



## Alüvyal Yelpazelerin Morfolojik Gelişimine Etki Eden Faktörler: Maymundağı Yelpazeleri Örneği

*Factors affecting the morphological development of alluvial fans: The example of Maymundağı alluvial fans*

Esra Tunçel<sup>\*a</sup>, İhsan Çiçek<sup>b</sup>, Gürol Seyitoğlu<sup>c</sup>

### Makale Bilgisi

Araştırma Makalesi

DOI:

10.33688/aucbd.1321928

Makale Geçmişi:

Geliş: 03.07.2023

Kabul: 19.08.2023

Anahtar Kelimeler:

Jeomorfoloji

Alüvyal yelpaze

Acıgöl grabeni

İklim

Tektonik

### Öz

*Alüvyal yelpazeler, akarsu sistemlerinin önemli bir parçasıdır ve jeomorfoloji alanında ilgi uyandırmaktadır. Bu makale, alüvyal yelpazelerin morfolojilerini etkileyen iklim koşulları, tektonizma ve taban suyu değişikliklerinden oluşan temel faktörler hakkında genel bir anlayış sunmayı amaçlamaktadır. Alanyazından örneklerle alüvyal yelpazelerin morfolojik gelişiminde bu faktörlerin etkisi aktarılmaktadır. Makale aynı zamanda Acıgöl grabeninin kuzeybatısını sınırlayan, KD-GB doğrultusu güneyde D-B'ya dönen, Maymundağı fayının önünde depolanan alüvyal yelpaze istiflerinin morfolojik gelişimi hakkında bilgi vermektedir. Bu alanda D-B doğrultulu dağ önünde iç içe geçmiş iki farklı alüvyal yelpaze sistemi bulunmaktadır. Bu gelişim önceden Pleyistosen gölünün yüksek seviyesiyle ilişkilendirilmiş olsa da daha sonra yapılan çalışmalarda göl seviyesinde Geç Kuvaterner döneminde bu gelişimi etkileyecek bir yükselme olmadığı belirlenmiştir. Bu çalışmada morfolojik gelişimin yelpazenin alt kesiminde etkin olan faylanma sonucunda gerçekleştiği ortaya konulmuştur.*

### Article Info

Research Article

DOI:

10.33688/aucbd.1321928

Article History:

Received: 03.07.2023

Accepted: 19.08.2023

Keywords:

Geomorphology

Alluvial fan

Acıgöl graben

Climate

Tectonic

### Abstract

*Alluvial fans play a significant role in fluvial systems and are a subject of great interest in geomorphology. This research aims to provide a comprehensive understanding of the key factors that influence alluvial fan morphology, which include climatic conditions, tectonism, and base level changes. The paper discusses the morphological development of alluvial fans along the Maymundağı fault, which borders the northwest of the Acıgöl graben. The fault exhibits a NE-SW strike that veers into an E-W direction in the south. Two different alluvial fan systems were observed, intersecting in front of the E-W trending mountain. This development was previously associated with the high level of the Pleistocene lake, but later studies have shown that there was no rise in the lake level that affected the development. In this study, it was revealed that the morphological development occurred as a result of active faulting in the lower part of the fan.*

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: esratuncel5290@gmail.com

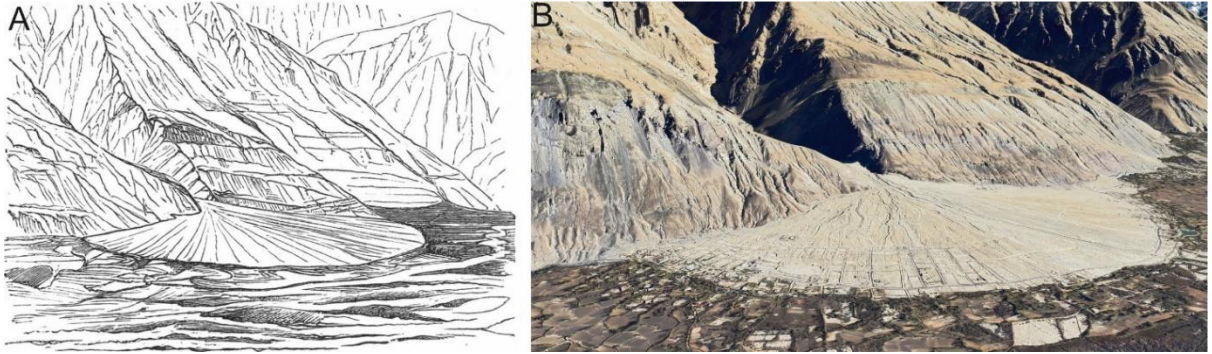
<sup>a</sup>Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Bilecik/Türkiye, <https://orcid.org/0000-0001-7434-4111>

<sup>b</sup>Ankara Üniversitesi, Dil ve Tarih Coğrafya Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Ankara/Türkiye, <https://orcid.org/0000-0002-9000-2805>

<sup>c</sup>Ankara Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Tektonik Araştırma Grubu, Ankara/Türkiye, <https://orcid.org/0000-0001-7993-898X>

## 1. Giriş

Flüvyal yer şekilleri, yüzeyde akan suların etkisiyle oluşan küçük ölçekte rillerden, daha büyük ölçekte vadi yamacı, vadi tabanı, teraslar, deltalar ve alüvyal yelpazeler gibi çeşitli formlara sahip yer şekillerini içerir. Bu yapılardan biri olan alüvyal yelpazeler, akarsuyun taşıma gücünün azalması sonucu taşıdığı sedimanı biriktirmesi ile gelişen morfolojik yapıyı ifade eder (Bull, 1977). Alüvyal yelpazelerin gelişimi için yalnızca akarsuların taşıma gücünün aniden düştüğü dağ önleri veya akarsu kollarının birleştiği alanlar gibi topografik koşullar değil aynı zamanda akarsu havzasında yeterli miktarda sedimanın üretilmesi ve bu sedimanın yelpazeye aktarılması gereklidir (Blair ve McPherson, 2009; Harvey, 2004). En yaygın olarak kurak ve yarı kurak iklim koşulları altında oluşa da nemli veya kutup bölgelerinde de görülen alüvyal yelpazelerin gelişimi ilk kez Surell (1841) tarafından 1841'de tartışılmıştır (Bull 1977'e göre (Surell, 1841)). Alüvyal yelpaze terimi (İngilizce: alluvial fan) ise ilk kez Drew tarafından 1873 yılında Hindistan'ın batı Himalaya bölgesindeki İndus Nehri vadisinde yer alan alüvyal birikintileri tanımlamak için kullanılmıştır (Şekil 1) (Drew, 1873). Plan görünümünde yelpaze şekline olmaları isimlendirilmelerinde etkin olsa da, pek çok örnekte yan yana gelişen yelpazelerin birbirlerinin alanlarını sınırlandırmasından dolayı şekilsel olarak tam bir yelpaze görünümü oluşamaz (Bull, 1977).



**Şekil 1. A.** Drew (1873) tarafından İndus Vadisi'nde incelenen Chisara köyü GB'nda kalan alüvyal yelpazenin çizimi  
**Kaynak:** Drew, 1873'ten alınmıştır. **B.** Yelpazenin Google Earth görüntüsü

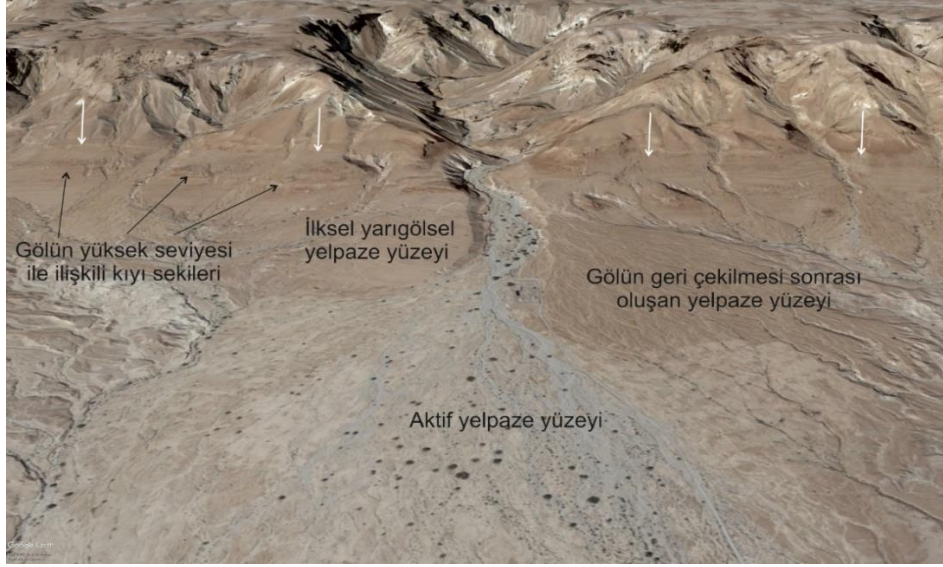
Alüvyal yelpaze sisteminde, yüzey morfolojisi ve sediman birikimi belirli özelliklerle karakteristiktir. Bir alüvyal yelpazede, yelpazeye sediman taşıyan akarsuyun havzasından çıktığı ve birikim yapmaya başladığı nokta yelpazenin tepe noktası (fan apex) olarak adlandırılır (Drew 1873). Bu noktadan itibaren alüvyal yelpaze yüzeyinin eğimi, yelpazenin eteğine doğru azalır (Harvey, 2004). Yüzey topografyası, enine kesitlerde dış bükey, boyuna kesitlerde ise iç bükeydir (Bull, 1977). Alüvyal yelpaze depolarında bulunan sedimanlar genellikle ani kütle hareketleri ve taşkınlarla kısa mesafelerde taşınan malzemelerden oluşur. Bu nedenle depolarda, genellikle kaba taneli ve az yuvarlaklaşmış sedimanlar gözlenir (Blair ve McPherson, 2009). Yelpazeye taşınan sedimanlar temel olarak flüvyal akış ve moloz akışı olarak gerçekleşir (Nilsen, 1982; Wells ve Harvey, 1987). Flüvyal akışa bağlı depolar, tane destekli ve kiremitlenme gösteren kabaca yelpaze yüzeyine paralel tabakalı sedimanlardan oluşurken, moloz akışı depoları matriks destekli, genellikle tane boyu yukarı doğru kabalaşan kaotik dokulu çakıllardan oluşur (Nilsen, 1982).

Akarsuyun taşıma gücü ile taşınan malzeme arasındaki denge kritik güç eşiği ile ifade edilir (Bull, 1979). Akarsuyun gücünün, alüvyal dolguya taşınan malzemenin taşınması için gerekli kritik güç eşiğini aşması durumunda alüvyal yelpaze dolgularında kazılma başlar (Bull, 1979). Taşıma gücünün, akarsuyla gelen malzemeyi taşıyacak güçten düşük olması durumunda ise alüvyal dolguda depolanma etkin olur (Bull 1977). Depolanmalı süreçlerin hâkim olduğu alüvyal yelpazeler "büyüyen yelpaze" (aggrading fan) olarak adlandırılır ve bu sistemlerde sedimantasyon yelpazenin tepe noktasından (fan tepe noktası-fan apex) akarsu yatağına doğru kayar (Harvey, 2018). Sedimenter istifte bu oluşumun kaydı, dikey olarak yukarı doğru incelen tane boyu ile gözlenir (Harvey, 2018). Akarsuyun kendi deposunu kazarak aşındırma yaptığı durumda ise kazma işlemi dolgunun tepe kısmından başlar. "Dolgu başı kazılması" (fanhead trench) olarak adlandırılan bu gelişim sonucunda (Eckis, 1928) aktif depolama merkezi yelpazenin alt kesimlerine kayar. Sedimenter istifte yukarı doğru incelen tane boyuyla karakteristik bu yapının gözlendiği yelpazeler "ilerleyen yelpazeler" (prograding fans) olarak adlandırılır (Harvey, 2018).

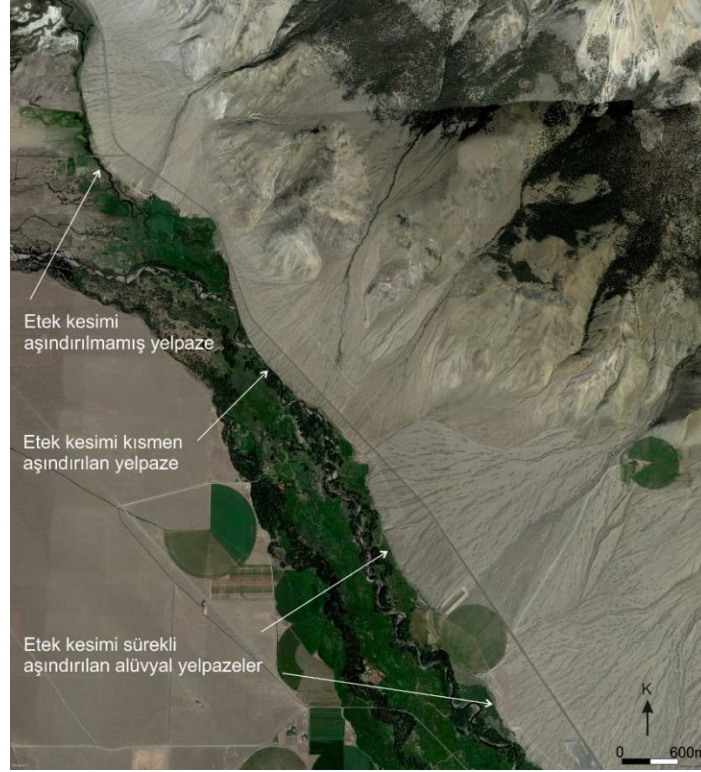
İlerleyen yelpazelerde, akarsuyun var olan depoyu kazması ile yeni depolanmanın başlangıcı olan, aşınma ve birikimin sınırı kesişim noktası (intersection point) olarak adlandırılır (Hooke, 1967). Kesişim noktasının yelpazenin tepe kısmından yelpaze eteğine doğru yer değiştirmesi iç içe geçmiş farklı yüksekliklere sahip alüvyal yelpaze yüzeylerinin oluşumu ile sonuçlanır (Bowman, 1978). Aktif depolamanın olmadığı eski alüvyal dolgu yüzeyleri üzerinde erozyon ve toprak gelişimi gözlenir (Bull, 1968; Bull, 1991). Bu alanlarda baş yukarı erozyon gösteren yarıntı erozyonu (gullyler) yaygındır (Blair ve McPherson, 2009). Depolama merkezinin kayması ile yeni birikimin eski birikim içinde depolandığı bu tipteki yelpazeler "teleskopik alüvyal yelpaze" (telescopic fan) olarak adlandırılmaktadır (Şekil 2) (Bowman, 1978; Colombo, 2005).

Yelpaze deposunun akarsu tarafından aşındırılması, sadece tepe noktasından başlayan kazılma ile sınırlı değildir, akarsu aynı zamanda geriye doğru aşındırma yaparak (head-cut erosion) depoladığı alüvyal dolgularda da kazılmaya neden olur. Yelpazenin ulaştığı alanda taban suyu seviyesindeki düşüş, yelpazenin etek kısımlarına ulaşan akarsuyun, değişen taban suyu seviyesine uyum sağlamak için yatağını kazması ile sonuçlanır (Harvey, 2018). Akarsuyun etek kısmından itibaren gelişen kazılmayı etkileyen başka bir koşul ise ana akarsuya bir yan kol olarak bağlanan akarsu yelpazesinde, ana kol tarafından bu yelpaze deposunun etek kısmının aşındırılması (toe cutting) ile belirir (Şekil 3) (Leeder ve Mack, 2001).





**Şekil 2.** Ölüdeniz'in güneydoğusunda fay ile kontrol edilen dağ önünde Mışmar akarsuyunun dolgularında görülen teleskopik alüvyal yelpaze morfolojisi. Akarsu, Pleistosen Lishan Gölü'nün kenarında depolanan yarı gösel alüvyal fan delta dolgularını ve gölün çekilmesinden sonra depolanan alüvyal yelpazeleri kazarak ilerlemiştir (Bowman, 1978). Farklı zamanlarda gelişen alüvyal dolgular arasındaki renk farkı dikkat çekmektedir. Geride fay ile kontrol edilen havza sınırı beyaz oklar, Pleistosen gölünün kıyı izleri ise siyah oklar işaretlenmiştir.



**Şekil 3.** Idaho'da bulunan Big Lost akarsu vadisine kavuşan yan akarsu kollarının önünde çökelen alüvyal yelpazelerin Google Earth görüntüsü. Ana akarsuyun etek kesimlerini kazması sonucu dikleşen etek ucu sarphıklarından geriye doğru gelişen aşındırma kanalları ile erozyona uğrayan alüvyal yelpaze dolgularında, bu aşındırmanın derecesi kazılma ile orantılı olarak kuzeyden güneye artmaktadır (Leeder ve Mack 2001).

## **2. Alüvyal Yelpaze Morfolojisini Etkileyen Faktörler**

Yelpazelerin yüzey morfolojisi, sabit çevresel koşullar altında bile, genellikle kademeli olarak değişmektedir (Harvey 2018). Ancak asıl şekillenme akarsuyun taşıma gücü ile ilişkili olarak kazma veya biriktirme döngüsüne etki eden kritik güç eşiği (Bull, 1979) iklim, tektonik hareketler ve bu etkilere bağlı olarak taban suyu seviyesindeki değişimlerle ilişkilidir (Bull, 1977).

### **2.1. İklimsel Değişkenler**

İklimsel değişkenler, yağış, sıcaklık ve bitki örtüsü üzerinde etkili olarak ana kayanın ayrışma oranını, akarsuyun taşıdığı sediman miktarını ve olayların tekrarlanma aralığını etkiler (Blair ve McPherson, 2009). Bu değişkenler temelde su ve sediman miktarı arasındaki oranı ve buna bağlı olarak kritik güç eşiğini etkileyerek (Bull, 1979), yelpazelerde birikime ya da erozyon sürecinin etkinliğinde rol oynar. Ayrıca, bu oran akışın moloz veya flüvyal karakterde olmasını da etkiler (Wells ve Harvey, 1987).

Yıllık ortalama yağış miktarındaki bir değişiklik, ayrışmanın ve bitki örtüsü gelişiminin üzerinde etkili olurken yağışın şiddeti ve sıklığı taşınma için gerekli en önemli koşulları oluşturur (Blair ve McPherson, 2009). Örneğin, azalan yağış miktarıyla ayrışma ve bitki örtüsü gelişimi sınırlı kalırken, artan yağış miktarı, özellikle havzadaki sızma kapasitesinin aşıldığı ani güçlü akışlarla sedimanın akarsu havzasından yelpazeye taşınmasında artışa neden olmaktadır (Blair ve McPherson, 2009). Geç Pleyistosen erken Holosen geçişinde Mojave Çölü'ndeki Zzyzx yelpazeleri ile Kuzey Nevada'daki Stillwater yelpazelerini inceleyen bir çalışmada iklimsel değişkenlerin yelpaze gelişimine etkisi tespit edilmiştir (Harvey vd., 1999). Her iki bölgenin de Geç Pleyistosen'de bugün olduğundan daha yağışlı ve soğuk olmasına rağmen Holosen'e geçiş sırasında Zzyzx yelpazelerinin yer aldığı bölgenin daha yüksek yağış aldığı belirlenmiştir. Aynı zamanda bu yelpazelerin akarsu havzalarında bitki örtüsünün seyrek ve cılız olması, yüksek yağışlarla ilişkili olarak, yüksek oranlarda sediman taşınmasına ve moloz akışlarına yol açarak, akarsuyun kaynak kesiminde kazılmaya ve depolanmanın yelpazenin etek kısmına kaymasına neden olmuştur. Stillwater yelpazesinde ise ardıç ve çam ormanlarından oluşan sık ve yoğun bitki örtüsü ve bunların zengin otlı çalı alt örtüsü, yüksek sediman üretimini engellerken, yağışın da daha az olmasının etkisiyle bu yelpaze sisteminde söz konusu dönemde kazılmanın olmadığı belirlenmiştir (Harvey vd., 1999).

Alüvyal yelpaze morfolojisinde iklimsel değişkenler ile ilişkili taban suyu değişimi de önemli bir rol oynamaktadır. Kuvaterner östatik deniz seviyesi değişimleri ve günümüzde kurak olan ancak Pleyistosende plüviyal göllerin bulunduğu bölgelerde yelpazelerde taban suyu değişiminin etkisi ile çeşitli morfolojik değişiklikler gözlenmiştir (Harvey vd., 1999; Harvey, 2002). Ancak bu bölgelerde yelpaze sisteminde gözlenen morfolojik gelişimin yalnızca taban suyu seviyesindeki değişiklik ile değil, aynı zamanda iklimin etkisi ile akarsu havzasında gelişen değişkenlerin ortak bir sonucu olarak ortaya çıktığı belirlenmiştir (Harvey, 2002). Temelde, taban seviyesindeki bir düşüş, yelpazenin etek kısımlarında kazılmaya neden olur bunun bir örneği, ABD'de, Nevada'da bulunan Stillwater alüvyal yelpazelerinde gözlenmiştir. Alanda yer alan Pluvial Lahontan Gölü'nün kurumasını takiben gelişen hızlı taban seviyesi düşüşü ile alüvyal yelpazelerde kazılma başlamıştır (Harvey vd., 1999; Harvey, 2002). Başka bir örnekte ise eğim koşulları ile ilişkili olarak taban seviyesinin yükselmesi de alüvyal

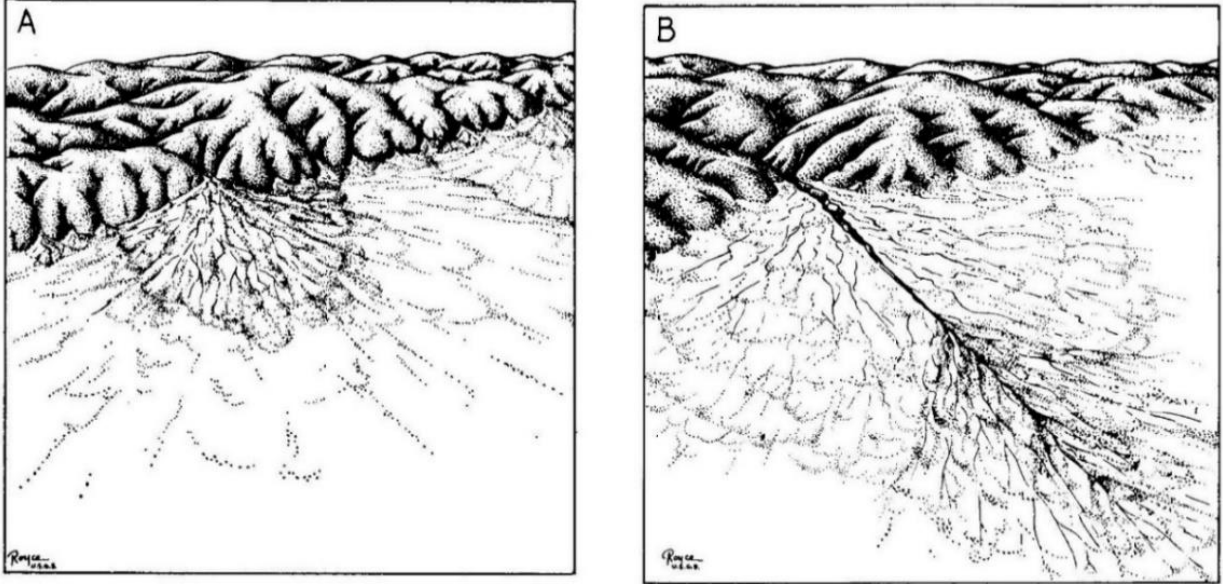
yelpazelerin kazılmasında etkili olmuştur (Harvey, 2002). İspanya'daki Cabo de Gata yelpazelerinin akarsu profillerinin Geç Kuvaterner'de Akdeniz deniz seviyesinin yükselmesi sonucunda gelişen kıyı erozyonu sonucunda kısalmış ve dikleşmiştir (Harvey vd., 1999). Bunun sonucunda, kazılmaya uğrayan alüvyal yelpazelerin kazılmaya uğradıkları bölge, kıyı şeridinden karaya doğru, maksimum deniz seviyesinde ve üzerindeki yüksekliklerde gelişmiştir (Harvey vd., 1999). Ana nehre bağlanan yan akarsu kolları boyunca çökelen alüvyal yelpaze depoları da ana nehirdeki iklimsel olarak değişen taban suyu değişiklikleri sonucunda kazılma veya biriktirmeye uğramaktadır. Bu durumun örnekleri Birleşmiş Arap Emirlikleri ve Umman'da ana kola bağlanan akarsu yelpazeleri üzerinde gözlenmiş, yelpaze sekileriyle akarsu sekilerinin gelişimi arasındaki eşzamanlılık belirlenmiştir (Al-Farraaj ve Harvey, 2000).

Ülkemizde de alüvyal yelpazelerde iklim etkisi ile şekillenen morfolojik gelişime bazı çalışmalar da değinilmiştir. Örneğin Ardos (1968), Kocaçay Dere'sinin, Bornova Ovası'na ulaşarak depoladığı en yaşlı en batıda olan üç farklı çökme dönemi gösteren alüvyal yelpaze gelişimi üzerine bir değerlendirmede bulunmuştur. Alüvyal yelpazenin morfolojik evrimini açıklamak için farklı gelişim modelleri öneren araştırmacının hipotezlerinden biri derenin ulaştığı taban suyu seviyesini oluşturan denizin alçalması ve bu nedenle akarsuyun da buna uyarak güneybatıya dönmesidir (Ardos, 1968). Buna göre en yaşlı depolanma Kocaçay Dere'nin güneye doğru akışı ile oluşmuş, diğer iki depolanma ise derenin batıya doğru kayması ile gelişmiştir. Burada gelişimi açıklamak için önerilen diğer bir gelişim modeli ise alüvyal yelpaze deposunun dolması ve yatağın yükselmesi neticesinde dolgulanmanın batıya kaymasıdır. Gelişim zamanına ilişkin iklimsel değerlendirmede bulunan araştırmacı birinci ve ikinci dolgulanmanın daha yağışlı bir dönemde ve sel karakterinde çökeldiğini belirlemiştir (Ardos, 1968).

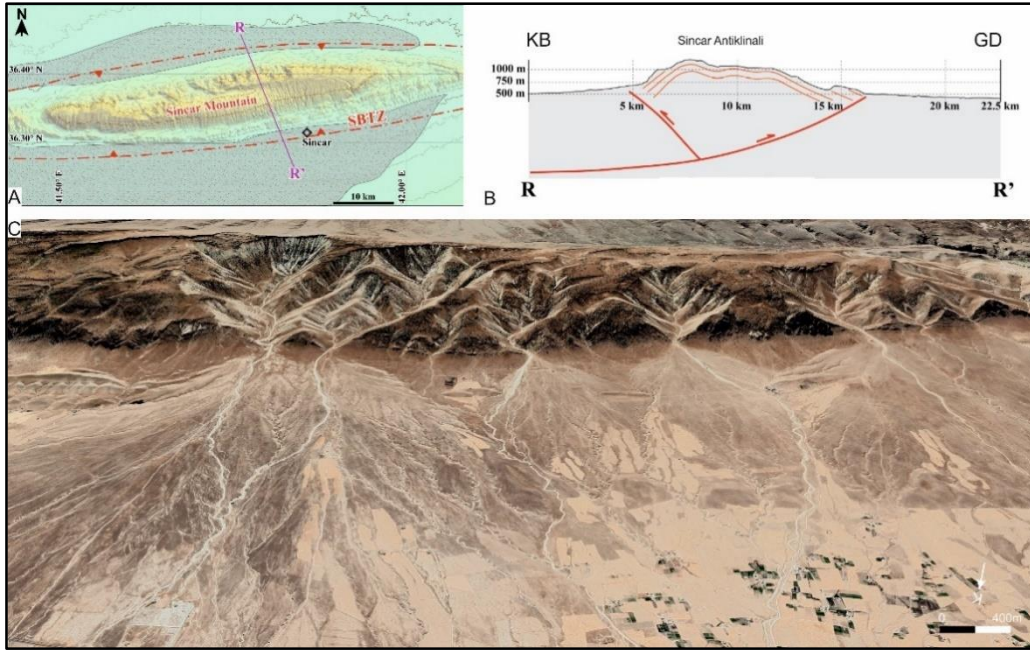
## 2.2. Tektonik Değişkenler

Yüksek tektonik aktivitenin olduğu dağ önlerinde sürekli çökme ve depolama alanının gelişimi, akarsuyun taşıma kapasitesinin de yüksek olmasının bir sonucu olarak kalın yelpaze istiflerinin oluşmasını sağlamaktadır (Bull, 1964; Bull, 1968; Özpolat vd., 2022). Bu koşullarda oluşan depolar, dik eğimli yelpaze yamaçlarıyla karakterize edilen göreceli küçük ölçekli kalın istiflerden oluşmaktadır (Özpolat vd., 2022; Viseras vd., 2003) Tektonik aktiviteden kaynaklanan devam eden depolanmanın varlığı sonucunda bu tip yelpazelerde akarsuyun deposunu kazması (Calvache vd., 1997) veya yarıntı erozyonu görülmemektedir (Viseras vd., 2003). Dağ önünde çökme hızının düşük olduğu durumlarda ise yelpaze deposunun baş kısmında kısa mesafelerde derin kazılmalar meydana gelir ve depolama yelpazenin alt kesimlerine doğru ilerler (Şekil 4) (Bull, 1968; Viseras vd., 2003). Bu gelişimin sonucunda, daha az dik eğimli yüzeyler ve çökmenin kanallarla ilerlemesi sonucu daha uzun geometriye sahip yelpazeler oluşmaktadır (Calvache vd., 1997). Bu tür yelpazelerde aktif depolanmanın olmadığı kesimlerinde derin yarıntı erozyonu yaygındır (Viseras vd., 2003). Böyle bir gelişim, kapalı bir antiklinal konumunda olan Irak'taki Sincar Dağı (Seyitoğlu vd., 2017) önünde çökelen alüvyal yelpazelerde görülmektedir (Şekil 5). Sincar-Kerkük kör bindirmesine (Seyitoğlu vd., 2017) bağlı gelişim gösteren alüvyal yelpazelerin hem kaynak kesiminde akarsuyun kazması sonucu derin erozyonlar hem de yelpazenin etek kesimlerinde yarıntı erozyonu gelişmiştir.





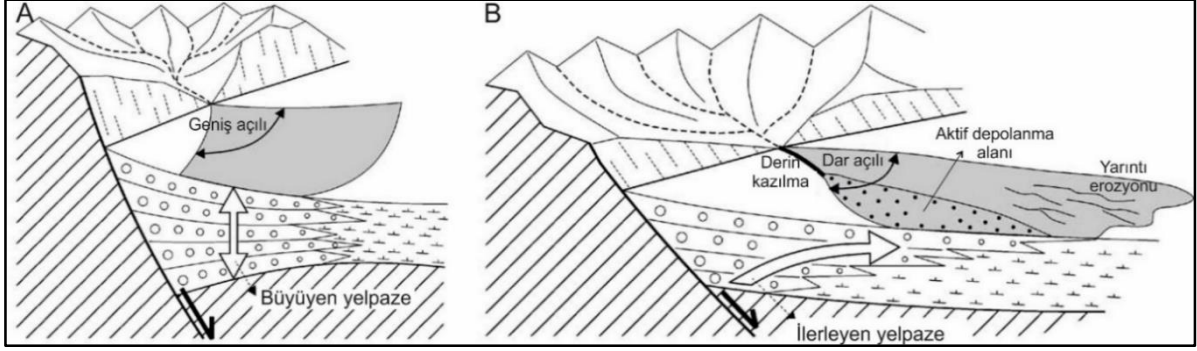
**Şekil 4. A.** Yüksek aktiviteli dağ önüne yakın depolanma, **B.** Akarsuyun kazma hızının dağ kütleinin yükselme hızını aşması ile alüvyal dolgunun kazılarak depolanmanın eski deponun alt kesimlerine taşınması  
**Kaynak:** Bull, 1968



**Şekil 5. A-B.** Sincar-Kerkük kör bindirmesinin yeri ve topoğrafik kesiti (Seyitoğlu vd., 2017'den değiştirilerek alınmıştır). Kesik noktalı çizgiler kör bindirmelerin yüzey izini, gri alanlar Kuvaterner çökellerini göstermektedir. **C.** Sincar antiklinalinin kuzeye bakan dağ önünde kaynak kesiminde akarsuyun derine kazması etek kesimde ise yarıntı erozyonu ile erozyona maruz kalan alüvyal yelpazelere ait Google Earth görüntüsü.

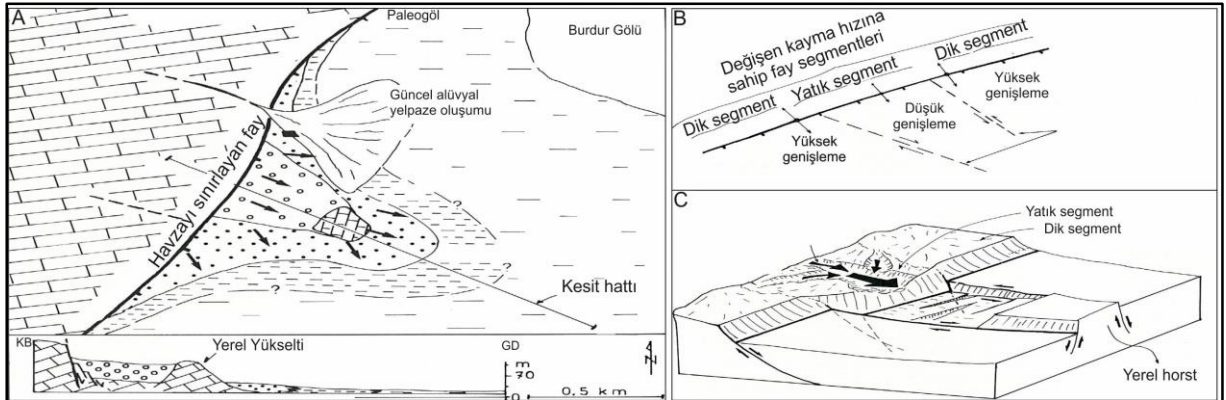
Tektonizmanın alüvyal yelpazelerin morfolojisi üzerindeki etkisi İspanya'da Granada ve Bajo Segura havzalarında toplam 43 Kuvaterner alüvyon yelpaze üzerinde incelenmiştir. Bu çalışmada tektonik kontrollü çökmenin yüksek olduğu alanlarda dik eğimli, geriye aşındırmanın olmadığı yelpazeler, düşük olduğu alanlarda daha az eğimli ve kazılma ile ilerlemeli gelişim gösteren yelpazeler belirlenmiştir (Şekil 6) (Viseras vd., 2003). Tektoniğin alüvyal yelpazelerin morfolojik gelişimi üzerine

etkisi, Büyük Menderes grabeninde çökelen alüvyal yelpazelerde de belirlenmiştir. Aktif faylarla kontrol edilen dağ önünde yükselimin hızlı olduğu alanlarda daha kalın ve daha dik alüvyal yelpazelerin varlığı, yükselme hızının düşük olduğu alanlarda ise azalan kalınlık ve eğimlere sahip, ilerleme gösteren alüvyal yelpazelerle karakteristik bir morfolojinin varlığı belirlenmiştir (Özpolat vd., 2022).



**Şekil 6.** A. Tektonik çökmenin fazla olduğu dağ önünde gelişen alüvyal yelpaze B. Tektonik çökme hızının düşük olduğu dağ önünde gelişen alüvyal yelpaze (Viseras vd., 2003'den değiştirilerek alınmıştır).

Tektonizmanın havza kenarı boyunca değişen etkinliği ve taban suyu seviyesi üzerinde etkisinin alüvyal dolguların depolarında meydana getirdiği değişikliğin çok karakteristik bir örneği Kazancı (1990) tarafından Pleyistosen-Holosen Burdur havzası kenarında gelişim gösteren alüvyal yelpaze ve fan delta aralanmasından oluşan istifte tespit edilmiştir. Çalışılan istifin, havzayı kuzeybatıdan sınırlayan fayların aktivitesinin iki segment arası daha düşük olduğu ve bu zonda havza içinde yerel bir horst gelişimine kavuşan transfer fay zonu ile kontrol edilen horst yapısının gelişimi ile sonuçlanan alanda çökeldiği belirlenmiştir (Şekil 7) (Kazancı, 1990). Buna göre alanda tektonizmanın kontrolünde şekillenen havza kenarında, görülen ardışık alüvyal fan, fan-delta ve gölsel çamur seviyelerin de tektonizma kontrolünde değişen göl seviyeleri ile ilişkisi belirlenmiştir (Kazancı, 1990).



**Şekil 7.** A. Burdur gölünün kuzeybatısını sınırlayan faylı dağ önünde çalışma alanının yeri B. Alanda farklı fay segmentleri arasındaki aktivite ilişkisini ve lokal yükseltiyi geliştiren tektonik ilişkiyi gösteren plan görünümü C. B'deki plan görünümüne ilişkin üç boyutlu çizim (Kazancı (1990)'dan değiştirilerek alınmıştır).

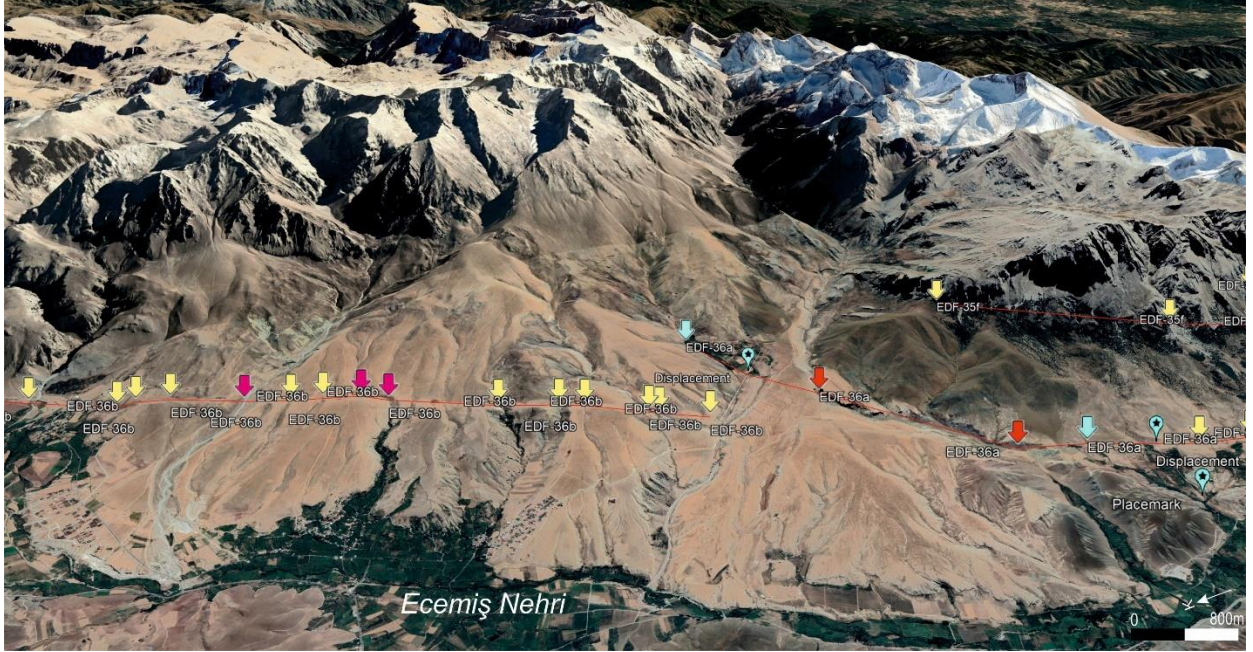
Bölgesel ve yerel ölçekte tektonizmanın, taban suyu seviyesinin değişimine etki etmesi de alüvyal yelpazelerin morfolojik gelişiminde değişikliğe neden olacak diğer bir özelliktir. Bölgesel yükselme, akarsuların derine kazmasını teşvik ederek, dağ önünde biriken yelpaze depolarının kazılmasına yol açar (Harvey, 2002). Bununla birlikte, yerel olarak sadece dağ önünde meydana gelen yükselimler, yelpazenin fay ile yükselen kesiminde kazmayı başlatır ve hızlandırır. Bu nedenle söz



konusu yerel etki yelpazenin etek kesiminde (Harvey, 2002) veya akarsuyun kaynak kesimine doğru belirgin bir değişliğe yol açmaz (Wells ve Harvey, 1987).

Alüvyal yelpaze yüzeyini kesen normal faylanma sonucunda fayın yükselen bloğunda başyukarı aşındıran yarıntı erozyonu oluşmaya başlar, düşen blokta ise her bir yarıntının önünde depolanma meydana gelir (Blair ve McPherson, 2009; McCalpin, 2009). Fay sarplıkları, bu tür bölgelerde yükselen blokta yerel erozyon ile düşen blokta yerel depolanma arasında bir sınır oluşturmaktadır (McCalpin, 2009).

Fay tarafından kesilen alüvyal yelpazeler, tektonik jeomorfoloji çalışmalarında faylanma sonucu meydana gelen ötelenmenin ölçülmesinde referans jeomorfolojik yüzey olarak kullanılmışlardır (Burbank ve Anderson, 2013; McCalpin, 2009). Bu amaçla kullanılacak birimin deforme olmadan önceki ilksel durumu, yaşı ve tektonik sürecin etkin olduğu zaman boyunca yüksek oranda korunabilir olması gereklidir (Burbank ve Anderson, 2013). Normal fay tarafından kesilen yelpazelerde fayın yükselen bloğu üzerinde ötelenme ölçümü için kullanılacak akarsu kanalı veya sırt gibi çizgisel yapılar korunurken, düşen blok üzerinde sediman depolanması nedeni ile bu yapıların gözlenmesi zordur (McCalpin, 2009). Ancak doğrultu atımlı fay tarafından kesilen alüvyal yelpazelerde fayın her iki bloğundaki referans yüzeyin korunabilirliği fazla olduğu için bu yelpazeler pek çok tektonik jeomorfoloji çalışmasında fayların kayma hızının belirlenmesi için kullanılmıştır (Frankel vd., 2007; Matmon vd., 2005; Nissen vd., 2009; Sarıkaya vd., 2015; Yıldırım vd., 2016). Türkiye’de Aladağların batı cephesi boyunca gelişen alüvyal yelpazeler fay tarafından kesilmektedir (Şekil 8) (Sarıkaya vd., 2015; Seyitoğlu vd., 2022; Yıldırım vd., 2016). Bu alüvyal yelpaze yüzeylerinin yaşlandırılması ile doğrultu atımlı Ecemiş fay zonun ve alanda etkin olan normal fayların kayma hızı belirlenmiş (Sarıkaya vd., 2015; Yıldırım vd., 2016) ve Ecemiş fayının Geç Kuvaterner aktivitesi hakkında ilk kez nicel yaş verisine ulaşılmıştır (Sarıkaya vd., 2015).



**Şekil 8.** Aladağların batı yamacı önünde çökelen alüvyal yelpaze depolarını gösteren Google Earth görüntüsü. Kırmızı çizgi ile işaretli Ecemiş fayın izi ve oklar ile faya ait belirteçler Seyitoğlu vd., 2022'den alınmıştır.

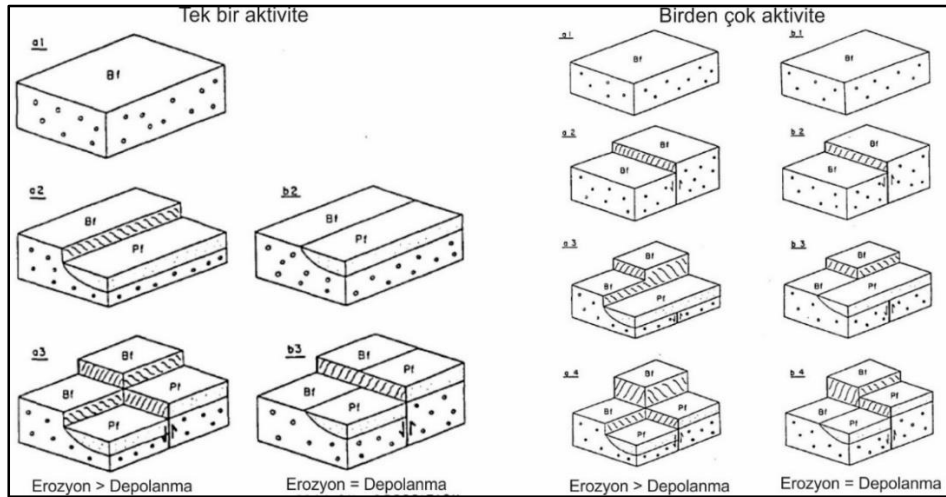
### 3. Alüvyal Yelpaze Morfolojisinde Etkin Faktörün Belirlenmesi

Alüvyal yelpazelerin morfolojisi tektonizma ve iklimsel değişkenler ve bunlara bağlı gelişen taban suyu seviyesi değişikliklerine oldukça duyarlı olmaları nedeni ile farklı koşullar altında değişen evrimsel bir gelişim sergilerler. Bu süreçlerin birbirinden ayrıştırılması, detaylı gözlemler ve yaşlandırma çalışmaları ile mümkündür. Morfolojik gelişim açısından değerlendirildiğinde iklimsel olarak tetiklenen değişimin yaşının, alüvyal yelpazelerde eş yaşlı bir tepki oluşturması ve mekânsal olarak tutarlılık göstermesi beklenmektedir (Harvey, 2002). Yerel etkinlik sonucunda gelişen tektonik hareketler ise tektonik aktivitedeki değişikliklere paralel bir zamanlama ile lokal değişimler ile sonuçlanır (Harvey, 2002). Tektonizma etkinliğinin bilindiği alüvyal yelpazelerde, fay segmentleri arasında dahi tektonik aktivite hızının değişimine bağlı olarak yakın alanda depolanmanın geometrisinde farklılık görülebilmektedir (Calvache vd., 1997). Benzer şekilde tek bir fay segmentinin zaman içinde hızında meydana gelen değişiklik alüvyal yelpazenin lokal geometrisi üzerinde doğrudan etkilidir (Bull, 1977; Silva vd., 1992).

Bu nedenle morfolojinin gelişimi üzerindeki etkiler değerlendirilirken, havzayı çevreleyen yelpaze gruplarının incelenmesi önem taşımaktadır. Bununla birlikte denetimde etkin olan koşullar farklı olsa da sonuçta oluşan morfoloji aynı olabilmektedir. Örneğin, normal fayla sınırlı dağ önlerinde fayın yükselen bloğunda faylanma nedeni ile yükselim sonucunda gelişen yeni eğim koşulları, akarsuyun yatağı kazması ve yeniden düzenlenmesi ile sonuçlanır (Wallace, 1978), bununla birlikte fayların düşen bloğunda akarsuların kazması nadirdir (McCalpin, 2009). O nedenle, fay tarafından kesildiği bilinen alüvyal dolguda, fayın hem yükselen hem düşen bloğunda yelpaze sisteminde kazılma ve biriktirme döngülerinin görülmesi bu alüvyal dolgu sekilerinin iklim kaynaklı olma ihtimalini yükseltmektedir (McCalpin, 2009). Böyle bir durumda dahi, seki seviyeleri oluşumu sonrasında devam eden tektonik hareketlilik söz konusu olursa fayın düşen bloğunda kalan alanda depolanma gelişeceği

için mevcut sekiler yeni gelen sediman ile örtülecek ve sonuç olarak tektonik kökenli seki yapıları ile aynı morfolojiyi oluşturacaklardır (McCalpin, 2009).

Faylanmanın etkisi de alüvyal yelpaze deposunun kaynak veya etek kısmında olmasına göre farklı sonuçlar yaratmaktadır. Colorado'da San Luis Vadisinin doğu kesiminde Sangre de Cristo fayı ile kontrol edilen dağ önünde depolanan alüvyal dolgularda seki gelişimi ve faylanmanın ve faylanmanın yerinin yelpaze morfolojisi üzerindeki etkisi McCalpin (1981) tarafından çalışılmış ve modellenmiştir. Buna göre ilerlemeli gelişim gösteren ve böylece basamaklı bir morfolojiye sahip alüvyal yelpaze sisteminde, sekiler yelpazenin kaynak kesimine görülürken, etek kısımlarında depolanma devam ettiği için stratigrafik olarak yan yana farklı yaşlardaki sedimanlar çökelmektedir (McCalpin, 1981). Böyle bir alüvyal yelpaze sisteminde sekilerin olduğu yelpazenin üst kesimlerinde tek bir faylanma gerçekleşirse, farklı yaşta ve yükseklikteki seki basamakları, faylanmanın etkisi ile gerçekleşen atım oranında yükselirken, faylanma farklı yaşlı çökellerin yan yana depolandığı yelpazenin alt kesimlerinde etkin olursa, yan yana çökelen bu depoların tek bir yüzey olarak, faylanma sonucu gelişen atım kadar yükselmektedir (Şekil 9) (McCalpin, 1981). Bunun yanı sıra faylanma ile kazılma döngüleri arasında bir dönüşüm olması durumunda yelpazenin kaynak kesimine yakın bir alanda faylanmanın meydana gelmesi yelpaze yüzeyinde eşit oranda atım ile sonuçlanırken, takip eden kazılma döngüsü ile hem yükselen hem düşen blokta kazılma gerçekleşmektedir. Bu morfoloji sonrasında yeniden faylanmanın gerçekleşmesi, fayın yükselen bloğunda kalan alanda daha önceki faylanmadan etkilenen seki seviyesinde daha fazla, yeni oluşan seki seviyesinde ise en son atım miktarı kadar ötelenmiş iki farklı yükseklikte seki seviyesi oluşturmaktadır (Şekil 9) (McCalpin, 1981). Bu sistemde fayın düşen bloğunda ise yalnızca faylanma döngüleri arasında etkin olan kazılma korunmaktadır. Faylanma yelpazenin kaynak kesiminde etkin olan kazılmanın, yan yana farklı yaşlı dolguların depolanması ile karakteristik etek kısımlarında gelişiyor ise fayın yükselen bloğunda farklı atıma sahip iki ayrı seki seviyesinin oluşması beklenirken, düşen blokta tek bir yüzey gözlenmektedir (McCalpin, 1981).

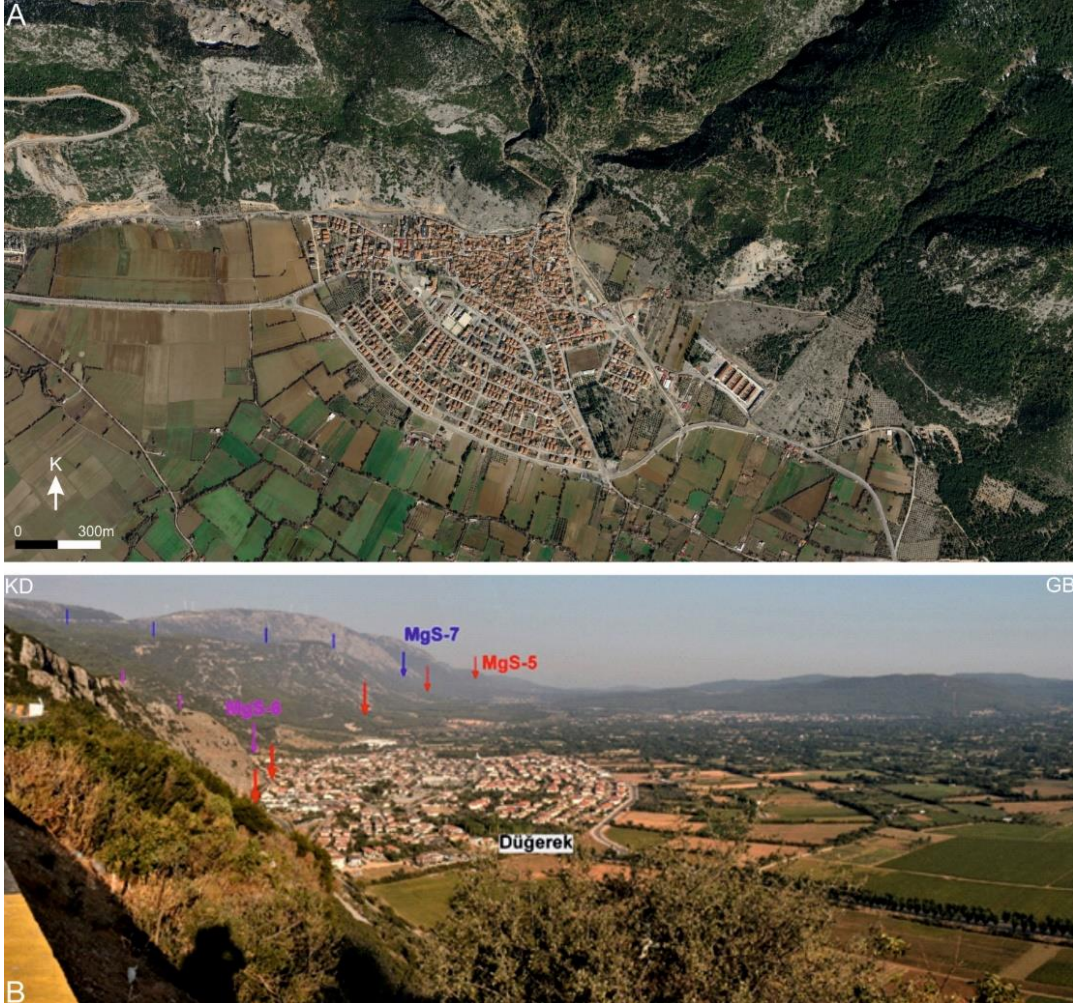


Şekil 9. Alüvyal yelpazelerde, fayın dolguyu kestiği yer ve devam eden fay aktivitesine göre fay boyunca farklılık gösteren sarplıklar (McCalpin, 1981'den değiştirilerek alınmıştır).



İklimsel ve tektonik kökenli gelişimlerin döngüsel olması ile şekillenen morfolojik gelişim ülkemizde Kazdağları ile Edremit ovası arasında çökelen alüvyal yelpaze sistemleri için Durukal (1978) tarafından incelenmiştir. Alanda farklı eğim özelliklerine dayanarak sınıflandırılan ve üst, orta ve alt segmente ayrılan Kuvaterner alüvyal yelpaze yüzeylerinin gelişimi araştırılmıştır. Buna göre üst ve orta bölümlerin gelişimi sırasında tektonizma, alt bölümlerin gelişimi sırasında ise östatik ve iklimik değişimler etkinliğinin olasılığı değerlendirilmiştir (Durukal, 1978). Bu çalışmada yapılacak daha detaylı araştırmalar ve tarihlendirme yöntemi ile bu değerlendirmelerin kesinliğe kavuşturulması da önerilmiştir (Durukal, 1978).

Ülkemizde tektonizma ve iklimsel etkinin alüvyal yelpaze gelişiminde birlikte rol oynadığını gösteren diğer bir çalışma da Muğla grabeninin kenarında, Muğla şehir merkezi ve Düğerek yerleşimlerinin üzerinde yer aldığı iki yelpaze sisteminde gözlenmiştir (Şekil 10). Alanda tektonizmanın ana kayanın parçalanmasında ve ova tabanında topoğrafyanın şekillenmesinde etkinliği belirlenmiş, iklimsel olarak yağışlı ve tektonik olarak aktif dönemlerde iri taneli ve köşeli sedimanın, tektonik olarak durgun ve kurak dönemlerde ise daha ince taneli sedimanın depolandığı belirlenmiştir (Gül vd., 2021).



**Şekil 10.** A. Muğla grabeni kenarında yer alan Düğerek ilçesinin üzerine kurulduğu alüvyal yelpazenin Google Earth görüntüsü B. Alüvyal yelpazenin KD-GB yönünde fotoğrafı, oklar alandaki fayların güzergahı göstermektedir (Fotoğraf: Gürol Seyitoğlu)

### 3.1. Alüvyal Yelpazelerin Yaşlandırılmasında Kullanılan Yöntemler

Alüvyal yelpazelerin morfolojik gelişimlerinin değerlendirilmesinde görelî yaşlandırma yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmalardan bir kısmında yelpaze yüzeylerinde toprak oluşumu, çöl tozlarının birikimi (desert pavement) ve depolarda ikincil karbonat gelişimi ilişkisine dayanarak yaş kurgusu yapılmıştır (Al-Farraj ve Harvey, 2000; Ardos, 1968; Machette, 1985; Lattman, 1973). Bunların yanı sıra alüvyal yelpaze yüzeyleri ile tarihi bilinen göl veya kıyı sedimanları korelasyonu ile de depolanmanın gelişim zamanını belirleyen bazı çalışmalar vardır (Harvey vd., 1999).

Alüvyal yelpaze dolgularında kesin tarihli yaşlandırmanın yapılabilmesi, yaşlandırılabilir uygun organik veya inorganik materyalin bulunmasına göre değişiklik gösterir. Alüvyal yelpazelerin yaşlandırma çalışmalarında en yaygın olarak, optik uyarmalı lüminesans, kozmojenik izotop ve radyokarbon yöntemleri kullanılmaktadır.

Birkaç yüzyıl ila 60.000 yıl aralığında tarihlendirme yapılmasına olanak sağlayan radyokarbon yöntemi, depolanma sırasında biriken ve korunan organik materyale dayalı olarak uygulanabilmektedir (Lian ve Roberts, 2006; Chiverrell ve Jakob, 2012). Bu yöntem, uygun iklim koşullarında çökelmiş alüvyal yelpazelerde depolanma sırasında korunan organik materyalin tarihlendirilmesi ile alüvyal yelpazelerin oluşum ve gelişim yaşlarını belirlemede kullanılmaktadır (Brazier vd., 1988; Chiverrell vd., 2008; Harvey vd., 1981; Nott vd., 2001).

Yaşlandırma çalışmalarında kullanılan diğeri bir yöntem de kozmojenik izotop yöntemidir. Bir kayaç veya sedimanın yüzeyleme süresinin hesaplanmasına imkân sağlaması (Lal, 1991) nedeni ile bu yöntem, alüvyal yelpaze yüzeylerinin terk edilmiş yaşını ve farklı depolanma segmentleri arasındaki zamanı belirlemek için uygundur (Ivy-Ochs vd., 2013). Bu nedenle alanyazında pek çok çalışmada kullanılmış ve özellikle fay ile ötelenen alüvyal yelpaze yüzeylerinin yaşının belirlenmesi ile fayların kayma hızlarının hesaplanmasında kullanılmıştır (Bierman vd., 1995; Brown vd., 2003; Frankel vd., 2007; Matmon vd., 2005; Mériaux vd., 2005; Sarıkaya vd., 2015; Yıldırım vd., 2016).

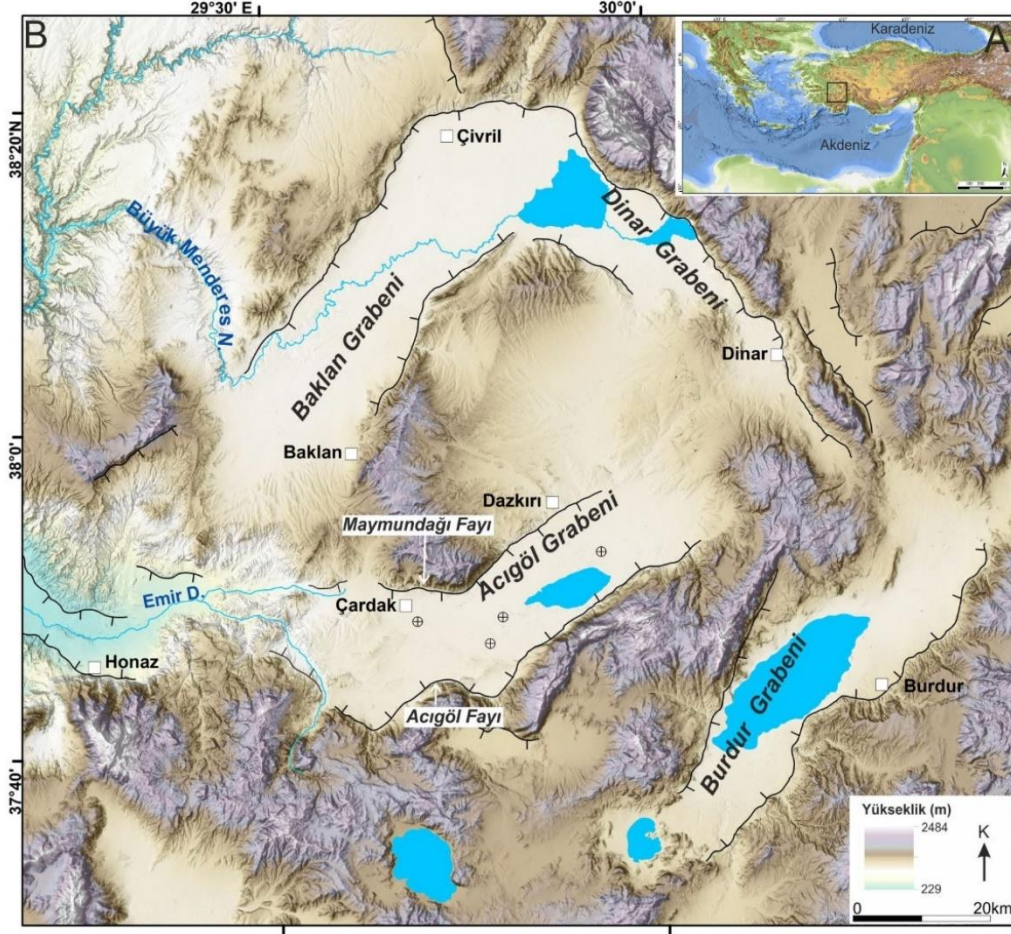
Optik Uyarmalı Lüminesans (OSL) yaşlandırma yöntemi ise sedimanın depolanma tarihini doğrudan hesaplamak için kullanılan bir yöntemdir (Murray ve Olley, 2002). 100 ila 350.000 yıl öncesine kadar olan yaşları hesaplamada etkili olan bu yöntem (Murray ve Olley, 2002), karasal çökellerde yaygın olarak bulunan feldispat ve kuvars mineralleri kullanılarak yaşlandırma yapma imkanı sağlaması nedeni ile pek çok alüvyal yelpazenin yaşının belirlenmesinde etkin olarak kullanılmıştır (Mahan vd., 2007; Owen vd., 1999; Robinson vd., 2005; Sancho vd., 2008; Singh vd., 2001; Sohn vd., 2007).

### 4. Acıgöl Grabeni Kuzeyinde Yer Alan Alüvyal Yelpazelerin Gelişimi

Acıgöl Grabeni, Menderes masifinin asimetric metamorfik çekirdek kompleksi olarak yüzeylenmesine neden olan Datça-Kale ana ayrılma fayının (main breakaway fault) düşen bloğunda depolanmış Oligosen konglomeralarını içermektedir (Elmas vd., 2019; Seyitoğlu vd., 2004) (Şekil 11). Güncel Acıgöl grabeni, 50 km uzunluğunda ve 10 km genişliğinde kapalı havza özelliğindedir, içinde aynı isimli sığ, tuzlu bir göl vardır. KD-GB doğrultusu, graben güneyinde D-B olan güncel Acıgöl grabeninin kuzeybatısını Maymundağı ve güneydoğusunu ise Acıgöl Kuvaterner fayları kontrol



etmektedir. Güncel graben güneyde Likya nap istifine ait birimler ile kuzeyde Oligosen yaşlı sıg denizel istif (Elmas vd., 2019) üzerinde gelişim göstermiştir.



Şekil 11. A. Acıgöl grabeninin konumu B. Acıgöl grabeni ve çevresinde yer alan grabenler

Acıgöl havzasının güneybatısında yer alan Çameli havzasında yaşı Geç Miyosen-Pliyosen olarak belirlenen korelatif birimlere dayanarak Acıgöl grabenindeki çökelişin de aynı dönemde kabatañli karasal çökellerle başladığı belirlenmiştir (Göktaş vd., 1989; Şenel, 1997). Havzada sedimantasyon güncel koşullara benzer iklimsel şartlarında, henüz Acıgöl gölünün çok sınırlı bir alan kapladığı veya henüz oluşmadığı bir dönemde başlamış, Pliyosen’de ise nemli iklim koşulları ile göl alanının genişlediği belirlenmiştir (Helvacı vd., 2013). Havzanın gelişim sürecinde faylanma ve iklimsel değişiklikler nedeni ile gölün en derin kesiminin doğuya doğru kaydığı tespit edilmiştir (Helvacı vd., 2013). Bunun yanı sıra yalnızca Kuvaterner’de bile 600 metreden daha kalın sediman kaydının belirlendiği sondaj verisi (Demory vd., 2020), bu zaman zarfında da tektonik ve iklimsel değişimler etkisinde göldeki derin çok yıllık koşullarının sıg geçici koşullara dönüştüğünü göstermiştir (Demory vd., 2020; Helvacı vd., 2013). Bu karottan edinilen bilgilere göre göl seviyesi son 2 milyon yılda maksimum seviyesine 1,8 milyon yıl önce ulaşmıştır (Demory vd., 2020).



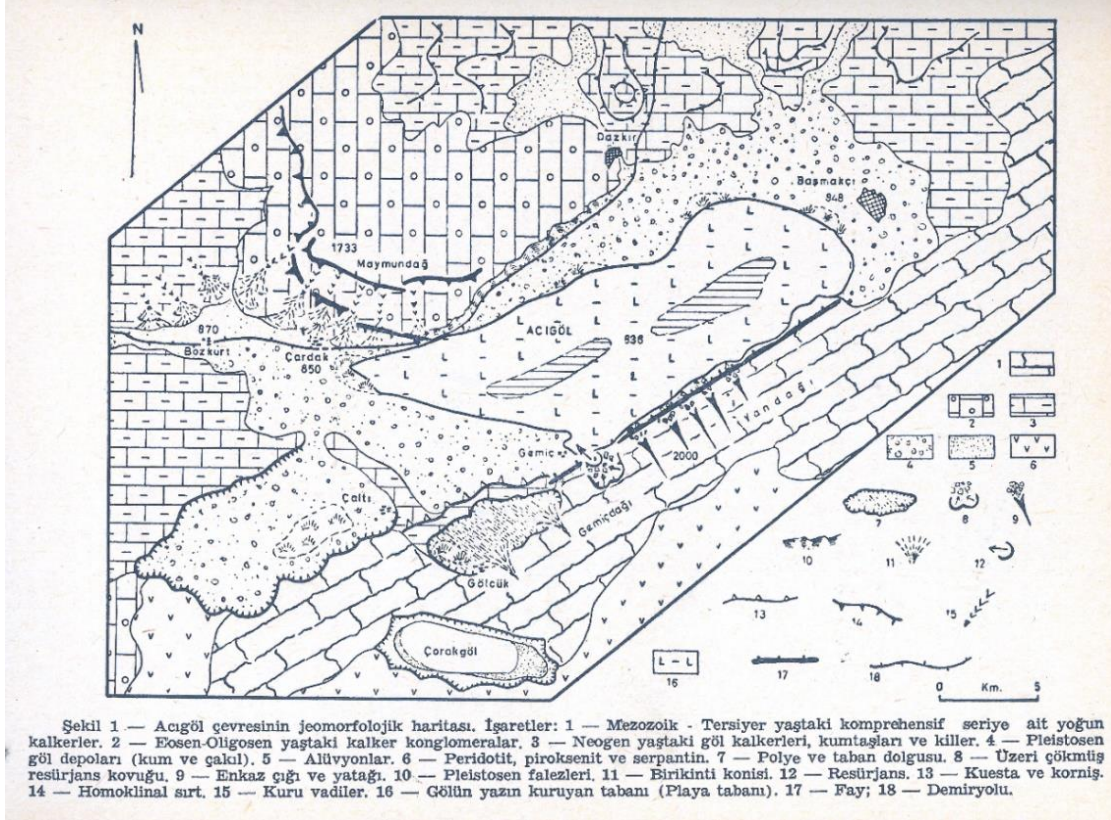
Grabenin kuzeybatısını sınırlayan Maymundağı fayı boyunca fay, Oligosen yaşlı çökeller ile Kuvaterner yaşlı alüvyal dolguları sınırlamaktadır. Fayın D-B doğrultulu kesiminde dağ önü boyunca iç içe geçmiş yelpaze sistemleri görülmektedir (Şekil 12). Dağ önünde yer alan kolüvyal koni ve küçük ölçekli alüvyal yelpazelerin yan yana birleşmesi ile oluşan ortalama 12° eğimli düzlük Kazancı vd. (2006) tarafından “etek düzlüğü” olarak adlandırılmıştır. Alüvyal depolarda yapılan gözlemlerde bu dolguların çoğunun moloz ve tane akması, daha az bir kısmının ise kaya-blok düşmesi ile taşınarak depolandığı belirlenmiştir (Kazancı vd., 2006). Grabenin güneydoğusunu sınırlayan Acıgöl fayı önünde ise genellikle talus depoları şeklinde, bazı alanlarda yamaçların alt kesimlerinde alüvyal yelpazeler şeklinde depolanmanın varlığı gözlenmiştir (Kazancı vd., 2006). Morfolojik olarak basık tepeli ve yayvan, çoğunluğu göle kadar uzanan deltaların başlarında 1 ile 3 metre arasında kazılmalar belirlenmiştir (Kazancı vd., 2006). Güncel göl seviyesine göre 6 metre daha yukarıda gözlenen bu dolguların yüzeylerinin, göl tabanında tektonik ile ilişkili bir alçalma veya Geç Kuvaterner’de göl seviyesinde meydana gelen bir düşüş ile ilişkili olabileceği belirtilmiştir (Kazancı vd., 2006).



Şekil 12. Maymundağı'nın D-B uzantılı dağ önünde görülen iç içe geçmiş alüvyal yelpazeler. Geride beyaz oklar ile akarsular tarafından kesilmiş alüvyal yelpaze yüzeylerinin tepe kısımları, önde siyah oklarla aktif depolanmanın oluştuğu yelpazelerin baş kesimleri gösterilmiştir. Siyah çizgiler aktif gelişim gösteren yelpaze yüzeylerinin tanımlanması için kullanılmıştır.

Havzada, Maymundağı fayının D-B doğrultulu dağ önünde gelişen iç içe geçmiş alüvyal yelpaze sisteminin gelişimi ilk kez Erinç (1967) tarafından ele alınmıştır (Şekil 13). Erinç, bu konilerden daha yüksek ve daha dik olan eski konilerde 40-50 metrelik yarılmaların gelişmesi ile bunların içlerinde yeni konilerin gelişim gösterdiğini belirtmiştir. Bu morfolojik gelişimin ya taban seviyesindeki bir düşüş ya da konilerin yer aldığı seviyede bir yükselim ile açıklanabileceğini önermiştir. Araştırmacı havza içindeki diğer gözlemlerine dayanarak taban suyu seviyesindeki düşüş ile gelişimin daha olası olduğunu belirtmiş ve Pleyistosen’de günümüzdekinden 35 m daha yüksekte olan göl seviyesine dair bazı kanıtlar sunmuştur. Bu kanıtlardan biri Dazkırı'nın 2 km doğusunda bugünkü göl seviyesinden 34 metre yükseklikte bulunan depodaki sedimantolojik ve paleontolojik gözlemlerdir. Diğeri ise

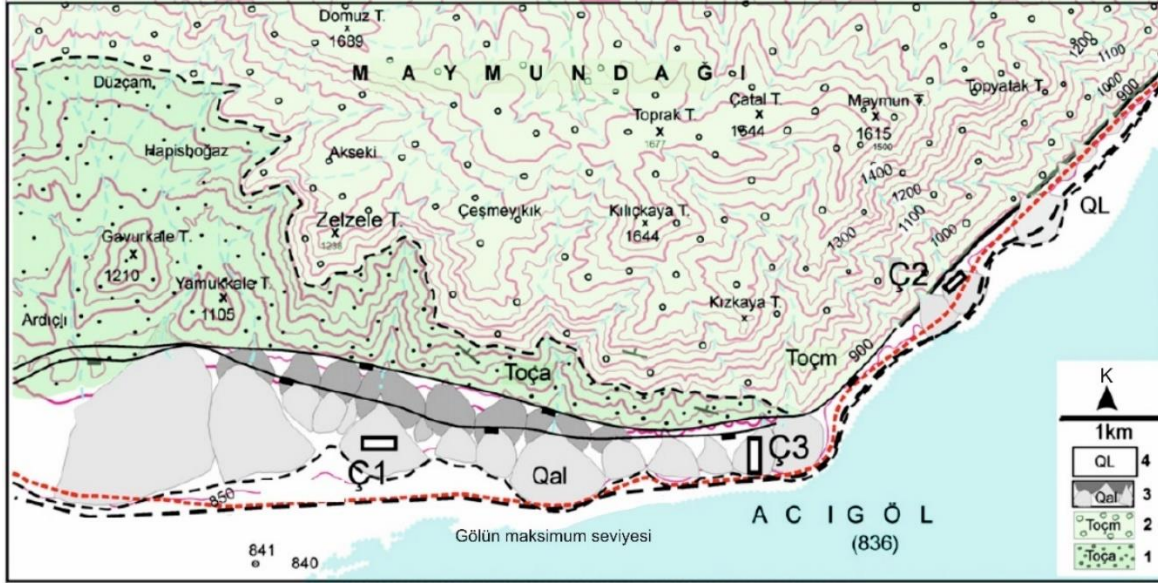
Maymundağı'nın önünde ve Gemiş köyü gerisinde falez olarak değerlendirilen bugünkü göl seviyesinden yaklaşık 30 m yukarıdaki çizgisel hattır. Erinç'e göre, Acıgöl'de Burdur gölünde var olan daha yüksek göl su seviyelerinin olmayışı ise Acıgöl'ün yükselen sularının Bozkurt batısındaki topoğrafik oluktan batıya taşmasından kaynaklanmış olmalıdır (Erinç, 1967).



Şekil 13. Erinç'in Acıgöl ve civarını içeren jeomorfoloji haritası  
Kaynak: Erinç, 1967

Bu araştırmanın dışında alandaki yelpaze istifleri Kazancı vd. (2012) tarafından içerisinde tespit edilen tuf seviyesi dikkate alınarak araştırılmıştır (Şekil 14). Çalışmada, stratigrafik olarak tuf tabakasının alt ve üst seviyelerinde belirlenen iki paleosol seviyesi radyokarbon tarihlendirme yöntemi ile yaşlandırılmıştır. Buna göre günümüzden 5380±90 ve 2395±65 yıl öncesine ait paleosol seviyeleri ve depolanma hızı dikkate alınarak tuf deposunun günümüzden 4750 ile 3385 yılları arasında bir dönemde çökeldiği sonucuna ulaşılmıştır (Kazancı vd., 2012). Alüvyal dolgularda detaylı gözlem yapan araştırmacı, Erinç'in (1967) morfolojik tanımlamasının aksine sedimantolojik ve litolojik gözlemlere dayanarak, göl seviyesinin Geç Kuvaterner'den beri alüvyal dolguların gelişimini etkileyecek veya taşma boğazını oluşturacak şekilde 845 m yüksekliğin üzerine çıkmadığı sonucuna ulaşılmıştır (Kazancı vd., 2012).



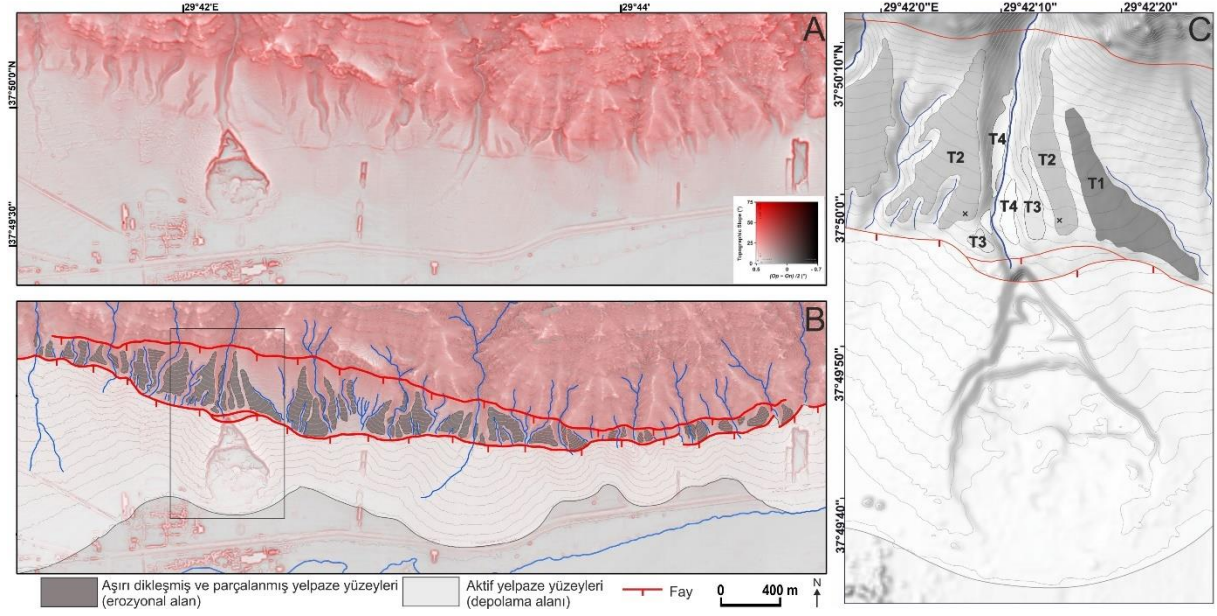


Şekil 14. Kazancı tarafından Maymundağı önünde depolanan alüvyal yelpaze istiflerini gösteren harita (Kazancı vd., 2012'den değiştirilerek alınmıştır). Ç1, Ç2 ve Ç3 tefra seviyesi belirlenen yelpazeleri göstermektedir.

Bu çalışma kapsamında Maymundağı alüvyal yelpazelerinin morfolojik gelişimlerinin açıklanabilmesi için detaylı arazi gözlemleri ve haritalama çalışmaları yapılmıştır. Alanın sayısal yükseklik modelleri kullanılarak oluşturulan kırmızı rölüf haritası ile farklı seviyeli alüvyal yelpaze yüzeyleri birbirinden ayırt edilmiştir (Şekil 15). Bunlardan daha dik ve yelpazeyi oluşturan akarsular tarafından kesilen alüvyal yelpaze yüzeyleri ile akarsuyun önünde çökelim gösteren daha düşük eğimli aktif yelpazeler ayrı birimler olarak haritalanmıştır.

Yapılan arazi çalışmalarında bu birimler arasındaki oldukça net çizgisellik ile belirgin topoğrafyadaki eğim kırıklığı ayrıntılı bir şekilde araştırılmıştır. Alüvyal yelpaze deposunda açılan kumçakıl ocağında, haritalama çalışmalarında tespit edilen çizgisellik ile çakışan fayın varlığı gözlenmiştir (Şekil 15, 16). Ocak duvarında fayın izi, krem renkli moloz akışı ve gri renkli flüvyal akışın ürünü olan birimlerde oldukça net görülen atım ile karakteristiktir (Şekil 16.B). Bunun yanı sıra, fayın yükselen bloğunda yapılan haritalama çalışmaları alanda gelişen sekilerin varlığını ortaya koymuştur (Şekil 15.C). Bu blok üzerinde kalan yelpaze yüzeylerinde, fayın sarplığından itibaren gelişim gösteren yarıntı erozyonu da yine haritalama çalışmaları ile ortaya konmuştur. Şekil 15.B'de yer alan haritada fay çizgiselliğinden itibaren geriye doğru gelişim gösteren bu yarıntı erozyonu net olarak görülmektedir.





**Şekil 15.** A. Maymundağı fayının D-B doğrultulu kesiminde iç içe geçmiş yelpazelerin olduğu alanın kırmızı kabartma haritası (Chiba vd., 2008). B. Harita üzerine işlenen yelpaze yüzeyleri. Kırmızı çizgi ile gösterilen fay sarplığından itibaren akarsuyun kaynak kesimine doğru gelişen yarıntı erozyonu baskın bir şekillenmedir C. Yeri B'de siyah kare ile işaretli yelpazenin detay haritası. Dolguyu kesen fayın yükselen bloğunda kalan alanda akarsuyun kazması sonucunda gelişen seki basamakları yaşlıdan (T1) gence (T4) doğru numaralandırılmıştır.



**Şekil 16.** A. Şekil 15.C'de detay haritası gösterilen yelpaze üzerinde açılan kum-çakıl ocağının fotoğrafı. Ocak duvarında tespit edilen fayın izi siyah oklarla işaretlenmiştir. Yüzeyle fayın izi ile çakışan eğim kırıklığı beyaz kalın ok ile gösterilmiştir. B. 15.A'da gösterilen fayın alüvyal dolgunun doğusunda açılan diğer bir kazı alanında açığa çıkan kesiti. Siyah oklar ile istifin altında iki ana kol olarak izlenen fayın, yukarıya doğru birkaç kola ayrılan izi işaretlenmiştir. Kesitte görülen üst yüzey yapay olarak ocak çalışmaları sırasında düzenlenmiştir.

Haritalama ve arazi çalışmaları ile elde edilen bu veriler birlikte değerlendirildiğinde, iki farklı alüvyal yelpaze yüzeyinin gelişiminin fay ile kontrol edildiği belirlenmiştir. Yelpaze yüzeylerini kesen faylanma fayın yükselen bloğunda akarsuyun deposunu kazmasına neden olmuş, akarsuyun denge profilini sağlamak için kazması sekilerin gelişimi ile sonuçlanmıştır. Bunun yanı sıra oluşan eğim kırıklığı, yarıntı erozyonunun fayın yükselen bloğu boyunca gelişimini başlatmıştır. Fayın düşen bloğunda ise faylanma nedenli çökme yeni depolanmanın bu alana kayması ile sonuçlanmıştır. Böylece bölgede fayın aktivitesi dağ önünde gelişen erozyonal alan ile aktif depolanma görülen alanın sınırını denetlemiştir (Şekil 15).

## **5. Sonuçlar**

Alüvyal yelpazelerin morfolojik gelişimi, iklimsel ve tektonik değişkenlere duyarlıdır ve farklı koşullar altında evrimleşebilir. Bu evrimsel süreçlerin ayrıştırılması, detaylı gözlemler ve yaşlandırma çalışmalarını gerektirmektedir. Bu çalışmada Acıgöl grabeninin kuzeyini sınırlayan Maymundağı fayının önünde çökelen iç içe geçmiş alüvyal yelpaze sisteminin morfolojik gelişimi değerlendirilmiştir. Daha önceki çalışmalarda alanda ki gelişim için Erinç (1967) tarafından iklim kaynaklı taban suyu seviyesinin etkisi önerilmiş, ardından Kazancı vd. (2012), taban suyunun gelişimi oluşturacak yüksekliğe ulaşmadığını dolgu içindeki sedimantolojik veya litolojik gözlemler ile ilişkili olarak ortaya koyulmuştur. Bu çalışmada yapılan gözlemler alüvyal yelpazede kazılmayı tetikleyen unsurun yelpaze depolarını kesen ikincil faylanma olduğunu ortaya koymaktadır. Bu gelişim yalnızca fay ile sınırlı alanda kalması da gelişimin tektonizma kökenini desteklemektedir.

## **Teşekkür ve Bilgilendirme**

Esra Tunçel'in 'Acıgöl Grabeni'nin Tektonik Aktivitesi ve Tektonik Jeomorfolojisi' başlıklı doktora tezinden üretilen bu çalışma Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) birimi tarafından 'Acıgöl Grabeni'nin Tektonik Aktivitesi ve Tektonik Jeomorfolojisi' başlıklı '21L0649002' numaralı proje ile desteklenmiştir. Arazi çalışmalarındaki destek ve katkılarından dolayı Harun Tunçel ile Ergin Gökkaya'ya, değerli önerileri için editörlere ve hakemlere teşekkür ederiz.



# Factors Affecting the Morphological Development of Alluvial Fans: The Example of Maymundağı Alluvial Fans

Esra Tunçel<sup>\*a</sup>, İhsan Çiçek<sup>b</sup>, Gürol Seyitoğlu<sup>c</sup>

Submitted: 03.07.2023

Accepted: 19.08.2023

## EXTENDED ABSTRACT

### 1. Introduction

Alluvial fans are distinctive depositional landforms that form when the river's transport capacity diminishes as it transitions from a mountainous or hilly terrain to a flatter expanse (Bull, 1977). The juncture at which sediment-laden streams transition from their basin and initiate the process of accumulation is designated as the fan apex (Drew, 1873). Extending outward from this focal point, the alluvial fan's topography gently slopes towards the proximal sector of the fan (Harvey, 2004). The distinctive topographic arrangement of alluvial fans displays a concave radial profile, complemented by a convex cross-fan profile (Bull, 1977).

A primary concept crucial to understanding the dynamics of alluvial fans involves the interplay between stream power-representing the accessible energy for sediment transport-and critical power, which signifies the energy necessary for sediment conveyance. This intricate equilibrium is commonly referred to as the "threshold of critical power" (Bull, 1979), and it significantly shapes the patterns of erosion and deposition within alluvial fan systems.

In instances where stream power falls below critical power, sediment accumulates within the alluvial fillings, categorizing this type of fan as an 'aggrading fan' (Harvey, 2018). Conversely, when the river's power surpasses the critical threshold, the river incises through its sediment accumulation from the apex, giving rise to a 'fanhead trench' (Eckis, 1928). The progression of these incisive processes prompts the gradual migration of the active depositional region towards the distal sections of the fan, thereby leading to what is commonly known as 'prograding fans' (Harvey, 2018).

### 2. Factors Affecting Alluvial Fan Morphology

Morphological development of alluvial fans is affected by climate and tectonic variables and related changes in base level (Bull, 1979; Harvey, 2018). Climatic factors, encompassing precipitation, temperature, and vegetation, wield significant influence over bedrock weathering, sediment yield, and

\* **Corresponding Author:** esratuncel5290@gmail.com

<sup>a</sup>Bilecik Şeyh Edebali University, Faculty of Humanities and Social Sciences, Department of Geography, Bilecik/Türkiye, <https://orcid.org/0000-0001-7434-4111>

<sup>b</sup>Ankara University, Language and History-Geography Faculty, Coğrafya Bölümü, Ankara/Türkiye, <https://orcid.org/0000-0002-9000-2805>

<sup>c</sup>Ankara University, Department of Geological Engineering, Tectonics Research Group, Ankara/Türkiye, <https://orcid.org/0000-0001-7993-898X>



event frequencies (Blair and McPherson, 2009). These factors, in turn, shape the dynamics of erosion and deposition on alluvial fans. An illustrative example of climatic-induced changes includes extreme storm events and so a notable rise in flood power, leading to an incision into the apex region of a fan (Bowman, 2019; Harvey, 2018). In contrast, under high sediment supply conditions, the stream power falls below critical power and aggradation occurs (Bowman, 2019).

Climatic fluctuations also play a pivotal role in altering base levels within regions characterized by Quaternary eustatic sea level changes and former Pleistocene pluvial lakes, which have since transformed into arid terrains (Harvey, 2002). However, the morphological evolution observed in the fan system within these areas has been attributed not solely to changes in the base water level but also to the synergistic interplay between climate and variables within the river basin (Harvey, 2002). Basically, a drop in base level causes excavation in the distal part of the fan (Harvey, 2002; Harvey et al., 1999). However, other examples have shown that the rise in ground level due to slope conditions is also effective in the excavation of alluvial fans (Harvey, 2002).

The continuous evolution of accommodation space, driven by significant tectonic activity along the mountain front, gives rise to substantial deposits of alluvial fans (Bull, 1964, 1968). Under these circumstances, alluvial fan deposits take on the form of relatively compact, thick layers characterized by steep slopes (Özpolat et al., 2022; Viseras et al., 2003). The ongoing deposition process prevents incisions and the development of headward-eroding gullies (Calvache et al., 1997; Viseras et al., 2003). On the contrary, regions with low tectonic activity experience prominent incisions, leading to the extension of deposition towards the lower reaches of the fan (Bull, 1968; Viseras et al., 2003). This results in elongated geometries featuring less steep surfaces and the establishment of deep gullies eroding headward (Calvache et al., 1997).

The morphological evolution of alluvial fans is also affected by the base-level change, which is influenced by both regional and local tectonic. For instance, regional uplift prompts the incision of fan accumulations situated in front of mountains, leading to the deepening of river incision (Harvey, 2002). In contrast, localized uplift confined to alluvial fans only has limited effects. An example is seen when a normal fault truncates the lower segments of the fan, causing headward erosion on the upthrown side of the fault, coupled with deposition in front of each scarp within the downthrown block (Blair and McPherson, 2009; McCalpin, 2009).

A fault which truncated fan surfaces serves as a crucial reference point for measuring displacement in tectonic geomorphology studies (Burbank and Anderson, 2013; McCalpin, 2009). Particularly alluvial fans intersected by strike-slip faults have become key benchmarks for determining fault slip rates in various tectonic geomorphology investigations (Frankel, et al., 2007; Matmon et al., 2005; Nissen et al., 2009; Sarıkaya et al., 2015; Yıldırım et al., 2016).

### **3. Determination of the Controlling Factor of Alluvial Fan Morphology**

In order to comprehensively understand the effects of tectonic, climate and related base-level variations on alluvial fan morphology, it is imperative to adopt a meticulous approach involving detailed observations, stratigraphic analyses, and dating studies. When viewed in a broader context, the

alterations in alluvial fan morphology attributed to climate-related influences are expected to display consistent spatial patterns and responses of similar ages, reflective of corresponding shifts in climate (Bowman, 2019; Harvey, 2002). While the changes induced by climate span the entire expanse of the fan, the effects of tectonic activity are manifested as cycles of localized erosion and deposition, predominantly concentrated within specific fault-influenced sections (Bowman, 2019; Harvey, 2002). Moreover, localized tectonic activities give rise to confined alterations, which may even diverge between adjacent fault segments (Calvache et al., 1997). Additionally, the positioning of faulting within the fan results in diverse outcomes in terms of morphological changes (McCalpin, 1981; McCalpin, 2009). This underscores the paramount importance of investigating clusters of fans encircling the basin, allowing for a clear differentiation between the local or regional effects.

#### **4. Development of Maymundağı Alluvial Fans in the North of Acıgöl Graben**

The Acıgöl Graben is located in western Turkey and developed on the units of the Lycian nappe sequence in the south and the Oligocene shallow marine sequence deposited in the hanging wall of the Datça-Kale main breakaway fault which causes the Menderes massif to exhume as an asymmetric core complex (Elmas et al. 2019; Seyitoğlu et al. 2004;). The modern Acıgöl graben is controlled along its southeastern margin by Acıgöl fault and Maymundağı faults in the northwestern margin. The sedimentation in this enclosed depression started in the late Miocene-Pliocene (Göktaş et al., 1989; Şenel, 1997).

On the northeastern margin of the graben, the Maymundağı fault juxtaposes Oligocene sediments with Quaternary alluvial deposits. The fault follows a NE-SW strike that transitions into an E-W direction in the southern region. The configuration of two distinct alluvial fan systems was observed along the E-W trending mountain front. Erinç, in 1967, identified and discussed this morphological arrangement, proposing that it could be attributed to either a decrease in the base level or an uplift within the area. In the study, substantiating evidence was presented, revealing a Pleistocene lake level that exceeded the current level by 35 meters (Erinç, 1967). Consequently, the morphological evolution of the alluvial fan was associated with the base level drop. According to this, the older cones, situated at higher elevations and characterized by steeper gradients, underwent incisions of 40-50 meters, ultimately giving rise to newer cones nested within the pre-existing ones. Another study by Kazancı et al. (2012) examined the fans with a specific focus on the incorporated tephra layer within the alluvial fan stratigraphy. The tephra layer deposited between 5380±90 and 2395±65 yrs cal. BP, potentially spanning from around 4750 to 3385 yrs cal. BP as indicated by radiocarbon dating of two palaeosol layers within the upper and lower levels of tephra (Kazancı et al., 2012). Based on lithological and sedimentological evidence, the researchers reached conclusions that diverged from Erinç's morphological interpretation. Contrary to his assessment, they argued that the lake level had not risen beyond an elevation of 845 meters during the Late Quaternary, thereby dismissing any substantial influence on alluvial deposition (Kazancı et al., 2012).

In the context of this study, comprehensive field observations and mapping studies were undertaken to elucidate the morphological evolution of Maymundağı alluvial fans. In this section, there exist two parallel fault strands with distinct characteristics. The northern fault strand functions as the

main basin bounding fault, which is situated at the mountain base. Concurrently, the southern strand is an intra-basin fault, identifiable by its escarpment morphology which displaces both alluvial fan surfaces and associated deposits. Within this framework, two generations of alluvial fans are identified: (1) oversteepened and dissected old fan surfaces confined to the footwall block, and (2) active fans within the downthrown block, their apexes coinciding with fault scarp intersections. Field observations also identified the intra-basin fault, which is evident in a sand-gravel quarry excavated within the alluvial fan deposit. This observation highlights how faulting truncated the fan surfaces and caused river incisions along the upthrown fault block. Moreover, the fault scarp initiated gully erosion on the uplifting block. Conversely, subsidence induced by faulting in the downthrown block facilitated the redirection of new sediment deposition. As a result, fault activity in the region delineated the boundary between the erosional zone in front of the mountain and the area of active deposition.

### Referanslar/References

- Al-Farraj, A., Harvey, A. M., (2000). Desert pavement characteristics on wadi terrace and alluvial fan surfaces: Wadi Al-Bih, UAE and Oman. *Geomorphology*, 35 (3-4), 279-297. doi: 10.1016/S0169-555X(00)00049-0
- Ardos, M. (1968). Bornova Birikinti Konisi. Le cône de déjection de Bornova (Izmir, Turquie). *Scient. Rep. Fac. Sci. Ege Univ.*, 61.
- Bierman, P. R., Gillespie, A.R., Caffee, M. W., (1995). Cosmogenic ages for earthquake recurrence intervals and debris flow fan deposition, Owens Valley, California. *Science*, 270 (5235), 447-450. doi: 10.1126/science.270.5235.447
- Blair, T. C., McPherson, J. G., (2009). Processes and Forms of Alluvial Fans. Anthony J. Parsons, Athol D. Abrahams (Eds.), in *Geomorphology of Desert Environments* (413-467) Springer, Dordrecht.
- Bowman, D. (1978). Determination of intersection points within a telescopic alluvial fan complex. *Earth Surface Processes*, 3 (3), 265-276. doi: 10.1002/esp.3290030306
- Bowman, D. (2019). *Principles of alluvial fan morphology* (p. 151). Dordrecht: Springer.
- Brazier, V., Whittington, G., Ballantyne, C.K., (1988). Holocene debris cone evolution in Glen Etive, Western Grampian Highlands, Scotland. *Earth Surface Processes and Landforms*, 13 (6), 525-531. doi: 10.1002/esp.3290130606
- Brown, E., Bendick, R., Bourles, D., Gaur, V., Molnar, P., Raisbeck, G., Yiou, F., (2003). Early Holocene climate recorded in geomorphological features in Western Tibet. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 199 (1-2), 141-151. doi: 10.1016/S0031-0182(03)00501-7
- Bull, W. B. (1964). *Geomorphology of Segmented Alluvial Fans in Western Fresno County, California*. US Government Printing Office, Washington.
- Bull, W. B. (1968). Alluvial fans. *Journal of Geological Education*, 16 (3), 101-106. doi: 10.5408/0022-1368-XVI.3.101
- Bull, W. B. (1977). The alluvial-fan environment. *Progress in Physical geography*, 1 (2), 222-270. doi: 10.1177/030913337700100202
- Bull, W. B. (1979). Threshold of critical power in streams. *Geological Society of America Bulletin*, 90 (5), 453-464. doi: 10.1130/0016-7606(1979)90<453:TOCPIS>2.0.CO;2
- Bull, W. B. (1991). *Geomorphic Responses to Climatic Change*. Oxford University Press, New York.
- Burbank, D. W., Anderson, R. S. (2013). *Tectonic Geomorphology*. Blackwell, Massachusetts.
- Calvache, M. L., Viseras, C., Fernández, J. (1997). Controls on fan development evidence from fan morphometry and sedimentology; Sierra Nevada, SE Spain. *Geomorphology*, 21 (1), 69-84. doi: 10.1016/S0169-555X(97)00035-4
- Chiba, T., Kaneta, S.-i., Suzuki, Y. (2008). Red relief image map: new visualization method for three dimensional data. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37(B2), 1071-1076.
- Chiverrell, R., Harvey, A., Hunter, S., Millington, J., Richardson, N. J. (2008). Late Holocene environmental change in the Howgill Fells, northwest England. *Geomorphology*, 100 (1-2), 41-69. doi: 10.1016/j.geomorph.2007.04.036
- Chiverrell, R., Jakob, M. (2012). Radiocarbon Dating: Alluvial Fan/Debris Cone Evolution and Hazards, Michael Schneuwly-Bollschweiler, Markus Stoffel, Florian Rudolf-Miklau, (Eds.), *Dating Torrential Processes on Fans and Cones*:



- Methods and Their Application for Hazard and Risk Assessment*, (265-282). Springer,
- Colombo, F. (2005). Quaternary telescopic-like alluvial fans, Andean Ranges, Argentina. *Geological Society*, London, Special Publications, 251 (1), 69-84. doi: 10.1144/GSL.SP.2005.251.01.06
- Demory, F., Rambeau, C., Lebatard, A.-E., Perrin, M., Blawal, S., Andrieu-Ponel, V., Rochette, P., Alçiçek, H., Boulbes, N., Bourles, D. (2020). Chronostratigraphy, depositional patterns and climatic imprints in Lake Acıgöl (SW Anatolia) during the Quaternary. *Quaternary Geochronology*, (56), 101038. doi: 10.1016/j.quageo.2019.101038
- Drew, F. (1873). Alluvial and lacustrine deposits and glacial records of the Upper-Indus Basin. *Quarterly Journal of the Geological Society*, 29 (1-2), 441-471. doi: 10.1144/GSL.JGS.1873.029.01-02.39
- Durukal, A. (1978). Edremit Ovası Kuzeybatı kesiminde yeralan birikinti yelpazelerinin morfolojik gelişimleri. *Jeomorfoloji Dergisi*, 7, 35-54.
- Eckis, R. (1928). Alluvial fans of the Cucamonga district, southern California. *The Journal of Geology*, 36 (3), 224-247. doi: 10.1086/623509
- Elmas, G., Seyitoğlu, G., Kazancı, N., Veysel, I. (2019). Oligosen yaşlı Datça-Kale-Acı Göl havzasında çökeltme ile eş yaşlı tektonizma izleri, Batı Anadolu. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi* (160), 1-20. doi: 10.19111/bulletinofmre.478093
- Erinç, S., (1967). Acıgöl'ün pleistosendeki seviyesi hakkında. *İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Dergisi*, 16, 141-143.
- Frankel, K. L., Dolan, J. F., Finkel, R. C., Owen, L. A., Hoefl, J. S. (2007). Spatial variations in slip rate along the Death Valley-Fish Lake Valley fault system determined from LiDAR topographic data and cosmogenic <sup>10</sup>Be geochronology. *Geophysical Research Letters*, 34 (18). 1-6. doi: 10.1029/2007GL030549, 2007
- Göktaş, F., Çakmaköğlu, A., Tarı, E., Sütçü, Y.F., Sarıkaya, H. (1989). Çivril-Çardak Arasının Jeolojisi. *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Genel Müdürlüğü*, 8701, 109.
- Gül, M., Çetin, E., Küçükysal, C., Gülcan, M., Kahveci, Y. (2021). Recent alluvial fan developments in Muğla (SW Turkey). *Arabian Journal of Geosciences*, 14 (9), 819. doi: 10.1007/s12517-021-07159-3
- Harvey, A. M. (2002). The role of base-level change in the dissection of alluvial fans: case studies from southeast Spain and Nevada. *Geomorphology*, 45 (1-2), 67-87. doi: 10.1016/S0169-555X(01)00190-8
- Harvey, A. M. (2004). *Alluvial Fans*. Goudie, A. S., (Ed.), Encyclopedia of Geomorphology, Routledge, London.
- Harvey, A. M. (2018). Alluvial Fans, *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. Elsevier.
- Harvey, A. M., Oldfield, F., Baron, A., Pearson, G. (1981). Dating of post-glacial landforms in the central Howgills. *Earth Surface Processes and Landforms*, 6 (5), 401-412. doi: 10.1002/ESP.3290060502
- Harvey, A. M., Silva, P. G., Mather, A. E., Goy, J. L., Stokes, M., Zazo, C. (1999). The impact of Quaternary sea-level and climatic change on coastal alluvial fans in the Cabo de Gata ranges, southeast Spain. *Geomorphology*, 28 (1-2), 1-22. doi: 10.1016/S0169-555X(98)00100-7
- Harvey, A. M., Wigand, P. E., Wells, S. G. (1999). Response of alluvial fan systems to the late Pleistocene to Holocene climatic transition: Contrasts between the margins of pluvial Lakes Lahontan and Mojave, Nevada and California, USA. *Catena*, 36 (4), 255-281. doi: 10.1016/S0341-8162(99)00049-1
- Helvacı, C., Alçiçek, M.C., Gündoğan, İ., Gemici, Ü. (2013). Tectonosedimentary development and palaeoenvironmental changes in the Acıgöl shallow-perennial playa-lake basin, SW Anatolia, Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 22 (2), 173-190. ISSN: 1300-0985
- Hooke, R. L. (1967). Processes on arid-region alluvial fans. *The Journal of Geology*, 75 (4), 438-460. <https://www.jstor.org/stable/30085004> adresinden edinilmiştir.
- Ivy-Ochs, S., Dühnforth, M., Densmore, A.L., Alfimov, V. (2013). Dating Fan Deposits With Cosmogenic Nuclides. Michael Schneuwly-Bollschweiler, Markus Stoffel, Florian Rudolf-Miklau (Eds.), *Dating Torrential Processes on Fans and Cones: Methods and Their Application for Hazard and Risk Assessment*, (243-263). doi: 10.1007/978-94-007-4336-6\_16
- Kazancı, N. (1990). *Fan-delta* Sequences in The Pleistocene and Holocene Burdur Basin, Turkey: The Role of Basin-Margin Configuration in Sediment Entrapment And Differential Facies Development. Colella, A., Prior, B. D. (Ed). *Coarse-Grained Deltas*: (183-198).
- Kazancı, N., Boyraz, S., Özkul, M., Alçiçek, M.C., Kadioğlu, Y. (2012). Late Holocene terrestrial tephra record at western Anatolia, Turkey: Possible evidence of an explosive eruption outside Santorini in the eastern Mediterranean. *Global and Planetary Change*, 80, 36-50. doi: 10.1016/j.gloplacha.2011.09.007
- Kazancı, N., Özkul, M., Alçiçek, M., Karadenizli, L. (2006). Acıgöl Grabeni'ndeki Geç Kuvaterner yaşlı "havza kenarı"

- torullarının fasiyesi özellikleri ve göl seviyesi değişimi açısından yorumlanması. Dirik, K., Özsayın, E., Kutluay, A. (Ed.), Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özleri Kitabı içinde (s.20-24).
- Lal, D. (1991). Cosmic ray labeling of erosion surfaces: in situ nuclide production rates and erosion models. *Earth and Planetary Science Letters*, 104 (2-4), 424-439. doi: 10.1016/0012-821X(91)90220-C
- Lattman, L. H. (1973). Calcium carbonate cementation of alluvial fans in southern Nevada. *Geological Society of America Bulletin*, 84 (9), 3013-3028.
- Leeder, M., Mack, G. (2001). Lateral erosion ('toe-cutting') of alluvial fans by axial rivers: Implications for basin analysis and architecture. *Journal of the Geological Society*, 158 (6), 885-893. doi: 10.1144/0016-760000-198
- Lian, O. B., Roberts, R. G. (2006). Dating the Quaternary: progress in luminescence dating of sediments. *Quaternary Science Reviews*, 25 (19-20), 2449-2468. doi: 10.1016/j.quascirev.2005.11.013
- Machette, M. N. (1985). *Calcic soils of the southwestern United States*. Weide, D. L. (Ed). Soils and Quaternary Geology of the Southwestern United States, Geological Society of America.
- Mahan, S. A., Miller, D. M., Menges, C. M., Yount, J. C. (2007). Late Quaternary stratigraphy and luminescence geochronology of the northeastern Mojave Desert. *Quaternary International*, 166 (1), 61-78. doi: 10.1016/j.quaint.2006.12.010
- Matmon, A., Schwartz, D., Finkel, R., Clemmens, S., Hanks, T. (2005). Dating offset fans along the Mojave section of the San Andreas fault using cosmogenic <sup>26</sup>Al and <sup>10</sup>Be. *Geological Society of America Bulletin*, 117 (5-6), 795-807. doi: 10.1130/B25590.1
- McCalpin, J. (1981). *Quaternary geology and neotectonics of the west flank of the northern Sangre de Cristo Mountains, south-central Colorado*. Colorado School of Mines, Basılmamış Doktora Tezi, Colorado.
- McCalpin, J. P. (2009). *Paleoseismology in extensional tectonic environments*. In James P. McCalpin (Ed.) *International geophysics*, 95: (171-269).
- Mériaux, A.S., Tapponnier, P., Ryerson, F., Xiwei, X., King, G., Van der Woerd, J., Finkel, R., Haibing, L., Caffee, M., Zhiqin, X. (2005). The Aksay segment of the northern Altyn Tagh fault: Tectonic geomorphology, landscape evolution, and Holocene slip rate. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 110 (B4). doi: 10.1029/2004JB003210
- Murray, A.S., Olley, J. M. (2002). Precision and accuracy in the optically stimulated luminescence dating of sedimentary quartz: a status review. *Geochronometria*, 21 (1), 1-16. <http://hdl.handle.net/102.100.100/197142?index=1> adresinden edinilmiştir.
- Nilsen, T. H. (1982). *Alluvial fan deposits*. Scholle, P., Spearing, D (Ed.) Sandstone Depositional Environments: AAPG Memoir 31, 49-86.
- Nissen, E., Walker, R.T., Bayasgalan, A., Carter, A., Fattahi, M., Molor, E., Schnabel, C., West, A.J., Xu, S. (2009). The late Quaternary slip-rate of the Har-Us-Nuur fault (Mongolian Altai) from cosmogenic <sup>10</sup>Be and luminescence dating. *Earth and Planetary Science Letters*, 286 (3-4), 467-478. <https://web.uvic.ca/~enissen/papers/nissen-et-al-2009-EPSL.pdf> adresinden edinilmiştir.
- Nott, J., Thomas, M., Price, D. (2001). Alluvial fans, landslides and Late Quaternary climatic change in the wet tropics of northeast Queensland. *Australian Journal of Earth Sciences*, 48 (6), 875-882. doi: 10.1046/j.1440-0952.2001.00906.x
- Owen, L. A., Cunningham, D., Richards, B. W., Rhodes, E., Windley, B. F., Dorjnamjaa, D., Badamgarav, J. (1999). Timing of formation of forebergs in the northeastern Gobi Altai, Mongolia: implications for estimating mountain uplift rates and earthquake recurrence intervals. *Journal of the Geological Society*, 156 (3), 457-464. doi: 10.1144/gsjgs.156.3.0457
- Özpolat, E., Yıldırım, C., Görüm, T., Gosse, J. C., Şahiner, E., Sarıkaya, M. A., Owen, L. A. (2022). Three-dimensional control of alluvial fans by rock uplift in an extensional regime: Aydın Range, Aegean extensional province. *Scientific Reports*, 12 (1), 15306. doi: 10.1038/s41598-022-19795-0
- Robinson, R., Spencer, J., Strecker, M., Richter, A., Alonso, R. N. (2005). Luminescence dating of alluvial fans in intramontane basins of NW Argentina. Harvey, A.M., Mather, A.E., Stokes, M. (Ed.) *alluvial fans: geomorphology, sedimentology, dynamics*. Geological Society, London: Special Publications, 251 (1), 153-168.
- Sancho, C., Peña, J. L., Rivelli, F., Rhodes, E., Muñoz, A. (2008). Geomorphological evolution of the Tilcara alluvial fan (Jujuy Province, NW Argentina): Tectonic implications and palaeoenvironmental considerations. *Journal of South American Earth Sciences*, 26 (1), 68-77. doi: 10.1016/j.jsames.2008.03.005
- Sarıkaya, M. A., Yıldırım, C., Çiner, A. (2015). No surface breaking on the Ecemiş Fault, central Turkey, since Late Pleistocene (~64.5ka); new geomorphic and geochronologic data from cosmogenic dating of offset alluvial fans. *Tectonophysics*,

- (649), 33-46. doi: 10.1016/j.tecto.2015.02.022
- Seyitoğlu, G., Işık, V., Cemen, I. (2004). Complete Tertiary exhumation history of the Menderes massif, western Turkey: an alternative working hypothesis. *Terra Nova*, 16 (6), 358-364. doi: 10.1111/j.1365-3121.2004.00574.x
- Seyitoğlu, G., Esat, K., Kaypak, B. (2017). The neotectonics of southeast Turkey, northern Syria, and Iraq: the internal structure of the Southeast Anatolian Wedge and its relationship with recent earthquakes. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 26 (2), 105-126. doi: 10.3906/yer-1605-21
- Seyitoğlu, G., Tunçel, E., Kaypak, B., Korhan, E., Gökkaya, E. (2022). The Anatolian Diagonal: a broad left-lateral shear zone between the North Anatolian Fault Zone and the Aegean/Cyprus arcs. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 65 (2), 93-116. doi: 10.25288/tjb.1015537
- Silva, P. G., Harvey, A. M., Zazo, C., Goy, J. L. (1992). Geomorphology, depositional style and morphometric relationships of Quaternary alluvial fans in the Guadalentin depression (Murcia, southeast Spain). *Zeitschrift für Geomorphologie*, 36 (3), 325-341. doi: 10.1127/zfg/36/1992/325
- Singh, A.K., Parkash, B., Mohindra, R., Thomas, J., Singhvi, A. (2001). Quaternary alluvial fan sedimentation in the Dehradun valley piggyback basin, NW Himalaya: tectonic and palaeoclimatic implications. *Basin Research*, 13 (4), 449-471. doi: 10.1046/j.0950-091x.2001.00160.x
- Sohn, M., Mahan, S., Knott, J., Bowman, D., (2007). Luminescence ages for alluvial-fan deposits in Southern Death Valley: Implications for climate-driven sedimentation along a tectonically active mountain front. *Quaternary International*, 166 (1), 49-60. doi: 10.1016/j.quaint.2007.01.002
- Surell, A. (1841). *Etude Sur Les Torrents Des Hautes Alpes*, (First Edition), Paris.
- Şenel, M., (1997). *Geological maps of Turkey in 1:100.000 scale, Denizli-J 9 sheet, No:16*. Mineral Research and Exploration Directorate of Turkey, Ankara.
- Viseras, C., Calvache, M. L., Soria, J. M., Fernández, J. (2003). Differential features of alluvial fans controlled by tectonic or eustatic accommodation space. Examples from the Betic Cordillera, Spain. *Geomorphology*, 50 (1-3), 181-202. doi: 10.1016/S0169-555X(02)00214-3
- Wallace, R. E. (1978). Geometry and rates of change of fault-generated range fronts, north-central Nevada. *J. Res. US Geol. Surv*, 6 (5), 637-650. <https://pubs.usgs.gov/publication/70156385> adresinden edinilmiştir.
- Wells, S. G., Harvey, A. M. (1987). Sedimentologic and geomorphic variations in storm-generated alluvial fans, Howgill Fells, northwest England. *Geological Society of America Bulletin*, 98 (2), 182-198. doi: 10.1130/0016-7606(1987)98<182:SAGVIS>2.0.CO;2
- Yıldırım, C., Sarıkaya, M. A., Çiner, A. (2016). Late Pleistocene intraplate extension of the Central Anatolian Plateau, Turkey: Inferences from cosmogenic exposure dating of alluvial fan, landslide, and moraine surfaces along the Ecemiş Fault Zone. *Tectonics*, 35 (6), 1446-1464. doi: 10.1002/2015TC004038