



T.C.

**ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SÜRGÜ VE ÇARDAK FAYLARININ (DOĞU ANADOLU FAY
ZONU) MORFOTEKTONİK VE PALEOSİSMOLOJİK
ÖZELLİKLERİ**

DOKTORA TEZİ

Musa BALKAYA

Tez Danışmanları

Prof. Dr. Süha ÖZDEN

Prof. Dr. H. Sedar AKYÜZ

ÇANAKKALE – 2022



T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SÜRGÜ VE ÇARDAK FAYLARININ (DOĞU ANADOLU FAY ZONU)
MORFOTEKTONİK VE PALEOSİSMOLOJİK ÖZELLİKLERİ**

DOKTORA TEZİ

Musa BALKAYA

Tez Danışmanları

Prof. Dr. Süha ÖZDEN

Prof. Dr. H. Sedar AKYÜZ

Bu çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversite Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (ÇOMÜ-BAP) ve TÜBİTAK (1002 Hızlı Destek projeleri) kurumları tarafından desteklenmiştir.

ÇOMÜ-BAP Proje No: FDK-2019-2979, TÜBİTAK Proje No:120Y102.

ÇANAKKALE – 2022

ETİK BEYAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi taahhüt ve beyan ederim.

(İmza)

Musa BALKAYA

27/01/2022

TEŞEKKÜR

Bu tezin gerçekleştirilmesinde, çalışmanın tüm aşamalarında bilgi ve desteğini esirgemeyen, karşılaşılan güçlüklerin aşılmasında yönlendirici olan tez danışmanım Prof. Dr. Süha ÖZDEN'e teşekkürü bir borç bilirim. Tezin her aşamasında bana her türlü desteği sağlayan, büro çalışmalarına sürekli uzaktan destek veren, arazi çalışmalarında pandemi döneminde bile bana eşlik ederek beni onure eden, gerek bilimsel anlamda gerek sosyal anlamda bana çok katkısı olan eş danışman hocam Prof. Dr. H. Serdar AKYÜZ'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması çalışma raporlarının sunulması ve tartışılması esnasında gerekli yönlendirmeleri, yapıcı eleştirileri ve tez çalışmasına katkılarından dolayı, Tez İzleme Komitesi üyelerim Prof. Dr. Erdiñç YİĞİTBAŞ ve Prof. Dr. Tolga BEKLER'e teşekkür ederim.

Doktora eğitimimin başlangıcından sonuna kadar bir yol gösterici abim gibi her sorumu bilimsel bir çerçevede özenle cevaplayarak eğitimime katkı sağlayan değerli hocam Prof. Dr. Çağlar ÖZKAYMAK'a, Morfometrik indis hesaplamaları konusunda bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen Dr. Öğretim Üyesi Taylan SANÇAR ve Jeoloji Yüksek Mühendisi Mehran BASMENJİ'ye katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Bu çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversite Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi FDK-2019-2979 numaralı proje ve TÜBİTAK 1002 Hızlı Destek projeleri 120Y102 numaralı proje tarafından desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı ÇOMÜ-BAP birimine ve TÜBİTAK'a teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, eğitim hayatım boyunca yaşadığım tüm zorlukları göğüsleyebilmek adına manevi desteğini hiçbir zaman çekmeyen, sabrın sınırlarının zorlandığı dönemlerde bile sevgi ve sabrını esirgemeyen değerli aileme teşekkür ederim.

Musa BALKAYA

Ocak 2022

ÖZET

SÜRGÜ VE ÇARDAK FAYLARININ (DOĞU ANADOLU FAY ZONU) MORFOTEKTONİK VE PALEOSİSMOLOJİK ÖZELLİKLERİ

Musa BALKAYA

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. Süha ÖZDEN

İkinci Danışman: Prof. Dr. H. Serdar AKYÜZ

01/01/2022, 125

Bu çalışmada, Doğu Anadolu Fay Zonu kuzey kolunun Çelikhan ile Göksun arasındaki kesimini oluşturan Sürgü ve Çardak faylarının morfotektonik ve paleosismolojik özellikleri araştırılmıştır. Çalışma alanının litolojik, yapısal ve jeomorfolojik özellikleri göz önünde bulundurularak yapılan arazi çalışmaları neticesinde Sürgü ve Çardak fayları haritalanmıştır. Tez kapsamında yapılan arazi ve büro çalışmalarıyla, Sürgü ve Çardak fayları boyunca görülen yapısal ve morfolojik unsurlar incelenmiştir. Yapılan incelemeler neticesinde ve çalışma alanında aletsel dönemde meydana gelmiş bazı depremlerin odak mekanizması çözümleri ışığında; Sürgü ve Çardak faylarının sol yanal doğrultu atımlı, aktif birer fay oldukları görülmüştür. Morfometrik indis hesaplamaları kapsamında, inceleme alanındaki dağ önlerinde Dağönü Eğriselliği (Smf), drenaj ağı ve havzaları üzerinde ise Vadi Tabanı Genişliğinin-Vadi Yüksekliğine Oranı (Vf) ve Akarsu Uzunluk - Gradyan İndisi (SL) hesaplanmıştır. Bu analizler neticesinde Sürgü ve Çardak faylarının bölgenin tektonik evriminde önemli rol oynadıkları ve bölge morfolojisini şekillendirdikleri anlaşılmıştır. Paleosismolojik çalışmalar kapsamında Sürgü Fayı üzerinde 3, Çardak Fayı üzerinde 3 olmak üzere toplam 6 adet hendek çalışması yapılmıştır. Sürgü Fayı üzerinde kazılan 3 hendekten; Sürgü Fayı'nın Holosen döneminde biri MÖ 3350 civarında, biri de MÖ 790 ±20 ile MÖ 2085 ±65 arasında olmak üzere en az iki yüzey kırığı oluşturmuş deprem ürettiği anlaşılmıştır. Ayrıca bu fayın yaklaşık son 500 yılda yüzey kırığı oluşturmuş bir deprem üretmediği de tespit edilmiştir. Çardak Fayı üzerinde yapılan 3 hendek çalışmasından; Çardak Fayı'nın MÖ 10580 ±95 ile MÖ 5780 ±65 arasında en az bir adet, MÖ 3215 ±125

ile MS 825 \pm 55 arasında da bir adet yüzey kırığı oluşturmuş deprem ürettiği kanısına varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sürgü ve Çardak fayları, Morfotektonik, Paleosismoloji, Doğu Anadolu Fay Zonu, Deprem



ABSTRACT

MORPOTECTONIC AND PALEOSISMOLOGICAL CHARACTERISTICS OF SÜRGÜ AND ÇARDAK FAULTS (EASTERN ANATOLIAN FAULT ZONE)

Musa BALKAYA

Çanakkale Onsekiz Mart University

School of Graduate Studies

PhD Thesis in Earth Sciences

Advisor: Prof. Dr. Süha ÖZDEN

Co-Advisor: Prof. Dr. H. Serdar AKYÜZ

01/01/2022, 125

In this study, the morphotectonic and paleoseismological features of the Sürgü and Çardak faults, which form the section of the North Branch of the Eastern Anatolian Fault Zone between Çelikhan and Göksun towns, were investigated. The Sürgü and Çardak faults were mapped as a result of the field studies, taking into account the lithological, structural and geomorphological features of the study area. Structural and morphological elements along the Sürgü and Çardak faults were examined with the field and office studies carried out within the scope of the thesis. As a result of the investigations and with the help of focal mechanism solutions of some earthquakes that occurred in the instrumental period in the study area; It has been observed that the Sürgü and Çardak faults are left-lateral strike-slip active faults. Within the scope of morphometric index calculations, Mountainfront Sinuosity (Smf) was calculated in front of the mountains in the study area. The Valley Floor Width-to-Valley Height ratio (Vf) and Stream Length - Gradient Index (SL) were calculated on the drainage network and basins in the study area. As a result of these analyzes, it was understood that the Sürgü and Çardak faults played an important role in the tectonic evolution of the region and shaped the morphology of the region. Within the scope of paleoseismological studies, a total of 6 trench works were carried out, 3 on the Sürgü Fault and 3 on the Çardak Fault. From the results of the trench work on the Sürgü Fault, it is understood that the fault produced at least two surface rupture earthquakes, one around 3350 BC and one between 790 ± 20 BC and 2085 ± 65 BC during the Holocene period. It has also been determined that Sürgü Fault has not produced an earthquake that has created a surface

rupture in the last 500 years. From the 3 trench studies carried out on the Çardak Fault; It was concluded that the Çardak Fault produced at least one earthquake between 10580 ± 95 BC and 5780 ± 65 BC, and one more earthquake between 3215 ± 125 BC and 825 ± 55 AD.

Keywords: Sürgü and Çardak faults, Morphotectonic, Paleoseismology, East Anatolian Fault Zone, Earthquake



İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
JÜRİ ONAY SAYFASI.....	i
ETİK BEYAN.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	xi
TABLolar DİZİNİ.....	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

1.1. Çalışma Alanının Tanıtılması	3
1.2. Terminoloji ve Çalışmanın Aşamaları	5
1.2.1. Literatür Çalışmaları	6
1.2.2. Arazi Çalışmaları	6
1.2.3. Laboratuvar Analizleri.....	7
1.2.4. Büro Çalışmaları	7

İKİNCİ BÖLÜM

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

8

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

MATERYAL YÖNTEM

18

3.1. Jeolojik Çalışma Yöntemleri.....	18
3.2. Morfotektonik Çalışma Yöntemleri.....	19
3.2.1. Kaya Dayanım Gücü.....	20

3.2.2. Dağönü Eğriselliği (Smf)	20
3.2.3. Vadi Tabanı Genişliğinin – Vadi Yüksekliğine Oranı (Vf)	21
3.2.4. Akarsu Uzunluk - Gradyan İndisi (SL)	21
3.3 Paleosismolojik Çalışma Yöntemleri.....	23
3.3.1. Paleosismolojik Çalışma Aşamaları	24
3.3.2. Doktora Tez Çalışması Kapsamında Yapılan Paleosismoloji Çalışmaları.....	28

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Bölgesel Tektonik.....	30
4.1.1. Doğu Anadolu Fay Zonu.....	31
4.1.2. Çalışma Alanı.....	34
4.2. İnceleme Alanının Jeolojisi	37
4.2.1. Miyosen Öncesi Temel Kayalar	37
4.2.2. Miyosen Yaşlı Birimler	41
4.2.3. Miyosen Sonrası Birimler.....	42
4.3. Yapısal Jeoloji	44
4.3.1. Fayların Haritalanması ve Segmentasyonu	44
4.3.2. Faylar Boyunca Gözlenen Morfolojik Unsurlar	55
4.4. Sürgü ve Çardak Faylarının Depremselliği	69
4.4.1. Tarihsel Dönem Depremleri	70
4.4.2. Aletsel Dönem Depremleri	71
4.4.3. Depremlerin Odak Mekanizması Çözümleri	72
4.5. İnceleme Alanının Morfometrik Özellikleri	75
4.5.1. Kaya Dayanım Gücü	76
4.5.2. Dağönü Eğriselliği (Smf)	77
4.5.3. Vadi Tabanı Genişliğinin – Vadi Yüksekliğine Oranı (Vf)	77
4.5.4. Akarsu Uzunluk – Gradyan İndisi (SL)	81
4.6. Paleosismolojik Çalışmalar	85
4.6.1. Hendek Yeri Belirleme Çalışmaları	85
4.6.2. Hendek Çalışmaları	93

4.7. Tartışma 109

BEŞİNCİ BÖLÜM
SONUÇ ve ÖNERİLER 112

KAYNAKÇA 114



SİMGELER VE KISALTMALAR

SİMGELER

km	Kilometre
m	Metre
cm	Santimetre
σ_1	En küçük asal gerilme eksen
σ_2	Orta asal gerilme eksen
σ_3	En büyük asal gerilme eksen

KISALTMALAR

TUBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
MTA	Maden Tetkik Arama Enstitüsü
AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
KAFZ	Kuzey Anadolu Fay Zonu
DAFZ	Doğu Anadolu Fay Zonu
MFZ	Malatya Fay Zonu
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli haritası
GCMT	Küresel Moment Tensör Kataloğu
OSL	Optik Uyarmalı Lüminisans
TL	Termolüminesans
GPS	Küresel Konumlama Sistemi
GE	Google Earth
Mw veya M	Moment büyüklüğü
my	Milyon yıl
MÖ	Milattan önce
MS	Milattan sonra

TABLULAR DİZİNİ

Tablo No	Tablo Adı	Sayfa No
Tablo 1	İnceleme alanındaki analizi yapılan depremlerin kaynak parametreleri.	73
Tablo 2	Sürgü ve Çardak faylarıyla ilişkili dağönlerinde hesaplanan Smf değerleri ile vadilerde hesaplanan ortalama Vf değerleri.	79
Tablo 3	Kurucaova hendek yerine ilişkin ayrıntılı analiz tablosu.	86
Tablo 4	Sürgü Doğu hendek yerine ilişkin ayrıntılı analiz tablosu.	88
Tablo 5	Sürgü Batı hendek yerine ilişkin ayrıntılı analiz tablosu.	89
Tablo 6	Barış hendeklerinin yerlerine ilişkin ayrıntılı analiz tablosu.	91
Tablo 7	Nergele hendek yerine ilişkin ayrıntılı analiz tablosu.	92

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Şekil Adı	Sayfa No
Şekil 1	(a) Türkiye aktif fay haritalarında çalışma alanının konumu. (b) Çalışma alanı ve yakın çevresindeki fayları gösteren harita	4
Şekil 2	(a): Dağönü eğriselliğinin hesaplanmasında kullanılan diyagram, (b): Akarsu uzunluk-gradyan indisinin hesaplanmasına dair çizim ve (c): Vf hesaplamalarında kullanılan parametreler.	22
Şekil 3	Hendek tiplerine ait kesitler. a) düz hendek, b) tek tarafı basamaklı hendek, c) çift tarafı basamaklı hendek d) tek yöne eğimli hendek e) çift yöne eğimli hendek	25
Şekil 4	(a) Sürgü Doğu hendeği, hendek duvarı temizleme çalışması, (b) Nergele hendeği, karelaj işlemi yapılmış hendek duvarının görünümü.	26
Şekil 5	Karbon14'ün yarılanma ömrü esas alınarak hesaplanması.	27
Şekil 6	Türkiye'nin Neotektonik dönemini şekillendiren ana yapılar ve bölgeler.	31
Şekil 7	Doğu Anadolu Fay Sisteminin ana kolu, kuzey kolu ve fay segmentleri.	32
Şekil 8	Çalışma alanının sadeleştirilmiş jeoloji haritası.	39
Şekil 9	İnceleme alanının doğu kesimini ve buradaki aktif faylar ile Sürgü Fayı segmentlerini gösteren SYM.	45
Şekil 10	Sürgü-1 segmentinin doğu kesimini gösteren GE görüntüsü.	46
Şekil 11	K40 ⁰ D75 ⁰ KB konumlu fay izi ile faylanma sonucu oluşmuş siyahımsı fay kilinin uzaktan (a) ve yakından (b) görünümü.	46
Şekil 12	Çelikhan'ın GB'sında, Sürgü Fayı güzergâhı üzerinde gözlenen K55 ⁰ D/77 ⁰ KB konumlu fay.	47
Şekil 13	Pınarbaşı'nın (Çelikhan) güneyinden geçen Sürgü Fayı'nın güzergâhı.	48

Şekil 14	Kurucaova, Güzelköy ve Sürgü civarında Sürgü-1 segmentinin uzanımı.	48
Şekil 15	Sürgü Mahallesi'ndeki Geç Kuvaterner çökellerini kesen fay.	49
Şekil 16	Kadılı (Doğanşehir) güneyinde görülen formasyon sınırı ve bu formasyonların yakından görünümü.	50
Şekil 17	Sürgü Fayı batı kesiminin uzanımını gösteren GE görüntüsü.	51
Şekil 18	Bıçakçı'nın KD'sundaki bir mostrada görülen K50 ⁰ D/75 ⁰ KB konumlu fay izi.	51
Şekil 19	İnceleme alanının batı kesimini ve buradaki Çardak Fayı segmentlerini gösteren SYM.	52
Şekil 20	Barış Mahallesi'nin ve fay güzergâhının güneyindeki vadide gözlenen kalın Holosen çökelleri.	53
Şekil 21	Çardak-1 segmenti batı kesiminin Ceyhan nehri üzerindeki Kandil Barajı civarındaki uzanımı ve Karadut güneyinde sağa sıçrama yapan Çardak Fayı'nın GE görüntüsü.	53
Şekil 22	Fayın formasyon sınırını takip ettiği lokasyonlardan biri; Karadut'un güneyi.	54
Şekil 23	Gücüksu Mahallesi'nin GB'sında mostra vermiş serpantinit içerisinde gözlenen K70D doğrultulu Çardak Fayı izi.	55
Şekil 24	Sürgü Fayı doğu kesiminde görülen kapan sırtı ve oluk yapısının GE görüntüsü.	56
Şekil 25	Kurucaova KB'sında görülen basınç sırtının GE görüntüsü.	56
Şekil 26	Kurucaova KB'sındaki basınç sırtının GD'ya doğru (a), ve doğuya doğru (b) çekilmiş fotoğrafları.	57
Şekil 27	Sürgü Mahallesi doğusunda görülen dere ötelenmesinin SYM görüntüsü.	58
Şekil 28	Sürgü Mahallesi doğusunda görülen 330 m dere ötelenmesinin GE görüntüsü.	58

Şekil 29	Tatlar Çayı'ndaki sola ötelenmenin SYM görüntüsü.	59
Şekil 30	Tatlar güneyinde Tatlar Çayı'nın Sürgü-4 segmenti tarafından sola ötelenmesini gösteren GE görüntüsü.	59
Şekil 31	Barış'ın batısında Çardak Fayı boyunca görülen fay sarplığı.	60
Şekil 32	Barış'ın içinden geçen 70 metrelik dere ötelenmesini gösteren GE görüntüsü.	60
Şekil 33	Barış'ta gözlenen kot farkı ve dere ötelenmesi.	61
Şekil 34	Barış Mahallesi'nde, fayın kuzeyindeki serpantin birimi ve serpantin üzerine gelen Geç Kuvaterner çökelleri.	61
Şekil 35	Basit makaslama zonlarında gelişen yapılar	62
Şekil 36	Barış'ın KB'sında görülen olası Riedel ve anti-Riedel fayları ile oluk yapısının GE görüntüsü.	63
Şekil 37	Gözpınar batısındaki oluk yapısı ve dere ötelenmesini gösteren GE görüntüsü.	63
Şekil 38	Gözpınar'ın batısında görülen çizgisel vadi tabanı.	64
Şekil 39	Karadut'un GD'sundaki dere ötelenmesinin SYM üzerindeki görünümü.	64
Şekil 40	Karadut'un GD'sundaki dere yatağının Çardak Fayı tarafından ötelenmesinin GE görüntüsü.	65
Şekil 41	Fındık ile Korkmaz arasında görülen bataklık alan.	66
Şekil 42	Fındık'ın batısında bulunan dere yataklarındaki ötelenmeleri gösteren GE görüntüsü.	66
Şekil 43	Fındık batısındaki dere ötelenmesi.	67
Şekil 44	Gücüksu batısında tespit edilen dere yatağı ötelenmesi.	67
Şekil 45	Aslanbey çiftliği civarında tespit edilen dere yatağı ötelenmesinin SYM görüntüsü.	68

Şekil 46	MS 501 ile 995 yılları arasında Anadolu ve yakın çevresinde meydana gelmiş tarihi depremler	71
Şekil 47	Çalışma alanı yakın çevresinde aletsel dönemde (1900-2021) meydana gelen depremler.	72
Şekil 48	1986 Doğanşehir depremleri ile 2013 Ekinözü depreminin odak mekanizması çözümü.	74
Şekil 49	1986 Doğanşehir depremleri ile 2013 Ekinözü depreminin dış merkezleri ve odak mekanizması çözümlerinin SYM üzerindeki görünümü.	74
Şekil 50	İnceleme alanının SYM haritası üzerinde Sürgü ve Çardak faylarının görünümü.	75
Şekil 51	Çalışma alanındaki litolojik birimlerin kaya dayanım gücü haritası.	76
Şekil 52	Sürgü Fayı ve güneyindeki dağ önlerinde hesaplanan Smf değerleri ile bunlarla ilişkili vadilerden ölçülen Vf profillerinin lokasyonları.	79
Şekil 53	Çardak Fayı doğu (a) ve batı (b) kesimlerindeki dağönlerinde hesaplanan Smf değerleri ile bunlarla ilişkili vadilerden ölçülen Vf profillerinin lokasyonları.	80
Şekil 54	Şekil 54. Rockwell vd. (1984) tarafından ileri sürülen yükselme oranlarını (a) ve inceleme alanındaki dağönlerinde hesaplanan Smf ile Vf değerleri arasındaki korelasyonu (b) gösteren grafikler.	81
Şekil 55	Sürgü Fayı güzergâhındaki vadilerden ölçülen SL indislerinin talveg profilleri.	83
Şekil 56	Sürgü Fayı güzergâhındaki vadilerde ölçülen SL indislerinin lokasyonları ve tektonik sınıflarını gösteren harita.	83
Şekil 57	Çardak Fayı güzergâhındaki vadilerden ölçülen SL indislerinin talveg profilleri.	84

Şekil 58	Çardak Fayı güzergahındaki vadilerde ölçülen SL indislerinin lokasyonları ve tektonik sınıflarını gösteren harita.	84
Şekil 59	Sürgü Fayı doğu kesiminde belirlene 3 hendek yerinin SYM üzerindeki konumu.	87
Şekil 60	Kurucaova hendek yeri (Kurucaova'nın 3 km KB'sı).	87
Şekil 61	Sürgü'nün batısında kazılması planlanan hendek yeri. Kırmızı oklar fay güzergahını, siyah dikdörtgen muhtemel hendek kazı yerini göstermektedir.	89
Şekil 62	Çardak Fayı doğu kesiminde belirlenen hendek lokasyonlarının SYM haritası üzerindeki görünümü.	90
Şekil 63	Bariş'in batısında Çardak Fayı boyunca görülen fay sarplığı.	91
Şekil 64	Gözpınar batısındaki oluk yapısı içerisinde belirlenen Nergele hendek yerini gösterir GE görüntüsü.	92
Şekil 65	Kurucaova hendeği genel görünümü.	93
Şekil 66	Kurucaova hendeği duvar temizleme çalışmalarından bir görünüm.	94
Şekil 67	Kurucaova hendeği batı duvarının logu.	95
Şekil 68	Kurucaova hendeği batı duvarı 9. metresinde görülen fay	96
Şekil 69	Kurucaova hendeğinden alınan üç örneğin laboratuvar sonuçlarına ait diyagramlar.	96
Şekil 70	Sürgü Doğu hendeğinden bir görünüm.	97
Şekil 71	Sürgü Doğu hendeği doğu duvarının hendek logu.	98
Şekil 72	Sürgü Doğu hendeği doğu duvarında görülen dolgu ve buradan alınan örneklerin yerleri.	98
Şekil 73	Sürgü Doğu hendeğinden alınan örneklerin laboratuvar sonuçlarına ait grafikler.	99
Şekil 74	Sürgü Batı hendeğinden bir görünüm.	100

Şekil 75	Sürgü Batı hendeği doğu duvarının hendek logu.	100
Şekil 76	K78 ⁰ D/75 ⁰ KB doğrultulu fayın ana kolunun görünümü.	101
Şekil 77	Sürgü Batı hendeğinden alınan bulk örneğinin laboratuvar sonucuna ait grafik.	101
Şekil 78	Barış-1 ve Barış-2 hendeklerinin genel görünümü.	103
Şekil 79	Barış-1 hendeği doğu duvarının hendek logu.	103
Şekil 80	Barış-1 hendeği doğu duvarının 3. ve 4. metrelerinde görülen nispeten eski fay izi.	104
Şekil 81	Barış-1 hendeği doğu duvarının 16. ve 17. metrelerinde görülen genç fay izi.	104
Şekil 82	Barış-1 hendeğinden alınan örneklerin laboratuvar sonucuna ait grafikler.	105
Şekil 83	Barış-2 hendeği doğu duvarının hendek logu.	106
Şekil 84	Barış-2 hendeği doğu duvarının 21. metresinde görülen genç fay.	106
Şekil 85	Barış-2 hendeğinden alınan örneklerin laboratuvar sonucuna ait grafikler.	107
Şekil 86	Nergele hendeği genel görünümü.	108
Şekil 87	Hendek duvarlarının temizlenmesi ve b: Karelaj iplerinin çekilmesi.	108
Şekil 88	Nergele hendeği doğu duvarının hendek logu.	108
Şekil 89	a) Sürgü Fayı segmentleri ve hendek lokasyonlarının SYM üzerindeki görünümü. b) Sürgü Fayı'nda tespit edilen depremlerin yaş aralığını gösteren grafik.	111
Şekil 90	Çardak Fayı segmentleri ve hendek lokasyonlarının SYM üzerindeki görünümü. b) Çardak Fayı'nda tespit edilen depremlerin yaş aralığını gösteren grafik.	112

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

Depremler, Ülkemizde ve Dünya’da insanların can güvenliğini, ekonomik ve sosyal hayatını etkileyen en önemli doğal afetlerden birisidir. Özellikle aktif fayların geçtiği yerlerde ve bu yerlerin yakınında yaşamakta olan insanların depreme karşı hazırlıklı olması gerekmektedir. Çalışma konusu olarak seçilen bölgede, Afrika-Arabistan ve Avrasya levhalarının kuzey-güney doğrultusunda yakınsamaları sonucu oluşan Güneydoğu Anadolu Bindirme Kuşağı ve Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) gibi deprem potansiyeli yüksek aktif deformasyon zonları bulunmaktadır.

Doktora tezi çalışma alanı olarak, DAFZ kuzey kolunun doğu kesimini oluşturan Sürgü ve Çardak faylarının bulunduğu bölge seçilmiştir. Bölgede yapılmış herhangi bir paleosismolojik ve morfotektonik yayın bulunmaması, buradaki fayların hareket yönüne yönelik farklı görüşlerin olması (Koç, 2005; Sunkar vd., 2008; Koç ve Kaymakçı, 2013; Gülerce vd., 2017), bölgedeki aktif fayların geçtiği güzergah üzerinde birçok yerleşim yerinin bulunması gibi nedenlerden dolayı burası inceleme alanı olarak belirlenmiştir.

Bu doktora tez çalışması ile; doğrultu atımlı Sürgü ve Çardak faylarındaki blokların hareket yönünün ne olduğu, fayların bölgenin morfolojik gelişimine ve tektonik evrimine etkisinin olup olmadığı, inceleme alanındaki depremlerin hangi kaynak tarafından üretildiği, Sürgü ve Çardak faylarının Geç Kuvaterner aktivitelerinin neler olduğu gibi sorulara cevap aranmaktadır.

Türkiye'nin en önemli aktif faylarından biri olan DAFZ üzerinde birçok jeolojik, jeomorfolojik, tektonik ve paleosismolojik çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazılarında ikinci bölümde, önceki çalışmalar kısmında değinilmiştir. DAFZ'nun kuzey kolunun Çelikhhan (Adıyaman) ile Göksun (Kahramanmaraş) arasındaki kesimi üzerinde de birçok jeolojik, jeomorfolojik, tektonik çalışma bulunmaktadır (Perinçek ve Kozlu, 1984; Perinçek vd., 1987; Yılmaz, 2002; Westaway, 2004; Koç, 2005; Sunkar vd., 2008; Duman ve Emre, 2013; Koç ve Kaymakçı, 2013; Emre vd., 2016). Ancak inceleme alanı ile ilgili herhangi bir paleosismolojik ve/veya morfotektonik yayına rastlanmamıştır. Sürgü ve Çardak faylarından

oluşan yaklaşık 160 km uzunluğundaki fay zonu üzerinde yapılan bu paleosismolojik ve morfolotektonik çalışma ile özgün bir değer ortaya konulmuştur.

DAFZ kuzey kolunun Çelikhan ile Göksun arasındaki kesimini oluşturan Sürgü ve Çardak fayları bu çalışmanın konusu olarak belirlenmiştir (Şekil 1). Burada yapılan birçok araştırmada Sürgü ve Çardak faylarının sol yanal doğrultu atımlı oldukları belirtilmiştir (Perinçek ve Kozlu, 1984; Perinçek vd., 1987; Yılmaz, 2002; Westaway, 2004; Duman ve Emre, 2013; Emre vd., 2016; Balkaya vd., 2021). Bazı çalışmalarda ise uzaktan algılama yöntemleri, arazi gözlemleri ve fay kayma verilerine dayanılarak; Sürgü ve Çardak fay segmentlerinden oluşan Sürgü Fay Zonu'nun sağ yanal doğrultu atımlı olduğu ileri sürülmektedir (Koç, 2005; Sunkar vd., 2008; Koç ve Kaymakçı, 2013; Gülerce vd., 2017). Bu tez kapsamında yapılan kinematik, morfolotektonik ve arazi çalışmaları neticesinde Sürgü ve Çardak fay segmentlerindeki blokların hareket yönüne açıklık getirilmiştir.

Tezin konusu olan Sürgü ve Çardak fayları; Çelikhan, Kurucaova, Sürgü, Nurhak, Barış, Ekinözü, Ericek, Çardak, Gücüksu, Göksun gibi birçok yerleşim yerinden geçmektedir. Bu yüzden Sürgü ve Çardak faylarının deprem tehlikesinin ortaya çıkarılması en başta insan yaşamı olmak üzere endüstriyel / kentsel planlamalar ve mühendislik çalışmaları açısından büyük öneme sahiptir.

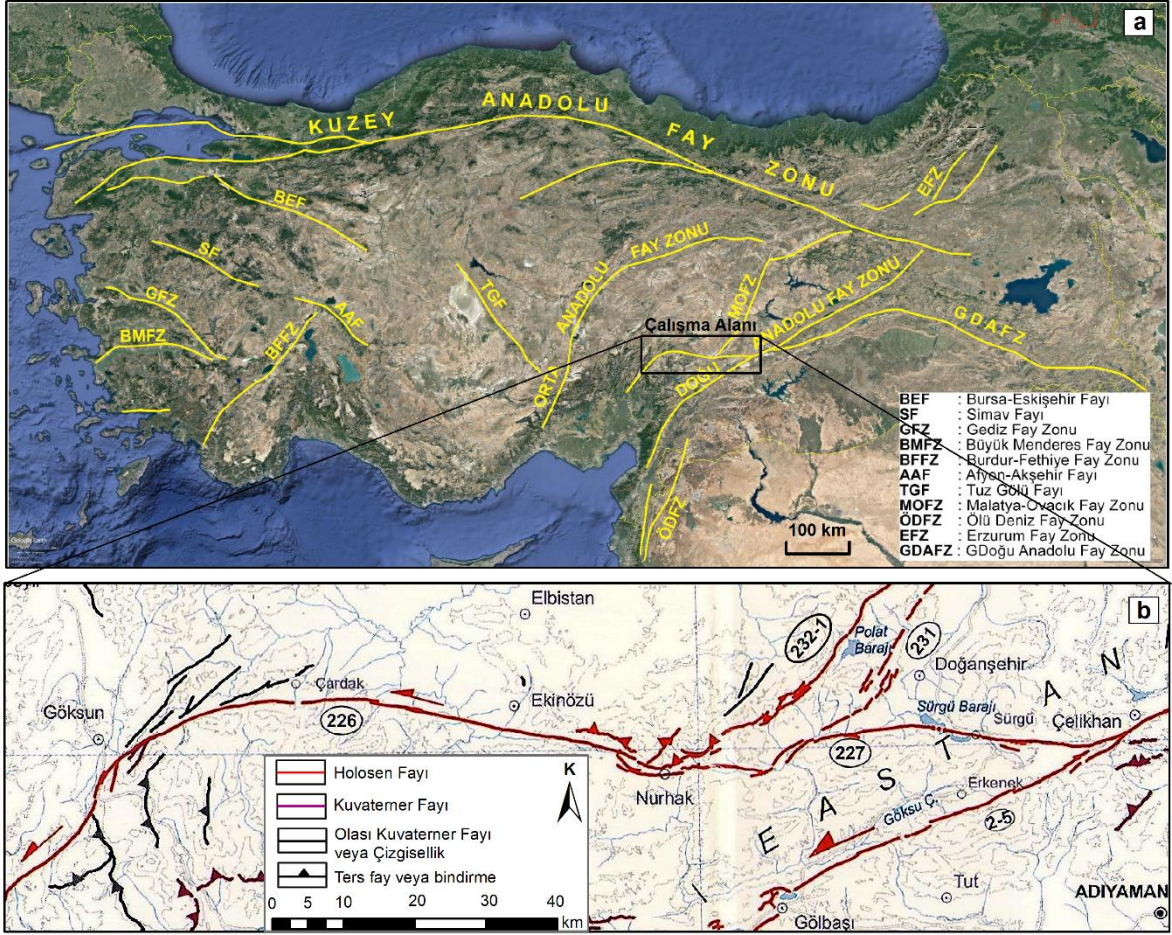
Bu doktora tez çalışmasında Doğu Anadolu Fay Zonu kuzey kolunun Çelikhan ile Göksun arasındaki kesimini oluşturan Sürgü ve Çardak faylarının morfolotektonik ve paleosismolojik olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç çerçevesinde yapılan morfolotektonik çalışmalarla, Sürgü ve Çardak faylarının Geç Kuvaterner aktivitesi ve bu fayların bölgenin morfolojik gelişimindeki etkisi hakkında bilgi edinilmiştir. Ayrıca Sürgü ve Çardak faylarıyla ilişkili dağönleri, vadi ve drenaj ağları üzerinde çeşitli morfometrik yöntemlerle yapılan hesaplamalar neticesinde fayların bölgenin tektonik evrimindeki rolü ortaya çıkarılmıştır. Yapılan paleosismolojik çalışmalar neticesinde ise; Sürgü ve Çardak fay segmentleri üzerinde yüzey kırığı oluşturmuş depremlerin adedi, yaklaşık tarihi ve en son depremin oluş zamanı hakkında bilgi sahibi olunmuştur. Paleosismolojik çalışmalara ek olarak inceleme alanında son 50 yılda meydana gelmiş 4'ten büyük depremlerin odak mekanizması çözümleri de göz önünde bulundurularak Sürgü ve Çardak faylarının davranış biçimi ve deprem üretme potansiyelleri ortaya çıkarılmıştır.

1.1. Çalışma Alanının Tanıtılması

Bu tez çalışması kapsamında Kahramanmaraş'ın kuzeyinde bulunan Doğu Anadolu Fay Zonu kuzey kolunun Çelikhan ile Göksun arasındaki kesimi araştırılmıştır. Bu kapsamda Çelikhan'da DAFZ'ndan ayrılarak Nurhak'ın doğusuna kadar uzanan Sürgü Fayı ve Nurhak'ın batısından başlayıp Göksun'a kadar devam eden Çardak Fayı ayrıntılı olarak incelenmiştir. Yaklaşık 160 km uzunluğundaki bu fay zonu, DAFZ'nun kuzey kolu olarak adlandırılan (Duman ve Emre, 2013) Sürgü - Misis Fay Sisteminin kuzeydoğu bölümünü oluşturmaktadır (Şekil 1). İnceleme alanı 1/100.000 ölçekli Elbistan-L37 ve L38, Malatya-L39 ve L40, Gaziantep-M37 ve M38, Şanlıurfa-M39 ve M40 paftalarının bir bölümünden oluşmaktadır.

İnceleme alanı içerisinde Malatya'ya bağlı Doğanşehir İlçesi, Kahramanmaraş'a bağlı Nurhak, Ekinözü ve Göksun ilçeleri ile bu ilçelere bağlı birçok yerleşim yeri bulunmaktadır. Çalışma alanı genel olarak engebeli bir yapıya sahiptir.

Çalışma alanında doğudan batıya doğru Çelikhan, Kurucaova ve Göksun ovaları bulunmaktadır. İnceleme alanında bulunan başlıca akarsular, doğudan batıya doğru; Recep Çayı, Aron Deresi, Sürgü Çayı, Tatlar Çayı, Nergele Deresi, Ceyhan Nehri ve Göksun Çayı olarak sıralanabilir. Bu akarsuların dışında inceleme alanında irili ufaklı birçok kuru dere ve mevsimlik dere bulunmaktadır. İncelem alanındaki akarsu ve dere yatakları üzerinde yapılan morfometrik indis hesaplamaları neticesinde bölgenin morfolojik gelişimi hakkında bilgi edinilmiştir. Çalışma alanındaki en büyük akarsu olan Ceyhan Nehri üzerinde Kandil Barajı, Sürgü Çayı üzerinde Sürgü Barajı, Göksun Çayı üzerinde ise Adatepe Barajı bulunmaktadır.



Şekil 1. (a) Türkiye aktif fay haritalarında çalışma alanının konumu (Emre vd., 2013'den sadeleştirilmiştir). (b) Çalışma alanı ve yakın çevresindeki aktif fayları gösteren harita (Emre vd., 2013; 226: Çardak Fayı, 227: Sürgü Fayı, 231: Doğanşehir Fayı, 232-1:Malatya Fayı-Akçadağ segmenti).

1.2. Terminoloji ve Çalışmanın Aşamaları

Bu bölümde, tez kapsamında karşılaşılan kavramlardan bazılarının anlamları verilmiştir. Ardından tez çalışması esnasında geçilen aşamalar burada özetlenmiştir.

Neotektonik ile ilgili birçok araştırmacı tarafından farklı kapsamlarda farklı tanımlar yapılmıştır. Bunlardan en yaygın kabul görmüş olanı Şengör (1980) tarafından yapılan “Herhangi bir bölgede meydana gelmiş olan son tektonik rejim değişikliğinden günümüze kadar geçmiş olan zaman içerisindeki tektonizmanın tümüne *neotektonik* denir” tanımıdır. *Aktif Tektonik* kavramı ise, yeryüzünü şekillendiren ve insan toplulukları üzerinde etki yapan dinamik tektonik süreçler olarak tanımlanmaktadır (Keller ve Pinter, 2002).

Bu tez kapsamında sıkça karşılaşılabilecek bir terim olan *Morfotektonik* (Tektonik Jeomorfoloji), tektonik süreçlerle oluşmuş yer şekillerinin oluşum, gelişim ve evrimini anlamaya çalışan bir bilim dalı olarak tanımlanabilir. Yeryüzü şekillerinin aktif tektonik özellikleri, morfometri olarak bilinen yöntem ile ölçülebilmektedir. Keller ve Pinter (2002) morfometriyi, belirlenen yeryüzü şekillerinin ölçülerek sayısal değerlerinin hesaplanması olarak tanımlamışlardır.

Son 10.000 yılda bir defa hareket etmiş fay (U.S. Environmental Protection Agency, 1981) ve son 35.000 yılda bir defa veya son 500.000 yılda en az iki defa hareket etmiş fay *aktif fay* veya *diri fay* olarak adlandırılır (U.S. Regulatory Commission, 1982). Pratik olarak, Holosen yaşlı yapı, sediman ve lavları kesen tüm faylar aktif fay olarak kabul edilmektedir.

Paleosismoloji; tarihsel ve tarih öncesi dönemlerde oluşmuş ve yüzey kırığı oluşturmuş depremlerin sayısını, büyüklüğünü, atım miktarını ve yinelenme aralığını saptamak için yapılan çalışmaların tümüdür (McCalpin, 2009). Sadece yeryüzünde algılanabilecek ölçüde iz bırakabilecek büyüklükteki depremleri (yüzey kırığı oluşturmuş depremleri) paleosismolojik açıdan incelemek mümkündür.

Bu doktora tez çalışması kabaca 4 aşamada yapılmıştır. Bunlar; literatür çalışmaları, arazi çalışmaları, laboratuvar analizleri ve büro çalışmaları olarak sıralanabilir.

1.2.1. Literatür Çalışmaları

Literatür çalışmaları kapsamında Türkiye'nin neotektoniği, DAFZ, DAFZ kuzey kolu ve çalışma alanını oluşturan Sürgü ve Çardak fayları ile ilgili çeşitli platformlar aracılığıyla tez, makale, proje, kitap ve bildirimler taranarak, derlenen kaynaklardan oluşan dijital bir arşiv oluşturulmuştur. Ayrıca morfolojik çalışmalar ve morfolojik analiz yöntemleri ile ilgili literatür taraması yapılarak birçok doküman arşive eklenmiştir. Tez çalışmasının her aşamasında sürekli güncellenen bu arşivden faydalanılarak çalışma alanı ve çevresinin aktif tektoniği hakkında bilgi edinilmiş, böylece arazi ve büro çalışmaları desteklenmiştir.

1.2.2. Arazi Çalışmaları

Tez çalışma alanı olarak belirlenen Doğu Anadolu Fay Zonu kuzey kolu üzerindeki Sürgü ve Çardak faylarının haritaya çizilmesi amacıyla 2019 yılı yaz aylarında arazi çalışmaları yapılmıştır. Bu arazi çalışmaları esnasında fayın geçtiği güzergahın tamamı ayrıntılı olarak incelenmiştir. Fayın güzergahı, 2013 yılında Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından hazırlanan güncel Türkiye Diri Fay Haritası (Emre vd., 2013) baz alınarak arazide takip edilmiştir.

Faylar haritaya aktarılırken; fayın geçebileceği dar vadiler, basınç sırtlarının kenarları, dere ötelenmelerinin olduğu kısımlar ve buna benzer morfolojik yapılar göz önünde bulundurulmuştur. Haritalama çalışmaları esnasında bazı yarma ve yol şevlerinde fay izlerine rastlanmış olup fay güzergahı belirlenirken bu verilerden de faydalanılmıştır. Sonuç olarak fayın geçtiği güzergah; litolojik, yapısal ve jeomorfolojik verilere bakılarak yeniden haritalanmıştır.

Paleosismolojik çalışmalar kapsamında yapılan arazi incelemeleri 2019 ve 2020 yaz ve sonbahar aylarında gerçekleştirilmiştir. 2019 yılı yaz aylarında hendek yeri belirleme çalışmaları kapsamında araziye gidilerek 3 hendek yeri belirlenmiş, belirlenen hendekler sonbahar aylarında kazılarak gerekli hendek çalışmaları tamamlanmıştır. 2020 yılı yaz aylarındaki arazi çalışması neticesinde 2 hendek yeri belirlenmiştir. Belirlenen 2 hendek ve sonradan teyit amaçlı ilave edilen 1 hendeğin kazısı sonbahar aylarında yapılmıştır. Böylece

tez kapsamında toplam 6 hendek kazılmış olup paleosismolojik amaçlı arazi çalışmaları tamamlanmıştır.

Ayrıca morfotektonik çalışmaları desteklemek amacıyla çalışma alanındaki jeomorfolojik yapılar arazi çalışmaları kapsamında incelenmiştir.

1.2.3. Laboratuvar Analizleri

Tez çalışması kapsamında Sürgü Fayı üzerinde 3, Çardak Fayı üzerinde 3 adet olmak üzere toplam 6 adet hendek kazısı yapılmıştır. Sürgü Fayı üzerinde kazılan 3 hendekten 7 adet, Çardak Fayı üzerinde kazılan 3 hendeğin ikisinden 5 adet numune alınarak Karbon 14 (C-14) yaş tayini analizi için laboratuvara gönderilmiştir. Böylece tez çalışması kapsamında toplam 12 adet örneğin C-14 yaş tayini analizi yapılarak inceleme alanındaki depremlerin yaklaşık oluş tarihi belirlenmeye çalışılmıştır.

1.2.4. Büro Çalışmaları

Büro çalışmaları kapsamında ilk olarak çalışma alanı ve yakın civarı hakkındaki önceden arşivlenmiş kaynaklar incelenmiştir. Böylece arazi çalışmalarında kontrol edilecek bazı öncelikli alanlar belirlenmiştir. Arazi çalışmaları ile haritalanan Sürgü ve Çardak faylarının güzergahı ve bazı kritik noktalar, büro çalışmaları kapsamında Google Earth (GE) programına aktarılarak GE programında da bir veri arşivi oluşturulmuştur.

Hendek yeri belirleme çalışmalarına altlık oluşturması amacıyla GE platformu kullanılarak incelenecek alanlar önceden belirlenmiş, böylece arazide geçirecek zamandan tasarruf edilmiştir. Paleosismoloji çalışmaları kapsamında kazılan hendeklerin logları bilgisayar ortamına Corel Draw programı aracılığıyla aktarılmıştır. Ayrıca büro çalışmaları kapsamında hendek fotoğrafları ve hendek logları karşılaştırılarak eldeki veriler pekiştirilmiştir.

Sürgü ve Çardak faylarının Geç Kuvaterner aktivitesi ve bu fayların bölgenin morfolojik gelişimindeki etkisi hakkında bilgi edinmek amacıyla yapılan bütün morfometrik indis hesaplamaları da büro çalışmaları kapsamında yapılmıştır.

İKİNCİ BÖLÜM

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

DAFZ Türkiye'nin en önemli aktif fay zonlarından biri olduğundan burada birçok jeolojik, jeomorfolojik, tektonik ve paleosismolojik çalışma yapılmıştır. Bu bölümde DAFZ ile ilgili tüm kaynaklara değinmek mümkün olmadığından daha çok aktif tektonik, morfotektonik ve paleosismolojik çalışmalar üzerinde durulmuştur.

Altınlı (1963) tarafından DAFZ, Bingöl'ün bir ilçesi olan Karlıova ile Bingöl arasında, MTA tarafından hazırlanan 1/500.000 ölçekli Erzurum paftasında gösterilmiştir. Haritalanmış bu çizgisellik çalışmada çeşitli verilerle desteklenmiştir.

Ketin (1968), Türkiye'nin genel tektonik yapısını incelemiştir. Kaynakta tarihsel kayıtlara ve sismolojik araştırmalara dayanılarak, Doğu Anadolu Fay Zonuna işaret eden deprem dış merkezlerinin Hatay-Maraş arası ve Malatya-Karlıova-Varto-Kars istikametindeki hat boyunca sıralanmış oldukları belirtilmiştir.

Allen (1969), Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ile ilgili yaptığı çalışmada; Karlıova'dan Bingöl'e kadar 70 kilometreden fazla net bir şekilde görülen ve KD-GB doğrultulu, dağınık segmentler şeklinde izlenebilen bir fayın varlığından bahseder. Bu büyük fay sisteminin doğrultusu göz önünde bulundurularak; KAFZ'nun Karlıova civarında birden bire son bulması ve buradan GB'ya doğru, doğrultu atımlı bir fayın başlamasının eşlenik bir fay ile (DAFZ) açıklanabileceği belirtilmiştir. Araştırmada KAFZ ile DAFZ arasındaki ilişki, Kaliforniya'daki San Andreas Fayı ile Garlock Fayı arasındaki ilişkiye benzetilmiştir.

Seymen ve Aydın (1972), yaptıkları bir çalışmada 22 Mayıs 1971 Bingöl Depremi kaynağının; Bingöl-Karlıova arasında Göynük Vadisi boyunca uzanan sol yönlü, doğrultu atımlı bir fay olduğu ve bu depremin VIII şiddetinde gerçekleştiği belirtilmiştir. Depreme kaynaklık eden fayın Göynüksuyu Fay Zonu olarak adlandırıldığı bu incelemede, jeolojik verilere dayanılarak fay boyunca 15 km toplam atım olduğu ve 22 Mayıs 1971 depreminin sol yönde en çok 25 cm yer değiştirmeye sebep olduğu ifade edilmiştir.

Arpat ve Şaroğlu (1972) yaptıkları çalışmada Karlıova ile Hazar Gölü arasında sol yönlü doğrultu atımlı bir fay zonunun varlığından bahsetmişlerdir. Bu fay zonunun Güneydoğu Türkiye'deki sıkıştırma kuvvetlerinin etkisiyle geliştiği iddia edilmiştir. İlk defa Doğu Anadolu Fayı'ndan bahsedilen bu araştırmada, daha çok Karlıova ile Hazar Gölü arasındaki kesimi üzerinde durulsa da, fayın Ölü Deniz Fay Sistemi ile birleştiğinden de bahsedilmiştir. 22 Mayıs 1971 tarihli Bingöl depreminin DAFZ üzerinde meydana geldiği belirtilmiştir. DAFZ'nun Karlıova ile Hazar Gölü arasındaki kesimi önce 1/35.000 ölçekli hava fotoğraflarına işlenmiş, ardından 1/100.000 ve 1/500.000 ölçekli topoğrafik haritalara aktarmışlardır. Çalışmada jeolojik verilere dayanılarak DAFZ boyunca, Göynük ayı üzerinde Miyosen yaşlı birimlerde 22 km, Palu-Hazar Gölü arasındaki çamurtaşları içerisinde ise 27 km'lik sol yanal bir yer değiştirme olduğu ileri sürülmüştür. Yazarlar fayın yaşının ise Miyosen sonrası olması gerektiğini önermişlerdir.

McKenzie (1972, 1976) yaptığı çalışmalarla Doğu Anadolu Fay Zonu hakkındaki literatür bilgilerine önemli katkılarda bulunmuştur. 1966 Varto depremlerinin KAFZ ile uyuşmaması üzerine, bölgede KD-GB doğrultulu sol yönlü başka büyük bir doğrultu atımlı fayın olması gerektiği ve bu fayın Karlıova civarında KAFZ doğu ucu ile birleşerek bir üçlü eklem (triple junction) meydana getirdiği ileri sürülmüştür. Araştırmacının uydu görüntülerinden faydalanarak yaptığı çalışmalarda, fayın 560 km uzunluğunda bir hat olduğu ve DAFZ'nun, Anadolu ile Arabistan levhaları arasındaki hareketin çoğunu karşıladığı belirtmiştir. Böylece DAFZ için ilk kıta içi transform fay tabiri kullanılmıştır. Çalışmalarda DAFZ'nun yaşının Orta Miyosen-Pliyosen aralığında olması gerektiği ileri sürülmüştür.

Arpat ve Şaroğlu (1975), DAFZ'nun daha önce araştırılmamış batı kısmını haritalayarak nitelikli sismotektonik haritalar için altyapı oluşturmuşlardır. Bu çalışmada fayın Palu-Sincik arasında kalan kısmında, birbirine paralel birkaç koldan oluştuğu ve DAF Sistemini Ölü Deniz Fay Zonu ile bağlantılı olduğu ileri sürülmüştür. Kahramanmaraş-Çukurova arasındaki bölgede yer alan, nispeten daha az öneme sahip fayların da DAFZ ile ilgili olabileceği ileri sürülerek DAFZ kuzey koluna işaret edilmiştir.

Ercan (1979), Hazar Gölü ve Pütürge civarında yaptığı mikro deprem çalışması neticesinde, depremsellik analizlerine dayanarak bölgede magnitüdü 5'den büyük

depremlerin 30 yıl içerisinde meydana gelme olasılığının %100, 6'dan büyük depremlerin olma olasılığının %26 ve 100 yıllık periyotta 6'dan büyük bir deprem olma olasılığının ise %63 olduğunu ortaya koymuştur. Araştırmada yapılan fay düzlemi çözümleri ışığında Doğu Anadolu Fay Sisteminin (DAFS) sol yönlü doğrultu atımlı bir fay olduğu belirtilmiştir.

Şaroğlu (1985), Doğu Anadolu'nun neotektonik dönemdeki evrimi üzerine yaptığı doktora tez çalışmasında, DAFZ ile ilgili detaylı bilgilere yer vermiştir. Araştırmacı, Doğu Anadolu'da yıkıcı deprem üretebilecek diri fayların bulunduğunu ve KD-GB doğrultulu sol yönlü doğrultulu atımlı DAFZ'nun bunlardan biri olduğunu belirtmiştir. Kuzey Anadolu Fayı ile Doğu Anadolu Fayı'nın üçlü birleşme noktasına yakın yerlerden elde ettiği verilere dayanarak bu fayların kesişme yaşının Üst Pliyosen olduğunu ileri sürmüştür.

Şengör vd. (1985), 12 my önce Türkiye'nin yeni bir tektonik döneme (neotektonik) girdiğini ve bu son neotektonik dönemde KAFZ ile DAFZ'nun şekillendiğini ileri sürmüşlerdir. Anadolu plakasının tektonik kaçış evriminin araştırıldığı bu çalışmada, Arabistan Levhasının Anadolu'yu sıkıştırması sonucu Türkiye'de 4 farklı neotektonik bölgenin oluştuğu belirtilmiştir. Ayrıca yaklaşık kuzey-güney doğrultulu sıkıştırmanın etkisiyle Anadolu Plakasının, sağ yönlü KAFZ ve sol yönlü DAFZ transform fayları boyunca batıya doğru kaçtığı ortaya çıkarılmıştır.

Dewey vd. (1986), kıtasal çarpışma tektoniği kapsamında Doğu Anadolu Bölgesi'nin neotektonik dönemdeki yapısal evrimini ve bu evrim esnasında gelişen sıkıştırma ürünü yapısal unsurları irdelemişlerdir. Yazarlar, bölgede en az iki farklı deformasyon evresinin gerçekleştiğini ileri sürmüşlerdir. Birinci evrede Arabistan ile Avrasya levhalarının yakınsamaları sonucu Doğu Anadolu Bölgesi'nde sıkışmaya istinaden kabuğun kalınlaştığı, ikinci evrede ise kırılmalar neticesinde DAFZ ve buna benzer doğrultu atımlı fay sistemlerinin geliştiği iddia edilmiştir. Çalışmada, deprem odak merkezlerinin dağılışı incelenerek büyük depremlerin KAFZ ve DAFZ gibi ana faylar üzerinde yoğunlaştığı belirtilmiştir. Araştırmacılar, DAFZ Çelikhhan-Türkoğlu (Kahramanmaraş) segmenti üzerinde enerji birikimi olduğuna ve bu enerjinin Çelikhhan'dan Türkoğlu'na doğru bir şok serisi şeklinde ortaya çıkacağına dikkat çekmişlerdir.

Muehlberger ve Gordon (1987), Doğu Anadolu Fay Sisteminin tek bir hattın ibaret olmayıp farklı özellikler gösteren segmentlerden oluştuğunu ortaya çıkarmışlardır. Fay zonunda iki tip segmentasyonun geliştiği saptanan çalışmada, bölgedeki sıkışma rejiminin denetiminde gelişen sıkıştırıcı büklümü oluşturan segmentler birinci tip, fay zonuna yaklaşık paralel ve çizgisel çek-ayır havzaları geliştiren segmentler ise ikinci tip segmentler olarak ifade edilmiştir.

Perinçek vd. (1987), Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerindeki birçok doğrultu atımlı fay üzerinde araştırmalar yapmışlardır. DAFZ üzerinde yoğunlaşan çalışmalarında, buradaki fayların atımlarını, geometrik özelliklerini ve bu özelliklere bağlı gelişen çöküntü ve yükselim alanlarını incelemişlerdir. Araştırmacılar ayrıca DAFZ ile Ölü Deniz Fay Zonu arasındaki ilişkiyi de irdelemişlerdir.

Gülen vd. (1987), kıtaların çarpışması kapsamında Maraş üçlü eklemi ve çevresindeki yapıları araştırmışlardır. Yazarlar Arabistan ve Avrasya levhalarının çarpışmasıyla ortaya çıkan yapı türleri ve bu yapıların özelliklerini inceleyerek, bölgedeki yapıların dünyadaki benzerleri ile karşılaştırılması üzerinde durmuşlardır. Böylece bu yapıların oluşumu ile ilgili bir model önermişlerdir.

Barka ve Kadinsky-Cade (1988), Ülkemizdeki doğrultu atımlı fayların geometrileri ve depremsellikleri üzerine bir çalışma yapmışlar. Bu çalışmada DAFZ'nun 14 segmentten oluştuğu ve son asırda meydana gelen depremlerin fay zonunun kuzeydoğu ve güneybatı kesimlerinde orta kesime nazaran daha sık görüldüğü belirtilmiştir.

Taymaz vd. (1991), 1964 Malatya, 1975 Lice, 5 Mayıs ve 6 Haziran 1986 Doğanşehir depremlerini araştırarak, DAFZ üzerinde yıllık 29 mm kayma olduğunu ileri sürmüşlerdir. Bu tezin çalışma alanı içerisinde meydana gelen 1986 Doğanşehir depremlerinin Sürgü Fayı üzerinde meydana geldiği belirtilmiştir. Çalışmada depremlerin odak mekanizması çözümlerine dayanılarak 1986 depremlerini üreten kaynak fayın sol yanal doğrultu atımlı bir fay olduğu öne sürülmüştür.

Lyberis vd. (1992), Arabistan ve Afrika levhaları ile Anadolu bloğunun çarpıştığı bölgedeki üçlü eklemi Landsat-SPOT uydu görüntülerini inceleyerek analiz etmişlerdir.

Uydu görüntüleri analiz bulgularını, yaptıkları arazi araştırmaları ile pekiştirmişlerdir. Çalışmada; DAFS'nin Afrika-Arabistan ile Anadolu levhalarının çarpışmalarına bağlı olarak geliştiği, bu durumun Anadolu bloğunun kenar kısmında yaygın kıvrımlanma, bindirme ve ters faylanmalara neden olduğu, Maraş civarındaki deformasyon daha geniş alanlara yayıldığı için DAFS'nin diğer bölgelere oranla burada daha belirsiz bir morfoloji sergilediği belirtilmiştir. Ayrıca DAFS'nin Bitlis Sütur Zonunu (BSZ), Gölbaşı (Adıyaman) yakınlarında keserek burada sol yanal ötelenmeye sebep olduğu ileri sürülmüştür.

Şaroğlu vd. (1992), DAFZ üzerinde yaptıkları çalışmada fayın genel özelliklerini ortaya çıkarmışlardır. Ayrıntılı haritalama çalışmalarının da yapıldığı araştırmada Doğu Anadolu Fay Zonunun yaklaşık 580 km uzunluğunda, Geç Pliyosen yaşlı, sol yanal doğrultu atımlı aktif bir fay olduğu ve fay üzerindeki en büyük atımın 20-25 km olduğu ifade edilmiştir. Yazarlar fayı Karlıova-Türkoğlu arasında altı segmente ayırmışlardır. Ayrıca fayın Türkoğlu'ndan sonra güneye devam edip etmemesinin tartışmalı olduğu da belirtilmiştir.

Kiratzi (1993), Kuzey ve Doğu Anadolu fay zonları boyunca yaptığı sismik araştırmalarla kabuksal deformasyon hakkında bilgi vermiştir. Çalışmada doğu-batı doğrultusundaki açılmanın yılda 9 mm, kuzey-güney doğrultusundaki sıkışmanın ise yılda 5 mm olduğu ortaya çıkarılmıştır. Yazar, DAFZ boyunca sol yanal hareketin yılda 6 mm olduğunu ileri sürmüştür.

Yiğitbaş ve Yılmaz (1996), Güneydoğu Anadolu orojenik kuşağında yüzeyleyen Geç Mesozoyik-Tersiyer yaşlı volkanosedimanter birimlere, yaygın olarak Maden Kompleksi adı verildiğini belirtmişlerdir. Çalışmada, Güneydoğu Anadolu Orojenik Kuşağı boyunca uzanan geniş şeritler kapsamlı bir şekilde incelenmiş ve daha önce Maden Birimi olarak kabul edilen farklı kaya grupları ayırt edilmiştir. Maden Birimi burada, kısa ömürlü bir yay-arkası havzayı temsil eden Orta Eosen çağının volkanosedimanter bir istifi olarak yeniden tanımlanmıştır.

Yürür ve Chorowicz (1998), Afrika-Anadolu-Arabistan levhalarının birleşim yerindeki üçlü eklem üzerinde yaptıkları çalışmada, DAFZ'nu da ele almışlardır. Bu

bağlamda DAFZ tektonik aktivitesinin 2 milyon yıl önce başladığını ve fay zonu boyunca kayma hızının 7,8 ile 9 mm/yıl arasında değiştiğini belirtmişlerdir.

McClusky vd. (2000), Doğu Akdeniz ve Kafkasya bölgesindeki levhaların kinematik ve dinamik özelliklerini GPS verileri ile araştırmışlardır. Çalışmada KAFZ kayma hızının 24 ± 1 mm/yıl, DAFZ kayma hızının 9 ± 1 mm/yıl, Anadolu Plakası içsel deformasyonun hızının ise 2 mm/yıldan daha az olduğu ve Anadolu Plakasının saatin tersi yönünde bir rotasyonla batıya doğru hareket ettiği öne sürülmüştür.

Nalbant vd. (2002), DAFZ üzerinde 1822 yılından beri oluşan enerji birikimi üzerine araştırma yapmışlardır. Bu kapsamda DAFZ'nun ürettiği iyi bilinen 10 tarihsel deprem verisi kullanılarak, fay zonu boyunca deprem üretme potansiyeli açısından riskli bölgeleri belirlemişlerdir. Çalışmada DAFZ üzerindeki Kahramanmaraş-Malatya ile Elazığ-Bingöl arasındaki bölgelerin, deprem üretme potansiyeli açısından oldukça riskli oldukları iddia edilmiştir.

Özdemir ve Sunkar (2002), “Çelikhan Ovası ve Çevresinin Jeomorfolojisi” adlı çalışmalarında, Kurucaova'nın; kuzeyinde Sürgü Fayı, güneyinde DAFZ tarafından sınırlandırıldığı ve bu fayların etkisiyle oluşmuş bir çöküntü havzası olduğu belirtilmiştir.

Yılmaz (2002), “Sürgü Fayı'nın Neotektonik Özellikleri” adlı çalışmasında, Sürgü Fayı'nın doğu kesiminde uzamış sırtlar, önü kesilmiş vadiler; batı kesiminde ise sol yönlü ötelenen derelerin belirgin morfolojik yapılar oluşturduğunu belirtmiştir. Araştırmacı fay boyunca toplam 4 km sol yanal atım saptandığını ve fayın en erken, Pliyosen döneminde gelişmiş olduğunu ileri sürmüştür.

Özdemir ve İnceöz (2003), Karlıova-Türkoğlu arasındaki DAFZ boyunca gözlemlenen akarsu ötelenmelerini ve bu ötelenmelerin tektonik yapılarla ilişkileri üzerine bir çalışma yapmışlardır. Araştırmada, akarsu ötelenme değerlerinin Karlıova'dan Türkoğlu'na doğru arttığı ve buna istinaden fayın öncelikle Hatay-Kahramanmaraş arasında ortaya çıktığı, daha sonra segmentler halinde kırılarak Karlıova'ya kadar ulaştığı iddia edilmiştir. Çeşitli veriler ışığında DAFZ'nun Alt Pliyosen tektonik hareketleri ile ortaya çıktığı ve aktif bir fay olduğu belirtilmiştir.

Westaway (2004), Ölü Deniz Fay Zonu ile Türkiye'nin güneydoğusundaki Neojen ve Kuvaterner sol yanal faylanma arasındaki kinematik tutarlılık konulu çalışmasında DAFZ ile ilgili bazı bilgiler vermiştir. Çalışmada DAFZ üzerindeki yıllık kayma hızının tahminen 8 mm olduğu ve kayma hızı verilerine göre fayın yaşının 4 milyon yıl olduğuna kanaat getirilmiştir.

Koç (2005), “Sürgü Fay Zonunun Uzaktan Algılama ile Çalışılması” adlı Yüksek Lisans tez çalışmasında Sürgü Fay Zonunun geometrisini, deformasyon mekanizması ve kinematığını araştırmıştır. Bu tezin de inceleme alanını kapsayan, DAFZ kuzey kolunun Çelikhan ile Göksun arasındaki kesimi, bu çalışmada Sürgü Fay Zonu olarak ele alınmıştır. Araştırmacı uzaktan algılama yöntemleri, saha gözlemleri ve fay kayma verilerine dayanarak fayın batı kesiminin ters bileşene sahip sağ yanal doğrultu atımlı, doğu kesiminin ise normal bileşenli sağ yanal doğrultu atımlı olduğunu iddia etmiştir.

Yılmaz ve arkadaşları (2006) tarafından yapılan bir çalışmada; Türkoğlu ve Çelikhan arasındaki Doğu Anadolu Fay Zonu boyunca meydana gelmiş 5.0'ten büyük depremlerin odak mekanizması çözümlerine dayalı olarak, bu fay segmentine etki eden gerilme rejimi belirlenmiştir. Çalışmadaki kinematik analiz ve yapısal gözlemlere dayanılarak, çalışma alanında faaliyet gösteren gerilme rejiminin, çalışma alanında gözlenen Miyosen-Pliyosen sıkışma ürünü yapıların (ters faylar, bindirmeler ve kıvrımlar) ortaya çıkmasına neden olan transpresyonel bir karaktere sahip olduğu belirtilmiştir.

İmamoğlu ve Çetin (2007), Güneydoğu Anadolu Bölgesinde yaptıkları çalışmada bölgenin deprenselliğini araştırmışlardır. Bu kapsamda bölgedeki Güneydoğu Anadolu Bindirme Zonu, DAFZ, Lice ve Bozova fayları üzerinde meydana gelen depremler irdelenmiştir. Çalışmada DAFZ üzerinde meydana gelmiş depremler hakkında bilgi verilirken bu tez konusu kapsamında bulunan 1986 Sürgü depremlerine de değinilmiştir.

Sunkar vd. (2008), Sürgü Fay Zonunun DAFZ'ndan bağımsız bir fay zonu olduğunu ileri sürmüşlerdir. Çalışmada, kuzeyde Sürgü Fayı, güneyde DAFZ tarafından sınırlandırılmış yaklaşık 30 km² alana sahip Kurucaova ve çevresinin jeomorfolojisi araştırılmıştır. Kurucaova'nın bu iki fay zonu arasında fay kaması havzası şeklinde oluştuğu ifade edilmiştir.

Tan vd. (2008), “Türkiye deprem kataloğu” adlı çalışmalarında iki farklı sayısal veri arşivi oluşturmuşlardır. Bu arşivlerden birinin MÖ 2100 ile MS 1963 yılları arasındaki depremlerin parametrelerini içeren Türkiye Tarihsel Deprem Kataloğu olduğu, diğerinin ise 1938–2004 yılları arasındaki yıkıcı depremlerin odak mekanizması çözümlerini içeren Türkiye Odak Mekanizması Çözümleri Kataloğu olduğu belirtilmiştir. Çalışmada 1986 Doğanşehir depremlerinin de odak mekanizması çözümlerine yer verilmiştir.

Erkmen ve arkadaşları (2009) tarafından yapılan bir çalışmada, DAFZ Türkoğlu-Gölbaşı arasının paleosismolojisi araştırılmıştır. Burada yapılan çalışmada hendeklerden alınan numunelerin farklı yöntemlerle tarihlendirilmesi sonucu, Türkoğlu-Gölbaşı segmenti tarafından üretilmiş 2 veya 3 deprem izine rastlanmıştır. Bu depremlerin MÖ 148-115, MS 458-589 ve MS 1000-1100 yılları arasında meydana geldiği iddia edilmiştir. Ayrıca hendeklerde 1513 depreminin izine rastlanmadığı da belirtilmiştir.

Yüksel (2009), Yüksek Lisans tezi olarak yaptığı çalışmada, DAFZ Gölbaşı-Türkoğlu segmenti üzerindeki Gölbaşı ilçesi ve yakın çevresinin depremselliğini, paleosismolojisini ve zemin davranışlarını ortaya çıkarmıştır.

Yönlü (2012) tarafından yapılan doktora tez çalışmasında, DAFZ'nun Gölbaşı ile Karataş (Adana) arasındaki kısmın Geç Kuvaterner aktivitesi; jeolojik, jeomorfolojik ve paleosismolojik veriler ışığında araştırılmıştır. Çalışma ile DAFZ üzerinde Kartal yakınlarındaki sıkışmalı büklüm segment sınırı olarak alınmış ve fay burada Gölbaşı ile Türkoğlu olarak iki segmente ayrılmıştır. Bu segmentler üzerinde yapılan paleosismolojik çalışmalarla Türkoğlu segmenti üzerinde 1513, Gölbaşı segmenti üzerinde ise 1114 tarihsel depremlerinin izlerine rastlanmıştır. Ayrıca çalışmada Gölbaşı ile Türkoğlu segmentlerindeki kayma hızı, son 10.000 yıl için 7.3 ± 2 mm/yıl olarak hesaplanmıştır.

Duman ve Emre (2013), sismolojik ve paleosismolojik veriler ışığında DAFZ'nun aktif fay haritasını oluşturup fay zonunun ayrıntılı segmentasyonunu yapmışlardır. Çalışmada fay zonu; güney kol (ana fay) ve kuzey kol olmak üzere iki kısma ayrılmış olup 580 km uzunluğundaki ana fayın 7 segmentten (Karlıova, Ilıca, Palu, Pütürge, Erkenek, Pazarcık ve Amanos segmentleri), 350 km uzunluğundaki kuzey kolun ise 9 segmentten oluştuğu belirtilmiştir. Bu tezin çalışma konusunu oluşturan Sürgü ve Çardak faylarını da

kapsayan kuzey kol, çalışmada Sürgü-Misis Fay Zonu olarak anılmıştır. Yazarlar Sürgü ve Çardak faylarının aktif sol yanal doğrultu atımlı faylar olduklarını ve bu faylar boyunca bu duruma işaret eden Holosen çökellerinde ötelenmeler, basınç sırtı, çek-ayır havzası gibi birçok morfolojik özelliğin gözlemlendiğini belirtmişlerdir.

Koç ve Kaymakçı (2013), Sürgü ve Çardak faylarını kapsayan Sürgü Fay Zonu üzerinde yaptıkları uzaktan algılama çalışması ile çalışma alanının kinematik özelliklerini araştırmışlardır. Araştırmada bölgedeki dere yatağı ötelenmelerinden fayın sağ yönlü toplam atımının 3 km'den fazla olduğu belirtilmiştir.

Sançar (2014), "Karlıova Üçlü Ekleminin Kuvaterner evrimi" adlı doktora tez çalışmasında, Karlıova üçlü eklemi civarında Kuvaterner'den beri oluşan faylanma mekanizmasını ortaya çıkarmaya çalışmıştır. Böylece deformasyon sürecini açıklayan bir model oluşturulması amaçlanmıştır. Sonuç olarak çalışmada, Karlıova üçlü ekleminin bulunduğu bölgede Kuvaterner'den beri gelişmiş olan faylanma mekanizması için Prandtl Hücre Modeli önerilmiştir.

Menekşe (2016), Doğu Anadolu Fayı'nın olasılıksal sismik tehlike analizi konulu Yüksek Lisans tezinde, DAFZ ana kolu ve kuzey kolunun her bir segmentini sismik tehlike açısından ayrı ayrı değerlendirmiştir. Araştırmacı Sürgü, Çardak ve Savrun fayları boyunca yıllık 2 mm'lik sol yanal yer değiştirme olduğunu belirtmiştir.

Gülerce vd. (2017), düzlemsel fay kaynağı modellerini kullanarak DAFZ'nun olasılıksal sismik tehlike değerlendirme haritalarını çıkarmışlardır. Araştırmacılar, Sürgü ve Çardak fayları ile ilgili yapılmış güncel çalışmalardan olan Koç ve Kaymakçı (2013) ile Duman ve Emre (2016) kaynaklarının farklılıklarını ortaya koyarak fayların kinematiki konusunda Koç ve Kaymakçı'yı (2013) takip etmişlerdir. Bu kapsamda Sürgü ve Çardak faylarının sağ yanal doğrultu atımlı olduklarını kabul etmişlerdir.

Palutoğlu ve Şaşmaz (2017) tarafından yapılan bir çalışmada 1795 yılında Kahramanmaraş civarında yıkıcı bir depremin meydana geldiği belirtilerek bu bilgi el yazması bir belgeye dayandırılmıştır. Araştırmada 1795 depreminden, bu el yazması eser dışında, daha önce literatürde hiç bahsedilmediği belirtilmiştir.

Khalifa vd. (2018), DAFZ boyunca görülen havzalar ile drenaj ağları üzerinde çeşitli morfolojik indis hesaplamaları yaparak fay zonunun morfolojik özelliklerini ortaya çıkarmışlardır. Çalışmada DAFZ, tektonik jeomorfoloji açısından beş farklı segmente (Karlıova, Palu, Pötürge, Erkenek ve Pazarcık segmentleri) ayrılmıştır.

Duman vd. (2020), Sürgü-Misis Fay Sisteminin (DAFZ kuzey kolu) batı kesimi üzerinde yaptıkları paleosismolojik çalışmada toplam 7 hendek açmışlardır. Bu tez çalışmasının güneybatısında kalan Karataş, Yumurtalık, Toprakkale, Düziçi ve Osmaniye fay segmentlerini araştıran yazarlar, hendeklerdeki sedimentolojik ve yapısal özelliklere dayanarak tüm bu faylarda Holosen yüzey kırığı oluşturmuş deprem izlerine rastladıklarını belirtmişlerdir. Çalışmada, hendeklerden alınan numunelerden elde edilen C-14 yaşlandırma verileri ile tarihsel deprem kayıtları karşılaştırılmıştır. Bu bağlamda bazı hendeklerdeki deprem izlerinin MS 242 ve 1114 tarihsel deprem kayıtları ile uyduğu, MS 242 depremine Karataş, Yumurtalık ve Osmaniye fay segmentlerinin üçünde de rastlandığı ileri sürülmüştür. Bu yüzden MS 242 yılında meydana gelen 7,6 büyüklüğündeki bu büyük depremin bu üç fay segmenti üzerinde çoklu yüzey kırığına sebep olmuş olabileceği belirtilmiştir.

Köküm ve Özçelik (2020); DAFZ Palu segmenti üzerinde yaptıkları çalışmada 1789 Palu depreminin etkilerini araştırmışlardır. Kaynakta; tarihsel dönem deprem kayıtlarına göre Palu'yu etkileyen en büyük depremin 1789 yılında meydana geldiği ve bu deprem neticesinde 8.000-10.000 veya 51.000 insanın hayatını kaybettiği bilgisinin abartılı olduğu belirtilmiştir. Çeşitli arşiv kayıtlarına dayandırılarak 1789 depremindeki can ve mal kayıplarının tarihsel deprem kataloglarından daha az olması gerektiği iddia edilmiştir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasının aşamaları ile ilgili genel bilgiler Giriş bölümünde “Terminoloji ve Çalışmanın Aşamaları” başlığı altında verilmiştir. Bu bölümde daha çok yapılan çalışmaların yöntemi ve kullanılan teknik hakkında bilgi verilecektir.

3.1. Jeolojik Çalışma Yöntemleri

Jeolojik çalışmalar genel olarak; çalışma alanının jeoloji haritasının hazırlanması, buradaki aktif fayların haritaya aktarılması ve inceleme alanının depremselliğinin ortaya çıkarılmasından oluşmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında yaklaşık D-B doğrultulu uzanan Sürgü ve Çardak faylarını kapsayacak şekilde 160 km uzunluğunda ve ortalama 15 km genişliğinde bir zonun jeoloji haritası hazırlanmıştır. Jeoloji haritası hazırlanırken MTA tarafından hazırlanmış ve yayımlanmış olan 1/100.000 ölçekli Elbistan-L37 ve L38, Malatya-L39 ve L40, Gaziantep-M37 ve M38, Şanlıurfa-M39 ve M40 paftalarından (MTA, 2014) yararlanılmıştır. Sürgü ve Çardak fayları bu paftaların birleşim kenarlarından geçtiği için yukarıdaki 8 adet 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası birleştirilerek altlık oluşturulmuştur.

Çalışma alanındaki jeolojik birimlerin ve fayların haritalanması amacıyla, fayın geçtiği güzergâhın tamamı arazide ayrıntılı olarak incelenmiştir. Fayın güzergahı, 2013 yılında Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından hazırlanan güncel Türkiye Diri Fay Haritası (Emre vd., 2013) baz alınarak arazide takip edilmiştir. Yapılan arazi çalışmaları neticesinde inceleme alanının litolojik, yapısal ve jeomorfolojik özellikleri de göz önünde bulundurularak Sürgü ve Çardak fayları haritalanmıştır.

İnceleme alanının depremselliği kapsamında gerekli literatür taramaları yapılarak Sürgü ve Çardak faylarının etki alanında meydana gelmiş tarihsel ve aletsel dönem deprem kayıtları derlenmiştir. Ayrıca çalışma alanında son 50 yılda meydana gelmiş 4’ten büyük depremlerin odak mekanizması çözümleri göz önünde bulundurularak Sürgü ve Çardak faylarının davranış biçimi hakkında bilgi edinilmiştir.

3.2. Morfotektonik Çalışma Yöntemleri

Tektonizma ve jeomorfolojik süreçlerin etkileşimiyle oluşan yapıları araştıran morfotektonik, aktif tektonik çalışmalarında sıklıkla kullanılan bir yöntemdir (Keller ve Pinter, 2002). Morfotektonik çalışmalar ile inceleme alanında; doğrultu atımlı fay zonlarında sıkça gözlenen ötelenmiş dere ve sırtlar, terk edilmiş eski dere kanalları, fay sarplıkları, çek-ayır havzaları, basınç sırtları, çizgisel gidişli vadiler gibi jeomorfolojik göstergeler tespit edilerek bunların oluşum mekanizması çözülmeye çalışılmıştır.

Morfometrik analizler, jeomorfik süreçlerin ve yeryüzü morfolojisinin gelişiminde, tektonik aktivitenin etkisinin araştırılmasında kullanılan en önemli araçlardan biridir (Keller ve Pinter, 2002). Bu analizler morfometrik indisler yardımıyla yapılmaktadır ve genellikle bölgesel tektonik aktivitenin tanımlanmasında kullanılır. Elde edilen sayısal veriler, büyük alanların jeomorfolojik evriminin anlaşılmasında veya aktif fay segmentlerinden hangisinin daha aktif olduğunu tanımlamak amacıyla kullanılabilir (Keller ve Pinter, 2002; Tari ve Tüysüz, 2011; Özkaymak ve Sözbilir, 2012; Selçuk ve Düzgün, 2017; basmenji vd., 2021).

Herhangi bir fay zonunun morfolojik özelliklerinin belirlenmesi ve morfometrik analizlerinin yapılabilmesi için, çalışma alanına ait 1/25.000 ölçekli sayısal topoğrafik paftaların 10 m çözünürlüğe sahip Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) oluşturulmalıdır. Bazı uluslararası veri indirme platformlarından 12,5 m veya 30 m çözünürlüğe sahip uydu görüntüleri indirilerek de SYM oluşturulabilir.

Morfotektonik çalışmalar kapsamında öncelikle inceleme alanını kapsayan 12,5 m çözünürlüğe sahip Alos Palsar verilerinden oluşturulan Sayısal Yükseklik Modeli verileri <https://search.asf.alaska.edu/#/> internet adresinden indirilmiştir (ASF, 2020). Altlık olarak kullanılan bu veriler üzerinde ArcGis 10.7 programı yardımıyla çeşitli işlemler yapılarak inceleme alanının gölgelendirme haritası (Hill-Shade) hazırlanmış olup Sürgü ve Çardak fayları haritaya eklenmiştir. Ardından ArcGis 10.7 programı bünyesindeki ArcHydro Tools yardımıyla, SYM üzerinde bölgenin drenaj havzaları ve akarsu ağı belirlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında morfometrik indis hesaplamalarından önce, inceleme alanında bulunan litolojik birimlerin Kaya Dayanım Gücü sınıflandırması yapılmıştır. Morfometrik indis hesaplamaları kapsamında, inceleme alanındaki dağ önlerinde Dağönü Eğriselliği (Smf); drenaj ağı ve havzaları üzerinde ise Vadi Tabanı Genişliğinin-Vadi Yüksekliğine Oranı (Vf), Akarsu Uzunluk - Gradyan İndisi (SL) gibi morfometrik indisler kullanılarak bölgenin jeomorfolojik evrimi ve bu evrim üzerinde tektonizmanın etkisi hakkında bilgi edinilmiştir.

3.2.1. Kaya Dayanım Gücü

Morfometrik indis hesaplamaları ve sonuçlarının yorumlanmasında kayaç türlerinin aşınmaya karşı direnci önemli olduğundan, öncelikle çalışma alanındaki kayaçların dayanım gücü kategorize edilmiştir. Bu bağlamda inceleme alanındaki litolojik birimler Selby (1980) tarafından tanımlanmış kaya direnci sınıflandırması göz önünde bulundurularak 5 sınıfa ayrılmıştır (Örn; Yıldırım, 2014; Khalifa vd., 2018; Sançar, 2018; Topal, 2019). Kaya dayanım gücü sınıflamasına göre çalışma alanındaki birimler; çok düşük dayanımlı, düşük dayanımlı, orta dayanımlı, yüksek dayanımlı ve çok yüksek dayanımlı olmak üzere 5 sınıfa ayrılmıştır.

3.2.2. Dağönü Eğriselliği (Smf)

Dağönü eğriselliği, tektonik olarak aktif dağ önleri ile aktif olmayan dağ önlerini ayırt etmekte kullanılan etkin yöntemlerden biridir ve $Smf = Lmf/Ls$ eşitliği ile tanımlanmıştır (Keller ve Pinter, 2002). Burada, Lmf dağönü boyunca ani topografya değişimi ile oluşan çizgiselliğin toplam uzunluğudur. Ölçüm ile vadi önlerindeki belirgin kırılmalar da hesaba katılır. Ls ise, dağönünün düz bir çizgi boyunca uzunluğundan ibarettir (Şekil 2a). Bu indis dağ önü boyunca meydana gelen tektonik aktivitenin oranını ölçmek için kullanılır (Keller ve Pinter, 2002). Bull (2008), Smf değerlerinin; 1,4'ten küçük olması durumunda düşük, 1,4 ile 3 arasında olması durumunda ise orta derece olduğunu belirtmiştir. Düşük ve orta dereceli Smf değerleri, yüksek tektonik aktiviteye sahip dağ önlerinin bir göstergesidir (Keller ve Pinter, 2002). Çalışma alanında Sürgü Fayı'nda 4, Çardak Fayı'nda 3 adet olmak üzere toplam 7 adet Smf değeri hesaplanmıştır.

3.2.3. Vadi Tabanı Genişliğinin – Vadi Yüksekliğine Oranı (Vf)

Vadi tabanı genişliğinin vadi yüksekliğine oranı, U-şekilli düz -tabanlı vadiler (nispeten yüksek Vf değerlerine sahiptir) ile V-şekilli vadiler (nispeten düşük Vf değerlerine sahiptir) arasındaki farklılıkları ortaya koyan bir jeomorfik indistir (Keller ve Pinter, 2002).

Bir bölgede meydana gelen tektonik yükselme hızının anlaşılmasında yaygın olarak kullanılan indislerden biri olan vadi tabanı genişliğinin vadi yüksekliğine oranı $Vf=2.Vfw / [(Eld-Esc) + (Erd-Esc)]$ formülü ile bulunur (Keller ve Pinter, 2002). Burada, Vfw vadi tabanının genişliğini, Eld ve Erd sırasıyla vadinin sol ve sağ su bölümü çizgileri yükseklik değerlerini ve Esc vadi tabanı kotunu göstermektedir (Şekil 2b).

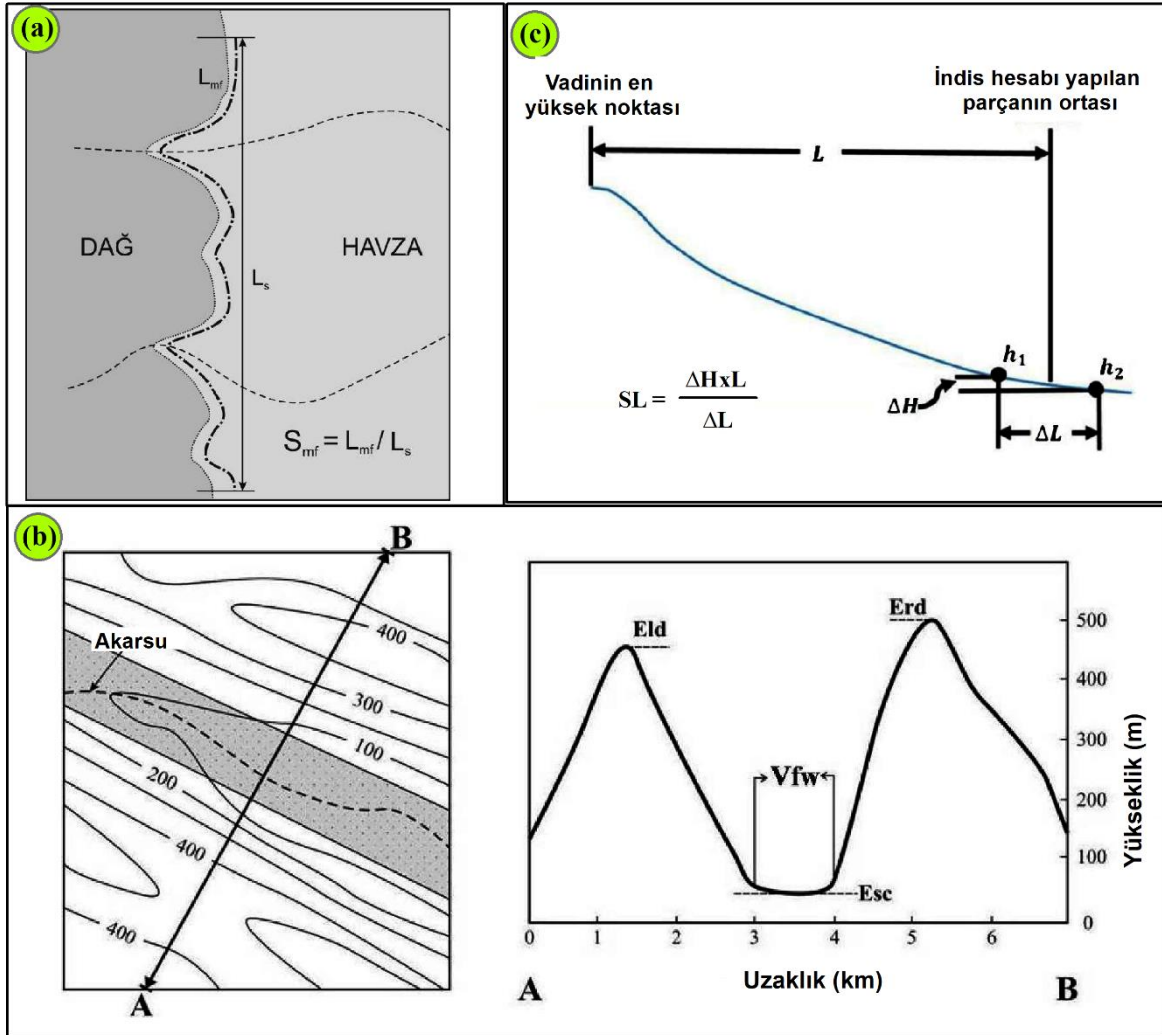
Birçok araştırmacı tarafından yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen indislere göre Vf değerleri 3 sınıfa ayrılmıştır (Silva vd., 2003; El Hamdouni vd., 2008; Coşkun vd., 2019). Bu çalışmalarda; Vf indisi 0,5 ten düşük ise tektonik aktivitenin fazla olduğu (Sınıf - 1), Vf indisi 0,5 ile 1 arasında ise tektonik aktivitenin orta seviyede olduğu (Sınıf-2) ve Vf değeri 1'den fazla ise tektonik aktivitenin düşük seviyede olduğu (Sınıf-3) belirtilmiştir.

3.2.4. Akarsu Uzunluk - Gradyan İndisi (SL)

Akarsu Uzunluk – Gradyan İndisi, akarsu vadilerinde, akış kanalı boyunca olası tektonik aktivite, kayaç direnci ve topografya arasındaki ilişkileri değerlendirmek için kullanılmakta olup indis formülü $SL=\Delta H \times L / \Delta L$ (Şekil 2c) şeklindedir (Hack, 1973; Keller ve Pinter, 2002). Burada; SL: akarsu uzunluk-gradyan indisi, ΔH : Kanal yüksekliğindeki değişim, ΔL : Ölçülen kısmın kanal uzunluğu ve L: İndisin hesaplandığı kesimin orta noktasından vadinin en yüksek noktasına kadar olan mesafenin metre olarak değeridir (Keller ve Pinter, 2002; Erdağ vd., 2009; Troiani vd., 2014).

El Hamdouni ve arkadaşları (2008) tarafından yapılan çalışma baz alınarak yapılan birçok araştırmada (Örn: Köle, 2016; Saber vd., 2018) SL indis değerleri sınıf 1: $500 < SL$, sınıf 2: $300 < SL < 500$ ve sınıf 3: $SL < 300$ olarak 3 tektonik sınıfa ayrılmıştır. Benzer kaynaklarda SL hesaplamalarında alınan yükseklik aralıkları 100 ile 250 metre arası değişkenlik göstermektedir (Troiani vd., 2014; Topal, 2019). Bu tez çalışmasında

hesaplanan vadilerin uzunlukları 3.803 ile 15.123 metre arasında değişmekte olup nispeten kısa olduklarından SL ölçümü aralık değerleri; ölçülen vadinin uzunluğuna bağlı olarak 10 m, 20 m ve 50 m alınmıştır. Bu sebepten, büyük ölçekli çalışmalarda SL indisinin tektonik sınıflandırması ile ilgili yukarıda verilen değerler yarıya indirilerek bu çalışmanın SL değerleri sınıf 1: $250 < SL$, sınıf 2: $150 < SL < 250$ ve sınıf 3: $SL < 150$ olmak zere 3 tektonik sınıfa ayrılmıştır.



Şekil 2. (a): Dağönü eğriselliğinin hesaplanmasında kullanılan diyagram (Keller ve Pinter, 2002), (b): Vf hesaplamalarında kullanılan parametreler (Keller ve Pinter, 2002) ve (c): Akarsu uzunluk – gradyan indisinin hesaplanmasına dair çizim (Hack, 1973).

3.3. Paleosismolojik Çalışma Yöntemleri

Aktif fayları saptamak çoğu zaman kolay değildir. Aktif fay boyunca gerçekleşen yer değiştirme miktarı çok düşük, ancak bu alandaki çökme ya da aşınma hızı çok yüksek ise fay kırığı çoğu kez kalın bir sedimanla örtülmekte veya yüzeydeki morfolojik izler kaybolmaktadır. Bu durumda fayın tanınması güçleşmektedir. Bununla birlikte fayın türü de fayın tanınmasını güçleştirmektedir. Doğrultu atımlı faylarda fay üzerindeki kayma fayın doğrultusuna paralel gerçekleştiğinden, yani buradaki hareket yatay olduğundan, fay sarplığı çok belirgin olmayabilir. Bu da bu tür fayların belirlenmesini güçleştirmektedir. Aktif fayların tanınmasında kullanılan birçok yöntem olmasına rağmen son yıllarda paleosismoloji, hem fayın varlığına ve aktifliğine ilişkin net veriye ulaşma imkânı sunması hem de fay tarafından üretilmiş yıkıcı depremler hakkında bilgi vermesi nedeniyle oldukça yaygın kullanılan bir yöntemdir.

Bu yöntemde, faylanma tipine bağlı aktif fay izine dik ya da koşut olarak kazılan hendekler içerisinde sedimantoloji, stratigrafi ve yapısal jeoloji esaslarına göre değerlendirmeler yapılır. Daha sonra, eski depremlerin tarihlendirilmesine olanak sağlayacak çökellerden numuneler derlenir ve uygun radyometrik yaşlandırma teknikleri kullanılarak eski depremler tarihlendirilir.

Paleosismoloji, jeolojik ve jeomorfolojik verilerden yararlanarak, eski depremlerin yeri, zamanı ve büyüklüğü hakkında bilgi elde etmeye çalışan bir disiplindir (McCalpin, 2009). Küçük ve orta büyüklükteki depremlerin nadiren yüzeyde deformasyon oluşturması veya oluşan yapıların korunmasının zorluğu nedeniyle, paleosismik kayıtlar büyük depremlerin izleridir. Sadece yeryüzünde algılanabilecek ölçüde iz bırakabilecek büyüklükteki depremleri paleosismolojik açıdan incelemek mümkündür. Bu izler jeomorfolojik, stratigrafik ve yapısal unsurlarla temsil edilen, direkt olarak faylanmayla ilgili birincil yapılar ve depremin neden olduğu sarsıntıya bağlı oluşan ikincil yapılardır.

Paleosismolojinin ana amacı tarihsel dönemde meydana gelmiş olan büyük depremlerin saptanmasıdır. Fay sarplığı üzerinde hendek açılması, yüzey kırığı meydana getirmiş aktif bir fayın araştırılması için sağlıklı sonuç verebilen en yaygın tekniktir. Bu

kapsamda paleosismolojik çalışma yapılması için çeşitli aşamaların kat edilmesi gerekmektedir.

3.3.1. Paleosismolojik Çalışma Aşamaları

Hendek Yeri Seçimi

Uygun bir alanın belirlenmesi paleosismolojide temel bir rol oynamaktadır. Fay izinin bulunmasının yanı sıra, uygun sedimantasyonun bulunması da bir hendek çalışmasında geçmiş depremlerin ortaya çıkarılması için çok önemlidir. Her ne kadar teknikler bölgeden bölgeye farklılık gösterse de genel olarak yer seçimi hava fotoğrafları temelli uzaktan algılama ile başlar, yerinde gözlemlerle devam eder ve genellikle sığ jeofiziksel araştırma ve mikro topografya araştırmalarıyla sona erer (Akyüz vd., 2014).

Fay zonu jeomorfolojisi, fay üzerinde belli aralıklarla yüzey faylanması oluşturmuş tarihsel deprem izlerinin tanımlanmasında kullanılan ilk temel yaklaşımdır. Fay boyunca ötelenmiş jeomorfolojik yapılar çalışılarak tarihsel depremler hakkında bilgiler elde edilebilir. Aynı fay zonu boyunca yinelenmiş depremlere ait yer değiştirmeler bir öncekine eklenir ve jeomorfolojik izler bırakır. Bu süreçte uzanmış havzalar, çizgisel vadiler, taşkın ve gençleşmiş alüviyal vadiler, kıyı hatlarının çökmesi veya yükselmesi şeklinde jeomorfolojik yapılar oluşur (Gel, 2006).

Hendek Çalışması

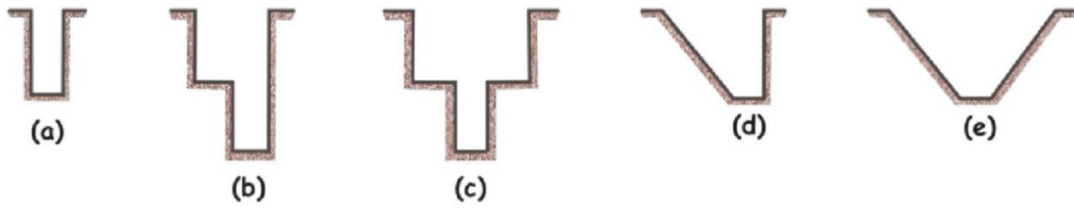
Hendek çalışması yüzey faylanması oluşturmuş depremlere ait jeolojik belirtilerin tanımlanması üzerinde yoğunlaşan bir çalışmadır. Yapılacak hendek çalışmasının başarılı olabilmesi için kazı yapılacak alanın yukarıdaki yöntemler kullanılarak isabetli bir şekilde seçilmesi son derece önem taşımaktadır.

Hendek Çalışmasının Aşamaları:

İzin: Hendek açılacak yerin şahıs arazisi olması durumunda arazi sahibinden, kamu arazisi olması durumunda yetkili kurumdan izin alınması gerekmektedir.

Fayın Türü Esas Alınarak Fay-Hendek Geometrisinin Tespit Edilmesi: Fay düşey atımlı ise faya dik yönlü hendek, fay yanal atımlı ise faya hem dik hem de paralel hendek açılmalıdır (McCalpin, 2009).

Hendek Tipi ve Ebatları: Açılacak hendek tipi ve derinliği, kazı esnasında yapılan gözlemler de göz önünde bulundurularak, en sağlıklı ve en güvenli çalışmayı sağlayacak hendek tipi olacak şekilde tespit edilir. Hendek tipi; düz, tek tarafı basamaklı, çift tarafı basamaklı, tek tarafı eğimli veya çift tarafı eğimli olarak belirlenebilir (Şekil 3).



Şekil 3. Hendek tiplerine ait kesitler. a) düz hendek, b) tek tarafı basamaklı hendek, c) çift tarafı basamaklı hendek d) tek yöne eğimli hendek e) çift yöne eğimli hendek (McCalpin, 2009).

Duvarın temizlenmesi: Hendek açılması tamamlandıktan sonra hendek duvarlarının farklı malzemeler (spatula, fırça, çekiç vb.) kullanılarak temizlenmesi ve hiçbir mekanik izin kalmamasını sağlamak gerekmektedir (Şekil 4a).

Karelaj işlemi: Bu işlem sırasında genellikle 1x1m boyutunda alanlar çivi ve ipler yardımı ile oluşturulur (Şekil 4b). Ayrıca, önemli yapılar, boyalı çiviler veya çiviler ile birleştirilmiş renkli bayraklar kullanılarak gösterişli bir hale getirilir.

Fotoğraf çekimi: Bu işlem sırasında hendeğin her iki duvarı detaylı olarak fotoğraflanır. Hendek duvarı fotoğraflanırken karelaj işlemi yapılmış her bir karenin aşmalı fotoğrafı çekilir. Böylece hendek kapatıldıktan sonra da ulaşılır bir veri arşivi oluşturulmuş olur.

Loglama: Bir sonraki aşama ise hendek duvarlarının ölçekli bir şekilde milimetrik kâğıtlara aktarılmasıdır. Loglamada; deformasyonların işlenmesi, varsa eski depremlerin

farklı seviyelerinden alınan toprak örneklerinin yerlerinin işaretlenmesi, hendek koordinatlarının tespit edilmesi gibi ayrıntılar belirlenir.

Örnek alımı: Tüm çalışmalar bittikten sonra farklı tarihlendirme yöntemleri için örnek alımı yapılarak hendeğin kapatılması sağlanır.



Şekil 4. (a) Sürgü Doğu hendeği, hendek duvarı temizleme çalışması (kuzeye bakış), (b) Nergele hendeği, karelej işlemi yapılmış hendek duvarının görünümü.

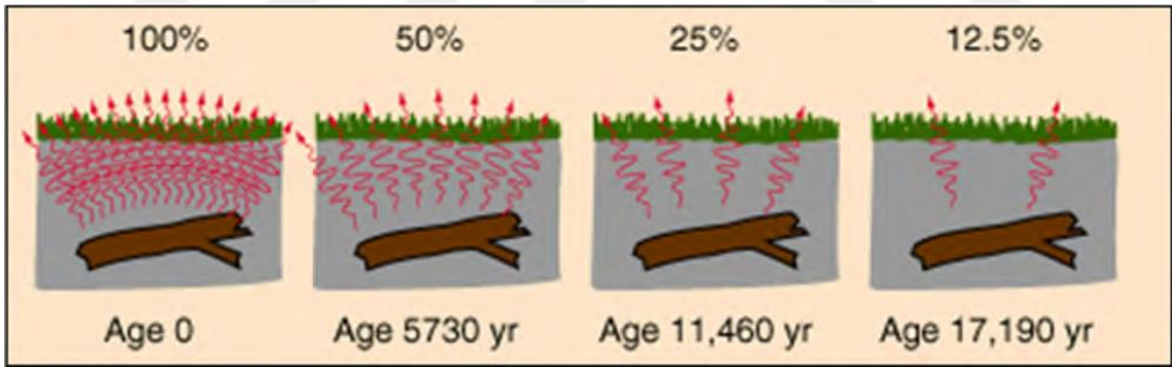
Tarihlendirme Çalışmaları

Radyokarbon tarihlendirme yöntemi olarak da bilinen C-14 tarihlendirme yöntemi, Paleosismoloji çalışmalarında en yaygın kullanılan tarihlendirme yöntemlerinden biridir. Bunun nedeni; hendek içerisindeki Geç Kuvaterner karasal çökelleri içerisinde, kömür veya organik malzemece zengin paleotoprak seviyelerinin bulunabilmesidir. Arkeolojide daha yaygın olarak kullanılan bu yöntemi 1950 yılında geliştiren kimyacı Williard Libby, 1960 yılında Nobel Ödülü almaya hak kazanmıştır (Walker, 2005).

Organik madde içeren örneklerin tarihlenmesinde kullanılan C-14 yöntemi; canlı organizmaların bünyesinde denge halinde bulunan C-14 izotopunun, organizma öldüğü

zaman beta bozunumu yaparak azalması ve bu azalmanın ölçülmesiyle geçen sürenin hesaplanması prensibine dayanmaktadır. Kısacası, bu yöntem alınan toprak örneği içinde bulunan karbonun yarılanma ömrünü esas alan bir yöntemdir (Şekil 5). C-14 tarihlendirme yönteminde kalıntının yaşı, en fazla 45 bin yıl öncesine kadar doğru ve güvenilir bir şekilde tespit edilebilir (Walker, 2005).

Bu yöntemde, yaygın olan C-12'nin çok daha az oranda bulunan ve radyoaktif olan C-14'e oranı ölçülür. Atmosferdeki C-12'nin C-14'e oranı, yüz binlerce yıldır hemen hemen aynı kalmıştır. Atmosferdeki karbonu bitkiler fotosentez yoluyla, hayvanlar da bitkileri yiyerek bünyelerine alırlar. Bu alış-veriş sürekli olduğundan, karbon oranı bitki yaşadığı sürece aynı kalır. Ancak bu oran canlı öldüğünde vücuda yeni madde girişi olmadığı için değişmeye başlar. Daha doğrusu canlının ölümünden sonra bünyedeki kararsız C-14 elementi azalmaya başlar. Her 5730 yılda bir (karbonun yarılanma ömrü) başlangıçtaki yarısı kadar C-14 kalır (Şekil 5). Böylece bir kalıntıdaki C-12 / C-14 oranı ölçülerek, kalıntının çevresiyle karbon alışverişi yapmayı bıraktığı (öldüğü) zaman, dolayısıyla kalıntının yaşı hesaplanmış olur (Walker, 2005).



Şekil 5. C-14'ün yarılanma ömrü esas alınarak hesaplanması (Gökçe vd., 2014'den).

C-14 yöntemi dışında kullanılan tarihlendirme metotları ise OSL ve TL'dir. Mineral yapısında çeşitli nedenlerle tuzaklanmış elektronların ışıkla uyarılarak çıkarılması Optik Uyarmalı Lüminisans (OSL), ısıyla uyarılarak çıkarılması ise Termolüminesans (TL) yöntemlerinin temelini oluşturur (Buluş vd., 2005). Tez çalışmasında bu iki yöntem kullanılmadığından burada OSL ve TL tarihlendirme yöntemleri ile ilgili detaya girilmemiştir.

3.3.2. Doktora Tez Çalışması Kapsamında Yapılan Paleosismoloji Çalışmaları

Doktora tez çalışması kapsamında 2019 ve 2020 yılları yaz aylarında hendek yeri belirleme çalışmaları, sonbahar aylarında ise hendek kazı çalışmaları yapılmıştır. Bu kapsamda inceleme alanında, GE programından faydalanılarak fay güzergâhında belirlenen kritik noktalar da göz önünde bulundurularak, detaylı bir arazi çalışması yapılmıştır.

2019 yılı yaz aylarında, doğrultu atımlı fay zonlarında sıkça gözlenen ötelenmiş dere ve sırtlar, fay sarplıkları, çek-ayır havzaları, basınç sırtları, çizgisel gidişli vadiler gibi jeomorfolojik göstergelerden faydalanılarak Sürgü ve Çardak fayları boyunca 10 olası hendek yeri belirlenmiştir. Olası hendek yerleri arasında yapılan değerlendirmeler neticesinde ve bütçe durumu göz önüne alınarak Çardak Fayı üzerinde 1, Sürgü Fayı üzerinde 2 adet olmak üzere toplam 3 adet hendeğin kazılmasına karar verilmiştir. Kararın ardından gerekli izinler alınarak hazırlıklar tamamlanmış ve 2019 yılı Kasım ayının sonlarına doğru bu 3 hendeğin kazı çalışmaları tamamlanmıştır.

2020 yaz aylarında yapılan arazi çalışmaları kapsamında Sürgü ve Çardak fayları üzerinde, daha önce yapılan büro çalışmaları ile belirlenen, 7 adet olası hendek yeri araştırılmıştır. Araştırmalar neticesinde Sürgü Fayı üzerinde 1, Çardak Fayı üzerinde 1 adet olmak üzere toplam 2 hendek kazısı yapılması kararlaştırılmıştır. Çardak Fayı üzerinde kazılan Barış hendeğinde iki ayrı deprem tespit edilmesinin ardından teyit amaçlı 10 m mesafede bir hendek daha kazılmıştır. Böylece 2020 Ekim ayında Sürgü Fayı üzerinde 1 adet, Çardak Fayı üzerinde 2 adet olmak üzere toplam 3 adet hendek kazısı yapılmıştır.

2019 yılında kazılan 3 hendekten 4 adet, 2020 yılında kazılan 3 hendekten 8 adet numune alınarak C-14 yaş tayini analizi için TÜBİTAK-MAM bünyesindeki laboratuvara gönderilmiştir. Özetle doktora tez çalışmaları kapsamında 2019 yılında 3 adet, 2020 yılında 3 adet olmak üzere toplam 6 hendek kazısı yapılarak paleosismolojik çalışmalar tamamlanmıştır.

Tez çalışması kapsamında yapılan hendek çalışmalarının tümü aşağıdaki düzende yürütülmüştür;

- ✓ Hendek kazısı yapılacak alandaki arazi sahibinden ve buradaki yerel yönetimden izin alınması,
- ✓ En yakın yerleşim yerinden kazıcı kiralanarak hendek kazısının yapılması,
- ✓ Hendek duvarlarının gerekli hassasiyetle temizlenmesi,
- ✓ Duvarların 1x1 m karelaj iplerinin çekilmesi,
- ✓ A3 boyutundaki milimetrik kâğıda duvar loglarının çizilmesi,
- ✓ Hendek duvarlarının ayrıntılı olarak fotoğraflanması,
- ✓ Gerekli seviyelerden örnek alınması,
- ✓ Hendeğin kapatılması.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

ARAŞTIRMA BULGULARI

Doktora tez çalışması kapsamında elde edilen bulgular bu bölümde verilmiştir. Öncelikle Sürgü ve Çardak faylarını da kapsayacak şekilde bölgesel tektonik irdelenmiş, inceleme alanındaki jeolojik birimler MTA paftalarından derlenmiş ve çalışma alanındaki fayların yapısal özellikleri hakkında bilgi verilmiştir. Ardından inceleme alanının deprenselliği ve morfotektonik özellikleri kapsamında elde edilen bulgular paylaşılmıştır. Son olarak tez çalışmasının ana konusunu oluşturan paleosismolojik bulgulara yer verilmiştir. Bölümün sonunda, bölüm kapsamında elde edilen tüm bulgular tartışma başlığı altında irdelenmiştir.

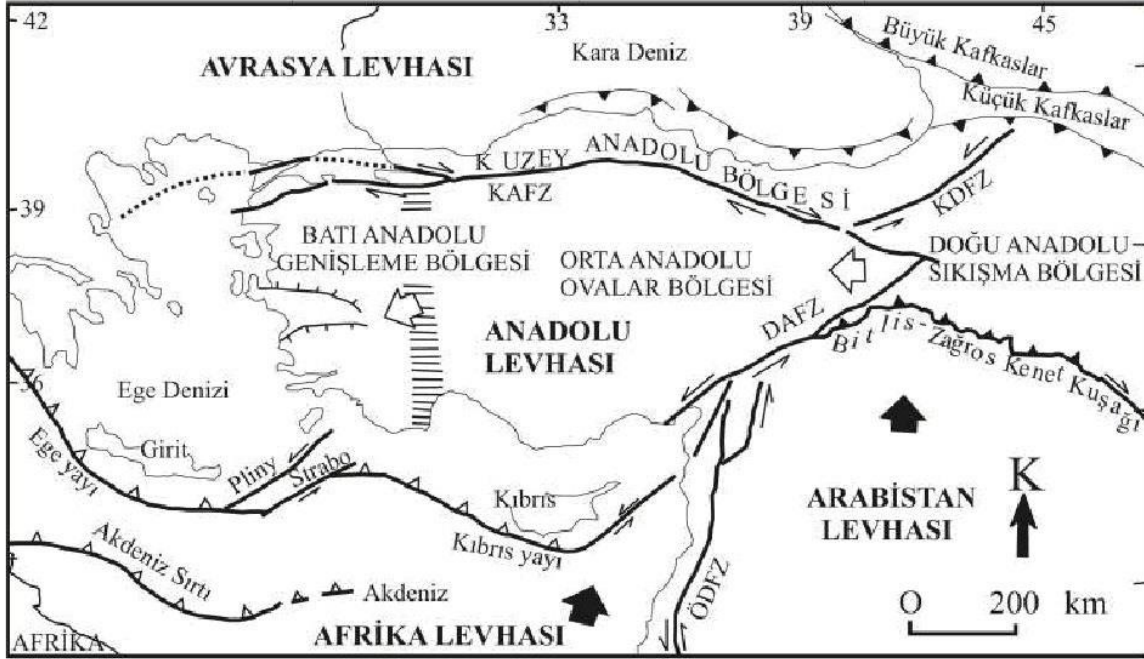
4.1. Bölgesel Tektonik

Bu başlık altında genelden özele doğru; Türkiye'nin neotektoniği, Doğu Anadolu Fay Zonu ve DAFZ kuzey kolunun bir bölümünü oluşturan Sürgü, Çardak ve Savrun fayları hakkında bilgi verilmiştir.

Afrika Plakası, kendisini çevreleyen okyanus ortası sırtlarında ıraksayan levha sınırlarındaki hareketlilik nedeniyle kuzeye doğru hareket etmektedir. Kızıldeniz'deki açılma nedeniyle Arabistan Plakası, Afrika Plakasına nazaran daha hızlı bir şekilde yine kuzeye doğru kaymaktadır. Afrika-Arabistan ve Avrasya levhalarının yaklaşık kuzey-güney doğrultuda yakınsamaları sonucu Üst Kretase'de Akdeniz'in eski atası sayılan Tetis Denizi kapanmış ve bunu takiben Üst Miyosen'de (yaklaşık 10 my önce) Arabistan ve Avrasya levhaları, Güneydoğu Anadolu Bindirme Kuşağı boyunca çarpışmışlardır (Şengör, 1980). Bu dönemden Pliyosen'e kadar (3-5 my önce) kuzey-güney yönlü sıkışmalar; kuzeyden bindiren bindirme fayları ve Güneydoğu Anadolu Bindirme Kuşağına paralel kıvrımlanmalar ile karşılanmıştır (İmamoğlu ve Çetin, 2007).

Geç Pliyosen'de bu sıkışmalar, bindirme fayları ve kıvrımlanmalar ile karşılanamaz duruma gelmiş ve yanal atımlı faylar egemen duruma geçmiştir (Perinçek ve Eren, 1990; Herece ve Akay, 1992). Bu arada sağ yönlü Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ile sol yönlü

Doğu Anadolu Fay Zonu gelişmiş ve birer transform fay özelliği gösteren KAFZ ile DAFZ boyunca Anadolu Plakası batıya doğru hareket etmeye başlamıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Türkiye'nin Neotektonik dönemini şekillendiren ana yapılar ve bölgeler (Şengör, 1980). KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu, ÖDFZ: Ölü Deniz Fay Zonu, DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu, KDFZ: Kuzey Doğu Anadolu Fay Zonu.

4.1.1. Doğu Anadolu Fay Zonu

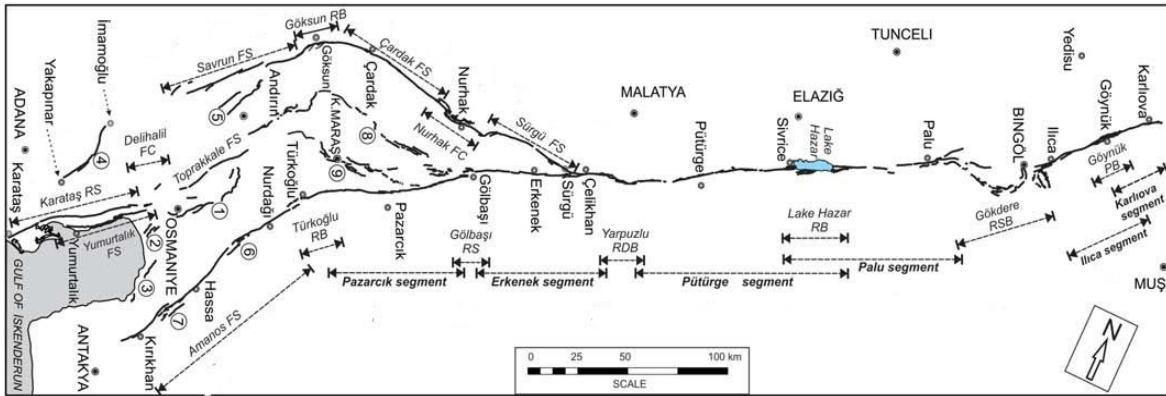
İnceleme alanını da kapsayan Doğu Anadolu Fay Zonu yaklaşık 580 km uzunluğunda sol yönlü doğrultu atımlı bir fay zonudur (Şaroğlu vd., 1992). DAFZ Anadolu-Avrasya plakası sınırının bir kısmı ile Arap-Afrika plakaları arasındaki sınırın bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu özelliğiyle bir transform fay niteliğinde olup bazı kaynaklarda (örn: McKenzie, 1976; Dewey vd., 1986) Doğu Anadolu Transform Fayı olarak geçmektedir.

DAFZ birbirine paralel, yarı paralel ve oblik olarak yönlenmiş bir dizi faydan oluşur (Şengör, 1980; Nalbant vd., 2002; Herece, 2008; Emre vd., 2016). Bu fay zonu, kuzeydoğuda Karlıova'dan başlayıp Kahramanmaraş'ı geçerek Ölü Deniz Fayı'nda son bulur. Ancak bu fay zonu tek bir hat olmayıp Çelikhhan'ın batısından sonra çatallanmalar göstererek geniş bir deformasyon zonuna dönüşmüştür (Duman ve Emre, 2013). Karlıova ile Antakya arasındaki ana kolu Emre ve arkadaşları (2016) tarafından 7 fay segmentine

bölünmüştür. Bunlar: Karlıova, Ilıca, Palu, Pötürge, Erkenek, Pazarcık ve Amanos segmentleridir (Şekil 7).

Doğu Anadolu Fay Zonunun kuzey kolu ise Çelikhan ile İskenderun Körfezi arasında 380 km'dir ve karakteristik aktif sol yanal doğrultu atımlı fay özellikleri sergilemektedir. Bu fay sistemi kuzeydoğudan güneybatıya doğru Sürgü, Çardak, Savrun, Çokak, Yakapınar, Andırın, Toprakkale, Yumurtalık ve Karataş olmak üzere 9 segmente ayrılmıştır (Duman ve Emre, 2013; Emre vd., 2016).

DAFZ'nun kuzey kolu kendi içinde Göksün bükümü ile doğu ve batı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bu tezin çalışma alanı olarak seçilen yaklaşık 160 km uzunluğundaki doğu kısmı Nurhak'ta karmaşık bir geçiş gösteren Sürgü ve Çardak segmentlerinden oluşur. Fay sisteminin doğrultusu Göksün Bükümü'nde ortalama olarak 45° değişim gösterir ve güneybatıya doğru KD-GB doğrultusunda uzanır (Şekil 7). Batı kısmı ise Savrun, Çokak, Yakapınar, Andırın, Karataş, Toprakkale ve Yumurtalık fay segmentlerini içermektedir. Bu segmentler, dere ve vadi ötelenmeleri, ötelenmiş sırtlar, taze fay sarplıkları gibi belirgin aktif sol yanal doğrultu atımlı fay özelliklerini sergilerler (Duman ve Emre, 2013).



Şekil 7. Doğu Anadolu Fay Sisteminin ana kolu, kuzey kolu ve fay segmentleri (Duman ve Emre, 2013). Kısaltmalar: FS, fay segmenti (fault segment); RB, açılma bükümü (releasing bend); RS, açılma sıçraması (releasing stepover); RSB, sıkışmalı büküm (restraining bend); RDB, sıkışmalı çift büküm (restraining double bend); PB, eşleştirilmiş büküm (paired bend), (1) Düziçi-Osmaniye fay segmenti, (2) Erzin fay segmenti, (3) Payas fay segmenti, (4) Yakapınar fay segmenti, (5) Çokak fay segmenti, (6) İslahiye açılma bükümü, (7) Demrek sıkışmalı sıçraması (restraining stepover), (8) Engizek fay zonu, (9) Maraş fay zonu.

DAFZ'ndaki deformasyonun başlangıç yaşı tartışmalı olmasına rağmen, Geç Pliyosen yaşı araştırmacılar arasında yaygın olarak kabul görmektedir (Şaroğlu vd., 1987; Westaway, 2004; Yönlü vd., 2013). Fay zonundaki kayma miktarı GPS verilerine göre yaklaşık 10 mm/yıldır (McClusky vd., 2000; Reilinger vd., 2006). Jeolojik verilere göre kayma hızı ise 4-11 mm/yıl arasında değişmektedir (Herece, 2008; Yönlü vd, 2013; Emre vd., 2016). DAFZ'nun yer değiştirme miktarı için yapılan çalışmalara göre Pliyosen öncesi kayaların yer değiştirme miktarı ve Fırat Nehri'ndeki atım dikkate alındığında DAFZ üzerinde 15-27 km'lik sol-yanal bir yer değiştirme tespit edilmiştir (Yönlü vd., 2013; Gökçe vd., 2014).

Son birkaç yüz yıl içinde DAFZ üzerinde meydana gelen en önemli depremler; 1513 Pazarlık (M=7.4, I₀=IX), 1544 Elbistan/Zeytun (M=6.7), 1789 Palu (M=7.0), 1822 Afrin (M=7.4, I₀=X), 1866 Kulp (M=6.8, I₀=IX), 1872 Antakya (M=7.2, I₀=X), 1874 Gezin (M=7.1, I₀=X), 1875 Sivrice (M=6.7), 1893 Çelikhan (M=7.1), 1905 Pötürge (M=6.8), 1971 Bingöl (M=6.8), 1986 Mayıs (M=5.8)-Haziran (M=5.6) Doğanşehir ve 24 Ocak 2020 tarihli Sivrice (M=6.8) depremleridir (Ambraseys, 1989; Taymaz vd., 1991; Duman ve Emre, 2013).

Çalışma alanının güneybatısında kalan Savrun Fayı; Sürgü ve Çardak faylarının devamı niteliğinde olduğundan bu fay ile ilgili bazı güncel kaynaklar derlenerek fayın davranış biçimi anlaşılmaya çalışılmıştır.

Savrun Fayı, Göksün açılma bendinde başlayıp Sumbas'a kadar uzanmaktadır. Fay Çığsar'da 3 km genişliğindeki sağa sıçrama yaptığı yerde ikiye ayrılmaktadır. Göksün açılma bükümüyle başlayan 20 km uzunluğundaki doğu kısmı; Göksün Düzlüğü ile Berit Dağı arasında keskin bir topoğrafya oluşturmaktadır. Savrun Fayı'nın güney kesimi, yaklaşık 41 km boyunca, K40D doğrultusunda Gezit Dağı kenarı ve Savrun karstik kanyon vadisini takip ederek Sumbas'ın kuzeyine kadar uzanmaktadır (Duman ve Emre 2013).

Korkmaz ve arkadaşları (2008) tarafından yapılan bir çalışmada Savrun Fayı'nın, ana fay hattının doğu ve batısında birçok fayın bulunduğu bir zon şeklinde gelişim gösterdiği belirtilmiştir. Sol yönlü doğrultu atımlı bu fayın Göksun Fayı'ndan (burada Çardak Fayı

kastedilmektedir) genç olduğu ve fayın başlangıç yaşının Alt Miyosen olduğu Kozlu (1987) çalışmasına dayandırılarak iddia edilmiştir.

4.1.2. Çalışma Alanı

Bu tezin konusu olarak belirlenen DAFZ kuzey kolunun Çelikhan ile Göksun arasındaki kesimi, Sürgü Misis Fay Sistemi'nin (Duman ve Emre, 2013) kuzeydoğu kısmını oluşturmaktadır. Burada inceleme alanı ile ilgili yapılmış bazı önceki çalışmalardan faydalanılarak Sürgü ve Çardak fayları hakkında genel tektonik bilgi verilmiştir.

Duman ve Emre (2013) Holosen drenaj ağlarındaki sistematik ötelenmelere dayanarak, Sürgü Fayı'nda 3mm/yıl, Çardak Fayı'nda ise 2,5 mm/yıl kayma olduğunu belirtmişlerdir. Menekşe (2016) her iki faydaki kayma miktarını 2 mm/yıl olarak vermektedir.

Sürgü Fayı

Sürgü Fayı, DAFZ'ndan Çelikhan'ın batısında ayrılmakta ve Nurhak'ın doğusunda sonlanmaktadır. D – B doğrultusunda yaklaşık 70 km uzanan Sürgü Fayı aktif sol yanal doğrultu atımlı bir faydır (Perinçek ve Kozlu, 1984; Perinçek ve diğ, 1987; Yılmaz, 2002; Westaway, 2004; Korkmaz vd., 2008; Duman ve Emre, 2013; Emre vd., 2016; Balkaya vd., 2021). Fay boyunca toplam 4 km sol yanal atım saptanmış olup fay en erken, Pliyosen döneminde gelişmiş olmalıdır. Sürgü Fayı'nın doğu kesiminde uzamış sırtlar, önu kesilmiş vadiler batı kesiminde ise sol yönlü ötelenen derelerin oluşturduğu belirgin morfolojik yapılar bulunmaktadır (Yılmaz, 2002).

Sürgü Fayı'nın Sürgü'ye kadar olan doğu kesimi kuzeye eğimli iken, Sürgü batısındaki bölümü 85⁰ güneye eğimli olup eğimi derine doğru azalmaktadır (Taymaz vd., 1991; Yılmaz, 2002).

Koç (2005) ile Koç ve Kaymakçı (2013) tarafından Sürgü Fayı üzerinde yapılan çalışmada, fayın Çelikhan'da DAFZ'ndan ayrılarak Göksun'a kadar uzanan bir fay zonu olduğu belirtilmiştir. Çalışmada ağırlıklı olarak kullanılan uzaktan algılama yöntemleri, saha gözlemleri ve fay kayma verilerine dayanılarak fayın batı kesiminin ters bileşene sahip sağ

yanal doğrultu atımlı, doğu kesiminin ise normal bileşenli sağ yanal doğrultu atımlı olduğu iddia edilmiştir. Fay zonu boyunca sağ yanal doğrultu atımlı faylarda yaygın olan basınç sırtları (pressure ridges), ötelenmiş çizgisel vadiler ve ötelenmiş derelerin gözlemlendiği belirtilmiştir. Bölgedeki dere yatağı ötelenmelerinden fayın toplam atımının 3 km'den fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu iki çalışmada Sürgü Fay Zonunun sağ yanal hareketinin, Arabistan Plakası ile Anadolu Bloğunun K-G sıkıştırması sonucu Maraş Bloğu'nun batıya kaçması ile açıklanabileceği belirtilmiştir.

Sağ yanal hareketi savunan bir diğer çalışmada (Sunkar vd., 2008) Sürgü Fay Zonu'nun DAF Zonu'ndan bağımsız olduğu ileri sürülmüştür. Bu çalışmada Güneydoğu Toroslar'ı oluşturan dağlık alanlar arasında yer alan, bir depresyon alanına karşılık gelen ve kuzeyde Sürgü Fayı, güneyde DAFZ tarafından sınırlandırılmış yaklaşık 30 km² alana sahip Kurucaova ve çevresinin jeomorfolojisi araştırılmıştır. Bu sınırlar içerisinde Kurucaova'nın; DAF'nın sol yanal, Sürgü Fayı'nın sağ yanal hareketine bağlı olarak gerilme rejimi etkisinde Fay Kaması Havzası (Fault Wedge Basin) tipinde oluşmuş bir havza olduğu belirtilmiştir.

Duman ve Emre (2013) tarafından yapılan araştırmada; büyük bir deprem esnasında Sürgü Fayı boyunca Holosen yüzey faylanmasının meydana geldiğini gösteren, Holosen yaşlı bir alüvyal yelpazenin yüzey kırığıyla ötelendiği belirtilmiştir. Aynı kaynakta Sürgü Fayı üzerinde gerçekleşen 5,6 ile 5,8 büyüklüğündeki 1986 Sürgü depremlerin gözlemlenebilir bir yüzey kırığı oluşturmadıkları ileri sürülmüştür.

Çardak Fayı

Çardak Fayı'nın uzunluğu yaklaşık 85 km olup Nurhak ile Göksun arasında yer alır. Nurhak batısında K80B doğrultu ile batıya devam eden fay, dar bir deformasyon zonu halinde iç bükey bir geometri ile Göksun'un güneyine kadar uzanır.

Duman ve Emre (2013) tarafından yapılan çalışmada, Çardak Fayı'nın 50 km uzunluğundaki batı kesiminin eski bindirmeler ile kıvrımları keserek açıkça aktif bir sol yanal fay morfolojisi sergilediği ve bu kesimde de Holosen nehir vadilerinin fay tarafından ötelendiği tespit edilmiştir. Çalışmada Fındık'ın batısındaki 5 nehir vadisinde toplam 60 metrelik ötelenme ölçüldüğü ve bunun da fayda yıllık 2,5 mm kaymaya denk geldiği belirtilmiştir.

Palutoğlu ve Şaşmaz (2017) tarafından yapılan bir çalışmada 1795 yılında Kahramanmaraş civarında yıkıcı bir depremin meydana geldiği belirtilerek bu bilgi el yazması bir belgeye dayandırılmıştır. Ancak, el yazması eserde anlatılan depremin hangi fay tarafından üretildiği net değildir. Söz konusu çalışma kapsamında yapılan hesaplamalar sonucunda depremin; DAFZ Gölbaşı segmenti, Kahramanmaraş Fay Zonu, Engizek Fayı ve ardak fay segmentlerinden biri üzerinde meydana geldiği ileri sürülmüştür. Sonuç olarak bu çalışma ile daha önce tarihsel deprem kataloglarında ve literatürde yer almayan bir depremin varlığı ortaya konmuştur. Ayrıca bu depremi oluşturan kaynak fayın, faya ilişkin kayma hızı ve paleosismolojik davranışlarının detaylı olarak araştırılması gerektiği önerilmektedir.



4.2. İnceleme Alanının Jeolojisi

Bu tez çalışması ile yaklaşık D-B doğrultulu uzanan Sürgü ve Çardak faylarını kapsayacak şekilde, yaklaşık 160 km uzunluğunda ve ortalama 15 km genişliğinde bir zonun jeoloji haritası hazırlanmıştır (Şekil 8). Yapılan arazi ve büro çalışmaları neticesinde, inceleme alanının litolojik, yapısal ve jeomorfolojik özellikleri de göz önünde bulundurularak Sürgü ve Çardak fayları haritalanmıştır. Çalışma alanındaki diğer aktif faylar da 2013 yılında MTA tarafından hazırlanan güncel Türkiye Diri Fay Haritası (Emre vd., 2013) baz alınarak jeoloji haritasına eklenmiştir (Şekil 8).

İnceleme alanındaki litolojik birimler; Miyosen öncesi, Miyosen dönemi ve Miyosen sonrası birimler olmak üzere 3 gruba ayrılmıştır.

4.2.1. Miyosen Öncesi Temel Kayalar

Çalışma alanının büyük bir çoğunluğunda yayılım gösteren Miyosen öncesi temel kayalar, bünyesinde mağmatik, metamorfik ve sedimanter kayaç türü örneklerini barındırmaktadır. Mağmatik kayaç türü olarak çalışma alanının doğusunda bazalt, diyabaz, spilitik bazalt, aglomera ve volkanosedimanter kayaçlar bulunmaktadır. Metamorfik kayaçlar çalışma alanının genelinde yaygın olup mermer, rekristalize kireçtaşı, şist, kalkışist, mikaşist, serpantinit, peridotit, gabro, metagabro, gnays, gözlü gnays, kuvarsit, fillit, amfibolit gibi örnekleri sıkça gözlenmektedir. Miyosen öncesi temel kayalar kapsamındaki sedimanter kayaçlar çalışma alanının genelinde yayılım sergilemektedirler. İnceleme alanında kireçtaşı, çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı, neritik kireçtaşı, dolomit, silttaşı, kiltası, şeyl gibi sedimanter kayaç örneklerine rastlanmaktadır (Bedi ve Yusufoglu, 2018; Çoban ve Dalkılıç, 2018; Usta vd., 2018).

Bu bölümde Miyosen öncesi temel kayaları oluşturan ve çalışma alanında yaygın olarak görülen formasyonlar hakkında yaşlıdan gence doğru sırasıyla ve kısaca bilgi verilmiştir.

Pötürge Metamorfitleri

Çalışma alanının kuzeydoğusunda bulunan Çelikhan ilçesinin KD'sunda yayılım sergileyen birim ilk kez Perinçek (1979) tarafından "Pötürge Metamorfitleri" olarak tanımlanmıştır. Birim genel olarak gnays, gözlü gnays, kuvarsit, granatlı mikaşist, amfibolit ile bunları kesen pegmatitik dayklar ve bazik bileşimli dayklardan oluşmaktadır. Bu metamorfitler Prekambriyen-Erken Paleozoyik yaşlıdır (Bedi ve Yusufoglu, 2018).

Nergile Formasyonu

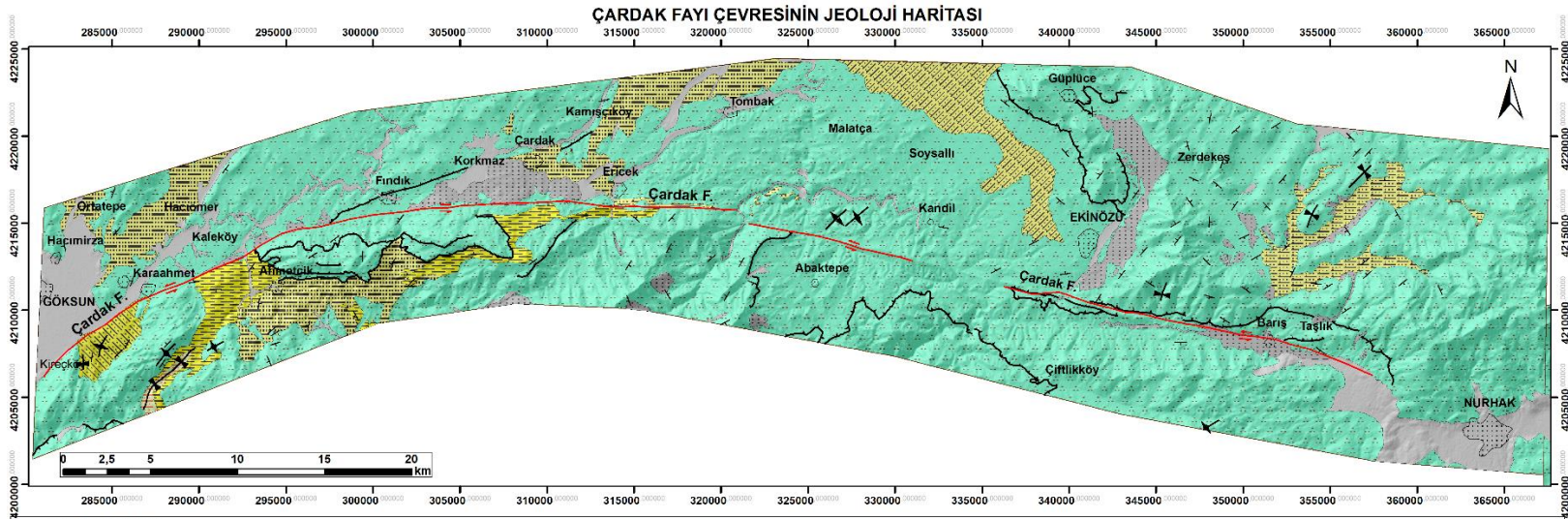
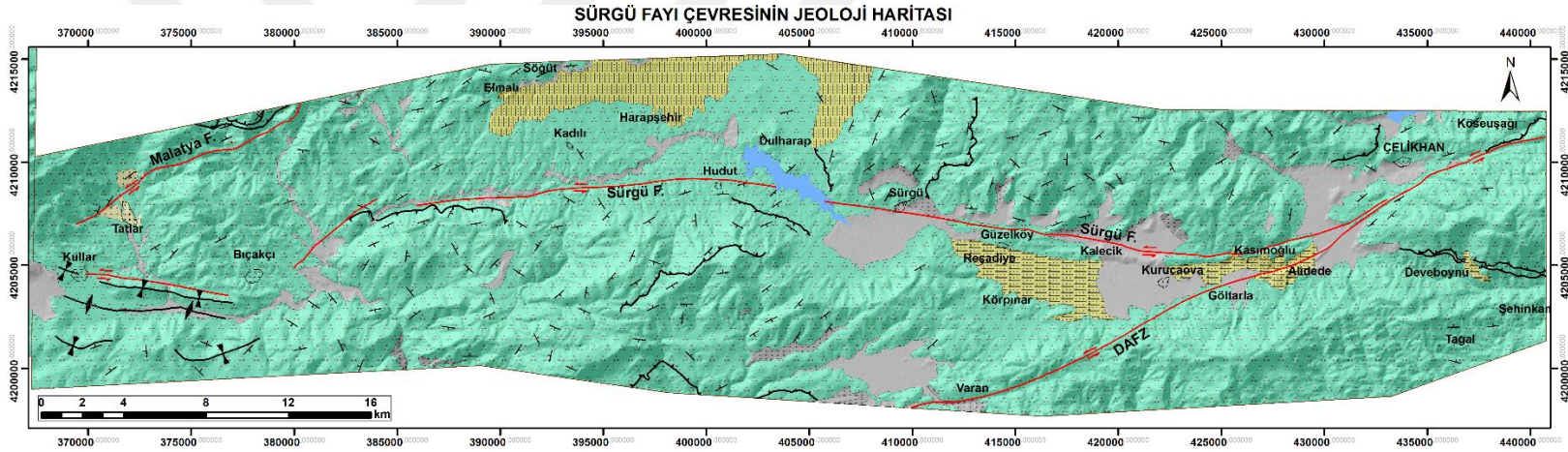
Birim Sürgü Fayı'nın batısı ve Çardak Fayı'nın doğusu boyunca yaygındır. Yılmaz vd. (1985) tarafından adlanmış olan birim genelde mikaşist, kuvars serisit şist, fillat ve üst seviyelerde bunlar arasına katılan mermerlerden oluşmuştur. Birime Devonyen yaşı uygulanmıştır (Çoban ve Dalkılıç, 2018).

Koçdağ Formasyonu

Ağırlıklı olarak mermerden oluşan istif, Yılmaz vd. (1985) tarafından adlandırılmıştır. Birim Sürgü Fayı'nın orta ve batı kesiminde gözlenmektedir. Formasyon mermer, dolomit, dolomitik kireçtaşı, kalkşist ve rekristalize kireçtaşlarından oluşur. Formasyonun yaşı Karbonifer-Permien'dir (Çoban ve Dalkılıç, 2018).

Permien Yaşlı Bloklar

Nurhak ilçesinin batısında yaygın olarak görülen birim, Permien yaşlı mermer, dolomitik mermer ve kristalize kireçtaşı bloklarından oluşur. Birim Yılmaz vd. (1987) tarafından tanımlanmıştır.



ACIKLAMALAR

Baraj göleti	Pliyosen-Pleyistosen alüvyon	Pliyosen kumtaşı, çamurtaşı, kireçtaşı	Orta Miyosen kumtaşı, çamurtaşı, kireçtaşı	Yerleşim yeri	Senkinal eksen
Kuvaterner alüvyon	Pliyosen-Kuvaterner konglomera, kumtaşı, çamurtaşı	Üst Miyosen-Pliyosen kumtaşı, çamurtaşı, kireçtaşı	Alt Miyosen kumtaşı, çamurtaşı, kireçtaşı	Doğru atımlı fay	Bindirme
Kuvaterner yamaç molozu	Pliyosen konglomera, kumtaşı, çamurtaşı	Üst Miyosen Killaşı, kumtaşı	Miyosen öncesi temel kaya	Antiklinal eksen	Tabaka konumu

Şekil 8. Çalışma alanının sadeleştirilmiş jeoloji haritası (MTA (2014), 1/100.000 ölçekli paftalardan değiştirilerek alınmıştır).

Çayderesi Formasyonu

Çalışma alanının doğusunda yayılım sergileyen birimin tip kesiti Kurucaova ve Güzelköy arasındaki alanda bulunmaktadır (Bedi ve Yusufoglu, 2018; Usta vd., 2018). Özgül vd. (1981) tarafından adlandırılan birim genel olarak mermer, rekristalize kireçtaşı, dolomit ve dolomitik kireçtaşlarından oluşmaktadır. Bedi ve Yusufoglu (2018) tarafından yapılan çalışmalara göre, birimin yaşı Orta-Geç Permiyen olarak kabul edilmiştir.

Engizek Formasyonu

Kireçtaşlarından oluşan istif, Yılmaz vd. (1985) tarafından adlanmıştır. Birim inceleme alanında yaygın olup ağırlıklı olarak Sürgü Fayı'nın orta ve batı kesimleri ile Çardak Fayı'nın doğusunda gözlenmektedir. Çoban ve Dalkılıç (2018) tarafından yapılan çalışmalarda birim için Geç Jura-Geç Kretase (Senomaniyen) yaşı kabul edilmiştir.

Triyas Yaşlı Karbonat ve Şeyl Blokları

Karbonatlı şeyl ve kireçtaşından oluşan birim, Yılmaz ve arkadaşları (1987) tarafından tanımlanmış olup çalışma alanında Nurhak'ın kuzey kesimlerinde yayılım göstermektedir.

Tarasa Formasyonu

İnceleme alanında Kurucaova'nın GD'sunda yayılım sergileyen birim Perinçek (1978) tarafından adlandırılmıştır. Tarasa formasyonu; bazalt, diyabaz, spilitik bazalt, aglomera, seyrek pelajik kireçtaşı ve volkanosedimanter kayalarla temsil edilmektedir. Birimin yaşı geç Triyas olarak belirlenmiştir (Usta vd., 2018).

Göksun Ofiyoliti

İnceleme alanında Çardak Fayı boyunca aralıklarla mostra veren birim, serpantinit, peridotit, gabro ve metagabro gibi ofiyolitik kayalardan oluşur. Metin vd. (1993) tarafından Göksun ofiyoliti olarak tanımlanmıştır. Göksun ofiyolitlerinin yerleşme yaşı Geç Kampaniyen - Erken Maastrichtiyen olarak ele alınmıştır (Sümengen, 2014a ve 2014b).

Maden Formasyonu

Sürgü Fayı'nın KD'sunda, parçalı bir şekilde görülen birim, genel olarak kumtaşı, çamurtaşı, çakıltası, silttaşı, kireçtaşı ve bazik lav akıntısı aralanmasından oluşur. Birim Erken-Orta Eosen yaşlıdır (Bedi ve Yusufoglu, 2018).

Hoya Formasyonu

Neritik kireçtaşı ile dolomitten oluşan birim Tuna (1973) tarafından Midyat formasyonu olarak adlandırılmıştır. İnceleme alanının GD'sunda yer yer görülmektedir. Birim için Erken-Orta Eosen yaşı kabul edilmiştir (Usta vd., 2018).

Kumludere Formasyonu

Kumtaşı, çamurtaşı, çakıltası, kiltası ve silttaşı aralanmasından oluşan bloklu birim, Baydar (1989) tarafından Kumludere formasyonu olarak tanımlanmış olup inceleme alanında Çardak Fayı batı ucunun güneyinde görülmektedir. Birim yaşının Geç Eosen olduğu tespit edilmiştir (Sümengen, 2014a).

4.2.2. Miyosen Yaşlı Birimler

İnceleme alanında Çardak Fayı'nın güneyinde yayılım gösteren Miyosen yaşlı birimler; Alt Miyosen kumtaşı- çamurtaşı-kireçtaşı birimi, Orta Miyosen kumtaşı-çamurtaşı-kireçtaşı birimi, Üst Miyosen kiltası-kumtaşı birimi ve Üst Miyosen – Pliyosen kumtaşı-çamurtaşı-kireçtaşı birimi olarak sıralanabilir (Baydar ve Yergök 1996; Usta vd., 2018).

Bunlardan Alt Miyosen kumtaşı, çamurtaşı, kireçtaşı birimi (Heyik Konglomera Üyesi) Baydar ve Yergök (1996) tarafından tanımlanmış olup genel olarak çakıltası, kumtaşı içeren orta-kalın katmanlı konglomeralardan oluşur. Birim, Çardak Fayı güneyinde görülmektedir.

Orta Miyosen kumtaşı, çamurtaşı, kireçtaşı birimi (Yenicekale Formasyonu) yine Baydar ve Yergök (1996) tarafından tanımlanmış olup genel olarak kireçtaşı, kumtaşı, marn ve çakıltalarından oluşmuştur. Birim Çardak Fayı batı ucunun güneyinde gözlenmektedir.

4.2.3. Miyosen Sonrası Birimler

İnceleme alanındaki Miyosen sonrası birimler kendi içinde Pliyosen-Kuvaterner yaşlı birimler ve Kuvaterner yaşlı birimler olmak üzere iki gruba ayrılmıştır.

Pliyosen-Kuvaterner Yaşlı Birimler

Çalışma alanında Pliyosen – Kuvaterner yaşlı birimler, Sürgü Barajı'nın kuzeyinde görülen Pliyosen çakıldaşı-kumtaşı-çamurtaşı birimi; Çardak Fayı kuzeyinde bulunan Ekinözü ilçesinin KB'sında görülen Pliyosen kumtaşı-çamurtaşı-kireçtaşı birimi; Sürgü Fayı güneyindeki Kurucaova civarında görülen Pliyo-Kuvaterner çakıldaşı-kumtaşı-çamurtaşı birimi (Ahmetçik Formasyonu) ile Sürgü Fayı batı ucunun kuzeyinde (Tatlar) görülen Pliyosen–Pleyistosen alüvyonlardan ibarettir (Usta et al., 2018).

Bunlardan *Ahmetçik Formasyonu*; başlıca karasal nitelikli, kırmızı, kahve renkli çakıldaşı, kumtaşı, çamurtaşı araldanmasından oluşur. Kuvaterner çökelleri tarafından yersel uyumsuzlukla örtülür. Stratigrafik konumuna göre birim Pliyosen-Kuvaterner yaşlıdır. Sürgü Fayı doğu kesiminin güneyinde gözlenen birimin Reşediye ve Güzelköy'deki yüzeylemeleri başvuru kesiti niteliğindedir (Usta vd., 2018).

Kuvaterner Birimleri

İnceleme alanında vadiler ile fayların geçtiği havzalar boyunca yayılım sergileyen Kuvaterner yaşlı birimler; alüvyon, yamaç molozu ve alüvyon yelpaze çökelleri olarak sıralanabilir.

Alüvyon: Çalışma alanı genelindeki vadiler ve faylar boyunca gözlenen alüvyonlar genellikle tutturulmamış çakıl, kum, silt, kil ve çamurdan oluşmaktadır.

Eski Alüvyon: Genellikle nehirlerin yataklarında ve yüksek tepelerle çevrili ovalarda gevşek tutturulmuş çakıl, kum, kil ve milden oluşur. İnceleme alanında Nurhak ilçesi civarında gözlenmektedir.

Yamaç Molozu: İnceleme alanında çoğunlukla faylara yakın kısımlarda görülen yamaç molozu; yamaçlardaki formasyonlardan çeşitli nedenlerle kopan malzemenin yamaç

aşağı akması ve birikmesi ile, genelde tutturulmamış blok, çakıl ve az miktardaki kum ve kilden oluşmaktadır (Usta et al., 2018).

Alüvyon Yelpazesi: İnceleme alanında Sürgü Fayı boyunca alüvyon yelpazeleri gözlenmektedir. Yelpazeler baskın olarak yakınsak kısmından ıraksak kesimlerine doğru, çakıltaşı, kumtaşı, kalişli silttaşı ve çamurtaşlarından oluşmaktadır (Bedi ve Yusufolu, 2018).

Eski Alüvyon Yelpazesi: Sürgü Fayı güneyindeki Reşadiye ve Kurucaova mahallelerinde gözlenir. Güncel alüvyonlardan önce gelişmiş ve yüksek kotlardan sellerle taşınarak oluşmuş çakıl, kum, silt ve kil boyutlu gereçlerden meydana gelmiştir (Usta vd., 2018).

4.3. Yapısal Jeoloji

Bu başlık altında Sürgü ve Çardak faylarının geometrisi, segmentasyonu, inceleme alanındaki fayların etkisiyle oluşmuş çeşitli morfolojik ve yapısal unsurlar (dere ve nehir ötelenmeleri, fay sarplıkları, çizgisel vadi tabanı, oluk yapısı, kapan sırtı, basınç sırtı gibi) hakkında bilgi verilecektir.

4.3.1. Fayların Haritalanması ve Segmentasyonu

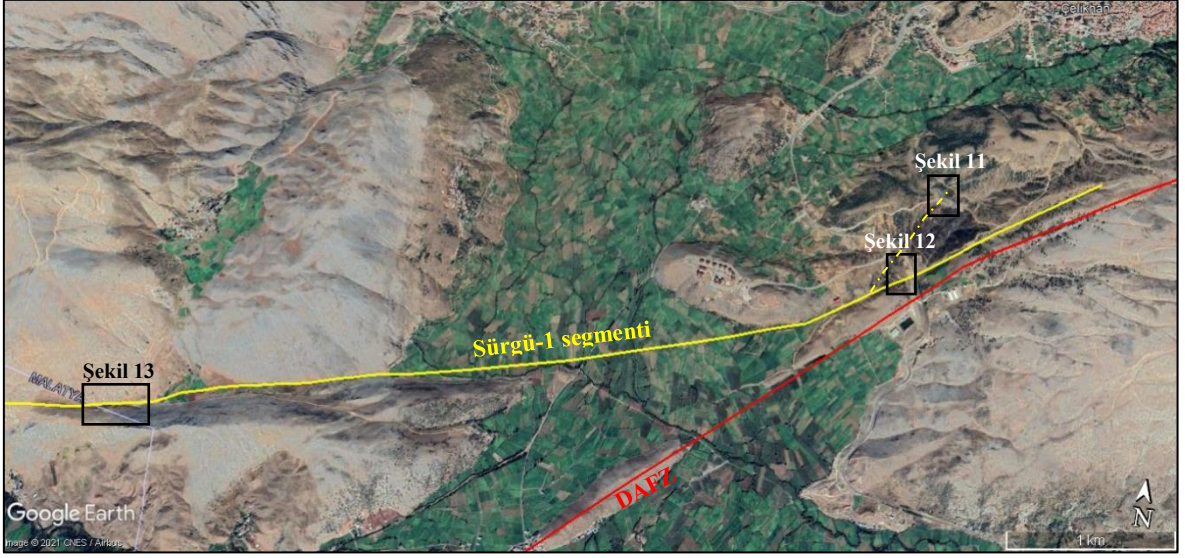
Çalışma alanı olarak belirlenen DAFZ kuzey kolu üzerindeki Sürgü ve Çardak faylarının haritaya çizilmesi amacıyla 2019 yılı yaz aylarında yapılan arazi çalışmaları esnasında, fayların geçtiği güzergâhın tamamı gezilerek ayrıntılı incelemeler yapılmıştır. Fayın güzergâhı, 2013 yılında MTA tarafından hazırlanan güncel Türkiye Diri Fay Haritası (Emre vd., 2013) baz alınarak arazide takip edilmiştir.

Faylar haritaya aktarılırken; fayın geçebileceği dar vadiler, basınç sırtlarının kenarları, oluk yapıları, dere ötelenmelerinin olduğu kısımlar ve buna benzer morfolojik yapılar göz önünde bulundurulmuştur. Haritalama çalışmaları yapılırken bazı yarma ve yol şevlerinde fay izlerine rastlanmış olup fay güzergâhı belirlenirken bu verilerden de yararlanılmıştır. Sonuç olarak fayın geçtiği güzergâh; litolojik, yapısal ve jeomorfolojik verilere bakılarak haritaya çizilmiştir. Ayrıca arazide fayların güzergâhı üzerinde koordinatları alınan tüm noktalar, GE programına aktarılarak Sürgü ve Çardak fayları haritalanmıştır.

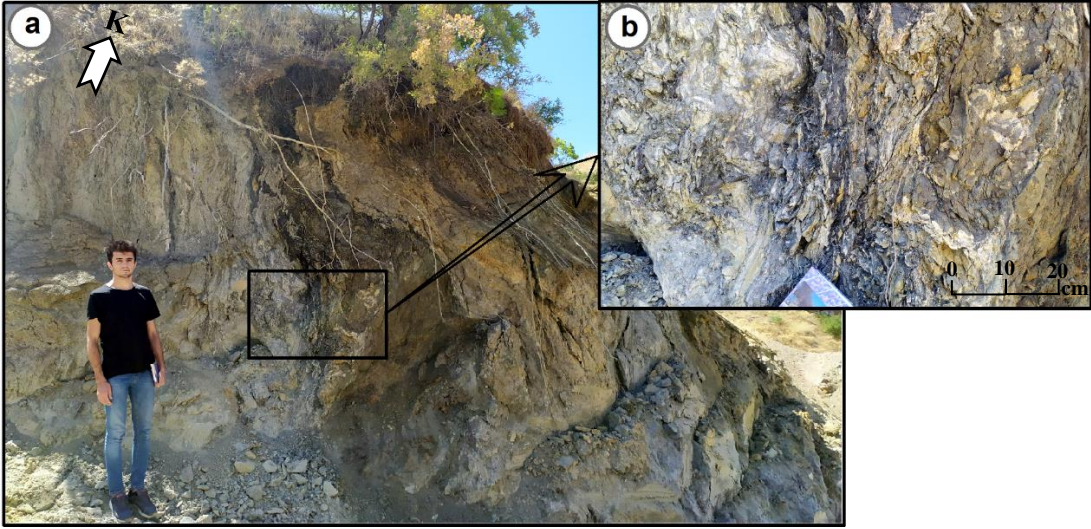
Bu çalışma kapsamında yapılan uzaktan algılama ve arazi çalışmaları neticesinde Sürgü Fayı dört, Çardak Fayı iki segmente ayrılmıştır. Segmentasyon işlemi yapılırken fayların geometrileri ve sıçrama yaptıkları kesimler göz önünde bulundurulmuştur.

Sürgü Fayı

Çelikhan'da DAFZ'ndan ayrılan Sürgü Fayı, batıya doğru yaklaşık 70 km uzanarak Nurhak (Kahramanmaraş) civarında sonlanmaktadır. Fayın Çelikhan'da başlayıp Sürgü'nün (Doğanşehir/Malatya) içerisinden geçerek Küçükklü Mahallesi'nde (Doğanşehir) son bulan 50 km uzunluğundaki kesimi yaklaşık doğu – batı doğrultusundadır. Sürgü Fayı, Küçükklü



Şekil 10. Sürgü-1 segmentinin doğu kesimini gösteren GE görüntüsü (Çelikhan'ın GB'sı). Kesikli sarı çizgi olası eş yönlü Riedel fayın güzergâhını göstermektedir.



Şekil 11. $K40^0D75^0KB$ konumlu fay izi ile faylanma sonucu oluşmuş siyahımsı fay kilinin uzaktan (a) ve yakından (b) görünümü (Çelikhan'ın güneyi, batıya bakış).

Sürgü-1 fay segmentinin doğu kısmının geçtiği güzergah üzerindeki bir mostrada yapılan incelemelerde düşeye yakın bir fay boyunca ani formasyon değişimleri gözlenmiştir (Şekil 12). Buradaki fayın konumu $K50^0D/77^0GD$ olarak ölçülmüştür. Sürgü Fayı'nın konumu ve güzergâhı göz önünde bulundurulduğunda, bu fay izinin Sürgü Fayı'na ait olduğu söylenebilir.

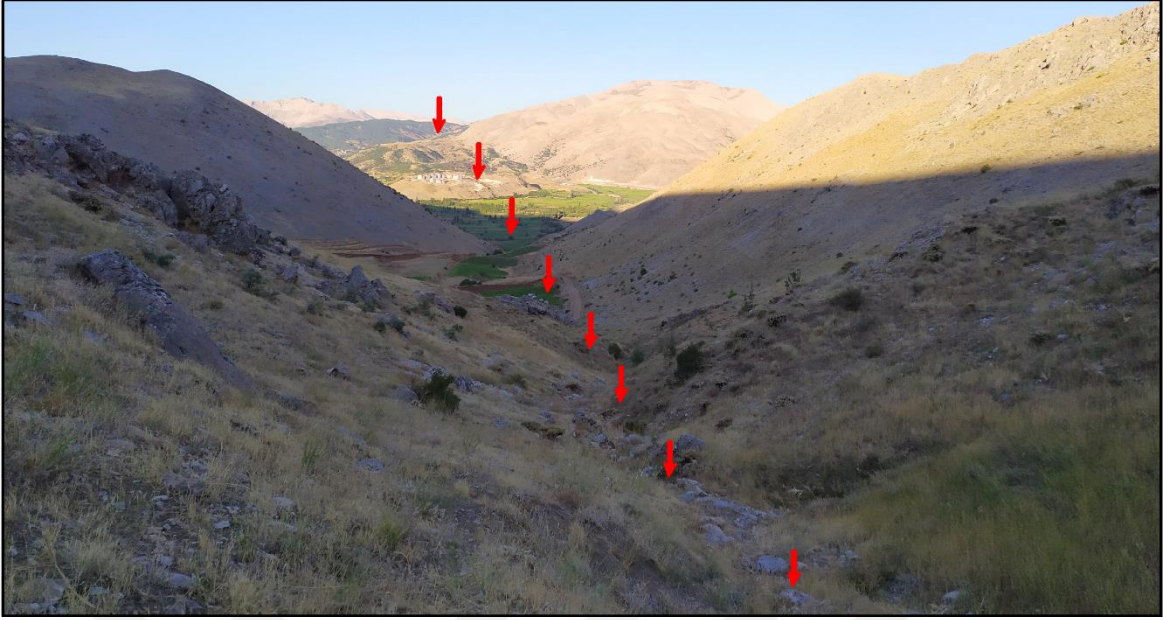


Şekil 12. Çelikhân'ın GB'sında, Sürgü Fayı güzergâhı üzerinde gözlenen K50⁰D/77⁰GD konumlu fay.

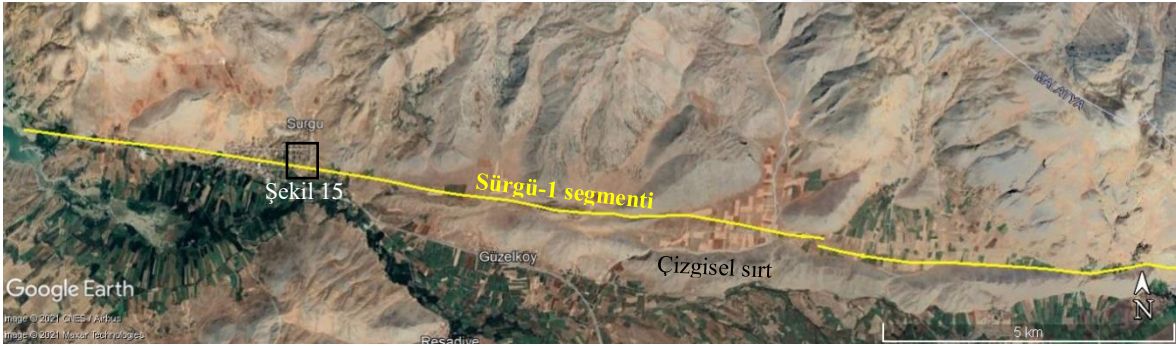
Kurucaova'nın kuzeydoğusuna kadar fay vadi boyunca devam etmektedir (Şekil 13). Buradan Sürgü Mahallesi'ne kadar fay, Kurucaova'nın KD'sundan Sürgü doğusuna kadar uzanan çizgisel sırtın kuzeyinden geçmektedir (Şekil 14).

Sürgü Mahallesi'nin içinde bir yol yarmasında görülen Geç Kuvaterner yaşlı yamaç molozu/alüvyon türü çökellerde bir fay izine rastlanmıştır (Şekil 15). Buradaki fayın doğrultusu K80⁰B75⁰KD olarak ölçülmüştür. Sürgü Fayı'nın konumu ve güzergâhı göz önünde bulundurulduğunda bu kırığın Sürgü Fayı tarafından üretildiği söylenebilir. Fay izinin olduğu kırık boyunca incelemelerde bulunulmuş ancak izin tahrip edilmiş olması sebebiyle atım ölçülememiştir. Yine de bu kırığın Geç Kuvaterner yaşlı çökelleri kesmesi, Sürgü Fayı'nın aktif bir fay olduğuna işaret etmektedir.

Kurucaova'nın KB'sında 140 metrelik sağa sıçrama yaptıktan sonra Sürgü Mahallesi'nin içerisinden geçen 28 km uzunluğundaki Sürgü-1 segmenti, Sürgü Barajı'na kadar dağ yamaçlarını takip ederek barajda sonlanmaktadır.



Şekil 13. Pınarbaşı'nın (Çelikhan) güneyinden geçen Sürgü Fayı'nın güzergâhı (doğuya bakış). Kırmızı oklar fayın yaklaşık güzergâhını göstermektedir.

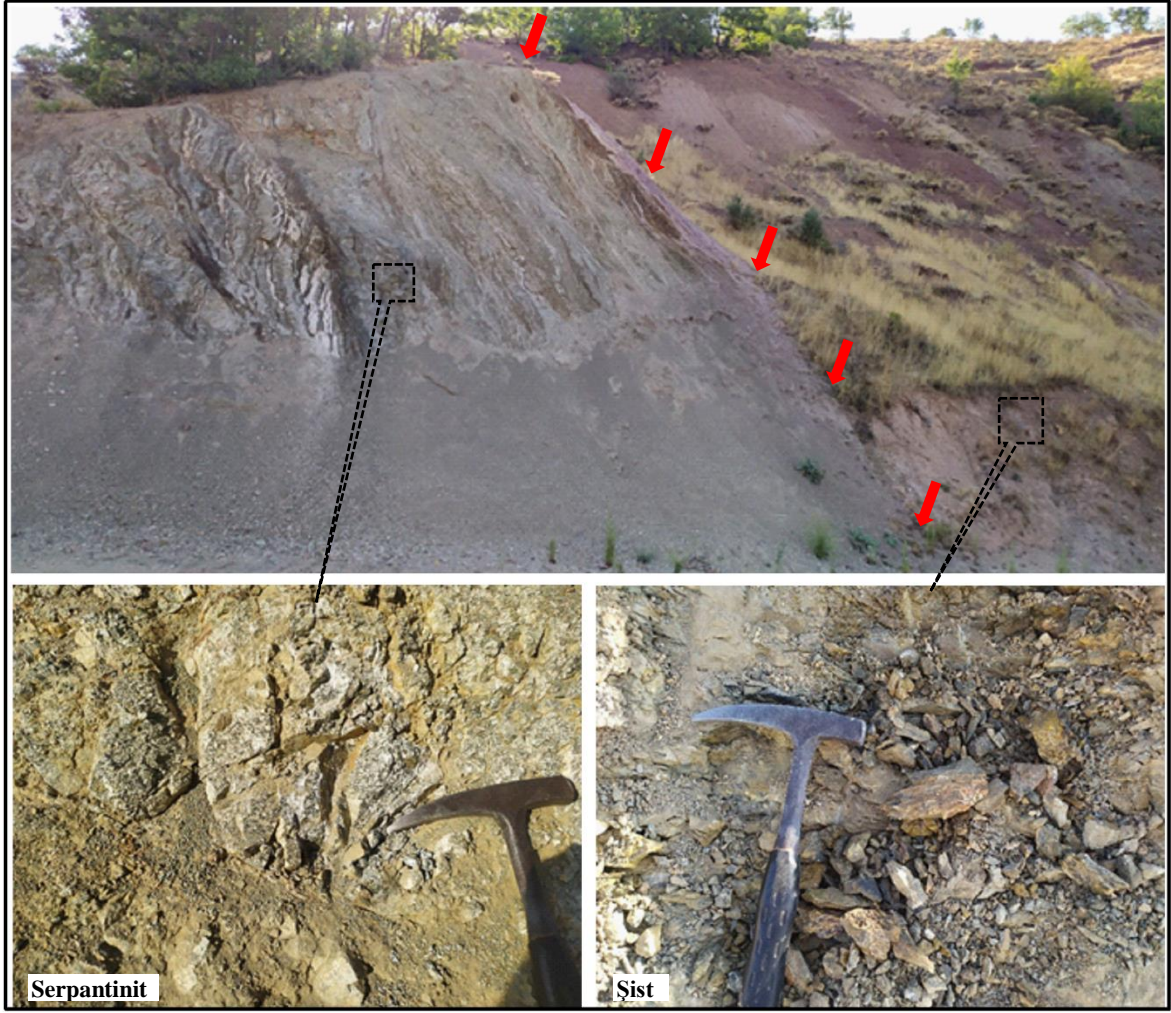


Şekil 14. Kurucaova, Güzelköy ve Sürgü civarında Sürgü-1 segmentinin uzanımı.



Şekil 15. Sürgü Mahallesi'ndeki Geç Kuvaterner çökellerini kesen fay (batıya bakış).

Sürgü Barajı'nda küçük bir sağa sıçrama yaparak Sürgü Barajı ile Küçükklü (Doğanşehir) arasında 19 km boyunca uzanan **Sürgü-2** segmentinin güzergâhının neredeyse tamamı oldukça engebeli bir araziye keser. Bu kısımda fay güzergâhı genel olarak yaşlı bir tektonik dokanak olan formasyon sınırını takip etmektedir. Fayın kuzey tarafı taneleri belirgin, grimsi-mavimsi yeşil renkli serpantinit biriminden; güney tarafı ise bozunmaya uğramış, ufalanabilir, kırmızımsı kahve renkli şist biriminden oluşmaktadır (Şekil 16). Bu kısımda Sürgü Fayı'nın genç çökelleri kestiği gözlenirse de fayın güzergâhı ve konumu göz önünde bulundurularak, Sürgü-2 segmenti yukarıda bahsi geçen tektonik dokanak boyunca haritalanmıştır.



Şekil 16. Kadılı (Doğanşehir) güneyinde görülen formasyon sınırı (doğuya bakış) ve bu formasyonların yakından görünümü. Kırmızı oklar fay güzergâhını göstermektedir.

Sürgü Fayı Küçüklü'den sonra sola doğru yaklaşık 4 km sıçrama yapmaktadır. Fayın sıçrama yaptığı yerde (Bıçakçı KD'su) yaklaşık K50D doğrultulu bir tektonik dokanağın varlığı tespit edilmiştir (Şekil 17). **Sürgü-3** segmenti olarak adlandırılan bu fayın uzunluğu 5,5 km olarak ölçülmüştür. Arazi çalışmaları kapsamında fay boyunca yapılan incelemeler neticesinde herhangi bir atıma veya fayın karakterini ortaya koyacak herhangi bir yapısal unsura rastlanmamıştır. Ancak kinematik olarak; buradaki sol yanal fay zonunda sola 4 km sıçrama olduğundan ve yanal bir fayda bu kadar ani bir yön değiştirme beklenmediğinden, Sürgü-3 fayının normal bir fay olması gerektiği kanısına varılmıştır.

Sürgü-3 segmenti üzerinde faya yaklaşık dik bir yarma incelenmiştir. Bu yarma üzerinde K50⁰D/75⁰KB konumlu bir fay izi tespit edilmiştir. Bu fay izinin, aktif bir fay olan

Sürgü-3 segmentine ait olduğu söylenebilir (Şekil 18). Burada hendek kazılması düşünülmüş, ancak fayın güzergâhı incelendiğinde Kuvaterner çökelleri içeren uygun bir alan bulunmadığı görülmüştür.



Şekil 17. Sürgü Fayı batı kesiminin uzanımını gösteren GE görüntüsü.



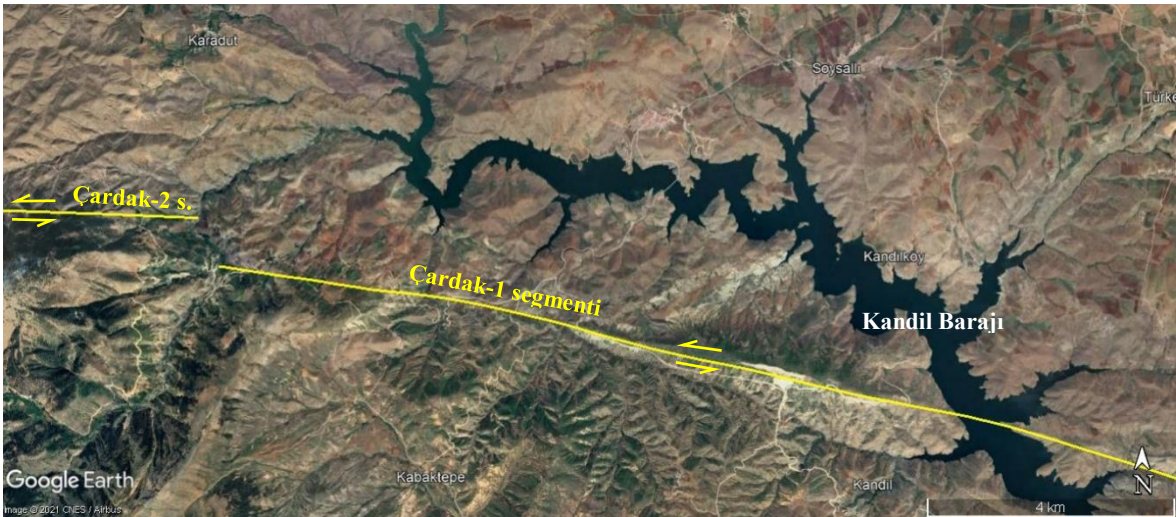
Şekil 18. Bıçakçı'nın KD'sundaki bir mostrada görülen $K50^0D/75^0KB$ konumlu fay izi (GB'ya bakış). Kırmızı oklar fay düzlemini göstermektedir.

20). Fay güzergâhının yaklaşık 700 m güneyinde kalan bu alüvyonlarda herhangi bir faya veya deformasyon izine rastlanmamıştır.



Şekil 20. Barış Mahallesi'nin ve fay güzergâhının güneyindeki vadide gözlenen kalın Holosen çökelleri (a: GD'ya bakış, b: KB'ya bakış).

Çardak-1 segmenti Barış'tan sonra Ekinözü'nün güneyinden geçerek Kandil Barajı'na kadar çoğunlukla güneye bakan dağ yamaçlarını takip etmektedir. Ceyhan Nehri üzerindeki Kandil Barajı'ndan Karadut'un güneyine kadar uzanan Çardak-1 segmentinin 12 km uzunluğundaki batı kesiminin geçtiği güzergâh tamamen engebeli olup fay bu kesimde sırtları, akarsu vadilerini ve formasyon sınırlarını takip etmektedir (Şekil 21). Karadut'un güneyinde Çardak Fayı 700 metrelik sağa sığrama yapmaktadır (Şekil 21).



Şekil 21. Çardak-1 segmenti batı kesiminin Kandil Barajı civarındaki uzanımı ve Karadut güneyinde sağa sığrama yapan Çardak Fayı'nın GE görüntüsü.

43 km uzunluğundaki **Çardak-2** segmenti, Karadut'un güneyinden başlayıp Çardak'ın güneyinden geçerek Göksun'un güneyinde son bulmaktadır. Çardak-2 segmentinin Fındık'a (Göksun) kadar olan doğu kesiminin geçtiği bölge engebeli olup fay burada daha çok nehir vadisini ve formasyon sınırını takip etmektedir (Şekil 22).



Şekil 22. Fayın formasyon sınırını takip ettiği lokasyonlardan biri; Karadut'un güneyi (GD'ya bakış). Kırmızı oklar fay güzergâhını göstermektedir.

Fındık'tan sonra Çardak-2 segmenti, fayın güneyindeki dağ yamaçlarını takip etmek suretiyle Gücüksu'ya (Göksun) kadar yaklaşık K80D doğrultusunda uzanmaktadır. Gücüksu Mahallesi'nin 1,7 km GB'sında fay güzergâhında bulunan serpantin birimi içerisinde genel gidişi K70D olan düşeye yakın bir fay görülmüştür. Burada fay boyunca, fay zonundaki tektonik hareketlilik nedeniyle oluşmuş fay kili tespit edilmiştir (Şekil 23). Çardak Fayı'nın güzergâhı ve bu kesimdeki konumu göz önünde bulundurularak bu izin Çardak Fayı'na ait olduğu söylenebilir.

Gücüksu'dan sonra Çardak Fayı, fayın güneyindeki dağ yamaçlarını takip etmek suretiyle Göksun'un güneyine kadar, güneye doğru bükülerek uzanmaktadır. Bu kesim de haritaya çizilerek haritalama çalışmaları tamamlanmıştır.



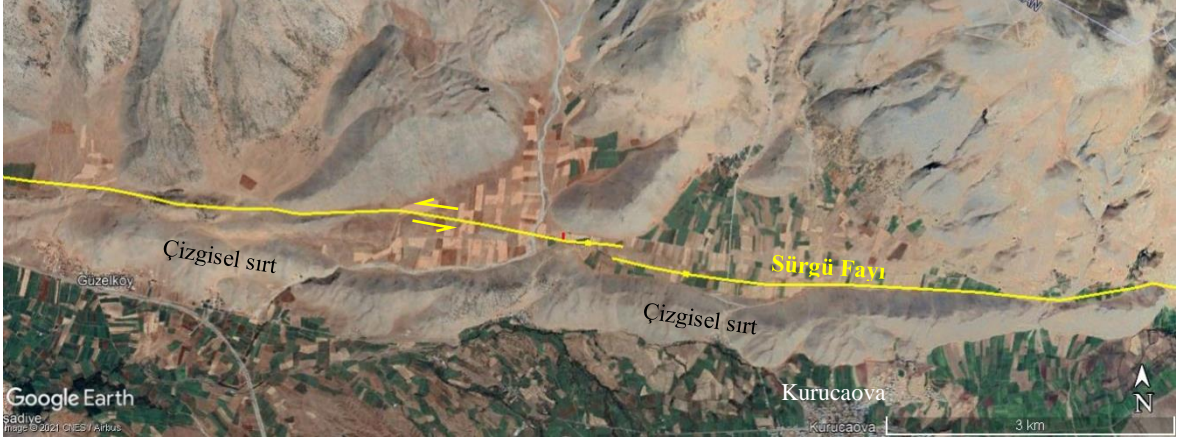
Şekil 23. Gücüksu Mahallesi'nin GB'sında mostra vermiş serpantinit içerisinde gözlenen K70D doğrultulu Çardak Fayı izi (doğuya bakış).

4.3.2. Faylar Boyunca Gözlenen Morfolojik Unsurlar

İnceleme alanındaki Sürgü ve Çardak fayları boyunca doğudan batıya doğru görülen dere ve nehir ötelenmeleri, çizgisel vadi tabanı, oluk yapısı, çizgisel sırt, kapan sırtı, basınç sırtı gibi morfolojik unsurlar bu başlık altında aktarılmıştır.

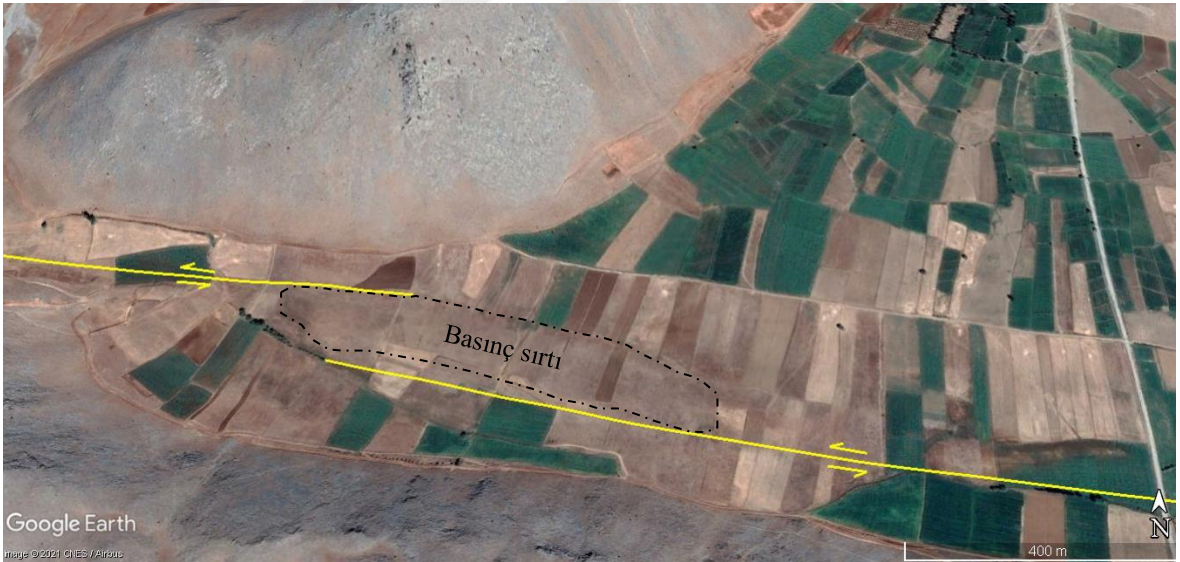
Sürgü Fayı Boyunca Görülen Morfolojik Unsurlar

Duman ve Emre (2013) yaptıkları çalışma ile fayın doğu kesiminin yaklaşık 17 km uzunluğundaki ve 1 km genişliğindeki bölümünün bir kapan sırtı (shutter ridge) ile karakterize edildiğini ileri sürmüşlerdir. Sürgü Fayı buradaki çizgisel sırtın (kapan sırtı) kuzeyindeki oluk yapısının içerisinde geçmektedir (Şekil 24).

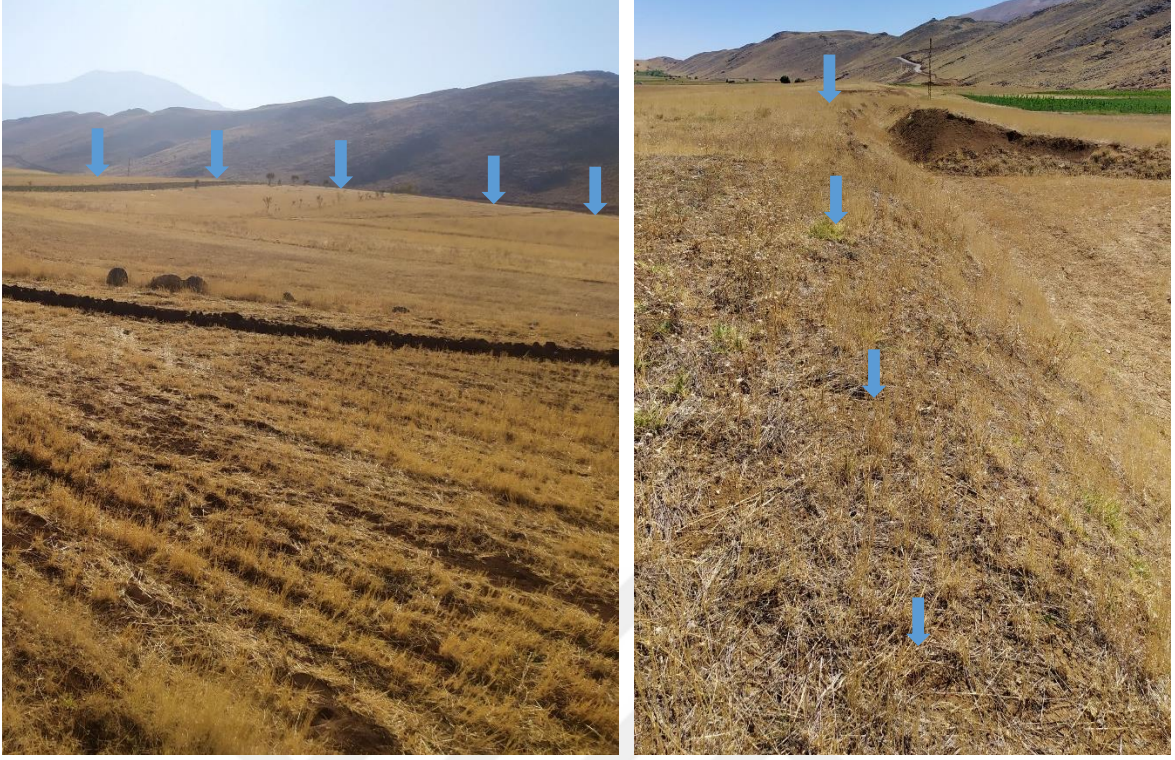


Şekil 24. Sürgü Fayı doğu kesiminde görülen kapan sırtı ve oluk yapısının GE görüntüsü (Kurucaova kuzeyi).

Kurucaova'nın KB'sında, oluk yapısının içinde Sürgü Fayı'nın sağa sıçrama yaptığı keesimde, yaklaşık 150 m genişliğinde, 700 m uzunluğunda, K80B konumlu bir sırt gözlenmiştir (Şekil 25 ve 26). Fayın geometrisi ve sırtın konumu göz önünde bulundurulduğunda bunun bir basınç sırtı olabileceği kanısına varılmıştır.

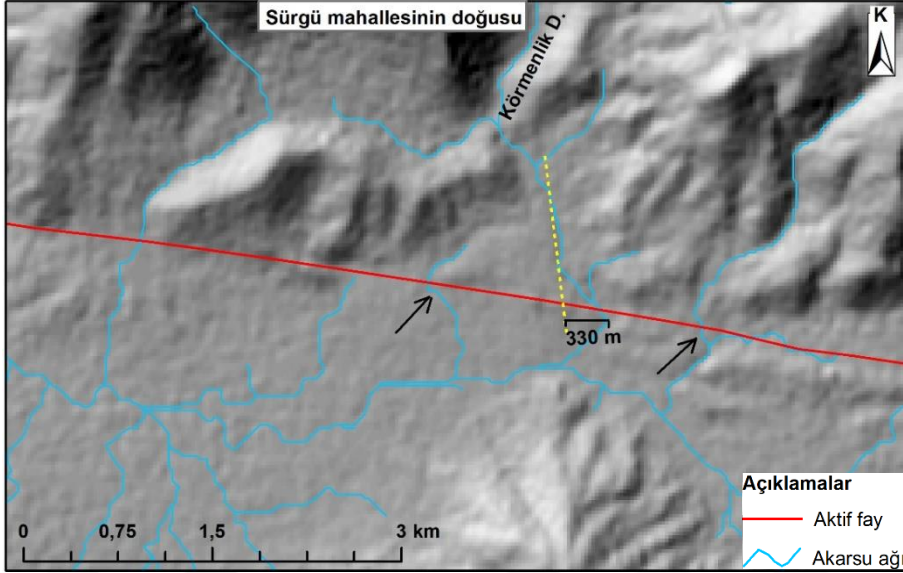


Şekil 25. Kurucaova KB'sında görülen basınç sırtının GE görüntüsü. Sarı çizgiler Sürgü Fayı'nı göstermektedir.



Şekil 26. Kurucaova KB'sındaki basınç sırtının GD'ya doğru (a), ve doğuya doğru (b) çekilmiş fotoğrafları. Mavi oklar basınç sırtı eksenini göstermektedir.

Arazi çalışmaları, GE programı üzerinde yapılan gözlemler ve SYM üzerinde oluşturulan akarsu ağı yardımıyla Sürgü Fayı boyunca muhtelif yerlerde dere ötelemeleri tespit edilmiştir. Doğanşehir'e bağlı Sürgü Mahallesi'nin doğusundaki vadilerde, Sürgü-1 segmentinin etkisiyle oluşmuş 330 metreye varan sistematik ötelemeler (sola doğru) tespit edilmiştir (Şekil 27). Buradaki ötelenme GE görüntüsü üzerinde de net bir şekilde görülmektedir (Şekil 28).

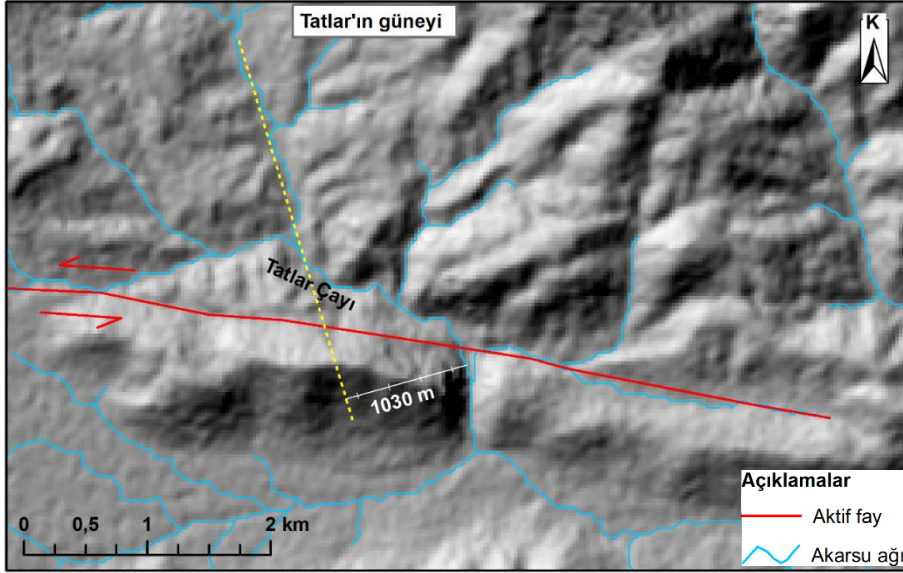


Şekil 27. Sürgü Mahallesi doğusunda görülen dere ötelenmesinin SYM görüntüsü. Siyah oklar ölçümü yapılmayan ötelenmeleri göstermektedir.

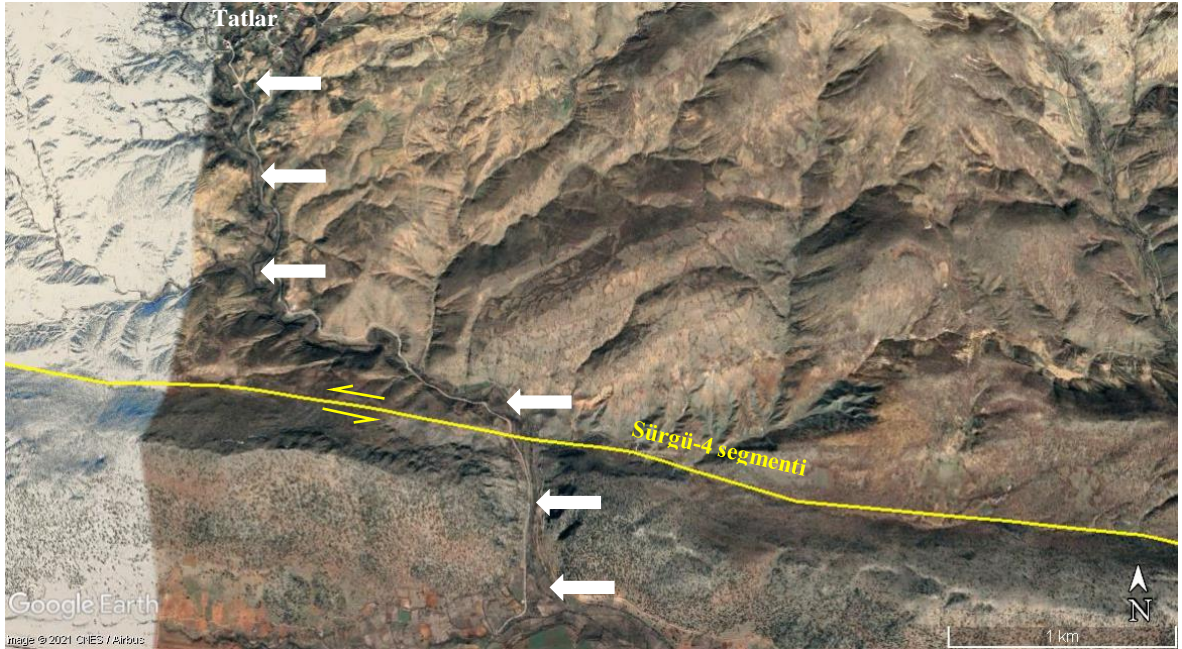


Şekil 28. Sürgü Mahallesi doğusunda görülen 330 m dere ötelenmesinin GE görüntüsü. Beyaz oklar Körmenlik Deresi yatağını göstermektedir.

Sürgü Fayı batı kesiminde (Sürgü-4 segmenti), Tatlar'ın (Nurhak) güneyinde, Tatlar Çayı'nda 1 km civarında sola ötelenme olduğu SYM üzerinde gözlenmiştir (Şekil 29). Buranın GE görüntüsü üzerinde de ötelenme açık bir şekilde izlenebilmektedir (Şekil 30).



Şekil 29. Tatlar Çayı'ndaki sola ötelenmenin SYM görüntüsü.

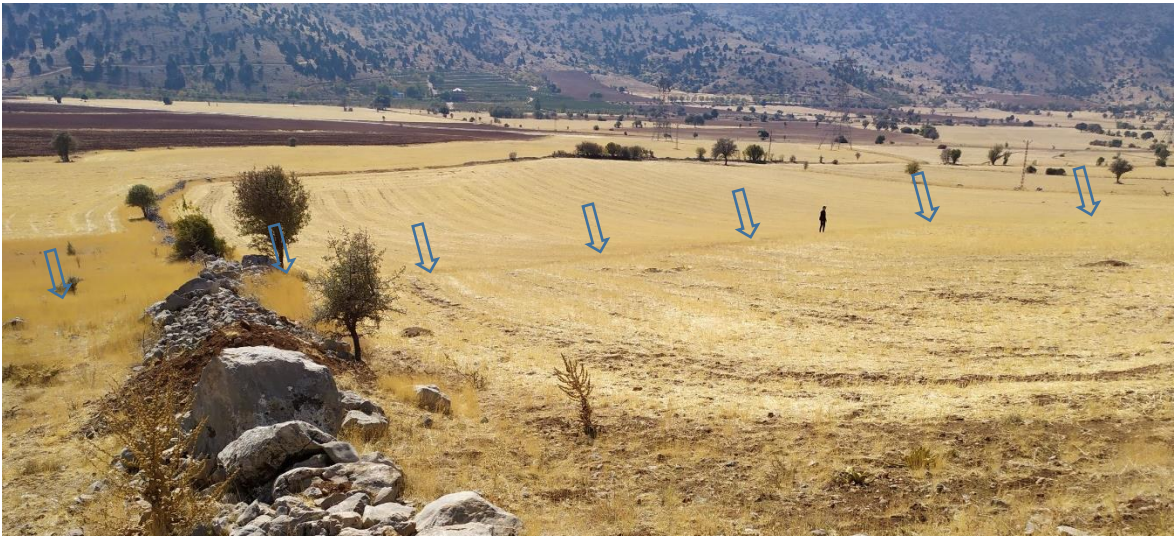


Şekil 30. Tatlar güneyinde Tatlar Çayı'nın Sürgü-4 segmenti tarafından sola ötelenmesini gösteren GE görüntüsü.

Çardak Fayı Boyunca Görülen Morfolojik Unsurlar

Arazi çalışmaları, GE programı üzerinde yapılan gözlemler ve SYM üzerinde oluşturulan akarsu ağı yardımıyla Çardak Fayı boyunca muhtelif yerlerde dere ötelenmeleri, fay sarplıkları, küçük çöküntü havzaları, çizgisel vadi tabanı, oluk yapısı gibi yapısal unsurlar tespit edilmiştir.

Nurhak'tan batıya doğru uzanan Çardak-1 segmentinin geçtiği Barış Mahallesi civarında, yaklaşık doğu – batı doğrultusunda fay boyunca kot farklılıkları (fay sarplığı) gözlenmiştir (Şekil 31 ve 33). Ayrıca Barış'ın içinden geçen yaklaşık K-G doğrultulu bir dere yatağının Çardak Fayı tarafından sola doğru ötelenmesi hem GE üzerinde (Şekil 32) hem de çekilen fotoğraflarda (Şekil 33) net bir şekilde görülmektedir. Buradaki dere ötelenmesi 70 metre olarak ölçülmüştür. Yine Barış civarında, fayın kuzey bloğunda Geç Kuvaterner çökellerinin hemen altında temele ait birimlerin (serpantinit) mostra vermesi (Şekil 34), sol yanall atıma eşlik eden düşey hareketi göstermektedir.



Şekil 31. Barış'ın batısında Çardak Fayı boyunca görülen fay sarplığı (GB'ya bakış).



Şekil 32. Barış'ın içinden geçen 70 metrelik dere ötelenmesini gösteren GE görüntüsü. Mavi işaretler ötelenen dere yatağını göstermektedir.



Şekil 33. Barış'ta gözlenen kot farkı ve dere ötelenmesi (GD'ya bakış). Sarı kesikli çizgi fay güzergâhını, mavi oklar dere yatağını, içi boş beyaz oklar kot farkını göstermektedir.

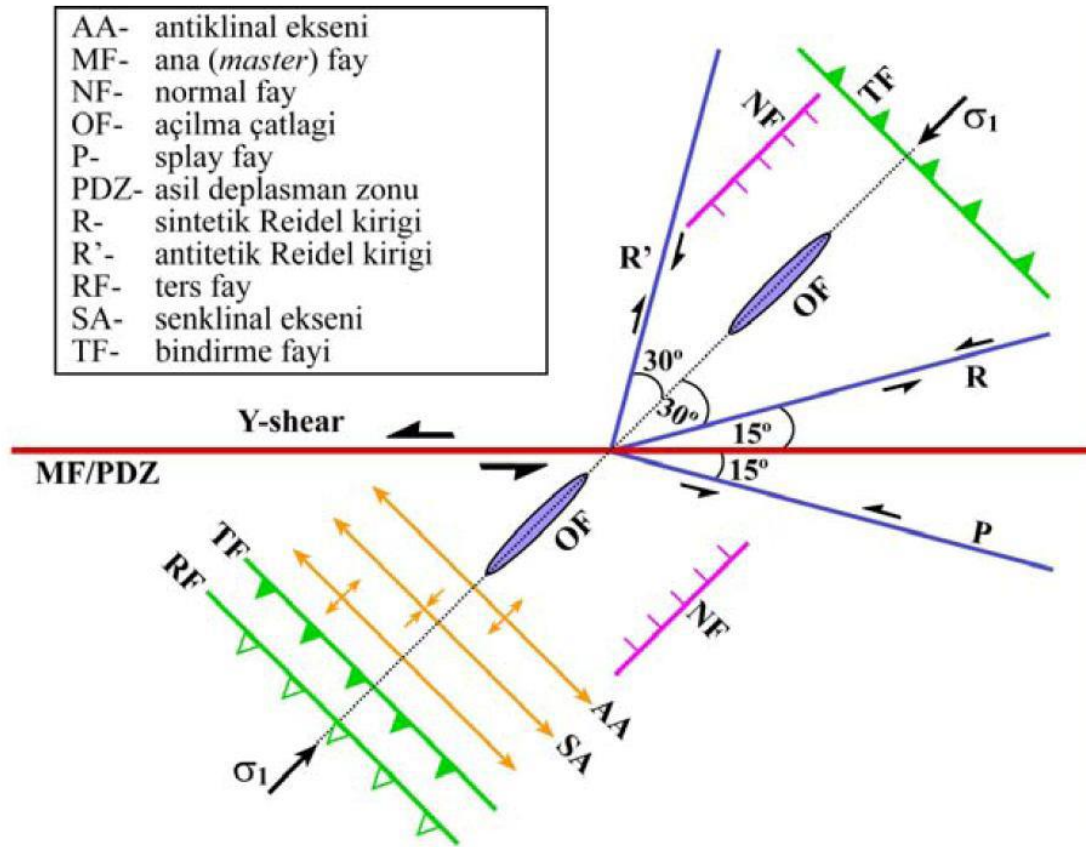


Şekil 34. Barış Mahallesi'nde, fayın kuzeyindeki serpantin birimi (yeşilimsi gri renkli birimler) ve serpantin üzerine gelen Geç Kuvaterner çökelleri (kuzeye bakış).

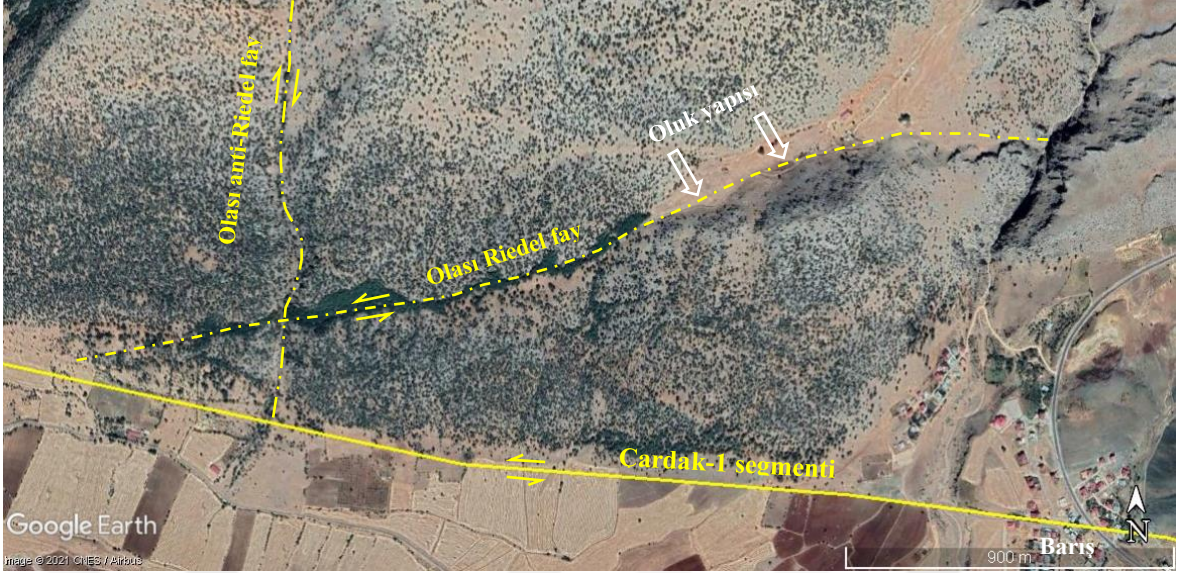
Doğrultu atımlı faylarda basit makaslama sonucunda, ana fay ile eş yönlü hareket eden Riedel kırıkları (R) ve/veya zıt yönlü hareket eden anti-Riedel kırıkları (R')

oluşabilmektedir (Şekil 35). Eş yönlü Riedel kırıkları ana fay ile dar açı yapacak şekilde meydana gelirler (Riedel, 1929). Doğrultu atımlı faylarda sıkça gözlenen yapılardan biri olan oluk yapıları ise fay zonundaki örselenmelerden dolayı oluşmaktadır. Oluk yapısı ana fay kolunun güzergâhında oluşabileceği gibi fayların çatallanma gösterdiği yerlerde Riedel veya anti-Riedel faylar boyunca da görülebilir.

Barış'ın KD'sunda eş yönlü Riedel ve zıt yönlü anti-Riedel fay kırıklarına işaret edebilecek emarelere rastlanmıştır (Şekil 36). Burada olası eş yönlü Riedel fay boyunca gelişen oluk yapısına örnek olabilecek bir yapı tespit edilmiştir (Şekil 36). Bu Riedel fay boyunca gelişen tektonik aktivitelerin etkisiyle fay zonundaki kayaçların aşınmaya karşı direncinin azaldığı, zayıflayan zondaki malzemelerin çeşitli etkenlerle aşınıp taşındığı ve böylece oluk yapısının geliştiği düşünülmektedir. Ayrıca buradaki Riedel fayın batı kesiminde, fay kırıklarından yüzeye çıkan suların etkisiyle fay hattı boyunca oluşmuş yeşil bitki yoğunluğunun gözlenmesi, burada bir fayın varlığına işaret etmektedir (Şekil 36).

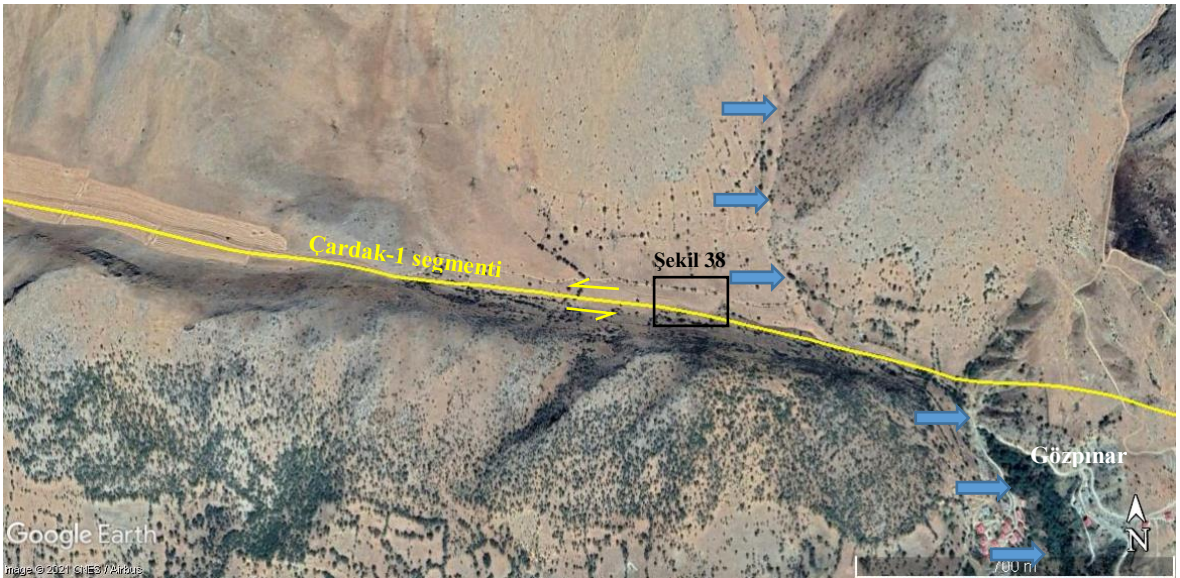


Şekil 35. Basit makaslama zonlarında gelişen yapılar (Riedel, 1929).



Şekil 36. Barış'ın KB'sında görülen olası Riedel ve anti-Riedel fayları ile oluk yapısının GE görüntüsü.

Gözpınar'ın batısında Çardak-1 segmenti boyunca oluk yapısının oluştuğu ve burada yaklaşık K-G doğrultulu bir dere yatağının da ötelendiği gözlenmiştir (Şekil 37). Holosen nehir çökellerinin de ötelendiği bu vadiye GE programı üzerinden yapılan gözlemler ve saha incelemeleri neticesinde, en az 420 metrelik ötelenme olduğu tespit edilmiştir. Bu dere ötelenmesinin batısında yapılan arazi incelemeleri esnasında, doğrultu atımlı faylarda sıkça rastlanan çizgisel gidişli vadi tabanının varlığı tespit edilmiştir (Şekil 38).

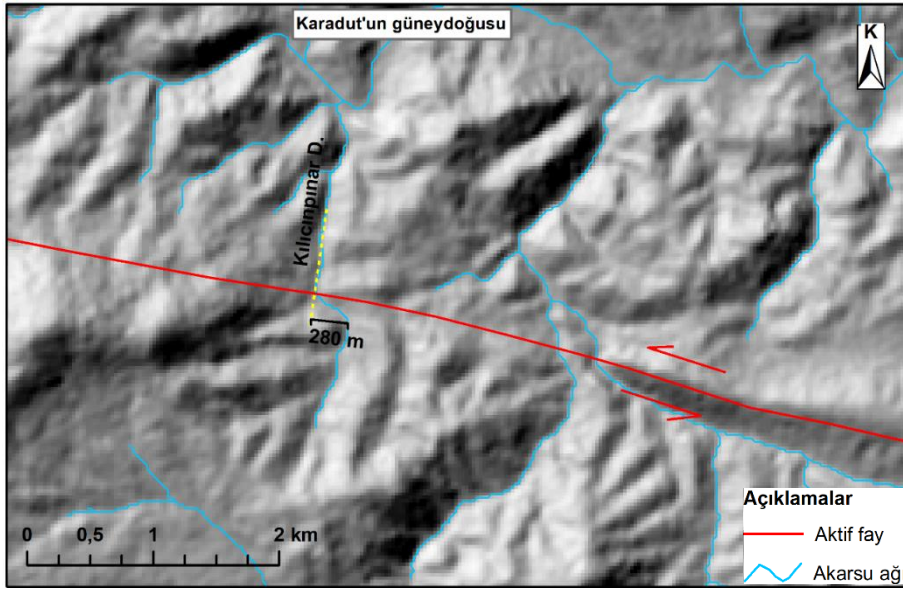


Şekil 37. Gözpınar batısındaki oluk yapısı ve dere ötelenmesini gösteren GE görüntüsü. Mavi oklar en az 420 m ötelenen dere yatağını göstermektedir.



Şekil 38. Gözpınar'ın batısında görülen çizgisel vadi tabanı (GD'ya bakış).

SYM üzerinde oluşturulan drenaj ağı yardımıyla, Ekinözü ilçesinin 16 km batısındaki (Karadut'un GD'su) Kılıcınpınar Deresi'nin Çardak-1 segmenti tarafından 280 m sola doğru ötelendiği tespit edilmiştir (Şekil 39). Bu bölgenin GE görüntüsü incelendiğinde de derenin sola ötelendiği açıkça görülmektedir (Şekil 40).



Şekil 39. Karadut'un GD'sundaki dere ötelenmesinin SYM üzerindeki görünümü.



Şekil 40. Karadut'un GD'sundaki dere yatağının Çardak Fayı tarafından ötelenmesinin GE görüntüsü. Sarı çizgi Çardak Fayı güzegahını, mavi oklar 280 m ötelenmiş dere yatağını göstermektedir.

Çardak-2 segmentinin kuzeyinde, Korkmaz ile Fındık arasında *sag pond* (fay gölcüğü) olarak bilinen, küçük eski bir gölcüğün varlığı tespit edilmiştir. Bu tür gölcükler genel olarak doğrultu atımlı fayların küçük sıçrama yaptıkları yerlerde görülür. Ayrıca doğrultu atımlı fay zonlarında, fay boyunca sıçrama olmaksızın çökmelerden kaynaklanan küçük gölcükler de oluşabilir. İnceleme alanındaki *sag pond* denilen 100-120 metre uzunluğunda, 30-40 metre genişliğindeki bu küçük eski gölcük, bataklık alan olarak değerlendirilebilir (Şekil 41). Bu bataklık alanın faylanma nedeniyle, çöküntü kaynaklı oluştuğu düşünülmektedir.



Şekil 41. Fındık ile Korkmaz arasında görülen bataklık alan (GD'ya bakış).

Fındık'ın 3 km batısında Çardak Fayı'nın, fayın güneyindeki dağlardan gelen dereleri sistematik bir şekilde sola doğru ötelediği görülmüştür (Şekil 42). Burada yapılan ölçümler neticesinde, aralarında 130 m mesafe bulunan iki dere yatağından nispeten doğudakinde 85 m, batıdakinde ise (Şekil 43) 80 m sola doğru ötelenme olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 42. Fındık'ın batısında bulunan dere yataklarındaki ötelenmeleri gösteren GE görüntüsü.



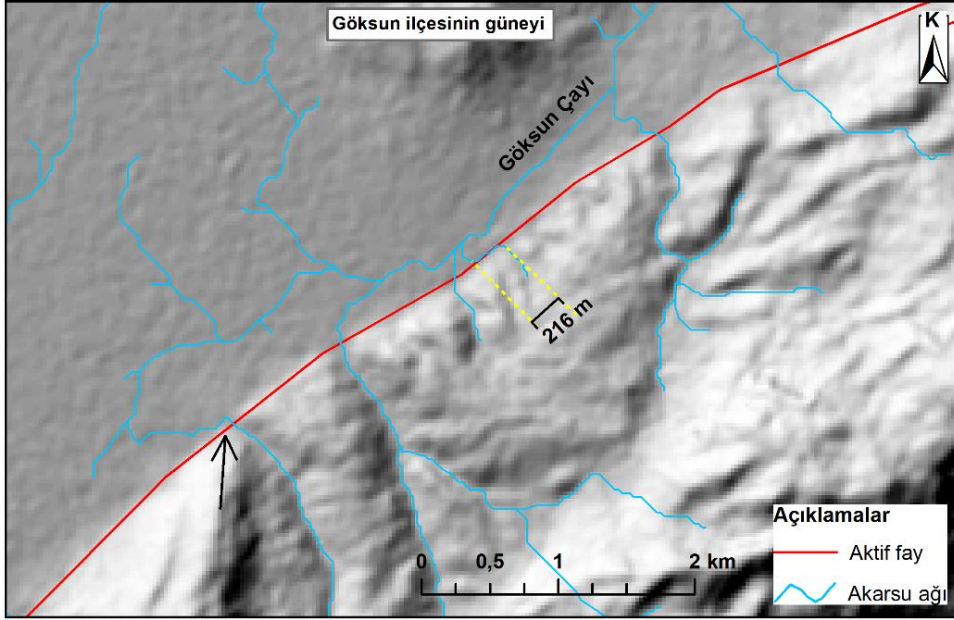
Şekil 43. Fındık batısındaki dere ötelenmesi (doğuya bakış).

Gücüksu'nun 2,5 km doğusunda yapılan arazi çalışmaları neticesinde, Çardak-2 segmentinin bir dere yatağında yaklaşık 30 m sola doğru ötelenmeye sebep olduğu anlaşılmıştır (Şekil 44).



Şekil 44. Gücüksu doğusunda tespit edilen dere yatağı ötelenmesi (KD'ya bakış).

SYM üzerinde yapılan incelemeler neticesinde Çardak Fayı batı ucunda, Aslanbey Çiftliği (Göksun) civarında, Göksun Çayı'na dökülen derelerde 216 metreye varan sola doğru ötelenmeler gözlenmiştir (Şekil 45).



Şekil 45. Aslanbey çiftliği civarında tespit edilen dere yatağı ötelenmelerinin SYM görüntüsü. Siyah ok ölçümü yapılmayan ötelenmeyi göstermektedir.

Arazi çalışmaları, GE programı üzerinde yapılan gözlemler ve SYM üzerinde oluşturulan akarsu ağı yardımıyla inceleme alanında tespit edilen morfolojik ve yapısal unsurlar burada “4.3.2. Faylar Boyunca Gözlenen Morfolojik Unsurlar” başlığı altında verilmiştir. Bu kapsamda Sürgü ve Çardak fayları boyunca görülen dere ve nehir ötelenmeleri, fay sarplıkları, çizgisel vadi tabanı, küçük çöküntü havzaları, oluk yapısı, kapan sırtı, basınç sırtı gibi yapısal ve morfolojik unsurlar incelenmiştir. Yapılan bu incelemeler neticesinde Sürgü ve Çardak faylarının sol yanal doğrultu atımlı, aktif birer fay oldukları söylenebilir.

4.4. Sürgü ve Çardak Faylarının Depremselliği

İnceleme alanının depremselliği kapsamında gerekli literatür taramaları yapılarak Sürgü ve Çardak faylarının etki alanında meydana gelmiş tarihsel ve aletsel dönem deprem kayıtları derlenmiştir. Ayrıca çalışma alanında son 50 yılda meydana gelmiş 4'ten büyük depremlerin odak mekanizması çözümleri göz önünde bulundurularak Sürgü ve Çardak faylarının davranış biçimi hakkında bilgi edinilmiştir.

Yazının bulunmasından (M.Ö. 3500) sonra İnsanlar meydana gelen sismik hareketleri ve yaşanan olayları kayıt altına almaya başlamışlardır. Özellikle son 1000 yılda kayıtlar daha ayrıntılı olarak tutulmuş olup bunlar tarihsel dönem deprem kayıtları olarak bilinmektedir. Gelişen teknoloji ile 1900 yılından sonra meydana gelen depremler sismometre gibi aletsel ekipmanlarla kayıt altına alınmaya başlanmıştır. Bu dönem içerisinde Richter ölçeğine göre kaydedilen sismik etkinlikler aletsel dönem depremler olarak tanımlanmaktadır.

İnceleme alanını da kapsayan DAFZ üzerinde son birkaç yüzyıl içinde meydana gelen en önemli depremler; 1513 Pazarcık (M=7.4, I₀=IX), 1789 Palu (M=7.0), 1822 Afrin (M=7.4, I₀=X), 1866 Kulp (M=6.8, I₀=IX), 1872 Antakya (M=7.2, I₀=X), 1874 Gezin (M=7.1, I₀=X), 1875 Sivrice (M=6.7), 1893 Çelikhan (M=7.1), 1905 Pötürge (M=6.8), 1971 Bingöl (M=6.8) ve 24 Ocak 2020 tarihli Sivrice (M=6.8) depremleridir (Ambraseys, 1989; Taymaz vd., 1991; Duman ve Emre, 2013).

Yukarıda sayılan depremlere ilaveten özellikle DAFZ kuzey kolu üzerinde meydana geldiği düşünülen birçok deprem kaydına rastlanmıştır. Tarihsel ve aletsel deprem kayıtlarına göre Sürgü ve Çardak faylarının etki alanı içerisinde meydana gelmiş yıkıcı depremler çeşitli kaynaklardan (Taymaz vd., 1991; Guidoboni vd., 1994; Guidoboni ve Comastri, 2005; Ambraseys, 2009; Duman ve Emre, 2013) derlenerek aşağıda sıralanmıştır.

4.4.1. Tarihsel Dönem Depremleri

584/585 ve 587 Arabissus (Elbistan) Depremleri

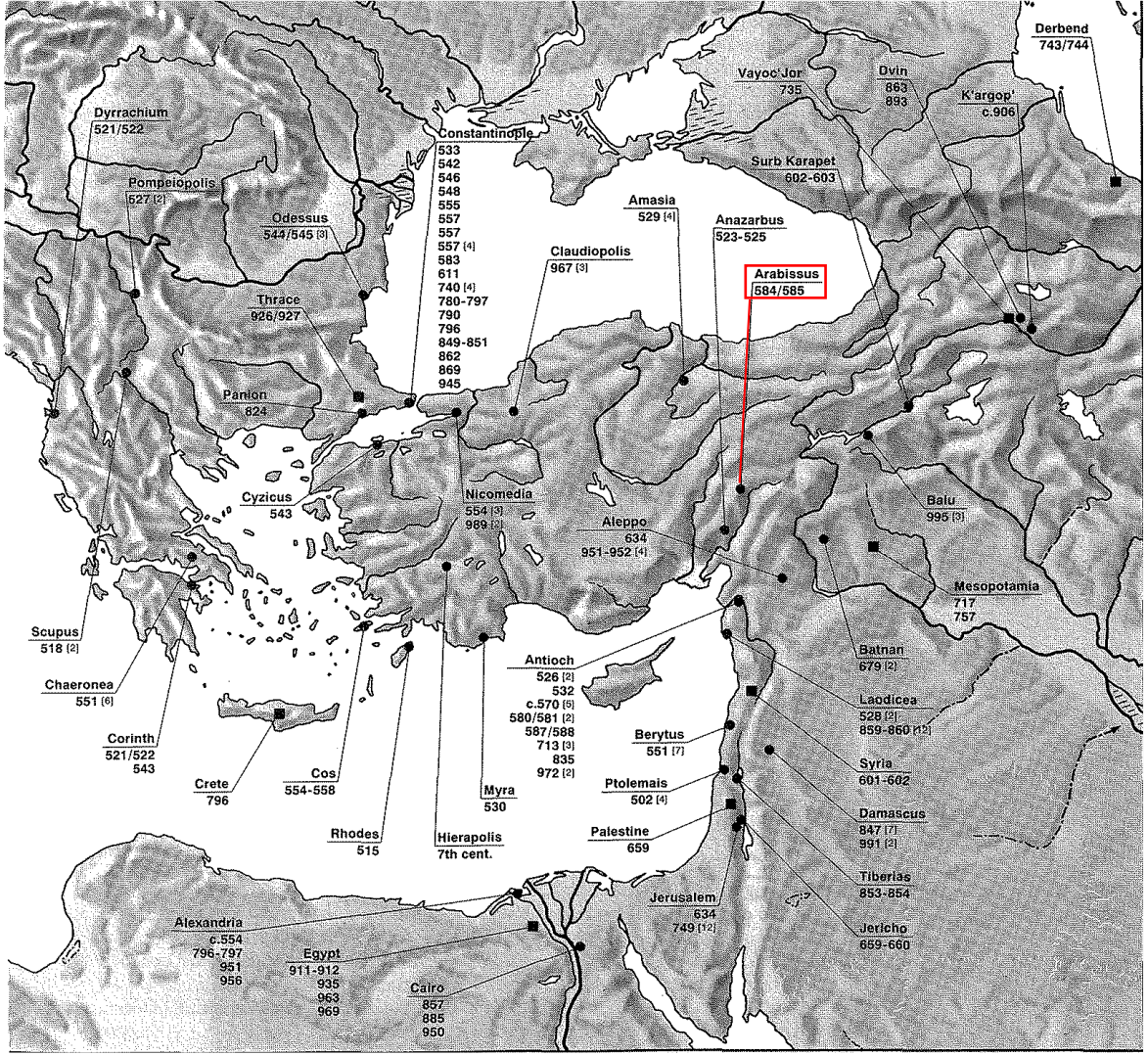
Ambraseys (2009) ve Guidoboni vd. (1994) tarafından hazırlanan deprem kataloglarında belirtildiği üzere; eski bir imparator olan *Maurice* tarafından yeni kurulmuş olan Arabissus (şuan ki Elbistan/Kahramanmaraş) yerleşkesi MS 584/585 yılında büyük bir deprem ile yıkılmıştır (Şekil 46). Yapımından yaklaşık 2 yıl sonra bir depremle yıkılan Elbistan tekrar inşa edilmeye başlanmıştır. Henüz inşaatı devam eden yerleşke, MS 587 yılındaki bir depremle tekrar yıkılmıştır (Ambrassy, 2009).

Yeni yapılmış evlerin ilk depremle yıkılması ve ardından tekrar (muhtemelen daha sağlam) inşa edilen yerleşkenin ikinci bir depremle yıkılması, Elbistan civarında iki yıl arayla meydana gelen 2 depremin büyüklüğü hakkında fikir vermektedir.

Elbistan'ın konumuna ve buraya yakın aktif faylara bakıldığında, yukarıda bahsi geçen 584/585 ve 587 depremlerinden en az birinin, Çardak Fayı tarafından üretilmiş olma ihtimali oldukça yüksektir.

1544 Zeytun Depremi

Tarihsel deprem kayıtlarına göre 1544 yılında Çardak Fayı'nın güneybatısında 6.8 büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiştir (Duman ve Emre, 2013; Palutoğlu ve Şaşmaz, 2017). O dönemde bir Ermeni kasabası olan Zeytun (günümüz Süleymanlı Mahallesi, Kahramanmaraş) ve Elbistan'nın bir kısmı bu depremde yıkılmıştır (Ambrassy, 2009). Çardak Fayı'nın 23 km Süleymanlı'nın kuzeyinden ve 20 km Elbistanın güneyinden geçtiği göz önüne alındığında 1544 depremini Çardak Fayı'nın ürettiği söylenebilir. Ancak bu depremin yüzey kırığı oluşturup oluşturmadığı hakkında herhangi bir bilgiye ulaşılamamıştır.



Şekil 46. MS 501 ile 995 yılları arasında Anadolu ve yakın çevresinde meydana gelmiş tarihi depremler (Guidoboni vd., 1994).

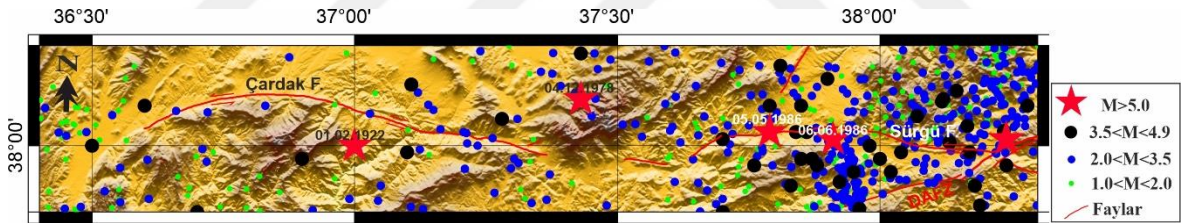
Yine tarihsel deprem kayıtlarına göre çalışma alanı ve yakın çevresinde yıkıma sebep olan MS 952 ve 1114 Maraş, 1285 ve 1893 Malatya depremleri gibi birçok deprem meydana gelmiştir (Ambrassy, 2009; Guidoboni vd., 1994; Guidoboni ve Comastri, 2005). Ancak bu depremlerin Sürgü ve Çardak faylarından ziyade DAFZ ana kolu üzerinde gerçekleştiği düşünülmektedir.

4.4.2. Aletsel Dönem Depremleri

Aletsel dönem deprem kayıtlarına göre Sürgü Fayı kuzeyindeki Doğanşehir civarında 1986 yılında biri 5 Mayıs'da (M=5.8) diğeri 6 Haziran'da (M=5.6) olmak üzere

iki yıkıcı deprem meydana gelmiştir (Taymaz vd., 1991; Yılmaz, 2002; Duman ve Emre, 2013). 5.8 büyüklüğündeki 5 Mayıs 1986 depreminde 7 kişi hayatını kaybetmiş, 24 kişi yaralanmış, 824 bina yıkılmış veya ağır hasar almıştır. 5.6 büyüklüğündeki 6 Haziran 1986 depreminde ise 1 kişi hayatını kaybetmiş, 20 kişi yaralanmış ve 1.174 bina yıkılmış veya ağır hasar almıştır. Depremler Sürgü Barajı gövdesinde hasar meydana getirmişlerdir (Bayülke vd., 1986).

Çardak Fayı üzerinde de aletsel dönemde meydana gelmiş depremler bulunmaktadır. Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Ulusal Deprem İzleme Merkezinden (KRDAE, 2021) edinilen bilgilere göre 1922 yılında Ekinözü güneybatısında 5.5 büyüklüğünde, 1978 yılında Nurhak civarında 5.0 büyüklüğünde ve 2013 yılında Ortaören (Ekinözü) civarında 4.2 büyüklüğünde deprem meydana gelmiştir (Şekil 47). Ayrıca 1914 yılında Çelikhhan civarında 5.3 büyüklüğünde bir deprem meydana geldiği görülmektedir. Ancak bu depremin DAFZ ana kolu üzerinde mi yoksa Sürgü Fayı üzerinde mi gerçekleştiği net olarak bilinmemektedir (Şekil 47).



Şekil 47. Çalışma alanı yakın çevresinde aletsel dönemde (1900-2021) meydana gelen depremler (KRDAE, 2021).

4.4.3. Depremlerin Odak Mekanizması Çözümleri

İnceleme alanında Aletsel dönemde meydana gelen depremlerden 1986 Doğanşehir depremleri ile 2013 Ekinözü depremine ait doğrultu, eğim ve dalım açıları çeşitli kaynaklardan (Taymaz vd., 1991; Tan vd., 2008; Ekström vd., 2012 (GCMT); AFAD, 2021) derlenerek Tablo 1'de verilmiştir. Bu bilgiler ışığında depremlerin odak mekanizması çözümleri yapılmıştır (Şekil 48). Depremlerin dış merkezleri ile bölgedeki aktif faylara bakıldığında, her üç depremin asıl hareket düzlemlerinin yaklaşık D-B doğrultusundaki düzlemler olduğu görülmektedir (Tablo 1'deki düzlem 1 değerleri, Şekil 48). Depremlerin odak mekanizması çözümleri, episantrları ve bölgedeki aktif faylara bakılarak (Şekil 49);

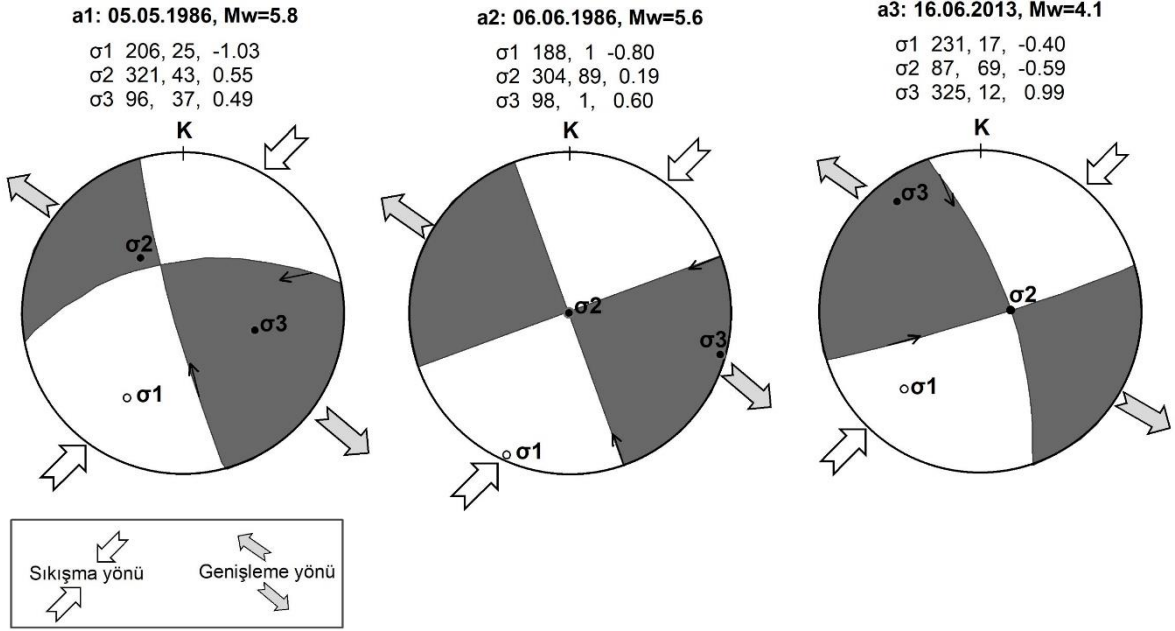
Mayıs ve Haziran 1986 depremlerinin Sürgü Fayı tarafından, 16.06.2013 tarihli Ekinözü depreminin ise Çardak Fayı tarafından üretildiği söylenebilir.

1986 Doğanşehir depremlerinin odak mekanizması çözümlerinden yola çıkılarak, depremleri üreten kaynak fayın sol yanal doğrultu atımlı olduğu net bir şekilde söylenebilir (şekil 48). 16.06.2013 tarihli Ekinözü depreminin odak mekanizması çözümünden de bu depremin sol yanal doğrultu atımlı bir fay tarafından üretildiği anlaşılmaktadır. Sonuç olarak; Sürgü ve Çardak fayları tarafından üretilmiş olan bu depremler, yaklaşık K-G doğrultulu sıkışma rejimi altında gelişen sol yönlü doğrultu atımlı faylanmanın bölgede hâkim olduğunu göstermektedir (Şekil 49).

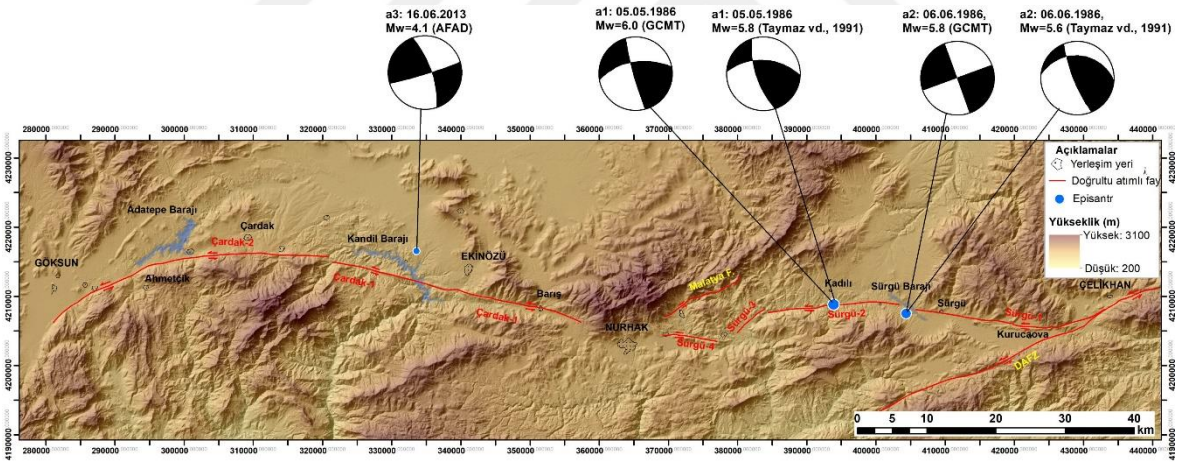
Tablo 1

İnceleme alanındaki analizi yapılan depremlerin kaynak parametreleri.

No	Tarih Gün.Ay.Yıl	Zaman (GMT)	Enlem K (°)	Boylam D (°)	<u>Düzlem 1</u> Doğrultu°/ Eğim°/Dahm°	<u>Düzlem 2</u> Doğrultu°/ Eğim°/Dahm	Mag. (Mw)	Dern. (km)	Referans
a1	05.05.1986	03:35: 41	37.72	37.70	260/54/9	164/82/144	6.0	15	GCMT
	05.05.1986	03:35: 38	38.02	37.79	273/49/31	161/67/135	5.8	4	Taymaz vd., 1991; Tan vd., 2008
a2	06.06.1986	10:39: 49	37.36	37.99	250/90/0	160/90/180	5.8	15	GCMT
	06.06.1986	10:39: 47	38.01	37.91	275/27/30	158/77/114	5.6	11	Taymaz vd., 1991; Tan vd, 2008
a3	16.06.2013	20:31: 38	38.11	37.08	73 ⁰ /85 ⁰ /21 ⁰	341/69/175	4.1	10	AFAD



Şekil 48. 1986 Doğanşehir depremleri (a1 ve a2) ile 2013 Ekinözü (a3) depreminin odak mekanizması çözümü (Ekström vd., 2012; AFAD, 2021).

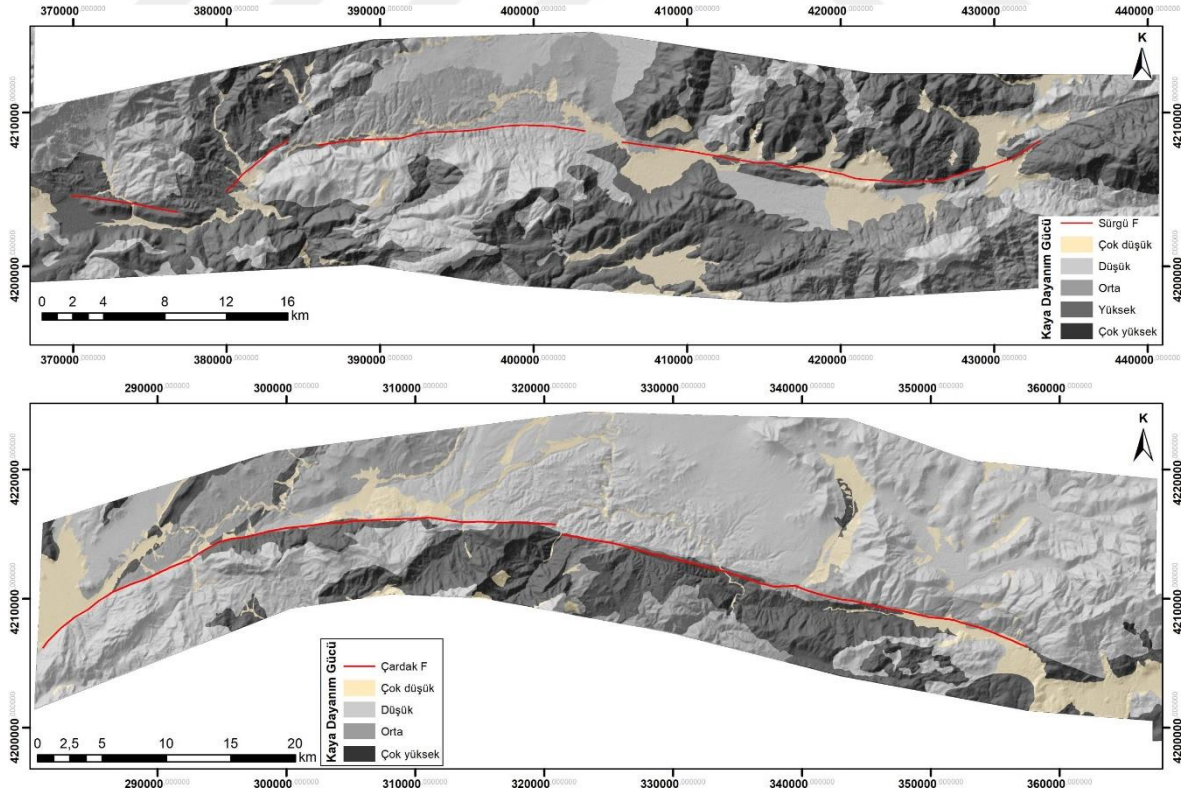


Şekil 49. 1986 Doğanşehir depremleri ile 2013 Ekinözü depreminin dış merkezleri ve odak mekanizması çözümlerinin SYM üzerindeki görünümü.

4.5.1. Kaya Dayanım Gücü

Morfometrik indis hesaplamaları ve sonuçlarının yorumlanmasında kayaç türlerinin aşınmaya karşı direnci önemli bir etkiye sahip olduğundan, öncelikle çalışma alanındaki kayaçların dayanım gücü kategorize edilmiştir. Bu bağlamda inceleme alanındaki litolojik birimler Selby (1980) tarafından tanımlanmış kaya direnci sınıflandırması göz önünde bulundurularak 5 sınıfa ayrılmıştır (Örn; Özşahin, 2015; Khalifa vd., 2018; Sançar, 2018). Bunlar; çok düşük dayanımlı (alüvyon, yamaç molozu, alüvyon yelpaze çökelleri), düşük dayanımlı (çakıltaşı, kumtaşı, kireçtaşı, çamurtaşı, silttaşı, kiltası), orta dayanımlı (şist, fillit, serpantin), yüksek dayanımlı (bazalt, diyabaz) ve çok yüksek dayanımlı (mermer, kuvarsit, gnays) kayaçlar olarak sıralanabilir.

Bu sınıflandırmaya göre çok yüksek dayanımlı kayaçlar ile düşük dayanımlı kayaçlar çalışma alanının büyük çoğunluğunu kapsamaktadırlar. Yüksek dayanımlı kayaçlar sadece Sürgü Fayı'nın GD'sunda gözlenmektedir. Orta dayanımlı kayaçlar inceleme alanında aralıklarla yayılmış durumdadır. Çok düşük dayanımlı litolojik birimler ise inceleme alanında vadiler ile fayların geçtiği havzalar boyunca yayılım sergilemektedirler (Şekil 51).



Şekil 51. Çalışma alanındaki litolojik birimlerin, Selby (1980) tarafından tanımlanmış kaya direnci sınıflandırması baz alınarak hazırlanmış, kaya dayanım gücü haritası.

4.5.2. Dağönü Eğriselliği (Smf)

Aktif dağ önlerinde meydana gelen yükselmeler erozyonal süreçlere karşı baskın olduğundan, buralarda Smf değerleri düşük olur. Tektonik olarak az aktif dağ önleri ise, baskın olan erozyonal süreçler ile yüksek Smf değerlerine sahiptir (Keller ve Pinter, 2002; Silva vd., 2003). Çalışma alanında Sürgü Fayı'nda 4, Çardak Fayı'nda 3 adet olmak üzere toplam 7 Smf değeri hesaplanmıştır.

Sürgü Fayı'nın doğu kesiminde, çizgisel sırta paralel uzanan Sürgü-1 segmenti boyunca Lmf: 23.465 m ve Ls: 18.185 m olarak ölçülmüştür. Böylece Sürgü-1'e ait dağ önü eğriselliği (Smf) 1,29 olarak hesaplanmıştır (Şekil 52). Fayın güney tarafında bulunan Kurucaova havzasının güney sınırında iki Smf değeri daha hesaplanmıştır. Bunlardan Sürgü-2'de Lmf: 23.162 m, Ls: 15.665 m ve Smf: 1,48 olarak hesaplanmıştır. Sürgü-3'te ise Lmf: 10.032 m, Ls: 7.330 m olarak ölçülmüş olup Smf: 1,37 olarak hesaplanmıştır. Sürgü Fayı'nın orta kesiminde Sürgü-2 fay segmenti boyunca yapılan ölçümlerde Lmf: 22.230 m, Ls: 17.085 m olarak ölçülmüş ve burada Sürgü-4 Smf değeri 1,30 olarak hesaplanmıştır (Şekil 52). Sürgü Fayı'nda elde edilen bu değerler, buradaki havza gelişiminde erozyonal olaylardan ziyade tektonizmanın etkin olduğunu göstermektedir.

Çardak Fayı'nın doğu kesimindeki bir havzada Lmf: 16.693 m ve Ls: 13.818 m olarak ölçülmüş olup burada Çardak-1 Smf değeri 1,21 olarak hesaplanmıştır (Şekil 53a). Çardak Fayı'nın batı (Çardak-2 segmenti) kesimi kavisli olduğundan buradaki dağönlerinde 2 adet Smf hesaplanmıştır (Şekil 53b). Bunlardan doğudaki kısım (Çardak-2) için Lmf: 23.323 m, Ls: 16.631 m olarak ölçülmüştür. Burada Smf indisi 1,40 olarak hesaplanmıştır. Çardak Fayı'nın batı ucunda ise Lmf: 30.565 m, Ls: 25.049 m olarak ölçülmüştür. Böylece Çardak-3 Smf değeri 1,22 olarak hesaplanmıştır (Şekil 53b). Çardak Fayı'nda elde edilen bu üç Smf değeri, buradaki fayla ilgili havzaların gelişiminde tektonizmanın etkin olduğunu göstermektedir.

4.5.3. Vadi Tabanı Genişliğinin – Vadi Yüksekliğine Oranı (Vf)

Vadi tabanı genişliğinin – vadi yüksekliğine oranı, bir bölgede meydana gelen tektonik yükselme hızının anlaşılmasında yaygın olarak kullanılan indislerden biridir. Düşük

Vf değerlerine sahip “V” şekilli vadiler, bölgede yükselme hızının yüksek olduğunu gösterir. Yüksek Vf değerleri ise yükselme hızının az olduğunu dolayısıyla tektonizmanın erozyonal süreçlere göre daha az etkili olduğunu göstermektedir (Keller ve Pinter, 2002; Silva vd., 2003).

Bu çalışmada, dağönleri ile ilişkili akarsu kanallarında Vf değerleri hesaplanmıştır. Böylece fay segmentlerinin göreceli aktiviteleri ve yükselme hızlarının tektonik sınıflara ayrılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda Vf değeri hesaplanırken, daha önce Smf indis hesabı yapılmış dağ önlerinde, her bir vadi için dağ cephesinden başlanarak yaklaşık 180 metrede bir profil alınmıştır. Bu çerçevede Sürgü Fayı ile ilişkili drenaj havzalarında 53, Çardak Fayı ile ilişkili drenaj havzalarında 69 adet olmak üzere çalışma alanında toplam 122 adet Vf değeri hesaplanmıştır. Her bir vadi için ölçülen Vf değerlerinin ortalaması alınarak Sürgü Fayı üzerinde 16, Çardak Fayı üzerinde 20 vadiden ortalama Vf değeri elde edilmiştir (Şekil 52 ve 53). Bu değerler ve ilişkili oldukları Smf değerleri Tablo 2’de verilmiştir.

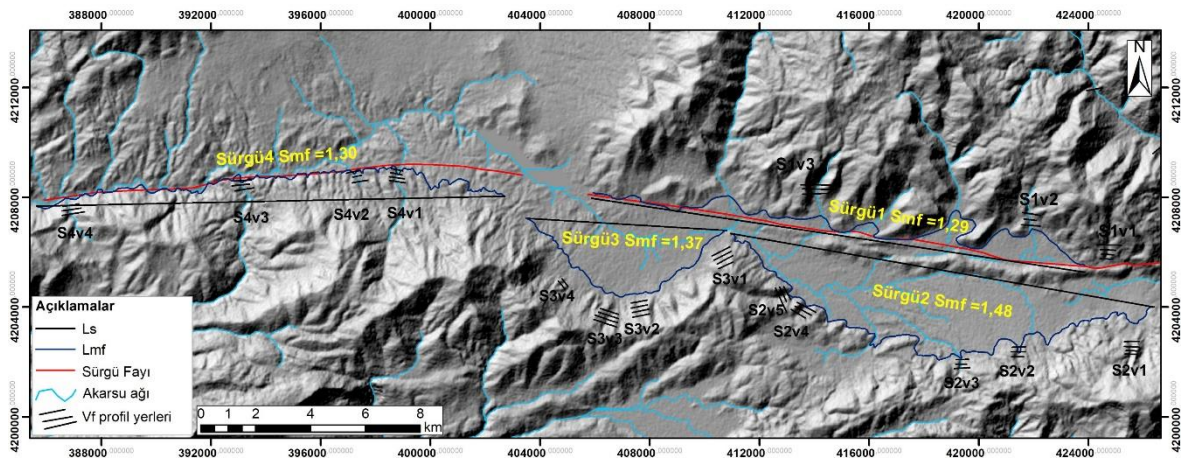
Sürgü Fayı ve güneyindeki vadilerden elde edilen ortalama Vf değerleri 0,42 ile 1,09 arasında değişmektedir (Tablo 2). Genel olarak Sürgü Fayı boyunca hesaplanan Vf değerlerinin ortalamasının 0,64 olduğu görülmüştür. Fayın güney tarafında bulunan Kurucaova havzasının güney sınırında, S2v2 vadisinde ortalama Vf değeri 1,09 olarak ölçülmüştür. Bu istisnai durum; vadinin küçük olması ve Kurucaova güney sınırındaki dağönlerinin oluşumunda tektonizmanın nispeten daha az etkili olması ile açıklanabilir. Bunun dışında Sürgü Fayı Vf değerleri yüksek (sınıf-1) ve orta seviye (sınıf-2) tektonik aktiviteye işaret etmektedir.

Çardak Fayı ile ilişkili vadilerden elde edilen ortalama Vf değerleri 0,20 ile 1,12 arasında değişmektedir (Tablo 2). Genel olarak Çardak Fayı boyunca hesaplanan Vf değerlerinin ortalamasının 0,54 olduğu görülmüştür. Burada da sadece bir vadede (C2v5) elde edilen ortalama Vf değeri 1’in üzerinde (1,12) ölçülmüştür. Bu istisnai durum ise ölçüm yapılan vadinin küçük olması ile açıklanabilir. Bunun dışında Çardak Fayı Vf değerleri yüksek (sınıf-1) ve orta seviye (sınıf-2) tektonik aktiviteye işaret etmektedir.

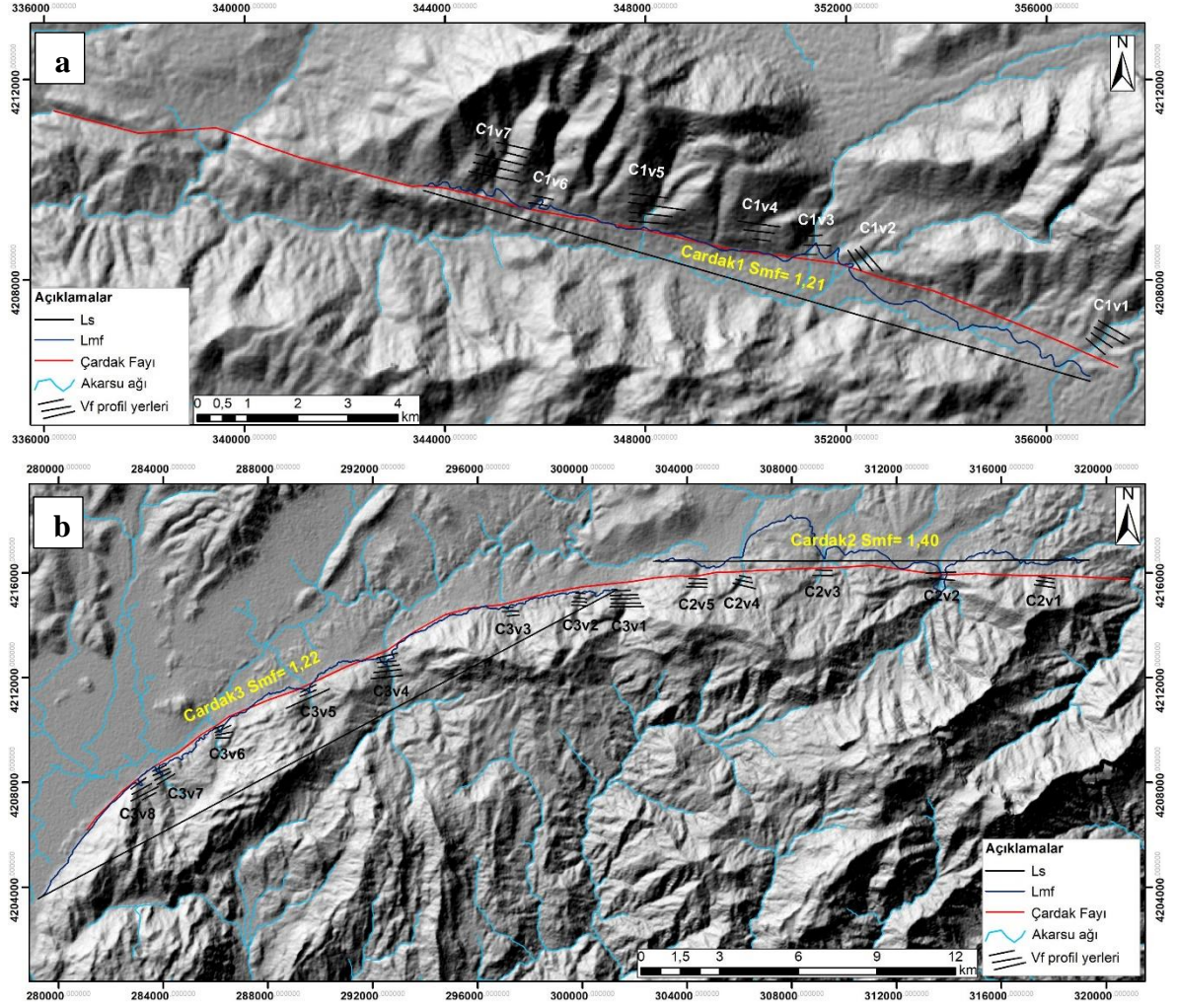
Tablo 2

Sürgü ve Çardak faylarıyla ilişkili dağ önlerinde hesaplanan Smf değerleri ile vadilerde hesaplanan ortalama Vf değerleri.

Sürgü Fayı				Çardak Fayı			
Smf adı	Smf değeri	Vadi adı	Vf ort.	Smf adı	Smf değeri	Vadi adı	Vf ort.
Sürgü-1	1,29	S1v1	0,49	Çardak-1	1,21	C1v1	0,72
		S1v2	0,68			C1v2	0,43
		S1v3	0,42			C1v3	0,65
Sürgü-2	1,48	S2v1	0,65			C1v4	0,48
		S2v2	1,09			C1v5	0,40
		S2v3	0,73			C1v6	0,59
		S2v4	0,61			C1v7	0,20
		S2v5	0,50	C2v1	0,50		
Sürgü-3	1,37	S3v1	0,62	Çardak-2	1,40	C2v2	0,58
		S3v2	0,62			C2v3	0,81
		S3v3	0,65			C2v4	0,56
		S3v4	0,86			C2v5	1,12
Sürgü-4	1,30	S4v1	0,63			Çardak-3	1,22
		S4v2	0,73	C3v2	0,54		
		S4v3	0,46	C3v3	0,93		
		S4v4	0,51	C3v4	0,34		
				C3v5	0,38		
				C3v6	0,56		
				C3v7	0,35		
				C3v8	0,38		



Şekil 52. Sürgü Fayı ve güneyindeki dağ önlerinde hesaplanan Smf değerleri ile bunlarla ilişkili vadilerden ölçülen Vf profillerinin lokasyonları (Balkaya vd., 2021).

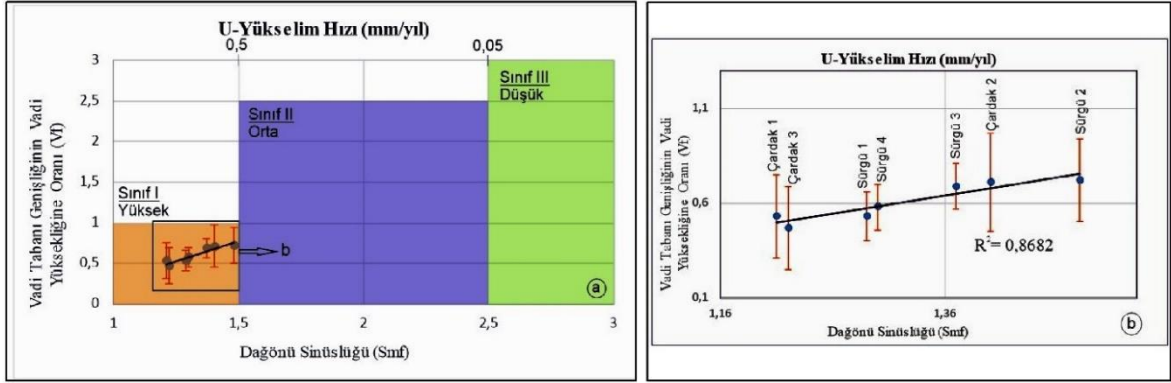


Şekil 53. Çardak Fayı doğu (a) ve batı (b) kesimlerindeki dağönlerinde hesaplanan Smf değerleri ile bunlarla ilişkili vadilerden ölçülen Vf profillerinin lokasyonları (Balkaya vd., 2021).

Yapılan bazı çalışmalarda Vf değerleri ile Smf değerleri arasında bir orantı olduğu ve bu orana bağlı olarak fayların aktiflik derecesinin belirlenebileceği ifade edilmiştir (Rockwell vd., 1984; Silva vd., 2003). Sürgü Fayı ile ilgili hesaplanan Smf ve Vf değerlerine bakıldığında, Sürgü Fayı boyunca (Sürgü-1 ve Sürgü-4) görülen yükselme ve aktiflik derecesinin, fayın güneyine (Sürgü-2 ve Sürgü-3) göre daha fazla olduğu gözlenmiştir. Çardak Fayı'nda ise doğu ve batı uçlarındaki segmentlerin (Çardak-1 ve Çardak-3) orta kısma (Çardak-2) göre aktiflik derecesinin ve yükselme hızının daha fazla olduğu söylenebilir (Tablo 2 ve Şekil 54).

Sürgü ve Çardak fay segmentleri için her bir vadinin ortalama Vf değeri hesaplanarak aynı segmentin Smf değerleri ile kıyaslandığında, Vf ve Smf arasında oldukça iyi korelasyon

olduğu $R^2=0.8682$ değerine göre ortaya çıkmaktadır (Şekil 54). İnceleme alanından elde edilen Smf ve Vf değerlerinin analiz edilmesi sonucunda genel olarak Sürgü ve Çardak faylarının yüksek aktiviteye sahip olduğu kanaati oluşmuştur (Şekil 54).



Şekil 54. Rockwell vd. (1984) tarafından ileri sürülen yükselme oranlarını (a) ve inceleme alanındaki dağönlerinde hesaplanan Smf ile Vf değerleri arasındaki korelasyonu (b) gösteren grafikler.

4.5.4. Akarsu Uzunluk – Gradyan İndisi (SL)

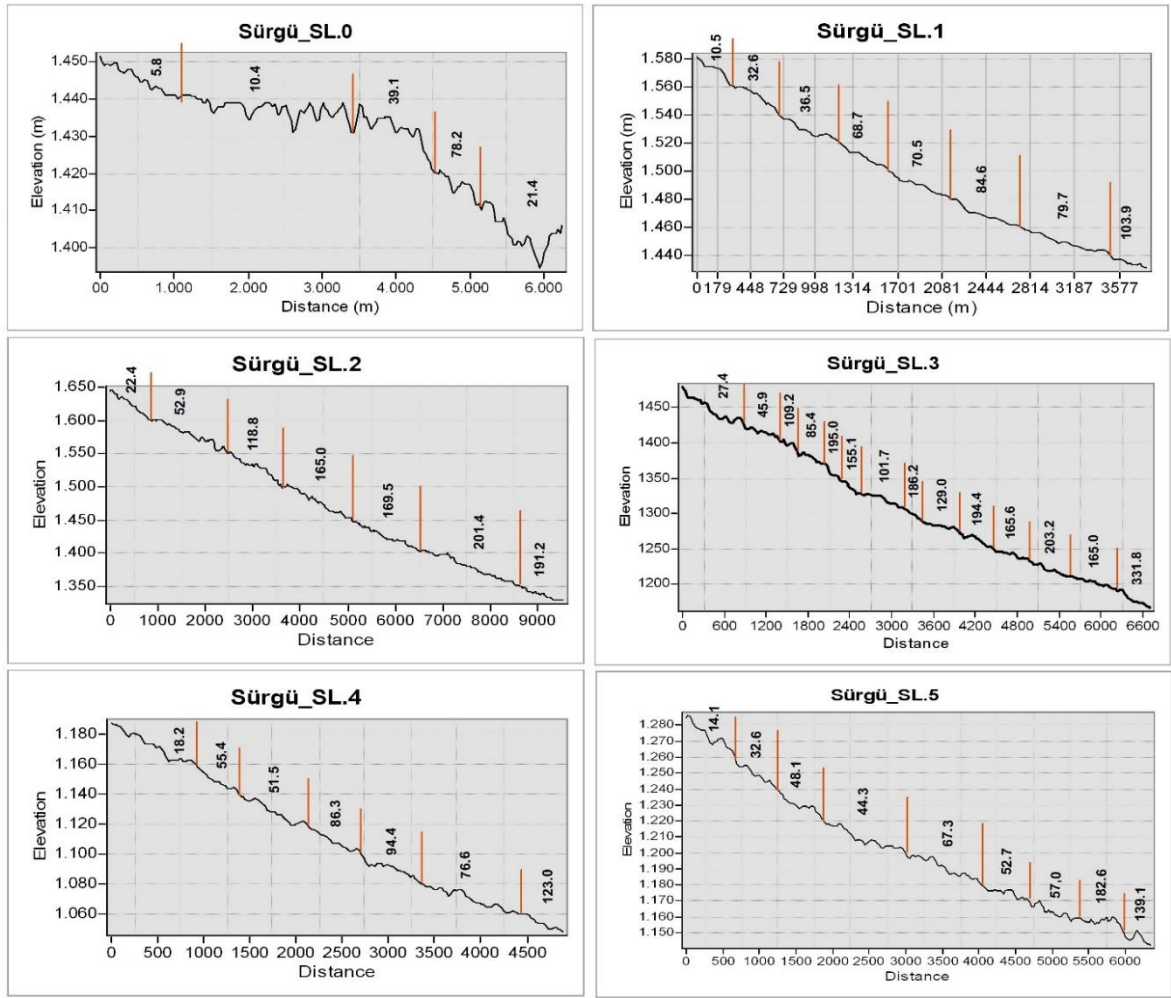
Bu çalışmada hesaplanan SL ölçümü aralık değerleri; ölçülen vadinin uzunluğu göz önünde bulundurularak 10 m, 20 m ve 50 m olarak alınmıştır. İnceleme alanındaki vadilerin ölçümü ile elde edilen SL değerleri; sınıf 1: $250 < SL$, sınıf 2: $150 < SL < 250$ ve sınıf 3: $SL < 150$ olmak zere 3 tektonik sınıfa ayrılmıştır.

Bu çalışma kapsamında Sürgü Fayı'nda uzunlukları 3.803 m ile 9.530 m arasında değişen 6 vadide, Çardak Fayı'nda uzunlukları 5.563 m ile 15.123 m arasında değişen 4 vadide SL indis hesabı yapılmıştır. Toplamda 10 vadide 77 SL indis hesaplanmıştır. Ölçümlere, faya yaklaşık dik inen vadilerin en yüksek noktasından başlanmış, fay geçildikten sonra çoğunlukla derenin ana kola bağlandığı noktada ölçüm bitirilmiştir. Ölçülen SL değerleri 5,8 ile 1330,0 arasında değişmekte olup en yüksek anomali, fayın etkisiyle oluşmuş belirgin bir dağönü olan Çardak Fayı doğusunda (Çardak SL.1) görülmüştür (Şekil 55 ve 56).

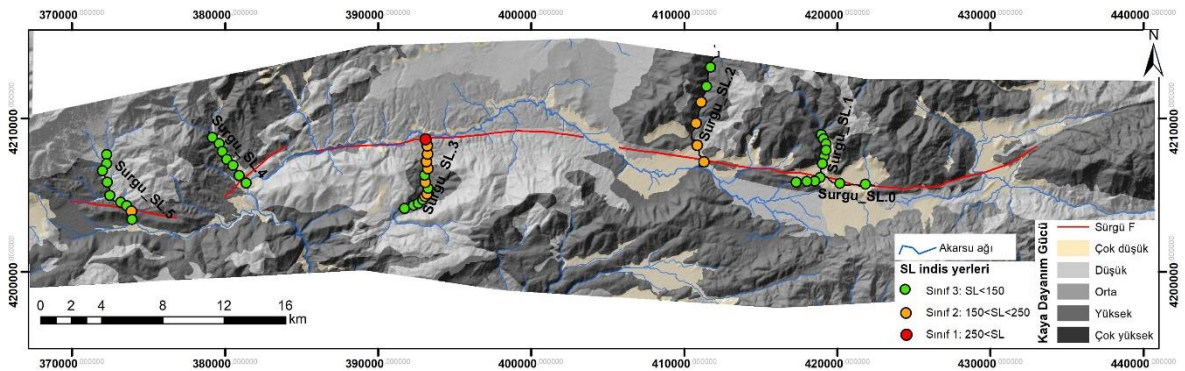
Litolojide farklılaşma, morfoloji değişimi ve tektonik aktivite etkilerinin görülmediği bir sahada, yukarı çığırdan aşağı çığıra doğru SL indis değerlerinin anomaliler göstermeden

artış eğiliminde olması beklenir (Köle, 2016). Sürgü Fayı boyunca ölçülen SL indislerinin talveg profilleri incelendiğinde; Sürgü SL.0, SL.1 ve SL.4 değerlerinin küçük farklılıklar dışında anomali göstermediği ve SL indisi anomali düzeyine göre yapılan tektonik sınıflandırmada, “sınıf 3” değer aralığında oldukları görülmektedir (Şekil 55 ve 56). Sürgü SL.3 incelendiğinde fayın olduğu kesimde “sınıf 1” tektonik sınıflandırma değer aralığında yüksek anomali değeri gösterdiği görülmektedir. Aynı zamanda SL.3’ün faydan uzak kesimde anomali değişimi gösterdiği de (Şekil 56) tespit edilmiştir. Kaya Dayanım Gücü haritası göz önünde bulundurularak bu durumun litolojik farklılıklardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Sürgü SL.2 ve SL.5 profilleri incelendiğinde, SL indis değerlerinin Sürgü Fayı ve yakın civarında “sınıf 1” ve “sınıf 2” tektonik sınıflandırma değer aralığında, yüksek anomali değerleri gösterdiği söylenebilir (Şekil 55 ve 56).

Fay boyunca kayaçların ufalanması sebebiyle doğrultu atımlı fayların oluşturduğu çizgisel vadilerde ölçülen SL değerlerinin düşük olması beklenir (Keller ve Pinter, 2002). Sürgü Fayı doğu kesiminde faya yaklaşık paralel vadiye ölçülen SL değerleri (Sürgü SL.0) ortalamasının sadece 31 olduğu görülmüştür (Şekil 55).



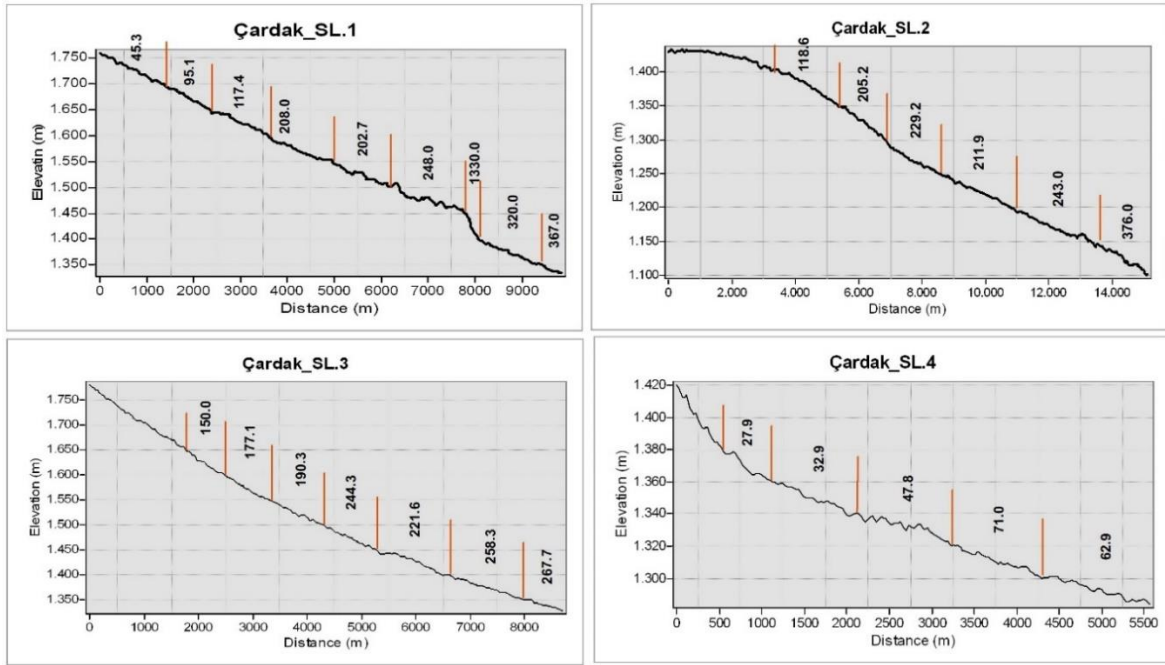
Şekil 55. Sürgü Fayı güzergâhındaki vadilerden ölçülen SL indislerinin talveg profilleri.



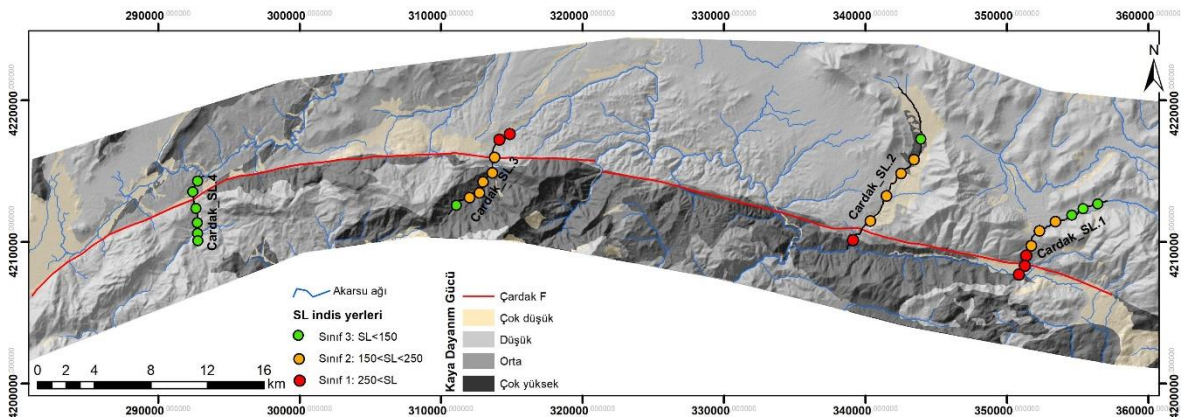
Şekil 56. Sürgü Fayı güzergahındaki vadilerde ölçülen SL indislerinin lokasyonları ve tektonik sınıflarının, Selby (1980) baz alınarak hazırlanan kaya dayanım gücü sınıflaması haritası üzerindeki görünümü (Balkaya vd., 2021).

Çalışma alanındaki bir diğer fay olan Çardak Fayı boyunca ölçülen SL indislerinin talveg profilleri incelendiğinde; Çardak SL.4 vadisindeki değerlerin küçük farklılıklar

dışında anomali göstermediği (Şekil 57) ve SL indisi anomali düzeyine göre yapılan tektonik sınıflandırmada, “sınıf 3” değer aralığında olduğu görülmektedir (Şekil 58). Çardak SL.1, SL.2 ve SL.3 profilleri incelendiğinde, SL indis değerlerinin Çardak Fayı ve yakın civarında “sınıf 1” ve “sınıf 2” tektonik sınıflandırma değer aralığında, yüksek anomali değerleri gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 57 ve 58). İnceleme alanında yapılan akarsu uzunluk - gradyan indisi analizleri neticesinde Sürgü ve Çardak faylarının bölgenin morfotektonik gelişiminde aktif rol aldıkları söylenebilir.



Şekil 57. Çardak Fayı güzergâhındaki vadilerden ölçülen SL indislerinin talveg profilleri.



Şekil 58. Çardak Fayı güzergahındaki vadilerde ölçülen SL indislerinin lokasyonları ve tektonik sınıflarının, Selby (1980) baz alınarak hazırlanan kaya dayanım gücü sınıflaması haritası üzerindeki görünümü (Balkaya vd., 2021).

4.6. Paleosismolojik Çalışmalar

Burada yapılan çalışmalar; hendek yeri belirleme çalışmaları ve hendek çalışmaları olmak üzere kabaca iki başlık altında verilmiştir.

4.6.1. Hendek Yeri Belirleme Çalışmaları

Hendek yeri belirleme çalışmalarına altlık oluşturması amacıyla GE platformu kullanılarak incelenecek alanlar önceden belirlenmiş, böylece arazide geçirilecek zamandan tasarruf edilmiştir. Arazide hendek yeri belirlenirken, hendeğin fayı kesecek şekilde konumlanması oldukça önemlidir. Fay izi tespit edilirken; doğrultu atımlı fay zonlarında sıkça gözlenen ötelenmiş dere ve nehir vadileri, fay sarplıkları, küçük çöküntü havzaları, basınç sırtları, çizgisel gidişli vadiler gibi jeomorfolojik göstergelerden faydalanılmıştır. Ayrıca hendek yeri belirlenirken; kazılacak yerin sedimantasyonunun uygun olması, yer altı su seviyesinin düşük olması, iş makinesi ile alana ulaşılabilir olması, arazi sahibinden izin alınabilir olması gibi konular da göz önünde bulundurulmuştur.

Doktora tez çalışması kapsamında 2019 yılı yaz aylarında 3 adet, 2020 yaz aylarında 3 adet olmak üzere toplam 6 hendek yeri belirlenerek kazılmıştır. Hendek yeri belirleme çalışmaları 2019 ve 2020 yılları yaz aylarında yapılmıştır.

2019 yılı yaz aylarında, Sürgü ve Çardak fayları boyunca 10 olası hendek yeri belirlenmiştir. Olası hendek yerleri arasında yapılan değerlendirmeler neticesinde ve bütçe durumu göz önüne alınarak Sürgü Fayı üzerinde 2 adet, Çardak Fayı üzerinde 1 adet hendeğin kazılmasına karar verilmiştir.

2020 yaz aylarında yapılan arazi çalışmaları kapsamında Sürgü ve Çardak fayları üzerinde, daha önce yapılan büro çalışmaları ile belirlenen 7 adet olası hendek yeri araştırılmıştır. Araştırmalar neticesinde Sürgü Fayı üzerinde 1, Çardak Fayı üzerinde 1 adet olmak üzere toplam 2 hendek kazısı yapılması kararlaştırılmıştır. Çardak Fayı üzerinde kazılan Barış hendeğinde iki ayrı deprem tespit edilmesinin ardından teyit amaçlı 10 m mesafede bir hendek daha kazılmıştır. Böylece 2019 ve 2020 yıllarında toplam 6 adet hendek yeri belirlenerek kazılmıştır.

Burada, kazılan hendeklerin önceden yapılmış hendek yeri belirleme çalışmalarına yer verilmiştir. Bu kapsamda Sürgü Fayı üzerindeki Kurucaova, Sürgü Doğu ve Sürgü Batı hendekleri (Şekil 59) ile Çardak Fayı üzerindeki Nergete, Barış-1 ve Barış-2 hendeklerinin yer belirleme çalışmaları ayrıntılı bir şekilde aktarılmıştır.

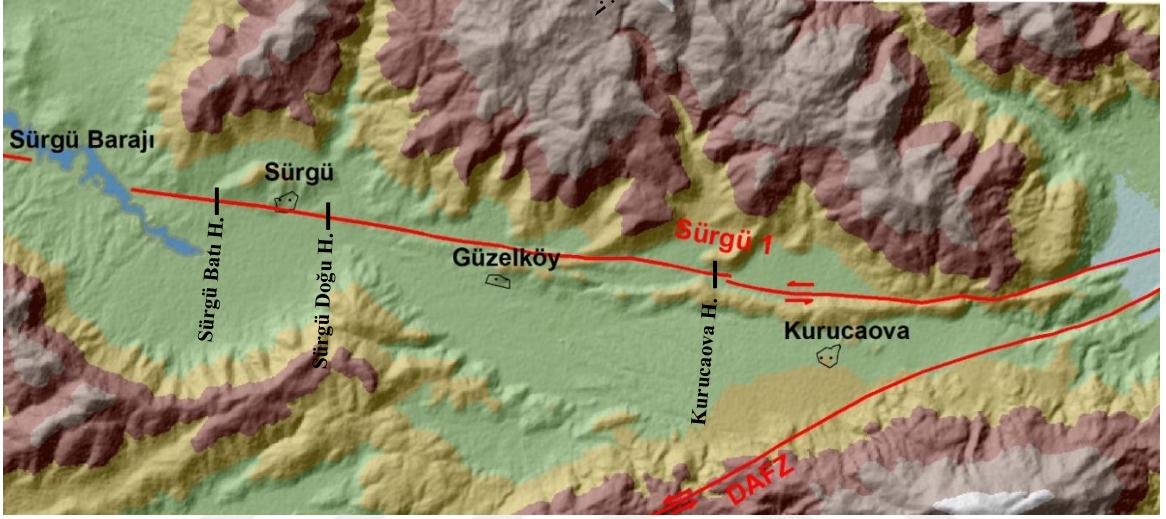
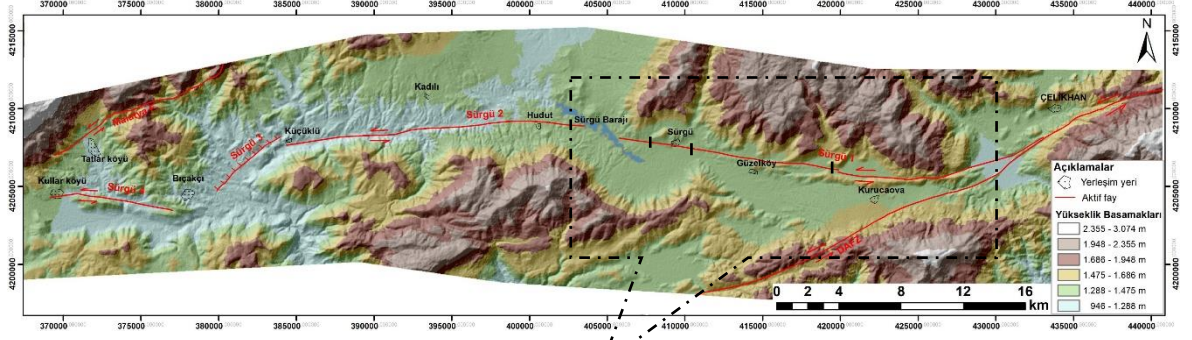
Kurucaova Hendeği

Doğanşehir ilçesine bağlı Kurucaova'nın yaklaşık 3 km KB'sında vadinin daraldığı bir noktada incelemelerde bulunulmuştur (Şekil 59). Burada fayın geçebileceği açıklığın en fazla 100 m olması hendek yerinin belirlenmesi açısından kolaylık sağlamıştır (Şekil 60). Sedimentasyonun iyi olması, Kuvaterner çökel kalınlığının 3 m civarında olduğunun düşünülmesi ve su çıkma ihtimalinin düşük olması gibi etkenler de hendek yeri seçiminde belirleyici olmuştur. Sürgü Fayı üzerinde belirlenen Kurucaova hendeğinin yeri ile ilgili ayrıntılar tablo 3'te aktarılmıştır.

Tablo 3

Kurucaova hendek yerine ilişkin ayrıntılı analiz tablosu.

Kurucaova hendeği: Hendek Yeri Analiz Tablosu		
Kriter	Durum	Açıklama
Sedimentasyon durumu	İyi	Holosen birimin kalınlığının 3 m civarında olduğu düşünülüyor.
Fayın geçebileceği aralık	Orta	Aralık 35-40 metre civarına indirgenebilir, en fazla 100 m olabilir.
Su çıkma ihtimali	Düşük	Muhtemelen 3 – 4 metrelik kazılarda su çıkmaz.
Arazinin fiziki durumu	Düze yakın	İş makinası rahatlıkla çalışabilir.
Ulaşım durumu	İyi	İş makinası hendek yerine kolaylıkla nakledilebilir.
Örnek alınma ihtimali	Orta	Yakın çevre ormanlık olduğundan C14 için kömür bulunabilir.
Gerekli hendek uzunluğu	30 m	Maksimum 100 m uzunluğunda olmalı.
İzin alınması	Mümkün	Ekilip – biçilen bir arazi, muhtar aracılığı ile sahibinden izin alınabilir.



Şekil 59. Sürgü Fayı doğu kesiminde belirlene 3 hendek yerinin SYM üzerindeki konumu.



Şekil 60. Kurucaova hendek yeri (Kurucaova'nın 3 km KB'sı, doğuya bakış). Kesikli kırmızı çizgi hendek kazılan yeri göstermektedir.

Sürgü Doğu Hendeği

Sürgü Mahallesi'nin hemen doğusunda, fayın kuzeyindeki kireçtaşı sınırından başlanarak güneye doğru 30-35 m uzunluğunda bir hendek kazısı planlanmıştır. Burada

sedimentasyonun iyi olması, su çıkma ihtimalinin düşük olması, iş makinasının alana kolaylıkla sevk edilebilir olması gibi etkenler de hendek yeri seçimine katkı sağlamıştır. Sürgü Doğu hendek yeri ile ilgili ayrıntılar Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4

Sürgü Doğu hendek yerine ilişkin ayrıntılı analiz tablosu.

Sürgü Doğu hendeği: Hendek Yeri Analiz Tablosu		
Kriter	Durum	Açıklama
Sedimentasyon durumu	Orta	Holosen birimin kalınlığının 3 m civarında olduğu düşünülüyor.
Fayın geçebileceği aralık	Orta	Aralık 30-35 metre civarına indirgenebilir.
Su çıkma ihtimali	Düşük	Muhtemelen 3 – 4 metrelik kazılarda su çıkmaz.
Arazinin fiziki durumu	Az eğimli	İş makinası rahatlıkla çalışabilir.
Ulaşım durumu	İyi	Her türlü araç ile hendek yerine ulaşılabilir.
Örnek alınma ihtimali	Orta	C14 için kömür bulmak biraz zor. Bulk örneği alınabilir. OSL için yeterli Kuvarslı birim olmayabilir.
Gerekli hendek uzunluğu	25 m	Maksimum 30 m uzunluğunda olmalı.
İzin alınması	Mümkün	Şahıs arazisi, Muhtar aracılığı ile sahibinden izin alınabilir.

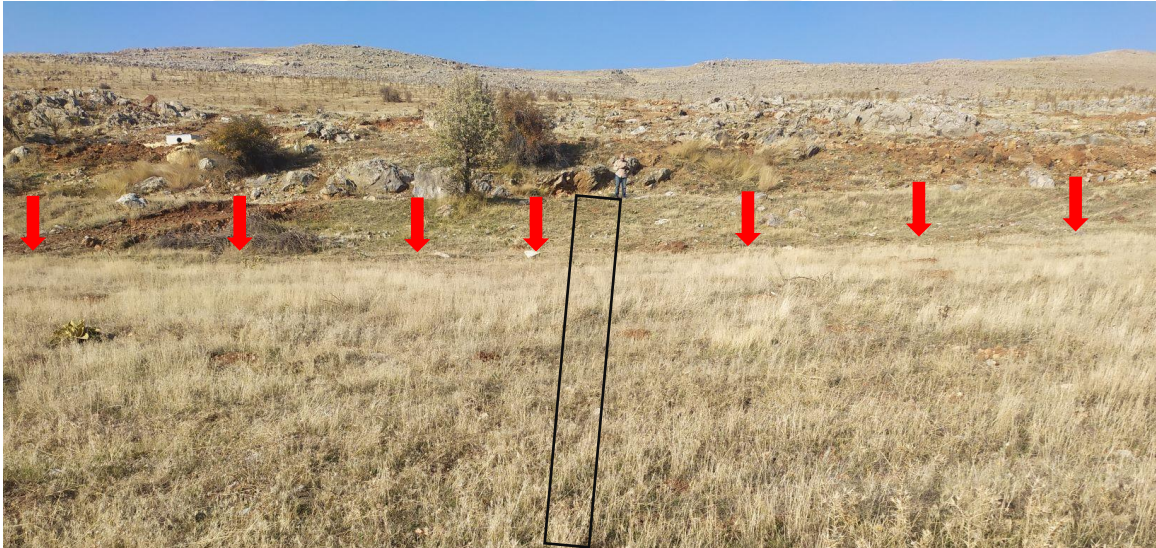
Sürgü Batı Hendeği

Sürgü Mahallesi'nin batısında tespit edilen kot farkının (eğim kırıklığı) varlığı münasebetiyle burada hendek yeri belirlenmiştir. Sürgü Fayı'nı kesecek şekilde, K-G doğrultusunda 25 m uzunluğunda bir hendek kazılması planlanmıştır (Şekil 61). Sürgü Batı hendek yerinin tespitine yönelik ayrıntılar tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5

Sürgü Batı hendek yerine ilişkin ayrıntılı analiz tablosu.

Sürgü Batı hendeği: Hendek Yeri Analiz Tablosu		
Kriter	Durum	Açıklama
Sedimentasyon durumu	Orta	Holosen birimin kalınlığının 2 m civarında olduğu düşünülüyor.
Fayın geçebileceği aralık	Orta	Aralık 30-35 metre civarına indirgenebilir.
Su çıkma ihtimali	Düşük	Muhtemelen 3 – 4 metrelik kazılarda su çıkmaz.
Arazinin fiziki durumu	Az eğimli	İş makinası rahatlıkla çalışabilir.
Ulaşım durumu	İyi	Her türlü araç ile hendek yerine ulaşılabilir.
Örnek alınma ihtimali	Orta	C14 için kömür bulmak biraz zor. Bulk örneği alınabilir. OSL için yeterli Kuvarslı birim olmayabilir.
Gerekli hendek uzunluğu	25 m	Maksimum 30 m uzunluğunda olmalı.
İzin alınması	Mümkün	Şahıs arazisi, Muhtar aracılığı ile sahibinden izin alınabilir.

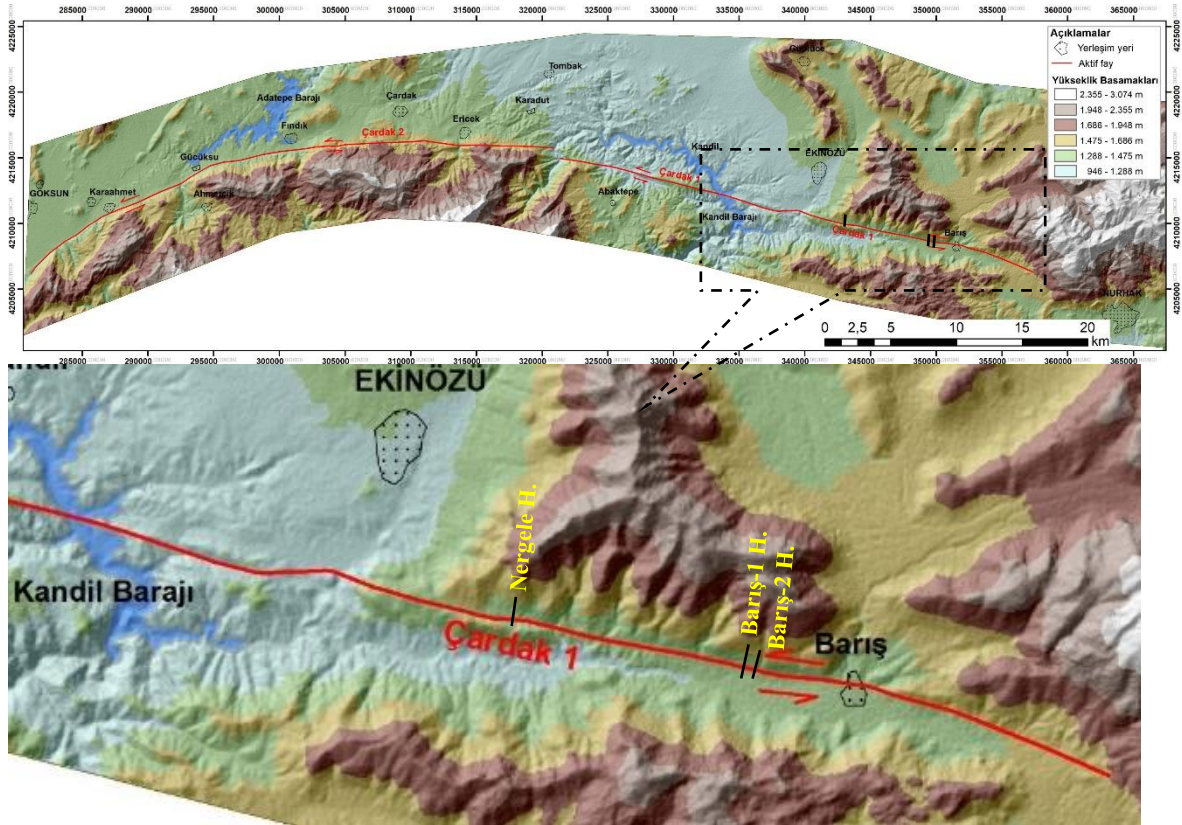


Şekil 61. Sürgü'nün batısında kazılması planlanan hendek yeri. Kırmızı oklar fay güzergahını, siyah dikdörtgen muhtemel hendek kazı yerini göstermektedir (kuzeye bakış).

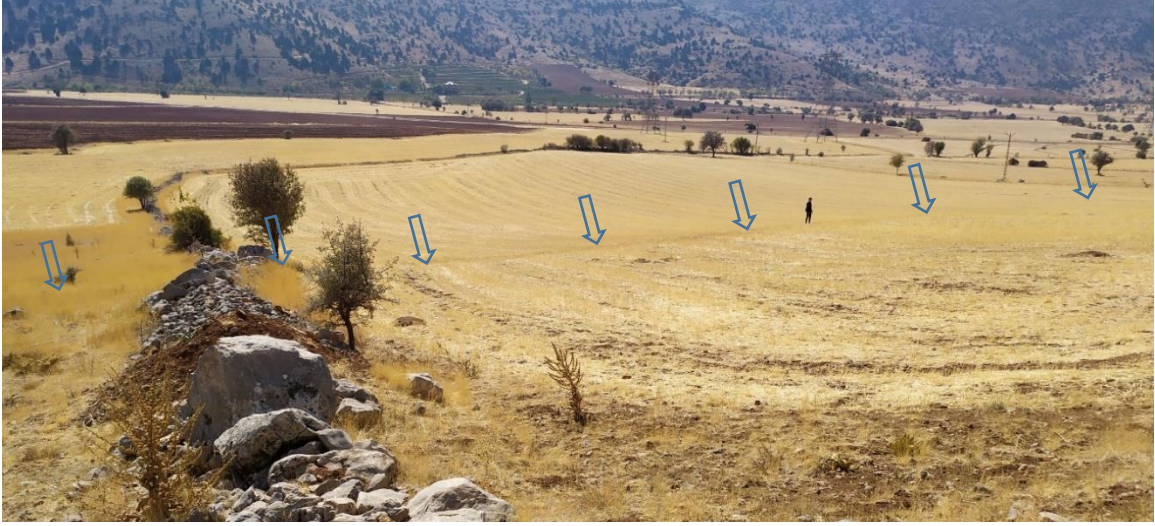
Barış hendekleri

Çardak Fayı doğu ucu üzerinde belirlenen ilk hendek yeri olarak Barış Mahallesi'nin 1 km batısı belirlenmiştir (Şekil 62). Çardak Fayı üzerinde belirlenen bu muhtemel hendek yerinin doğusunda görülen 70 m dere ötelenmesi bu hendek yerinin seçiminde etkili

olmuştur (Şekil 33). Barış'ın hemen batısında bulunan tarla içerisinde gözlenen fay sarpılığını (Şekil 63) dik kesecek bir şekilde buraya hendek açılması planlanmıştır. Sedimentasyon burada iyi, Kuvaterner birimin kalınlığının 3 m civarında olduğu düşünülüyor. Çardak Fayı üzerinde belirlenen Barış hendeklerinin yeri ile ilgili ayrıntılar Tablo 6'da verilmiştir.



Şekil 62. Çardak Fayı doğu kesiminde belirlenen hendek lokasyonlarının SYM üzerindeki görünümü.



Şekil 63. Barış'ın batısında Çardak Fayı boyunca görülen fay sarpılığı (GB'ya bakış).

Tablo 6

Barış hendeklerinin yerlerine ilişkin ayrıntılı analiz tablosu.

Barış hendekleri: Hendek Yeri Analiz Tablosu		
Kriter	Durum	Açıklama
Sedimentasyon durumu	İyi	Holosen birimin kalınlığının 3-4 m civarında olduğu düşünülüyor.
Fayın geçebileceği aralık	Orta	Aralık 35-40 metre civarına indirgenebilir.
Su çıkma ihtimali	Düşük	Muhtemelen 3 – 4 metrelik kazılarda su çıkmaz.
Arazinin fiziki durumu	Az eğimli	İş makinası rahatlıkla çalışabilir.
Ulaşım durumu	Orta	İş makinası hendek yerinin 200 m yakınına nakledilebilir.
Örnek alınma ihtimali	Orta	Yakın çevre ormanlık olduğundan C14 için kömür bulunabilir.
Gerekli hendek uzunluğu	30 m	Maksimum 40 m uzunluğunda olmalı.
İzin alınması	Mümkün	Ekilip – biçilen bir tarla olmadığından muhtar aracılığı ile arazi sahibinden kolaylıkla izin alınabilir.

Nergele hendeği

Gözpınar Mahallesi'nin 1 km batısında bulunan vadi içerisinde muhtemel hendek yeri belirlenmiştir. Çardak Fayı burada K75B istikametinde uzandığından, hendeğin yaklaşık K10D doğrultusunda açılması planlanmıştır. Burada hendek yerinin belirlenmesinde; dere

ötelenmesi, çizgisel gidişli vadi tabanı, oluk yapısı gibi morfolojik yapıların gözlenmesi etkili olmuştur (Şekil 64). Belirlenen hendek yeri ile ilgili ayrıntılar tablo 7’de verilmiştir.



Şekil 64. Gözpınar batısındaki oluk yapısı içerisinde belirlenen Nergele hendek yerini gösterir GE görüntüsü. Mavi oklar ötelenen dere yatağını göstermektedir.

Tablo 7

Nergele hendek yerine ilişkin ayrıntılı analiz tablosu.

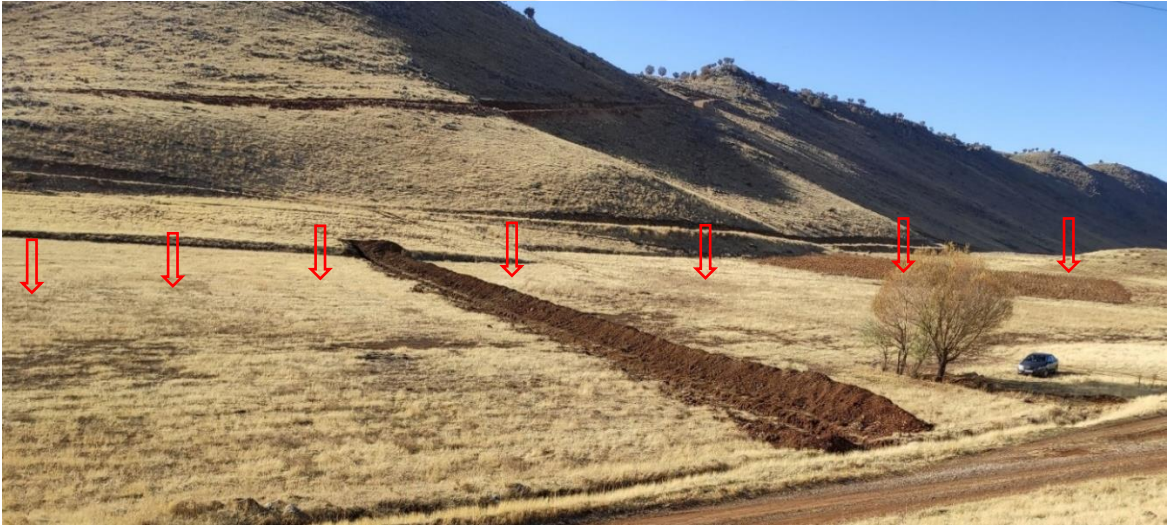
Nergele hendeki: Hendek Yeri Analiz Tablosu		
Kriter	Durum	Açıklama
Sedimentasyon durumu	İyi	Holosen birimin kalınlığının 3-4 m civarında olduğu düşünülüyor.
Fayın geçebileceği aralık	Orta	Aralık 40-45 metre civarına indirgenebilir.
Su çıkma ihtimali	Düşük	Muhtemelen 3 - 4 metrelik kazılarda su çıkmaz.
Arazinin fiziki durumu	Az eğimli	İş makinası rahatlıkla çalışabilir.
Ulaşım durumu	Orta	Paletli makine ile ulaşılamaz, Lastikli iş makinası hendek yerine ulaşır.
Örnek alınma ihtimali	Düşük	C14 için kömür bulmak zor. Bulk örneği alınabilir. OSL için yeterli Kuvarslı birim olmayabilir.
Gerekli hendek uzunluğu	30 m	Maksimum 40 m uzunluğunda olmalı.
İzin alınması	Mümkün	Şahıs arazisi, Muhtar aracılığı ile sahibinden izin alınabilir.

4.6.2. Hendek Çalışmaları

Doktora tez çalışması kapsamında 2019 ve 2020 yıllarında Sürgü Fayı üzerinde 3, Çardak Fayı üzerinde 3 adet olmak üzere toplam 6 hendek çalışması yapılmıştır. Bu başlık altında, hendeğin kazıldığı yıla bakılmaksızın, doğudan batıya doğru Sürgü Fayı üzerinde açılan Kurucaova, Sürgü Doğu ve Sürgü Batı hendekleri ile Çardak Fayı üzerinde açılan Barış-1, Barış-2 ve Nergete hendeklerinin ayrıntıları paylaşılacaktır.

Kurucaova Hendeği

22 Ekim 2020 tarihinde Kurucaova'nın yaklaşık 3 km KB'sında vadinin daraldığı bir noktada, vadinin kuzeyindeki yamaçtan başlanarak güneye doğru 100 m uzunluğunda dar bir hendek kazılmıştır (Şekil 65). Hendek ortalama 2,70 metre derinliğinde, 65-70 cm genişliğinde açılmıştır. Hendeğin batı duvarı temizlendikten sonra (Şekil 66), fayı kapsayacak şekilde güneyden ilk 35 metrelik kısımda 1x1 metrelik karelej iplerinin çekilmesi, milimetrik kâğıda logların çizilmesi ve fotoğraflama işlemleri yapılmıştır.



Şekil 65. Kurucaova hendeği genel görünümü (GB'ya bakış). İçi boş kırmızı oklar fay güzergâhını göstermektedir.



Şekil 66. Kurucaova hendeği duvar temizleme çalışmalarından bir görünüm (kuzeye bakış).

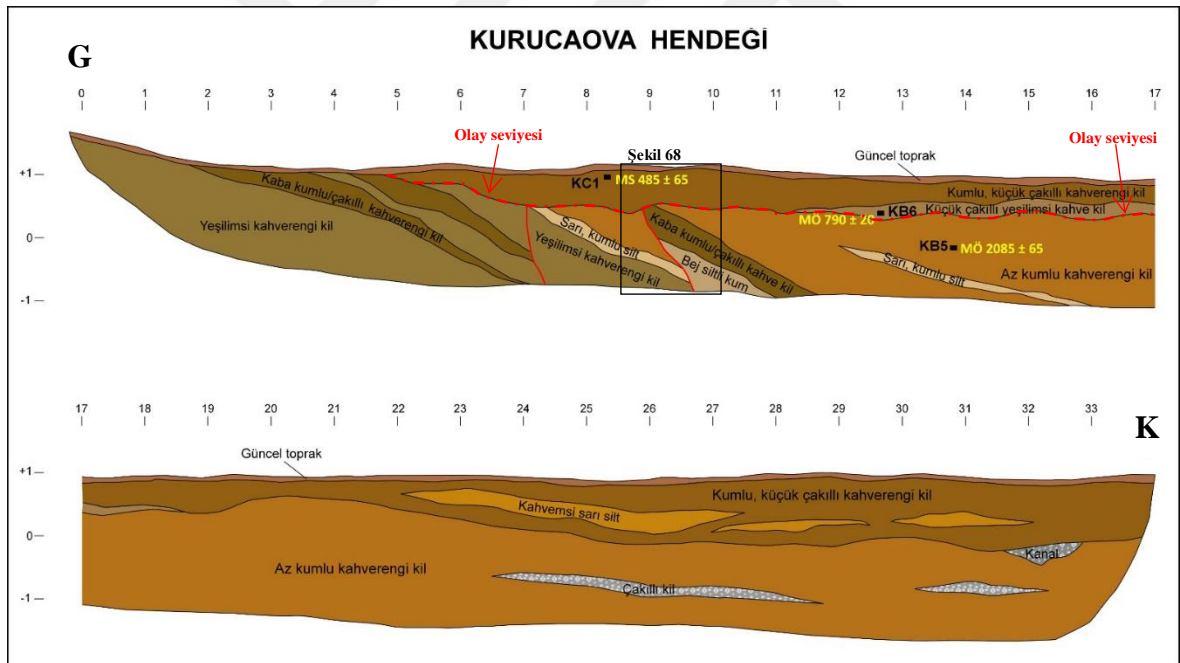
Hendekte 4 stratigrafik birim ile muhtelif yerlerde çakıl, kum ve silt bantları tespit edilmiştir (Şekil 67). Hendekteki en yaşlı birim olan yeşilimsi kahve renkli kil birimi, hendeğin güney ucunda, güneyden 9. metreye kadar olan kesimde görülmüştür. Kaba kumlu/çakıllı kahve renkli kil birimi fayın olduğu kesimde ve eğimli bir şekilde görülmüştür. Az kumlu kahve renkli kil birimi fayın kuzey tarafında yayılım sergilemektedir. Fayı örten seviye olan kumlu/küçük çakıllı kahve renkli kil birimi hendeğin büyük bir çoğunluğunda, güncel toprağın hemen altında görülmüştür.

Bu dört stratigrafik birim dışında, olay seviyesinin üzerinde olduğu düşünülen küçük çakıllı yeşilimsi kahve renkli kil bandı, fay civarında eğimli bir şekilde görülen sarı renkli kumlu silt ile bej renkli siltli kum bantları ve fayın kuzey tarafında yaklaşık yatay konumlu kahvems sarı renkli kil ile sarı renkli kil mercceklerinin varlığı tespit edilmiştir.

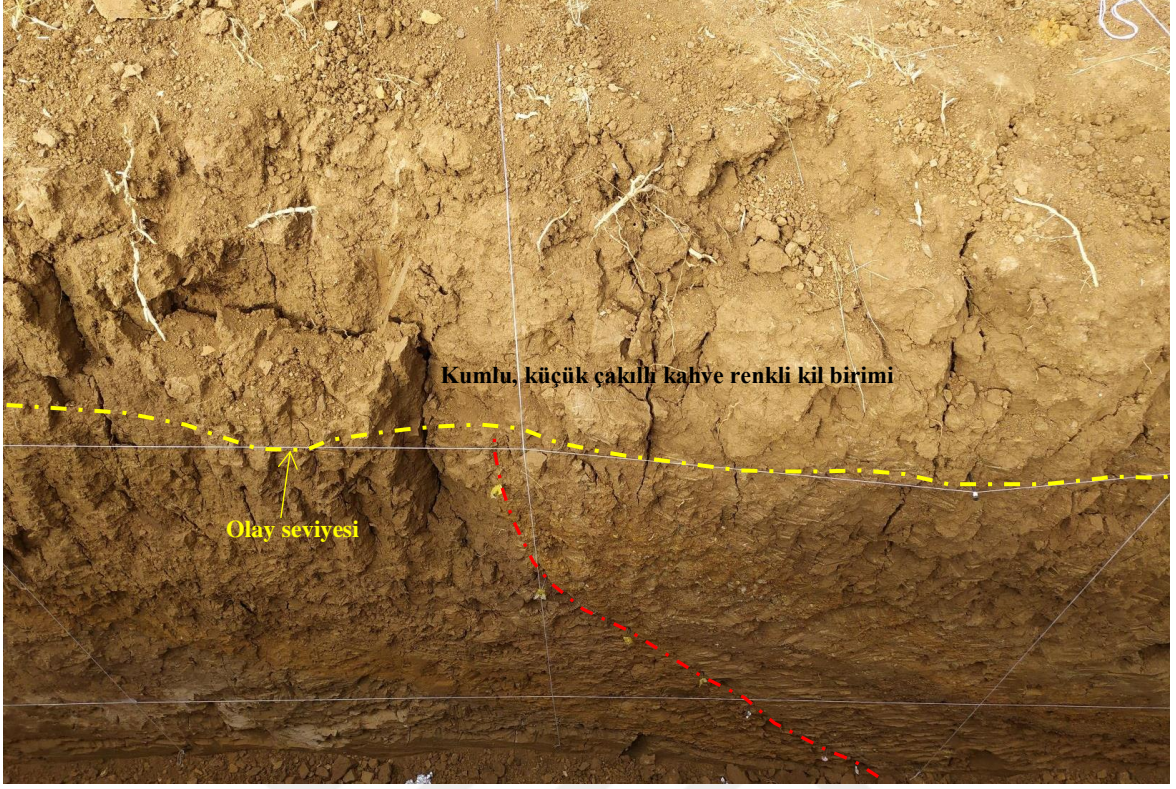
Hendeğin güneyden 7. metresinde olası bir fay izine, 9. metresinde ise net bir faya rastlanmıştır (Şekil 67 ve 68). Faylı kesimdeki stratigrafik birimlerin kuzeye doğru eğimli oldukları görülmüştür. Ancak fay zonundan uzaklaştıktan sonra birimlerin daha çok yatay konumlandıkları tespit edilmiştir.

Hendekten toplam 8 adet numune alınmıştır. Bunlardan; fayı örten seviyeden 2 adet, fayın kestiği birimden de 1 adet olmak üzere 3 adet numune analize gönderilmiştir. Laboratuvar sonuçlarına göre kırığın kestiği birimin yaşı MÖ 2085 ±65, kırığı örten birimlerden birinin yaşı MÖ 790 ±20, diğerinin yaşı ise MS 485 ±65 olarak hesaplanmıştır (Şekil 67 ve 69). Burada fay kırığına yakın birimlerin deformasyon sonucunda eğim kazandıkları ve erozyonel bir süreçten sonra örten birimlerin çökeldiği düşünülmektedir. Olay seviyesinin üzerinde kalan küçük çakıllı yeşilimsi kahve renkli kil biriminin, kırığı örtmese de erozyonel süreçten sonra çökeldiği ve bu yüzden olay seviyesinin üst tarafında kalması gerektiği şeklinde yorumlanmıştır.

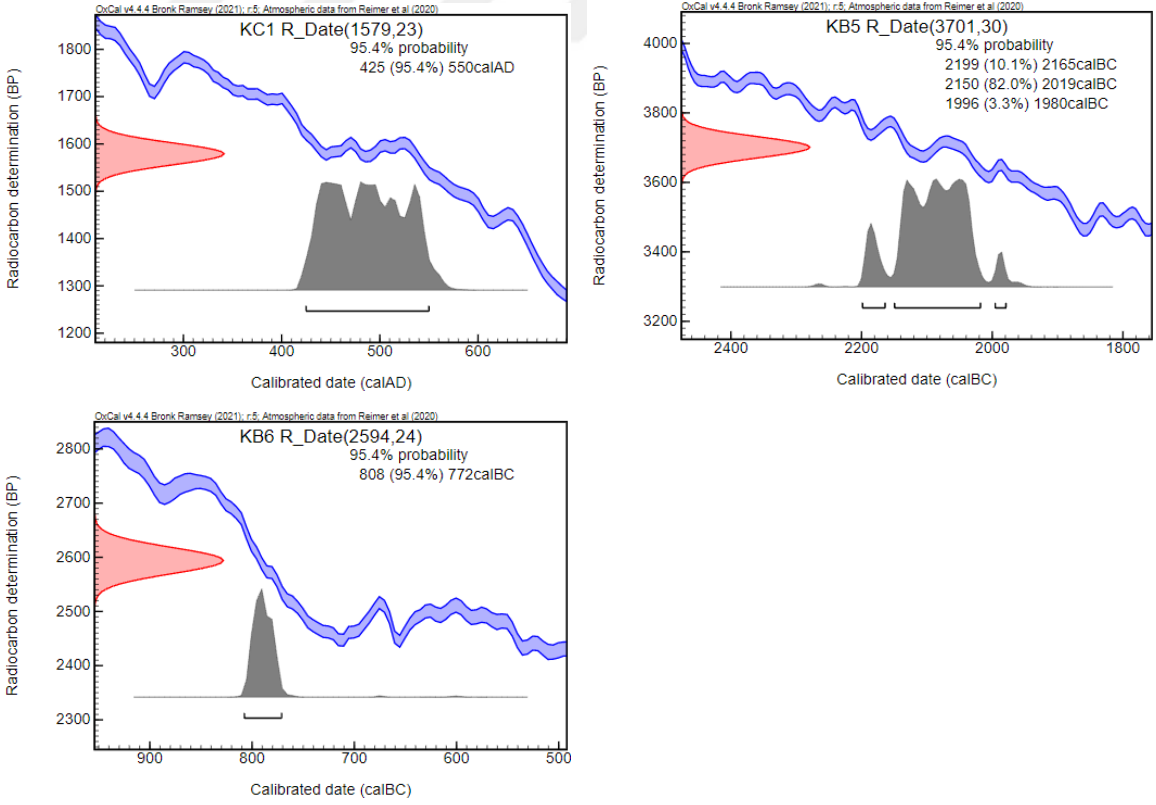
Laboratuvar sonuçları ve hendek verileri birlikte değerlendirildiğinde, Kurucaova hendeğinden, burada 1 olayın meydana geldiği ve bu depremin MÖ 790 ±20 ile MÖ 2085 ±65 arasında gerçekleştiği anlaşılmıştır.



Şekil 67. Kurucaova hendeği batı duvarının logu.



Şekil 68. Kurucaova hendeği batı duvarı 9. metresinde görülen fay (kırmızı kesikli çizgi).



Şekil 69. Kurucaova hendeğinden alınan üç örneğin laboratuvar sonuçlarına ait diyagramlar.

Sürgü Doğu Hendeği

Hendek Sürgü Fayı üzerinde, Sürgü Mahallesi'nin yaklaşık 1 km doğusunda açılmıştır. K-G doğrultusunda açılan bu hendek 24 m uzunluğunda, ortalama 2 m derinliğinde (uçları 1-1,50 m civarı) ve 1,40 m genişliğinde kazılmıştır (Şekil 70). Buradaki zemin çok tıkHz ve sıkışık olduğundan ve birimler büyük kireçtaşı bloklarını içerdiğinden iş makinesi kazı esnasında çok zorlanmıştır. Bu yüzden hendeğin kuzey ve güney uçlarında derinlik 1 metre civarında bırakılmıştır. Sürgü Doğu hendeğinin duvar temizliği, karelej ve fotoğraflama işlemlerinden sonra hendek duvarlarının logu çizilmiştir. Bu loglar Corel Draw programı yardımı ile bilgisayar ortamına aktarılmıştır (Şekil 71).

Sürgü Doğu hendeğinde 4 ayrı stratigrafik birim tespit edilmiştir. Hendeğin en altında bulunan (en yaşlı birim) ince taneli, kahve renkli kil birimi, az miktarda çakıl içermektedir. Onun üstüne gelen sarımsı kahve renkli, az çakıllı killi silt birimi, az miktarda kireçtaşı bloğu içermektedir. Örtün seviye olan koyu kahve renkli kireçtaşı çakıllı ve bloklu kil biriminin, yer yer nem içeriğinden dolayı tıkHz-sert çamurumsu özellik gösterdiği tespit edilmiştir. Güncel toprak haricinde hendekte görülen en genç birim ise, bol kireçtaşı ve az miktarda serpantin blokları içeren çakıllı kahve renkli kil birimidir (Şekil 71).



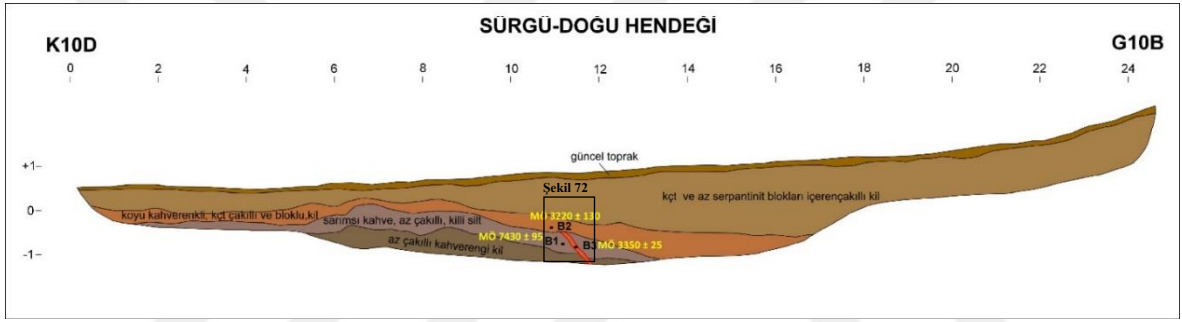
Şekil 70. Sürgü Doğu hendeğinden bir görünüm (Sürgü Mahallesi'nin 1 km doğusu, kuzeye bakış).

Bu hendekte, eski bir deprem olayı sonucu oluştuğu düşünülen, dolgu şeklindeki bir süreksizlik tespit edilmiştir (Şekil 71 ve 72). Bu olayın yaklaşık olarak ne zaman gerçekleştiğinin belirlenmesi için; dolguyu örtün birimden, dolgunun kestiği birimden ve dolgunun kendisinden olmak üzere 3 adet sediman numunesi (bulk) alınıp C-14 yaş tayini analizi için laboratuvara gönderilmiştir.

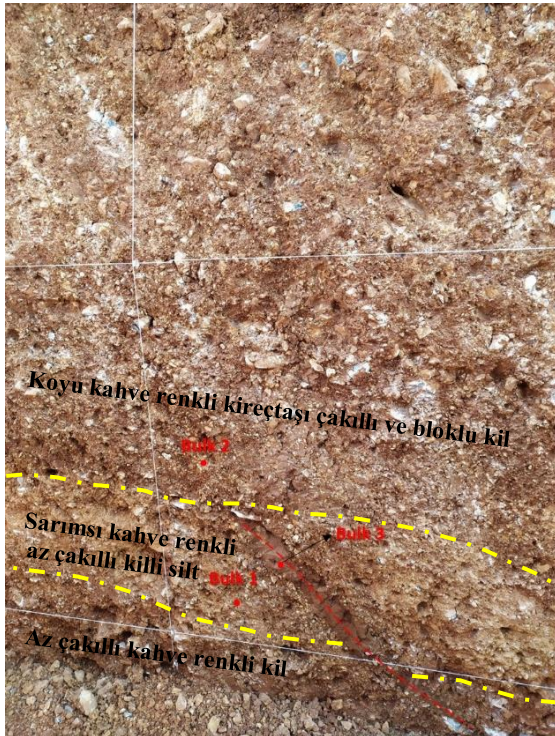
Laboratuar sonuçlarına göre (Şekil 71 ve 73);

- Dolgunun kestiği birimden alınan B1 örneğinin yaşı MÖ 7430 ±95,
- Dolguyu örten birimden alınan B2 örneğinin yaşı MÖ 3220 ±130,
- Dolgunun kendisinden alınan B3 örneğinin yaşı MÖ 3350 ±25 olarak tespit edilmiştir.

Bu sonuçlar ve hendek logu değerlendirildiğinde; kesilen birimin çökmesinden uzun bir süre sonra deprem olayının gerçekleştiği, depremden sonra örten birimin çökeldiği ve çökelerken altındaki fay çatlağına kil birikimi gerçekleştiği söylenebilir. Kesilen birimin yaşının örten birim ve dolgudan çok daha eski olması erozyonal bir sürece işaret etmektedir.

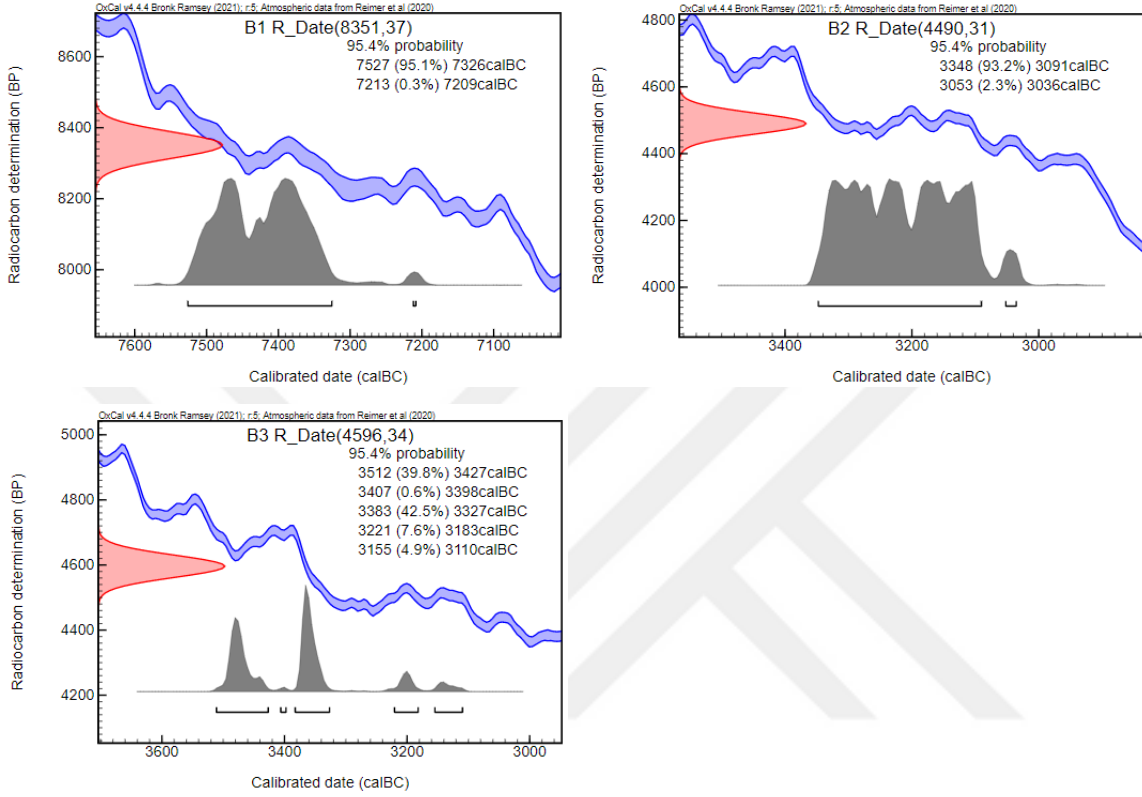


Şekil 71. Sürğü Doğu hendeği doğu duvarının hendek logu.



Şekil 72. Sürğü Doğu hendeği doğu duvarında görülen dolgu ve buradan alınan örnek yerleri.

Bütün bunlar göz önüne alındığında dolgunun oluşmasına sebep olan depremin; dolgudan (B3: MÖ 3350 ±25) kısa bir zaman önce, MÖ 3350 yılı civarında gerçekleştiği ortaya çıkmaktadır.



Şekil 73. Sürgü Doğu hendeğinden alınan örneklerin laboratuvar sonuçlarına ait grafikler.

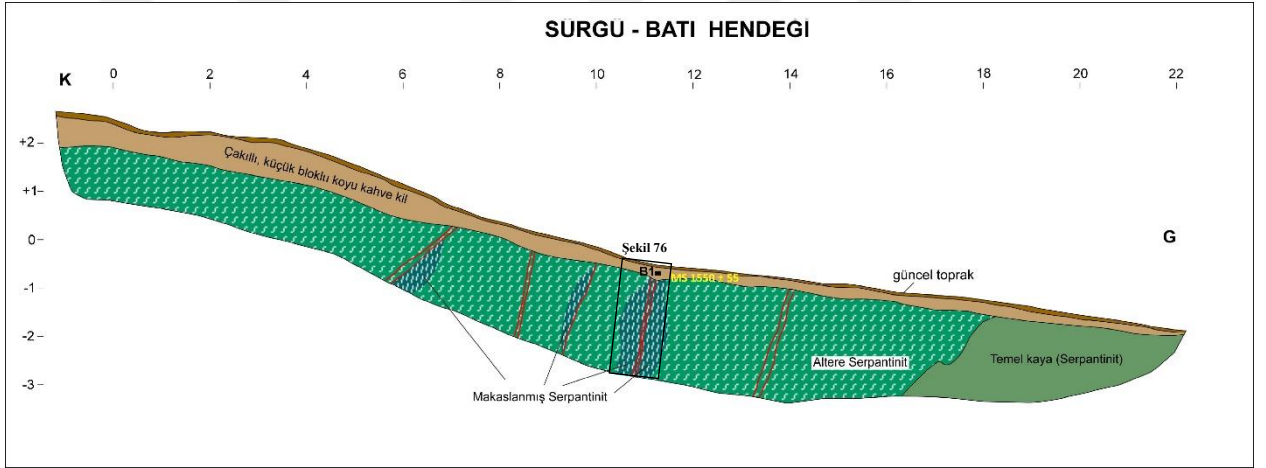
Sürgü Batı Hendeği

Sürgü Fayı üzerinde, Sürgü'nün yaklaşık 2 km batısında açılan bu hendek; K-G doğrultusunda yaklaşık 22 m uzunluğunda, ortalama 2,50 m derinliğinde ve 1,40 m genişliğinde kazılmıştır (Şekil 74). Kazıdan sonra hendek duvarları temizliği, 1x1 metrelik kareler iplerinin çekilmesi, milimetrik kâğıda logların çizilmesi ve fotoğraflama işlemleri sırasıyla yapılmıştır. Ardından hendeklerin duvar logları bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

Sürgü Batı hendeğinde muhtelif yerlerde makaslanmış, bazı yerlerde alterasyona uğramış serpantin temel kayası ve bunu örten çakıllı kahve renkli kil birimi görülmüştür. Örten seviye olan kil birimi içerisinde yer yer yeşil serpantin ve kireçtaşı blokları görülmüştür. Serpantin içerisinde konumu K78⁰D/75⁰KB olan doğrultu atımlı ana fay ve bunun tali kolları tespit edilmiştir (Şekil 75 ve 76).



Şekil 74. Sürgü Batı hendeğinden bir görünüm (Sürgü'nün 2 km batısı, kuzeybatıya bakış). Kırmızı oklar eğim kırıklığı ile belirginleşen fay güzergâhını göstermektedir.

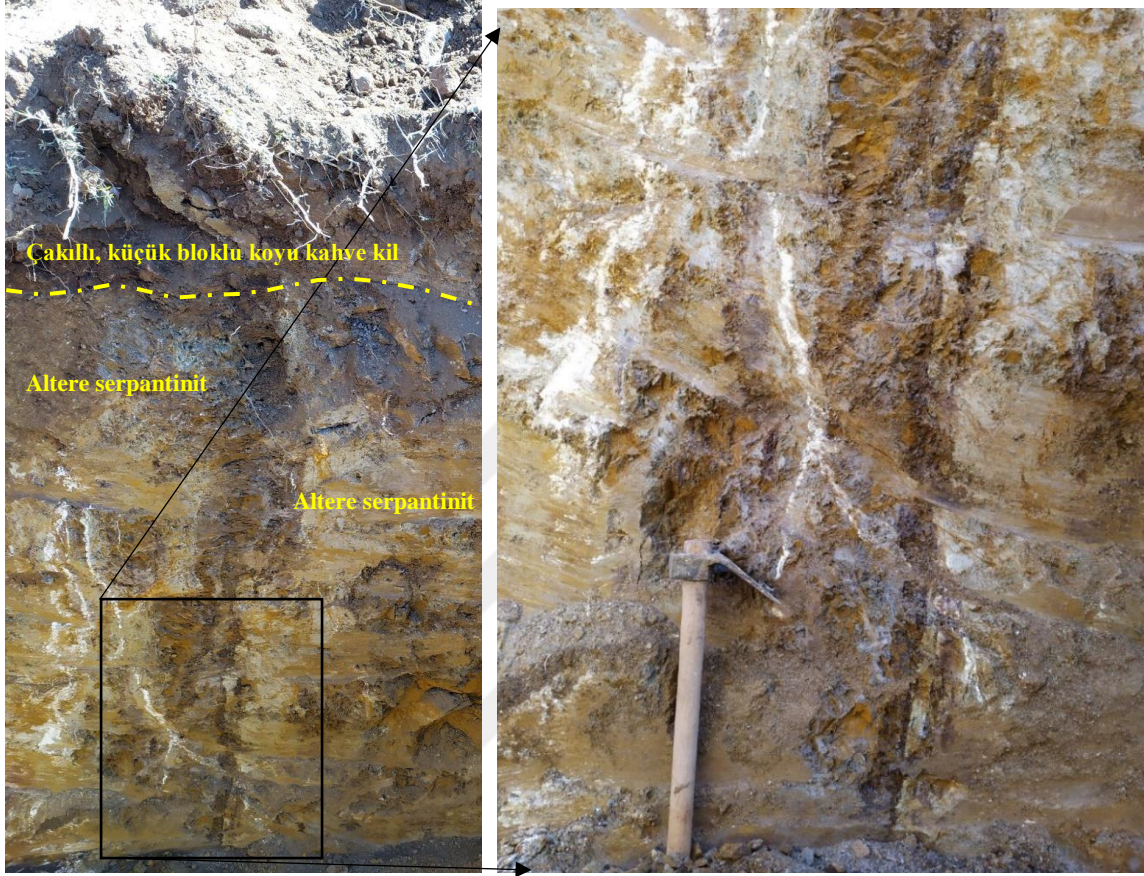


Şekil 75. Sürgü Batı hendeği doğu duvarının hendek logu.

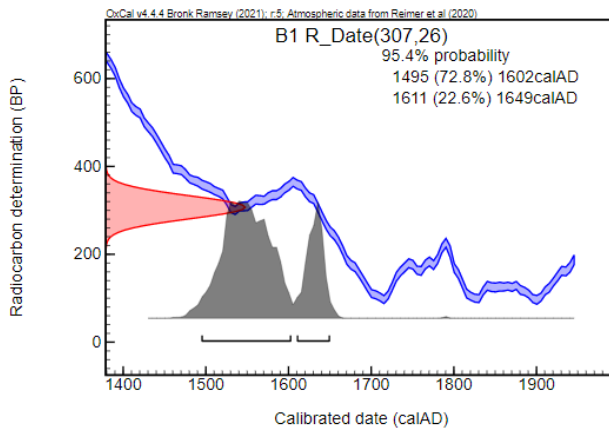
Bu hendekte serpantinit birimini kesen fayın ana ve tali kollarını örten, koyu kahve renkli, killi yamaç molozu biriminden bir sediman örneği (B1) alınarak C-14 yaş tayini analizi için laboratuara gönderilmiştir. Laboratuar sonuçları neticesinde bu birimin yaşının MS 1550 ±55 olduğu görülmüştür (Şekil 77).

Sürgü Batı hendeğinde tespit edilen yüzey kırığını oluşturan depremi tarihlendirmeye uygun materyal bulunamaması nedeniyle yaş tespiti yapılamamıştır. Deprem kırığını örten birimden alınan örneğin yaşı MS 1550 ±55 olarak bulunmuş olup bu birimde herhangi bir deformasyon izine rastlanmamıştır. Böylece bu seviyenin altındaki kırıkların, tarihlendirilmiş olan çakıllı küçük bloklu koyu kahve renkli kil birimini kesmediği

görülmüştür. Neticede bu hendekten, yaklaşık olarak son 500 yılda Sürgü Fayı üzerinde yüzey kırığı oluşturmuş bir deprem meydana gelmediği anlaşılmıştır.



Şekil 76. K78⁰D/75⁰KB doğrultulu fayın ana kolunun görünümü (Sürgü Batı hendeği, doğu duvarı).



Şekil 77. Sürgü Batı hendeğinden alınan bulk örneğinin laboratuvar sonucuna ait grafik.

Barış-1 Hendeği

Barış Mahallesi'nin 1 km batısında daha önce belirlenen Barış olası hendek yeri 26 Ekim 2020 tarihinde kazılmıştır. Çardak Fayı üzerinde kazılan bu hendekte 2 deprem kırığı tespit edilince, hendeğin 10 m doğusuna 1 hendek daha kazılmasına karar verilmiştir (Şekil 78).

Barış-1 hendeği; 32 m uzunluğunda, ortalama 3 m derinliğinde ve 120 cm genişliğinde kazılmıştır. Hendeğin her iki duvarında sırasıyla duvar temizleme, karelaj, fotoğraflama ve loglama işlemleri yapılmıştır. Barış-1 hendeğinde 5 stratigrafik birim ve muhtelif yerlerde kireçtaşı bloklu çakıl bantları tespit edilmiştir (Şekil 79).

Hendekte serpantin temel kayası üzerine gelen stratigrafik birim olan çakıllı kıvılcımsı kahve renkli kilin, genel olarak kalış yamaları ve fissürleri içerdiği görülmüştür. Burada kil birimi içerisinde daha çok çatlak dolgusu şeklinde görülen kalış; genel bir terim olup kurak ve yarı kurak iklim koşullarında gevşek çökeller, tortul kayalar ve topraklar içindeki ikincil kalsiyum karbonat (CaCO_3) yığılımlarını tanımlamaktadır (Eren, 2006). Kıvılcımsı kahve kilin üzerine gelen çakıllı, bloklu, siltli kil birimi; hendekte sarımsı kahve ile yeşilimsi sarı arasında değişen renk tonlarında görülmüştür. Hendekte genç fayın güneyinde görülen birimin, kahve renkli kil matrisi içinde iri kireçtaşı blokları ve çakıllardan oluştuğu görülmüştür. Hendekte güncel toprağın hemen altında görülen kireçtaşı çakıllı ve bloklu kahve renkli kil biriminin genç fayı örttüğü tespit edilmiştir (Şekil 79).

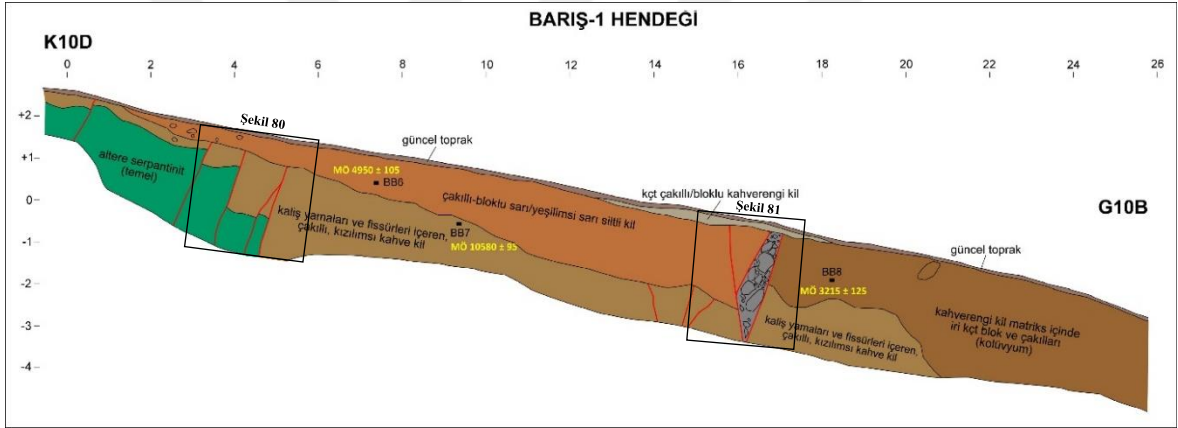
Hendeğin 3. ve 4. metrelerinde nispeten eski bir depremin üretmiş olduğu fay kırıklarına (Şekil 79 ve 80), 16. ve 17. metrelerinde de eski fayı örten birimi kesen fay kırıklarına rastlanmıştır (Şekil 79 ve 81). Bu durum, Çardak Fayı üzerinde iki ayrı yüzey kırığı oluşturmuş depremin meydana geldiğini göstermektedir.

Hendeğin uygun noktalarından alınan örneklerden 3 tanesi C-14 yaş tayini analizi için laboratuvara gönderilmiştir. Laboratuvar sonuçlarına göre (Şekil 79 ve 82);

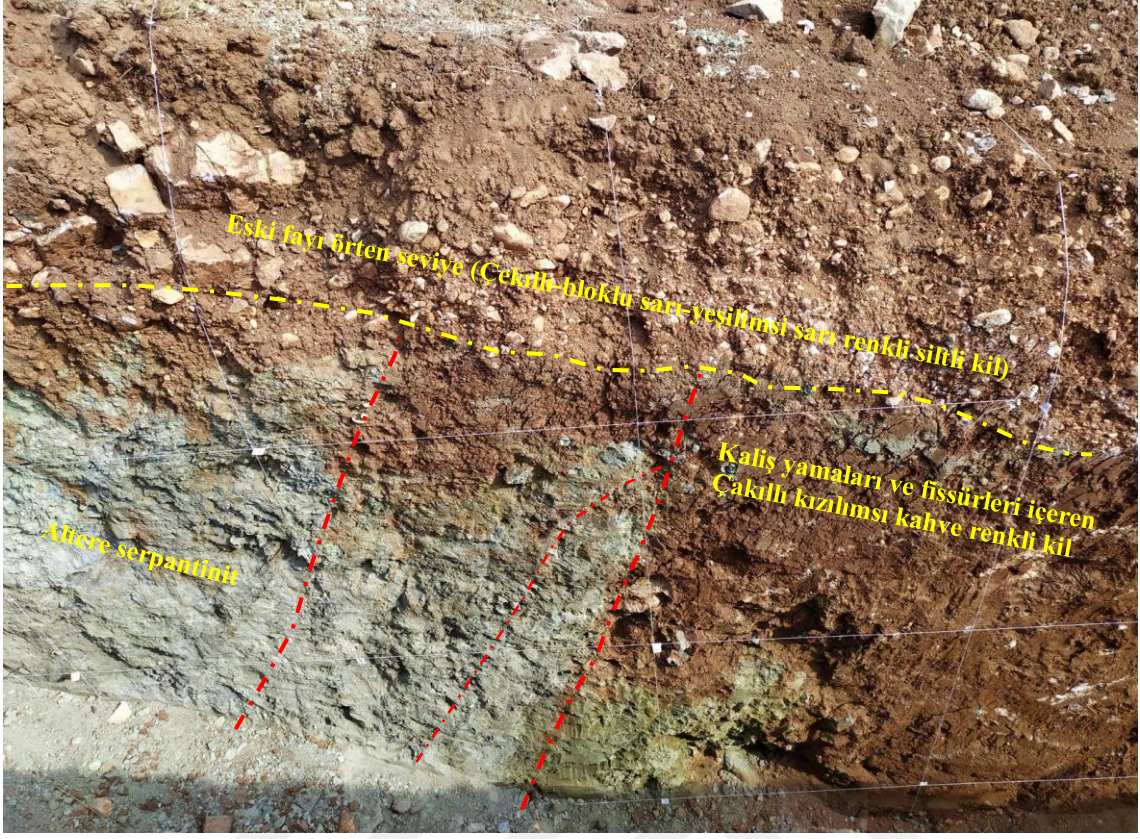
- Nispeten eski fayın kestiği birimin yaşının $\text{MÖ } 10.580 \pm 95$,
- Eski fayı örten, nispeten genç fay tarafından kesilen birimin yaşının $\text{MÖ } 4950 \pm 105$,
- Genç fayın kestiği bir diğer birimin yaşının $\text{MÖ } 3215 \pm 125$ olduğu tespit edilmiştir.



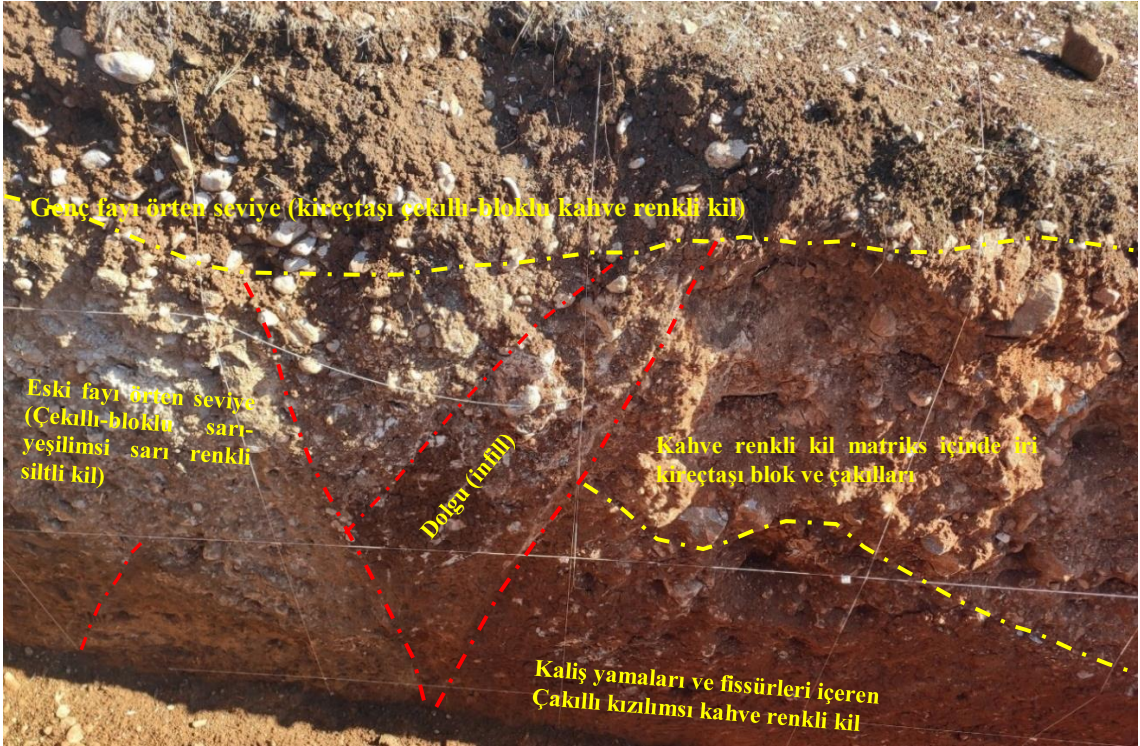
Şekil 78. Barış-1 ve Barış-2 hendeklerinin genel görünümü (güneye bakış).



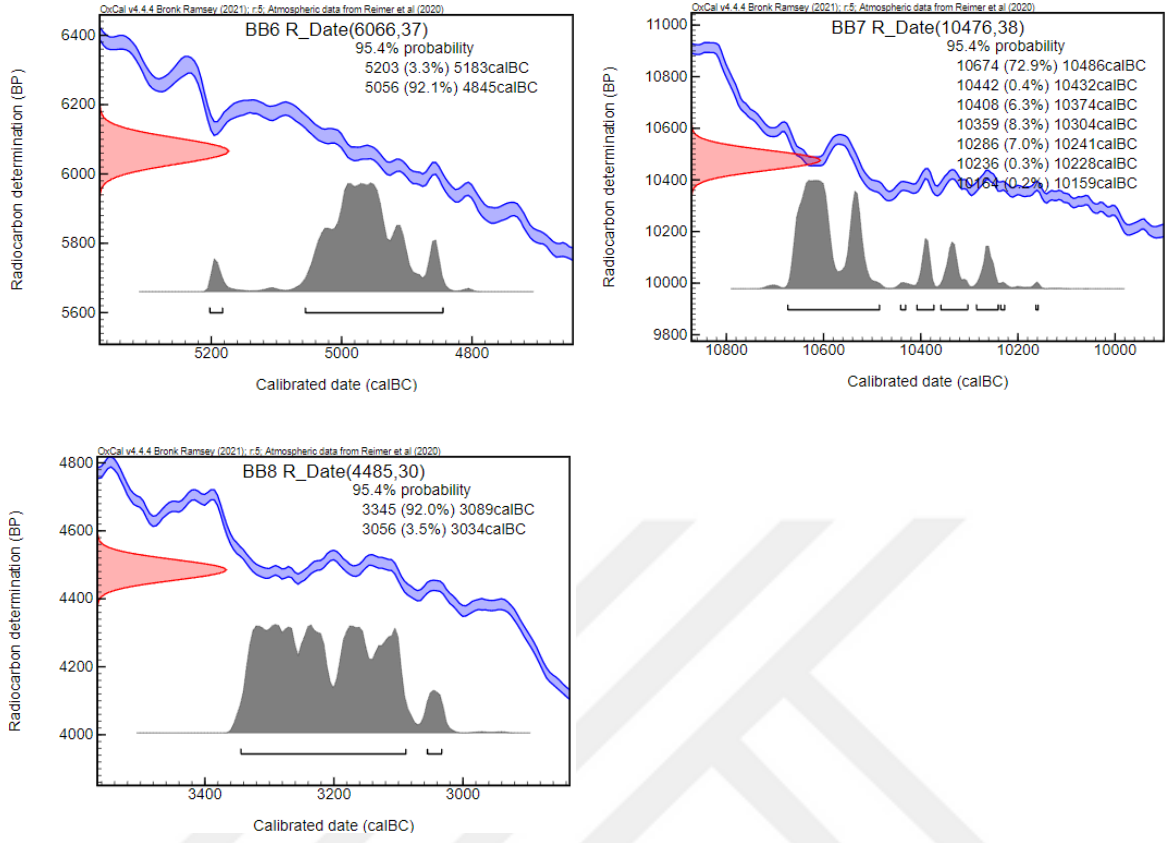
Şekil 79. Barış-1 hendeği doğu duvarının hendek logu.



Şekil 80. Barış-1 hendeği doğu duvarının 3. ve 4. metrelerinde görülen nispeten eski fay izi. Kırmızı kesikli çizgiler fayı göstermektedir.



Şekil 81. Barış-1 hendeği doğu duvarının 16. ve 17. metrelerinde görülen genç fay izi. Kırmızı kesikli çizgiler fayı göstermektedir.



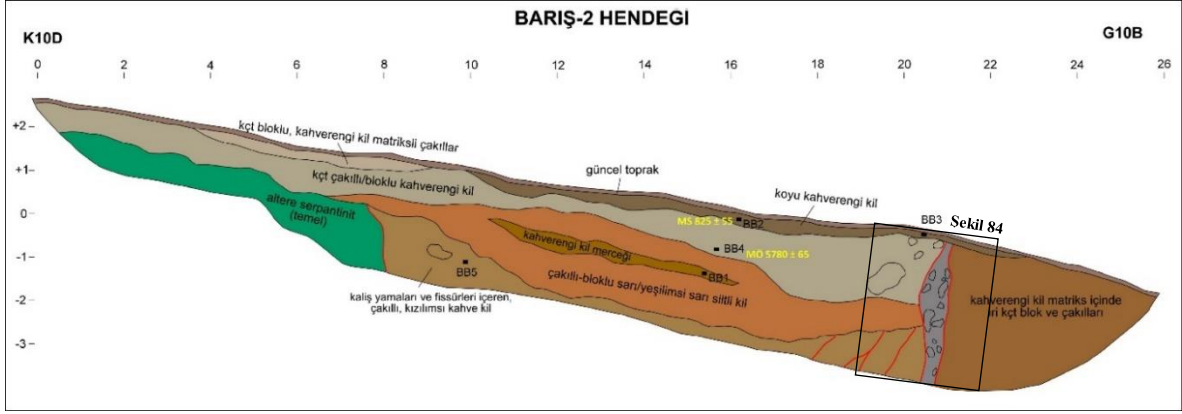
Şekil 82. Barış-1 hendeğinden alınan örneklerin laboratuvar sonucuna ait grafikler.

Barış-2 Hendeği

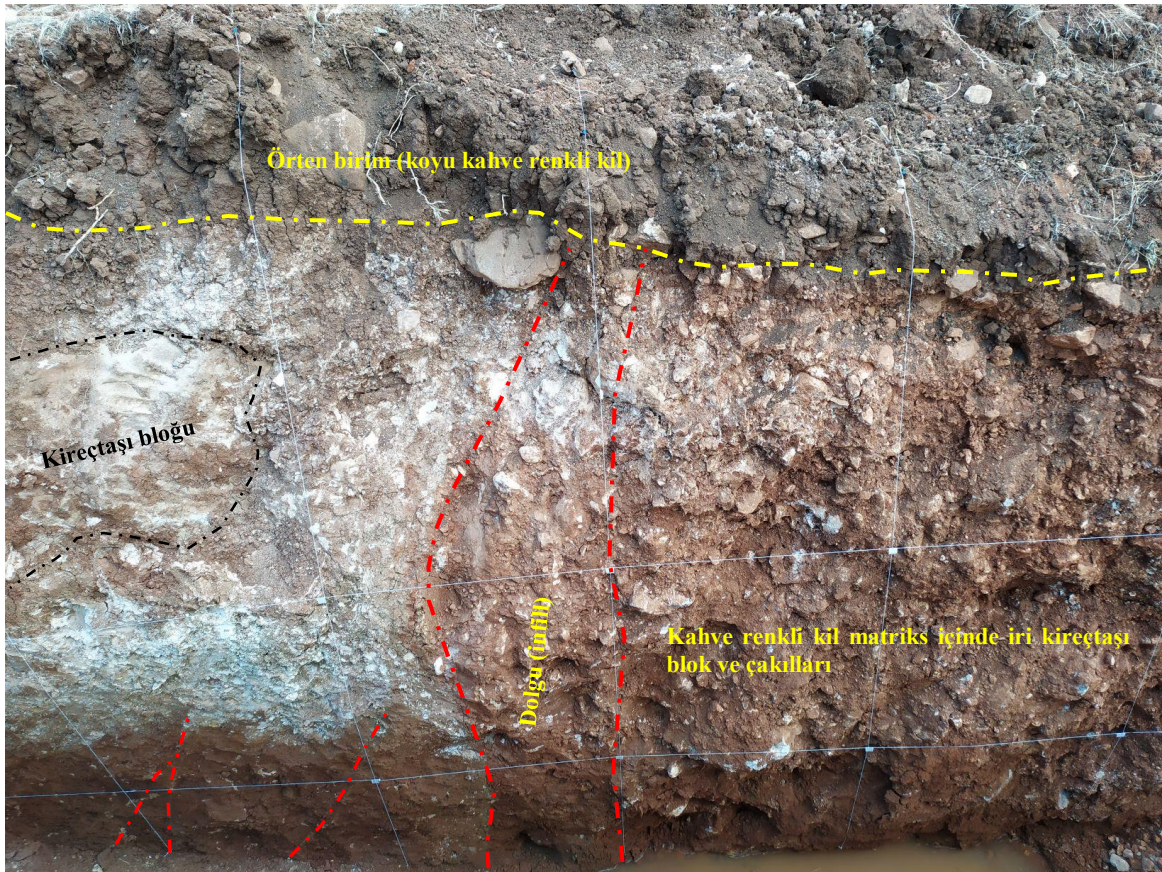
Bu hendek, Barış-1 hendeğinin 10 m doğusuna 26 m uzunluğunda, ortalama 3 m derinliğinde ve 120 cm genişliğinde kazılmıştır. Hendeğin doğu duvarında sırasıyla duvar temizleme, karelaaj, fotoğraflama ve loglama işlemleri yapılmıştır.

Barış-2 hendeğinde 6 stratigrafik birim, hendeğin 4-9 metreleri arasında kireçtaşı bloklulu kahve renkli kil matriksli çakıl bandı ve 11-16 metreleri arasında kahve renkli kil merceği tespit edilmiştir. Burada Barış-1 hendeğindeki 5 birime ilaveten, koyu kahve renkli kil birimi tespit edilmiştir (Şekil 83).

Hendeğin 8. metresinde Barış-1 hendeğinde gözlenen nispeten eski fayın devamı gözlenmiştir. Hendeğin 21. metresinde ise batı hendeğindeki genç fayın devamı daha net bir şekilde görülmüştür (Şekil 83 ve 84).



Şekil 83. Barış-2 hendeği doğu duvarının hendek logu.

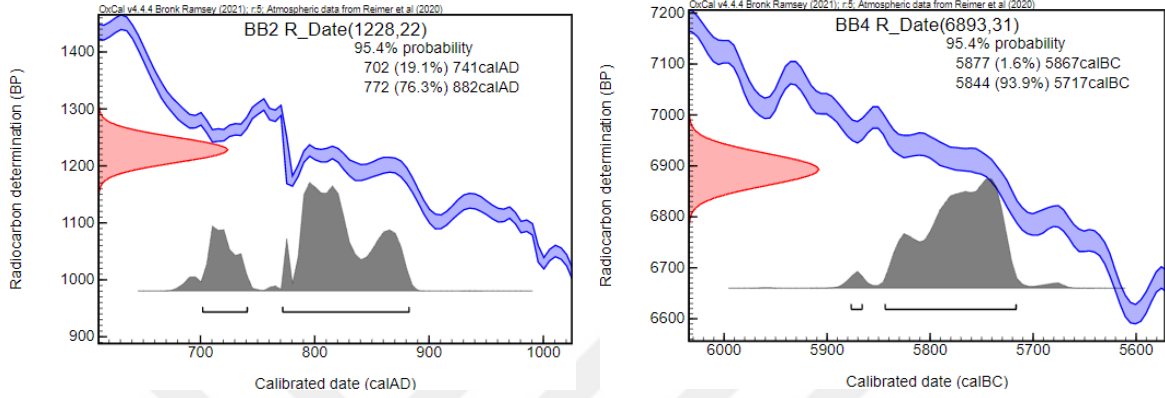


Şekil 84. Barış-2 hendeği doğu duvarının 21. metresinde görülen genç fay.

Hendeğin uygun noktalarından alınan örneklerden 2 tanesi C-14 yaş tayini analizi için laboratuvara gönderilmiştir. Laboratuvar sonuçlarına göre (Şekil 83 ve 85);

- Nispeten genç fayın kestiği birimin yaşının MÖ 5780 ± 65,
- Genç fayı örten birimin yaşının MS 825 ± 55 olduğu tespit edilmiştir.

Aralarında 10 m mesafe bulunan Barış-1 ve Barış-2 hendeklerinden alınan örneklerin laboratuvar sonuçları ve hendek verileri birlikte değerlendirildiğinde; Çardak Fayı'nın MÖ 10580 ±95-MÖ 5780 ±65 arasında en az bir adet, MÖ 3215 ±125-MS 825 ±55 arasında da bir adet yüzey kırığı oluşturmuş deprem ürettiği görülmüştür.



Şekil 85. Barış-2 hendeğinden alınan örneklerin laboratuvar sonucuna ait grafikler.

Nergele hendeği

Çardak Fayı üzerinde, Ekinözü ilçesinin yaklaşık 5 km güneydoğusunda açılmış olan bu hendeğe Nergele hendeği adı verilmiştir (Şekil 64). Hendek 31 metre uzunluğunda, ortalama 3 m derinliğinde ve 1,50 m genişliğinde kazılmıştır (Şekil 86). Hendek duvar temizliğinin ardından 1x1 metrelik karelaç ipleri çekilmiş ve fotoğrflama yapılmıştır (Şekil 87). Hendek duvarlarının logları milimetrik kâğıda çizilmiştir. Daha sonra bu hendek logu Corel Draw programı yardımıyla bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

Nergele hendeğinde 4 farklı stratigrafik birim kesilmiştir. Bu birimler yaşlıdan gence doğru; yer yer kireçtaşı blokları ve çakıl içeren pekleşmiş koyu kahve renkli kil, kireçtaşı blokları ve çakıl içeren kumlu kahve renkli kil, ince çakıllı kumlu sarımsı kahve renkli silt ve çakıllı, küçük bloklu ince taneli kahve rekli silt olarak sıralanabilir. Bu formasyonların içerisinde yer yer kireçtaşı blokları ve çakıllardan oluşan bantlar da gözlenmiştir (Şekil 88).

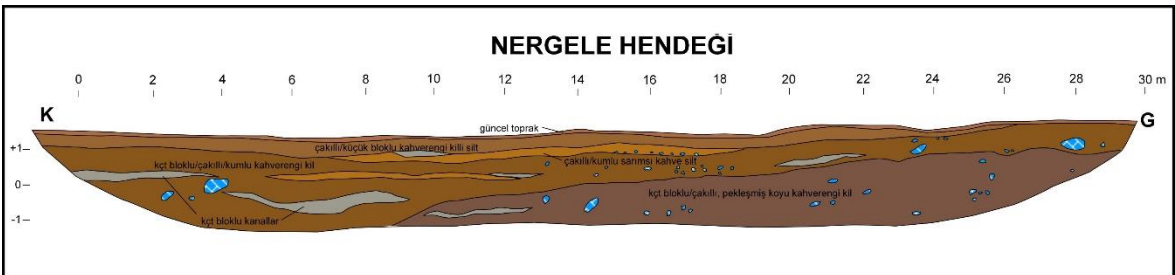
Nergele hendeğinde net bir deformasyona rastlanmamıştır. Hendeğin 4. ve 12. metreleri arasındaki 8 metrelik kısmı dere yatağı olduğundan yer yer kanal dolgusu gözlenmiştir. Bu hendeğin çeşitli seviyelerinden 5 adet numune alınmıştır, ancak örnekler laboratuvara gönderilmemiştir.



Şekil 86. Nergele hendeki genel görünümü (güneye bakış).



Şekil 87. a: Hendek duvarlarının temizlenmesi ve b: Karelaj iplerinin çekilmesi (kuzeye bakış).



Şekil 88. Nergele hendeki doğu duvarının hendek logu.

4.7. Tartışma

DAFZ kuzey kolunun Çelikhan ile Göksun arasındaki kesimini oluşturan Sürgü ve Çardak fayları bu tezin konusu olarak belirlenmiştir. Burada yapılan birçok eski ve yeni araştırmada Sürgü ve Çardak faylarının sol yanal doğrultu atımlı oldukları belirtilmiştir. Ancak bazı çalışmalarda uzaktan algılama yöntemleri, arazi gözlemleri ve fay kayma verilerine dayanılarak; Sürgü ve Çardak fay segmentlerinden oluşan Sürgü Fay Zonu'nun sağ yanal doğrultu atımlı olduğu ileri sürülmektedir (Koç, 2005; Sunkar vd., 2008; Koç ve Kaymakçı, 2013; Gülerce vd., 2017).

Bunlardan Koç (2005) ile Koç ve Kaymakçı (2013) tarafından Sürgü Fayı üzerinde yapılan çalışmada, fayın Çelikhan'da DAFZ'ndan ayrılarak Göksun'a kadar uzanan bir fay zonu olduğu belirtilmiştir. Çalışmada ağırlıklı olarak kullanılan uzaktan algılama yöntemleri, saha gözlemleri ve fay kayma verilerine dayanılarak fayın batı kesiminin ters bileşene sahip sağ yanal doğrultu atımlı, doğu kesiminin ise normal bileşenli sağ yanal doğrultu atımlı olduğu iddia edilmiştir. Bu iki çalışmada Sürgü Fay Zonunun sağ yanal hareketinin, Arabistan Plakası ile Anadolu Bloğu'nun K-G sıkıştırması sonucu Maraş Bloğu'nun batıya kaçması ile açıklanabileceği belirtilmiştir.

Bu doktora tezi kapsamında yapılan arazi çalışmaları, GE programı üzerinde yapılan gözlemler ve SYM üzerinde oluşturulan akarsu ağı yardımıyla inceleme alanında tespit edilen morfolojik ve yapısal unsurlar bu tezdeki "4.3. Yapısal Jeoloji" başlığı altında verilmiştir. Bu kapsamda Sürgü ve Çardak fayları boyunca görülen dere ve nehirler hem arazide, hem GE platformu üzerinde hem de SYM üzerinde oluşturulan akarsu ağı yardımıyla incelenmiş ve bu dere ve nehir yataklarının sola doğru 1030 metreye varan ötelenmeler gösterdikleri tespit edilmiştir.

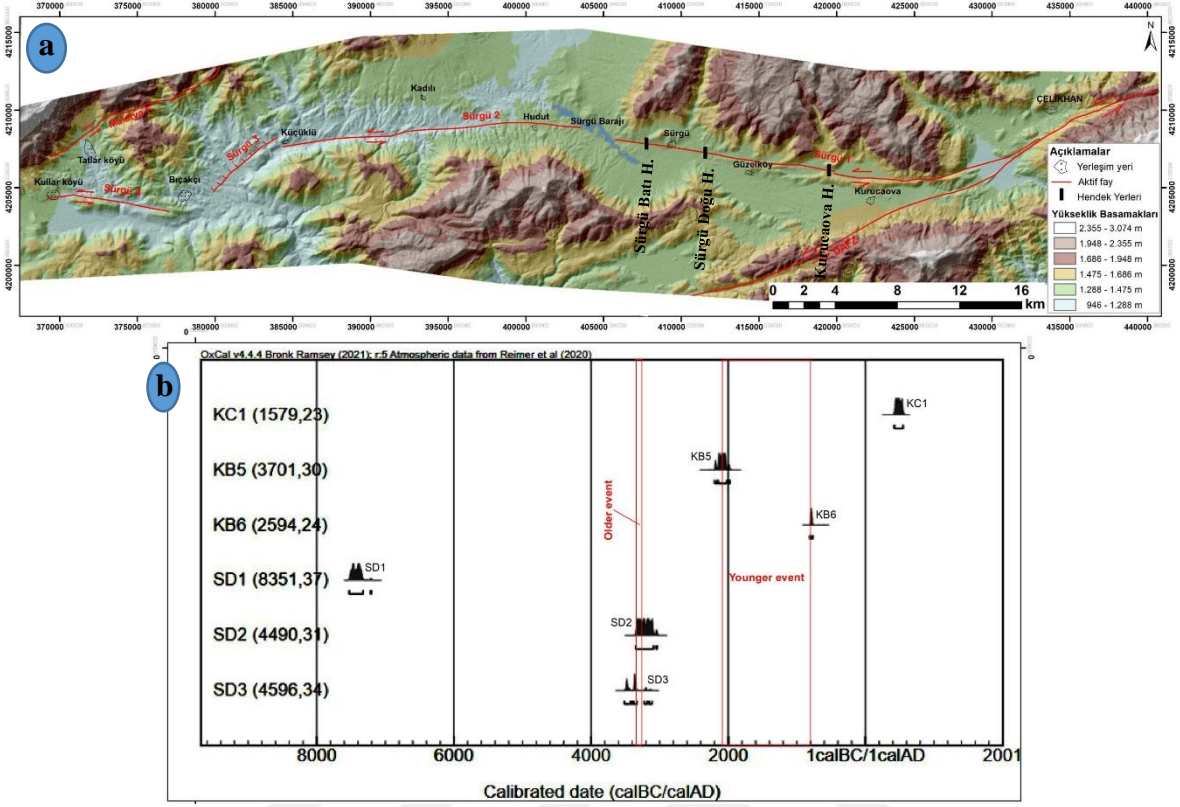
Kurucaova'nın KB'sında, Sürgü Fayı'nın sola sıçrama yaptığı yerde, bir basınç sırtının varlığı tespit edilmiştir (Şekil 25 ve 26). Buradaki fayın geometrisi ve sırtın konumu göz önünde bulundurulduğunda, sol yanal doğrultu atımlı bir fayın bu sırtın oluşmasında etkili olabileceği kanısına varılmıştır.

Koç ve Kaymakçı (2013), 1986 Doğanşehir depremlerinin Sürgü Fayı'ndan ziyade Malatya Fay Zonu (MFZ) veya DAFZ üzerinde gerçekleşmiş olabileceğini belirtmişlerdir. Çalışmada depremlerin meydana geldiği dönemde kayıt istasyonlarının günümüze göre daha az ve bölgeye uzak olduklarından deprem episantrlarının yanlış konumlanmış olabileceği, depremlerin net olarak hangi fay üzerinde gerçekleştiğinin anlaşılması için episantrlarının tekrar konumlanması gerektiği belirtilmiştir.

Depremlerin dış merkezlerinin inceleme alanındaki aktif faylara göre konumu incelendiğinde, deprem kaynağı için Sürgü Fayı'na alternatif olarak MFZ'nun olabileceği görülmektedir. Ancak hem bu çalışma kapsamında yapılan odak mekanizma çözümleri (Şekil 48), hem de daha önce yapılmış olan odak mekanizması çözümleri (Taymaz vd., 1991; Tan vd., 2008) söz konusu depremlerin MFZ'nundan ziyade Sürgü Fayı tarafından üretilmiş olduğunu göstermektedir (Şekil 49). Ayrıca MFZ'nun doğrultusu ve depremlerin odak mekanizması çözümleri göz önünde bulundurulduğunda, MFZ'nun bu depremleri üretebilmek için sağ yanal doğrultu atımlı olması gerektiği görülmektedir.

Paleosismolojik çalışmalar kapsamında 6 hendek kazısı yapılmıştır. Kazılan 6 hendeğin beşinden 12 adet numune alınarak C-14 yaş tayini analizi için TÜBİTAK-MAM bünyesindeki laboratuvara gönderilmiştir. Hendek çalışmaları ve laboratuvar sonuçları her bir fay için ayrı ayrı değerlendirilerek fayların davranış biçimi ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır.

Sürgü Fayı yaş sonuçlarının değerlendirilmesi: Sürgü Fayı üzerinde kazılan 3 hendekten alınan örneklerin laboratuvar sonuçları ve hendek verileri birlikte değerlendirildiğinde; Sürgü Fayı'nın Holosen döneminde biri MÖ 3350 civarında, biri de MÖ 2085 ±65 ile MÖ 790 ±20 arasında olmak üzere en az iki yüzey kırığı oluşturmuş deprem ürettiği söylenebilir (Şekil 89). Ayrıca bu fayın yaklaşık son 500 yılda yüzey kırığı oluşturmuş bir deprem üretmediği de tespit edilmiştir.

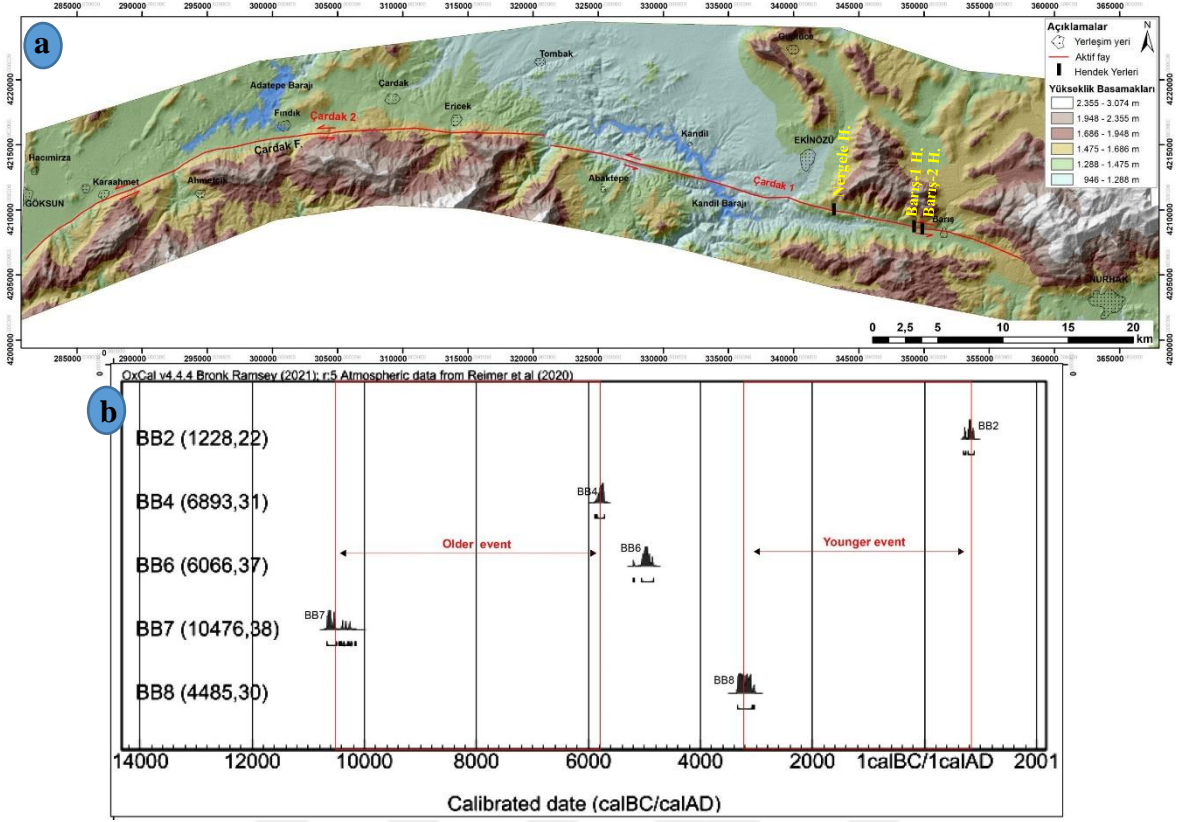


Şekil 89. a) Sürgü Fayı segmentleri ve hendek lokasyonlarının SYM üzerindeki görünümü. b) Sürgü Doğu ile Kurucaova hendeklerinden alınan örneklerin OxCal v4.4.4 kullanılarak kalibre edilmesi ve Sürgü Fayı'nda tespit edilen depremlerin yaş aralığını gösteren grafik (Bronk Ramsey, 2017; Reimer vd., 2020). KC1, KB5 ve KB6 Kurucaova hendeğinden, SD1 SD2 ve SD3 Sürgü Doğu hendeğinden alınan örneklerin örnek numaralarını göstermektedir.

Çardak Fayı yaş sonuçlarının değerlendirilmesi: Çardak Fayı üzerinde doktora tezi kapsamında kazılan 3 hendeğin ikisinden alınan örneklerin laboratuvar sonuçları ve hendek verileri birlikte değerlendirildiğinde;

- Barış-1 hendeği verilerine göre MÖ 10580 ±95 ile MÖ 4950 ±105 arası en az bir deprem, MÖ 3215 ±125 sonrasında da bir deprem olduğu söylenebilir.
- Baarış-2 hendeği verilerine göre ise MÖ 5780 ±65 öncesi en az bir deprem, MÖ 5780 ±65 ile MS 825 ±55 yılları arasında da en az bir deprem olduğu söylenebilir.

İki hendek arasındaki mesafe göz önünde bulundurularak Barış-1 ve Barış-2 hendeklerinden alınan örneklerin laboratuvar sonuçları ve hendek verileri birlikte değerlendirildiğinde; Çardak Fayı'nın MÖ 10580 ±95 ile MÖ 5780 ±65 arasında en az bir adet, MÖ 3215 ±125 ile MS 825 ±55 arasında da bir adet yüzey kırığı oluşturmuş deprem ürettiği görülmüştür (Şekil 90).



Şekil 90. a) Çardak Fayı segmentleri ve hendek lokasyonlarının SYM üzerindeki görünümü. b) Barış-1 ile Barış-2 hendeklerinden alınan örneklerin OxCal v4.4.4 kullanılarak kalibre edilmesi ve Çardak Fayı'nda tespit edilen depremlerin yaş aralığını gösteren grafik (Bronk Ramsey, 2017; Reimer vd., 2020). BB6, BB7 ve BB8 Barış-1 hendeğinden, BB2 ve BB4 Barış-2 hendeğinden alınan örneklerin örnek numaralarını göstermektedir.

Paleosismolojik veriler ışığında Sürgü ve Çardak faylarının üretmiş olduğu yüzey kırığı oluşturmuş depremler incelendiğinde; Sürgü Fayı'ndaki depremlerin aralıkları ile Çardak Fayı'ndaki depremlerin aralıklarının birbiri ile uyuşmadığı görülmektedir (Şekil 89 ve 90). Bu nedenle Sürgü ve Çardak faylarının tarihçelerinin farklı olduğu düşünülmektedir.

Sürgü ve Çardak faylarının birden çok yüzey kırığı oluşturmuş deprem üretmiş olmaları ve bu fayların yanal atımlı oldukları göz önünde bulundurulduğunda; Sürgü ve Çardak faylarının 7'den büyük deprem üretme potansiyellerinin olduğu söylenebilir.

BEŞİNCİ BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada DAFZ kuzey kolunun Çelikhane ile Göksun arasındaki kesimini oluşturan sol yanal doğrultu atımlı Sürgü ve Çardak faylarının morfolojik ve paleosismolojik özellikleri araştırılmıştır. İnceleme alanının jeolojik, jeomorfolojik, tektonik özelliklerine dair çalışmalar bulunsa da morfolojik ve paleosismolojik özelliklerine ait bir yayın bulunmamaktadır.

Doktora tezi kapsamında yapılan arazi çalışmaları, GE programı üzerinde yapılan gözlemler ve Sayısal Yükseklik Modeli haritası üzerinde oluşturulan akarsu ağı yardımıyla Sürgü ve Çardak fayları boyunca görülen dere ve nehir ötelenmeleri, fay sarplıkları, çizgisel vadi tabanı, küçük çöküntü havzaları, oluk yapısı, kapan sırtı, basınç sırtı gibi yapısal ve morfolojik unsurlar incelenmiştir. Yapılan incelemeler neticesinde Sürgü ve Çardak faylarının hâkim olarak sol yanal doğrultu atımlı, aktif birer fay oldukları anlaşılmıştır.

İnceleme alanında 16.06.2013 tarihinde meydana gelen Ekinözü depremi ile 1986 yılı Mayıs ve Haziran aylarında meydana gelen Doğanşehir depremlerinin dış merkezlerinin çalışma alanındaki aktif faylara göre konumu ve bu depremlerin odak mekanizması çözümleri incelenmiştir. İncelemeler neticesinde, her üç depremin asıl hareket düzlemlerinin yaklaşık D-B doğrultusundaki düzlemler olduğu görülmüş olup 1986 Doğanşehir depremlerinin Sürgü Fayı tarafından, 2013 Ekinözü depreminin de Çardak Fayı tarafından üretildiği kanısına varılmıştır. Ayrıca her üç depremin odak mekanizması çözümlerinden (Taymaz vd., 1991; Tan vd., 2008; Ekström vd., 2012; AFAD, 2021) yola çıkılarak, depremleri üreten kaynak fayların sol yanal doğrultu atımlı olduğu net bir şekilde söylenebilir. Sonuç olarak; Sürgü ve Çardak fayları tarafından üretilmiş olan bu depremler, yaklaşık K-G doğrultulu sıkışma rejimi altında gelişen sol yönlü doğrultu atımlı faylanmanın bölgede hâkim olduğunu göstermektedir (Şekil 49).

Morfometrik indis hesaplamaları kapsamında, inceleme alanındaki dağ önlerinde Sürgü Fayı'nda 4, Çardak Fayı'nda 3 adet olmak üzere toplam 7 adet Dağönü Eğriselliği (S_{mf}) değeri hesaplanmıştır. S_{mf} değerlerinin 1,21 ile 1,48 arasında değişmesi, inceleme

alanındaki havza gelişiminde erozyonal olaylardan ziyade tektonizmanın etkin olduğunu göstermektedir.

Çalışma alanındaki dağönleri ile ilişkili akarsu kanallarında Sürgü Fayı üzerinde 16, Çardak Fayı üzerinde 20 vadiden ortalama Vf değerleri elde edilmiştir. Ortalama Vf değerlerinin 0,20 ile 1,12 arasında değiştiği görülmüştür. İnceleme alanından elde edilen Smf ve Vf değerleri birlikte değerlendirildiğinde, Sürgü ve Çardak faylarının yüksek aktiviteye sahip oldukları söylenebilir.

İnceleme alanındaki 10 vadiye hesaplanan 77 akarsu uzunluk – gradyan indisi analizinde, Sürgü ve Çardak faylarına yakın kısımlarda yüksek anomali değerlerinin görülmesi, bu fayların bölgenin morfotektonik gelişiminde aktif rol aldıklarını göstermektedir. Özetle, yapılan morfometrik analizler neticesinde çalışma alanını kapsayan bölgenin evrimi ve bu evrim üzerinde tektonizmanın etkisi hakkında bilgi edinilmiştir.

Doktora tez çalışması ile Sürgü Fayı üzerinde 3, Çardak Fayı üzerinde 3 olmak üzere toplam 6 adet hendek çalışması yapılmıştır. Sürgü Fayı üzerinde kazılan toplam 3 hendekten (Şekil 89) alınan örneklerin laboratuvar sonuçları ve hendek verileri birlikte değerlendirildiğinde; Sürgü Fayı'nın Holosen döneminde biri MÖ 3350 civarında, biri de MÖ 790 ±20-MÖ 2085 ±65 arasında olmak üzere en az iki yüzey kırığı oluşturmuş deprem ürettiği söylenebilir. Ayrıca bu fayın yaklaşık son 500 yılda yüzey kırığı oluşturmuş bir deprem üretmediği de tespit edilmiştir.

Çardak Fayı üzerindeki 3 hendeğin ikisinden (Şekil 90) alınan örneklerin laboratuvar sonuçları ve hendek verileri birlikte değerlendirildiğinde; Çardak Fayı'nın MÖ 10580 ±95 ile MÖ 5780 ±65 arasında en az bir adet, MÖ 3215 ±125 ile MS 825 ±55 arasında da bir adet yüzey kırığı oluşturmuş deprem ürettiği kanısına varılmıştır.

Ayrıca tez çalışmasından, Sürgü ile Çardak faylarının tarihçelerinin farklı olduğu ve bu fayların ayrı ayrı 7'den büyük deprem üretme potansiyellerinin olduğu anlaşılmıştır.

KAYNAKÇA

- AFAD, (2021). Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı. Erişim: <https://deprem.afad.gov.tr/faycozumleri>
- Akyüz, H. S., Karabacak, V., Zabcı, C., (2014). Paleoseismic Trenching. *Encyclopedia of Earthquake Engineering*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Allen, C.R. (1969). Active faulting in northern Turkey, Contr.1577. *Division of Geology Sciences*, California Institute of Technology, 32 s.
- Altınlı, İ.E. (1963). Explanatory text of the Geological Map of Turkey of 1:500000 scale; Erzurum sheet, *Institute of Mineral Research and Exploration Report*, Ankara.
- Ambraseys, N.N. (1989). Temporary Seismic Quiescence: SE Turkey, *Geophysical Journal International*, 96, 311-331 s.
- Ambraseys, N. (2009). Earthquakes in the Mediterranean and Middle East: a multidisciplinary study of seismicity up to 1900. *Cambridge University Press*.
- Arpat, E. ve Şaroğlu, F. (1972). Doğu Anadolu Fayı ile ilgili bazı gözlemler ve düşünceler, *MTA Dergisi*, 78, 44-50 s. 107
- Arpat, E. ve Şaroğlu, F. (1975). Türkiye'deki bazı önemli genç tektonik olaylar, *TJK Bülteni*, 18, 91-101 s.
- ASF, (2020). Alaska Satellite Facility Data Search User Manual, Retrieved from: <https://search.asf.alaska.edu/#/>
- Balkaya, M., Özden, S., Akyüz, H. S. (2021). Morphometric and Morphotectonic characteristics of Sürgü and Çardak Faults (East Anatolian Fault Zone). *Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*, 7(3), 375-392. DOI: <https://doi.org/10.28979/jarnas.939075>
- Barka, A.A., ve Kadinsky-Cade K.1(1988). Strike-slip fault geometry in Turkey and influence on earthquake activity. *Tectonics*, Vol.7, No 3, pp.663-684.
- Basmenji, M., Sancar, T., Dikbas, A., Boulton, S., Akyuz, H. S. (2021). Tectonic geomorphology of the Yatağan Fault (Muğla, SW Turkey): implications for quantifying vertical slip rates along active normal faults.

- Baydar, O. (1989). Berit-Kandil dağları (Kahramanmaraş) ve civarının jeolojisi (Doktora Tezi. İstanbul Üniversitesi, 248 s., İstanbul (yayımlanmamış)).
- Baydar, O., Yergök, A. F. (1996). Güneydogu Anadolu-Kenar Kıvrım Kusagı-Amanos Dağları Kuzeyi ve Dogu Torosların Jeolojisi. Jeoloji Etütleri Dairesi, 90.
- Bayülke, N., Büyükköse, N., İnan, E., Gencoğlu, S., Koşan, U., Hürata, A., Yılmaz, R. (1986). 5 Mayıs ve 6 Haziran 1986 Doğanşehir Depremleri Raporu. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı yayınları, Ankara.
- Bedi, Y., Yusufoglu, H. (2018). 1/100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Malatya-L40 paftası, no: 261, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Bronk Ramsey, C. (2017). Methods for summarizing radiocarbon datasets. *Radiocarbon*, 59(6), 1809-1833.
- Çoban, M., Dalkılıç, H. (2018). 1/100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Şanlıurfa-M39 paftası, no: 262, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Bull, W.B. (2008). Tectonic geomorphology of mountains: a new approach to paleoseismology. *John Wiley and Sons*, Oxford, 315 s.
- Buluş, E., Özer A. M., Oskay, T. (2005). Paleosismolojik Çalışmalarda Lüminesans Yöntemlerle Yaş Tayini Tespiti ve Kocaeli Fayından Alınan Örnekler Üzerinde Optik Uyarmalı Lüminesans Yöntem (OSL) ile Yapılan Bir Çalışma, *Deprem Sempozyumu*, 23-25 Mart 2015 Kocaeli.
- Coşkuner, B., Eren, Y., Demircioğlu, R., Aksoy, R. (2019). Fethiye Burdur Fay Zonu'nun Kuzeydogu Kesiminin (Burdur-Güneybatı Anadolu) Göreceli Tektonik Aktivitesinin Jeomorfik İndislerle İncelenmesi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 62(3), 221-246.
- Dewey, J.F., Hempton, M.R., Kidd, W.S.F., Şaroğlu, F., Şengör, A.M.C. (1986). Shortening of continental lithosphere: the neotectonics of Eastern Anatolia-a young collision zone, *Geology Society London*, Special Publication, 19, 3-36 s.
- Duman, T.Y., Emre, O., (2013). The East Anatolian fault: geometry, segmentation and jog characteristics. *GeolSoc* 372:495–529. DOI: <https://doi.org/10.1144/SP372.14>

- Duman, T. Y., Elmacı, H., Özalp, S., Kürçer, A., Kara, M., Özdemir, E., ... Güldoğan, Ç. U. (2020). Paleoseismology of the western Sürgü–Misis fault system: East Anatolian Fault, Turkey. *Mediterranean Geoscience Reviews*, 2(3), 411-437.
- Ekström G, Nettles M, Dziewonski AM (2012). The Global CMT project 2004-2010: centroid-moment tensors for 13,017 earthquakes. *Phys Earth Planet Inter* 200-201:1-9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pepi.2012.04.002>
- El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernández, T., Chacón, J., & Keller, E. A. (2008). Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain). *Geomorphology*, 96(1-2), 150-173. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.08.004>
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Elmacı H., Olgun Ş., Şaroğlu F. (2013). Active fault map of Turkey with an explanatory text 1:1,250,000 scale. *General Directorate of Mineral Research and Exploration, Special Publication Series 30*.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Şaroğlu, F., Olgun, Ş., Elmacı, H., Çan, T. (2016). Active fault database of Turkey. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 1-47. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10518-016-0041-2>
- Ercan, A., (1979). Doğu Anadolu Fayı üzerinde Küçük Deprem Çalışmaları. *Yeryuvarı ve İnsan* 2, 21-30
- Erdağ, D. Ş., Tüysüz, O., Akyüz, S., (2009). Ecemiş Fay Zonu'nun morfotektonik özellikleri ve morfometrik analizi. *İTÜ Dergisi/d*, 8(5).
- EREN, M. (2006). Kalış oluşumu ve özellikleri. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 30(2), 1-8.
- Erkmen, C., Eravcı, B., Özsaraç, V., Yaman, M., Tekin, B. M., Albayrak, H., ... ve Tepeuğur, E. (2009). Doğu Anadolu Fayı'nın Paleosismolojisi; Pilot Bölge Gölbaşı-Türkoğlu Arası. TUJJB Ulusal Deprem Programı Proje No: TUJJB-UDP-1-07, Ankara.
- Gel, A. C., (2006). Akçaluşağı (Kozan) Fay Zonunda Meydana Gelen Tarihsel Depremlerin Paleosismoloji Teknikleriyle Araştırılması, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

- Gökçe, O., Tüfekçi, M. K., Gürboğa, Ş., (2014). Yüzey Faylanması Tehlikesinin Değerlendirilmesi ve Fay Sakınım Bantlarının Oluşturulması, T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.
- Guidoboni, E., Comastri, A., Traina, G., & Rom Istituto Nazionale di Geofisica. (1994). Catalogue of Ancient Earthquakes in the Mediterranean Area up to the 10th Century (p. 504). Rome: Istituto nazionale di geofisica.
- Guidoboni, E., Comastri, A. (2005). Catalogue of Earthquakes and Tsunamis in the Mediterranean Area from the 11th to the 15th Century (p. 1037). Rome, Italy: Istituto nazionale di geofisica e vulcanologia.
- Gülen, L., Barka, A., Toksöz, M.N. (1987). Kıtaların Çarpışması ile ilgili Kompleks Deformasyon, Maraş Üçlü Eklemleri ve Çevre Yapıları, *Yerbilimleri* 14, 319-336.
- Gülerce, Z., Tanvir Shah, S., Menekşe, A., Arda Özacar, A., Kaymakci, N., Önder Çetin, K. (2017). Probabilistic seismic-hazard assessment for East Anatolian fault zone using planar fault source models. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 107(5), 2353-2366. DOI: <https://doi.org/10.1785/0120170009>
- Hack, J. T. (1973). Stream-profile analysis and stream gradient index. *Journal of Research of the US Geological Survey*, 1 (4), 421-429.
- Herece, E. (2008). Doğu Anadolu Fayı (DAF) Atlası. *General Directorate of Mineral Research and Exploration*. Special Publications, Ankara, Serial Number, 13, 359.
- Herece, E., & Akay, E. (1992). Karlıova-Çelikhan arasında Doğu Anadolu Fayı. *Türkiye*, 9, 361-372.
- İmamoğlu M. Ş., Çetin, E., (2007). Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve Yakın Yöresinin Depremselliği, *Dicle Üniversitesi Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi Dergisi*, sayı: 10, Diyarbakır.
- Keller, E.A., Pinter, N., (2002). Active tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape (2nd Edn.): New Jersey, PrenticeHall, 432 p.
- Ketin, İ. (1968). Relations between general tectonic features and the main earthquake regions of Turkey, *MTA Bülteni*, Ankara.

- Khalifa, A., Cakir, Z., Owen, L., Kaya, Ş. (2018). Morphotectonic analysis of the East Anatolian Fault, Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 27(2), 110-126. DOI: <https://doi.org/10.3906/yer-1707-16>
- Kiratzi, A. (1993). A study on the active crustal deformation of the North and East Anatolian Fault Zones, *Tectonophysics*, 225, 191-203.
- Koç, A. (2005). Remote Sensing Study of Sürgü Fault Zone (Malatya, Turkey). Master Thesis (Unpublished), Ankara.
- Koç, A., Kaymakci, N. (2013). Kinematics of Sürgü Fault Zone (Malatya, Turkey): A remote sensing study, *Journal of Geodynamics*, 65, 292-307. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jog.2012.08.001>
- KRDAE, (2021). Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü - Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi. Erişim: <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/indexeng.asp>
- Korkmaz, H., Karabulut, M., Gürbüz, M., (2008). Göksun'da Yerel Zemin Özellikleri İle Deprem Etkisi Arasındaki İlişki. *100. Yılında Göksun Sempozyumu*, Kahramanmaraş.
- Kozlu, H. (1987). Misis-Andırın Dolaylarının Stratigrafisi ve Yapısal Evrimi. *Türkiye 7. Petrol Kongresi Bild.*, sf.104-116, Ankara.
- Köküm, M. ve Özçelik, F. (2020). An example study on re-evaluation of historical earthquakes: 1789 Palu (Elazığ) earthquake, Eastern Anatolia, Turkey. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 161(161), 157-170.
- Köle, M.M. (2016). Devrez Çayı vadisinin tektonik özelliklerinin morfolojik indisler ile araştırılması, *İstanbul Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi Coğrafya Dergisi*, 33, 21-36. Retrieved from: <http://www.journals.istanbul.edu.tr/iucografya>.
- Lyberis, N., Tekin, Y., Chorowicz, J., Kasapoğlu, E., Gündoğdu, N. (1992). The East Anatolian Fault: an oblique collisional belt, *Tectonophysics*, 204, 1-15.
- McCalpin, J. P. (Ed.) 2009. Paleoseismology (Vol. 95). Academic press.
- McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., ... Kastens, K. (2000). Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics

in the eastern Mediterranean and Caucasus. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 105(B3), 5695-5719. DOI: <https://doi.org/10.1029/1999JB900351>

McKenzie, D.P. (1976). The East Anatolian fault: A major structure in eastern Turkey, *Earth and Planetary Science Letters*, 29, 189-193 s.

Metin, S., Ayhan, A., İnanç, A., Altun, İ., Keskin, H., Konuk, O., Karabalık, N. (1993). Saimbeyli-Andırın arasının jeolojisi. MTA Genel Müdürlüğü rapor no: 460, Ankara (yayımlanmamış).

Menekşe, A. (2016). Probabilistic seismic hazard assessment for East Anatolian fault zone using planar source models (Master's thesis).

MTA, (2014). 1/100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Elbistan-L37 ve L38, Malatya-L39 ve L40, Gaziantep-M37 ve M38, Şanlıurfa-M39 ve M40 paftaları. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Türkiye Jeoloji Veri Tabanı, Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı, Ankara.

Muehlberger, R.W., Gordon, M.B. (1987). Observations on the complexity of the East Anatolian Fault, Turkey, *J.Structural Geol.*, 9, 899-903.

Nalbant, S. S., McCloskey, J., Steacy, S., & Barka, A. A. (2002). Stress accumulation and increased seismic risk in eastern Turkey. *Earth and Planetary Science Letters*, 195(3-4), 291-298. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(01\)00592-1](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(01)00592-1)

Özdemir, M. A., & İnceöz, M. (2003). Doğu Anadolu fay zonunda (Karlıova-Türkoğlu Arasında) akarsu ötelenmelerinin tektonik verilerle karşılaştırılması. *Afyon Kocatepe Ü. Sosyal B. dergisi*, cilt: 5 sayı: 1

Özdemir, M. A., Sunkar, M. (2002). Çelikhan Ovası (Adıyaman) ve çevresinin jeomorfolojisi. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 12(1), 25-46.

Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., (2012). Tectonic geomorphology of the Spildağı high ranges, western Anatolia. *Geomorphology*, 173, 128-140. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.06.003>

Özgül, N., Turşucu, A., Özyardımcı, N., Şenol, M., Bingöl, İ., & Uysal, Ş. (1981). Munzur dağlarının jeolojisi. Ankara: Basılmamış MTA Raporu.

- Özşahin, E. (2015). Ganos Dağı ve yakın çevresinin tektonik jeomorfolojisi (Tekirdağ). *Journal of International Social Research*, 8(37).
- Palutoğlu, M., Şaşmaz, A. (2017). 29 Kasım 1795 Kahramanmaraş Depremi, Güney Türkiye. *MTA Dergisi* 155: 191-206, Ankara. DOI: <http://dx.doi.org/10.19076/mta.306690>
- Perinçek, D. (1978). Çelikhhan–Sincik–Koçali (Adıyaman İli) alanının jeoloji incelenmesi ve petrol olanaklarının araştırılması. İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Tatbiki Jeoloji Kürsüsü Doktora Tezi, 212.
- Perinçek, D. (1979). Geological investigation of the Çelikhhan-Sincik-Koçali area (Adıyaman province). İst. Üniv. Fen. Ed. Mec. Seri: B, 127-147.
- Perinçek, D., Kozlu, H. (1984). Stratigraphy and Structural Relations of the Units in the Afşin - Elbistan -Doğanşehir Region (Eastern Tauros). In: *Geology of Tauros Belt* (eds., O. Tekeli and M.C. Göncüoğlu). MTA, p.181-198.
- Perinçek, D., Günay, Y., Kozlu, H. (1987). Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki Yanal Atımlı Faylar İle İlgili Yeni Gözlemler, *Türkiye 7. Petrol Kongresi*, 89-103.
- Perinçek, D., & Eren, A. G. (1990). Doğru atımlı Doğu Anadolu Fayı ve Ölü Deniz Fay Zonları etki alanında gelişen Amik havzasının kökeni. *In Turkey 8th Petroleum Congress Proceedings* (pp. 180-192).
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., ... & Nadariya, M. (2006). GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 111(B5). DOI: <https://doi.org/10.1029/2005JB004051>
- Reimer, P. J., Austin, W. E., Bard, E., Bayliss, A., Blackwell, P. G., Ramsey, C. B., ... & Talamo, S. (2020). The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon*, 62(4), 725-757.
- Riedel, W. (1929). Zur Mechanik geologischer Brucherscheinungen ein Beitrag zum Problem der Fiederspatten. *Zentbl. Miner. Geol. Palaont. Abt.*, 354-368.

- Rockwell, T.K., Keller, E.A., & Johnson, D.L. (1984). Tectonic geomorphology of alluvial fans and mountain fronts near Andntura, California. *Tectonic Geomorphology*, 183-207.
- Saber, R., Isik, V., Caglayan, A. (2018). Assessment of relative tectonics activity along Aras Valley (NW Iran) using morphometric indices. *Paper presented at: The 36th national and the 3rd international geosciences congress*, Tehran, Iran.
- Sançar, T. (2014). Karlıova Üçlü Eklemi'nin Kuvaterner evrimi, Doktora Tezi, İTÜ, İstanbul.
- Sançar, T. (2018). Yüksekova Havzası'nın (Güneydoğu Türkiye) Yükselim Hızı Tarihçesi'nin Araştırılması. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 61(2), 207-240. DOI: <https://doi.org/10.25288/tjb.439182>
- Selby, M. J. (1980). A rock mass strength classification for geomorphic purposes: with tests from Antarctica and New Zealand. *Zeitschrift für Geomorphologie Stuttgart*, 24 (1), 31-51.
- Selçuk, A. S. (2016). Evaluation of the relative tectonic activity in the eastern Lake Van basin, East Turkey. *Geomorphology*, 270, 9-21. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.07.009>
- Selçuk, A. S., Düzgün, M. (2017). Başkale Fay Zonu'nun Tektonik Jeomorfolojisi. *Maden Tetkik Ve Arama Dergisi*, (155), 33-47. DOI: <http://dx.doi.org/10.19076/mta.53825>
- Seymen, İ. ve Aydın, A. (1972). Bingöl Deprem Fayı ve Bunun Kuzey Anadolu Fay Zonu ile İlişkisi, *MTA Dergisi*, Sayı: 79, s: 1-9, Ankara.
- Silva, P.G., Goy, J.L., Zazo, C., Bardají, T. (2003). Fault generated mountain fronts in southeast Spain: Geomorphologic assessment of tectonic and seismic activity. *Geomorphology* 50, 203-225. DOI: 10.1016/S0169-555X(02)00215-5
- Sunkar, M., Günek, H., & Canpolat, C. (2008). Kurucaova ve Yakın Çevresinin (Malatya) Jeomorfolojisi. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi* Cilt: 18, Sayı: 2 Sayfa: 1-22, Elazığ.
- Sümengen, M., (2014a). 1/100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Gaziantep-M37 paftası, no: 215, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.

- Sümengen, M., (2014b). 1/100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Gaziantep-M38 paftası, no: 216, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Şaroğlu, F. (1985). Doğu Anadolu'nun neotektonik dönemde jeolojik ve yapısal evrimi. İstanbul Üniversitesi Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul.
- Şaroğlu F., Emre Ö., Boray A., (1987). Türkiye'nin Diri Fayları ve Depremsellikleri. MTA Genel Müdürlüğü, Rapor no: 8174, 394 s., Ankara.
- Şaroğlu, F., Emre, O., Kuşçu, I. (1992). The East Anatolian Fault Zone of Turkey. *Annalae Tectonicae* 6, 99–125.
- Şengör, A.M.C. (1980). Türkiye'nin neotektoniğinin esasları, *Türkiye jeoloji Kurumu, Konferans serisi: 2*, Ankara.
- Şengör, A.M.C., Görür, N., Şaroğlu, F. (1985). Strike slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape; Turkey as a case study, in: Biddle K.T., Christie-Blick N. (Eds.), *Strike-slip Faulting and Basin Formation, Soc.Econ.*
- Tan, O., Tapırdamaz, M. C., & Yörük, A. (2008). The earthquake catalogues for Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17(2), 405-418.
- Tarı, U., Tüysüz, O. (2011). İzmit Körfezi ve çevresinin morfotektoniği. *İTÜ Dergisi/d*, 7(1).
- Taymaz, T., Eyidoğan, H., Jackson, J. (1991). Source Parameters of Large Earthquakes in the East Anatolian Fault Zone (Turkey). *Geophys. J. Int.* 106, 537–550. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1991.tb06328.x>
- Topal, S. (2019). Evaluation of relative tectonic activity along the Priene-Sazlı Fault (Söke Basin, southwest Anatolia): Insights from geomorphic indices and drainage analysis. *Journal of Mountain Science*, 16(4). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.01.014>
- Topal, S., Keller, E., Bufe, A., Koçyiğit, A. (2016). Tectonic geomorphology of a large normal fault: Akşehir fault, SW Turkey. *Geomorphology*, 259, 55-69. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11629-018-5274-x>
- Troiani, F., Galve, J. P., Piacentini, D., Della Seta, M., & Guerrero, J. (2014). Spatial analysis of stream length-gradient (SL) index for detecting hillslope processes: a case of the

- Gállego River headwaters (Central Pyrenees, Spain). *Geomorphology*, 214, 183-197.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.02.004>
- Tuna, D. (1973). VI. Bölge litostratigrafi birimleri adlamasının açıklayıcı raporu. TPAO Arama Grubu.
- Usta, D., Ateş, Ş., Çoban, M., Deveci, Ö., Ekmekyapar, A., Sağlam F. M., Vural, A., Dinç, S. (2018). 1/100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Şanlıurfa-M40 paftası, no: 263, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Walker M., (2005). Quaternary Dating Methods. John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England. 306 p.
- Westaway, R. (2004). Kinematic Consistency between the Dead Sea Fault Zone and The Neogene and Quaternary Left-Lateral Faulting in SE Turkey. *Tectonophysics*, 391, 203–237. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2004.07.014>
- Yıldırım, C. (2014). Relative tectonic activity assessment of the Tuz Gölü fault zone; Central Anatolia, Turkey. *Tectonophysics*, 630, 183-192. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2014.05.023>
- Yılmaz, H., (2002). Sürgü Fayının Neotektonik Özellikleri. *Cumhuriyet Üniv. Müh. Fak. Dergisi*, Seri A-Yerbilimleri cilt: 19 sayı: 5sayfa 35-46, Sivas.
- Yılmaz, Y., Gürpınar, O., Gül, M. A., Kozlu, H., Yıldırım, M., Yiğitbaş, E., ...Keskin, M., (1985). Maraş Kuzeyinin Jeolojisi (Engizek-Berit-Nurhak-Binboğa-Andırın Dağları) Cilt: 1. İstanbul Üni. Mühendislik Fak. Döner Sermaye İşletmesi, İstanbul.
- Yılmaz, Y., Gürpınar, O., Kozlu, H., Gül, M. A., Yiğitbaş, E., Yıldırım, M., ... Keskin, M. (1987). Maraş Kuzeyinin Jeolojisi (Andırın-Berit-Engizek-Nurhak-Binboğa Dağları): Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı. Unpublished Report, (2028), 3.
- Yılmaz, H., Over, S., ve Ozden, S. (2006). Kinematics of The East Anatolian Fault Zone Between Turkoglu (Kahramanmaras) and Çelikhan (Adıyaman), Eastern Turkey. *Earth, planets and space*, 58(11), 1463-1473.
- Yiğitbaş, E. ve Yılmaz, Y. (1996). New evidence and solution to the Maden complex controversy of the Southeast Anatolian orogenic belt (Turkey), *Geol Rundsch*, 85, 250-263 s.

- Yönlü, Ö. (2012). Doğu anadolu fay zonu'nun Gölbaşı (Adıyaman) ile Karataş (Adana) arasındaki kesiminin geç kuvaterner aktivitesi (Doctoral dissertation, Eskişehir Osmangazi University).
- Yönlü, Ö., Altunel, E., Karabacak, V., Akyüz, H. S. (2013). Evolution of the Gölbaşı basin and its implications for the long-term offset on the East Anatolian Fault Zone, Turkey. *Journal of Geodynamics*, 65, 272-281. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jog.2012.04.013>
- Yüksel, Ö. (2009). Gölbaşı (Adıyaman) Dolayında Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin Paleosismisitesi ve Zeminlerin Değerlendirilmesi. Yayınlanmamış Yüksek Lisans tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 117s, Adana.
- Yürür, M. T. ve Chorowicz, J. (1998). Recent volcanism, tectonics and plate kinematics near the junction of the African, Arabian and Anatolian plates in the Eastern Mediterranean, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85, 1-15 s.

