



Contents lists available at *Dergipark*

Journal of Scientific Reports-C

journal homepage: <https://dergipark.org.tr/en/pub/jsrc>



E-ISSN: 2717-8633

Sayı(Number) 8, Aralık(December) 2024

ARAŞTIRMA MAKALESİ/RESEARCH ARTICLE

Geliş Tarihi (Receive Date): 20.05.2024

Kabul Tarihi (Accepted Date): 31.05.2024

Çukurören fayı ve Aslıhanlar fayının geometrisi ve kinematik özellikleri, Akşehir-Simav fay sistemi, Batı Anadolu

Metin Aksaz^{a,*}, Muzaffer Özburan^b, Çağlar Özkaymak^c, Hasan Sözbilir^d

^aKütahya Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kütahya, 43100, Türkiye, ORCID: 0000-0001-9690-9339

^bKütahya Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kütahya, 43100, Türkiye, ORCID:0000-0002-0491-7807

^cAfyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Afyon,03200 Türkiye, ORCID: 0000-0002-0377-1324

^dDokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İzmir,35160 Türkiye, ORCID: 0000-0002-3777-4830

Öz

Bu çalışmada, Akşehir-Simav Fay Sistemi içinde değerlendirilen Çukurören Fayı ile Aslıhanlar Fayı'nın geometrisi ve kinematik özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla, birbirinin devamı şeklinde haritalanan faylar boyunca belirli lokasyonlarda kinematik veriler toplanmış ve bu veriler Angelier paleostres programında değerlendirilmiştir. Bulgularımız Çukurören Fayı'nın KB-GD uzanımlı ve sağ yanal doğrultu atımlı iki fay segmentinden yapıldığını ve bu segmentlerin sıkışmalı bir büküm ile birbirine bağlandığını göstermiştir. Çukurören Fayı'nın doğuya doğru devamı niteliğindeki Aslıhanlar Fayı ise, genişlemeli bir büküm ile başlamakta ve doğuya doğru sağ yanal doğrultu atımlı fay şeklinde uzanmaktadır. Haritalanan fay segmentlerinin uzunluğu ile segmentlerin oluşturabileceği maksimum deprem büyüklüğü arasındaki ilişkilere göre, Çukurören Fayı'nın batı segmenti 6.5; doğu segmenti 6.8; Aslıhanlar Fayı ise 6.5 büyüklüğünde deprem üretme potansiyeline sahiptir. Benzer kinematik özelliklere sahip bu iki fayın beraber kırılması halinde ise, oluşabilecek maksimum deprem büyüklüğü 7.2 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bulgular Simav, Kütahya, Uşak ve Afyonkarahisar'ın arasında kalan Çukurören Fayı ve Aslıhanlar Fayı'nın bölge için önemli bir sismik kaynak olduğuna işaret etmektedir.

© 2023 DPU All rights reserved.

Anahtar Kelimeler: Batı Anadolu, Çukurören Fayı, Aslıhanlar Fayı, Fay Geometrisi, Kinematik Analiz

Geometry and kinematic features of Çukurören fault and Aslıhanlar fault, Akşehir-Simav fault system, Western Anatolia

Abstract

In this study, the geometry and kinematic properties of the Çukurören Fault and Aslıhanlar Fault, which are evaluated within the Akşehir-Simav Fault System, are investigated. For this purpose, kinematic data were collected at certain locations along the faults mapped as a continuation of each other and the Angelier paleostress software of these data was evaluated. Our findings show that the Çukurören Fault is made up of two fault segments with a NW-SE strike and right lateral strike slip character, and that these segments are connected to each by a compressive bend. The Aslıhanlar Fault, which is the continuation of the Çukurören Fault towards the east, as a right-lateral strike-slip fault with an extensional bend. According to the regions between the length of the mapped fault segments and the maximum earthquake magnitude that the segments can create, the western segment of the Çukurören Fault is 6.5; the eastern segment has the potential to produce an earthquake of magnitude 6.8 and the Aslıhanlar Fault has the potential to produce earthquakes of magnitude 6.5. If these two faults with similar kinematic features ruptured together, the maximum earthquake magnitude that can occur is calculated as 7.2. The findings indicate that the Çukurören Fault and Aslıhanlar Fault, located between Simav, Kütahya, Uşak and Afyonkarahisar, are important seismic sources for the region.

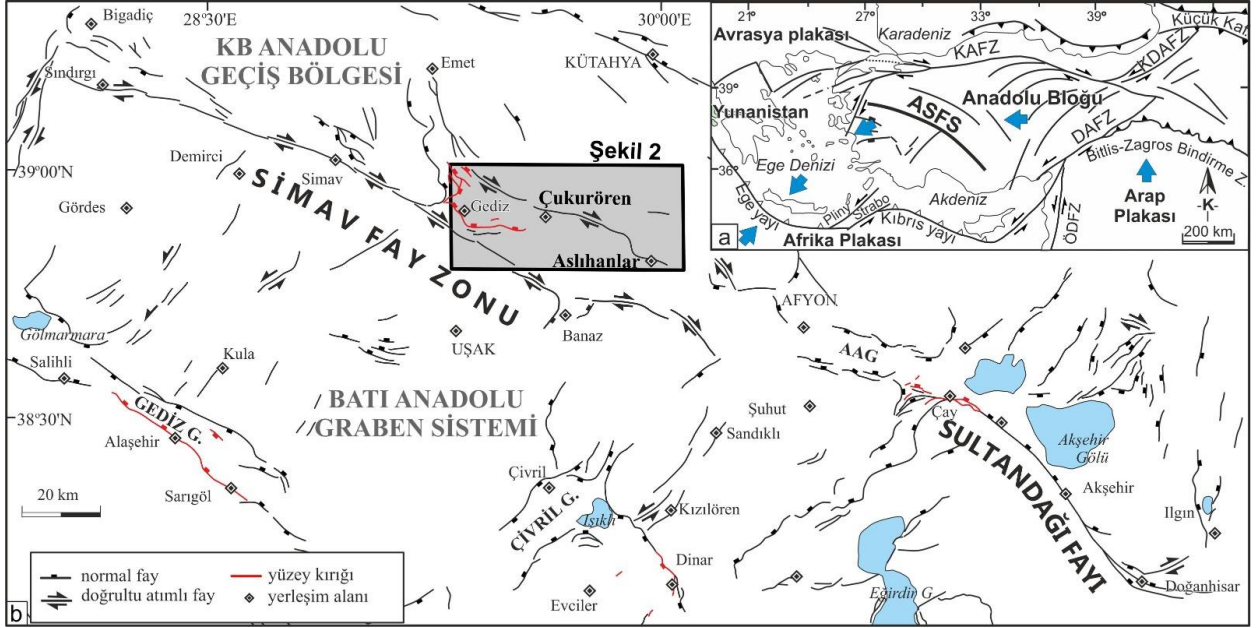
© 2023 DPU All rights reserved.

Keywords: Western Anatolia, Çukurören Fault, Aslıhanlar Fault, Fault Geometry, Kinematic analysis

* Corresponding author. Tel.: +90(274)4434372; fax: +90(274)443
E-mail address: metin.aksaz@dpu.edu.tr

1. Giriş

KKD-GGB doğrultulu gerilmeli tektonik rejim etkisinde horst-graben yapıları ile temsil edilen Batı Anadolu Graben Sistemi ile Kuzeybatı Anadolu Geçiş Bölgesi arasındaki yapısal sınır KB-GD uzanımlı ve yaklaşık 200 km uzunluğundaki Akşehir Simav Fay Sistemi (ASFS) ile temsil edilmektedir [1]. ASFS, kuzeybatıda Simav Fay Zonu, güneydoğuda ise Afyon Akşehir Grabeni içinde kalmaktadır (Şekil 1) [2,3,4]. Simav Fay Zonu, bölgedeki önemli deprem kaynaklarından biridir ve genel uzanımı gerilmeli sistemin ürünleri (Gediz Grabeni, Simav Grabeni, Kütahya Grabeni vb) ile paralellik gösterir. Zon boyunca yıkıcı depremler üreten BKB-DGD uzanımlı çok sayıda diri fay tanımlanmıştır [1,5,6]. 28 Mart 1970 tarihinde meydana gelen Gediz ilçesi merkezli yıkıcı deprem ($M_s=7,2$) ile 1944 Abide depremi ($M_s: 6,0$), 25 Mart 1969 Demirci depremi ($M_s: 6,0$) ve 19 Mayıs 2011 Simav depremi ($M_w: 6,0$) bu alandaki diri fayların yıkıcı deprem üretme potansiyelinin yüksek olduğunun göstergesidir. 1970 Gediz depremi Simav Fay Zonu'na ait Abide Segmenti ile daha kuzeydeki Çukurören Fayı arasında kalan Gediz Fay Segmenti üzerinde yaklaşık 45 km uzunluğunda yüzey kırığı oluşturmuştur [7,8]. Bununla beraber, 2011 yılında güncellenen Türkiye Diri Fay Haritası'nda [1,5,6] 29 ve 18 km uzunluklarda iki ana segmentten oluştuğu ve 6.8 büyüklüğüne kadar deprem üretme potansiyeli olduğu ifade edilen Çukurören Fayı üzerinde, fayın kinematik analizi ve aktif tektonik özellikleri üzerine yayınlanmış bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışma, ASFS boyunca deprem üretme potansiyeli yüksek olarak tanımlanan faylardan birisi olan Çukurören Fayı ve Aslıhanlar Fayı'nın geometrisi ve kinematik özelliklerini konu almaktadır.

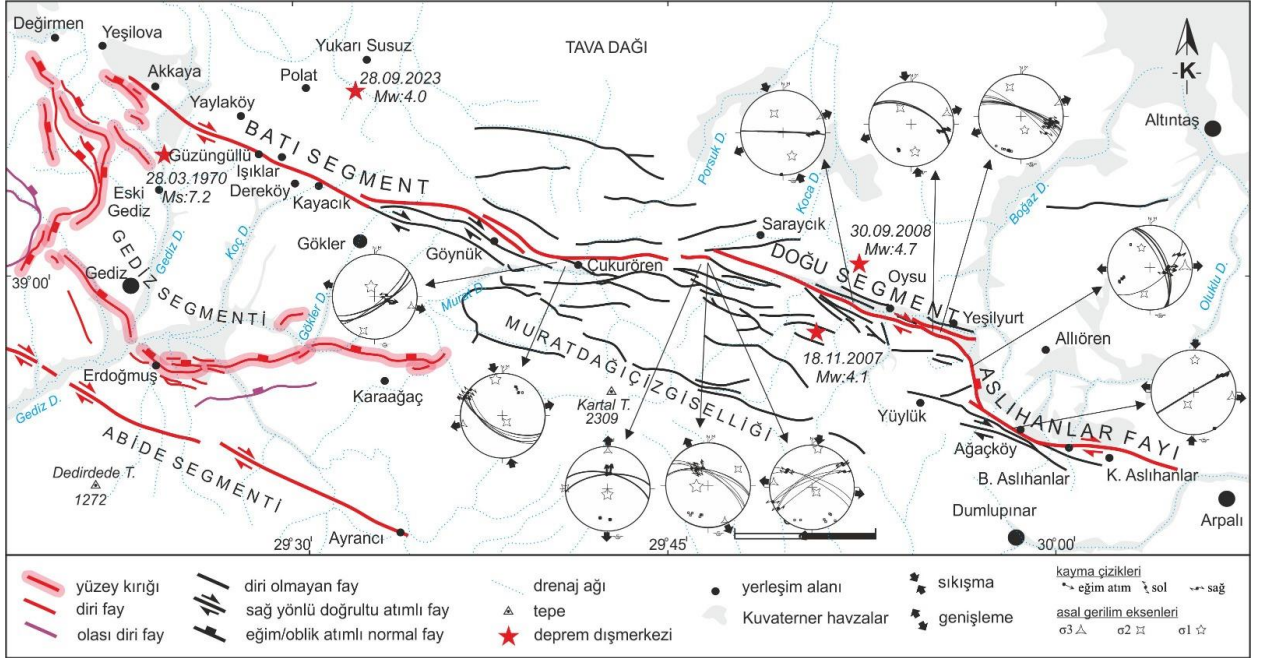


Şekil 1. Çalışma alanının Batı Anadolu tektonik yapısı içerisindeki yeri a) Doğu Akdeniz'in Neotektonik Dönem yapısı [9,10], mavi dolgulu oklar plakaların hareket yönlerini göstermektedir, b) Çalışma alanının ASFS içerisindeki konumu [3,4, 11, 12].

2. Çukurören Fayı: Geometrisi ve Kinematik Özellikleri

Batı Anadolu Bölgesi aktif fayları içerisinde yer alan Çukurören Fayı batıda Eski Gediz ile doğuda Dumlupınar arasında, KB-GD doğrultusunda yaklaşık 47 km uzunluğa sahiptir ve iki ana segmentten oluşur (Şekil 2). Yaklaşık 18 km uzunluğundaki batı segment, Eski Gediz kuzeyindeki Akkaya'dan başlayarak KB-GD uzanımında Yaylaköy, Işıklar ve Kayacık Mahallelerinden geçerek, Gökler kuzeyinde sola sıçrama yapar. Yaklaşık 29 km uzunluğundaki doğu segment ise Göynük, Çukurören ve Saraycık civarından geçerek Yeşilyurt civarında sonlanır.

Bu alanda, çizgisel gidişli derin vadiler ile tipik olan Çukurören Fayı, Çukurören yerleşim alanı doğusunda Saraycık, Oysu ve Yeşilyurt yerleşim alanları boyunca ortalama $K70^{\circ}B$ doğrultusunda çizgisel bir gidiş sunar. Fayın buraya kadar olan bölümü boyunca yapılan arazi çalışmaları, fayın sağ yanal doğrultu atımlı karakterine ait iyi korunmuş kayma düzlemlerinin varlığını ortaya çıkarmıştır. Göynük, Oysu ve Yeşilyurt arasında fay önünde gelişen kolüvyal ve alüvyal yelpaze çökelleri belirgindir. Bu alanlarda Çukurören Fayı Kuvaterner yaşlı kolüvyal çökelleri kesecek şekilde gelişmiştir. Yeşilyurt ile Alaçayır mevki arasında yer alan bölümü kademeli (en-echelon) dizilimli fay zonu şeklinde uzanmaktadır.



Şekil 2. Çukurören Fayı ve Aslıhanlar Fayı'nın geometrisi ve kinematik özelliklerini gösteren diri fay haritası (Diri faylar [5,6]'den alınmıştır).

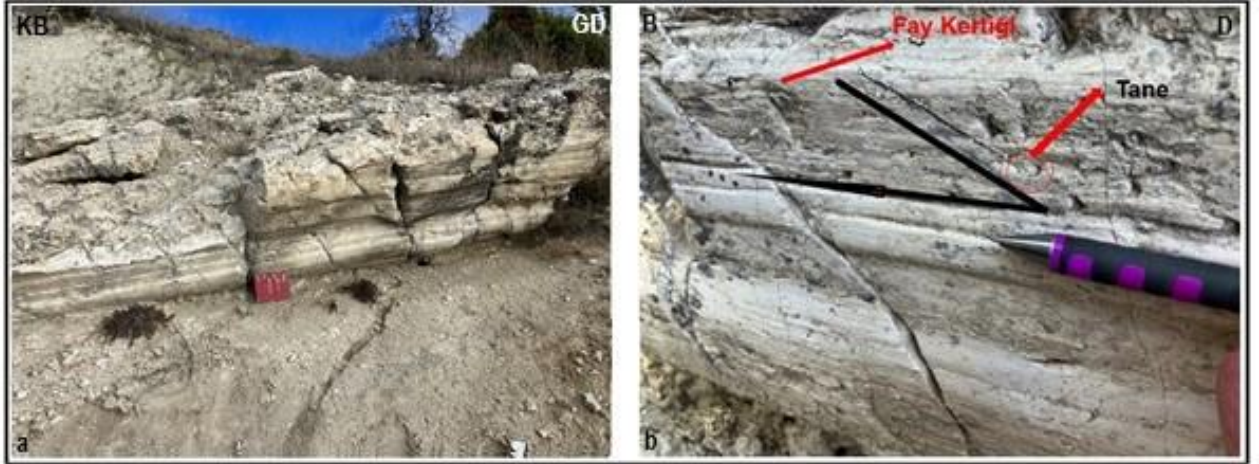
2.1 Çukurören Fayı Batı Segmenti

Eski Gediz'in kuzeyinde Akkaya Köyü'nden başlayarak, Güzüngülü, Işıklar, Dereköy, Kayacık Köyleri'nden geçerek Gökler Beldesi'nin kuzeyine kadar devam eder. Işıklar köyü girişinde Arıca formasyonu [8] içerisinde yer alan killi kireçtaşlarını kesen Çukurören Fayı'na ait düzlemler gözlenmeye başlar (Şekil 3). Fay düzlemlerinde $K50^{\circ}B/85^{\circ}GB$ doğrultu ve eğim değeri ölçülmüştür. Rake açısı değeri $16^{\circ}KB$ olup, düzlem üzerinde ölçülen kinematik belirteçlere göre Çukurören Fayı sağ yanal doğrultu atımlı fay karakterindedir.



Şekil 3. Çukurören Fayı'nın batı Segmenti Işıklar Köyü girişi a) Fay düzlemi b) Düzlem üzerinde kayma çizikleri c) Kinematik ölçüm $K50^{\circ}B\ 85^{\circ}GB$ rake: 16° KB Sağ yanal doğrultu atımlı fay.

Işıklar Köyü güneyi - Dereköy Mahalleleri arasında KB – GD doğrultusunda fayın kestiği Arıca formasyonu [8], travertenlerdeki fay aynası üzerinde yivli ve oluklu bir yapı gözlemlenmektedir (Şekil 4 a) Düzlem üzerinde fay çizikleri, fay kertikleri ve fayın hareketini gösteren asimetrik çakıllar net olarak görülmektedir. Kinematik ölçümlerde $K77^{\circ}B/88^{\circ}GB$ doğrultu ve eğim değerlerinin yanında, rake açısı 12° KB ölçülmüştür (Şekil 4 b). Ölçülen tüm veriler fayın hareketinin Işıklar - Dereköy arasında KB-GD doğrultusunda sağ yanal doğrultu atımlı karakterinde olduğunu göstermektedir.



Şekil 4. Işıklar - Dereköy arasında uzanan Çukurören Fayı'na ait fay düzlemleri a) K70°B 88°GB doğrultulu, yanal atımlı fay aynası üzerinde gelişmiş yivler, b) Fay düzlemi üzerindeki kayma çizikleri, kayma açısı 12°KB ölçülmüştür.

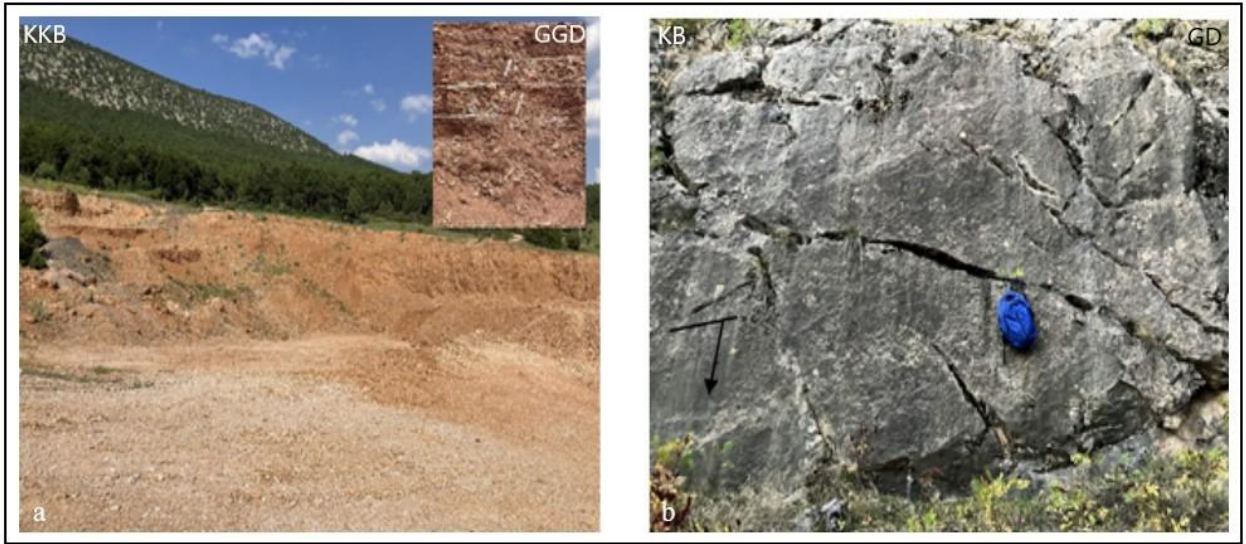
Eski Gediz kuzeyindeki Akkaya'dan başlayarak KB – GD uzanımında Yaylaköy, Işıklar, Kayacık Mahalleleri'nden geçerek Üçkuyu mevkiine kadar K50°B doğrultusunda çizgisel bir gidiş sunan Çukurören Fayı, Gökler Beldesi'nin kuzeyinde K10°B doğrultusuna dönen bir fay kolu ile kesişir. Bu alanda fayın eğim atım bileşeni yüksektir. Arazi çalışmaları sırasında ölçülen rake açıları 40° – 50° arasında değişmektedir (Şekil 5 b). Fay Üçpınar mevki – Göynük arasında K55°B doğrultusunu yeniden kazanır ve doğrultu atımlı karakterine dönüş yapar.



Şekil 5. Gökler Beldesi kuzeyi Çukurören Fayı batı segmenti a) Fay düzlemleri, b) Çukurören Fayı batı segmenti Gökler Beldesi Üçpınar mevkiinde sola sıçrama yaptığı düzlemden fay çizikleri c) Üçpınar mevkiinde fay düzlemi K55 B 85GB rake:18 KB, d) Dere yataklarında sağ yanal yönde gözlenen yaklaşık 15 metrelik ötelenmeler

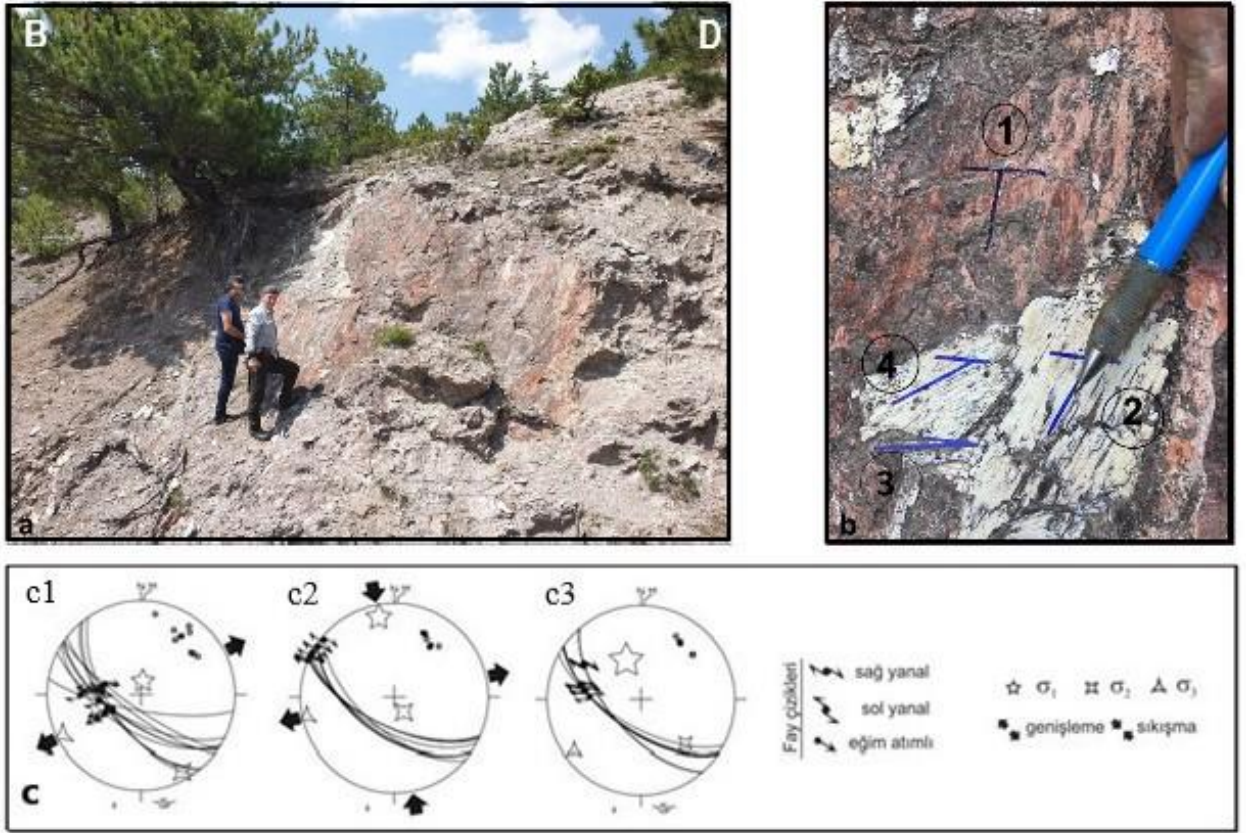
2.2 Çukurören Fayı Doğu Segmenti

Çukurören Fayı'nın doğu segmentine ait izler Göynük Köyü KB'sinde gözlenmeye başlar. Fay önünde gelişen kolüvyal çökelleri ve fayın güncel hareketi sonucunda kolüvyum içerisinde eğim atımlı faylanma hareketleri gözlenmektedir (Şekil 6 a). KB–GD doğrultusunda K35°B/ 85°GB doğrultu ve eğim değerlerine sahiptir (Şekil 6 b). Paleozoyik yaşlı Menderes Masifi şistleri içerisinde yer alan mermerleri keser. Göynük Köyü ve çevresinde gelişen kolüvyal depolanmalar ve bunların kesilmesi, Çukurören Fayı'nın aktif olduğunun bir işaretidir.



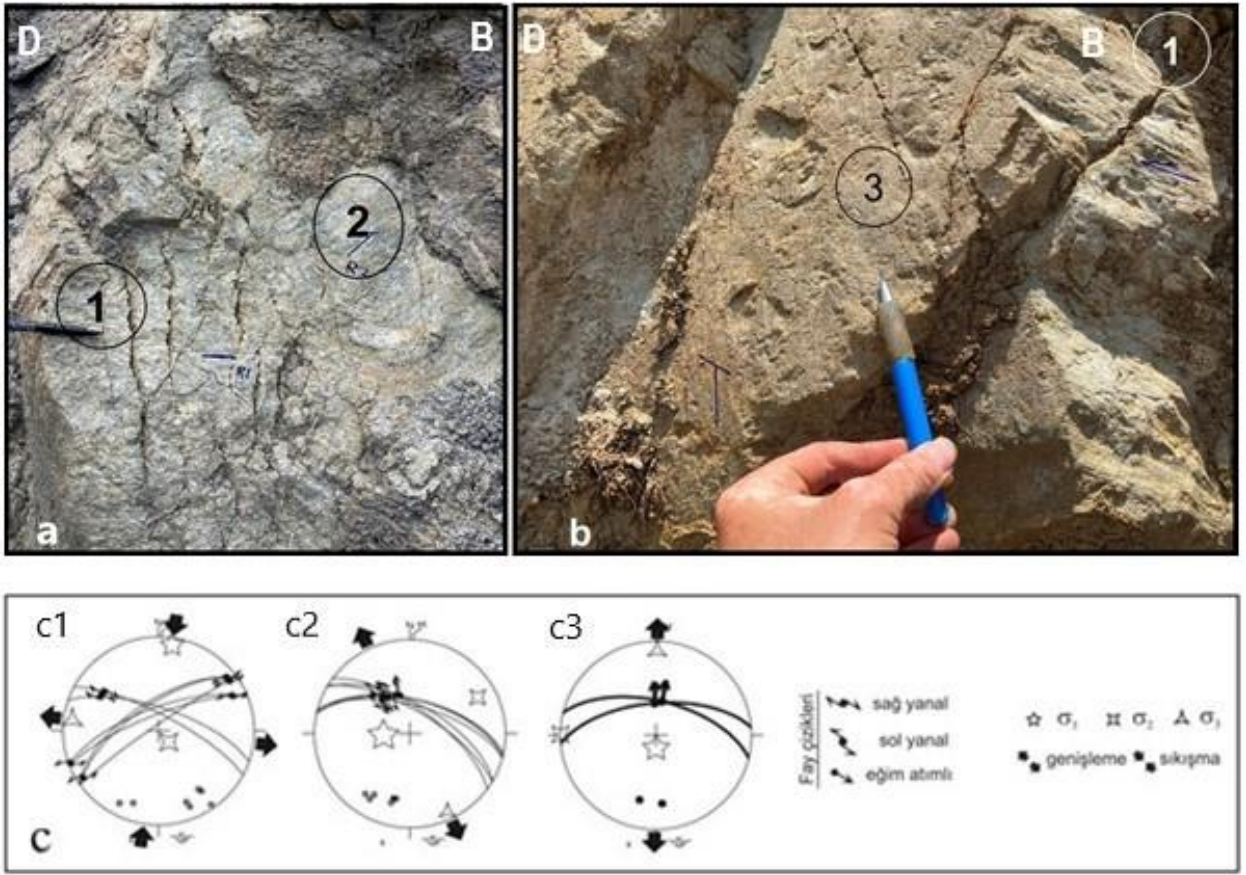
Şekil 6. Göynük Köyü Kuzeyi Çukurören Fayı doğu Segmenti a) Çukurören Fayı önünde gelişmiş kolüvyal çökeller b) Fay düzlemi ve fay düzlemi üzerinde kinematik ölçümler K35°B/85°GB

Çukurören Fayı doğu segmentine ait fay düzlemleri Çukurören Köyü girişinde gözlemlenmektedir. Düzlem üzerinde dört ayrı evreye ait izler vardır, birinci evrede eğim atım bileşeni yüksek normal fay karakterinde hareket etmiştir, K55°B/ 65°GB doğrultu ve eğim değerinde, rake açısı 81°KB, ikinci evrede K38°B/60°GB rake değeri de 64°KB eğim atım bileşeni yüksek eğim atımlı normal fay karakterinde, üçüncü evrede ise K65°B/64°GB rake 1°- 4° arasında değerler alır, bu faz içinde yanıl atım bileşeni yüksek, sağ yanıl doğrultu atım karakterindedir. Son evrede K55°B/62°GB rake değeri 40° ile 50° arasında değerler almakta, fayın son hareketi sağ yanıl obliktir. Fay düzlemi üzerindeki oblik karakterli normal faylanma ile bağlantılı kayma yüzeyi fay çizdiği seti (Şekil 7 b) ile hesaplanan sonuçlara göre asal gerilme eksenleri (σ_1 , σ_2 ve σ_3) sırasıyla c.1) 1 evre, 8°/78°, 151°/10°, 243°/07° c.2) 2 evre, 349°/14°, 148°/75°, 258°/05° c.3) 3 evre, 339°/53°, 135°/34°, 233°/12° (yönlem/dalım) olarak elde edilmiştir. Hesaplanan değerler Çukurören Fayı'nın ilk olarak KB – GD doğrultusunda gerilme etkisi ile eğim atım bileşeni yüksek karakterde hareket ettiği, sonrasında KD – GB gerilme, KB – GD doğrultusunda sıkışma etkisi ile sağ yanıl hareketin başladığı görülmektedir.



Şekil 7. Çukurören Fayı doğu segmenti Çukurören Köyü girişi a) Fay düzlemi b) Düzlem üzerinde farklı zamanlarda hareketi işareti eden 1-2-3-4 nolu evrelere ait fay kayma çizgileri c) Fay düzlemi üzerinde 1-2-3 nolu evrelerde ölçülen rake açı değerlerine göre asal gerilme eksenleri (σ_1 , σ_2 ve σ_3) sırasıyla c.1) 1 evre, $8^\circ/78^\circ$, $151^\circ/10^\circ$, $243^\circ/07^\circ$ c.2) 2 evre, $349^\circ/14^\circ$, $148^\circ/75^\circ$, $258^\circ/05^\circ$ c.3) 3 evre, $339^\circ/53^\circ$, $135^\circ/34^\circ$, $233^\circ/12^\circ$ (yönlem/dalım) olarak elde edilmiştir.

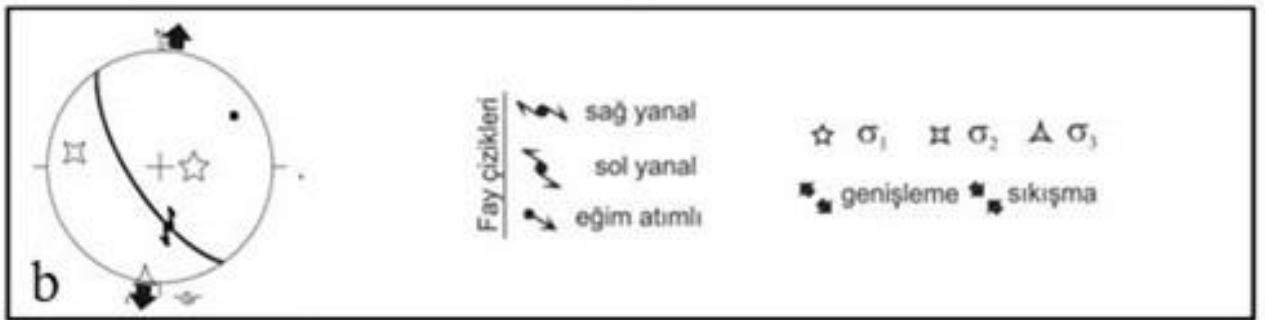
Saraycık Köyü Alaçayır mevkii arasında Adaçal Deresi'nde Çukurören Fayı doğu segmenti üzerinde fayın üç ayrı evrede hareket ettiğini gösteren kayma çizikleri vardır. Birinci evrede $K55^\circ D/67^\circ KB$ rake açısı 8° GB yanıl atım bileşeni yüksek (Şekil 8.a) sol yanıl doğrultu atımlı. İkinci evrede $K55^\circ B/60^\circ KD$ doğrultu ve eğim değerinde, rake açısı $44^\circ KD$ eğim atım bileşeni yüksek oblik karakterinde, son evrede $K76^\circ B/60^\circ KD$ rake açısı 90° eğim atımlı normal fay. Kayma yüzeyi fay çizici seti (Şekil 8 b) ve (şekil 8 c) ile hesaplanan sonuçlara göre asal gerilme eksenleri (σ_1 , σ_2 ve σ_3) sırasıyla c.1) $267^\circ/68^\circ$, $61^\circ/20^\circ$, $155^\circ/9^\circ$ Sol yanıl atım bileşeni yüksek, az oranda eğim atım bileşeni var c.2) $9^\circ/8^\circ$, $138^\circ/77^\circ$, $277^\circ/10^\circ$ oblik atımlı c.3) $179^\circ/79^\circ$, $271^\circ/0^\circ$, $1^\circ/11^\circ$ Normal fay.



Şekil 8. Saraycık Köyü GB da Çukürören Fayı doğu segmenti a) 1 ve 2 nolu fay düzlemleri ve düzlem üzerinde kayma çizikleri b) 1 ve 3 nolu fay düzlemleri ve düzlem üzerinde kayma çizikleri c) Asal gerilme eksenleri (σ_1 , σ_2 ve σ_3) sırasıyla c.1) $267^\circ/68^\circ$, $61^\circ/20^\circ$, $155^\circ/9^\circ$ Sol yanallı atım bileşeni yüksek, doğrultu atımlı fay c.2) $9^\circ/8^\circ$, $138^\circ/77^\circ$, $277^\circ/10^\circ$ Oblik fay c.3) $179^\circ/79^\circ$, $271^\circ/0^\circ$, $1^\circ/11^\circ$ Normal fay

Hesaplanan değerler Adaçal Deresi'nde Çukürören Fayı Doğu Segmenti'nin ilk evrede KB – GD doğrultusunda gerilme etkisi ile yanallı bileşeni yüksek sol yanallı doğrultu atımlı (Şekil 8 c) ikinci evrede KB – GD gerilme, KKD – GGB doğrultusunda sıkışma etkisi ile sağ yanallı bileşeni düşük, eğim atımlı, oblik karakterde, son evrede, K-G saf gerilmenin etkisi ile normal fay karakterinde hareket ettiğini göstermektedir.

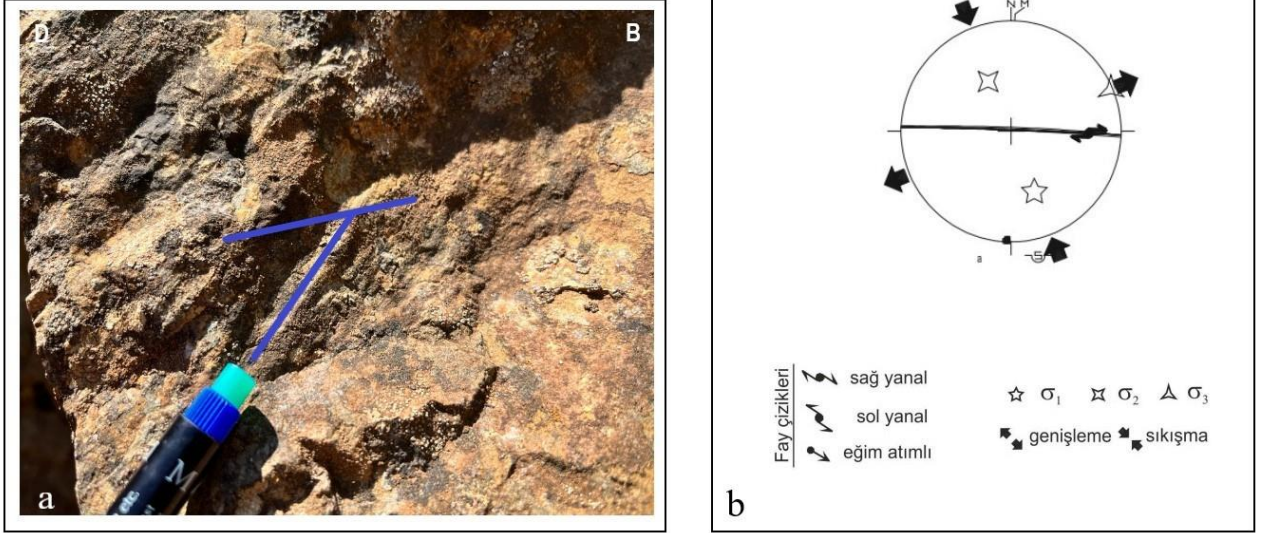
Yeşilyurt ile Alaçayır mevki arasında 11 km uzunluğunda kademeli (en-echelon) dizimli fay zonu şeklinde uzanmaktadır. Oysu Köyü girişinde (Şekil 9) Arıca formasyonu [8], killi kireçtaşları ile kolüvyal çökeller arasında faylı bir dokanak vardır. Fay düzlemi üzerinde kayma yüzeyinden ölçülen kinematik veriler ve (Şekil 9 b) de verilen değerlere göre hesaplanan asal gerilme eksenleri (σ_1 , σ_2 ve σ_3) sırasıyla $91^\circ/65^\circ$, $279^\circ/24^\circ$, $188^\circ/3^\circ$ (yönlem/dalım) olarak elde edilmiştir. Hesaplanan değerler KD - GB yönünde gerilmenin etkisi ile oblik atımlı normal fay geliştiğini göstermektedir.



Şekil 9. Çukurören Fayı doğu segmenti a) Oysu Köyü girişinde oblik atımlı normal fay, b) Kayma yüzeyi kinematik ölçümlerine göre yapılan paleostres diyagramı.

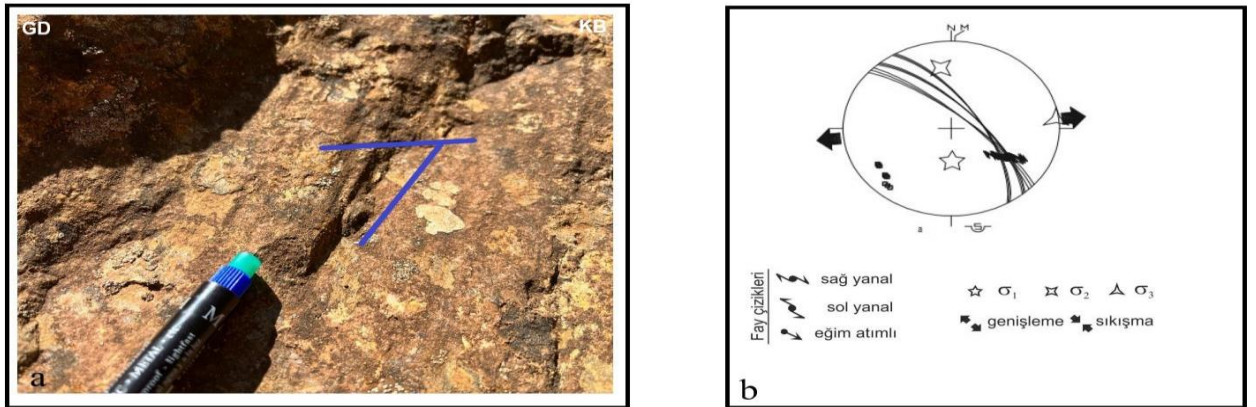
Oysu Köyü güneyi Çukurören Fayı doğu segmenti kayma yüzeyinde ölçülen kinematik verilere ve (Şekil 10 b) de

verilen değerlere göre hesaplanan asal gerilme eksenleri (σ_1 , σ_2 ve σ_3) sırasıyla $159^\circ/41^\circ$, $335^\circ/49^\circ$, $67^\circ/2^\circ$ (yönlem/dalı) olarak elde edilmiştir. Hesaplanan değerler KD - GB gerilme, KB - GD yönünde sıkışmanın etkisi ile sağ yanal doğrultu atımlı fay geliştiğini göstermektedir (Şekil 10).



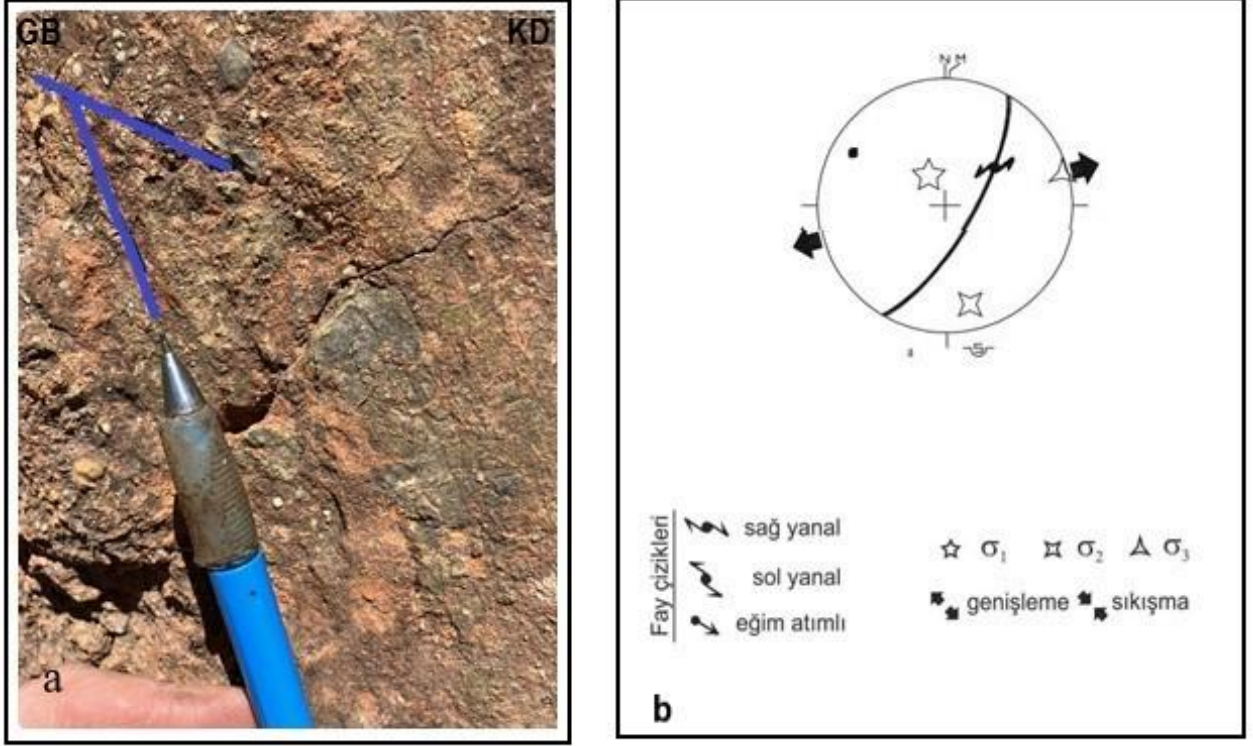
Şekil 10. Çukurören Fayı doğu segmenti Oysu Köyü güneybatısı a) Fay düzlemindeki kayma çizikleri b) Kayma yüzeyi kinematik ölçümlerine göre yapılan paleostres diyagramı

Oysu Köyü güneyi, Çukurören Fayı doğu segmenti kayma yüzeyinde ölçülen kinematik verileri ve (şekil 11.b) de verilen değerlere göre hesaplanan asal gerilme eksenleri (σ_1 , σ_2 ve σ_3) sırasıyla $179^\circ/55^\circ$, $352^\circ/31^\circ$, $84^\circ/3^\circ$ (yönlem/dalım) olarak elde edilmiştir. Hesaplanan değerler KD - GB yönünde gerilmenin etkisi ile oblik atımlı normal faylanma geliştiğini göstermektedir (Şekil 11).



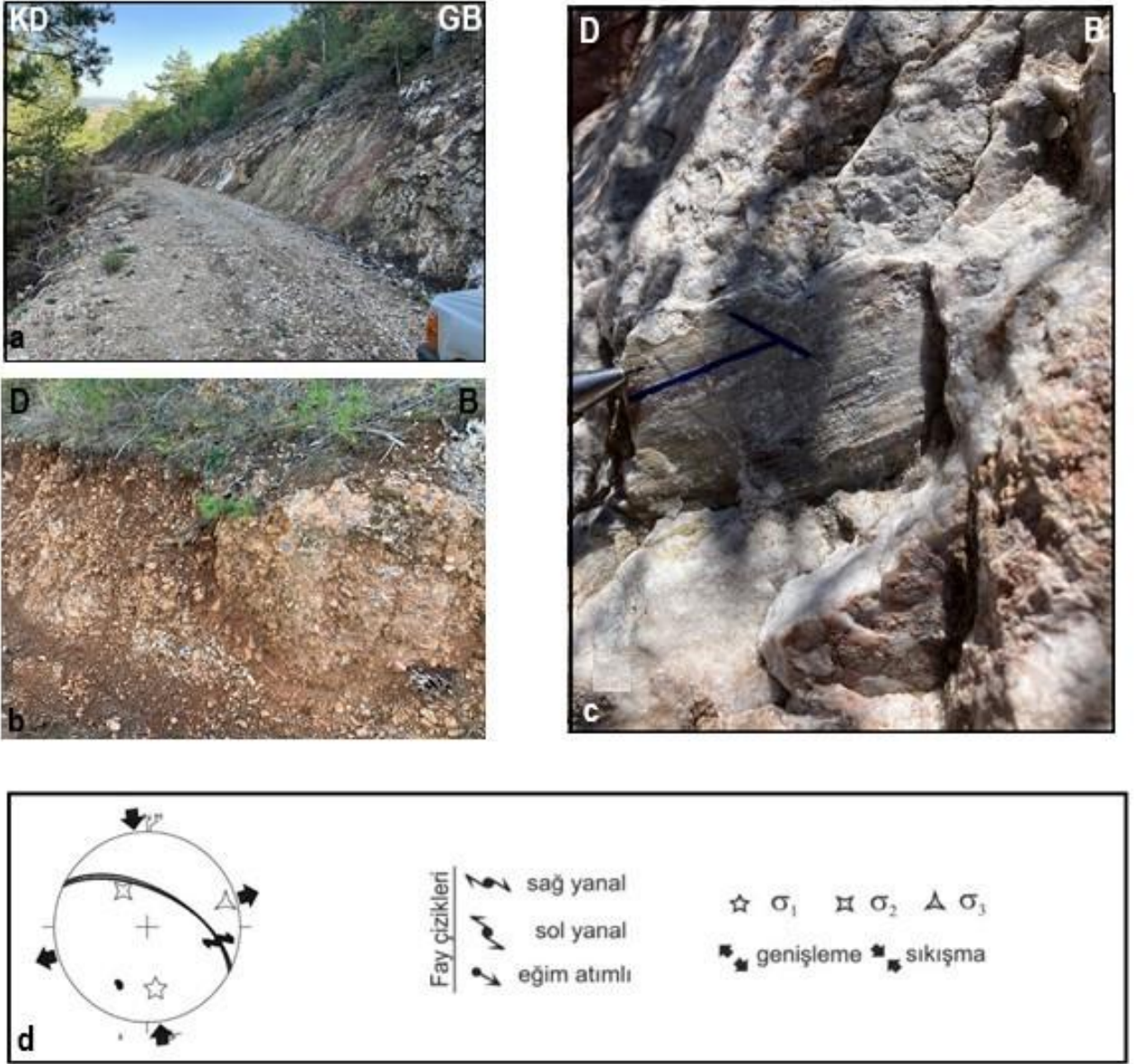
Şekil 11. Oysu Köyü güneyi Çukurören Fayı doğu segmenti a) Kayma yüzeyi fay çizikleri b) kayma yüzeyi kinematik ölçümlerine göre yapılan paleostres diyagramı

Oysu Köyü güneyi Sorkun Deresi'nde Çukurören Fayı Doğu segmentinde fay düzlemi üzerindeki kayma çizgilerinden alınan kinematik verilere ve (Şekil 12. b) de verilen değerlere göre hesaplanan asal gerilme eksenleri (σ_1 , σ_2 ve σ_3) sırasıyla $332^\circ/68^\circ$, $167^\circ/21^\circ$, $75^\circ/5^\circ$ (yönlem/dalım) olarak elde edilmiştir. Hesaplanan değerler KD - GB yönünde gerilmenin etkisi ile oblik atımlı normal fay geliştiğini göstermektedir (Şekil 12).



Şekil 12. Oysu Köyü Sorkun Deresi Çukurören Fayı Doğu segmenti a) Fay düzlemindeki kayma çizikleri b) Kayma yüzeyi kinematik ölçümlerine göre yapılan paleostres diyagramı

Yeşilyurt Köyü güneyi eski orman deposunun yakınında Çukurören Fayı'na ait düzlemler görülmeye başlanmaktadır (Şekil 13 a). Fayın $K70^\circ B$ doğrultu ve $K70^\circ B$ eğim değerini verdiği rake açısı $26^\circ GD$ sağ yanal bileşeni yüksek ve sağ yanal doğrultu atımlı olduğu gözlemlenmektedir. Fay zonu önünde gelişmiş kolüvyal malzemeler belirgindir (Şekil13 b).



Şekil 13. Çukuroren Fayı a) Yeşilyurt Köyü güneyinde fay düzlemleri, b) Kolüvyal çökeller c) Fay düzlemindeki kayma çizikleri, d) Kayma yüzeyi kinematik ölçümlerine göre yapılan paleostres diyagramı. Fay düzlemleri üzerindeki kinematik göstergeler, sağ yanal doğrultu atımlı karakterinde olduğunu göstermektedir.

Yeşilyurt Köyü'nde Çukuroren Fay düzlemi üzerinde sağ yanal doğrultu atıma ait fay çizigi seti (Şekil 13 c) ve (Şekil 12 b) ile hesaplanan sonuçlara göre asal gerilme eksenleri (σ_1 , σ_2 ve σ_3) sırasıyla $165^\circ/62^\circ$, $339^\circ/27^\circ$, $70^\circ/3^\circ$ (yönlem/dalım) olarak elde edilmiştir. Hesaplanan değerler Çukuroren Fayı'nın Yeşilyurt Köyü'nün güneyinde DKD

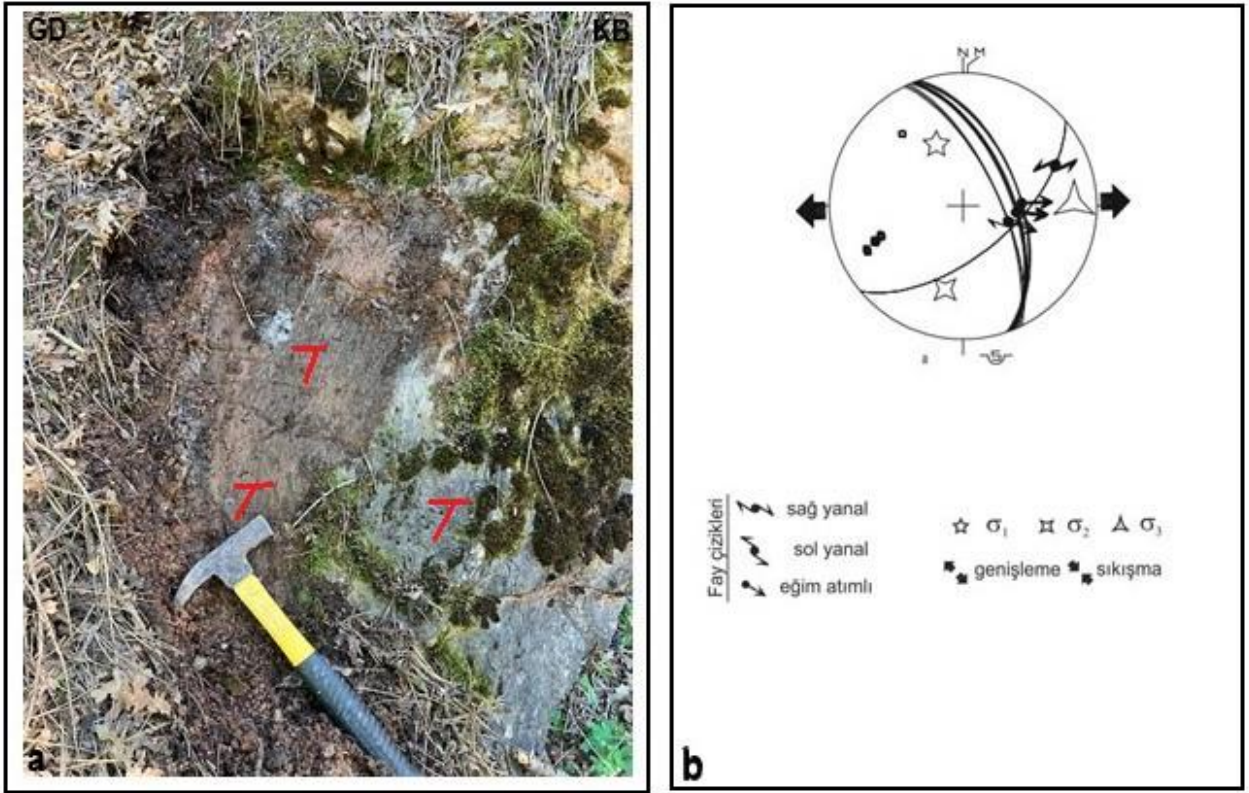
– BGB yönlü gerilme ve KKB – GGD yönlü sıkışma kuvvetlerinin etkisinde kaldığını göstermektedir.

3. Aslıhanlar Fayı: Geometrisi ve Kinematik Özellikleri

Aslıhanlar Fayı Yeşilyurt doğusunda genişlemeli bir büküm ile Çukurören Fayı'ndan ayrılır. 5 km uzunluğa ulaşan fayın bu bölümü KKB-GGD doğrultuludur ve eğim atım bileşeni yüksektir. Az oranda sağ yanal bileşeni vardır. Bu durum Aslıhanlar Köyü önünde gelişen çek – ayır havza benzeri çöküntüye neden olmuştur. Aslıhanlar Fayı Yüylük ile Küçük Aslıhanlar arasında 10 km uzunluğunda sağ yanal bileşeni yüksek çizgisel bir segment şeklinde uzanır. Fay Büyük Aslıhanlar ile Ağaçköy arasında K70°B doğrultusuna ve sağ yanal doğrultu atımlı karakterine dönüş yapar. Ağaçköy - Yalova mevki arasında gözlenen fay breşleri ve faya ait ölçülen 22 derecelik sapma (rake) açıları Aslıhanlar Fayı'nın benzer doğrultuda ve karakterde Küçük Aslıhanlar'a kadar devam ettiğini göstermektedir.

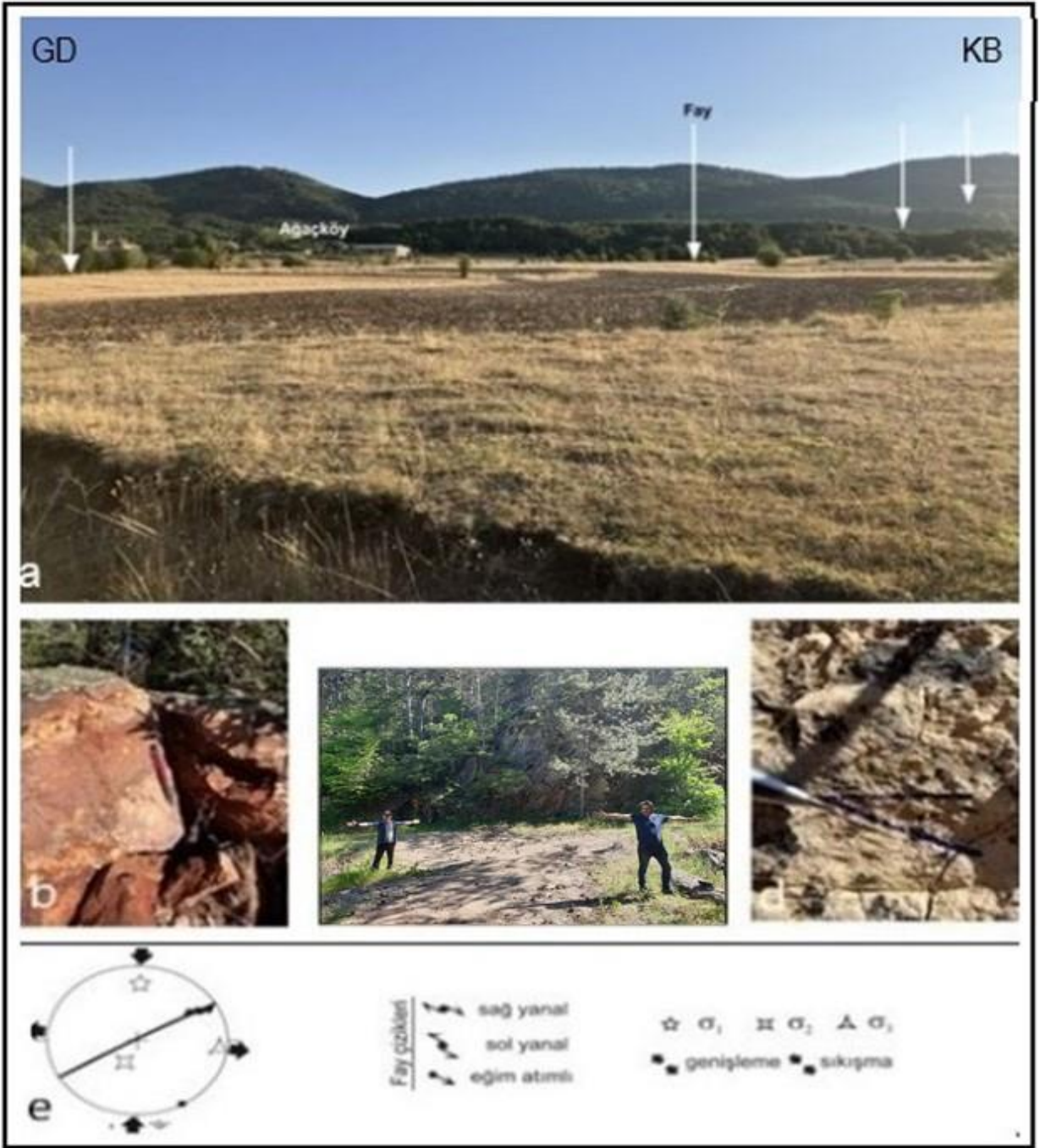
Yeşilyurt ile Alaçayır mevki arasında 11 km uzunluğunda kademeli (en-echelon) dizimli fay zonu şeklinde uzanıyor. Her iki fay zonu arasındaki bağlantıyı sağlayan bölüm 4 km uzunluğunda olup bu fayın eğim atım bileşeni sağ yanal doğrultu atım bileşeninden daha büyüktür. Sağ yanal doğrultu atımlı faydaki sağa bükülmenin neden olduğu genişlemeli büküm bir çöküntü alan oluşmasına neden olmuştur.

Aslıhanlar Fayı Yeşilyurt-Ağaçköy arasında kuzeydoğuya bakan bir yay geometrisine sahiptir (Şekil 2) Bu alanda kuzeyde K10°-20°B arasında bir gidiş sunar. Bu doğrultu üzerindeki fay düzlemi kayma açıları 65°-70° ölçülmüştür (Şekil 14 a) Kinematik ölçümlerde eğim atım bileşeni yüksek olduğu için, bükülmenin gerçekleştiği bu bağlantı oblik atımlı normal fay karakterindedir. Fay düzlemi kayma yüzeyi fay çiziklerinden (Şekil 14 a) alınan kinematik verilere göre hesaplanan asal gerilme eksenleri (σ_1 , σ_2 ve σ_3) sırasıyla 337°/48°, 192°/36°, 88°/18° (yönlem/dalım) olarak elde edilmiştir. Bu değerler Aslıhanlar Fayı'nın sağa büküm yaptığı bölgede fay üzerinde etkili olan gerilme rejiminin DKD – BKB yönlü saf genişleme şeklinde olduğunu göstermektedir (Şekil 14 b).



Şekil.14. Aslıhanlar Fayı a) Genişlemeli büklüm yerinde fay düzlemi ve kayma çizikleri b) Kayma yüzeyinde kinematik ölçümlere göre yapılan paleostres diyagramı.

Ağaçköy - Büyük Aslıhanlar arasında basamaklı dizilim gösteren fay zonu içinde ana faya yaklaşık dik konumlu düzlemler üzerinde yapılan ölçümlerde (Şekil 15 d-e) rake açı değerleri 22° ve altında çıkmıştır. Buradaki kinematic göstergeler sol yanal atımlı faylanmaya işaret etmektedir. Bu durumda, ölçülen fay düzlemleri ana fay zonu içindeki ridel kırıkları olarak değerlendirilmiştir.



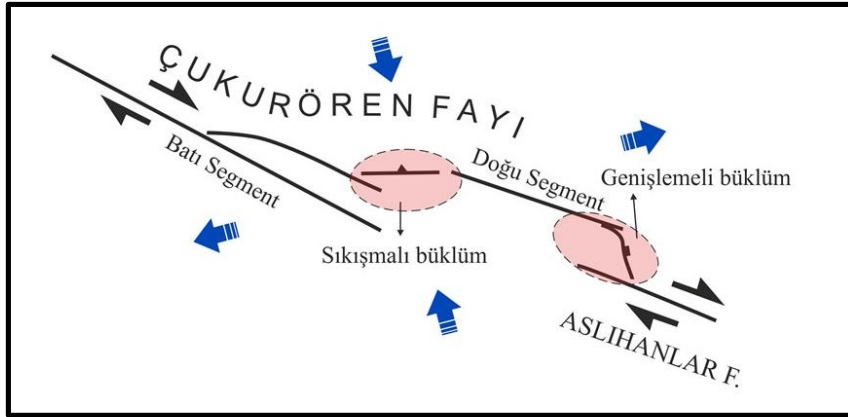
Şekil 15. Ağaçköy Fay Zonu a) Ağaçköy - Büyükaslıhanlar arası KD yönünde basamaklı yapı b) Fay zonları arasında gözlenen fay breşleri arazi görüntüsü c) Dere yataklarında sağ yanal yönde ötelenmeler d) Fay düzlemi üzerinde ölçülen kayma çizikleri e) Kayma yüzeyi kinematik ölçümlerine göre yapılan paleostres diyagram.

4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Çukurören Fayı önceki çalışmalarda Yeşilyurt Fay zonu içindeki eğim atımlı normal bir fay segmenti olarak tanımlanmıştır [13]. Bu çalışmaya göre, Çukurören fayı yaklaşık 5 km uzunluğunda, D—B-gidişli, güneye dikçe eğimli normal bir fay olup, yaklaşık 0.2 km genişlikte ve 3.5 km uzunluğundaki Pliyo—Kuvaterner yaşlı Çukurören grabenini kuzey kenarı boyunca sınırlar ve denetler. Bunun yanında MTA'nın hazırladığı Türkiye Diri Fay Haritası'nda Çukurören Fayı ve Aslıhanlar Fayı sağ yanal doğrultu atımlı fay şeklinde yeniden tanımlanmıştır [1,6,7]. Buna göre, Çukurören Fayı, 29 km ve 18 km uzunluğundaki sağ yanal doğrultu atımlı iki segmentten yapıldır. Aslıhanlar Fayı ise, Çukurören Fayı'nın doğu kısmında yer alan 15 km uzunluğundaki fay olarak tanımlanmıştır. Tarafımızdan yapılan haritalama çalışmaları ve kinematik analiz sonuçları Türkiye Diri Fay haritası [1,6,7]'ni doğrular niteliktedir.

Çalışmamıza göre, Çukurören Fayı batı ve doğu segment olarak adlandırılan iki ana segmentten oluşmaktadır. Batı segmenti Akkaya - Gökler arasında yaklaşık 19 km lik bir uzunluktadır. Segment üzerinde korunmuş fay düzlemleri üzerinde alınan kinematik ölçümlerin analizi sonucu, K70°B doğrultusunda sağ yanal atımlı faya işaret etmektedir. Gökler beldesi kuzeyinde dere yataklarındaki ötelenmeler, Göynük, Oysu ve Yeşilyurt arasında fay önünde gelişen kolüvyal ve alüvyal yelpaze çökelleri Çukurören Fayı'nın aktif olduğunun bir göstergesidir.

Çukurören Fayı'nın doğu segmenti sıkışmalı bir büklüm ile batı segmentinden ayrılır ve Göynük - Yeşilyurt arasında yaklaşık K60°B doğrultusunda 29 km boyunca devam eder. Yeşilyurt doğusundan itibaren 5 km uzunluğa varan genişlemeli bir büklüm ile başlayan Aslıhanlar Fayı ise, Ağaçköy-Küçük Aslıhan arasında 10 km boyunca K70°B doğrultusunda sağ yanal doğrultu atım karakterli çizgisel bir gidiş sunar. Kinematik veriler her iki fay türünün de KKB-GGD doğrultulu sıkışma ve BGB-D-KD doğrultusundaki genişleme kuvvetleri etkisinde gelişen bir makaslama zonu içinde kaldığını göstermektedir (Şekil 16).



Şekil 16. Çukurören Fayı ve Aslıhanlar Fayı'nın kinematik ilişkisini gösteren faylanma modeli.

Özellikle Çukurören Fayı doğu segmenti üzerinde gözlenen reaktivasyon bulguları bölgesel ölçekte yapılan çalışmalarla uyumlu olacak şekilde farklı zamanlardaki deformasyon evrelerini tanımlamaktadır [14].

Haritalanan fay segmentlerinin uzunluğu ile segmentlerin oluşturabileceği maksimum deprem büyüklüğü arasındaki ilişkilere göre, Çukurören Fayı'nın batı segmenti 6.5; doğu segmenti 6.8; Aslıhanlar Fayı ise 6.5 büyüklüğünde deprem üretme potansiyeline sahiptir. Benzer kinematik özelliklere sahip bu iki fayın beraber kırılması halinde ise, oluşabilecek maksimum deprem büyüklüğü 7.2 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bulgular Simav, Kütahya, Uşak ve Afyonkarahisar'ın arasında kalan Çukurören Fayı ve Aslıhanlar Fayı'nın bölge için önemli bir

sismik kaynak olduğuna işaret etmektedir.

YAZAR KATKISI VE TEŞEKKÜR

M.A.; veri toplama, makale yazım, **M.Ö.;** veri değerlendirme, makale yazım, **Ç.Ö.;** veri toplama, paleostres analizi, makale yazım, **H.S.;** haritalama, veri toplama, makale yazım,

Bu çalışma birinci yazarın doktora tezinden üretilmiştir. Çalışma 2023/48 nolu Kütahya Dumlupınar Üniversitesi BAP Projesi kapsamında desteklenmiştir. Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Rektörlüğü'ne maddi katkılarından dolayı teşekkür ederiz. Makale 3 hakemin önerileri doğrultusunda revize edilmiştir. Kendilerini teşekkürü bir borç biliriz. Ayrıca Journal of Scientific Reports-C Dergisi'nin Editör Yardımcısı Sayın Prof.Dr. Cafer Özkul'a yardımlarından dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

- [1] Ö. Emre et al., "Active fault database of Turkey," *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol. 16, no. 8, pp. 3229-3275, 2018.
- [2] Ç. Özkaymak, "Tectonic analysis of the Honaz Fault (western Anatolia) using geomorphic indices and the regional implications," *Geodinamica Acta*, vol. 27, no. (2-3), pp. 110-129, 2015.
- [3] Ç. Özkaymak, H. Sözbilir, M.O. Geçievi and İ. Tiryakioğlu, "Late Holocene coseismic rupture and aseismic creep on the Bolvadin Fault, Afyon Akşehir Graben, Western Anatolia," *Turkish Journal of Earth Science*, vol. 28, pp. 787-804, 2019, DOI: 10.3906/yer-1906-13.
- [4] Ç. Özkaymak, H. Sözbilir and İ. Tiryakioğlu, "Afyon Akşehir Grabeni Kenar Fayları Saha Gözlemleri ve Teknik İnceleme," *ATAG21.Çalıştay*, 2017.
- [5] T. Y. Duman et al., "Seismotectonic database of Turkey," *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol. 16, no. 8, pp. 3277-3316, 2018.
- [6] Ö. Emre et al., "Active fault map of Turkey with an explanatory text 1:1,250,000 scale," *General Directorate of Mineral Research and Exploration*, Special Publication Series, vol. 30, 2013.
- Ambraseys, N. N. and Tchalenko J. S. "Seismotectonic Aspects of the Gediz, Turkey, Earthquake of March 1970," *Geophys. J. R. astr. SOC*, vol. 30, pp. 229-252, 1972.
- [7] N.N. Ambraseys and J. A. Jackson, "Faulting associated with historical and recent earthquakes in the Eastern Mediterranean region," *Geophysical Journal International*, vol. 133, no. 2, pp. 390-406, 1998.
- [8] E. Bozkurt, "Neotectonics of Turkey," *a synthesis GEODINAMICA ACTA*, vol. 14, pp. 3-30, 2001.
- [9] E. Bozkurt and H. Sözbilir, "Tectonic evolution of the Gediz Graben: field evidence for an episodic, two-stage extension in western," *Turkey Geological Magazine*, vol. 141, no. 1, pp. 63-79, 2004.
- [10] Ş. Gürboğa, "Neo-and seismo-tectonic characteristics of the Yenigediz (Kütahya) area," *Yayınlanmamış Doktora tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 2011.
- [11] A. Koçyiğit, E. Ünay and G. Saraç, "Episodic graben formation and extensional neotectonic regime in west Central Anatolia and the Isparta Angle: a case study in the Akşehir-Afyon Graben, Turkey," *Geological Society*, vol. 173, pp. 405-421, 2000.
- [12] A. Koçyiğit, Ş. Deveci, "Çukurören-Çobanlar (Afyon) arasındaki deprem kaynaklarının (aktif fayların) belirlenmesi," *TÜBİTAK-YDABAG: 106 Y 209 nolu proje*, pp. 71, 2007.
- [13] M. Özbüran and Ö. F. Gürer, "Late Cenozoic polyphase deformation and basin development, Kütahya region, western Turkey," *International Geology Review*, vol. 54, no. 12, pp. 1401-1418, 2012.