

## Önsöz

Mudurnu Çayı Vadisi'nin (Bolu/Taşkesti - Sakarya/Dokurcun - Akyazı) Pleyistosen-Holosen gelişimini açıklamaya yönelik olarak gerçekleştirilen bu çalışma ile Pleyistosen boyunca farklı seviyelerde gelişmiş depolanmalı teraslar ile Orta Holosen'de gerçekleşmiş büyük bir kütle hareketinin vadiyi setlemesi sonucu oluşan ve 1000-1500 yıl boyunca varlığını sürdüren bir göle ait çökeller arasındaki ilişkiler detaylı olarak ortaya konularak vadinin Kuvaterner stratigrafisi kurulmuştur.. Bu çökel seviyeleri, farklı radyometrik yöntemlerle (U/Th, C<sup>14</sup> ve IRSL/SAR) tarihlendirilmiş ve vadinin oluşumunu kontrol eden aşınma/depolanma aşamaları tanımlanmıştır. Proje, TÜBİTAK ARDEB Hızlı Destek Programı (112Y222) ve Sakarya Üniversitesi BAP komisyonu (2012-02-18-003) tarafından desteklenmiştir. mineral ayıklama işlemleri, Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü (İTÜ/AYBE) Örnek Hazırlama ve Mineral Ayırma laboratuvarında; tarihlendirme işlemleri Leibniz Uygulamalı Jeofizik Enstitüsü (Hannover, LIAG-S3) jeokronoloji laboratuvarı (IRSL/SAR) ile Paris İklim ve Çevre Bilimleri Laboratuvarı (CNRS/LSCE) (U/Th) desteğinde yürütülmüştür. Projenin saha çalışmaları, lojistik olarak T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından desteklenmiştir. Proje yürütücüsü adı geçen kurum ve kuruluşlara teşekkür eder.

## İçindekiler

Önsöz.....	1
İçindekiler.....	2
Şekil Listesi .....	3
Tablo Listesi .....	5
Özet .....	6
Abstract .....	7
Giriş.....	8
Genel Bilgiler .....	9
Genel Jeoloji.....	10
Gereç ve Yöntem.....	12
Örnekleme Sistemi .....	14
Örneklerin Hazırlanması .....	17
Bulgular .....	21
Teras Seviyeleri.....	22
Teras Seviyesi 5 (+110 m.).....	22
Teras Seviyesi 4 (+70-90 m) .....	22
Teras Seviyesi 3 (+35-50 m) .....	23
Teras Seviyesi 2 ve 1 (+15-25 m).....	24
Teras Seviyesi 0 (güncel taşkın ovası) .....	25
Teras ve Gölsel Seviyelerin Analizi .....	27
Teras Seviyelerinin Sistematiik Analizi .....	27
Teras Seviyelerinin OSL yöntemi ile tarihlendirilmesi (ilk sonuçlar).....	28
Yarbaşı Heyelan Gölü Çökelleri: Taşkesti formasyonu .....	29
Yarbaşı Heyelanı ve Taşkesti Gölünün tarihlendirilmesi.....	33
Radyokarbon tarihlendirilmesi (C14).....	33
U/Th Tarihlendirmesi .....	33
IRSL/SAR Tarihlendirmesi .....	34
Taşkesti Gölü Çökelleri ile Vadi Gelişiminin ilişkisi.....	34
Taşkesti Gölü çökelleri ile KAFZ'un uzun dönem aktivitesi arasındaki ilişki .....	36
Tartışma.....	38
Sonuçlar.....	40
Referanslar.....	43

## Şekil Listesi

Şekil 1 İnceleme alanının yerbulduru haritası .....	9
Şekil 2 İnceleme alanının yükseklik sınıflarına göre jeomorfolojisi (Yıldırım, 2008) ve kuzey-güney topoğrafik profili ile güncel tektonik konumu.....	10
Şekil 3 İnceleme alanının jeoloji haritası (MTA G25 ve G26 paftaları) ve detay çalışma alanı.....	11
Şekil 4 Mudurnu vadisinin bu çalışma öncesinde tanımlanmış genel Kuvaterner stratigrafisi (Paluska vd., 1989; Yıldırım, 2008).....	12
Şekil 5 İnceleme alanının temel ve Kuvaterner birimleri ile gözlem/örnek noktalarının dağılımı.....	13
Şekil 6 1) Örnekleme sistemi A) Tornada imal paslanmaz çelik karotiye (76 mm), B-C) Standart asfalt ve beton karotiyerleri (50-80 mm) D-E) karotiye matkap ve lokma bağlantısı F- Elle uygulama için torklu cırcır lokma kolu (ratchet wrench) 2) Standart ışık geçirmeyen PVC atık su boruları, 3) PVC boruların kapatılması için standart PVC kör tapa.	15
Şekil 7 Örnekleme sistemi A) DeWalt 20V Lithium Ion (3.0 Ah) 3 seçeneğe kırıcı matkap B) Elle uygulama için torklu cırcır lokma kolu (ratchet wrench) detay C) karotiye sistemi: 1) örnek içeren kapatılmış PVC boru 2) karotiye 3) 75 mm PVC boru 4) ara bağlantı 5) matkap bağlantısı 6) matkap. D) Arazide örnekleme aşamaları: delme, paketlenme ve fotoğraflama .....	16
Şekil 8 Çeşitli kırmızı ışık kaynakları ve filtrelerinin ürettiği ışığın dalga boyu ve parlaklık dağılımı .....	17
Şekil 9 İTÜ Laboratuvarında bulunan ve proje kapsamında bulunan teçhizat A) Elek takım ve sallayıcısı, B) Çeker ocak ve kimyasal uygulama, C) Manyetik seperatör D) ağır sıvı düzeneği ve etüv.....	19
Şekil 10 Leica görüntülemeli binoküler mikroskop ile kırmızı ışık ortamında örnek incelenmesi ve fotoğraflanması.....	20
Şekil 11 MTS örneklerinin göreceli yükseklik dağılımlarının histogram görüntüsü kırmızı oklar depolanma, siyah oklar ise aşınma seviyelerine karşılık gelmektedir.....	21
Şekil 12 T5 teras seviyesinin MTS-05 noktasında arazi görünümü, detayda faylanmış bir volkanit çakılı gözlenmektedir.....	22
Şekil 13 Topoğrafik profil üzerinde seki seviyelerinin analizi (MTS-21) .....	23
Şekil 14 T4 seviyesinin arazi görünümü, vadi yamacında yama olarak bulunan MTS-02 noktası ile depolanmalı bir teras sekisi morfolojisini korumuş MTS-21 noktası. ....	23
Şekil 15 T3 seviyesinin görünümü .....	24
Şekil 16 T1-2 teras seviyelerinin arazide görünümü (MTS-01 ve MTS 12 noktalarında bulunan ince kırıntılı birimleri örtmektedir) .....	25
Şekil 17 T0 seviyesinde farklı aşınım düzlemleri .....	26
Şekil 18 Akyazı İlçesi yakınlarındaki kum ocağında sistematik örnekleme.....	26
Şekil 19 İnceleme alanında bulunan teras ve görsel seviyelerin analizi için alınan profil hatları (Profil: kodu sentetik profiller, Taşkesti kodu göl seviyeleri için kullanılmıştır).....	27
Şekil 20 Teras sistemlerinin sistematik analizi ve sentetik profilleri (kesit yerleri için Şekil 19'a bakınız) S kodu aşınmalı; T kodu ise depolanmalı teras sistematigi için verilmiştir. ....	28

Şekil 21 Taşkesti formasyonuna ait gözlemler ve örnek noktaları ile T1-2 seviyeleri arasındaki ilişki .....	30
Şekil 22 Bektemur köyü yakınlarındaki güncel bir heyelan tacında gözlenen Yarbaşı gölü'ne ait çökeller.....	31
Şekil 23 MTS-09 lokalitesinden derlenen ve U/Th ile C14 yöntemi ile tarihlendirilen tatlısu molluskları ( <i>Dreissena polymorpha</i> , Pallas, 1771; <i>Valvata</i> (?) sp., <i>Viviparus</i> sp. ....	32
Şekil 24 İnceleme alanının kabartı üzerinde Taşkesti Gölü'nün çökel dağılımına tanımlanmış yüzey alanı.....	32
Şekil 25 Radyokarbon tarihlemesi yapılan örneklerin kalibrasyon grafikleri (OxCal)	33
Şekil 26 Batıdan doğuya doğru Taşkesti profilleri ve analizi. Kesit hatları için şekil 19'a bakınız yükseklikler deniz seviyesi üzerinden verilmiştir .....	35
Şekil 27 1967 depremi yüzey kırığının uzanımı (Ambraseys ve Zapotek, 1969).....	36
Şekil 28 Taşkesti Beldesi eski Jandarma Karakolu altında KAFZ 1967 yüzey kırığı ve Taşkesti formasyonu'nun ilişkisi. ....	37
Şekil 29 Kuzey-Güney yönlü bir topoğrafik profil içerisinde KAFZ uzun dönem aktivitesinin Taşkesti formasyonu ve teras çökellerine etkisi. ....	37
Şekil 30 Akyazı-Taşkesti arasında Mudurnu Vadisinin Kuvaterner Stratigrafisi.....	38
Şekil 31 Çalışma kapsamında IRSL/SAR yöntemiyle elde edilen teras seviyelerinin Orta-Geç Pleyistosen dönemi için $\delta^{18}\text{O}$ eğrileri ve küresel izotop katları ile korelasyonu.....	40
Şekil 32 Taşkesti-Dokurcun arasında Mudurnu Vadisinin gelişim aşamaları. ....	42

## **Tablo Listesi**

Tablo 1 MTS Örnek noktaları yükseklik dağılımı .....	14
Tablo 2 Proje kapsamında elde edilen IRSL/SAR yöntemiyle tarihlendirme sonuçları (CAM) .....	29
Tablo 3 Taşkesti formasyonu içerisinde alınan örneklerin radyokarbon tarihlendirme sonuçları .....	33
Tablo 4 MTS-09 tatlusu mollusklarından yapılan U/Th tarihlendirme sonuçları .....	34
Tablo 5 Taşkesti formasyonuna ait örneğin IRSL/SAR tarihi (MTS-10) .....	34

## Özet

Sakarya Irmağı'nın önemli kollarından birisi olan Mudurnu Çayı, Köroğlu Dağlarının batı kesiminde yaklaşık 1500 km<sup>2</sup> bir alanı akaçlayan önemli bir akarsudur. Çayın kuzey kesimi, kuzeyde Almacık Dağı (1830 m), güneyde ise Kapıorman (1590 m) ile Abant Dağları (1760 m) olarak tanımlanan dağ kuşakları arasında doğu-batı doğrultusunda uzanan, yüksek rölyefli, dar ve derin bir vadi içerisinde akar. Mudurnu Çayı vadisi olarak adlandırılan bu vadi, son yüzyıl içerisinde gerçekleşen 1957 Abant (M:7.0) ve 1967 Mudurnu Vadisi (M:7.1) depremlerinde kırılan Kuzey Anadolu Fayı'nın (KAF) oluşturduğu yaklaşık 2.5 km genişliğindeki bir makaslama zonu üzerinde gelişmiştir.

Bu çalışmada, Bolu/Taşkesti ve Sakarya/Akyazı ilçeleri arasında kalan bir kesimde gözlenen genç kırıntılı birimlerin detaylı olarak haritalanması ve sistematığının konulmuştur. Proje kapsamında yürütülen arazi çalışmasında yapılan gözlemlerde bu birimlerin: (1) vadinin yüksek rölyefi ve hızlı aşındırması nedeniyle sürekli kararsız olan yamaçları boyunca gelişen heyelanların Mudurnu Çayı'nı periyodik olarak setlemesi sonucu gelişen geçici bir göl içerisinde depolanan ince kırıntılı ve fosilli seviyeler. (2) özellikle de çeşitli seviyelerde korunmuş olarak bulunan depolanmalı/aşınmalı akarsu teras seviyeleri olduğu anlaşılmıştır.

Çökel paketlerinin yaşlandırılmasında feldispat mineralinden Kızılötesi Işınım Yöntemi (Infrared Stimulated Luminescence, IRSL/SAR); karbon ve karbonat kavkılarından, C14 ve karbonat kavkılarından Uranyum serisi yöntemleri kullanılmıştır. Böylelikle dış drenaja açık yüksek enerjili bir akarsuyun iklim değişikliklerine verdiği hızlı cevap ile doğrultu atımlı faylanma tarafından şiddetle deforme edilen ve oluşan yüksek rölyef nedeniyle de sürekli büyük yamaç hareketlerine maruz kalan bir bölgenin jeomorfolojik evriminin basamakları ortaya konulmuştur.

Proje süresince elde edilen sonuçlara göre depolanmalı teraslar ~180 binyıldan (110 m) Holosen'e (~12 by/15 m) kadar gelişimini sürdürmüştür. Bu seviyeler denizel izotop katları sınıflamasına göre soğuk ve kurak dönemlere karşılık gelmektedir. Buna göre vadinin kazılım hızı 0.6-0.8 mm/yıl olarak hesaplanmıştır. Erken-Orta Holosen'de (7000-6000 yıl) gerçekleşen Yarbaşı heyelanı ile ilişkili oluşan ve 1000-1500 yıl varlığını sürdüren göl içerisinde depolanan çökeller, vadiyi setleyen heyelan molozunun aşılmasıyla hızla aşındırılmıştır. Bu çökellerin KAFZ kuzey ve güneyindeki pozisyon değişimine bağlı olarak Taşkesti kesiminde genişlemeli bir büküm yapan fayın düşey kayma hızı 3.3-3.6 mm/yıl olarak hesaplanmıştır.

## **Abstract**

Mudurnu River is one of the major tributaries of the Sakarya River Drainage system which drains a wide area of 1500 km<sup>2</sup>. The northern catchment of the river flows through the major uplifts such as Mt. Almacık (1830 m) in the North and Mt. Kapiorman (1590 m) and Mt Abant (1760 m) in the South forming a very narrow and deep valley with high relief. This valley is formed within the 2.5 km wide deformation zone of the North Anatolian Fault (NAF) and called as Mudurnu Valley where the area is subject to coseismic deformation during 1957 Abant (M:7.0) and 1967 Mudurnu Valley (M:7.1) earthquakes.

The stratigraphy fluvial and lacustrine formations in this narrow valley are studied within the context of this study. Field observations indicate that these units can be classified as (1) layers of fine clastics and fossiliferous zones which are deposited in temporal lakes formed after major landslides damming the Mudurnu River. (2) Strath and depositional terrace staircases formed after the rapid incision of the Mudurnu River and preserved at the steep slopes of the valley.

High resolution dating of these sedimentary units using infrared stimulated luminescence (IRSL/SAR) method accompanied with radiocarbon and U-series made possible to understand the evolution of this valley in terms of fluvial response to climate change, active tectonic deformation and landslides which form repetitively because of the steep valley slopes.

According to mapping and dating of these sequences, it is now revealed that the depositional terraces are preserved max at +100 m (relative height above river base) and date as ~180 ka forming at least 3 terraces until Holocene (~12 ka/15 m). The depositional phases correspond to cold and drought climatic periods according to MIS classification. The incision rate of Mudurnu River is calculated as 0.6-0.8 mm/year showing a linear trend. A major landslide occurred in Early-Middle Holocene (7-6 ka) blocking the valley and thus forming a temporary lake lasted at least 1.5 ka affecting a wide (and now populated) area. The relative positions of the related fine grained units which are cut and displaced by the North Anatolian Fault indicate a 3.3-3.6 mm/year vertical slip rate dissolved on the fault.

## Giriş

Akarsular, yeryüzünün iç ve dış dinamikleri kontrolünde gelişen ve bu dinamiklerin zaman içerisindeki değişimleri/etkilerini yansıtan önemli jeomorfolojik öğelerdir (Erinç, 1982). Yer şekillerinin gençlik, olgunluk ve yaşlılık olarak tanımlanabilecek “Davisyen jeomorfolojik döngü” içerisinde özellikle tektonik olarak aktif bölgelerde akarsuların aşınmalı ve depolanmalı yapıları olarak tanımlanan teras/terasa sistemleri, düzenli olarak gençleşen bir bölgede bu gençleşmenin kanıtlarını içerisinde barındırmaktadır.

Bir akarsuyun evrimi boyunca ürettiği kırıntılı çökel paketlerinden oluşan taşkın ovasının, akarsuyun kaide seviyesi değişimlerine gösterdiği tepkiye bağlı olarak derine kazması sonucunda asılı kalması sonucu oluşan çökel paketlerine akarsu terası yada sekisi adı verilmektedir (Erinç, 1982). Özellikle genç ve gençleşen morfojenetik bölgelerde önemli akarsuların ana kolları üzerinde belirgin teras sistematiği (basamaklanması) oluşumu gözlenmektedir (Erinç, 1982; Hugget, 2005; Bull, 2009). Bu terasların oluşumları, buzul çağlarının bir sonucu olarak önemli kaide seviyesi değişimleri ile birlikte genç tektonik yükselme/çökme ile denetlendiği düşünülmektedir (Schumm vd., 2000; Macklin vd., 2002; Bull, 2009). Özellikle küresel iklim salınımlarının temel nedeni olan Milanhovitch döngülerinde Orta-Pleyistosen’de gerçekleşen değişim ile 41 binyıllık döngüler yerine 100 binyıllık döngülerin egemen olmasıyla tanımlanan birlikte akarsuların derine kazma hızının arttığı ve akarsuların daha belirgin teraslar oluşturduğu düşünülmektedir (Bridgland ve Westaway, 2008). Bununla birlikte flüvyal sistemin iklim değişikliklerine gösterdiği cevap halen tartışılmakta olan bir konudur (Vandenberghe, 2008).

Türkiye’de sistematik akarsu veya denizel teras çalışmaları görece yeni bir konudur. Jeomorfoloji araştırmalarının ve tezlerinin konusu olan ve göreceli olarak tarihlenen ve yorumlanan teras seviyelerinin (ör: Bilgin, 1984; Erol; 1963 ve 1978; Doğu, 1994) buldukları konuma göre Kuvaterner içerisinde gerçekleşen Alpin buzul dönemlerine (Würm, Mindel, Riss ve Günz) göre; yeni değerlendirmelerde ise bu dönemlerin yerine oksijen izotop katları (OIS) ile korelasyonu yapılmıştır. Demir vd. (2004) Türkiye akarsuları üzerinde gelişmiş teras seviyelerini tanıtmış ve iklim ile bölgesel yükselme arasındaki ilişkileri tartışmışlardır. Müspet yaşlandırma yöntemlerinin artmasıyla özellikle sürekli volkanizma etkisi altındaki bölgelerdeki akarsu teras seviyelerini fosilleştiren volkanik malzeme (lav ve tüf) radyometrik yöntemlerle yaşlandırılarak teras seviyeleri tarihlenmiştir. Bu uygulama Batı Anadolu’da Kula bölgesinde Gediz nehrinin terasları ve bölgenin yükselme hızının belirlenmesinde (Westaway vd., 2004 ve 2006); Güneydoğu Anadolu’da ise Fırat nehri teraslarının tarihlendirilmesinde kullanılmıştır (Demir vd., 2012). Güncel bir çalışma kapsamında tektonik olarak düşük bir aktiviteye sahip İç Anadolu Kapadokya Bölgesindeki Kızılırmak Terasları çalışılmıştır. Bu kapsamda Holosen dönemi için  $C^{14}$  yöntemi (Doğan, 2010) ve Kuvaterner içerisinde de gelişmiş 15 seviyede (en çok +160 metre yükseklikte) teras seviyelerini fosilleştiren bazalt akıntılarının Ar/Ar yöntemiyle yaşlandırılması (en çok 198 binyıl) ile tanımlanmıştır (Doğan, 2011). Denizel ve gölsel teras seviyeleri için de Antakya bölgesindeki bölgesel yükselmeye bağlı olarak gelişen kıyı terasları, içerdikleri denizel kavrıkların ESR yöntemi ile tarihlenmesi ile belirlenmiştir (Doğan vd., 2012). Kuzucuoğlu vd. (2010) Van Gölü kıyılarındaki teras seviyelerini haritalayarak, U-serisi;  $C^{14}$  ve Ar/Ar

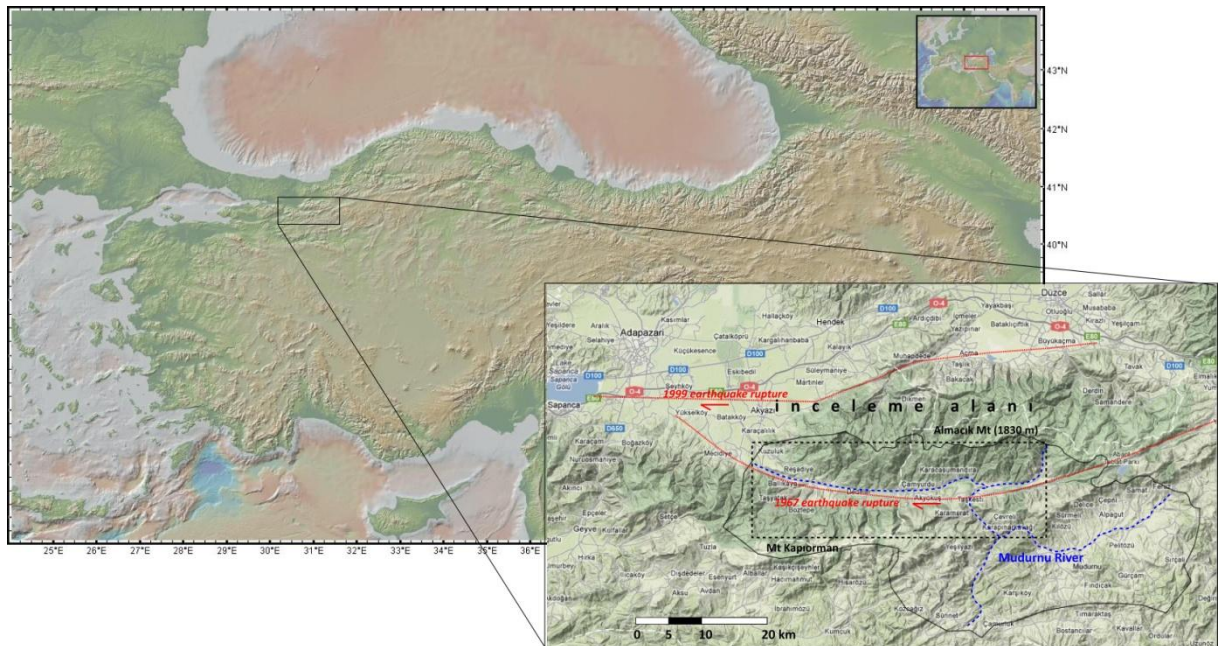


yaşlandırma yöntemleri ile tarihlendirmişlerdir. Araştırmacılar bu teras seviyelerini bölgedeki aktif volkanizma ve tektonizma ile iklim değişiklikleri ışığında değerlendirerek bölgenin morfolojik evrimini büyük ölçüde aydınlatmışlardır. OSL yöntemi kullanılarak teras tarihlendirme yöntemi, Yeşilirmak Nehri'nin KAF'ın yan kolları üzerinde gelişen güncel bir çek-ayır havzaya (Erturaç ve Tüysüz, 2012) yakın kesimdeki teras seviyelerinde uygulanmıştır (Kıyak ve Erturaç, 2008). Detaylı OSL tarihlemesi, bölgede son buzul çağı içerisinde 2 depolanma/aşınma dönemi tanımlamıştır.

Bu çalışmada, aktif tektonizma ve akarsu faaliyetleri ile jeomorfolojik evrimini sürdüren, yüksek rölyefe ve yamaç eğimlerine sahip bir akarsu vadisi olan Mudurnu Vadisi içerisinde dar bir alanda ancak belirgin bir sistematik içerisinde gözlenen Pleyistosen yaşlı çökelti paketlerinin haritalanması, tanımlanması ve tarihlendirilmesi ve sistematik olarak analizi gerçekleştirilmiştir. Bu çökelti çeşitli ortamlarda (akarsu, göl, yamaç hareketleri ve alüvyal yelpazeler) ve jeomorfolojik/jeolojik süreçlerin (iklim değişiklikleri, yüzey faylanması, bölgesel yükselme ve heyelanlar) karşılıklı etkileşimi sonucunda gelişmiştir.

## Genel Bilgiler

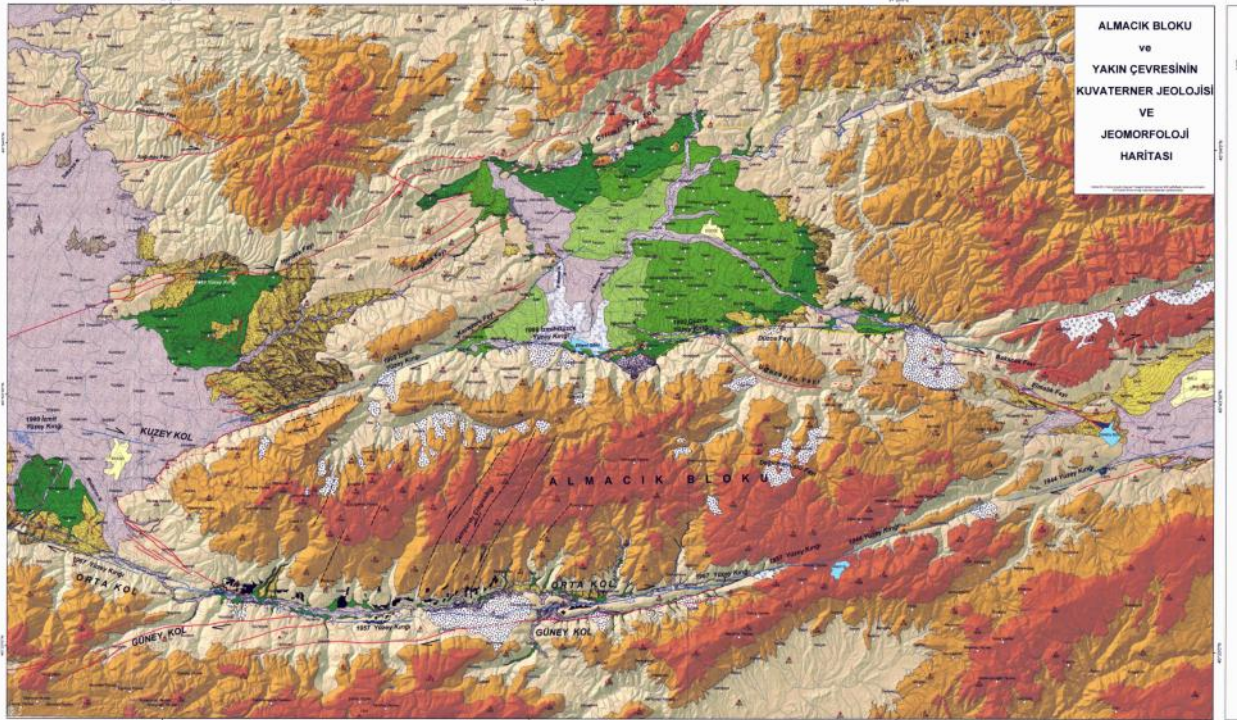
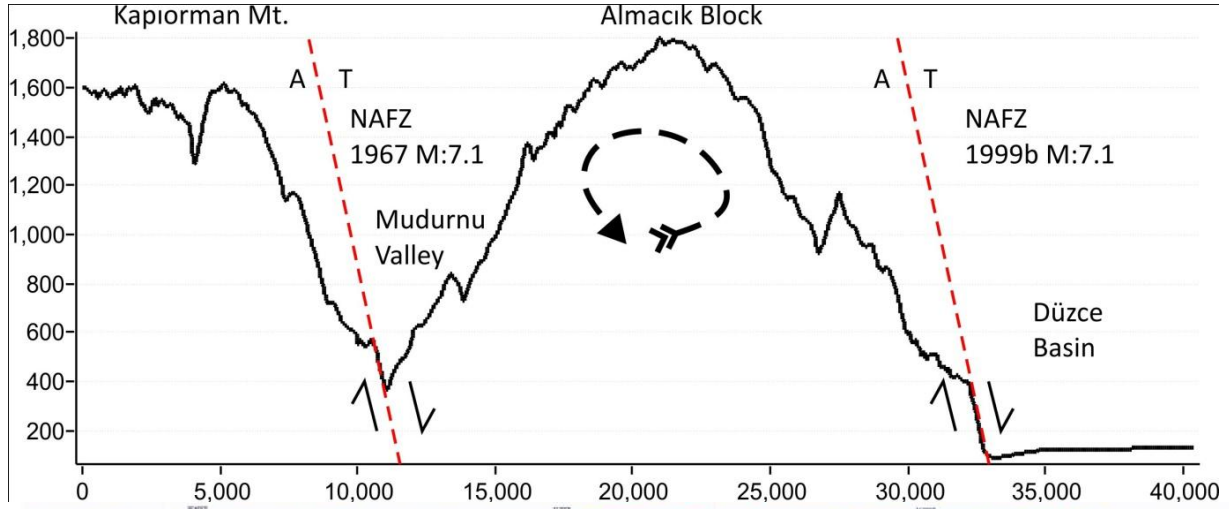
İnceleme alanı, Adapazarı ili Akyazı ilçesi ve Bolu İli, Mudurnu İlçesi, Taşkesti Beldesi arasında, Mudurnu Çayı vadisi üzerinde bulunmaktadır. Vadi, kuzey ve güneyden önemli yükselimler olan Almacık (1830 m) ve Kapıorman Dağları (1590 m) ile sınırlanmaktadır.



Şekil 1 İnceleme alanının yerbulduru haritası

Yaklaşık doğu-batı uzanımlı Mudurnu Çayı Vadisi, inceleme kapsamında 520 m ile 60 m yükseklikleri arasında değişen bir yükseklik profiline sahiptir. Mudurnu Çayı'nın debisi oldukça yüksektir (ort:14; max: 48 m<sup>3</sup>/sn; DSİ) ve özellikle Taşkesti ile Dokurcun arasında dar bir vadi içerisinde yüksek aşındırma özelliğine sahiptir. Dokurcun'dan batıya doğru sonra ise yaklaşık 8 km uzunluğa, 1 km genişliğe sahip bir taşkın ovası içerisinde akar. Batıya doğru çay tekrar dar bir boğaza girerek KAF'ın aktif kuzey kolu da olan 1967 yüzey kırığı

tarafından kesilmekte ve yaklaşık 4 km ötelenmektedir, 14 km uzunluğundaki bu boğazdan sonra batıda Akyazı İlçesi yakınlarında Pleyistosen yaşlı (Ünay vd., 2001) eski havza çökellerini keserek Adapazarı ovasına giriş yapar.



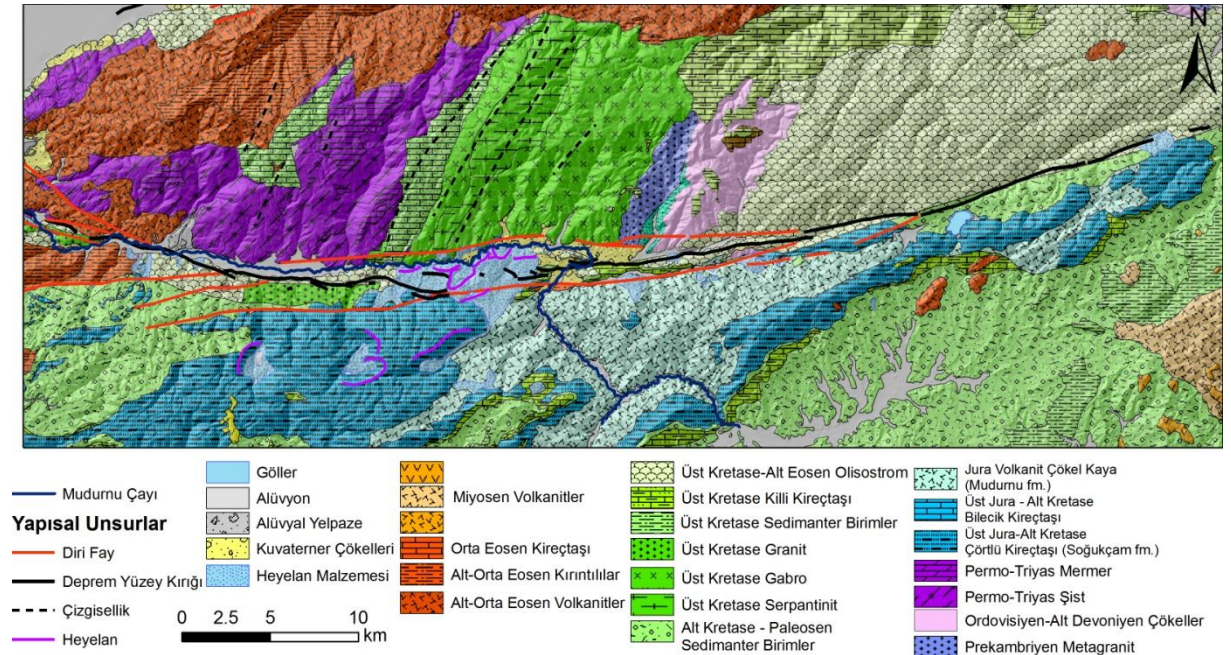
**Şekil 2** İnceleme alanının yükseklik sınıflarına göre jeomorfolojisi (Yıldırım, 2008) ve kuzey-güney topoğrafik profili ile güncel tektonik konumu

### *Genel Jeoloji*

İnceleme alanında yüzlek veren birimlerin tanımlanması ve tektonik ayrılması çalışmaları Gözübol (1978) ve Yılmaz vd., (1982) tarafından gerçekleştirilmiştir. Devamında gerçekleştirilen haritalama projeleri kapsamında ise bölge detaylı olarak çalışılmış ve yakın dönemde ise derlenerek MTA 1/100.000 jeoloji haritaları serisinde yayınlanmıştır (G25; Gedik ve Aksay, 2002 ve G26 paftaları; Pehlivan, Bilginer ve Aksay, 2002). Buna çalışmalara göre inceleme alanı içerisinde İstanbul, Armutlu-Almacık ve Sakarya Zonlarına ait kayalar gözlenmektedir. Sakarya Zonuna ait kayalar Jura yaşlı volkanojenik kumtaşı ve



volkanitlerden oluşan Mudurnu Formasyonu, Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Bilecik Kireçtaşı ve çörtlü kireçtaşından oluşan Soğukçam formasyonu ile tanımlanmaktadır. Almacık Dağı'nın güneyinde, Mudurnu Çayı vadisinin Dokurcun-Karadere arasında kalan kuzey yamaçlarında, Armutlu-Almacık Zonuna ait Devoniyen yaşlı İznik Metamorfikleri yaygın olarak yüzlek verirler. Bu birimin litolojisini, sist, fillat ve mermer gibi metamorfik kayalar oluşturmaktadır (Gözübol, 1978). Almacık Ofiyolitik Melanjı (Gözübol, 1978 ve Yılmaz vd., 1982) inceleme alanı içerisinde yaygın olarak gabro ve amfibolit fasiyeslerinde mostra veren bir ofiyolit dizisinden oluşmaktadır ve Kampaniyen yaşındadır. Literatürde Abant Karmaşığı olarak adlandırılan ofiyolitik melanj birimleri Mudurnu Vadisinin kuzeydoğu kesiminde Almacık Bloğunda yaygın, güneybatı kesiminde ise dar bir zon içerisinde KAF tarafından makaslanmış olarak gözlenmektedir. Birim içerisinde ofiyolitik blokları, bazik lavlar, pelajik kireçtaşı blokları bulunmakta ve aynı zamanda da konglomera, kumtaşı, silttaşı ve marndan oluşmaktadır. Birim Geç Kretase-Paleosen yaşındadır. Bu birimlerin üzerine Orta Eosen yaşlı volkanitler ile neritik kırıntılı ve kireçtaşları ile tanımlanan denizel formasyonlar gelmektedir (Şekil 3).

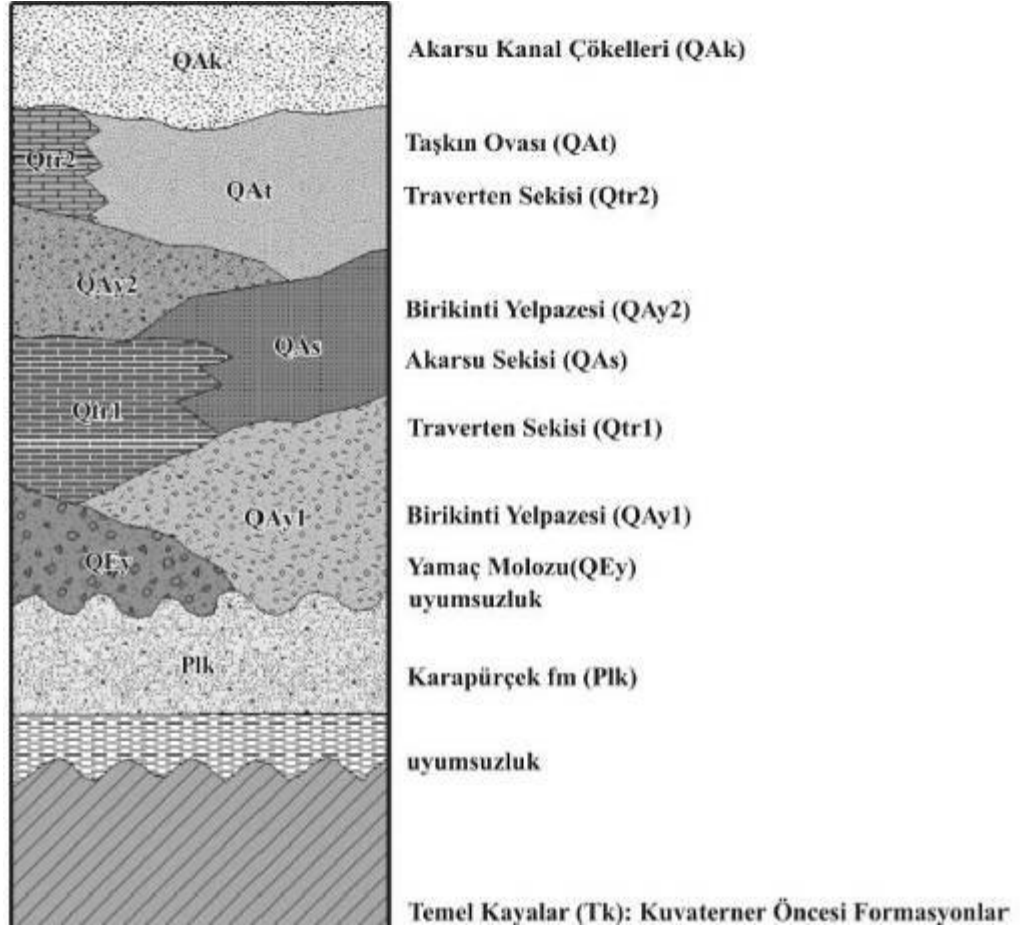


**Şekil 3** İnceleme alanının jeoloji haritası (MTA G25 ve G26 paftaları) ve detay çalışma alanı

İnceleme alanının bölgenin yapısal evrimi ve sismotektonik anlamında bir Türk-Alman ortak projesi kapsamında (Zschau ve Ergünay, 1989) detaylı olarak çalışılmıştır. Bölgenin Kuvaterner stratigrafisine yönelik ilk görüşler bu çalışma ile tanımlanmış (Paluska vd., 1989) ve özellikle KAF'ın bölgedeki segmentasyonu ayrıntılı olarak haritalanarak yayınlanmıştır (Michel, 1994 ve Neugebauer, 1995). Özellikle 17 Ağustos 1999 depreminden sonra bölgede yoğunlaşan lisans üstü tezleri (Zabcı, 2005) ve uluslararası projeler ile (Pavlos vd., 2007) ile bölgenin paleosismolojik özellikleri aydınlatılmıştır. İnceleme alanını etkileyen 1967 depremi yüzey kırığı ise deprem sonrası çalışmalarda haritalanmıştır (Ambraseys ve Zatopek, 1969)

Bölgenin genel Kuvaterner stratigrafisi önceki çalışmalarda (ör: Paluska vd., 1989, Yıldırım, 2008) yılında tanımlanmıştır. Yıldırım (2008) çalışmasında, arazi gözlemlerinde

elde edilen birimler arası göreceli ilişkiler ve önceki çalışmalarda üretilen yaş bilgilerini birlikte değerlendirilerek (Paluska vd., 1989) vadi içerisinde bütünlük bir Kuvaterner stratigrafisi önermiştir. Bu stratigrafiye göre, Pleyistosen yaşlı (Ünay vd., 2001) Karapürçek formasyonu üzerine stratigrafik olarak uyumsuz olarak gelen sistematik akarsu ve yamaç çökeltileri ile traverten depoları olarak tanımlanmıştır. Akarsu çökeltileri ise detay ve sistematik verilmeyerek Akarsu Sekisi (QAs) olarak belirlenmiştir. Akarsu sekileri ise üstte taşkın ovası ve kanal çökeltileri ile örtülmektedir (Şekil 4).



Şekil 4 Mudurnu vadisinin bu çalışma öncesinde tanımlanmış genel Kuvaterner stratigrafisi (Paluska vd., 1989; Yıldırım, 2008)

### Gereç ve Yöntem

Proje temel olarak saha ve laboratuvar çalışmaları üzerine kurulmuştur. Bu çalışmaların sonucunda elde edilen bilgiler, bütünlük bir coğrafi bilgi sistemi içerisinde farklı katmanlar kullanılarak değerlendirilmiş ve bölgenin morfolojik gelişim evrelerine yönelik model yorumları üretilmiştir.

Aktif tektonizma ve akarsu faaliyetleri ile jeomorfolojik evrimini sürdüren, yüksek rölyefe ve yamaç eğimlerine sahip dar bir akarsu vadisi olan Mudurnu Vadisi içerisinde bir alanda ancak belirgin bir sistematik içerisinde gözlenen Kuvaterner yaşlı çökeltiler paketlerinin haritalanması, tanımlanması ve yaşlandırılmak üzere örneklenmesi saha çalışmalarının temel konusunu oluşturmaktadır. Bu çökeltiler çeşitli ortamlarda (akarsu, göl, yamaç hareketleri ve

alüvyal yelpazeler) ve jeomorfolojik/jeolojik süreçlerin (iklim değişiklikleri, yüzey faylanması, bölgesel yükselme ve heyelanlar) karşılıklı etkileşimi sonucunda gelişmiştir.

Bu amaca yönelik olarak 20 Eylül – 10 Ekim 2012 tarihleri arasında Bolu ili Taşkesti beldesi ile Sakarya ili Akyazı ilçesi arasında kalan alanda detaylı saha çalışması gerçekleştirilmiştir. Arazi çalışması süresince genç çökel yüzlekleri tanımlanmış (MT Kodlu gözlem noktaları; 92 adet gözlem) ve uygun yüzleklerden ise önceki kısımda bahsedilen yöntemler kullanılarak 26 noktada (MTS kodlu) toplam 59 adet OSL örnekleme yapılmıştır. Bu örneklerden 14 adeti ince taneli gölsel çökellerden alınmıştır. Her bir örnek noktası için çevre radyasyonunun gamma spektrometresi kullanılarak ölçülebilmesi için örnek çevresinden birer kilo örnek derlenmiştir. Bunun yanı sıra MTS-09 noktasından  $C^{14}$  ve U/Th tarihlendirilmesi için tatlı su molluskları ve MTS-14 noktasından ise  $C^{14}$  tarihlendirmesi için kömür örneği alınmıştır.



**Şekil 5** İnceleme alanının temel ve Kuvaterner birimleri ile gözlem/örnek noktalarının dağılımı

Depolanmalı teras çökelleri inceleme alanı içerisinde vadi içi aşınmanın en yoğun olarak gerçekleştiği Taşkesti-Dokurcun arasındaki kesimde özellikle de vadinin kuzey yamacında gözlenmiştir. Vadinin bu kesimdeki güney yakası ise belirgin bir şekilde farklı dönemlerde harekete geçmiş kütle hareketleri ile kontrol edilmiştir. Bu bahis raporun ileriki kısımlarında tartışılacaktır.

Gözlenen depolanmalı akarsu teraslarının koordinatları standart el GPS'i ile belirlenmiş, yükseklikleri ise yine barometrik-altimetre özelliğine sahip GPS ve el altimetresi ile belirlenmiş, daha sonra da standart Harita Genel Komutanlığı, 1/25.000 ölçekli sayısal yükseklik modeli ile karşılaştırılarak seviyenin üst/alt kotu ile kalınlığı hesaplanmıştır. Daha sonraki aşamada ise teras seviyelerinin yükseklikleri ile Mudurnu Çayı'nın gözlem noktasına en yakın noktasındaki yüksekliği çıkarılarak, seviyelerin göreceli yükseklikleri hesaplanmıştır (Tablo 1).

**Tablo 1 MTS Örnek noktaları yükseklik dağılımı**

ID	SampleID	Seviye	Z (GPS)	Z_dem	MR_ele	ID	SampleID	Seviye	Z (GPS)	Z_dem	MR_ele
1	MTS-01	Taşkesti	488.23	494	478	30	MTS-12-A	T2	527.16	526	503
2	MTS-01-TA	T1	488.23	494	478	31	MTS-12-B	T2	527.16	526	503
3	MTS-01-TB	T1	488.23	494	478	32	MTS-12-C	Taşkesti	527.16	526	
4	MTS-01-TC	T1	488.23	494	478	33	MTS-13	Taşkesti	524.76	520	
5	MTS-01-TD	T1	488.23	494	478	34	MTS-14	Taşkesti	498.57	488	
6	MTS-02	T4	523.08	514	427	35	MTS-15-A	T3	458.91	449	416
7	MTS-03	T4	495.68	495	414	36	MTS-15-B	T3	458.91	449	416
8	MTS-04	T4	500.01	492	414	37	MTS-15-C	T3	458.91	449	416
9	MTS-05-ACD	T5	442.81	442	328	38	MTS-16-A	T4	382.01	384	300
10	MTS-05-B	T5	442.81	442	328	39	MTS-16-B1	T4	382.01	384	300
11	MTS-06-A	T3	343.55	352	298	40	MTS-16-B2	T4	382.01	384	300
12	MTS-06-B	T3	343.55	352	298	41	MTS-17-A	T2	495.44	498	480
13	MTS-06-C	T3	343.55	352	298	42	MTS-17-B	T2	495.44	498	480
14	MTS-07-A	Taşkesti	519.47	529		43	MTS-18-A1	T2	480.06	493	468
15	MTS-07-B	Taşkesti	519.47	529		44	MTS-18-A2	T2	480.06	493	468
16	MTS-08-A	T3	466.36	474	426	45	MTS-18-B1	T2	484.39	492	468
17	MTS-08-B	T3	466.36	474	426	46	MTS-18-B2	T2	484.39	492	468
18	MTS-09-A	Taşkesti	505			47	MTS-18-C	T2	484.39	492	468
19	MTS-09-B	Taşkesti	505			48	MTS-19-A	T3	524.76	532	480
20	MTS-09-C	Taşkesti	505			49	MTS-19-B	T3	524.76	532	480
21	MTS-09-D	Taşkesti	505			50	MTS-19-C	T3	524.76	532	480
22	MTS-10-A1	Taşkesti	503.85	513		51	MTS-20-A	T3	530	532	480
23	MTS-10-A2	Taşkesti	503.85	513		52	MTS-21-A	T4	581.96	591	508
24	MTS-10-B1	Taşkesti	506.26	514		53	MTS-21-B	T4	581.96	591	508
25	MTS-10-B2	Taşkesti	506.26	514		54	MTS-21-C	T4	581.96	591	508
26	MTS-11-A	T1	475.01	482	465	55	MTS-22	T0	246.46	250	247
27	MTS-11-B	T1	475.01	482	465	56	MTS-23-A	T0	64.05	68	62
28	MTS-11-C	T1	475.01	482	465	57	MTS-23-B	T0	64.05	68	62
29	MTS-11-D	T1	475.01	482	465	58	MTS-23-C	T0	64.05	68	62
						59	MTS-23-D	T0	64.05	68	62

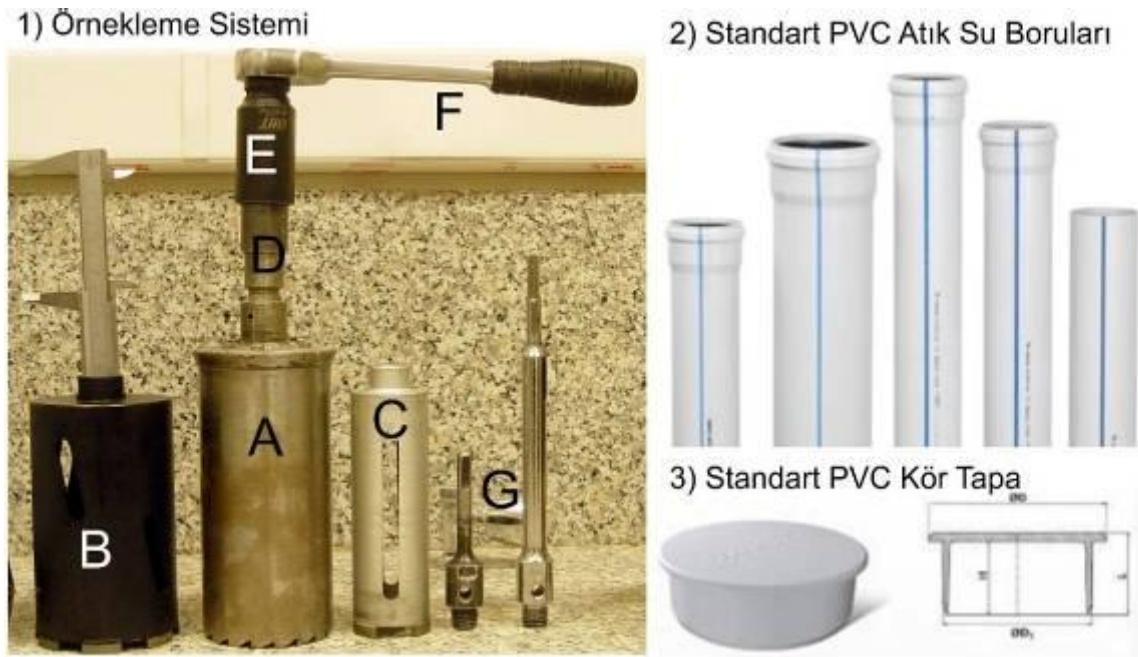
### **Örnekleme Sistemi**

OSL yöntemi ile tarihlendirme amaçlı örnekleme için yönteminin teorisi gereği, örnekleminin çökelin depolanmadan sonra hiç gün ışığı görmeyen bir seviyesinde yerinde yapılması, örnekleme süreci ve sonrasında çökelin gün ışığından saklanması gerekmektedir. Yöntemin yüksek hassasiyetle çalıştığı çökel grupları çeşitli sedimantolojik süreçlerin egemen olduğu ince kumdan silt boyunda kadar ince kırıntılılardır, çökellerin boylanması da örnekleme yöntemini değiştirmektedir. Örneğin buzul döneminin Eoliyen süreçler sonucu depolanmış kayıtları olan lös çökellerinin ve ince taneli (çok ince kum) kıyı kumullarının sistematik örnekleme için 5 mm çapında ~10 cm uzunluğunda alüminyum borular çökel kesitine çakılmak suretiyle örnekleme yapılmaktadır. Bununla birlikte flüvyal çökellerin boylanmasının genellikle çok kötü oluşu (bloktan ince kum/silt boyuna kadar değişken), görece homojen ince taneli çökel kayıtlar bulduran akarsu kanal depolarının önemli bir unsuru olan kum barlarının yaygın gözlenmemesi farklı bir yöntem kullanılmasını gerektirmektedir. Önceki çalışmalarda gece, kırmızı ışık altında çelik bir karotiyerin balyozla çökel paketine çakılması yöntemi kullanılmıştır (Kıyak ve Erturaç, 2008). Bu yöntem, çalışma koşulları ve teras kesitlerinin arazide genellikle ulaşımı zor ve yüksek trafiğe sahip yol kesitlerinde bulunması nedeniyle örnek alımı ve can güvenliği açısından tehlikeli olabilmektedir. Bu proje kapsamında teras çökellerinde görece ince taneli seviyelerin örnekleme için bir sistem tasarlanmış ve arazide başarıyla uygulanmıştır. Bu sistem basitçe uygun çap ve özellikte çelik karotiyer, karotiyer içerisinde örneğin saklanacağı bir karot



borusu ve karotiyerin çökel kesit üzerine uygulanmasını kontrol edecek bir mekanik aksamdan oluşmaktadır. Bu sistem projenin ilgi hizmet ve makine teçhizat kalemleri kullanılarak temin edilmiştir.

Örnekleme sisteminin temeli Şekil 6 da sunulmuştur. 1. Kesimde gösterilen karotiyerlerden standart olanlar (1-B-C) deneme amaçlı olarak satın alınmıştır ancak çapları (50-80 mm) standart PVC boru çapları ile uyumlu değildir, bu nedenle uygun iç çapa sahip bir örnek karotiyeri Uçak Yüksek Müh. H. Hüseyin Erturaç tarafından tasarlanmıştır (Şekil 6-1-A). Bu karotiyer 12 cm uzunluğunda ve 76 mm iç çapı ile 75 mm dış çapa sahip PVC boruları içerisine alabilmektedir, karotiyerin ağız kısmındaki dişler karotiyerin kesit boyunca ilerlemesine yardımcı olmaktadır, karotiyerin iç kısmında bulunan plaka, karotiyerin arka kesimindeki vidalar yardımıyla hareket etmekte ve PVC borunun karotiyer dışına itilmesini sağlamaktadır. Karotiyer, D aksamı ile elle veya mekanize bir dönme sağlayan aksama (kol ya da matkap) bağlanabilmektedir. Örnekleme sırasında çökeller standart PVC atık su borusu (75 mm dış çapında) (Şekil 6-2) içerisinde alınmaktadır, bu tarz borular ışık geçirmeme özelliğine sahiptir, standart bir tel testere ile kolaylıkla kesilebilmektedir.



Şekil 6 1) Örnekleme sistemi A) Tornada imal paslanmaz çelik karotiyer (76 mm), B-C) Standart asfalt ve beton karotiyerleri (50-80 mm) D-E) karotiyer matkap ve lokma bağlantısı F- Elle uygulama için torklu cırcır lokma kolu (ratchet wrench) 2) Standart ışık geçirmeyen PVC atık su boruları, 3) PVC boruların kapatılması için standart PVC kör tapa

Şekil 7’de karotiyerin kesit üzerinde uygulanması için öngörölmüş mekanik alet ve cihazlar gösterilmiştir. Proje kapsamında (A) DeWalt marka, şarjlı, kırıcı özelliğine de sahip matkap temin edilmiştir. Bunun yanısıra özel durumlar için (daha yüksek tork gerektiren) elle uygulama amaçlı (B) torklu cırcır lokma kolu da alınmıştır. Karotiyer ve matkap sistemi (C) arazide zor pozisyonlarda bile kolayca örnek alınması sağlanmıştır. Örnekleme işlemi bitirildiğinde PVC boru (3) karotiyerden (2) çıkarılır ve uygun boyutta PVC kör tapa ile kapatılarak bantlanır (1).



**Şekil 7** Örneklem sistemi A) DeWalt 20V Lithium Ion (3.0 Ah) 3 seçenekli kırıcı matkap B) Elle uygulama için torklu cırcır lokma kolu (ratchet wrench) detay C) karotiyer sistemi: 1) örnek içeren kapatılmış PVC boru 2) karotiyer 3) 75 mm PVC boru 4) ara bağlantı 5) matkap bağlantısı 6) matkap. D) Araziye örneklem aşamaları: delme, paketlenme ve fotoğrafçılık

Bu örneklem sistemi arazide uygun (homojen ve ince taneli) paketlerden %100 oranında örnek alınabilmesini sağlanabilmiştir, bununla birlikte eğer çökel paketi homojen değilse ve 30 mm'den büyük parçalar içeriyorsa örnek yüzdesi %40 oranına gerileyebilmektedir.



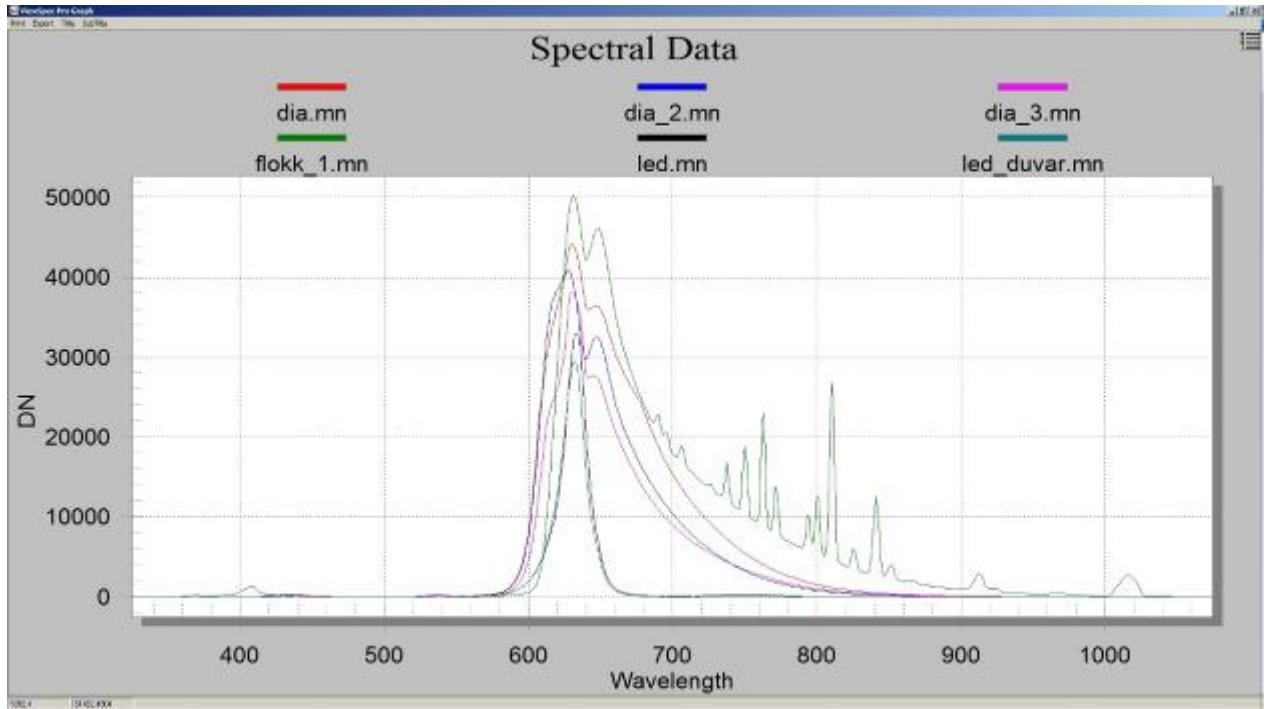
Yerel nedenler nedeniyle (karbonat oranı yüksek yer altı suyu) çimentolanmış çökel paketleri ile yine matkabin kırıcı özelliği kullanılarak blok numune alınmıştır.

Arazi çalışmalarına proje yürütücüsü M. Korhan Erturaç, proje bursiyeri Ayşe Atalay Dutucu, proje destekçisi kurum olan İstanbul Teknik Üniversitesi'nden Gürsel Sunal, Pınar Gutsuz, Ozan Erdal ve SAÜ Coğrafya Bölümü Lisans öğrencileri Esra Erşahin, Berna Arıkan, Hamza Uğur, Adem Taştekin, Elif Kaya, Gamze Aslan, Şeyda Yıldırım, Buse İbrişoğlu ve Neşe Karaoğuz katılmışlardır.

### **Örneklerin Hazırlanması**

Saha çalışmalarından derlenen 59 adet örneğin ayıklanması ve IRSL/SAR tarihlendirmesine yönelik hazırlanması çalışmaları projenin destekçi kurumu olan İTÜ Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, Örnek Hazırlama ve Mineral Ayırma (ÖHMA) laboratuvarında yürütülmüştür.

Bu amaca yönelik olarak laboratuvar, proje bütçesindeki ilgili kalem kullanılarak hizmet alımı yöntemi ile güneş ışığından soyutlanmıştır. IRSL/SAR yöntemin başarıyla çalışabilmesi için örneklerin günışığı (mavi) ve kızılötesi dalga boylarında uyarılmaması gerekmektedir. Bu nedenle mineral ayırma çalışmalarının yürütüleceği laboratuvarın güvenli (kırmızı) ışık kullanılarak aydınlatılması gerekmektedir. Bu amaca yönelik olarak piyasada bulunan çeşitli kırmızı ışık kaynakları ve kırmızı filtreler satın alınmıştır. Bu ışık kaynaklarının dalga boyları İTÜ Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama Merkezi (UHUZAM) uzmanlarından Dr. Emre Özalkan tarafından **ASD (Analytical Spectral Devices) HandHeld Spectroradiometer** kullanılarak ölçülmüştür (Şekil 8).



**Şekil 8 Çeşitli kırmızı ışık kaynakları ve filtrelerinin ürettiği ışığın dalga boyu ve parlaklık dağılımı**

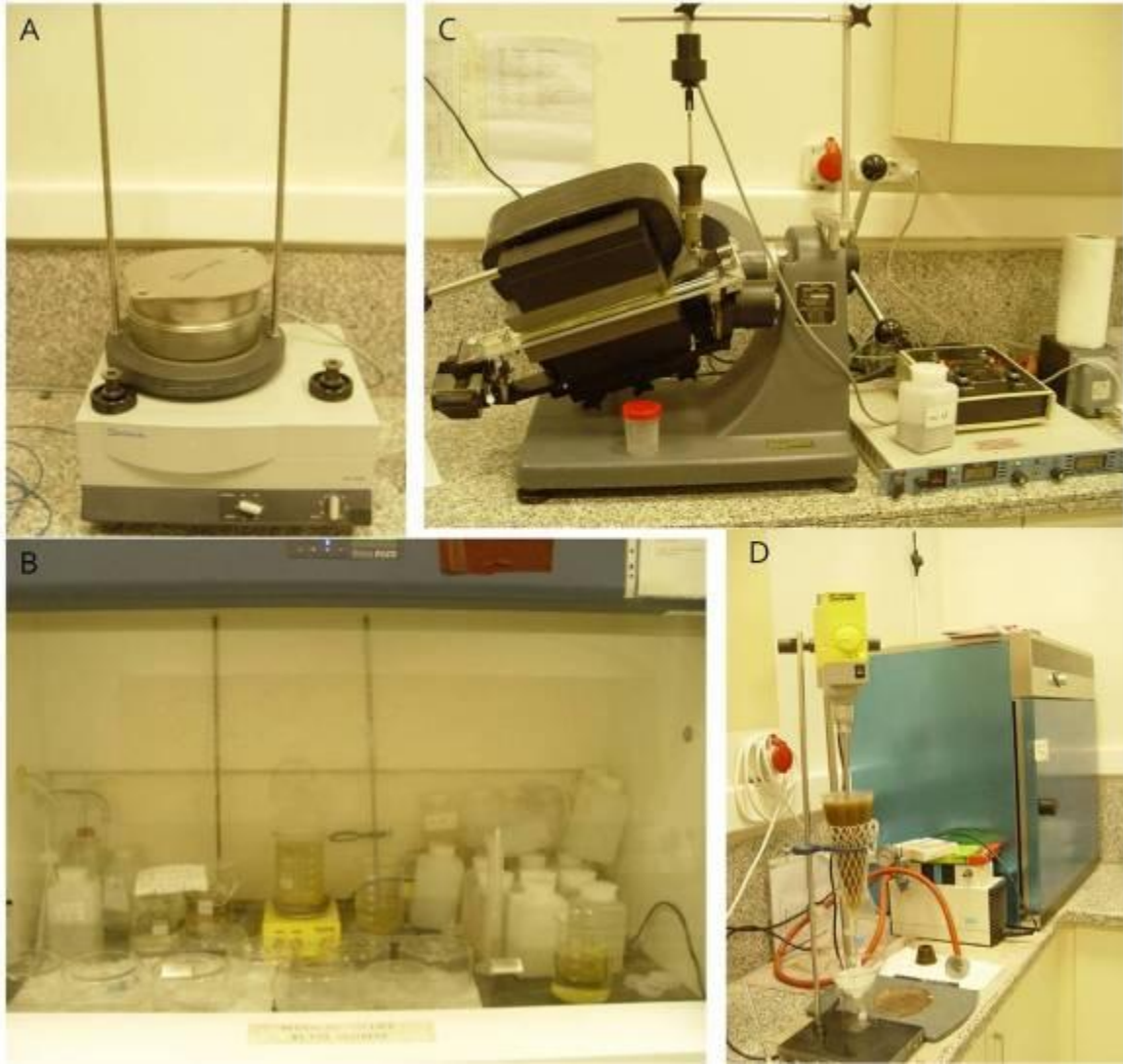
Yapılan analiz sonucunda çalışma amacına en uygun aydınlatma kaynağının 620-670  $\mu\text{m}$  dalga boyunda dar bir alanda ışık üreten kırmızı LED kaynak olduğu sonucuna

varılmıştır. Böylelikle laboratuvar düşük şiddette ışık üreten 8 adet kırmızı LED ampül ve yüksek şiddette ışık üreten 2 adet 10 Watt LED projektör ile aydınlatılarak çalışmaya hazır hale getirilmiştir. Gerekli durumlar için laboratuvar ortamındaki diğer ışık kaynaklarının üzeri ise kırmızı renkli filtreler ile kapatılmıştır.

IRSL/SAR tarihlendirilmesi için örneklerin kurutulması, elenmesi ve çeşitli kimyasal işlemlerden ( $H_2O_2$ , HCl ve  $Na_2C_2O_4$ ) geçirildikten sonra manyetik minerallerin ayrılması ve son aşamada ise ağır sıvı yöntemiyle Kuvars, Na-Feldispat ve K-Feldispat fraksiyonlarının ayrılması gerekmektedir. Bu amaca yönelik olarak işlemler literatürde açıklanmıştır (Porat, 2006 ve Riemenschneider, 2006).

Buna göre kaba taneli (coarse grain) OSL uygulaması olarak tanımlanan yöntem için hazırlanan örnekler örnek tüpleri içerisinde karanlık ortamda alınarak  $50^\circ C$  ısıtılmış etüv içerisinde kurutulduktan sonra 710-180-125  $\mu m$  elek çaplı elek takımı içerisinde elenir ve fraksiyonlarına ayrılır (Şekil 9 A). OSL işlemi için 180-125  $\mu m$  arasındaki tane boyları kullanılacaktır. Örnekler daha sonra sırasıyla çeker ocak içerisinde ( $H_2O_2$ , HCl ve  $Na_2C_2O_4$ ) kimyasal işlemlere tabi tutularak (Şekil 9 B) sırasıyla biyolojik kalıntı, karbonattan ayrılır ve yapışmış tanelerin parçalanması sağlanır. Örnekler sonik banyo kullanılarak birkaç kere yıkanır ve kalıntı kil bileşenlerinden de ayrılır. Örnek, daha sonra  $50^\circ C$  ısıtılmış etüv içerisinde kurutulur. Manyetik minerallerin ayrılması için Porat (2006) tarafından tarif edilen değerler kullanılarak İTÜ laboratuvarında bulunan Frantz Magnetic Barrier marka manyetik seperatör içerisinde işlemden geçirilir (Şekil 9 C). Bu cihazın pozisyonu eğim:  $25^\circ$ , tilt: 17 olarak konumlandırıldıktan sonra mıknatıs akımı da 1.4-1.5 Amper olarak ayarlanır. Bu yöntem ile %95 oranında manyetik mineraller non-manyetik minerallerden (Kuvars, Na ve K Feldispat, Apatit ve Zirkon) ayrılmaktadır. Sonraki aşama OSL yöntemi için kullanılan Kuvars ve K-Feldispat fraksiyonlarını elde etmektir. Bu amaca yönelik olarak ağır sıvıda yüzdürme metodu kullanılmıştır (Şekil 9 D). Bu yöntemde ise  $2.9 \text{ gr/cm}^3$  yoğunluğa sahip sodium polytungstate (SPT) kullanılmıştır. Örneğin fraksiyonlarına ayrılması aşamalarında ilk aşamada  $>2.62 \text{ gr/cm}^3$  yoğunluğuna seyreltilmiş ve feldispat mineralleri ile kuvars, zirkon ve apatit minerallerini içeren iki ayrı fraksiyon elde edilmiştir. İlk fraksiyon  $2.58 \text{ gr/cm}^3$  yoğunluğundaki ağır sıvıda yüzdürülmüş ve Na ile K feldispat mineralleri ayrılmıştır. İkinci fraksiyon ise  $2.7 \text{ gr/cm}^3$  yoğunluğundaki ağır sıvıda yüzdürülerek Kuvars ile Zirkon/Apatit mineralleri ayrılmıştır.

Ayrırma işlemlerinden sonra proje kapsamında satın alınan binoküler mikroskop yardımıyla çökel fraksiyonların mineralojik kompozisyonları incelenmiştir. Böylece uygulanan yöntemlerin % başarısı anlaşılmıştır (Şekil 10)



**Şekil 9** İTÜ Laboratuvarında bulunan ve proje kapsamında bulunan teçhizat A) Elek takım ve sallayıcısı, B) Çeker ocak ve kimyasal uygulama, C) Manyetik seperatör D) ağır sıvı düzeneği ve etüv

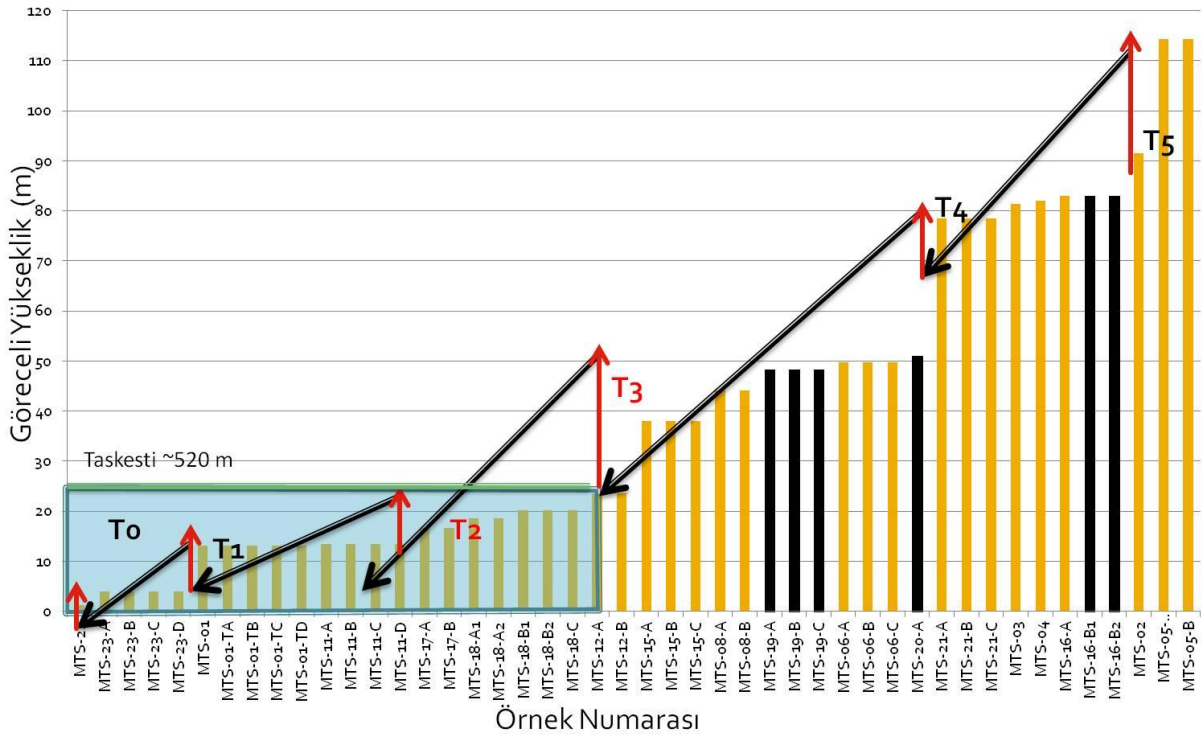
Bu çalışmanın yanısıra OSL tarihleme yönteminin bir diğer gereksinimi olan ve örnek alınan çökel paketinin radyoaktivitesinin belirlenmesi amacıyla alınan doz örneklerinin düşük seviyeli gamma spektroskopisi yardımıyla ölçülebilmesi için alınan örneklerin hazırlanması gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla özellikle kaba taneli (blok-kum) teras seviyelerinden alınan örnekler önce çeneli kırıcıdan geçirilmiş ve daha sonra da diskli öğütücü ile pudra haline getirilmiştir.



Şekil 10 Leica görüntülemeli binoküler mikroskop ile kırmızı ışık ortamında örnek incelenmesi ve fotoğraflanması

## Bulgular

Saha çalışmaları ile derlenen örnek noktalarının en yakınında yer alan güncel vadi kotuna bağlı olarak hesaplanan göreceli yükseklikleri bir histogram grafik üzerinde değerlendirildiğinde (Şekil 11) inceleme alanı kapsamı içerisinde farklı yüksekliklerde kümeleşen 5 farklı (+1 güncel taşkın ovası) seviyede depolanmalı teras sekisi bulunduğu belirlenmiştir. Bu seviyelerin kalınlığı en çok 20 metre'dir. Bu depolanma dönemlerine karşılık gelen 5 farklı aşınma dönemi de bulunmaktadır. Buna göre en yüksek teras seviyesine (T5) ait çökeller tek bir gözlem noktasında gözlenmiştir (MTS-05) bu seviyenin güncel dere kotundan yüksekliği +110 metre'dir, bu seviyenin altında 4 farklı gözlem noktası 70-95 metre yüksekliklerde (T4) bir teras seviyesine işaret etmektedir. T3 seviyesi, 5 farklı gözlem noktasında örneklenmiştir ve +35-50 metre yükseklikleri arasında bulunmaktadır. Grafikte +15-25 metre kotları arasında dağılım gösteren 6 gözlem noktası bulunmaktadır. Bu seviyeler Orta Holosen'de gelişmiş Taşkesti heyelan gölüne ait olan çökelleri (Taşkesti formasyonu) üzerlemektedir ve bu dönemden günümüze hızlı bir teras gelişimi ve kazılımı aşamalarını yansıtmaktadır. Akarsuyun geniş bir alanda çökel depoladığı batıda Akyazı ilçesinde de bir kum ocağının üst seviyelerinden örnekleme yapılmıştır (MTS-23).



Şekil 11 MTS örneklerinin göreceli yükseklik dağılımlarının histogram görüntüsü kırmızı oklar depolanma, siyah oklar ise aşınma seviyelerine karşılık gelmektedir.



## ***Teras Seviyeleri***

### ***Teras Seviyesi 5 (+110 m.)***

En yüksek teras seviyesine (T5) ait çökeller tek bir gözlem noktasında gözlenmiştir (MTS-05) bu seviyenin güncel dere kotundan yüksekliği +110 metre'dir. Arazi gözlemleri bu teras seviyesinin yaklaşık 15-20 metre kalınlığa sahip olduğunu göstermiştir. KAF 1967 yüzey kırığına yakın ve makaslama zonu içerisinde bulunan bu kesit oldukça belirgin biçimde faylanmış akarsu kanal çökellerine ait volkanitler, ultramafitler ve kireçtaşı litolojisine sahip iyi yuvarlaklaşmış kaba çakıl ve bloklardan oluşmaktadır. Kesit içerisinde dar bir yayılımı olan bir kum merceği içerisinde örnekleme yapılabilmektedir (Şekil 12).

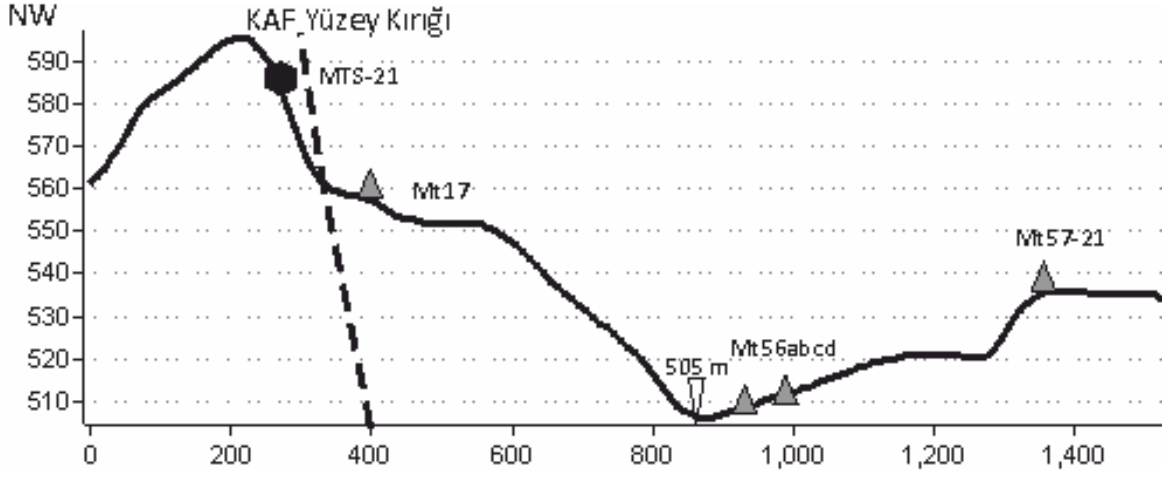


**Şekil 12 T5 teras seviyesinin MTS-05 noktasında arazi görünümü, detayda faylanmış bir volkanit çakılı gözlenmektedir.**

MTS-05 örneğinin içerisinde ayıklanan feldispat mineralinin sinyalinin SAR (single aliquot regenerative dose) yöntemine göre IRSL/SAR tarihlendirilmesi sonucu  $180.22 \pm 17.81$  by tarihi elde edilmiştir. Bu tarih MIS-6 izotop katının başlangıcına karşılık gelmektedir.

### ***Teras Seviyesi 4 (+70-90 m)***

İnceleme alanındaki en yüksek ikinci teras seviyesi (T4) güncel vadi seviyesinden 70-95 metre göreceli yüksekliğe sahiptir ve kalınlığı ~20-25 metre olarak gözlenmiştir. Seviye toplam 4 gözlem noktasında örneklenmiştir. En belirgin seviye Taşkesti Beldesinin batı kesiminde 1967 depremi yüzey kırığının kuzeyinde bulunmaktadır (MTS-21, Şekil 13-14). Diğer gözlem noktalarının dar yayımlı vadi kenarında yama) aksine MTS-21 depolanmalı bir teras sekisi morfolojisine sahiptir. Üst kotu yaklaşık 600 metre olan bu seviye, 590 metre kotunda bulunan bir yarmada örneklenmiştir. Diğer bir seviye de Mudurnu Vadisinin kuzey yamacındaki bir stabilize yol yarmasında sürekli olarak gözlenmiştir.



**Şekil 13 Topoğrafik profil üzerinde seki seviyelerinin analizi (MTS-21)**

T4 seviyesi, vadinin kuzey kesiminde sistematik olarak devamlı bir seki seviyesi de sunmaktadır. Bu seviye de, MTS-02 gözlem noktasında, sekinin en üst kotuna yakın bir noktada kanal çökelleri içinde bulunan bir kum barında örnekleme yapılmıştır (Şekil 14).

MTS-16a noktasından alınan örneğin içerisinde ayıklanan feldispat mineralinin sinyalinin SAR yöntemine göre IRSL/SAR tarihlendirilmesi sonucu  $127.952 \pm 13.14$  tarihi elde edilmiştir. Bu tarih kabaca MIS5e izotop katına karşılık gelmektedir.



**Şekil 14 T4 seviyesinin arazi görünümü, vadi yamacında yama olarak bulunan MTS-02 noktası ile depolanmalı bir teras sekisi morfolojisini korumuş MTS-21 noktası.**

*Teras Seviyesi 3 (+35-50 m)*

+35-50 metre yükseklikleri içerisinde yer alan bu teras seviyesi arazi çalışmalarında birçok noktada gözlenmiş ve 6 farklı sekide örneklenmiştir. Özellikle vadinin kuzeydoğu kesiminde dik yamaçlar önünde geniş düzlükler oluşturan bu seviyenin üst ve orta kotlarında köy ve orman yolu yarmaları bulunmaktadır. Böylelikle yanıl yayılımı ve çökel fasiyesini

gözlemek de mümkün olabilmiştir. Genellikle kanal çökellerinin egemen olduğu bu terasa ait kesitler yer yer örnekleme yapılabilecek kaba kum mercekleri de bulunmaktadır (Şekil 15).

Bu seviyeden henüz tarihlenen bir örnek bulunmamaktadır. Ama teras stratigrafisi ve elde edilen IRSL/SAR tarihleri birlikte değerlendirildiğinde MIS4 izotop katına karşılık geldiği öngörülebilir. MTS-23 noktasından elde edilen tarih (~50 ka) MIS 4-MIS 3 geçişinde bir aşınma dönemini ifade etmektedir, bu tarih aynı zamanda T3 depolanma seviyesinin sonuna karşılık gelebilir.



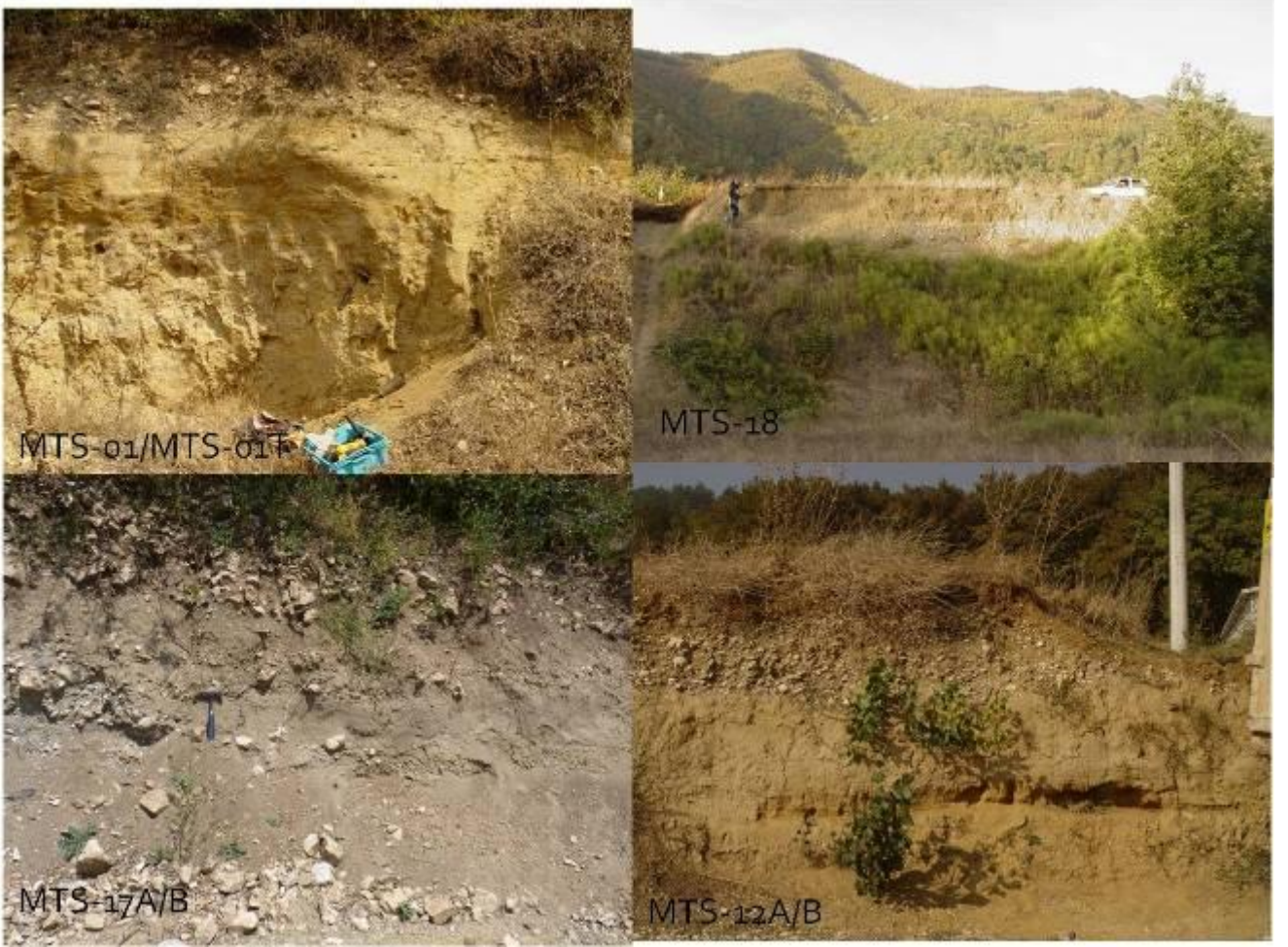
**Şekil 15 T3 seviyesinin görünümü**

*Teras Seviyesi 2 ve 1 (+15-25 m)*

İnceleme alanında (Taşkesti Beldesi çevresi) en yaygın olarak gözlemlenen ve örneklenen seviye +15-25 metre yüksekliklerde bulunan ve yol ile güncel derenin kazması sonucu yüzlek veren T1-2 teras sekileridir (Şekil 12). Bu seviyelerden 5 noktada örnekleme yapılmıştır. Bu örnekleme ve sekilerin üst kotlarının belirlenmesi sonucu düşük bir yükseklik farkı olsa da 2 farklı seviye olduğunu yönünde yorumlanmıştır. Bir diğer önemli durum bu seviyelerin özellikle vadinin orta ve doğu kesimi ile Taşkesti beldesi arasında yaygın olarak gözlenen ince kırıntılı gölsel bir birimi örtmesidir (Şekil 16, MTS-01/12). Bu gölsel birim literatürde (MTA, 2002) Taşkesti formasyonu olarak tanımlanmıştır. (Taşkesti formasyonu bölgedeki tüm genç kırıntılı birimlerin genelleştirilmiş adıdır). Birimler üstte yamaç molozu ile örtülmektedir (Şekil 16; MTS-17) . Bu sekilerin Yarbaşı heyelanının Orta-Holosen'de gerçekleşmesi ile bölgeye hakim olmuş Taşkesti Gölü'nün ortadan kalkması ile geliştiği anlaşılmıştır. Bu nedenle Mudurnu Vadisi boyunca Yarbaşı heyelanının etki alanının batısında bu sistematik gözlenmemektedir.

T2 teras seviyesine karşılık gelen MTS-18 seviyesinden alınan örneğin içerisinden ayıklanan feldispat mineralinin sinyalinin IRS/SAR yöntemiyle tarihlendirilmesi sonucu  $23.68 \pm 2.62$  by yaşı elde edilmiştir. Bu tarih Geç Buzul Maksimum MIS2 dönemine karşılık gelmektedir. Bu seviye Taşkesti formasyonu'nu örtmemektedir. Bu yaştan MAM (Minimum Age Model) kullanılarak doğrulanması için LIAG laboratuvarlarında ölçümler devam etmektedir.



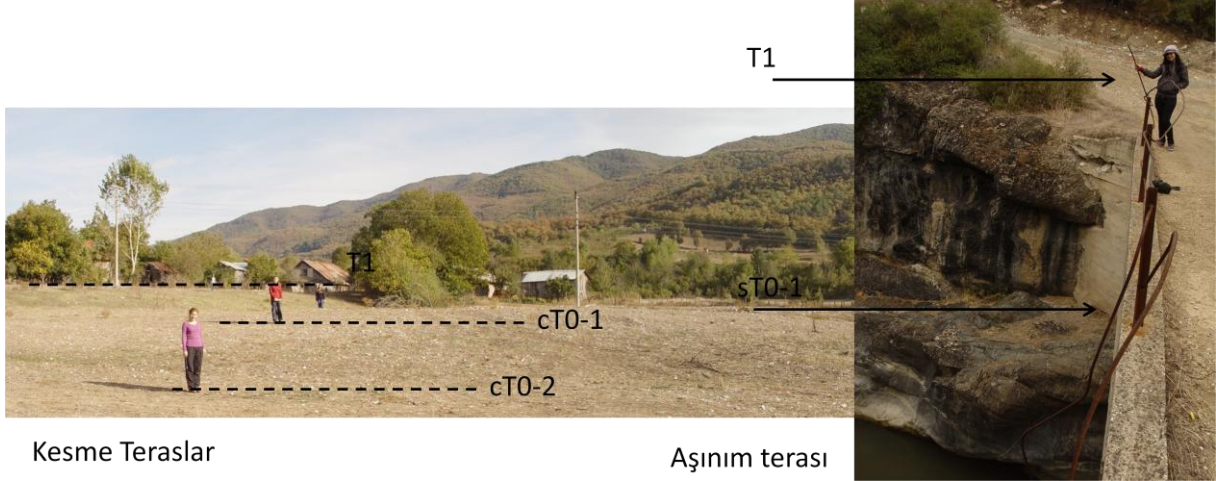


**Şekil 16 T1-2 teras seviyelerinin arazide görünümü (MTS-01 ve MTS 12 noktalarında bulunan ince kırıntılı birimleri örtmektedir)**

T1 teras seviyesine karşılık gelen MTS-01 seviyesinden alınan örneğin içerisinde ayıklanan feldispat mineralinin sinyalinin IRSL/SAR yöntemine göre tarihlendirilmesi sonucu  $18.06 \pm 3.14$  tarihi elde edilmiştir. Bu tarih Geç Buzul Maksimum (MIS2) dönemine karşılık gelmektedir. Bununla birlikte bu seviye Orta Holosen olarak tarihlenen Taşkesti formasyonu'nu örtmektedir. Bu nedenle bu tarih teras stratigrafisi içerisinde uyumlu olsa da  $C^{14}$  tarihleriyle kurgulanan olay kronolojisi içinde hatalı görünmektedir. Bu durum hem terasın MAM protokolü ile hem de örttüğü gölsel fasiyesin yaşlandırılması ile yeniden değerlendirilecektir.

#### *Teras Seviyesi 0 (güncel taşkın ovası)*

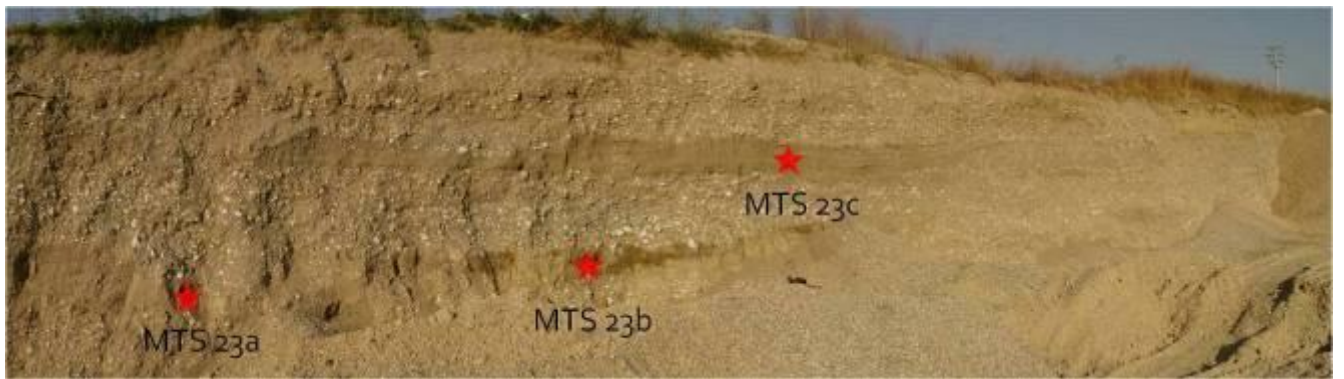
Günümüz taşkın ovasına ait seviyeler, detayda çalışılan Taşkesti-Dokurcun arasındaki Mudurnu Çayı vadisinde değişen genişlikte vadi kanalından +5 metre yüksekte gözlenmektedir. Taşkesti beldesinin üzerine yerleştiği geniş taşkın ovası üzerinde çeşitli seviyelerde kesme terasları bulunmaktadır (Şekil 17) bununla birlikte Dokurcun beldesinin doğusunda kalan alanda vadinin kireçtaşlarını kestiği kesimde T1 seviyesinin altındaki ana kaya üzerinde 2 seviyede aşınım terası bulunmaktadır.



**Şekil 17 T0 seviyesinde farklı aşınım düzlemleri**

Güncel taşkın ovasına ait çökeller inceleme alanının batı kesiminde Dokurcun ve Akyazı yerleşimleri arasında Mudurnu Çayı vadisinin geniş bir taşkın ovası oluşturduğu ve Adapazarı Ovası'na giriş yaptığı kesimde 2 farklı kesitte gözlenmiş ve örneklenmiştir. Özellikle Akyazı yakınlarında bulunan kum ocağı içerisinde farklı seviyelerde bulunan kum barları/mercekleri içerisinde 4 farklı seviyede sistematik örneklenme yapılmıştır (Şekil 18). Böylece OSL tarihlendirmesi de kendi içerisinde test edilmesi amaçlanmıştır.

Bu seviyeden bir örnek noktasının (MTS-23d) içerisinde ayıklanan feldispat mineralinin sinyalinin SAR yöntemine göre IRSL/SAR tarihlendirilmesi sonucu  $53.67 \pm 5.34$  tarihi elde edilmiştir. MIS-4 izotop katına denk gelen bu tarih, seviyenin pozisyonuna göre güncel taşkın ovası (T0) olarak yorumlanmasına tezat oluşturmaktadır. Tarihllemenin doğru kabul edilmesi halinde bu durumun birden çok neden ile açıklanabilir. Bunlardan birisi, ölçülen feldispat kristallerinin kapanlarının açılmasına yetecek kadar güneşlenmemesi olabilir. Bunun yanı sıra Akyazı ilçesinde yaklaşık 1.5 km genişliğinde olan taşkın ovasının Holosen içinde gelişmemesi de mümkündür. Doğal olarak bu kesimde Mudurnu çayı sistemi derin kazılmış vadisi içerisindekinden çok daha düşük bir kazma hızına sahiptir. Bu durum seviyenin altında kalan örneklerin tarihlendirilmesiyle yeniden tartışılacaktır. Bununla birlikte bu tarihin inceleme alanı içerisinde bir kazılma dönemi öncesine karşılık geldiği açıktır.

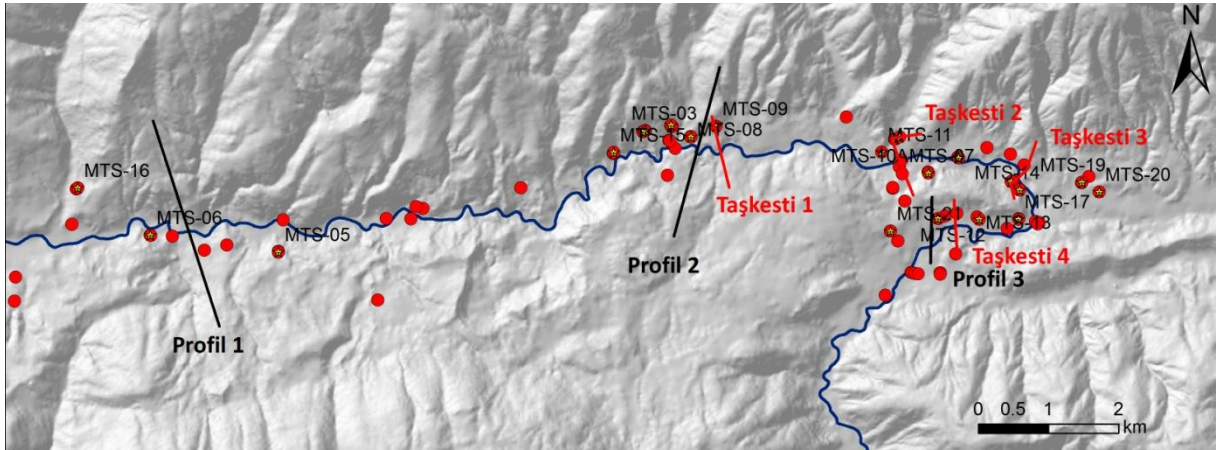


**Şekil 18 Akyazı İlçesi yakınlarındaki kum ocağında sistematik örnekleme**



### *Teras ve Gölsel Seviyelerin Analizi*

Mudurnu Çayı tarafından hızla aşındırılan vadi olan inceleme alanı, akarsu süreçlerinin yanısıra heyelanlar ve aktif tektonizma tarafından da kontrol edilmektedir. Bu süreçlerin karşılıklı ve uzun dönem etkilerinin anlaşılabilmesi için vadi boyunca çeşitli yerlerden topoğrafik kesitler alınarak (Şekil 19) sentetik ve doğal profiller yardımıyla vadinin Pleyistosen-Holosen evrimi ortaya konulmuştur. Bu aşamada en çok gözlemin yapıldığı Taşkesti-Dokurcun arasındaki kesime yoğunlaşmıştır.



**Şekil 19** İnceleme alanında bulunan teras ve gölsel seviyelerin analizi için alınan profil hatları (Profil: kodu sentetik profiller, Taşkesti kodu göl seviyeleri için kullanılmıştır)

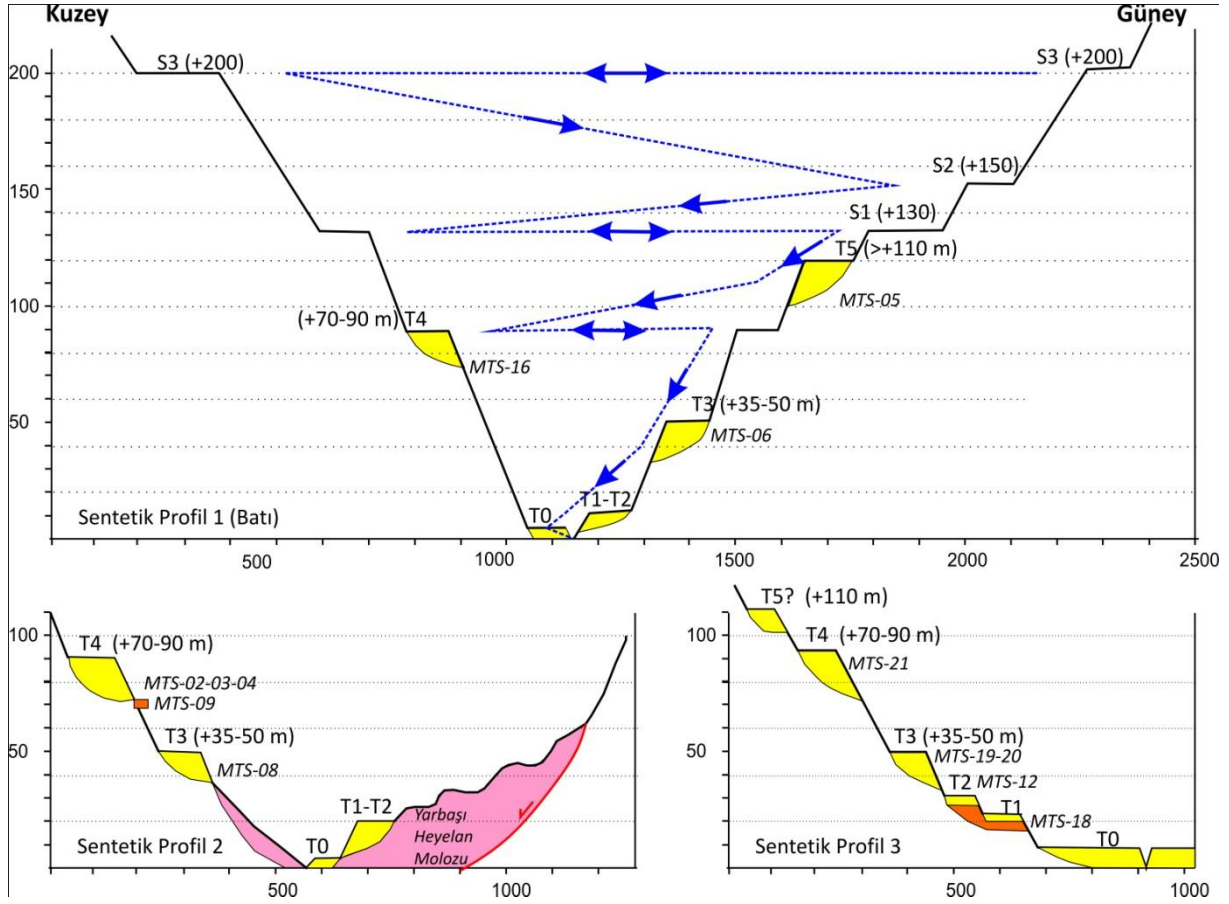
### *Teras Seviyelerinin Sistemik Analizi*

Aşınmalı ve depolanmalı teras seviyelerinin en yakınındaki güncel vadi kotuna bağlı olarak hesaplanan göreceli yükseklikleri kullanılarak vadi boyunca sentetik profiller üretilmiştir. ile incelenmesi ile olası aşınmalı ve gözlenen depolanmalı teraslar ile Mudurnu Vadisinin Pleyistosen-Holosen süresince aşınım süreçleri ortaya konulmuştur (Şekil 20).

Detay alanın batısında yer alan Sentetik Profil 1 (Şekil 20) içerisinde 5 seviyede depolanmalı, bu seviyelerin üzerinde ise 3 seviyede aşınmalı teras seviyesi tanımlanmıştır.

Aşınmalı akarsu sekileri (S kodlaması) topoğrafya üzerinde korunmuş, genellikle güncel yamaç molozu ile örtülen düşük eğimli yüzey yamaları halinde sistemik olarak belirgindir. En üstte yer alan S3 seviyesi güncel vadiye göre en yüksek kotu +200 metrede yer almakta ve vadinin kuzey-güney yakalarında gözlenmektedir. Literatürde eş (paired) olarak adlandırılan bu seviyelerin oluşum döneminde vadinin genişliğinin ~2500 metre olduğu görülmektedir. Vadi tabanına doğru +150 metrede tek ve güney yamaçta bulunan aşınmalı seki düzlüğünden sonra +130 metre kotunda yine çift bir aşınım sekisi bulunmaktadır. Gelişiminin bu safhasında vadi genişliği ~1000 metreye düşmüştür ve aşınma görece hızlanarak yamaç eğimleri artmıştır.

Bu sekilerin altında ise depolanmalı teras sistematiği (T kodlaması) bulunmaktadır. Vadinin kuzeyinde bulunan T4 seviyesi hariç güney yamaçta bulunan bu depolar düzenli olarak ~40 metrelik bir aşınım sonunda 20 metrelik bir depolanma sürecinin sonunda gelişmiştir. Profilden de görülebileceği gibi çift teraslar gelişmemiştir, bu da kazınım hızının yüksekliğine işaret eder. Depolanmalı seviyelerin fosilleşmesi de ancak bu şekilde mümkün olabilmektedir.



**Şekil 20 Teras sistemlerinin sistematik analizi ve sentetik profilleri (kesit yerleri için Şekil 19'a bakınız) S kodu aşınmalı; T kodu ise depolanmalı teras sistematığı için verilmiştir.**

Sentetik profil 2 (Şekil 19 ve Şekil 20) inceleme alanının orta kesiminde Yarbaşı heyelanının da bulunduğu alanda yer almaktadır. Bu heyelanlar Pleyistosen boyunca vadinin güney yamacını bozarak olası aşınmalı sekilerin korunmasını engellemiştir, vadinin kuzey yamacında temel kayalar üzerinde ise aşınım sekileri hiç gözlenmemiştir. Profil hattı üzerinde T4-T0 arasında sistematik depolanmalı teraslar gözlenebilmektedir. Yarbaşı heyelanının T3-T2 seviyeleri arasındaki bir aşınım döneminde (oluştugu düşünülmektedir).

Sentetik Profil 3 (Şekil 19 ve Şekil 20) Taşkesti beldesinde vadinin kuzeybatı yamacı için üretilmiştir. T4-T0 arasında teras sistematığı ve T2-1 ile Taşkesti formasyonu arasındaki ilişkiyi göstermektedir.

#### *Teras Seviyelerinin OSL yöntemi ile tarihlendirilmesi (ilk sonuçlar)*

İnceleme alanında yapılan arazi çalışması ile 23 gözlem noktasında 59 adet OSL örneği alınmıştır. Bu örneklerin yanısıra farklı stratigrafik birimlerden 19 adet radyoaktif örneği alınmıştır, eksik doz örnekleri ise gerekmesi halinde örnek tüplerinden çıkarılması planlanmaktadır. Bu örneklerin doğal çevre radyasyonunun gamma spektrometresi ile ölçülmesi aşamaları tamamlanmıştır.

Proje kapsamında optik ışınım yöntemiyle tarihlendirilmesi için protokol yapılan Leibniz Uygulamalı Jeofizik Enstitüsü, Jeokronoloji (S3) laboratuvarında hâlihazırda 6 adet örneğin feldispat kristalinin IRSL/SAR (Infrared stimulated luminescence / single-aliquot

regenerative-dose method) protokolü kullanılarak tarihlendirilmesi gerçekleştirilmiştir (Tablo 2). Elde edilen yaş verileri T5, T4, T2, T1 seviyeleri için teras sistematigi içerisinde tutarlı sonuçlar vermiştir. Çalışma alanının en batısında kalan Akyazı'daki MTS-23 çökel paketinden elde edilen tarih olasılıkla T3 aşınım dönemine karşılık gelen bir aşınma döneminin öncesine (MIS 4 – MIS 3) karşılık gelmektedir.

Bunun yanısıra Taşkesti formasyonun içerisinde alınan MTS-10 örneğinin IRSL/SAR tarihi de C<sup>14</sup> tarihleri ile uyumludur.

**Tablo 2 Proje kapsamında elde edilen IRSL/SAR yöntemiyle tarihlendirme sonuçları (CAM)**

Sample ID	total dose rate (mGy/a)	Number of aliquot used	CAM De (Gy)	Central Age (ka)
2853/MTS-05	2.242 ± 0.182	14	404.00 ± 22.73	180.22 ± 17.81
2873/MTS-18c	3.218 ± 0.184	10	76.22 ± 7.23	23.68 ± 2.62
2884/MTS-23d	2.358 ± 0.202	36	126.56 ± 6.38	53.67 ± 5.34
2858/MTS-10a	2.997 ± 0.208	43	39.29 ± 3.16	13.11 ± 1.39
2893/MTS-16a	2.568 ± 0.202	10	328.54 ± 21.65	127.95 ± 13.15
2886/MTS-01TA	2.764 ± 0.208	10	49.93 ± 7.83	18.07 ± 3.14

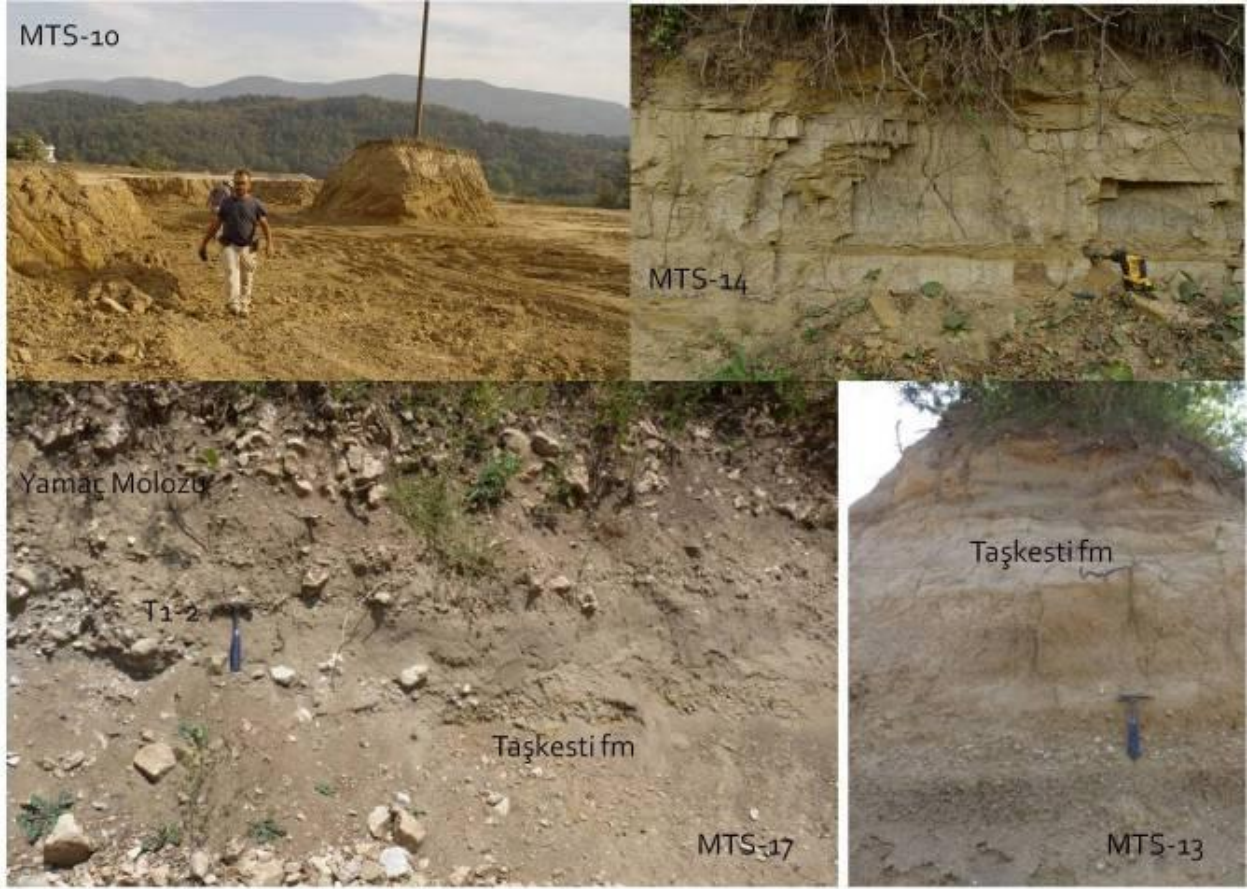
Bu verilere ek olarak karşılaştırma için seçilen 6 örnek de halen analiz aşamasındadır. Çalışma sonuçlandığında toplam 15 örneğin IRSL/SAR yöntemiyle tarihlendirilmesi kararlaştırılmıştır.

#### *Yarbaşı Heyelan Gölü Çökelleri: Taşkesti formasyonu*

İnceleme alanında özellikle vadinin orta kesiminde ve doğuda Taşkesti çevresinde yaygın mostra veren ve stratigrafik olarak T3 ve T 1-2 seviyeleri arasında depolanmış gölsel bir birim yaygın düzlükler oluşturmakta ve birimin çeşitli fasiyeslerine ait mostralar yol yarmaları ile güncel heyelan taşlarında gözlenmektedir. Arazi gözlemleri bu seviyenin sistematik olarak temel kayaların üzerine uyumsuzlukla yerleştiğini ve üstte ise T 1-2 seviyeleri ile örtüldüğünü göstermektedir. Literatürde Taşkesti formasyonu olarak tanımlanan bu birimin üst kotu KAF kuzeyinde 520 m, güneyinde ise 540 m olarak haritalanmıştır, tabanda ise vadi profili boyunca çeşitli kotlarda gözlemlenebilmektedir. Birimin kalınlığı en çok 20 metredir. Birim içerisinde hakim fasiyes oldukça durgun ortam koşullarını yansıtan yer yer gastropod kavkıları içeren 5-10 cm arasında kalınlığa sahip killi silt ve silt tabakaları ile ince kum seviyeleridir. Taşkesti beldesi güneyinde ise Mudurnu Çayı'nın göle kavuştuğu yerde ise yer yer çakıl ve blok boylu çökel içeren kanallar kil ve silt tabakaları içerisinde yerleşmiştir. Birim en iyi olarak vadinin kuzeyinde bulunan bir inşaat alanındaki gölsel teras seviyesi kesitlerinde gözlenmektedir (MTS-10). Bu kesitlerde Mudurnu Çayına kavuşan bir yan dere koluna yakın yerlerde yine ince taneli yatay tabakalı birimleri kesen çakıl kanalları gözlenmiştir. Bu çökeller içerisinde KAF'a konjuge KD-GB doğrultulu sağ yönlü doğrultu-atımlı mikrofaylar da bulunmaktadır. Şantiye içinde yapılan bir forekazık sondajında bu kırıntılı seviyelerin altında ~15 metre organik maddece zengin kil kesildiği belirtilmiştir. Temelde ise ultramafik kayalar bulunmaktadır. MTS-14 ve MTS-01 gözlem noktası ise

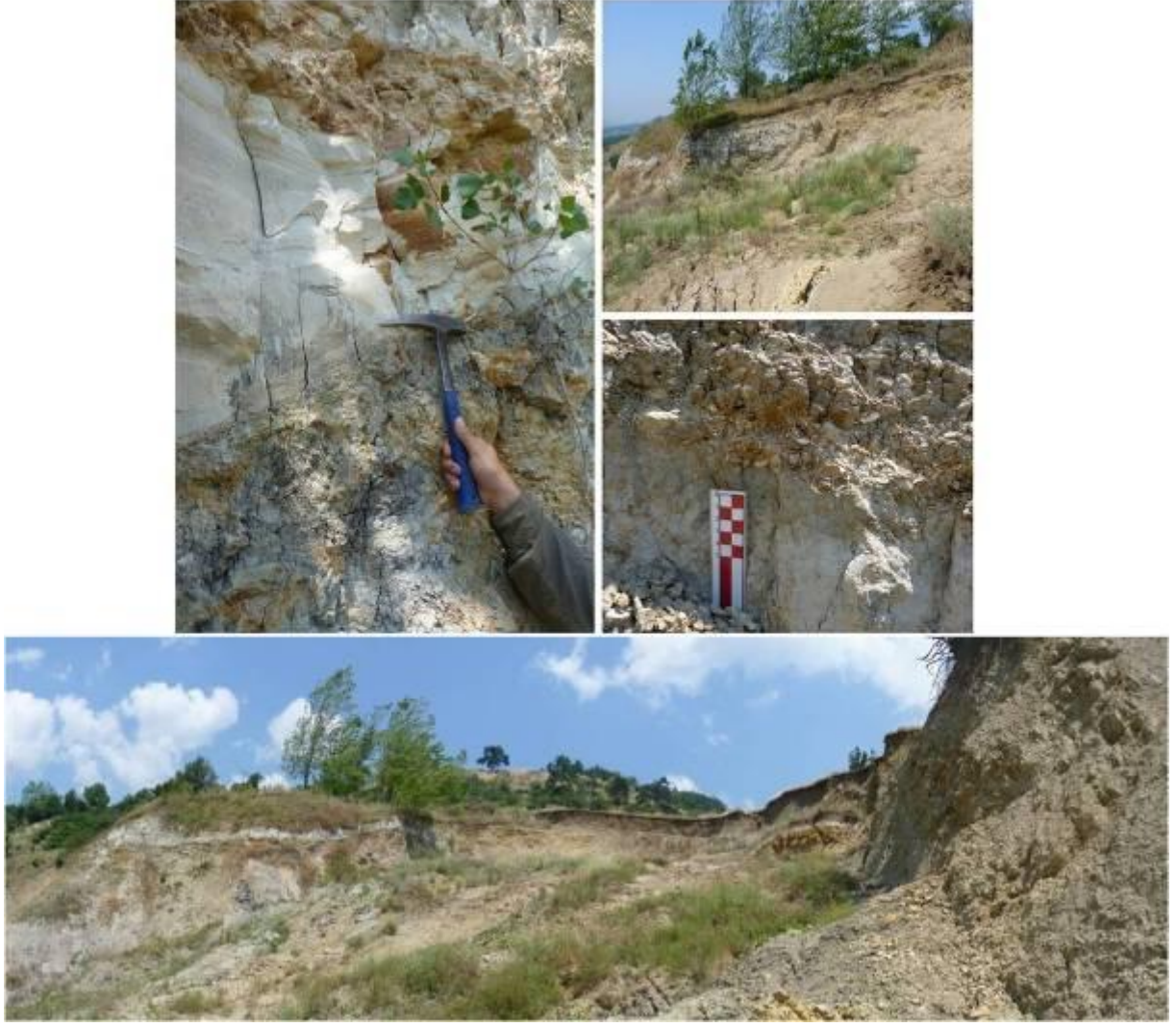


Mudurnu Çayının oluşturduğu doğal bir kesit içerisinde gözlenmiştir. Stratigrafik olarak T 1-2 seviyesi ile örtülen bu birim içerisinde hem IRSL/SAR hem de C<sup>14</sup> tarihlendirilmesi için karbon örnekleme yapılmıştır.



**Şekil 21 Taşkesti formasyonuna ait gözlemler ve örnek noktaları ile T1-2 seviyeleri arasındaki ilişki**

İnceleme alanının orta kesiminde, Mudurnu Vadisinin kuzeyinde kalan Bektemur köyü yakınlarındaki güncel bir heyelan tacında ~2 metre kalınlığında bir gölsel çökel gözlenmiştir. Bu paket içerisinde bol bitki fosili içeren killi ve lamine bir seviye ile üstte bol miktarda gastropod ve unio fosilleri (*Dreissena polymorpha*, Pallas, 1771; *Valvata* (?) sp. ve *Viviparus* sp.) (sözlü görüşme: Dr. Yeşim İslamoğlu; Şekil 22 ve Şekil 23) içeren siltli ve kumlu bir seviye bulunmaktadır. 510 metre yüksekliğinde olan bu günümüzde yeniden harekete geçmiş heyelan çökelleri (molozu) üzerinde bulunmaktadır (Şekli 22). Bu heyelan malzemesinin vadi güneyinde Yarbaşı kesiminde yer alan ve birçok farklı dönemde harekete geçmiş heyelanlardan kaynaklandığı öngörülmüştür. Dolayısıyla bu çökeller, söz konusu heyelanın oluşum tarihini de sınırlandırmaktadır. Seviye içerisinde kum örneğinin yanısıra birimden U/Th ve C<sup>14</sup> tarihlendirilmesi için karbonat kavrık örnekleri derlenmiştir. Elde edilen tarihler bu seviyenin Taşkesti formasyonun depolanmasında en geç evreyi işaret ettiği anlaşılmıştır. Bu gözlem noktasından derlenen ve bitki kalıntıları içeren varvli seviyeden alınan örnek polen araştırması için Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Jeoloji Bölümü öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Serkan Akkiraz tarafından analiz edilmektedir. Böylece bölgenin Orta Holosen ve güncel (İkiel vd., 2012) bitki örtüsünü karşılaştırmak mümkün olabilecektir.



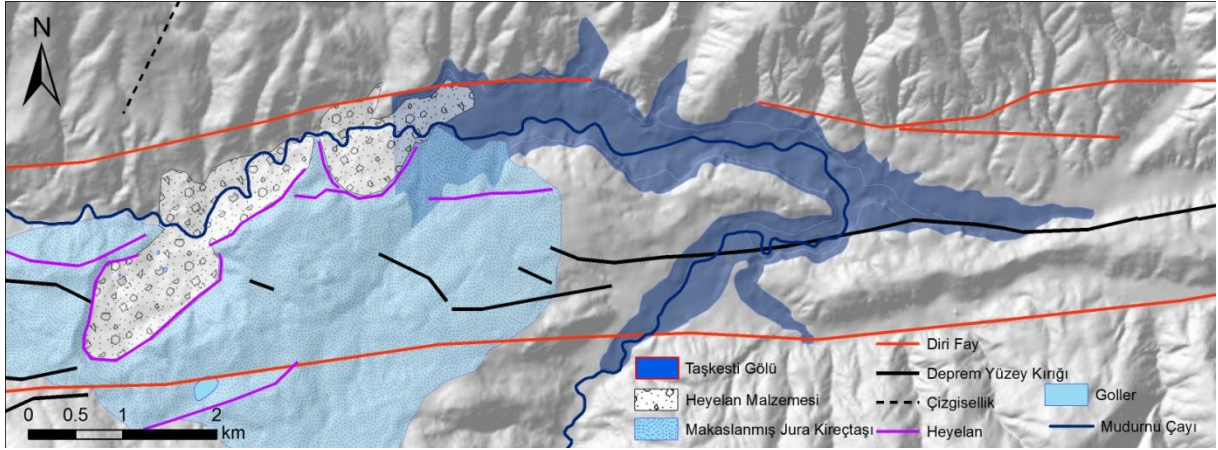
Şekil 22 Bektemur köyü yakınlarındaki güncel bir heyelan tacında gözlenen Yarbaşı gölü'ne ait çökeller





Şekil 23 MTS-09 lokalitesinden derlenen ve U/Th ile C14 yöntemi ile tarihlendirilen tatlısu molluskları (*Dreissena polymorpha*, Pallas, 1771; *Valvata* (?) sp., *Viviparus* sp.

Şekil 24’de Taşkesti formasyonunun çökel dağılımına göre belirlenmiş heyelan gölünün yüzey dağılımı sunulmuştur. Gölün heyelan setinin en yakınında en yüksek kotu 520 metredir, en geniş yayılıma sahip olduğu dönemde yüzey alanı 7.2 km<sup>2</sup> ye su hacmi ise 0.164 km<sup>3</sup>’e ulaşmaktadır.



Şekil 24 İnceleme alanının kabartı üzerinde Taşkesti Gölü’nün çökel dağılımına tanımlanmış yüzey alanı



### ***Yarbaşı Heyelanı ve Taşkesti Gölünün tarihlendirilmesi***

Yarbaşı Heyelanı ve Taşkesti Gölünün oluşum zamanı ile varlık süresinin anlaşılabilmesi için çeşitli seviyelerden OSL, C14 ve U/Th tarihlendirilmesi için örnekler derlenmiştir.

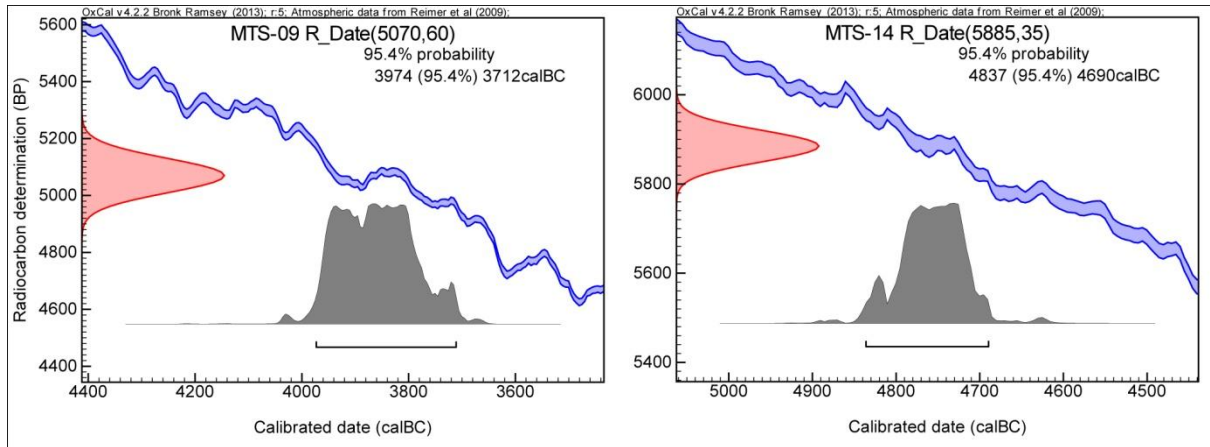
#### ***Radyokarbon tarihlendirilmesi (C14)***

Gölün üst kotlarından alınan MTS-09 noktasından alınan karasal gastropod kavkaları ile taban kotunda MTS-14 noktasından alınan kömür parçası, proje bütçesinden hizmet alımı yöntemi ile radyokarbon tarihlendirilmesi amacıyla proje kapsamında hizmet alımı yöntemiyle Polonya Poznan laboratuvarına gönderilmiştir. Ham ve kalibre edilmiş tarih verileri Şekil 25 ve Tablo 3’de verilmiştir.

**Tablo 3 Taşkesti formasyonu içerisinde alınan örneklerin radyokarbon tarihlendirme sonuçları**

<b><i>Sample name</i></b>	<b><i>Lab. no.</i></b>	<b><i>Age 14C</i></b>	<b><i>CalBC</i></b>	<b><i>CalBP (OxCal)</i></b>
MTS-14	Poz-54930	<b>5885 ± 35 BP</b>	<b>4837-4690</b>	<b>6787-6640</b>
MTS-09	Poz-54871	<b>5070 ± 60 BP</b>	<b>3974-3712</b>	<b>5924-5662</b>

Bu sonuçlar, Ramsey (2013) tarafından geliştirilen OxCal programı yardımıyla kalibre edilmiştir (Şekil 25)



**Şekil 25 Radyokarbon tarihlendirmesi yapılan örneklerin kalibrasyon grafikleri (OxCal)**

#### ***U/Th Tarihlendirmesi***

MTS-09 noktasından derlenen örnekler, Paris Paris İklim ve Çevre Bilimleri Laboratuvarı (CNRS/LSCE) araştırmacılarından Dr. Edwige Pons-Branchu tarafından U/Th yöntemiyle Douville vd. (2010) tarafından tanımlanan protokol ile LSCE bünyesindeki MC ICP-MS cihazı kullanılarak tarihlendirilmiştir. Bu tarihlendirmenin sonuçları Tablo 4’de verilmiştir. Aynı örneğin kalibre edilmemiş radyokarbon tarihi ile arasında ~600 yıl zaman farkı olduğu gözlenmiştir, bu durumun yer altı su seviyesi içerisinde olan karbonat kavkılı örneklerde bulunan ve tarihlendirmede kullanılan uranyum elementinin hareketlenmesi nedeniyle gerçekleştiği sonucunda varılmıştır.

**Tablo 4 MTS-09 tatlısu mollusklarından yapılan U/Th tarihlendirme sonuçları**

Labcode Gif-	<sup>238</sup> U (µg/g)		<sup>232</sup> Th (ng/g)		d <sup>234</sup> U <sub>m</sub>		<sup>(230Th/232Th)</sup>		<sup>(230Th/238U)</sup>		age (kyr)	
3857/MTS-09	1.238	0.00167	60.5	0.1	301.7	1.8549356	3.302	0.0274106	0.05226	0.0004382	<b>4.469</b>	<b>0.044</b>

#### *IRSL/SAR Tarihlendirmesi*

Taşkesti formasyonunun üst kotlarında MTS-10 noktasından (Şekil 27, Taşkesti 2) alınan örneğin (MTS-10a / LUM2858) feldispat mineralinin OSL yöntemi ile tarihlendirilmesinin (Dr. Sumiko Tsukamoto, LIAG/S3) sonuçları Tablo 5’de verilmiştir. 43 disk kullanılarak yapılan ölçüm sonucunda elde edilen Minimum Yaş Modeline (MAM) göre seviyenin yaşı  $6.97 \pm 0.82$  ka olarak belirlenmiştir. Bu tarih MTS-14 noktasından alınan C14 tarihine göre daha yaşlı olsa da uyumludur. Taşkesti formasyonu’nun farklı seviyelerinden tarihlendirme çalışmaları devam etmektedir.

**Tablo 5 Taşkesti formasyonuna ait örneğin IRSL/SAR tarihi (MTS-10)**

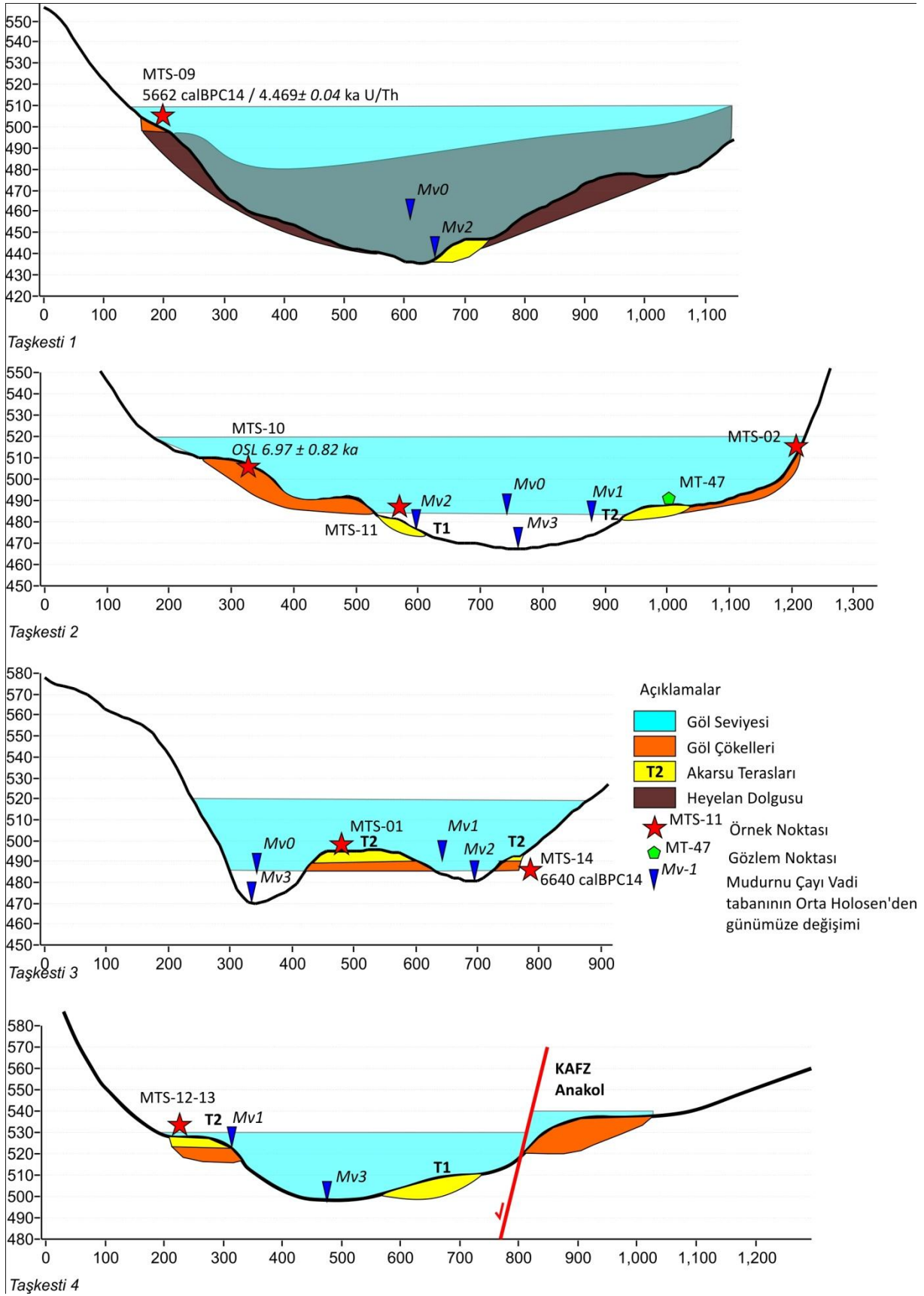
Sample ID	total dose rate (mGy/a)		aliquot#	CAM De (Gy)		Central Age (ka)		MAM De (Gy)		Minimum Age (ka)	
2858/MTS-10a	2.9966	0.2080	43	39.28	3.16	13.110	1.39	<b>20.89</b>	<b>2.0204</b>	<b>6.971</b>	<b>0.82</b>

#### *Taşkesti Gölü Çökelleri ile Vadi Gelişiminin ilişkisi*

Göl çökelleri ve teras çökellerinin sistematik analizi (Şekil 26) ve heyelan alanının batısında (Dokurcun batısı) kalan bir yelpaze çökelinin (Çiftlik yelpazesini) pozisyonu, Yarbaşı heyelanının gerçekleştiği zaman Mudurnu Vadisi’nin (Mv0) günümüz kotundan ~20 m. yukarıda olduğu anlaşılmıştır. Bu seviyeye ait tek eski taşkın ovası MTS-12 gözlem noktasında örneklenmiştir. İlişkili diğer seviyeler de yüksek ihtimalle henüz tamamen aşınmamış olan (ve temel ile ilişkisi çok nadiren gözlemlenen) Taşkesti formasyonu tarafından örtülmektedir.

Heyelanın oluşumu C<sup>14</sup> tarihlendirmesine göre günümüzden -7000-7500 yıl önce gerçekleşmiştir. Gölün varlık süresi olan 1000-1500 yıl’dan sonra (~5500 BP), Yarbaşı heyelanı molozlarından oluşan set, Mudurnu Çayı’nın olasılıkla geriye aşındırması ile aşılıp ve göl tamamen boşalmıştır. Bu süreci takiben konsolide olmamış göl çökelleri üzerinde vadi yarılması (Mv1) ile hızlı aşınma ve taşkın ovası gelişimi gerçekleşmiştir. Bu taşkın ovasına ait çökelleri günümüzde göl çökellerinin üzerinde T2 seviyesi olarak gözlemlenmektedir. Vadideki hızlı kazılmanın devamında (Mv2) seviyesi oluşmuş ve T1 seviyesine ait çökeller yine gölsel birimlerin üzerinde depolanmıştır. Günümüz vadisi (Mv3) ve taşkın ovasının gelişimi ise heyelan gölü etki alanında muhtemelen son birkaç bin yıl içerisinde gerçekleşmiştir. Vadi içerisinde iklim değişikliğine bağlı olmayan bu kazılmanın toplam miktarı 20 metredir.

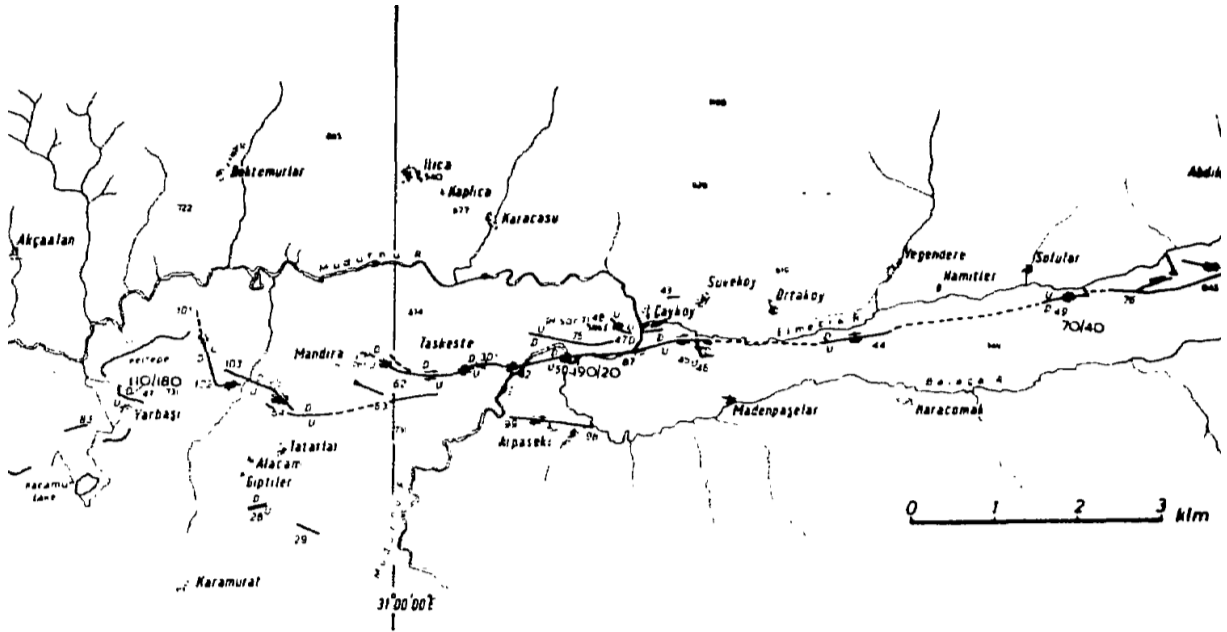
Bu morfolojik evrim modeli sadece Taşkesti formasyonu içerisinde alınan tarihler kullanılarak ortaya konulmuştur.



**Şekil 26** Batıdan doğuya doğru Taşkesti profilleri ve analizi. Kesit hatları için şekil 19'a bakınız yükseklikler deniz seviyesi üzerinden verilmiştir

### ***Taşkesti Gölü çökelleri ile KAFZ'un uzun dönem aktivitesi arasındaki ilişki***

İnceleme alanı içerisinde yer alan KAFZ aktif kolu, 22 Temmuz 1967 depremi (Ms:7.1) yüzey kırığı ile ifade olmaktadır. Bu kırık hattı boyunca deprem nedeniyle Taşkesti beldesi yakınlarında yüzeyde 180 cm sağ yönlü ~20 cm de kosismik düşey atım ölçülmüştür (Ambraseys ve Zapotek, 1969; Şekil 27). Fayın geometrisi bu kesimde içbükey, genişlemeli bir büküm özelliğindedir ve bu nedenle oblik karaktere sahiptir. Yüzey kırığı Taşkesti beldesi yakınlarındaki yol yarmasında eski Jandarma karakolu alında Taşkesti formasyonuna ait çökelleri deforme ederek birimin farklı fasiyeslerini yan yana getirmektedir (Şekil 28). Faylanma bu kesimde yerel olarak doğu-batı eksenine sahip bir antiklinal oluşumunu kontrol etmektedir

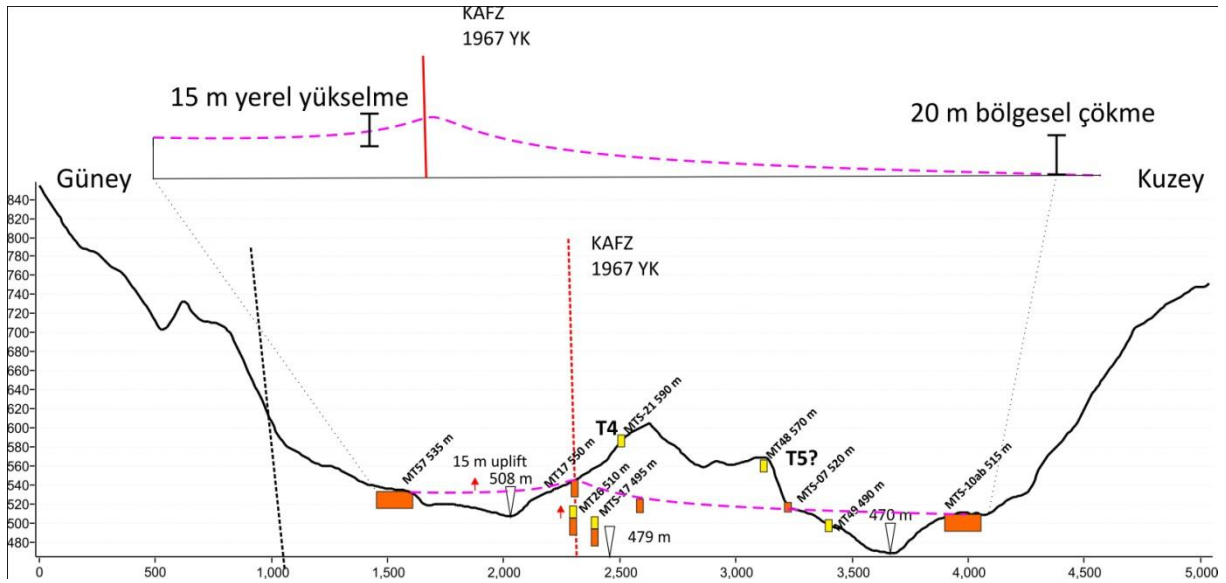


**Şekil 27 1967 depremi yüzey kırığının uzanımı (Ambraseys ve Zapotek, 1969)**



**Şekil 28 Taşkesti Beldesi eski Jandarma Karakolu altında KAFZ 1967 yüzey kırığı ve Taşkesti formasyonu'nun ilişkisi.**

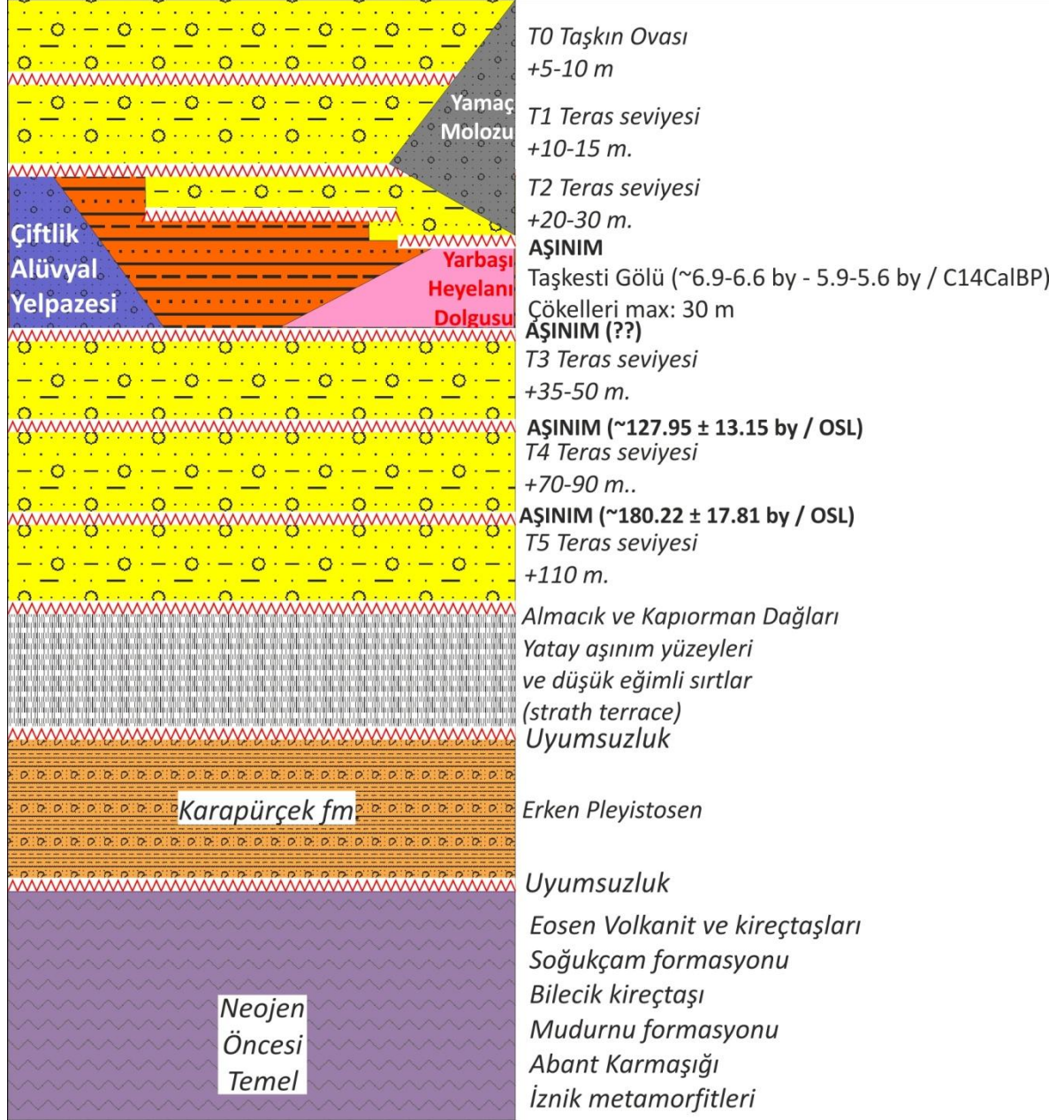
Taşkesti formasyonunun üst kotlarının sistematik analizi KAFZ uzun dönem düşey hareketine yönelik ipuçları sunmaktadır. Buna göre KAFZ aktif kolu güneyinde kalan alanda Taşkesti formasyonuna ait olan birimler 535-540 metre kotlarında bir düzlük oluştururken kuzeyde ise 515-520 metre kotlarında bulunmaktadır. Bununla birlikte fayın birimi kestiği yerlerde ise ~15 metre yerel yükselme gözlenmiştir. Bu seviye değişimi özellikle Taşkesti formasyonunu örten T2 seviyesini de etkilemiştir. (MT-26) (Şekil 29).



**Şekil 29 Kuzey-Güney yönlü bir topoğrafik profil içerisinde KAFZ uzun dönem aktiviyesinin Taşkesti formasyonu ve teras çökellerine etkisi.**



Taşkesti Gölü'nün ~1000 yıl süre ile egemen olduğu ve günümüzden ~5500 yıl önce de ortadan kalktığı bilinmektedir. Bu nedenle toplam düşey atımın 6000-5500 yıl önce gerçekleştiği ve böylelikle Orta Holosen'den günümüze NAFZ yerel uzun dönem düşey atım hızı 3.3-3.6 mm/yıl olarak hesaplanabilir.



**Şekil 30 Akyazi-Taşkesti arasında Mudurnu Vadisinin Kuvaterner Stratigrafisi**

### Tartışma

Bu çalışma ile Mudurnu Vadisindeki aşınmalı ve depolanmalı teraslar haritalanarak bölgenin Pleyistosen ve Holosen gelişimi ile Kuvaterner stratigrafisi (Şekil 30) ortaya konulmuştur. İstanbul ve Sakarya Zonlarına ait temel kayalar, inceleme alanının batısında, Akyazi ilçesinin sınırları içerisinde kalan Erken Pleyistosen yaşlı Karapürçek formasyonu (Ünay vd., 2001) tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir. Bu formasyonun varlığına şiddetli aşınmanın gerçekleştiği vadi sınırları içerisinde rastlanılmamıştır. Benzer bir nedenle Erken

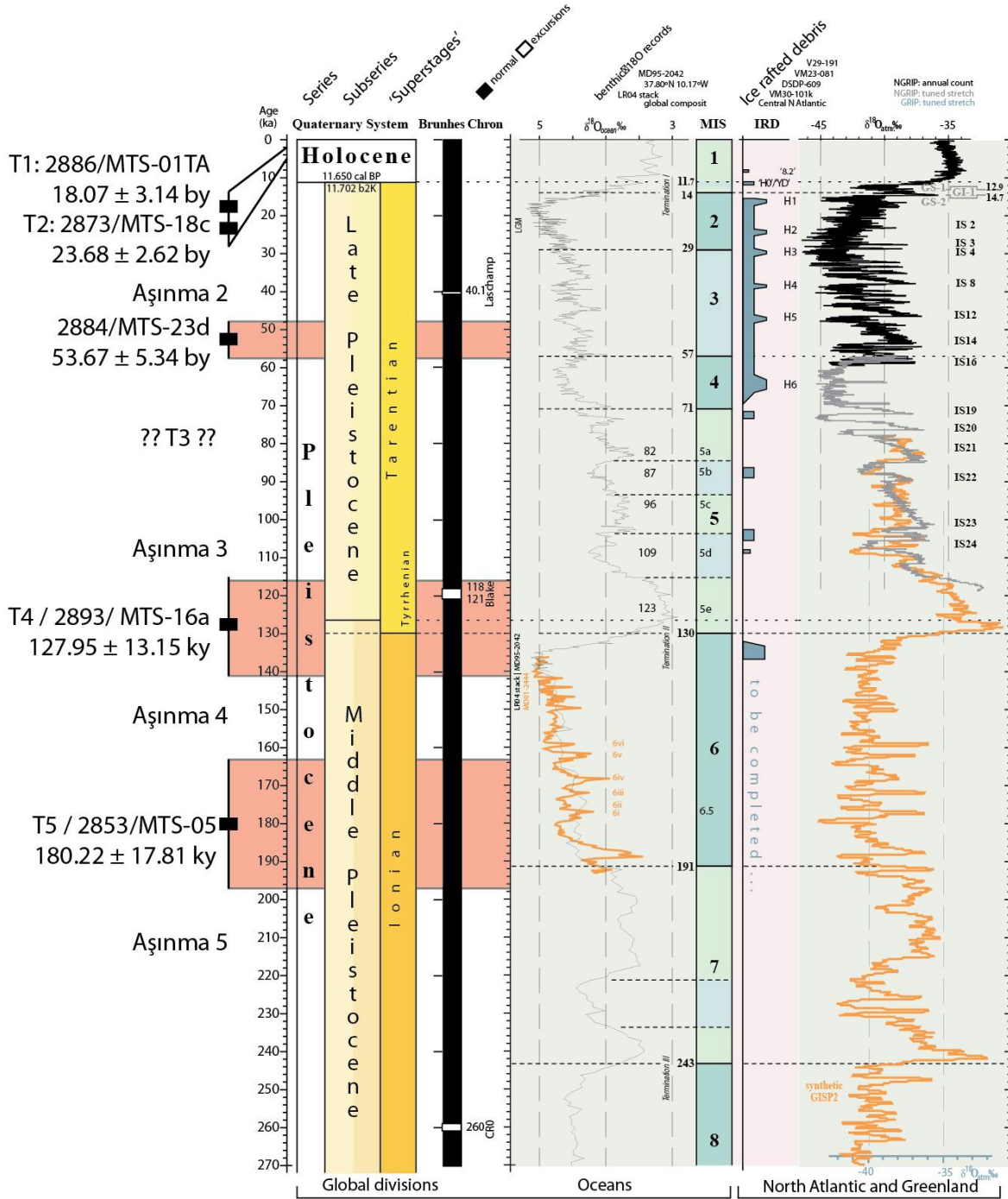
Pleyistosen terasları da vadi yamaçlarında korunmamıştır. Vadi gelişiminin Orta Pleyistosen dönemindeki safhasına yönelik bulgular vadi yamaçlarında max +200 metre kotunda yüksek eğimli yamaçlar üzerinde düşük eğimli/düzlük yamalar gözlenen aşınmalı (strath) sekilerdir. Bu sekiler eş (paired) yada tek halinde gözlenmektedir. Elde edilen tüm bulgular birlikte değerlendirildiğinde Mudurnu Vadisi'nin gelişim aşamaları Şekil 30'da kapsamlı olarak sunulmuştur. Bu şekil içerisinde önemli aşınım ve depolanma aşamaları belirgin olarak izlenilmektedir.

Bu çalışmada, Taşkesti Gölü'ne ait çökeller üç farklı yöntemle tarihlendirilmiştir. Böylelikle gölün günümüzden yaklaşık 7000 yıl önce gerçekleşen bir heyelanın Mudurnu Vadisini setlemesi sonucu oluştuğu ve bölgedeki etkisinin ~1000 yıl süreyle sürdürdüğü anlaşılmıştır.

Teras çökellerinin (kaba kırıntılı birimlerin) tarihlendirilmesi için 23 gözlem noktasında toplam 60 adet kapalı borularda kum örneği alınmıştır. Gözlem noktası ve örnek sayısının fazlalığı, tarihlendirme çalışmaları sırasında karşılaşılabilecek olası problemlerin aşılması için elde yeterli örneğin olmasıdır. Projenin asıl amacı teras seviyelerinin (depolanma/aşınma dönemlerinin) tarihlendirilmesidir. Bu raporda da tanımlandığı gibi araziden derlenen örnekler içerisindeki feldispat mineralinin IRSL/SAR protokolüyle analiz edilmesi sonucu elde edilen ışınım yaşlarının hassasiyeti inceleme alanındaki Orta-Geç Pleyistosen dönemindeki morfolojik gelişimi ortaya koymak için yeterlidir (Şekil 31). Son ardışık iki teras seviyesinin (T1 ve T2) stratigrafik olarak Taşkesi formasyonunu üzerlemesi yaşları ve oluşum modelleri hakkında net fikir sahibi edinmemizi sağlamaktadır. Ancak elde edilen yaşlar radyokarbon yaşları ile uyumsuzdur.

Mineral kafesinde kapanlanan doğal radyasyonun ölçülmesi prensibine dayanan "ışınım" yöntemlerinde karşılaşılan temel problem, özellikle akarsu çökellerinde mineralin kafesinin açılmasını ve tamamen boşalmasını sağlayacak dış etkenli uyarıcıya (gün ışığı) yeterince maruz kalmamasıdır. "Bleaching" (ağarma) olarak tanımlanan bu sürecin tanımlanmaması ölçüm değerlerinin saçılmasına ve daha da önemlisi örnek tarihinin daha yaşlı olması ile sonuçlanmaktadır (Rittenour, 2008; Rodnight, 2008).

Kısmi olarak ağaran örneklerin hassas olarak tarihlendirilmesi için literatürde önerilen yöntem minimum age model (MAM) olarak tanımlanmaktadır (Olley vd, 2004). Bu yöntemde doz ölçümü, boşaltılması ve geri yüklemesi tek tane (single grain) ve çoklu disklerde, gerekli istatistik modelinin geliştirilebilmesi için de çok fazla olarak yapılmaktadır. MAM protokolü her bir örnek için ayrılmış bir OSL/TL okuyucu ve uzun laboratuvar saatlerine ihtiyaç duymaktadır (Thomsen vd., 2007). Bu çalışma kapsamında MAM protokolü genç çökelerde sadece MTS-10 örneğinde ( $6.9 \pm 0.8$  by) uygulanmıştır. Daha eski tarihli örneklerde ağarma problemi sonucu daha az etkilemekte ve ölçüm hata payının içerisinde kalmaktadır. Bu nedenle T4 ve T5 seviyelerindeki örneklerde MAM amaçlı ölçüm yapılmayacaktır. Bu seviyelerden kontrol amaçlı yeni tarihler halen laboratuvarında ölçüm aşamasındadır.



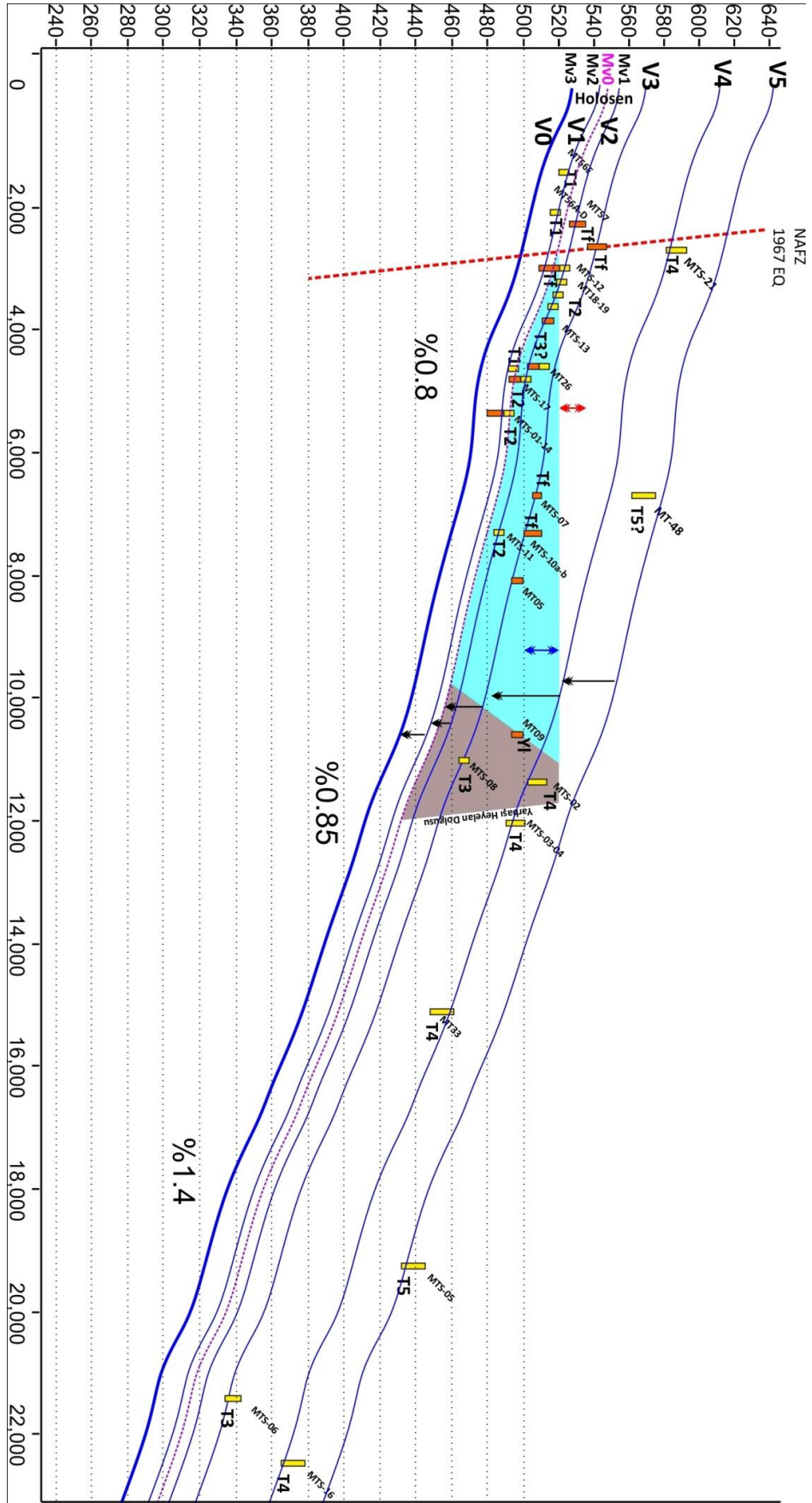
Şekil 31 Çalışma kapsamında IRSL/SAR yöntemiyle elde edilen teras seviyelerinin Orta-Geç Pleyistosen dönemi için  $\delta^{18}O$  eğrileri ve küresel izotop katları ile korelasyonu

### Sonuçlar

1. Orta-Geç Pleyistosen süresince +110 metre kotundan başlayarak Holosen'e kadar 3 farklı depolanmalı teras ve ilişkili kazma dönemi bulunmaktadır. Bu seviyelerin tarihlendirilmesi önemli ölçüde seviyenin üst kotlarında gerçekleştirilmiştir.
2. Depolanmalı seviyelerden elde edilen tarihler, örnek konumu gereğince depolanmanın son dönemlerine karşılık gelmektedir. Elde edilen tarihlerin (hata payları içerisinde) değerlendirilmesi T5 seviyesi için ( $180 \pm 17$  by) MIS 6-7 sınırına; T4 seviyesi için ( $127 \pm 13$  by) MIS 5e-6 sınırına T2 için ise ( $23 \pm 2$  by) Geç Buzul Maksimuma (LGM/MIS2) karşılık gelmektedir (Şekil 31).



3. Akyazı yakınlarında geniş bir depolanmalı alanın en üst seviyesinden alınan MTS-23 örneğinin tarihi ( $53 \pm 5$  by) yine bir aşınma öncesi depolanma sınırına karşılık gelmektedir. Bu tarihin T3 seviyesinin aşınım dönemine karşılık gelmesi olasıdır.
4. Vadi içerisindeki aşınma miktarları ve tarihlemesi Geç Pleyistosen'de kazılmanın doğrusal bir aşınım/tarih eğrisi sunduğunu göstermektedir. Buna göre Mudurnu Çayı'nın aşındırma hızı 0.6-0.8 mm/yıl olarak hesaplanabilir.
5. Buna göre güncel vadiye göre 1000-1100 m yukarıda bulunan Almacık-Kapıorman Dağlarının zirve sırtlarının pozisyonu (denüstasyon ve yükselme ihmal edildiğinde) değerlendirildiğinde vadi gelişiminin 1.8-2 my önce başladığı öne sürülebilir.
6. İnceleme alanının morfolojik evriminde önemli bir olay olan ve Orta Holosen'de gerçekleşen Yarbaşı Heyelanı, inceleme alanının doğu kesiminde akarsu sisteminde kesintiye yol açmış ve yaklaşık 1000 yıl boyunca geniş bir göl oluşturarak vadi tabanı ve yamaçlarında geniş teraslar oluşturan gölsel bir birimin (Taşkesti formasyonu) depolanmasını kontrol etmiştir.
7. Taşkesti formasyonundan alınan  $C^{14}$  tarihleri baz alınarak yapılan oluşum modelinde, Yarbaşı Heyelanı'nın oluşması ile sonuçlanan derin kazılmanın olasılıkla Geç Buzul Maksimum (~18 ka) sonrası yağışlı döneme karşılık geldiği öngörülmüştür.
8. Yarbaşı heyelanı molozlarından oluşan set, Mudurnu Çayı'nın olasılıkla geriye aşındırması ile aşılıp ve göl tamamen boşalmıştır. Bu olaydan sonra vadi konsolide olmamış gölsel çökelleri hızla eski seviyesine doğru kazarak T2 seviyesini oluşturmuştur. T2 seviyesi tabanda Taşkesti formasyonunu uyumsuz olarak üzerlemektedir.
9. T1 teras seviyesi ve T0 olarak tanımlanan güncel taşkın ovası, vadinin daha derine, temel kaya içerisine kazılması sonucu oluşmuştur. Sahada T1 seviyesi Taşkesti formasyonunu üzerler şekilde görülmektedir.
10. Taşkesti formasyonunun tabanı güncel vadi kotununun 20 metre üstünde bulunmaktadır. Tavanı ise KAF kuzeyinde 515-520, güneyinde ise 535 kotlarında gözlenmektedir. KAF tarafından kesildiği kesimlerde ise birimin yüksekliği 550 metreye kadar ulaşmaktadır.
11. KAFZ'na dik profil içerisinde Taşkesti formasyonunun tavan kotu'nun değerlendirilmesi ile fay üzerinde uzun dönemde 3.3-3.6 mm/yıl düşey atım hızı tanımlanabilmektedir. Fay üzerinde ise birimde yerel olarak 15 m yükselim bulunmaktadır.



Şekil 32 Taşkesti-Dokurcun arasında Mudurnu Vadisinin gelişim aşamaları.

## Referanslar

AITKEN, M.J. An Introduction to Optical Dating: The Dating of Quaternary Sediments by the Use of Photon-stimulated Luminescence. Oxford University Press, Oxford. (1988)

AITKEN, M.J., Thermoluminescence Dating. Academic Press Inc., London. (1985)

AMBROSEYS, N.N., & Zatopek, A. The Mudurnu Valley (West Anatolia, Turkey) Earthquake of 22 July 1967. Bull. Seism. Soc. Am. 59, 521-589. (1969)

BARKA, A.A. Slip distribution along the North Anatolian fault associated with the large earthquakes of the period 1939 to 1967, Bull. Seism. Soc. Am., 86, 1238-1254. (1996)

BİLGİN, T., Adapazarı Ovası ve Sapanca oluşunun aluviyal morfolojisi ve Kuvaterner'deki jeomorfolojik tekamülü. Edebiyat Fakültesi Matbaası, İstanbul. (1984)

BRIDGLAND, D. & Westaway, R. Climatically controlled river terrace staircases: A worldwide Quaternary phenomenon. Geomorphology 98. 285–315. (2008)

BULL, W.B., Geomorphic response to climate change. The Blackburn Press, Inc., New York. 352 sf. ISBN-10: 1932846212. (2009)

DEMİR, 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 (2012)

DEMİR, T., Yeşilnacar, İ., Westaway, R. River terrace sequences in Turkey: sources of evidence for lateral variations in regional uplift. Proc. Geol. Assoc. 115, 289–311. (2004)

DOĞU, F. Akköprü sekilerinin (Dalaman Çayı) Güneybatı Anadolu Jeomorfolojisindeki önemi. Ankara Üniversitesi, Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi. 3, 161-177. (1994)

DOUVILLE E., Salle E., Frank N., Eisele M., Pons-Branchu E. & Ayrault S. Rapid and accurate U-Th dating of ancient carbonates using inductively coupled plasma-quadrupole mass spectrometry. Chemical Geology 272, 1-11. (2010).

ERİNÇ, S. Jeomorfoloji 1. Genişletilmiş 2. baskı, İstanbul Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi Yayınları, 2931. 736 sf. (1982)

EROL, O. Asi Nehri deltasının jeomorfolojisi ve dördüncü zaman deniz ve akarsu sekileri. İstanbul Üniversitesi Dil ve Tarih-Cografya Fakültesi Yayınları 148, 1-110. (1963)

EROL, O. The Quaternary history of the lake basins of central and southern Anatolia. In (Brice, W.C. ed.) The Environmental History of the Near and Middle East since the Last Ice Age. Academic Press. London, 111- 139. (1978)

ERTURAÇ, M.K., & Tüysüz, O. Kinematics and Basin Formation Along the Ezinepazar-Sungurlu Fault Zone, NE Anatolia, Turkey. Ezinepazar-Sungurlu Fayının Evrimi, Kinematığı ve Havza Oluşumu, KD Anadolu, Türkiye. Turkish Journal of Earth Sciences Vol.21 pp 497-520. (2012)

GEDİK, İ. & Aksay, A. 1: 100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Adapazarı G25 paftası. No:32. MTA Gen. Müd. Ankara. (2002)

GÖZÜBOL, A. M. Mudurnu-Dokurcun-Abant (Bolu ili) alanının jeoloji incelemesi ve Kuzey Anadolu yarılımının yapısal özellikleri, Doktora Tezi, İ. Ü. Fen Fak., İstanbul.(1978)

HUGGET, R.J. Fundamentals of Geomorphology, Routledge Fundamentals of Physical Geography, Routledge and Taylor & Francis Press, New York, 401 p,ISBN 0-203-47063-X. (2003)

HUNLEY, D.J., Godfrey-Smith D.I., Thewalt, M.L.W. Optical Dating of Sediments. Nature, v.313, 105-107. (1985)

İKİEL, C., Kılıç, D., Ustaoglu, B. Atalay-Dutucu A., "Analysing land cover change with RS and GIS methods in the Elmacik Mountain and its surroundings, Turkey" ,Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research. ,Vol. 292 ,pp. 891 - 900 (2012)

KIYAK, N.G, & Erturaç, M.K.Lumimesence ages of feldspar contaminated quartz from fluvial terrace sediments, Geochronometria 30, DOI 10.2478/v10003-008-0007-8. (2008)

KUZUCUOGLU, C., Christol A., Mouralis D., Doğu A., Akköprü E., Fort M., Brunstein D., Zorer, H., Fontugne M., Karabiyikoğlu M., Scaillet, S., Reyss J., Guillou H. Formation of the Upper Pleistocene Terraces of Lake Van (Turkey). Journal of Quaternary Science, 25(7) 1124–1137. (2010)

MACKLIN, M.G., Fuller, I.C., Lewin, J., Maas, G.S., Passmore, D.G., Rose, J., Woodward, J.C., Black, S., Hamlin, R.H.B., Rowan, J.S. 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. (2002)

MICHEL, G. W. Closing-up structures, alternatives to pull-apart basins: the effect of bends in the North Anatolian Fault, Turkey, Terra Nova, 6, 359-365. (1994)

NEUGEBAUER, J. Structures and kinematics of the North Anatolian Fault Zone, Adapazarı-Bolu region, Northwest Turkey, Tectonophysics, 243, 1-2, 119- 134. (1995)

PALUSKA, A., Poetsch, Th., Bargu, S., Tectonics, paleosismic activity and recent deformation mechanisms in the Sapanca-Abant Region (NW TURKEY, North Anatolian Fault Zone), in Zschau J. ve Ergünay, O., (eds) Turkish-German Earthquake Research Project, 18-32. (1989).



PALYVOS, N., Pantosti D., Zabcı C., D'Addezio, G. "Paleoseismological Evidence of Recent Earthquakes on the 1967 Mudurnu Valley Earthquake Segment of the North Anatolian Fault Zone", *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 97, No. 5, 2007, s. 1646-1661. (2007)

PEHLİVAN, Ş., Bilginer E. ve Aksay, A. 1: 100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Adapazarı G26 paftası. No:32. MTA Gen. Müd. Ankara. (2002)

PORAT, N. Use of magnetic separation for purifying quartz for luminescence dating, *Ancient TL* Vol. 24 No.2 (2006)

OLLEY, J.M., Pietsch, T., Roberts, R.G. Optical dating of Holocene sediments from a variety of geomorphic settings using single grains of quartz. *Geomorphology* 60, 337–358. (2004)

RITTENOUR, T. M. Luminescence dating of fluvial deposits: applications to geomorphic, palaeoseismic and archaeological research. *Boreas* 37, 613-635. (2008)

RIEMENSCHNEIDER, S., *Handbuch Lumineszenz*, GGA Institute, (2006)

RODNIGHT, H. How many equivalent dose values are needed to obtain a reproducible distribution? *Ancient TL* 26, 3-9. (2008)

SCHUMM, S.A., Dumont, J.F., Holbrook, J.M. *Active tectonics and alluvial rivers*. Cambridge University Press. Cambridge. (2000)

THOMSEN, K.J., Murray, A.S., Bøtter-Jensen, L., Kinahan, J. Determination of burial dose in incompletely bleached fluvial samples using single grains of quartz. *Radiat. Meas.* 42, 370-379. (2007)

ÜNAY, E., Emre, Ö., Erkal, T., Keçer, M. The rodent fauna from the Adapazarı pull-apart basin (NW Anatolia): its bearings on the age of the North Anatolian fault. *Geodinamica Acta*, 14, pp.169–175, (2001).

VANDENBERGHE, J. The fluvial cycle at cold–warm–cold transition in lowland regions: a refinement of theory. *Geomorphology* 98, 275–284. (2008)

WALLINGA, J. Optically stimulated luminescence dating of fluvial deposits: a review. *Boreas*, Vol. 31, 303–322. (2002)

WESTAWAY, R., Pringle, M., Yurtmen, S., Demir, T., Bridgland, D.R., Rowbotham, G., Maddy, D., Pliocene and Quaternary surface uplift of western Turkey: the Gediz River terrace staircase and the volcanism at Kula. *Tectonophysics* 391, 121–169. (2004)

WESTAWAY, R., Guillou, H., Yurtmen, S., Beck, A., Bridgland, D.R., Demir, T., Scaillet, S., Rowbotham, G. Late Cenozoic uplift of western Turkey: improved dating of the Kula Quaternary volcanic field and numerical modelling of the Gediz River terrace staircase. *Glob. Planet. Change* 51, 131–171. (2006)

YILDIRIM, C. Almacık Blok'u ve Yakın Çevresinin Morfotektoniği, Yayınlanmamış doktora tezi, İTÜ Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, 288 sf. (2008)

YILMAZ, Y., Gözübol, A. M., Tüysüz, O. Geology of an area in and around the Northern Anatolian Transform Fault Zone between Bolu and Akyazı- in: A.M. Işıkara& A. Vogel (eds.): Multidisiplinary approach to Earthquake Prediction. 45-65, F. Vieweg & Sohn Verl., Braunschweig Wiesbaden. (1982)

TOKAYASU, K., Tanaka, K., Tsukamoto, S., Murray, A., The characteristics of OSL signal from Quartz grains extracted from modern sediments in Japan. GEOCHRONOMETRIA 37 pp 13-19 , (2010),

ZABCI, C. "Dokurcun-Beldibi (Adapazarı) arasının Morfotectonik ve Paleosismolojik Özellikleri (Paleoseismology and Morphotectonics of the region between Dokurcun and Beldibi (Adapazarı)", M.S., İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü, Katı Yer Bilimleri, (2005)

ZSCHAU, J. & Ergünay, O. (Ed) . German Earthquake Research Project Report. 178 sf. (1989)

**TÜBİTAK**  
**PROJE ÖZET BİLGİ FORMU**

Proje Yürütücüsü:	Yrd. Doç. Dr. MEHMET KORHAN ERTURAÇ
Proje No:	112Y222
Proje Başlığı:	Mudurnu Vadisi Boyunca Kuvaterner Yaşlı Akarsu Terası Çökel Kayıtlarının İklim Değişiklikleri Ve Depremsellik Açısından Değerlendirilmesi
Proje Türü:	Hızlı Destek
Proje Süresi:	12
Araştırmacılar:	
Danışmanlar:	
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:	SAKARYA Ü. FEN EDEBİYAT F. COĞRAFYA B.
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:	15/08/2012 - 15/08/2013
Onaylanan Bütçe:	28550.0
Harcanan Bütçe:	27150.0
Öz:	<p>Sakarya Irmağı'nın önemli kollarından birisi olan Mudurnu Çayı, Köroğlu Dağlarının batı kesiminde yaklaşık 1500 km<sup>2</sup> bir alanı akaçlayan önemli bir akarsudur. Çayın kuzey kesimi, kuzeyde Almacık Dağı (1830 m), güneyde ise Kapiorman (1590 m) ile Abant Dağları (1760 m) olarak tanımlanan dağ kuşakları arasında doğu-batı doğrultusunda uzanan, yüksek rölyefli, dar ve derin bir vadi içerisinde akar. Mudurnu Çayı vadisi olarak adlandırılan bu vadi, son yüzyıl içerisinde gerçekleşen 1957 Abant (M:7.0) ve 1967 Mudurnu Vadisi (M:7.1) depremlerinde kırılan Kuzey Anadolu Fayı'nın (KAF) oluşturduğu yaklaşık 2.5 km genişliğindeki bir makaslama zonu üzerinde gelişmiştir.</p> <p>Bu çalışmada, Bolu/Taşkesti ve Sakarya/Akyazı ilçeleri arasında kalan bir kesimde gözlenen genç kırıntılı birimlerin detaylı olarak haritalanması ve sistematizasyonunun konulmuştur. Proje kapsamında yürütülen arazi çalışmasında yapılan gözlemlerde bu birimlerin: (1) vadinin yüksek rölyefi ve hızlı aşındırması nedeniyle sürekli kararsız olan yamaçları boyunca gelişen heyelanların Mudurnu Çayı'nı periyodik olarak setlemesi sonucu gelişen geçici bir göl içerisinde depolanan ince kırıntılı ve fosilli seviyeler. (2) özellikle de çeşitli seviyelerde korunmuş olarak bulunan depolanmalı/aşınmalı akarsu teras seviyeleri olduğu anlaşılmıştır. Çökel paketlerinin yaşlandırılmasında Optik Işınım Yöntemi (Optically Stimulated Luminescence, OSL), C14 ve Uranyum serisi yöntemleri kullanılmıştır. Böylelikle, dış drenaja açık yüksek enerjili bir akarsuyun iklim değişikliklerine verdiği hızlı cevap ile doğrultu atımlı faylanma tarafından şiddetle deforme edilen ve oluşan yüksek rölyef nedeniyle de sürekli büyük yamaç hareketlerine maruz kalan bir bölgenin jeomorfolojik evriminin basamakları ortaya konulmuştur.</p> <p>Proje süresince elde edilen sonuçlara göre depolanmalı teraslar ~180 binyıldan (110 m) Holosen'e (~12 by/15 m) kadar gelişimini sürdürmüştür. Bu seviyeler denizel izotop katları sınıflamasına göre soğuk ve kurak dönemlere karşılık gelmektedir. Buna göre vadinin kazılım hızı 0.6-0.8 mm/yıl olarak hesaplanmıştır. Erken-Orta Holosen'de (7000-6000 yıl) gerçekleşen Yarbaşı heyelanı ile ilişkili oluşan ve 1000-1500 yıl varlığını sürdüren göl içerisinde depolanan çökeller, vadiyi setleyen heyelan molozunun aşılmasıyla hızla aşındırılmıştır. Bu çökellerin KAFZ kuzey ve güneyindeki pozisyon değişimine bağlı olarak Taşkesti kesiminde genişlemeli bir büküm yapan fayın düşey kayma hızı 3.3-3.6 mm/yıl olarak hesaplanmıştır.</p>
Anahtar Kelimeler:	Mudurnu Vadisi, Kuvaterner, Akarsu Terasları, Optik Uyarımlı Işınım (OSL), Kuzey Anadolu Fay Zonu
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu Mu?:	Hayır