Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 35(2), ss. 279-293, Haziran 2020
Çukurova University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture, 35(2), pp. 279-293, June 2020

Çaldıran Fayı'nın Çaldıran İlçesi Dolayında Paleosismolojik ve Neotektonik Özellikleri

Hakan GÜNEYLİ[*1], Müjdat YAMAN[2], Vildan YILDIRIM[2]

[1]*Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Adana*
[2]*ÇŞB., Yer Bilimsel Etüt Dairesi, Ankara*

Geliş tarihi: 05.04.2020 Kabul tarihi: 30.07.2020

Öz

Sağ yanal atımlı Çaldıran Fayı Türkiye'nin Doğu Anadolu bölgesindeki önemli aktif faylarındandır. Fayın 24 Kasım 1976 tarihinde ürettiği yıkıcı deprem önemli hasar ve can kaybına neden olmuş ve 50-55 km yüzey kırığı oluşturmuştur. Çaldıran ilçesi dolayında yüzey deformasyonları ve paleosismolojik kazı esasına dayalı olarak gerçekleştirilen bu çalışmada son depremde oluşan yüzey kırıklarının korunduğu kesimlerin olduğu saptanmıştır. Yüzey ve paleosismolojik çalışmalar Holosen'de bölgede yüzey kırığı oluşturan (M≥7) en az üç depremin olduğunu göstermektedir. Çaldıran dolayında, son depremde 1,5 m sağ yanal ve 30-40 cm düşey ötelenme saptanmıştır. Ayrıca, 1696'da Çaldıran bölgesinde meydana gelen depremi [18] Çaldıran Fayı'nın ürettiği kabul edilerek tekrarlanma aralığının 280 yıl; kısa dönem yatay kayma hızının 5,36 mm/yıl^{-1} düşey kayma hızının ise 1,43 mm/yıl^{-1} olduğu saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çaldıran fayı, Paleosismoloji, Deprem, Tekrarlanma aralığı, Kayma hızı

Title Paleoseismological and Neotectonic Characteristics of Çaldıran Fault Around Çaldıran District

Abstract

The Çaldıran Fault having a character of strike slip fault with a dextral slip is one of the major active faults in the Eastern Anatolia region of Turkey. The destructive earthquake produced by the fault on November 24, 1976 caused significant damage and loss of life, and created a surface rupture of 50-55 km. In this study carried out on the basis of surface deformation and paleoseismology around the Çaldıran settlement, it was determined that there are fault lines where the surface ruptures occurred in the last earthquake are still protected. The studies of surface investigation and paleoseismological trenching show that there were at least three earthquakes (events) forming surface rupture (M≥7) in the region during the Holocene. Around Çaldıran, 1.5 m right lateral and 30-40 cm vertical ofsetts were measured in the last earthquake. On the other hand, it was determined that the recurrence interval for major earthquakes of 280 years, the short-term horizontal slip rate of 5.36 mm/yr^{-1} and vertical slip rate of 1.43 mm/yr^{-1} considering that the historical earthquake that occurred in the area of Çaldıran district in 1696 [18] was produced by the Çaldıran Fault.

Keywords: Çaldıran fault, Paleoseismology, Earthquake, Recurrence interval, Slip-rate

[*]Sorumlu yazar (Corresponding author): Hakan GÜNEYLİ, *hguneyli@cukurova.edu.tr*

1. GİRİŞ

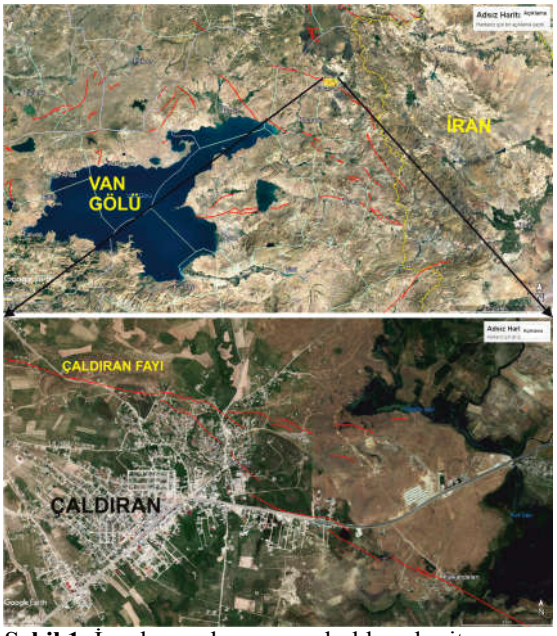
Doğu Anadolun'un önemli yapısal unsurlarından olan Çaldıran Fayı Van gölünün 100 km KD'sunda; Tendürek dağınınsa 23 km güneyinde, BKB-DGD gidişli sağ yönlü doğrultu atımlı bir faydır. Bölgede E.Pliyosen'den itibaren hakim sıkışmalı-açılmalı bir tektonik rejim eşlenik (conjugate) doğrultu atımlı fayların baskın olduğu bir yapı geliştirmiştir [1]. Çaldıran Fayı bu yapı içerisindeki aktif ana faylardandır. Çaldıran Fayı, Tutak Fayı (TF); Erciş Fayı (EF) ve Kuzey Tebriz Fayı (NTF) ile bir sistem oluşturarak Kafkas Blok'unun güney kenarını oluşturur [2,3,4].

Çaldıran Fayı 24.11.1976'de 7,5 büyüklüğündeki Çaldıran Depremi'nde [5], 50-55 km yüzey kırığı ile 2,75 m yanal [5]; 0,5 m'ye kadar düşey [5,6] atım oluşturmuştur. Çaldıran Fayı'nın kayma hızı için yapılan çalışmalarda farklı yöntemler izlenerek 8,7 [7], 8,1 [3], 6,5-7,3 [8] ve 3,27 mm/yıl [4] değerleri bulunuştur. Tekrarlanma aralığı içinse Selçuk ve arkadaşları, [4] elastik blok modellemesi ile 320 yıllık bir hesaplama yaparken aynı çalışmada atımlardan yola çıkarak 3,27 mm/yıllık kayma hızı ile 790 yıllık bir aralık bulmuşlardır.

Bu çalışmada Çaldıran Fayı'nın yüzeylediği Çaldıran yerleşim birimi dolayında özellikle son depremde oluşmuş yüzey kırıklarının hâlâ izlenebildiği kesimlerde paleosismolojik hendek kazıları yapılmış, Kuvaterner birimlerindeki deformasyonlar belirlenmiş ve oluşan deformasyonların eski sanat yapıları üzerindeki izleri analiz edilmiştir. Böylece Çaldıran Fayı'nın aktif tektonik ve depremsellik açısından bir değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir.

2. YÖNTEM

Bu çalışmada öncelikle bölgenin jeolojik özellikleri ve tarihsel-aletsel dönem depremselliği ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir. Devamında çalışmanın esasını oluşturan, aktif tektonik öncelikli saha; aktif fay; paleosismolojik kazı yer seçimi; son depremde oluşmuş ve halen korunmuş yüzey kırıklarının saptanması ve değerlendirilmesi; ve jeolojik birimlerde ve sanat yapılarında oluşmuş aktif fay kökenli deformasyon araştırmaları yapılmıştır. İnceleme alanında 1976 depreminde oluşan yüzey kırıkları büyük ölçüde korunmuş olduğundan paleosismolojik hendek kazı yer seçimlerinde saha çalışmaları yeterli olmuş, herhangi bir jeofizik yönteme gerek kalmamıştır.



Şekil 1. İnceleme alanının yerbulduru haritası

İnceleme alanında Çaldıran Fayı birçok paralel ve yarı paralel bireysel fay kolundan oluştuğu (Şekil 1) için her bir fay kolu numaralandırılmış ve yapılan hendek, saha çalışmaları ve yüzey-mühendislik yapılarındaki deformasyon özellikleri bu fay kolu tanımlamalarına göre gerçekleştirilmiştir.

Çaldıran Fayı ile ilgili paleosismolojik bir çalışma henüz yapılmış değildir. Bu çalışma Çaldıran Fayı üzerinde yapılan ilk paleosismolojik çalışmadır. Bölgedeki Pleistosen ve Holosen yaşlı birimlerin yaşlandırmasında saha gözlemleri, birimlerin deformasyon özellikleri, çimentolanma-tutturulma dereceleri, yaşı bilinen birimlerle olan kesen-kesilen ilişkileri göz önünde bulundurulmuştur. Bölgede Pleistosen dönemine kadar olan birimlerin ayrıntılı radyometrik yaş analizleri mevcuttur [9-11]. Tendürek volkanizmasının son 30.000 yıla

kadar ulaşan yaşı ve bu volkanizma ürünü volkanik birimleri üzerleyen G.Pleistosen yaşlı alüvyal çökeller çalışma için önemli bir kılavuzdur (Şekil 2 ve 3). Tendürek volkanitleri üzerine gelen ve Çaldıran ovasını kaplayan alüvyonlar önceki çalışmalarda G.Pleistosen dönemi ürünü olarak değerlendirilse de yapılan saha çalışmalarında birimin yaşının E.Holosen'e kadar çıktığı belirlenmiştir. Çaldıran Fayı denetiminde gelişen ve deforme edilen karasal birimler alüvyal yelpaze, akarsu alüvyonları, kolüvyal çökeller ve yamaç molozlarıdır. Bunlar çoğu kesimde doğrudan, G.Pleistosen-E.Holosen yaşlı alüvyon üzerine gelmekte olup Pleistosen volkaniklerini üzerlediği alanlar da yaygındır. Bunlar Çaldıran Fayı denetiminde gelişen ve devamında fay tarafından deforme edilen birimlerin açıkça Holosen çökelleri olduğunu gösterir.

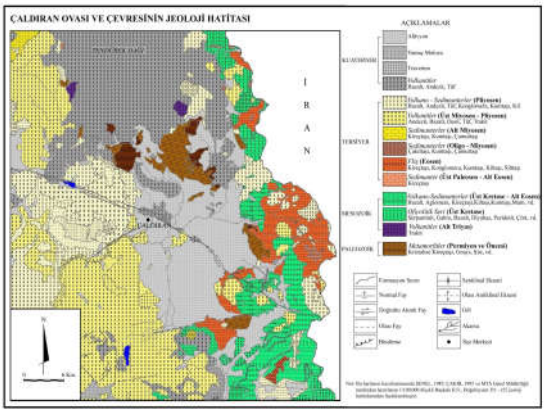
3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. İnceleme Alanının Jeolojisi

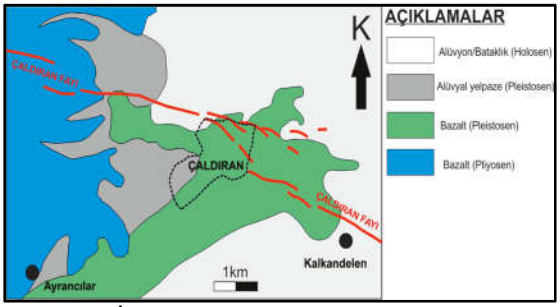
Çaldıran Fayı yakın dolayında yüzeyleyen en yaşlı birimler dört ana grup olarak Pre-Karbonifer metamorfitleri, Jura platform karbonatları ve Geç Kretase ofiyolitleridir. Bu birimler Eosen kireçtaşlarınca üzerlenmektedir (Şekil 2a). G.Miyosen'de başlayan volkanizma bazalt, riyolit ve trakitten oluşan, sırasıyla Aladağ (13.4 Ma) ve Etrüsk (3.7–4.3 Ma, [10]), asitik domlar (Alikelle (13 Ma, [9]), Bemraz (4.41 Ma,) ve Tendürek bazaltik kalkan volkanını oluşturmuştur [9,11,12; 4'den]. Van Gölü'nün kuzeyinde O.Miyosen (15.0-13.5 Ma); G.Miyosen (10-9 Ma); Pliyosen (5.8-3.7 Ma) ve Kuvaterner (1.0-0.4 Ma)'de olmak üzere dört volkanik süreç gelişmiştir [10].

Geniş yayılımlı Çaldıran ovasında yapılan sondajlar 5-10 m kalınlığında bir gölsel ve akarsu çökeli; 20-25 m kalınlığında G.Pleistosen yaşlı yamaç ve alüvyal yelpaze çökellerince kaplandığını gösterir [4]. Geri kalan kesim O.Pleistosen yaşlı (0,49 Ma: [11] akıntı bazaltlarınca kaplanmıştır. Basenin bu volkanizma ile doldurulması Bendimahi tefrite akıntısı (0,29± 0,05 Ma; [10]) ve en genç yayılma olan Ü.Pleistosen yaşlı Mutlu Bazalt akıntısı (30–70ka: [11]) ile sürmüştür. Bu volkanizma sırasında, geniş bataklıklar gelişmiş ve süreci önemli ölçüde etkilemiştir [13]. Bölgeye yayılan geniş bir çatlak volkanizması Tendürek Volkanı ve faylanma başlangıcına bağlı olarak gelişmiştir [4].

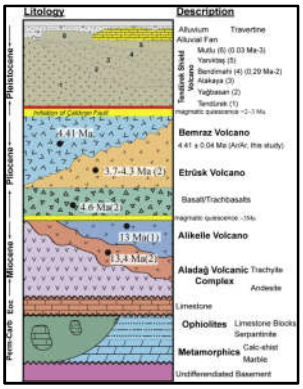
Bölgede çok çeşitli kaya toplulukları yüzeylemesine karşın (Şekil 2.a), doğrudan inceleme alanında (Çaldıran yerleşim birimi ve yakın dolayında) bulunan birimler daha sınırlıdır. Çalışma sahasında en yaşlı kaya birimi Pliyosen yaşlı bazaltlardır. Bunun üzerine Pleistosen yaşlı daha genç bazalt ve daha nadiren aynı volkanizma ürünü trakitler ve tüfler gelmektedir. Bu birimler batı kesimdeki dik yamaçlı alanlarda genel anlamda yine Pleistosen yaşlı alüvyal yelpazeler tarafından örtülmektedir. En genç birimler ise ova tabanını oluşturan düzlük kesimlerde yüzeyleyen gölsel bataklık ve alüvyal çökellerdir (Şekil 2.b)



Şekil 2.a. İnceleme alanı (Çaldıran) dolayının jeoloji haritası [14]'ten



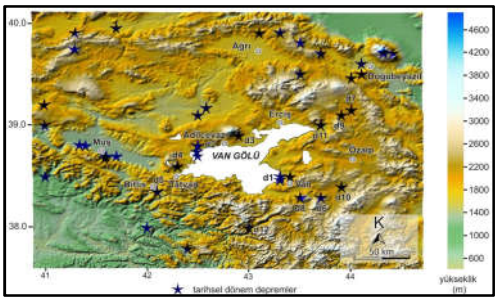
Şekil 2.b. İnceleme alanının ayrıntılı ve diri faylar (Çaldıran Fayı)'ının yerleştirilmiş jeoloji haritası [4 ve 15]'den değiştirilerek)



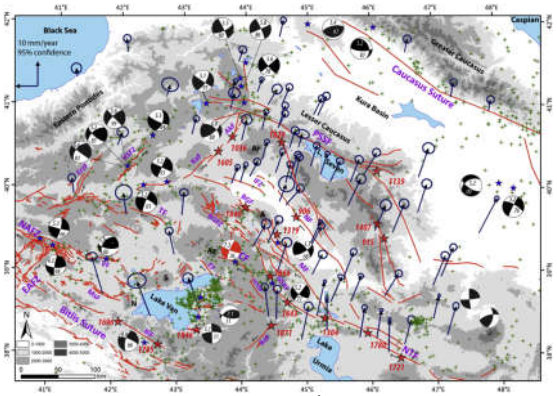
Şekil 3. İnceleme alanının genelleştirilmiş dikme kesiti (Radyometrik yaşlar (1) [9], (2) [10] ve (3) [11]) [4'den]

3.2. İnceleme Alanının Depremselliği

Çaldıran dolayında 1647 (I=IX) ve 1696 (I=IX, M=7,1) [18] (d7 ve d9)'de Çaldıran Fayı ile ilişkili iki deprem kaydı vardır (Çizelge 1 ve Şekil 4). Ayrıca 1866 ve 1871'de Çaldıran Fayı ile bağlantılı iki deprem de kayıtlarda mevcuttur (Şekil 5). Çaldıran Fayı ile birlikte Hasan Timur Gölü Fayı, Balık Gölü Fayı (BGSKF) ve Doğu Beyazıt Fayı (DBF) büyük olasılıkla Kuzey Tebriz Fay Zonu (NTF) ve Salmas Fayı (SF)'nın KB uzanımıdır [2]. Bu bağlamda Kuzey Tebriz Fay Zonu üzerinde 1304, 1721, 1780 ve 1843'de meydana gelen tarihsel depremlerin (Şekil 5) yapısal olarak Çaldıran Fayı'nın GD uzanımında gerçekleştiği düşünülebilir. Tarihsel kayıtlara göre Çaldıran Fayı ve bağlı olduğu aktif ana yapı üzerinde yaklaşık olarak 50-60 yılda bir, kayda değer (M≥5-6) bir deprem meydana gelmektedir.



Şekil 4. Sayısal yükseklik modeli üzerinde tarihsel depremler (Tarihsel depremler Çizelge 1'de) [16,17,18,19]



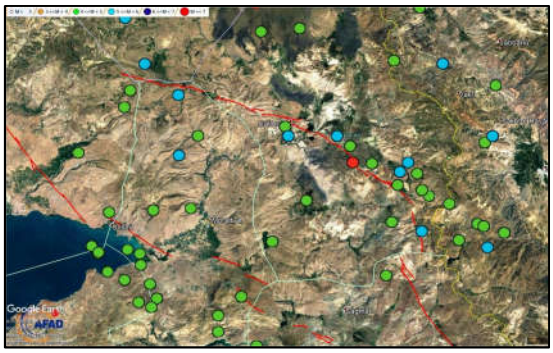
Şekil 5. D.Anadolu ve B. İran gölg. aktif fay-sismik haritası (Mavi yıldız: orta büyüklükteki depremler; kırmızı yıld,: tarihsel depremler [20,21]. Faylar [22,23,24,15]'den. Sismisite USGS'den. Odak mekanizmaları: [25,26,27,28, ve CMT kataloğundan. GPS hız vekt: [29,3,30]: [4]'den])

Çizelge 1. Tarihsel dönem depremleri [16,17,18,19; L: Lokasyon (Lok. Şekil 5'de); M: Büyüklük; I: Şiddet)]

L	Tarih	Enlem	Boylam	M	I
d1	1101	38,47	43,3		VI
d1	1111	38,5	43,4	6,6	IX
d2	1208	38,7	42,5	6,5	?
d2	1245	38,74	42,5	5	VII
d2	1275	38,8	42,5	6,8	?
d3	1276	38,9	42,9	5	VIII
d3	1282	38,9	42,9	5	?
d4	1439	38,6	42,3	?	VI
d5	1441	38,35	42,1	5	VIII
d6	1646	38,3	43,7	5	VI
d7	**1647**	**39,15**	**44**	**?**	**IX**
d8	1648	38,3	43,5	6,8	VIII
-	1685	?	?	?	VI
-	1692	?	?	?	?
d9	**1696**	**39,1**	**43,9**	**7,1**	**IX**
d1	1701	38,5	43,4	5	VIII
d1	1701	38,5	43,4	5	VII
d1	1704	38,5	43,4	5	VII
d10	1715	38,4	43,9	6,7	VIII
d11	1791	39	43,7	?	VI
d12	1871	38	43	6,9	VII
d1	1881	38,5	43,3	7,3	X
d1	1894	38,47	43,3	?	V
d1	1900	38,47	43,3	5,2	VI

Aletsel dönemde fay üzerindeki en büyük deprem 24 Kasım 1976 tarihinde meydana gelen (M=7,5)

Çaldıran Depremi'dir. 3840 can [31,32] ve mal kaybına neden olmuş; 50-55 km yüzey kırığı gelişmiştir [5]. Ayrıca Çaldıran Fayı'nın yapısal olarak GD devamı sayılabilecek Salmas fayı üzerinde 1930 yılında M=7,4 yıkıcı bir deprem meydana gelmiştir [2]. Aletsel kayıtlara göre Çaldıran Fayı üzerinde, özellikle Çaldıran yerleşim biriminin GD uzanımında M=5-6 arasında belirgin sismik yoğunluk söz konusudur (Şekil 6).



Şekil 6. Aletsel dönemde Çaldıran ilçesi ve çevresinde meydana gelen depremler [33]

3.3. Yüzey Deformasyonları

İnceleme alanının batısındaki 1 No'lu fay, K77B genel gidişinde; 1,7 km uzunluğunda devamlı bir çizgisellik sunar (Şekil 7) ve sahanın en KB'sındaki fay denetimli bir uzamış sırtı, uzun ekseni boyunca öteleyerek yaklaşık 230 m'lik bir sağ yanal atım oluşturur (Şekil 8). Fay, bu uzamış sırtın orta kesimlerinde, güney yamaçtaki heyelanların gelişimini denetlemektedir (Şekil 9).



Şekil 7. İnceleme alanında Çaldıran Fayı'nı oluşturan fay kolları üzerinde yapılan paleosimolojik kazı yerleri



Şekil 8. Çaldıran Fayı'nın 1 No'lu kolu üzerinde oluşan sağ yanal ötelenme (Çaldıran batısı)



Şekil 9. 1 No'lu fay denetiminde gelişmiş heyelan

1 Nolu fay kolunun devamı niteliğindeki 2, 3, 4, 5 ve 6 No'lu fay kolları (Şekil 7) Çaldıran ilçesinin kuzeyini sınırlandıran yaklaşık D-B gidişinde şekillenmiş yükseltinin kuzey yamacını 30-40 m sağa sıçramalar yaparak denetlemektedir. Bu yükselti Pleistosen yaşlı bazaltik bir kütleden oluşmakta olup 2-6 No'lu fay kolları bazaltlar ile kuzeydeki vadi (ova) tabanını oluşturan alüvyal düzlüklerin sınırını oluşturmakta; sağ yönlü yanal harekete kuzey bloğu düşüren normal bileşen eşlik etmektedir. Bunlar 320-550 m arasında uzunluklardadır. Saf doğrultu atımlı fay özelliği gösteren 4-6 Nolu fay kollarında 1976 depreminde oluşan yüzey kırıkları korunmuştur (Şekil 10-12), ayrıca 6 Nolu fay kolu üzerinde küçük ölçekli fay gölleri (sag-pond) oluşmuşur. Bu fay kolları D-B ile K58B arasında doğrultularda yüzeylemektedir.

1 No'lu fay kolundan GB'ya doğru ayrılan ikinci ana kolun başlangıcını oluşturan 7 No'lu fay kolu yaklaşık 900 m uzunluğunda ve K54B genel doğrultusundadır. Bu fay kolu geniş bir "S" yaparak Yerleşim birimi içerisinden geçmektedir. Bu fay büyük ölçüde Plesitosen yaşlı volkanikler

içerisindedir, ancak yapılaşma ve yoğun tarımsal faaliyet, fayın izini büyük ölçüde silmiştir. Buna karşın 1976 depreminde oluşan yüzey deformasyonları eski yapılarda izlenebilmektedir.

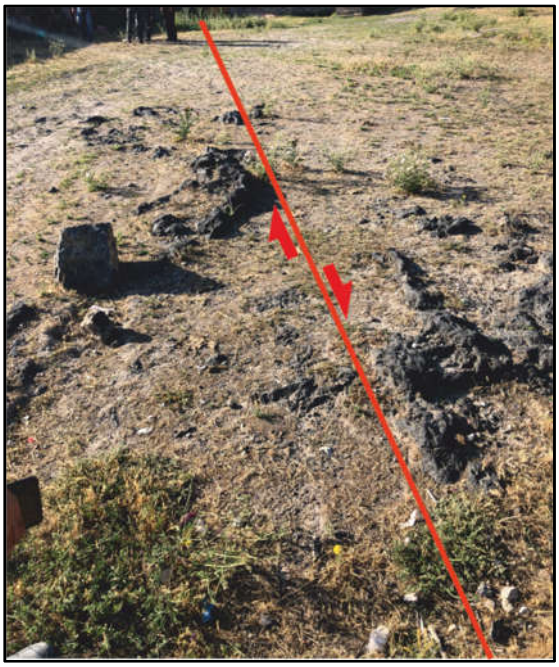


Şekil 10. 4 No'lu fay kolu üzerinde 1976 depreminde oluşmuş yüzey kırığının güncel görünümü (bakış B ve D'ya)



Şekil 11. 6 No'lu fay kolunda 1976 depreminden kalma yüzey kırığı ve Hendek-5'deki uzanımı (bakış D ve GB'ya)

7 No'lu fay kolunun Pleistosen bazaltlarında korunabilmiş yüzey kırıklarından biri yerleşim birimi içerisindeki eski bir yapının bahçesinde açıkça yüzeylemektedir (Şekil 12). Bu fay üzerindeki eski bir yapı temeli ve duvarında yaklaşık 1,5 m sağ yanal ötelenme ölçülmüştür (Şekil 13). Bu noktadan yaklaşık 125 m KB'da eski duvarlarda 40 cm ve 1,4 m'lik iki farklı sağ yanal ötelenme hâlâ korunmuş durumdadır (Şekil 14,15). 7 No'lu fay kolu üzerindeki bu yüzey deformasyonları, 50-70 yaşlarında bölge sakinleri ile yapılan görüşmelerde değerlendirilmiş ve zamanla inşaat ve tarımsal faaliyetler nedeniyle ortadan kalktığı bilgisine ulaşılmıştır.

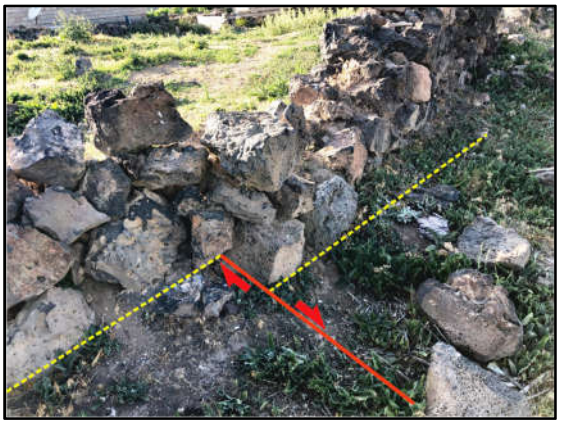


Şekil 12. Çaldıran Yerleşim birimi içerisinde 7 No'lu fay kolu üzerindeki sağ yanal ötelenme (bakış B'ya)



Şekil 13. Çaldıran Yerleşim biriminde 7 No'lu fay kolu üzerinde bir yapı temeli ve bir duvarda 1,5 m sağ yanal atım (bakış B'ya)

8 No'lu fay kolu, 7 No'lu fay kolunun GD devamı niteliğinde olup yaklaşık 460 m boyunca K52B genel doğrultusunda devam eder. Bu fay kolu askeri mıntıkada kaldığından ayrıntılı yüzey araştırması ve hendek kazısı yapılamamıştır.



Şekil 14. 7 No'lu fay kolu üzerinde eski bir duvardaki sağ yanal ötelenme (bakış K'e)



Şekil 15. 7 No'lu fay kolu üzerinde eski bir duvardaki sağ yanal ötelenme (bakış G'e)

7 No'lu fay kolu ile 8 No'lu fay kolu arasında herhangi yapısal/geometrik bir farklılaşma yoktur; bunlar birbirinin devamı olup tek bir fay kolu olarak değerlendirilebilir.

9 No'lu fay kolu 8 No'lu fay kolunun GD ucundan yaklaşık 180 m sol yönde sıçrama yaparak başlamaktadır. Yaklaşık 1,2 km uzunlukta ve K79B genel doğrultusundadır. Çaldıran İlçesi içerisinden geçen ana karayoluna paralel ve hemen kuzey kesiminde yüzeyler. Fay, karayoluna teğet olarak yüzeylediği mesafeler boyunca, yeraltı su seviyesinin yüzeyde olduğu bataklık çökelleri içerisinden geçer. 10 No'lu fay kolu da yaklaşık 125 m sol sıçrama yaparak başlar. Yaklaşık 650 m uzunluğunda ve K58B genel doğrultusundadır. Büyük ölçüde Çaldıran Ovası'nı oluşturan bataklık çökelleri ve yatay yüzey oluşturan Pleistosen bazaltlarından geçer. Bu fay kolu üzerinde son depremin yüzey kırıkları korunmuş durumdadır. 1976 depremini yaşayan yöre sakinleri ile yapılan saha araştırmalarında yüzey kırıklarının geçtiği kesimler net olarak belirlenmiş ve kuzey bloğun yükseldiği uzun çizgisel hatların belirgin şekilde yüzeylediği saptanmıştır (Şekil 16).



Şekil 16. 10 No'lu fay kolu üzerindeki yüzey kırığı ve oluşan fay sarplığı (bakış KB'ya)

11 No'lu fay kolu yaklaşık 110 m sağa sıçrama yapan bir fay kolu olarak başlar ve 490 m dolayında devam eder. K63B genel doğrultusunda; düz bir çizgisel hat halinde yüzeyler. Pleistosen bazaltları içerisine belirgin fay düzlemi ve sarplıkları oluşturmuş durumdadır. Bu fay kolunun devamında benzer doğrultuda ve yapıdaki başka bir fay kolu küçük bir sağa sıçrama ile mostra vermektedir (Şekil 7).

3.4. Hendek (Paleosismolojik Kazı) Çalışmaları

Paleosismolojik kazı çalışmalarında, Kuvaterner deformasyonunun keskin olduğu fay sarplıkları ve 24 Kasım 1976 (M=7,5) depreminin halen korunmuş yüzey kırıklarına odaklanılmıştır. Bu çalışmada proje alanı ve dolayındaki aktif fay ve paleosismolojik kazı çalışmaları ile MTA tarafından [15] çizilen bazı diri fay kollarının konumları ve geometrileri değiştirilmiş, detaylandırılmıştır veya yeniden çizilmiştir (Şekil 7). Aşağıda bu araştırma kapsamında yapılan paleosismolojik hendek kazısı çalışmalarının ayrıntısı, numaralandırılmış fay

kolları altında verilmiştir. Bu çalışma kapsamında toplam 15 hendek kazısı gerçekleştirilmiş, bunlardan verimli olan altı tanesi değerlendirmeye alınmıştır.

3.4.1. Hendek-1

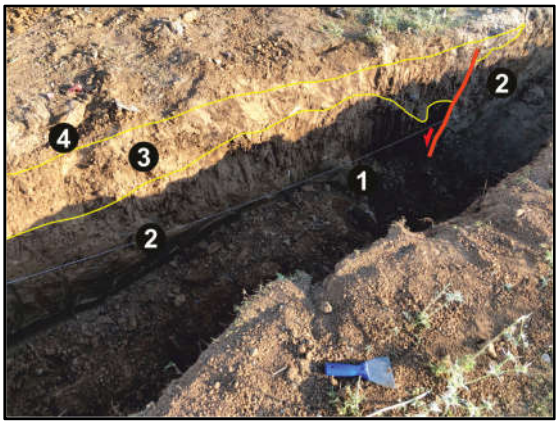
Hendek-1 kazısı, 2 No'lu fay kolunun orta kesimlerinde oldukça keskin ve yanal devamlılığı olan bir fay sarplığı üzerinde açılmıştır (Şekil 17).



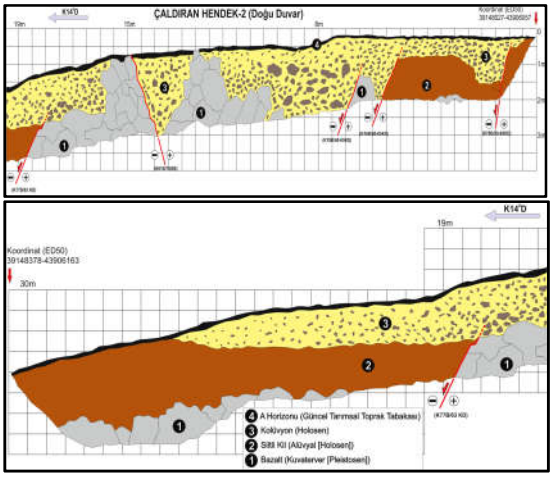
Şekil 17. Hendek 1'in görünümü (bakış G'e)

Hendekte 2 No'lu fay kolunun oluşturduğu fay sarplığını denetleyen beş fay ortaya çıkmıştır. Hendeğin güney ucunda, 1 ve 5. m'lerdeki ilk iki fay alüvyal bir kil (2 No'lu Birim) birimini kesmiş ve kolüvyal bir (3 No'lu) birimin çökelmesini sağlamıştır. Devamında 6.5. m'de temeli oluşturan bir bazalt kütlesi faylanarak kolüvyal (3 No'lu) birimle dokanaklı hale gelmiştir. Devamında 15. m'de hemen hemen aynı doğrultuda ancak ters yönde (GB'ya doğru) eğimli bir başka fay 3 No'lu birimle bazalt kütlesini tektonik dokanaklı olarak karşı karşıya getirmiştir. 18. m'de ise başka bir fay bazalt kütlesi ile 2 No'lu birimi faylı olarak dokanak hale getirmiş durumdadır (Şekil 18).

Hendeğin güney kesimindeki ilk 15 m'ye kadar olan dört fay Holosen yaşlı 3 No'lu kolüvyal birimi kesmiş veya oluşumunu denetlemiştir. Buna karşın 19. m'deki fay daha yaşlı bir birim olan 2 No'lu alüvyal birimi kesmiş; 3 No'lu birimi kesmemiştir (Şekil 18 ve 19). Bu durum 2 No'lu fayın bu kesimde yüzey kırığı meydana getirmiş en az iki deprem oluşturduğunu göstermektedir.



Şekil 18. Hendek-1'in görünümü (bakış D'ya)



Şekil 19. Hendek-1'in logu

3.4.2. Hendek-2

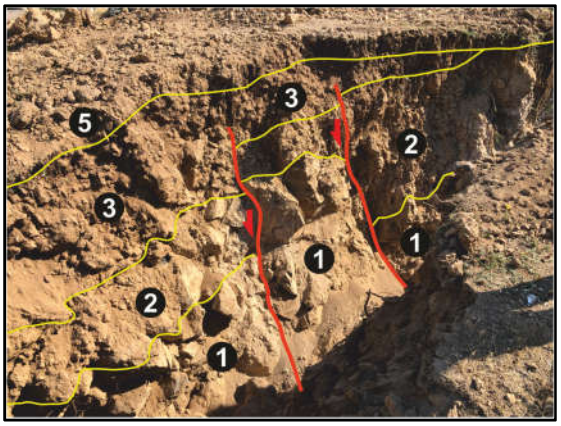
Hendek-2 kazısı 3 No'lu fay kolunun başlangıç kesimlerinde oldukça keskin ve yanal devamlı bir fay sarplığı üzerinde açılmıştır (Şekil 20). Hendekte tamamen Kuvaterner yaşlı birimler yer almakta olup Pleistosen yaşlı masif bazaltlar temeli oluşturmakta, bunun üzerine fay denetimli iki farklı kolüvyal birim ve bunların üzerine alüvyal bir çökel gelmektedir.

Hendekte 3 No'lu fay kolunun sarplığını denetleyen iki fay ortaya çıkmıştır. Hendeğin güneyinde 6 ve 7. m'lerdeki iki fay Kuvaterner yaşlı bazaltlar ile iki farklı kolüvyal (2 ve 3 No'lu) birimi kesmiştir.



Şekil 20. Hendek-2'nin görünümü (bakış G'e)

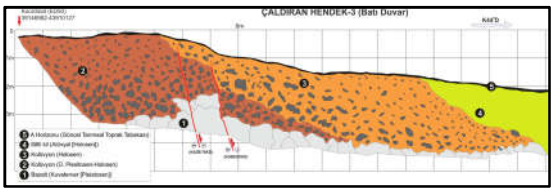
7. m'deki fay öncelikle bazalt üzerinde bir kırık oluşturmuş; ardından bir kolüvyal birim (2 No'lu birim) gelişmiş devamında meydana gelen başka bir yüzey kırığı ile 2 No'lu birim de atıma uğramış ve üstte başka bir kolüvyal (3 No'lu) birim oluşmuştur. Ardından son bir yüzey kırığı daha oluşmuş ve her iki fay da birlikte hareket ederek en genç kolüvyal birim (3 No'lu Birim) de dâhil olmak üzere tüm birimleri kesmiştir (Şekil 21 ve 22). Hendekte saptanan iki aktif fayın oluşturduğu son hareket değerlendirildiğinde yaklaşık 25-30 cm'lik bir düşey atımın meydana geldiği söylenebilir.



Şekil 21. Hendek-2'de fay sarplığına karşılık gelen kesimin görünümü (bakış D'ya)

Hendekte ortaya çıkan, fay sarplığını oluşturan iki fay; bu faylar denetiminde oluşan iki kolüvyal birim ve son oluşan kolüvyal birimin de faylar tarafından kesilmesi, 3 No'lu Fay kolunun burada en az üç (3) adet yüzey kırığı meydana getirmiş (M≥7) deprem oluşturduğunu göstermektedir.

Hendeğin kuzey devamında, topografyanın düzleştiği kesimde akarsu çökeli niteliğinde alüvyal bir birim gelişmiş durumdadır (Şekil 22).



Şekil 22. Hendek-2'nin logu

3.4.3. Hendek-3

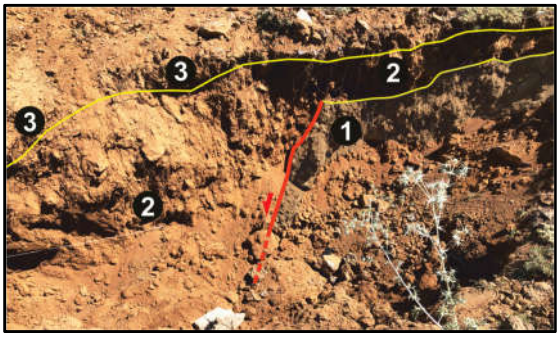
Hendek-3 kazısı 5 No'lu fay kolunun GD uç kesimlerinde oldukça keskin bir fay sarplığı üzerinde açılmıştır (Şekil 23).



Şekil 23. Hendek 3'ün açıldığı fay sarplığı ve hendeğin görünümü (bakış G'ye)

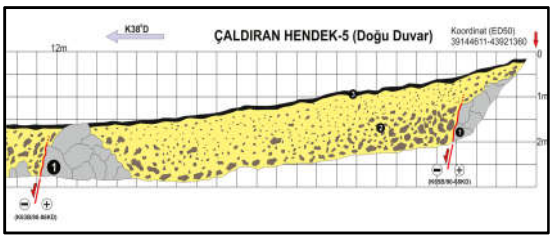
Hendekte 5 No'lu fay kolunun oluşturduğu fay sarplığını denetleyen bir ana fay ortaya çıkmıştır. Sarplık, bu kesimde tek bir fay kolu ile şekillendirilmiştir. Bu fay Kuvaterner bazaltlarından türeme tutturulmamış, çimentosuz ve keskin köşeli çok değişik boyutlarda çakıl ve bloklar içeren bir kolüvyon oluşturmuştur. Hendeğin 12. m'sinde başka bir bazalt kütlesinin

kuzey kenarında ikinci bir fay yer almaktadır. Bu bazalt kütlesi yüzeye kadar ulaşmaktadır (Şekil 24 ve 25). Bu fay, büyük olasılıkla kolüvyal birimi kesmiştir. Hendeğin güney ucundaki fay buradaki sarplığı oluşturduktan sonra, Holosen yaşlı kolüvyal çökeli hendeğin orta kesimindeki ikinci fay ile birlikte yeniden kesmiş olmalıdır.



Şekil 24. Hendek-3'te, güneydeki ana fay (doğu duvar)

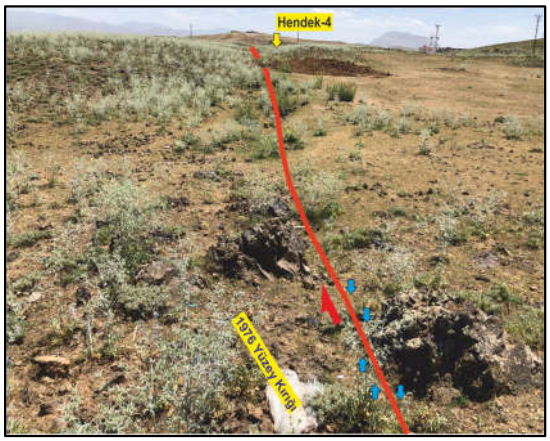
Keskin bir fay sarplığı üzerinde kazılan Hendek-3'de, sarplığı oluşturan fay Pleistosen birimlerinde belirgin bir fay düzlemi oluşturmuş ve sarplığa bağlı olarak Holosen yaşlı bir kolüvyon oluşmuştur. Devamında hendeğin orta kesiminde başka bir fay bu kolüvyal birimle Kuvaterner yaşlı bazaltlar arasında tektonik bir dokanak oluşturmuştur. Bu veriler Hendek-3'de ortaya çıkan 5 No'lu Fay kolu üzerinde, bu kesimde en az iki (2) yüzey kırığı meydana getirmiş (M≥7) deprem oluştuğunu göstermektedir.



Şekil 25. Hendek-3'ün logu

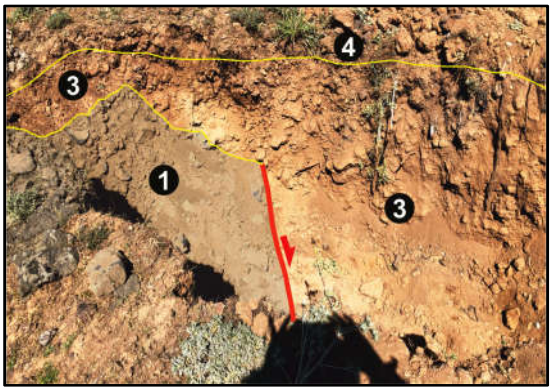
3.4.4. Hendek-4

Hendek-4, 4 No'lu fay kolu üzerindeki 1976 yüzey kırığı üzerinde, kazılmıştır (Şekil 7 ve 26). Yüzey kırığının KB'ya doğru devamında oldukça belirgin bir fay sarplığı oluşmuş ve bu sarplığın güneyinde küçük ölçekli bir fay gölü (sag pond) oluşmuştur. Yöre sakinleri ile yapılan görüşmelerde 1976 kırığının, bu sarplıktan çizgisel olarak geçtiği öğrenilmiş, yapılan saha çalışmalarında yüzey kırığının büyük ölçüde korunmuş olduğu saptanmıştır (Şekil 7 ve 26). Ayrıca Hendek-4'ün 50 m KB'sında, 1976 yüzey kırığı üzerinde 60-70 cm sağ yanal ötelenme ölçülmüştür.

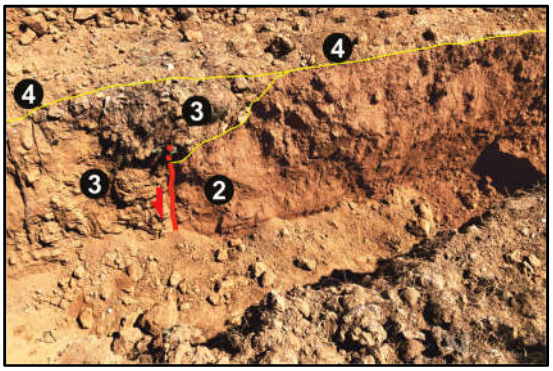


Şekil 26. 4 No'lu fayın yüzeydeki kırık izi, Hendek-4 (bakış D'ya) [Mavi oklar: yüzey kırığı üzerinde 60-70 cm sağ yanal ötelenme]

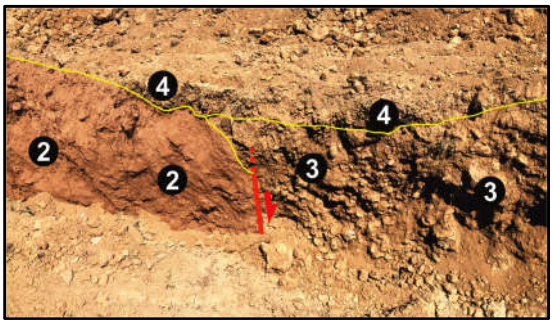
Hendek-4'de, 4 No'lu fay kolunun oluşturduğu fay sarplığını meydana getiren ve 1976 yılı yüzey kırığına karşılık gelen fay, hendeğin kuzey ucunda ortaya çıkmıştır (Şekil 27). Bu fay Pleistosen yaşlı bazaltlarda keskin ve düzgün bir düzlem oluşturmuş olup yaklaşık 70^{o} GB'ya eğimlidir. Sarplığın güneyinde, bu fay kontrolünde gelişmiş ve bu fay tarafından denetlenen tipik bir kolüvyal birim oluşmuştur. Hendeğin güney kesiminde 8-13. m'ler arasında alüvyal bir çakıllı-siltli kil birimi bulunmaktadır. Bu birim Pleistosen yaşlı bazaltlardan genç; Holosen yaşlı kolüvyal birimden daha yaşlı bir birim olup büyük olasılıkla Ü. Pleistosen-Holosen yaş aralığındadır. Birim, her iki sınırında faylı olarak kolüvyal birimle dokanak halindedir (Şekil 28-30). Bu alüvyal birimin her iki sınırını denetleyen faylar Holosen dönemi ürünü olsalar da yüzeyde bir sarplık izi bulunmaması hendeğin kuzey ucundaki sarplığı oluşturan fayın son hareketinden görece eski olduğunu ifade etmektedir (Şekil 30).



Şekil 27. Hendek-4'ün kuzey ucunda, 1976 yüzey kırığına karşılık gelen fay (Doğu duvar)

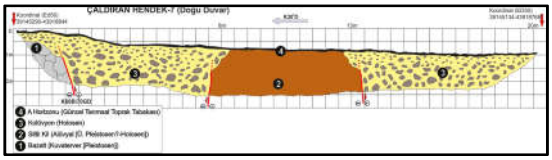


Şekil 28. Hendek-4'ün orta kesiminde yer alan 2. fay (Doğu duvar)



Şekil 29. Hendek-4'ün orta kesiminde yer alan 3. fay (Doğu duvar)

4 No'lu fay denetiminde belirgin bir fay sarplığı üzerinde kazılan Hendek-4'de, 1976 depreminde yüzey kırığı oluşturmuş olan fay, hendeğin kuzey kesiminde yüzeylemektedir. Pleistosen bazaltlarını keserek Holosen yaşlı bir kolüvyal birim oluşturması bu fayın yüzey deformasyonunu açıkça ortaya koyar. Orta kesimlerde, Holosen yaşlı kolüvyondan görece yaşlı (Ü. Pleisosen?-Holosen) bir alüvyal birimin Holosen yaşlı kolüvyal birimle iki sınırında da faylı dokanak ilişkisi göstermesi ve bu fayların yüzeyde bir sarplık oluşturmaması (Şekil 30), bu faylanmanın son hareketten önceki bir dönemde meydana gelen başka bir olay olduğunu göstermektedir. Bu veriler 4 No'lu fay kolu üzerinde, bu kesimde en az iki (2) yüzey kırığı meydana getirmiş (M≥7) deprem olduğunu göstermektedir.



Şekil 30. Hendek-4'ün logu

3.4.5. Hendek-5

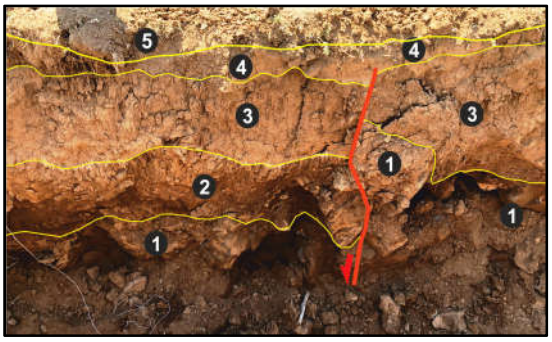
Hendek-5 kazısı 6 No'lu fay kolunun GD uç kesimlerinde, 1976 depremi yüzey kırıklarından biri üzerinde yapılmıştır. Yapılan araştırmalarda, oluşan yüzey kırığının oldukça derin 1-2 m genişliğinde, yanal devamlılığı olan bir yüzey deformasyonu ile yıllarca korunduğu; yüzeydeki çatlakların derin çukurlar halinde açık kaldığı öğrenilmiştir. Saha çalışmalarında da bu yüzey kırıklarının güncel topografyada hâlâ belirgin oldukları ve 6 No'lu fay kolunun oluşturduğu çizgisellik üzerinde bulundukları saptanmıştır (Şekil 10, 31 ve 32).

Hendekte aşağıdan yukarıya, doğru temeli oluşturan Pleistosen masif bazaltları, fay denetimli kolüvyal bir birim, alüvyal ince çakıllı-konsolide bir kil ve üstte buradaki fay gölünde gelişmiş bataklık çökelleri, faylara bağlı olarak gelişen geniş çatlaklarda kil dolgu ve yüzeyde tarımsal toprak tabakası (A-Horizonu) bulunmaktadır.

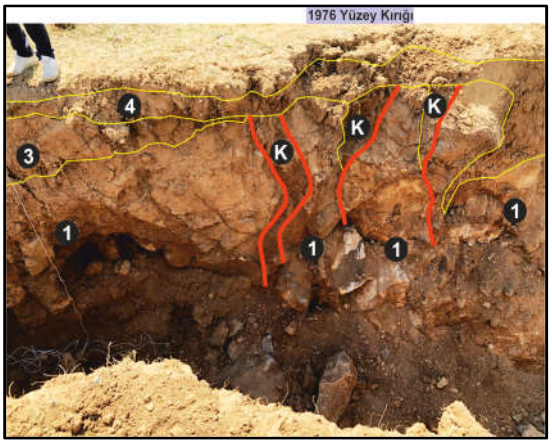
Hendeğin GD ucunda; 12. m'de büyük bir fay Pleistosen yaşlı bazalt kütlesinde, güney bloku düşüren bir atım oluşturmuştur (Şekil 33 ve 36). Bu faylanmaya bağlı olarak, tutturulmuş ve hafifçe çimentolanmış bir alüvyal kama (2 No'lu birim) oluşmuştur. Devamında ince, yuvarlaklaşmış

seyrek çakıllar içeren alüvyal bir siltli kil birimi (3 No'lu birim) çökelmiştir. Bu alüvyal birimin çökeliminden sonra bu fay yeniden hareket etmiş ve o döneme kadar oluşmuş olan tüm birimleri kesmiştir. Sonra bunların üzerine bir bataklık çökeli (4 No'lu birim) gelmiş ve tüm bu birimleri örtmüştür. Son olarak bu fay yeniden bir atım oluşturmuş ve bataklık çökelleri de dâhil tüm birimleri kesmiştir. Hendeğin bu kesimindeki bu fay üzerinde yüzey kırığı oluşturmuş en az üç (3) deprem verisi bulunmaktadır.

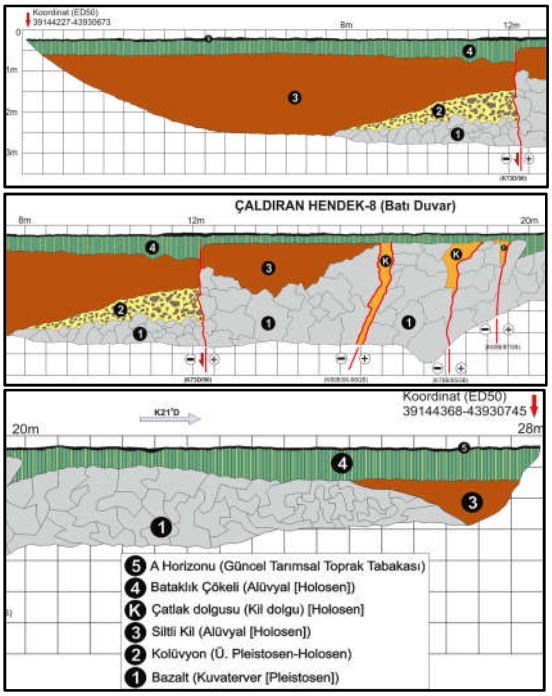
Hendeğin KD'ya doğru 16 ve 20. m'leri arasında Pleistosen bazalt kütleleri arasında gelişmiş yaklaşık düşey duruşlu üç fay yer alır. Bu faylar bazalt kütlelerinde 10-15 cm'ye ulaşan genişlikte çatlaklar oluşmasını sağlamış ve bu çatlaklar kil ile doldurulmuştur (Şekil 32 ve 33).



Şekil 31. Hendek-5'in GD kesiminde yer alan fay ve oluşturduğu yapı



Şekil 32. Hendek-5'in orta kesiminde 1976 kırığına karşılık gelen yer alan faylar



Şekil 33. Hendek-5'nin logu

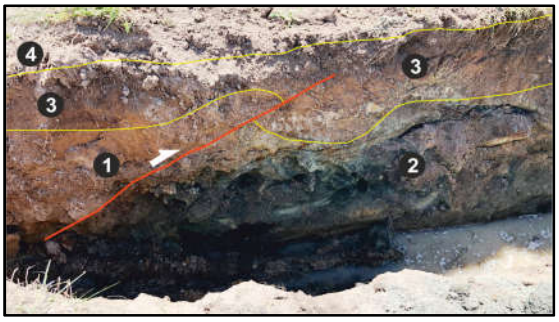
3.4.6. Hendek-6

Hendek-6, 10 No'lu fay kolu üzerindedir. Ana fayın son depremde oluşturulduğu sarplığın belirgin olduğu bir noktada (Şekil 16) yapılan kazıda 1,5-2 m'den sonra su çıkışı başlamıştır. Ancak çok şiddetli olmayan su gelişi hendek çalışması yapmaya belirli ölçüde izin vermiştir.

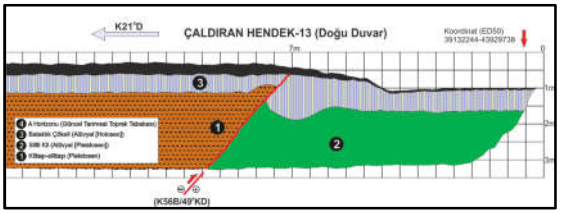
Hendekte tamamen Çaldıran ovasını oluşturan birimler yer almaktadır. Kahverengi kiltaşı-silttaşından oluşan gölsel bir birim, yeşilimsi renkli alüvyal bir siltli kil, bataklık çökeli ve güncel nebati toprak tabakası birimleri bulunmaktadır.

Hendeğin GB ucunda, 7. m'de KD'ya eğimli ters bileşenli bir fay mevcuttur. Bu fay tam olarak 10 No'lu fay koluna karşılık gelmektedir (Şekil 16, 34 ve 35). Ortaya çıkan ters bileşenli fay gölsel ince kiltaşı-silttaşı tabaklarından oluşan (1 No'lu) birimin alüvyal yeşilimsi siltli-kiltaşı üzerine bindirmesini sağlamıştır. Fay bu birimler üzerinde halen oluşan güncel bataklık çökeli (3 No'lu birim)'ni de kesmiş ve topografyada belirgin ve yanal yönde devamlı bir fay sarplığı oluşturmuştur.

Hendekte ortaya çıkan fay 10 No'lu fay kolu olup 1976 depreminin yüzey kırığının yüzeye kadar ulaştığının açık bir verisidir. Bu fay 30-40 cm dolayında düşey atım oluşturmuştur. Hendekteki mevcut yapı yüzey kırığı oluşturan en az 1 (bir) sismik olayı işaret etmektedir.



Şekil 34. Hendek-6'da, ana fay (doğu duvar)



Şekil 35. Hendek-6'nın logu

3.5. Kayma Hızı ve Tekrarlanma Aralığı

Daha önce yapılan çalışmalarda Çaldıran Fayı'nın yanal kayma hızı için 8,7 [7], 8,1 [3], 6,5-7,3 [8] ve 3,27 mm/yıl [4] değerleri bulunuştur. Tekrarlanma aralığı içinse Selçuk ve arkadaşları [4] tarafından aynı çalışma içerisinde 320 ve 790 yıllık oldukça farklı değerler bulmuşlardır.

Çaldıran Fayı üzerinde tarihsel dönemde yüzey kırığı oluşturmuş son deprem (M=7,1) 1696'da [18]; aletsel dönemde ise 1976 yılında (M=7,5)'dır. Bu iki deprem arasında geçen süre 280 yıldır. Bu çalışmada, son depremde oluşmuş en büyük sağ yanal ötelenme Çaldıran yerleşim birimi içerisinde 1,5 m ölçülmüştür. Buradan yola çıkarak Çaldıran Fayı için, Çaldıran yerleşim birimi dolayında yanal kayma hızının ortalama 5,36 mm/yıl olduğu söylenebilir. Son depremde oluşan en büyük düşey atım ise yaklaşık 40 cm olarak ölçülmüştür. Buradan yola çıkılarak düşey kayma hızı yaklaşık 1,43 mm/yıl olarak hesaplanmıştır.

Çaldıran Fayı üzerinde kayıt altına alınmış yüzey kırığı oluşturmuş son iki deprem (M=7,1) 1696 [18,20] ve (M=7,5) 1976 yılındadır. 14 Nisan 1696'da oluşan M=7,1 depremde Çaldıran bölgesindeki köyler tamamen yıkılmış, Maku (İran) ve Van arasında önemli hasar ve uzun süre artçı şoklar olmuştur. Mayıs 1696'da bir artçı deprem de önemli hasar oluşturmuştur [18]. Bu net bilgiler fayın ortalama 280 yıllık bir tekrarlanma aralığı sunduğunu göstermektedir.

Çaldıran Fayı'nın bir parçası olduğu, Kuzey Tebriz Fay Zonu [2] üzerinde 1304, 1721, 1780 ve 1843'daki tarihsel depremler bu yapı için sismisitenin devamlı oluğunu gösterir. Çaldıran Fayı ve yapısal ilişkide olduğu aktif faylar üzerinde yaklaşık 50-60 yılda bir, kayda değer (M=5-6) deprem meydana gelmektedir.

4. SONUÇLAR

Çaldıran yerleşim birimi dolayında yapılan saha ve paleosismolojik kazı çalışmalarında Holosen ve Pleistosen birimlerinde Çaldıran Fayı'nın belirgin deformasyon oluşturduğu saptanmıştır. Paleosimolojik kazılarda 1976 (M=7,5) ve yüzey kırığı meydana getirmiş (M≥7) daha eski depremlerin verilerine ulaşılmıştır. Bu bağlamda Çaldıran Fayı'nın Holosen döneminde en az üç (3) kez yüzey kırığı oluşturmuş "büyük" (M≥7) deprem ürettiği belirlenmiştir.

Çaldıran Fayı üzerinde 1976 yılında meydana gelen (M=7,5) deprem ve paleosismolojik veriler bu fayın büyük deprem üretme potansiyeli taşıdığını açıkça göstermektedir.

Hendeklerde, son depremde 30-40 cm'ye ulaşan düşey atım oluştuğu saptanmış; yüzeyde son deprem ürünü 0,4-1,5 m aralığında sağ yanal deformasyonunlar ölçülmüştür.

Tarihsel ve aletsel deprem verilerine göre, Çaldıran Fayı'nın M≥7 depremler için ortalama 280 yıllık bir tekrarlanma aralığına sahiptir. Çaldıran Fayı, yapısal ilişkili olduğu faylar ile

birlikte değerlendirildiğinde bölgede 50-60 yılda bir M=5-6 depremin olduğu ortaya çıkmaktadır.

Son depremde oluşan en büyük 1,5 m'lik sağ yanal ötelenme baz alındığında Çaldıran Fayı için, çalışma alanında yanal kayma hızı ortalama 5,36 mm/yıl olarak ortaya çıkmaktadır. Son deprem için ölçülen en büyük düşey yer değiştirme ise yaklaşık 40 cm olarak baz alındığında ortaya çıkan düşey kayma hızı yaklaşık 1,43 mm/yıl'dır.

5. KAYNAKLAR

1. Tapponnier, P., 1977. Evolution Tectonique du Systeme Alpin en Medit. Poinçtonnement et Ecrasement Rigide-plastique, B. Soc. Geol. Fr. 19, 437-460.

2. Koçyiğit, A., Yilmaz, A., Adamia, S., Kuloshvili, S., 2001. Neotect. of E. Anatolian Plateau (Turkey) and Lesser Caucasus: impl. for Transition from Thrusting to Strike-slip Faulting, Geod. Acta, 14(1-3), 177-195.

3. Djamour, Y., Vernant, P., Nankali, H.R., Tavakoli, F., 2011. NW Iran–E. Turkey Present-day Kinematics: Results from the Iranian Permanent GPS Network. Earth Planet. Sci. Lett. 307, 27–34.

4. Selçuk, A.S., Erturaç, M.K., Nomade, S., 2016. Geology of the Çaldıran Fault, Eastern Turkey: Age, Slip Rate and Implications on the Characteristic Slip Behaviour. Tectonophysics. 680, 155–173.

5. Arpat, E., Şaroğlu, F., İz, H.B., 1977. Çaldıran Depremi. Yeryuvarı ve İnsan 2, 29–41.

6. Toksöz, M.N., Arpat, E., Şaroglu, F., 1977. East Anatolian Earthquake of 24 November 1976. Nature 270, 423–425.

7. Karimzadeh, S., Çakır, Z., Osmanoğlu, B., Schmalzle, G., Miyajima, M., Amiraslanzadeh, R., Djamour, Y., 2013. Interseismic Strain Accumulation Across the North Tabriz Fault (NW Iran) Deduced from InSAR Time Series. J. Geodyn. 66, 53–58.

8. Rizza, M., Vernant, P., Ritz, J.F., Peyret, M., Nankali, H., Nazari, H., Djamour, Y., Salamati, R., Tavakoli, F., Chery, J., Mahan, S.A., Masson, F., 2013. Morphotectonic and Geodetic Evidence for a Constant Slip-rate Over the Last 45 kyr Along the Tabriz Fault (Iran). Geophys. J. Int. 193, 1083–1094.

9. Innocenti, F., Mazzuoli, R., Pasquare, G., Radicati di Brozolo, F., Villari, L., 1976. Evolution of Volcanism in the Area of Interaction Between the Arabian, Anatolian and Iranian Plates (Lake Van, Eastern Turkey). J. Volcanol. Geotherm. Res. 1, 103–112.

10. Lebedev, V., Sharkov, E., Keskin, M., Oyan, V., 2010. Geochr. of L. Cenozoic Volcanism in the Area of Van L., Turkey: An Example of Dev. Dynamics for Magmatic Processes, Doklady Earth Sciences, 1031–1037.

11. Ercan, T., Fujitani, T., Matsuda, J.-I., Notsu, K., Tokel, S., Ui, T., 1990. D. ve GD Anadolu Neojen-Kuvaterner Volkanitlerine İlişkin Yeni Jeokimyasal, Radyometrik ve İzotopik Verilerin Yorumu. MTA Derg. 110, 143–164.

12. Pearce, J.A., Bender, J.F., De Long, S.E., Kidd, W.S.F., Low, P.J., Güner, Y., Şaroglu, F., Yılmaz, Y., Moorbath, S., Mitchell, J.G., 1990. Genesis of Collision Volcanism in E. Anatolia, Turkey. J. Volc. Geotherm. Res. 44, 189–229.

13. Kuzucuoğlu, C., Christol, A., Mouralis, D., Doğu, A.F., Akköprü, E., Fort, M., Brunstein, D., Zorer, H., Fontugne, M., Karabiyikoğlu, M., Scaillet, S., Reyss, J.L., Guillou, H., 2010. Form. of the Upper Pleistocene Terraces of Lake Van (Turkey). J. Quat. Sci. 25, 1124-1137.

14. MTA Gen. Müd., 2002. 1:100.000 Ölçekli, Başkale K51 ve Doğubayazıt J52-52 Paftası Jeoloji Haritası, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara)

15. Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş., Şaroğlu, F., 2013. Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası. Ölçek 1:1.250.000, MTA Gen. Müd., Özel Yay. Serisi-30, Ankara.

16. Ergin, K., Güçlü, U., Uz, Z., 1967. Türkiye ve Civarının Deprem Kataloğu (MS. 11-1964). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Arz Fiziği Enstitüsü Yayınları, No 28.

17. Soysal, H., Sipahioğlu, S., Kolçak, D., Altınok, Y., 1981. Türkiye ve Çevresinin Tarihsel Deprem Kataloğu (2100 B.C.–1900 A.D.). TÜBİTAK, TBAG-341.

18. Ambraseys, N.N., Finkel, C.F., 1995. The Seismicity of Turkey and Adjacent Areas: A Historical Review, 1500–1800. İstanbul.
19. Tan, O., Tapırdamaz, M.C., Yörük, A., 2008. The Earthquake Catalogues for Turkey. Turk. J. Earth Sci. 17, 405–418.
20. Ambraseys, N.N., 2009. Earthquakes in the Medit. and M. East. Camb. Uni. Press, N. York.
21. Berberian, M., 2014. Earthquakes and Coseismic Surface Faulting on the Iranian Plateau; A Historical, Soc. and Physical Approach. 1. ed. Elsevier, Dev. in Earth Surface Processes 17 978-0-444-63292-0, 638.
22. Philip, H., Avagyan, A., Karakhanian, A., Ritz, J.F., Rebai, S., 2001. Estimating Slip Rates and Recurrence Intervals for Strong Earthquakes Along an Intracontinental Fault: Example of the Pambak–Sevan–Sunik Fault (Armenia). Tectonophysics 343, 205–232.
23. Karakhanian, A.S., Trifonov, V.G., Philip, H., Avagyan, A., Hessami, K., Jamali, F., Bayraktutan, M.S., Bagdassarian, H., Arakelian, S., Davtian, V., Adilkhanyan, A., 2004. Active Faulting and Natural Hazards in Armenia, Eastern Turkey and Northwestern Iran. Tectonophysics 380, 189–219.
24. Hessami, K., Pantosti, D., Tabassi, H., Shabanian, E., Abbassi, M.R., Feghhi, K., Solaymani, S., 2003. Paleoearthquakes and Slip Rates of the North Tabriz Fault, NW Iran: Preliminary Results. Ann. Geop. 46, 903–916.
25. McKenzie, D., 1972. Active Tectonics of the Mediterranean Region. Geophys. J. Roy. Astr. S. 30, 109–185.
26. Toksöz, M.N., Nábělek, J., Arpat, E., 1978. Source Properties of the 1976 Earthquake in E. Turkey: A Comp. of Field Data and Teleseismic Results. Tectonophysics 49, 199-205.
27. Tan, O., Taymaz, T., 2006. Active Tectonics of the Caucasus: Earthquake Source Mechanisms and Rupture Histories Obtained from Inversion of Teleseismic Body Waveforms. Geol. Soc. Spec. Pap. 409, 531–578.
28. Tan, O., Tapırdamaz, M.C., Yörük, A., 2008. The Earthquake Catalogues for Turkey. Turk. J. Earth Sci. 17, 405–418.
29. Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., Ozener, H., Kadirov, F., Guliev, I., Stepanyan, R., 2006. GPS Constraints on Continental Deformation in the Africa–Arabia–Eurasia Continental Collision Zone and Implications for the Dynamics of Plate Interactions. J. Geophys. Res. Solid Earth 1978–2012, 111.
30. Karakhanyan, A., Vernant, P., Doerflinger, E., Avagyan, A., Philip, H., Arslanyan, R., Champollion, C., Arakelyan, S., Collard, P., Baghdasaryan, H., Peyret, M., Davtyan, V., Calais, E., Masson, F., 2013. GPS Constraints on Cont. Def. in the Armenian Region and Lesser Caucasus. Tectonophysics 592, 39–45.
31. Gülkan, P., Gürpınar, A., Çelebi, M., Arpat, E., Gençoğlu, S., 1978. Engineering Report on the Muradiye-Çaldıran, Turkey, Earthquake of 24 November 1976. National Academies.
32. Tuncel, M., Erer, S., Sergün, Ü., Göçmen, K., 1978. Report of Çaldıran-Muradiye Earthquake 2468. University of İstanbul.
33. www.deprem.gov.tr, 2020.