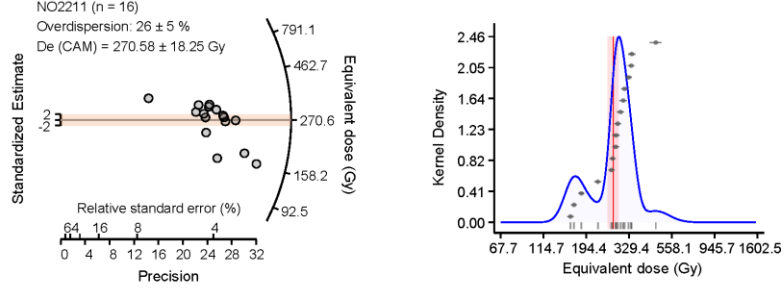
The package created by ©P.Liang, which is used by E.Sahiner with his permission (Ancient TL 37 (2), 21-40)

Ek 1: HMT20-01 Numaralı Numunenin OSL Sonuçlarını Gösteren Kapsamlı Rapor Sonuçları.
Rapor, Numune Yeri, Doz Oranı ve Eşdeğer Doz Bilgileri İle Belirsizlik Analizini İçermektedir.

Single Aliquot Regeneration Method Using RISø - OSL/TL System
Luminescence Age Comprehensive Report

Ankara University, Institute of Nuclear Sciences, Luminescence Dating Research Laboratory, Ankara, <http://osl.ankara.edu.tr/>

Appendix Figures:



References:

- (1) Covers. Factors: Guérin, G., Mercier, N., Adamiec, G., 2011. Ancient TL 29, 5-8
- (2) β Grain Size: Guérin, G., Mercier, N., Nathan, R., Adamiec, C., Lefrais, Y., 2012. Radiation Measurements, 47, 778-785.
- (3) β Etch Depth: Brennan, B.J., 2003. Radiation Measurements, 37, 299-303.
- (4) α Grain Size: Brennan, B.J., Lyons, R.G. and Phillips, S.W., 1991. Part D. Nuclear Tracks and Radiation Measurements, 18, 249-253.
- (5) α Etch Depth: Bell, W.T., 1979. Ancient TL, 8, 1-12.
- (6) γ Dose Scaling: Aitken, M.J., 1985. Thermoluminescence dating. Academic Press, Orlando, Florida. P.289 Table H.1.

The package created by ©P.Liang, which is used by E.Sahiner with his permission (Ancient TL 37 (2), 21-40)

Ek 2: HMT20-01 Numaralı Numunenin OSL Sonuçlarını Gösteren Kapsamlı Rapor Sonuçları.
Rapor, Standartlaştırılmış Tahmini, Çekirdek Yoğunluğunu ve Referansları İçermektedir.

Single Aliquot Regeneration Method Using RISø - OSL/TL System

Luminescence Age Comprehensive Report

Ankara University, Institute of Nuclear Sciences, Luminescence Dating Research Laboratory, Ankara, <http://osl.ankara.edu.tr/>

Field Basic Information:

Field number: GMC20-01
Sediment type: Sediments
Locality: Bilecik, Merkez, Bilecik
Lat: 40.18861° **Lon:** 30.13694°
Elevation: 125 m a.s.l.
Depth: 0.3 ± 0.05 m

Dose Rate Information:

Uranium (U): 1.41 ± 0.04 ppm
Thorium (Th): 4.94 ± 0.57 ppm
Potassium (K): 1.47 ± 0.03 %
Rubidium (Rb): 46.8811 ± 1.1439 ppm
Water content: 30 ± 5 %
Dose rate: 1.82907 ± 0.08407 mGy/yr
Ex: 1.8354 ± 0.0841 | **In:** 0 ± 0 mGy/yr
Cosmic dose rate: 0.23578 ± 0.02358 mGy/yr
Etching time: 60 min | with HF
Dose rate conversion factors: Guérin2011
Beta grain attenuation factors: Guérin2012-Q
Beta etch attenuation factors: Brennan2003
Uncertainty estimation method: Monte-Carlo simulation (repeats:2000)

Summary Table:

Field No.	Depth (m)	Aliquots	Grain size (µm)	Equivalent dose (Gy)	OD (%)	U (ppm)	Th (ppm)	K (%)	Rb (ppm)	H ₂ O (%)	Cosmic dose (mGy/yr)	Dose Rate (mGy/yr)	CAM Age (ka)
GMC20-01	0.3	16/16	90-140	100.73 ± 7.2	28 ± 5	1.41 ± 0.04	4.94 ± 0.57	1.47 ± 0.03	46.8811 ± 1.1439	30 ± 5	0.24 ± 0.02	1.83 ± 0.08	55.07 ± 4.57
Submit date: 2021-mm-00				Irradiation Date: 2020-mm-00				Datum: 2020 C.E.					

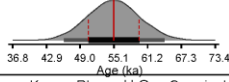
Equivalent Dose Information:

Lab number: NO212
Mineral used: Quartz
Pre-heat temperature: 220 °C
Cut-heat temperature: 160 °C
Test dose (TD): 11.02 Gy
Grain size fraction: 90-140 µm
Aliquots used: 16/16
Data/background: 1-5/100-150
Plate diameter: 2 mm
Overdispersion: 28 ± 5 %
Age model used: Central Age Model
Equivalent dose: 100.73 ± 7.2 Gy

Uncertainties analysis:

Luminescence measurements: 7.15 %
Dose rate measurements: 4.6 %
Total age errors: 8.31 % (55072 ± 4574 yr)

Final Age: 55.07 ± 4.57 ka
Asymmetric Age (1σ): [50.51, 59.69]



Submitter: eren şahiner
Analysist: eren şahiner

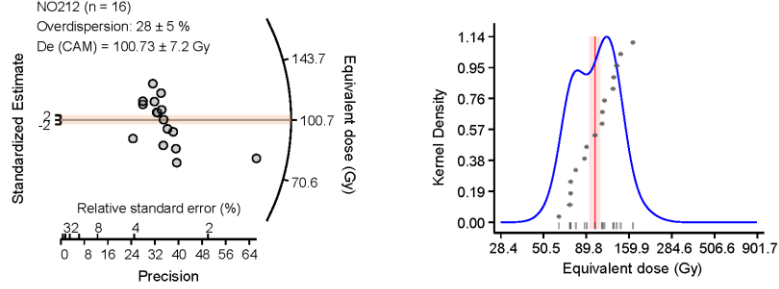
The package created by ©P.Liang, which is used by E.Sahiner with his permission (Ancient TL 37 (2), 21-40)

Ek 3: GMC20-01 Numaralı Numunenin OSL Sonuçlarını Gösteren Kapsamlı Rapor Sonuçları.
Rapor, Numune Yeri, Doz Oranı ve Eşdeğer Doz Bilgileri ile Belirsizlik Analizini İçermektedir.

Single Aliquot Regeneration Method Using RISø - OSL/TL System
Luminescence Age Comprehensive Report

Ankara University, Institute of Nuclear Sciences, Luminescence Dating Research Laboratory, Ankara, <http://osl.ankara.edu.tr/>

Appendix Figures:



References:

- (1) Covers. Factors: Guérin, G., Mercier, N., Adamiec, G., 2011. Ancient TL 29, 5-8
- (2) β Grain Size: Guérin, G., Mercier, N., Nathan, R., Adamiec, C., Lefrais, Y., 2012. Radiation Measurements, 47, 778-785.
- (3) β Etch Depth: Brennan, B.J., 2003. Radiation Measurements, 37, 299-303.
- (4) α Grain Size: Brennan, B.J., Lyons, R.G. and Phillips, S.W., 1991. Part D. Nuclear Tracks and Radiation Measurements, 18, 249-253.
- (5) α Etch Depth: Bell, W.T., 1979. Ancient TL, 8, 1-12.
- (6) γ Dose Scaling: Aitken, M.J., 1985. Thermoluminescence dating. Academic Press, Orlando, Florida. P.289 Table H.1.

The package created by ©P.Liang, which is used by E.Sahiner with his permission (Ancient TL 37 (2), 21-40)

Ek 4: GMC20-01 Numaralı Numunenin OSL Sonuçlarını Gösteren Kapsamlı Rapor Sonuçları. Rapor, Standartlaştırılmış Tahmini, Çekirdek Yoğunluğunu ve Referansları İçermektedir.

Single Aliquot Regeneration Method Using RISø - OSL/TL System
Luminescence Age Comprehensive Report

Ankara University, Institute of Nuclear Sciences, Luminescence Dating Research Laboratory, Ankara, <http://osl.ankara.edu.tr/>

Field Basic Information:

Field number: KY20-01
Sediment type: Sediments
Locality: Bilecik, Golpazarı, Küçükyenice
Lat: 40.23556° **Lon:** 30.07389°
Elevation: 129 m a.s.l.
Depth: 0.3 ± 0.05 m

Dose Rate Information:

Uranium (U): 1.48 ± 0.04 ppm
Thorium (Th): 5.3 ± 0.67 ppm
Potassium (K): 1.33 ± 0.03 %
Rubidium (Rb): 41.5429 ± 1.1439 ppm
Water content: 30 ± 5 %
Dose rate: 1.75658 ± 0.0839 mGy/yr
Ex: 1.7631 ± 0.0839 | **ln:** 0 ± 0 mGy/yr
Cosmic dose rate: 0.23596 ± 0.0236 mGy/yr
Etching time: 60 min | with HF
Dose rate conversion factors: Guérin2011
Beta grain attenuation factors: Guérin2012-Q
Beta etch attenuation factors: Brennan2003
Uncertainty estimation method: Monte-Carlo simulation (repeats:2000)

Summary Table:

Field No.	Depth (m)	Aliquots	Grain size (µm)	Equivalent dose (Gy)	OD (%)	U (ppm)	Th (ppm)	K (%)	Rb (ppm)	H ₂ O (%)	Cosmic dose (mGy/yr)	Dose Rate (mGy/yr)	CAM Age (ka)
KY20-01	0.3	16/16	90-140	265.19 ± 8.18	11 ± 2	1.48 ± 0.04	5.3 ± 0.67	1.33 ± 0.03	41.5429 ± 1.1439	30 ± 5	0.24 ± 0.02	1.76 ± 0.08	150.97 ± 8.49

Submit date: 2021-mm-00 Irradiation Date: 2020-mm-00 Datum: 2020 C.E.

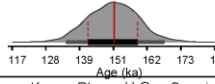
Equivalent Dose Information:

Lab number: NO213
Mineral used: Quartz
Pre-heat temperature: 220 °C
Cut-heat temperature: 160 °C
Test dose (TD): 11.02 Gy
Grain size fraction: 90-140 µm
Aliquots used: 16/16
Data/background: 1-5/100-150
Plate diameter: 2 mm
Overdispersion: 11 ± 2 %
Age model used: Central Age Model
Equivalent dose: 265.19 ± 8.18 Gy

Uncertainties analysis:

Luminescence measurements: 3.09 %
Dose rate measurements: 4.78 %
Total age errors: 5.62 % (150968 ± 8486 yr)

Final Age: 150.97 ± 8.49 ka
Asymmetric Age (1σ): [142.17, 158.84]



Submitter: eren şahiner
Analysist: eren şahiner

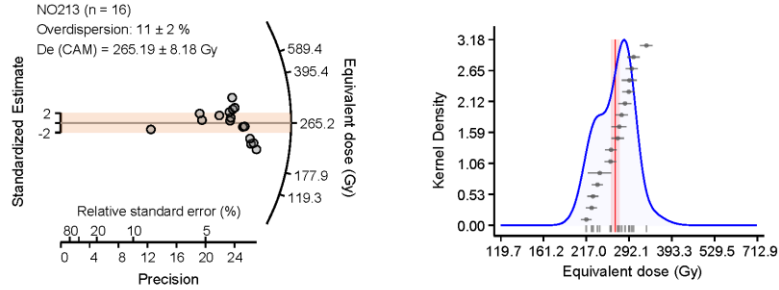
The package created by ©P.Liang, which is used by E.Sahiner with his permission (Ancient TL 37 (2), 21-40)

Ek 5: KY20-01 Numaralı Numunenin OSL Sonuçlarını Gösteren Kapsamlı Rapor Sonuçları.
Rapor, Numune Yeri, Doz Oranı ve Eşdeğer Doz Bilgileri ile Belirsizlik Analizini İçermektedir.

Single Aliquot Regeneration Method Using RISø - OSL/TL System
Luminescence Age Comprehensive Report

Ankara University, Institute of Nuclear Sciences, Luminescence Dating Research Laboratory, Ankara, <http://osl.ankara.edu.tr/>

Appendix Figures:



References:

- (1) Covers. Factors: Guérin, G., Mercier, N., Adamiec, G., 2011. Ancient TL 29, 5-8
- (2) β Grain Size: Guérin, G., Mercier, N., Nathan, R., Adamiec, C., Lefrais, Y., 2012. Radiation Measurements, 47, 778-785.
- (3) β Etch Depth: Brennan, B.J., 2003. Radiation Measurements, 37, 299-303.
- (4) α Grain Size: Brennan, B.J., Lyons, R.G. and Phillips, S.W., 1991. Part D. Nuclear Tracks and Radiation Measurements, 18, 249-253.
- (5) α Etch Depth: Bell, W.T., 1979. Ancient TL, 8, 1-12.
- (6) γ Dose Scaling: Aitken, M.J., 1985. Thermoluminescence dating. Academic Press, Orlando, Florida. P.289 Table H.1.

The package created by ©P.Liang, which is used by E.Sahiner with his permission (Ancient TL 37 (2), 21-40)

Ek 6: KY20-01 Numaralı Numunenin OSL Sonuçlarını Gösteren Kapsamlı Rapor Sonuçları. Rapor, Standartlaştırılmış Tahmini, Çekirdek Yoğunluğunu ve Referansları İçermektedir.