

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ AVRASYA YER BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KARLIOVA ÜÇLÜ EKLEMİ'NİN KUVATERNER EVRİMİ

DOKTORA TEZİ

Taylan SANÇAR

Katı Yer Bilimleri Anabilim Dalı

Yer Sistem Bilimi Programı

NİSAN 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ AVRASYA YER BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KARLIOVA ÜÇLÜ EKLEMİ'NİN KUVATERNER EVRİMİ

DOKTORA TEZİ

**Taylan SANÇAR
(601062005)**

Katı Yer Bilimleri Anabilim Dalı

Yer Sistem Bilimi Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. H. Serdar AKYÜZ

NİSAN 2014

İTÜ, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü'nün 601062005 numaralı Doktora Öğrencisi **Taylan SANÇAR**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**Karlıova Üçlü Eklemi'nin Kuvaterner Evrimi**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. H. Serdar AKYÜZ**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Aral I. OKAY**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Erhan ALTUNEL

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Prof. Dr. Orhan TATAR

Cumhuriyet Üniversitesi

Doç. Dr. Ziyadin ÇAKIR

İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **10 Ocak 2014**

Savunma Tarihi : **4 Nisan 2014**

Memleketim Dersim'e,

ÖNSÖZ

Hayatın her alanında verilen mücadele de olduğu gibi, bilimsel bir problemi çözmek için verilen mücadele de kendi içerisinde pek çok özgünlük içerir. Problemin belirlenmesi, sonrasında yapılması gereken gözlemler, verilerin toplanması, ortaya uygun bir hipotez çıkartılması, ileri sürülen hipotezin test edilmesi ve konu ile ilgili bilim camiasına haber verilmesi gibi genel süreçleri ve içerisinde yer alan detayları öğrenmek akademik hayata yeni başlayan insanlar için çok zorlu ve sabır gerektiren bir aşamadır. Henüz yolun başında olan araştırmacılar için bütün bunları en doğru şekilde yapabilmek adına aldıkları sorumluluklar, çok büyük bir yükür.

Doktora tezimi yaparken üzerime almam gereken her yüke karşı beni önceden hazırlayan, taşıyamadağım zamanlarda sürekli yanımda olarak bana destek veren, doktora sürecinin sadece bilimsel zorluğunda değil aynı zamanda bu sürecin sosyal hayatıma olan etkilerinde de bana omuz veren, ağabeyim, arkadaşım ve danışmanım Prof. Dr. H. Serdar AKYÜZ, teşekkürü en çok borçlu olduğum kişidir. Umarım bana katkı sağladığı her şeyin borcunu bir gün ödeyebilme şansı yakalayabilirim.

Bu zorlu süreci, çok sağlam bir arkadaşın varlığı olmaksızın bitirmeyi hayal gücüm bile kaldırmıyor. Dr. Cengiz ZABCI ile yüksek lisans zamanında başlayan ve hayatımın geri kalanında da süreceğini bildiğim kardeşlik seviyesinde süren dostluğumun, bundan sonraki zamanlar için bana çok büyük bir güç kaynağı olacağını bilmek sevincini ve gururunu yaşadığımı belirtmek isterim.

Yrd. Doç. Dr. Gürsel SUNAL'ın samimi ve eleştirel yol göstericiliği ve arkadaşlığı akademik hayatım süresince benim için gizli bir hazine niteliğinde olmuştur. Hem tez çalışmamın her aşamasında hem de hayatımla ilgili diğer konularda başım sıkıştığı her an, ağabeyliğini sakınmadan sunduğu için kendisine minnettarım.

Tez izleme komitesi üyelerim olan Prof. Dr. Aral OKAY ve Prof. Dr. Erhan ALTUNEL'in eleştirileri ve yönlendirmeleri tezim için oldukça önemlidir. Prof. Dr. Aral OKAY'a kapısını her çaldığımda bana zaman ayırdığı için yaşamım boyunca minnettar kalacağım.

Değerli dostum Doç. Dr. Volkan KARABACAK Karlıova gibi zorlu bir arazide gerçekleştirilen paleosismolojik hendek çalışmalarında bizzat bulunarak tezime büyük katkı sağlamıştır.

Sevgili arkadaşlarım Dr. Kenan AKBAYRAM, Dr. Ufuk TARI, Dr. Gülsen UÇARKUŞ, Dr. Aynur AKYÜZ ve Yrd. Doç. Dr. M. Ersen AKSOY ihtiyacım olduğu zamanlarda desteklerini esirgememişler bilgi ve birikimleri ile sürekli yanımda olmuşlardır. Dr. Ufuk TARI'ya morfometrik analizler konusunu öğrenmem ve tezimde uygulamam sırasında, bana günlerce zaman ayırdığı için ayrıca teşekkür etmek isterim.

Doktora tezimin en önemli konularından biri olan Analog Model Çalışmaları sırasında, laboratuvarımı, bilgi ve tecrübesini samimiyetle paylaşan Bern Üniversitesi'nden Doç. Dr. Guido SCHREURS olmaksızın çalışmamı tamamlamak hayli zor olacaktı.

Aynı üniversiteden Prof. Dr. Igor VILLA jeokimya ile ilgili konularda çok fazla destek vermiştir.

Dr. Cengiz TAPIRDAMAZ'a paleomanyetizma konusunda sağladığı katkılardan dolayı teşekkürü borç bilirim.

İçinde olduğum ilk andan itibaren evimin sıcaklığını hissettiğim İ.T.Ü. Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü'nde çalışan herkese, sağladıkları çalışma ortamı için sonsuza kadar borçlu olduğumu belirtmek isterim. Böyle bir aile içerisinde yer almanın vermiş olduğu gururu hayatım boyunca taşıyacağım.

İ.T.Ü. Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde bulunan değerli hocalarım, lisansüstü eğitimim süresince bilgi ve birikimlerini, olanaklarını ve arkadaşlıklarını benden esirgememelerinden dolayı kendimi çok şanslı görmüşümdür. Kendilerine olan saygımı ve sevgimi özellikle belirtmek isterim.

Bu tez çalışması, “Karlıova Üçlü Eklemleri Civarında Göynük Fayı (Bingöl) ve Varto Fayının (Muş) Morfotektoniği, Fay Geometrisi Ve Kayma Hızı” adlı 109Y160 No’lu TÜBİTAK, “Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) üzerinde Ilgaz (Çankırı)-Karlıova (Bingöl) arasındaki ötelenmiş morfotektonik yapıların yaşlandırılması ile uzun dönem kayma hızının belirlenmesi” adlı 110Y059 No’lu TÜBİTAK, 2214-Yurt Dışı Araştırma Burs Programı (TÜBİTAK) ve İTÜ BAP Doktora projelerinin desteği ile gerçekleştirilmiştir

Bütün hayatım boyunca desteklerini hissettiğim aile fertlerimin, bana karşı göstermiş oldukları sevgi ve sabır olmasaydı tezimi bitirmem imkansız olurdu. Tezimin SANÇAR ailesine vermiş olduğu gurur benim için bitmeyecek bir heyecan kaynağıdır.

Ocak 2014

Taylan SANÇAR
(Jeoloji Yüksek Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xxvii
SUMMARY	xxix
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışma Alanı	3
1.2 Çalışma Amacı	4
1.3 Çalışma Süresince Veri Toplamada Kullanılan Yöntemler	6
1.3.1 Coğrafi bilgi sistemleri.....	6
1.3.2 Uzaktan algılama.....	6
1.3.2.1 Kullanılan görüntüler ve kapsadığı alanlar	6
Landsat görüntüleri	6
Aster görüntüleri	7
Spot görüntüleri.....	8
Sayısal yükseklik modelleri ve topoğrafya haritaları.....	8
Hava fotoğrafları	9
1.3.3 Jeomorfoloji	10
1.3.4 Morfotektonik analizler.....	10
1.3.4.1 Morfotektonik indisler	12
Nehirlerin boyuna profilleri	12
Hipsometrik eğri ve hipsometrik integral	12
1.3.5 Paleosismoloji çalışmaları.....	14
1.3.6 Arazi çalışmaları	15
1.3.6.1 Jeolojik haritalama	15
1.3.6.2 Fayların haritalanması.....	15
1.3.6.3 Jeomorfolojik yapıların haritalanması	15
1.3.7 Analog model çalışmaları	15
1.3.7.1 Analog modelde kullanılan granüler ve viskoz materyallerin mekanik özellikleri	17
2. TÜRKİYE'DE NEO-TEKTONİK DÖNEMDE OLUŞMUŞ BAZI YAPILAR	19
2.1 Giriş.....	19
2.2 Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ)	19
2.2.1 Giriş.....	19
2.2.2 KAFZ üzerinde yapılan önceki çalışmalar.....	21
2.3 Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ).....	27
2.3.1 Giriş.....	27

2.3.2 DAFZ üzerinde yapılan önceki çalışmalar.....	27
2.4 Varto Fay Zonu (VFZ)	30
2.5 Karlıova Üçlü Eklemi (KÜE).....	32
2.5.1 KÜE civarının jeolojisi	32
2.5.1.1 Metamorfik kayalar	32
2.5.1.2 Kazan formasyonu.....	32
2.5.1.3 Solhan formasyonu.....	33
2.5.1.4 Karlıova volkanitleri	34
2.5.1.5 Zırnak formasyonu	34
2.5.1.6 Bingöl volkanitleri.....	35
2.5.1.7 Boran formasyonu	35
2.5.1.8 Kuvaterner çökelleri	36
2.5.2 KÜE'yi oluşturan faylar.....	36
2.5.2.1 Ilıpınar segmenti.....	36
2.5.2.2 Göynük Segmenti	39
2.5.2.3 Varto Segmenti.....	40
2.5.3 KÜE'nin Mekaniği ve Oluşumu Hakkındaki Düşünceler	40
3. KARLIOVA ÜÇLÜ EKLEMİ (KÜE)'Nİ OLUŞTURAN ANA VE İKİNCİL FAYLARIN ÖZELLİKLERİ.....	45
3.1 KAFZ-Ilıpınar Segmenti'nin Özellikleri	45
3.1.1 Ilıpınar segmentinin geometrisi ve morfolojik özellikleri.....	45
3.1.1.1 Ilıpınar segmentinin geometrisi.....	45
3.1.1.2 Ilıpınar segmentinin morfolojik ve morfotektonik özellikleri.....	46
Yoncalık havzası	47
Yoncalık havzasının batısı	52
Ilıpınar segmentinin morfometrik özellikleri	57
3.1.2 Ilıpınar segmentinin üzerinde paleosismoloji çalışmaları.....	60
3.1.2.1 Yoncalık-1 hendeği	61
Faylanma ve deprem tarihçesi.....	65
3.1.2.2 Yoncalık-2 hendeği	66
Faylanma ve deprem tarihçesi.....	69
3.2 DAFZ-Göynük Segmenti'nin Özellikleri.....	72
3.2.1 Göynük segmentinin geometrisi ve morfolojik özellikleri	72
3.2.1.1 Göynük segmentinin geometrisi.....	72
3.2.1.2 Göynük segmentinin morfolojik özellikleri	73
3.3 Varto Fay Zonu (VFZ)	79
3.3.1 VFZ'nin geometrisi.....	79
3.3.1.1 Varto segmenti'nin geometrisi ve morfolojik özellikleri.....	81
Varto segmentinin morfometrik özellikleri.....	86
3.3.1.2 Leylekdağ segmenti'nin geometrisi ve morfolojik özellikleri.....	89
3.3.1.3 Çayçatı segmenti'nin geometrisi ve morfolojik özellikleri	92
3.3.2 VFZ'nin deformasyon alanındaki yükselim hızı	94
3.4 Karlıova Üçlü Eklemi Civarındaki İkincil Fayların Özellikleri.....	99
3.4.1 KAFZ-DAFZ arasındaki ikincil fayların geometrik ve morfolojik özellikleri.....	99
3.4.2 KAFZ-DAFZ arasındaki ikincil fayların morfometrik özellikleri	103
3.4.3 DAFZ-VFZ arasındaki ikincil fayların geometrik ve morfolojik özellikleri	109
4. KARLIOVA ÜÇLÜ EKLEMİ CİVARININ KİNEMATİK EVRİMİ: TEORİK VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR	115

4.1 Giriş.....	115
4.2 Karlova Üçlü Eklemleri Batısında Faylanmanın Mekanikliği : Teorik Çalışmalar	118
4.2.1 Prandtl hücre modeli ve gelişimi	118
4.2.2 Sıkışmalı pasif hücre modelleri ile KÜE batısının karşılaştırılması	120
4.3 Karlova Üçlü Eklemleri Doğusunda Faylanmanın Mekanikliği	124
4.3.1 Makaslama zonlarında gelişen fayların mekanikliği.....	124
4.3.2 Makaslama zonlarında gelişen faylar ile KÜE doğusunun karşılaştırılması	132
4.4 Deneysel Çalışmalar.....	139
4.4.1 Giriş.....	139
4.4.2 Deney-1	140
4.4.2.1 Deney-1 setinin tasarımı	140
4.4.2.2 Deney-1 sonuçları	143
4.4.3 Deney-2	152
4.4.3.1 Deney-2 setinin tasarımı	152
4.4.3.2 Deney-2 sonuçları	154
4.4.4 Deney-3	164
4.4.4.1 Deney-3 setinin tasarımı	164
4.4.4.2 Deney-3 sonuçları	167
4.5 Karlova Üçlü Eklemleri Civarının Deformasyon Özellikleri ile Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması	175
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR.....	181
5.1 KÜE Civarındaki Fayların Geometrisi, Kinematikliği ve Depremselliği ile İlgili Arazi Çalışmalarının Sonuçları	181
5.1.1 KAFZ-İlipınar segmenti.....	181
5.1.2 DAFZ-Göynük segmenti.....	184
5.1.3 Varto Fay Zonu	185
5.1.4 Karlova Üçlü Eklemleri'nin batısında yer alan ikincil faylar.....	188
5.1.5 Karlova Üçlü Eklemleri'nin doğusunda yer alan ikincil faylar.....	189
5.2 KÜE Civarındaki Fayların Geometrisi, Kinematikliği ile İlgili Analog Model Çalışmalarının Sonuçları	194
5.2.1 Deney-1	195
5.2.2 Deney-2	196
5.2.3 Deney-3	198
5.3 Tartışmalar	201
KAYNAKLAR	209
EKLER.....	223
ÖZGEÇMİŞ.....	239

KISALTMALAR

CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
DAF	: Doğu Anadolu Fayı
DAFZ	: Doğu Anadolu Fay Zonu
GPS	: Küresel Konumlandırma Sistemi (Global Positioning System)
KAF	: Kuzey Anadolu Fayı
KAFZ	: Kuzey Anadolu Fay Zonu
KAK	: Kuzey Anadolu Keirojeni
KAMZ	: Kuzey Anadolu Makaslama Zonu
KÜE	: Karlıova Üçlü Eklemleri
OSL	: Optik Uyarımlı Işınım (Optical Stimulated Luminescence)
ÖDFZ	: Ölü Deniz Fay Zonu
PDMS	: PoliDiMetil Siloksan
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
VFZ	: Varto Fay Zonu

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Granüler Materyalin Özellikleri.	18
Çizelge 3.1 : Peri çayı kuzeyinde yer alan drenaj alanlarına ait hipsometrik integral.	59
Çizelge 3.2 : Yoncalık-1 hendeğinden elde edilen 14C yaşları (Kalibrasyon eğrileri EK 3.1'de verilmiştir).....	66
Çizelge 3.3 : Yoncalık-2 hendeğinden elde edilen 14C yaşları (Kalibrasyon eğrileri EK 3.1'de verilmiştir).....	70
Çizelge 3.4 : Koşkar çayı terasından alınan numunelerin OSL yaş sonuçları.....	86
Çizelge 3.5 : Güllüce deresi kuzeyinde yer alan drenaj alanlarına ait hipsometrik integral değerleri.	89
Çizelge 3.6 : Güllüce deresi kuzeyinde yer alan drenaj alanlarına ait hipsometrik integral değerleri.	107
Çizelge 3.7 : Göynük çayı kuzeyinde yer alan drenaj alanlarına ait hipsometrik integral değerleri.	109

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Karlıova üçlü eklemine oluşturan ana fayların (Emre ve diğ., 2012a, b) genel konumu. KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu, DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu, VFZ: Varto Fay Zonu (Taban harita LandsAT görüntüsünden üretilmiştir).....	4
Şekil 1.2 : Çalışmada kullanılan Landsat 7 ETM görüntüsü.	7
Şekil 1.3 : Çalışmada kullanılan Aster görüntüsü.	7
Şekil 1.4 : Çalışmada kullanılan Spot görüntüsü.....	8
Şekil 1.5 : Çalışmada kullanılan Sayısal Yükseklik Modelleri.	9
Şekil 1.6 : Çalışmada kullanılan hava fotoğraflarının dağılımı.	10
Şekil 1.7 : Üç boyutlu olarak üretilen ortorektifiye edilmiş hava fotoğrafı.....	11
Şekil 1.8 : Hipsometrik integralin hesaplanma yöntemi (Şekil Tarı (2007)'den alınmıştır).	13
Şekil 1.9 : Hipsometrik eğri ve integralin morfolojik yorumuna örnekler.	14
Şekil 2.1 : Türkiye'de neo-tektonik dönem deformasyon yapıları (Bozkurt, 2001)..	20
Şekil 2.2 : KAFZ'nin deformasyon hızının zaman grafiği (Şengör ve diğ.,2005)....	24
Şekil 2.3 : Doğu Akdeniz'de levha sınırlarında gelişen olaylar neticesinde ortaya çıkan hareketin Avrasya levhası sabit kabul edilerek GPS ölçümleri ile belirlenen hızları ve hareket yönleri (Reilinger ve diğ., 2006).	26
Şekil 2.4 : Doğu Anadolu Fay Zonu'nun segmentleri (Duman ve Emre, 2013).....	28
Şekil 2.5 : 1966 Varto depreminde oluşan deformasyon zonları (Wallace, 1968)...	31
Şekil 2.6 : Güneybatı kırık zonunda oluşan çatlakların geometrisi (Wallace, 1968).31	
Şekil 2.7 : KAFZ'nin Erzincan ve Karlıova arasındaki bölümü, fay üzerindeki geometrik süreksizlikler dikkate alınarak 11 segmente ayrılmıştır (Barka ve Kadinsky-Cade, 1988).....	37
Şekil 2.8 : KÜE civarındaki GPS hız vektörleri (Beyaz oklar Reilinger ve diğ.(2006) verilerini, mavi oklar Özener ve diğ. (2010) verilerini gösterir.	39
Şekil 2.9 : DAFZ'nin Karlıova-Bingöl arası geometrisi (Duman ve Emre, 2013). ...	40
Şekil 2.10 : KÜE civarındaki deformasyonun gelişimini anlatan modelde B ve C arasındaki sınır Avrasya ve Arabistan levhaları arasındaki sınır ile eşleştirilmiştir (Şengör, 1979).	42
Şekil 2.11 : KÜE civarında Anadolu blokunun batıya hareketinin sonucu KÜE doğusunda oluşan sütur zonunun gelişimi (Barka ve Gülen, 1988).....	44
Şekil 3.1 : KAFZ'nin doğu kesiminin geometrisi ve segmentasyonu.....	46
Şekil 3.2 : Ilıpınar Segmenti'nin geometrisi.	46
Şekil 3.3 : Yoncalık havzası ile Zımak tepe arasında Ilıpınar segmentinin geometrisi.	47
Şekil 3.4 : Yoncalık havzasının doğusundan Zımak tepeye doğru bakıldığında fay morfolojik çizgisellik ile kendini belli eder (Doğuya bakış).	48

Şekil 3.5 : Yoncalık havzasının morfotektonik haritası (Pembe çizgiler Yoncalık havzasının sınırını oluşturmaktadır).....	49
Şekil 3.6 : Yoncalık havzasının kuzeyinde yer alan birikinti yelpazeleri (siyah oklar) ve aktif faylanma ile oluşmuş çizgisel çöküntü alanı (Kuzeye bakış). ...	50
Şekil 3.7 : Yoncalık havzasının güneyinde yaklaşık 80 m'lik dere ötelenmesi (Güneye bakış).	51
Şekil 3.8 : Yoncalık havzasının güneybatı ucunda görülen fay şevi (Batıya bakış)..	51
Şekil 3.9 : Yoncalık-İlipınar arası İlipınar segmentinin geometrisi ve uzun dönem aktivitesini temsil eden morfolojik yapılar (Taban harita LandsAT görüntüsünden elde edilmiştir).....	52
Şekil 3.10 : Yoncalık havzasının batısında fay K80B uzanımlı devam eder (Güneybatıya bakış).	52
Şekil 3.11 : Şekil 3.10'da gösterilen morfolojik çizgisellik üzerinde oluşmuş çöküntü alanlar (Güneybatıya bakış).....	53
Şekil 3.12 : İlipınar segmentinin uzun dönem aktivitesi ile oluşmuş 22 m lik dere ötelenmesi (Kantarkaya güneydoğusu, Güneye bakış).	53
Şekil 3.13 : Kantarkaya güneyinde uzamış sırtlar ile karakterize olan İlipınar segmentinin gidişatı K80B'dır (Güneye bakış).	53
Şekil 3.14 : Çatak güneyinde K75 B yönelimli fayın gidişatı eğer yapısı ve morfolojik diklik ile belirlenmiştir (Doğuya bakış).	54
Şekil 3.15 : Şekil 3.14'de gösterilen hattın batı ucunda bulunan siyah ok ile gösterilmiş eğer yapısı ve morfolojik çizgisellik (Çatak güneydoğusu, batıya bakış).	54
Şekil 3.16 : İlipınar segmentinin uzun dönem aktivitesini gösteren morfolojik veriler (Çatak güneyi).	55
Şekil 3.17 : İlipınar segmentinin batısında oluşmuş ikincil faylar. Kuzeydeki fay kolları K70B uzanımlı ana fayı oluşturmaktadır (İlipınar güneybatısı)..	56
Şekil 3.18 : İlipınar segmentinin batı ucunun geometrisi ve fayın uzun dönem aktivitesine ait veriler sunmaktadır.	56
Şekil 3.19 : Çatak-Kantararkaya arasında görülen traverten oluşumları çizgisel bir hat boyunca uzanmaktadır.....	57
Şekil 3.20 : Peri çayı kuzeyinde morfometrik analiz için seçilen drenaj alanları.....	58
Şekil 3.21 : Peri çayı kuzeyinde yer alan drenaj alanlarına ait boyuna profil eğrileri.	59
Şekil 3.22 : Peri çayı kuzeyinde yer alan drenaj alanlarına hipsometri eğrileri.	59
Şekil 3.23 : Karlıova Üçlü Eklemleri civarında tarihsel ve aletsel dönemde meydana gelmiş depremler ($M > 6$). Çeşitli renklerdeki kesik çizgiler bu depremlerin basitleştirilmiş ve yaklaşık olan yüzey kırıklarını temsil etmektedir (Akoğlu, 2007).	60
Şekil 3.24 : Yoncalık havzası civarında fayın konumu ve hendek lokasyonları.	62
Şekil 3.25 : Yoncalık-1 hendeğinin yeri. Mavi çizgi 16 m sağ yanal ötelenmiş kuru dere yatağının yerini göstermektedir (Bakış yönü güneydir).....	62
Şekil 3.26 : Yoncalık-1 hendeğinin genel görünümü (Bakış yönü kuzeydir).	63
Şekil 3.27 : Yoncalık-1 hendeğinin batı duvarının ölçekli logu. Log üzerindeki yaşlar milattan önceki tarihleri belirtmektedir.	64
Şekil 3.28 : Yoncalık-2 hendeği, K70B konumlu faya paralel çizgisel bir depresyon alanı üzerinde açılmıştır (Kuzeye bakış).	67
Şekil 3.29 : Yoncalık-2 hendeğinin batı duvarının ölçekli logu. Log üzerindeki yaşlar milattan önceki tarihleri belirtmektedir.	68

Şekil 3.30 : Yoncalık-2 hendeğinde görülen fay zonunun hendek tavanından oblik olarak çekilmiş fotoğrafı (a) ve fay zonunun yorumlanmış hali (b).	71
Şekil 3.31 : Göynük segmentinin arazi çalışmaları sonucunda belirlenen geometrisi.	72
Şekil 3.32 : Sakaveren köyü civarında Göynük segmentinin geometrisi ve faylanma ile ilişkili basınç sırtları. Basınç sırtlarının uzun eksenlerinin boyu 150 ila 400 m arasında değişmektedir.	73
Şekil 3.33 : Sakaveren köyü ile Irko gölü arasında Göynük segmentinin geometrisi, ve morfolojik özellikleri.	74
Şekil 3.34 : Irko tepeleri yöresinde görülen çizgisel çöküntü alanı, bu bölgede fayın üzerinde yer alan önemli morfotektonik yapılardan biridir. Bakış güneyden K-KD yönüne doğrudur.	75
Şekil 3.35 : Bedran köyü kuzeyi ile Boran köyü kuzeyi arasında yer alan fayın uzanımı.....	75
Şekil 3.36 : Bedran köyü kuzeyi ile Alpiran köyü güneyi arasında (a) faya ait açık bir arazi verisi elde edilememiştir(Bakış yönü güneyden kuzeye doğru) (b) Boran köyü kuzeydoğusundan itibaren fay arazide yeniden morfolojik çizgisellik ile kendini gösterir (Doğudan batıya bakış).	76
Şekil 3.37 : Boran-Kalecik köyleri arasında Göynük segmentinin geometrisi.	77
Şekil 3.38 : Çevligişeman köyünün yaklaşık 2 km kuzeydoğusundan güneybatıya bakışlı olarak çekilmiş bu fotoğrafta yaklaşık 100 m lik dere ötelenmesi ve sarı kesikli dikdörtgen içine alınmış (Şekil 20) yaklaşık 20 m lik dere ötelenmeleri, Şekil 18 de görülen fayın kuzey batı koluna ait morfolojik yapılardır.	77
Şekil 3.39 : Şekil 3.38’de sarı dikdörtgen ile işaretlenmiş alanda yer alan yaklaşık 15 ve 20 m’lik kümülatif dere ötelenmeleri (mavi kesikli çizgiler).	78
Şekil 3.40 : KB’dan giden fay kolunun devamında, faylanma ile ilişkili olarak gelişmiş herhangi bir morfolojik yapı belirlenememiştir.	78
Şekil 3.41 : Uzun eksenini siyah oklarla gösterilmiş bir basınç sırtı ve bunun hemen kenarını sınırlayan fay kolu bölgede fay kontrollü morfolojik yapılara ana örneklerden birini oluşturur.....	79
Şekil 3.42 : Resimdeki ufak siyah ok Şekil 3.41’deki sırtın uzun eksenini, beyaz alan ise bu sırtın güneyinde fay kontrolü ile açılmış küçük bir havzanın konumunu göstermektedir Aktif olan kol kuzeyde kalan fay parçasıdır (KB bakış).	79
Şekil 3.43 : Varto Fay Zonu’nun geometrisi, fay türleri ve bunların segmentasyonu.	80
Şekil 3.44 : VFZ segmentasyonu ve bölge halkının verdiği bilgilere dayanılarak koordinatlandırılmış yüzey deformasyonu görülen noktalar (beyaz oklar).	81
Şekil 3.45 : Varto segmenti civardaki morfolojik yapılar.	82
Şekil 3.46 : VFZ'nin KAFZ ile kesişim noktası ve bu civardaki morfolojik yapılar.	82
Şekil 3.47 : Zımak tepe kuzeyinde Varto segmentinin geometrisi kırmızı oklar ile gösterilmiştir (güneybatıya bakış).	83
Şekil 3.48 : Çallıdere Köyü kuzeyinde tepeler üzerindeki çizgisel çöküntü alanlar (kırmızı oklar ile gösterilen) K65B konumlu fayın yerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. (Güneydoğu bakış).	83
Şekil 3.49 : (a) İçmeler köyü civarında Varto segmentinin morfolojik özellikleri fayın konumunun K80B olduğunu göstermektedir.	84

Şekil 3.50 : Koşkar Çayı Varto Segmenti'nin denetiminde sağ yanal olarak yaklaşık 1500 ± 50 m ötelenmiştir.....	85
Şekil 3.51 : a) Koşkar Çayı'nın T1 teras seviyesinden alınan KS-1 ve KS-2 örnekleri üzerinde OSL ile yaş tayini yapılmıştır (Kuzeyden güneye bakış). (b) Şekil 3.51a'da sarı renkli kare ile gösterilen alanda oluşmuş T2, T3 ve T4 teras seviyeleri yanal olarak aşındırıldığı için yaşlandırılmamıştır (Bakış yönü batıdan doğuya).....	86
Şekil 3.52 : VFZ güneyindeki drenaj sistemi ve Güllüce Deresi kuzeyinde morfolojik analiz için seçilen drenaj alanları.....	87
Şekil 3.53 : Güllüce deresi kuzeyinde yer alan drenaj alanlarına ait boyuna profil eğrileri.	88
Şekil 3.54 : Güllüce deresi kuzeyinde yer alan drenaj alanlarına ait hipsometri eğrileri.	89
Şekil 3.55 : Leylekdağ ve Çayçatı Segmentlerinin Geometrisi.....	90
Şekil 3.56 : Teknedüzü Köyü civarında 1966 yılında yüzeyde oluşan deformasyon hatları beyaz oklar ile gösterilmiştir. Sarı ok ile gösterilen alüvyal yelpazenin sınırlarında herhangi bir değişiklik belirlenmemiştir (Bakış yönü KD).....	90
Şekil 3.57 : Leylek Dağının kuzey yamaçlarında 1966 depreminde çizgisel deformasyon alanları oluşmuştur (Kuzeyden güneye bakış). Beyaz ok ile gösterilen yer 1966 depremi sırasında deformasyona uğramıştır (Şekil 3.55).....	91
Şekil 3.58 : Şekil 3.57'de beyaz ok ile temsil edilen bölge. Kırmızı oklar Leylek Dağı kuzeyinde 1966 depreminde oluşmuş deformasyon alanlarını göstermektedir (Kuzeybatıdan güneydoğu yönüne bakış).....	91
Şekil 3.59 : Beyaz oklar boyunca meydana gelmiş deformasyon hattı Leylek Dağı batı ucunda yer alır. Sarı ok ile gösterilen yerde yanal olarak ötelenmiş tarla sınırları oluşmuştur (Kuzeydoğuya bakış).....	92
Şekil 3.60 : Leylek dağı güney yamaçları boyunca fay çizgisel bir hat olarak görülmektedir (Kuzeydoğuya bakış).....	93
Şekil 3.61 : Kolan köyü kuzeyinde Kolan dağı güney yamaçlarında 1966 depreminde oluşmuş deformasyon zonu beyaz oklar ile sınırlandırılmıştır (Kuzeye bakış).....	93
Şekil 3.62 : Dodan dağı güneyinde dışbükey bir hat şeklinde olan Çayçatı segmentinin (a), Çayçatı kuzeybatısında kalan kısmı (b) 1966 depremi sırasında çok geniş bir deformasyon zonu oluşturmuştur (Bakış yönü a için güneyden kuzeye, b için güneybatıdan kuzeydoğuya doğru).	94
Şekil 3.63 : VFZ'nin deformasyon alanı ve bu bölgede yapılmış jeokimya ve yaşlandırma çalışmalarının yerleri (Kareler Bingöl volkaniklerindeki yüksek kalk-alkalen, üçgenler Bingöl volkaniklerindeki kalk-alkalen ve daireler ise Solhan formasyonundaki ürünleri temsil eder)	95
Şekil 3.64 : Şekil 3.63'de gösterilen mavi renkli profiller boyunca alınmış topoğrafik kesitler Çayçatı ve Leylekdağ segmentleri denetiminde gelişmiş bindirme topoğrafyasını yansıtmaktadır.	97
Şekil 3.65 : Çalışma alanı içerisinde önceki çalışmalardan elde edilmiş jeokimya verilerinin (a) SiO ₂ -K ₂ O diyagramı (Peccerillo ve Taylor, 1976), (b) Na ₂ O+K ₂ O-SiO ₂ (Le Bas ve diğ., 1986)diyagramları ve (c) Meschede (1986), (d) Pearce ve Norry (1979) tektonik diskriminasyon diyagramları.	98

Şekil 3.66 : Karlıova üçlü eklemi civarında KAFZ, DAFZ ve VFZ'nin uzanımı ve bunlarla ilişkisi ikincil yapıların geometrisi (Şaroğlu, 1985).	99
Şekil 3.67 : KAFZ ve DAFZ arasındaki fayların geometrisi.....	101
Şekil 3.68 : Şekil 3.67'de gösterilen K1 kuestasının sarp yamaçarı doğruya doğru eğimlidir. Beyaz ve siyah dikdörtgenler ile gösterilen alanlar sırası ile Şekil 3.69 ve Şekil 3.70'i temsil etmektedir.	101
Şekil 3.69 : K1 kuestasının sarp yamaçlarında meydana gelmiş yaklaşık 15 metrelik dere ötelenmeleri (Şekil 3.68'de beyaz dikdörtgen ile gösterilen alan, Batıya doğru bakış).	102
Şekil 3.70 : K1 kuestasının sarp yamaçlarındaki aşınmaya karşı dayanımlı (a) ve dayanımsız kayaçların (b) görünümü (Kuzeye doğru bakış).	102
Şekil 3.71 : K1 kuestasının sarp yamaçlarındaki aşınmaya karşı dayanımsız (a) ve dayanımlı kayaçların (b) yamacın aksine batıya doğru eğimlenmiştir.	103
Şekil 3.72 : Karlıova Havzası'nın morfotektonik haritası (Şaroğlu, 1985). Bu haritada yer alan DAFZ'ye paralel bütün faylar sol yanal doğrultu atımlı faylardır.	104
Şekil 3.73 : Peri çayı güneyinde morfometrik analiz için seçilen drenaj alanları. ..	105
Şekil 3.74 : Peri çayı güneyinde yer alan drenaj alanlarına ait boyuna profil eğrileri.	106
Şekil 3.75 : Peri çayı güneyinde yer alan drenaj alanlarına ait hipsometri eğrileri.	106
Şekil 3.76 : Göynük Çayı kuzeyinde morfometrik analiz için seçilen drenaj alanları.	108
Şekil 3.77 : Göynük Çayı kuzeyinde yer alan drenaj alanlarına ait boyuna profil eğrileri.	108
Şekil 3.78 : Göynük Çayı kuzeyinde yer alan drenaj alanlarına ait hipsometri eğrileri.	109
Şekil 3.79 : VFZ ile DAFZ arasında yer alan fayların geometrisi ve üzerlerindeki dere ötelenmeleri.....	110
Şekil 3.80 : Bölgede ana ve ikincil faylar üzerindeki sıkışmalı ve gerilmeli yapıların dağılımını gösteren bu haritada, DAFZ üzerinde sıkışmalı yapıların (mavi renkli oklar) ve DAFZ güneyindeki ikincil faylar üzerindeki açılmalı yapıların (beyaz renkli oklar) hakim olduğu görülmektedir. Büyük beyaz ok Şekil 3.81'de ve Şekil 3.82'de gösterilen Palogölü çayırı mevkiini büyük sarı ok ise Şekil 3.83'ün yerini göstermektedir.	110
Şekil 3.81 : Şekil 3.80'de beyaz ok ile gösterilen Palogölü mevkiinde fay keskin çizgisellik ile belli olmaktadır.....	111
Şekil 3.82 : Şekil 3.81'de gösterilen Palogölü mevki (Bakış yönü güneydoğudan kuzeybatıya).	112
Şekil 3.83 : Şekil 3.80'da sarı ok ile gösterilen noktada sağ yanal ve sol yanal fayların konumu (Bakış yönü güneydoğudan kuzeybatıya).	112
Şekil 3.84 : Şekil 3.83'de görülen sağ yanal devamında görülen belverme gölcüğü (Bakış yönü güneydoğudan kuzeybatıya).	113
Şekil 4.1 : Prandtl sıkışmalı hücresinin orjinal durumu (Kanizay (1962)'den değiştirilerek alınmıştır).	118
Şekil 4.2 : Kama şekilli pasif (a) ve aktif (b) hücre modelleri (Nadai (1950)'den değiştirilerek alınmıştır).	119

Şekil 4.3 : Varnes (1962) kama şekilli pasif (a) ve aktif (b) hücre modelleri (Kanizay (1962)'den değiştirilerek alınmıştır).	120
Şekil 4.4 : Silverton bölgesi için üretilmiş pasif hücre modelinde A ve B sınır faylarını temsil eder (Varnes (1962)'den değiştirilerek alınmıştır).	121
Şekil 4.5 : KÜE batısının fay geometrisi ve KAFZ ile DAFZ'nin oluşturduğu kamanın arasındaki açı değerleri.	122
Şekil 4.6 : Önceden belirtilmiş taban fayına sahip klasik Riedel deney düzeneği üzerinde Tchalenko (1970).% 56 su içeriğine sahip kaolin türü kil, Naylor ve diğ. (1986) ise 0,15-0,3 mm tane boyu aralığında kuru kum kullanmıştır.	125
Şekil 4.7 : Riedel makaslamalarının kil malzeme üzerinde oluşum aşamaları (Tchalenko, 1970).	126
Şekil 4.8 : Riedel makaslamalarının kum malzeme üzerinde oluşum aşamaları (Naylor ve diğ., 1986).	127
Şekil 4.9 : Nerdeyse aynı miktarda taban fayı hareketi (d) ile oluşan Riedel makaslamalarının kil (a) ve kum (b) üzerindeki görüntüsü (a bölümü Tchalenko (1970) ve b bölümü Naylor ve diğ. (1986) verilerinden alınmıştır).	128
Şekil 4.10 : Geniş ölçekli deformasyon deneyinde kullanılan mekanizmanın perspektif görünümü (a) ve deney setinin tabanının deformasyon öncesi ve sonrası durumları (b) (Schreurs (2003)'den düzenlenerek alınmıştır).	129
Şekil 4.11 : Geniş ölçekli deformasyon deneyinde riedel faylarının oluşum evreleri ve özellikleri. a,b,c,d ve e süreçleri için sırası ile $\gamma=0.15, 0.19, 0.26, 0.37$ ve 0.60 değerindedir (Schreurs (2003)'den düzenlenerek alınmıştır).	131
Şekil 4.12 : KÜE doğusunda yer alan geniş makaslama zonu beyaz gölgeli poligon ile gösterilmiştir (Faylar Emre ve diğ. (2102a ve b)'den alınmıştır).	132
Şekil 4.13 : Murat fayının geometrisi (Landsat görüntülerinden üretilen taban harita üzerindeki faylar Emre ve diğ (2102a ve b)'den düzenlenerek alınmıştır).	133
Şekil 4.14 : MF'nin doğusunda Murat çayı 25 km ötelenir (a), fayın kuzeydoğuya doğru devamında görülen sistematik dere ötelenmeleri (b) her iki fay kolunun uzun dönem aktivitesinin belirteçleridir.	134
Şekil 4.15 : Murat çayı vadisinin batı ucunda MF denetiminde oluşmuş uzamış sırttan fayın konumu K63B olarak ölçülmüştür (KD bakış).	135
Şekil 4.16 : Murat çayı vadisinde 17 m'lik dere ötelenmesi ve morfolojideki kırıklık MF'nin belirgin izlerindedir (GB bakış).	135
Şekil 4.17 : Murat çayı terasında fayın denetiminde oluşmuş yaklaşık 120 m'lik sağ yanal ötelenme (KB bakış).	136
Şekil 4.18 : KÜE doğusunda yer alan fayların özellikleri ve blok rotasyonunun yönü (mor çizgiler).	137
Şekil 4.19 : Transpresyonel ortamlarda gelişen faylar (Schreurs ve Coletta (1998)'den düzenlenerek alınmıştır).	138
Şekil 4.20 : Deney-1 setinin deformasyon öncesi (a) ve deformasyon sonrası (b) durumlarının plan görüntüsü (Beyaz ok Arabistan levhasının hareket yönünü gösterir).	141
Şekil 4.21 : Deney-1 setinin ön perspektif görünüşünden kullanılan granüler malzemenin kalınlıklarını gösteren plan.	142
Şekil 4.22 : Deney-1 setinin deformasyon öncesi durumunun gerçek görüntüsü. ..	142

Şekil 4.23 : Deney-1 setinde deformasyon başladıktan 21 dk (11:23) sonra oluşan deformasyonlar setin tabanında belirlenmiş KAFZ ve DAFZ boyunca gelişmiştir (Sarı çizgiler taban faylarının yaklaşık konumunu gösterir).	143
Şekil 4.24 : Deney-1 setinde saat 11:29'da (27 dk sonra) oluşan deformasyonlar ..	144
Şekil 4.25 : Deney-1 setinde saat 11:43'de (41 dk sonra) oluşan deformasyonlar ..	145
Şekil 4.26 : Deney-1 setinde saat 11:49'da (47 dk sonra) oluşan deformasyonlar (Sarı faylar R_L makaslamalarını temsil eder).	145
Şekil 4.27 : Deney-1 setinde saat 11:59'da (57 dk sonra) oluşan deformasyonlar (Sarı faylar R_L makaslamalarını mavi faylar ise kısa ömürlü fayları temsil eder).	146
Şekil 4.28 : Deney-1 setinde saat 12:19'da (77 dk sonra) oluşan deformasyonlar (Sarı faylar R_L makaslamalarını mavi faylar ise kısa ömürlü fayları temsil eder).	147
Şekil 4.29 : Deney-1'in son durumunda oluşan deformasyonlar (Sarı faylar R_L makaslamalarını mavi faylar ise kısa ömürlü fayları temsil eder).....	148
Şekil 4.30 : Deney-1'in son durumunda KAFZ ve DAFZ'yi temsil eden fay kolları dar bir zon içerisinde oluşmuştur.....	149
Şekil 4.31 : Deney-1'in son durumunda KAFZ (a) ve DAFZ (b) üzerinde oluşmuş antiformal yükselimler (Mavi kesikli çizgiler kısa ömürlü fayları temsil eder).	150
Şekil 4.32 : Deney-1'in son durumunda VFZ'nin perspektif görünümü.....	150
Şekil 4.33 : Deney-1'in son durumunda yapılan bilgisayarlı tomografi taramalarına ait kesitler (1-1',2-2' ve 3-3' ile gösterilenler Şekil 4.29'da verilmiş kesit yönlerini, a kesitlerin yorumlanmamış, b ise yorumlanmış durumunu gösterir. Mavi çizgiler kısa ömürlü fayları temsil eder).	151
Şekil 4.34 : Deney-2 setinin deformasyon öncesi (a) ve deformasyon sonrası (b) durumlarının plan görüntüsü (Beyaz ok Arabistan levhasının hareket yönünü gösterir).	152
Şekil 4.35 : Deney-1 setinin deformasyon öncesi durumunun gerçek görüntüsü. ..	153
Şekil 4.36 : Deney-2 setinde deformasyonun ilk aşamalarında (deney başladıktan 24 dk sonra, saat 23:03) DAFZ üzerinde henüz deformasyon oluşmamıştır (Sarı faylar R_L makaslamalarını temsil eder).....	154
Şekil 4.37 : Deney-2 setinde saat 23:15'de (36 dk sonra) oluşan deformasyonlar (Sarı faylar R_L makaslamalarını mavi olanlar ise kısa ömürlü fayları temsil eder).	155
Şekil 4.38 : Deney-2 setinde saat 23:31'de oluşan deformasyonlar (Sarı faylar R_L makaslamalarını mavi olanlar ise kısa ömürlü fayları temsil eder)...	156
Şekil 4.39 : Deney-2 setinde saat 23:47'de oluşan deformasyonlar (Sarı faylar R_L makaslamalarını mavi olanlar ise kısa ömürlü fayları temsil eder)...	157
Şekil 4.40 : Deney-2 setinde saat 00:02'de oluşan deformasyonlar (Sarı faylar R_L makaslamalarını mavi olanlar ise kısa ömürlü fayları temsil eder)...	158
Şekil 4.41 : Deney-2 setinde saat 00:17'de oluşan deformasyonlar (Sarı faylar R_L makaslamalarını mavi olanlar ise kısa ömürlü fayları temsil eder)...	159
Şekil 4.42 : Deney-2'nin bittiği anda (saat: 00:22) oluşan deformasyonlar (Sarı faylar R_L makaslamalarını mavi olanlar ise kısa ömürlü fayları temsil eder).	160
Şekil 4.43 : Deney-2 sonunda hem KAFZ hem de DAFZ dar bir deformasyon zonu şeklinde oluşmuştur (Mavi kesikli çizgili kısa ömürlü fayları temsil eder).	161

Şekil 4.44 : Deney-2 sonunda sonunda trnaspresyonel zon olarak oluşan VFZ üzerindeki yapılar.....	162
Şekil 4.45 : Deney-2'nin son durumunda yapılan bilgisayarlı tomografi taramalarına ait kesitler (1-1',2-2' ve 3-3' ile gösterilenler Şekil 4.33'de verilmiş kesit yönlerini, a kesitlerin yorumlanmamış, b ise yorumlanmış durumunu gösterir. Mavi çizgiler kısa ömürlü fayları temsil eder).....	163
Şekil 4.46 : Deney-3 setinin deformasyon öncesi (a) ve deformasyon sonrası (b) durumlarının plan görüntüsü.....	165
Şekil 4.47 : Deney-3 setinde viskoz malzeme ana tektonik yapıları temsil eden kartonların üzerine serilmiştir.	165
Şekil 4.48 : Deney-3 setinin ön perspektif görünüşünden kullanılan viskoz ve granüler malzemenin kalınlıklarını gösteren plan.....	166
Şekil 4.49 : Deney-3 setinin deformasyon öncesi durumunun gerçek görüntüsü. ..	166
Şekil 4.50 : Deney setinde saat 13:49'da yüzeyde görülen deformasyonlar.....	168
Şekil 4.51 : Deney-3 setinde saat 13:59'da yüzeyde görülen deformasyonlar.....	168
Şekil 4.52 : Deney-3 setinde saat 14:10'da yüzeyde görülen deformasyonlar (Sarı fay RL makaslmasını temsil eder).....	169
Şekil 4.53 : Deney-3 setinde saat 14:21'da yüzeyde görülen deformasyonlar (Sarı çizgi RL makaslmasını mavi ise kısa ömürlü fayı temsil eder).	170
Şekil 4.54 : Deney-3 setinde saat 14:27'de yüzeyde görülen deformasyonlar (Mavi çizgi ise kısa ömürlü fayı temsil eder).	171
Şekil 4.55 : Deney-3 setinde saat 14:33'de yüzeyde görülen deformasyonlar (Mavi çizgi ise kısa ömürlü fayı temsil eder).	173
Şekil 4.56 : Deney-3 setinde saat 14:39'da yüzeyde görülen deformasyonlar (Mavi çizgi ise kısa ömürlü fayı temsil eder).	173
Şekil 4.57 : Deney-3 setinde viskoz malzeme üzerindeki deformasyonların dağılımı.	175
Şekil 4.58 : Deney-3 setinde 1,2,4 ve 5 fayları arasında oluşmuş yükselim farkları (a) KAFZ ve DAFZ yer alan Bahçeli ve Toklular faylarının denetlediği topoğrafya (b) ile uyumludur.	175
Şekil 4.59 : Deney-3 setinde sınır fayları arasında gelişen faylar ve bunlardan yararlanılarak çizilen hipotetik eksponansiyel kayma hatları (a), KAFZ ve DAFZ arasında gerçekte olan durum ile benzerdir (TF: Toklular fayı, BF: Bahçeli fayı).....	177
Şekil 4.60 : KÜE doğusunda, VFZ, DAFZ ve MF ile sınırlanmış bölge çevresine göre daha yüksekte durmaktadır (Google Earth verilerinden sağlanan taban harita üzerindeki (Faylar Emre ve diğ. (2012 a ve b)'den alınmıştır).	178
Şekil 4.61 : KÜE doğusunda, yer alan ikincil faylar incelendiğinde R makaslmaları arasındaki topoğrafyanın çevresine göre daha yüksek olduğu görülür (Google Earth verilerinden sağlanan taban harita üzerindeki (Faylar Emre ve diğ. (2012 a ve b)'den alınmıştır).....	179
Şekil 5.1 : DAFZ-Göynük segmenti üzerinde oluşan sıkışmalı yapıların dağılımı (Taban harita ASTER görüntülerinden elde edilmiştir).	185
Şekil 5.2 : KÜE doğusunda yer alan fayların günümüzdeki geometrisinden (a), 20 ⁰ saat yönünde döndürüldüğünde olması gereken durum (b), ve 25 ⁰ saat yönünde döndürüldüğünde olması gereken durum (c). (Kırmızı faylar R, mavi faylar R' _L yeşil faylar ise R _L makaslmalarını temsil eder)...	191

- Şekil 5.3 :** KÜE'nin güney segmentlerinin günümüzdeki geometrisinden (a), 20⁰ saat yönünde döndürüldüğünde olması gereken durum (b), ve 25⁰ saat yönünde döndürüldüğünde olması gereken durum (c). (Kırmızı faylar R, mavi faylar R'_L yeşil faylar ise R_L makaslamalarını temsil eder) 192
- Şekil 5.4 :** Varto segmentinin denetiminde gelişmiş olan oblik bindirmelerin evrimini gösteren yamulma elipsi (Renklerin ifadesi metin içerisinde verilmiştir).
..... 194
- Şekil 5.5 :** Üç tane transform fay (FFF) ile oluşan üçlü eklemlerin evrimi bu tür yapıların durağan olmadığını gösterir (F=Transform Fay) (McKenzie ve Morgan, 1969). 200
- Şekil 5.6 :** KÜE'nin batısı kama şekilli pasif deformasyon mekaniğini yansıtan faylar (yeşil faylar) ile karakterize olurken, doğusunda yer alan faylar (mavi renkli) transpresyonel zon özelliğini yansıtır (KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu, DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu, VFZ: Varto Fay Zonu, MF:Murat Fayı, MBS: Muş Bindirme Sistemi. Faylar Emre ve diğ. (2012a ve b)'den alınmıştır). 201
- Şekil 5.7 :** Van gölü'nün güneyinden başlayıp DAFZ'ye kadar olan bölgede görülen bazı yanal atım deformasyonlarının yerleri (a ve b lokasyonlarının yerleri Şekil 5.8'de verilmiştir). 204
- Şekil 5.8 :** Şengör ve diğ., (1985) modelinde güneyde yer alan yüksek yaklaşma deformasyon bölgesinde meydana gelmiş yanal deformasyonlar. 204
- Şekil 5.9 :** Karlıova civarındaki volkanik kayaların Zr/Ti-Y/Al diyagramı. Jeokimyasal veriler örnek numaraları değiştirilmeden Hubert-Ferrari ve diğ. (2009) çalışmasından alınmıştır. Kırmızı kare ile gösterilenler Bingöl kalderasından, yeşil üçgenler ise Turna dağından alınan örnekleri temsil eder. 207

KARLIOVA ÜÇLÜ EKLEMİ'NİN KUVATERNER EVRİMİ

ÖZET

Oblik olarak yakınlaşan levha sınırları, levha içi deformasyonların oluşmasında önemli rol üstlenirler. Kıtasal çarpışma sonucu ortaya çıkan litosfer ölçeğindeki karmaşık deformasyonun mimarisini ortaya çıkarmak diğer jeodinamik ortamlara kıyasla daha zordur. Bütün jeodinamik ortamlardaki en dikkati çeken yapısal unsurlardan bir tanesi de üçlü eklemlerdir. Dünyada özellikleri iyi bilinen üçlü eklemlerin pek çoğu okyanusal litosferler üzerinde yer alır.

Bu çalışmanın konusunu, Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) ve Varto Fay Zonu (VFZ)'nin Bingöl'ün Karlıova ilçesinin 10 km kuzeydoğusunda kesişmesi ile oluşmuş Karlıova Üçlü Eklemi (KÜE) oluşturur. KÜE kıtasal alanda oluşmuş en belirgin üçlü eklemlerden biridir. Kıtasal üçlü eklem bölgeleri okyanusal litosferde gelişmiş üçlü eklemlerin aksine, doğrudan veri toplanmasına imkan verdiği için daha avantajlıdır. Fakat kıtasal kabuğun göreceli daha karmaşık yapısı sebebi ile deformasyon süreçlerini anlamak daha zordur.

Bu tezin birincil amacı Kuvaternerden bu yana KÜE civarında oluşan faylanma mekanizmasını ortaya çıkarmak ve böylelikle deformasyon sürecini açıklayan bir model oluşturabilmektir. Tez kapsamında izlenen yol KÜE civarındaki Kuvaterner dönemi fayları ile iki boyutlu analog modeller arasında benzerlik kurup, faylanmanın mekanizmasını modelleyebilmektir.

Bu modellemeyi yapabilmek adına KAFZ'nin Ilıpınar segmenti, DAFZ'nin Göynük segmenti, VFZ ve bu ana fay zonlarının etkileşimi ile oluşmuş ikincil fayların geometrik ve morfolojik özellikleri ortaya çıkartılmıştır. Bütün yapısal unsurlar önce uydu görüntüleri (Landsat, Aster ve Spot), hava fotoğrafları ve sayısal yükseklik modelleri ile araştırılmıştır. Uzaktan algılama sonrası yapılan çalışmalar sözü edilen faylar üzerinde gerçekleştirilen kapsamlı arazi çalışmalarından oluşur.

Bu fayların hepsinin olduğu bölge Pliyo-Kuvaterner volkanik kayaçları ile örtülü olduğu için, ana fayların ve özellikle de ikincil fayların kinematik ve morfolojik özellikleri söz konusu volkanik birimler içerisinde oldukça iyi şekilde korunmuştur. Dolayısı ile elde edilen bütün kinematik ve morfolojik bulgulardan üretilen faylanma mekanizması Kuvaterner döneminde gerçekleşen KÜE aktivitesini yansıtmaktadır.

KAFZ'nin en doğusundaki bölümü olan Ilıpınar segmenti, batıda Kızılcubuk köyü ile doğuda KÜE arasında yer alır. 26 km uzunluğundaki segmentin doğrultusu K70-80B arasında değişir. Fayın geometrisi ötlenmiş dereeler, basınç sırtları, fay şevleri, sıcak su çıkışları ve ufak traverten oluşumları gibi morfotektonik yapılar kullanılarak belirlenmiştir. Segmentin batısında 17 Ağustos 1949 tarihinde Elmalı depremi ($M_s=6.7$) ve doğusunda 19 Ağustos 1966 tarihinde Varto depremi ($M_s=6.9$) olmuştur. KAFZ'nin en doğu ucunu oluşturan bu fayın deprem tarihçesini açıklayabilmek için, segmentin en belirgin morfotektonik yapısı olan Yoncalık havzası civarında paleosismoloji amaçlı iki hendek çalışması yapılmıştır. Paleosismolojik araştırmalar segmentin deprem aktivitesinin KAFZ'nin genelinden

farklı olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bu farklılığın sebebi bölgedeki karmaşık yamulma dağılması ile ilişkilendirilmiştir.

Göynük segmenti olarak bilinen DAFZ'nin en kuzey kolunun uzunluğu 23 km ve konumu K55-65D arasındadır. Göreceli olarak dar deformasyon zonuna sahip olan segment sıkışmalı yapılar ile karakterize olur. Bu yapılar segmentin evrimi sırasında ortaya çıkmış olan oblik atımlı kısa ömürlü faylar ile ilişkilendirilmiştir. Hem bu tez çalışması kapsamında yapılan hem de daha önceki analog model çalışmaları segment üzerinde oluşan sıkışmalı yapıların mekaniğini açıklamaktadır. Bunun dışında ötelenmiş dereler ve basınç sırtları gibi diğer morfotektonik yapılar sol yanal atımlı segmentin belirlenmesinde kullanılan yapılardır.

Kuzeyden güneye 10 km genişliği ve kuzeybatıdan güneydoğuya 35 km uzunluğu olan VFZ'nun geniş deformasyon bölgesi içerisinde üç tane segment yer alır. En kuzeyde bulunan sağ yanal doğrultu atımlı segment KAFZ ve DAFZ ile birleşerek KÜE'yi oluşturur. Güneyde yer alan oblik bindirme segmentleri ise bölgedeki topoğrafyayı Kuvaterner'den günümüze senelik 0, 22 mm/yıl hız ile yükseltmişlerdir. Bu geniş fay zonu içerisinde son yüzyılda olan depermlerin oblik bindirme fayları üzerinde olduğu düşünülmektedir.

Bu araştırma KAFZ ve DAFZ arasında iki farklı fayın olduğunu göstermiştir. Bu faylardan belirgin olanı batıda sağ yanal doğrultu atım ile hareketine başlar ve güneydoğuya doğru devamında oblik normal fay özelliğini kazanır. Bu faylar bölgede kuesta olarak bilinen şapka kayalarının oluşumundan sorumludur

VFZ güneyinde yer alan faylar iki gruba ayrılmıştır. Bunlardan ilk grubu Varto segmenti ile aynı makaslama yönüne sahip, kademeli olarak sola sıçramalı devam eden faylar oluşturur. İkinci grup ise ilk gruptaki fayların sıçrama yaptığı yerlerde oluşan sol yanal faylardır. Sağ yanal faylar üzerinde daha fazla ötelenme olmuştur. Bu fayların geometrisi, dağılımı, kayma oranları ve makaslama yönleri, geniş doğrultu atımlı makaslama zonları için analog modeller kullanılarak üretilmiş deformasyon modeli ile uyumludur.

KÜE civarında Kuvaterner'den bu yana oluşmuş faylar ve daha önceden tanımlanmış faylanma mekanizmaları kullanılarak KÜE civarındaki fayların geometrisini ve mekaniğini açıklayan bir model oluşturulmuştur. Söz konusu bu model üçlü eklemin batısındaki faylanmayı Prandtl Hücre Modeli kullanarak açıklar. Batısındaki fayları ise VFZ ve Murat Fayı denetiminde gelişen geniş bir makaslama zonu içerisinde gelişen yapılar olarak ele alır.

Önerilen modeli test edebilmek için karmaşık analog modeller tercih edilmiştir. Yapılan çalışmalar KÜE'nin batısında yer alan deformasyon yapılarının KAFZ ve DAFZ'nin etkileşimi ile ortaya çıktığını gösterir. Bu fayların etkileşimi ile Prandtl Hücre Modellerinin özel bir türü olan kama şekilli pasif hücre deformasyonun bölgeyi denetlediği gösterilmiştir. Üçlü eklemin batısındaki yapılar ise geniş bir transpresyonel bölgede ortaya çıkan ürünlerdir.

QUATERNARY EVOLUTION OF KARLIOVA TRIPLE JUNCTION

SUMMARY

Obliquely convergence plate margins have a major role for emerging of the intra-plate deformation belts. Identifying complex deformational architecture of these lithospheric scale zones that forms during the continental collision, are more difficult than other geodynamic environment. One of the unique structural elements of all geodynamic environments is a triple junction. The household of nearly whole triple junctions in the world, which are well defined, is oceanic lithosphere.

The issue of this study is about continental KarlioVA Triple Junction (KTJ) that has been formed by the intersection of the North Anatolian Fault Zone (NAFZ), the East Anatolian Fault Zone (EAFZ) and the Varto Fault Zone (VFZ). Present location of KTJ is at 10 km northeast of KarlioVA town of Bingöl at eastern Turkey. Since KTJ is one of the explicit triple junctions formed in continental terrain, it is possible to carry on direct observation on it unlike the triple junctions that formed in oceanic lithosphere. But due to complex structure of the continental crust deformation processes is to hard to understand.

The major issue of this thesis is to unravel faulting mechanisms around KTJ during the Quaternary, so hence present a model that explain deformation processes. The way of the thesis is to put forward an analogy between Quaternary fault pattern around KTJ and two-dimensional analouge models, to describe the geometry and interpret mechanics of the Quaternary faulting.

To this end my effort focused on to reveal geometric and morphologic characteristics of the Ilipinar segment of the NAFZ, the Göynük Segment of EAFZ, the VFZ and secondary faults, which has been formed by interaction of three main fault zones. All these structural units have been investigated by evaluating of satellite images (such as; LandSat, Aster and Spot), aerial photos and digital elevation models. Post researches of remote sensing comprise extensive field studies that performed over the aforementioned faults.

Since whole studied region covered by Plio-Quaternary volcanic rocks, the kinematic and morphologic characteristics of main faults and, especially, secondary faults are recorded by salient volcanic terrain. Therefore all documented kinematic and morphologic characteristics provide to interpret Quaternary faulting mechanisms of KTJ.

Ilipinar segment is located between Kızılcubuk village and KTJ at the eastern part of the NAFZ. It elongates with N70-80W orientation and has a length of 26 kilometers. Offset streams, pressure ridges, fault scarps, hot springs and small travertine formations are clear morphotectonic evidences for fault geometry. The 17 August 1949 Elmalı earthquake ($M_s=6.7$) and 19 August 1966 Varto earthquake ($M_s=6.9$) occurred at the western and eastern neighboring faults, respectively. Paleoseismological trench studies were performed in two locations around the Yoncalık Basin, which is the most prominent morphotectonic features of the segment, to identify historical earthquakes of the eastern part of NAFZ. Result of the

paleoseismological research show that earthquake activity of this segment is quietly different from rest of the NAFZ due to complex strain partitioning in the region. The last century earthquakes produced more than 1000 km surface rupture on the North Anatolian Fault Zone (NAFZ), which is one of the most active deformation belts in the World. Paleoseismic data from different parts of the NAFZ exposes critical information about the earthquake history of the fault zone. To research paleoseismicity of the Ilipinar Segment and relationship between the segment and last century earthquakes, two paleoseismologic trench studies performed on the Yoncalik basin, where positioned at eastern section of the Ilipinar segment. We identified two paleo-earthquakes, which correspond to BC 8500-6150 and BC 5960-4300 time intervals in the Yoncalik-1 trench. On the other hand the analyses of stratigraphy and structural features of the Yoncalik-2 trench similarly yield two events, from which the older happened before BC 6325 and the younger was between BC 6325-2105. Despite of the wide range of these intervals, both trench results are coincide within their uncertainty limits. We interpret that events in both trenches reflects the same surface ruptures. By the joint analysis of both trenches, we conclude that the most recent and penultimate events should have occurred between BC 5960-4300 and BC 8500-6325, respectively. The results from paleoseismology of the Ilipinar Segment, which constitute the easternmost part of the NAFZ, indicate that the seismic behaviour of the segment is not in accord with the general characteristic of the NAFZ. The reasons behind the disparity are considered to be related with complex fault geometry in the vicinity of Karliova triple junction and partitioning of accumulated strain on these structures.

The northern part of EAFZ, which is called Göynük segment, elongates with N55-65E orientation and has a length of 23 km. The relatively narrow deformation zone of the segment is characterized by compressional structures. These structures related to obliquely slip short-lived fault, which should be formed during the evolution of the segment. Both previous and performed analogue models during the thesis clearly show and explain that mechanisms of the compressional units of the segment. However, clear sinistral characteristics of the segment defined by offset river, pressure ridge like morphotectonic structures.

Wide deformation zone of the VFZ described by three segments that spread from north to south about 10 km width and elongate 35 km in direction of NW-SE. Northern right-lateral strike slip segment of VFZ constitute the Karliova Triple Junction (KTJ) with KAFZ and EAFZ. The southern oblique reverse segments of it uplift the topography with a rate of 0,22 mm/yr in Quaternary. This broad fault zone produce two earthquakes in last century, which released the energy of southern segments.

These studies strongly proved that there are two different fault types between the NAFZ and EAFZ. The dominant fault type start as a strike-slip fault and when it turns to SE its sense of motion change to oblique normal faults. These faults are responsible to forming the special kind of cap rock -cuesta-.

Secondary faults at south of the VFZ subdivided into two groups. The first ones are characterized by en-echelon, mainly left stepping surface trace and same shear direction with Varto Segment. The second one forms as sinistral sense of shear between two left stepping faults. Dextral faults accommodate more slip than sinistral ones. Their geometry, spatial distribution, slip ratio and sense of shear direction are in accord with the analogue models that put forward the deformation pattern of distributed strike-slip shear regions.

All in all, we put forward an analogy between Quaternary fault pattern around KTJ and previous faulting mechanisms to explain geometry of fault and interpret the kinematic of faulting around KTJ. The model constructed on the ground of mathematical and analogue models. According to this model, west of the triple junction characterized by Prandtl Cell Model (PCM) and east of the junction reflect the wide shear zone that has been governed by VFZ and Murat Fault (MF) which is at south of VFZ.

To test the model, complex analogue modeling preferred. The model explicitly proved that deformation architecture of western part of the KTJ governed by NAFZ and EAFZ. Due to interaction of these zones special form of the PCM, passive wedge shape cell deformation model, appears. On the other hand east of the triple junction reflect that principle deformation is dominated by broad transpressional region.

1. GİRİŞ

Levhaların hareketleri, yer kabuğu üzerinde aktif deformasyon zonları boyunca farklı jeolojik yapıların ve süreçlerin oluşmasını sağlar. Yer kabuğunda meydana gelen aktif deformasyonların araştırılmaya başlanması, 20.yüzyılın başlarında meydana gelen ve yeryüzünü etkileyen büyük depremler ile ivme kazanmıştır. Bu zamandan itibaren gelişmeye başlayan aktif fay araştırmaları Jeoloji bilimi içerisinde önemli bir disiplin haline gelmiştir. Aktif fay araştırmaları hem yeryüzünde oluşan büyük depremler hakkındaki bilgileri zenginleştirmesi hem de jeolojik süreçlerin daha net anlaşılması bakımından ilgi çekici olmuştur.

Karlıova Üçlü Eklemi (KÜE), ülkemizde yarattığı yıkıcı depremler ile araştırmacıların ilgisini çeken Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) ve Varto Fay Zonu (VFZ)'nun kesişim noktası olması, bunun dışında dünyada kıtasal kabukta oluşan en büyük ve belirgin üçlü eklemlerden birisi olması açısından dikkatleri sürekli üzerinde toplamıştır.

Jeolojide üç levha sınırının kesiştiği noktalar üçlü eklem olarak bilinir. Levha sınırlarının kinematik özelliklerine göre 16 değişik tipte üçlü eklem tanımlanmıştır (McKenzie ve Morgan, 1969). Dünyada var olan ve iyi çalışılmış üçlü eklemlerin pek çoğu okyanus tabanlarında bulunmaktadır. Dolayısı ile bu üçlü eklemler üzerinde yapılan çalışmalar dolaylı veri sağlayan yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. KÜE'nin kıtasal litosfer üzerinde yer alışı, arazi çalışmalarına imkan verdiği için yapılan uzaktan algılama çalışmalarının kontrol edilip detaylandırılmasını mümkün kılmaktadır.

KÜE civarındaki yoğun deprem aktivitesi, göreceli az olan tarihsel deprem kayıtları ve aletsel dönemdeki deprem aktivitelerinin ölçümleri ile ortaya çıkarılmıştır. Bu veriler KÜE civarındaki deformasyonun insan yaşamı açısından ne denli önemli olduğunun göstergesidir. KÜE'yi oluşturan ana fay zonları üzerinde meydana gelen eski depremlerin yerlerinin belirlenip, güncel depremlerin yerleri ve fay geometrileri ile birlikte değerlendirilmesi KÜE'nin son bir kaç bin yıllık davranışı hakkında daha sağlıklı yorum yapılmasını sağlar.

Buna ilaveten KÜE'yi oluşturan fay zonlarının, güncel ve jeolojik kayma hızlarının belirlenmesi ile KÜE'nin son bir kaç bin yıllık davranışını daha etkili şekilde açıklamak mümkündür. KÜE civarında yapılan GPS çalışmaları KÜE'nin en önemli iki bileşeni olan KAFZ ve DAFZ arasında neredeyse yarıya yakın bir hız farkı olduğunu ortaya koymaktadır. İleri sürülen bu değerlendirmeler ana fay zonları üzerinde yapılan jeolojik kayma hızlarını belirleme amaçlı çalışmalar ile desteklenmiştir.

KÜE civarındaki deformasyonların sayısal ifadesi olarak düşünülebilecek deprem büyüklüklerinin, yerlerinin ve tekrarlanma aralıklarının belirlenmesi, güncel ve jeolojik kayma hızlarının ortaya konulması son bir kaç bin yıllık deformasyon sürecini anlamaya katkı sağlar. Deformasyon tarihçesini daha eskilere götürmek için araştırılması gereken bir diğer konu da morfolojik ve jeolojik yapılarıdır. Farklı zamanlarda ve değişik doğal süreçlerin etkisinde gelişmiş bu yapıların, deformasyon sonrası durumlarının araştırılmasından elde edilen veriler KÜE civarındaki deformasyon tarihçesini biraz daha eskilere taşımaya olanak sağlar. Deformasyon tarihçesinin eskiye götürebilmek için, deformasyonun denetiminde gelişen farklı jeolojik ve morfolojik yapıların yaşlarının bilinmesi oldukça kritiktir.

Kabuk üzerindeki deformasyon türünün ve hızının belirlenmesi, bunların jeolojik zaman içindeki değişimlerinin araştırılması ile kabukta oluşan deformasyonun modellenmesi mümkün olmaktadır. Oluşturulan model veya modeller ideal olarak, elde edilen bütün verileri açıklayabilmelidir. KÜE'nin deformasyon mekanizmasını açıklamak için hem bu çalışmadan hem de önceki çalışmalardan elde edilen bulgular ışığında bir model üretilmiştir

Bu çalışma Karlıova Üçlü Ekleme (KÜE)'nin Kuvaterner'deki geometrisini ve çalışma mekaniğini açıklamak amacı ile İ.T.Ü. Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, Katı Yer Bilimleri Anabilim Dalı'nda "Karlıova Üçlü Ekleme'nin Kuvaterner Evrimi" adlı doktora tezi olarak hazırlanmıştır.

İlk bölümde bu tez kapsamında veri elde etmede kullanılan materyal ve yöntemler ile bu verilerin değerlendirilmesinde ne tür yöntemler kullanıldığına değinilmiştir. Tez kapsamında son yirmi yıldır büyük gelişme gösteren uydu görüntüleri etkili olarak kullanılmıştır. Bunun dışında sayısal yükseklik modelleri ve hava fotoğraflarından arazi çalışmaları öncesinde, sırasında ve sonrasında sürekli faydalanılmıştır. Kabuktaki deformasyonun araştırılmasında arazi çalışmalarının dışında morfolojik indislerden faydalanılmıştır. Elde edilen verilere dayanarak üretilen

KÜE civarındaki deformasyon modelini test etmek için Analog Model çalışmaları tercih edilmiştir.

Tezin ikinci bölümünde çalışma alanı ve civarını neo-tektonik dönemde etkileyen ana deformasyon yapılarının genel özellikleri tanıtılmıştır. Bölgedeki ana fay zonlarının geometrileri, segmentasyonları, yaşları ve kayma hızları gibi genel özellikleri anlatılmıştır. Burada verilen temel bilgiler sadece çalışma alanında veri elde edilemeyen konulara altlık sağlaması amacı ile değil aynı zamanda modelleme çalışmalarında bölgesel tektoniğin yorumlanmasına da yardımcı olmaktadır.

KAFZ, DAFZ ve VFZ'nin ana hatlarının ve bunlara bağlı olarak oluşan ikincil fayların jeolojik ve jeomorfolojik özelliklerinin anlatıldığı üçüncü bölümde, ağırlıklı olarak bu tez çalışması süresince elde edilen her türlü veri tanıtılmıştır. Uydu görüntüleri, sayısal yükseklik modelleri ve hava fotoğrafları kullanılarak yapılan uzaktan algılama çalışmaları ile elde edilen morfotektonik veriler ve bunların arazi kontrolü ile detaylandırılması sonucunda elde edilen bulguları kapsamaktadır.

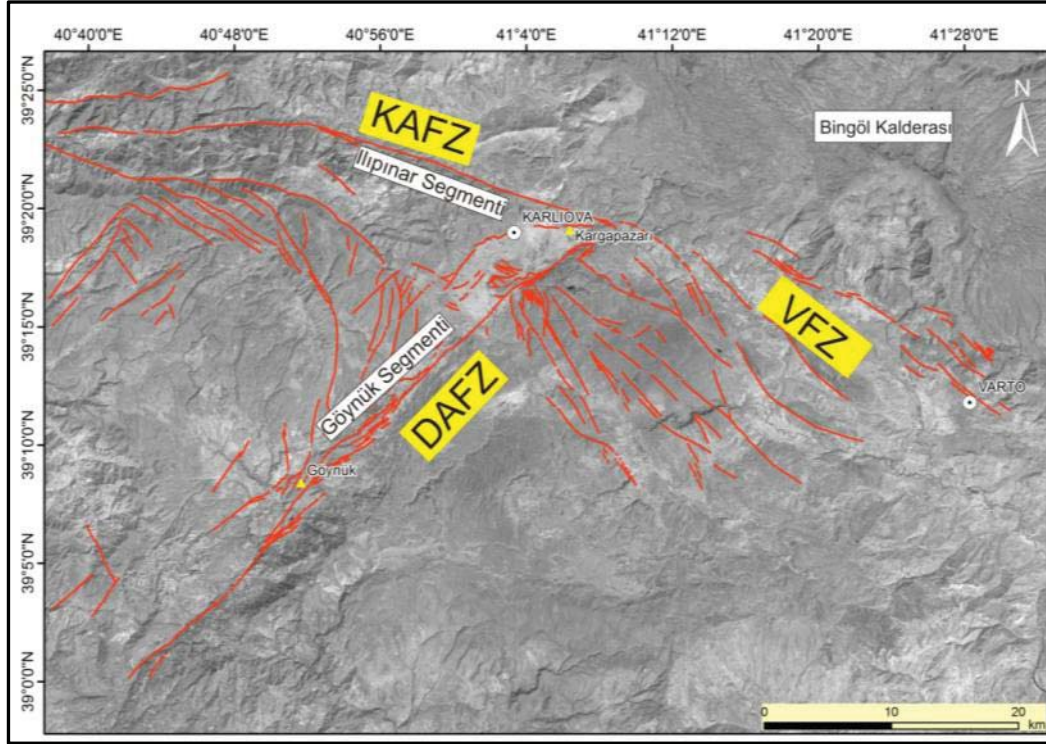
Tezin dördüncü bölümünde hem bu çalışma kapsamında hem de önceki çalışmalardan elde edilen her türlü veriyi açıklamayı hedefleyen KÜE'nin çalışma prensibi ile ilgili teorik model çalışmalarına değinilmiştir. İleri sürülen hipotezin kontrolü için gerçekleştirilen analog model çalışmaları da yine bu bölümde anlatılmıştır.

KÜE'nin geometrisini ve mekaniğini anlamak hem Türkiye'nin aktif tektoniğinin daha iyi anlaşılması açısından hem de kıtasal bir üçlü eklem civarında kabukta meydana gelen deformasyonların anlaşılması nedeniyle oldukça önemlidir. Son bölümde yapılan tartışma ve değerlendirmeler ile ağırlıklı olarak bu iki kritik nokta üzerinde durulacaktır.

1.1 Çalışma Alanı

Bu doktora tezi, KÜE'nin ana elemanlarından Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ)'nin Ilıpınar Segmenti, Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ)'nin Göynük Segmenti, Varto Fay Zonu (VFZ) ve bunlar ile ilişkili ikincil fayların üzerinde gerçekleştirilmiştir. KAFZ'nun en doğu segmenti olan Ilıpınar segmenti batıda Kızılçubuk köyünden başlar ve Karlıova üçlü eklemine kadar yaklaşık 26 km devam eder. Göynük Segmenti, Kargapazarı köyü (Karlıova, Bingöl) civarından başlar ve güneydoğuya Göynük köyüne doğru 23 km devam eder. VFZ ise KAFZ ve DAFZ'nin sonlandığı

nokta ile Varto ilçe merkezi arasında yaklaşık 30 km uzunluğunda ve 10 km genişliğinde bir zona sahiptir (Şekil 1.1). Çalışma alanının sınırlarını Karlıova batısında, kuzeyde KAFZ'nin Ilıpınar segmenti, güneyde DAFZ'nin Göynük segmenti oluşturur. Adı geçen segmentler arasında kalan bölgede oluşmuş ikincil yapılar bu tez çalışmasının araştırma alanı içindedir. Karlıova doğusunda ise Varto Fay Zonu ve zonun güneyinde bulunan ikincil faylar tezin araştırma alanı içerisinde (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 : Karlıova üçlü eklemeni oluşturan ana fayların (Emre ve diğ., 2012a, b) genel konumu. KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu, DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu, VFZ: Varto Fay Zonu (Taban harita LandsAT görüntüsünden üretilmiştir).

1.2 Çalışma Amacı

KÜE, Kuzey Anadolu Fay Zonu, Doğu Anadolu Fay Zonu ve Varto Fay Zonu'nun Bingöl'e bağlı Karlıova ilçesinin, yaklaşık 10 km kuzeydoğusunda kesişmesi ile oluşmuştur. Bu doktora tezinin amacını, KÜE'yi oluşturan faylardan, KAFZ'nin doğu kesimi olan Ilıpınar Fayı, DAFZ'nun en kuzeydoğu kesimi olan Göynük Fayı ve Varto Fay Zonu'na ait ana ve ikincil yapıların, ayrıca Ilıpınar Fayı ile Göynük Fayı arasında kalan ikincil fayların geometrilerinin ve kinematik özelliklerinin belirlenmesi ve bunların Kuvaterner aktivitesinin araştırılması oluşturmaktadır.

KÜE ile ilgili yapılan çalışmaların çıkış noktası Anadolu Bloku'nun batı yönlü hareketi sonucu, blok içerisinde oluşan deformasyonların anlaşılması üzerine kurulmuştur. Şimdiye kadar KÜE'nin mekaniği ile ilgili ileri sürülen bazı görüşler (Şengör, 1979; Şengör ve diğ., 1985) üçlü eklem civarındaki deformasyon özelliklerinin tam olarak bilinmemesi nedeni ile, Türkiye neo-tektonik döneminin en önemli ürünlerinden olan bu yapının yeterince anlaşamadığını ve dolayısı ile Anadolu Bloku'nun içinde oluşan deformasyonların modellenmesinin tartışmalı olduğunu ileri sürmüştür. KÜE'nin oluşum yaşı ile ilgili olarak yapılan çalışmalar (Barka ve diğ., 2000; Hubert-Ferrari ve diğ.,2009) ise üçlü eklem civarındaki bazı morfolojik yapıları dikkate almıştır. Ancak yapılan çalışmalar KÜE civarındaki deformasyon özelliklerini ve bu deformasyonun morfolojiyi nasıl denetlediği ile ilgili yeterli veri sunmamaktadır. Dolayısı ile üçlü eklemin mekaniği ile ilgili tartışmalar her zaman kendi içerisinde bazı problemleri barındırmıştır. Üçlü eklem civarındaki deformasyon özelliklerinin daha iyi anlaşılması Türkiye neo-tektonik dönemi ile ilgili yapılan modellerin daha sağlıklı olarak üretilmesine katkı sunacaktır.

Bu tez çalışmasının ana eksenini, KÜE civarındaki ana faylar ve bu fayların etkileşimi ile oluşmuş ikincil faylar arasındaki mekanik ilişkiyi kurgulamak oluşturmuştur. Bu amaçla, LANDSAT, ASTER ve SPOT uydu görüntülerinin, hava fotoğraflarının ve sayısal yükseklik modellerinin birlikte değerlendirilmesiyle çalışma alanındaki faylar, diğer çizgisellikler ve ötelenmiş morfolojik özellikleri içeren temel haritalar oluşturulmuş ve üretilen bu haritalardan belirlenen kritik alanlar, arazi çalışmaları ile kontrol edilip detaylandırılmıştır. Sonuç olarak KÜE civarının aktif fay haritası ve kritik alanların morfotektonik haritaları hazırlanmıştır.

Elde edilen bulgular sonucunda KÜE civarında kabukta meydana gelmiş deformasyon özelliklerini ortaya koyan bir model üretilmiştir. Söz konusu model, literatürde daha önceden tanımlanmış iki boyutlu analog modeller ile KÜE civarındaki fay geometrisi arasında benzerlikler kurularak ileri sürülmüştür. Kuvaterner'de meydana gelmiş faylanmanın geometrisini ve bu geometriyi oluşturan mekanik süreçleri açıklayan bu mekanizma iki farklı analog modelin birleştirilmesinden oluşmuştur.

İleri sürülen model KAFZ ve DAFZ arasında oluşan fayları Prandtl Hücre Modeli, VFZ ve DAFZ arasında oluşan fayları ise büyük bir makaslama zonu ile açıklamaktadır. Bu iki modelin birlikte çalışıp çalışmayacağını test etmek ve sonuç

olarak KÜE'nin mekaniğini ortaya koymak için karmaşık sistemli analog model deneyleri ile öne sürülen modelin test edilmesi amaçlanmıştır.

1.3 Çalışma Süresince Veri Toplamada Kullanılan Yöntemler

1.3.1 Coğrafi bilgi sistemleri

Tez çalışmasının ilk adımını, bu araştırma süresince üretilecek her türlü verinin girilebileceği bir Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) veritabanının tasarlanması oluşturmuştur. Söz konusu veritabanı ArcGis kullanılarak oluşturulmuştur. Çalışma alanı içerisinde elde edilen bütün raster görüntü verisi, (topoğrafya haritaları, jeoloji haritaları, uydu görüntüleri, hava fotoğrafları, vb.) ve arazi çalışmalarından gelen veriler koordinatlı olarak bu veritabanına dahil edilmiştir.

1.3.2 Uzaktan algılama

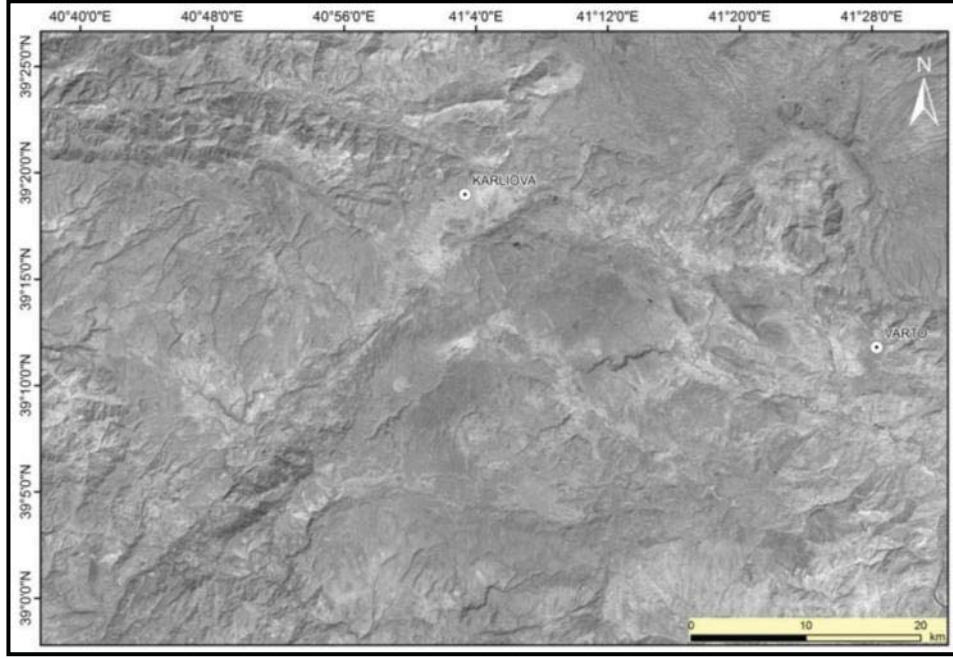
CBS veritabanına dahil edilmiş bütün uzaktan algılama verileri, birincil ve ikincil faylar ve bu fayların kontrolünde gelişmiş dere ötelenmeleri, basınç sırtları gibi morfotektonik yapıların belirlenmesinde kullanılmıştır. Uzaktan algılama çalışmaları ile elde edilen veriler tez kapsamında yapılan diğer çalışmalar için altlık oluşturmuştur.

1.3.2.1 Kullanılan görüntüler ve kapsadığı alanlar

Landsat görüntüleri

Bu tez kapsamında İ.T.Ü. Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü arşivlerinden sağlanan Eylül 2000 tarihli Landsat ETM+ uydu görüntüleri kullanılmıştır. Kullanılan görüntüler çalışma alanı ve çevresinden daha büyük bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1.2). Landsat görüntüleri, 1:25.000 ölçekli sayısal topoğrafik haritalardan yararlanılarak PCI Geomatica bilgisayar yazılımı aracılığıyla geometrik olarak düzeltilmiştir. Bu işlem sonucunda görüntü UTM projeksiyonu ve ED 1950 Harita datumu kullanılarak izdüşürülmüştür.

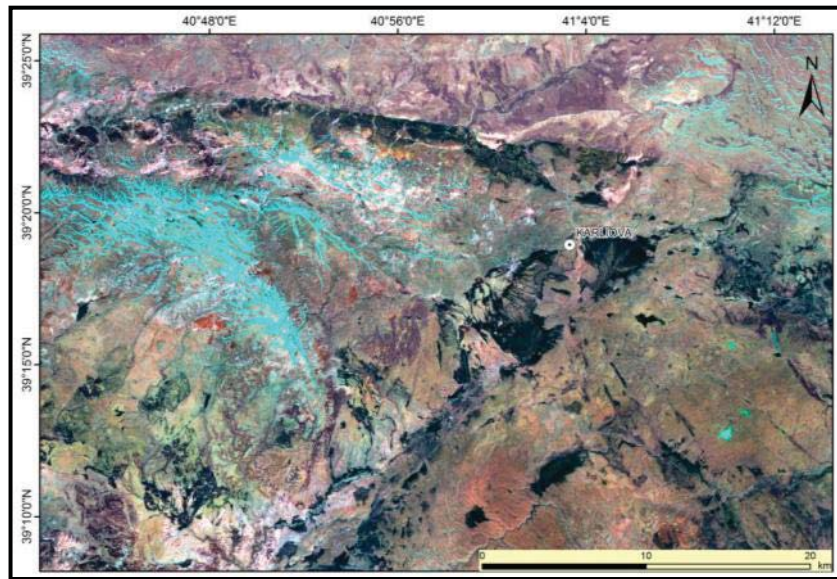
Landsat 7 uydu görüntüsü Landsat'ın standart 7 bandına ek olarak 15 m çözünürlüğünde pankromatik bir band içermektedir. Morfolojik ve çizgisel yapıların daha yüksek çözünürlükte değerlendirilmesi için bu band kullanılmıştır (Şekil 1.2).



Şekil 1.2 : Çalışmada kullanılan Landsat 7 ETM görüntüsü.

Aster görüntüleri

Çalışma alanının büyük bir kısmını kapsayan ASTER görüntüleri TÜBİTAK arşivlerinden sağlanmıştır (Şekil 1.3). Bu görüntüler, daha önceden koordinat sistemi tanımlanmış Landsat görüntüleri kullanılarak PCI Geomatica yazılımı kullanılarak geometrik olarak düzeltilmiştir. Yapılan işlem sonucunda bu görüntüler içinde UTM projeksiyonu ve ED50 datumu standart olarak tanımlanmıştır. Aster görüntülerinin uzaktan algılama yazılımları kullanılarak yapılan çözümlenmeleri sırasında morfolojik ve çizgisel yapıların daha açık görüldüğü 7-2-1 sıralı band kombinasyonu seçilmiştir.



Şekil 1.3 : Çalışmada kullanılan Aster görüntüsü.

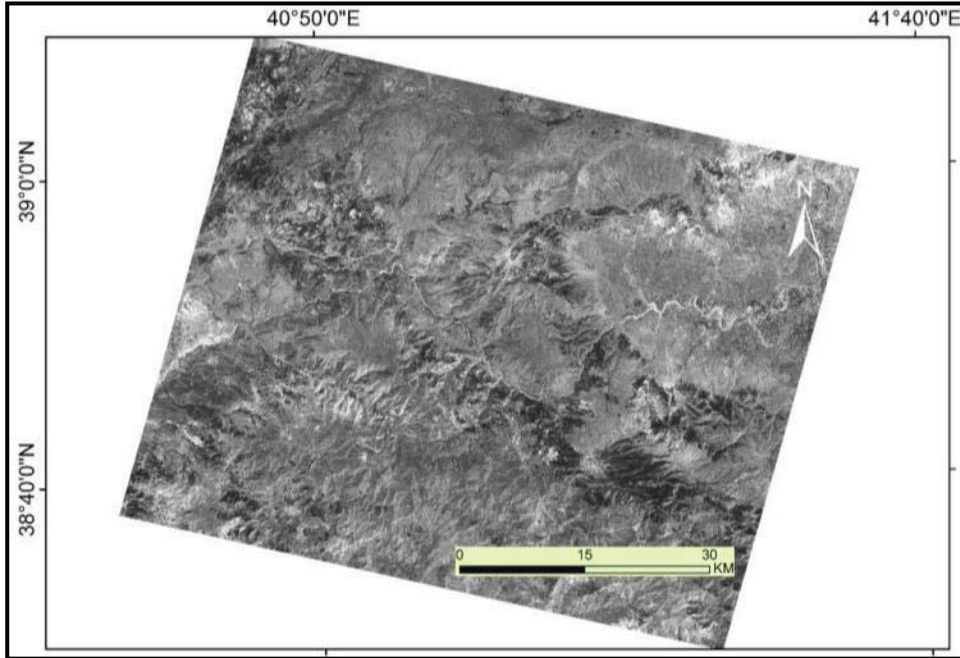
Spot görüntüleri

Bu tez kapsamında İ.T.Ü. Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama Merkezi (UHUZAM) arşivlerinden sağlanan 29/08/2009 tarihli SPOT-4 uydu görüntülerinden de faydalanılmıştır. Kullanılan görüntüler çalışma alanının güney kesimlerini kapsamaktadır (Şekil 1.4). Spot görüntüsü, 1:25.000 ölçekli sayısal topoğrafik haritalardan yararlanılarak PCI Geomatica bilgisayar yazılımı aracılığıyla geometrik olarak düzeltilmiştir. Bu işlem sonucunda görüntü UTM projeksiyonu ve ED 1950 harita datumu kullanılarak izdüşürülmüştür.

Sayısal yükseklik modelleri ve topoğrafya haritaları

Çalışma alanı için üretilen sayısal yükseklik modelleri (SYM) ve topoğrafya haritaları (Şekil 1.5) çalışma alanını tümüyle kapsamaktadır. Harita Genel Komutanlığı'ndan temin edilen sayısal yükseklik paftalarının çeşitli yazılımlar kullanılarak işlenmesiyle oluşturulan sayısal yükseklik modelleri UTM koordinat sisteminde ve ED-50 datumunda tanımlanmıştır.

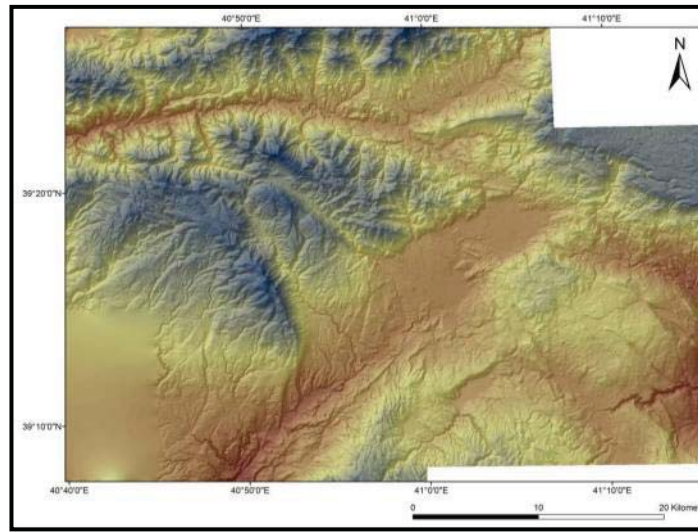
İ.T.Ü. Maden Fakültesi arşivlerinden elde edilen topoğrafya haritaları ise ArcGIS yazılımı kullanılarak UTM projeksiyon sisteminde ve ED-50 datumunda koordinatlandırılarak CBS veritabanına eklenmiştir.



Şekil 1.4 : Çalışmada kullanılan Spot görüntüsü.

Hava fotoğrafları

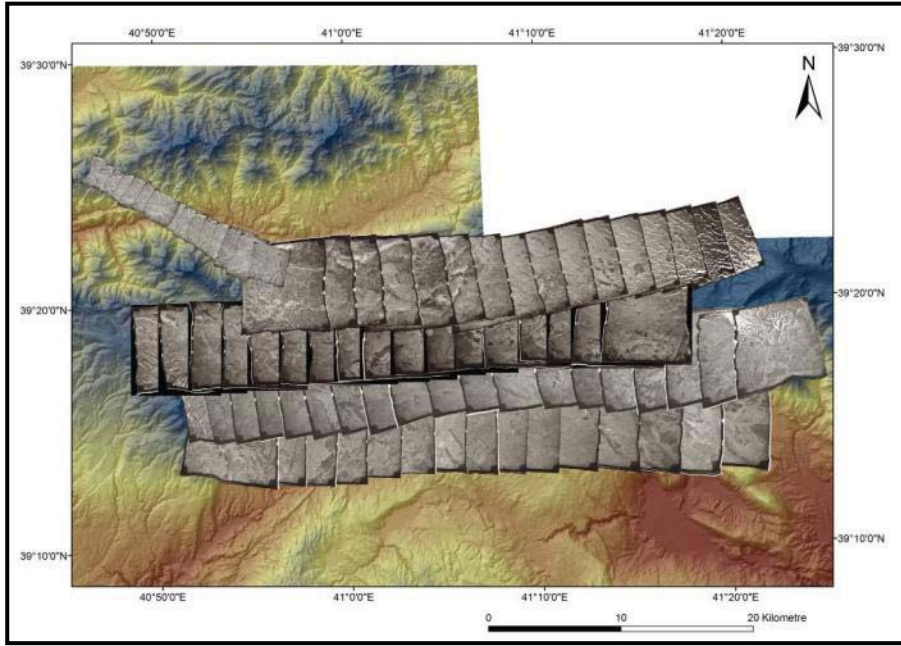
Çalışma alanı için daha yüksek çözünürlükte morfolojik veri sağlamak amacıyla Harita Genel Komutanlığı arşivinden temin edilen hava fotoğrafları kullanılmıştır. 1:25.000, 1:10000 ve 1:8.000 ölçeklerinde olan hava fotoğraflarının uçuş güzergahları çalışma alanını büyük ölçüde kapsamaktadır (Şekil 1.6). Hava fotoğrafları, PCI Geomatica yazılımı kullanılarak UTM projeksiyon sisteminde ve ED 1950 harita datumunda ortorektifiye edilerek CBS veritabanına eklenmiştir. Geometrik olarak düzeltilmiş bu hava fotoğrafları ERDAS Imagine yazılımı kullanılarak birleştirilmişlerdir. Hava fotoğraflarının geometrik düzeltilmesi için gerekli olan fotoğraf kalibrasyon verileri Harita Genel Komutanlığı tarafından sağlanmamaktadır. Bundan dolayı geometrik düzeltme işlemi için gerekli parametreler fotoğraf üzerinde yapılan piksel bazlı ölçüm, Landsat uydu görüntüleri ve sayısal yükseklik modelleri kullanılarak üretilmişlerdir. Ortorektifikasyon işlemi için üretilen bu parametrelerin fazlalığı ve kullanılan kaynak verinin çeşidi nedeniyle hava fotoğraflarında gözlenen koordinat hata oranları rölyef çeşitliliğine göre 2- 400 m arasında değişiklik göstermektedir. Bu hata payı 1:25.000 ölçekli harita üretimi için kabul edilebilir sınırlar içerisinde. Ayrıca, hava fotoğraflarından çizilen morfolojik ve çizgisel öğeler daha büyük yapılar referans alınarak diğer görüntüler üzerine taşınmış ve böylece hata oranları oldukça azaltılmıştır. Hava fotoğrafları, sayısal yükseklik modellerinden elde edilen yükseklik verilerinin eklenmesiyle üç boyutlu olarak değerlendirilmiştir (Şekil 1.7).



Şekil 1.5 : Çalışmada kullanılan Sayısal Yükseklik Modelleri.

1.3.3 Jeomorfoloji

Jeomorfoloji çalışmaları ile çalışma alanı içerisinde Kuvaterner'den bu yana devam eden deformasyonlar ile morfolojik süreçlerin etkileşiminin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla çalışma alanının jeomorfolojik yapısını anlamak için bölgede değişik jeolojik ve jeomorfolojik süreçlere bağlı olarak gelişmiş yüzey şekilleri öncelikle uzaktan algılama verileri kullanılarak belirlenmiştir. Belirlenen yüzey şekilleri arazi çalışmaları ile kontrol edilip detaylandırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda çalışma kapsamında fay aktivitesine bağlı olarak gelişen deformasyonlara flüvyal süreçlerin verdiği cevap araştırılmıştır. Ayrıca çalışma alanının morfolojik yapısını büyük ölçüde belirleyen Kuvaterner volkanizmasının yarattığı morfolojik öğelerin aktif deformasyonlar ile ilgisi ortaya konulmuştur. Sonuç olarak çalışma alanının 1:25.000 ölçekleri morfotektonik haritası üretilmiştir.



Şekil 1.6 : Çalışmada kullanılan hava fotoğraflarının dağılımı.

1.3.4 Morfotektonik analizler

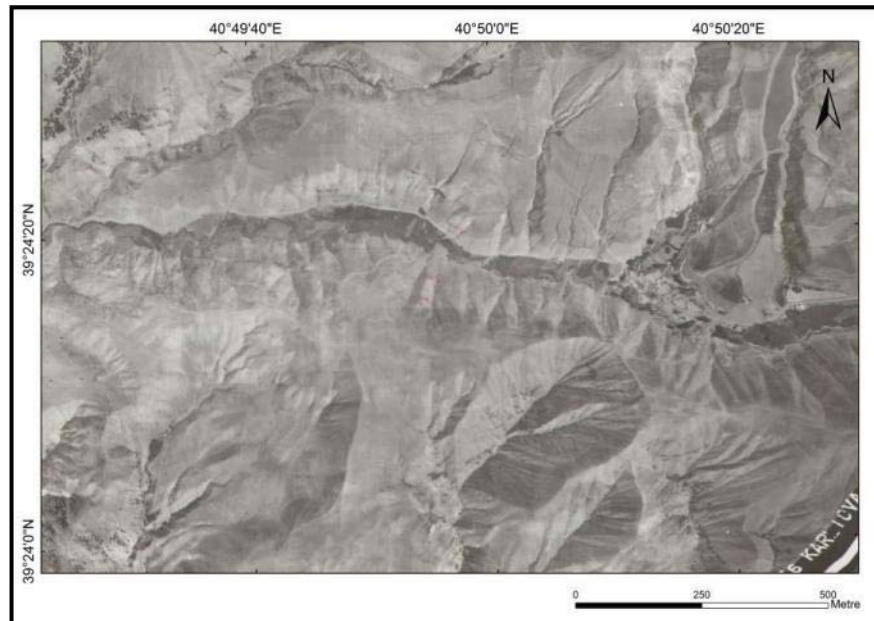
Bir bölgede hakim olan morfolojik yapılar ağırlıklı olarak tektonizmanın ve/veya iklimsel değişimlerin etkisi altında gelişmiştir. Dolyasıyla morfolojik yapılar ve bunları oluşturan süreç incelendiğinde yer yüzeyinin zaman içerisinde uğradığı değişimleri ve bunların sebeplerini anlamak mümkün olacaktır. Jeomorfolojik yapıları ve zaman içerisinde maruz kaldıkları etkiler sonucu oluşan değişimleri sayısal olarak ifade edebilmek bu yapıların hem ayrı bir süreç şeklinde

değerlendirilmesine hem de diğer jeomorfolojik yapılar ile kıyaslanmasına imkan vermektedir. Sayısal gösterim aynı zamanda, herhangi bir morfolojik yapının sahip olduğu çok ufak ölçekteki anomalileri de açıkça ortaya koymaktadır. Böylece farklı jeomorfolojik yapılar üzerinde oluşan anomalilerin kökenlerinin değerlendirilmesi çok daha kolay olacaktır.

Morfotektonik özelliklerin belirlenmesi temel olarak iki aşamadan oluşur. Birinci aşamada jeomorfolojik yapılara ait veriler sayısal yükseklik modelleri (SYM) yardımı ile elde edilir. SYM, amaç doğrultusunda değişik ölçeklerde kullanılabilir veya çalışma alanına ait SYM üretilir. İkinci aşama ise jeomorfolojik yapılarda meydana gelen gelişimi ve/veya değişimleri anlamaya yönelik hipotezler kurularak bunların formülize edilmesidir. Jeomorfometrik indisler olarak bilinen bu formüller SYM verilerine uygulanarak morfolojik yapıdaki değişimler araştırılır.

Bu amaçla çalışma alanına ait 1/25.000 ölçekli sayısal topoğrafik paftalarından veriler çıkarılmış, gerek duyulan yerlerde bu veriler daha küçük ölçekteki hava fotoğraflarından ve uydu görüntülerinden elde edilen veriler ile desteklenmiştir. Verilerin üretilmesinden ve gerekli formülizasyonların uygulanmasına kadar olan süreçte değişik programlar kullanılmıştır. Bu programlar; Er Mapper©6.4, ArcGIS©9, PCI Geomatica, RiverTools©'dur.

Kullanılan analizler sırasıyla; akarsu/vadi drenaj alanları ve profilleri, bu vadilere ait hipsometri (alan/yükseklik) eğri ve integral değerleri (HI) hesaplamalarıdır.



Şekil 1.7 : Üç boyutlu olarak üretilen ortorektifiye edilmiş hava fotoğrafı.

1.3.4.1 Morfotektonik indisler

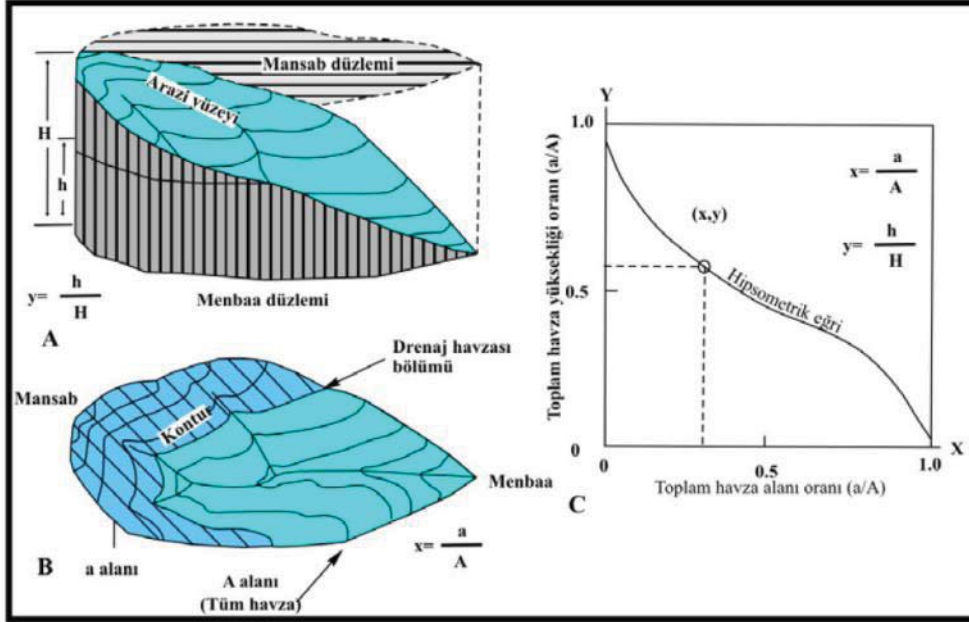
Nehirlerin boyuna profilleri

Boyuna profil kavramı flüvyal morfoloji çalışmalarında eğim, enerji gradyanı ve yükseklik değişimlerinin belirlenmesinde kullanılan önemli bir araçtır (Phillips ve Lutz, 2008) Nehirlerin boyuna profilleri erozyon ve yükselme arasındaki dengenin bir göstergesi olarak değerlendirilmektedir (Bull, 2009; Keller ve Pinter, 2002; Schumm ve diğ., 2001). Boyuna profiller ayrıca jeolojik çalışmalarda yeryüzeyi gelişiminin basamaklarının ve düşey tektonik hareketlerin belirlenmesinde, nehir boyunca olan kayaçların dayanımındaki değişimlerin anlaşılmasında, taban seviyesi değişimlerinin değerlendirilmesinde ve iklimsel değişimlerin yeryüzeyine olan etkisinin araştırılmasında kullanılır. Nehrin boyuna profili yükseklik-uzunluk grafiği olarak gösterilir. Üretilen bu grafiğin içbükeyliğine bağlı olarak üç farklı boyuna profil morfolojisi tanımlanmıştır (Hovius, 2000). İç bükey profiller yükselme ve erozyon arasındaki uzun dönemli dengeyi, içbükey-dışbükey profiller erozyonel süreçlerin baskın olduklarını ve dışbükey profiller ise karakteristik olarak yükselmenin baskın olduğu bölgeleri ifade eder (Pérez-Peña ve diğ., 2010). Drenaj alanı içindeki akarsuların geometrisi tektonik ve iklimsel olayların sinyali olarak kabul edildiğinden dolayı boyuna profillerin analizi tektonik olarak aktif olan bölgelerin mekansal dağılımını belirlemede yardımcı olmaktadır.

Hipsometrik eğri ve hipsometrik integral

Bir drenaj alanının Hipsometrik eğrisi, farklı boyutlardaki havzaların yükseklik/alan dağılımını tanımlar (Strahler, 1952). Hipsometrik eğrinin gösterilmesi sırasında alan ve yükseklik, toplam alan ve toplam yüksekliğin bir fonksiyonu olarak ifade edildiği için farklı boyutlardaki havzaların karşılaştırılabilmesine imkan vermektedir (Keller ve Pinter, 2002; Pérez-Peña ve diğ., 2009; Walcott ve Summerfield, 2008). Hipsometrik eğriye harita ölçeğinin etkisi yoktur. Hipsometrik eğri oluşturulurken izlenen yol şu şekildedir: Bir havza içindeki herhangi bir yüksekliğin (h) üzerinde kalan alanın tüm drenaj havzasının alanına oranı (a/A) ve (h) değeri ile havzanın en yüksek kotunun oranının (h/H) karşılaştırılması ile elde edilir (Şekil 1.8). Sonuç olarak toplam havza yükseklik oranının (rölatif yükseklik) toplam havza alanına (rölatif alan) karşı izdüşürülmesi ile Hipsometrik eğri çizilir. Hipsometrik eğrinin

şekline göre havzanın olgunluğuna dair bir yaklaşımda bulunulur. Dışbükey hipsometrik eğriler göreceli olarak genç ve az erozyona uğramış havzaları temsil eder. S-şekilli eğriler orta ölçüde erozyonu ifade ederken, içbükey eğriler göreceli olarak daha yaşlı ve yüksek derecede erozyona uğramış havzaları temsil eder (Keller ve Pinter, 2002).

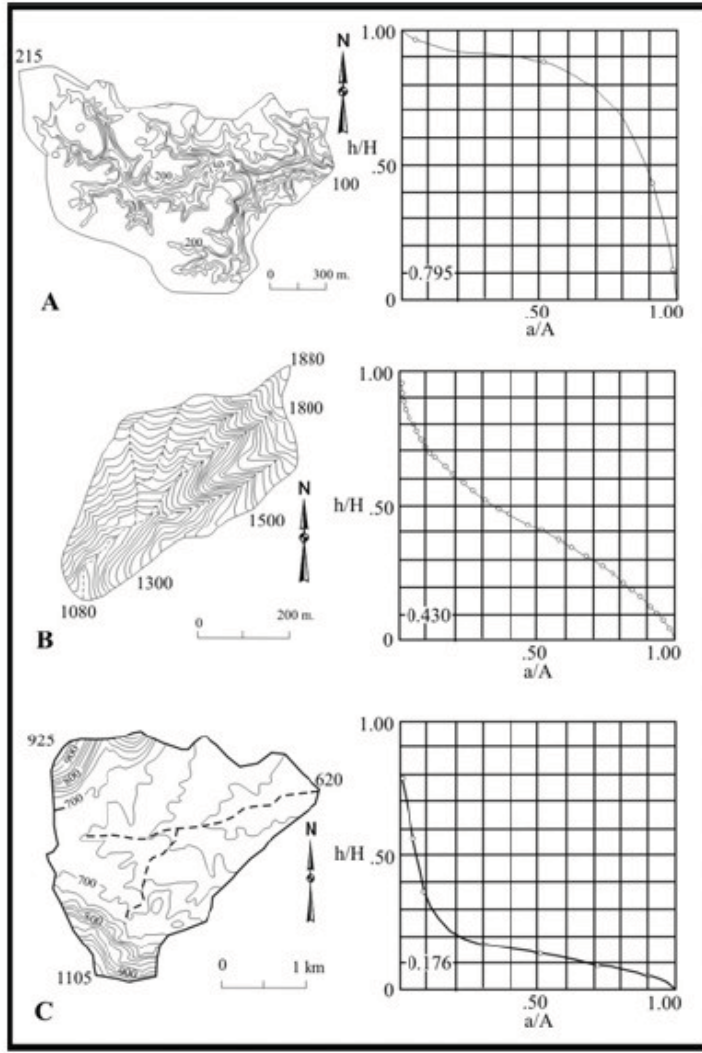


Şekil 1.8 : Hipsometrik integralin hesaplanma yöntemi (Şekil Tarı (2007)'den alınmıştır).

Hipsometrik eğrinin altında kalan alanı ise Hipsometrik integral (HI) ifade eder ve bu değer 0 ila 1 arasında değişir. 0 değerine yakınlık yüksek derecedeki erozyonu 1 değerine yakınlık ise zayıf orandaki erozyonu ifade eder. Havzadaki yükseklik değişimlerinin ortalama değere göre konumunu ifade eden Hipsometrik integral bir bölgedeki morfolojik gelişimin hangi aşamada olduğuna dair önemli bir yaklaşımdır (Strahler, 1952). Bir bölgedeki gelişimin evrelerini anlamak farklı boyutlardaki drenaj alanlarından elde edilen Hipsometrik eğri ve hesaplanan HI değeri birlikte değerlendirilerek, sözkonusu havzaların genç-denge-olgun aşamalarından hangisi ile ifade edilebileceğine imkan verir. Bunun yanında hipsometrik eğrinin dışbükey-içbükey formuna bağlı olarak da benzer yorumlamalar yapılabilir (Şekil 1.9).

Hipsometrik İntegral (HI) değeri aşağıdaki bağıntı kullanılarak elde edilir.

$$HI = (\text{Ortalama yükseklik} - \text{minimum yükseklik}) / (\text{Maksimum yükseklik} - \text{minimum yükseklik})$$



Şekil 1.9 : Hipsometrik eğri ve integralin morfolojik yorumuna örnekler.

1.3.5 Paleosismoloji çalışmaları

Paleosismoloji, aletsel dönemden önce meydana gelmiş depremlerin yerini, oluş zamanını ve büyüklüğünü belirlemeyi amaçlar (Mc Calpin, 1996; Wallace, 1981). Paleosismolojik çalışmalar kapsamında, tarihsel dönemde oluşmuş depremleri yaratan fayların özellikleri araştırılıp, bu faylar üzerinde oluşan depremlerin tekrarlanma aralığı belirlenerek gelecekte olabilecek depremlerin olasılığı ve büyüklüğü gibi kantitatif veriler elde edilmeye çalışılır (Reiter, 1995; Wallace, 1981). Paleosismolojik çalışmalar ancak büyük depremlerin izleri kullanılarak yapılır. Zira küçük ve orta büyüklükteki depremler yüzeye kadar ulaşan deformasyonlar oluşturmamaktadır. Bir başka deyişle yeryüzünde yüzey kırığı yaratabilecek ölçüde büyük depremleri paleosismolojik açıdan incelemek mümkündür. Paleosismoloji çalışmalarında morfolojik yapıların incelenmesi

oldukça önemlidir. Örneğin doğrultu atımlı faylar üzerinde meydana gelmiş ötelenmiş dereler, bel verme gölcükleri, basınç sırtları gibi morfotektonik öğeler paleosismolojik hendek çalışmaları için yer belirlemede referans noktalarıdır. Bu doktora tezi kapsamında KAFZ, Ilıpınar Segmenti üzerinde segmentin deprem tarihçesini ve riskini belirlemek amacı ile iki adet paleosismolojik hendek çalışması yapılmıştır.

1.3.6 Arazi çalışmaları

Uzaktan algılama çalışmaları neticesinde elde edilen veriler arazi çalışmaları ile kontrol edilip, detaylandırılmıştır. Arazi çalışmaları üç ana amaç doğrultusunda yapılmıştır.

1.3.6.1 Jeolojik haritalama

KAFZ, DAFZ ve Varto Fayı'nın jeolojik birimler üzerindeki etkisini araştırmak için Karlıova üçlü eklemi civarında fay hatları boyunca 1/25.000'lik temel jeoloji haritaları önceki çalışmalardan da faydalanılarak hazırlanmıştır.

1.3.6.2 Fayların haritalanması

KAFZ, DAFZ ve Varto Fayı'nın ana kolları dışında bu faylara ait ikincil faylar ve Karlıova üçlü ekleminin doğusunda ve batısında oluşmuş diğer faylar haritalanmıştır.

1.3.6.3 Jeomorfolojik yapıların haritalanması

Çalışma alanı içerisinde yer alan kritik alanlarda jeomorfolojik yapılar haritalanmış, yukarıda belirtilen çalışmalar neticesinde çalışma alanına ait jeolojik ve jeomorfolojik haritalar hazırlanmıştır.

1.3.7 Analog model çalışmaları

Analog model çalışmaları 1900'lü yılların başından itibaren kabukta meydana gelen deformasyonları anlamak için kullanılmaktadır. Şimdiye kadar yapılan çalışmaların pek çoğunun mekanik tasarımları sadece iki blok sınırındaki etkileşimi modelleme ile uğraşmıştır. Bu çalışmada üç blok sınırında meydana gelen deformasyonlar incelenmiştir.

Yer bilimciler analog modeller kullanarak kabukta farklı ölçeklerde meydana gelen jeolojik yapıların kinematik ve dinamik evrimlerini anlamaya çalışırlar. Bu tez

çalışması kapsamında KÜE civarındaki fay geometrisinden yola çıkarak üçlü eklem Kuvaterner dönemindeki mekanik evrimi açıklanmaya çalışılmıştır. KÜE civarında kabukta meydana gelmiş deformasyonu daha iyi anlayabilmek için elde edilen fay geometrisi ile literatürde daha önceden tanıtılmış iki boyutlu analog modeller birlikte değerlendirilmiştir. KÜE civarında Kuvaterner’de meydana gelmiş faylanmanın geometrisi ve bu geometriyi oluşturan mekanik süreçleri açıklamak için bir model üretilmiştir. Söz konusu modele göre KÜE batısında oluşan ikincil faylar sıkışmalı Prandtl Hücre Modeli (Cummings, 1976; Varnes, 1962) ile açıklanan mekanizma sonucu oluşmuştur. KÜE doğusundaki fayların ise VFZ ile bu zonun 60 km güneyinde olduğu düşünülen Murat Fayı (MF) arasında oluşmuş büyük bir makaslama zonunun ürünleri olduğu düşünülmektedir.

Bu doktora tezi kapsamında yapılan çalışmalar ile KÜE’yi oluşturan ana fayların yanısıra bu fayların denetiminde oluşmuş olan ikincil fayların geometrileri ve morfolojik özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen bulgular daha önceden kurgulanmış iki boyutlu analog modeller ile karşılaştırılarak KÜE’nin Kuvaterner mekaniği teorik olarak oluşturulmuştur. Yapılan analog model çalışmaları ile kurgulanan teorik model test edilmiştir.

KÜE’nin mekaniğinin daha iyi kurgulanması için, çalışma alanındaki bütün fayların oluşumları, gelişimleri ve birbirleri ile olan etkileşimleri hem iki hem de üç boyutta, mekansal ve zamansal dağılımları da dikkate alınarak araştırılmalıdır. KÜE civarındaki fayların geometrileri ve morfolojik özellikleri belirlenmiş olmasına rağmen bu fayların yüzeyde ve yer kabuğunun içine doğru olan devamlarında zaman içerisinde nasıl geliştiklerini anlayacak veriler elde edilememiştir. Arazi çalışmalarında üçüncü boyuta ait veriler bulmak oldukça zor bazen de imkansızdır. Ayrıca jeolojik yapıların zamansal oluşumu hakkında bilgi elde etmek arazi şartları izin verse dahi oldukça masraflıdır. KÜE civarındaki faylanmanın mekaniğini ortaya koyan bu çalışmada KÜE’nin batısını ve doğusunu farklı mekanizmalar ile açıklayıp her iki mekanizmanın birlikte çalışması durumunda ortaya çıkan deformasyonlar uzaktan algılama ve arazi çalışmaları ile elde edilen veriler ışığında değerlendirmiştir.

Tez kapsamında Bern Üniversitesi, Tektonik Modelleme Laboratuvarında Dr. Guido Schreus ile başlayan analog model çalışmaları ile KÜE’nin Quaterner evrimini açıklamaya çalışan model test edilmiştir.

Bu çalışmalar süresince yapılan ilk iş KÜE civarındaki kabuk yapısını temsil eden malzemeler ile uygun ölçekte bir deney seti oluşturmak olmuştur. Deney seti ile bölgesel gerilme alanları oluşturulup gelişen deformasyonların gerilme alanı ile ilişkisi ortaya konulmuştur. Deney seti yüzeyinde meydana gelen deformasyonlar yüksek çözünürlüklü fotoğraflar ile kayıt altına alınmıştır ve derinde oluşan deformasyonların anlaşılması için bilgisayarlı tomografi tekniği kullanılmıştır. Gerilme alanı yaratılması, yüzey ve derinde meydana gelen deformasyonların incelenmesi ile elde edilen üç boyutlu (3D) veriler belirli zaman dilimi içinde yapılmıştır. Böylelikle dört boyutlu (4D) olacak şekilde uygulanan gerilmenin yarattığı deformasyonların bilgisayarda simülasyonu oluşturulmuştur. Elde edilen bu simülasyonlar üzerinde özel yazılımlar kullanılarak derindeki yapıyı da gösterecek kesitler alınarak KÜE civarında oluşmuş fayların geometrisi ve mekaniği daha net şekilde anlaşılmıştır.

1.3.7.1 Analog modelde kullanılan granüler ve viskoz materyallerin mekanik özellikleri

Üst kabukta meydana gelen kırılğan deformasyon için yapılan modelleme çalışmalarında genelde granüler materyaller tercih edilir. Kuvars kumunun analog modelleme çalışmalarında ön plana çıkmasının nedeni kohezyon ve içsel sürtünme açısı gibi mekanik özelliklerinin yapılan çalışmalar ile (Cobbold ve Castro, 1999; Hubbert, 1951; Krantz, 1991a, b; Lohrmann ve diğ., 2003; Schellart, 2000) ortaya çıkarılmış olmasıdır. Kuvars kumunun, cam tozu, alüminyum hidroksid ve silika tozu gibi mekanik özellikleri bilinen diğer granüler materyallere göre daha çok tercih edilmektedir. Zira granüler materyallerin mekanik özellikleri ile deneysel olarak elde edilmiş üst kabuktaki kayaçların mekanik özelliklerinin karşılaştırılması (Byerlee, 1978), kuvars kumunun mekanik özelliklerinin üst kabuk ile olan benzerliğinin daha fazla olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Granüler malzemenin mekanik özelliklerini elde etmek için araştırmacılar farklı yollar denemişlerdir (Krantz, 1991a, b; Lohrmann ve diğ., 2003; Schellart, 2000). Bu tez çalışması kapsamında yapılan analog modelleme çalışmalarında kullanılan kuvars kumu, Bern Üniversitesi, Tektonik Modelleme Laboratuvarından temin edilmiştir. Söz konusu kuvars kumunun mekanik özellikleri GFZ-Postdam Üniversitesi laboratuvarlarında Ring Shear test ekipmanı ile, önceki çalışmalarda (Lohrmann ve diğ., 2003) belirlenen protokole göre tanımlanmış olup elde edilen sonuçlar Çizelge

1.1'de sunulmuştur. Bu sonuçlar, Byerlee (1978)'de gösterilen üst kabuğun mekanik özellikleri ile yüksek korelasyona sahiptir. Yapılan deney çalışmalarında kullanılan diğer bir granüler malzeme korundum kumudur. Bu malzemeye ait mekanik özellikler Çizelge 1.1'de sunulmuştur.

Analog model deneylerinde granüler materyal (ortalama boyu 80-200 μm olan kuvars ve 88-125 μm olan korundum kumu) polidimetilsiloksan (PDMS) olarak bilinen viskoz materyal ile birlikte kullanılmıştır. Her iki kum Coulomb kayma kriterine göre deforme olup, içsel sürtünme açıları kuvars için 36° ve korundum için 37° olarak belirlenmiştir. Her iki kuma ait bu değerler üst kabuk için deneysel olarak belirlenen içsel sürtünme açısına uygundur. Dolayısı ile her iki kumda kırılğan üst kabuğun simulasyonunda kullanılabilir (Byerlee, 1978).

PDMS 0.965 g cm^{-3} yoğunlukta ve oda sıcaklığında $5 \times 10^4 \text{ Pa.s}$ Newtonian viskozitesine sahip olup, yamulma oranı $3 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ değerinin altındadır (Weijermars, 1986). Bu özellikleri ile PDMS alt kabuğun viskoz davranışının simülasyonunda kullanılabilir (Vendeville ve diğ., 1987).

Çizelge 1.1 : Granüler Materyalin Özellikleri.

	Kuvars Kumu	Korundum Kumu
Yoğunluk	1.56 g/cm ³	1.89 g/cm ³
Tane Boyu	80-200 μm	88-125 μm
İçsel Sürtünme Açısı*	36°	37°
Dinamik Durağan Sürtünme Açısı*	31.2°	32.2°
Yamulma Yumuşaması*	15-16%	13-16%
Kohezyon*	2-40 Pa	29-50 Pa

* Ring-shear test cihazı ile belirlenen mekanik parametreler.

2. TÜRKİYE'DE NEO-TEKTONİK DÖNEMDE OLUŞMUŞ BAZI YAPILAR

2.1 Giriş

Herhangi bir bölgede meydana gelmiş olan son tektonik rejim değişikliğinden günümüze kadar geçmiş olan zaman içerisindeki tektonizmanın tümüne neo-tektonik denir (Şengör, 1980). Güneydoğu Anadolu çarpışma kuşağı boyunca Anadolu blokunun Arabistan levhası ile çarpışması Türkiye'de neo-tektoniğinin başladığı dönemdir. Ülkemizdeki Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) ve Varto Fay Zonu (VFZ) Türkiye neo-tektonik döneminin ürünleridir.

Neo-tektonik dönem içerisinde devam eden Anadolu ve Arabistan levhalarının çarpışması Doğu Anadolu'da kabuğun kalınlaşmasına ve yükselmesine sebep olmuş (Şengör ve Kidd, 1979) ve bölgede yükselmeyi karşılayacak yapılar gelişmiştir. Sıkışma kökenli dağ arası havzalar, yanal atımlı faylar, açılma çatlakları ve kıvrımlı bindirmeli yapılar bunlara örnek gösterilmiştir. Şengör (1980), Doğu Anadolu Bölgesi'nde oldukça yaygın kalk-alkalen Pliyo-Kuvaterner volkanizmasını, açılma çatlaklarından yükselen, kalınlaşan kıta kabuğunun kısmi ergimesine ait ürünler olarak ifade etmiştir.

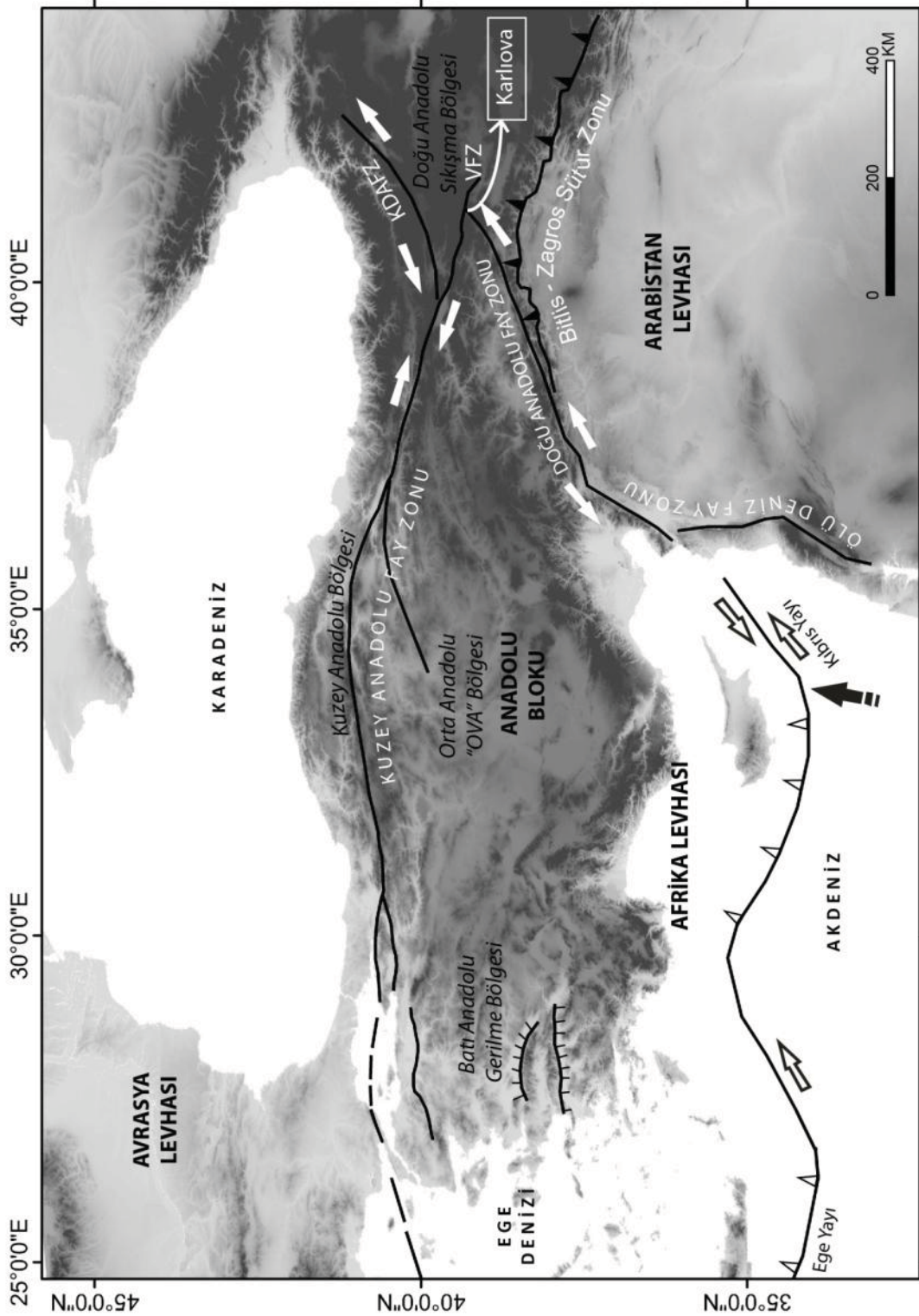
Devam eden sıkışma ile birlikte Anadolu bloku kuzeyde KAFZ ve güneyde DAFZ denetiminde batıya doğru hareket etmeye başlamıştır (Şengör, 1980). KAFZ ve DAFZ Bingöl'ün Karlıova ilçesinin 10 km kuzeydoğusunda VFZ ile birleşerek Karlıova Üçlü Eklem (KÜE)'ni oluşturur (Şekil 2.1).

2.2 Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ)

2.2.1 Giriş

Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), dünyada kıta kabuğu üzerinde oluşmuş en büyük aktif fay zonlarından biridir. Sağ yanal doğrultu atımlı KAFZ ile ilgili çalışmalar 19. yüzyıl ortalarında başlasa da (Mallet, 1862), 1939 sonrasında olan depremler ile üzerinde yapılan çalışmalar (Ambraseys, 1970; Andrieux ve diğ., 1995; Barka, 1992;

Ketin, 1948, 1957, 1969; Pavoni, 1961; Şengör, 1979; Şengör ve Canitez, 1982; Şengör ve diğ., 2005) KAFZ hakkındaki bilgileri arttırmıştır.



Şekil 2.1 : Türkiye'de neo-tektonik dönem deformasyon yapıları (Bozkurt, 2001).

Anadolu Bloku'nun batı yönlü hareketinin kuzey sınırını oluşturan KAFZ, doğuda Karlıova Üçlü Eklemi (KÜE)'nden başlayıp Karadeniz kıyı çizgisini yaklaşık olarak 100 km güneyden takip ederek Ege Denizi kuzeyinde yer alan Saroz Körfezi'ne kadar 1500 km uzunluğunda dışbükey bir hat olarak devam eder (Şekil 2.1). Bu hat Doğu Anadolu yüksek platosu ile Ege Tafrojeni arasındaki bağlantıyı oluşturur (Şengör ve diğ., 2005). En geç Paleozoyik-Erken Tersiyer yaşlı Kuzey Anadolu Tetisid yığışım karmaşığı ile sınırlanmış bütün makaslama zonunu Kuzey Anadolu Keirojeni (KAK) olarak adlandıran Şengör ve diğ. (2005), Kuzey Anadolu Makaslama Zonu (KAMZ)'nu ve onun alt üyesi olan KAFZ'yi de KAK'ın alt birimleri olarak tanımlar. Anadolu blokunun batı yönlü hareketinin kuzey sınırını Kuzey Anadolu Fayı (KAF) tarafından oluşturulduğu (Ketin, 1948), KAFZ'nin Türkiye neo-tektoniği içerisindeki yeri ile ilgili en önemli görüştür. Araştırmacı KAF'ın yaklaşık doğu-batı uzanımlı sağ yanal doğrultu atımlı fay karakterinde olduğunu tanımlamıştır. 19.yüzyıl ortalarından sonra fay zonunun yaşı, atım miktarı, morfolotektonik özellikleri ve deprenselliği ile ilgili pek çok çalışma yapılmıştır (Allen, 1969; Ambraseys, 1970; Ataman ve diğ., 1975; Barka, 1992; Dewey ve Şengör, 1979; Ketin, 1957, 1969; Pavoni, 1961; Şengör, 1979; Şengör ve diğ., 2005).

2.2.2 KAFZ üzerinde yapılan önceki çalışmalar

KAFZ üzerinde 20. yüzyıl içerisinde meydana gelen depremler ve fay zonunun geometrisi dikkate alınarak segmentasyon çalışmaları yapılmıştır. Barka ve Kadinsky-Cade (1988), fay zonun geometrisinin depremlerin dinamiği ile yakından ilişkili olduğunu, depremler sırasında oluşan yüzey kırıklarının birden fazla geometrik segmentin kırılması ile meydana geldiğini, ancak kırıkların fay üzerinde olan sıçarama veya büküm gibi geometrik süreksizlik ile kontrol edildiğini vurgulamıştır. KAFZ üzerindeki belirgin süreksizlikler dikkate alınarak 44 fay segmentine (FS1-FS44) ayrılmış ve bu segmentler depremlerdeki kırılma davranışına göre kendi içerisinde kırık segmenti (RS) olarak gruplandırılmıştır (Barka ve Kadinsky-Cade, 1988). KÜE ile Yedisu havzasının doğusunda (FS1-FS3) daha geniş deformasyon zonuna sahip olan KAFZ, Yedisu havzasının doğusu ile Niksar arasında daha dar deformasyon zonuna sahiptir. KAFZ'nin deformasyon zonu Tokat civarında genişlemeye başlar (Şengör ve diğ., 2005). Aynı araştırmacılar Ilgaz'dan batıya deformasyon zonu genişleyerek devam eden fay zonunun en yüksek genişliğe Marmara içerisinde ulaştığını vurgular.

KAF'ın yaşı, toplam ötelenme miktarı ve kayma hızı ile ilgili düşünceler fay hattının değişik kesimlerinde yapılan çalışmalar ve bu çalışmalarda kullanılan yöntem ve morfolojik evrim modellerine göre farklılık gösterir. Doğu pontidlere ait volkanik örtü ile Galatya masifi arasındaki ilişki dikkate alınarak, KAF'ın Eosen'den bu yana 400 km atıma sahip olduğu önerilmiştir (Pavoni, 1961). Bu görüşe karşı çıkan Ketin (1969) KAF'ın Pliyosen'den günümüze üzerindeki atımın bir kaç 10 km'yi geçemeyeceğini öne sürmüştür. Erzincan'ın batısında Neo-Tetis'e ait olan kenet zonunun 85 ± 5 km ötelendiği görüşü (Seymen, 1975), Şengör ve diğ. (2005) tarafından Havza-Niksar arasında belirlenen eski bir fayın (Yılmaz ve diğ., 1993) aktivitesi ile deneştirilmiştir. KAF'ın Orta-Geç Miyosen yaşında ve 50-100 km civarında atıma sahip olduğu ileri sürülmüştür (Şengör, 1979; Şengör ve diğ., 1982; Şengör ve diğ., 1983; Şengör ve diğ., 1985). Şengör ve Canitez (1982), doğuda 80-100 km civarında olan atımın batıda 30 km'ye kadar azaldığını belirtmiştir. Havza-Ladik havzasında Geç Miyosen birimlerinin 25 ± 5 km ötelendiği ileri sürülmüştür (Barka ve Hancock, 1984). KAF'ın en doğusunda yer alan Karlıova'daki Pliyosen volkaniklerinin sahip olduğu 7,5 km'lik ötelenme (Şaroğlu, 1988), yakın segmentler üzerindeki toplam ötelenme ile uyuşmamaktadır.

Yedisu havzası boyunca Peri çayı'nın 30 ± 5 km ve doğusunda yer alan Fırat nehrinin ise 35-40 km ötelenmesi (Barka, 1992), uyumlu görülsede, KAFZ'nin doğudaki sıkışmalı çift büklüm yapısından (Barka ve Kadinsky-Cade, 1988) dolayı sahip olduğu geniş deformasyon zonunu dikkate alan Şengör ve diğ. (2005) Peri çayının toplam atımının 70 km olduğunu belirtir. Yedisu fayı üzerinde yer alan Üst Senoniyen-Paleojen volkanik ve volkanoklastiklerin sahip olduğu ötelenme 50 km civarındadır (Herece ve Akay, 2003).

KAFZ'nin doğusu için önerilen toplam atım değerleri arasındaki tartışma Erzincan ve Suşehri civarında da mevcuttur. Erzincan'ın kuzey batısındaki Miyosen karasal birimler üzerindeki 30 km'lik atımın (Tatar, 1978) ve Suşehri civarındaki Lütésiyen volkaniklerinin 35 km'lik ötelenmenin (Koçyiğit, 1989) KAF'a paralel kollar üzerindeki atım dağılımı hesaba katılmadan yapıldığı düşünülmüştür (Şengör ve diğ., 2005).

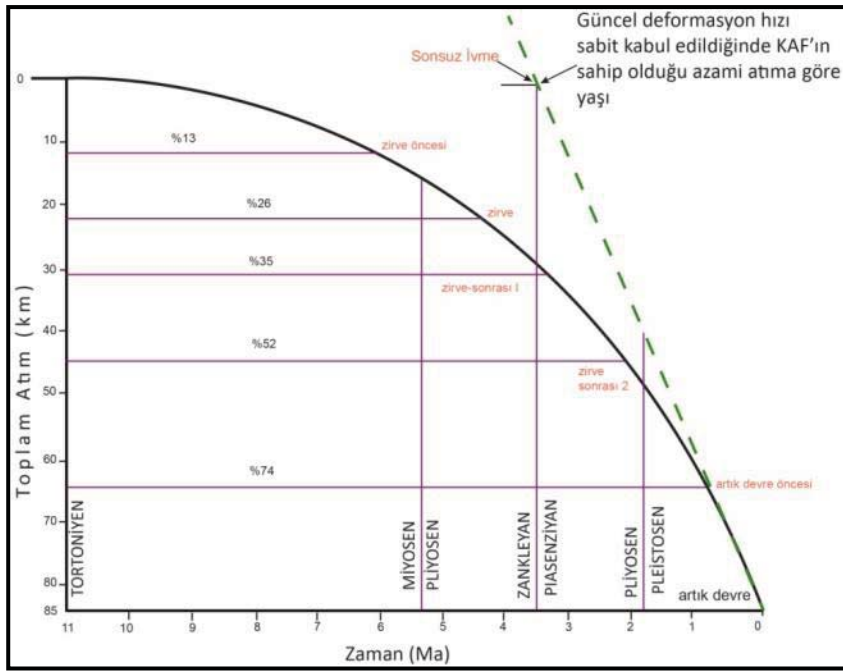
Yeşilirmak nehri için 50 km (Şengör ve diğ., 2005) ve 75 km (Hubert-Ferrari ve diğ., 2002) olmak üzere iki farklı toplam atım görüşü mevcuttur. Kızılırmak nehri üzerinde ise 26 ± 2 km (Barka, 1981; Barka ve Hancock, 1984), 80 km (Hubert-Ferrari ve diğ., 2002) ve 40 km (Şengör ve diğ., 2005) olmak üzere üç farklı atım

senaryosu mevcuttur. Gerede-Yeniçağa arasında KAF'ın atımı Eosen volkaniklerinin sınırına göre 25 km olarak belirlenirken (Şaroğlu, 1988), Hubert-Ferrari ve diğ. (2002), Gerede çayının 95 veya 65 km ötelendiği morfolojik evrime yönelik hipotezler kullanarak ileri sürmüştür. Aynı çalışma Pontid kenedi ve Tosya-Vezirköprü havzası gibi jeolojik yapıların ortalama 85 km olan ötelenmesini dikkate alarak 13 milyon yıllık çok uzun dönem kayma hızını 6.5 mm/yıl hesaplamıştır. Hubert-Ferrari ve diğ. (2002), Tosya yakınlarında ötelenmiş alüvyal yüzeylerin yaşlarına dayanarak bu bölgede KAFZ'nin kısa dönem kayma hızını ortalama olarak 18 ± 5 mm/yıl hesaplamışlardır. KAF'ın Almacık blokunu güneyden sınırlayan kolunun üzerinde toplam 50 km atım ileri sürülürken (Herece ve Akay, 2003). KAF'ın güney kolu üzerindeki ötelenme 22 km (Koçyiğit, 1988) ve 26 km (Şengör ve diğ., 2005) olarak düşünülmüştür. KAF'ın batı ucunda, Ganos antiklinalinin Saros körfezine devam ettiği (Armijo ve diğ., 1999) ileri sürülmüş, 75 ± 5 km'lik atım ve 14 mm/yıl'lık ortalama kayma hızı hesaplanmıştır. Ancak KAF'ın kuzey kolu olarak çalışan Ganos Segmenti'nin yapısal ve stratigrafik ilişkiler dikkate alınarak son 3.7-3.4 My'dan beri toplam 57-63 km atıma sahip olduğu ileri sürülmüştür (Yalıtırak ve diğ., 2000).

KAFZ'nin doğusu ve batısı arasındaki toplam atım farkı KAFZ'nin evrimi ve yaşı ile ilgili farklı modeller kurgulanarak açıklanmıştır. Barka (1992), KAF'ın Geç Miyosen'de sağ yanal bir makaslama zonu olarak oluşmaya başladığını, Erken Pliyosen'de ana fayın oluştuğunu ileri sürmüştür. Araştırmacı fay zonunun batısındaki toplam ötelenmenin az oluşunu blok içi deformasyon ile açıklamıştır. KAF'ın batı kesiminin yaşının 5 milyon olduğu ise ileri sürülen başka bir görüştür (Armijo ve diğ., 2005). Diğer bir görüş ise (Şengör ve diğ., 2005) atım farkını KAFZ doğu ve batısı arasındaki yaş farkı ile ilişkilendirmiştir. KAFZ'nin yaşının doğuda Orta-Geç Miyosen en batıda ise Geç Pleyistosen'den önce olamayacağı önerilmiştir (Şengör ve diğ., 2005). Araştırmacı Marmara denizi içerisinde 4 km'ye kadar düşen ötelenmeyi, Marmara denizinde KAFZ'nin ana makaslama zonunun 200 bin yıldan daha genç olması ile ilişkilendirmiştir.

Şengör ve diğ. (2005), Geç Triyas sonunda doğuda KAMZ ve KAF'ın neredeyse birleştiği yerde oluşan Karnos havzası gibi tektonik kökenli havzaların oluşumunun, KAMZ ve KAF'ın oluşum yaşı olarak hesapladığı Zanklean-Piansenziyan ile tezatlık oluşturduğuna işaret etmiştir. Yazar yaptığı hesaplamada, yıllık 25 cm/yıl olan KAFZ'nin hareket miktarının zaman içerisinde aynı olduğunu varsayıp KAFZ

üzerindeki toplam atım miktarının ancak 3.5 milyon yılda oluşacağını hesaplamış ve KAMZ ve KAF'nin erken Pliyosen'de oluşması gerektiğine işaret etmiştir. Yazar günümüzdeki hareket ile 0 cm/yıl olması gereken ilk oluşum hızı arasındaki ilişkiyi yumuşak bir eğri ile açıklamış (Şekil 2.2) ve bu durumun etkisini araştırmıştır. Buna göre KAMZ, kil keki deneyinde (Tchalenko, 1970) kullanılan en-boy oranına uygun olarak 100 km kalınlığında ve 1200 km uzunluğunda uniform olarak ele alınmıştır. Tchalenko (1970) modelinde açıklanan zirve öncesi (Pre-Peak) dönme, KAMZ 11 km lik atım ve 0,44 cm/yıl hareket hızı ile 11 milyon yıl önce ulaşmıştır. Bu dönemde doğrudan giden fay oluşmamıştır.



Şekil 2.2 : KAFZ'nin deformasyon hızının zaman grafiği (Şengör ve diğ.,2005).

Toplamdaki yer değiştirmenin %13'ü bu devrede karşılanırken oluşan deformasyon Riedel (R) ve anti Riedel (R') ile karşılanmış ve gerilme çatlakları makaslama zonuna paralel olarak saat yönünün tersi yönde 135 derecede, bindirme ve kıvrımlar ise 45 derecede oluşmuştur. Tchalenko (1970)'nun modelindeki zirve (Peak) döneminde ise toplam atım 22 km dir. R' makaslamaları dönüp sabitlenirken diğer yapılar gelişmeye devam etmiştir. Açılma çatlakları (Tension gash) bazı R makaslamalarına bağlanmaya başlamış olabilir. Doğrudan giden fay bu bölümde hala oluşmamıştır. 4,2 milyon yıl önce gelişen bu bölümde 0,9 cm/yıl hıza ulaşılmış ve toplam yer değiştirmenin %26'sı gerçekleşmiştir. Zirve sonrası (Post-Peak) dönem iki bölümde incelenmiştir. Zirve sonrası birinci döneme (Post-Peak 1) 3,4 milyon yıl

önce gelirken, bu dönemde toplam atımın % 35'i anlamına gelen 1,2 cm/yıl hıza ulaşılmış ve yer değiştirme 31 km'ye ulaşmıştır. Bu dönemde R makaslamaları önemli ölçüde genişlemiş ve açılma çatlakları ile olan bağlanmaları çek-ayır havzaların oluşumuna yol açmış olabilir. Uzamaya başlayan R makaslamaları ileride oluşacak fayın bulunduğu yerde belirli bir kalabalık yapar. Zirve sonrası ikinci dönemde (Post-Peak 2) oldukça fazla uzamış ve çakışmaya başlamış R makaslamalarını birbirlerine bağlayan P makaslamalarının ortaya çıkması ile birlikte doğrusal giden fay oluşmaya başlamıştır. Toplam atımın yarısından fazlasına ve 45 km'lik yer değiştirme miktarına ulaşılmıştır. Hızın 1,4 cm/yıl olduğu bu döneme 2 milyon yıl önce ulaşılmıştır. Son olarak Tchalenko tarafından Preresiduel dönem olarak adlandırılan döneme 800 bin yıl önce gelinmiş, 2 cm/yıl hız değerine ulaşılan bu dönemde toplam atımın %74'ü gerçekleşmiştir. Artık devrede (Residuel stage) ise toplam atımın %100'ü gerçekleşmiş ve fay zonu iyice belli olmuştur (Şengör ve diğ., 2005)

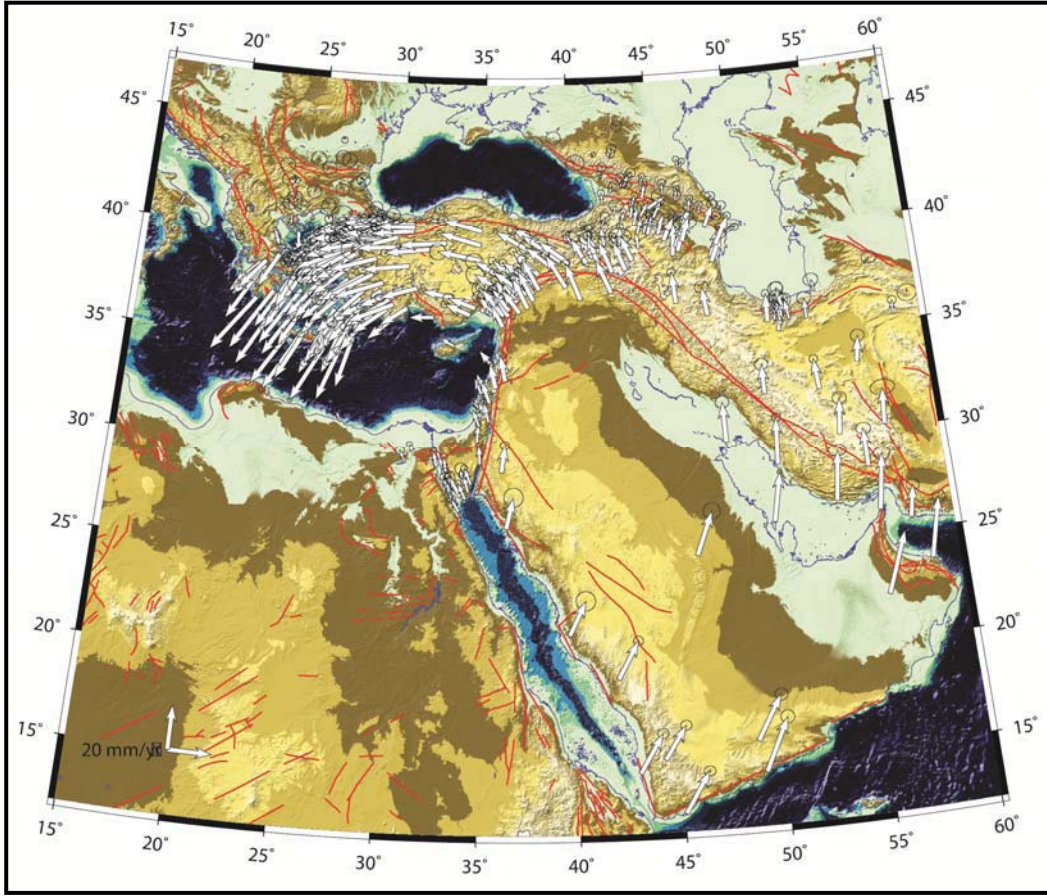
GPS çalışmalarına göre (Şekil 2.3), Afrika levhasının yaklaşık kuzey yönlü hareketi ile Anadolu bloku Avrasya levhasına göre, Euler kutbu Nil deltasında olmak üzere (McClusky ve diğ., 2000; Reilinger ve diğ., 1997) saatin tersi yönünde rotasyona uğrar (Reilinger ve diğ., 2006). Oluşan rotasyon hareketi ile birlikte batıya doğru hareket eden Anadolu blokunun kuzey sınırını oluşturan KAFZ için hesaplanan jeodezik kayma hızı elastik blok modeline göre 31°D boylamının doğusunda 24.2±0.2 - 25.7±0.2 mm/yıl arasında değişir (Reilinger ve diğ., 2006).

KAFZ üzerindeki hızı modelleyebilmek için InSAR (Cakir ve diğ., 2005) ve yersel LIDAR (Karabacak ve diğ., 2011) gibi farklı jeodezik yöntemler de kullanılmıştır.

Ancak ötelenmiş jeolojik ve morfolojik yapılardan elde edilen kayma hızları (Aksoy, 2009; Hubert-Ferrari ve diğ., 2002; Kozacı ve diğ., 2009; Kozacı ve diğ., 2007; Polonia ve diğ., 2004; Pucci ve diğ., 2008) ile jeodezik bulgular arasında zamansal anlamda önemli çelişkiler mevcuttur. KAFZ için Reilinger ve diğ. (2006)'nın elastik blok modellemesi ile elde ettiği jeodezik kayma hızı ortalama 24±1 mm/yıl iken jeolojik kayma hızları 15-20 mm/yıl arasında değişmektedir.

Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun sahip olduğu atım ve yaşı göz önünde bulundurularak üretilen model (Şengör ve diğ., 2005) bu çelişkideki zaman problemini ele almıştır. Araştırmacılar KAFZ üzerinde oluşan kayma hızının, 6 My öncesine kadar 0.44 cm/yıl, 4.2 My önce 0.9 cm/yıl değerine çıktığını ileri sürmüştür. Şengör ve diğ. (2005)

toplam atımın 31 km'ye ulaştığı 3.4 My öncesinde ise hızın 1.2 cm/yıl olduğunu ve 2 My öncesinde 1.4 cm/yıl olan kayma hızının, 800 bin yıl önce 2 cm/yıl değerine



Şekil 2.3 : Doğu Akdeniz'de levha sınırlarında gelişen olaylar neticesinde ortaya çıkan hareketin Avrasya levhası sabit kabul edilerek GPS ölçümleri ile belirlenen hızları ve hareket yönleri (Reilinger ve diğ., 2006).

ulaştığını vurgulamıştır. Jeodezik veriler ile ötelenmiş jeolojik ve morfolojik verilerden elde edilen kayma hızları arasındaki farklar adı geçen yöntemlerin doğru olduğu varsayıldığında, kayma hızının kısa zaman aralıklarında keskin değişiklik göstermesi, jeolojik ve/veya jeodezik ölçümler içerisindeki sistematik hatalar ve her iki yöntemle de elde edilen bulguların yanlış değerlendirilmesi gibi nedenlere bağlanmıştır (Zabcı, 2012). Jeodezik ölçümler ile elde edilen hız vektörlerinin değerlendirilmesi ve bu hız vektörleri kullanılarak elde edilmiş blok modelleri arasındaki uyumsuzluklar Bölüm 2.5.2. başlığı altında tanıtılmıştır.

2.3 Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ)

2.3.1 Giriş

Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) Doğu Akdeniz'in en önemli kıta içi doğrultu atımlı faylarından biridir. Türkiye'nin en büyük ikinci fay zonu olmasına rağmen DAFZ üzerindeki çalışmalar KAFZ'ye göre daha azdır. Anadolu blokunu güneydoğudan sınırlayarak, Arabistan levhası ile arasındaki sınırı oluşturan fay zonu (Şekil 2.1) KAFZ ile birlikte Anadolu blokunun batıya doğru olan hareketini sağlar (Arpat ve Şaroğlu, 1972; Dewey ve diğ., 1986; McKenzie, 1972, 1976; Şengör, 1979; Şengör, 1980; Şengör ve diğ., 1985). Doğu Anadolu Fayı'nın transform özelliği ilk olarak Arpat ve Şaroğlu (1972) tarafından tanıtılmış ve sonrasında yapılan çalışmalar (Ambraseys ve Jackson, 1998; Arpat ve Şaroğlu, 1975; Dewey ve diğ., 1986; Jackson ve McKenzie, 1984; McKenzie, 1976; Westaway, 2004; Westaway ve Arger, 1996; Westaway, 2003) ile daha iyi tanınmaya başlanmıştır.

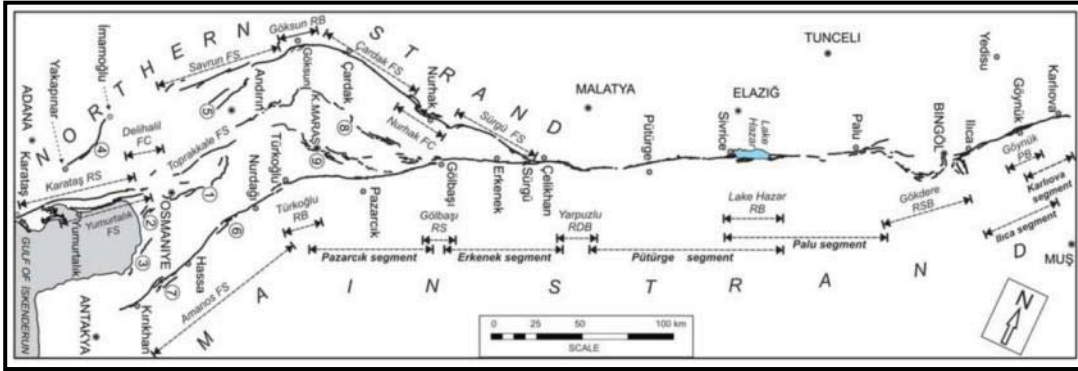
2.3.2 DAFZ üzerinde yapılan önceki çalışmalar

Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ), kuzeydoğu'da KÜE'den başlar ve güneybatıya doğru KD-GB doğrultusunda devam eder (Şekil 2.1). DAFZ'nin uzanımı ile ilgili değişik araştırmacılar tarafından farklı görüşler ileri sürülmüştür. DAFZ'nin KÜE ile Kahramanmaraş arasındaki bölümü yaklaşık 400 km uzunluğundadır (Dewey ve diğ., 1986; Gülen ve diğ., 1987). Sol yanal doğrultu atımlı fay olan DAFZ Anadolu blokunun batıya doğru olan hareketinde, Arabistan Levhası ile olan sınırını teşkil eder (Arpat ve Şaroğlu, 1972; Gülen ve diğ., 1987; Jackson ve McKenzie, 1984; Lyberis ve diğ., 1992; Muehlberger ve Gordon, 1987; Şaroğlu ve diğ., 1992; Şengör ve diğ., 1985; Westaway, 1994; Westaway, 2003).

DAFZ'nin Kahramanmaraş'tan sonraki uzanımı için değişik görüşler vardır. Bazı araştırmacılar DAFZ'nin Maraş'tan sonra Antakya'ya doğru devam ederek Ölü Deniz Fay Zonu (ÖDFZ) ile birleştiğini belirtmektedirler (Allen, 1969; Arpat ve Şaroğlu, 1975; Kelling ve diğ., 1987; Kiratzi, 1993; Kiratzi ve Papazachos, 1995; Rotstein, 1984; Şaroğlu ve diğ., 1992). Diğer bir görüş ise fay zonunu Maraş'tan sonra güneybatı yönünde devam ederek Yumurtalık fayına ve Kıbrıs'a doğru uzandığını ileri sürmüşlerdir (Barka ve Kadinsky-Cade, 1988; Dewey ve diğ., 1986; Dewey ve diğ., 1973; Gülen ve diğ., 1987; Jackson ve McKenzie, 1984; Kahle ve diğ., 2000; Karig ve Kozlu, 1990; Kempler ve Garfunkel, 1991; Kiratzi, 1993;

McKenzie, 1972; Perinçek ve Çemen, 1990; Şengör ve diğ., 1985; Westaway, 1994; Westaway ve Arger, 1996). DAFZ'nin uzanımı hakkındaki başka bir düşünce ise fay zonunun Türkoğlu civarında sonlandığını öne sürmüştür (Chorowicz ve diğ., 1994; Lovelock, 1984). Muehlberger ve Gordon (1987)'e göre ise DAFZ, kuzey Amanoslar'ın doğusundaki Aksu nehrini geçtikten sonra ÖDFZ'nun kuzey kolunu oluşturur.

DAFZ geometrisine göre farklı segmentlere bölünmüştür (Arpat ve Şaroğlu, 1972, 1975; Barka ve Kadinsky-Cade, 1988; Hempton ve Dewey, 1981; Herece, 2008; Muehlberger ve Gordon, 1987; Şaroğlu ve diğ., 1992; Şengör ve diğ., 1985; Westaway, 1994, 2004). Barka ve Kadinsky-Cade (1988), DAFZ üzerinde farklı doğrultu ve özellikteki on dört segment ile tanımlarken, Perinçek ve Çemen (1990), üç, Muehlberger ve Gordon (1987) ve Westaway (1994) ise fay zonunu beş, Şaroğlu ve diğ., (1992), altı segmentten meydana geldiğini ifade etmiştir. Duman ve Emre (2013) farklı ölçeklerdeki hava fotoğrafları ve arazi çalışmaları ile DAFZ'nin segmentasyonunu yeniden ele almıştır. DAFZ'yi ana kol ve kuzey kol olarak ikiye ayıran araştırmacılar ana kol üzerinde yedi, kuzey kol üzerinde ise sekiz tane segment tanımlamışlardır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 : Doğu Anadolu Fay Zonu'nun segmentleri (Duman ve Emre, 2013).

KÜE ile Çelikhan arasında dar bir deformasyon zonuna sahip olan fay, Çelikhan batısında kuzey ve güney olmak üzere iki kola ayrılır ve deformasyon alanı genişler (Duman ve Emre, 2013). Güney kol ve Çelikhan doğusu DAFZ'nin ana kolunu oluşturur.

DAFZ'nin değişik segmentlerinde yapılan çalışmalar ile farklı jeolojik ve morfolojik atım değerleri elde edilmiştir. DAFZ'nin Karlıova-Bingöl segmenti üzerinde, Arpat ve Şaroğlu (1972)'de Göynük vadisi civarındaki Miyosen birimlerinin 22 km ve Palu ilçe merkezi ile Hazar Gölü arasında Mesozoyik birimlerinin 27 km sol yanal

ötelendiğini belirtir. Göynük Vadisi içerisinde metamorfik birimler ile bazaltik birimler arasındaki dokanağın faylı olduğunu ve bu iki birimin dokanağının 15 km ötelendiği belirtilmiştir (Seymen ve Aydın, 1976). Hempton (1985) Hazar Gölü'nün güney doğusundaki Maden Melanji'nin 21 km ve Fırat Nehri'nin 13 km sol yanal yer değiştirtirmeye uğradığını belirtir. Westaway (1994), Hazar çek-hayırlı havzası civarında toplam 35 km sol yanal ötelenme olduğunu ileri sürmüştür. Hazar yakınlarında, Çüngüş fayı boyunca eski bir bindirme fayı 5 km ötelenmiştir (Yazgan, 1983). Westaway (1994) ve Westaway (2004), Palu-Hazar arasındaki fay parçası üzerinde 21 km den büyük ötelenme olduğunu bildirmiştir. Fırat nehrinin Hazar-Şiro fayı üzerinde 13 km ötelendiğini hesaplanmıştır (Westaway ve Arger, 2001). Westaway ve Arger (1996), Gölbaşı-Türkoğlu fayı üzerindeki 16 km sol yanal ötelenmiş ofiyolit kütlesi ve 17 km ötenmiş bir antiklinal ekseninin olduğunu söylemiştir.

Jeofizik yöntemlere dayanarak yapılan çalışmada DAFZ üzerindeki kayma hızı 25-35 mm/yıl, muhtemelen 6-10 mm/yıl olduğu ileri sürülmüştür (Taymaz ve diğ., 1991). DAFZ'nin kayma hızı ile ilgili diğer görüşler Lyberis ve diğ., (1992) 19 mm/yıl, Kiratzi, (1993) 6 mm/yıl, Westaway, (1994) 13±1 mm/yıl, Herece, (2003) 7,7±0,2 mm/yıl, Çetin ve diğ. (2003) 11 mm/yıl ve Westaway, (2003) 8 mm/yıl'dır. GPS verilerine göre ise 10±5 mm/yıl (Oral, 1994), Reilinger ve diğ., (1997) 15±3 mm/yıl, 11±1mm/yıl (Barka ve Reilinger, 1997) ve McClusky ve diğ., (2000) 9±1 mm/yıllık kayma hızı modeli önermişlerdir.

DAFZ'nun yaşı farklı araştırmacılar tarafından Geç Miyosen-Pliyosen aralığında belirlenmiştir (Arpat ve Şaroğlu, 1972, 1975; Hempton, 1987; Herece ve Akay, 2003; Herece ve Akay, 1992; Lyberis ve diğ., 1992; Perinçek ve Çemen, 1990; Şaroğlu ve diğ., 1992; Şengör ve diğ., 1985; Westaway, 1994; Westaway ve Arger, 1996; Westaway, 2003).

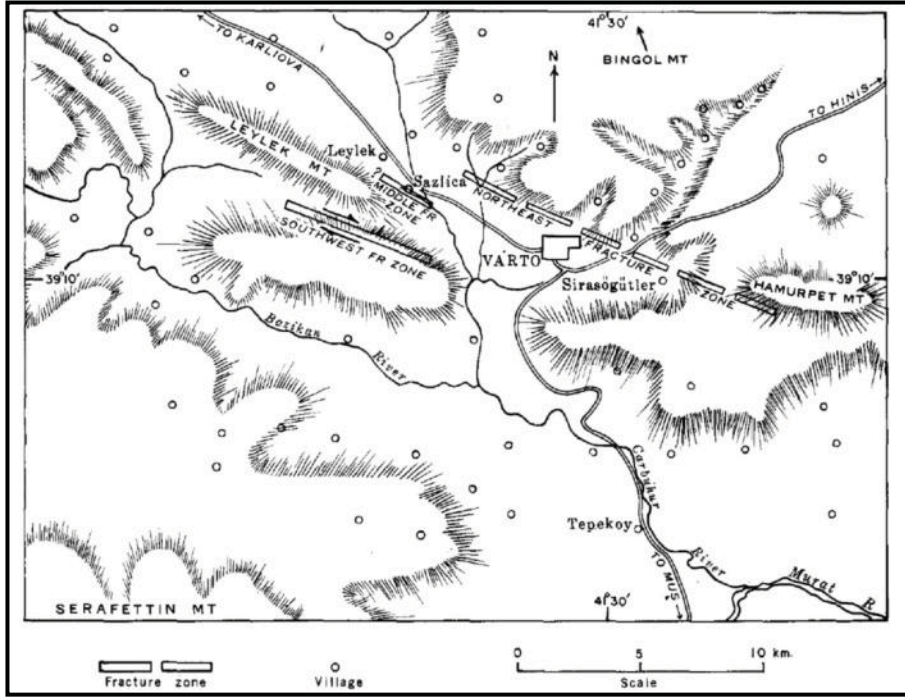
DAFZ'nun Göynük vadisinde fayın Miyosen yaşlı kireçtaşlarını kesmesine dayanarak yaşının Miyosen'den geç olabileceği ileri sürülmüştür (Arpat ve Şaroğlu,1972). Şaroğlu ve diğ., (1992), jeolojik verilere göre DAFZ'nun yaşını Geç Pliyosen olarak ileri sürmüştür. Karlıova Havzasındaki çökellere dayanarak fayın Pliyosen'de zaten var olduğunu ileri süren Şengör (1985), DAFZ'nin uzanımı boyunca oluşum yaşını belirlemek verilerin bulunmadığını belirtmiştir. Westaway (1994), Anadolu Blok'unun batıya kaçmasını sağlayan KAFZ ve DAFZ'nin yaklaşık beş milyon yıl önce aynı zamanda oluştuğunu ve DAFZ üzerindeki 27 km'lik

maksimum atımın Ölü Deniz Fay zonu üzerindeki son beş milyon yıllık atıma eşit olduğunu da dikkate alarak fayın yaşını yaklaşık beş milyon olarak ileri sürmüştür. Westaway ve Arger (1996), fay üzerindeki en büyük atımı 30 km olarak belirlemiş ve Westaway, (1994)'de ileri sürülen 14 ± 2 mm/yıl olan kayma hızını kullanarak fayın 3 milyon yıl önce oluştuğunu ileri sürmüştür. Westaway, (2003) DAFZ'nin kayma hızını yaklaşık 8 mm/yıl olarak hesaplayıp fayın yaklaşık 4 milyon yıl önce oluşmaya başladığını ileri sürmüştür. Herece ve Akay (1992), geniş ölçekteki jeolojik değerlendirmelere dayanarak fayın oluşum yaşını Pliyosen olarak sınırlandırmıştır.

2.4 Varto Fay Zonu (VFZ)

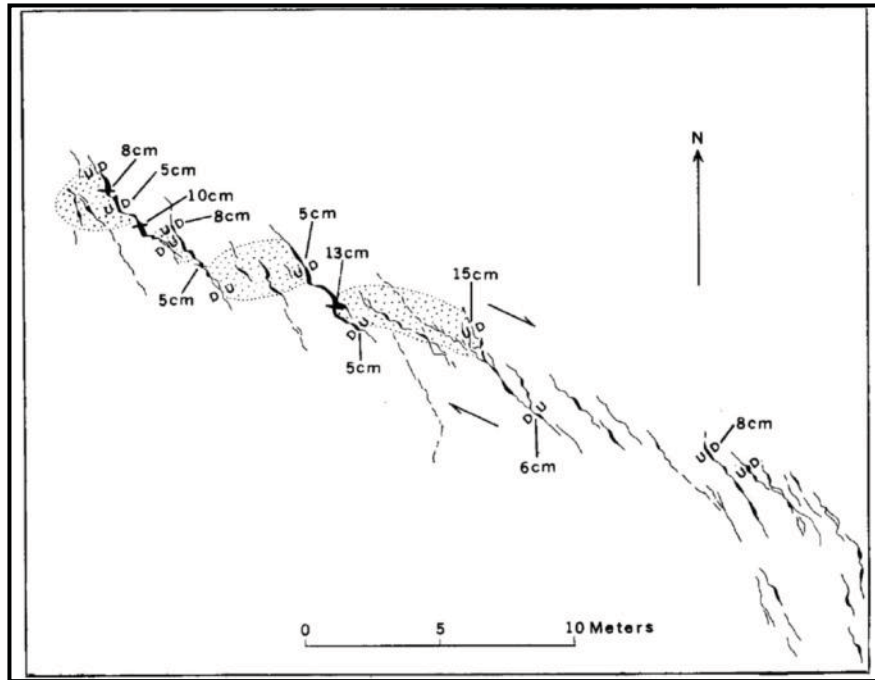
Varto Fay Zonu (VFZ) Karlıova üçlü eklemının yapısını anlamak için oldukça önemlidir. 1966 Varto depremine kadar özelliği tam olarak bilinmeyen Varto fayı ile ilgili yapılan çalışmalar yok denecek kadar azdır. VFZ ile ilgili görüş bu zonun KAFZ'nin devamı olduğudur (Ketin, 1969; Ketin, 1976). Varto fayı ile ilgili en önemli bilgiler 1966 Varto depremi sonrasında elde edilmiştir. 1966 Varto depremi (M=6,9) Varto Fayı'nın bindirme bileşenli doğrultu atımlı bir fay olduğuna işaret etmektedir (McKenzie, 1972). Depremden hemen sonra yapılan arazi çalışmaları (Wallace, 1968) fayın sağ yanal olduğunu göstermektedir. Varto Fayı'nın Karlıova'nın doğusundaki Bingöl Kaldera'sını kestiği belirtilmiştir (Şaroğlu, 1985). VFZ ile ilgili ilk bilgiler 1966 Varto depreminden sonra ortaya çıkmıştır. Depremden sonra yapılan arazi çalışmaları ile depremin ortaya çıkardığı üç çatlak zonu belirlenmiştir (Wallace, 1968). Aynı çalışmada güneybatı, orta ve kuzeydoğu çatlak zonları olarak adlandırılan bu deformasyon yapılarının (Şekil 2.5) özellikleri VFZ'nin ilk yapısal verileridir.

Güneybatı çatlak zonu olarak tanımlanan hat üzerinde (Şekil 2.5) oluşan bir kaç yüz metrelik deformasyonlar, Leylek dağı'nın güneyinde, 6 km uzunluğunda ve 300 m genişliğinde bir bölgede oluşmuştur (Wallace, 1968). Araştırmacı, bu zon üzerinde görülen deformasyonların topoğrafya kontrolünde olmadığını belirtir ve çatlaklar üzerinde oluşan düşey hareketin genel davranışı hakkında "açık bir delil" olmadığını ancak 20-30 cm'lik sağ yanal doğrultu atım hareketine ait veriler barındırdığını ifade eder. Araştırmacı, Leylek dağı güneyinde yer alan KD-GB gidişatlı doğrultu atımlı sağ yanal fay denetiminde gelişen çatlak sistemini detaylı çizmiş (Şekil 2.6) ve bunu



Şekil 2.5 : 1966 Varto depreminde oluşan deformasyon zonları (Wallace, 1968).

San Andreas fayı üzerinde olan 1966 Parkfield Cholame depreminde ortaya çıkan yapılar ile özdeşleştirmiştir. Wallace, (1968) orta çatlak zonunun (Şekil 2.5) bazı bölümlerinde gelişen yapıların güneybatı çatlak zonunda görülen yapılar ile benzerlik gösterdiğini ve yine 20-30 cm'lik sağ yanal ötelenmeler olduğunu tespit etmiştir.



Şekil 2.6 : Güneybatı kırık zonunda oluşan çatlakların geometrisi (Wallace, 1968).

Varto depremi sırasında ortaya çıkmış olan en büyük kırık zonu olan kuzeydoğu çatlak zonu (Şekil 2.5) üzerinde oluşan yapıların tektonik kökenli olmadığı bu yapıların heyelan veya sarsıntı sonucu ortaya çıkan ikincil yapılar olduğu belirtilmiştir (Wallace, 1968).

Şengör (1979) KÜE doğusunda Avrasya ve Arabistan levhaları arasındaki sınır teşkil eden D-GD uzanımlı sağ yanal doğrultu atımlı fayın KAFZ'nin devamı olmadığını belirtmiştir.

Herece (2008), VFZ'ye ait ilk segmentasyon çalışmasıdır. Araştırmacı, VFZ'yi kuzeyden güneye Varto bölütü, Leylek Dağ bölütü ve Çayçatı bölütü olarak üç fay koluna ayırmıştır. Leylek Dağ bölütü ile Wallace (1968) çalışmasından tanımlanan güneybatı kırık zonu coğrafik konum olarak benzerdir.

VFZ üzerinde 07 Mart 1966 ve 19 Ağustos 1966 tarihlerinde iki deprem olmuştur. Ülkemizde 1938–2004 yılları arasında meydana gelmiş yıkıcı depremlerin odak mekanizmasının çözümlerini içeren katalogta (Tan ve diğ., 2008) VFZ üzerinde son yüzyıl içerisinde meydana gelmiş iki büyük depremin parametreleri sunulmuştur. Tan ve diğ. (2008) bu depremlere ait odak mekanizması çözümlerinden depremi oluşturan fayların doğrultu ve eğimlerini sırası ile $310^{\circ}/60^{\circ}$ ve $314^{\circ}/64^{\circ}$ ve eğim yönlerinin kuzeye doğru olduğu belirtilmiştir.

2.5 Karlıova Üçlü Eklemi (KÜE)

2.5.1 KÜE civarının jeolojisi

2.5.1.1 Metamorfik kayalar

Çalışma alanı civarındaki en yaşlı kayalar olan bu birimin gerçek yaşı bilinmemektedir. DAFZ'nin güneydoğusunda yer alan (EK A) ve fay zonu tarafından ötelenen birim, kristalize kireçtaşı, mermer, klorit şist, amfibolit şist ve kalkşistlerden oluşmaktadır (Şaroğlu, 1985). Oldukça deforme olan birimin tip kesiti Göynük vadisi civarında görülür. Birimin yaşı Üst Mesozoyik-Alt Paleozoyik olarak ileri sürülmüştür (Şaroğlu, 1985)

2.5.1.2 Kazan formasyonu

Değişik yaş ve özellikte bloklardan oluşmuş ofiyolitik melanaj niteliğindeki birim çalışma alanının kuzeybatısında yaygın olarak görülür.

KAFZ'nin iki blokunda da görülen birimin Kazan köyü civarında görülen tip kesitinde en altta Triyas yaşlı kireçtaşı, killi kireçtaşı ve kumtaşı ardalanmasından oluşan blok görülür. Üzerine gelen Kretase yaşlı kireçtaşı-kumtaşı-çakıltaşı ardalanmalı bloklar üzerinde yer alan serpantin blokları değişik boyutlardadır. Serpantin bloklarının en üstünde yer alan çakıltaşı seviyelerinin melanj ile eş yaşlı olduğu ileri sürülmüştür (Şaroğlu, 1985).

Kazan formasyonunun tabanı görülememiştir. Daha güneyde yer alan metamorfik kayalar ile dokanak halinde olduğu yerler bulunmamaktadır. Çalışma alanının kuzeybatısında Karlıova volkanitleri Kazan formasyonunun taban kongolmerası ile örtmektedir (EK A).

Formasyon içerisindeki bloklarda belirlenen en genç yaş Üst Eosen'dir. Birimin oluşumu ile eş yaşta olduğu düşünülen çakıltaşları içerisinde fosil bulunamamıştır. Alt Miyosen yaşlı Adilcevaz kireçtaşları ile uyumsuz olarak örtüldüğü için birimin yaşı Oligosen olarak kabul edilmiştir (Şaroğlu, 1985).

2.5.1.3 Solhan formasyonu

Solhan formasyonu yaklaşık 1000 m kalınlığa sahip volkanik ve volkanoklastik birimlerden oluşur. Birim kumtaşı, çakıltaşı ile başlar ve üste doğru tüf, aglomera ve andezit basalt akıntıları ardalanması şeklinde devam eder. Birimin en üst seviyelerinde ise trakti ve andezitler bulunur

DAFZ'nin her iki blokunda da görülen volkanitler (EK A ve B). yanal olarak süreksiz oldukları için değişik kesimlerde farklı istifler şeklinde görülür. Göynük vadisinde metamorfik kayaların üzerinde yer alan birimin kaynağı Bingöl'ün Solhan ilçesi yakınlarındaki eski bir kalderadır.

Birimin alt düzeylerinde yer alan kumtaşı-silttaşı-marn ardalanmalı seviyelerde bulunan bitki ve lamellibrans parçaları tayin edilemedikleri için birime yaş verilememiştir (Şaroğlu, 1985). Birim Alt Miyosen kireçtaşları üzerinde uyumsuzlukla geldiği için yaşının Alt Miyosen'den genç olduğu düşünülmektedir. Solhan volkanitlerinin üzerine uyumsuzlukla gelen Pliyosen yaşlı kayalar dikkate alındığında birimin yaşı Orta-Üst Miyosen olarak ileri sürülmüştür. Ancak Solhan formasyonu Erzurum ve Ahlat yörelerindeki denizel volkanik ürünler olan Orta Miyosen ürünleri ile benzeşmediği için birimin yaşı Orta Miyosen olarak tayin edilmiştir.

Solhan formasyonunun arazi görünümüleri, KAFZ'nin her iki blokunda görülen Bingöl volkanitleri ile benzer olmasına rağmen orta derecede alkalin ve geçiş tipi bazaltik özellikleri ile Bingöl volkanitlerinden jeokimyasal bakımdan oldukça farklıdır (Şaroğlu, 1985). Ayrıca Karlıova volkanitlerinin üzerine geçişli olarak gelen Zırnak formasyonu tarafından uyumsuzlukla örtülmüştür (EK A ve B).

2.5.1.4 Karlıova volkanitleri

Çakıлтаşı, kumtaşı, tuf, aglomera, trakit ve andezit lavlarından oluşan birimin kaynağı çalışma alanı içerisinde yer alan Bingöl kalderasıdır. KAFZ'nin kuzey ve güney blokunda görülebilen birim Karlıova-Kargapazarı arasında yaygındır (Şaroğlu, 1985).

Karlıova havzasının kuzeyinde birimin alt seviyelerine ait çakıлтаşı, kumtaşı ve bunların üzerlerinde yer alan tuf ve aglomeralar görülür (EK A). Kazan formasyonu üzerine uyumsuz olarak gelen birimin, Kazan formasyonu ile olan dokanağı oldukça net olup Kantarkaya köyü civarında aglomeralar ile başlar (Şaroğlu, 1985).

Karlıova volkanitleri üste doğru Zırnak formasyonuna geçişlidir. Yaklaşık kalınlığı 1200 m olan birimin en üst seviyeleri her yer de andezit ve trakit akıntıları ile temsil edilir (Şaroğlu, 1985).

Birimin alt seviyelerinden elde edilen bazı bitki ve gastropod parçaları bulunmuş olmasında rağmen yaşlandırılmamıştır. Karlıova volkanitleri Kazan formasyonunun üzerinde yer alır. Doğuda Adilcevaз kireçtaşlarını örten birimin Kantarkaya köyü civarındaki çakıлтаşı seviyelerinde Alt Miyosen yaşlı fosiller bulunmuştur. Bu veriler Karlıova volkanitlerinin Alt Miyosen'den genç olduğunu gösterir. Pliyosen yaşlı Zırnak formasyonu ile geçişli bir sınıra sahip olması dikkate alınarak birimin yaşı Üst Miyosen olarak belirlenmiştir.

KAFZ'nin kuzey blokunda yer alan Karlıova volkanitlerinin üzerine, Bingöl volkanitlerinin üst düzeylerine ait olan bazalt akıntıları gelir.

2.5.1.5 Zırnak formasyonu

Flüvyal kumtaşı, gölssel marn ve kireçtaşı ardalanması arasında bulunan piroklastik birimler ile karakterize olan Zırnak formasyonu Doğu Anadolu'da ki en yaygın birimlerdenidir. Çalışma alanı içerisinde en yaygın olarak gözlenen birimin Varto civarında (EK B) güneyden kuzeye doğru en altta açık gri tuf, çakıлтаşı, kumtaşı ardalanması ile temsil edilir. Bunların üzerine bol fosilli killi kireçtaşları gelir. Fosilli

kireçtaşları üzerine koyu renkli tuf, tüfit ve aglomera ardalanması ve en üst düzeylerinde ise bazaltik lavlar gelir.

Zırnak formasyonu daha yaşlı birimleri uyumsuzlukla örter. DAFZ doğusunda Zırnak formasyonu içerisindeki volkanik birimler ile Solhan formasyonu dokanak halindedir. DAFZ güneydoğusunda görülen metamorfik birimleri örten Zırnak formasyonunun Karlıova volkanitleri ile olan dokanağı ise genelde faylıdır (Şaroğlu, 1985).

Formasyonun yaşı, farklı lokasyonlarda yapılan paleontolojik araştırmalar neticesinde Orta Pliyosen olarak belirtilmiştir (Şaroğlu, 1985).

2.5.1.6 Bingöl volkanitleri

Varto Fay Zonu kuzeyinde yer alan Bingöl kalderasının ürünleri olan bu birim en altta tuf, tüfit ve aglomeralar ile başlar. Açık renkli çabuk bozulan hamurundan kaynaklı olarak bu seviyelerde sürekli heyalan geliştiği belirtilmiştir. Birimin üst kesimlerinde görülen andezit ve trakitler oldukça fazla alterasyona uğramışlardır. Yer yer aglomeralar ile ardalanma gösteren bu seviyenin üstüne gelen bazaltlar levhamsı kırıklı özelliği ile diğer bazaltlardan ayırt edilebilir (Şaroğlu, 1985).

Bingöl volkanikleri çalışma alanının kuzeyinde Kazan formasyonunu ve üçlü eklem civarında ise Karlıova volkaniklerini örtmektedir. Birimin Zırnak formasyonu ile olan sınırını ise VFZ'ye ait Varto segmenti oluşturur (EK B).

Yaklaşık 2500 m kalınlığında olan birimin yaşı Pliyosen olarak tanımlanmıştır (Şaroğlu, 1985).

2.5.1.7 Boran formasyonu

Konsolide olmamış ve kötü boylanmış alüvyal fan çökellerinden oluşmuştur. Birim içerisindeki çakıltaşları volkanik kayalardan türemiştir ve kumlu çimento ile tutturulmuştur. Karlıova havzası içerisinde gelişen birim (EK A) havzaya dökülen akarsuların oluşturduğu alüval fan birimleridir. Zırnak formasyonunu uyumsuz olarak örten yaklaşık 100 m kalınlığındaki birim güncel dereler tarafından kesilmektedir. Pliyosen yaşlı Zırnak formasyonu ile olan ilişkisine dayanarak birimin yaşı Kuvaterner olarak tanımlanmıştır (Şaroğlu, 1985).

2.5.1.8 Kuvaterner çökelleri

İnceleme alanında tutturulmamış çakıl, kum, silt ve killerden oluşan alüvyonun en yaygın görüldüğü yerler Karlıova havzası, ile VFZ boyunca değişik segmentlere yakın konumlu olarak oluşmuş açılmalı bölgelerdir. Çalışma sahasında Kuvaterner çökelleri alüvyon, eski alüvyon ve yelpaze çökelleri ile temsil edilmektedir.

2.5.2 KÜE'yi oluşturan faylar

Dünyada kıta üzerinde oluşmuş en büyük ve en belirgin üçlü eklemlerden biri olan Karlıova Üçlü Eklemleri (KÜE), Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) ve Varto Fay Zonu (VFZ)'nin Bingöl'e bağlı Karlıova ilçesinin, yaklaşık 10 km kuzey doğusunda kesişmesi ile oluşmuştur. KÜE'yi oluşturan fay parçaları KAFZ'nin Ilıpınar segmenti, DAFZ'nin Göynük segmenti ve VFZ'nin Varto segmentidir.

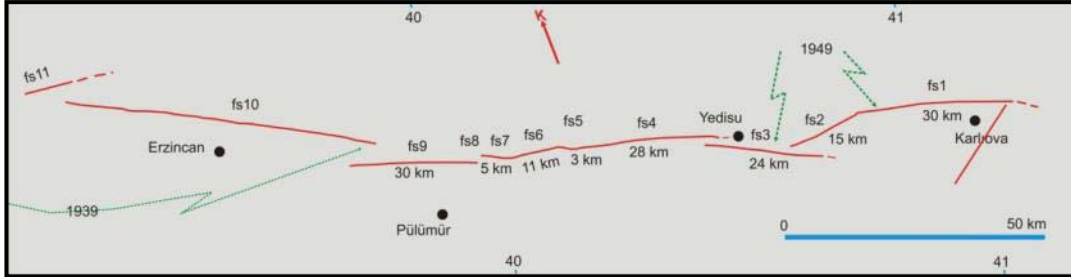
2.5.2.1 Ilıpınar segmenti

KAFZ'nin makaslama zonu KÜE ile Erzincan havzası arasında fayın geometrisine bağlı olarak değişimler gösterir. KAFZ'nin deformasyon zonu KÜE ile Yedisu havzasının doğusu arasında yaklaşık 10 km genişliğe sahiptir.

Aynı zamanda sismik boşuk olan Yedisu havzası ile Erzincan havzası arasındaki bölümünde daha dar bir makaslama zonu şeklinde görülür (Şengör ve diğ., 2005). KAFZ Yedisu segmenti ile KÜE arasında iki segmente ayrılır. 56 km uzunluğundaki KAFZ'nin bu hattını Barka ve Kadinsky-Cade (1988), sıkışmalı çift büklüm geometrisi ile açıklayıp fay üzerindeki geometrik süreksizlikleri dikkate alarak FS1, FS2 ve FS3 olarak üç alt segmente ayırmıştır (Şekil 2.7). Ilıpınar segmentinin (FS1) sahip olduğu belirgin morfolojik izler önceki çalışmalar ile (Allen, 1969; Barka ve diğ., 1987; Tutkun ve Hancock, 1990) gösterilmiştir. Ilıpınar segmenti batı sınırı olan Kızılcubuk köyü civarında, Elmalı segmenti ile yayvan sıkışmalı büklüm yapar (Barka ve Kadinsky-Cade, 1988). Ilıpınar segmentinin hemen batısında ötelenmiş morfolojik yapılar dikkate alınarak yapılan kayma hızı çalışmaları, bölgedeki kayma hızını 19-21 mm/yıl olarak hesaplamıştır (Zabcı, 2012).

KÜE civarında yapılmış olan GPS ölçümleri (Reilinger ve diğ., 2006; Özener ve diğ., 2010) arasında çok az farklar bulunmamaktadır. KAFZ ve DAFZ arasında üçlü eklemler yakın alanda Reilinger ve diğ. (2006) iki istasyon, Özener ve diğ. (2010) ise beş istasyon ile bölgedeki hızı ölçmeyi amaçlamıştır (Şekil 2.8). Bu istasyonlara ait

veriler Çizelge 2.1'de sunulmuştur. Şekil 2.8' de gösterilen ölçümlere göre ATAP, USVT, KLKY ve KAKO ölçüleri (Özener ve diğ.,2010) ile Reilinger ve diğ.(2006) verisi arasında önemli bir hız farkı olmamakla beraber Özener ve diğ. (2010) vektörleri göreceli olarak daha doğu-batı uzanımına yakındır.



Şekil 2.7 : KAFZ'nin Erzincan ve Karlıova arasındaki bölümü, fay üzerindeki geometrik süreksizlikler dikkate alınarak 11 segmente ayrılmıştır (Barka ve Kadinsky-Cade, 1988).

Üçlü eklem doğusunda Reilinger ve diğ.(2006)'da gösterilen SOLH, KRKT ve RESD ile gösterilen ve istasyonlar ile bu hattın kuzeyinde yer alan VART istasyonundan elde edilen hız vektörleri güneyden kuzeye hızın az miktarda düştüğünü fakat hareket yönünün aynı kaldığını göstermektedir (Şekil 2.8). Aynı bölgede yer alan , SOLH (Özener ve diğ.,2010) istasyonu, Reilinger ve diğ.(2006) istasyonlarına ait hız vektörleri ile yön bakımından uyumlu olarak elde edilmiş ancak yaklaşık 2mm/yıl daha hızlı olarak ölçülmüştür. KTAS ve BLYM bölgesinde GPS vektörlerinden elde edilen doğu-batı sıkışma ve kuzey-güney genişleme KAFZ'nin deformasyonu ile uyumlu olarak gelişmektedir.

Yapılan değerlendirmeler Doğu Anadolu Fay Zonu boyunca, SOLH ile USVT ve ATAP istasyonları arasındaki hızlar dikkate alındığında 9 mm/yıl farkı geliştiğini göstermektedir (Özener ve diğ.,2010). Aynı veriler KLKY-USTV istasyonlarının yer aldığı bölge ile ATAP-KRPR istasyonlarının yer aldığı bölge arasında yamulma birikiminin gerçekleştiğini göstermektedir.

ATAP, KRPR, USVT, KLKY, KAKO, SRYB istasyonları arasındaki bölgede makaslamanın maksimum olduğu yöne doğudan batıya doğru dönmektedir. Bu durum bölgede yer alan ikincil faylar arasındaki deformasyonun dağılımı ile ilişkilendirilmiştir (Özener ve diğ.,2010). Arabistan levhası üzerinde olan GENC ve SOLH istasyonlarından elde edilen hız vektörü Arabistan levhasının bölgedeki hareket yönünü vermektedir. SOLH-RESD hattında ve bu hattın kuzeyinde yer alan

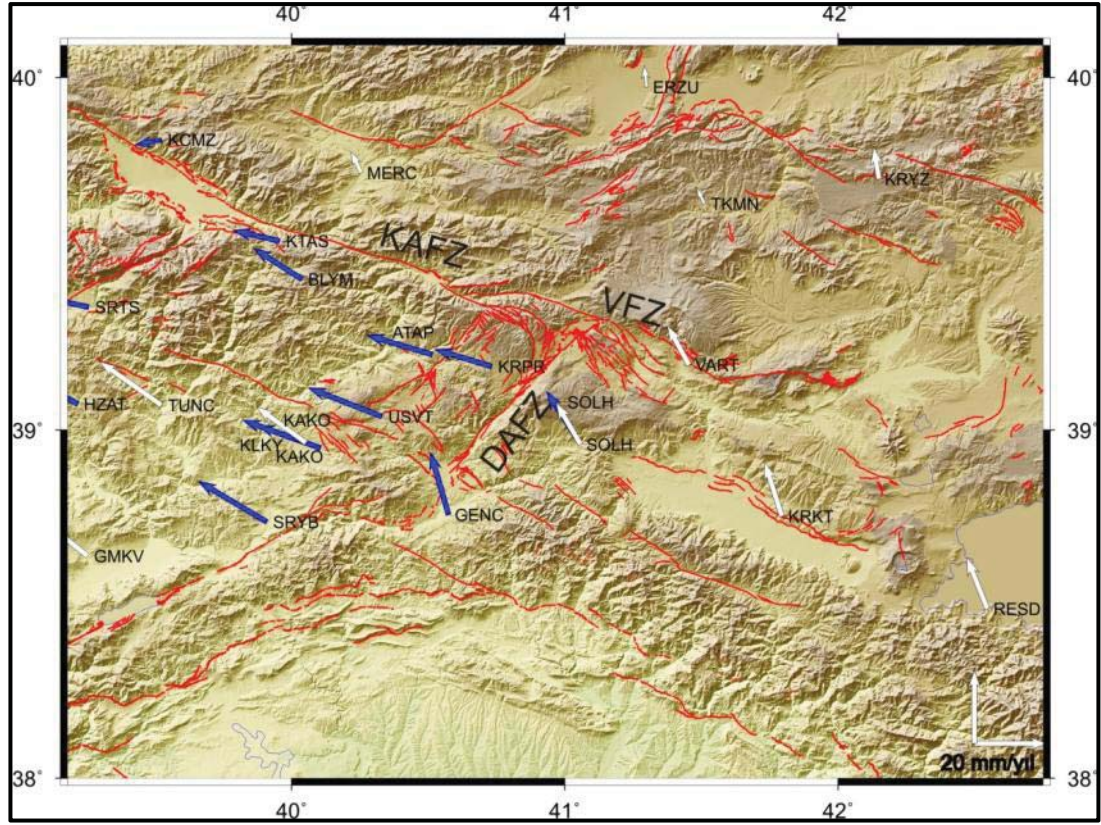
VART bölgesinde görülen önemli sıkışma bileşenine karşın, GENÇ istasyonunda saf makaslama daha hakimdir (Özener ve diğ.,2010).

Çizelge 2.1 : KÜE civarında elde edilmiş GPS hız vektörlerine ait istasyonlar.

LON	LAT	E VEL	N VEL	SIG E	SIG N	SITE	VERİ
41,057	38,959	-9,32	14,57	0,66	0,64	SOLH	Özener ve diğ. (2010)
40,733	39,182	-15,71	4,73	1,67	2,13	KRPR	Özener ve diğ. (2010)
40,575	38,758	-4,95	17,14	0,71	0,69	GENÇ	Özener ve diğ. (2010)
40,515	39,215	-18	5,35	1,62	2,13	ATAP	Özener ve diğ. (2010)
40,33	39,039	-20,2	7,9	1,96	2,58	USVT	Özener ve diğ. (2010)
40,105	38,949	-17,33	6,23	0,62	0,67	KLKY	Özener ve diğ. (2010)
40,052	38,963	-17,33	6,23	0,62	0,67	KAKO	Özener ve diğ. (2010)
40,038	39,43	-13,31	8,51	3,25	4,24	BLYM	Özener ve diğ. (2010)
39,957	39,538	-12,76	2,89	1,52	1,88	KTAS	Özener ve diğ. (2010)
39,91	38,737	-18,76	11,13	0,61	0,59	SRYB	Özener ve diğ. (2010)
39,524	39,824	-7,36	-1,39	1,18	1,47	KCMZ	Özener ve diğ. (2010)
39,42	40,151	-4,97	2,4	0,35	0,38	KLKT	Özener ve diğ. (2010)
39,258	39,35	-19,25	4,12	1,28	1,59	SRTS	Özener ve diğ. (2010)
39,217	39,074	-20,63	12,1	1,5	1,86	HZAT	Özener ve diğ. (2010)
39,164	39,613	-14,8	8,73	0,4	0,51	KMAH	Özener ve diğ. (2010)
38,931	39,026	-19,06	12,58	0,83	0,98	CMGK	Özener ve diğ. (2010)
38,922	39,059	-19,06	12,58	0,83	0,98	CMG1	Özener ve diğ. (2010)
38,645	39,31	-21,9	9,77	1,37	1,67	DBAS	Özener ve diğ. (2010)
38,515	39,614	-20,04	10,79	0,41	0,49	ILIC	Özener ve diğ. (2010)
38,264	39,178	-17,01	12,9	1,34	1,59	DIVR	Özener ve diğ. (2010)
39,52	39,07	-17	11,96	1,45	1,3	TUNC	Reilinger ve diğ.(2006)
40,05	38,96	-13,5	9,87	1,58	1,36	KAKO	Reilinger ve diğ.(2006)
40,25	39,73	-2,81	5,81	0,75	0,68	MERC	Reilinger ve diğ.(2006)
41,06	38,96	-6,75	11,47	1,43	1,2	SOLH	Reilinger ve diğ.(2006)
41,3	39,97	-0,66	5,88	0,66	0,64	ERZU	Reilinger ve diğ.(2006)
41,45	39,19	-5,88	10,74	2,01	1,29	VART	Reilinger ve diğ.(2006)
41,51	39,64	-2,09	4,39	1,78	1,22	TKMN	Reilinger ve diğ.(2006)
41,79	38,75	-4,69	14,76	0,84	0,69	KRKT	Reilinger ve diğ.(2006)
42,15	39,71	-1,42	8,81	1,4	1,24	KRYZ	Reilinger ve diğ.(2006)
42,55	38,49	-5,62	14,01	1,52	1,2	RESD	Reilinger ve diğ.(2006)

KAFZ'nin doğu kesimleri için önerilen GPS modelleri arasında önemli farklılıklar mevcuttur. Fay zonunun doğu kesimleri için önerilen en önemli elastik blok model görüşü (Reilinger ve diğ., 2006) 25.3 ± 0.2 mm/yıl hız öngörürken, daha yoğun GPS istasyonları ile yapılan blok model hız çalışması (Aktuğ ve diğ., 2013) KAFZ'nin doğu kesimleri için yapılan başka GPS çalışmalarında (Özener ve diğ., 2010)

dikkate alarak 11.8 ± 0.3 mm/yıl hız ileri sürmüştür. KAFZ'nin batıda Niksar ile doğuda Erzincan arasındaki yaklaşık 400 km'lik bölümünde yapılan GPS çalışmaları ise, hızın batıdan doğuya doğru 24.0 ± 2.9 mm/yıl değerinden 16.3 ± 2.3 mm/yıl değerine düştüğünü göstermektedir (Tatar ve diğ., 2012).



Şekil 2.8 : KÜE civarındaki GPS hız vektörleri (Beyaz oklar Reilinger ve diğ.(2006) verilerini, mavi oklar Özener ve diğ. (2010) verilerini gösterir.

2.5.2.2 Göynük Segmenti

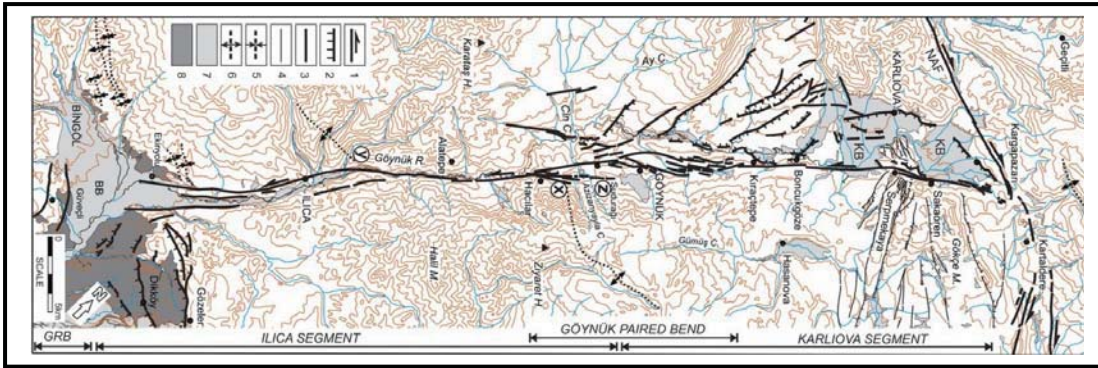
Herece (2008) Göynük bölütü olarak adlandırdığı fay kolunun kuzeyde Kale köyünden başlayarak Sakaören köyü kuzeydoğusuna doğru devam ederek Karlıova havzasını sınırladığını belirtir. Araştırmacı, Kale köyünden daha güneyde Soğukçeşme civarında 300 m'lik dere ötelenmesi ile karakterize olan fayı kolunun Bingöl düzlüğüne kadar devam ettiğini belirtir. Duman ve Emre (2013), DAFZ'yi Karlıova ile Ilıca arasında iki segmente ayırmıştır (Şekil 2.4). Kuzeyde yer alan Karlıova segmenti KÜE'den başlar ve Göynük çift bendini geçerek Ilıca segmenti ile birleşir (Duman ve Emre, 2013). Araştırmacılar 4-12 km arasında değişen uzunluklarda sağa sıçramalı bölümlerden oluşan Karlıova segmentinin Sakaören ve Kıracıtepe arasında kuzey yönlü dışbükey geometrisinin sola sıçramalı yapılar ile karakterize olduğunu

belirtir (Şekil 2.9). Sakaören Serpemekaya arasında alüvyal yapıları kesen fayın arazide izi belirgindir (Duman ve Emre, 2013).

DAFZ'nin en kuzeydoğu kesimi için önerilen GPS modelleri arasında farklılıklar görülür. Fay zonunun en kuzeydoğu kesimi içerisinde olan Göynük ve Ilıca segmentleri için önerilen ilk elastik blok model görüşü (Reilinger ve diğ., 2006) 11.9 ± 0.5 mm/yıl hız öngörürken, daha yoğun GPS istasyonları ile yapılan son yıllardaki blok model hız çalışması (Aktuğ ve diğ., 2013) KAFZ'nin doğu kesimleri için yapılan başka GPS çalışmalarında (Özener ve diğ., 2010) dikkate alarak, 3.7 ± 0.3 mm/yıl hız ileri sürmüştür.

2.5.2.3 Varto Segmenti

VFZ'nin en kuzey segmenti olan bu fay kolu Herece (2008) çalışmasında Varto bölütü olarak isimlendirilmiştir. Varto ilçesinin kuzeyinden geçen, KB-GD yönelimli bu hattın KB ucunda olan 30 km^2 'lik heyelan, segment üzerindeki depremler ve yüksek eğimli yamaçlarda bulunan duraylılığı düşük piroklastikler ile ilişkilendirilmiştir (Herece, 2008). 19 Ağustos 1966 depreminde tektonik kökenli olmayan çatlakları barındıran ve kuzeybatı kırık zonu olarak tanımlanan (Wallace, 1968) deformasyon bölgesi bu segmente yaklaşık paralel konumdadır. Orbay (1976)'dan elde edilen paleomanyetizma verileri bölgede saatin tersi yönünde 20^0 - 25^0 arasında rotasyon olduğunu belirtir (Tapırdamaz, 2013)



Şekil 2.9 : DAFZ'nin Karlıova-Bingöl arası geometrisi (Duman ve Emre, 2013).

2.5.3 KÜE'nin Mekanîği ve Oluşumu Hakkındaki Düşünceler

KÜE'nin davranışını açıklamaya yönelik ilk çalışmalar üçlü eklemi FFT (Transform, Transform, Trenç) tipinde bir üçlü eklem (Şekil 2.10) olarak tanımlar (Şengör, 1979). Araştırmacı, KAFZ ve DAFZ'yi üçlü eklemin transform hatları, doğusunda olan Varto Fayı'nı ise trenç olarak kabul eder (Şekil 2.10a). Şengör (1979), Üçlü eklemin trenç

hattının kuzeyindeki veya güneyindeki levhalardan birinin okyanusal kabuk olması durumunda üçlü eklem göreceli olarak daha basit bir kinematiğe sahip olacağını vurgular (Şekil 2.10b). Ancak KÜE'nin kıtasal litosfer üzerinde olmasından dolayı, deformasyon özelliklerinin bu bölgede daha karmaşık olduğunu belirten yazar, eklem doğusunda kalan levha sınırının üzerinde tamamı ile sıkışmadan etkilenen bir düşey deformasyon alanı oluşacağını ifade eder. Şekil 2.10c'de gösterilen %50 oranında bir sıkışma sonucunda (Şekil 2.10a'ya göre) üçlü eklem civarında bir boşluk oluşur. Söz konusu bu "hipotetik boşluğun" sıkışma bölgesinde oluşacak plastik akma ve karmaşık faylanma gibi deformasyonlar veya volkanizma ile doldurulması gerekir (Şengör, 1979). Yazar üçlü eklem civarındaki faylanmanın benzer bir etkileşimle oluşması gerektiğini savunur.

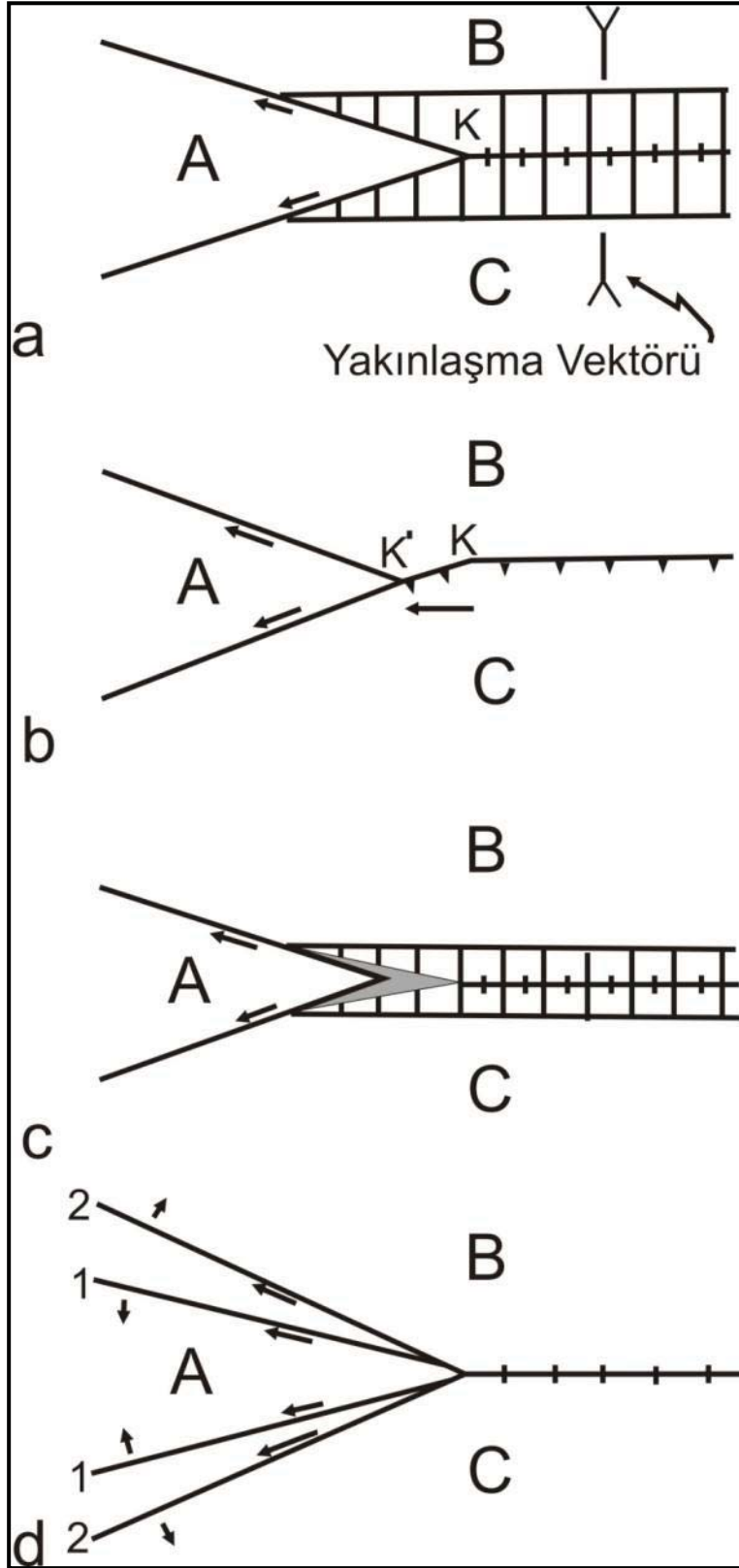
Şengör (1979), Anadolu blokunun deformasyonunu rijit levha modelleri ile açıklayamayacağını ileri sürer.

Araştırmacı, Anadolu blokundaki deformasyonu açıklamak için ileri sürdüğü modelinde üçlü eklem noktasını sabit bir yerde tutup, Anadolu levhasını sınırlayan faylar arasındaki açının, Ege'deki gerilme rejiminin etkisi ile arttığını (Şekil 2.9d) ve bununla eş zamanlı olarak üçlü eklem doğusunda düşey deformasyonun hakim olduğunu belirtir.

Aynı çalışma, en azından Erken Pliyosen'den bu yana Anadolu blokunun K-G sıkışma bölgesinden K-G gerilme bölgesine hareketini gerektirdiğini vurgular (Şengör, 1979). Böyle bir hareket sonucu ortaya çıkan yapılar, Prandtl hücre modellerinden biri ile deneştirilerek açıklanır (Şengör, 1979). Bu modele göre KÜE, KAFZ ve DAFZ'nin doğu-güneydoğu yönelimli yüksek yakınlaşma bölgesi ile kesişmesi ile oluşmuştur.

KÜE civarındaki bloklar torsiyonel rijit davranmaz ve üzerlerindeki deformasyon kesin bir geometrik analiz yapmaya yeterli değildir (Şengör ve diğ., 1985). Yazarlar, doğuda üçlü eklem noktasından başlayıp batıda Antalya'dan geçen meridyene kadar olan bölge içerisinde KAF ve DAF arasındaki yapıları inceleyerek, tanımlanan bölgenin genel deformasyon mekanizmasının Şengör (1979)'da ileri sürülen Prandtl hücre modelini yansıttığını belirtirler.

Elbistan ve Sivas'ın kuzeyinde yer bulunan D-B uzanımlı bindirme faylarına rağmen bölgedeki kısalmanın Türkiye'nin doğusu kadar yüksek magnitüdü olmadığını belirtir (Şengör ve diğ., 1985).



Şekil 2.10 : KÜE civarındaki deformasyonun gelişimini anlatan modelde B ve C arasındaki sınır Avrasya ve Arabistan levhaları arasındaki sınır ile eşleştirilmiştir (Şengör, 1979).

Yazarlar Malatya fay sistemi ve Elbistan güneyindeki doğrultu atımlı yer değiştirmeleri kabaca doğu-batı kısalma ve kuzey-güney gerilme ile uyumlu olarak düşünür ve orta Anadolu'daki diğer verileride dikkate alarak, Anadolu bloğunun kuzey-güney sıkışma oranının Türkiye'nin doğusu kadar olmadığını belirtir. Aynı çalışma, Şengör (1979)'da tartışılan modelde olduğu gibi, levhaları torsiyonel olarak rijid kabul ederek farklı bir modeli ele alır.

Bu model de Şengör (1979) modelinde olduğu gibi üçlü eklem doğusundaki "yüksek yaklaşma yamulması bölgesinde" oluşan kısalmanın, sadece düşey düzlemde gelişen yamulma ile karşılandığını ileri sürer (Şengör ve diğ., 1985, Şekil 11.C). Doğuda olan bu hareketin neticesinde Anadolu bloku, kuzey ve güney sınırı olan doğrultu atımlı faylar boyunca batıya hareket ederek Karlıova havzasını oluşturur.

Havza içerisindeki gerilmenin her tarafta aynı olmamasından kaynaklı oluşan farklı oryantasyondaki yapıların havzanın evriminin anlaşılmasını zorlaştırdığını söyler. Şengör ve diğ., (1985), Şengör (1979)'da ileri sürülen üçlü eklem modelini biraz daha geliştirmişlerdir.

Bu model üçlü eklem doğusunda, ilk deformasyon zonunun güneyinde D-B yönelimli ikinci yüksek yaklaşma deformasyonunu kullanır (Şengör ve diğ., 1985, Şekil 11.C'). Araştırmacılar ikinci deformasyon zonunun torsiyonel rijit blok koşullarında basit bir rahatlama yolu açtığını belirtir.

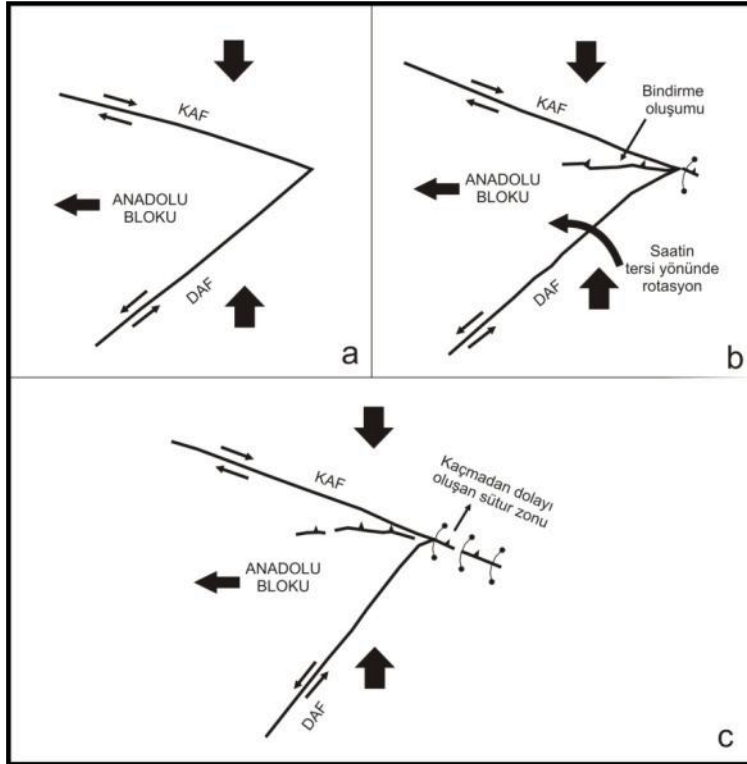
Modelde DAF'ı temsil eden doğrultu atımlı fayın, yüksek yaklaşma deformasyonu ile kesişmesi sonucu rotasyona uğradığını belirtir. Kesişen zonun geniş olmadığı durumda, ana fay üzerinde doğrultu atımın devam ettiğini ve her ne kadar sıkışmaya maruz kalsa da rotasyona uğrayan fayın doğrultu atım özelliğini kazanmaya başladığını söyler. Söz konusu ikinci yüksek yaklaşma deformasyon bölgesine ait verilerin, Muş-Van Gölü-Bingöl hattı boyunca oluşan kıvrım ve bindirme yapıları olduğunu söyler.

KÜE ile ilgili diğer bir model Barka ve Gülen (1988) çalışmasında önerilmiştir (Şekil 2.11). Araştırmacılar, Erzincan ve KÜE arasında olan toplam 35 km'lik yer değiştirmenin Varto Fayının boyu ile neredeyse aynı olduğunu ve bu arada oluşan fayın KAF'ın devamı olabileceğini belirtirler.

KÜE doğusundaki 35-40 km uzunluğunda olan fay parçasının Anadolu blokunun batıya hareketi sonucu oluşmuş olan suture zonudur (Barka ve Gülen, 1988).

Yazarlar, Anadolu blokunun hareketi sonucunda üçlü eklemlemin doğusunda D-B gidişli bindirmelerin geliştiğini (Şekil 2.11b ve c) ve bu deformasyonun kama şekilli kırılmalı blok hareketi olmadığını ileri sürerler. Bu deformasyon süreci de DAF'ın saatin tersi yönünde birkaç derece dönmeye neden olur (Barka ve Gülen, 1988).

Tutkun ve Hancock (1990) arazi gözlemleri Karlıova civarındaki morfolojik yapıların Şengör (1979) ve Şengör ve diğ. (1985) modellerinde belirtildiği gibi gerilme ile ilişkili yapılar olduğunu, Barka ve Gülen (1988) modelinde olduğu gibi sıkışma olmadığını belirtir.



Şekil 2.11 : KÜE civarında Anadolu blokunun batıya hareketinin sonucu KÜE doğusunda oluşan suture zonunun gelişimi (Barka ve Gülen, 1988)

Diğer bir görüş ise Anadolu blokunun kutup noktasında değişim olduğunu iddia ederek eskiden Erzincan'da olan üçlü eklem yapısının Karlıova'daki pozisyonuna bir milyon yıl önce geçtiğini belirtir (Barka ve diğ., 2000).

Üçlü eklemlemin Erzincan'dan şimdiki pozisyonuna geçişinin 2,6-2,8 milyon yıl önce olduğu görüşü ise, Karlıova civarında elde edilen 50 km'lik atımla ilişkilendirilmiş yeni bir KAFZ evrim modeli ile desteklenir (Hubert-Ferrari ve diğ., 2009).

3. KARLIOVA ÜÇLÜ EKLEMİ (KÜE)'Nİ OLUŞTURAN ANA VE İKİNCİL FAYLARIN ÖZELLİKLERİ

3.1 KAFZ-Ilıpınar Segmenti'nin Özellikleri

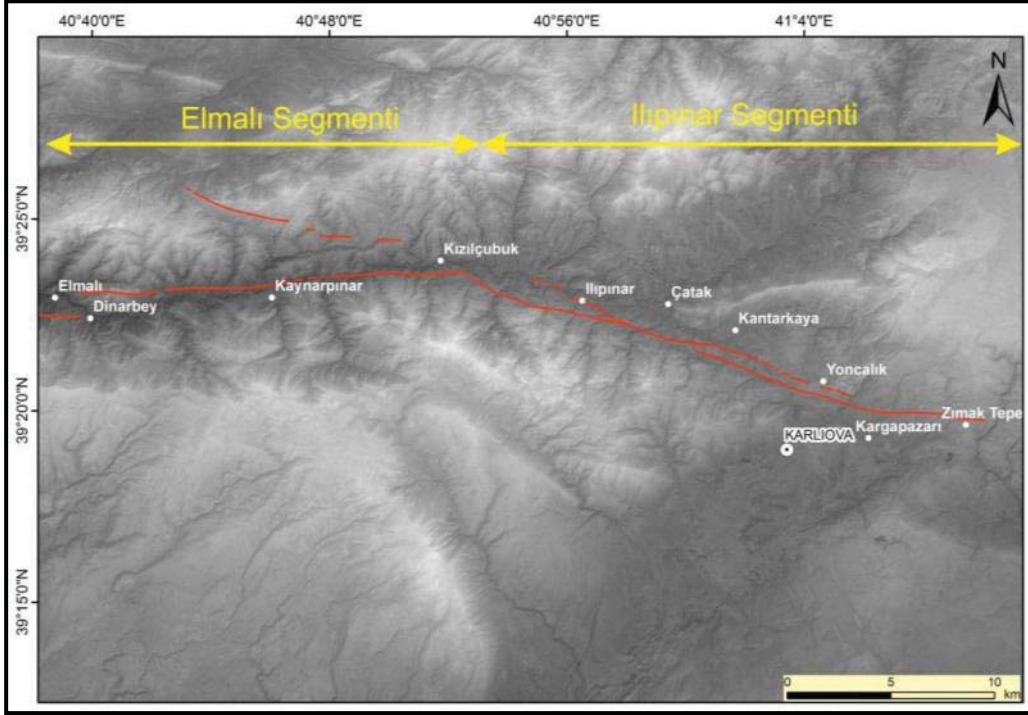
Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) Yedisu havzasının doğusu ile Karlıova üçlü eklemi arasında 56 km uzunluğa sahiptir. KAFZ bu bölgede iki segmente ayrılmıştır. Batıda bulunan Elmalı segmenti, Yedisu havzasının doğusundan başlayıp Kızılcubuk köyüne kadar 30 km devam eder (Şekil 3.1). KAFZ'nin en doğu segmenti olan Ilıpınar segmenti batıda Kızılcubuk köyünden başlar ve Karlıova üçlü eklemine kadar devam eder. 26 km uzunluğundaki bu fay kesiminin doğrultusu K70-80B arasında değişir.

3.1.1 Ilıpınar segmentinin geometrisi ve morfolojik özellikleri

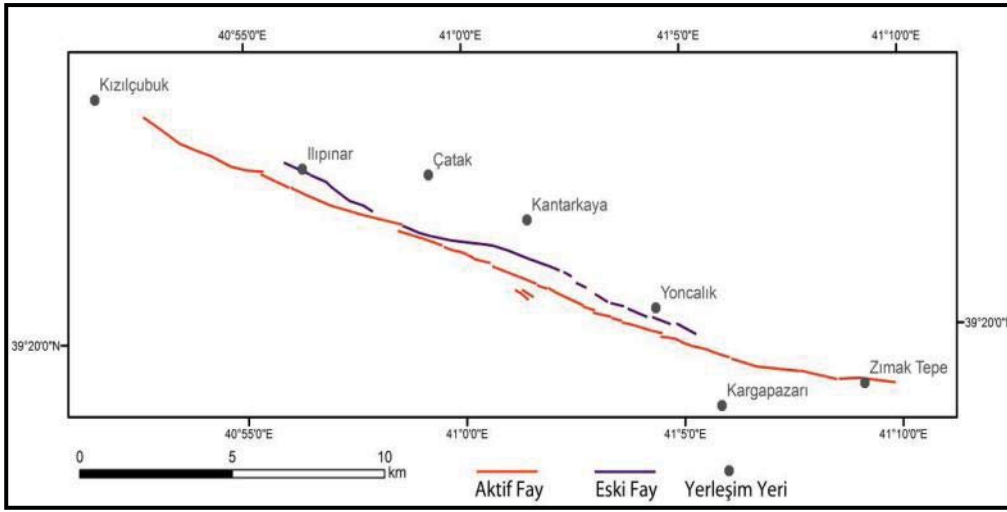
3.1.1.1 Ilıpınar segmentinin geometrisi

Ilıpınar segmenti üzerinde yapılan arazi gözlemlerinde doğrultu atımlı fay sistemi ile ilgili pek çok morfotektonik yapı gözlenmiştir. Ötelenmiş dereler, basınç sırtları, fay şevleri gibi morfotektonik yapılar yardımı ile bu fay kesiminin geometrisi detaylı olarak çizilmiştir (Şekil 3.2).

Ilıpınar segmenti üzerinde sıkışmalı ve gerilmeli bükümlerin ve sıçramalı yapıların meydana getirdiği çok sayıda morfolojik yapı bulunmaktadır. Zımak tepe ile Yoncalık köyü güneyi arasında fay sağ ve sol yönlü ufak bükümler yapar. Yoncalık köyü güneyi ile Çatak güneyi arasında genelde sola aşmalı olarak devam eden segment, Kızılcubuk köyü doğusuna kadar bükümler yaparak son bulur. Ilıpınar segmenti kuzeyinde iki eski fay (Şekil 3.2'de mor ile gösterilen) görülmektedir. Bunlardan doğuda olanı Yoncalık köyü civarında başlar ve Çatak güneyine kadar K75-80B konumunda 10 km kadar kuzey batıya doğru devam eder. Batıda olan ise Çatak güney batısından başlayarak K65-80B konumunda kuzeybatıya doğru 3 km devam ederek Ilıpınar köyü civarında son bulur.



Şekil 3.1 : KAFZ'nin doğu kesiminin geometrisi ve segmentasyonu



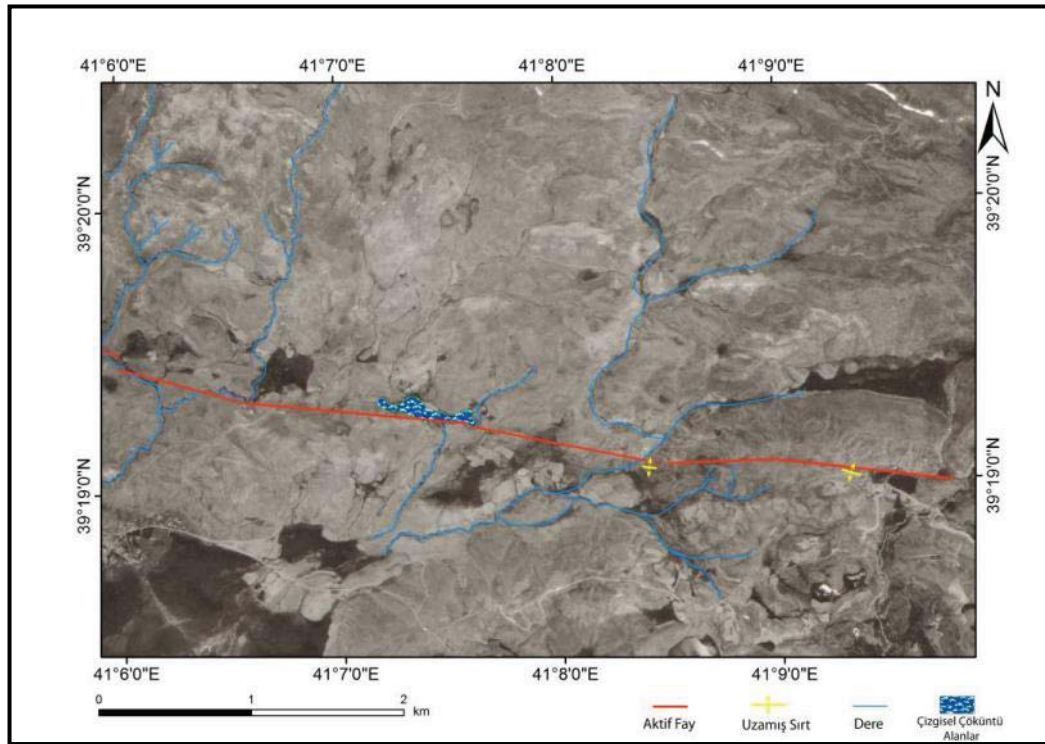
Şekil 3.2 : Ilıpınar Segmenti'nin geometrisi.

3.1.1.2 Ilıpınar segmentinin morfolojik ve morfotektonik özellikleri

Ilıpınar segmenti morfolojik ve geometrik özellikleri dikkate alınarak doğudan batıya doğru anlatılacaktır. Ilıpınar segmenti doğuda Zımak tepe güneyinden itibaren morfolojide kendini belli eder. Zımak tepe güneyindeki morfolojik çizgisellik üzerinde uzamış iki sırt ile karakterize olan fayın batıya doğru devamında akaçlama ağı üzerinde yarattığı etki ve çöküntü alanlar fayın gidişatının belirlenmesinde kullanılmıştır (Şekil 3.3). Şekil 3.3'de gösterilen uzamış sırtların uzunluğu doğudan batıya doğru sırası ile 135 m ve 90 m dir. Zımak tepenin yaklaşık 2.5 km batısında

yer alan 200 m'lik dere ötelenmesi ve faya paralel olarak konumlanmış çizgisel depresyon (çöküntü) alanı ayrıca daha batıda gözlenen dere kapması dikkate alınarak fayın bu bölgedeki doğrultusu K75B olarak belirlenmiştir.

Ilıpınar segmentinin Yoncalık havzasının doğusunda yarattığı morfolojik çizgisellik (Şekil 3.4) fayın arazideki belirgin verilerinden biridir. Yoncalık köyü civarında fay kontrollü olarak açılan Yoncalık havzası, Ilıpınar segmentinin en dikkat çekici morfolojik öğelerinden biridir. Segment üzerinde yapılan paleosismoloji çalışlarında Yoncalık havzası civarında gerçekleştirilmiştir. Yoncalık havzasının morfotektonik evriminin iyi bilinmesi Ilıpınar segmentinin Kuvaterner aktivitesinin anlaşılmasında oldukça önemlidir. Bu nedenle Yoncalık havzasının morfotektonik özellikleri detaylı olarak anlatılacaktır.



Şekil 3.3 : Yoncalık havzası ile Zımak tepe arasında Ilıpınar segmentinin geometrisi.

Yoncalık havzası

Yoncalık havzası, Ilıpınar segmentinin doğu ucunda Yoncalık köyünün bulunduğu alanda fay kontrollü ile açılmış bir havzadır. Yoncalık havzası, uzun eksen 3 km, kısa eksen 750 m dir. (Şekil 3.5).

Havza kuzeyden ve güneyden Kuvaterner yaşlı Bingöl Volkaniklerinden oluşmuş tepeler ile sınırlanmıştır (EK-A; Şaroğlu, 1985).



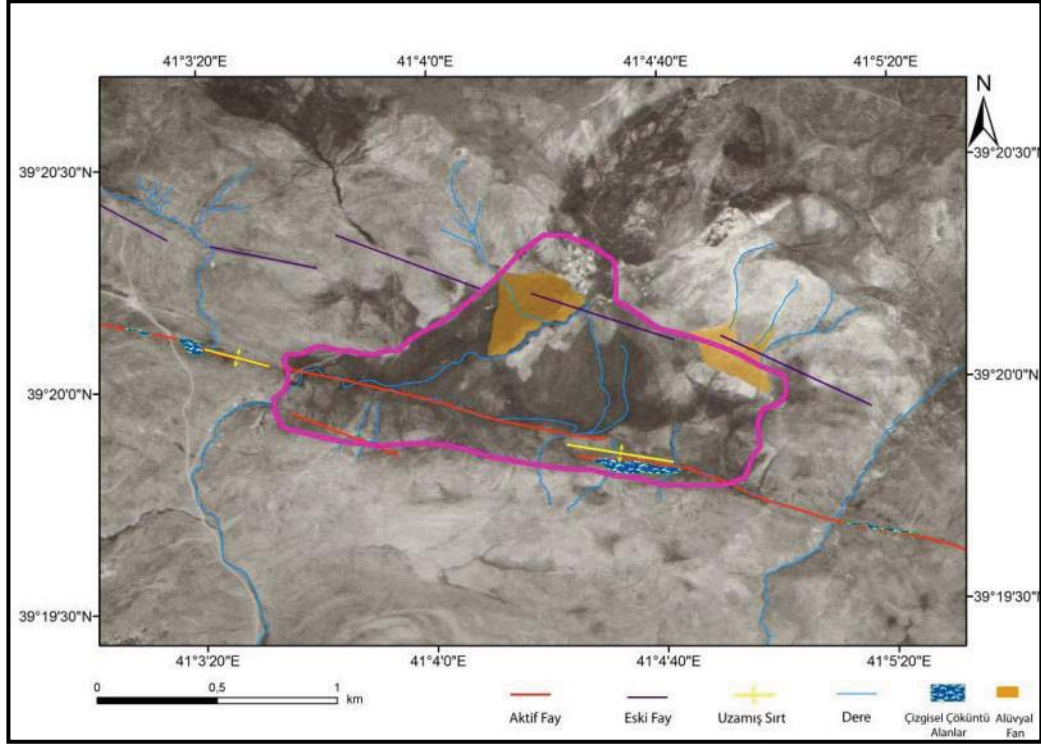
Şekil 3.4 : Yoncalık havzasının doğusundan Zımak tepeye doğru bakıldığında fay morfolojik çizgisellik ile kendini belli eder (Doğuya bakış).

Güneydeki sınır aynı zamanda Yoncalık havzası ile Karlıova havzasının sınırdır. Havzanın güney tarafında aktif fay ile ilişkili morfolojik izler çok belirgin olmasına rağmen kuzey tarafında bulunan morfolojik yapılarda güncel faylanma ile ilgili yapılar yoktur.

Yoncalık havzası içerisindeki drenaj alanı doğu-batı ve kuzey-güney akışlı çok sayıda ufak derelerden oluşmasına rağmen havza içerisinde ana akaçlama sistemi oluşmamıştır. Yapılan arazi çalışmaları sonucunda havza içerisinde güncel veya eski taraça sistemlerinin olmadığı anlaşılmıştır. Havza içerisinde yaygın olan ufak dereler havzanın oldukça sulak olmasını sağlamış ve böylelikle havza tarıma elverişli bir hale gelmiştir. Havzanın kuzey ve güney sınırlarındaki yükseltilerden havza içine doğru eğimli süreksiz dereler de Yoncalık havzasının drenaj alanı içerisinde yer almaktadır.

Havzanın güneyindeki derelerde meydana gelen 20 m - 500 m arasında değişen ötelenmeler fayın gidişatının belirlenmesinde yardımcı olmuştur (Şekil 3.5).

Yoncalık havzasını kuzeyden sınırlayan dik eğimli tepelerden, döküntü ile yüklü derelerin, eğimin daha az olduğu havza kenarına ulaştığı yerlerde, taşıdığı malzemelerin az eğimli olan havza kenarına çökmesi sonucu birikinti yelpazeleri oluşmuştur. Çökelen bu malzemelerin boyuna profillerinin eğimi 10 dereceden küçük olduğu için bu çökeller birikinti yelpazesi olarak değerlendirilmiştir.



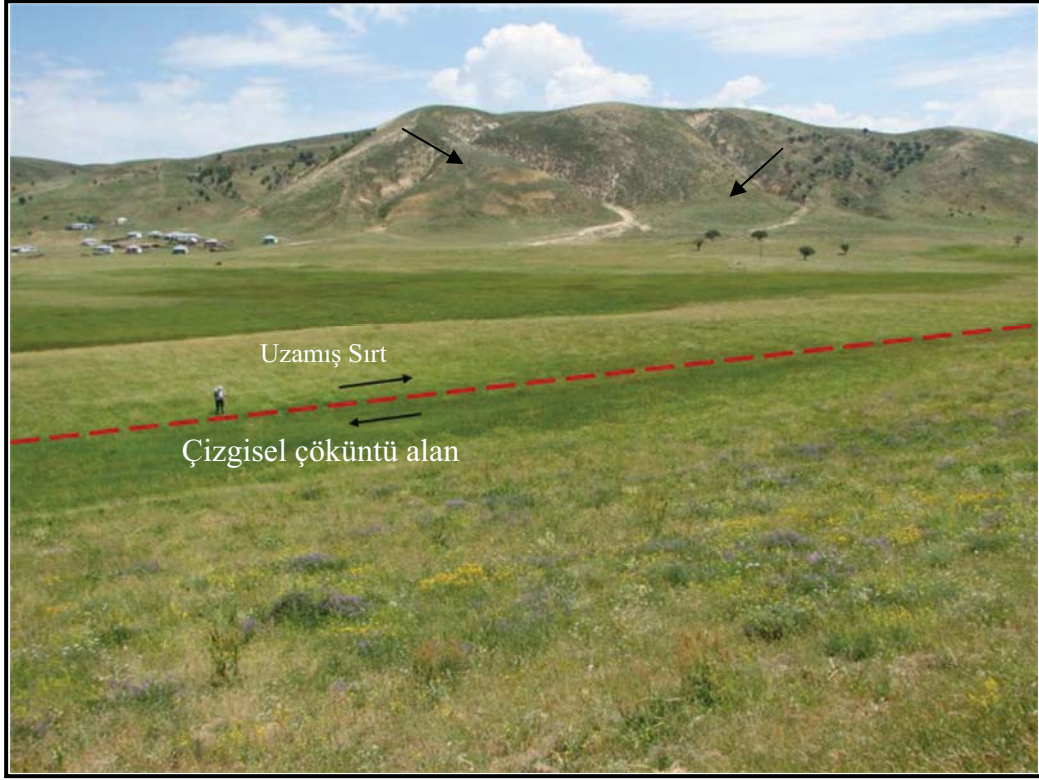
Şekil 3.5 : Yoncalık havzasının morfotektonik haritası (Pembe çizgiler Yoncalık havzasının sınırını oluşturmaktadır).

Havzanın kuzey kenarında değişik büyüklüklerde oluşmuş 3 tane birikinti yelpazesi vardır (Şekil 3.5). Kuzeyde yer alan birikinti yelpazelerinin şekli olağan fan geometrisinde olup faylanma ile oluşabilecek bozulmalara sahip değildir (Şekil 3.6).

Yoncalık havzasını kuzeyden sınırlayan fayın geometrisi, batıya doğru devamında bulunan morfolojik çizgisellik ve traverten oluşumları dikkate alınarak haritalanmıştır. Havzayı kuzeyden sınırlayan yükseltilerden havza içine doğru (güneye eğimli olarak) gelen derelerde fay ile ilişkili herhangi bir deformasyon yoktur. Ayrıca havzanın kuzey kenarında oluşan birikinti yelpazelerinin morfolojisi fayla ilişkili bozulmalar göstermemektedir (Şekil 3.5 ve Şekil 3.6).

Bu nedenlerle havzayı kuzeyden sınırlayan fay kolunun, aktif olmadığı veya aktivitesinin az olduğu düşünülmektedir.

Yoncalık havzası içerisinde aktif olan kol havzayı güneyden sınırlayan Ilıpınar segmentine aittir. Ilıpınar segmentinin havza içerisindeki doğrultusu K70B ve uzunluğu 3 km dir. Bu kol üzerinde ötelenmiş ve kapılmış dereler, uzamış sırt ve çizgisel çöküntü alanları gibi doğrultu atımlı fayı karakterize eden pek çok morfotektonik yapı oluşmuştur.



Şekil 3.6 : Yoncalık havzasının kuzeyinde yer alan birikinti yelpazeleri (siyah oklar) ve aktif faylanma ile oluşmuş çizgisel çöküntü alanı (Kuzeye bakış).

Yoncalık havzasının kuzeyinde bulunan dereler, K70B olan fay doğrultusuna yaklaşık dik konumludur ve fay doğrultusu boyunca 20 m ile 500 m arasında değişen mikarlarda sağ yanal olarak ötelenmiştir (Şekil 3.5 ve Şekil 3.7). Güney kol üzerindeki dere ötelenmeleri havzanın doğusu ile batısı arasında net olarak görülmektedir. Bu ötelenmeler fayın havza içerisindeki konumunun çizilmesinde belirteç olarak kullanılmıştır. Yoncalık havzası yerleşime ve tarıma açık bir alan olduğu için doğal yapısı oldukça değişmiştir. Bu nedenle hava fotoğraları, sayısal yükseklik modelleri ve uydu görüntülerinden belirlenen pek çok morfolojik unsur arazide görülmemektedir.

Havzanın güney sınırında fay hattı boyunca faya paralel şekilde oluşmuş iki tane uzamış sırt mevcuttur (Şekil 3.5 ve Şekil 3.6). Bu sırtlardan doğuda bulunanın uzunluğu 450 m batıdakinin ise 285 m dir. Doğudaki uzamış sırtın güneyinde kalan alan ise yine fay etkisi ile oluşmuş çöküntü bir alandır. Şekil 3.6'da görülen uzamış sırt ve çöküntü alanın doğrultusu K70B'dır. Yoncalık havzası içerisinde oluşmuş şev, Şekil 3.6'da gösterilen lokasyonun yaklaşık 300 m batısında yer alır. K70B uzanımlı şevde kuzey blok düşmüştür. Şevin yüksekliği 40 cm civarındadır (Şekil 3.8).



Şekil 3.7 : Yoncalık havzasının güneyinde yaklaşık 80 m'lik dere ötelenmesi (Güneye bakış).

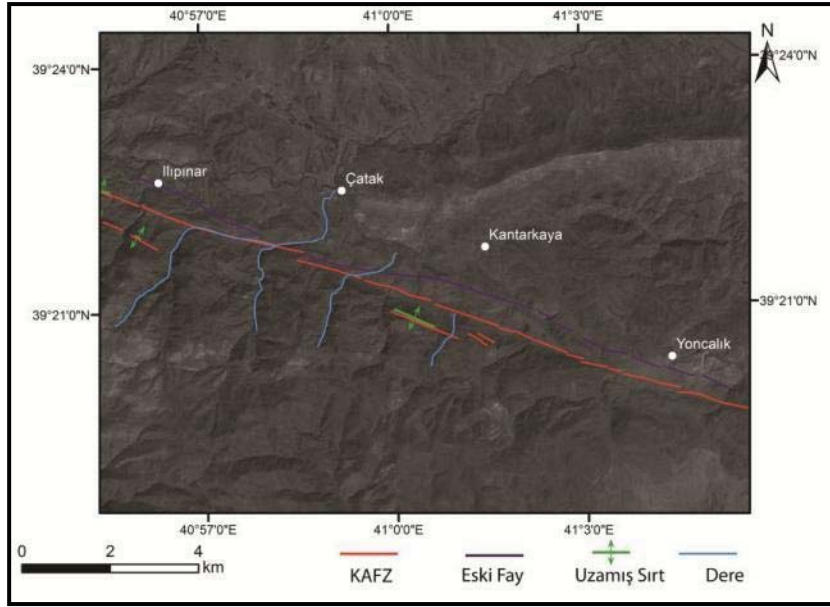
Yoncalık havzası Ilıpınar segmentinin doğu ucunda oluşmuştur. Morfolojik veriler havzanın kuzeyinden geçen fay kolunun aktif olmadığına veya aktivitesinin çok az oluşuna işaret etmektedir. Havzayı güneyden sınırlayan Ilıpınar segmenti ise aktif faylanama ile ilişkili morfolojik özellikler bakımından oldukça zengindir. Bu veriler ışığında Yoncalık havzasının, kuzeyde bulunan fayın (Şekil 3.5) sağa sıçraması ile açıldığı, ancak daha sonra kuzey kolun terk edilerek hareketin güney kol tarafından karşılandığı düşünülmektedir



Şekil 3.8 : Yoncalık havzasının güneybatı ucunda görülen fay şevi (Batıya bakış).

Yoncalık havzasının batısından Çatak güneyine kadar giden kol üzerinde (Şekil 3.9) fayın uzun ve kısa dönem aktivitesine ait çok sayıda morfolojik veri bulunmaktadır.

Yoncalık havzasının batısında K80B uzanımlı devam eden fayın ilk göstergesi morfolojik çizgiselliktir (Şekil 3.10). Karlıova – Erzurum karayoluna yaklaşık paralel devam eden bu çizgisel hat üzerinde üzerinde oluşmuş çöküntü alanlar (Şekil 3.11) ve dere ötelenmeleri fayın gidişatını belirler.



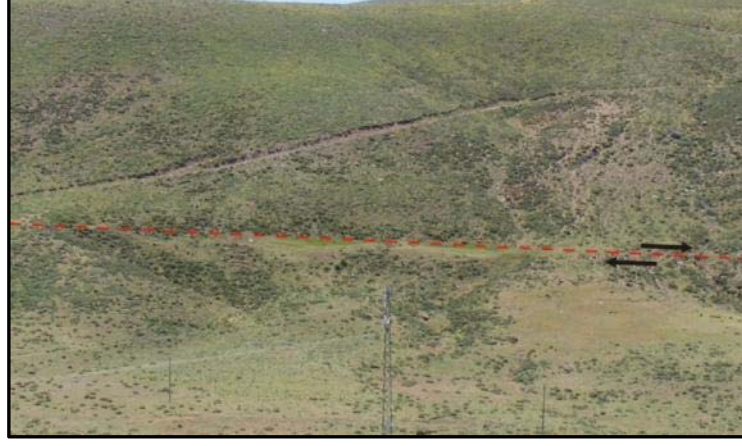
Şekil 3.9 : Yoncalık-İlipınar arası İlipınar segmentinin geometrisi ve uzun dönem aktivitesini temsil eden morfolojik yapılar (Taban harita LandsAT görüntüsünden elde edilmiştir).



Şekil 3.10 : Yoncalık havzasının batısında fay K80B uzanımlı devam eder (Güneybatıya bakış).

Yoncalık havzasının batısı

Fay hattı batıya doğru Çatak güneyine kadar kuzeyden ve güneyden yüksek tepeler ile sınırlanmış koridor benzeri bir morfoloji boyunca net olarak izlenmiştir. Bu hat boyunca uzun dönemli fay aktivitesine kanıt olan pek çok morfolojik yapı görülmektedir. Şekil 3.12'de yaklaşık 22 m ötelenmiş olan dere ile aynı doğrultuda uzamış sirtler mevcuttur (Şekil 3.13).



Şekil 3.11 : Şekil 3.10'da gösterilen morfolojik çizgisellik üzerinde oluşmuş çöküntü alanlar (Güneybatıya bakış).



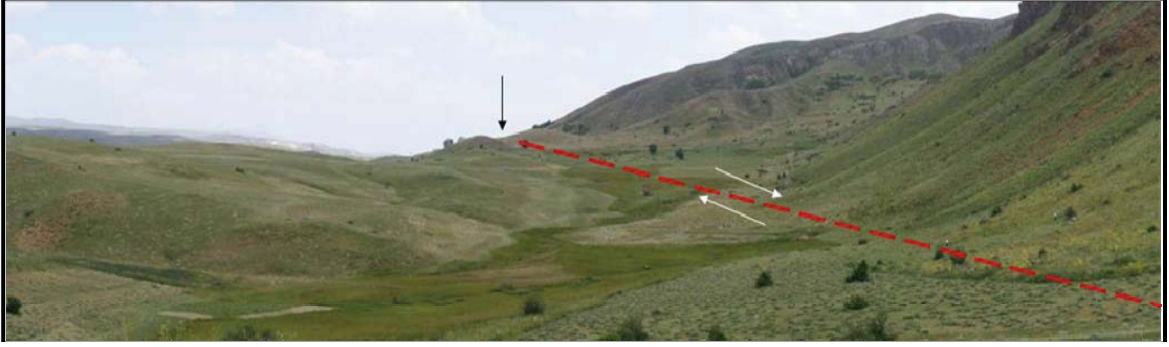
Şekil 3.12 : Ilıpınar segmentinin uzun dönem aktivitesi ile oluşmuş 22 m lik dere ötelenmesi (Kantarkaya güneydoğusu, Güneye bakış).



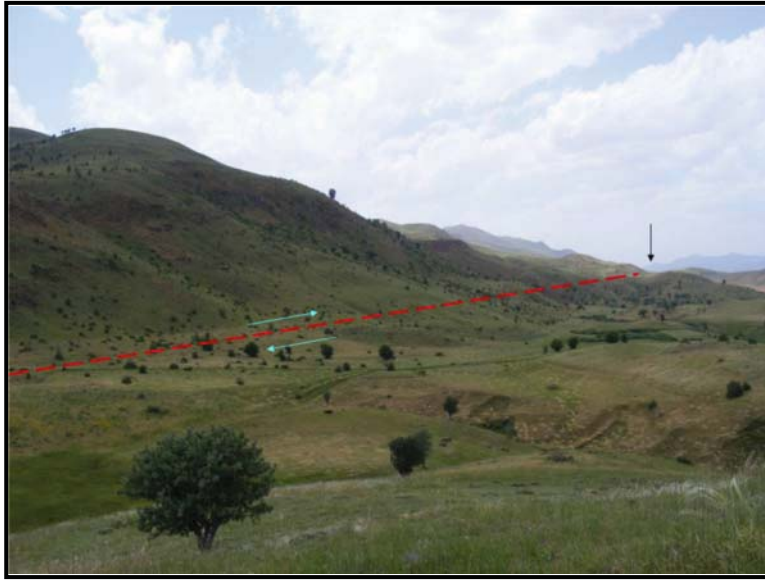
Şekil 3.13 : Kantarkaya güneyinde uzamış sırtlar ile karakterize olan Ilıpınar segmentinin gidişatı K80B'dır (Güneye bakış).

Çatak güneyinde morfolojinin çok dik olması sonucu fayın gidişatına ait veriler eğer yapılarıdır. Göreceli olarak yüksek olan tepelerden taşınarak gelen malzemenin faya ait morfolojik yapıları örttüğü düşünülmektedir.

Buna rağmen doğuda (Şekil 3.14'de siyah ok ile gösterilen) ve batıda (Şekil 3.15'de siyah ok ile gösterilen) görülen eğer yapıları ve morfolojik diklik, K75B yönelimli fayın gidişatını belirlemede yeterli veri olarak kabul edilmiştir. Bu veriler doğudaki ve batıdaki diğer morfolojik yapılar ile fayın gidişatının belirlenmesi anlamında oldukça uyumludur.



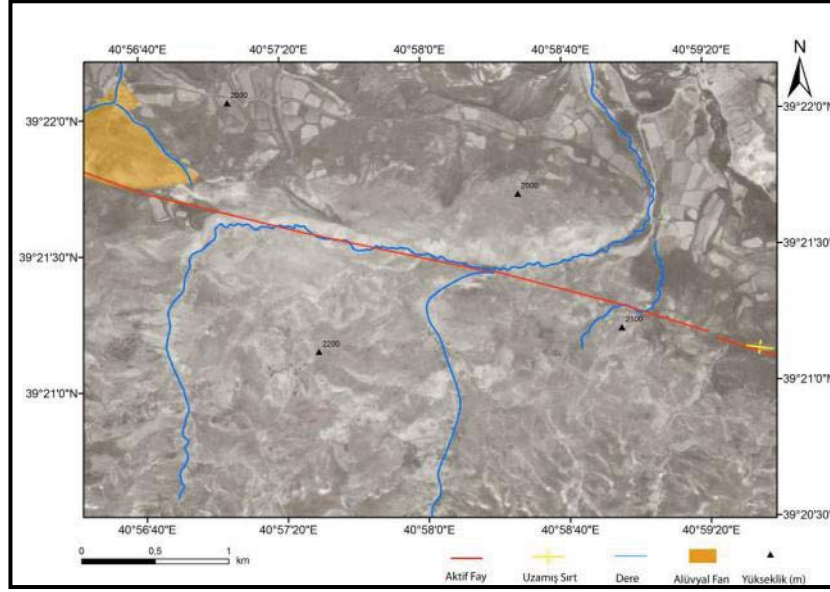
Şekil 3.14 : Çatak güneyinde K75 B yönelimli fayın gidişatı eğer yapısı ve morfolojik diklik ile belirlenmiştir (Doğuya bakış).



Şekil 3.15 : Şekil 3.14'de gösterilen hattın batı ucunda bulunan siyah ok ile gösterilmiş eğer yapısı ve morfolojik çizgisellik (Çatak güneydoğusu, batıya bakış).

Ilıpınar segmenti üzerinde Çatak güneyinden itibaren güvenlik sorunları nedeni ile arazi çalışması yapılamamıştır. Fayın geometrisi ve morfolojik özellikleri sayısal yükseklik modelleri, topoğrafya haritaları, hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri (ASTER ve LandsAT) birlikte değerlendirilerek tespit edilmiştir.

Ilıpınar segmenti üzerinde uzun dönem fay aktivitesini gösteren en önemli bulgular Şekil 3.9'da görülen büyük dere ötelenmeleri ve uzamış sırtlardır. Bu bölgede



Şekil 3.16 : Ilıpınar segmentinin uzun dönem aktivitesini gösteren morfolojik veriler (Çatak güneyi).

faylanma, 2.5 km'lik dere ötelenmesi ve uzamış sırtlar ile karakterize olmaktadır (Şekil 3.16). Şekil 3.9'da ve Şekil 3.16'da görülen uzamış sırtlar ve ötelenmiş dereler fayın gidişatının K75B olduğunu göstermektedir. Bu bölgeden itibaren fayın batıya doğru devamında Ilıpınar segmentinin güneyinde, segmente paralel olarak oluşmuş ikincil faylar mevcuttur (Şekil 3.17).

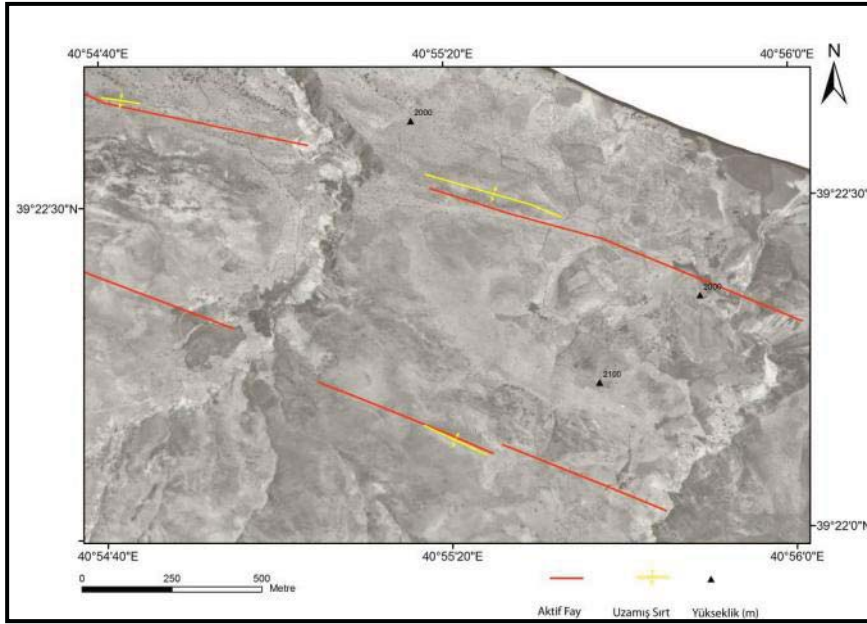
Ilıpınar segmentine paralel olarak oluşmuş ikincil faylar ötelenmiş yapılar, uzamış sırtlar ve morfolojik çizgisellikler ile tespit edilmiştir. K70B uzanımlı Ilıpınar segmentini 75 m ve 350 m uzunluğundaki uzamış sırtlar (Şekil 3.17) karakterize ederken segmente paralel olarak daha güneyde bulunan faylar morfolojik çizgisellik ve uzamış sırtlar ile karakterize olur (Şekil 3.17).

Ilıpınar segmenti Kızılçubuk köyü doğusunda son bulur (Şekil 3.2). Segmentin en batı ucu 100 m ötelenmiş dere ve 340 m uzunluğunda uzamış sırt ile karakterize olur (Şekil 3.18).

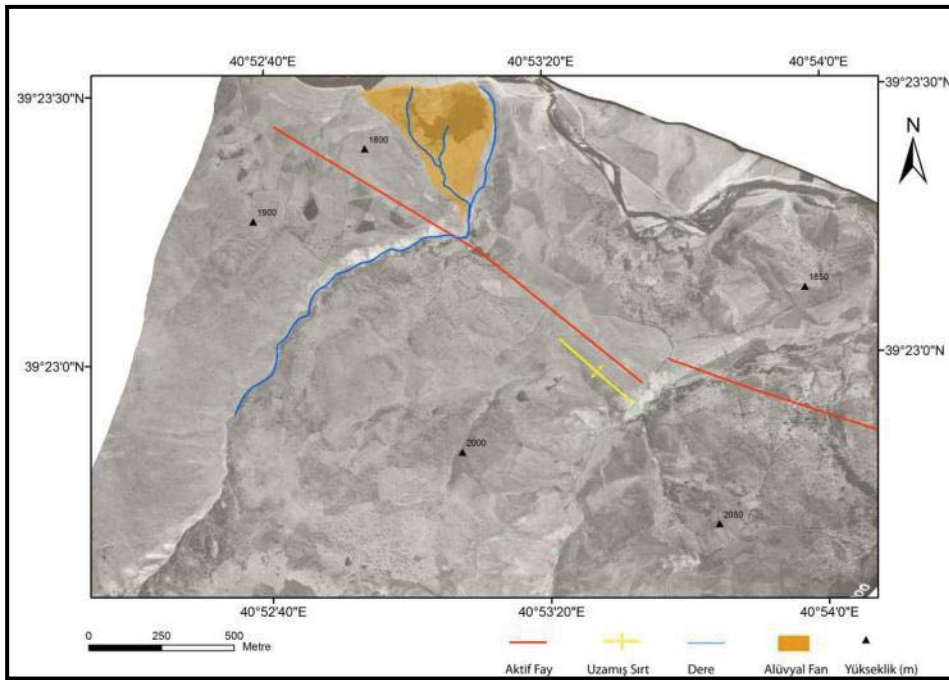
Ilıpınar ve Yoncalık doğusu arasında kuzeyden geçen fay kolunun (Şekil 3.2'de mor çizgiler ile gösterilmiş faylar) sunduğu morfoloji bu kollar üzerinde güncel fay aktivitesi olmadığı yönündedir. Çatak-Kantarkaya arasındaki kol üzerinde çizgisel bir hat boyunca görülen traverten oluşumları ve morfolojik çizgisellikler (Şekil 3.19) fayın aktif olduğu dönemleri temsil etmektedir.

Traverten oluşumları Karlıova- Erzurum karayolu doğusunda mostra vermektedir. Batıda Çatak doğusundan başlayan travertenlerin doğuya doğru devamında keskin

bir morfolojik çizgisellik göze çarpmaktadır. Morfolojik çizgisellik travertenlerin bittiği Kantarkaya doğusundan Yoncalık Köyü kuzeyine kadar uzanır.



Şekil 3.17 : Ilıpınar segmentinin batısında oluşmuş ikincil faylar. Kuzeydeki fay kolları K70B uzanımlı ana fayı oluşturmaktadır (Ilıpınar güneybatısı).



Şekil 3.18 : Ilıpınar segmentinin batı ucunun geometrisi ve fayın uzun dönem aktivitesine ait veriler sunmaktadır.



Şekil 3.19 : Çatak-Kantararkaya arasında görülen traverten oluşumları çizgisel bir hat boyunca uzanmaktadır.

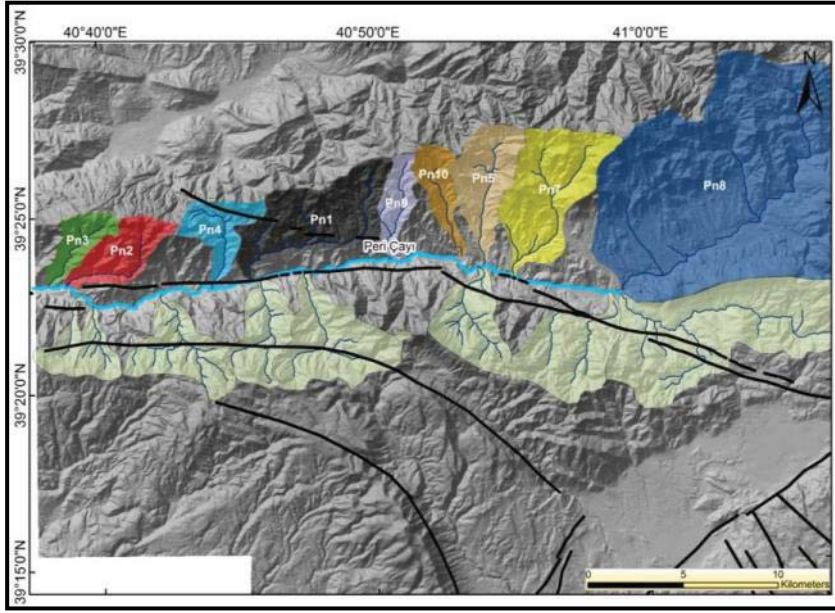
Ilıpınar segmentinin morfometrik özellikleri

Ilıpınar segmentinin morfometrik özellikleri, çalışma alanı içerisinde deformasyon oranı en fazla fay olması açısından oldukça kritiktir. Zira diğer faylar üzerinde yapılan morfometrik analiz çalışmaları Ilıpınar fayı ile karşılaştırılarak değerlendirilecektir. Çalışma alanındaki diğer ana fayların ve özellikle ikincil fayların deformasyon oranlarının Ilıpınar fayı ile karşılaştırılması sonucunda elde edilecek bulgular KÜE'nin Kuvaterner evrimini ortaya çıkarmada oldukça etkili olacaktır. Ilıpınar segmentinin morfometrik özelliklerini ortaya koyabilmek için belirlenen drenaj alanları segmente yaklaşık paralel şekilde konumlanmış Peri çayına ait drenaj alanlarıdır.

Çalışma alanı içerisinde yaklaşık 30 km uzunluğunda olan Peri çayı (Şekil 3.20) debisi ile orantılı olacak şekilde küçük menderesler ve yer yer örgülü akarsu sistemi özelliği gösterir. Peri çayının drenaj alanını kuzeyden ve güneyden gelen sürekli ve sürekli olmayan küçük dereler oluşturur. Peri çayı drenaj alanı kuzey ve güney olarak ikiye ayrılarak incelenmiştir. Kuzeydeki drenaj alanları Ilıpınar segmentinin denetiminde geliştiği için segmentin morfometrik özellikleri hakkında veriler sunmaktadır. Güneydeki drenaj alanları ise KAFZ ve DAFZ arasında oluşmuş ikincil fayların morfometrisi hakkında bilgi sağlamaktadır.

Peri çayı kuzeyinde dokuz tane ufak su toplama alanı belirlenmiştir (Şekil 3.20). Her bir alan farklı renklerle gösterilmiştir. Yapılan morfometrik analizler sonucu çizilen grafiklerdeki renkler ile Şekil 3.20 gösterilen drenaj alanlarına ait renkler uyumlu olarak seçilmiştir. Peri Çayının kuzeyinde belirlenen dokuz tane ufak drenaj alanının Peri Çayının kuzeyinde bulunan drenaj alanlarından Şekil 3.20'de koyu mavi renk ile gösterilen Pn8 drenaj alanı haricindeki diğer bütün drenaj alanları KAFZ'nin ana kolunun yani Ilıpınar segmentinin deformasyon alanı içerisinde yer almaktadır.

Pn8 drenaj alanının boyuna profil ve hipsometrik eğrisi içbükey şekillidir. Hipsometik integral değeri ise 0,27 olarak hesaplanmıştır.

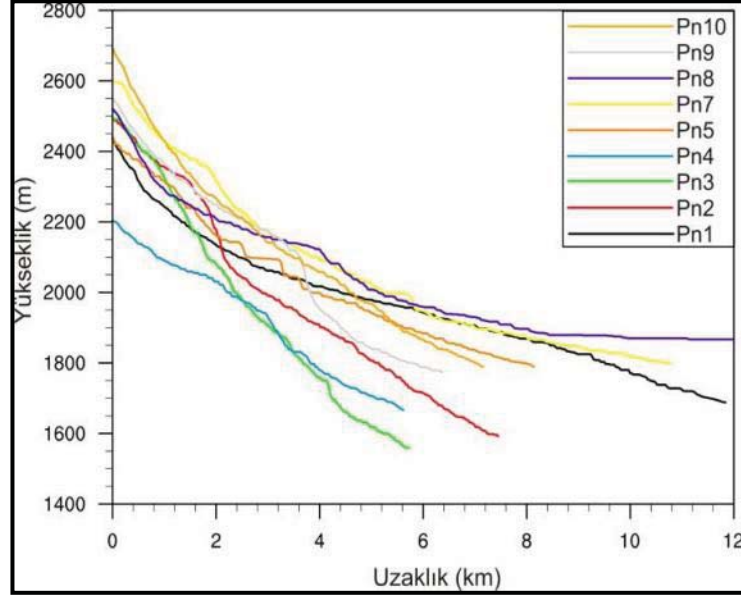


Şekil 3.20 : Peri çayı kuzeyinde morfometrik analiz için seçilen drenaj alanları.

boyuna profilleri (Şekil 3.21) hipsometrik eğrileri çizilmiş (Şekil 3.22) ve hipsometrik integral değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 3.1). Peri Çayı'nın kuzeyinde bulunan drenaj alanlarından Şekil 3.20'de koyu mavi renk ile gösterilen Pn8 drenaj alanı haricindeki diğer bütün drenaj alanları KAFZ'nin ana kolunun yani Ilıpınar segmentinin deformasyon alanı içerisinde yer almaktadır. Pn8 drenaj alanının boyuna profil ve hipsometrik eğrisi içbükey şekillidir. Hipsometik integral değeri ise 0,27 olarak hesaplanmıştır.

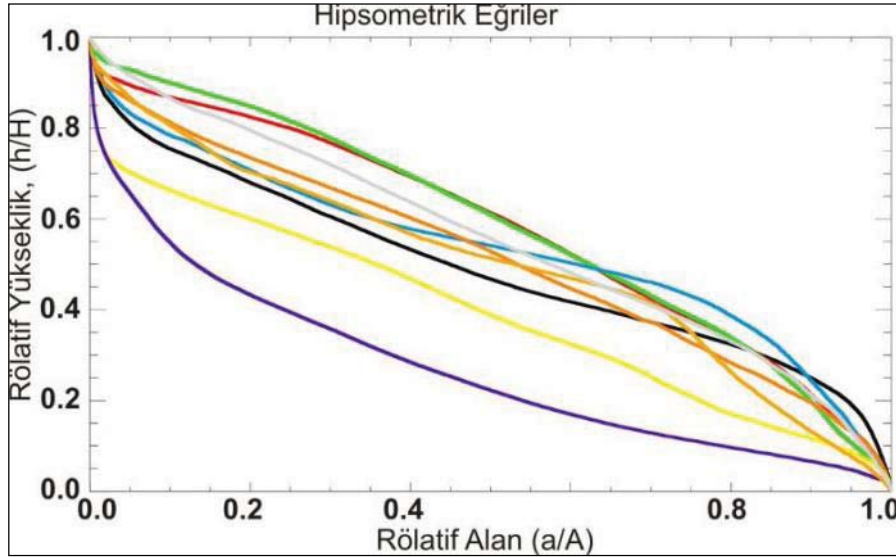
Bütün bu veriler Pn8 drenaj alanının göreceli olarak daha olgun olduğunu ve yüksek derecede erozyona uğradığını göstermektedir. Bu durum Pn8 drenaj alanı için erozyon etkisine karşı bir etkide bulunacak -tektonik aktivite gibi- başka bir süreç olmadığı anlamına gelmektedir.

Şekil 3.20'de sarı renk ile gösterilen Pn7 drenaj alanı Ilıpınar segmentinin deformasyon alanının kısmen içinde kalmaktadır. Pn7 drenaj alanına ait boyuna profil ve hipsometrik eğrilerin şekli ve 0,39 olarak hesaplanan hipsometrik integral değeri beraber değerlendirildiğinde Pn7 drenaj alanının erozyonel kuvvetlerin yükseltici kuvvetlere oranla daha güçlü olduğu ileri sürülebilir. Bu drenaj alanı için erozyonel etkiye karşı gelişen sürecin KAFZ'nin aktivitesi olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3.21 : Peri çayı kuzeyinde yer alan drenaj alanlarına ait boyuna profil eğrileri.

.Peri Çayının kuzeyinde yer alan diğer drenaj sistemlerinin morfometrik analiz sonuçları birbirlerine oldukça benzer sonuçlar vermektedir. Boyuna ve hipsometrik eğri profilleri ve hipsometrik integral değerleri bu drenaj alanlarında yükselme-erozyon arasında bir denge olduğunu göstermektedir. Drenaj alanlarındaki erozyonel kuvvetlere karşı var olan en önemli etkenin tektonik kuvvetler olduğu açıktır.



Şekil 3.22 : Peri çayı kuzeyinde yer alan drenaj alanlarına hipsometri eğrileri.

Çizelge 3.1 : Peri çayı kuzeyinde yer alan drenaj alanlarına ait hipsometrik integral.

Pn1	Pn2	Pn3	Pn4	Pn5	Pn7	Pn8	Pn9	Pn10
0,49	0,58	0,58	0,53	0,51	0,39	0,27	0,50	0,55

seküler enerji birikimi de dikkate alındığında Ilıpınar segmentinde, KAFZ'nin geneli için düşünülen ortalama 200 ila 250 yıl arası süren büyük deprem tekrarlanma periyodunu görmek oldukça zordur. Bütün bunlar dikkate alındığında Ilıpınar segmentinin deprem tarihçesini belirleyebilmek KÜE'nin deformasyon özelliklerinin daha sağlıklı tartışılması açısından kritiktir.

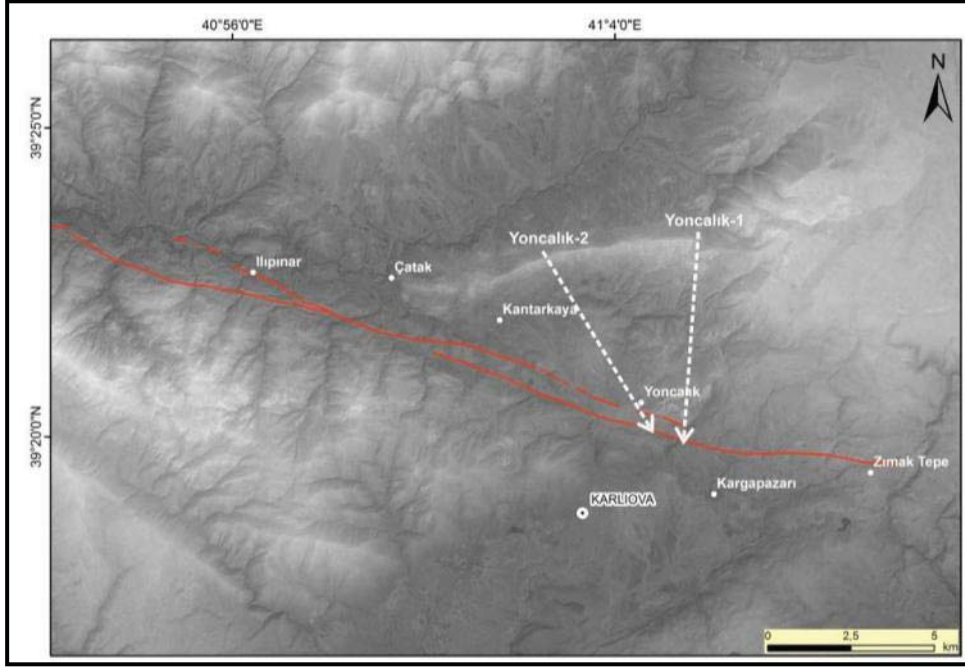
Bu segmentin deprem tarihçesini belirlemek amacı ile Yoncalık Havzası'nı güneyden sınırlayan Ilıpınar segmenti üzerinde paleosismoloji amaçlı iki hendek çalışması yapılmıştır. Açılan hendeklerden havzanın doğusunda bulunan Yoncalık-1, havzanın batısında bulunan ise Yoncalık-2 hendeği olarak adlandırılmıştır (Şekil 3.24).

Yoncalık-1 ve Yoncalık-2 hendeklerinin yerleri morfolojik izler kullanılarak belirlenmiştir. Ancak hendek yerleri, fayların derine doğru olan devamlarını sığ jeofizik yöntemler ile araştırmaya elverişli değildir. Zira hendek yerlerinde yapılması planlanan yer radarı araştırmaları Yoncalık-1 hendek yerindeki yüksek eğim ve Yoncalık-2 hendek yerindeki su nedeni ile gerçekleştirilememiştir.

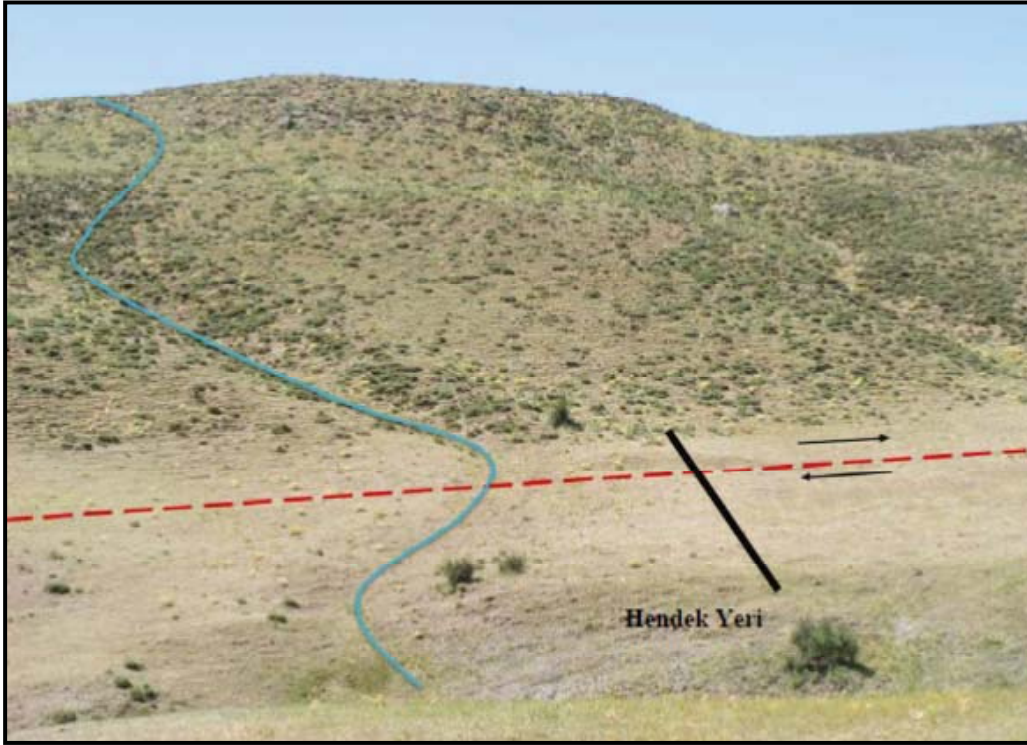
3.1.2.1 Yoncalık-1 hendeği

Yoncalık-1 hendeği havzanın doğu ucunda açılmıştır. Şekil 3.24'de gösterilen Ilıpınar segmentinin Yoncalık-1 kazı alanında, hendeğin doğusunda ve batısında bulunan ötelenmiş dereler K70B konumlu fayın morfolojideki belirteçleridir. Ötelenmiş derelerin arasında kalan alanda faya paralel bir şev bulunmaktadır. Bu şevin son depremler ile ilişkili olabileceği göz önüne alınarak fay kazısı bu alanda yapılmıştır (Şekil 3.25) Fayın doğuya doğru devamı dere ötelenmeleri, uzamış sırtlar, çizgisel çöküntü alanlar ve morfolojideki çizgisellik ile belirlenmiştir. Ilıpınar segmenti doğuda Karlıova havzasının yaklaşık 3-4 km kuzey doğusunda DAFZ ve VFZ ile kesişerek Karlıova üçlü eklemine oluşturur.

Fay hattı hendek yerinin batısına doğru yine dere ötelenmeleri, uzamış sırtlar ve çöküntü alanları ile karakterize olur. Yoncalık-1 hendeğinin yeri sedimantasyon açısından uygundur. Çökel kaynağı hendek yerini güneyden sınırlayan yükseltilerdir (Şekil 3.25 ve Şekil 3.26) Ayrıca hendek yeri tarım alanlarının dışında olduğu için doğal yapısı korunmuştur. Yoncalık-1 hendeği K20D doğrultusunda 18 m uzunlukta ve 2.5-3 m derinlikte açılmıştır.



Şekil 3.24 : Yoncalık havzası civarında fayın konumu ve hendek lokasyonları.



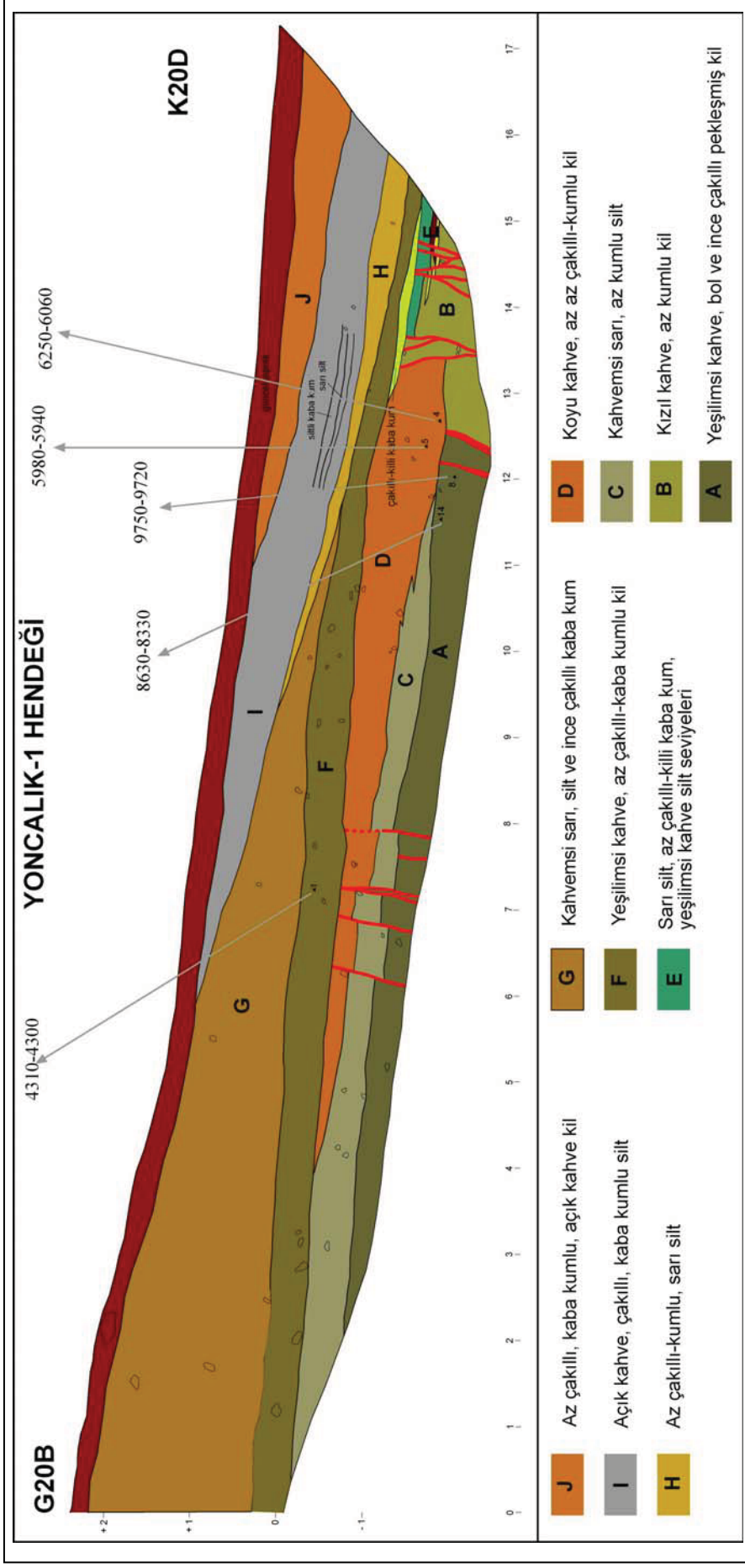
Şekil 3.25 : Yoncalık-1 hendeğinin yeri. Mavi çizgi 16 m sağ yanal ötelenmiş kuru dere yatağının yerini göstermektedir (Bakış yönü güneydir).



Şekil 3.26 : Yoncalık-1 hendeğinin genel görünümü (Bakış yönü kuzeydir).

Yoncalık-1 hendeğinin batı duvarında kareyaj oluşturularak, stratigrafik birimler ve yapısal unsurlar 1/20 ölçeğinde loga aktarılmıştır (Şekil 3.27). Yoncalık-1 hendeğinin doğu duvarı ise hendek açma çalışmaları sırasında aşırı derecede bozulduğu için logu hazırlanamamıştır.

Yoncalık-1 hendeğinin duvarlarında ufak çakıllar içeren ince taneli birimler egemen olarak görülür. Stratigrafik olarak en altta bulunan birim ince bol çakıllar içeren yeşilimsi kahve renkli pekleşmiş kildir ve hendeğe ait logda A ile gösterilmiştir (Şekil 3.27). A çökel paketinin hendeğin kuzeyinde bulunan kızıl kahve renkli az kumlu kil ile gösterilen B paketi ile olan sınırı faylıdır. Hendek tabanında ortaya çıkan A biriminin üstüne kahvemsî sarı renkte, az kumlu siltten oluşan C birimi çökelmiştir. C birimi hendeğin güneyinde 0-4 m arasında yeşilimsî kahve renkli, az çakıllı kaba kumlu kilden oluşan F birimi tarafından örtülürken 4-12 m arasında kahverenkli az çakıllı pekleşmiş kilden oluşan D birimi ile örtülmüştür. C birimi kuzeye doğru yanal geçişle son bulur ve 12.m'den sonra görülmez. D birimi hendek içerisinde 4. m'den sonra görülür. Güneye doğru kama yaparak son bulan D biriminin kuzeydeki B birimi ile sınırı faylıdır. B birimi hendeğin güneyinde tabanda bulunan birimdir. B biriminin üstüne gelen ince seviyeler E paketi olarak simgelenmiştir ve aynı olaya ait faylanmalar ile kesilip hendek tabanına doğru düşey olarak yer değiştirmiştir. Silt, az çakıllı kil ve kaba kumdan oluşan F birimi hendek



Şekil 3.27 : Yoncalık-1 hendeginin batı duvarının ölçekli logu. Log üzerindeki yaşlar milattan önceki tarihleri belirtmektedir.

içerisinde kuzeyden güneye stratigrafik ve yapısal olarak kesiklik göstermeden devam eden tek birimdir. Bu özelliği ile F birimini Yoncalık-1 hendeğine ait kılavuz seviye olarak kabul edilmiştir. Kılavuz seviye olan F birimi üstüne kahvemsî sarı renkli, silt ve ince çakıl içeren kaba kumlu G birimi gelir. G birimi hendeğin güneyinde bir metreden fazla kalınlığa sahip iken kuzeye doğru kamalanarak sonlanır. Logda H olarak isimlendirilen az miktarda kaba kum içeren sarı renkli silt, kılavuz seviyeyi hendeğin kuzeyinde örter. H seviyesini örten I çökel paketi çakıl ve kaba kum muhteviyatlı siltten oluşur. I seviyesi hendeğin güneyinde G seviyesi ile de dokanak oluşturur. I seviyesi içerisinde kaba kum ve çakıllardan oluşan yanall devamlılığı olmayan çok ince iki seviye yer alır. I seviyesini örten iki birim vardır. I seviyesi, açık kahverenkli az çakıllı kilden oluşan J birimi tarafından üzerlenir.

Faylanma ve deprem tarihçesi

Yoncalık-1 hendeğinde çökel kayıtlara ve yapısal verilere dayanarak iki eski deprem seviyesi belirlenmiştir. Hendek stratigrafisi göz önüne alındığında en eski deprem, hendeğin güney tarafında 12 ila 13. metreler arasında görülen fay kolları ile temsil edilir. 12. metrede iki kol halinde görülen fayın kuzeyde kalan kolu A seviyesi ile B seviyesi arasındaki sınırı oluşturmaktadır. Söz konusu deprem A seviyesini kesmiştir. A seviyesinden alınan B-8 ve B-14 örnekleri sırası ile MÖ 9750-9722 ve MÖ 8630-8330 arasında yaşlar vermiştir (Çizelge 3.2). Bu örneklerden B-14, seviyenin üst tarafından alındığı için bu seviyeyi kesen fayı yaratan deprem için yaklaşık olarak MÖ 8500 yılından sonra olduğu düşünülmüştür. A seviyesini örten D biriminden alınan B-4 ve B-5 numaralı kömür örnekleri stratigrafik olarak birbiriyle uyumludur ve sırasıyla MÖ 6250-6060 ve MÖ 5980-5940 yaşları alınmıştır (Çizelge 3.2). Bu örneklerden B-4, seviyenin tabanına daha yakındır. A ve D seviyelerinden elde edilen yaşlandırma verileri birarada değerlendirildiğinde yaklaşık olarak MÖ 8500-6150 yılları arasında bir depremin ılıpınar segmenti üzerinde yüzey kırığı oluşturduğu söylenebilir.

Yoncalık-1 hendeğindeki ikinci olay hendek içerisinde iki zon olarak görülmektedir. Birinci zon hendeğin 6 ve 8. metreleri arasında düşey ve birbirine paralel kollar şeklinde görülmektedir. Bu kesimdeki fay kolları A, C ve D çökel seviyelerini keserek seviyeler arasındaki sınırın yerini düşey olarak değiştirmiştir.

A ve C seviyelerinin sınırı ile C-D seviyeleri, arasındaki sınır faylanmadan dolayı aynı miktarlarda düşey yönde hareket etmişlerdir.

Çizelge 3.2 : Yoncalık-1 hendeğinden elde edilen 14C yaşları (Kalibrasyon eğrileri EK 3.1'de verilmiştir).

BETA Örnek No	Örnek No	Hendek Adı	Örnek Tipi	Ölçülen Yaş	13C/12C	Konvensiyonel Yaş	2 Sigma Kalibrasyonu (BETA) M.Ö Bin yıl
253649	Y1-B14	Yoncalık-1	Kömür	9240 +/- 50 BP	-22.7 o/oo	9280 +/- 50 BP	8630-8330
253646	Y1-B8	Yoncalık-1	Kömür	9940 +/- 50 BP	-22.6 o/oo	9980 +/- 50 BP	9750-9720
253643	Y1-B5	Yoncalık-1	Kömür	6950 +/- 50 BP	-24.6 o/oo	6960 +/- 50 BP	5980-5940
253642	Y1-B4	Yoncalık-1	Kömür	7270 +/- 50 BP	-22.5 o/oo	7310 +/- 50 BP	6250-6060
253641	Y1-B1	Yoncalık-1	Kömür	5280 +/- 40 BP	-22.5 o/oo	5320 +/- 40 BP	4310-4300

Sınırlarda meydana gelen düşey hareketlerin sadece bir deprem sırasında oluşabileceği düşünülmüştür. D seviyesinden göreceli olarak yukarıdan alınan B-5 numunesinin yaşı yaklaşık olarak MÖ 5960'dır. Depreme ait fay kolları F çökel seviyesi tarafından örtülür. F seviyesinden alınan B1 numunesinin yaşı sırası ise MÖ 4310-4300'dür. B-5 ve B-1 numunelerinin yaşları birlikte değerlendirildiğinde MÖ 5960 ile 4300 arasında Ilıpınar segmenti üzerinde yüzey kırığı oluşturan başka bir deprem olmuştur. Bu depreme ait ikinci zon ise hendeğin kuzeyinde 13 ila 15. metreler arasında görülmektedir. E çökel paketindeki birimlerin sınırları düşey olarak yer değiştirmiştir. F seviyesi bu zona ait kolları da örter.

3.1.2.2 Yoncalık-2 hendeği

Yoncalık-2 hendeği havzanın orta kısımlarında havzayı güneyden sınırlayan Ilıpınar segmenti üzerinde açılmıştır (Şekil 3.28). Yoncalık-1 hendeğinin yaklaşık 2 km batısında yer alır.

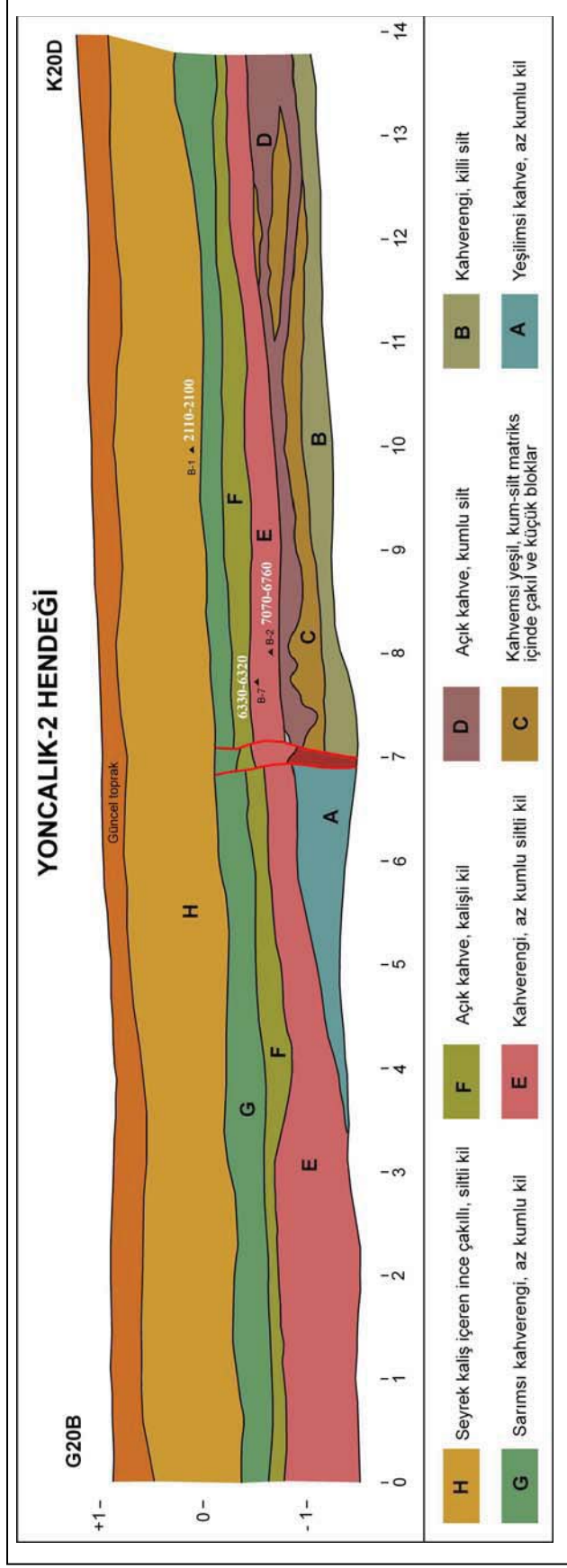
Hendek yeri K70⁰B doğrultulu faya paralel olarak konumlanmış uzamış sırt ile havzayı güneyden sınırlayan yükselti arasında yer alır. Bu alan aynı zamanda gidişatı faya ve uzamış sırta paralel olan çizgisel çöküntü bir alandır.

Yoncalık-2 hendeğinin açıldığı alanda çökel kaynağı asıl olarak güneydeki yükselti olması rağmen süresiz olarak akan bazı ufak dereler de etkilidir. Bu drenaj sistemi alanın sulak olmasına yol açmıştır. Çöküntü alanı sınırlayan uzamış sırt, sedimanların havzanın iç kesimlerine taşınmasını engelleyen bir set görevi yapmaktadır. Çalışma zamanı olarak zeminin en kuru olduğu aylardan biri seçilmiş olmasına rağmen, yeraltı su seviyesinin yüksek olması nedeniyle hendek derinliği 2,3 m ile sınırlandırılmıştır. Hendeğin doğrultusu K20⁰D uzunluğu ise 26 m dir. Ancak hendeğin güney kesimi oldukça düzenli ve deforme olmamış olduğundan, güneyde loglanan 12 metre gösterilmemiştir. Yoncalık-2 hendeğindeki seviyeler çok ince malzemeli birimlerden oluşmuştur.



Şekil 3.28 : Yoncalık-2 hendeği, K70B konumlu faya paralel çizgisel bir depresyon alanı üzerinde açılmıştır (Kuzeye bakış).

Bu seviyeler genelde yatay konumda olan, kil ve silt boyutlu çökellerden meydana gelişmiştir (Şekil 3.29). Hendek içerisindeki en yaşlı birimler A ve B ile gösterilen seviyelerdir. A paketi yeşilimsi kahve renkli az miktarda kum içeren kil çökeldir. B ise kahverenkli killi siltten oluşmuştur.



Şekil 3.29 : Yoncalık-2 hendeginin batı duvarının ölçekli logu. Log üzerindeki yaşlar milattan önceki tarihleri belirtmektedir.

B üzerine C ve D birimleri çökelmiştir. C birimi, kahvemsî yeşil renkte kum-silt matriks içinde çakıl ve küçük bloklardan oluşmaktadır. D birimi açık kahverenkli kumlu siltten oluşur. Hendekte en altta bulunan ve fay zonunun her iki tarafında bulunan A,B,C ve D birimleri kahverengi, az kumlu siltli kilden oluşan E seviyesi ile örtülmüştür. E üzerine gelen F ile simgelenmiş kalışli kil ve onun üzerini örten G ile gösterilmiş sarımsı kahverengi, az kumlu kil, fayın deformasyonundan etkilenmiştir. G seviyesi sarımsı gri renkte, seyrek kalış içeren ince çakıllı, siltli kil (H birimi) ile örtülmüştür. Hendekteki çökel paketleri güncel toprak seviyesi ile örtülmüştür.

Faylanma ve deprem tarihçesi

Yoncalık-2 hendeğinin, çökel paketlerinin stratigrafik konumları ve yapısal özellikleri birlikte değerlendirildiğinde iki (veya daha fazla) eski deprem seviyesi olduğu anlaşılmaktadır. Hendeğin 7. metresinde iki koldan oluşan tek bir fay zonu belirlenmiştir (Şekil 3.30). Bu hendekte belirlenen depremlerin söz konusu fay kolu üzerinde gerçekleştiği düşünülmektedir.

Hendekte tanımlanan ilk deprem, E biriminin çökeliminden önce olmuştur. E biriminin, fay zonunun her iki bloğunda bulunan farklı seviyeleri ortak olarak örtmesi bunun verisidir. Fay zonunun her iki tarafında farklı birimlerin yer alması bu zonun daha önceden de çalışmış olduğunu gösterir. Şekil 3.29'da görüldüğü üzere fayın kuzey blokuna kalan B-C-D seviyelerinin fayın güney blokunda görülmemesi fay kolu üzerinde E seviyesinin çökeliminden önce bir veya daha fazla deprem olduğu şeklinde yorumlanmıştır. Fakat bu depremi (veya depremleri) belirlemek ve tarihlendirmek mümkün değildir. Yaşlandırılabilir ilk deprem E birimi ile üstten sınırlandırılabilir. Ancak E biriminin altındaki birimlerin ne kadar aşınmaya maruz kaldıkları bilinmemektedir. Bu nedenle E biriminden alınacak yaştan (az veya çok) daha önce bir deprem olduğu söylenebilir. E biriminin alt kesiminden alınan B-2 ve daha üst kesiminden alınan B-7 nolu kömür örneklerine ait yaşlar sırası ile MÖ 7070-6760 ve MÖ 6330-6320 arasındadır (Çizelge 3.3).

Yaşlar stratigrafik olarak birbiriyle uyumludur. Daha alt seviyede yer alan B-2 örneğinin yaşı dikkate alındığında Ilıpınar segmenti üzerinde yaklaşık olarak MÖ 6325 tarihinden önce bir deprem olmuş olmalıdır.

Çizelge 3.3 : Yoncalık-2 hendeğinden elde edilen 14C yaşları (Kalibrasyon eğrileri EK 3.1'de verilmiştir).

BETA Örnek No	Örnek No	Hendek Adı	Örnek Tipi	Ölçülen Yaş	13C/12C	Konvensiyonel Yaş	2 Sigma Kalibrasyonu (BETA) M.Ö Bin yıl
253654	Y2-B7	Yoncalık-2	Kömür	7300 +/- 50 BP	-24.0 o/oo	7320 +/- 50 BP	6330-6320
253651	Y2-B2	Yoncalık-2	Kömür	8020 +/- 50 BP	-25.2 o/oo	8020 +/- 50 BP	7070-6760
253650	Y2-B1	Yoncalık-2	Kömür	3580 +/- 40 BP	-23.8 o/oo	3600 +/- 40 BP	2110-2100

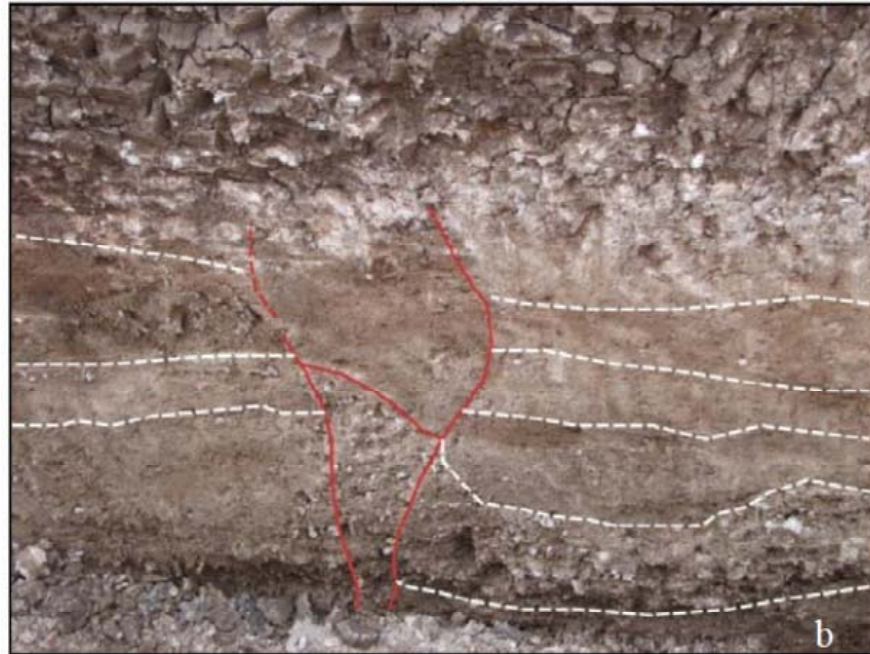
Hendekteki bir sonraki deprem verisi aynı zamanda muhtemelen en son depremi temsil eder. Uyumlu olarak çökelmiş E, F ve G birimlerini kesen ve aynı miktarlarda öteleyen fay kolları H birimi tarafından örtülmektedir. H biriminin altından alınan B-1 örneğinin yaşı MÖ 2110-2100 arasındadır. E biriminin üst kesiminden alınan B-7 örneği ile birlikte değerlendirildiğinde, bu hendekteki son depremin yaklaşık olarak MÖ 6325-2105 aralığında oluştuğu söylenebilir.

Yoncalıkta açılan her iki hendekte de iki eski deprem belirlenmiştir ve elde depremlerin tarih aralıkları geniş olsa da birbirleri ile uyum gösterir. Yoncalık-2 hendeğindeki MÖ 6325 tarihinden önce olan depremin Yoncalık-1 hendeğinde MÖ 8500-6150 arasında olan deprem ile aynı olduğu düşünülmektedir. Yoncalık-2 hendeğinden elde edilen MÖ 6325-2105 tarihleri arasında olmuş depremin ise Yoncalık-1 hendeğindeki MÖ 5960- 4300 tarihleri arasında olmuş deprem ile aynı deprem olduğu anlaşılmaktadır.

Yoncalık hendeklerinden elde edilen veriler, Ilıpınar segmentinin deprem üretme aralığının KAFZ'nin genel davranışına uygun olmadığını göstermektedir. KÜE civarının kendine özgü deformasyon dağılımından dolayı KAFZ'nin bu segmenti diğer segmentleri gibi düzenli deprem üretme aralığına sahip değildir.

Zira Ilıpınar segmentine yakın olarak konumlanmış ikincil faylar üzerlerinde büyük ötelenmeler mevcuttur. Bu ötelenmeler, ikincil fayların bölgede biriken enerjinin bir kısmını üzerinde topladığını göstermektedir.

KAFZ'nin diğer kolları ile kıyaslandığında Ilıpınar segmenti üzerinde yüzey kırığı oluşturan depremlerin çok uzun periyotlar ile oluşmasının nedeni, hem Ilıpınar segmenti üzerinde hem de ikincil fay kolları üzerinde olmuş olabilecek yüzey kırığı oluşturmeyen ($M > 6,9$ 'a kadar) depremlerin biriken enerjiyi boşaltmasıdır.



Şekil 3.30 : Yoncalık-2 hendeğinde görülen fay zonunun hendek tavanından oblik olarak çekilmiş fotoğrafı (a) ve fay zonunun yorumlanmış hali (b).

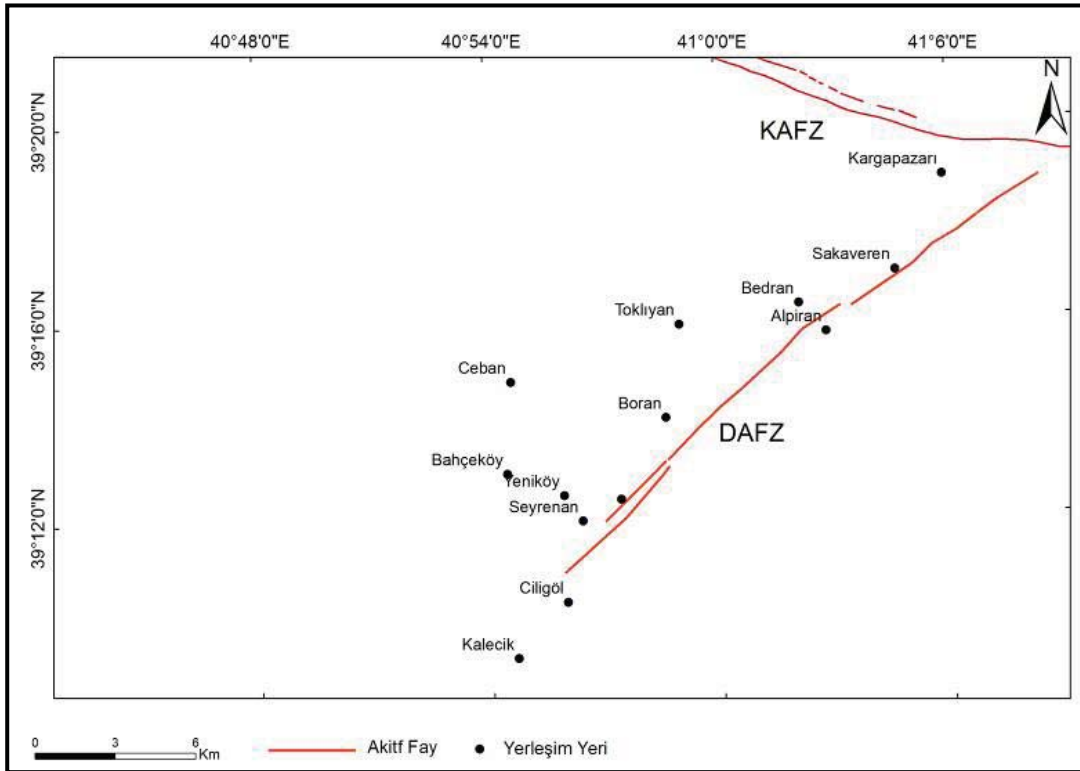
3.2 DAFZ-Göynük Segmenti'nin Özellikleri

3.2.1 Göynük segmentinin geometrisi ve morfolojik özellikleri

3.2.1.1 Göynük segmentinin geometrisi

Doğu Anadolu Fay Zonu'nun en kuzeydoğu kısmını oluşturan Göynük segmenti üzerinde yapılan arazi çalışması sonucunda doğrultu atımlı fay sistemi ile ilgili pek çok morfotektonik yapının varlığı belirlenmiştir. Ötelenmiş dereler, basınç sırtları, çizgisel çöküntüler ve morfolojideki çizgisel yapılar ile bu fay kesiminin geometrisi detaylı olarak belirlenmiştir. Doğrultusu K55-65D arasında değerlere sahip Göynük segmenti, kuzeydoğuda Kargapazarı köyünün yaklaşık 3 km doğusundan başlar, güneybatıda Kalecik köyü kuzeydoğusuna kadar devam eder. Segmentin uzunluğu yaklaşık 23 km'dir (Şekil 3.31).

Kargapazarı doğusu ile Sakaveren güneybatısı arasında göreceli olarak tek ve düz bir hat olarak yer alan fay, bu noktadan sonra sıkışmalı dar bir sıçrama yapar. Alpiran köyünün batısına kadar yaklaşık K65D doğrultusunda kısa bir mesade devam eden segment, sıkışmalı bir büklüm yaparak tekrar düz bir hat boyunca Seyrenan köyü kuzeydoğusuna kadar uzanır. Fay bu noktada açılmalı bir sıçrama yaparak Kalecik



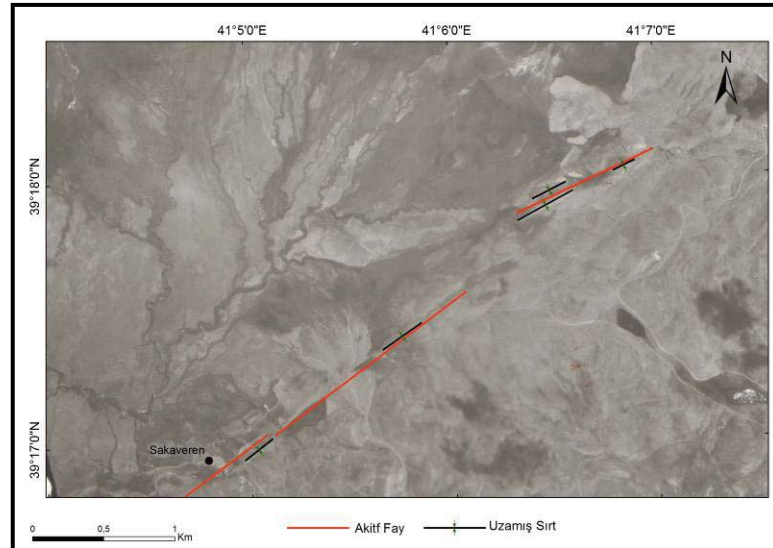
Şekil 3.31 : Göynük segmentinin arazi çalışmaları sonucunda belirlenen geometrisi.

köyüne doğru devam eder. Sıçramayı yapan iki fay kolu arasındaki üzerleme miktarı yaklaşık 3 km civarındadır. Bu mesafa boyunca iki fay kolu birbirlerine paralele yakın olarak, aynı doğrultuda güneybatıya doğru uzanır.

3.2.1.2 Göynük segmentinin morfolojik özellikleri

Göynük segmenti morfolojik ve geometrik özellikleri dikkate alınarak kuzeydoğudan güneybatıya doğru anlatılacaktır. Göynük segmentine ait ilk morfolojik izler Kargapazarı köyünün yaklaşık 3 km doğusundan başlar ve güneybatıya Sakaveren köyüne doğru devam eder. Göynük segmenti boyunca belirlenen basınç sırtları, uzamış sırtlar, çizgisel çöküntü alanları ve ötelenmiş dereler fayın morfolojik izini takip etmekte kullanılan ana morfotektonik yapılarıdır.

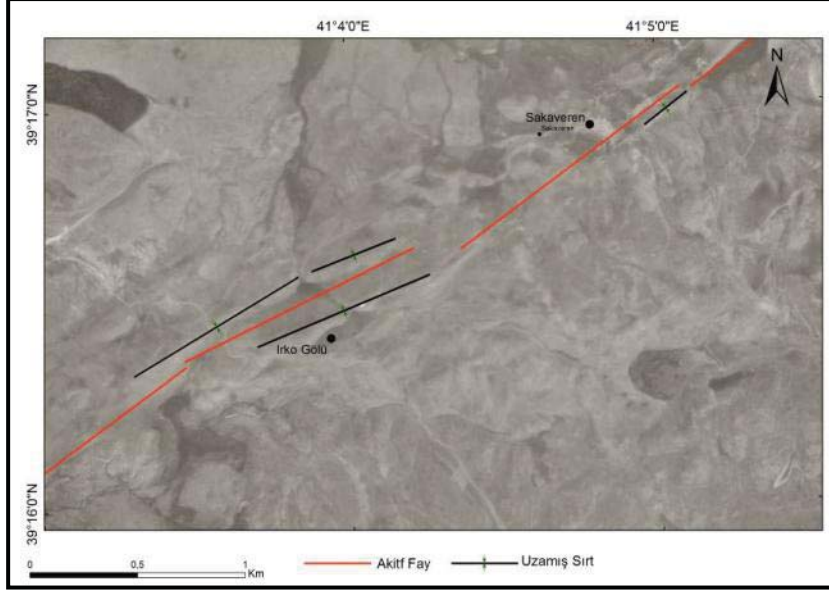
Göynük segmentinin, Sakaveren köyü kuzeydoğusundan itibaren bölgede geliştirdiği en önemli morfotektonik yapılar olan morfolojik çizgisellik, uzun ekseni 150 – 400 m arasında olan basınç sırtları ve çizgisel çöküntü alanları hem uzaktan algılama hem de arazi çalışmaları ile belirlenmiştir (Şekil 3.32). Göynük segmentinin bu bölgede en kuzeydoğudaki kolunun doğrultusu K65D ve uzunluğu 1 km dir. Yaklaşık aynı doğrultuda uzamış 3 tane sırt ile karakterize olan bu kolun, güneybatısında K55D doğrultulu ve 1.5 km uzunluğunda başka bir kol bulunur.



Şekil 3.32 : Sakaveren köyü civarında Göynük segmentinin geometrisi ve faylanma ile ilişkili basınç sırtları. Basınç sırtlarının uzun eksenlerinin boyu 150 ila 400 m arasında değişmektedir.

Sakaveren köyünün güneybatısına doğru K60D doğrultusunda 1 km devam eden fay, Irko gölü civarında arazide uzamış sırtlar (Şekil 3.33) ve bu sırtlar arasında yer alan

çizgisel çöküntü alanı (Şekil 3.34) ile karakterize olur. Çöküntü alanının çevresine göre oldukça sulak olması, faylanma ile oluşan çukurluğun çevredeki akaçlama sonucu su toplanma alanı oluşturması ve fayın oluşturduğu zayıf zonlardan yeraltı suyunun çıkışı ile ilişkilendirilmiştir.



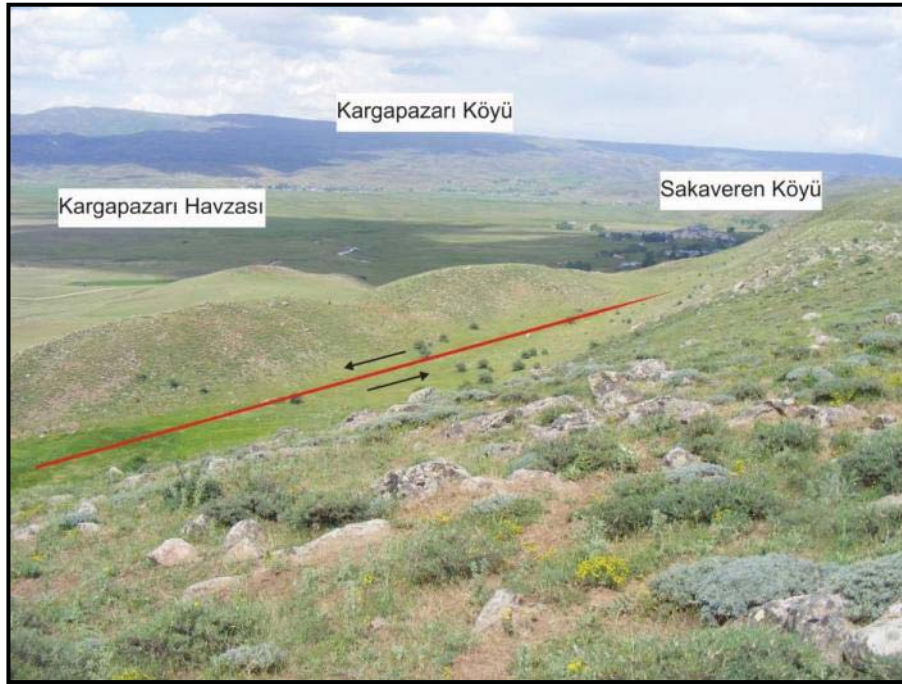
Şekil 3.33 : Sakaveren köyü ile Irko gölü arasında Göynük segmentinin geometrisi, ve morfolojik özellikleri.

Irko gölü güneyinden K65D doğrultusu ile güneydoğuya doğru devam eden fay, Bedran köyü kuzeyinde K55D doğrultusu kazanır. Boran Köyü kuzeyine doğru fay K50D doğrultusunda bir geometriye sahiptir. Göynük segmenti, Bedran köyü kuzeyi ile Boran köyü kuzeyi arasında uydu görüntüleri ve sayısal yükseklik modelleri ile takip edilebilmektedir (Şekil 3.35). Görüntülerden elde edilen çizgisellik fayın kuzeydoğusu ve güneybatısındaki uzanımı ile uyumludur.

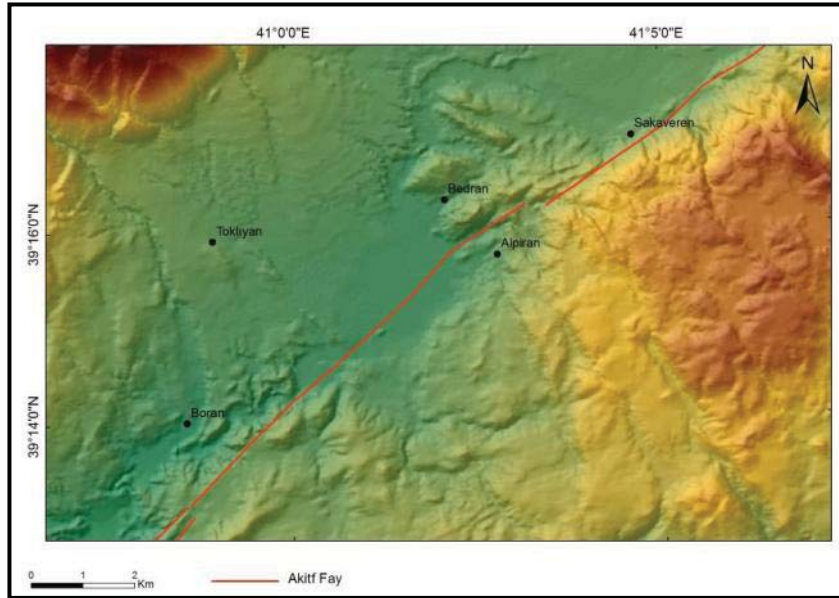
Alpiran Köyü kuzeyi ile Boran Köyü kuzeyi arasında kalan arazide tarım faaliyetlerinin yoğunluğu faya ait morfolojinin silinmesine yol açmıştır (Şekil 3.36a). Göynük segmentinin Boran köyü kuzeydoğusunda görülen morfolojik verisi Alpiran köyünün de yaklaşık 3.5 km güneydoğusunda görülen K58D doğrultulu morfolojik çizgiseliktir (Şekil 3.36b).

Boran köyü kuzeyinden itibaren K57D doğrultusunda yaklaşık 6 km devam eden fay, bu noktadan güneybatıya doğru gidildikçe birbirlerine yaklaşık paralel uzanlı iki kol olarak devam eder (Şekil 3.37). Boran Köyü kuzeyinden tek kol olarak K50-60D doğrultusunda devam eden fay koluna ait morfolojik veri kesikli biçimde devam

eden çizgisel hattır (Şekil 3.36b). Bu segment, Çevligişeman köyünün yaklaşık 2 km güneydoğusundan itibaren iki kol halinde görülür.



Şekil 3.34 : Irko tepeleri yöresinde görülen çizgisel çöküntü alanı, bu bölgede fayın üzerinde yer alan önemli morfolotektonik yapılardan biridir. Bakış güneyden K-KD yönüne doğrudur.

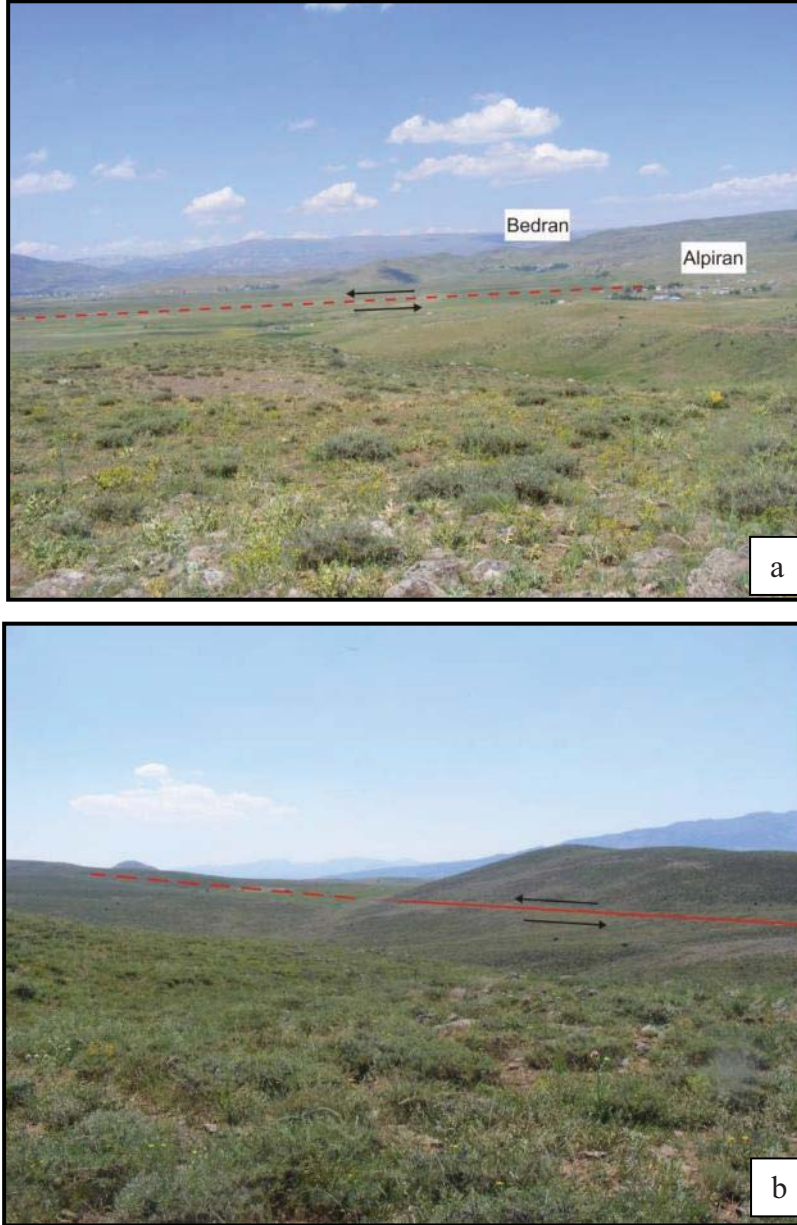


Şekil 3.35 : Bedran köyü kuzeyi ile Boran köyü kuzeyi arasında yer alan fayın uzanımı.

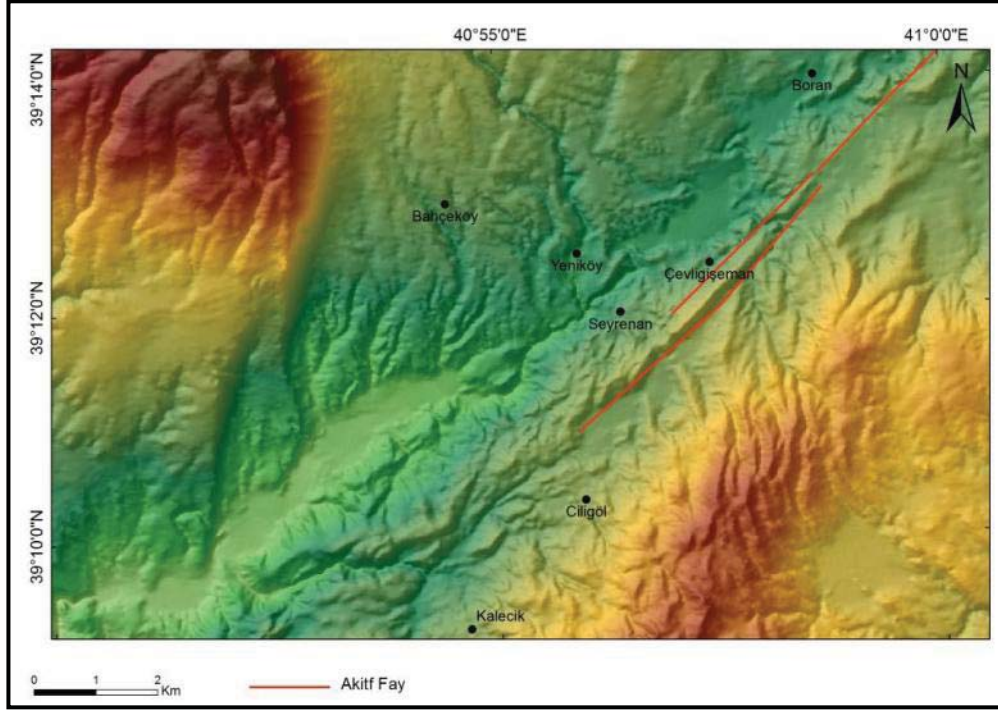
Şekil 3.38'de gösterilmiş olan dere ötelenmesi, iki kol halinde devam eden fayın güneyden giden koluna ait ana morfolotektonik unsurdur. Aynı hattın devamında yer

alan kümülatif iki dere yatağındaki ötelenme miktarları sırası ile 100 m ve 20 m olarak ölçülmüştür (Şekil 3.39).

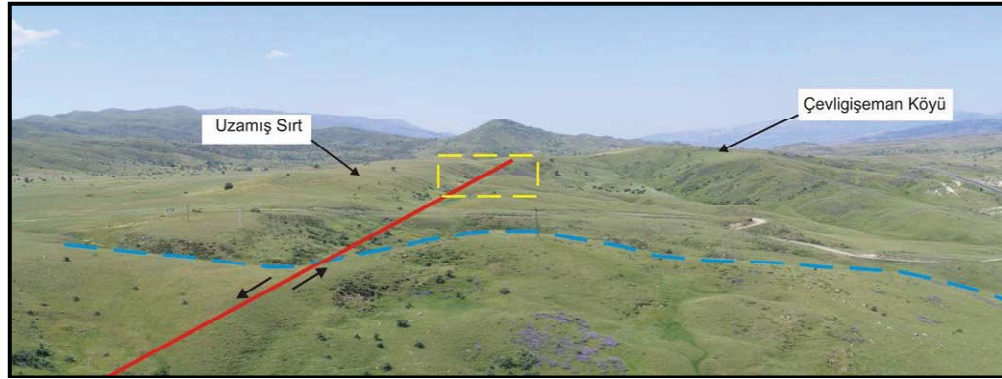
Fayın güneyden giden kolun güneydoğu devamı ile ilgili herhangi bir morfotektonik yapı gerek arazi gerekse uzaktan algılama çalışmaları sonucunda açık bir şekilde belirlenememiştir (Şekil 3.40).



Şekil 3.36 : Bedran köyü kuzeyi ile Alpiran köyü güneyi arasında (a) faya ait açık bir arazi verisi elde edilememiştir (Bakış yönü güneyden kuzeye doğru) (b) Boran köyü kuzeydoğusundan itibaren fay arazide yeniden morfolojik çizgisellik ile kendini gösterir (Doğudan batıya bakış).



Şekil 3.37 : Boran-Kalecik köyleri arasında Göynük segmentinin geometrisi.

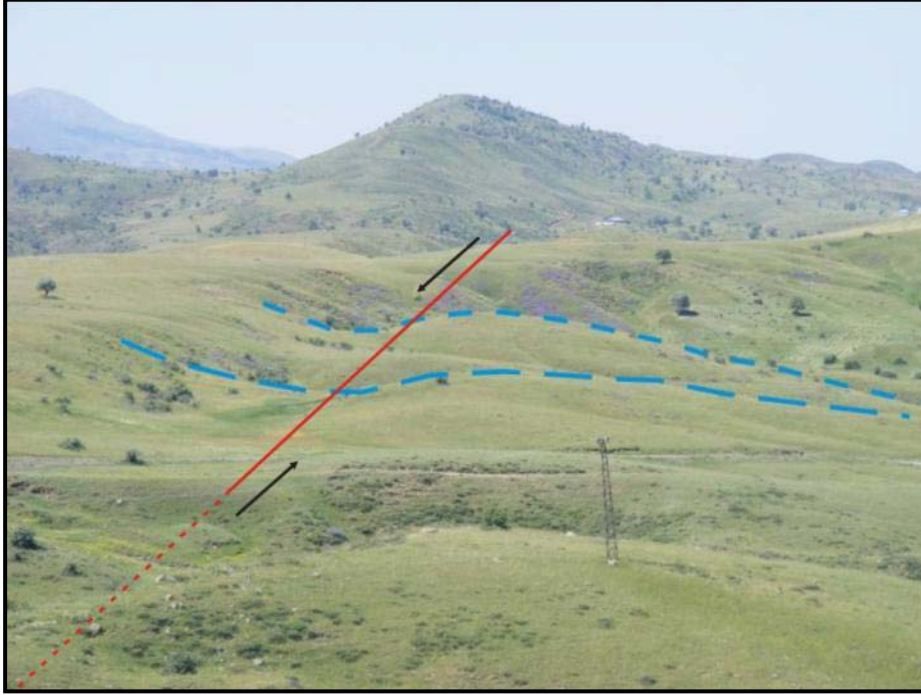


Şekil 3.38 : Çevlişeman köyünün yaklaşık 2 km kuzeydoğusundan güneybatıya bakışlı olarak çekilmiş bu fotoğrafta yaklaşık 100 m lik dere ötelenmesi ve sarı kesikli dikdörtgen içine alınmış (Şekil 20) yaklaşık 20 m lik dere ötelenmeleri, Şekil 18 de görülen fayın kuzey batı koluna ait morfolojik yapılarıdır.

Şekil 3.40'da görüldüğü üzere bu bölgeden sonra diğer morfolojik süreçlerin (iklim, kütle hareketleri ve antropojenik etkiler gibi) baskınlığı, tektonik etkinlik ile ilişkili yapıların silinmesine yol açmışlardır.

Çevlişeman'da çatalanan fayın kuzey kolu, bu bölgede yer alan sırtın kuzey kenarında yer alan ufak çizgisel bir havzanın güney kenarını sınırlayarak güneybatıya doğru devam eder (Şekil 3.41). Ayrıca bölgede görülen sırt ve bu sırtın

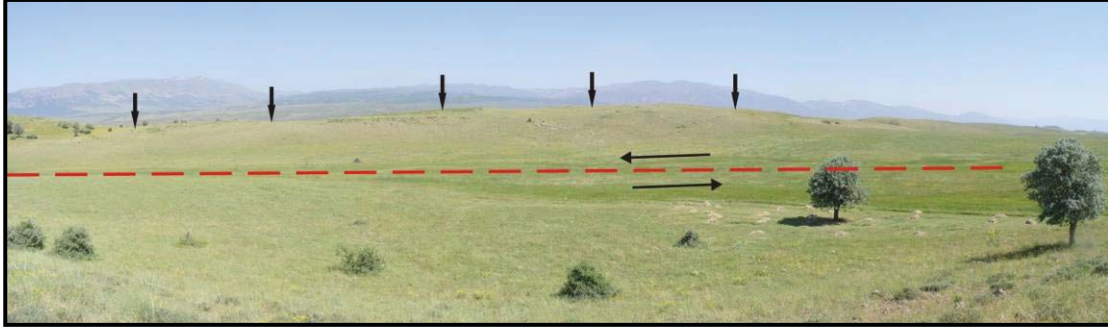
hemen kuzeyinde yer alan ufak bir havza fayın bu kesimi için başlıca morfotektonik yapılar arasında yer alır (Şekil 3.42).



Şekil 3.39 : Şekil 3.38’de sarı dikdörtgen ile işaretlenmiş alanda yer alan yaklaşık 15 ve 20 m’lik kümülatif dere ötelenmeleri (mavi kesikli çizgiler).



Şekil 3.40 : KB’dan giden fay kolunun devamında, faylanma ile ilişkili olarak gelişmiş herhangi bir morfolojik yapı belirlenememiştir.



Şekil 3.41 : Uzun eksenli siyah oklarla gösterilmiş bir basınç sırtı ve bunun hemen kenarını sınırlayan fay kolu bölgede fay kontrollü morfolojik yapılara ana örneklerden birini oluşturur.



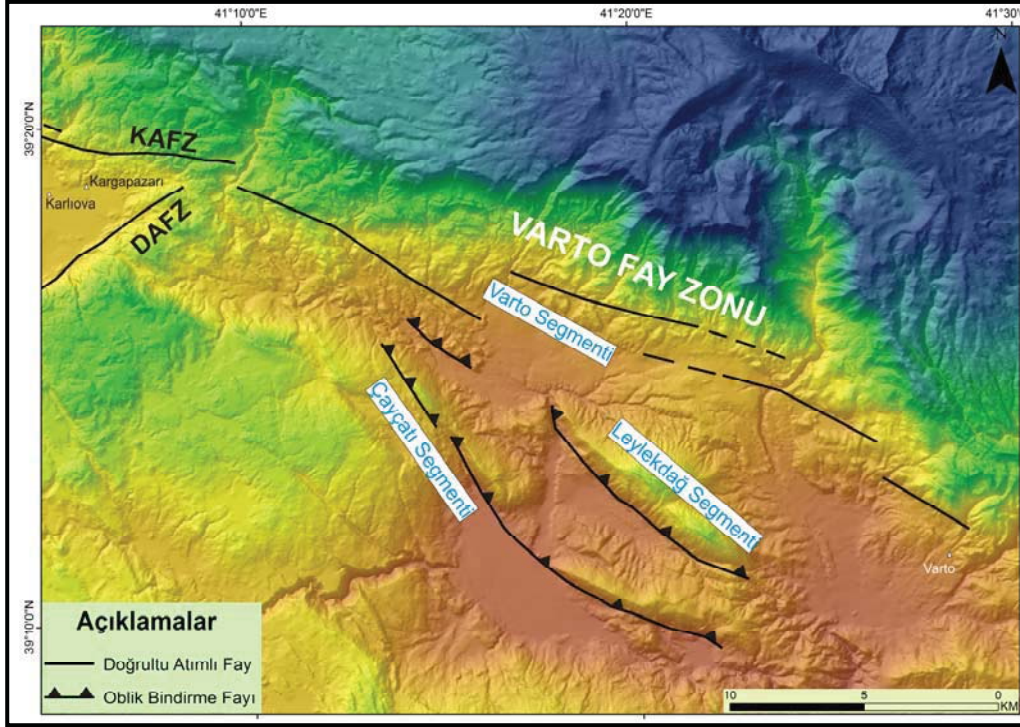
Şekil 3.42 : Resimdeki ufak siyah ok Şekil 3.41'deki sırtın uzun eksenini, beyaz alan ise bu sırtın güneyinde fay kontrolü ile açılmış küçük bir havzanın konumunu göstermektedir. Aktif olan kol kuzeyde kalan fay parçasıdır (KB bakış).

3.3 Varto Fay Zonu (VFZ)

3.3.1 VFZ'nin geometrisi

Varto Fay Zonu üç segmentten oluşmaktadır. Bu fay parçaları kuzeyden güneye doğru Varto segmenti, Leylekdağ segmenti ve Çayçatı segmenti olarak isimlendirilmiştir (Herece, 2008) (Şekil 3.43). Varto fay zonu içerisinde farklı kinematik özelliklere sahip iki faylanma türü bulunmaktadır. En kuzeyde yer alan Varto segmenti, KB-GD bir hat şeklinde uzanan doğrultu atımlı sağ yönlü faydır. Leylekdağ segmenti ve Çayçatı segmenti ise oblik bindirme bileşenli fay karakteri göstermektedir.

Yakın tarihli (0-50 yıl) ve az bilinen depremler için, bunların meydana getirdiği yüzey kırığının ve hasar dağılımının anlaşılması açısından bölgede yaşayan halkın verdiği bilgiler büyük önem taşımaktadır. Bu bilgilerin düzenli bir şekilde toplanıp eldeki diğer gözlemler ile birlikte değerlendirilmesi, gerçekleşen depreme ait yüzey kırığının uzunluğunun ve geometrisinin anlaşılması açısından oldukça faydalıdır.



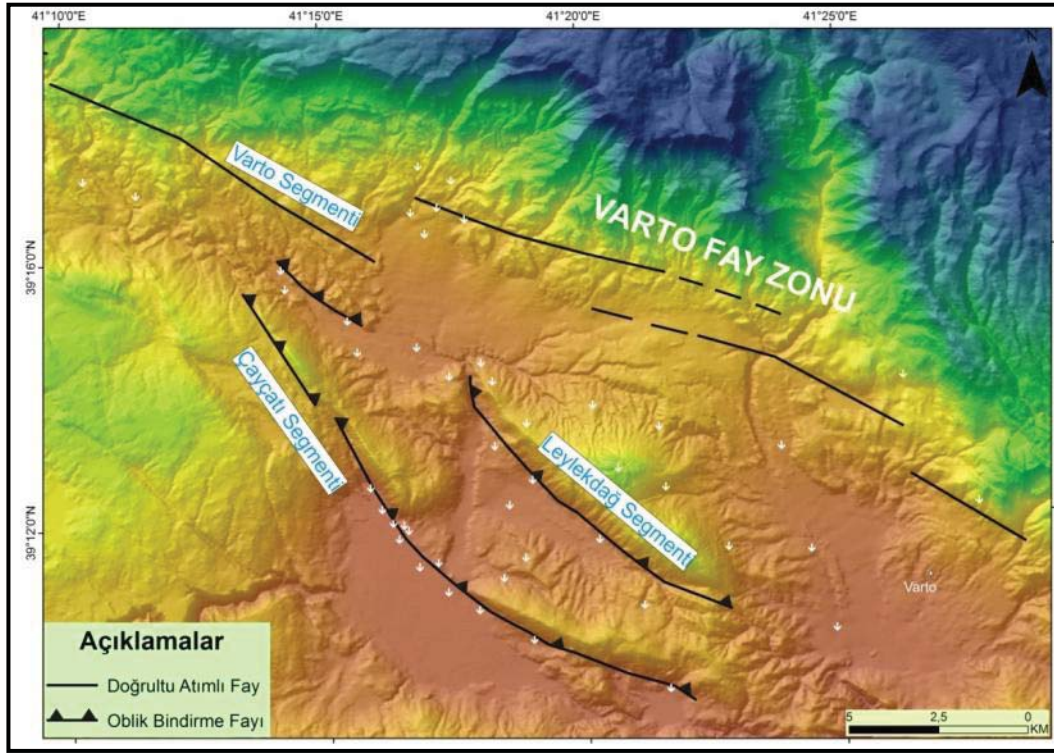
Şekil 3.43 : Varto Fay Zonu'nun geometrisi, fay türleri ve bunların segmentasyonu.

Arazi çalışmaları süresince, bölgede yaşayan vatandaşların verdiği bilgiler doğrultusunda 19 Ağustos 1966 Varto Depremi (M=6.9) sırasında yüzeyde deformasyon oluşan lokalitelerin GPS koordinatları alınmıştır.

Bu koordinatlar harita üzerine iz düşürüldüğü zaman elde edilen dağılım, deformasyonun uzaktan algılama ve arazi gözlemleri ile belirlenen oblik bindirme faylarının üzerinde yer aldığını göstermektedir. (Şekil 3.44).

Leylekdağ ve Çayçatı segmentleri üzerinde gerek depremden sonra yapılan çalışmaların sonuçları, gerekse bu çalışma süresince bölgedeki vatandaşlardan elde edilen bilgiler, bu bölgedeki fayların kinematik karakteri ile uyumluluk göstermektedir. Arazi çalışmaları sırasında bölge halkının gösterdiği deformasyon yerleri mümkün olduğu kadar farklı kişiler ile yapılan görüşmelerle doğrulanmıştır. Sonuç olarak belirlenen ve koordinatları alınan 52 lokasyon, Çayçatı segmenti

üzerinde çizgisel bir hat halinde yer alırken Leylekdağ segmenti üzerinde daha geniş olarak yayılmıştır.

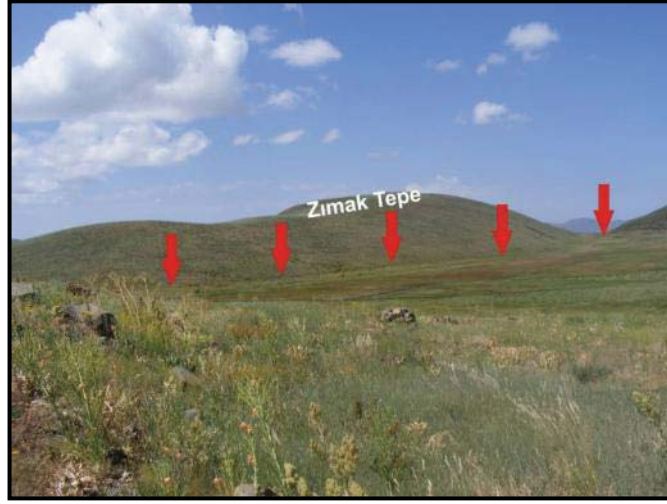


Şekil 3.44 : VFZ segmentasyonu ve bölge halkının verdiği bilgilere dayanılarak koordinatlandırılmış yüzey deformasyonu görülen noktalar (beyaz oklar).

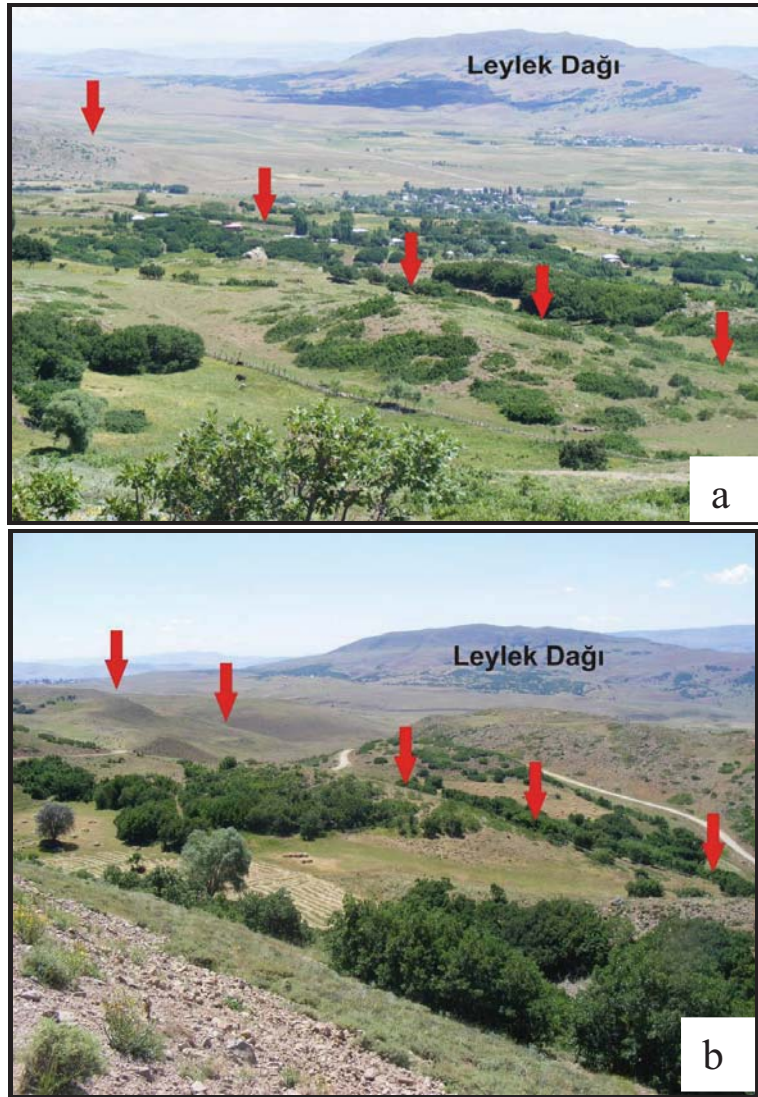
3.3.1.1 Varto segmenti'nin geometrisi ve mofrolojik özellikleri

K60-80B uzanımlı Varto segmenti Karlıova üçlü ekleminden başlar doğuda Varto kuzeyine kadar 30 km devam eder (Şekil 3.45). Güzeldere köyü kuzeyinde K70B konumunda olan fay Kartaldere köyünden itibaren gevşemeli büklüm yaparak Çaylar güneyine kadar K60B konumunda tek bir kol olarak devam eder. Segmentin bu kolunun uzunluğu 10 km dir. Bu noktadan sonra deformasyon zonu genişleyen Varto segmenti birbirine yaklaşık paralel iki koldan oluşur. 2 km'lik deformasyon zonu içerisinde, kuzeydeki kol Şorik köyü güneyi ile Sağlıcak köyleri arasında düşük açılar ile önce gevşemeli sonra da sıkışmalı büklüm yaparak K65-80B konumları arasında 10 km uzanır. Güneydeki kol ise Doğanca köyü ile Çobandağı köyü arasında K68B-K75B doğrultusunda 10 km devam eder. Çobandağı köyünün doğusunda yaklaşık 1.5 km sağa sıçrayan fay 3 km daha devam eder.

Varto segmenti arazide Güzeldere köyü kuzeyinden itibaren izlenmeye başlar. Güzeldere köyü kuzeyinden ve güneyinden iki kol haline uzanan segment (Şekil 3.46) KAFZ ve DAFZ ile bu civarda birleşir. Güzeldere köyü kuzeyinde yer alan

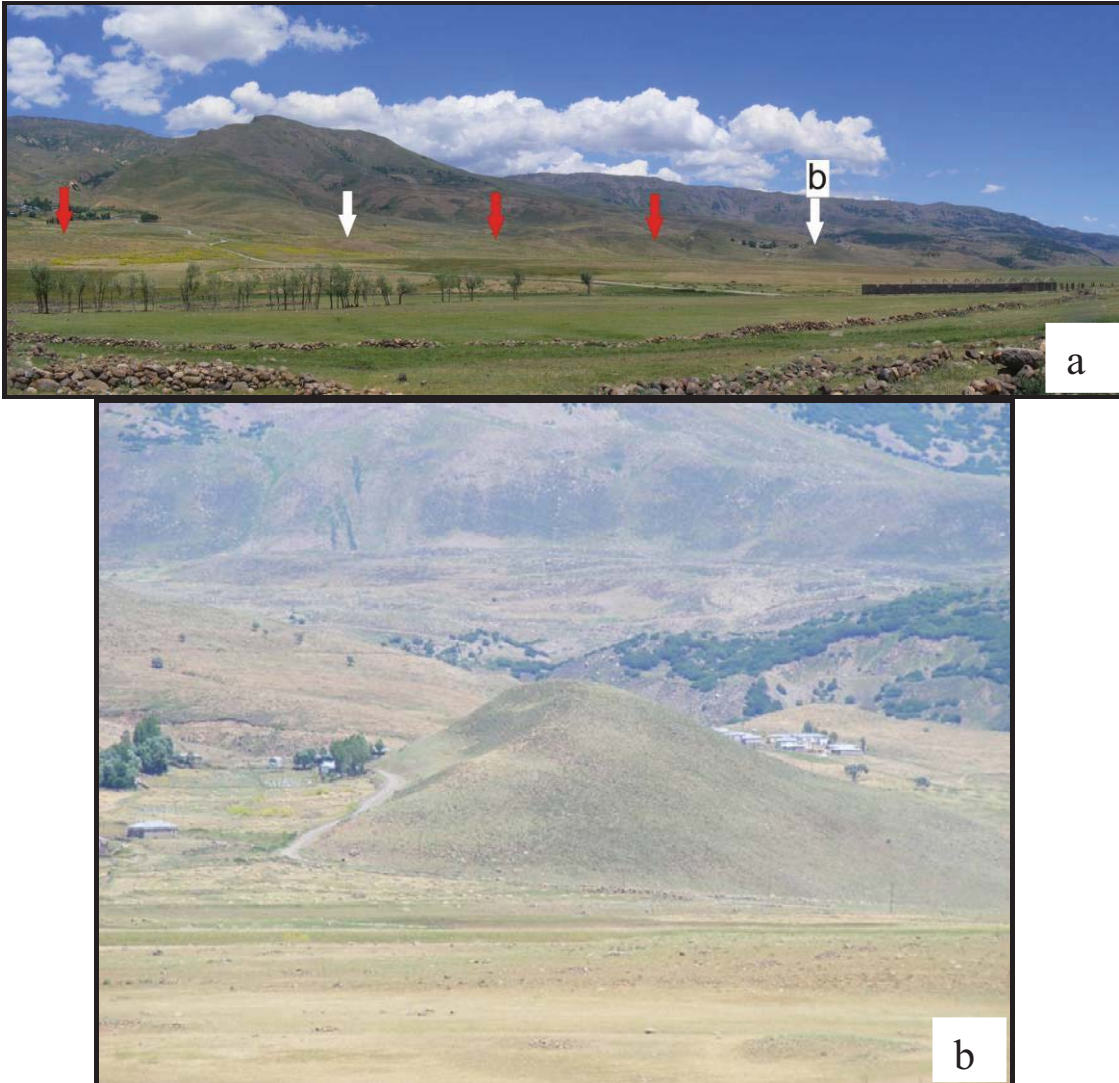


Şekil 3.47 : Zımak tepe kuzeyinde Varto segmentinin geometrisi kırmızı oklar ile gösterilmiştir (güneybatıya bakış).



Şekil 3.48 : Çallıdere Köyü kuzeyinde tepeler üzerindeki çizgisel çöküntü alanlar (kırmızı oklar ile gösterilen) K65B konumlu fayın yerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. (Güneydoğu bakış).

Şorik köyü ile Sağlıcak köyü arasında uydu görüntülerinden ve sayısal yükseklik modellerinden çizgisel uzanımı belli olan fay (Şekil 3.45) İçmeler köyü civarında, uzamış sırtlar ve sırt ötelenmeleri ile karakterize olur (Şekil 3.49a ve b). Şekil 3.49a'da kırmızı ve beyaz oklar fayın gidişatını göstermektedir. Sağdaki beyaz ok uzamış bir sırtın yerini göstermektedir. Üzerinde “b” yazan beyaz ok ise Şekil 3.49b'de gösterilen, eksenini sağ yanal ötlenmiş tepenin yerini göstermektedir. Sağlıcak köyünün doğusunda yer alan ve Varto segmentini neredeyse dik olarak kesen Koşkar çayının (Şekil 39) farklı taraça seviyeleri vardır. Yayıklı köyü ile Aşağı Seki köyleri arasında, Koşkar çayının yarattığı vadi içerisinde gözlenen taraça seviyeleri Varto segmentinin denetiminde sağ yanal olarak 1500 ± 50 m ötelenmiştir.

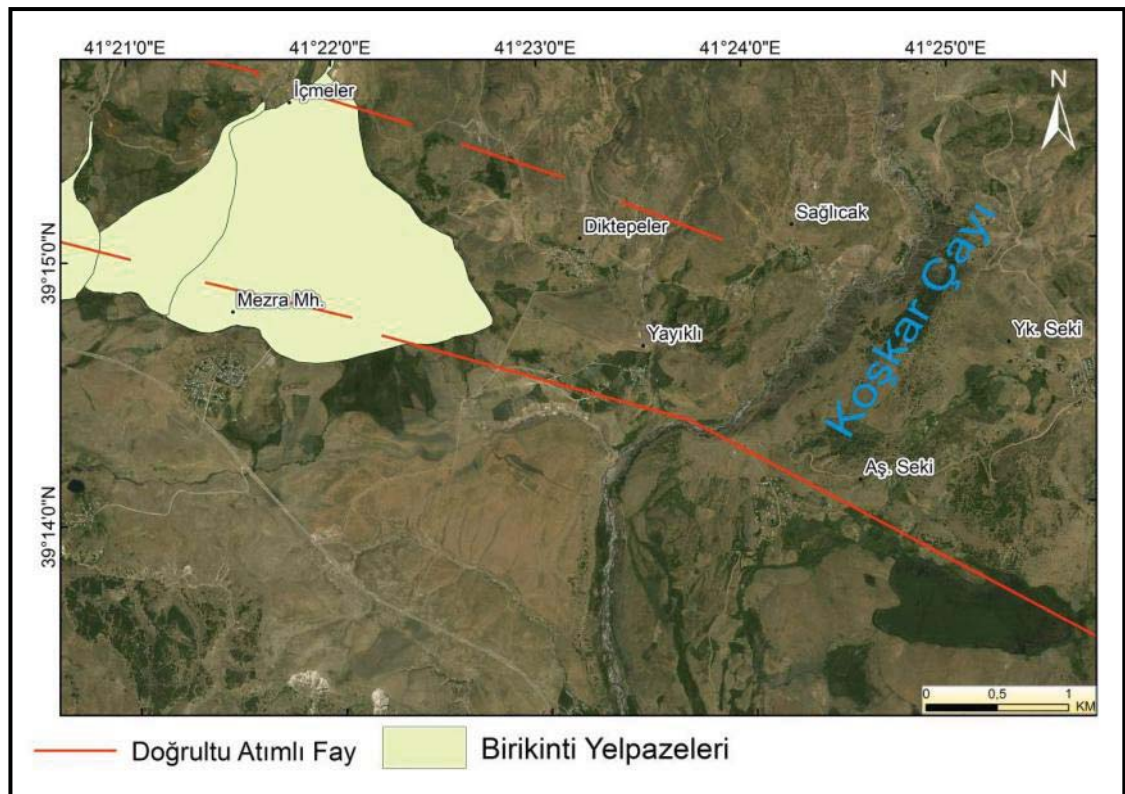


Şekil 3.49 : (a) İçmeler köyü civarında Varto segmentinin morfolojik özellikleri fayın konumunun K80B olduğunu göstermektedir.

Koşkar çayına ait 4 farklı taraça seviyesi gözlenmiştir (Şekil 3.50a ve b). Fakat bu seviyelerden üç tanesi Koşkar çayının etkisi ile yanal olarak aşınmıştır. Şekil 3.50a'da gösterilen T1 terası ve Şekil Şekil 3.50b'de gösterilen T2, T3 ve T4 terasları Koşkar çayının yarattığı vadi içerisinde yer almaktadır.

T2, T3 ve T4 terasları yanal olarak aşındırıldığı için devamlılığı görülmemektedir. Bu nedenle belirtilen teraslar üzerinde yaşlanandırma çalışması yapılmamıştır. Buna karşılık kuzey-güney yönünde devamlılık gösteren T1 terası üzerinden KS-1 ve KS-2 numuneleri alınarak (Şekil 3.51a) Optik Uyarımlı Lüminüsans (OSL) yöntemi ile yaşlandırılmıştır.

T1 taraçasından elde edilen yaşlar (Çizelge 3.4) tutarlı sonuçlar vermediği için bu yaşlara bakılarak Varto segmentine ait kayma hızı verilmesi mümkün değildir. Zira KS-1 ve KS-2 arasında sadece 10 cm lik bir fark olmasına rağmen 37 bin yıllık bir yaş farkı ortaya çıkması teras stratigrafisini oluşturan birimlerin taşkın dönemlerine veya dış kaynaklı bir malzeme gelmesi ile açıklanmaktadır.



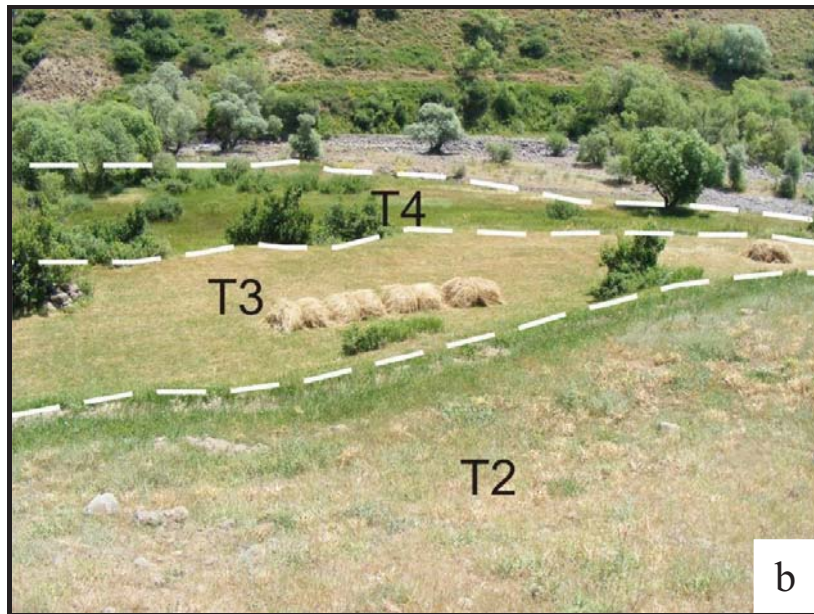
Şekil 3.50 : Koşkar Çayı Varto Segmenti'nin denetiminde sağ yanal olarak yaklaşık 1500 ± 50 m ötelenmiştir.

Çizelge 3.4 : Koşkar çayı terasından alınan numunelerin OSL yaş sonuçları

Lab No.	Örnek	Malzeme	Derinlik (cm)	Yaş (bin yıl)	Hata Oranı
KS-1	sediment	Kuvars	90	30.16	2,38
KS-2	sediment	Kuvars	100	67.20	8,59

Varto segmentinin morfometrik özellikleri

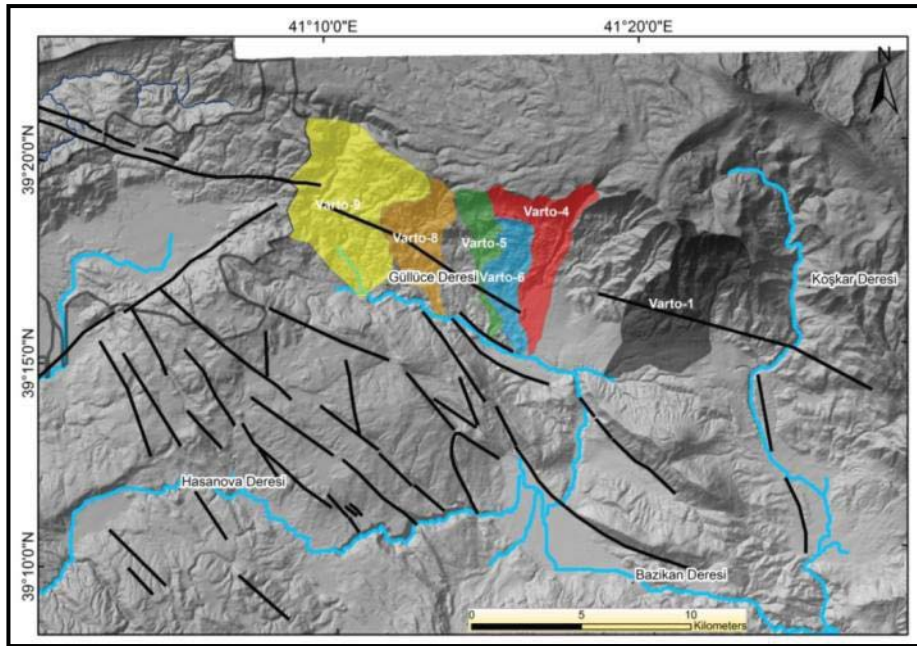
VFZ'nin deformasyon alanında yer alan 4 farklı drenaj sistemi belirlenmiştir (Şekil 3.52). Bu drenaj sistemlerini oluşturan derelerden Güllüce, Hasanova ve Bazikan dereleri Çayçatı köyünün yaklaşık olarak 2 km batısında birleşir. En kuzeyde yer alan Güllüce Deresi 11 km boyunca yaklaşık doğu-batı yönlü aktıktan sonra Karagiviç köyü civarında yön değiştirip 3 km kuzey-güney devam eder ve Çayçatı köyü batısında Bazikan ve Hasanova dereleri ile birleşir.



Şekil 3.51 : a) Koşkar Çayı'nın T1 teras seviyesinden alınan KS-1 ve KS-2 örnekleri üzerinde OSL ile yaş tayini yapılmıştır (Kuzeyden güneye bakış). (b) Şekil 39a'da sarı renkli kare ile gösterilen alanda oluşmuş T2, T3 ve T4 teras seviyeleri yanal olarak aşındırıldığı için yaşlandırılmamıştır (Bakış yönü batıdan doğuya).

Güneyde bulunan derelerden Hasanova deresinin uzunluğu yaklaşık olarak 30'km dir. Derelerin kesişme noktasının doğusunda yer alan Bazıkan Deresinin uzunluğu yaklaşık olarak 16 km'dir. Bazıkan Deresinin çalışma alanı içerisindeki en batı ucu Koşkar Çayı ile birleşir. Koşkar Çayı kuzey-güney akışlı ve 26 km uzunluğundadır. Belirlenen drenaj sistemlerinden, Güllüce deresi VFZ'nin Varto segmentinin denetimindedir. Güllüce deresinin kuzeyinde 6 tane drenaj alanı belirlenmiştir (Şekil 3.52). Her bir alan farklı renklerde gösterilmiştir.

Yapılan morfometrik analizler sonu çizilen grafiklerdeki renkeler ile Şekil 3.52'de gösterilen drenaj alanlarına ait renk uyumlu olarak seçilmiştir. Güllüce deresinin kuzeyinde belirlenen 6 tane ufak drenaj alanının boyuna profilleri (Şekil 3.53), hipsometrik eğrileri (Şekil 3.54) çizilmiş ve hipsometrik integral değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 3.5). Güllüce Deresinin kuzeyinde bulunan dereler, taban seviyeleri olan yaklaşık 1550 m kotunda bulunan Güllüce Deresine ulaşmak için ortalama 6-10 km arası yol almaktadır. Drenaj alanlarının başlangıç noktalarının

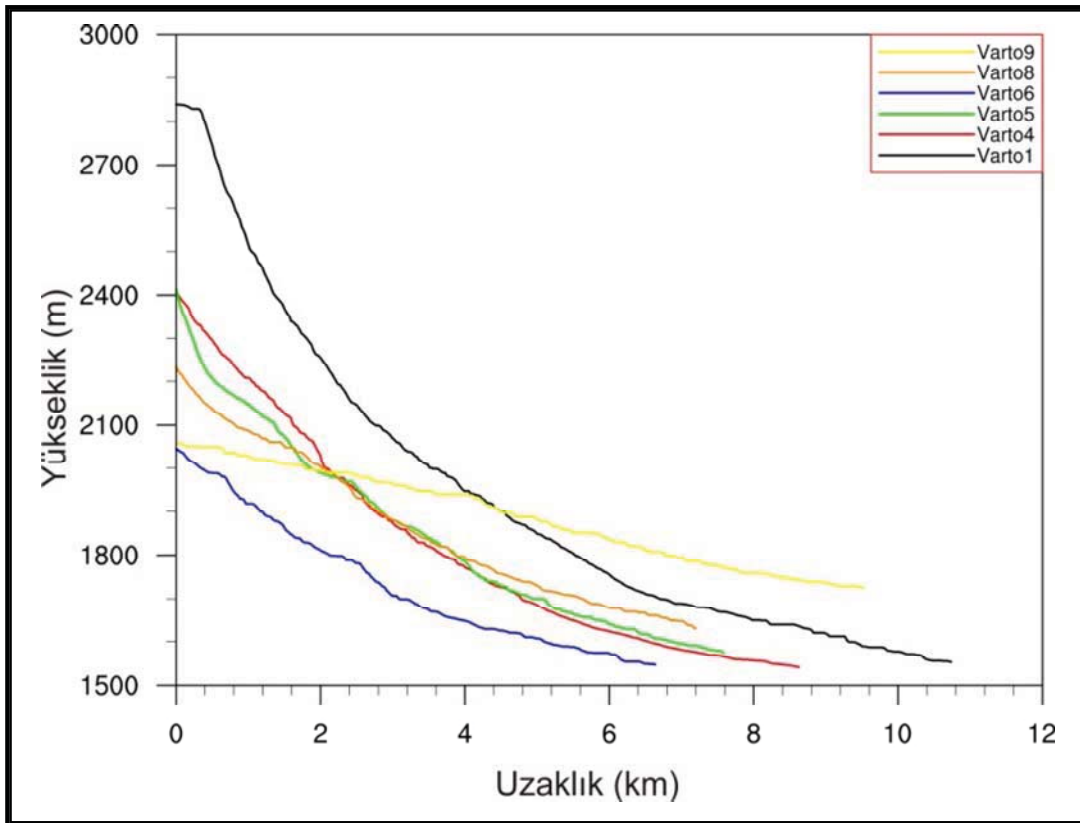


Şekil 3.52 : VFZ güneyindeki drenaj sistemi ve Güllüce Deresi kuzeyinde morfometrik analiz için seçilen drenaj alanları.

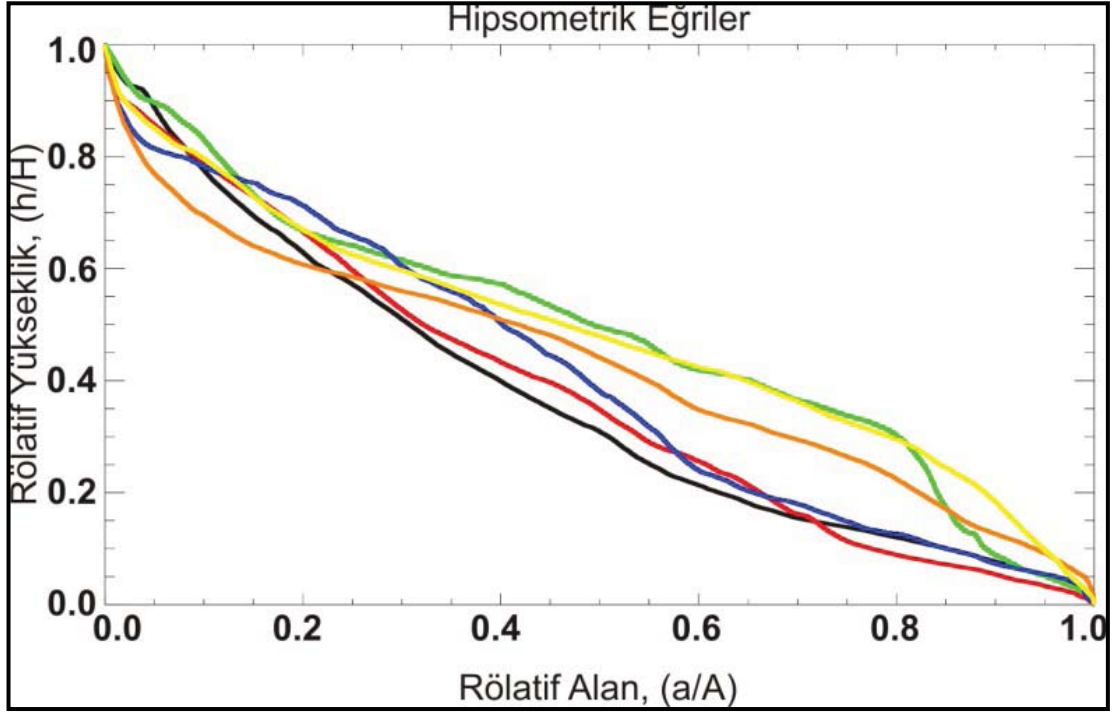
buldukları yükseklik 2000-2850 m arasında değişmektedir. Güllüce deresinin kuzeyinde bulunan drenaj alanları arasında morfometrik analizlerinin ortaya koyduğu belirgin bir ayrım vardır. Güllüce deresinin doğu-batı akışlı olan bölümünün kuzey kesiminde bulunan drenaj alanı VFZ nin en kuzey kesimi olan Varto Fayı ile denetlenmektedir. Bu fayın üçlü ekleme yakın olan kesimlerinde bulunan drenaj

alanları (Varto5, Varto8 ve Varto9) doğuda yer alan drenaj alanlarına göre denge profiline daha yakındır. Doğudaki drenaj alanlarının (Varto1, Varto4 ve Varto 6) ise daha olgun olduğu görülmektedir.

Leylekdağ segmenti Teknedüzü köyü civarından K35B doğrultusunda başlar (Şekil 3.55). Güneye doğru dışbükey bir yay şeklinde olan segmentin bu parçasının güneyinde bulunan düzlük alanın her iki yamacında 1966 depremi sırasında çökme meydana geldiği ve oluşan çökmenin düzlüğüm kuzeyinde nerdeyse kesintisiz devam ettiği güney yamaçta ise kesikli olarak oluştuğu depremi yaşayanlar tarafından belirtilmiştir (Şekil 3.56). Şekil 3.56'da gösterilen beyaz oklar 1966 Varto depreminde meydana gelen yüzey deformasyonlarının dağılımını gösterirler. Her iki yamaçta meydana gelen deformasyonların çökme sonucu gerçekleştiği bölge halkı tarafından belirtilmiştir. Sarı renkli ok ile gösterilen alüvyal yelpazeye ait sınırlarda belirgin bir bozulma yoktur.



Şekil 3.53 : Güllüce deresi kuzeyinde yer alan drenaj alanlarına ait boyuna profil eğrileri.



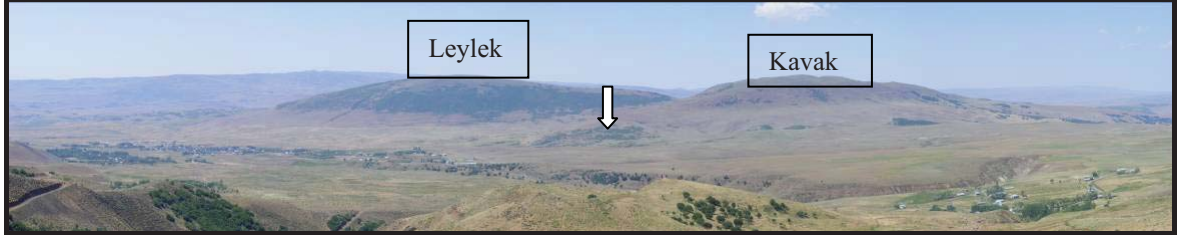
Şekil 3.54 : Güllüce deresi kuzeyinde yer alan drenaj alanlarına ait hipsometri eğrileri.

Çizelge 3.5 : Güllüce deresi kuzeyinde yer alan drenaj alanlarına ait hipsometrik integral değerleri.

Varto1	Varto4	Varto5	Varto6	Varto8	Varto9
0,36769	0,37897	0,48362	0,40691	0,4272	0,48082

3.3.1.2 Leylekdağ segmenti'nin geometrisi ve mofrolojik özellikleri

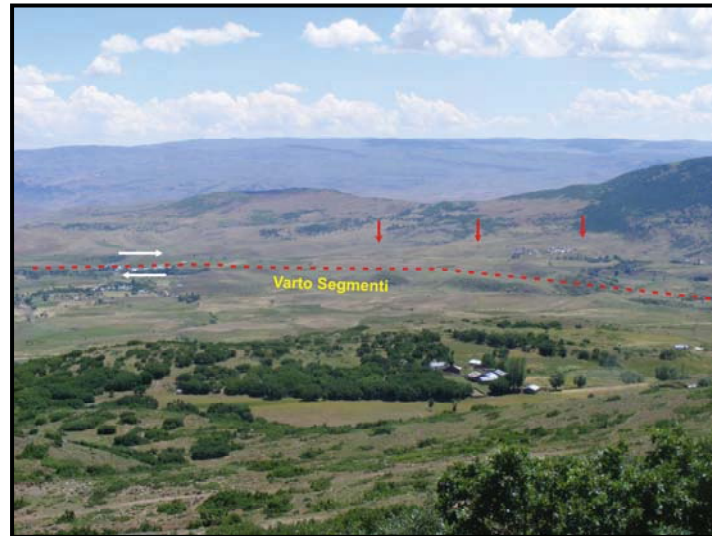
Leylekdağ Segmenti Çallıdere Köyünden sonra tek kol şeklinde segmente ismini veren Leylek Dağı güneyine kadar devam eder. Leylek Dağının en yüksek noktaları 2048 m ile Kavak Tepesi ve 2057 m ile Leylek Tepesidir (Şekil 3.55). Segmente ait asıl kol, Leylek Dağının güneyinden devam etse de, Leylek Dağının kuzeyinde 1966 depremi sırasında çizgisel deformasyon bölgeleri olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.57). Şekil 3.58'de kırmızı oklar ile gösterilen deformasyon bölgesi Leylek Dağı kuzeyinde Çağlek köyünün doğusunda oluşmuştur. Wallace (1968), 1966 depreminden hemen sonra gerçekleştirdiği arazi çalışmaları sonucunda bu deformasyon noktasına karşılık gelen hattı orta kırık zonu olarak tanımlamışlardır. Leylek Dağının kuzey yamaçlarında oluşan bu deformasyon hattı boyunca bölgede yaşayan insanlar 1966 depremi sırasında belirtilen noktalarda çökmeler



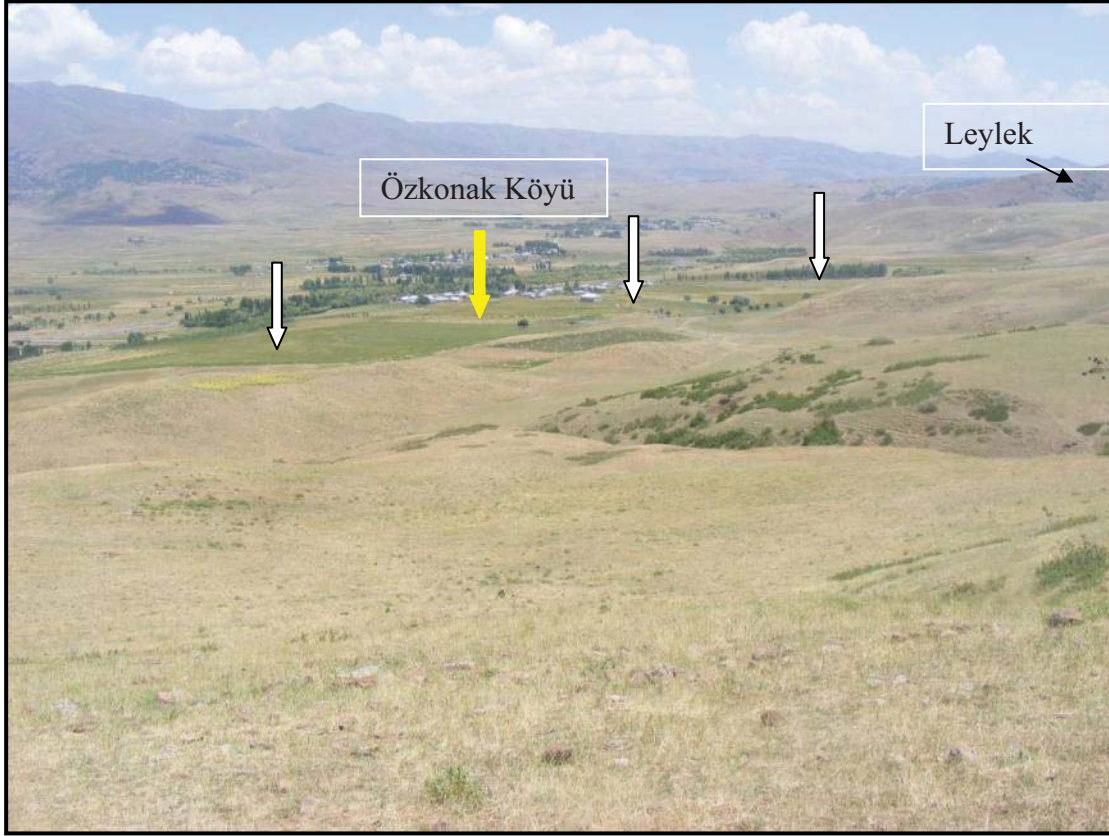
Şekil 3.57 : Leylek Dağının kuzey yamaçlarında 1966 depreminde çizgisel deformasyon alanları oluşmuştur (Kuzeyden güneye bakış). Beyaz ok ile gösterilen yer 1966 depremi sırasında deformasyona uğramıştır (Şekil 3.55).

Leylek Dağı segmenti üzerinde, Özkonak Köyünün güneyinde meydana gelmiş deformasyon (Şekil 3.59) diğer yerlerden farklı olarak tarla sınırlarının yerini değiştirmiştir. Bunun yanında 50-60 cm civarında düşey hareket meydana gelmiştir. Tarla sınırlarında meydana gelen yer değiştirmenin yaklaşık 1 m civarında olduğu yakın köylerde yaşayan bölge halkı tarafından ifade edilmiştir. Tarım faaliyetleri yüzünden, tarla sınırları düzlendiği için arazi çalışmaları sırasında bu noktada ölçüm yapılamamıştır.

Leylekdağ Segmenti, Leylek Dağı güneyi boyunca yaklaşık 6 km uzanır. Wallace (1968), arazi gözlemlerinde bu hat üzerinde bir kaç yüz metre boyunca kademeli kırık sistemleri haritalamışlardır. Aynı araştırmacı tarafından bu çatlak sistemleri üzerinde 20-30 cm civarında sağ yanal ötelenmeler ölçülmüştür



Şekil 3.58 : Şekil 3.57’de beyaz ok ile temsil edilen bölge. Kırmızı oklar Leylek Dağı kuzeyinde 1966 depreminde oluşmuş deformasyon alanlarını göstermektedir (Kuzeybatıdan güneydoğu yönüne bakış).



Şekil 3.59 : Beyaz oklar boyunca meydana gelmiş deformasyon hattı Leylek Dağı batı ucunda yer alır. Sarı ok ile gösterilen yerde yanal olarak ötelenmiş tarla sınırları oluşmuştur (Kuzeydoğuya bakış).

Leylek Dağı güneyinin göreceli olarak daha çok eğimli ve bitki örtüsünce fakir olması, güney yamaçlara yüksek kotlardan çok fazla malzeme gelmesine neden olmaktadır. Bu nedenle arazi çalışmaları sonucunda Leylek Dağı güney yamacı boyunca morfolojik çizgisellik dışında fay ile ilişkili bir yapı görülmemiştir (Şekil 3.60).

3.3.1.3 Çayçatı segmenti'nin geometrisi ve morfolojik özellikleri

Uzunluğu yaklaşık 17 km olan Çayçatı segmentinin doğrultusu K30B ila K80B arasında değişiklik göstermektedir. Çayçatı segmenti, iki fay kolundan oluşmaktadır (Şekil 3.55). Segmentin kuzeybatı ucunda kalan kolunun uzunluğu yaklaşık 4 km, doğrultusu ise yaklaşık K30B'dır. Düzgün çizgisel bir hat olarak uzanan bu kol üzerinde arazi çalışmaları güvenlik kuvvetlerinin izin vermemesi nedeni ile yapılamamıştır.

Kolan köyü kuzeyinden başlayan ve güneybatıya doğru dışbükey yay şeklinde 13 km boyunca nerdeyse tek bir hat olarak devam eden ikinci kol üzerinde ise 1966

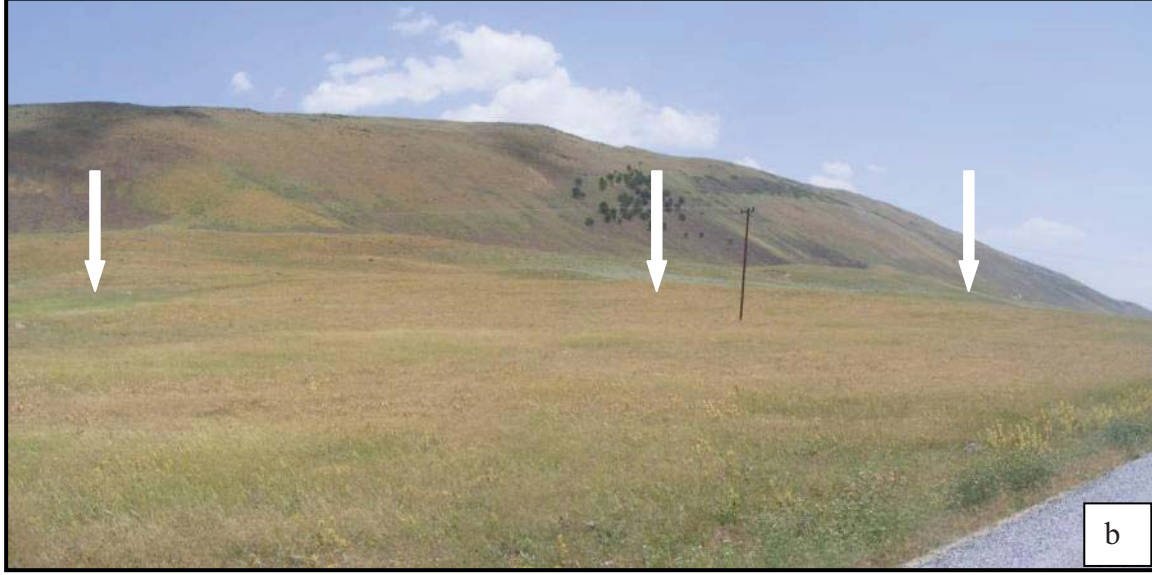


Şekil 3.60 : Leylek dağı güney yamaçları boyunca fay çizgisel bir hat olarak görülmektedir (Kuzeydoğuya bakış).

depremi sırasında oldukça fazla deformasyon olduğu bölge halkı tarafından belirtilmiştir. Kolan köyünde yaşayanlar 1966 Varto depreminde köyün kuzeyinde, Kolan Dağı yamaçlarından itibaren yaklaşık 300 m lik bir zon boyunca yüzeyde deformasyon oluştuğunu ifade etmişlerdir (Şekil 3.61)Çayçatı segmenti üzerinde tarif edilen diğer bir deformasyon alanında Çayçatı köyü civarında yer alır. Dodan dağının güney yamaçlarında yaklaşık 350 m genişliğinde bir zon halinde görülen deformasyon zonun temel özellikleri Kolan dağı güneyinde tarif edilen deformasyonlar tipi ile aynıdır. Bu bölgede tek fark açılmaların 30 m civarında olması ve Dodan dağı güney yamaçları boyunca çok uzun hatlar halinde uzanmasıdır (Şekil 3.62a). Çayçatı köyü kuzeybatısı, 1966 depremi sırasında bu deformasyonun en yoğun görüldüğü yerlerden biri olarak bölge halkı tarafından tarif edilmiştir (Şekil 3.62b).



Şekil 3.61 : Kolan köyü kuzeyinde Kolan dağı güney yamaçlarında 1966 depreminde oluşmuş deformasyon zonu beyaz oklar ile sınırlandırılmıştır (Kuzeye bakış).



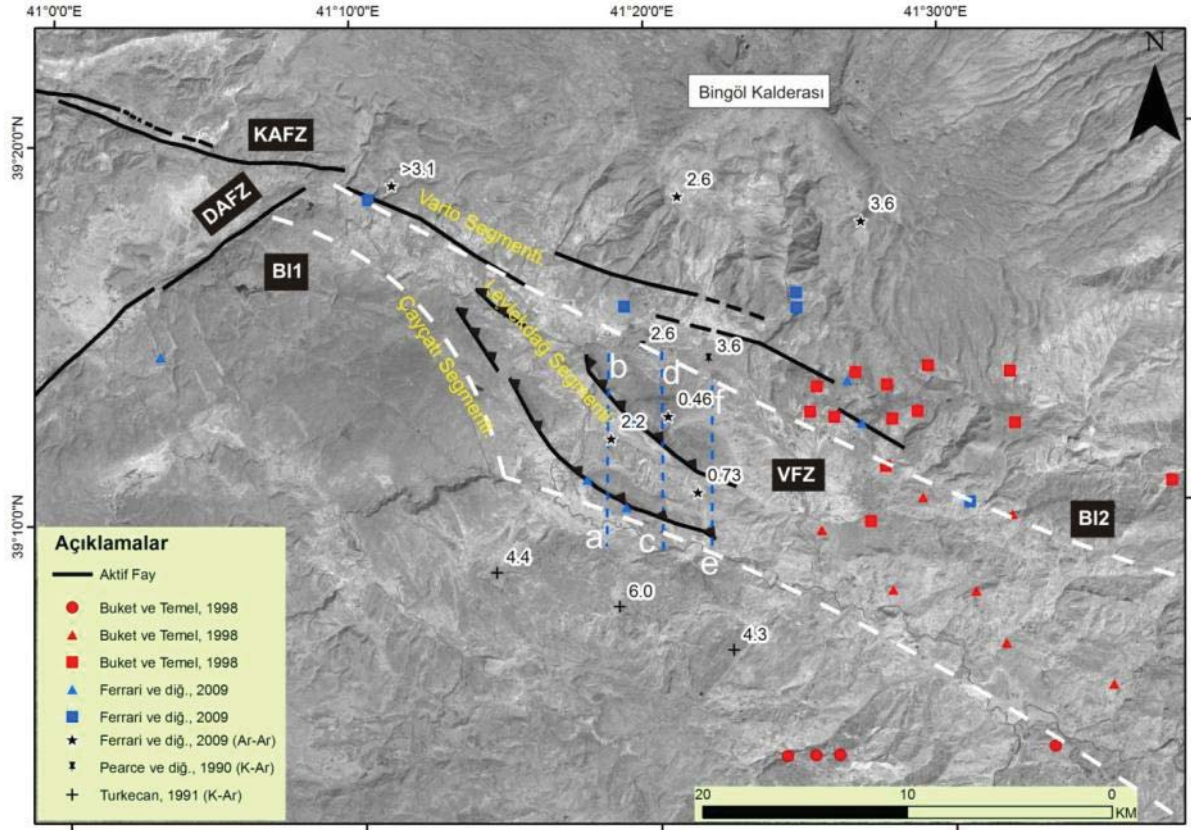
Şekil 3.62 : Dodan dağı güneyinde dışbükey bir hat şeklinde olan Çayçatı segmentinin (a), Çayçatı kuzeybatısında kalan kısmı (b) 1966 depremi sırasında çok geniş bir deformasyon zonu oluşturmuştur (Bakış yönü a için güneyden kuzeye, b için güneybatıdan kuzeydoğuya doğru).

3.3.2 VFZ'nin deformasyon alanındaki yükselim hızı

VFZ'nin deformasyon alanında iki farklı fay türü tanımlanmıştır. Bunlardan ilki fay zonunun en kuzeyinde yer alan ve doğrultu atımlı sağ yanal fay karakterinde olan Varto segmentidir. Varto segmentinin güneyinde yer alan Leylekdağ ve Çayçatı segmentleri ise oblik bindirme bileşenli faylardır. VFZ deformasyon alanının içinde yer alan, Leylekdağ ve Çayçatı segmentlerinin kuzeyinde oluşmuş ve bu faylara paralel giden yükselimlerin (Şekil 3.63) oluşturduğu topoğrafya, VFZ'nin güney segmentlerinin bindirme bileşeninin en önemli göstergesidir.

En güneyde Çayçatı segmentininin kuzey sınırını takip eden Dodan ve Kolan dağlarının ve Leylekdağ segmentinin kuzeyinde yer alan Leylek ve Kavak tepelerinin adı geçen segmentlerin etkisi ile oluştuğu, fayların bindirme bileşeninden kaynaklı yükselimler olduğu düşünülmektedir (Şekil 3.55).

Bu yükselime dik olarak alınan topoğrafik kesitler (Şekil 3.64) ve her iki fayın kesitler üzerindeki konumu ileri sürülen bu savı güçlendirmektedir.



Şekil 3.63 : VFZ'nin deformasyon alanı ve bu bölgede yapılmış jeokimya ve yaşlandırma çalışmalarının yerleri (Kareler Bingöl volkaniklerindeki yüksek kalk-alkalen, üçgenler Bingöl volkaniklerindeki kalk-alkalen ve daireler ise Solhan formasyonundaki ürünleri temsil eder)

Dodan ve Kolan dağlarının güneyindeki düzlüklerden başlayan ve Bingöl kalderasının yamaçlarına kadar olan bölge volkano-sedimenter birimleri ile örtülmüştür (EK-2). Birimlerin Dodan- Kolan dağlarının güneyindeki konumları ve Leylek-Kavak tepeleri ile Dodan-Kolan dağları arasında kalan bölgede yatay konumlu olduğu, belirtilen yüksekliklerde ise farklı doğrultularda genelde güney-güney batı yönlü eğime sahip olduğu gözlenmiştir (EK-2).

Ayrıca bu bölgede daha önceden farklı araştırmacılar (Buket ve Temel, 1998; Hubert-Ferrari ve diğ., 2009) tarafından yapılmış olan jeokimya çalışmaları incelendiğinde (Şekil 3.65) çalışma alanını jeokimyasal olarak üç bölüme ayırabiliriz (Şekil 3.63).

Söz konusu bölge içerisinde 40 örnek için yapılan jeokimyasal analizlerin K_2O-SiO_2 diyagramında kalk alaken ve yüksek kalk alkalen bölgelerine düşen iki gruptan

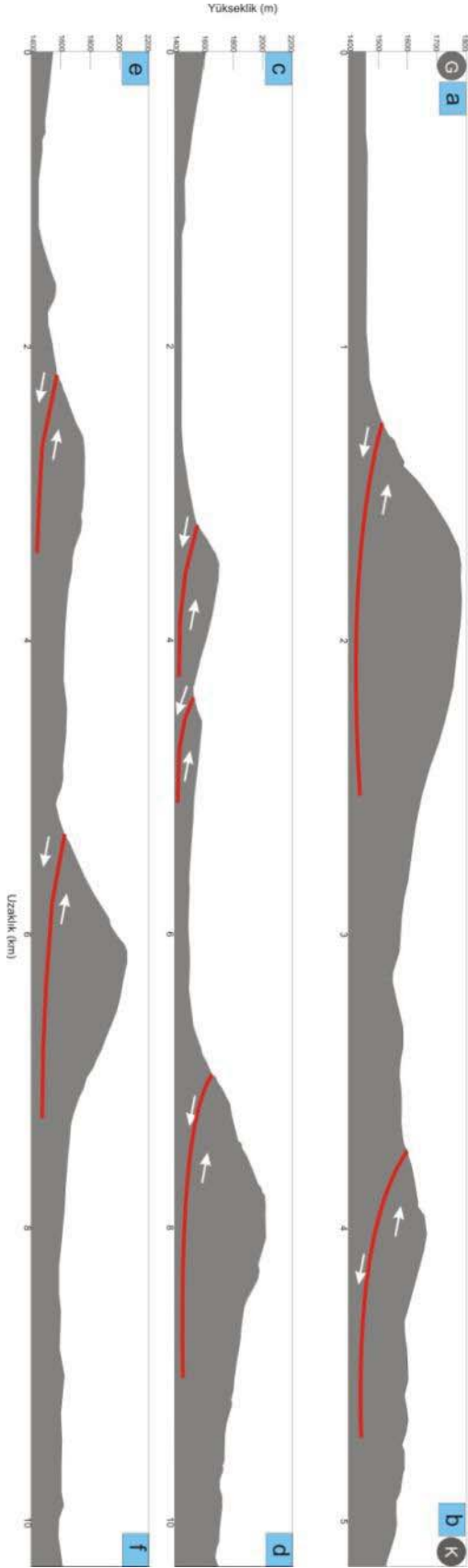
oluştugu (Şekil 3.65a) ve $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ diyagramında değerlendirildiğinde kayaç örneklerinin basanite, bazalt, bazaltik andezit, bazaltik traki andezit, traki andezit, andezit ve dasit alanlarına düştüğü görülmüştür (Şekil 3.65b). Meschede (1986) ve Pearce ve Norry (1979) diyagramlarında (Şekil 3.65c, Şekil 3.65d) Levha içi bazalt bölgelerinde yer almaktadır. Fakat her iki diyagramda (Meschede, 1986; Pearce ve Norry, 1979) bölgedeki kayaçların aynı kalderadan türeyip türemediği konusunda bilgi vermemektedir.

Jeokimyasal özelliklere göre VFZ deformasyon alanını Şekil 3.63'de gösterilen B11 ve B12 hipotetik çizgileri ile üç farklı jeokimyaya ayırmak mümkündür. B12 çizgisinin kuzeyinde kalan ve Bingöl Kalderası'nda içine alan bölgeyi yüksek potasyumlu kalk-alkalen bölge, B11 ile B12 arasında kalan bölgeyi kalk-alkalen bölge, B11'in güneyini ise bazaltik bölge olarak sınıflandırabiliriz.

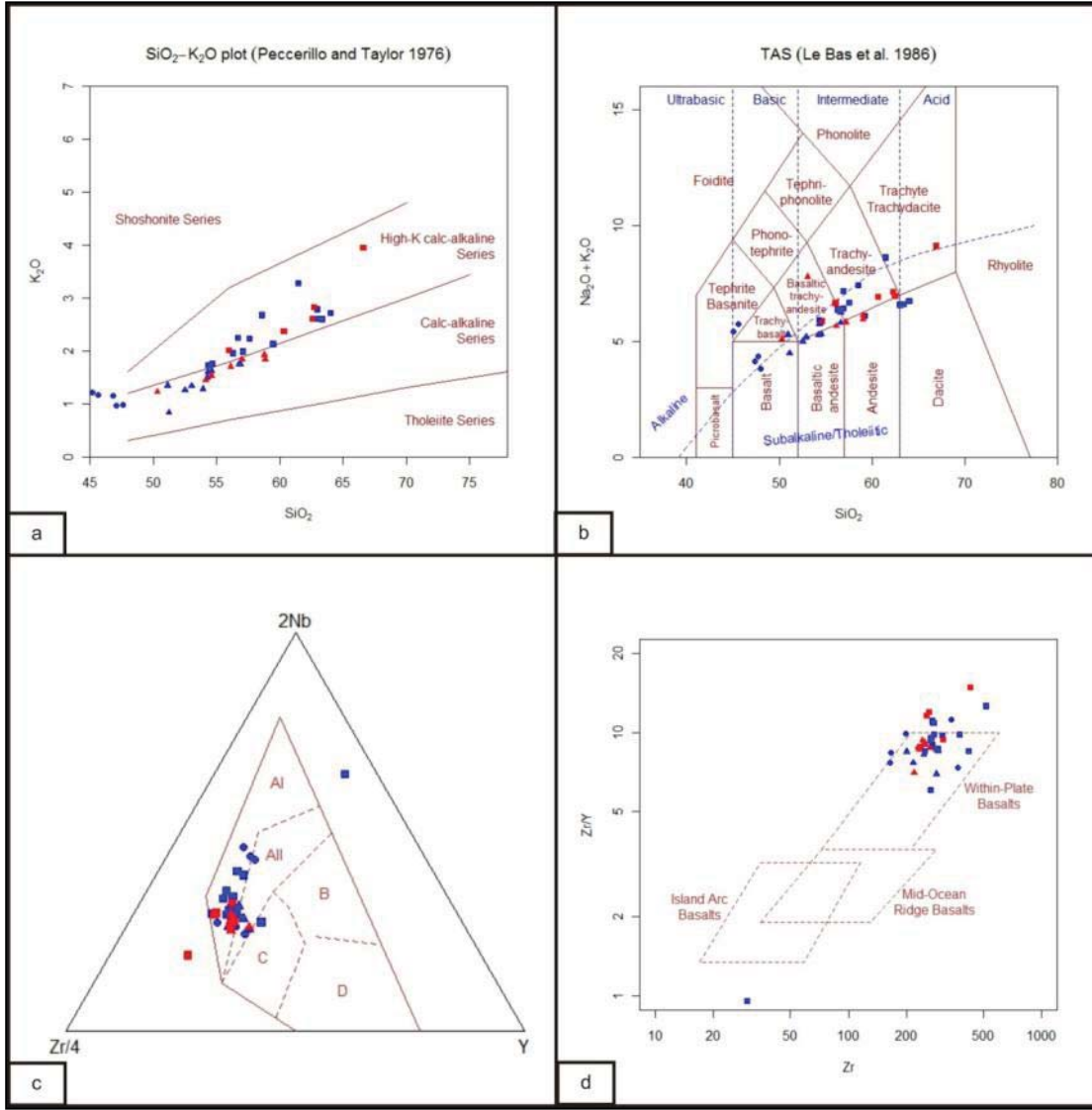
Her bir bölgede daha önceden yapılmış olan yaşlandırma çalışmaları (Şekil 3.63) B12 çizgisinin kuzeyi için elde edilen veriler K-Ar yaşlandırmasına göre 3,6 milyon yıl, Ar-Ar yaşlandırmasına göre 2,6 milyon yıl olduğunu göstermektedir. B11-B12 arasındaki bölge için benzer yaşlara ilave olarak elde edilen 40.000 yıl ila 70.000 yıl arası değişen yaşlar bölgedeki fisür volkanizması ile açıklanmıştır (Hubert-Ferrari ve diğ., 2009). B11 çizgisinin güney kesimlerinden gelen yaşlar ise 4,3 ila 6,0 milyon yıl arasında değişmektedir.

Şaroğlu (1985), B11 çizgisinin güney kısımlarında kalan volkanik ürünlerin Bingöl Kalderası'nın 45 km güneyinde yer alan Solhan Kalderası'ndan türediğini ileri sürmüştür ve bunları Solhan volkanikleri olarak adlandırmıştır (EK-2).

Hipotetik olarak çizilen B11 ve B12 çizgilerinin konumları incelendiğinde B11'in bindirme topoğrafyasına benzer özellikte olduğunu ve B1 çizgisinin güneyinde kalan volkanik ürünlerin kuzeye doğru hareket ettiği düşünülmüştür. B11 ve B12 çizgisi arasında kalan bölgenin Leylekdağ ve Çayçatı segmentleri denetiminde sıkıştığı düşünülmektedir. B12'nin batı kesimlerinin Varto segmentine yaklaşık paralel konumu bu bölgedeki birimlerin Varto segmentince kontrol edildiğini, doğu kesiminin sınırlarının ise kaldera topoğrafyası ile uyumlu olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3.64 : Şekil 3.63'de gösterilen mavi renkli profiller boyunca alınmış topoğrafik kesitler Çayçatı ve Leylekdağ segmentleri denetiminde gelişmiş bindirme topoğrafyasını yansıtmaktadır.



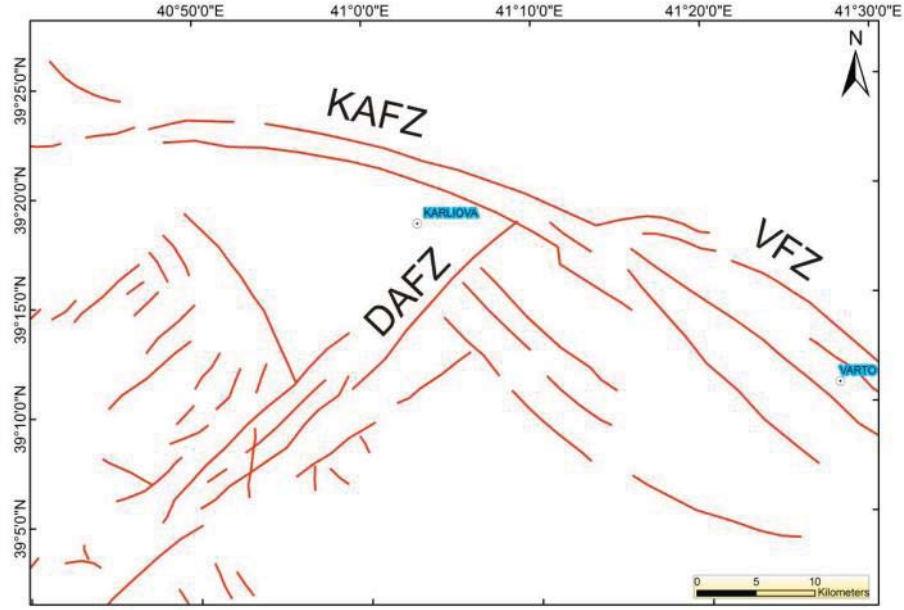
Şekil 3.65 : Çalışma alanı içerisinde önceki çalışmalardan elde edilmiş jeokimya verilerinin (a) $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$ diyagramı (Peccerillo ve Taylor, 1976), (b) $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ (Le Bas ve diğ., 1986)diyagramları ve (c) Meschede (1986), (d) Pearce ve Norry (1979) tektonik diskriminasyon diyagramları.

Şekil 3.64'de gösterildiği gibi Leylek dağı ile güneyindeki düzlük alan arasındaki yükseklik farkı yaklaşık 500 m, Dodan dağı ve güneyindeki düzlükler arasındaki yükseklik farkı 200 m dir. 500 m'lik yükseklik farkını oluşturan Leylek tepesinin, 2,2 milyon yıllık yaşı dikkate alındığında, yıllık 0,22 mm'lik bir yükselimle oluştuğu düşünülmektedir.

3.4 Karlıova Üçlü Eklemi Civarındaki İkincil Fayların Özellikleri

3.4.1 KAFZ-DAFZ arasındaki ikincil fayların geometrik ve morfolojik özellikleri

KAFZ ve DAFZ arasında oluşan fayların (Şekil 3.66) niteliği bölgedeki deformasyon mekanizmasının anlaşılmasında oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Daha önceki çalışmalarda bu fayların niteliği hakkında detaylı bilgi bulunamamıştır.



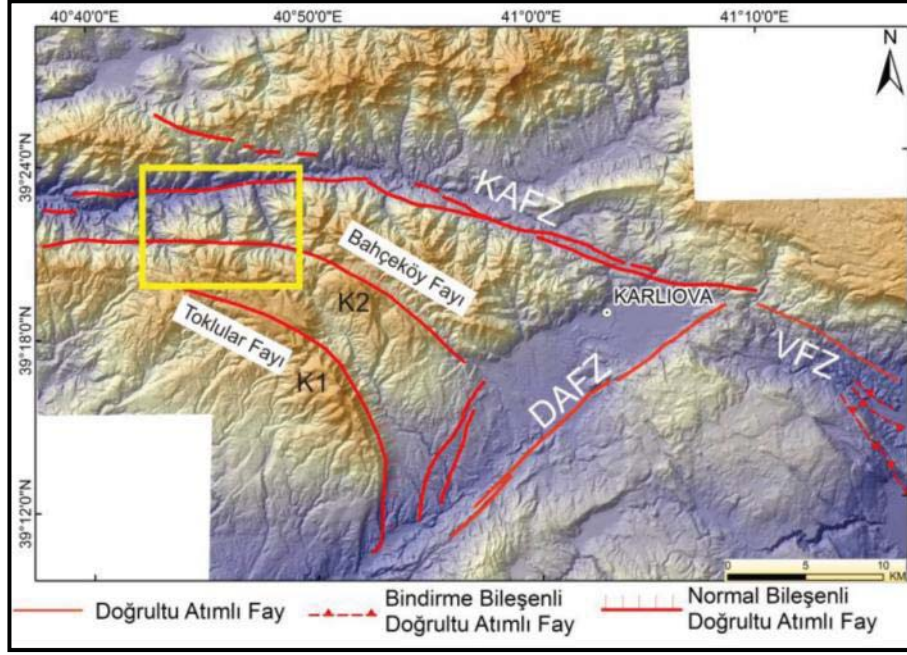
Şekil 3.66 : Karlıova üçlü eklemi civarında KAFZ, DAFZ ve VFZ'nin uzanımı ve bunlarla ilişkisi ikincil yapıların geometrisi (Şaroğlu, 1985).

KAFZ ve DAFZ arasındaki bölgede Pliyo-Kuvaterner volkanik birimleri yer alır (Şaroğlu, 1985). Araştırmacı bu kayaların söz konusu çalışma alanının yaklaşık 60 km GD da bulunan Solhan kalderasından türediğini belirtmiştir. Daha sonra yapılan analitik çalışmalar ile Şaroğlu (1985)'de önerilen yaş önerisi doğrulanmıştır (Hubert-Ferrari ve diğ., 2009; Pearce ve diğ., 1990). Bölgenin jeolojisini anlamaya yönelik bütün çalışmaların sonucunda KAFZ ve DAFZ arasındaki ikincil fayların Kuvaterner dönemi ile ilgili yapılar olduğu ortaya çıkmıştır. Ancak Şaroğlu (1985) bu fayların KAF ve DAF tarafından kesildiğini ve dolayısı ile eski yapılar olduğunu belirtir.

KAFZ ve DAFZ arasındaki topoğrafya güncel tektonizmanın denetiminde gelişmektedir. Kuesta sarplıkları bölgedeki en belirgin yüzey şeklini oluşturmaktadır. Kuesta yumuşak eğimi olan, bir tarafından sarplık ile sınırlanmış yüzey şekilleridir (Fairbridge, 1968). Asimetrik sırt olarak da kabul edilen bu stratigrafik yüzey şekli, aşındırıcı süreçlere karşı dayanımı farklı olan homoklinal sedimenter kayaların

ardalanmasından oluşmuştur (Goudie, 2003). Sarplık olan kenarının eğimi sedimenter kayaçların eğim yönünün tersi yönünde, yumuşak eğimli diğer yüzeyin eğimi ise homoklinal sedimenter kayaçlarla nerdeyse aynıdır (Goudie, 2003). Kuestaların en yüksek kotlu yüzeyi ile yumuşak eğime sahip yüzeyi genelde aşındırıcı kuvvetlere karşı dayanımlı kayaçlardan oluşmuştur.

Çalışma alanı içerisinde iki tane kuesta olduğu anlaşılmıştır (Şekil 3.67’de K1, ve K2). Buradaki kuestaların oluşumu KAFZ ve DAFZ arasında gelişen ikincil faylar ile ilişkilidir. Toklular ve Bahçeköy segmenti olarak tanımlanmış olan (Herece, 2008) bu faylar bölgedeki iki kuestanın oluşumunu denetledikleri için bu kuestalara Toklular ve Bahçeköy kuestaları adı verilmiştir. Her iki kuesta volkanosedimenter kayaçlardan oluşmuştur. Bahçeköy ve Toklular fayları kuzeyden sağ yanal doğrultu atımlı fay olarak başlar. Karlıova ilçe merkezinin yaklaşık 25 km batısında yer alan 1,5 km civarındaki ötelenmiş dereler fayın doğrultu atım karakterinin kanıtıdır (Şekil 3.67’de sarı renkli çerçeve). Güvenlik açısından girilmesi yasak olan bu bölgede arazi çalışması yapılamamıştır. Doğrultu atımlı bu fayların güneydoğuya doğru döndükten sonra önce doğrultu atım bileşenli normal fay sonra saf normal fay şeklinde çalıştığı düşünülmektedir. Fayların karakterindeki bu değişme morfoloji üzerinde oldukça belirgindir. Bahçeköy Fayı denetiminde gelişmiş olan kuesta (Şekil 3.68), üzerinde beyaz renkli kare ile gösterilen alana ait arazi fotoğrafında görülen sistematik dere ötelenmeleri fayın güneydoğuya döndükten sonra ilk bölümlerindeki doğrultu atım karakterini yansıtmaktadır (Şekil 3.69, Şekil 3.70). Bölgedeki volkanosedimenter kayaçların eğim yönü batıya doğrudur. Kuestaları doğudan sınırlayan sarplığın eğim yönü tabaka eğimlerinin aksine doğuya doğrudur (Şekil 3.69). Kuestanın yumuşak eğimli olan batı kısımları ise tabakaların eğim yönü ile uyumludur. Şekil 3.70’de Bahçeköy Fayı denetimindeki kuestanın sarp olan kesiminde aşındırıcı kuvvetlere karşı farklı dirençleri olan kayaçların morfolojideki yansımaları görülmektedir (Şekil 3.68’de siyah renkli kare ile gösterilen alan). Aşınmaya karşı daha dayanımlı olan kayaçlar (cliff makers) yamaç üzerindeki çizgisel kaya hatlarını oluştururken (Şekil 3.70’de **a** harfi ile gösterilen), aşınmaya karşı dayanımı az olan kayaçlar (slope makers) yamaç üzerindeki eğimli alanları oluşturmaktadır (Şekil 3.70’de **b** harfi ile gösterilen). Şekil 3.71 a ve b’de görüldüğü gibi her iki kayaç tipi de yüzlek verdikleri sarplığın aksi yönde batıya doğru eğimlidir



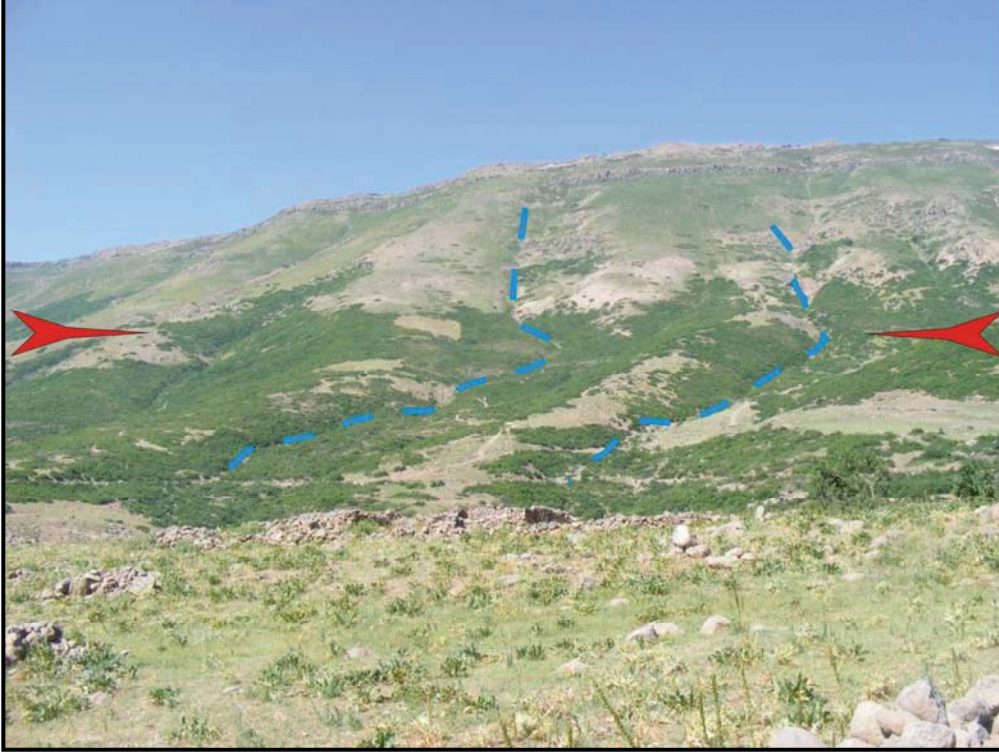
Şekil 3.67 : KAFZ ve DAFZ arasındaki fayların geometrisi.



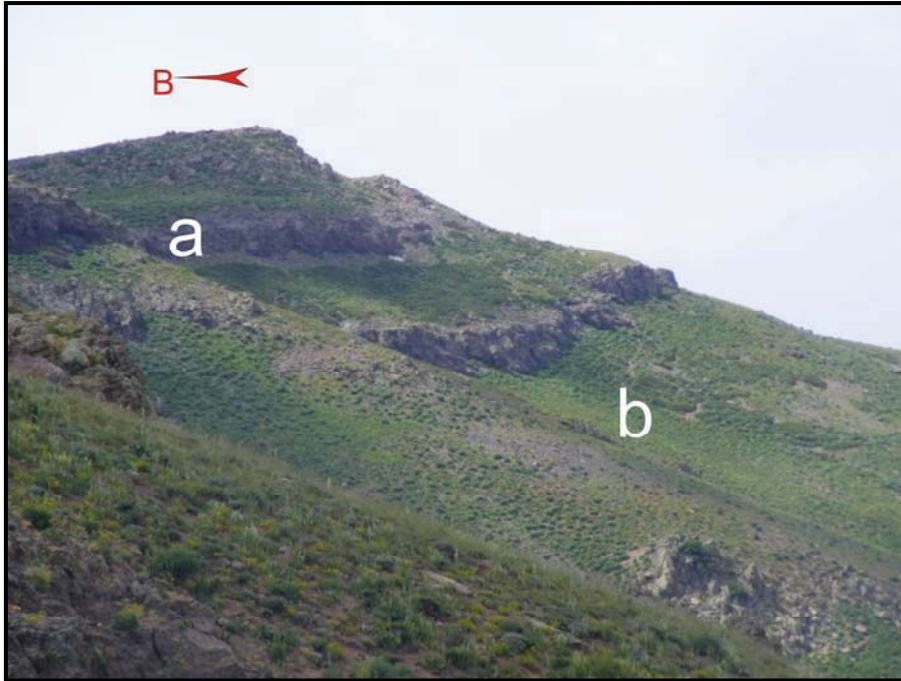
Şekil 3.68 : Şekil 3.67'de gösterilen K1 kuestasının sarp yamaçları doğuya doğru eğimlidir. Beyaz ve siyah dikdörtgenler ile gösterilen alanlar sırası ile Şekil 3.69 ve Şekil 3.70'i temsil etmektedir.

Bölgedeki kayalara kaynak olan Solhan kalderasının sözü geçen alandan çok uzak olduğu düşünüldüğünde bu birimlerin yatay olarak çökeldiği varsıyalabilir. Orjinalde yatay olarak çökelen bu kayaların şimdiki homoklinal formuna ulaşmasını sağlayacak mekanizmanın normal fay olduğu açıktır. Kuestaların oluşumunu denetleyen bu fayların oblik kısımlarında normal bileşenin veya doğrultu atım bileşenin baskınlığını gösterebilecek herhangi bir veri bulunamamıştır.

KAFZ ve DAFZ arasında olan diğer faylar ise DAFZ'ye yakın olarak oluşmuş olan faylardır. Bu fayların doğrultu atımlı sol yanal faylar olduğu daha önceki çalışmalarda belirtilmiştir. Bu tez kapsamında yapılan arazi çalışmaları süresince söz konusu sol yanal faylara ait veri elde edilememiştir. Karlıova havzasının jeomorfoloji haritasında (Şekil 3.72) daha detaylı olarak gösterilen bu fayların sol yanal karakteri havza içerisindeki Holosen birimlerin ve Kuvaterner volkaniklerinin arasındaki sınırlardan anlaşılmıştır (Şaroğlu, 1985). Karlıova Üçlü Ekleminin batısında yer ala

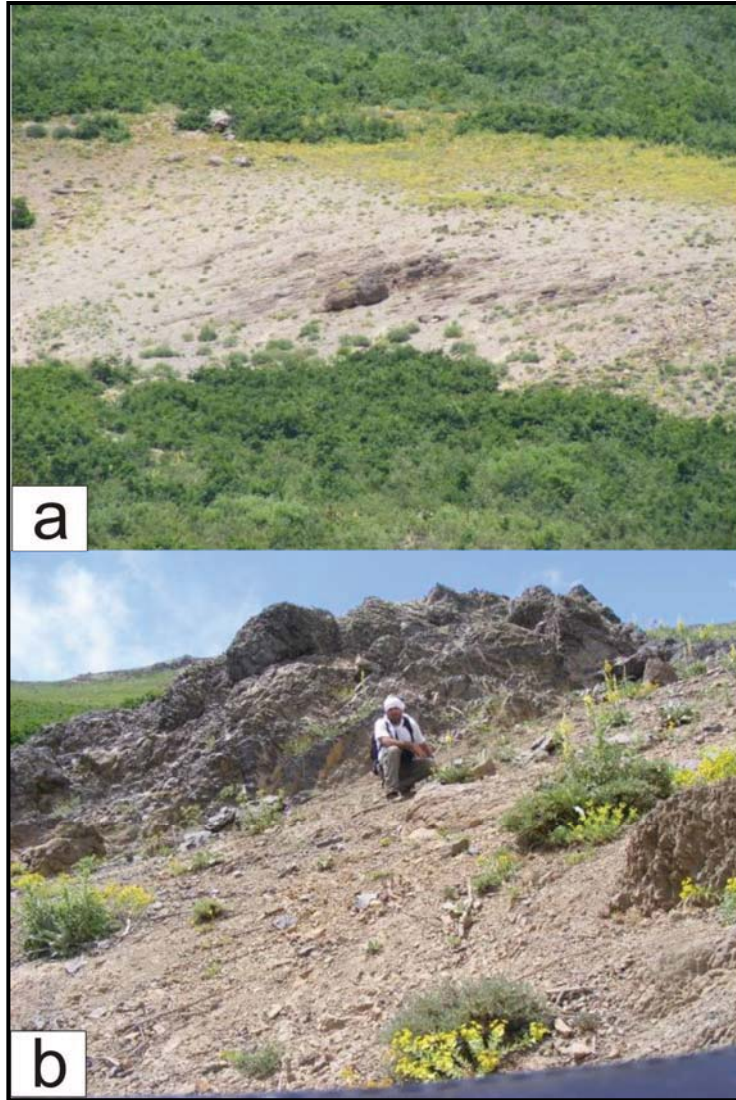


Şekil 3.69 : K1 kuestasının sarp yamaçlarında meydana gelmiş yaklaşık 15 metrelik dere ötelenmeleri (Şekil 3.68’de beyaz dikdörtgen ile gösterilen alan, Batıya doğru bakış).



Şekil 3.70 : K1 kuestasının sarp yamaçlarındaki aşınmaya karşı dayanımlı (a) ve dayanımsız kayaçların (b) görünümü (Kuzeye doğru bakış).

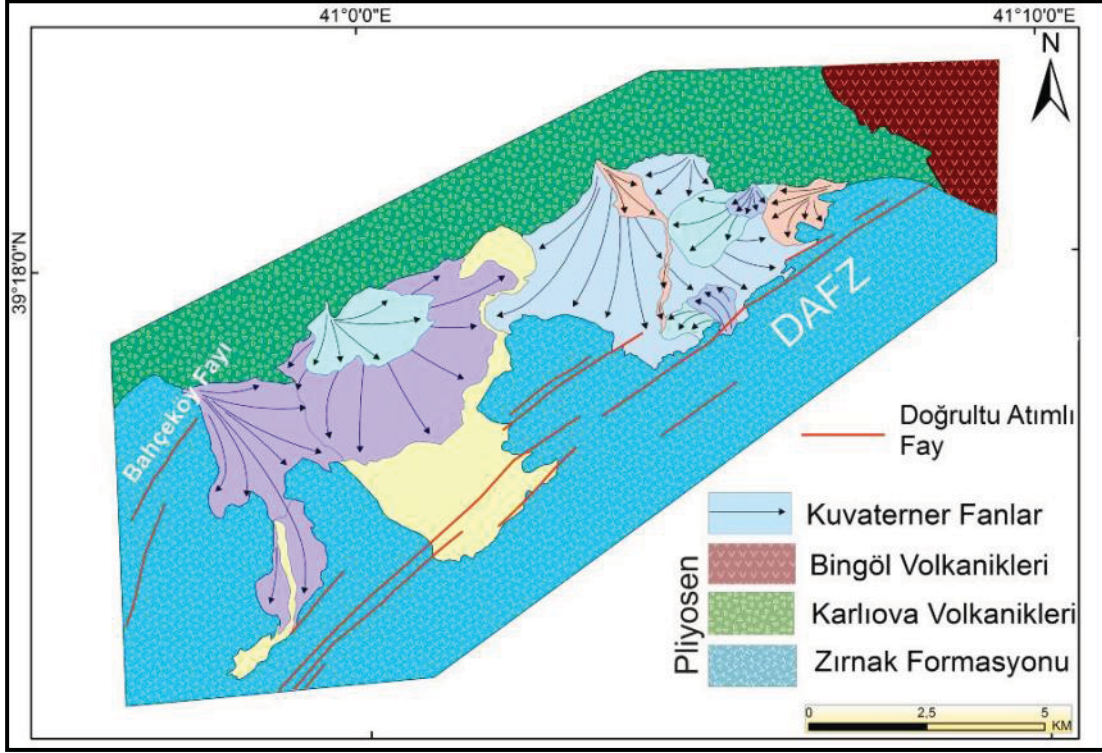
bu fayların anlaşılması bölgedeki genel deformasyon mekanizmasının anlaşılması açısından oldukça önemlidir. Bu mekanizma daha sonraki ilgili bölümde tartışılacaktır.



Şekil 3.71 : K1 kuestasının sarp yamaçlarındaki aşınmaya karşı dayanımsız (a) ve dayanımlı kayaların (b) yamacın aksine batıya doğru eğimlenmiştir.

3.4.2 KAFZ-DAFZ arasındaki ikincil fayların morfolojik özellikleri

KAFZ ve DAFZ arasında kalan fayların güncel topoğrafyayı kontrol etmesi bu fayların üzerinde deformasyon oluştuğunu göstermektedir. Bu deformasyonun KAFZ'ye çok yakın olması bölgedeki yamulmanın bir kısmının söz konusu ikincil faylar tarafından karşılandığını göstermektedir. Ilıpınar segmentinin batısında yer alan segment üzerinde yapılan jeolojik kayma hızı çalışmalarının sonuçları ile



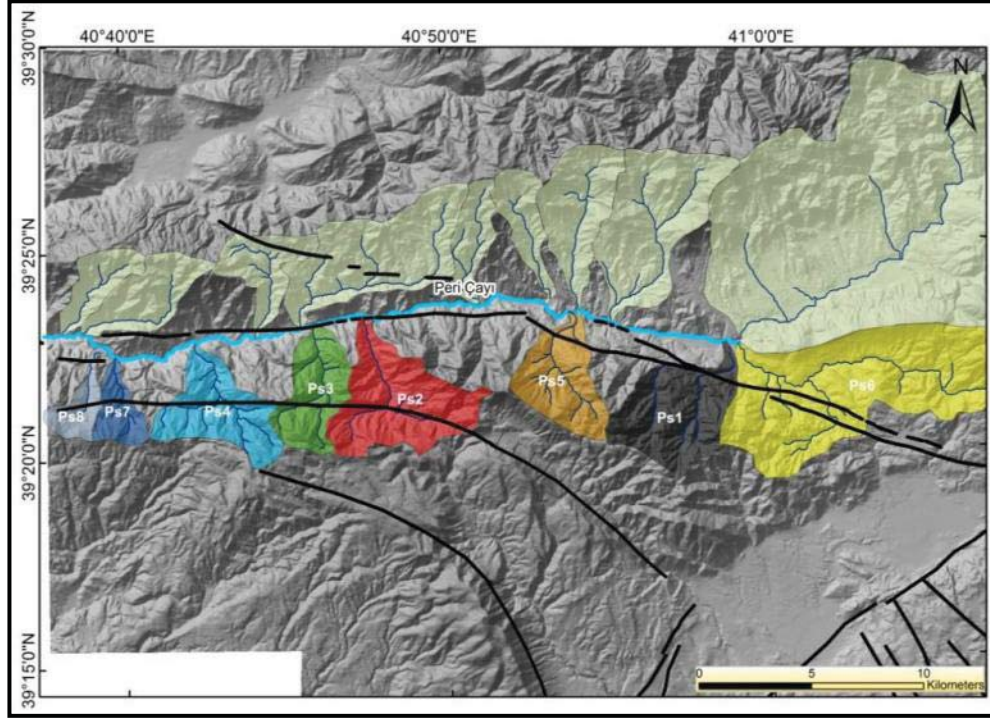
Şekil 3.72 : Karlıova Havzası'nın morfotektonik haritası (Şaroğlu, 1985). Bu haritada yer alan DAFZ'ye paralel bütün faylar sol yanal doğrultu atımlı faylardır.

(Zabcı, 2012) jeodezik kayma hızları arasında görülen ~5 mm/yıl'lık farkın buradaki ikincil faylar üzerinde olduğu düşünülmektedir. İkincil fayların üzerindeki deformasyonun daha iyi anlaşılması için morfometrik analizlerden faydalanılmıştır.

Morfometrik analizler için belirlenen drenaj alanlarının ilki Peri Çayı'nın güneyinde yer alır. Peri çayı güneyinde değişik boyutlarda 8 tane drenaj alanı belirlenmiştir (Şekil 3.73). Her bir drenaj alanı farklı renklerde gösterilmiştir. Yapılan morfometrik analizler sonu çizilen grafiklerdeki renkeler ile Şekil 3.73'de gösterilen drenaj alanlarına ait renk uyumlu olarak seçilmiştir.

Peri çayının güneyinde belirlenen 8 tane ufak drenaj alanının boyuna profilleri (Şekil 3.74), hipsometrik eğrileri çizilmiş (Şekil 3.75) ve hipsometrik integral değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 3.6). Peri çayı güneyinde bulunan dereler, taban seviyeleri olan yaklaşık 1650 m kotunda bulunan Peri çayına ulaşmak için olarak 6-10 km arası yol almaktadır. Drenaj alanlarının başlangıç noktalarının buldukları yükseklik 2400-2650 m arasında değişmektedir (Şekil 3.74).

Peri çayı güneyinde yer alan bütün ufak drenaj alanları Ps6 drenaj alanı dışında bölgedeki ikincil fayların deformasyon alanı içerisinde yer almaktadır.



Şekil 3.73 : Peri çayı güneyinde morfometrik analiz için seçilen drenaj alanları.

Peri Çayı güneyindeki drenaj alanlarına ait boyuna profil ve hipsometrik eğrilere bakıldığında Şekilde sarı renk ile gösterilen Ps6 kodlu drenaj alanının diğerlerinden farklı olduğu göze çarpmaktadır. Boyuna profileinde ve hipsometrik eğrisi oldukça içbükey bir şekli gösteren Ps6 drenaj alanının hipsometrik integral değeri 0,36 olarak hesaplanmıştır. Morfometrik analiz sonuçlarından Ps6 drenaj alanının, aşındırıcı kuvvetlerin denetiminde geliştiği görülmektedir.

KAFZ ve DAFZ arasında bulunan fayların aktivitesini anlamak bu bölgedeki fayların mekaniğini anlamak adına oldukça önemlidir. Ps2, Ps3, Ps4, Ps7 ve Ps8 drenaj alanları daha önce anlatılan ve kuesta olarak tanımlanan stratigrafik yapıları oluşturan fayların doğrultu atımlı kesimleri üzerinde yer almaktadır. Ps1 ve Ps5 ise Kargapazarı segmentinin deformasyon alanı içerisinde kalmaktadır. Bütün drenaj alanlarına ait boyuna profil, hipsometrik eğriler ve hipsometrik integral değerleri çalışma alanı içerisindeki ikincil fayların aktivitesinin çok önemli oranda olduğunu göstermektedir. Özellikle Ps2, Ps3, Ps4, Ps7 ve Ps8 drenaj alanlarını içine alan ikincil fayların deformasyon oranlarının Ilıpınar segmenti ile nerdeyse aynı olduğu ileri sürülebilir.

KAFZ ve DAFZ arasında kalan fayların morfometrik özelliklerini araştırmak için belirlenen ikinci drenaj alanı grubu ise Göynük Çayı'nın kuzeyinde yer alır. Göynük çayı genelde dar bir vadi içerisinde oldukça düz bir hat içerisinde akar ve

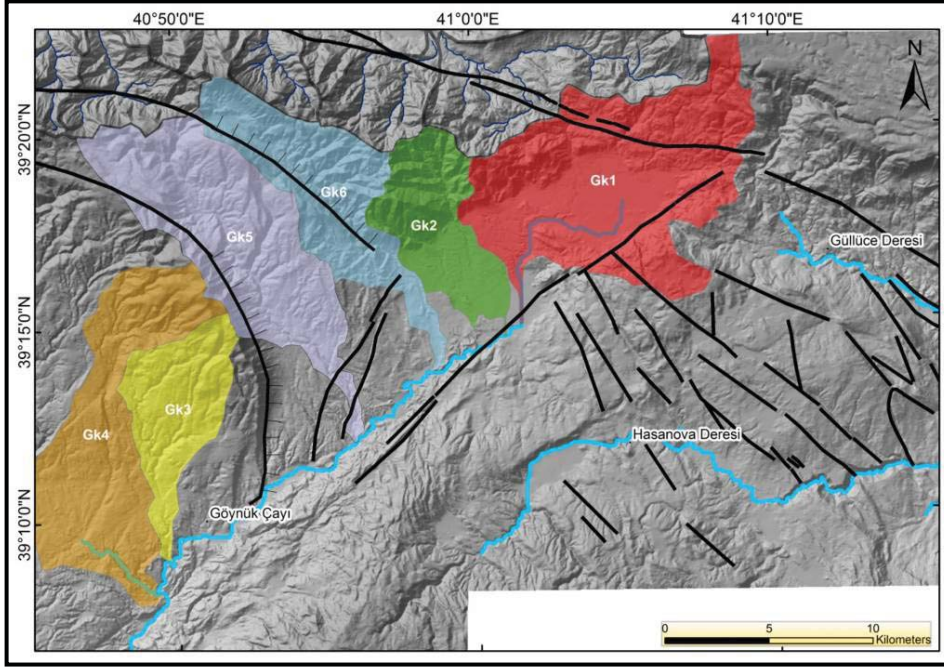
Çizelge 3.6 : Güllüce deresi kuzeyinde yer alan drenaj alanlarına ait hipsometrik integral değerleri.

Ps1	Ps2	Ps3	Ps4	Ps5	Ps6	Ps7	Ps8
0,52965	0,52103	0,5312	0,54715	0,53242	0,36043	0,55867	0,57022

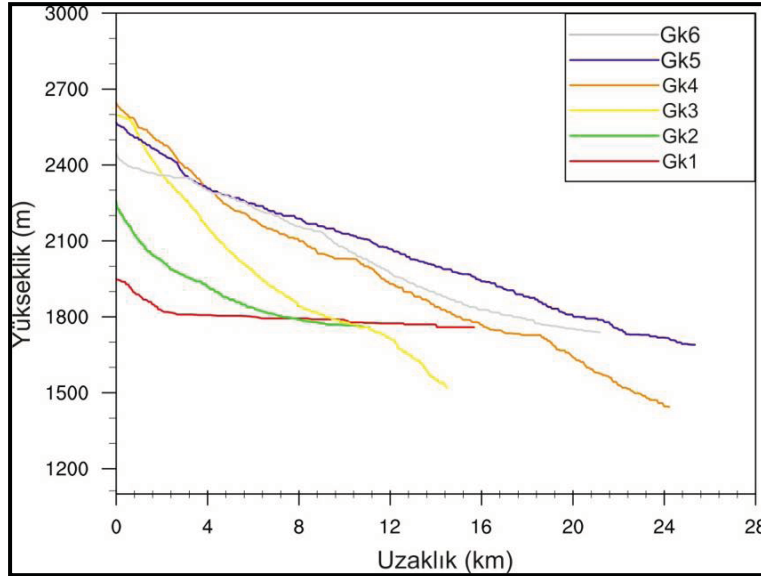
belirlenen değişik boyutlardaki 6 drenaj alanının boyuna profilleri (Şekil 3.77), hipsometrik eğrileri çizilmiş (Şekil 3.78) ve hipsometrik integral değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 3.7). Göynük Çayı kuzeyinde bulunan dereler, taban seviyeleri olan yaklaşık 1600 m kotunda bulunan Göynük Çayına ulaşmak için olarak 15-25 km arası yol almaktadır. Drenaj alanlarının başlangıç noktalarının buldukları yükseklik 2000-2600 m arasında değişmektedir (Şekil 3.77). Göynük Çayı drenaj alanı içerisinde tanımlanmış ufak drenaj alanlarının ait morfometrik analizler buradaki erozyon-yükselim dengesinin değişik bölgelerde farklı olduğunu göstermektedir. Peri çayı drenaj alanlarına kıyasla homojenliği daha az olan deformasyon dağılımı vardır.

Göynük Çayının kuzeyinde bulunan drenaj alanlarından Şekil 3.76'te kırmızı renk ile gösterilen Gk1 drenaj alanının içbükey şekilli boyuna profil ve hipsometrik eğrisi ayrıca 0,27 olarak hesaplanan hipsometrik integral değeri bu drenaj alanının Göynük Çayı kuzeyinde bulunan en olgun drenaj alanı olduğunu göstermektedir. Bu drenaj alanı KAFZ ve DAFZ denetiminde açılan Kargapazarı havzası içinde yer alır. Morfometrik analizlerden ortaya çıkan bu durumu aşındırıcı süreçler ile birlikte güncel tektonizmanın yarattığı çökmeninde etkisi olarak da değerlendirmek mümkündür.

Gk5 ve Gk6 olarak belirtilen drenaj alanlarının özelliklerini anlamak oldukça önemlidir. Bu alanların doğrultu atım bileşenli normal fayların (Toklular ve Bahçeköy Fayları) kontrolü altında geliştiği belirtilmişti. Söz konusu drenaj alanlarından Gk5'e ait hipsometrik integral değeri 0,56, Gk6'ya ait hipsometrik integral değeri ise 0,48 dir. Bu değerler boyuna profil ve hipsometrik eğrileri ile birlikte değerlendirildiğinde doğrultu atım bileşenli normal fayların bu bölgede aşındırıcı süreçlere karşı denge profilinde drenaj alanı yaratacak kadar aktivitesinin olduğunu söylemek mümkündür. Gk2 drenaj alanı kısmende olsa Toklular fayının denetiminde gelişmektedir. İç bükey şekilli boyuna profil ve hipsometrik integral eğrisi ve 0,36 değerinde hipsometrik integral değeri ile Gk2 drenaj alanında tektonik



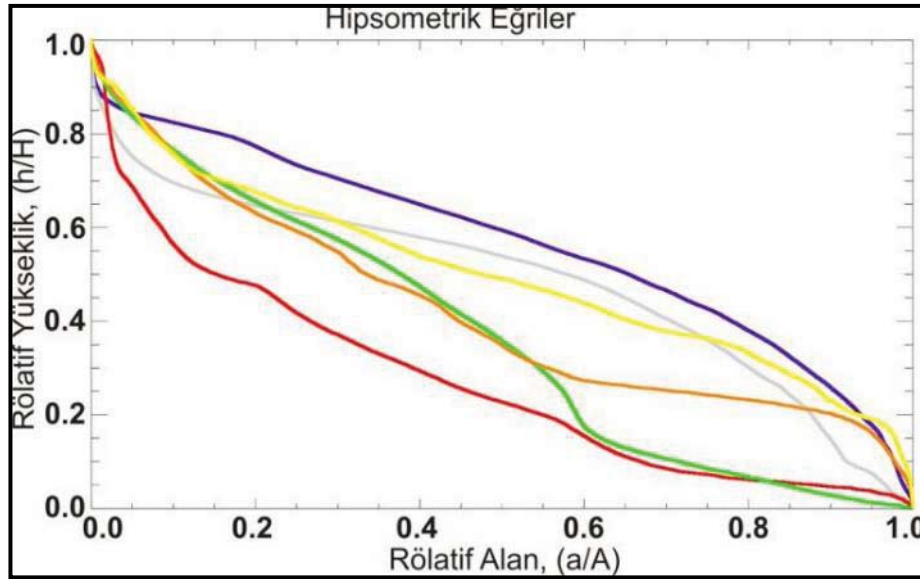
Şekil 3.76 : Göynük Çayı kuzeyinde morfometrik analiz için seçilen drenaj alanları. aktivitenin en az olduğu söylenebilir Peri çayı kuzeyinde yer alan Pn7 drenaj alanı ile Gk2 arasında aşındırıcı ve tektonik kuvvetlerin etkilerinin aynı oranda olduğu söylenebilir.



Şekil 3.77 : Göynük Çayı kuzeyinde yer alan drenaj alanlarına ait boyuna profil eğrileri.

Gk4 ve Gk3 drenaj alanları daha önceden açıklanan homoklinal sırtın uzun ve daha yumuşak eğimli bölümü üzerinde yer almaktadır. Bu drenaj alanlarındaki hipsometrik integral değerleri sırası ile 0,41 ve 0,48 dir. Bu değerler, boyuna profil

ve hipsometrik eğriler yine Toklular ve Bahçeköy faylarının bölgedeki aktivitesini kanıtlamaktadır. Bahçeköy ve Toklular faylarının aktivitesinin olması çalışma alanı için düşünülen mekanik modelin oluşturulması açısından oldukça önemlidir.



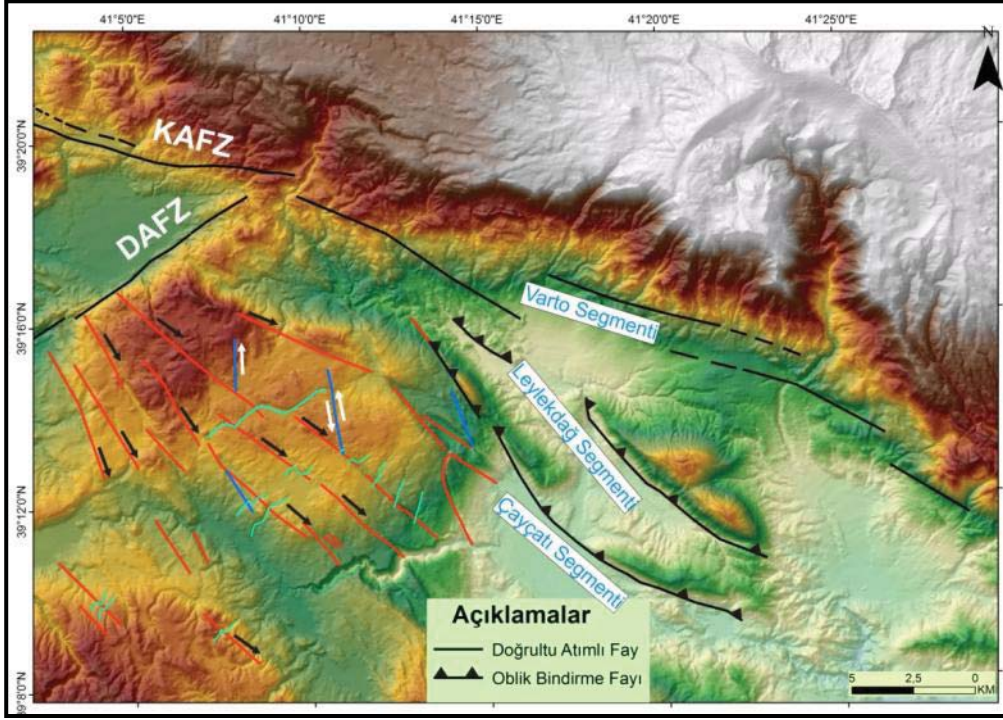
Şekil 3.78 : Göynük Çayı kuzeyinde yer alan drenaj alanlarına ait hipsometri eğrileri.

Çizelge 3.7 : Göynük çayı kuzeyinde yer alan drenaj alanlarına ait hipsometrik integral değerleri.

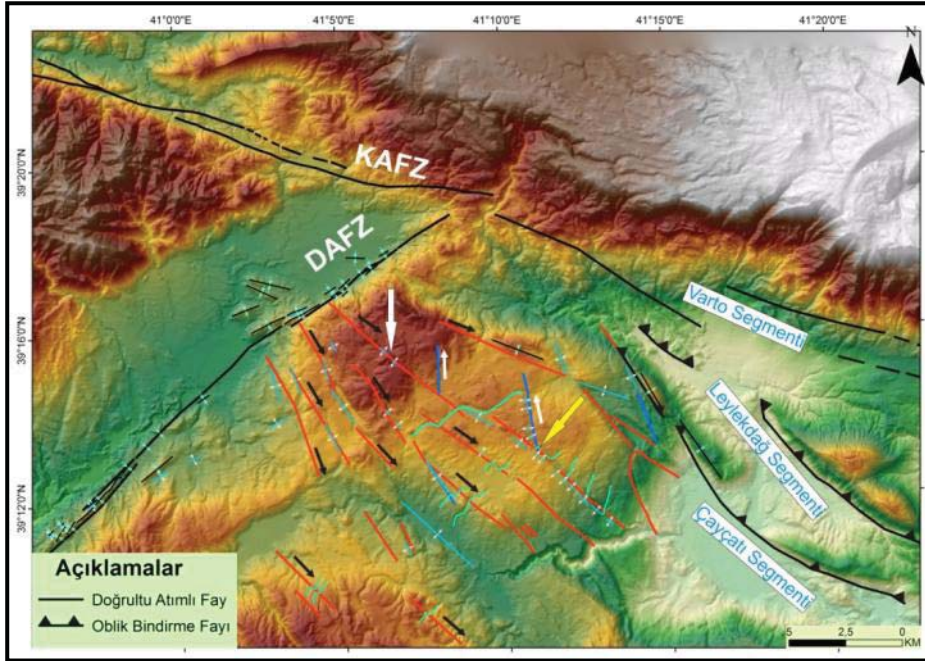
Gk1	Gk2	Gk3	Gk4	Gk5	Gk6
0,27106	0,36751	0,49841	0,41998	0,56634	0,4854

3.4.3 DAFZ-VFZ arasındaki ikincil fayların geometrik ve morfolojik özellikleri

DAFZ'nun güneydoğusunda ve VFZ'nin güneyinde kalan çizgisel yapıların deformasyonel etkisini net olarak anlamak için bu çizgisel yapıların içerisinde yer alan faylar haritalanmıştır (Şekil 3.79). Haritalanan fayların hepsi doğrultu atım karakterine sahiptir. Bu faylardan Varto Segmentine yaklaşık paralel uzanan faylar sağ yanal, ve sağ yanal bu fayları kesen ve göreceli daha dik uzanımlı fayların ise sol yanal atımlı doğrultu atımlı faylar olduğu sayısal yükseklik modellerinden anlaşılmıştır. Kuzeybatıdan güneydoğuya sola aşmalı olarak devam eden sağ yanal atımlı fayların birbirleri ile aşmalı sıçrama yaptıkları yerlerde, bu fayları kesen sol yanal faylar gelişmiştir. KB-GD uzanımlı sağ yanal fayların diğer bir özelliği ise üzerlerinde oldukça fazla genişlemeli yapıların (belverme gölcüğü gibi) olmasıdır (Şekil 3.80). Uzaktan algılama çalışmaları neticesinde elde edilen bu yapıların sadece DAFZ'ye yakın olan kesimleri arazide kontrol edilebilmiş geri kalan bölümünün kontrolü güvenlik nedeni ile mümkün olmamıştır.

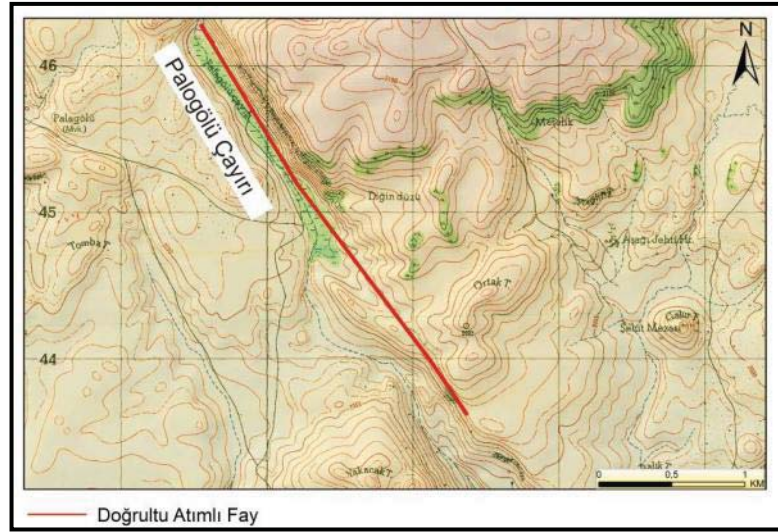


Şekil 3.79 : VFZ ile DAFZ arasında yer alan fayların geometrisi ve üzerlerindeki dere ötelenmeleri.



Şekil 3.80 : Bölgede ana ve ikincil faylar üzerindeki sıkışmalı ve gerilmeli yapıların dağılımını gösteren bu haritada, DAFZ üzerinde sıkışmalı yapıların (mavi renkli oklar) ve DAFZ güneyindeki ikincil faylar üzerindeki açılmalı yapıların (beyaz renkli oklar) hakim olduğu görülmektedir. Büyük beyaz ok Şekil 3.81'de ve Şekil 3.82'de gösterilen Palogölü çayırını mevkini büyük sarı ok ise Şekil 3.83'ün yerini göstermektedir.

Varto fayına yaklaşık paralel uzanan sağ yanal faylar uydu görüntülerinde, sayısal yükseklik modellerinde ve topoğrafya haritalarında (şekil 3.81) kendilerini keskin çizgisellik ile belli ederler.



şekil 3.81 : şekil 3.80'de beyaz ok ile gösterilen Palogölü mevkiinde fay keskin çizgisellik ile belli olmaktadır.

Varto Fay Zonu güneyinde gelişmiş olan ikincil faylar üzerinde oluşmuş genişlemeli alanlar fayın boyutlarına göre oldukça derin ve geniştir. Ana kayalar üzerinde gelişmiş olan, faylara ait kinematik işaretler aşınma ve erozyon sonucu yok olmuştur. Bu fayların geliştiği yerlerde yeraltı su seviyesinin çevresine nazaran oldukça yüksek olduğu görülür (şekil 3.82).

Palogölü ayırır bu fayların morfolojideki en güzel örneklerinden biridir. Her iki tarafından Zırnak formasyonuna ait volkanik lavlar ve volkanosedimenter kayalar ile sınırlanılmıştır. Aşır erozyon sebebi ile kinematik işaretlerden yoksundur. Zeminin oldukça ıslak olan Palogölü mevkiinden geçen fay güneydoğuya doğru çizgisel bir hat olarak devam etmektedir.

şekil.3.80'da sarı ok ile gösterilen alan sağ yanal fayların üzerledikleri bölgede oluşan sol yanal fayı göstermektedir. Sarı ok bu noktada yer alan sol yanal dere ötelenmesini göstermektedir. Uzaktan algılama çalışmaları ile belirlenen GD-KB uzanımlı sol yanal faylar arazinin genelinde sadece çizgisel bir hat olarak grlmştir.



Şekil 3.82 : Şekil 3.81’de gösterilen Palogölü mevki (Bakış yönü güneydoğudan kuzeybatıya).



Şekil 3.83 : Şekil 3.80’da sarı ok ile gösterilen noktada sağ yanal ve sol yanal fayların konumu (Bakış yönü güneydoğudan kuzeybatıya).

Yapılan arazi gözlemlerinde, hava fotoğraflarından çizilen bu durum sadece bir noktada görülmüştür. Sol yanal fay ise yaklaşık 2 m lik dere ötelenmesi ile morfolojide izlenirken (Şekil 3.83), sağ yanal fay bu noktada morfolojide kırıklık ile kendini belli eder ve devamında oldukça büyük bir bel verme gölcüğü (Şekil 3.84) ile karakterize olur.



Şekil 3.84 : Şekil 3.83'de görülen sağ yanal devamında görülen belverme gölcüğü (Bakış yönü güneydoğudan kuzeybatıya).

4. KARLIOVA ÜÇLÜ EKLEMİ CİVARININ KİNEMATİK EVRİMİ: TEORİK VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1 Giriş

Karlıova Üçlü Eklemi (KÜE), Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) ve Varto Fay Zonu (VFZ)'nin Bingöl'e bağlı Karlıova ilçesinin, yaklaşık 10 km kuzey doğusunda kesişmesi ile oluşmuştur. KAFZ doğuda Karlıova üçlü ekleminden başlayıp Karadeniz kıyı çizgisini yaklaşık olarak 100 km güneyden takip ederek Ege Denizi'ne kadar 1200 km uzunluğunda dışbükey bir zon olarak devam eder (Şengör ve diğ., 2005). DAFZ, Karlıova ile Çelikhan arasında dar bir deformasyon zonu olarak uzanır (Duman ve Emre, 2013). Çelikhan'dan sonra deformasyon zonu genişleyen fay zonu kuzey ve güney kol olmak üzere ikiye ayrılır. Güney kol Çelikhan ile Antakya arasında uzanır. Karlıova'dan başlayıp Antakya'da Ölü Deniz Fay Zonu ile birleşen ve uzunluğu 580 km olan bu kollar DAFZ'nin ana hattını oluşturur. Kuzey'de yer alan kol ise Çelikhan ile İskendurun körfezi arasında 350 km uzunluğa sahiptir (Duman ve Emre, 2013). VFZ ise KÜE ile Varto ilçesi arasında 30 km uzunluğunda ve yaklaşık 10 km genişliğinde geniş bir deformasyon zonu şeklinde yer alır. VFZ üç ana segmentten oluşur. En kuzeyde yer alan Varto segmenti doğrultu atımlı sağ yanal fay, ortada yer alan Leylekdağ en güneyde yer alan Çayçatı segmenti ise oblik bindirme faydır.

KÜE'yi oluşturan üç ana fay zonu arasında oluşmuş ikincil fayların özellikleri üçlü eklem civarındaki faylanma mekaniğini anlaşılması için çok önemlidir. KÜE'nin batısında ve doğusunda yer alan ikincil faylar birbirlerinden oldukça farklıdır. KÜE batısında yer alan ve KAFZ ile DAFZ arasında oluşmuş Bahçeli ve Toklular fayları bu bölgedeki en önemli deformasyon yapılarıdır. Doğrultu atımlı sağ yanal fay olarak başlayıp, hareketine normal fay olarak devam eden bu fayların oluşum mekanizması KÜE batısındaki deformasyonun ortaya çıkarılmasını sağlayacaktır. Üçlü eklem doğusunda bulunan ve VFZ ile DAFZ arasında oluşmuş ikincil faylar ise VFZ'ye yaklaşık paralel olanları sağ yanal atımlı ve bu faylar arasında kalan

bölgelerde oluşanlar sol yanal atımlı faylar olarak iki gruba ayrılmıştır. Bu bölgedeki ikincil fayların mekaniği ise üçlü eklemin doğusundaki deformasyon özelliklerini ortaya çıkaracaktır. KÜE civarında ana faylara ait segmentler ve ikincil fayların jeolojik ve morfolojik özellikleri Bölüm-3'de detaylı olarak anlatılmıştır.

Söz konusu ikincil fayların hepsinin Kuvaterner dönemi ürünleri olduğu bölgedeki litolojik birimlerden elde edilen yaşlar ile bilinmektedir. Dolayısı ile bu fayların mekanik oluşumlarının anlaşılması KÜE civarının Kuvaterner'den günümüze kadar olan mekanik evrim sürecini ortaya çıkaracaktır.

KÜE civarındaki ikincil fayların mekanik oluşumlarını anlamak için literatürde yer alan teorik ve deneysel çalışmalardan faydalanılmıştır. Bu bölümde KÜE civarındaki fayların özelliklerini açıklamak için kullanılan farklı teorik ve deneysel çalışmalar ele alınacaktır. Daha sonra bu çalışmalardan elde edilmiş KÜE civarındaki faylanma mekanizmasını açıklamaya çalışan hipotezler hem jeolojik veriler hem de analog modeller ile test edilecektir.

Teorik çalışmalar, gerçekte var olan fayların nasıl bir mekanik sistem içerisinde oluştuğunu anlamak adına oldukça faydalı bilgiler sunmaktadır. Fayların mekaniğini anlamak adına kullanılan teorik çalışmalar, arazi çalışmaları ile elde edilen fayların mekansal konumları ve geometrilerini iyi bir şekilde temsil ederse, arazide direk gözlenemeyen bazı özellikler hakkında da tartışma imkanı yaratır. Örneğin teorik çalışmaların önerdiği faylanma mekanizmaları, gerçek durum verileri ile uyumluluk gösterirse, teorik çalışmalar kullanarak arazideki fayların derine doğru devamı hakkında önemli ipuçları elde edebiliriz.

Bu tez kapsamında teorik çalışmalar ile elde edilmiş faylar ile gerçek veriler arasındaki kıyaslama yolu, fayların oryantasyonu ve hareket yönü dikkate alınarak belirlenmiştir. Gerçekte var olan her bir fay parçasının uzanımı boyunca değişen doğrultu değerleri ve hareket yönü, teorik çalışmalar ile elde edilen faylar ile deneştirilmiştir. İzlenilen yaklaşım ile KÜE civarı için en uygun teorik modelin bulunması amaçlanmıştır. Bu tarzda yapılan kıyaslamalar gerçekte var olan fakat daha önce teorik olarak tartışılmamış fay geometrilerinde mekanik gelişimi hakkında fikirler üretilmesine yardımcı olmaktadır.

Kullanılan teorik modellerin ölçekten bağımsız olarak üretilmesi kıyaslamalar açısından önemli bir eksiklik olmasına rağmen gerçekte var olan durumlar ile deneştirilmesi bu eksikliği önemli ölçüde giderilmiş olacaktır. Örneğin Ingles ve diğ.

(1999), güneybatı Fransa'daki Gresinge-Quercy bloğunun faylanma mekanizmasını açıklamak için Prandtl-Nadai hücre modelini kullanmıştır. Kullanılan model kurgulanırken, modelin gerçekte ne kadar bir alan için geçerli olacağı konusunda fikir önerilmemesine rağmen, Gresinge-Quercy bloğundaki faylanma geometrisi ile kullanılan Prandtl-Nadai hücre modeli arasında iyi bir korelasyon elde edilmiştir. Gerçekte var olan durumlar ile yapılan kıyaslamalar teorik modellerin ölçek eksikliğine önemli katkılar sağlamıştır. KÜE civarındaki deformasyon alanı dikkate alındığında teorik modeller ile karşılaştırılarak yorumlanması mümkün görünmektedir. Teorik çalışmaların, deneysel çalışmalar ile test edilmeye başlanması ile faylanma gibi kalıcı deformasyon ürünleri daha iyi analiz edilmiştir. Bununla birlikte deneysel çalışmalarda elde edilen kalıcı deformasyon ürünlerinin gerçek durum ile denetirilmesi jeolojik süreçlerin daha sağlıklı şekilde tartışılmasına imkan sağlamıştır.

Tezin bu bölümü iki aşamada analtılacaktır. İlk aşamada KÜE civarındaki fayların mekaniğini açıklamak için literatürde yer alan teorik ve deneysel çalışmalar anlatılacak ve KÜE ile olan uyumu tartışılacaktır. KÜE civarındaki fayların oluşum mekanizmalarının anlaşılması, için söz konusu faylar ile teorik ve deneysel çalışmalar ile elde edilmiş fay geometrilerinin gelişimi arasında geometrik ve kinematik benzerlik kurma yoluna gidilmiştir. KÜE'nin batısı ve doğusundaki faylanma mekanizmalarını tartışabilmek için literatürde yer alan hem teorik hem de analog çalışmalar ile üretilmiş farklı faylanma modelleri kullanılmıştır. Bu adımda KÜE batısı ve doğusu için iki farklı model ileri sürülmüştür. KÜE batısında yer alan fayların geometrisi ve hareket yönleri dikkate alındığında buradaki fayların mekanizmasının, geleneksel adı Prandtl hücre modeli olan kama şekilli pasif hücre modeli ile açıklanabileceği düşünülmüştür. KÜE doğusundaki fayların mekanik gelişimi ise geniş makaslama zonu içerisinde gelişen faylar ile benzerlik kurularak açıklanmıştır. KÜE doğusunudaki faylanmayı açıklamak için, çalışma alanının güneyinde yer alan bazı arazi gözlemlerine de değinilecektir.

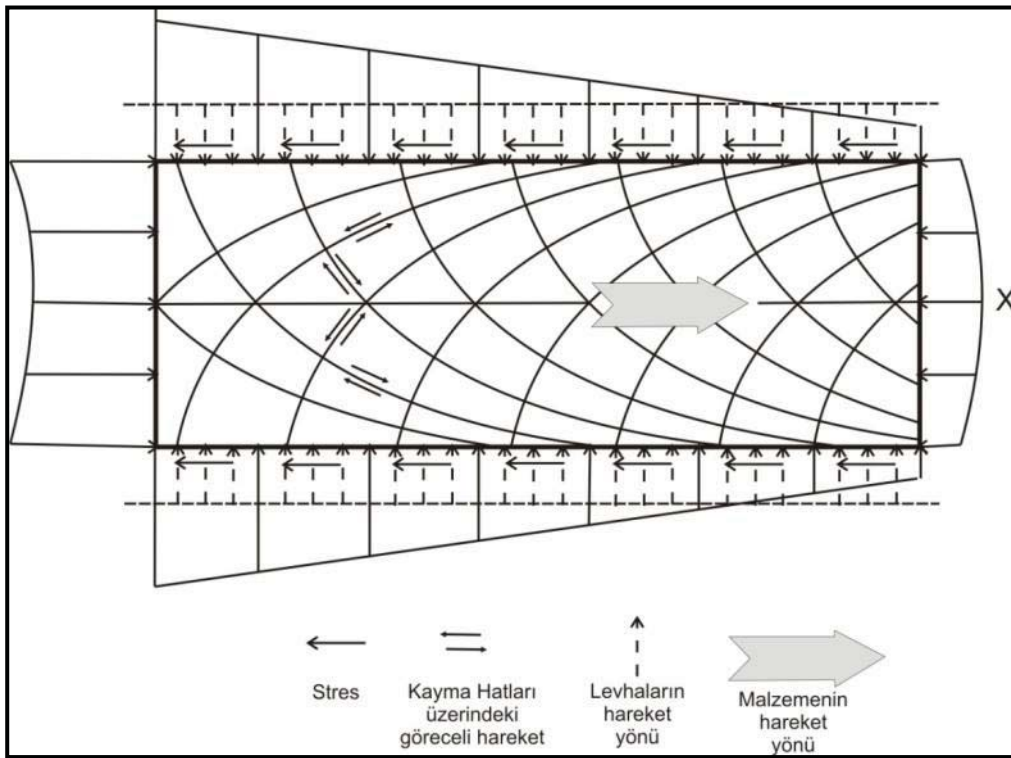
İkinci bölümde ise KÜE civarının fay mekaniğini anlamak için teorik ve deneysel modeller kullanılarak oluşturulan hipotezlerin, bu tez kapsamında yapılan analog modeller yardımıyla test edilmesi ile ilgili çalışmalar anlatılacaktır. KÜE doğusunun ve batısının faylanma mekaniği ile uyum gösteren modeller birleştirilerek tek bir

analog model seti üretilmiştir. Böylelikle gerçekte olan durum ayrı olarak değil bir bütün olarak modellenmeye çalışılmıştır.

4.2 Karlıova Üçlü Eklemi Batısında Faylanmanın Mekanikliği : Teorik Çalışmalar

4.2.1 Prandtl hücre modeli ve gelişimi

Prandtl orjinal sıkışma hücresinde (Prandtl, 1924) mükemmel plastik davranış gösteren malzeme, birbirine doğru yaklaşan paralel, rijid ve çok uzun iki levha arasında sıkıştırılmıştır. Sıkışmalı deformasyon, levhalar boyunca oluşan makaslama stresinin ortaya çıkmasına kadar devam etmiştir. Prandtl orjinal deney düzeneğinde (Şekil 4.1) plastik malzemenin x yönüne doğru hareket edilmesine izin verilmiştir. Deney sırasında levhaların paralellikleri korunmuştur. Deformasyonun sonunda Şekil 4.1’de görüldüğü üzere birbirlerini dik kesen dairesel (cycloid) iki kayma hattı (slip lines) tanımlanmıştır.



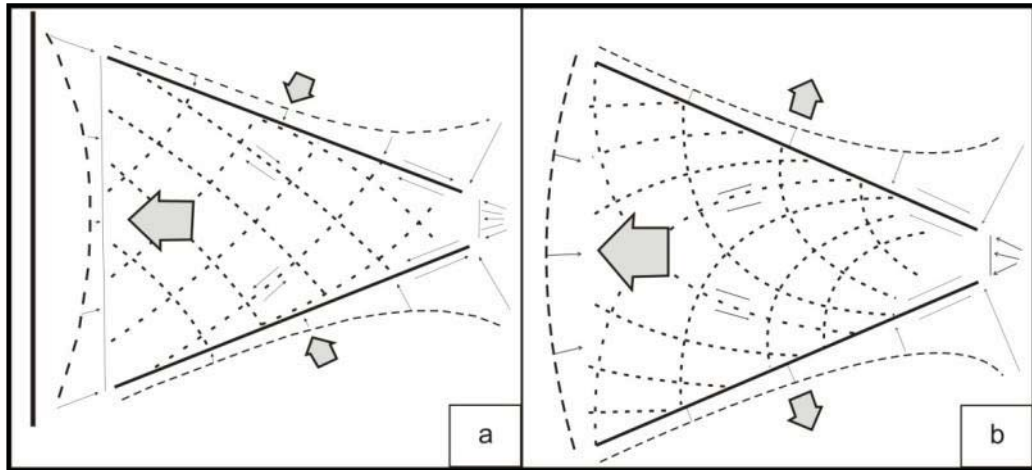
Şekil 4.1 : Prandtl sıkışmalı hücresinin orjinal durumu (Kanizay (1962)'den değiştirilerek alınmıştır).

Prandtl (1924) sıkışma hücre modelleri daha sonraları pek çok araştırmacı tarafından farklı koşullar kullanılarak geliştirilmiştir (Hartmann, 1928; Kanizay, 1962; Nadai, 1950; Varnes, 1962).

Hartmann (1928), Prandtl (1924)'de tercih edilen von Mises kırılma şartları yerine Coulomb kırılma şartlarını kullanmıştır. Böylece levhalar üzerindeki kırılma sırasında maksimum makaslama gerilmesine ulaşmayı engellemiştir. Bu çalışmada kullanılan malzeme içsel sürtünmeye sahip olduğu için oluşan dairesel kayma hatları birbirlerine dik değildir. Kayma hatlarının aralarındaki açı kullanılan malzemenin içsel sürtünme derecesine bağlı olarak farklılık göstermiştir

Nadai (1950), Prandtl hücre modellerini aktif ve pasif olarak sınıflandırarak yeniden ele almıştır. Levhaların sıkıştırmasından kaynaklı olarak, malzemenin bir yöne doğru zorunlu hareket ettiği durumları pasif olarak kabul etmiştir. Pasif durumlarda gelişen kayma hatlarının malzemenin hareket yönüne içbükey olarak oluştuğunu belirtmiştir. Aktif durumlarda ise malzeme kendi ağırlığı ile akarak kendisini sınırlayan levhaları hareket ettirmiştir. Bu durumda gelişen kayma hatları malzemenin hareket yönüne doğru dışbükey olarak gelişmiştir. Yani aktif ve pasif durumlarda oluşan kayma hatları arasında 180^0 fark vardır. Nadai (1950), Prandtl (1924) orjinal çalışmasını (Şekil 4.1) pasif olarak değerlendirmiştir.

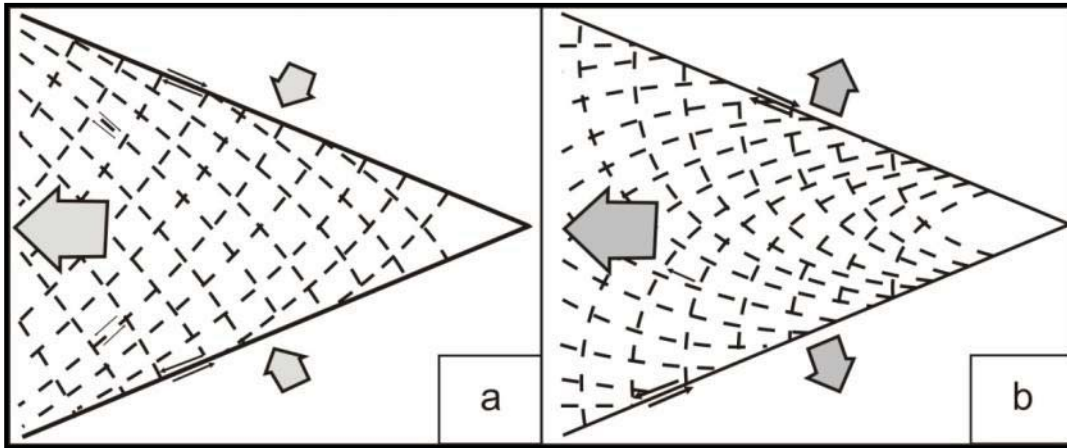
Prandtl sıkışma hücresi, sıkışmalı kama şekilli hücre modeli ile yeniden kurgulamıştır (Nadai, 1950; Varnes, 1962). İki sıkışma hücre modeli arasındaki tek fark levhalar arasındaki açıdır. Prandtl hücre modelinde levhalar arasındaki açı 0^0 , Nadai (1950) ve Varnes (1962) hücre modellerinde ise levhalar arasındaki açı 0^0-90^0 arasında değişebilmektedir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 : Kama şekilli pasif (a) ve aktif (b) hücre modelleri (Nadai (1950)'den değiştirilerek alınmıştır).

Nadai (1950)'den sonra benzer bir model Varnes (1962) tarafından önerilmiştir (Şekil 4.3). Her iki araştırmacı da kama hücre modellerinde aktif ve pasif durumları ayrı ayrı sınamıştır. Varnes (1962) teorik olarak ileri sürdüğü sıkışmalı hücre modelini Amerika'nın Colarado eyaletinde yer alan güney Silverton bölgesi ile karşılaştırmış ve modelini söz konusu bölge için yeniden üretmiştir. Bu çalışma ile ilk defa bir hücre modeli, arazi verileri ile denştirilerek sonuçlandırılmıştır.

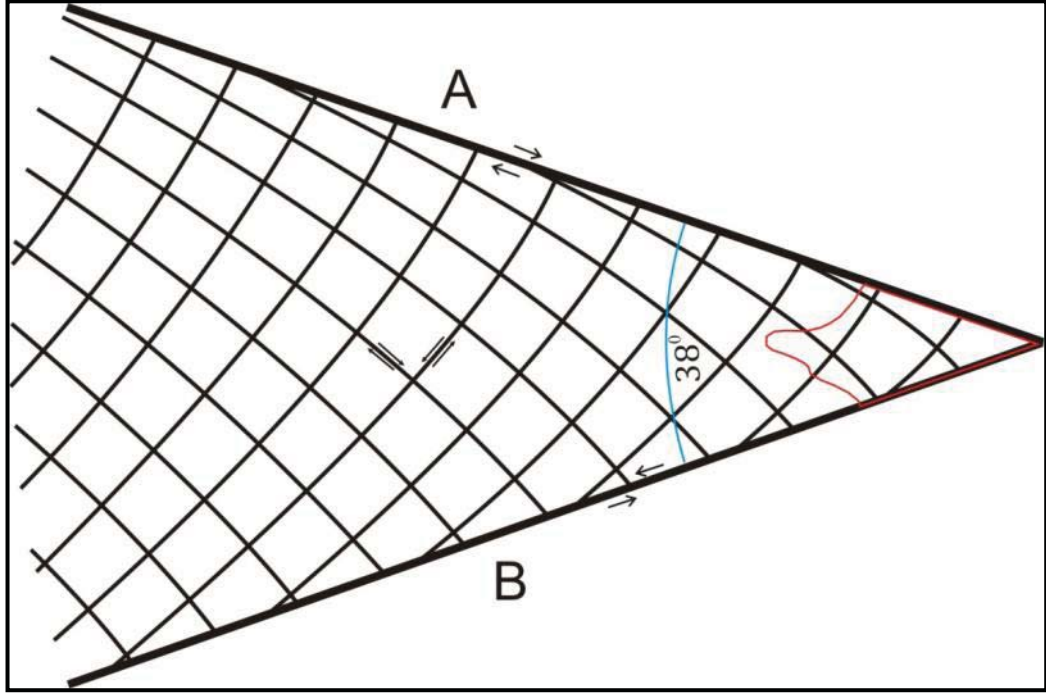
Ayrıca Varnes pasif hücre modeli ile Nadai pasif hücre modeli geometrileri ve plastik malzemenin hareket yönü aynı olmasına rağmen, Nadai hücresinde kamanın uçları açık ve sınır fayları üzerine düşen stres kamanın uç kısmına doğru daha fazla ve sınır fayları arasındaki açı farklıdır.(Şekil 4.2a ve Şekil 4.3a). Aynı şekilde Nadai aktif hücre modeli ile Varnes aktif hücre modellerinin geometrileri ve plastik malzemenin hareket yönü aynı olmasına rağmen, sınır fayları ve kamanın apeks noktasının özellikleri farklıdır (Şekil 4.2b ve Şekil 4.3b).



Şekil 4.3 : Varnes (1962) kama şekilli pasif (a) ve aktif (b) hücre modelleri (Kanizay (1962)'den değiştirilerek alınmıştır).

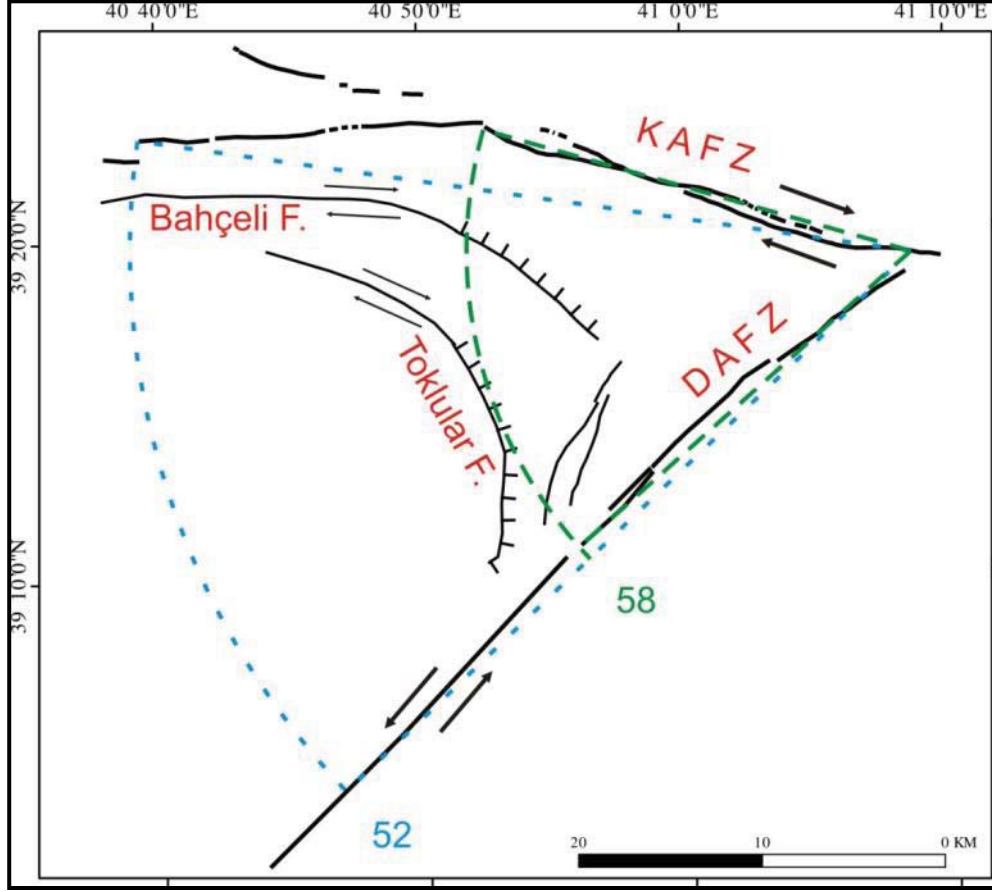
4.2.2 Sıkışmalı pasif hücre modelleri ile KÜE batısının karşılaştırılması

KÜE'nin batı kesiminin deformasyon özelliklerini açıklayabilmek için Varnes (1962)'de Silverton bölgesi için üretilen pasif hücre modeli kullanılmıştır (Şekil 4.4). Bu modelde plastik malzeme kama hücresinin açık olan tarafına doğru hareket eder. Oluşan kayma çizgileri hareket yönüne doğru içbükey şekillidir. İlk aşama olarak KÜE batısındaki faylar ile Nadai (1950) ve Varnes (1962) pasif hücre modelindeki kayma hatları karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.4 : Silverton bölgesi için üretilmiş pasif hücre modelinde A ve B sınır faylarını temsil eder (Varnes (1962)'den değiştirilerek alınmıştır).

Nadai (1950)'de ileri sürülen sıkışmalı pasif hücre modeli (Şekil 4.2a), Varnes (1962) modeli (Şekil 4.4) ve KÜE batısının geometrisi (Şekil 4.5) karşılaştırıldığında bazı önemli benzerlikler ve farklılıklar göze çarpmaktadır. Her iki modelde kamayı oluşturan sınır faylarının kesiştiği noktadaki geometrik ilişki KÜE ile denestirilen ilk gözlemdir. Nadai modelinde kamanın uç kısımlarında bir açıklık öngörölmüş ve plastik malzemenin bu noktadan kamanın açık ucuna hareket ettiği belirtilmiştir. Varnes (1962)'de ise kamanın apeks noktasının kapalı olduğu ve plastik malzemenin kamanın apeks noktasından açık olan tarafına doğru hareket ettiği belirtilmiştir. KÜE'nin geometrisi düşünöldüğünde, KAFZ ve DAFZ'nin birleşme noktasında bir açıklık bulunmadığı için Varnes (1962) ile uyumluluk göstermektedir. GPS hızlarına göre KAFZ ve DAFZ arasındaki bölge batıya doğru yani KAFZ ve DAFZ'nin sınır faylarını oluşturduğu kama şeklinin açık olan noktasına doğru hareket etmektedir. Bu durum her iki pasif hücre modeli ile de uyumludur. Önemli olan bir diğer husus ise sınır faylarının davranışı ile ilglidir. Nadai (1950) ve Varnes (1962) modellerindeki sınır faylarının hızı belirtilmemiştir. Nadai kamasında kuzey yönünde olan sınır fayının maksimum makaslama stresine maruz kaldığı belirtilirken, Varnes kama modelinde kuzeyde yer alan sınır fayında makaslama stresinin devam etmediği belirtilmiştir.



Şekil 4.5 : KÜE batısının fay geometrisi ve KAFZ ile DAFZ'nin oluşturduğu kamanın arasındaki açı değerleri.

Çünkü bu sınır fayını temsil eden Ring fay zonunda yapılan arazi çalışmalarında fay zonunda yanal yerdeğiştirme olmadığı aksine önemli bir düşey yer değiştirme olduğu tespit edilmiştir (Varnes, 1962). KÜE için olan durum değerlendirildiğinde, kamanın sınır faylarını oluşturan KAFZ ve DAFZ üzerinde önemli miktarda yanal yerdeğiştirme olduğu fakat aralarında yarıya yakın hız farkının geliştiği rahatlıkla söylenebilir. Bu durum düşünüldüğünde tartışılan modellerin ikisi ile de uyumluluk göstermediği ortaya çıkmaktadır. Modeller ile benzerlik kurulurken dikkate alınması gereken diğer bir nokta ise kamaların açık olan bölümündeki açıdır. Nadai kamasında 48° olan açı Varnes hücre modelinde 38° olarak alınmıştır. Aradaki açı farkı oluşan kayma setlerinin geometrilerini değiştirmektedir. Açı büyüdükçe kayma çizgilerinin çizgisel olan kısımları eğrisel olan kısımlarına göre kısalır. KAFZ ve DAFZ arasında ise bu açı 52° - 58° arasında hesaplanmıştır (Şekil 4.5). Olası her iki açı değeri Nadai ve Varnes modellerinden büyük olduğu için KAFZ ve DAFZ arasında gelişen kayma hatlarının (Bahçeli ve Toklular fayları) eğrisel bölümleri daha uzundur. Bahçeli ve Toklular faylarının doğrultu atımdan normal fay

davranışına geçmesi çizgisel doğrultudan eğrisel doğrultuya geçmesi ile başlamaktadır. Faylar üzerindeki çizgiselliğin kısa olması KAFZ ve DAFZ arasındaki açı ile ilişkilendirilmiştir. Aradaki açı 52^0 olarak kabul edildiğinde KAFZ'nin doğrultusu K82D, 58^0 olarak kabul edildiğinde ise K74D olarak hesaplanır. Bu çalışmada kurgulanan deneylerde arazideki ölçümler dikkate alınarak analog modellerde KAFZ'nin doğrultusu K70D olarak alınmıştır.

Yapılan kıyaslamalardaki kritik noktalardan biri de kamalar arasında oluşan kayma hatlarının KAFZ ve DAFZ arasında oluşmuş olan ikincil faylar ile olan geometik benzerliğidir. Hem modellerde hem de KAFZ ve DAFZ arasında oluşan kayma hatları eksponansiyel olarak yayılım göstermiştir. Modellerdeki kayma hatlarının geometrik farklılığı kamalar arasındaki açının aynı olmamasından kaynaklıdır.

KÜE batısın fay haritası (Şekil 4.5) ile Varnes modeli (Şekil 4.4) kıyaslandığında modelde A ile gösterilen sağ yanal fay KAFZ ve B ile gösterilen sol yanal fay DAFZ ile temsil edilmektedir. Modelde eksponansiyel olarak yayılım gösteren kayma çizikleri KÜE batısındaki faylar ile oldukça benzerlik göstermektedir. Bahçeli ve Toklular fayı olarak tanımlanan fayların, modelde A fayına doğru içbükey şekilde olan ve yine sağ yanal olarak gösterilen kayma hatları ile geometrik olarak benzerlik göstermektedir. Fakat her iki modelde (Nadai, 1950; Varnes,1962) tanımlanan sağ yanal kayma hatları üzerinde düşey bir hareket tanımlanmazken, Bahçeli ve Toklular faylarının hareketlerine sağ yanal olarak başladığı ve sonrasında normal fay şeklinde çalıştığı arazi çalışmaları sonucunda gösterilmiştir. DAFZ'ye yakın olarak konumlanmış sol yanal fayların geometrisi ise modelde B fayına içbükey şekilde oluşmuş sol yanal faylar ile benzerdir. Ayrıca modelde kamanın uç noktasında oluşan çöküntü alan (Şekil 4.4'de kırmızı çizgili bölge) Karlıova havzası ile deneştirilmiştir.

KÜE batısındaki deformasyonun mekanizmasını anlamak için Varnes (1962) modelinin temel olarak tercih edilmesinin nedeni, teorik çalışmaların arazi verileri ile deneştirilip yeniden düzenlenmesidir. Yeniden düzenlenen model geometrik olarak KAFZ ve DAFZ arası için analog model çalışmalarında kullanılabilir en uygun modeldir. Buna rağmen KÜE batısın faylanma mekaniğini açıklamak için her iki model de yeterli değildir. Yapılan analog model çalışmaları, KAFZ ile DAFZ arasındaki faylar deneştirilmiş ve KÜE batısınının özgünlüğünü açıklayabilecek yeni bir hücre modeli oluşturulmaya çalışılmıştır.

4.3 Karlıova Üçlü Eklemi Doğusunda Faylanmanın Mekanığı

4.3.1 Makaslama zonlarında gelişen fayların mekanığı

Litosferik levha sınırlarında olan oblik hareketler kabuk üzerinde büyük ölçekli transpresyon veya transtansiyon bölgelerinin oluşmasına yol açar. Karmaşık deformasyon özelliklerinden dolayı bu bölgeler dünyanın her tarafında araştırmacıların ilgisini çekmiştir. Bu zonlarda kabuğun üst kesimlerinde görülen deformasyonun yüzlerce kilometrelik geniş alanlara yayılması kabuğun altındaki sünek deformasyon bölgeleri ile ilişkilendirilmiştir (England, 1989; McKenzie ve Jackson, 1986). Sünek deformasyon bölgelerindeki yamulmanın normal ve yüzeysel bileşenler olarak ikiye ayrılması basit olarak yamulmanın paylaşılması (strain partitioning) olarak bilinir (Lettis ve Hanson, 1991). Yamulmanın paylaşımının kabuk üzerindeki dağılımı sırasında oluşan deformasyonun en önemli bileşenlerinden biri faylanmadır. Transpresyonel ve transtansiyonel ortamlarda gelişen faylanma geometrileri aralarındaki benzerlikten dolayı farklı disiplinlerin araştırma konusu olmuştur.

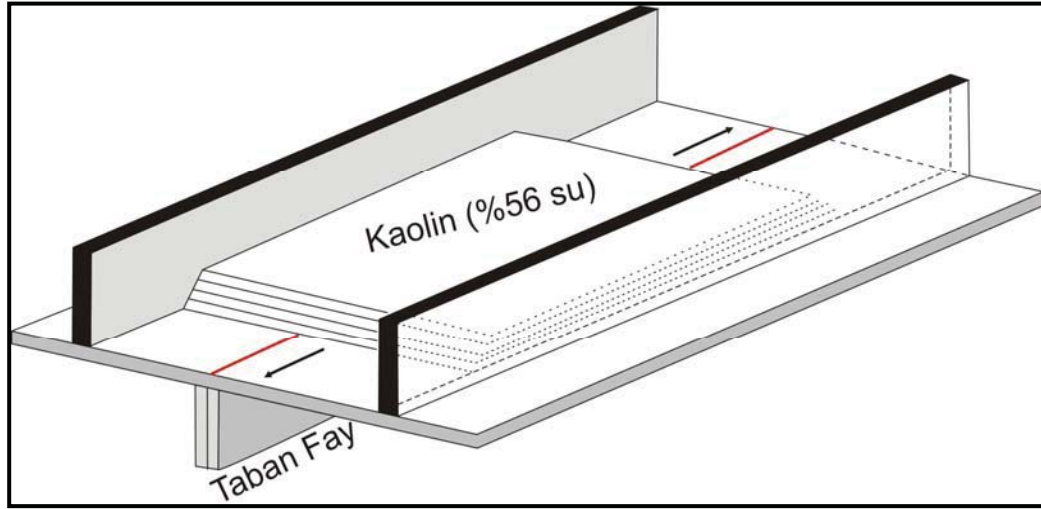
Makaslama zonları olarakta adlandırılabilen bu ortamlardaki fayları sınıflandırmak için yapılan ilk çalışmalar (Cloos, 1928; Riedel, 1929), doğrultu atımlı fayların etkin olduğu bölgelerdeki faylanma mekanizmasının anlaşılması için yapılan analog model çalışmalarının da temelleri sayılır.

Riedel (1929) birbirlerine bitişik iki ayrı levhanın üzerine yerleştirdiği bir kaç mm ile cm arasında değişen kalınlıkta ve bir kaç on cm uzunluğundaki kil pastasını “plastik” malzeme olarak değerlendirip ilk deneyi yapmıştır. Deneyde kullanılan levhalardan biri sabit tutulurken diğeri paralelliği ve bitişikliği bozulmadan yanal olarak hareket ettirilmiş ve oluşan faylar sınıflandırılmıştır. Levhaların aralarındaki bu süreksizlik zonu taban fayı olarak tanımlanmıştır.

Bugün hala Riedel fayları olarak bilinen bu fayların, oluşum mekanığını, faylar arasındaki ilişkiyi ve deneysel çalışmalarda elde edilmeyen fakat gerçekte var olan fayların oluşumlarını anlamak için farklı araştırmacılar tarafından analog modeller üretilmektedir.

Tchalenko (1970) riedel faylarının geometrisi ve gelişimi ile ilgili ilk detaylı analog çalışmadır. Söz konusu deney seti Riedel (1929) ile nerdeyse aynı olup %56 su içeriğine sahip kaolin türü kil kullanılmıştır (Şekil 4.6). Riedel faylarının modellenmesi ile ilgili çalışmalar farklı malzemeler kullanılarak günümüze kadar

devam etmiştir. Bazı analog çalışmalarında kil (Atmaoui ve diğ., 2006; Lazarte ve Bray, 1996), bazılarında ise kum (Burbidge ve Braun, 1988; Le Guerroué ve Cobbold, 2006; Richard ve diğ., 1995; Schöpfer ve Steyrer, 2001; Viola ve diğ., 2004) gibi tek bir analog malzeme kullanmıştır. Farklı granüler malzemelerden oluşan katmanlar kullanılarak yapılan çalışmaların (Richard ve diğ., 1991) granüler ve viskoz malzeme araldanmasından oluşan çalışmalar (Casas ve diğ., 2001) ile de riedel fayları araştırılmıştır.

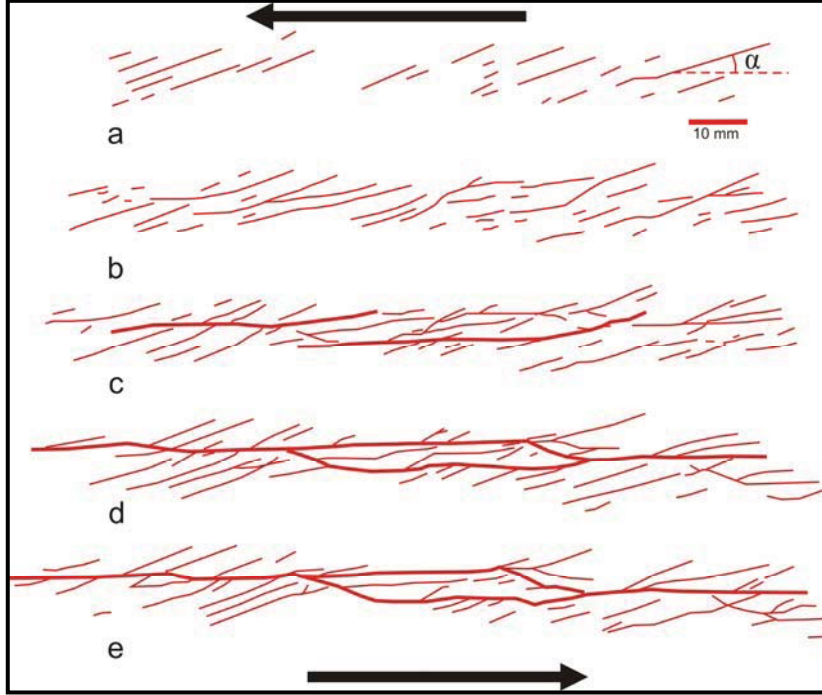


Şekil 4.6 : Önceden belirtilmiş taban fayına sahip klasik Riedel deney düzeneği üzerinde Tchalenko (1970).% 56 su içeriğine sahip kaolin türü kil, Naylor ve diğ. (1986) ise 0,15-0,3 mm tane boyu aralığında kuru kum kullanmıştır.

Elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında kullanılan malzemeden kaynaklı olarak gelişen yapıların türleri ve geometrileri arasında farklılıkların mevcut olduğu görülmüştür.

Tchalenko (1970) kil deneylerinde ilk görülen yapılar taban fayına $\alpha=12^{\circ}\pm 1^{\circ}$ açı yapacak şekilde gelişen sintetik R makaslamalarıdır (Şekil 4.7a). Deformasyonun artması, R makaslamalarının doğrultuları boyunca ilerleyip taban fayına daha paralel olmasını sağlamıştır (Şekil 4.7b). Daha sonra Riedel faylarına yaklaşık simetrik olarak $\alpha=10^{\circ}$ açı ile sintetik P makaslamaları oluşmuştur (Şekil 4.7c). Devam eden deformasyon ile birlikte taban fayına $\alpha=0^{\circ}-4^{\circ}$ açı yapacak şekilde ilk birincil yer değiştirme makaslamaları ve bunların arasında uzamış lens şekilli yapılar geliştiği gözlemiştir (Şekil 4.7d).

Sonuç olarak deformasyonun belli bir aşamasından sonra nerdeyse bütün ötelenmelerin sadece birincil yerdeğiştirme zonu üzerine geliştiği ileri sürülmüştür (Şekil 4.7e).

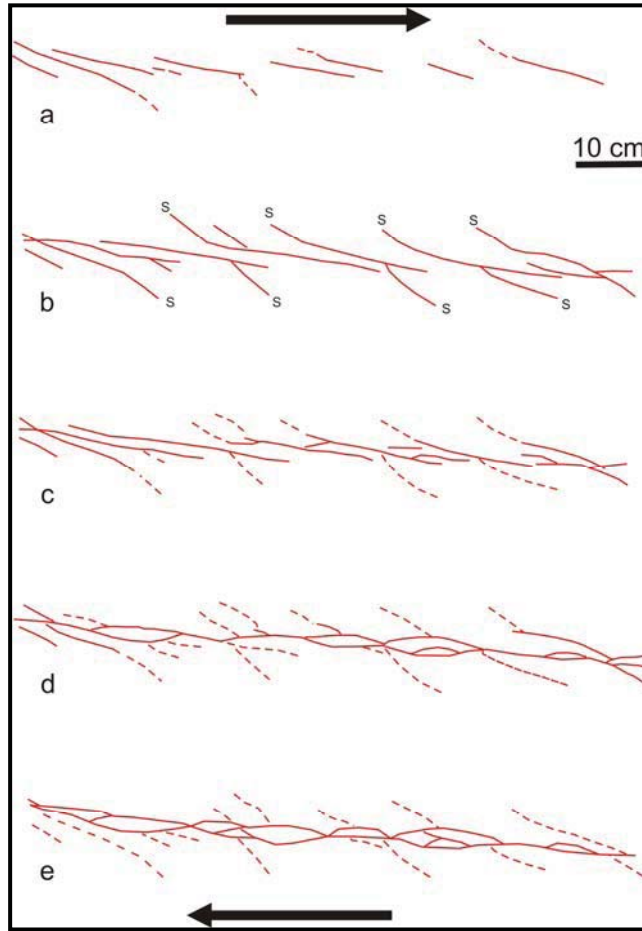


Şekil 4.7 : Riedel makaslamalarının kil malzeme üzerinde oluşum aşamaları (Tchalenko, 1970).

Daha az su içeriği ile yapılan kil deneylerinde $\alpha=80^0$ açı ile R makaslamalarının oluşmaya başladığı zamanda, R' ile gösterilen antitetik faylar oluşur. Büyük açılardan dolayı bu faylar saat yönünün tersinde rotasyona uğrarlar. Makaslama zonlarının kil deneyleri ile araştırılması fayların dışındaki yapıların da oluşum mekanizmasını ve göreceli zamanını ortaya çıkarmıştır. Makaslama zonunun başlangıç aşamalarında R ve R' faylarına ek olarak tansiyon çatlaklarının oluştuğu (Wilcox ve diğ., 1973) ayrıca kademeli kıvrım sistemlerinin (Cloos, 1928; Riedel, 1929; Wilcox ve diğ., 1973) ve çek-ayır havzaların (Atmaoui ve diğ., 2006) geliştiği gösterilmiştir.

Kum deneyleri ile yapılan Riedel makaslama deformasyonu araştırmaları kil malzemeye göre oldukça farklı sonuçlar vermiştir. Naylor ve diğ. (1986)'da yapılan kum deneyinin, ilk aşamasında, doğrultusu taban fayına 17^0 açı yapan en-eşelon R makaslamaları görülmüştür (Şekil 4.8a). Deformasyon ilerledikçe R makaslamalarının üzerinde veya uç kısımlarında taban fayına yaptığı açı 17^0 'den

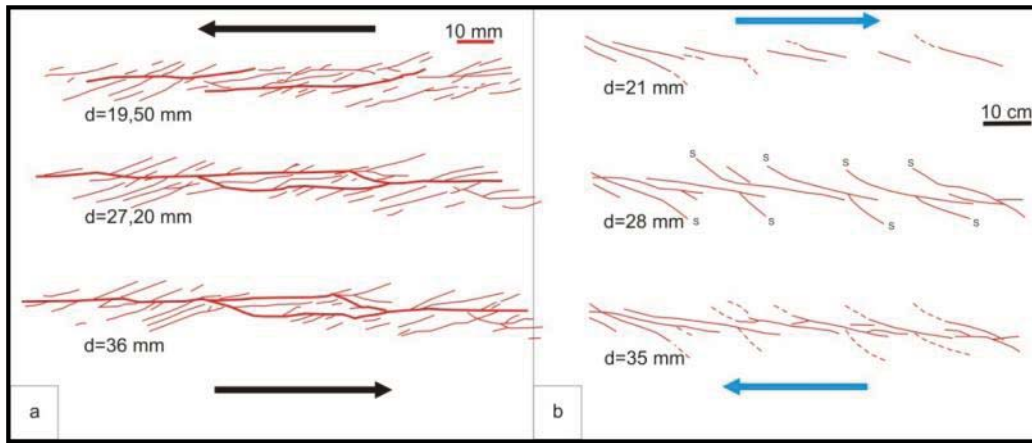
fazla olan kısa ömürlü (short lived) fay kolları görülmüştür (Şekil 4.8b'de S ile gösterilen faylar). S ile gösterilen fayların aktivitesinin bitmesinden (Şekil 4.8c). sonra R makaslamalarının uç kesimlerinde, S faylarının R makaslamasına yakın yerlerinde veya iki R makaslaması arasında, taban fayına yaptığı açı 17^0 'den az olan faylar gelişmiştir (Şekil 4.8d). Deformasyonun son aşamalarında gelişen P makaslamaları (Şekil 4.8d,e), R makaslamaları ve düşük açılı faylar ile aynı hareket yönüne sahip olmasına rağmen doğrultusu taban fayına -15^0 açı ile gelişerek bu fayı kesmiştir. Hem P hem de düşük açılı faylar, R makaslamalarını birbirlerine bağlayan faylardır.



Şekil 4.8 : Riedel makaslamalarının kum malzeme üzerinde oluşum aşamaları (Naylor ve diğ., 1986).

Kil ve kum deneylerinin karşılaştırılmasında ortaya çıkan en önemli gözlem kil deneylerinin kum deneylerine göre yapısal olarak daha fazla değişkenlik gösterdiğidir. Kil deneylerinde yapılan çalışmalarda fayların yanısıra tansiyon çatlakları, çek-ayır yapılar ve kıvrımlar görülmüştür. Oysa kum deneylerinde fayların aşma bölgelerinde görülen ve makaslama zonunun doğrultusuna paralel olarak

antiformal yapıda gelişen lokal yükselimler (Le Guerroué ve Cobbold, 2006) dışında, kil deneylerindeki kadar yapı zenginliği oluşmamış yani sadece faylar gelişmiştir (Dooley ve Schreurs, 2012). Şekil 4.9'da kil ve kum malzemeler kullanılarak yapılan sol yanal (Şekil 4.9a) ve sağ yanal makaslama (Şekil 4.9b) deneylerinde oluşan yapıların gelişimi gösterilmektedir. Her iki deney için gösterilen verilerde taban faylarında oluşan ötelenme (Şekil 4.9'da d değeri ile gösterilmiştir) miktarları neredeyse aynıdır. Buradaki en dikkat çekici özellik kum deneylerinde oluşan deformasyon bölgesinin daha büyük ve ortaya çıkan faylar üzerindeki ötelenmelerin daha fazla olmasıdır. Fakat her iki deneyde oluşan birincil yer değiştirme zonları taban fayına paraleldir.



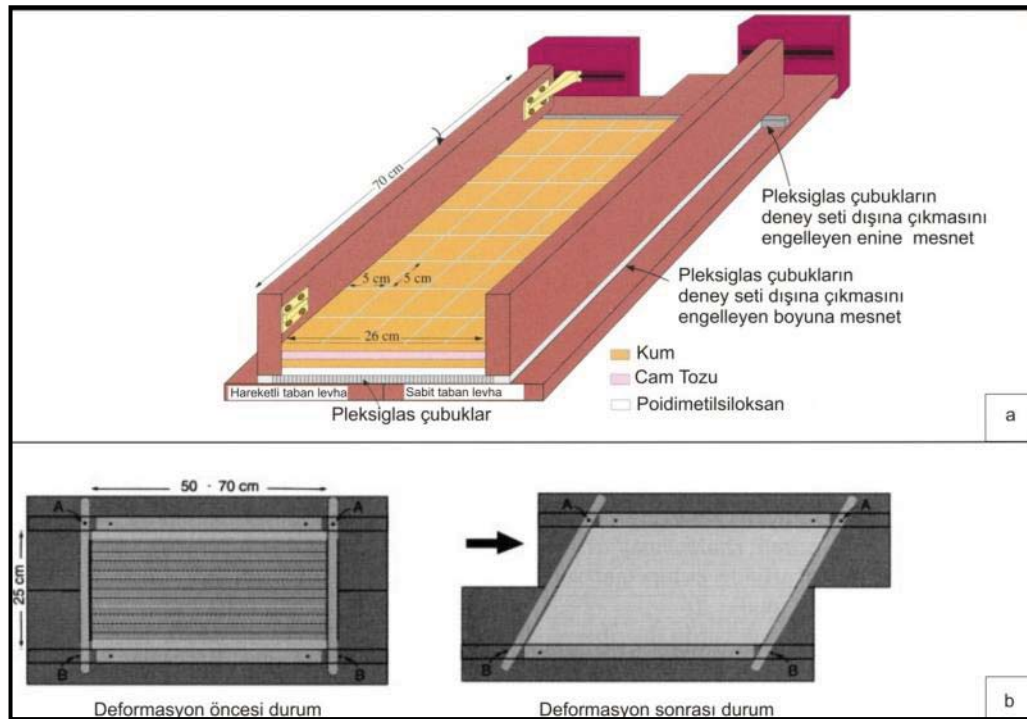
Şekil 4.9 : Neredeyse aynı miktarda taban fayı hareketi (d) ile oluşan Riedel makaslamaalarının kil (a) ve kum (b) üzerindeki görüntüsü (a bölümü Tchalenko (1970) ve b bölümü Naylor ve diğ. (1986) verilerinden alınmıştır).

Kil deneylerinde oluşan yükselimlerin eksen çizgileri yamulma elipsinin kısa eksenine dik yönde gelişmiştir. Tansiyon çatlakları ise en küçük birincil stress yönüne dik olarak oluşmuştur. R ve R' fayları ise en büyük birincil stress yönüne $45-\phi/2$ açı ile gelişir. Kum deneylerinde ise R' makaslamaı deformasyonun ilk aşamalarında görülmezken, kil deneylerinde R makaslamaı ile neredeyse eş zamanlı gelişmeye başlar (Dooley ve Schreurs, 2012).

Değinilen çalışmalarda elde edilen fay geometrileri hem kum hem de kil malzemede göreceli olarak dar ve çizgisel bir hat boyunca gelişmiştir. Oysa kıtasal litosferde yer alan doğrultu-atımlı fayların deformasyon alanları sadece dar, çizgisel hatlara sıkışmamış, deformasyon alanları yüzlerce kilometre genişliğinde yayılım göstermişlerdir. Geniş ölçekli faylanma alanlarının üst kıta kabuğunun altında yer

alan sünek deformasyon zonlarının kontrolünde gelişmesi ile birlikte üst kıta kabuğunun düşey bir eksen boyunca rotasyona uğradığı aktif doğrultu-atım deformasyon zonlarında yapılan farklı disiplinlerdeki çalışmalar ile gösterilmiştir (McKenzie ve Jackson, 1983). Geniş deformasyon alanı içeren makaslama zonlarında, yoğun olarak sentetik doğrultu atımlı faylar ve ana faya büyük açılar ile oluşan antitetik doğrultu atımlı faylar gözlenir (Schreurs, 2003; Schreurs ve Colletta, 2003).

Geniş deformasyon alanlarına sahip makaslama zonlarının analog model sonuçları klasik riedel deneylerinden çok farklı sonuçlar vermesinin sebebi deney setinin (Şekil 4.10) klasik riedel deney setinden (Şekil 4.6) çok farklı olmasıdır.



Şekil 4.10 : Geniş ölçekli deformasyon deneyinde kullanılan mekanizmanın perspektif görünümü (a) ve deney setinin tabanının deformasyon öncesi ve sonrası durumları (b) (Schreurs (2003)'den düzenlenerek alınmıştır).

Söz konusu deformasyon setinin en altına yerleştirilen pleksiglas çubuklar taban fayının oluşturduğu deformasyonun mekanik olarak üzerine gelen polidimetilsiloksana abartılı olarak iletilmesini sağlamaktadır. Viskoz madde olarak kullanılan polidimetilsiloksan üzerine kum-cam tozu-kum ardalanmalı granüler malzemeler gelir. Deney düzeneği çalıştırıldığına ortaya çıkan durum (Şekil 4.10b) göstermektedir ki hareketli taban levhanın, sabit taban levha boyunca (Şekil 4.10a) ötelenmesi klasik riedel deneylerindeki mekanizma ile aynıdır. Fakat taban levhalar

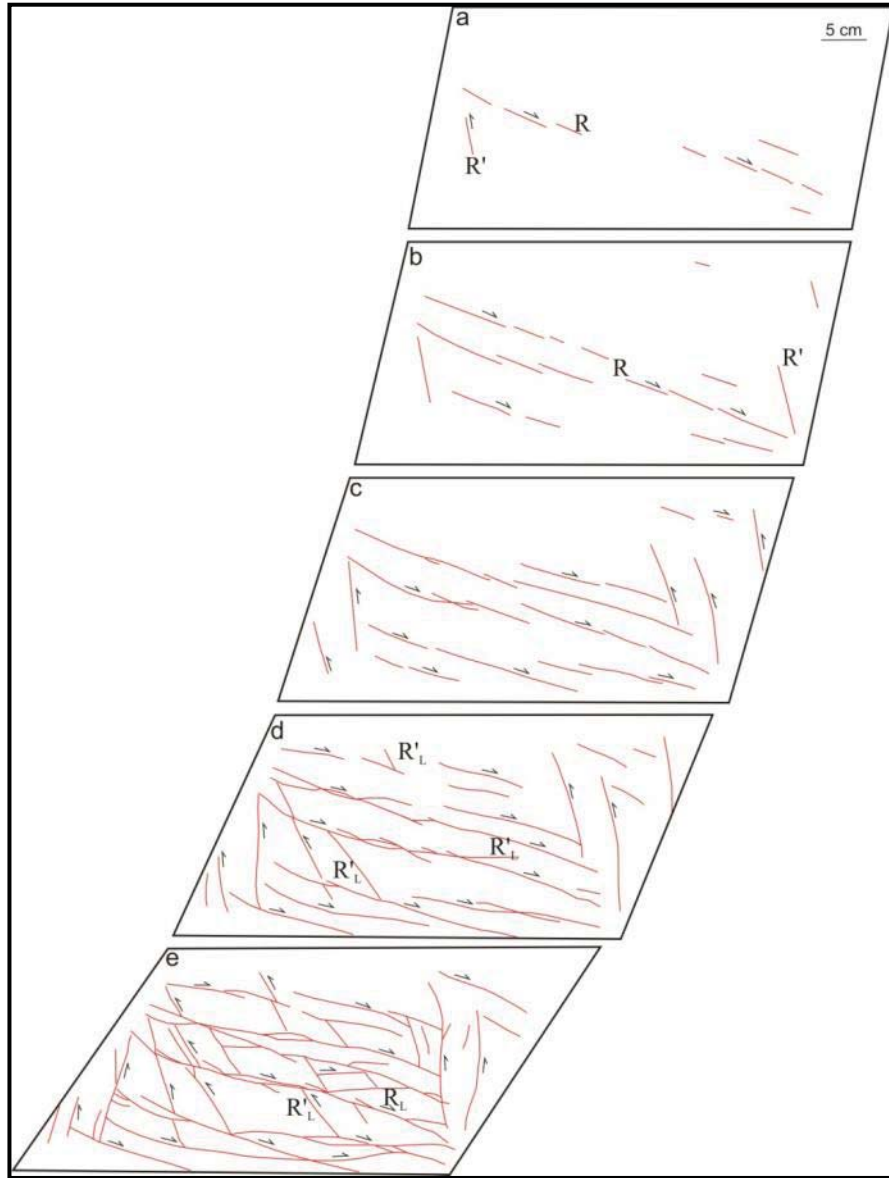
üzerinde olan pleksiglas çubukların hareketi tabanda tek bir ana fay oluşmasına engel olarak deformasyonu bütün deney setine yayar. Böylelikle hem viskoz hem de granüler malzemenin tamamında makaslama kuvvetleri etkin olur.

Geniş deformasyon alanlarındaki fayların oluşumunu araştırmayı hedefleyen deney sonuçları (Schreurs, 2003), incelendiğinde deformasyonun ilk aşamalarında yüzey doğrultuları makaslama zonu sınırlarına 17° - 24° arası açıda olan sola sıçramalı sentetik fayların (R) oluştuğunu görülmektedir (Şekil 4.11a). R makaslama ile aynı zamanda deney setinin sol alt köşesinde oluşan sentetik fay (R') ise makaslama zonu sınırlarına 72 - 78 arası açıda oluşmuştur (Şekil 4.11a). Söz konusu R' makaslama deney setindeki kenar etkisi ile oluştuğu açıklanmıştır. Artan makaslama, sola aşmalı R fayları arasında kalan bölgede hafif yükselimlerin oluşmasına yol açmıştır (Schreurs, 2003). Bu yükselimlerin uzun eksenini R makaslama doğrultusuna paralel olarak geliştirmiştir (Şekil 4.11b). İlerleyen deformasyon ile uzamaya devam eden R makaslama yakınlarında bulunan başka bir R makaslama ile birleşerek uç kısımlarında daha yumuşak bir eğim kazanmıştır. Değişen eğimden dolayı R makaslama uç noktalarında ufak ters faylanmalar meydana gelmiştir (Şekil 4.11c). R faylarının birleşmesi hem aşma olan bölgelerde oluşan yüzey doğrultusundaki azalma hem de R faylarının birbirlerini üzerledikleri yerlerde oluşan düşük açılı sentetik makaslama fayları (R_L) ile gerçekleşmiştir (Şekil 4.11d).

Fayların birleşmesi ana makaslama zonuna 15° açı yapan, hafif saç örgüsü şeklinde makaslama yapılarının gelişmesine yol açmıştır (Şekil 4.11d). Deformasyon zonu geniş olan bu deneyde oluşan saç örgüsü tpindeki faylar uzun ömürlü olup artan deformasyonla birlikte bu fayların arasında iki yeni fay setinin gelişmesine olanak sağlamıştır. Bunlardan ilki doğrultusu R' faylarından daha az olan, düz bir geometriye sahip sol yanal R'_L fayları, diğeri ise yukarıda değinilen sağ yanal R_L faylarıdır (Şekil 4.11d). Söz konusu deneyde $0,5$ cm kalınlığındaki viskoz polidimetilsiloksan malzeme, $1,5$ cm kalınlığında kum-camtozu-kum ardalanması ile örtülmüştür. Aynı deneyde granüler malzeme kalınlığını 3 cm'ye çıkararak araştırmacı yine benzer sonuçlar elde etmiştir.

Schreurs, 2003 aynı deney seti ve aynı viskoz ve granüler materyal kalınlıkları kullanarak daha farklı bir deney daha yapmıştır. Bu deneyde viskoz ve granüler malzemenin serbest hareketini engellemek için deney setinin açık olan kenarlarını

kavuçuk malzeme ile kapatmıştır. Serbest hareketin engellendiği deney ile önceki deneylerin sonuçları arasında bazı önemli farklılıklar oluşmuştur.



Şekil 4.11 : Geniş ölçekli deformasyon deneyinde riedel faylarının oluşum evreleri ve özellikleri. a,b,c,d ve e süreçleri için sırası ile $\gamma=0.15, 0.19, 0.26, 0.37$ ve 0.60 değerindedir (Schreurs (2003)'den düzenlenerek alınmıştır).

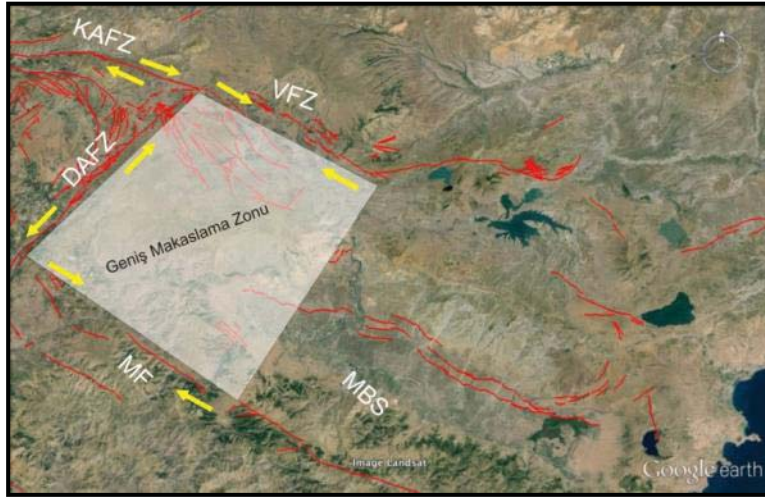
Yapılan kıyaslamalar sonucunda, ilk deneyde oluşan R makaslamlarının doğrultusunun 15° - 25° arasında hesaplayan araştırmacı, serbets hareketin engellendiği deneyde R makaslamlarının 28° - 35° arasına değişim gösterdiğini hesaplamıştır.

Bu değişim neticesinde R makaslamlarının birbirlerini üzerledikleri yerlerde oluşan yükselimlerin daha iyi gelişmesine yol açtığını ifade etmiştir. R'_L faylarının sigmoidal şekilde oluştuğunu ve bu faylar üzerindeki rotasyonun daha fazla olduğunu belirtmiştir. Araştırmacı elde ettiği sonuçları dünyada aktif makaslama

zonlarının geliştiği yerlerdeki gözlemler ile kıyaslayarak geniş deformasyon alanı olan doğrultu-atımlı makaslama zonlarının tanımlanması için yapısal kriterler önermiştir. Önerilen bu sonuçlar ile KÜE doğusunun karşılaştırılması, bölgenin doğrultu atımlı faylar denetiminde oluşan geniş bir deformasyon sahası olduğunu göstermektedir.

4.3.2 Makaslama zonlarında gelişen faylar ile KÜE doğusunun karşılaştırılması

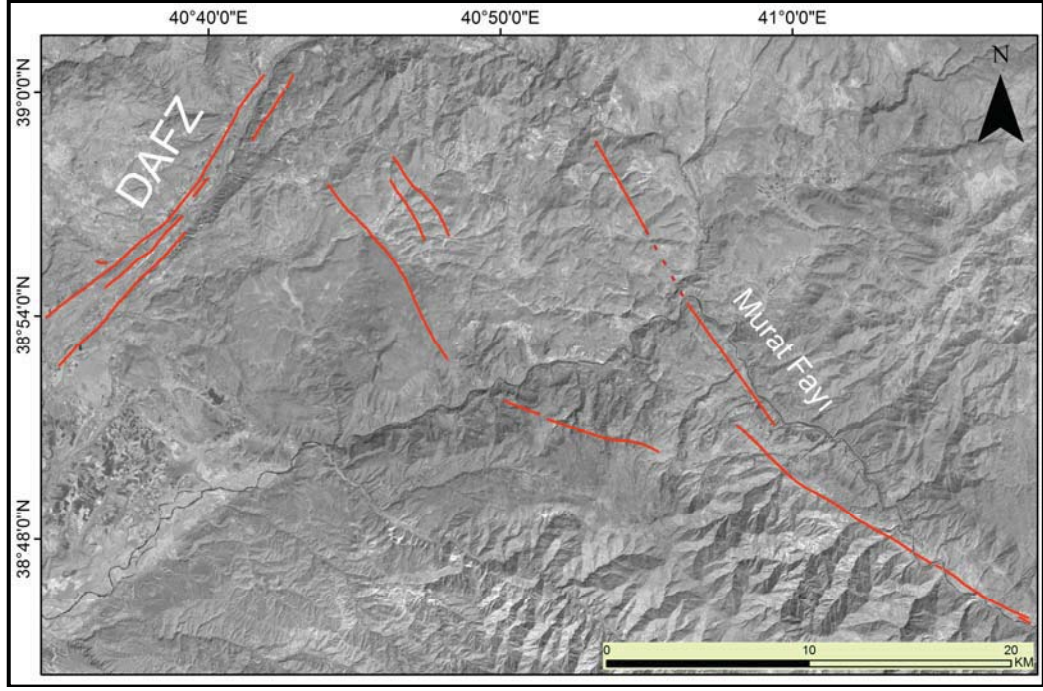
KÜE doğusundaki bölge, doğrultu atımlı faylar denetiminde gelişen geniş ölçekli alanların yapısal özellikleri (Schreurs, 2003) ile deneştirilerek anlatılacaktır. Geniş ölçekli deformasyon alanlarının en büyük özelliği deformasyonu yayacak mekanizmalardır. KÜE doğusunda yer alan ve VFZ'nin kuzey sınırını oluşturduğu makaslama zonunun, doğu sınırını DAFZ ve güney sınırını ise arazi çalışmaları ile özellikleri ortaya çıkarılmış Murat Fayı (MF) oluşturmaktadır (Şekil 4.12).



Şekil 4.12 : KÜE doğusunda yer alan geniş makaslama zonu beyaz gölgeli poligon ile gösterilmiştir (Faylar Emre ve diğ. (2102a ve b)'den alınmıştır).

Sağ yanal atımlı Murat fayı VFZ'nin yaklaşık 55 km güneyinde yer alır. İki koldan oluşan MF'nin ilk kolu Murat nehri vadisinin güney sınırında yer alır. K65B doğrultusunda olan bu kolun uzunluğu 18 km dir (Şekil 4.13). MF'nin bu kolu doğuda Muş Bindirme Sistemi'ne bağlanır (Şekil 4.12). Murat fayının diğer kolu Murat nehri vadisinin kuzey batı ucuna yakın olarak vadi içinden başlar ve K30B doğrultusunda 17 km devam eder (Şekil 4.13).

Murat fayının her iki kolu üzerinde uzaktan algılama ve arazi çalışmaları neticesinde çok sayıda güncel morfolojik yapının sağ yanal olarak deforme olduğu tespit edilmiştir.

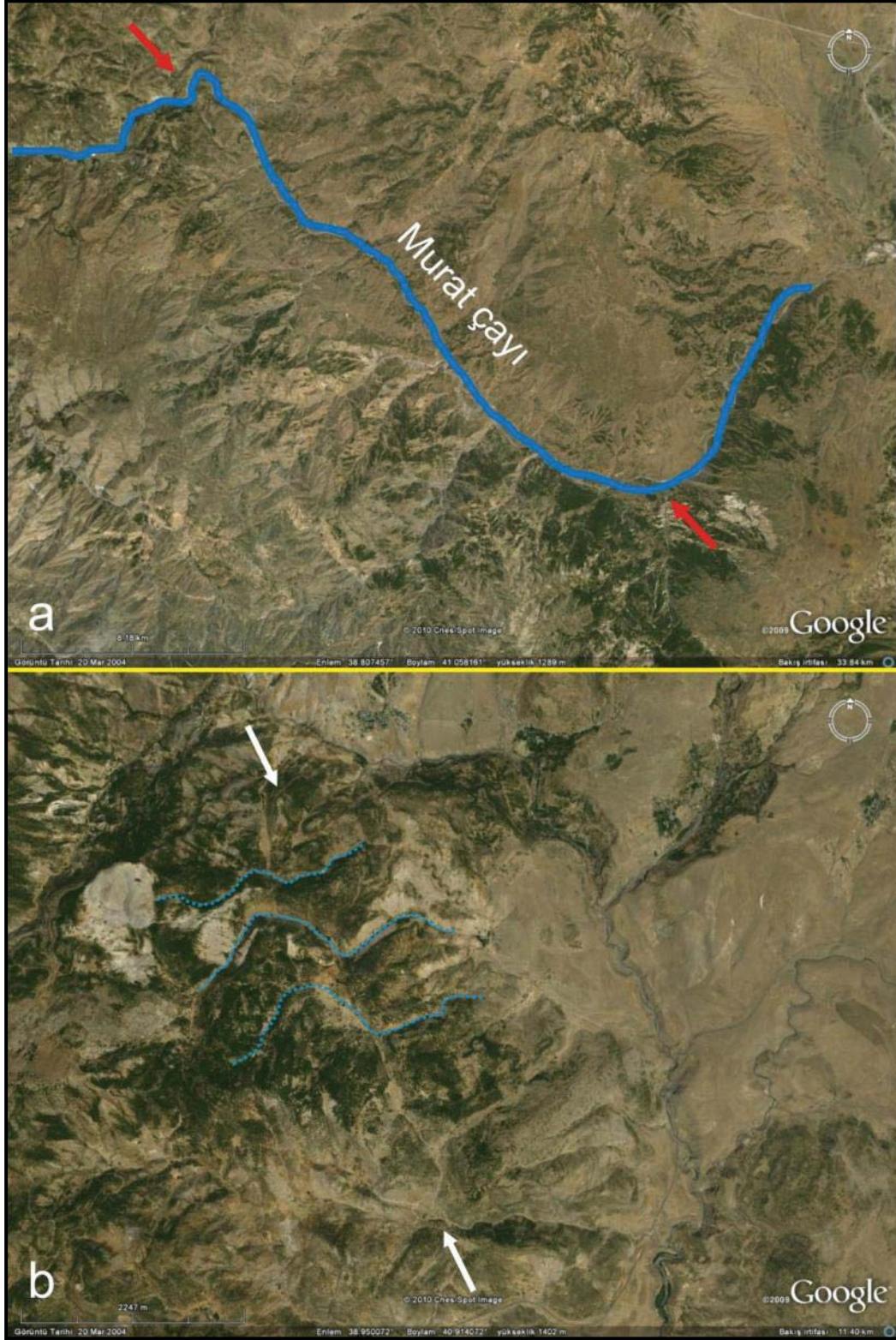


Şekil 4.13 : Murat fayının geometrisi (Landsat görüntülerinden üretilen taban harita üzerindeki faylar Emre ve diğ (2102a ve b)'den düzenlenerek alınmıştır).

Uzaktan algılama çalışmaları neticesinde K65B uzanımlı fay kolu üzerinde, yaklaşık 25 km ötelenen Murat çayının fay üzerinde kümülatif ötelenme miktarı en fazla olan morfolojik öge olduğu anlaşılmıştır. (Şekil 4.14a). K30B konumlu fay kolu üzerinde ise fay, batıya doğru devamında görülen 650 m ile 280 m arasında değişen dere ötelenmelerinin olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.14b). MF bu noktadan DAFZ'ye doğru devamında takip edilemez.

MF üzerinde yapılan arazi çalışmalarında faya ait deformasyon ürünleri arazide en iyi şekilde Murat çayı'nın vadisinde görülmüştür. Fayın arazideki ilk verileri olan ve Murat Çayı vadisinin batı ucunda görülen uzamış sırtların konumları dikkate alındığında fayın bu lokasyondaki uzanımını K63B olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.15).

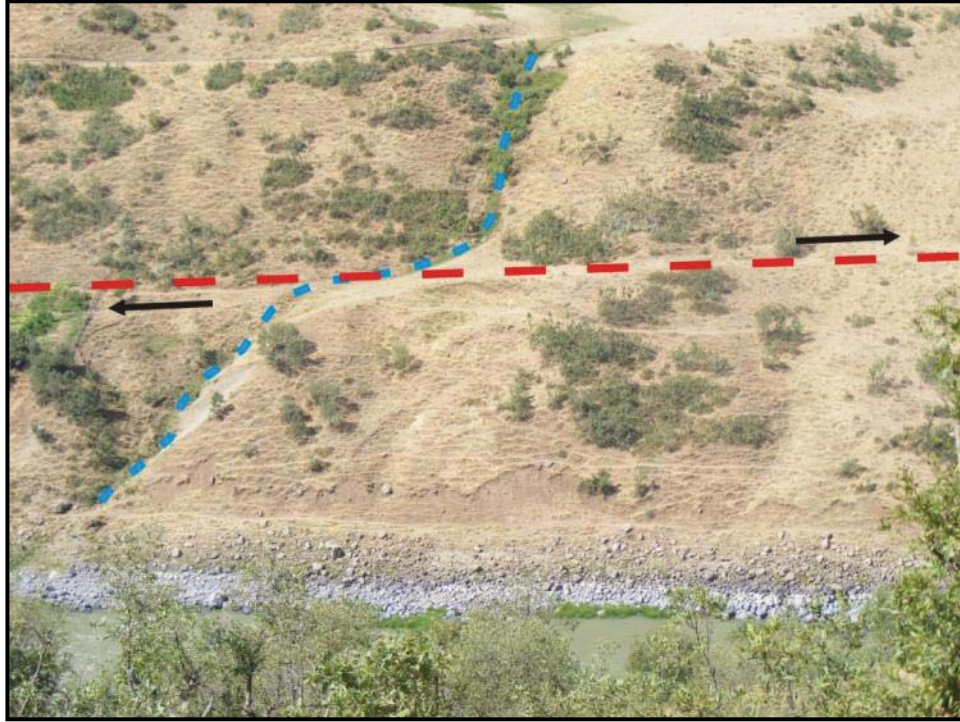
Aynı hattın devamında morfolojide görülen kırıklık ve buradaki yaklaşık 17 m'lik dere ötelenmesi fayın konumunun K60B olarak belirlenmesini sağlamıştır (Şekil 4.16)



Şekil 4.14 : MF'nin doğusunda Murat çayı 25 km ötelenir (a), fayın kuzeydoğuya doğru devamında görülen sistematik dere ötelenmeleri (b) her iki fay kolunun uzun dönem aktivitesinin belirteçleridir.



Şekil 4.15 : Murat çayı vadisinin batı ucunda MF denetiminde oluşmuş uzamış sırttan fayın konumu K63B olarak ölçülmüştür (KD bakış).



Şekil 4.16 : Murat çayı vadisinde 17 m'lik dere ötelenmesi ve morfolojideki kırıklık MF'nin belirgin izlerindedir (GB bakış).

Şekil 4.16'da gösterilen lokasyonun yaklaşık 3 km doğusunda, K62B doğrultusunda devam eden fayın konumu, Murat Çayı'na ait yaklaşık 120m ötelenmiş taraça kullanılarak çizilmiştir (Şekil 4.17).

KÜE'nin doğusunda yer alan bölgeyi, sınırlarının özellikleri itibari ile geniş bir makaslama zonu olarak tasvir etmek mümkündür.



Şekil 4.17 : Murat çayı terasında fayın denetiminde oluşmuş yaklaşık 120 m'lik sağ yanal ötelenme (KB bakış).

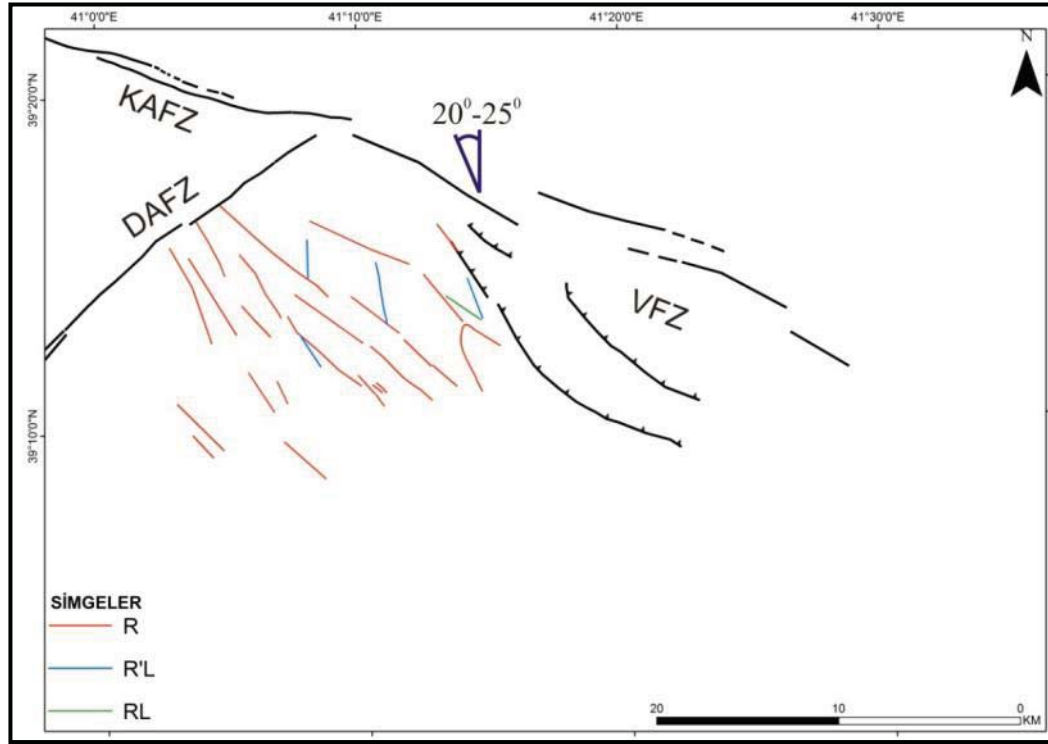
Geniş makaslama zonlarında görülen ikinci yapısal kriter ise birbirlerine paralel konumlanmış, aşma özelliği gösteren ve ana makaslama zonu ile aynı yönde yerdeğiştirmeye sahip R makaslamalarının varlığıdır (Schreurs, 2003).

VFZ'nin güneyinde yer alan ve VFZ'ye 11° - 13° açı ile gelen sağ yanal faylar birbirlerine yaklaşık paralel olarak konumlanmıştır (Şekil 4.18'de R fayları). Schreus, 2003 deneyindeki R makaslamaları ile deneştirilebilecek bu faylar bazen sola sıçramalı olarak bazende aşma şeklinde görülür. Deneysel çalışmalarda geniş deformasyon bölgesinin geneline yayılan R makaslamalarının, VFZ'nin sadece 20 km güneyine kadar olan alanda görülmesinin sebebi VFZ ve MF'nin Kuvaterner deformasyon oranlarının farkı ile ilişkilendirilmiştir.

R makaslamaları arasında oluşmuş göreceli daha genç ve atım yönü hem ana makaslama zonu hem de ana fayların tersi yönde olan ve harita görünümleri düz veya

sigmoidal şekilli R'_L faylarının varlığı geniş deformasyon zonlarının başka bir kriteridir.

VFZ güneyinde yer alan, R makaslamlarının sıçrama ve aşma yaptığı bölgelerde VFZ'ye görecel daha dik açı ile gelen sol yanal atımlı faylar gelişmiştir (Şekil 4.18'de R'_L fayları). Schreus (2003) deneyindeki R'_L fayları ile eşleştiren bu fayların harita görünüşleri düz çizgi şeklindedir.



Şekil 4.18 : KÜE doğusunda yer alan fayların özellikleri ve blok rotasyonunun yönü (mor çizgiler).

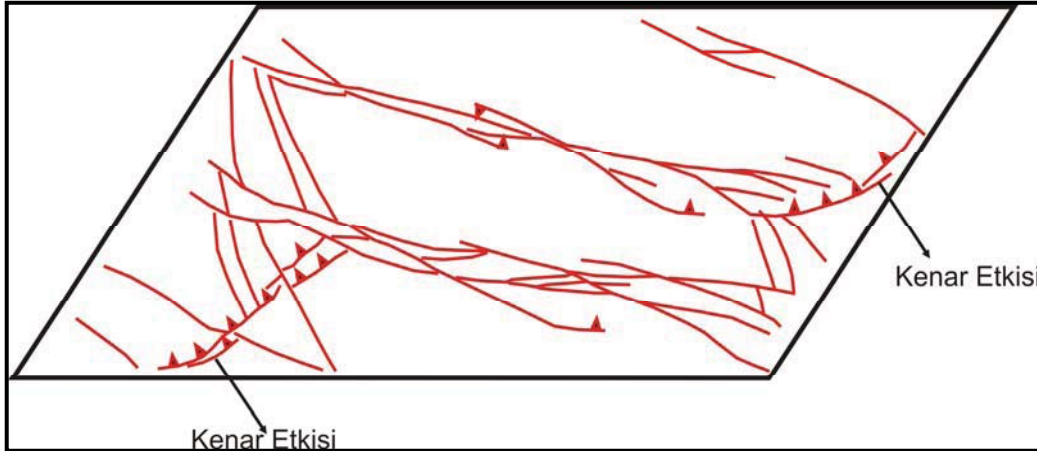
R'_L fayları üzerinde oluşan ötelenme miktarlarının R fayları üzerinde olan yer değiştirme miktarına kıyasla daha az olması (Schreurs, 2003) , KÜE doğusu içinde geçerlidir. VFZ güneyinde tanımlanan R fayları üzerinde atımın km ölçüğüne ulaştığını R'_L faylarında ölçülen atımlar bir kaç metredir.

Araştırmacının ileri sürdüğü bir diğer kriter ise ana makaslama zonu arasında blok rotasyonun meydana geldiğidir. Bu rotasyonun sebebi ise başlangıçta ana makaslama zonuna çok yüksek açı ile gelen R'_L faylarıdır VFZ 'nin Varto segmentine yakın yerlerden alınan numuneler üzerinde yapılan paleomanyetizma çalışmaları (Orbay, 1976) VFZ ve MF arasında kalan bölgenin saatin tersi yönünde 20°-25° arasında rotasyona uğradığını göstermektedir ((Tapırdamaz, 2013)sözlü görüşme).

Schreurs (2003) kriterleri VFZ içerisinde yer alan iki önemli bindirme bileşenli doğrultu atımlı fay olan Leylekdağ ve Çayçatı segmentlerini açıklayamamaktadır.

Zira saf bir makaslama zonunda gelişen yapılar arasında bindirme veya bindirme bileşenli yanal atımlı faylar tanımlanmamıştır.

Arabistan levhası ve Avrasya Levhası arasında sıkışan bölgenin transpresyonel bir zon olması daha güçlü bir ihtimaldir. Bu nedenle KÜE doğusundaki faylar transpresyonel zonlarda gelişen faylar ((Schreurs ve Colletta, 1998); Şekil 4.19) ile de kıyaslanmıştır.



Şekil 4.19 : Transpresyonel ortamlarda gelişen faylar (Schreurs ve Coletta (1998)'den düzenlenerek alınmıştır).

Yapılan transpresyonel özellikli deneyde (Schreurs ve Colletta, 1998) normal makaslama zonu deneyinde görülmeyen bazı yapılar gelişmiştir Şekil 4.19'da görüldüğü gibi iki farklı makaslama zonu gelişmiştir. Her bir zon içerisinde oluşan R makaslama zonlarının aşma veya üzerleme yaptığı yerlerde ayrıca makaslama zonları arasında da sol yanal R'_L doğrultu atımlı fayları gelişmiştir. Her makaslama bölgesi ana makaslama zonuna 24^0-30^0 arasında açı ile oluşmuştur. Söz konusu makaslama zonları içerisinde gelişen bazı R faylarının bir ucunda taban blok olan bölümün diğer ucunda tavan blok olduğu bilgisayar kontrollü manyetik rezonans taramaları ile ortaya çıkarılmıştır. Deformasyonun ilerlemesi ile birlikte bazı R faylarının oblik ters fay özelliğine geçtiği belirtilmiştir.

KÜE doğusunda yer alan Leylekdağ ve Çayçatı segmentleri transpresyonel zon içerisinde oldukça anlamlı bir konuma gelmektedir. Bu bakış açısı ile söz konusu segmentlerin önceleri R makaslama zonları gibi sağ yanal olarak çalıştığı, daha sonra ise bindirme bileşenli sağ yanal fay olarak hareketine devam ettiğini düşündürmektedir. Zira 1966 Varto depreminin odak mekanizması çözümü oblik bindirme karakterini ortaya koymaktadır (Tan ve diğ., 2008).

4.4 Deneysel Çalışmalar

4.4.1 Giriş

Analog model çalışmaları, jeolojik yapıların evrimlerinin anlaşılmasında kullanılan etkili yöntemlerden biridir. Model çalışmaları sırasında oluşan yapıların hassas bir şekilde dört boyutlu olarak takip edilebilmesi, sonuçların gerçek durumlar ile karşılaştırılmasında diğer yöntemlere göre daha avantajlıdır.

Bu tez kapsamında, KÜE civarında Kuvaterner'den bu yana olan mekanik evrimi anlamak için farklı analog model çalışmaları yapılmıştır. Analog model deney setleri kurgulanırken KÜE batısı ve doğusu için ileri sürülen faylanma mekanizmalarına ait hipotezlerin aynı anda test edilebileceği düzenekler oluşturulmaya çalışılmıştır. Bu düzeneklerde kullanılan malzemeler üst kabukta meydana gelen deformasyon özelliklerini anlamak üzere seçilmiştir. Düzeneklerin boyutları manyetik rezonans cihazının içine girebilecek ölçüde dizayn edilmiştir.

Yapılan deneylerde kullanılan granüler ve viskoz malzemelerin özellikleri (Çizelge 1.1) ile Schreurs (1998) ve Schreurs (2003) deneylerinde kullanılan malzemeler ile benzer olarak seçilmiştir. Aradaki fark bu tez çalışması kapsamında yapılan deneylerde granüler malzeme ardalanması kuvars kumu-korundum kumu-kuvars kumu şeklindedir. Korundum kumu veya cam tozu kullanılması manyetik rezonans taramalarında elektrik iletkenliği farkından dolayı iyi sonuçlar vermektedir. Deneylerde oluşan yapılar üzerinde etkileri yoktur. Araştırmacı çalışmalarında söz konusu malzemeler ile kurgulanan deney setlerindeki 1 cm'nin gerçekte 10 km'ye karşılık geldiğini belirtmiştir.

KÜE'nin hem batısı hem de doğusu için önerilen faylanma mekanizmalarının her ikisi de deformasyonun geniş alanlara yayıldığını ortaya koymaktadır. KÜE batısının mekanizmasının açıklanması için ileri sürülen pasif hücre modelindeki eksponansiyel kayma hatları ile deneştirilen Bahçeli ve Toklular fayları ve KÜE doğusunda yer alan R ve R'_L fayları ancak deformasyonun geniş bölgelere yayıldığı durumlarda ortaya çıkmaktadır.

KÜE civarındaki faylanmanın mekaniğini anlamak için üç farklı deney yapılmıştır. Deneylere ait her türlü verinin (fotoğraflar ve manyetik rezonans taramaları) orjinallerine anlatım sırasında verilecek kodlar yardımı Bern Üniversitesi, Tektonik Modelleme Laboratuvarı sorumlusu Doç. Dr. Guido SCHREURS vasıtası ile ulaşılabilir. Yapılan analog model çalışmalarında deney düzenekleri kurgulanırken

öncelikle deformasyonun dar bir zonda olduğu kabul edilmiş ve bu durumda gelişen faylar incelenmiştir. Deformasyon zonun dar olduğu durumları modellemek için iki deney (Deney-1 ve Deney-2) seti kurgulanmıştır. Deformasyon zonun geniş olduğu durum için ise bir deney (Deney-3) seti oluşturulmuştur. Deney sonuçları KÜE'nin hem batısında hem de doğusunda deformasyonun dar bir alana sıkışamayacağını aksine geniş bölgelere yayılım göstermesi gerektiğini ortaya çıkarmıştır. Ayrıca geniş makaslama zonlarındaki deformasyonun her yerde aynı özelliği göstermemesinin nedeni deformasyonu yaratan mekanizmaların aynı veya yakın deformasyon oranına sahip olmamasından kaynaklı olduğu, yapılan deneyler ile KÜE özelinde bir defa daha gösterilmiştir

4.4.2 Deney-1

4.4.2.1 Deney-1 setinin tasarımı

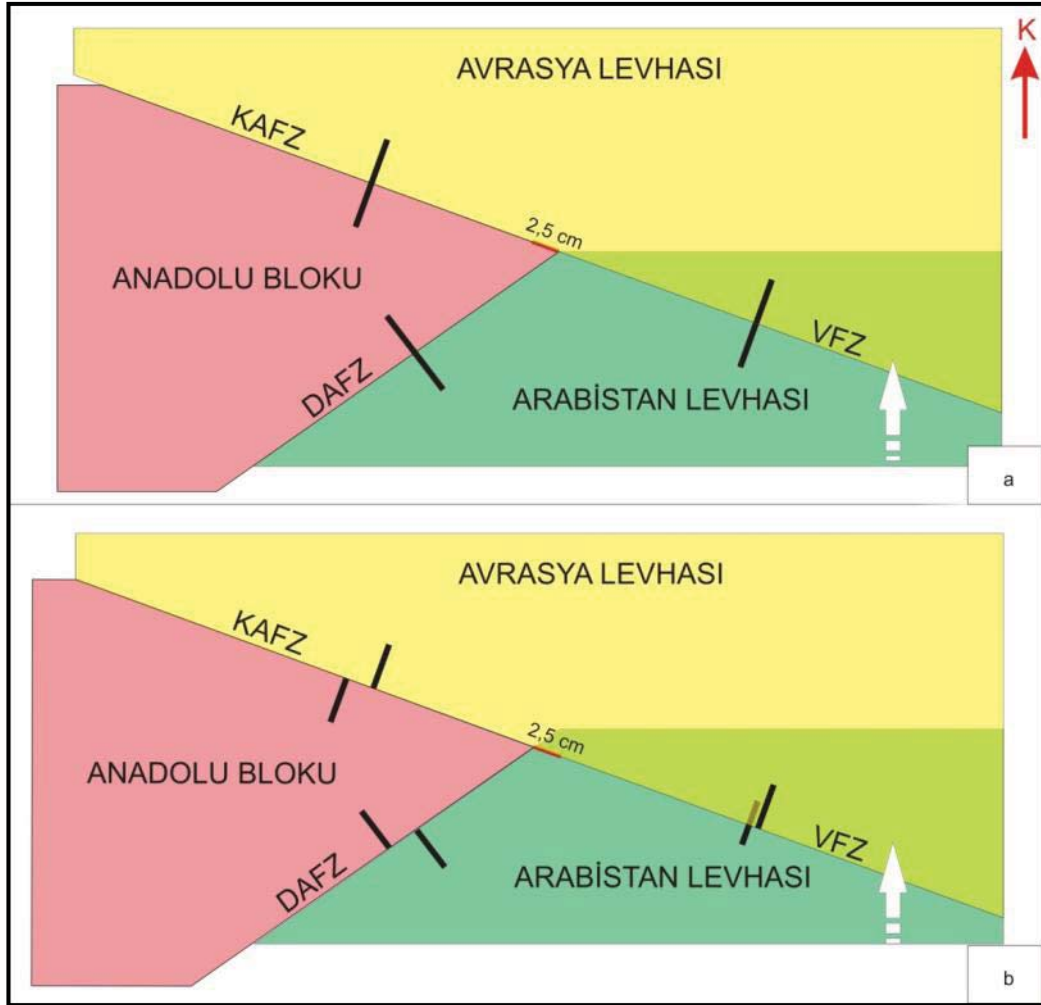
KÜE civarının mekanik evrimini anlamak için kurgulanan ilk deney seti (Şekil 4.20) bilgisayarlı tomografi taraması yapılabilmesi için 100 cm uzunluğunda ve 50 cm genişliğinde oluşturulmuştur. Deney seti üzerinde yer alan ve farklı renkte gösterilen tektonik yapılar 120 gr'lık karton ile üretilmiştir. Deney-1, Anadolu blokunun KAFZ ve DAFZ boyunca batıya kaçtığını, Arabistan levhasının ise kuzey doğru dik olarak hareket ettiğini varsayarak kurgulanmıştır. Deney setinde KAFZ ve VFZ'nin doğrultuları K70D, DAFZ'nin doğrultusu ise K65D olarak kabul edilmiştir.

Bu deneyde deformasyonun granüler malzeme üzerine eşit yayılmasını engellemek amacı ile veya başka bir deyişle deformasyonun sadece tektonik yapıların sınırlarında oluşmasını sağlamak amacı ile viskoz materyal olan polidimetilsiloksan kullanılmamıştır (Şekil 4.21).

Anadolu blokunun batıya kaçması KAFZ üzerinde 2,5 cm'lik sağ yanal hareket oluşturularak sağlanmıştır (Şekil 4.20 a ve b). Deney sırasında Avrasya levhası sabit tutulmuştur. Anadolu blokunun KAFZ boyunca hareket ettirmek için bilgisayar kontrollü Faulhaber marka motor kullanılmıştır

Motor ile blok arasındaki bağlantı Bern Üniversitesi metalurji laboratuvarlarında üretilmiş esneme miktarı çok az olan bir ip kullanılarak sağlanmıştır.

Anadolu blokunun batıya kaçması sırasında, Arabistan levhası ile olan sınırında bir boşluk oluşmayacak şekilde levha kuzeye doğru dik olarak hareket ettirilmiştir. Bu durumda sınırı temsil eden DAFZ üzerinde 2,7 cm'lik atım oluşmuştur (Şekil 4.20b)



Şekil 4.20 : Deney-1 setinin deformasyon öncesi (a) ve deformasyon sonrası (b) durumlarının plan görüntüsü (Beyaz ok Arabistan levhasının hareket yönünü gösterir).

Arabasitan levhasını kuzeye hareket ettirmek için Bern Üniversitesi teknik birimlerince üretilen sabit hızlı motorlar kullanılmıştır. Sabit hızlı motorlar ile Arabistan levhası arasındaki bağlantı tahta çubuklar ile sağlanmıştır. Hareketin homojen olarak dağıtılması için üç tane tahta kullanılmıştır (Şekil 4.22). Sonuçta VFZ üzerinde ise oluşan bindirme bileşenin, yanal atım bileşenine göre oldukça fazla olduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 4.20).

Deney setinde tektonik yapıları temsil eden kartonların üzerine 3 cm kalınlığında granüler malzeme serilmiştir. Granüler malzemeler eşit kalınlıkta olacak şekilde en altta kuvars kumu üstüne korundum kumu ve tekrar kuvars kumu ardalanması şeklinde serilmiştir (Şekil 4.21).



Şekil 4.21 : Deney-1 setinin ön perspektif görünüşünden kullanılan granüler malzemenin kalınlıklarını gösteren plan.

Granüler malzeme dökülürken, tabanına 2 mm çapında toplam 30 tane delik açılmış plastik bardak kullanılmıştır. Plastik bardak deney setinin 25-35 cm üzerinden deney setinin uzun eksenine paralel hareket ettirilerek, granüler malzemenin dökülmesi sağlanmıştır. Granüler malzeme üzerine mavi renkli kum kullanılarak 5 cm x 5cm boyutlarda karelaj yapılmıştır (Şekil 4.22)



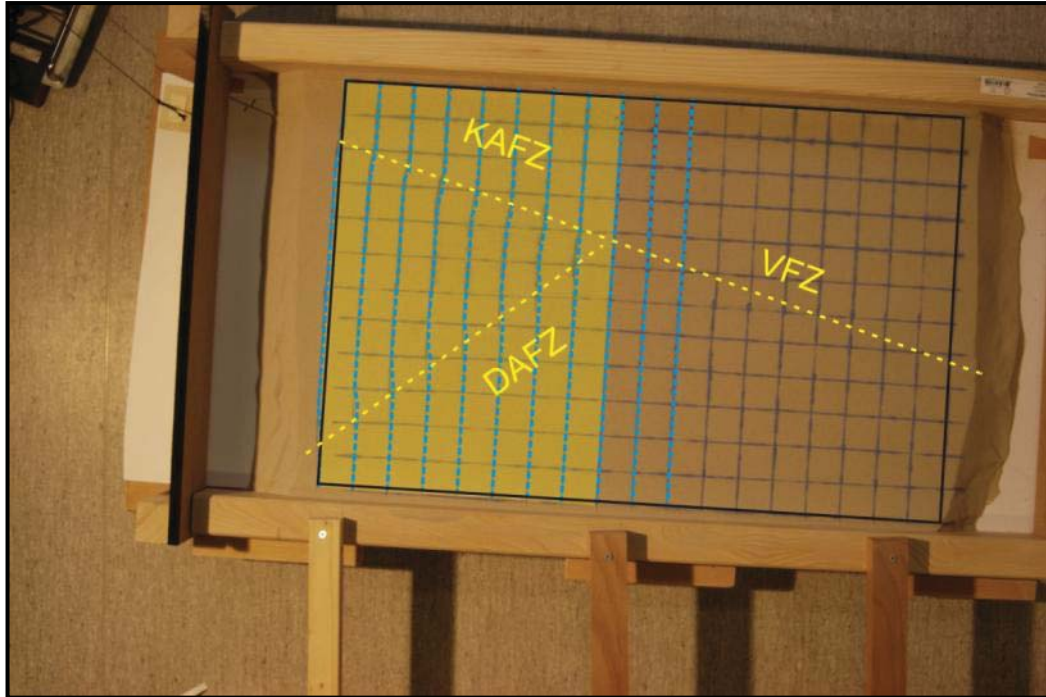
Şekil 4.22 : Deney-1 setinin deformasyon öncesi durumunun gerçek görüntüsü.

Deney-1 Bern üniversitesi Tektonik Modelleme Laboratuvarı'nda 22.07.2011 tarihinde yapılmıştır. Saat 11:02'de başlayan deney 13:02'de sona ermiştir. Deney, adı geçen laboratuarda *Experiment 397* olarak kayıt altına alınmıştır. Deney süresince 43 adet fotoğraf çekilmiştir. Fotoğrafların yorumsuz görüntüleri ve bu fotoğraflardan üretilen animasyon tezin ekinde bulunan CD-ROM içerisinde yer almaktadır.

4.4.2.2 Deney-1 sonuçları

Deney-1'de gelişen yapıların anlatılması için seçilen resimler üzerinde çizimler yapılmıştır.

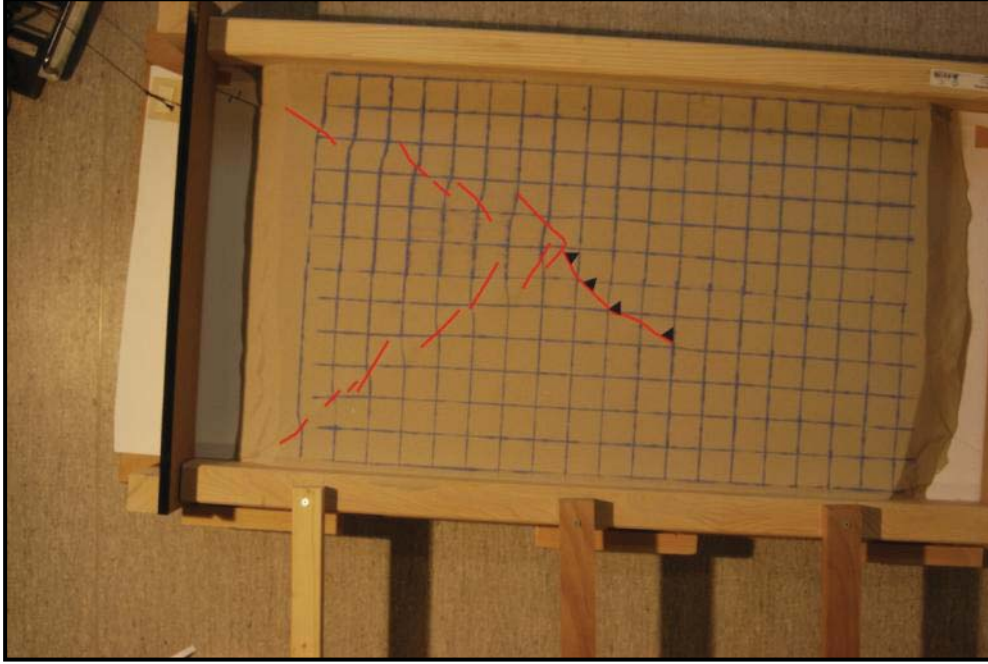
Deney-1 başladıktan 21 dk sonra (saat 11:23) çekilen fotoğrafta granüler malzemedeki ilk deformasyonlar malzeme üzerindeki karelaj çizgilerinde belli olur. Fotoğrafın sol tarafında kalan boyuna çizgilerde KAFZ ve DAFZ boyunca deformasyon oluşurken sağ tarafında kalan çizgilerde yani VFZ boyunca henüz deformasyon başlamamıştır (Şekil 4.23)



Şekil 4.23 : Deney-1 setinde deformasyon başladıktan 21 dk (11:23) sonra oluşan deformasyonlar setin tabanında belirlenmiş KAFZ ve DAFZ boyunca gelişmiştir (Sarı çizgiler taban faylarının yaklaşık konumunu gösterir).

Anadolu blokunun sola gitmesi (batıya kaçışı) ile birlikte KAFZ boyunca boyunca karelaj çizgilerinin sağ yanal olarak hareket etmesine neden olurken çizgilerin DAFZ'yi kestiği yerde sol yanal deformasyonlar gelişmiştir (Şekil 4.23).

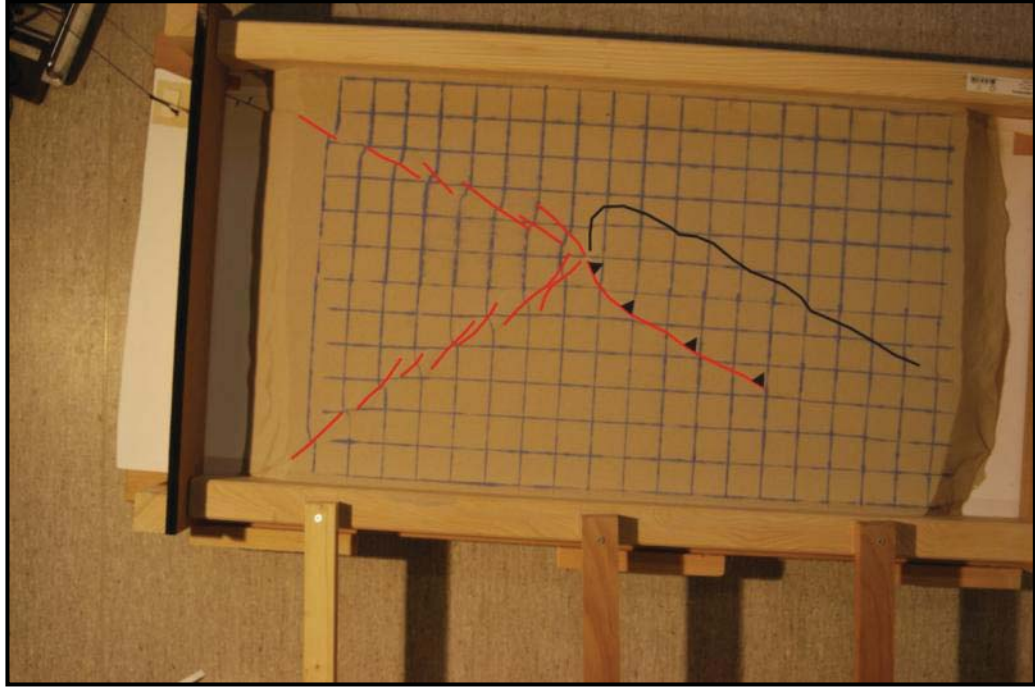
Deney-1'in saat 11:29 görüntüsünde (Şekil 4.24) KAFZ ve DAFZ üzerinde aynı anda ilk R makaslamaları oluşmuştur. KAFZ üzerinde oluşan sağ yanal R fayları



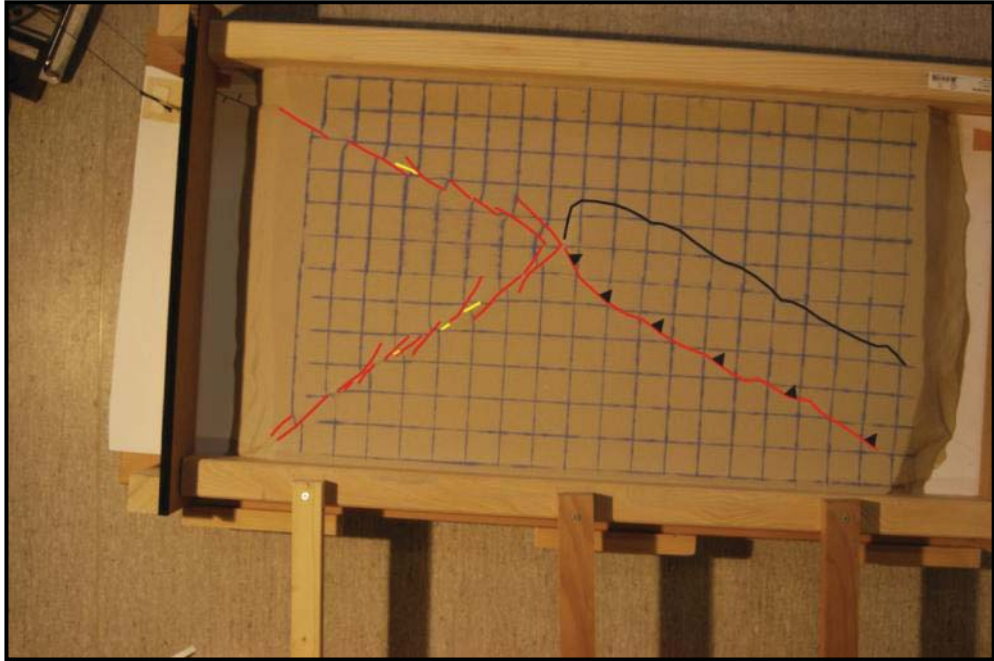
Şekil 4.24 : Deney-1 setinde saat 11:29'da (27 dk sonra) oluşan deformasyonlar

sola aşmalı veya sıçramalı devam ederken DAFZ üzerindeki sol yanal R fayları ise genelde sağa sıçramalı olarak oluşmuştur. Oluşan R makaslamalarının ortalama boyu granüler malzeme kalınlığının yaklaşık iki katı ve doğrultuları taban faylarına yaklaşık 21° açı yapacak şekilde gelişmiştir. VFZ üzerinde saf bindirme fayları oluşmuştur. Deney setinin her iki ucunu sınırlayan boyuna karelaj çizgilerinin dışında kalan alanlarda oluşan deformasyonlar kenar etkisi sonucunda oluşmuştur.

Devam eden deformasyon KAFZ ve DAFZ üzerindeki R makaslamalarının uzamasına ve aşma miktarlarının artmasına neden olmuştur (Şekil 4.25). DAFZ üzerinde daha fazla olan aşma miktarlarından dolayı R makaslamaları arasında gelişen lokal yükselimler oldukça belirgindir. VFZ deney setinin sağ alt köşesine doğru uzamaya devam ederken ortaya VFZ'nin etkisinde oluşan yükselimin üst sınırı daha belirgin şekilde oluşmuştur (Şekil 4.25'de siyah çizgi ile gösterilen sınır). Bu aşamada R faylarının uç kısımlarında oluşan düşey yer değiştirme yönü farklıdır.



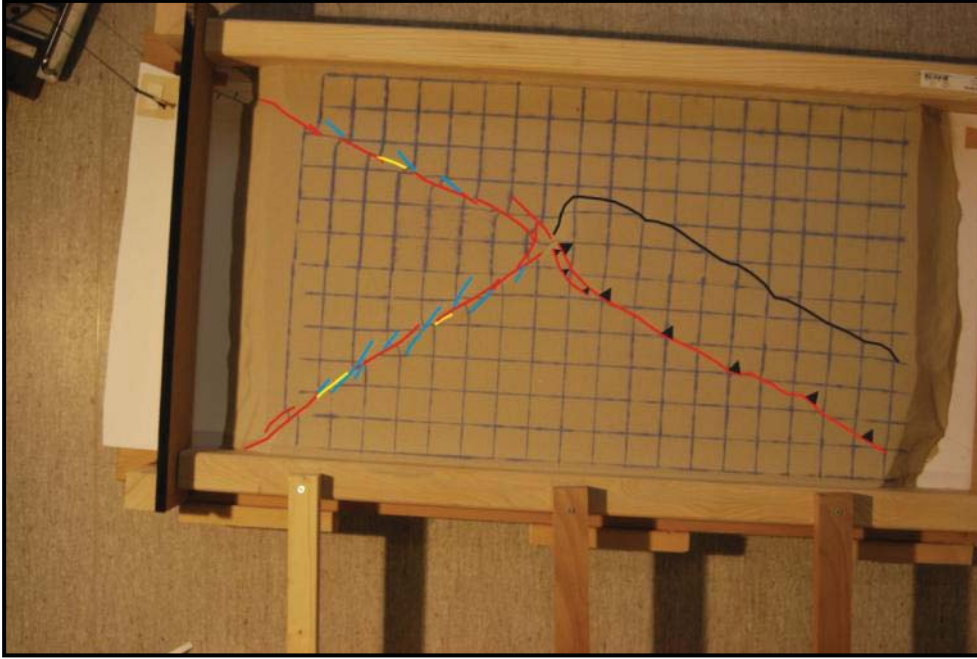
Şekil 4.25 : Deney-1 setinde saat 11:43'de (41 dk sonra) oluşan deformasyonlar Artan deformasyon KAFZ üzerinde oluşan R makaslamalarının aşma yaptığı yerlerde sağ yanal R_L faylarını oluştururken, DAFZ üzerinde ise aynı şartlarda sol yanal R_L faylarını oluşturur (Şekil 4.26'da sarı renkli faylar). R makaslamaları R_L fayları ile birbirlerine bağlanmaya başlar.



Şekil 4.26 : Deney-1 setinde saat 11:49'da (47 dk sonra) oluşan deformasyonlar (Sarı faylar R_L makaslamalarını temsil eder).

DAFZ üzerinde daha fazla gelişen R makaslamalarından dolayı sol yanal R_L fayları daha fazladır. Bu durum DAFZ üzerinde birincil yer değiştirme zonun daha belirgin olmasına neden olmuştur. VFZ ise deney setinin tabanına yer alan taban fayı boyunca uzanımını bitirmiş ve yukarısında kalan granüler malzemeyi daha da yükseltmiştir (Şekil 4.26).

Gelişen deformasyon ile birlikte R makaslamalarının uç noktalarında, taban faylarına 30^0 'den fazla açı ile oluşan kısa ömürlü faylar daha belirgin olmaya başlamıştır (Şekil 4.27'de mavi renkli faylar).

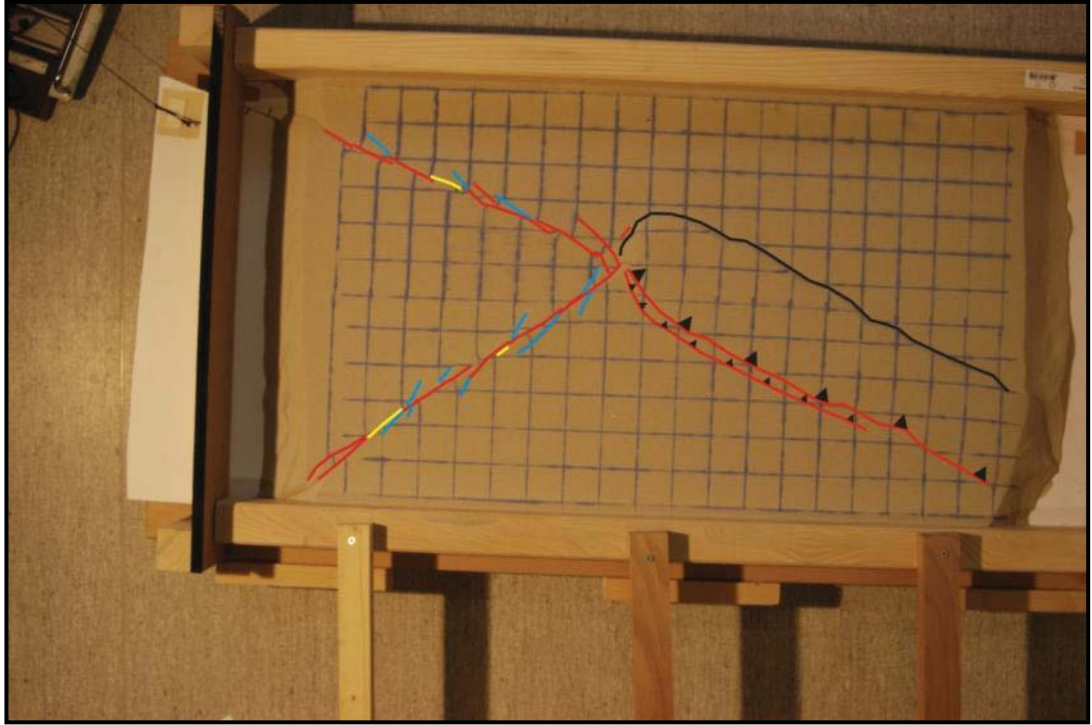


Şekil 4.27 : Deney-1 setinde saat 11:59'da (57 dk sonra) oluşan deformasyonlar (Sarı faylar R_L makaslamalarını mavi faylar ise kısa ömürlü fayları temsil eder).

KAFZ ve DAFZ üzerindeki birincil yer değiştirme zonu iyice belirgin duruma gelmiştir. R_L fayları ile birleşen R makaslamalarının uç kısımlarında oluşan kısa ömürlü faylar KAFZ'nin sadece kuzeyinde oluşurken, DAFZ'nin hem kuzeyinde hem de güneyinde oluşmuştur. Kısa ömürlü faylar ile R makaslamaları arasında kalan bölgede ise yükseltiler her iki fay zonu için daha da belirgin olmuştur. VFZ nin güneyinde yeni bir bindirme hattı gelişmeye başlamıştır (Şekil 4.27)

Deneyin 77. dakikasında DAFZ üzerinde oluşan R makaslamaları R_L fayları yardımı ile birleşmiş ve taban fayına neredeyse paralel konuma gelmiştir. Kısa ömürlü fayların birincil yer değiştirme zonu ile ayrılması daha belirginleşmiştir (Şekil 4.28).

KAFZ üzerinde ise birincil yer değiştirme zonu henüz oluşmamasına rağmen R makaslamlarının birleşmesi, bu fayların taban fayına 3^0 - 7^0 arasında açı ile oluşumunu sağlamıştır (Şekil 4.28).



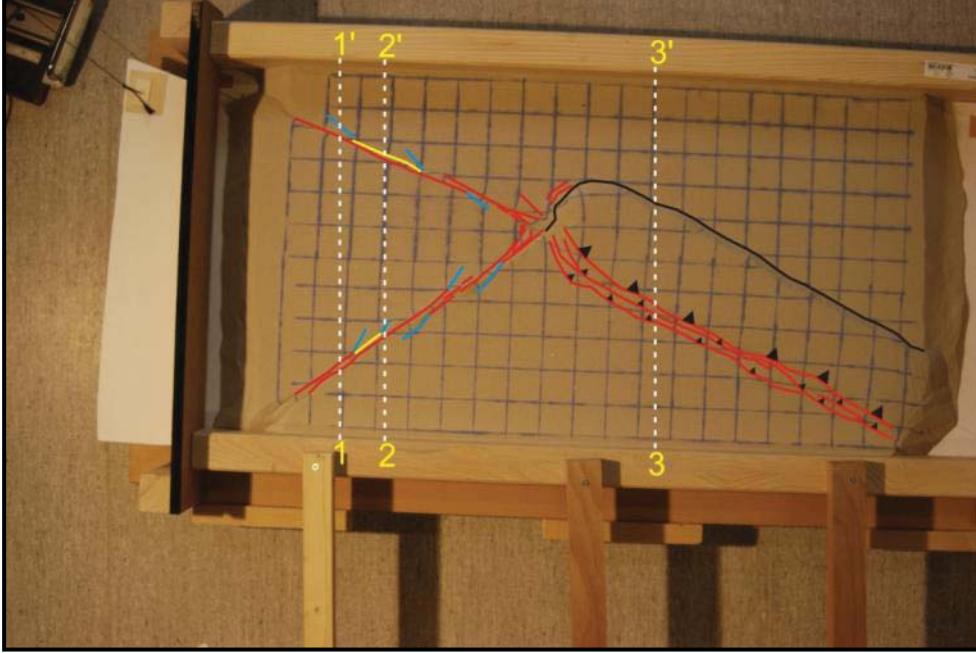
Şekil 4.28 : Deney-1 setinde saat 12:19'da (77 dk sonra) oluşan deformasyonlar (Sarı faylar R_L makaslamlarını mavi faylar ise kısa ömürlü fayları temsil eder).

VFZ güneyinde oluşan ikinci bindirme zonu ilkinde paralel konumda ilerlemesine devam etmiştir. VFZ içinde oluşan iki bindirme hattının eğim yönü deney setinin üst kısmına doğrudur.

İlk deneyin 97. dakikasında KAFZ'ye ait birincil yer değiştirme zonu oluşumunu tamamlamıştır (Şekil 4.29). Bu bölgedeki ötelenmelerin neredeyse tamamı artık birincil yer değiştirme zonu üzerinde gelişir. KAFZ ve DAFZ üzerindeki R_L fayları her iki fay zonuna ait birincil yer değiştirme zonu ile tamamen kaynaşmıştır. Kısa ömürlü faylar üzerinde artık ötelenme olmazken, bu faylar ile R fayları arasında kalan bölgelerde yükselme devam etmektedir (Şekil 4.29)

VFZ üzerinde ise ikinci bindirme kuşağı taban fayı boyunca uzanımını tamamlamıştır. VFZ üzerinde gelişmeye başlayan üçüncü bindirme hattı önceden oluşan iki bindirmeye paralel şekilde ve setin üst kesimine eğimli olarak oluşmaya başlamıştır.

Üst sınırının Şekil 4.29'da gösterilen siyah çizginin alt sınırının ise bindirme hatlarının oluşturduğu bölge daha da yükselmiş fakat yükselen bölgede yanal atım yapıları gelişmemiştir.



Şekil 4.29 : Deney-1'in son durumunda oluşan deformasyonlar (Sarı faylar R_L makaslamalarını mavi faylar ise kısa ömürlü fayları temsil eder).

Deney-1'in son durumunda KAFZ ve DAFZ üzerindeki birincil yer değıştirme zonları tamamen belirgin olmuştur. Oluşan birincil yer değıştirme zonları ile taban fayları arasındaki açı 0^0-3^0 arasındadır. Kısa ömürlü faylar çizgisel olarak granül malzeme üzerinde görülmesine rağmen deneyin son yarım saatinde nerdeyse hiç büyümemişlerdir. R makaslamaları ile aralarında oluşan antiformal yapıların yükselim hızları ise çok aza inmiştir. R_L fayları ise artık birncil yer değıştirme zonlarından ayırt edilemez duruma gelmiştir. VFZ üzerindeki üç bindirme hattı taban fayı boyunca uzanımlarını tamamlamıştır.

Deney-1'in sonucu ile KÜE civarındaki fay geometrisi arasındaki tek benzerlik KAFZ ve DAFZ'nin ana kollarıdır. Deneyde KAFZ ve DAFZ dar bir zonda oluşmuştur (Şekil 4.30).

KAFZ ve DAFZ'nin harita görünümünde (EK-1) fay zonlarına ait ana kolların ikincil faylardan belirgin bir şekilde ayrıldığını ve daha dar bir alanda oluştuğu görülür. Deney sonunda hem KAFZ hem de DAFZ üzerinde R makaslamaları ile kısa ömürlü faylar arasında kalan bölgede oluşan antiformal şekilli yükselimler



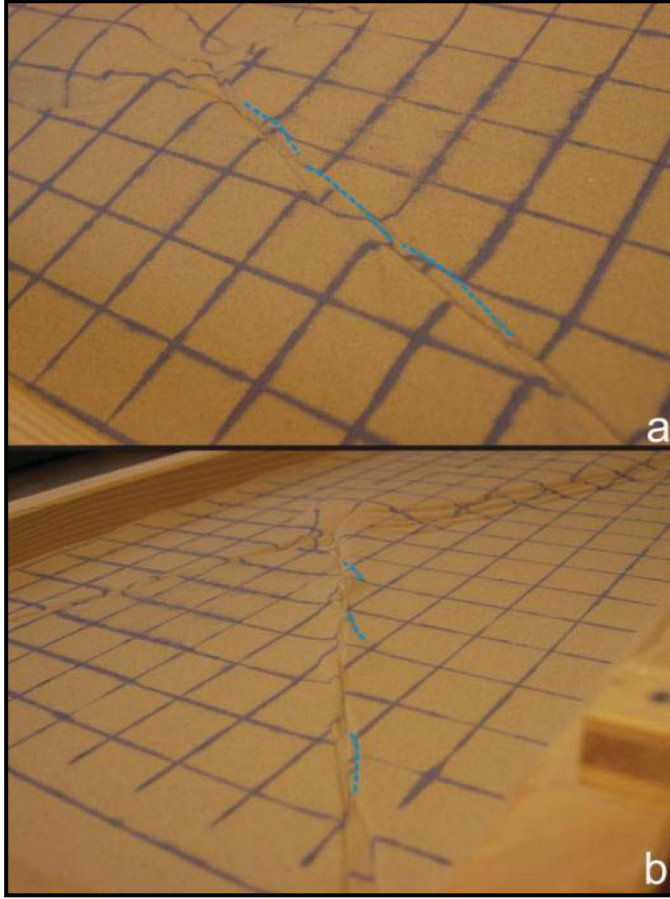
Şekil 4.30 : Deney-1'in son durumunda KAFZ ve DAFZ'yi temsil eden fay kolları dar bir zon içerisinde oluşmuştur.

korunmuştur (Şekil 4.31a ve b). Deney-1 süresince KAFZ ve DAFZ arasındaki ikincil faylar ile deneştirilebilecek yapılar oluşmamıştır.

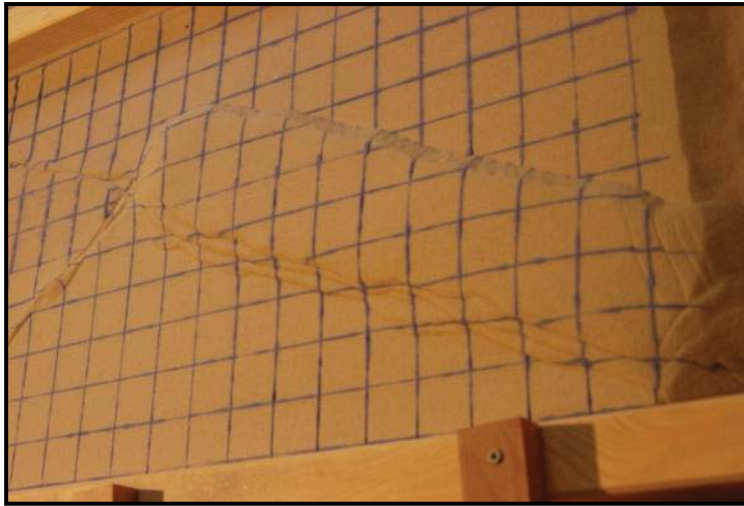
Deneyde VFZ geniş bindirme zonu biçiminde oluşmuştur. Deney-1 sonunda VFZ'yi temsil eden taban fayına ve birbirlerine paralel, üç bindirme sistemi oluşmuştur. Oluşan bindirmeler kuzeye doğru eğimlidir (Şekil 4.32). Deney setinde VFZ'nin yukarısında oluşan yükselimin üst sınırı (Şekil 4.29'da siyah çizgi) ise güneye doğru eğimlidir. Bu durum VFZ'nin harita görünümü ile uyumlu değildir. Ayrıca VFZ güneyinde gerçekte var olan fay sistemleri veya makaslama zonunu temsil edecek yapılar bu deney süresinde oluşmamıştır (Şekil 4.32).

Deney sonunda elde edilen model bilgisayarlı tomografi ile taranmış ve yüzeyde gözlenen fayların derine doğru devamı incelenmiştir. Şekil 4.29'da 1-1',2-2' ve 3-3' profiller boyunca üç boyutlu kesitler alınmıştır (Şekil 4.33).

Üzerinde sağ yanal ötelenme gelişen kısa ömürlü faylar ile R makaslamlarının arasında kalan bölgenin yükselmesi bu iki faydan birinin veya ikisinin düşey bileşeni olmasını gerektirir. Şekil 4.29'da 1-1' kesiti KAFZ'ye ait kısa ömürlü faylardan birini de keser. Alınan kesit, kısa ömürlü fayların üzerindeki hareketin bindirme bileşenini net şekilde ortaya koyar. Dolayısı ile KAFZ üzerinde birincil yer değiştirme zonuna paralel konumlanmış antiformal şekilli yükselimselin, kısa ömürlü fayların bindirme bileşenli sağ yanal hareketinden ortaya çıktığı anlaşılmıştır. Bu kesit doğrultusunda

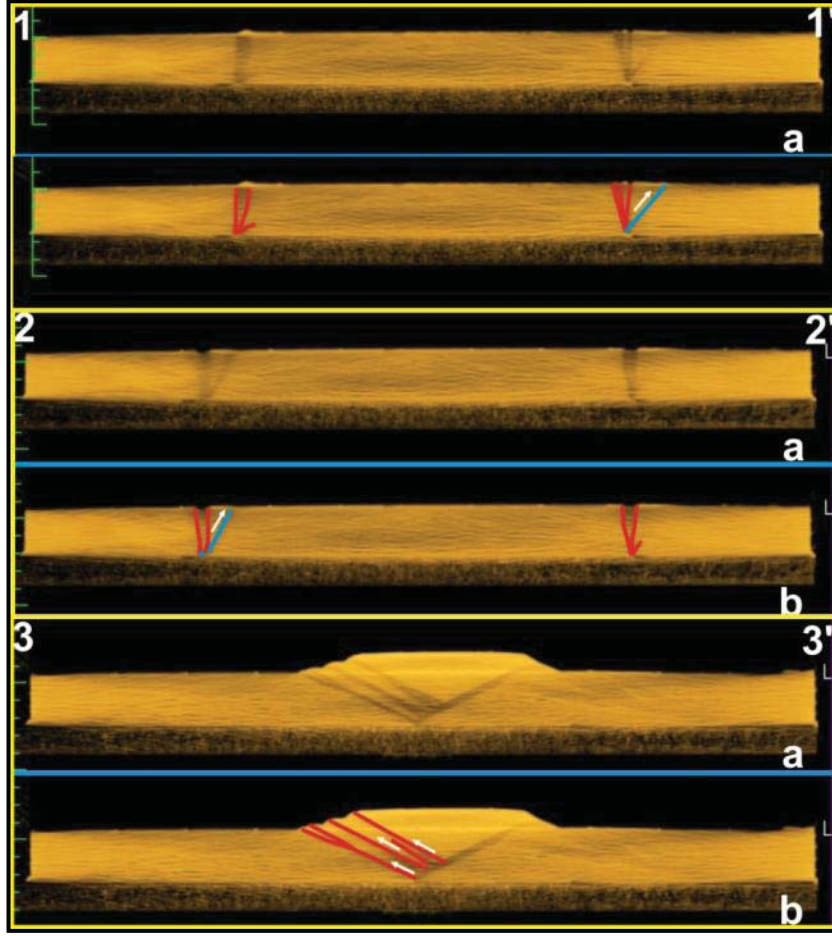


Şekil 4.31 : Deney-1'in son durumunda KAFZ (a) ve DAFZ (b) üzerinde oluşmuş antiformal yükselimler (Mavi kesikli çizgiler kısa ömürlü fayları temsil eder).



Şekil 4.32 : Deney-1'in son durumunda VFZ'nin perspektif görünümü.

gözlenen KAFZ ve DAFZ'nin ana kolallarının derine doğru 90^0 'ye yakın eğimle devam ettiği görülmektedir.



Şekil 4.33 : Deneysel-1'in son durumunda yapılan bilgisayarlı tomografi taramalarına ait kesitler (1-1',2-2' ve 3-3' ile gösterilenler Şekil 4.29'da verilmiş kesit yönlerini, a kesitlerin yorumlanmamış, b ise yorumlanmış durumunu gösterir. Mavi çizgiler kısa ömürlü fayları temsil eder).

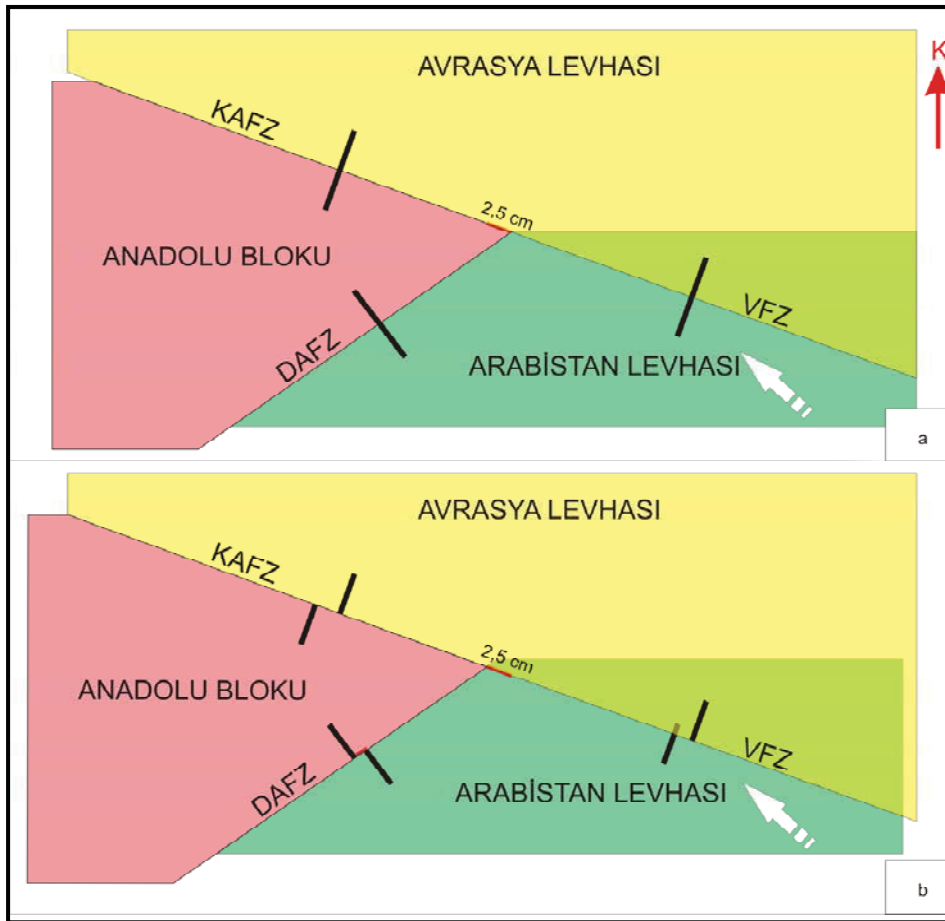
Aynı durum DAFZ üzerinde de görülür. Şekil 4.29'da 2-2' kesitinin üzerinde olan DAFZ'ye ait kısa ömürlü fayların bindirme bileşeninden dolayı DAFZ'nin ana koluna paralel konumlanmış antiformal şekilli yükseltilerin de kısa ömürlü fayların hareketinden ortaya çıktığı anlaşılmıştır. Bu kesit doğrultusunda gözlenen KAFZ ve DAFZ'nin ana kolalarının da derine doğru dike yakın eğimle devam ettiği görülmektedir.

Şekil 4.33'de görülen 3-3' kesiti deneyde VFZ'yi temsil eden bölgenin iç yapısını gösterir. Deneyde granüler malzeme üzerinde tanımlanan bindirme hatlarının derine doğru devamında ana bindirme hatları arasında oluşmuş ve yüzeye ulaşmayan bindirme fayları görülür (Şekil 4.33'de 3-3' kesiti). Bindirme hatlarının üçüncü boyutundan daha net görüldüğü üzere, bu fayların eğimi 25° - 30° açı ile deney setinin yukarısına doğrudur.

4.4.3 Deney-2

4.4.3.1 Deney-2 setinin tasarımı

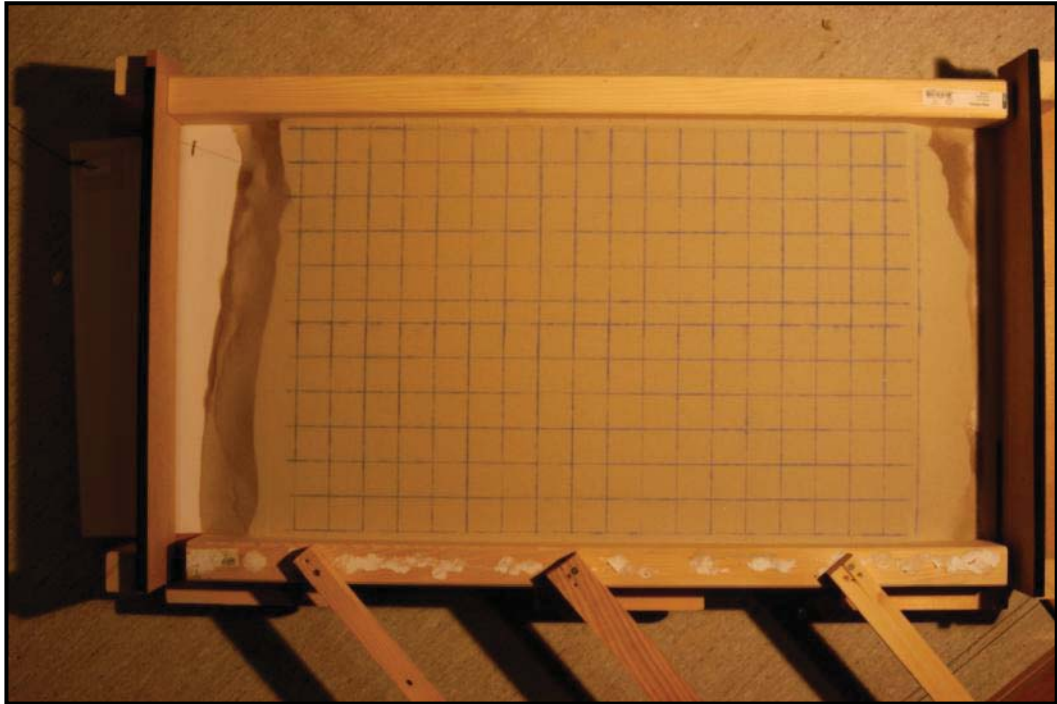
KÜE civarının mekanik evrimini anlamak için kurgulanan ikinci deney seti (Şekil 4.34) uzunluk ve genişlik olarak Deney-1'de kullanılan set ile aynıdır. Deney seti üzerinde yer alan ve farklı renkte gösterilen tektonik yapılar 120 gr'lık karton ile üretilmiştir. Deney-2, birinci deneyde olduğu gibi Anadolu bloğunun KAFZ ve DAFZ boyunca batıya hareketi düşünülerek modellenmiştir. Ancak, Arabistan levhasının kuzeydoğuya verev olarak hareket ettiği varsayılarak kurgulanmıştır. Deney setinde KAFZ ve VFZ'nin doğrultuları Deney-1'de olduğu gibi K70D, DAFZ'nin doğrultusu ise K65D olarak kabul edilmiştir. Deney-2'de sadece tektonik yapıların sınırlarında deformasyon oluşmasını sağlamak amacı ile viskoz materyal olan polidimetilsiloksan kullanılmamıştır.



Şekil 4.34 : Deney-2 setinin deformasyon öncesi (a) ve deformasyon sonrası (b) durumlarının plan görüntüsü (Beyaz ok Arabistan levhasının hareket yönünü gösterir).

Deney sırasında Avrasya levhası sabit tutulmuştur. Anadolu blokunun batı yönlü hareketi KAFZ üzerinde 2,5 cm'lik sağ yanal hareket oluşturularak sağlanmıştır (Şekil 4.34 a ve b). Bu hareketi sağlayan motor düzeneği Deney-1'de kullanılan düzenek ile aynıdır. Anadolu blokunun batıya kaçması sırasında, Arabistan levhası ile olan sınırında bir boşluk oluşmayacak şekilde levha kuzeydoğuya doğru güncel GPS hızlarına paralel olarak hareket ettirilmiştir. Bu durumda Arabistan levhası ile Anadolu bloku arasındaki sınırı temsil eden DAFZ üzerinde 1,25 cm'lik atım oluşmuştur. Kartonlar ile kurgulanan harekette VFZ üzerinde oluşan bindirme etkisindeki yükselim miktarı azalmış ve yanal atım miktarı 1,8 cm olacak şekilde artmıştır. (Şekil 4.34). Arabistan levhasını itiren motor GPS hız vektörlerine paralel konumda olacak şekilde konumlandırılmıştır (Şekil 4.35).

Deney setindeki granüler malzemenin dağılımı ilk deney ile (Şekil 4.21) aynıdır. Granüler malzemenin deney setine dökülmesi sırasında 10 lt hacimli bahçe sulama kovası kullanılmıştır. Granüler malzemenin üzerine yapılan karelejlama ilk deneyde belirtildiği şekilde yapılarak deney seti tamamlanmıştır (Şekil 4.35).



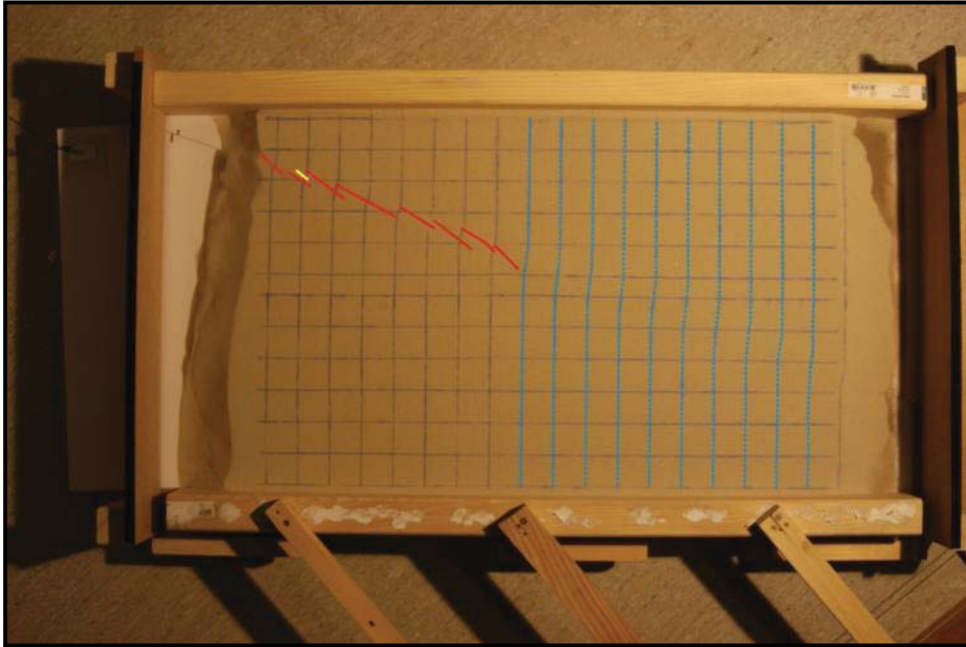
Şekil 4.35 : Deney-1 setinin deformasyon öncesi durumunun gerçek görüntüsü.

Deney-2 Bern üniversitesi Tektonik Modelleme Laboratuvarı'nda 07.08.2011 tarihinde yapılmıştır. Saat 22:39'de başlayan deney 00:22'de sona ermiştir. Deney, adı geçen laboratuvarda *Experiment 403* olarak kayıt altına alınmıştır. Deney süresince 43 adet fotoğraf çekilmiştir. Fotoğrafların yorumsuz görüntüleri ve bu fotoğraflardan üretilen animasyon tezin ekinde bulunan CD-ROM içerisinde yer almaktadır.

4.4.3.2 Deney-2 sonuçları

Deney-2'de gelişen yapılar seçilen resimler üzerinde yapılan çizimler ile anlatılacaktır.

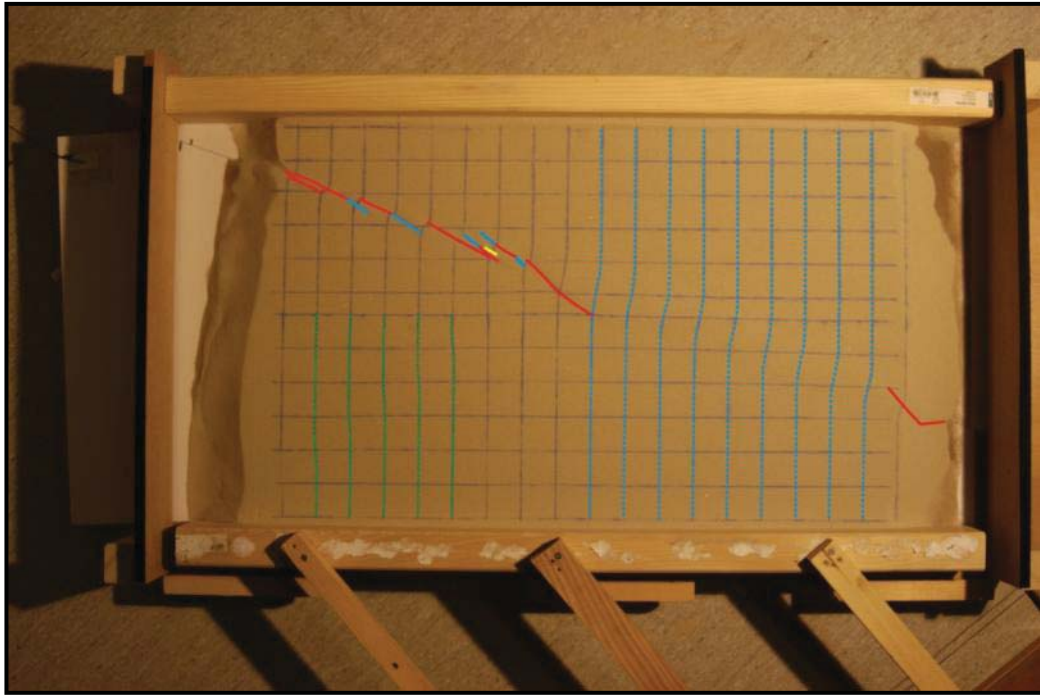
Deney-2'de başladıktan 24 dk sonra çekilen fotoğrafta (Şekil 4.35) KAFZ üzerindeki R makaslamaları taban fayına ortalama 22° açı yapacak şekilde oluşmuştur. R makaslamaları üçlü eklem noktasına yakın yerlerde daha dik açıda oluşmuşlardır. Sola sıçramaları veya aşmalı olarak ilerleyen bu fayların yaklaşık uzunluğu granüler malzeme kalınlığının 2-3 katı arasındadır. Bu aşamada KAFZ üzerinde deney setinin sol üst köşesinde ilk R makaslamaları arasında ilk sağ yanal R_L fayıda oluşmuştur. DAFZ üzerindeki boyuna karelej çizgilerinde deformasyon yok denecek kadar azdır.



Şekil 4.36 : Deney-2 setinde deformasyonun ilk aşamalarında (deney başladıktan 24 dk sonra, saat 23:03) DAFZ üzerinde henüz deformasyon oluşmamıştır (Sarı faylar R_L makaslamalarını temsil eder).

VFZ boyunca karelaj çizgilerinde izlenen sağ yanal hareketler bu bölge içerisinde oluşan ilk deformasyon göstergeleridir. Deney setinin uç noktalarını oluşturan boyuna karelaj çizgileri dışında gelişen deformasyonlar kenar etkisi olarak değerlendirilmiştir (Şekil 4.36).

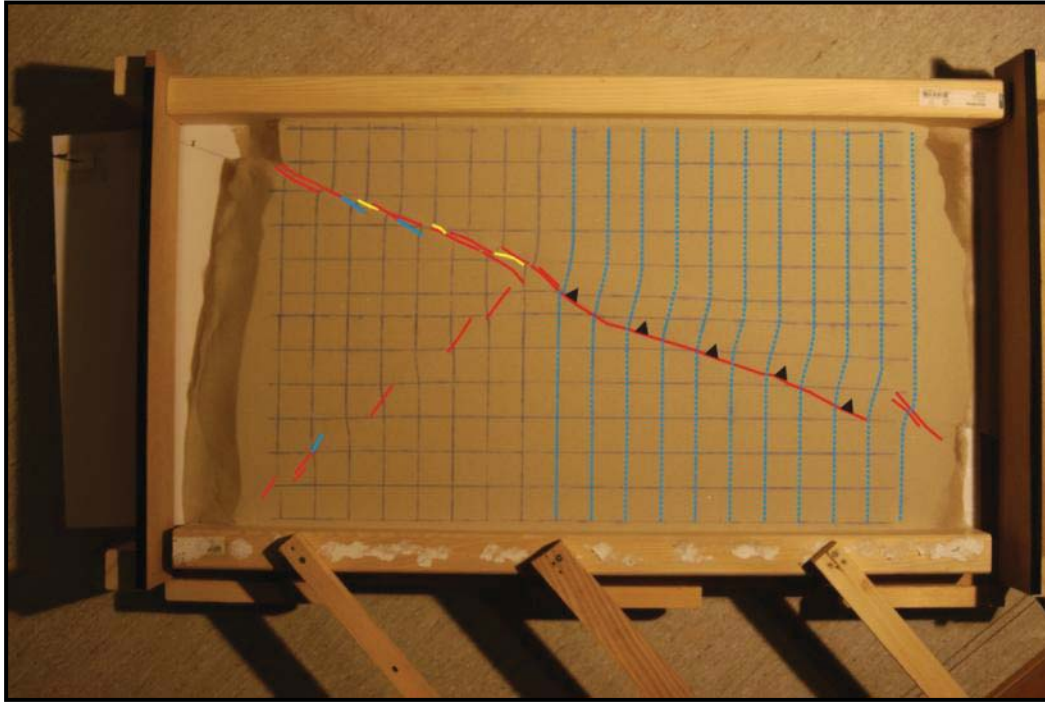
Deformasyonun ilerlemesi ile (saat 23:15) birlikte KAFZ üzerindeki R makaslamalarının boyu ve dolayısı ile aşma miktarları artmıştır. KAFZ üzerinde R makaslamalarının uç kesimlerinde, taban fayına 33^0 'den fazla açı ile oluşan kısa ömürlü faylar gelişmeye başlamıştır (Şekil 4.37).



Şekil 4.37 : Deney-2 setinde saat 23:15'de (36 dk sonra) oluşan deformasyonlar (Sarı faylar R_L makaslamalarını mavi olanlar ise kısa ömürlü fayları temsil eder).

DAFZ üzerindeki ilk deformasyonlar olarak nitelendirilebilecek boyunca çizgilerdeki sol yanal yamulmalar bu aşamada gelişmeye başlamıştır. DAFZ üzerindeki deformasyonun daha az gelişmesi üzerindeki atım miktarının ilk deneye kıyasla yarıdan daha olmasıdır. İlk modelde VFZ üzerinde yanal atım deneyin son aşamasına kadar oluşmazken, bu deneyde VFZ üzerinde ise sağ yanal hareket, deformasyon arttıkça boyunca çizgiler üzerinde daha belirgin görülür. Bu durum yine ilk deneye göre artan sağ yanal hareket oranı ile ilişkilendirilmiştir. Düşey hareketten kaynaklı yükselimde ilk sinyallerini yine bu aşamada verir. Deney setinin sağ alt köşesine yakın yerde oluşmuş faylanma ise kenar etkisi olarak değerlendirilmiştir (Şekil 4.37).

Deney başladıktan 52 dakika sonra, KAFZ üzerindeki R makaslamalarının bazıları ilk oluşan R_L fayları boyunca birleşip uzamıştır (Şekil 3.48). Uzunlaşarak aşma mikarları artan R makaslamaları arasında yeni sağ yanal R_L fayları gelişmiştir. R makaslamalarının uç kesimlerinde görülen kısa ömürlü fayların boylarındaki belirgin uzama, R makaslamalarının uzaması ile orantılıdır. Kısa ömürlü faylar ile R makaslamaları arasındaki antiformal yapılar bu aşamada daha belirgin olmuştur. DAFZ üzerinde bu aşamada ilk sol yanal R makaslamaları taban fayına ortalama 24^0 açı yapacak şekilde gelişmiştir. Genelde sağa sıçramalı olarak oluşan sol yanal R makaslamalarının boyu granüler malzeme kalınlığının 2-2,5 katıdır. DAFZ üzerinde oluşan R makaslamalarının uç kısımlarında ilk kısa ömürlü fay gelişmiştir (Şekil 4.38).

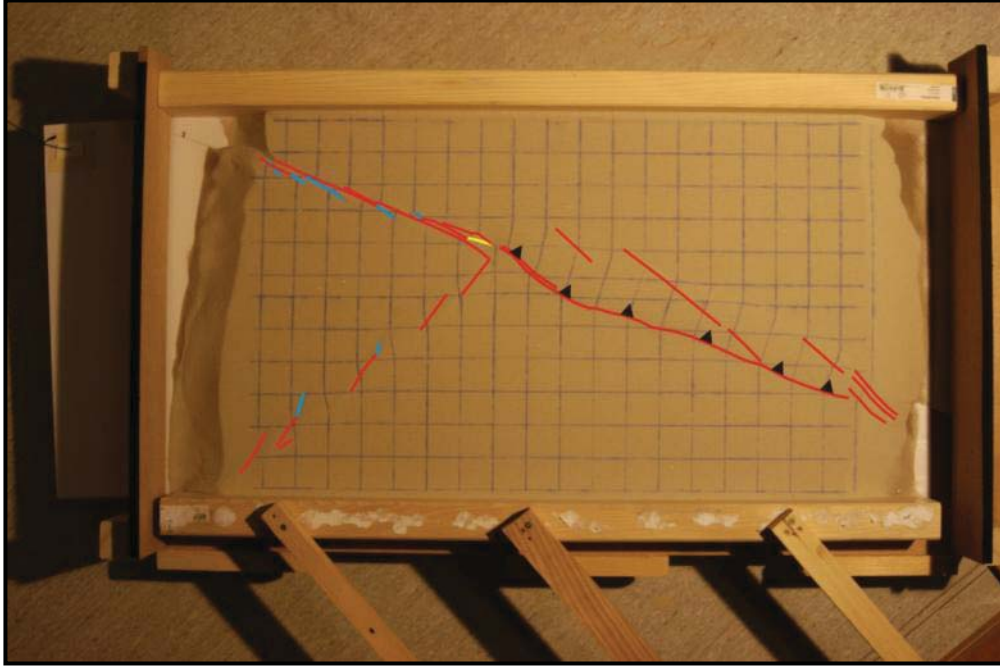


Şekil 4.38 : Deney-2 setinde saat 23:31'de oluşan deformasyonlar (Sarı faylar R_L makaslamalarını mavi olanlar ise kısa ömürlü fayları temsil eder).

VFZ üzerinde oluşan yükselimin alt sınırını belli eden bindirme hattı taban fayı boyunca uzanımını tamamlamıştır (Şekil 4.38). VFZ'yi kesen boyuna karelaj çizgilerinde sağ yanal hareketten kaynaklı yamulma iyice artmıştır. Sağ yanal hareket sadece yükselen bölge içerisinde sınırlı kalmıştır. Bindirme hattının yukarı kesimlerinde hem yükselme hareketi hem de yanal atım oluşmasından dolayı VFZ'yi bu deneyde transpresyonel zon olarak tanımlamak mümkündür. Deney setinin sağ alt köşesine yakın konumda olan kenar etkisi ile oluşmuş faylar büyümeye devam

ederek deney setinin içine nüfuz etmiştir (Şekil 4.38).

Deformasyon miktarının artması (saat: 23:47) KAFZ üzerindeki R makaslamalarının hem R_L fayları boyunca hem de bu makaslamaların doğrultusu boyunca uzamasının sonucunda birleşmesine yol açmıştır (Şekil 4.39). KAFZ üzerinde birincil yer değiştirme zonu belirgin hale gelmiş ve kısa ömürlü faylar yer değiştirme zonundan iyice ayrılmıştır. Kısa ömürlü faylar üzerinde yanıl atım miktarı çok azalırken birincil yer değiştirme zonu ile arasında oluşmuş antiformal yükselimler iyice belirgin olmuştur. DAFZ üzerindeki sol yanıl R makaslamalarının boylarının uzaması bu fayların uç kesimlerindeki kısa ömürlü faylarında boylarının artmasına neden olmuştur (Şekil 4.39). Sol yanıl R faylarının uç kesimlerindeki düşey hareket yönü birbirinin tersidir.

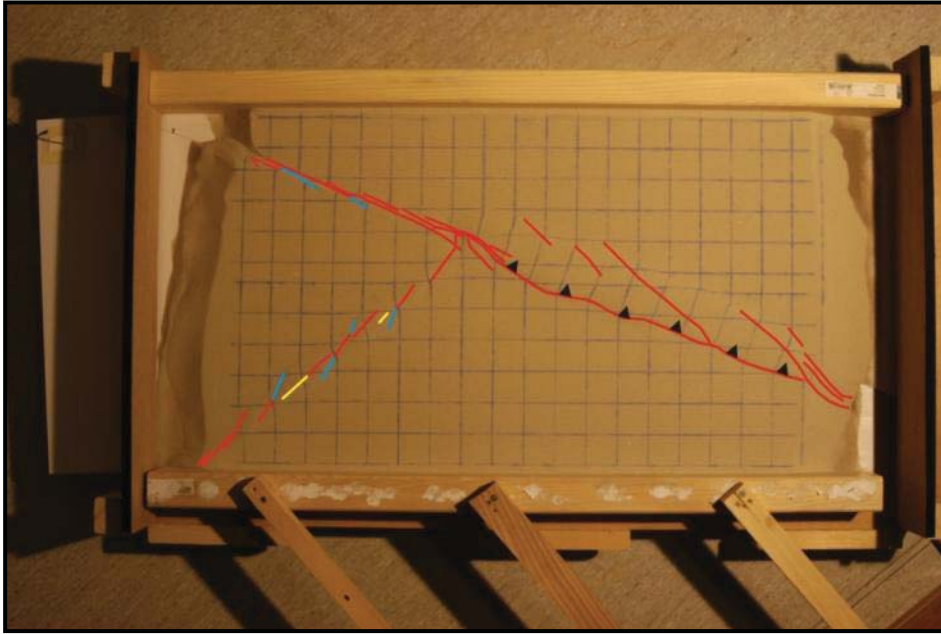


Şekil 4.39 : Deney-2 setinde saat 23:47'de oluşan deformasyonlar (Sarı faylar R_L makaslamalarını mavi olanlar ise kısa ömürlü fayları temsil eder).

VFZ transpresyonel zon bölgesinde hem yükselim hem de yanıl hareket artmaya devam etmiştir. Yükselen bölge içerisinde taban fayına 20^0 - 25^0 açı ile gelen sağ yanıl R makaslamaları oluşmaya başlamıştır (Şekil 4.39). Sola sıçramaları olarak oluşan bu fayların boyları 4 cm-10 cm arasında değişir. Transpresyonel sağ yanıl R fayları üzerinde, yükselen bölgenin orta kısımlarında en fazla 2 mm olarak hareket ölçülmüştür.

Söz konusu fayların bindirme hattına yakın yerlerinde sağ yanal yer değiştirme gelişmemiş aksine düşey hareketler oluşmuştur (Şekil 4.39).

Deney-2'nin 83 dakikasında KAFZ üzerindeki birincil yer değiştirme zonu oluşumunu tamamlamıştır (Şekil 4.40). Taban fayının etkisi ile ortaya çıkan hareketin nerdeyse tamamı bu zon üzerinde gerçekleşmektedir. Kısa ömürlü faylar ile birincil yer değiştirme zonu arasında kalan bölgede oluşan antiformal yapıların yükselim hızları durma noktasına gelmiştir. DAFZ üzerinde R makaslamalarının sıçrama yaptığı yerlerde R_L fayları oluşmaya başlamıştır (Şekil 4.40). Doğrultuları boyunca uzayan R makaslamalarının uç kesimlerinde yeni kısa ömürlü faylar oluşurken eskilerinin boyları değişmemiştir. R makaslamaları ile kısa ömürlü faylar arasında gelişen antiformal yapıların yükseklikleri artmıştır.

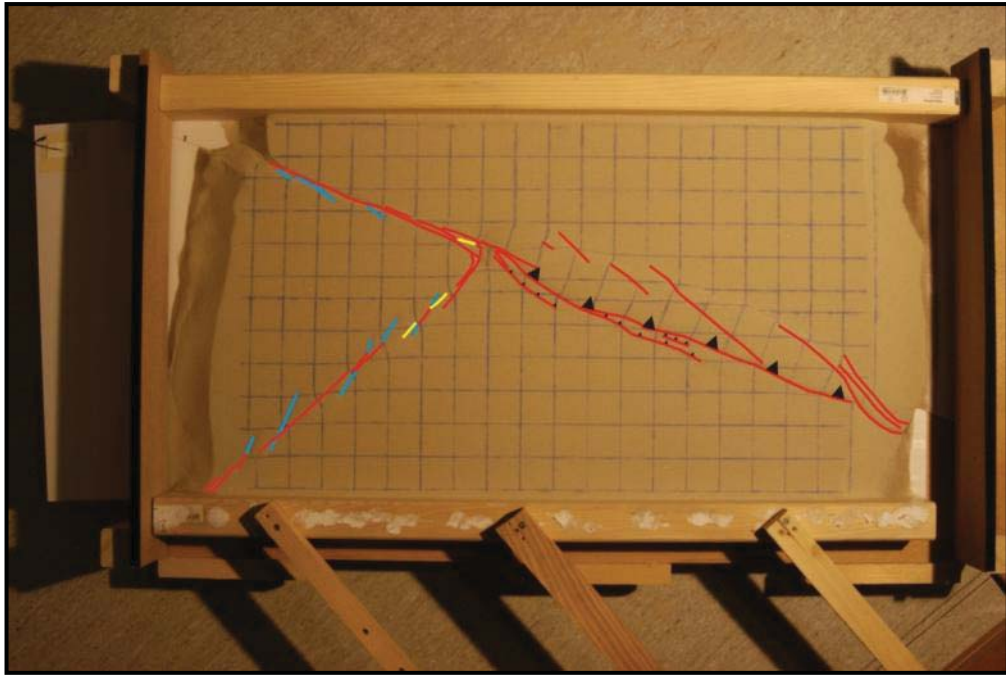


Şekil 4.40 : Deney-2 setinde saat 00:02'de oluşan deformasyonlar (Sarı faylar R_L makaslamalarını mavi olanlar ise kısa ömürlü fayları temsil eder).

Transpresyonel VFZ bölgesinde bindirme hattının etkisi ile yükselim artarken taban fayının yarattığı makaslama etkisi ile sağ yanal deformasyonda artış görülmüştür. Bu zon içerisinde oluşan R makaslamaları doğrultuları boyunca uzayarak birleşmeye başlamış ve yeni makaslamalar oluşmuştur (Şekil 4.40). Yükselen bölgenin orta kısımlarında oluşan R makaslamaları üzerindeki yanal hareket en fazla 4 mm olarak ölçülmüştür. Bu makaslamaların bindirme hattına yakın yerde geliştirdiği yükselimler daha da belirgin olmuştur. Makaslamaların bindirme hattı ile birleştiği noktalarda doğrultuları daha dikleşmiştir (Şekil 4.40).

Zonun sağ ucunda gelişen makaslamlardan biri kenar etkisi ile oluşan bir fay ile birleşmiştir. Birleşen bu fay yukselimin uşt sınırını oluşturmaktadır (şekil 4.40).

Deneyin sonlarına doğru KAFZ uzerindeki birincil yer değiştirme zonu oluşumunu tamamlamıştır (şekil 4.41). Oluşan yer değiştirme zonu taban fayına paralel konuma gellmiştir. R makaslamları ile kısa omuşlu faylar arasında kalan antiformal yapıların yukselimleri, bu fayların uzerindeki duşey hareketin sonlanmasından kaynaklı olarak bitmiştir . Uçlu ekleme yakın yerlerde birincil yer değiştirme zonuna yaklaşık paralel kollar oluşmuş kollar uzerindeki 2,5 cm civarı otelenmeler bu fay kollarının birincil yer değiştirme zonundan sonra en fazla deformasyona sahip olduğunu goşterir. DAFZ'nin uçlu ekleme yakın yerlerinde yeni sol yanal R_L fayları oluşurken daha uzak yerlerinde R makaslamları birleşmiş ve deneyin ilerleyen aşamalarında ortaya çıkacak birincil yer değiştirme zonunun ilk halini oluşturmuştur (şekil 4.41). Bu yerlerde kısa omuşlu faylar uzerindeki hareket durma noktasına gelmiş yani bu faylar ile R makaslamları arasındaki antiformal yapılar son halini almıştır.

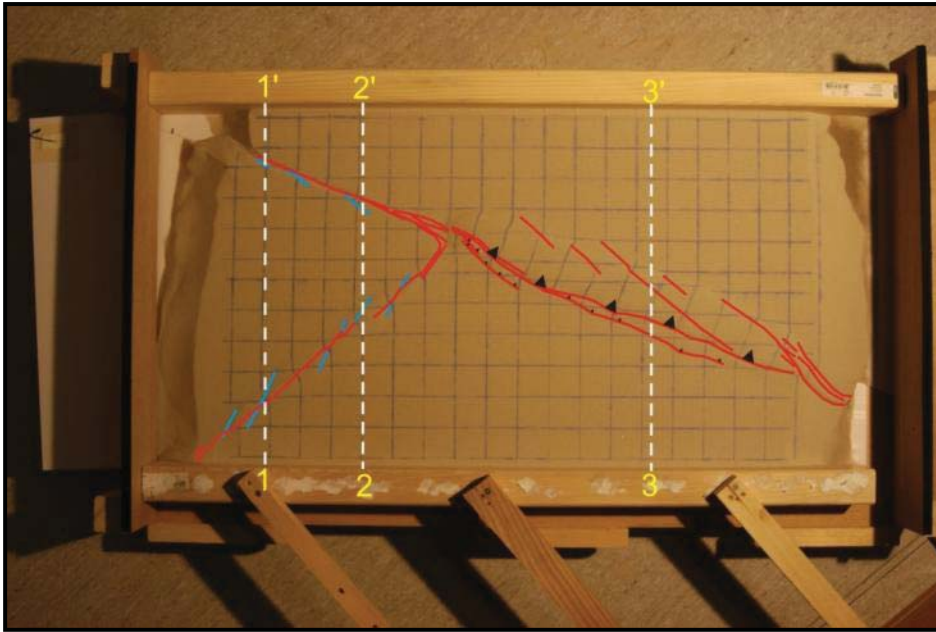


şekil 4.41 : Deney-2 setinde saat 00:17'de oluşan deformasyonlar (Sarı faylar R_L makaslamlarını mavi olanlar ise kısa omuşlu fayları temsil eder).

VFZ transpresyonel bölgesinde ilk oluşan bindirme hattının guneyinde yeni bindirme kuşakları oluşmaya başlamıştır (şekil 4.41). Bu hatların yukarisında kalan bölge hem yukselmeye hem de sağ yanal olarak deforme olmaya devame etmiştir.

Yükselen bölge içerisinde yeni R makaslamları oluşmamış önceden oluşanlar ise doğrultularını ve boylarını korumuştur. Kenar etkisi ile oluşmuş fay ile birleşerek yükselimin yukarı sınırını sağ taraftan sınırlayan fay ise biraz uzamıştır (Şekil 4.41).

Deney-2'nin son durumunda KAFZ üzerinde daha önceden oluşumunu tamamlamış olan birincil yer değiştirme zonu üzerinde sağ yanal ötelenmeler daha da büyümüştür (Şekil 4.42). Aynı zamanda üçlü ekleme yakın alanlarda bu zona paralel olarak oluşmuş ikincil faylar üzerinde de ötelenme miktarları artmıştır. KAFZ üzerindeki kısa ömürlü faylarda ise değişim olmamıştır. DAFZ üzerinde ise birincil yer değiştirme zonu çok büyük oranda tamamlanmıştır. İki fay kolu ile temsil edilen bu zon ile kısa ömürlü faylar arasında kalan bölgede oluşan antiformal yükselimler KAFZ'ye göre daha yüksekte durmaktadır (Şekil 4.42). Deney sonunda KAFZ üzerindeki granüler malzemede ortalama atım 2,8 mm DAFZ'de ise 1,4 mm'dir. Oluşan atımların yarı yarıya fark göstermesi deney setinin tabanında tanımlanan hareket miktarları ile uyumludur.

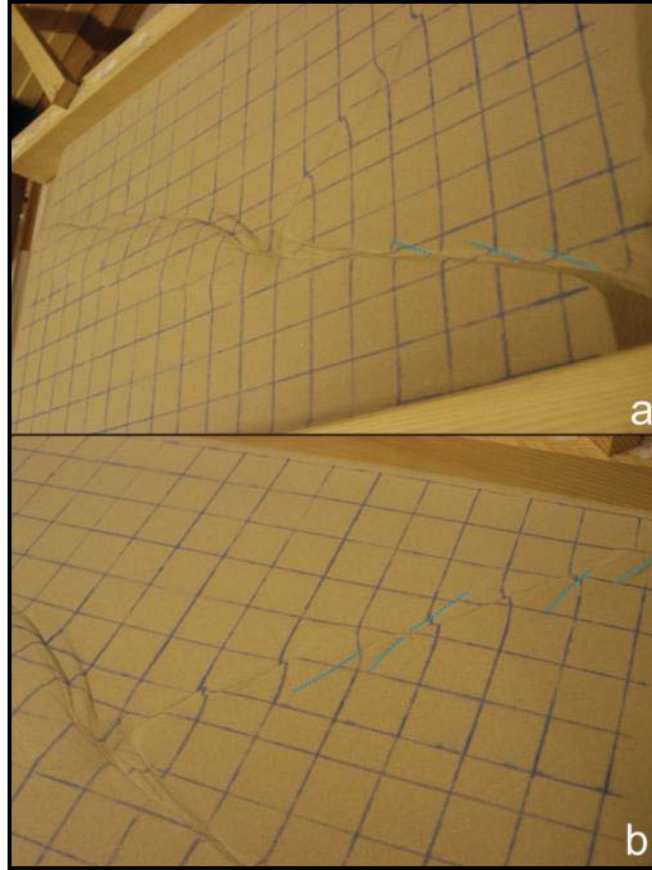


Şekil 4.42 : Deney-2'nin bittiği anda (saat: 00:22) oluşan deformasyonlar (Sarı faylar R_L makaslamlarını mavi olanlar ise kısa ömürlü fayları temsil eder).

VFZ bölgesinde sonradan oluşmaya başlayan bindirme kuşakları daha uzamıştır. İlk bindirme hattının hemen altındaki fayın boyu nerdeyse ilki kadar olmuşken diğeri ise fazla uzamamıştır (Şekil 4.42).

Söz konusu bindirmelerin yukarisinda kalan bölge hem yükselmeye hem de sağ yanal olarak deforme olmaya devam etmiştir. Yükselen bölge içerisinde oluşan R makaslamalarının boylarında az da olsa uzama olurken doğrultularında oluşumlarından itibaren oluşan değişimler yok denecek kadar azdır. Yükselen bölgenin yukarisını sağ taraftan sınırlayan fayın ise boyu diğer R makaslamalarına oranla daha fazla artmıştır (Şekil 4.42).

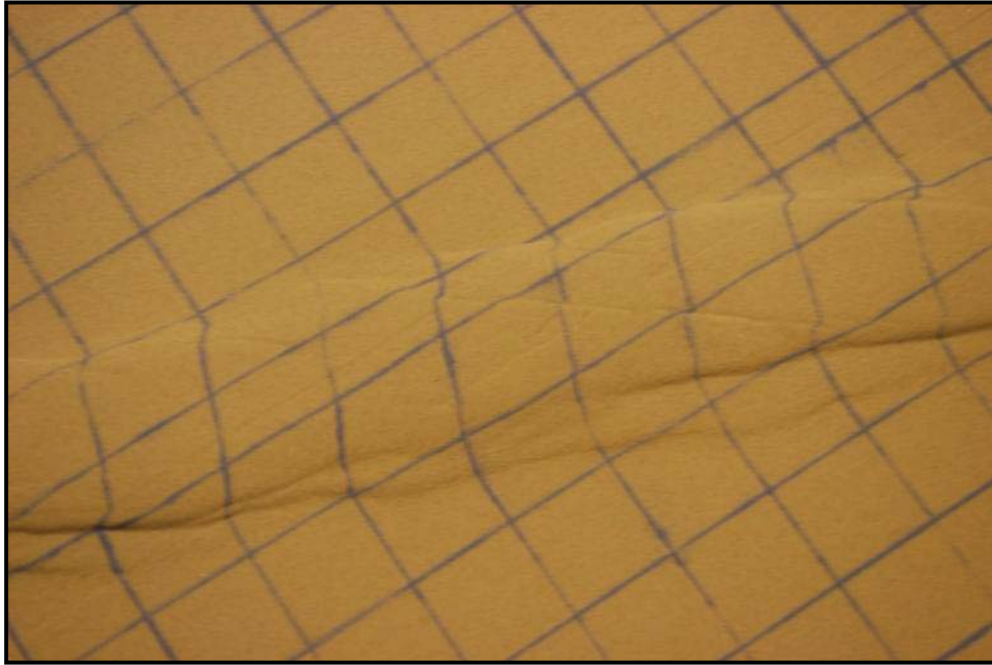
Deney-2'de elde edilen sonuç ile KÜE civarındaki fayların geometrisi arasında Deney-1'e nazaran daha fazla denestirme yapılabilir. KAFZ ve DAFZ ilk deneyde olduğu gibi dar bir deformasyon alanı içerisinde oluşmuştur (Şekil 4.42). Bu fay zonlarının ana kollarının gerçek görünümüleri (EK-1) daha önceden belirtildiği üzere dar bir alanda görülürken KAFZ ve DAFZ arasındaki faylardan geometrisi bakımından oldukça ayırt edicidir.



Şekil 4.43 : Deney-2 sonunda hem KAFZ hem de DAFZ dar bir deformasyon zonu şeklinde oluşmuştur (Mavi kesikli çizgili kısa ömürlü fayları temsil eder).

Deneyde iki fay zonu üzerinde de görülen antiformal yapılar KAFZ'de (Şekil 4.42a) DAFZ'ye göre (Şekil 4.42b) daha azdır. DAFZ üzerindeki antiformal yapıların çokluğu Arabistan levhasının sıkıştırma hareketi ile ilişkilendirilmiştir. Gerçek durumda da Göynük segmenti civarında çok fazla antiformal yapılar (basınç sırtları veya uzamış sırtlar) bulunmaktadır. KAFZ ve DAFZ arasında gerçekte olan faylar ile deneştirilebilecek faylar Deney-2 sonunda da oluşmamıştır.

Deney-2'de VFZ geniş transpresyonel zon şeklinde oluşmuştur. Deney sonunda VFZ'yi temsil eden yapılar arasında ilk oluşan deformasyon ürünü sağ yanal makaslanmış bölgedir. Bu bölgenin aşağı kısımlarında birbirlerine yaklaşık paralel deney setinin yukarısına eğimli bindirme sistemleri gelişirken , aynı bölgede taban fayını 27° - 32° arasına açılı ile kesen R makaslamaları gelişmiştir (Şekil 4.44).



Şekil 4.44 : Deney-2 sonunda transpresyonel zon olarak oluşan VFZ üzerindeki yapılar.

VFZ'nin deney sonundaki görünüşü ile gerçek durumu arasında yapı bakımından benzerlikler vardır. Gerçekte VFZ'ye ait bindirme bileşenli doğrultu atımlı faylardan oluşan Leylekdağ ve Çayçatı segmentleri zonun güney kısımlarında görülürken sadece yanıl atım karakterinde olan Varto segmenti en kuzeyde yer alır. Deney sonunda da bindirme bileşeni baskın yanal atımlı faylar transpresyonel zonun güneyinde oluşurken yanal atımlı sistemler bindirme bileşenli fayların yukarisındadır.

Deney sonunda elde edilen model bilgisayarlı tomografi ile taranarak yüzeyde görülen fayların derine doğru devamı incelenmiştir. Şekil 4.45'de 1-1',2-2' ve 3-3' profiller boyunca üçüncü boyutu gösteren kesitler alınmıştır (Şekil 4.33).

R makaslamaları ile kısa ömürlü faylar arasında kalan bölgenin yükselmesi, kısa ömürlü fayların düşey bileşeni ile ilişkilendirilmiştir. Şekil 4.43'de gösterilen 1-1' kesiti KAFZ ve DAFZ üzerindeki kısa ömürlü fayları da keser (Şekil 4.45). Kesitlerin derine doğru devamı incelendiğinde kısa ömürlü faylar üzerindeki ters bileşen görülmektedir. Bu faylar üzerinde yüzeyde oluşan yanal atımları da dikkate alındığında kısa ömürlü fayların bindirme bileşenli yanal atımlı faylar olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.45 : Deney-2'nin son durumunda yapılan bilgisayarlı tomografi taramalarına ait kesitler (1-1',2-2' ve 3-3' ile gösterilenler Şekil 4.33'de verilmiş kesit yönlerini, a kesitlerin yorumlanmamış, b ise yorumlanmış durumunu gösterir. Mavi çizgiler kısa ömürlü fayları temsil eder).

Aynı durum 2-2' kesitinde de görülmektedir (Şekil 4.45). Bütün bu veriler dikkate alındığında her iki fay zonu üzerinde oluşan antiformal yapıların kısa ömürlü fayların denetiminde oluştuğu görülmektedir.

Her iki kesit boyunca KAFZ ve DAFZ'nin birincil yer değiştirme zonlarının saf yanal atımlı olduğu fayların derine doğru eğimlerinin dike yakın olarak devam etmesinden anlaşılır (şekil 4.45).

VFZ'yi temsil eden bölgeden alınan 3-3' kesiti (şekil 4.45) granüler malzemenin üzerinde görölen bindirme hatlarının 32^0 - 37^0 açılı ile deney setinin üst kısmına doğru eğimli olduğunu göstermektedir. Deney setindeki transpresyonel zon içerisinde oluşan R makaslamalarının saf doğrultu atımlı fay özelliği tomografi kesitinde, bu fayların derine doğru dik olarak devam etmesi ile desteklenir.

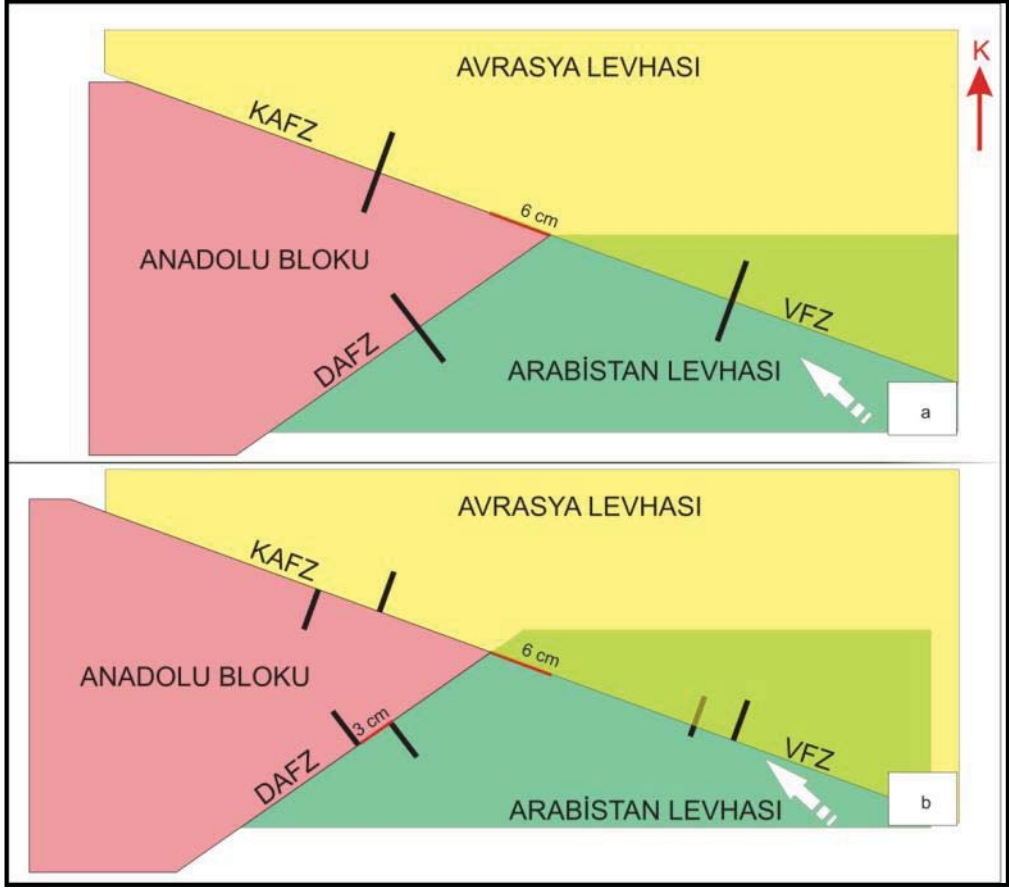
4.4.4 Deney-3

4.4.4.1 Deney-3 setinin tasarımı

KÜE civarındaki faylanmanın Kuvaterner'den şimdiye kadar olan mekanik evrimini araştırmak için oluşturulan üçüncü deney setinin (şekil 4.46) boyutları birinci ve ikinci deneylerde kullanılan setler ile aynıdır. Deney setinin tabanına yerleştirilen ve farklı renkte gösterilen ana tektonik yapılar, 120 gr'lık karton ile üretilmiştir. Deney-3'de, ilk iki deneyde olduğu gibi Anadolu bloku KAFZ ve DAFZ boyunca batıya hareket edecek şekilde modellenmiştir. Arabistan levhasının kuzeydoğuya olan verev hareketi ise ikinci deneydeki gibidir. Deney setinde KAFZ ve VFZ'nin doğrultuları önceki deneylerde olduğu gibi K70D, DAFZ'nin doğrultusu ise K65D olarak kabul edilmiştir.

Deney-3'de tektonik yapıların sınırlarında oluşturulan deformasyonun deney setinde daha geniş alanlara yayılmasını sağlamak amacı ile viskoz materyal olan polidimetilsiloksan tektonik yapıları temsil eden kartonların üzerine serilmiştir (4.47). Serilen polidimetilsiloksanın kalınlığı 0,75 cm olacak şekilde ayarlanmıştır.

Deney sırasında Avrasya levhası sabit tutulmuştur. Anadolu blokunun batı yönlü hareketi viskoz malzemenin deformasyona karşı verdiği cevap düşünölerek, KAFZ üzerinde 6 cm'lik sağ yanal hareket oluşturularak sağlanmıştır (şekil 4.46 a ve b). Bu hareketi sağlayan motor düzeneği daha evvel yapılan deneylerde kullanılan düzenek ile aynıdır. Anadolu blokunun batıya kaçması sırasında, Arabistan levhası ile olan sınırında bir boşluk oluşmayacak şekilde levha kuzeydoğuya doğru güncel GPS hızlarına paralel olarak hareket ettirilmiştir.



Şekil 4.46 : Deney-3 setinin deformasyon öncesi (a) ve deformasyon sonrası (b) durumlarının plan görüntüsü.



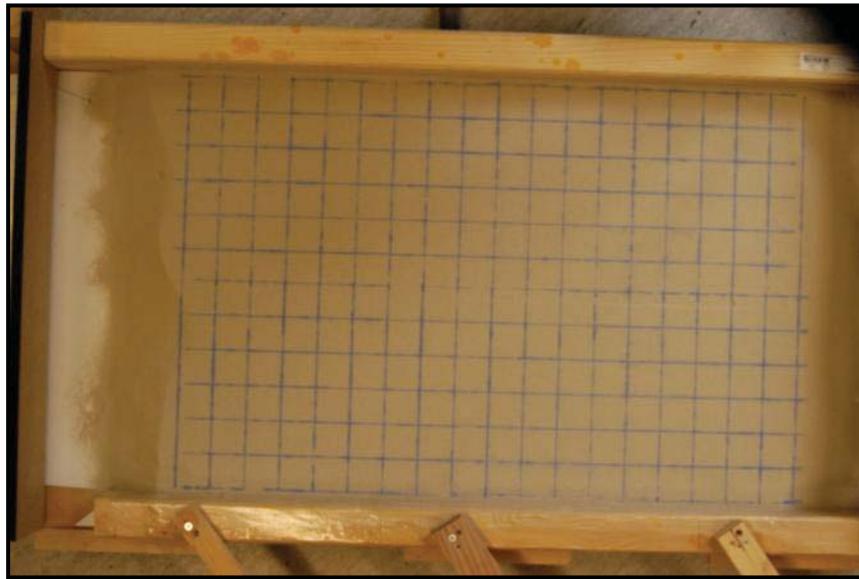
Şekil 4.47 : Deney-3 setinde viskoz malzeme ana tektonik yapıları temsil eden kartonların üzerine serilmiştir.

Bu durumda Arabistan levhası ile Anadolu bloku arasındaki sınırı temsil eden DAFZ üzerinde 3 cm'lik atım oluşmuştur. Kartonlar ile kurgulanan harekette VFZ üzerinde oluşan bindirme etkisindeki yükselim miktarı azalmış ve yanal atım miktarı 3,3 cm olacak şekilde artmıştır. (Şekil 4.46). Arabistan levhasını ittiren motor GPS hız vektörlerine paralel konumda olacak şekilde konumlandırılmıştır

Deney setindeki granüler malzemenin dağılımı ilk deney ile benzerdir. Aradaki fark granüler malzeme önceki deneylerde olduğu gibi tektonik yapıları temsil eden kartonlar üzerine değil, viskoz materyal üzerine dökülmüştür (4.48). Granüler malzemenin deney setine dökülmesi sırasında 10 lt hacimli bahçe sulama kovası kullanılmıştır. Granüler malzemenin üzerine yapılan kareajlama ilk deneyde belirtildiği şekilde yapılarak deney seti tamamlanmıştır (Şekil 4.49).



Şekil 4.48 : Deney-3 setinin ön perspektif görünüşünden kullanılan viskoz ve granüler malzemenin kalınlıklarını gösteren plan.



Şekil 4.49 : Deney-3 setinin deformasyon öncesi durumunun gerçek görüntüsü.

Deney-3 Bern üniversitesi Tektonik Modelleme Laboratuvarı'nda 18.08.2011 tarihinde yapılmıştır. Saat 13:29'da başlayan ve 14:49'da sonlandırılan deney, adı geçen laboratuvarında *Experiment 406* olarak kayıt altına alınmıştır.

Deney süresince 77 adet fotoğraf çekilmiştir. Fotoğrafların yorumsuz görüntüleri ve bu fotoğraflardan üretilen animasyon tezin ekinde bulunan CD-ROM (EK-D) içerisinde yer almaktadır.

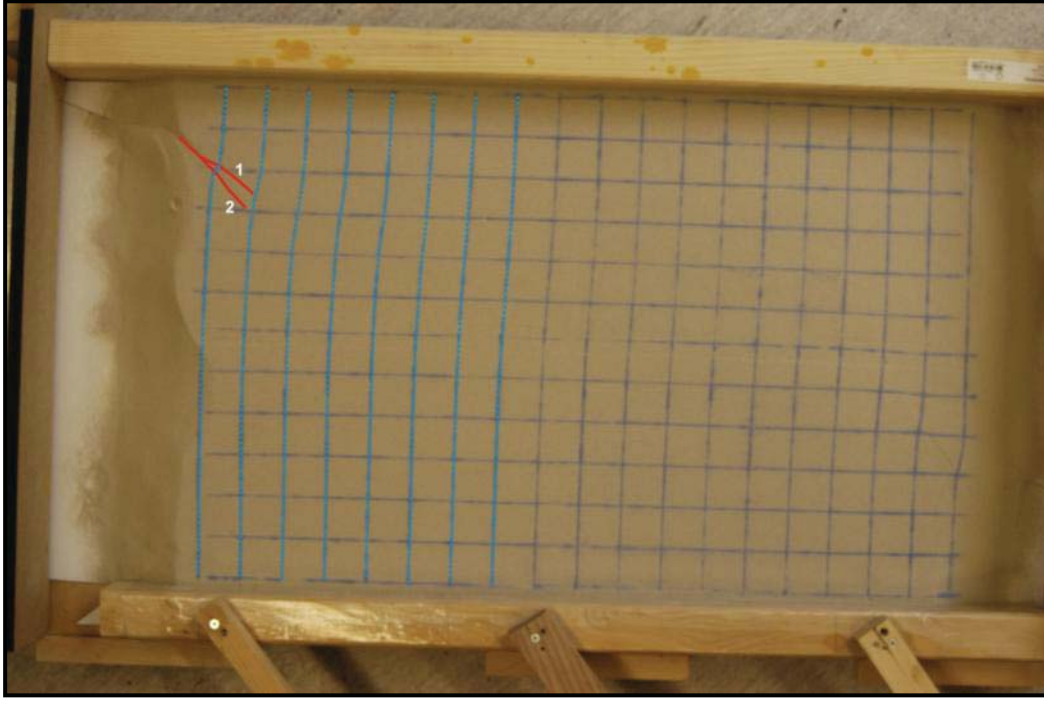
4.4.4.2 Deney-3 sonuçları

Deney-3'de oluşan ilk deformasyonlar önceki deneylerden oldukça farklıdır. Önceki deneylerde yüzeyde görülen deformasyonlar sıçramalı ve aşmalı yapı gösteren R makaslamaları ile başlamıştır. Bu makaslamalar taban fayının uzanımı boyunca farklı noktalarda eş zamanlı olarak oluşur.

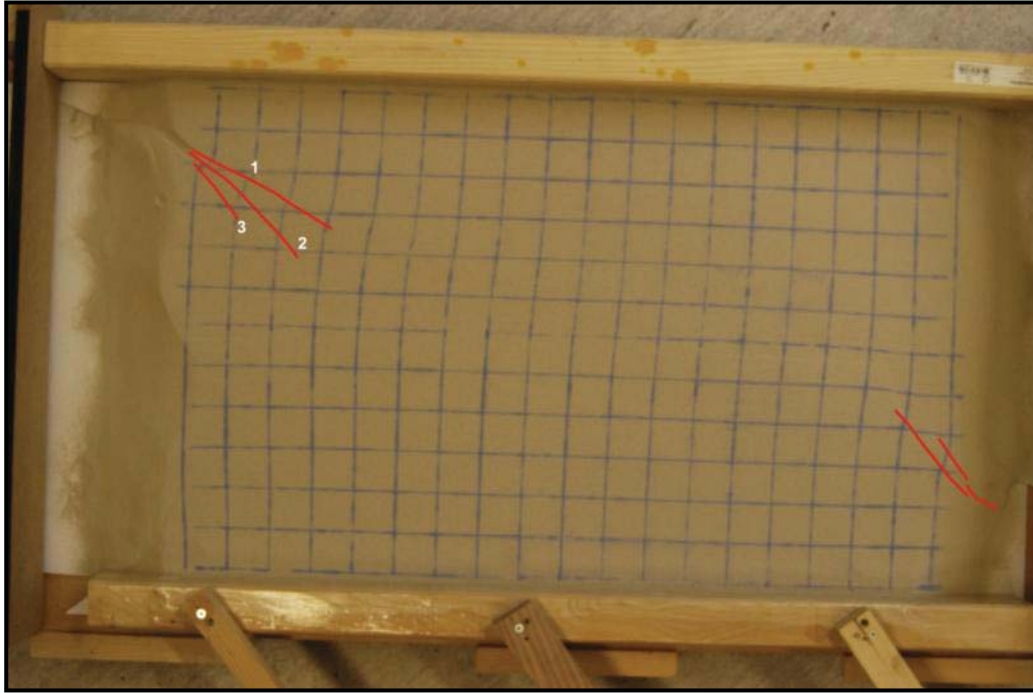
Deney-3'ün başlangıç zamanlarında ortaya çıkan ilk deformasyon ürünleri (Şekil 3.50), KAFZ üzerinde deney setinin sol üst köşesinde farklı doğrultularda, sağ yanal iki fay kolu olarak oluşmaya başlar. Taban fayı üzerinde oluşmaya başlayan bu kollar sağa doğru ilerledikçe 1 ile gösterilen fayın taban fayına yaptığı açı 14° , 2 ile gösterilenin ise taban fayına yaptığı açı 28° olur. Bu fayların doğrultularına paralel hatlar takip edildiğinde, boyuna karelej çizgilerinde sağ yanal yamulmaların meydana gelmeye başladığı görülmektedir. Bu işareteler KAFZ üzerindeki deformasyonun önceki deneylere göre daha geniş alanda oluşacağını göstermektedir. DAFZ ve VFZ üzerinde ise yüzeyde henüz deformasyon oluşmamıştır.

Deformasyonun ilerlemesi ile birlikte ilk oluşan fayların boyu uzamaya başlamış ve bu fayların oluştuğu noktadan itibaren yeni bir fay (Şekil 4.51'de 3 ile gösterilen fay) ortaya çıkmıştır. Şekil 4.50'de 1 ile gösterilen fay kolunun ilk doğrultusuna nerdeyse paralel ve çizgisel olarak büyüdüğü görülmüştür (Şekil 4.51). 2 ile gösterilen fay kolunun doğrultusu ise deney setinin alt tarafına doğru dönmeye başlayarak faya eğrisel bir geometri kazandırmıştır (Şekil 4.51).

Bu kolların devamında boyuna karelej çizgilerinde oluşan sağ yanal yamulma miktarları daha da artmıştır. Bu aşamada da KAFZ ve DAFZ üzerinde henüz deformasyon oluşmamıştır (Şekil 4.51). Deney setinin sol alt köşesinde görülen faylar kenar etkisi ile oluşmuştur.



Şekil 4.50 : Deney setinde saat 13:49'da yüzeyde görülen deformasyonlar.



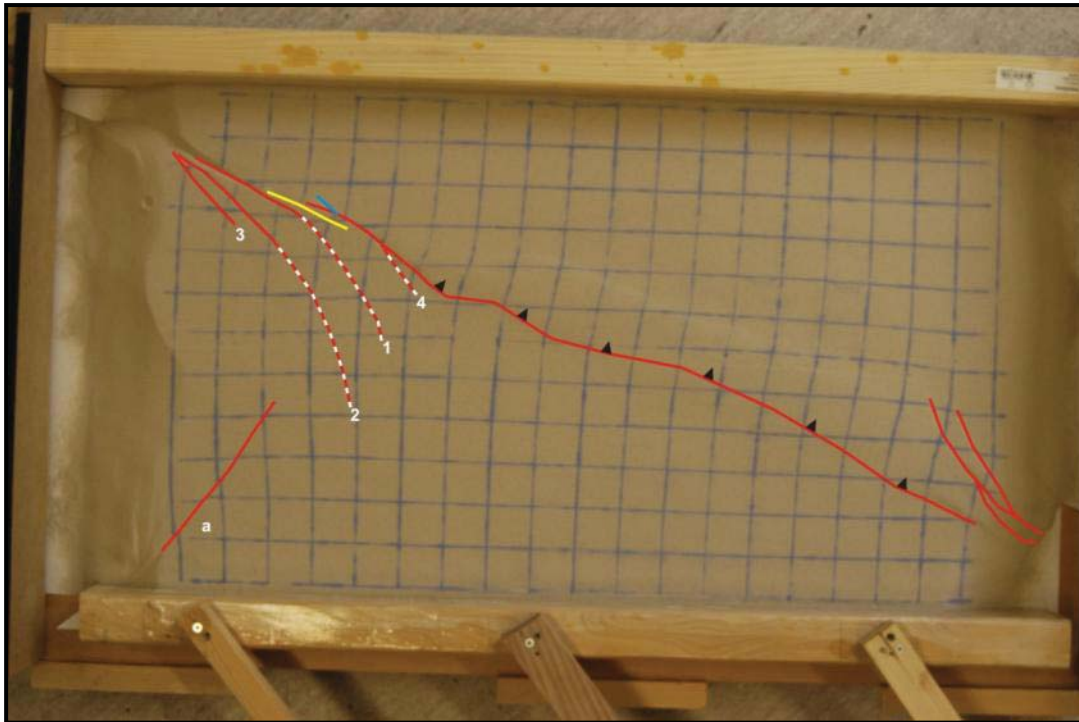
Şekil 4.51 : Deney-3 setinde saat 13:59'da yüzeyde görülen deformasyonlar.

Artan deformasyon ile KAFZ ve DAFZ arasında KAFZ'ye yakın konumlanmış, 1 ve 2 ile gösterilen faylar ve 4 ile gösterilen yeni oluşmuş fay aynı hizadan itibaren eğrisellik kazanmaya başlamıştır. Fayların eğrisel parçaları Şekil 4.52'de beyaz kesikli çizgiler ile işaretlenmiştir. Her üç fay üzerinde eğriselliğin başladığı noktadan itibaren yanal atım görülmemiştir. Fayların eğrisel olan bölümleri arasında kalan

makaslamasının boyu doğrultusu boyunca uzamıştır. 4 fayının çizgisel kesiminin uç noktası RL fayına doğru saatin tersi yönünde dönerek yaklaşmıştır. Bu dönemde dolay 4 fayının eski ucunda kısa ömürlü fay gelişmiştir. Bu fayın çizgisel kesiminden ayrılan bir kol üçlü eklem noktasına doğru uzamıştır (Şekil 4.53).

DAFZ'ye yakın konumda gelişen a fayı biraz daha uzayarak hafif eğrisellik kazanmıştır. Fayın çizgisel kesiminin üzerindeki karelej çizgilerinde oluşan sol yanal hareket, eğrisel kesime geçtikten sonra devam etmemiştir. Fayın eğrisel kesiminin her iki yanında düşey hareketten kaynaklı yükselim farkı gelişmiştir(Şekil 4.53).

VFZ üzerinde oluşan bindirme hattı yükselerek sağ yanal makaslanmış bölgenin alt sınırını oluşturacak şekilde taban fayı boyunca olan uzanımını tamamlamıştır. KAFZ üzerindeki 4 fayının çizgisel kesiminden ayrılıp üçlü eklem noktasına uzanan kol VFZ üzerinde oluşmuş bindirme hattı ile birleşmiştir. İki fayın birleşme noktasının yakınlarında oluşan yükselim bindirme hattının devamındaki yükselimden daha az olmasına karşın, sağ yanal makaslama daha fazladır (Şekil 4.53).



Şekil 4.53 : Deney-3 setinde saat 14:21'da yüzeyde görülen deformasyonlar (Sarı çizgi RL makaslamasını mavi ise kısa ömürlü fayı temsil eder).

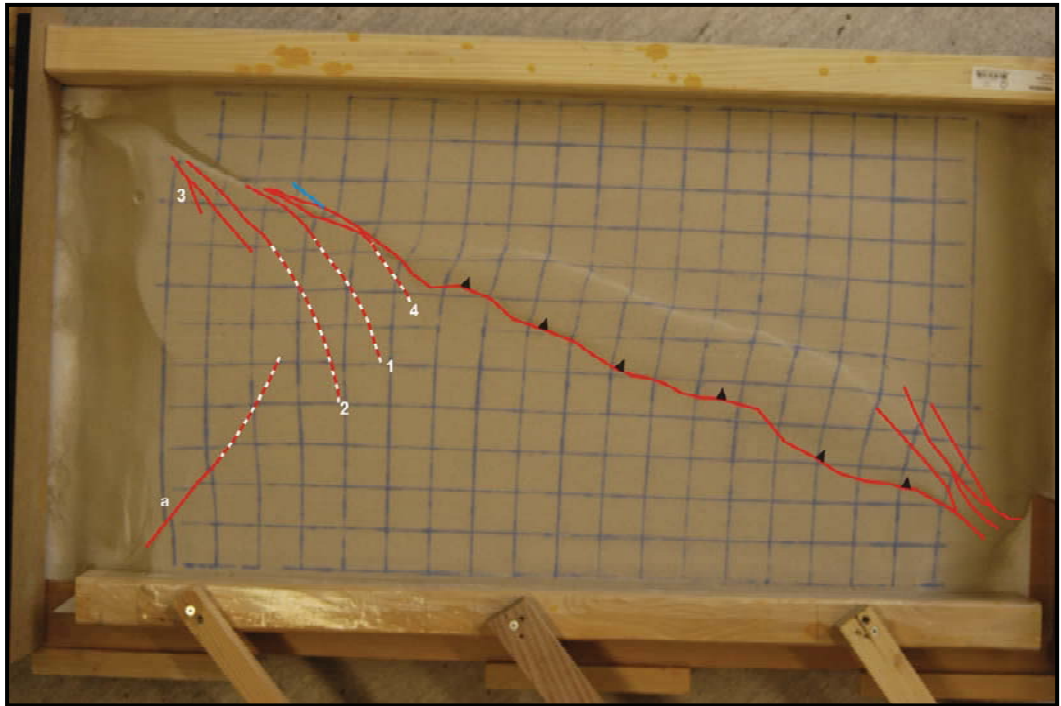
VFZ'nin sağ yanal makaslama eşlik eden düşey yönlü hareketi bu bölgenin transpresyonel bir zon olarak oluşmaya başladığının göstergesidir. Deney-3'ün bu

aşamadaki durumunda görülen VFZ ikinci deneyde Şekil 4.38'de gösterilen VFZ oldukça benzerdir.

VFZ'nin sağ alt köşesinde kenar etkisi ile oluşmuş faylar bu aşamada deney setinin iç kesimlerine doğru büyümediği için oluşan yapılar üzerinde etkisi yoktur (Şekil 4.53).

Deformasyonun ilerlemesi sonucunda KAFZ ile DAFZ arasında oluşmuş 1,2 ve 4 faylarının boyları uzamıştır. 4 fayının eğrisel parçası RL fayı ile birleşmiş ve artık bu fayın çizgisel uzanımını temsil etmektedir. 4 fayının eski çizgisel kısmı ise KAFZ'nin ana kolunu oluşturarak üçlü eklem noktasına kadar uzanmaktadır (Şekil 4.54).

1,2 ve 4 faylarının çizgisel parçalarında oluşan sağ yanal ötelenmeler artmaya devam ederken, eğrisel kısımları arasında kalan bölgelerde önemli yükseklik farkları oluşmuştur. Fayların eğrisel kısımlarında yer alan sağ yanal ötelenmeler ise yok denecek kadar azdır. Daha önceden oluşmuş kısa ömürlü fayda ise herhangi bir değişiklik meydana gelmemiştir. KAFZ ile DAFZ arasında oluşmuş 3 fayı ise iki kola ayrılmıştır. İlk oluşan kol uzamaya devam etmiştir. Bu kol üzerinde çok az düşey hareket mevcut olup, sağ yanal ötelenmet oluşmamıştır (Şekil 4.54).



Şekil 4.54 : Deney-3 setinde saat 14:27'de yüzeyde görülen deformasyonlar (Mavi çizgi ise kısa ömürlü fayı temsil eder).

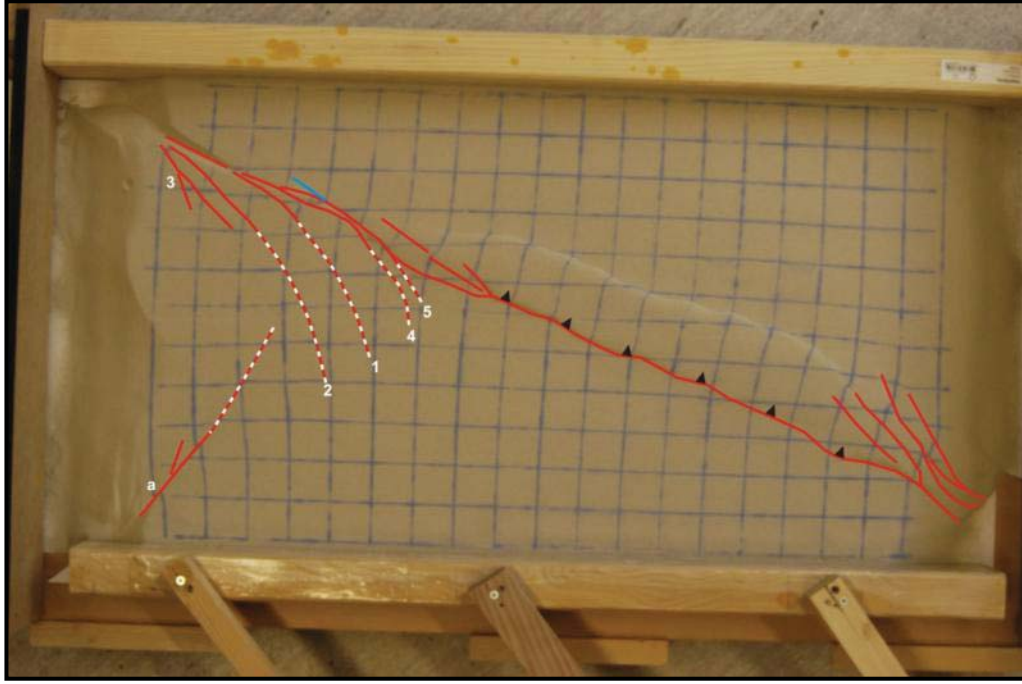
KAFZ ile DAFZ arasında, DAFZ'ye yakın olarak gelişen a fayının boyu eğrisel olan paraçası boyunca uzamıştır. Fayın çizgisel kesiminde sol yanal ötelenme miktarı artarken, eğrisel kesiminde meydana gelen düşey hareket, KAFZ'ye yakın konumlanmış 1,2 ve 4 faylarına kıyasla oldukça azdır (Şekil 4.54).

VFZ'yi temsil eden transpresyonel zon üzerinde, makaslama kuvvetlerinden kaynaklı olarak karelej çizgilerindeki sağ yanal yamulma artmış olmasına rağmen yüzeyde faylanma oluşmamıştır. Transpresyonel zon, alt sınırını oluşturan bindirme hattı denetiminde de yükselmeye devam etmiştir (Şekil 4.54). KAFZ'nin ana kolu ile birleştiği noktada gelişen sağ yanal deformasyonlar, bindirme hattının geri kalanına göre daha fazladır. Kenar etkisi ile oluşan faylar bu aşamada da setin içine doğru hareket etmemiştir.

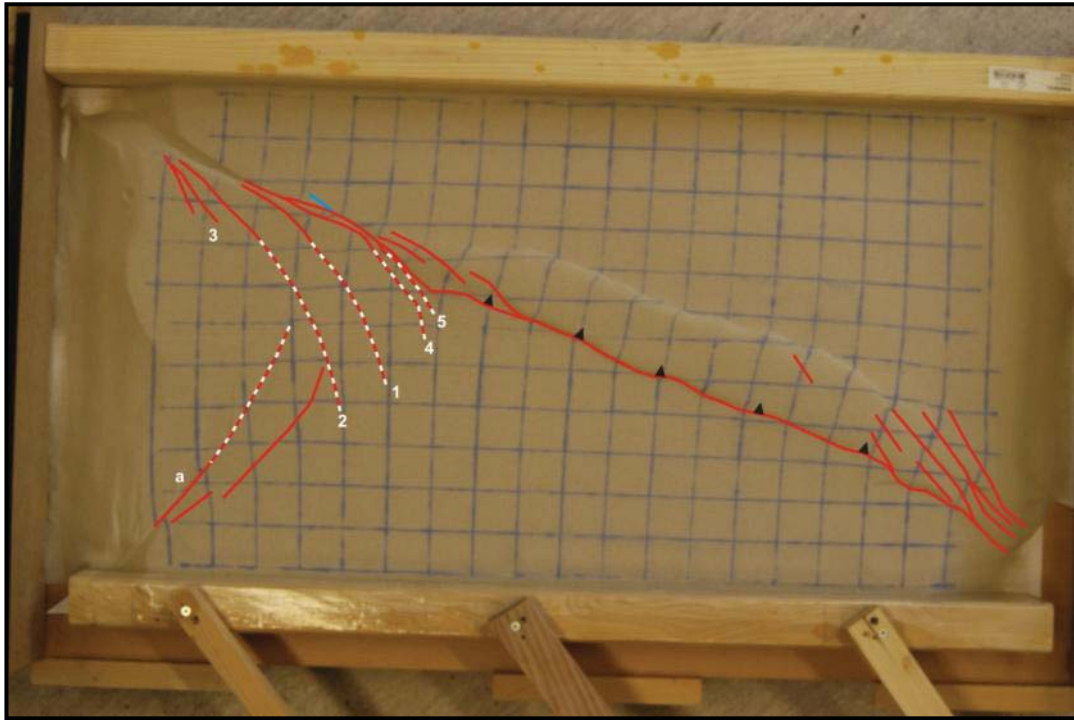
Deney-3'ün son aşamalarında KAFZ ve DAFZ arasına oluşmuş ve KAFZ'ye yakın konumlanmış 1,2 ve 4 faylarının eğrisel bölümleri uzamaya devam etmiş ve bu bölümler arasında oluşan yükseklik farkı daha da belirgin olmuştur (Şekil 4.55). Bu aşamada KAFZ'nin ana kolu üzerinden ayrılan bir kol eğrisel geometri izleyerek diğer fayların eğrisel bölümleri ile nerdeyse aynı hizaya gelmiştir. Şekil 4.55'de 5 olarak isimlendirilen fay üzerinde diğer eğrisel fay bölümlerinde olduğu gibi yanal hareket gelişmemiştir. KAFZ'nin ana kolunun transpresyonel zon ile birleştiği noktanın yukarısında iki tane sağ yanal R fayı gelmiştir. 3 fayı ve kısa ömürlü fay üzerinde bu aşamada değişiklik olmamıştır. İki ana fay zonu arasında DAFZ'ye yakın olarak oluşan a fayının eğrisel bölümü bu aşamada da büyümeye devam etmiştir. Eğrisel bölüm üzerinde sağ yanal ötelenme yine oluşmamış, düşey hareketten kaynaklı olarak fayın her iki yanındaki yükseklik farkı artmıştır. Fayın çizgisel kısımdan oluşan sol yanal hareket devam etmiştir.

Transpresyonel bölgeyi aşağıdan sınırlayan bindirme hattı daha önceki durumlarına kıyasla daha çizgisel bir duruma gelmiştir. Bu zonun sağ tarafında yükselen bölge içerisinde oluşan R makaslama zon içerisindeki yükselimin bitmeye başladığına işaret eder.

Deney-3 toplam 70 dakika sürmüştür. Deney sonunda ana makaslama zonları arasında KAFZ'ye yakın olarak oluşan 1,2,4, ve 5 faylarının kinematik olarak iki farklı özelliğe sahip olduğu anlaşılmıştır. Söz konusu fayların KAFZ'nin birincil yer değişime zonuna yakın olan kesimleri daha çizgisel olup sağ yanal atımlı fay



Şekil 4.55 : Deney-3 setinde saat 14:33'de yüzeyde görülen deformasyonlar (Mavi çizgi ise kısa ömürlü fayı temsil eder).



Şekil 4.56 : Deney-3 setinde saat 14:39'da yüzeyde görülen deformasyonlar (Mavi çizgi ise kısa ömürlü fayı temsil eder).

karakterindedir. Bu fayların eğrisel olan bölümlerinde ise baskın düşey harekete eşlik eden çok az yanal hareket mevcuttur. 3 fayı ise oluştuktan sonra fazla gelişim göstermemiştir. DAFZ'ye yakın olarak oluşmuş a fayı da kinematik olarak iki farklı bölümden oluşur. KAFZ'ye yakın olan faylarda olduğu gibi bu fayında çizgisel kesimlerinde yanal atım özelliği baskın, eğrisel kesimlerinde ise düşey hareket daha belirgindir. DAFZ'ye yakın yerlerde denin son aşamasında oluşmuş fayların üzerinde çok az da olsa sol yanal hareket oluşurken, düşey hareket belirtileri yoktur.

Deney sonunda KAFZ'ye ait birincil yer değiştirme zonu oluşmuş olmasına rağmen DAFZ'ye ait birincil yer değiştirme zonu yüzeyde gelişmemiştir. Bunun nedeni taban faylarındaki hareket farkıdır. Toplam 70 dakika süren deneyde KAFZ üzerinde tanımlanan hareket DAFZ'nin iki katıdır. Yani deney sonunda DAFZ'ye ait taban fayının aldığı mesafe KAFZ taban fayında deneyin 35. dakikasında tamamlanmıştır. KAFZ'ye yakın yerlerde 35. dakikada oluşan deformasyonlar Şekil 4.51'de gösterilen durum ile Şekil 4.52'de gösterilen durum arasındadır. Bu durumlar ile DAFZ'ye yakın yerlerin deney sonundaki görünüşleri gayet uyumludur.

DAFZ'nin ana yer değiştirme zonu yüzeyde oluşmamasına rağmen viskoz malzeme üzerinde oluşumunu tamamlamıştır (Şekil 4.57). Tabanda DAFZ üzerinde oluşan deformasyonun yüzeye çıkmamasının nedeni yeteri kadar hareketin olmamasından kaynaklıdır. Zira üzerinde yeteri kadar hareket olan KAFZ ve VFZ taban fayları üzerindeki viskoz malzeme dikkatle incelendiğinde buralarda makaslama etkisi ile oluşmuş s yapılarının DAFZ üzerinde daha oluşmadığı görülür.

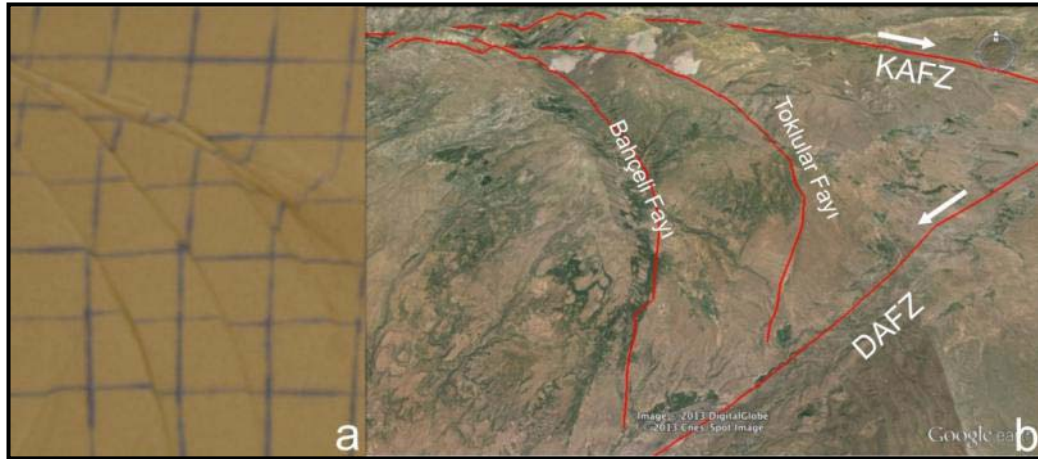
Tabanda oluşan deformasyon incelendiğinde yüzeyde 1,2,4 ve 5 faylarını yaratan viskoz malzeme üzerindeki faylanmanın DAFZ'nin ana koluna kadar ilerleyip sonlandığı görülmektedir (Şekil 4.57).

KAFZ ve DAFZ arasında oluşmuş fayların eğrisel bölümlerinin düşey hareketinden kaynaklı olarak oluşan yükseklik farkları (Şekil 4.58a), iki fay zonu arasında gerçekte oluşan Bahçeli ve Toklular fayları arasında kalan bölge (Şekil 4.58b) ile benzerdir

Deney-3 ile olan bu uyumluluk KAFZ ve DAFZ arasındaki bölgenin, sınır fayları birbirlerine göre konumu kama şeklinde olan geniş bir makaslama zonu olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 4.57 : Deney-3 setinde viskoz malzeme üzerindeki deformasyonların dağılımı.



Şekil 4.58 : Deney-3 setinde 1,2,4 ve 5 fayları arasında oluşmuş yükselim farkları (a) KAFZ ve DAFZ yer alan Bahçeli ve Toklular faylarının denetlediği topoğrafya (b) ile uyumludur.

4.5 Karlıova Üçlü Eklemi Civarının Deformasyon Özellikleri ile Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

KÜE civarında hem ana faylar üzerinde hem de bu faylar arasında kalan ikincil faylar üzerinde yapılan arazi çalışmaları ile ulaşılan verilere dayanarak üçlü eklemin batısı ve doğusu için iki farklı faylanma modeli hipotezleri ortaya konulmuştur. Bu hipotezlerin doğruluğu hem literatürde önceden yapılmış teorik ve deneysel çalışmalar ile hem de bu tez kapsamında yapılan deneysel çalışmalar ile sınanmıştır.

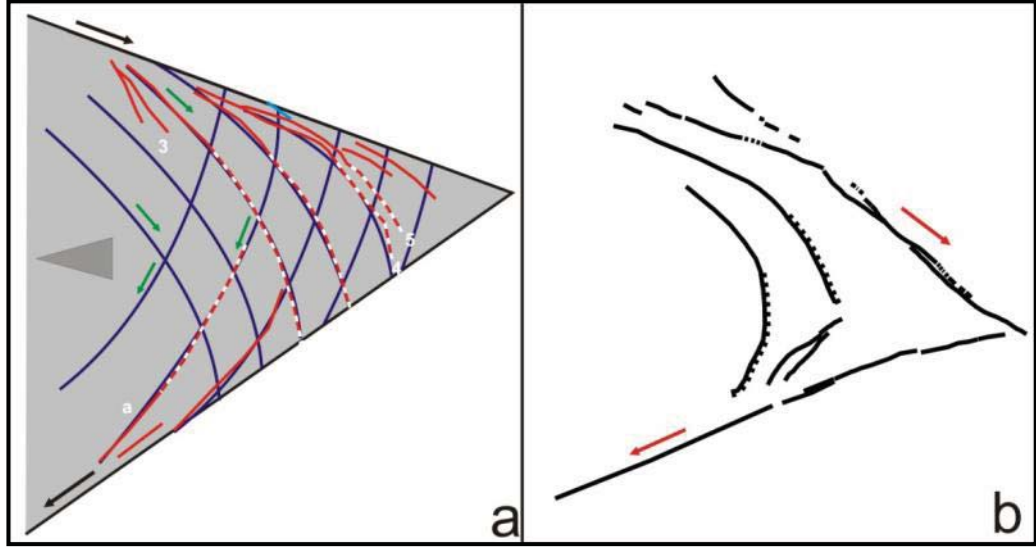
Ayrıca söz konusu hipotezler KÜE civarında yapılmış önceki çalışmalardan elde edilen veriler ile de kontrol edilecektir.

KÜE'nin batısı için ileri sürülen görüş, bu bölgenin KAFZ ve DAFZ tarafından oluşturulan kama şekilli pasif geniş bir deormasyon bölgesi olduğudur. Bu hipotez literatürde Prandtl hücre modeli olarak bilinen ve kama şekilli alanlarda gelişen deformasyon özelliklerini araştıran farklı teorik çalışmalar ile karşılaştırılmıştır.

Bölüm 4.2'de detaylı olarak yapılan tartışmalarda gösterildiği üzere şimdiye kadar oluşturulmuş bazı kama hücre modelleri ile üçlü eklem batısındaki faylanma mekaniği önemli ölçüde açıklanabilmektedir. Ancak KAFZ ve DAFZ arasında yer alan Bahçeli ve Toklular faylarının yanal atım ile başlayan ve oblik normal fay ile devam eden hareketi literatürdeki kama modelleri ile açıklanamamıştır. Bu tez kapsamında yapılan analog deneylerinden anlaşılmıştır ki üçlü eklem batısı KAFZ ve DAFZ denetiminde gelişen geniş bir deormasyon bölgesidir. Zira Deney-1 ve Deney-2 kurgulanırken bölgenin geniş deformasyon bölgesi olmadığı varsayılmış ve sonuçta elde edilen deformasyon dağılımının KÜE batısı ile uyummadığı görülmüştür. Geniş deformasyon bölgesi yaratmayı amaçlayan Deney-3 setinde elde edilen sonuçların ise üçlü eklem batısı ile uyumu, buradaki deformasyonun geniş alanlara yayılmasını açıklamaktadır. Deney'de sınır fayları arasındaki açı 55^0 'dir (Şekil 4.59a). Bu durum KAFZ ve DAFZ arasındaki gerçek durum için hesaplanan 52^0 - 58^0 arasındaki açı ile uyumludur. Dolayısı ile deneysel sonuçların gerçek durum ile mukayesesine engel teşkil etmez.

Deney-3 sonucunda KAFZ ve DAFZ arasında oluşmuş eksponansiyel kayma hatlarından faydalanılarak çizilen kama hücre modeli (Şekil 4.59a) ile üçlü eklem batısında olan faylar (Şekil 4.59b) ile mekanik olarak birbirleri ile uyumlu olsada geometik olarak uyumlu değildir.

Deney sonucunda elde edilen faylardan çizgisel kısımları sağ yanal, eğrisel kısımları ise oblik normal fay olan kayma hatları (Şekil 4.59a) Toklular ve Bahçeli fayları (Şekil 4.59b) ile mekanik olarak aynı özelliktedir. Deneysel durum ve gerçek durum arasındaki geometrik farklılığın nedeni ana fay zonlarının iki özelliği ile ilişkilendirilmiştir. İlk olarak, KAFZ'nin gerçek geometrisinin tam düz olmamasıdır.



Şekil 4.59 : Deneysel ortamda sınır fayları arasında gelişen faylar ve bunlardan yararlanılarak çizilen hipotetik eksponansiyel kayma hatları (a), KAFZ ve DAFZ arasında gerçekte olan durum ile benzerdir (TF: Toklular fayı, BF: Bahçeli fayı).

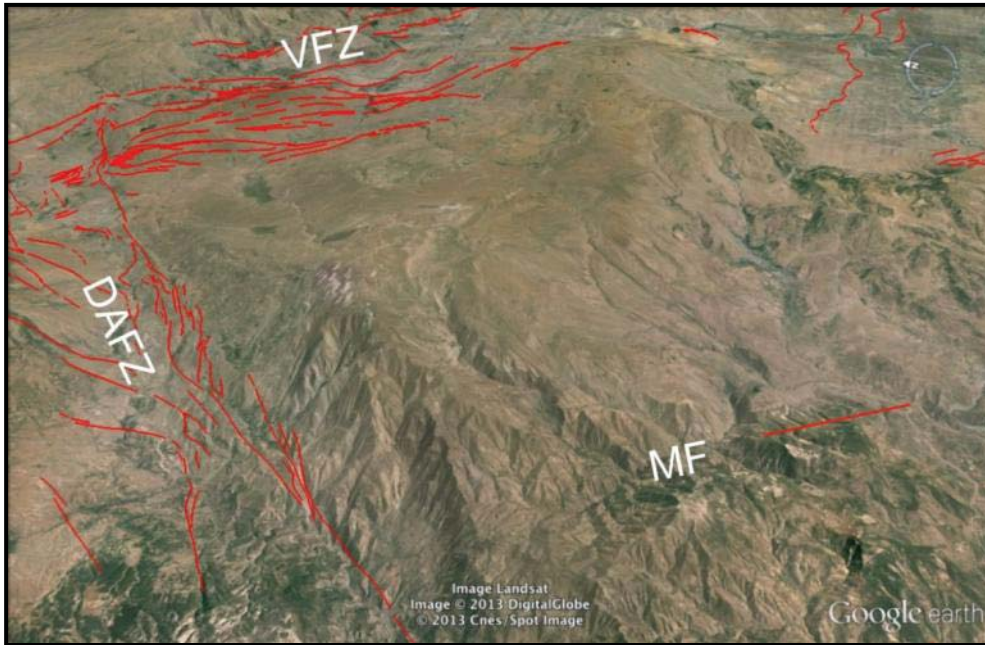
Oysa deneyde KAFZ'nin çizgisel bir geometriye sahip olduğu varsayılmıştır. İkinci neden ise modelde her iki sınır fayının saf yanal atım davranışında olduğu varsayılmış, KAFZ ve DAFZ'nin gerçekte olabilecek düşey hareketleri modele aktarılamamıştır. Bu sebeplerin deneysel çalışmalar ile gerçek durum arasındaki geometrik farklılıkların oluşmasında etkili olduğu düşünülmektedir.

Deneysel sonuçları ile gerçek durum arasındaki bir diğer fark ise çizgisel kısımları sol yanal ve DAFZ'ye yakın konumlanmış fayların gerçekte deneydeki gibi net gelişmemesidir. Gerçekte DAFZ'ye yakın konumlanmış ikincil faylar üzerinde sol yanal ötelenmeleri olduğu (Şaroğlu, 1985) bilinmesine rağmen bu fayların eğrisel bölümleri arazide görülmemektedir. Bu durum ile ilgili yapılabilecek en geçerli yorum deneyde kamanın açık bölümünün önünde bir engel olmamasıdır. Oysa KAFZ ve DAFZ arasında kalan bölge batıda Malatya-Ovacık Fay Zonu gibi tektonik yapılar ile sınırlandırılmıştır. Gerçekte oblik normal fayların yüzeyde oluşmamasının bir nedeni de bu fayların yüzeye çıkabilecek enerjiye sahip olamadığı yani derinde gömülü olabileceğidir.

KÜE'nin doğusundaki faylanmanın, geniş bir makaslama zonunun mekaniğine sahip olduğu üçlü eklem civarındaki faylanmaları açıklamak için kullanılan diğer bir hipotezdir. Transpresyonel zon olarak tanımlanabilecek bu bölgede var olan yapılar

transpresyonel zon kavramının gereği olan yükselme ve makaslama yapılarının her ikisininide göstermektedir.

Bölüm 4.3 içerisinde tartışılan makaslama zonlarında gelişen yapılar ile KÜE doğusunda yer alan faylanmanın nasıl geliştiğini tamamı ile açıklamaktadır. Makaslama zonları içerisinde gelişen yapıların ilk özelliği bu bölgelerde makaslama yapılarına eşlik eden yükselmelerin gelişmesidir. Yapılan analog model çalışmalarında VFZ'yi temsil eden taban fayı üzerindeki granüler malzemenin hem yükseldiği hem de sağ yanal olarak deforme olduğu görülmüştür. Deney-2 ve Deney-3'ün genelinde gözlenen bu durum ve yükselen bölge içerisinde oluşan R makaslamaları modellerdeki transpresyonel alanlarda görülen deformasyon özellikleri olarak değerlendirilmiştir. KÜE doğusunda, kuzeyde VFZ, güneyde MF ve batıda DAFZ ile sınırlı bölge çevresine göre daha yüksekte durmakta ve makaslama zonu içerisinde gelişen faylar ile kesilmektedir (Şekil 4.60)



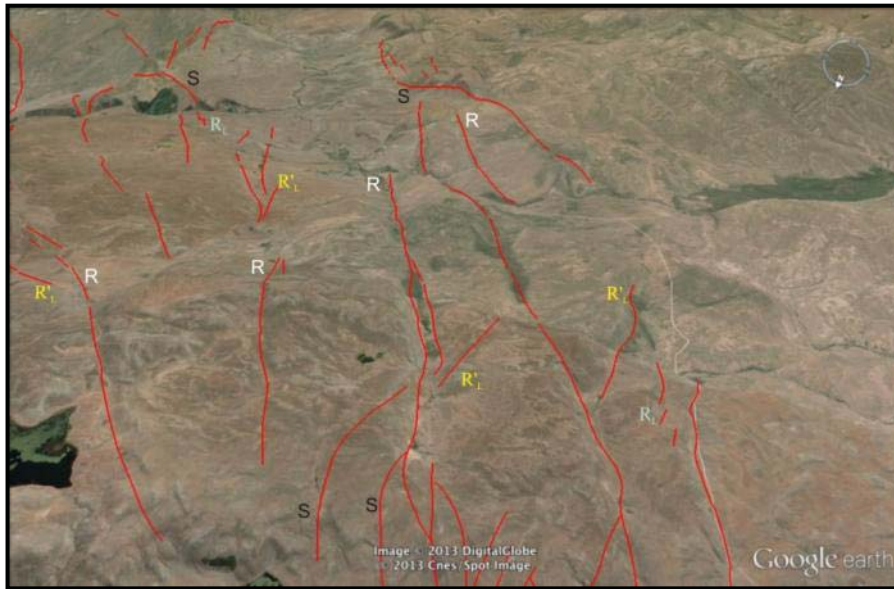
Şekil 4.60 : KÜE doğusunda, VFZ, DAFZ ve MF ile sınırlanmış bölge çevresine göre daha yüksekte durmaktadır (Google Earth verilerinden sağlanan taban harita üzerindeki (Faylar Emre ve diğ. (2012 a ve b)'den alınmıştır).

Makaslama zonları içerisinde gelişen R makaslamaları ve bunların ana fay zonları ile olan ilişkileri bu zonları tanımlayabilmek için başka bir önemli kriterdir. Bu zonlar zonları içerisinde gelişen en-eşelon R makaslamalarının, özellikle hareket oranı az olan doğrultu atımlı fayların etkisinde geliştiği analog model ve gerçek durum

verilerinin karşılaştırılması ile ileri sürülmüştür (Schreurs, 2003).

Deney-2 ve Deney-3'de oluşan transpresiv bölge içerisinde gözlenen R makaslamaları bölgedeki mekanizmanın bu fayların oluşumunu sağlayacağını göstermektedir. Deneylerde oluşan R makaslamalarının taban fayına çok dik açı ile gelmesi bu fayların gelişmesini sağlayacak yeterli deney alanının ve dolayısı ile yeterli deformasyon oranının olmamasından kaynaklıdır. Ayrıca KÜE doğusunda VFZ ve MF'nin göreceli olarak düşük yer değiştirme oranına sahip olduğu düşünüldüğünde bölgedeki R makaslamalarının (Şekil 4.18 ve Şekil 4.61) oluşumu literatürde ileri sürüldüğü gibidir.

Kademeli olarak oluşmuş R makaslamaları arasında kalan bölgenin yükselimi de makaslama zonları için tanımlanabilecek kriterlerden biridir. Deney-2 ve Deney-3 sonuçlarında VFZ taban fayı üzerinde gelişen bölgeden oluşan R makaslamalarının geometrisi incelendiğinde deney ölçeğinin yetersizliğinden bu faylar üzerinde aşma yapılarının gelişmediği görülür. Dolayısı ile bu deneyde oluşan R makaslamaları arasında yükselim oluşmamıştır. Fakat KÜE doğusundaki topoğrafya incelendiğinde bu fayların arasında kalan alanların etrafına göre daha yükseldiği görülmektedir (Şekil 4.61). Bu yükselimlerin uzun eksenleri R makaslamalarına paraleldir.



Şekil 4.61 : KÜE doğusunda, yer alan ikincil faylar incelendiğinde R makaslamaları arasındaki topoğrafyanın çevresine göre daha yüksek olduğu görülür (Google Earth verilerinden sağlanan taban harita üzerindeki (Faylar Emre ve diğ. (2012 a ve b)'den alınmıştır).

Makaslama zonlarının içerisinde gelişen ve R makaslamlarının birbiri ile bağlanmasının sağlayan R_L fayları ile bu fayların arasında oluşmuş, ana makaslama zonlarına ters yönde atım özelliği gösteren R'_L fayları bu zonların tanımlanmasında kullanılan kriterlerden bir başkasıdır. KÜE doğusunda yer alan ikincil fayların (Şekil 4.18 ve Şekil 4.61) deneysel faylar ile denştirilmesi R_L ve R'_L faylarının varlığını ortaya koymaktadır. R'_L faylarının gelişmesi bölgede olan rotasyonun kanıtıdır. Zira paleomanyetik veriler bu bölgede saatin tersi yönünde oluşan 20^0 - 25^0 arasındaki rotasyonu göstermektedir (Tapırdamaz, 2013 sözlü görüşme). Ayrıca bu bölgelerde oluşan kısa ömürlü fayların (Şekil 4.61'de S ile gösterilen faylar) varlığı da tanımlanan kriterler arasındadır.

KÜE civarındaki faylanmanın mekaniğini üçlü eklemin batısı ve doğusu için ayrı ayrı incelenmiştir. Uzaktan algılama ve arazi çalışmaları ile elde edilen veriler literatürdeki teorik ve deneysel çalışmalar ile kıyaslanarak KÜE doğusu ve batısı için ileri sürülen faylanma hipotezleri analog modeller ile test edilmiştir. Sonuç olarak KÜE batısının KAFZ ve DAFZ 'nin sınır faylarını oluşturduğu kama şekilli pasif hücre modeli denetiminde geliştiği, doğusunun ise VFZ ile MF etkileşimi ile gelişen ve saatin tersi yönünde rotasyona uğrayan geniş bir transpresyonel deformasyon alanı olduğunu göstermektedir.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

5.1 KÜE Civarındaki Fayların Geometrisi, Kinematığı ve Depremselliği ile İlgili Arazi Çalışmalarının Sonuçları

5.1.1 KAFZ-İlıpınar segmenti

KAFZ'nin deformasyon zonu KÜE ile Erzincan havzası arasında farklı genişliklere sahiptir. KÜE ile Yedisu havzasının doğusu arasında yaklaşık 10 km genişliğinde olan deformasyon zonu, Yedisu havzası ile Erzincan havzası arasında göreceli olarak daha dar bir makaslama zonu olarak kendini belli eder (Şengör ve diğ., 2005). KAFZ'nin doğu kesimleri batısına nazaran daha az tanınmaktadır. Yedisu havzasının doğusu ile KÜE arasında iki segmente ayrılan 56 km uzunluğundaki KAFZ'nin bu hattını Barka ve Kadinsky-Cade (1988) tarafından, sıkışmalı çift büklüm geometrisine sahip olduğunu ileri sürülerek kendi arasında FS1, FS2 ve FS3 olarak üç alt segmente ayrılmıştır. FS1 olarak tanımlanan İlıpınar segmentinin morfolojik olarak belirgin izler taşıdığı farklı çalışmalarda (Allen, 1969; Barka ve diğ., 1987; Tutkun ve Hancock, 1990) gösterilmiştir.

KAFZ'nin en doğu segmenti olan İlıpınar segmenti KÜE'nden başlar ve K70-80B doğrultusunda batıya doğru 26 km devam eder (Şekil 3.1). İlıpınar segmenti (FS1)'nin batı sınırı, Elmalı segmenti ile yayvan bir sıkışmalı büklüm oluşturduğu Kızılçubuk köyü civarındadır. İlıpınar segmentinin belirgin morfolojisi (Şekil 3.2), segment üzerinde oluşmuş daha ufak boyutlardaki sıkışmalı ve gerilmeli büklümler ve sıçramalı yapıların denetiminde gelişmiştir. Segment en doğu ucu olan Zımak tepe ile Yoncalık köyü güneyi arasında sağ ve sol yönlü ufak büklümler yapar. Yoncalık köyü güneyi ile Çatak güneyi arasında genelde sola aşmalı olarak devam eden segment, Kızılçubuk köyü doğusuna kadar büklümler yaparak son bulur. İlıpınar segmentinin kuzeyinde yer alan ve taşıdığı morfolojik belirteçlere göre daha az aktif olan iki eski fay kolu bulunur.

Bunlardan doğuda olanı Yoncalık köyü civarında başlar ve Çatak güneyine kadar K75-80B konumunda 10 km kadar kuzey batıya doğru devam eder. Batıda olan ise Çatak güney batısından başlayarak K65-80B konumunda kuzeybatıya doğru 3 km devam ederek Ilıpınar köyü civarında son bulur.

Segment üzerinde ve yakın civarındaki güncel dere ötelenmeleri (Şekil 3.3, Şekil 3.9, Şekil 3.16) bölgedeki deformasyonun büyük oranda Ilıpınar segmenti tarafından karşılandığını az oranda da KAFZ ve DAFZ arasında oluşmuş Bahçeli ve Toklular fayı (Şekil 3.67) üzerinde oluştuğunu göstermektedir.

Ilıpınar segmenti civarında son yüz yılda oluşan $M > 6$ depremler segmentin deprenselliği açısından oldukça önemlidir. Ilıpınar segmentinin batısında yer alan Elmalı segmenti üzerinde meydana gelen 17 Ağustos 1949 Elmalı Depremi ($M_s=6.9$), FS2 üzerinde yer alan Kaynarıpınar Köyü'nde büyük yıkıma yol açmıştır (Lahn, 1952). Elde edilen bilgilere göre bu deprem Kızılçubuk köyünün doğusunda az hasar yaratmış fakat yüzeyde kırılma görülmemiştir. Ilıpınar segmentinin doğusunda yer alan Varto Fay Zonu (VFZ) üzerinde oluşan 19 Ağustos 1966 Varto Depremi'nin ($M_s=6.9$) artçı şoku olarak kabul edilen 20 Ağustos 1966 Depremi'nin ($M_s=6.2$) ise Ilıpınar segmenti üzerinde gerçekleştiği ileri sürülmüş (Ambraseys ve Zatopek, 1968; Barka ve Kadinsky-Cade, 1988; Dewey, 1976; Tutkun ve Hancock, 1990) olmasına rağmen daha sonra yapılan çalışmalar depremin odak yerinin VFZ'nin en batı kısmı üzerinde olduğunu ileri sürmüştür (Ambraseys ve Jackson, 1998).

Segmentin son yüzyılda olan depremler ile olan ilişkisini ve daha eski deprem tarihçesini araştırmak amacı ile, Ilıpınar segmentinin doğu ucunda yer alan Yoncalık havzası üzerinde iki adet paleosismoloji çalışması gerçekleştirilmiştir. Yapılan arazi çalışmaları ve uzaktan algılama gözlemleri havzayı kuzeyden sınırlayan fay kolunun, aktif olmadığı veya aktivitesinin az olduğunu göstermektedir. Yoncalık Havzası içerisinde güncel deformasyon, havzanın güneyini sınırlayan Ilıpınar segmenti tarafından karşılanmaktadır. Ilıpınar segmentinin 3 km uzunluğunda ve 750 m genişliğindeki Yoncalık havzası içerisinde doğrultusu K70B dır.

Yoncalıkta açılan hendeklerden iki eski deprem belirlenmiştir. Bu depremlerin tarih aralıkları geniş olsa da birbirleri ile uyumludur. Yoncalık-2 hendeğindeki MÖ 6325 tarihinden önce olan depremin Yoncalık-1 hendeğinde MÖ 8500-6150 arasında olan deprem ile aynı olduğu düşünülmektedir.

Yoncalık-2 hendeğinden elde edilen MÖ 6325-2105 tarihleri arasında olmuş depremin ise Yoncalık-1 hendeğindeki MÖ 5960- 4300 tarihleri arasında olmuş deprem ile aynı deprem olması yüksek bir olasılık olarak değerlendirilmiştir.

Yoncalık hendeklerinden elde edilen veriler, Ilıpınar Segmenti'nin deprem üretme aralığının KAFZ'nin genel davranışına uygun olmadığını göstermektedir. Olaylar her ne kadar geniş bir zaman aralığına tarihlendirilmiş olsalarda, iki olay arası zaman en az 2000 sene civarındadır. KAF'ın batı kısımlarında ise deprem tekrarlanma aralığı 200 ila 600 sene arasında değişiklik gösterir (ör: Hartleb ve diğ., 2006).

KÜE civarının karmaşık deformasyon dağılımından dolayı (Şengör, 1979; Şengör, 1985), KAFZ'nin bu segmenti diğer segmentleri gibi düzenli deprem üretme aralığına sahip değildir. KAFZ'nin diğer kolları ile kıyaslandığında Ilıpınar Segmenti üzerinde yüzey kırığı oluşturan depremlerin çok uzun periyotlar ile oluşmasının iki nedeni olabilir.

Bunlardan ilki, Ilıpınar Segmenti üzerinde sık olarak meydana gelen göreceli olarak küçük büyüklükteki depremlerin biriken yamulmayı azaltması olarak düşünülmüştür. Bu durumda 20 Ağustos 1966 (Ms=6.1) depremi Ilıpınar Fayı üzerinde gerçekleşmiş ve yüzey kırığı oluşturmamıştır. Dolayısı ile segmentin batısında olan 17 Ağustos 1949 ve doğusunda olan 19 Ağustos 1966 depremlerinin Ilıpınar Segmenti üzerine aktaracağı enerjide azalma olmuştur. Segment üzerindeki benzer sismik aktivite, fayın bu kesimi üzerinde oluşan büyük depremlerin geniş zaman aralıklarında oluşmasına neden olur.

Diğer bir neden ise KAFZ'nin bu kesiminde deformasyonun geniş bir zona saçılarak, ana yamulmanın Ilıpınar Segmenti'nde gerçekleşmemesi olarak düşünülmüştür. Zira Ilıpınar Segmenti'ne yakın olarak konumlanmış ikincil faylar üzerlerinde önemli derecede yanal ve düşey hareketler olduğu belirtilmiştir. Aynı çalışma, söz konusu faylar üzerinde yapılan morfometrik analizlere ve bu fayların bölgedeki topoğrafik yapı üzerindeki etkisine dayanarak, ikincil fayların bölgede biriken enerjinin bir kısmını üzerinde topladığını ileri sürmektedir. Bölgede yapılan jeolojik kayma hızı çalışmaları sonucunda elde edilen değerler (Zabcı, 2012), GPS temelli blok modellerden üretilen kayma hızı değerlerine göre farklılıklar içermektedir. Bölgede yapılan blok model hızları 25.3 ± 0.2 mm/yıl (Reilinger ve diğ., 2006) ile 11.8 ± 0.3 mm/yıl (Aktuğ ve diğ., 2013) arasında değerlere sahiptir.

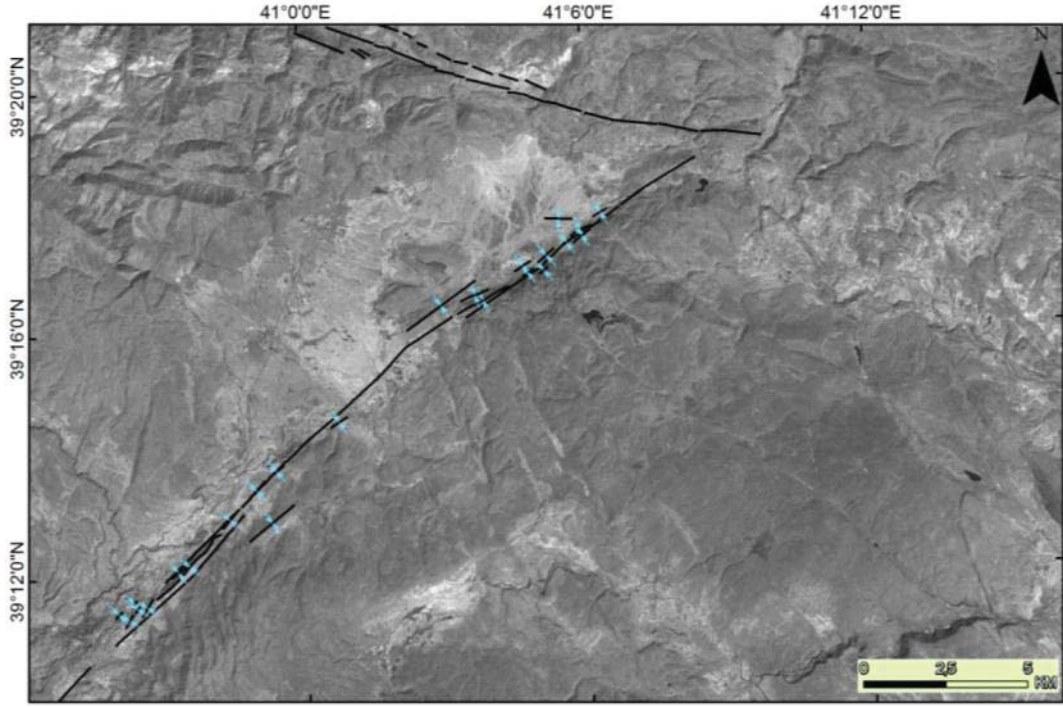
Bu değerler ile jeolojik kayma hızı sonuçları (Zabcı, 2012) arasında sırası ile 5,3 mm/yıl ve 8,2 mm/yıl'lık farklar oluşmaktadır. Bu veriler KAFZ'nin en doğu kesiminde oluşan yamulmanın sadece Ilıpınar Segmenti tarafından karşılanmadığını bölgedeki ikincil yapıların da buradaki enerjinin bir kısmını üzerinde topladığını göstermektedir. Söz konusu enerji dağılımı ise segmentin KAFZ'nin geri kalanı gibi düzenli deprem davranışı göstermesini engeller.

5.1.2 DAFZ-Göynük segmenti

Göynük segmenti DAFZ'nun en KD ucunu oluşturur. 23 km uzunluğundaki hattın uzanımı K55-65D arasında değişmektedir. Göynük segmenti Kargapazarı doğusu ile Sakaveren güneybatısı arasında göreceli olarak tek ve düz bir hat olarak devam eder. Bu noktadan sonra sıkışmalı dar bir sıçrama yapan segment, Alpiran köyünün batısına kadar yaklaşık K65D doğrultusunda kısa bir mesafede devam eder. Segment, sıkışmalı bir büküm yaparak tekrar düz bir hat boyunca Seyrenan köyü kuzeydoğusuna kadar uzanır. Fay bu noktada açılmalı bir sıçrama yaparak Kalecik köyüne doğru devam eder. Sıçramayı yapan iki fay kolu arasındaki üzerleme miktarı yaklaşık 3 km civarındadır.

Göynük segmenti dar bir deformasyon zonuna sahiptir ve üzerinde baskın olarak sıkışmalı yapılar görülür (Şekil 5.1). Göynük segmenti üzerinde oluşan sıkışmalı yapıların çokluğu iki sebepe bağlanmıştır. İlki doğrultu-atımlı fayların evrimi sırasında ilk olarak görülen R makaslamalarının uç kesimlerinde veya üzerlerinde oluşan, ana makaslama zonuna göreceli olarak büyük açı ile gelişen kısa ömürlü fayların (Naylor ve diğ., 1986) etkisidir. Tez kapsamında yapılan analog model çalışmaların da bu yapılar tespit edilmiştir. Bu kısa ömürlü fayların derine doğru devamında eğimlerinin azaldığı ve düşey bir harekete sebep olduğu görülmüştür. Fay zonunun her iki tarafında oluşabilen kısa ömürlü fayların düşeydeki hareketi yükselim şeklindedir.

Dolayısı ile kısa ömürlü faylar hareketli olduğu dönemlerde az miktarda yanıl atımla birlikte önemli derecede bir yükselim hareketi yaparak fay zonuna değişik açılar ile gelen yükselteler oluşturur. Bu durum Göynük segmenti üzerindeki yükselimlerin (Şekil 5.2) segmentin gelişimi sırasında oluşan kısa ömürlü faylar ile ilişkili olduğunu göstermektedir. İkinci sebep ise segmentin doğusunda olan saat yönünün tersinde gelişen rotasyondur. Paleomanyetizma çalışmaları ile gösterilen saatin tersi



Şekil 5.1 : DAFZ-Göynük segmenti üzerinde oluşan sıkışmalı yapıların dağılımı
(Taban harita ASTER görüntülerinden elde edilmiştir).

yönündeki 20^0 - 25^0 'lik rotasyon Göynük segmentinin doğusunda olan hareket vektörü ile ters yönlü olduğu için segment üzerinde sıkışma oluşturmaktadır. Bu sıkışmanın kısa ömürlü fayların yarattığı yükselimleri daha da arttırmış olması muhtemeldir. Kısa ömürlü fayların mekaniği dikkate alındığında, Göynük segmentine nispeten uzak konumlanmış ve göreceli olarak yüksek açı ile oluşan yapıların bu fayların etkisi ile oluşmuş sıkışmalı birimler olduğu ileri sürülebilir. Sıkışmalı yapıların arazi çalışmaları sırasında uzamış sırtlardan ayrılması faya olan uzaklıkları ve faya yaptıkları göreceli yüksek açı hesaba katılarak belirlenebilir.

5.1.3 Varto Fay Zonu

Varto Fay Zonu (VFZ) geometrisi ve kinematığı dikkate alınarak üç segmente ayrılmıştır. Bu segmentler kuzeyden güneye doğru Varto segmenti, Leylekdağ segmenti ve Çayçatı segmenti olarak isimlendirilmiştir (Herece, 2008).

En kuzeyde yer alan Varto segmentinin uzunluğu 30 km ve doğrultusu K60-80B'dır. Deformasyon zonu segmentin KÜE'ye yakın kesiminde dar iken, doğuya doğru 2 km genişliğe ulaşır. Varto segmentinin, KÜE ile Kartaldere köyü arasındaki doğrultusu K70B'dır. Kartaldere köyünden itibaren gevşemeli büklüm yaparak K60B doğrultusunu kazanır ve Çaylar köyü güneyine kadar tek bir kol olarak devam eder.

Bu noktadan sonra deformasyon zonu genişleyen Varto segmenti birbirine yaklaşık paralel iki koldan oluşur. Kuzeydeki kol Şorik köyü güneyi ile Sağlıcak köyleri arasında düşük açılar ile önce gevşemeli sonra da sıkışmalı büklüm yaparak K65-80B konumları arasında 10 km uzanır. Güneydeki kol ise Doğanca köyü ile Çobandağı köyü arasında K68B-K75B doğrultusunda 10 km devam eder. Çobandağı köyünün doğusunda yaklaşık 1.5 km sağa sığıyarak 3 km daha devam eder. Varto segmenti üzerinde yapılan arazi çalışmaları ve uzaktan algılama bulguları segment üzerinde sadece yanal atım denetiminde gelişmiş morfolojik belirteçler olduğunu ortaya çıkarmıştır.

VFZ'nin orta kolunu oluşturan Leylekdağ segmenti güneye içbükey geometisi ile Varto segmentinden belirgin olarak ayrılır. Kuzeybatıdan Teknedüzü köyü civarında K35B doğrultusunda başlar ve Leylek dağına gelmeden sonlanır. Segmentin güneydoğuya doğru 10 km olan devamı Çallidere köyünden itibaren kendini belli eder.

Bu kol segmente adını veren Leylek dağının güney yamacını takip eder. Yapılan arazi çalışmalarında bu kol üzerinde yanal atım hareketine bağlı gelişebilecek morfolojik izler görülmemiştir. Leylek dağının Leylekdağ segmenti denetiminde yükseldiği düşünülmektedir. 1966 Varto depreminden hemen sonra yapılan arazi çalışmalarında bu hat üzerinde bir kaç yüz metre boyunca kademeli kırık sistemleri haritalanmıştır (Wallace ve diğ.,1968). Aynı araştırmacılar tarafından bu çatlak sistemleri üzerinde 20-30 cm civarında sağ yanal ötelenmeler ölçülmüştür.

VFZ'nin en güneyde bulunan kolu Çayçatı segmentinin doğrultusu K30B ila K80B arasında olup uzunluğu yaklaşık 17 km'dir. İki fay kolundan oluşan Çayçatı segmentinin kuzeybatı ucunda kalan kolunun uzunluğu yaklaşık 4 km, doğrultusu ise yaklaşık K30B'dır. İkinci kol ise Kolan köyü kuzeyinden başlayarak güneybatıya doğru dışbükey bir yay şeklinde 13 km boyunca nerdeyse tek bir hat olarak devam eder.

1966 büyük Varto depremi sırasında bu hat üzerinde bölge halkı tarafından tanımlanan yüzeydeki bozulmalar Leylekdağ segmenti üzerinde gelişen deformasyonlar ile benzerdir. 1966 Varto depreminde Kolan köyünün kuzeyinde, Dodan Dağı yamaçlarından itibaren yaklaşık 300 m lik bir zon boyunca yüzeyde deformasyonun izleri görülebilmektedir (Şekil 3.62). Dodan dağının Çayçatı

segmentinin denetiminde yükseldiği düşünölmektedir.

Ölkemizde 1938–2004 yılları arasında meydana gelmiş yıkıcı depremlerin odak mekanizmasının çözümlerini içeren katalogda (Tan ve diğ., 2008) VFZ üzerinde son yüzyıl içerisinde meydana gelmiş iki büyük depremin parametreleri sunulmuştur. Bunlardan ilki 07 Mart 1966 ikincisi ise 19 Ağustos 1966 tarihinde olmuştur. Tan ve diğ., (2008) bu depremlere ait odak mekanizması çözümlerinden depremi oluşturan fayların doğrutlu ve eğimlerini sırası ile $310^0/60^0$ ve $314^0/64^0$ ve eğim yönlerinin kuzeye doğru olduğu belirtilmiştir.

Bu veriler depremleri yaratan fayların saf doğrutlu atımlı bir fay olmadığına işaret etmektedir. Bu eğim açısına sahip bir fay doğrutlu atım bileşenine sahip bindirme fayı şeklinde yorumlanabilir. Zira odak mekanizması çözümlerinden elde edilen fay özellikleri ile bu tez kapsamında arazi çalışmalarından elde edilen fay özellikleri göz önüne alındığında adı geçen depremlerin VFZ'nin Leylekdağ ve Çayçatı segmentleri üzerinde olabileceği anlaşılmaktadır.

19 Ağustos 1966 depreminden hemen sonra yapılan arazi çalışmaları, her ne kadar Varto ilçesinin tamamına yakınında yıkım olduğunu gösterse de, faylanma ile ilişkili deformasyonların sadece Leylekdağ ve Çayçatı segmentleri üzerinde geliştiği, Varto segmenti üzerinde ise bir deformasyonun oluşmadığı belirtilmiştir (Wallace ve diğ., 1968).

Ayrıca arazi çalışmaları sırasında bölge halkından edinilen bilgiler doğrultusunda 19 Ağustos 1966 depremi sonrasında yüzeyde oluşan deformasyonların yerleri VFZ'nin güney segmentlerinde yoğunluk kazanmıştır. Bütün bu veriler 1966 depremlerinin VFZ'nin güney segmentleri üzerinde olduğu ve zonun en kuzeyinde yer alan Varto segmentinin bu depremlerde yüzey kırığı oluşturmadığına işaret eder.

VFZ güney segmentleri olan, Leylekdağ ve Çayçatı segmentlerinin kuzeyinde oluşmuş ve bu faylara paralel giden yükselilerin (Leylek ve Dodan dağları) oluşturduğu topoğrafya, adı geçen segmentlerin bindirme bileşeninin yüzeydeki en dikkat çekici göstergesidir. Leylek dağı ve Dodan dağını kesen hatlar boyunca alınan topoğrafik kesitler incelendiğinde ortaya çıkan topoğrafyanın kuzeye eğimli bindirme fayları denetiminde oluştuğu görölmektedir.

Leylek dağı ile güneyindeki düzlük alan arasında 500 m'lik yükseklik farkı görülürken, Dodan dağı ve güneyindeki düzlükler arasındaki yükseklik farkı ise 200 m dir. 500 m'lik yükseklik farkını oluşturan Leylek tepesinin, 2,2 milyon yıllık yaşı (Hubert-Ferrari ve diğ., 2009) dikkate alındığında, yıllık 0,22 mm'lik bir yükselimle oluştuğu düşünülmektedir.

5.1.4 Karlova Üçlü Eklemi'nin batısında yer alan ikincil faylar

KAFZ ve DAFZ'nin sınırlarını oluşturduğu kama şekilli bölge içerisindeki deformasyonun ürünleri olan ikincil fayların niteliği, bölgedeki deformasyon mekanizmasının anlaşılmasında oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Önceki çalışmalar bu fayların mekaniği hakkında detaylı bilgi içermez. Şaroğlu (1985) söz konusu fayların KAFZ ve DAFZ tarafından kesildiğini dolayısı ile eski yapılar olduğunu belirtir. Diğer bir çalışmada ise FS1'in güneydoğuya doğru devam ettiğini ve Karlova'ya ulaşmadan yay çizerek normal fay karakteri kazandığı ileri sürülmüştür (Emre ve diğ., 2005). Hubert-Ferrari ve diğ. (2009) ise bu bölgedeki topoğrafyanın, doğudan doğrultu-atımlı faylar ile taşınarak geldiğini Ar-Ar yaşları ve jeokimya çalışmalarına dayanarak savunur.

Bu tez çalışması kapsamında elde edilen bulgular üçlü eklemin batısında olan fayların, kama şekilli deformasyon bölgelerinde (Hartmann, 1928; Ingles ve diğ., 1999; Kanizay, 1962; Nadai, 1950; Prandtl, 1924; Varnes, 1962) gelişebileceğini göstermektedir. Kama şekilli ortamlardaki deformasyonun en dikkat çekici belirteci dairesel ve/veya parabolik olarak gelişen kayma hatlarının varlığıdır.

Ancak KÜE batısında KAFZ'ye yakın olarak konumlanmış Bahçeli ve Toklular faylarının geometrileri tam olarak dairesel ve/veya parabolik geometriye sahip değildir. Söz konusu fayların batı kesimleri çizgisel geometriye sahip iken doğuya doğru dairesel bir hat kazanmaktadır. Geometrideki bu değişim fayın karakteri üzerine de etki etmektedir. Fayların çizgisel kısımlarında sağ yanal atım görülürken, dairesel kesimleri ise normal fay karakterindedir. Çizgisel hattın dairesel hatta geçiş noktalarında ise doğrultu atım ve normal fay davranışı birlikte görülmektedir. Fayların dairesel geometrisinden kaynaklı olan normal fay hareketi, arazide stratigrafik yüzey şekli olarak tanımlanan kuesta olarak kendini belli eder.

Bahçeli ve Toklular faylarının çizgisel kesimlerinde gözlenen dere ötelenmeleri ve bu fayların eğrisel kesimlerinin denetiminde gelişen akaçlama ağları üzerinde yapılan morfometrik analizler bu fayların bölgedeki morfolojiyi önemli ölçüde denetlediğini

gösterir. Bu durum bölgede olan deformasyonun bir kısmının bu faylar üzerinde oluştuğunu ortaya koyar.

5.1.5 Karlova Üçlü Eklemi'nin doğusunda yer alan ikincil faylar

KÜE doğusunda bulunan faylar üzerinde yapılan arazi çalışmaları ve uzaktan algılama gözlemleri bölgedeki ikincil fayların hepsinin doğrultu atım karakterine sahip olduğunu göstermiştir. Haritalanan bu faylar geometrisi ve atım yönü dikkate alınarak iki sınıfa ayrılmıştır. Söz konusu faylardan Varto segmentine yaklaşık paralel uzanan faylar sağ yanal atımlıdır. Sağ yanal faylar sola sıçramalı veya aşmalı olarak KB-GD yönünde uzanır. Sağ yanal fayların sıçrama veya aşma yaptığı yerlerde gelişen faylar ise sol yanal atımlı faylardır.

Bu fayların geometrisi ve hareket yönleri, makaslama zonlarının geniş deformasyon alanına sahip olduğu alanlarda görülen sintetik (R) ve antitetik (R'_L) faylar ile benzerdir (Şekil 4.61).

Schreurs (2003), makaslama zonları için yaptığı analog modellerde, deformasyonun sadece yanal atım tektoniğine bağlı olduğu bölgelerde, ilk zamanlarda ana makaslama zonu sınırlarına 17⁰-24⁰ arası açı ile gelişen sola sıçramalı ve/veya aşmalı R makaslamaları oluştuğunu ileri sürmüştür. Araştırmacı transpresyonel bölgelerde gelişen deformasyon alanlarında ise deformasyonun ilk aşamalarında, R faylarının makaslama zonu sınırlarına 28⁰-35⁰ arasında açı ile oluştuğu göstermiştir. R makaslamalarının aşma ve/veya sıçrama yaptığı yerlerde ise düz bir geometriye sahip sol yanal R'_L faylarının geliştiği gösterilmiştir (Schreurs, 2003).

KÜE doğusunda R fayları olarak tanımlanan makaslamaların ana makaslama zonuna (VFZ'nin Varto segmenti) olan açıları yukarıda belirtilen açılar ile uyumsuzdur. Şekil 5.2a KÜE doğusunda oluşan R fayları ile VFZ'nin bugünkü konumlarını göstermektedir. VFZ'nin en kuzeyinde yer alan Varto segmentinin yaklaşık uzanımını temsil eden kırmızı kesikli çizgi ile, R makaslamalarının yaklaşık uzanımını temsil eden mavi kesikli çizgi arasındaki açı 11⁰ olarak hesaplanmıştır. Paleomanyetik veriler KÜE doğusunda saatin tersi yönünde 20⁰-25⁰ arasında rotasyon olduğuna işaret eder. Bu veri dikkate alınarak VFZ güneyinde yer alan yapılardan belirtilen rotasyon değerleri geri çekilerek bu fayların ilk konumları anlaşılmasına çalışılmıştır. VFZ güneyindeki faylar saat yönünde 20⁰ döndürüldüğünde Varto segmenti ile güneyindeki faylar arasındaki açı 31⁰

(Şekil 5.2b'de mor kesikli çizgi ile kırmızı kesikli çizgi arasında), saat yönünde 25^0 döndürüldüğünde ise aynı açı 36^0 (Şekil 5.2c sarı kesikli çizgi ile kırmızı kesikli çizgi arasında), olarak hesaplanmıştır. Elde edilen ilk konum değerleri Schreurs (2003)'de belirtilen transpresyonel ortamlar için ortaya konulan ilk R makaslamlarının ana makaslama düzlemine yaptığı açı ile uyumludur. Bu değer ayrıca Deney-2'de VFZ üzerinde oluşan ilk R makaslamlarının ana fay düzlemine yaptığı açı ile de uyumludur.

Geniş makaslama zonları ilk oluştuğu zamanlarda ortaya çıkan göreceli yüksek açılı R makaslamları, deformasyonun devam etmesi durumunda rotasyona neden olurlar. R makaslamlarının ilk açıları ise bölgedeki hıza ve reolojiye bağlı olarak değişim gösterir.

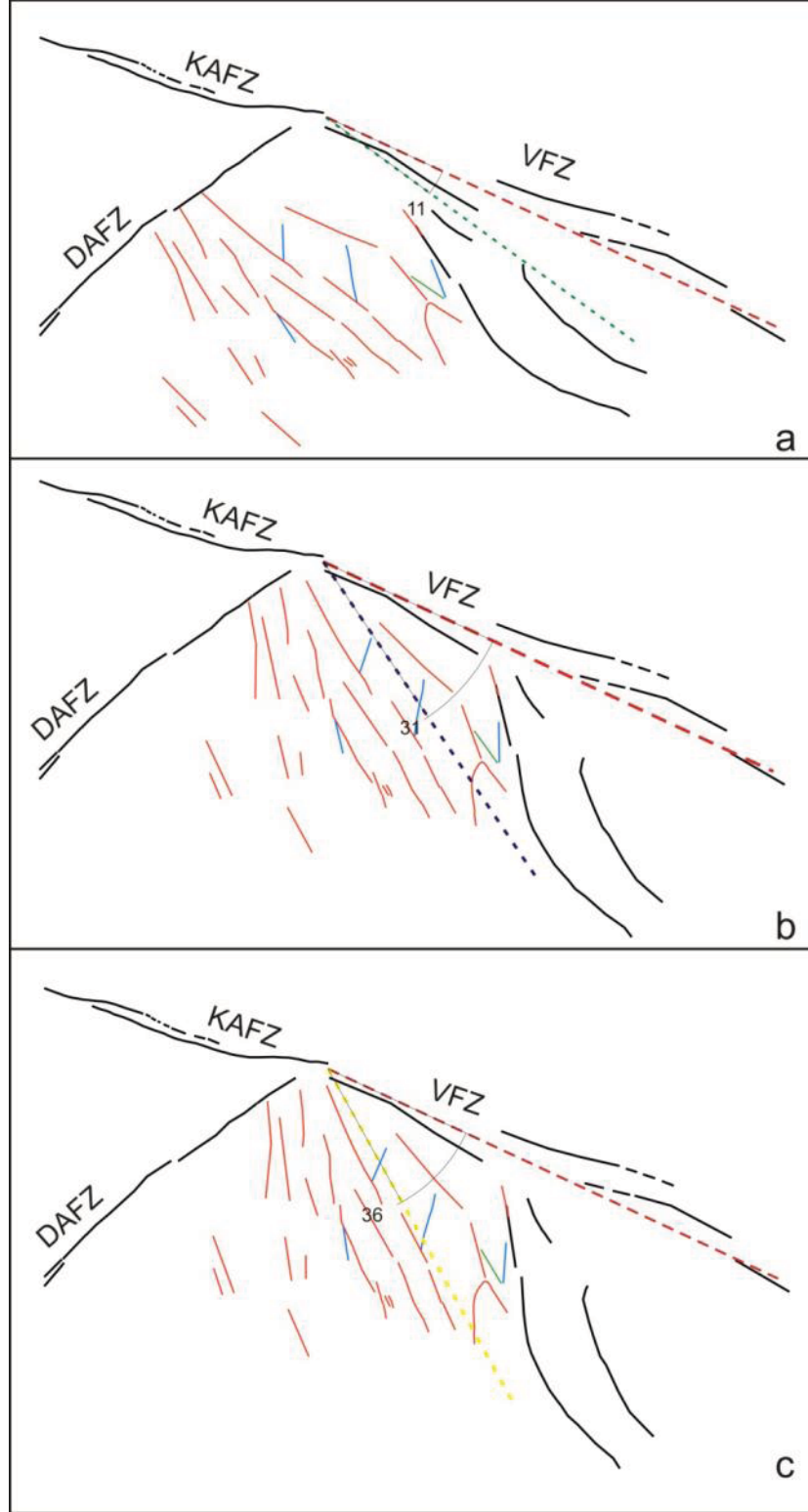
VFZ içerisinde yer alan oblik bindirme faylarının oluşum mekaniğini anlamak adına R fayları için yapılan işlem oblik bindirme faylarına da uygulanmış ve sonrasında yamulma elipsinden faydalanılmıştır. Söz konusu yamulma elipsi, Deney-2'den elde edilen VFZ'ye dik yönde meydana gelen % 7 kısalma ve fay boyunca oluşan 3^0 sağ yanal makaslama dikkate alınarak oluşturulmuştur.

VFZ'nin en kuzeyinde yer alan Varto segmentinin yaklaşık uzanımını temsil eden kırmızı kesikli çizgi (Şekil 5.3) ile, Leylekdağ ve Çayçatı segmentleri arasındaki açı yaklaşık 15^0 olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.3a).

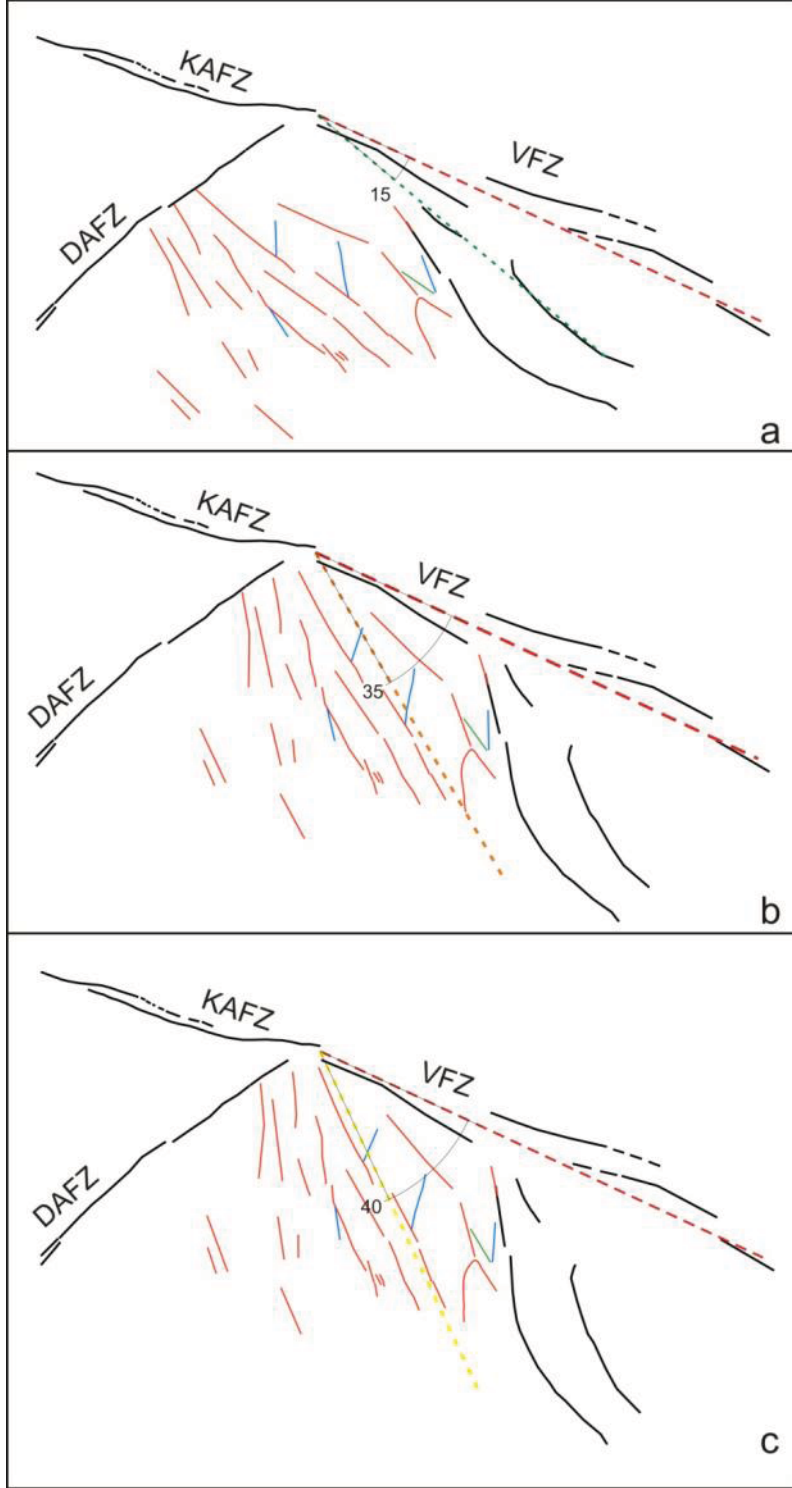
Paleomanyetik veriler dikkate alınarak VFZ'nin güney segmentlerinden rotasyon değerleri geri çekilerek bu fayların ilk konumları anlaşılmasına çalışılmıştır. Bu segmentler saat yönünde 20^0 döndürüldüğünde Varto segmenti ile güneyindeki faylar arasındaki açı 35^0 (Şekil 5.3b'de turuncu kesikli çizgi ile kırmızı kesikli çizgi arasında), 25^0 döndürüldüğünde ise aynı açı 40^0 (Şekil 5.3c sarı kesikli çizgi ile kırmızı kesikli çizgi arasında), olarak hesaplanmıştır.

VFZ'nin Varto segmenti ile oblik bindirme fayı özelliğindeki segmentleri arasındaki ilişki Şekil 5.4.'de gösterilen yamulma elipsine aktarılmıştır. Bu elipste kırmızı çizgi Varto segmentinin yaklaşık konumundadır. Yeşil düz çizgi ise oblik bindirmelerin güncel konumlarına uygun olarak yamulma elipsine yerleştirilmiştir.

Oblik fayların mekaniğini anlamak için oluşturulan yamulma elipsinde (Şekil 5.4) kullanılan renkler, Şekil 5.3 ile uyumludur. Oblik fayların günümüzdeki konumları



Şekil 5.2 : KÜE doğusunda yer alan fayların günümüzdeki geometrisinden (a), 20^0 saat yönünde döndürüldüğünde olması gereken durum (b), ve 25^0 saat yönünde döndürüldüğünde olması gereken durum (c). (Kırmızı faylar R, mavi faylar R'_L yeşil faylar ise R_L makaslamalarını temsil eder).

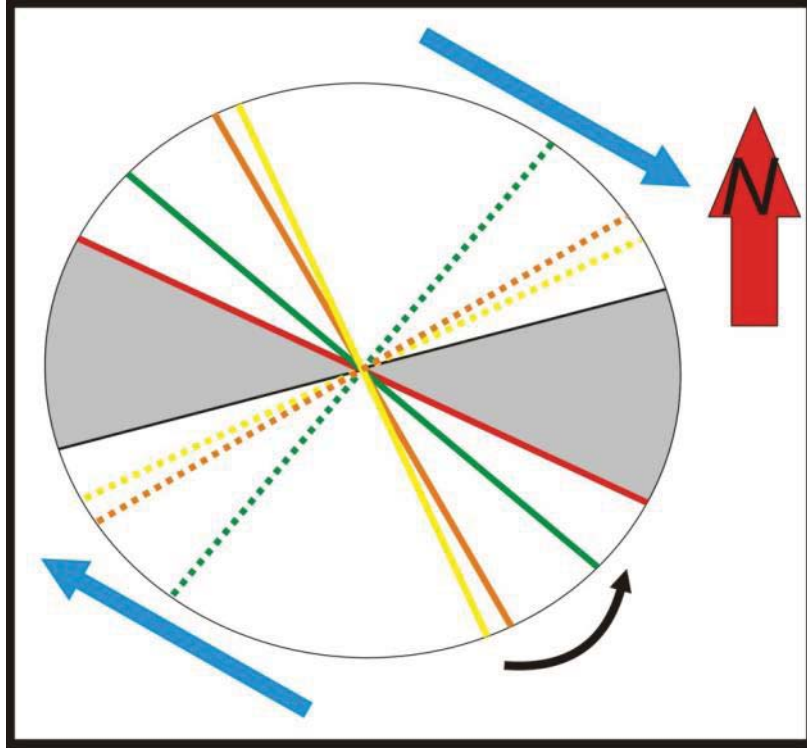


Şekil 5.3 : KÜE'nin güney segmentlerinin günümüzdeki geometrisinden (a), 20° saat yönünde döndürüldüğünde olması gereken durum (b), ve 25° saat yönünde döndürüldüğünde olması gereken durum (c). (Kırmızı faylar R, mavi faylar R'_L yeşil faylar ise R_L makaslamlarını temsil eder)

(yeşil düz çizgi) yamulma elipsi içerisinde beyaz renkli sıkışma bölgesi içerisinde yer alırken, bu faylara dik olan yönünde (yeşil kesikli çizgi) sıkışmalı alan içerisinde kalması bu fay üzerinde bindirme faylarının oluşmasını açıklamaktadır. Çayçatı ve Leylekdağ segmentlerinde saat yönünün tersinde oluşan rotasyon yamulma elipsi üzerinde geri çekilmiştir. Bu segmentlerin yaklaşık doğrultusunu temsil eden yeşil kesiksiz çizginin saatin yönündeki 20^0 rotasyonu turuncu düz ile, 25^0 rotasyonu ise sarı düz çizgi ile gösterilmektedir. Aynı renklerdeki kesikli çizgiler ise düz çizgilerin dik yönlerini temsil etmektedir.

Eğer bölgede saatin tersi yönünde olan rotasyon 20^0 ise, fayın olası ilk konumunu turuncu düz çizgi temsil eder (Şekil 5.4). Elips içerisinde turuncu düz çizginin, günümüzdeki konumu olan yeşil düz çizgiye rotasyon ile ulaşması sırasında, faylar sürekli sıkışma bölgesinde (beyaz bölge) kalır. Fakat rotasyon süresince sıkışmanın çok olduğu bölgeden, sıkışmanın göreceli olarak daha az olduğu bölgeye hareket eder. Bu hareketin sonucu olarak fayların boyu ilk olduğu konuma (turuncu düz çizgi) göre uzar. Söz konusu rotasyon, fayların olası ilk konumuna dik olan yönden (turuncu kesikli çizgi), şimdiki konumuna dik olan yöne (yeşil kesikli çizgi) takip edildiğine hareketin yine sıkışma bölgesinde olduğu görülür (Şekil 5.4). Ancak, dik olan çizgilerin elips içindeki hareketi sıkışmanın az olduğu bölgeden çok olduğu tarafadır. Bu durum faylara dik yönde olan sıkışmanın böylelikle de faylar üzerindeki bindirme bileşeninin arttığını gösterir.

Eğer bölgede saatin tersi yönünde olan rotasyon 25^0 ise, fayın olası ilk konumunu sarı düz çizgi temsil eder (Şekil 5.4). Elips içerisinde sarı düz çizginin, günümüzdeki konumu olan yeşil düz çizgiye rotasyon ile ulaşması sırasında, faylar sürekli sıkışma bölgesinde (beyaz bölge) kalır. Fakat rotasyon süresince sıkışmanın çok olduğu bölgeden, sıkışmanın göreceli olarak daha az olduğu bölgeye hareket eder. Bu hareketin sonucu olarak fayların boyu ilk olduğu konuma (sarı düz çizgi) göre uzar. Söz konusu rotasyon, fayların olası ilk konumuna dik olan yönden (sarı kesikli çizgi), şimdiki konumuna dik olan yöne (yeşil kesikli çizgi) takip edildiğinde, hareketin yine sıkışma bölgesinde olduğu görülür (Şekil 5.4). Ancak, dik olan çizgilerin elips içindeki hareketi, sıkışmanın az olduğu bölgeden çok olduğu tarafadır. Bu durum faylara dik yönde olan sıkışmanın böylelikle de faylar üzerindeki bindirme bileşeninin arttığını gösterir. Yamulma elipsinden elde edilen sonuçlar VFZ'nin Leylekdağ ve Çayçatı segmentlerinin ilk oluştukları zaman oblik bileşende oluştuğunu fakat zaman içerisinde saat yönünün tersinde hareket ederek boylarının



Şekil 5.4 : Varto segmentinin denetiminde gelişmiş olan oblik bindirmelerin evrimini gösteren yamulma elipsi (Renklerin ifadesi metin içerisinde verilmiştir).

kısalacağını ve bindirme bileşenlerinin arttığını göstermektedir.

5.2 KÜE Civarındaki Fayların Geometrisi, Kinematığı ile İlgili Analog Model Çalışmalarının Sonuçları

KÜE civarındaki fayların geometrisi ve kinematığı ile ilgili elde edilen bulgular sonucunda üretilen sonuçları test etmek için analog model çalışmaları yapılmıştır. Analog model deney çalışmaları kurgulanırken KÜE batısı ve doğusu için ileri sürülen faylanma mekanizmalarına ait hipotezlerin aynı anda test edilebileceği düzenekler oluşturulmaya çalışılmıştır. KÜE'nin hem batısı hem de doğusu için arazi ve uzaktan algılama çalışmaları sonucunda elde edilen bulgulara dayanılarak önerilen faylanma mekanizmalarının her ikisi de deformasyonun geniş alanlara yayıldığını ortaya koymaktadır. KÜE civarındaki faylanmanın mekaniğini anlamak için üç farklı analog deney yapılmıştır. Yapılan analog model çalışmalarında deney düzenekleri kurgulanırken öncelikle deformasyonun dar bir zonda olduğu kabul edilmiş ve bu durumda gelişen faylar incelenmiştir. Deformasyon zonun dar olduğu durumları

modellemek için iki deney (Deney-1 ve Deney-2) seti kurgulanmıştır. Deformasyon zonunun geniş olduğu durum için ise bir deney (Deney-3) seti oluşturulmuştur.

Deney setleri kurgulanırken Arabistan levhası, Anadolu bloku ve Avrasya levhası arasındaki etkileşim dikkate alınmıştır. Arabistan levhasının kuzey-kuzeybatı yönündeki hareketinin, Avrasya kıtası sabit kabul edilerek yapılan GPS çalışmaları ile ortaya konulmuştur (Reilinger ve diğ., 1997; Reilinger ve diğ., 2006). Bununla birlikte Afrika levhasının 10 mm/yıl'lık bir hızla kuzeye doğru ilerlediği öngörülmüştür (Oral ve diğ., 1995). Güneyde devam eden bu itme kuvveti sonucu, Anadolu levhasının GPS ölçümlerden elde edilen jeodezik modellere göre yaklaşık 25 mm/yıl'lık bir hızla batıya doğru hareket ettiği farklı çalışmalarda ifade edilmiştir (Reilinger ve diğ., 1997; McClusky ve diğ., 2000; Reilinger ve diğ., 2006; Le Pichon ve Kreemer, 2010).

5.2.1 Deney-1

Deney setinde Anadolu blokunu temsil eden kartonun, batıya hareket etmesini sağlamak için KAFZ üzerinde 2,5 cm'lik sağ yanal hareket oluşturulmuş (Şekil 4.20 a ve b), ve bu esnada Avrasya levhası sabit tutulmuştur. Anadolu blokunun batıya hareketi sırasında, Arabistan levhası ile olan sınırında bir boşluk oluşmayacak şekilde levha kuzeye doğru hareket ettirilmiştir. Bu durumda sınırı temsil eden DAFZ üzerinde 2,7 cm'lik atım oluşmuştur (Şekil 4.20b). Deney setinde sadece granüler malzeme kullanılarak deformasyonun dar bir zonda gelişmesi sağlanmıştır.

Deney sonucunda KAFZ ve DAFZ dar bir deformasyon zonu şeklinde gelişmiştir. Deneyin ilk aşamalarında KAFZ ve DAFZ'ye yaklaşık 21° açı ile oluşan R makaslama yüzleri, saatin tersi yönde 18° - 14° arasında dönerek ana makaslama zonlarını oluşturmuştur.

Deney sonucunda elde edilen KAFZ'nin geometrisi arazi ve uzaktan algılama çalışmaları ile elde edilen veriler ile örtüşmemiştir. KÜE ile Yedisu havzası arasında sıkışmalı çift büküm geometrisi (Barka ve Kadinsky-Cade 1988) ile karakterize olan ve yaklaşık 10 km genişliğinde deformasyon zonuna sahip KAFZ (Şengör ve diğ., 2005), deney setinde dar bir alana sıkışarak oluşmuştur.

Ayrıca KAFZ ve DAFZ arasında arazi ve uzaktan algılama çalışmaları sonucunda elde edilen eksponansiyel kayma hatları deney seti üzerinde oluşmamıştır.

Bu sonuçlar KAFZ ve DAFZ arasındaki yapıların geniş bir deformasyon zonu içerisinde geliştiğini açıkça göstermektedir. DAFZ ise arazi ve uzaktan algılama çalışmaları ile elde edilen bulgular ile aynı yapıda oluşmuştur. Deney sırasında DAFZ deformasyon alanında gelişen R makaslamalarının üzerinde veya uç kesimlerinde ortaya çıkan kısa ömürlü fayların denetiminde gelişen yükselimler, arazi ve uzaktan algılama çalışmaları ile elde edilen sıkışmalı yapılar ile deneştirilmiştir. Ancak bu yapılar her üç deney setinde de görüldüğü için deformasyon zonunun geniş veya dar olmasından bağımsızdır. Kısa ömürlü fayların etkisi hız ve reolojiye bağlı olarak değişim göstermektedir (Naylor ve diğ., 1986)

Deney-1'de oluşan VFZ saf bir bindirme zonu şeklinde ortaya çıkmıştır. Arazi ve uzaktan algılama çalışmaları ile elde edilen VFZ geometisi ile bağdaşmayan bu yapı, Arabistan levhasının kuzey yönlü hareketi KÜE doğusunda şimdiki yapıların gelişemeyeceğini göstermektedir.

5.2.2 Deney-2

Deney setinde Anadolu blokunu temsil eden kartonun, batıya hareket etmesini sağlamak için KAFZ üzerinde 2,5 cm'lik sağ yanal hareket oluşturulmuş (Şekil 4.34 a ve b), ve bu esnada Avrasya levhası sabit tutulmuştur. Anadolu blokunun batıya hareketi sırasında, Arabistan levhası ile olan sınırında bir boşluk oluşmayacak şekilde levha kuzeydoğuya doğru güncel GPS hızlarına paralel olarak hareket ettirilmiştir. Bu durumda sınırı temsil eden DAFZ üzerinde 1,25 cm'lik atım oluşmuştur (Şekil 4.34b). Kartonlar ile kurgulanan harekette VFZ üzerinde oluşan bindirme etkisindeki yükselim miktarı azalmış ve yanal atım miktarı 1,8 cm olacak şekilde artmıştır (Şekil 4.34). Deney setinde sadece granüler malzeme kullanılarak deformasyonun dar bir zonda gelişmesi sağlanmıştır.

Deney-2 sonucunda KAFZ ve DAFZ dar bir deformasyon zonu şeklinde gelişmiştir. Deneyin ilk aşamalarında oluşan yapılar KAFZ'ye yaklaşık 22° açı ile oluşan R makaslamaları ve VFZ üzerinde meydana gelen transpresyonel zondur. Deneyin ilerleyen aşamalarında DAFZ üzerinde oluşan R makaslamalarının taban fayına yaklaşık 23° açı ile oluşmaya başlamıştır. Her iki fay zonu üzerinde gelişen R makaslamaları saatin tersi yönde dönerek ana makaslama zonuna 3° - 6° arasında konumlanmışlardır.

VFZ üzerinde ise yükselimle eş zamanlı gelişen sağ yanal atımlı faylar taban fayına

20⁰-25⁰ arasında oluşurken deney sonunda bu faylar saatin tersi yönünde çok ufak miktarlarda dönerek taban fayına yaklaşmışlardır.

Deney-2 sonucunda elde edilen KAFZ'nin yüzey geometrisi arazi ve uzaktan algılama çalışmaları ile elde edilen veriler ile örtüşmemiştir. KÜE ile Yedisu havzası arasında geniş deformasyon zonu olarak ortaya çıkan KAFZ, deney setinde dar bir alana sıkışarak oluşmuştur. Ayrıca KAFZ ve DAFZ mevcut olan eksponansiyel geometrideki Bahçeli ve Toklular fayları ile deneştirilebilecek yapılar deney seti üzerinde oluşmamıştır.

DAFZ bu deneyde oluşumuna KAFZ'den sonra başlamıştır. İlk deneye göre hızı oluça az olan fay zonu üzerinde kısa ömürlü faylar daha fazla gelişmiş ve dolayısı ile DAFZ üzerinde olan yükselimlerin sayısı artmıştır. Bu yükselimler arazi ve uzaktan algılama çalışmaları ile elde edilen sıkışmalı yapılar ile deneştirilmiştir.

VFZ bu deneyde transpresyonel bir zon olarak oluşmuştur. VFZ üzerinde eş zamanlı başlayan yükselim ve sağ yanal yamulma buranın basit makaslamanın etkin olduğu transpresyonel zon özelliğini ortaya çıkarmaktadır. VFZ'yi temsil eden bölgede deformasyonun ilk aşamalarında yanal atımı, taban fayı ile yaptığı aç 20⁰-25⁰ arasında değişen R makaslamları temsil eder. Bu faylar KAFZ ve DAFZ üzerinde oluşan R makaslamları gibi deney sonunda saatin tersi yönünde rotasyona uğramışlardır. Bilgisayarlı tomografi taramaları ile söz konusu R makaslamlarının derine doğru devamı da incelenmiştir. Tomografi taramalarına göre R fayları derine doğru dik olarak devam etmektedir. Bu sonuç R makaslamlarının oblik oluşmadığını göstermektedir.

Buradaki rotasyonun KAFZ ve DAFZ üzerinde görülen kadar çok ve hızlı olmaması iki sebebe bağlanmıştır. Bu sebeplerin birincisi VFZ üzerinde oluşan yamulmanın sıkışma ve yanal hareket arasında paylaşılmış olmasıdır.

Yamulmanın paylaşılması (strain partitioning) olarak değerlendirilen bu durum VFZ üzerinde R makaslamlarının göreceli olarak geç oluşmasını sağlamıştır. İkinci sebep ise deney setinin boyutları ile ilgilidir. Anadolu blokunun batıya hareketi sonucunda, set üzerindeki granüler malzeme seti sınırlayan kenar tahtalarına yaklaşmaktadır. Her üç deneyde yapılırken granüler malzemenin bu sınıra temas etmemesi planlamıştır. Aksi durumda, Anadolu blokunun batı ucunda kenar etkisi ile ters faylar meydana geleceğinden, KÜE civarında olmaması gereken gerilmeler oluşacaktır.

Bu deney seti deformasyonun miktarını arttırmaya yeterli olmadığı için VFZ üzerindeki R fayları gelişimini tamamlayamamıştır. Dolayısı ile R makaslamlarının artan deformasyonla geçireceği evrim sırasında görülmesi gerek gerçek rotasyon miktarı ve bu fayların aşma ve/veya sıçrama yaptığı yerlerde oluşan R'_L fayları da oluşmamıştır.

Ancak ilk oluşan R makaslamlarının taban fayına yaptığı açı Schreurs (2003), belirlenen transpresyonel ortamlarda oluşan R makaslamlarının oluşum açıları ile uyumludur. Dolayısı ile arazi ve uzaktan algılama çalışmaları ile elde edilen fay geometrisinin, saat yönünde paleomanyetik verilere uyumlu olarak geri döndürülmesi sonucunda elde edilen R makaslama açıları (Şekil 5.3) deney setinden elde edilen R makaslamasının taban fayı ile yaptığı açı uyumludur. Bu uyumluluk Bölüm 5.1.5'de ileri sürülen modelin doğruluğunu desteklemektedir.

5.2.3 Deney-3

Deney-3 setinde levhaları temsil eden kartonların yaptığı hareketin kurgusu Deney-2 seti ile aynıdır. Ancak Anadolu blokunun batı yönlü hareketi viskoz malzemenin daha geç deforme olmasından dolayı KAFZ üzerinde 6 cm'lik sağ yanal hareket oluşturularak sağlanmıştır (Şekil 4.46 a ve b). Bu durumda Arabistan levhası ile Anadolu bloku arasındaki sınırı temsil eden DAFZ üzerinde 3 cm'lik atım oluşmuştur. Kartonlar ile kurgulanan harekette VFZ üzerinde oluşan yanal atım miktarı 3,3 cm ölçülmüştür (Şekil 4.46).

Deney-3'de tektonik yapıların sınırlarında oluşturulan deformasyonun deney setinde daha geniş alanlara yayılmasını sağlamak amacı ile tektonik yapıları temsil eden kartonların üzerine viskoz materyal olan polidimetilsiloksan serilmiş ve granüler malzeme set üzerine eklenmiştir.

Deney-3'ün sonucu KÜE'nin batısı için arazi ve uzaktan algılama sonuçlarından elde edilen bulgulara dayanarak ileri sürülen *KAFZ ve DAFZ denetiminde oluşan kama şekilli pasif geniş bir deformasyon bölgesi* (Varnes, 1962) hipotezini doğrulamaktadır. Bu hipotez literatürde Prandtl hücre modeli olarak bilinen ve kama şekilli alanlarda gelişen deformasyon özelliklerini açıklayan modelin alt ürünüdür. Deney-3 sonuçları aynı zamanda Prandtl hücre modellerinin daha iyi anlaşılmasına katkı sunacak veriler de ortaya çıkarmıştır.

Deneyin başlangıç aşamalarında KAFZ'ye yakın olarak oluşan faylar artan deformasyon ile birlikte KAFZ ve DAFZ arasında eksponansiyel geometriye sahip Bahçeli ve Toklular faylarının geometrileri ile benzer duruma gelmişlerdir. Modelde ortaya çıkan faylar, Bahçeli ve Toklular fayları gibi geometrik olarak iki farklı yapıdan oluşur. Çizgisel ve eğrisel bölümleri olan bu fayların çizgisel kesimlerinde yüzeyde sadece sağ yanal hareket görülürken, eğrisel kısımlarında yanal hareket oluşmamış sadece düşey hareketler meydana gelmiştir.

Deney sırasında oluşan eksponansiyel geometrili bu fayların önce çizgisel sonra da eğrisel bölümleri oluşmuştur. Çizgisel bölümlerde yanal atım deney sonuna kadar sürekli artış gösterirken eğrisel kesimlerde olan düşey hareket, eğrisel bölümlerin ilk olduğu zamanlarda daha fazla olmuştur.

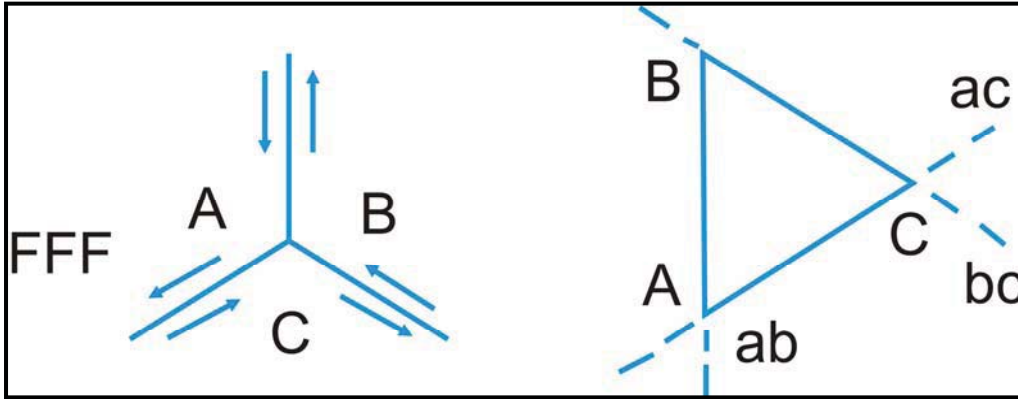
Deney sonuçları ile KÜE batısının hem sınır fayları hem de bu faylar arasında oluşan ikincil yapıların benzerliği (Şekil 4.58) bölgenin kama şeklinde olan geniş bir makaslama zonu olduğunu ortaya koymaktadır.

Prandtl hücre modelinin çıkış noktası her ne kadar birbirlerine paralel konumlu iki sınır arasında oluşan plastik deformasyonun özelliklerini araştırmak olsa da (Prandtl 1924, Hartmann 1928), kama şekilli ortamlarda gelişen deformasyonları anlamaya yönelik olarak gelişmiştir. Kama şeklindeki alanlarda deformasyon özelliklerini inceleyen çalışmalar meydana gelen deformasyonun kamanın her iki sınırındaki hareket ve hız miktarına bağlı olarak değişeceğini ortaya koymuştur (Nadai 1950, Varnes 1962, Kanizay 1962). Ancak oluşan deformasyonları, üzerlerinde sadece yanal atımın olduğu eksponansiyel olarak gelişen kayma hatları ile açıklamışlardır. Kama şekilli deformasyon alanlarının yerbilimlerine uygulanışı, jeolojik verilerin hipotetik olarak üretilen deformasyon özelliklerine benzetilmesi şeklinde gelişmiştir (Cummings, 1976; Ingles ve diğ., 1999; Varnes, 1962). Ancak bu benzetme yolu KÜE batısında oluşan deformasyonları açıklamak adına yeterli olmamıştır. Nadai (1950) Kamanın apeks noktasında bir açıklık bırakarak ürettiği deformasyon özellikleri ile, kamanın apeks noktasını kapatarak Varnes (1962) oluşturulan deformasyon özellikleri arasında neredeyse hiç fark yoktur. Her iki çalışmada kama arasındaki deformasyonun sadece yanal hareketler şeklinde geliştiğini ortaya koymuştur.

KÜE batısındaki kayma hatlarının deformasyon özellikleri eksponansiyel gelişen hat boyunca farklılık gösterir. Arazi verileri ile saf yanal hareketten oblik normal faya

dönen hareketin gösterildiği deformasyon özelliklerinin kama arasındaki açı ile ilişkili olduğu ve kayma hatlarının tek bir hareket ile oluşan deformasyonu karşılayamayacağı bu tez kapsamında yapılan çalışmalar ile ortaya çıkarılmıştır.

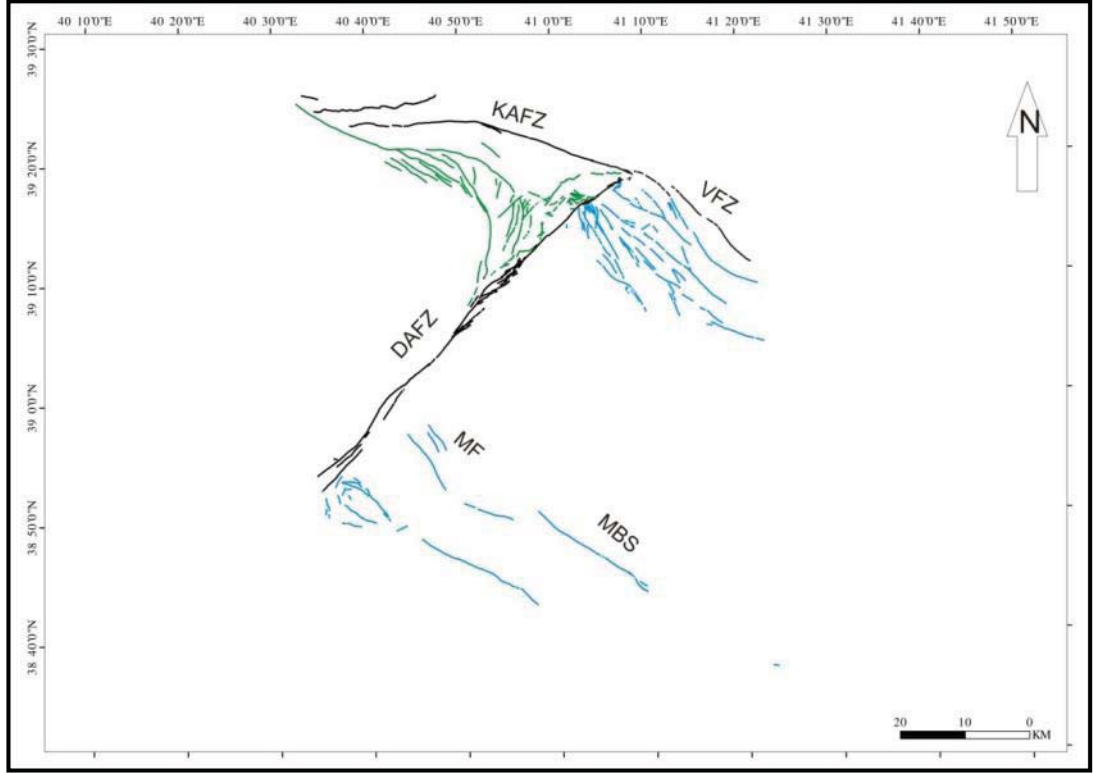
Bu çalışmalar neticesinde, KÜE kendisini oluşturan ana elemanlar (KAFZ'ye ait Ilıpınar segmenti, DAFZ'ye ait Göynük segmenti ve VFZ'ye ait Varto segmenti) dikkate alındığında FFF tipinde bir üçlü eklem olduğu anlaşılır. Bu tip üçlü eklemlerin duraylı bilinmektedir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5 : Üç tane transform fay (FFF) ile oluşan üçlü eklemlerin evrimi bu tür yapıların durağan olmadığını gösterir (F=Transform Fay) (McKenzie ve Morgan, 1969).

Ancak KÜE'nin tamamının kıtasal litosfer üzerinde yer alması buradaki deformasyon dağılımını daha karmaşık hale getirmiştir. Bölgedeki deformasyonun dağılımları dikkate alındığında KÜE civarındaki ana deformasyon zonları ortaya çıkarılmıştır (Şekil 5.6)

Sonuç olarak, KÜE'nin batısında KAFZ ve DAFZ arasında kalan ve yeşil çizgilerle gösterilen deformasyon alanının (Şekil 5.6), Prandtl hücre modellerinin alt bir türü olan kama şekilli pasif deformasyon alanı olduğu gösterilmiştir. Elde edilen veriler KÜE doğusunun ise transpresyonel zon olduğunu ortaya koyar. KÜE doğusundaki transpresyonel zonun kuzey sınırını VFZ'nin Varto segmenti güney sınırını ise Muş Bindirme Sistemi'nin doğu uzantısı olan Murat Fayı'dır. Şekil 5.6'da gösterilen mavi çizgiler bu zonun sınırlarına yakın yerlerde transpresyonel deformasyonun daha yoğun olduğunu, bu zon arasında kalan bölgede ise deformasyonun en azından yüzeyde daha az olduğunu ifade eder. VFZ doğusundaki bölge bu iki sınır fayı arasında arasında saatin tersi yönünde rotasyona uğrar.



Şekil 5.6 : KÜE'nin batısı kama şekilli pasif deformasyon mekaniğini yansıtan faylar (yeşil faylar) ile karakterize olurken, doğusunda yer alan faylar (mavi renkli) transpresyonel zon özelliğini yansıtır (KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu, DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu, VFZ: Varto Fay Zonu, MF:Murat Fayı, MBS: Muş Bindirme Sistemi. Faylar Emre ve diğ. (2012a ve b)'den alınmıştır).

5.3 Tartışmalar

KÜE'nin mekaniği ile ilgili ilk görüş, KAF ve DAF'ın oluşumu ile Karlıova civarında oluşan FFT tipinde bir üçlü eklem olduğudur (Şengör, 1979). Karlıova'da olan üçlü eklem tamamı ile kıtasal litosfer üzerinde olmasından dolayı, göreceli basit olan üçlü eklem deformasyon özelliklerinin bu bölgede oluşmayacağını savunan yazar, eklem doğusunda kalan levha sınırının üzerinde tamamı ile sıkışmadan etkilenen bir düşey deformasyon alanı oluşacağını ifade eder. Söz konusu bu deformasyonun üçlü eklem doğusunda yaratacağı "hipotetik boşluğun" farklı deformasyon mekanizmaları veya volkanik aktivite ile doldurulacağını belirterek üçlü eklem civarındaki faylanmanın benzer bir etkileşimle oluşabileceğine dikkat çeker.

Şengör (1979), Anadolu'nun karmaşık deformasyonunu rijit levha modelleri ile açıklamak yerine, bloklar içerisinde deformasyon oluşturarak açıklar. Araştırmacı, Anadolu blokundaki deformasyonu açıklamak için ileri sürdüğü modelinde üçlü eklem noktasını sabit bir yerde tutup, Anadolu levhasını sınırlayan faylar arasındaki açının, Ege'deki gerilme rejiminin etkisi ile arttığını ve bununla eş zamanlı olarak üçlü eklem doğusunda düşey deformasyonun hakim olduğunu belirtir. Böyle bir mekanizma ise en azından Erken Pliyosen'den bu yana Anadolu blokunun K-G sıkışma bölgesinden K-G gerilme bölgesine hareketini gerektirir (Şengör, 1979). Böyle bir hareketin oluşturduğu deformasyonları ise kama şekilli aktif hücre modeli ile denestirerek açıklar.

Şengör ve diğ., (1985) Karlıova Üçlü Eklemi'ni oluşturan elemanların torsiyonel rijit levhaları sınırlamadığını ve üzerlerindeki deformasyon yoğunlaşmasının kesin bir geometrik analiz yapmaya yeterli olmadığını vurgular. Yazarlar, doğuda üçlü eklem noktasından başlayıp batıda Antalya'dan geçen meridyene kadar olan bölgede KAF ve DAF arasındaki yapıları inceleyerek, KD-GB yönlü sıkışma ile birlikte gelişen KB-GD yönlü genişlemenin tanımlanan bölgenin genel deformasyon mekanizması olduğunu ileri sürer. Bu genel deformasyon tanımı ise Şengör (1985)'de ileri sürülen kama şekilli aktif hücre modelini yansıtır. Elbistan ve Sivas'ın kuzeyinde yer alan D-B doğrultulu bindirme faylarına rağmen bölgedeki kısalmanın Türkiye'nin doğusu kadar yüksek magnitudlü olmadığını belirtir. Aynı çalışma, Şengör (1979)'da ileri sürülen modelde olduğu gibi, levhaları torsiyonel olarak rijid kabul ederek yeni bir model ileri sürer. Bu model de Şengör (1979) modelinde olduğu gibi üçlü eklem doğusundaki "yüksek yaklaşma yamulması bölgesinde" oluşan kısalmanın, sadece düşey düzlemde gelişen yamulma ile karşılandığını ileri sürer. Doğuda olan bu hareket neticesinde Anadolu blokunun, kendisini sınırlayan doğrultu atımlı faylar boyunca batıya hareket ederek Karlıova havzasını oluşturduğunu ve havzanın yüksek yaklaşma yamulmasının etkisi ile dolduğunu belirtir. Havza içerisindeki gerilmenin her tarafta aynı olmamasından dolayı oluşan farklı oryantasyondaki yapıların havzanın evriminin anlaşılmasını zorlaştırdığını söyler. Şengör ve diğ., (1985), Şengör (1979)'da ileri sürülen üçlü eklem modelini biraz daha geliştirmişlerdir. Bu model üçlü eklem doğusunda, ilk deformasyon zonunun güneyinde D-B yönelimli ikinci yüksek yaklaşma deformasyonunu kullanır.

Bu ikinci deformasyon zonunun torsiyonel rijit blok koşullarında basit bir rahatlamaya yol açtığını belirtir. Modelde DAF'ı temsil eden doğrultu atımlı fayın, yüksek yaklaşma deformasyonu ile kesişmesi sonucu rotasyona uğradığını belirtir. Kesişen zonun geniş olmadığı durumda, ana fay üzerinde doğrultu atımın devam ettiğini ve her ne kadar sıkışmaya maruz kalsa da rotasyona uğrayan fayın doğrultu atım özelliğini kazanmaya başladığını ileri sürer. Söz konusu ikinci yüksek yaklaşma deformasyon bölgesini, DAF'ın doğusunda olan "Muş Bindirme Sistemi" ile özdeşleştirir.

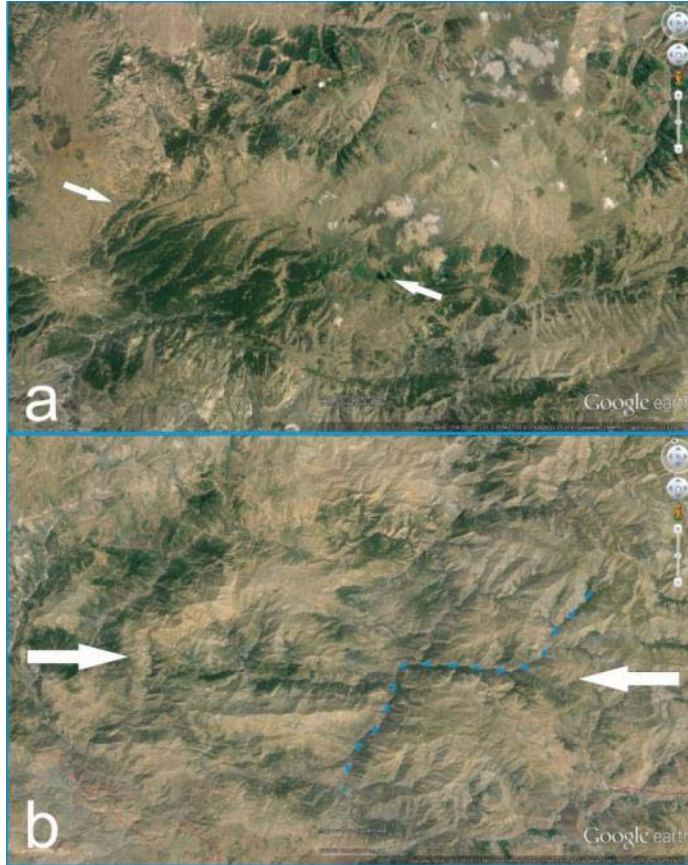
KÜE civarı için bu tez kapsamında üretilen model, Şengör (1979) ve Şengör ve diğ., (1985)'de kullanılan modellerin aksine daha küçük bir alan için yapılmıştır. Ancak elde edilen sonuçlar ile her iki çalışmada tanımlanan deformasyon mekanizmalarını tartışmak mümkündür. Bu tez kapsamında elde edilen sonuçlar üçlü eklemin doğusunda olan deformasyonun bütünü ile sıkışmadan kaynaklanmadığı, buranın transpresyonel bir zon olduğu ve üçlü eklemin doğu bileşeninin VFZ'ye ait sağ yanal atımlı Varto segmenti olduğunu göstermektedir. Bu durum üçlü eklemin FFF tipinde (McKenzie ve Morgan, 1969) olduğunu göstermektedir. VFZ'nin güneyinde tanımlanan ve Muş Bindirme Sistemi ile özdeşleştirilen ikinci yüksek yaklaşma deformasyon bölgesi ise Murat Fayı'nın konumu ile aynıdır. Söz konusu ikinci deformasyon bölgesi içerisinde (Şekil 5.7) Murat Fayı'nın doğusunda yer alan doğrultu atım ürünü olan yapılar (Şekil 5.8), Şengör ve diğ., (1985) tanımlanan güneydeki deformasyon bölgesinin sadece düşey düzlemde değil aynı zamanda yanal olarak deformasyona cevap verdiğini göstermektedir.

Başka bir ifade ile Şengör ve diğ., (1985) ileri sürülen her iki yüksek yaklaşma deformasyon bölgeleri transpresyonel zon olduğu düşünülmektedir. Ancak kuzeyde olan zonun güneye göre daha fazla basit makaslama etkisinde olması gerekir. İki deformasyon bölgesi arasında kalan fayların ise transpresyonel ortamlarda gelişmesi normal olan yapılar olduğu düşünülmektedir. Üçlü eklemin batısı için Şengör (1979)'da önerilen "kama şekilli aktif hücre modeli" ise üçlü eklemin yakın civarındaki deformasyonu açıklayamamaktadır.

Bu bölgeyi temsil eden deformasyon mekanizması kama şekilli pasif hücre modeli olmalıdır. Bununla birlikte bu tür matematiksel ve/veya analog modellerin kurgusunda yapılan kabuller model sonuçlarının kıtasal ölçekte, özellikle de levha içi



Şekil 5.7 : Van gölü'nün güneyinden başlayıp DAFZ'ye kadar olan bölgede görülen bazı yanıl atım deformasyonlarının yerleri (a ve b lokasyonlarının yerleri Şekil 5.8'de verilmiştir).



Şekil 5.8 : Şengör ve diğ., (1985) modelinde güneyde yer alan yüksek yaklaşma deformasyon bölgesinde meydana gelmiş yanıl deformasyonlar.

deformasyonların dikkate alındığı durumlarda ne kadarlık bir alanı temsil edebileceği net değildir. Bu bölgeyi temsil eden deformasyon mekanizması kama şekilli pasif hücre modeli olmalıdır. Bununla birlikte bu tür matematiksel ve/veya analog modellerin kurgusunda yapılan kabuller model sonuçlarının kıtasal ölçekte, özellikle de levha içi deformasyonların dikkate alındığı durumlarda ne kadarlık bir alanı temsil edebileceği net değildir. Ancak hem önceki çalışmalarda hem de bu tez kapsamında elde edilen veriler, kama modelleri arasındaki deformasyon şeklinin homojen olduğunu yani pasif hücre modeline uygun olarak gelişen eksponansiyel kayma hatlarının aktif hücre modeline ait eksponansiyel hatlarına dönüşemeyeceğini göstermiştir.

Dolayısı ile Anadolu blokunun KÜE ile Antalya meridiyeni arasındaki deformasyon mekanizması Şengör (1979)'da ileri sürülen ve Şengör ve diğ., (1985)'de desteklenen model ile açıklanamayacağı düşünülmektedir. Şengör (1979), Şengör ve diğ., (1985) üçlü eklem modelleri o zaman bilinen veriler ışığında KÜE'nin evrimin açıklamak için kullanılmıştır. Ancak bu tez kapsamında güncelenen deformasyon verileri ile adı geçen çalışmalarda ileri sürülen modeller yeniden kurgulanmıştır (Şekil 5.6). Bu model KÜE'yi oluşturan ana elemanların KAFZ-Ilıpınar segmenti, DAFZ-Göynük segmenti ve VFZ-Varto segmenti olduğunu kabul eder. Bu model transpresyonel zon üzerindeki hareket neticesinde üçlü eklem doğusunda oluşması gereken boşluğun, Varto transpresyonel bölgesinden farklı deformasyon mekanizmaları ile gelen malzeme ile ve/veya bu zon ve güneydeki transpresyonel zon etkileşimi ile ortaya çıkan saatin tersi yönündeki rotasyon ile kapandığıdır. Bu durum durağan olmayan üçlü eklem geometrisindeki teorik bozulmanın KÜE özelinde en azından yüzeyde görülmesini engellemektedir.

KÜE'nin evrimi ile ilgili literatürde yer alan modellerden biri de, ilk üçlü eklem Erzincan'da olduğu ve Malatya-Ovacık Fay Zonu'nun KAFZ ile Erzincan'daki eklem noktasında kesiştiğini ileri sürer (Barka ve diğ., 2000, Hubert-Ferrari ve diğ., 2009). Barka ve diğ.,(2000) Anadolu blokunun doğusunun, kutup merkezi Şam (Suriye) yakınlarında olmak üzere saatin tersi yönünde rotasyona uğraması ile KAFZ'nin Niksar civarında gidişatında değişim olduğunu ileri sürer. Bu değişiminde Erzincan'da olan üçlü eklem yaklaşık bir milyon yıl önce Karlıova'ya göç etmesine neden olduğunu belirtir

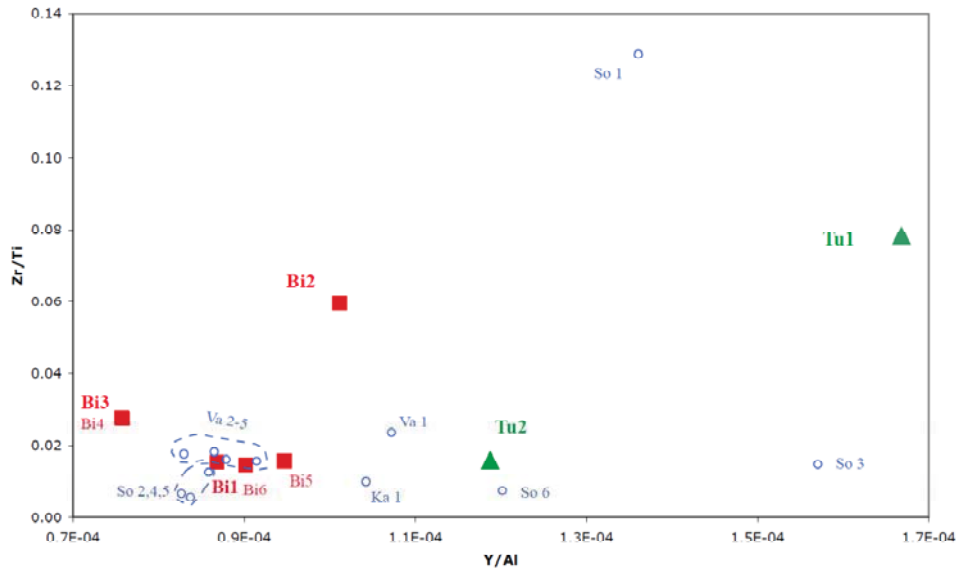
Aynı görüşü savunan Hubert-Ferrari ve diğ., 2009 üçlü eklemin Erzincan'dan şimdiki pozisyonuna geçişinin 2,6-2,8 milyon yıl önce oluştuğunu belirtir. Söz konusu hipotez Karlıova civarındaki volkanik birimlerin üzerinde olan 50 km'lik atım ile, KAFZ'nin genel evriminin yeniden modellenmesi ile desteklenir. Araştırmacılar Bingöl kalderasının bir parçasının KAFZ denetiminde son üç milyon yıl içerisinde 50 km ötelenmiş olduğunu belirterek (Hubert-Ferrari ve diğ., 2009, s.143), buradaki yanal atım hızının senelik 20 mm/yıl olarak hesaplar. Üçlü eklemin batısında yer alan “Turna dağı” Bingöl kalderasının bir parçası olduğunu yapılan Ar-Ar yaş tayinleri, ana element jeokimyası ve palinspastik topoğrafik kesitlere dayanarak ileri sürer.

Bu tez kapsamında yapılan arazi ve uzaktan algılama çalışmaları sonucunda, üçlü eklem doğusundaki volkanik çıkış merkezinin bir parçası olarak gösterilen Turna dağı bugünkü konumunun (Hubert-Ferrari ve diğ., 2009, Şekil 6.a), KAFZ ve DAFZ arasında oluşan Bahçeli ve Toklular faylarının eğrisel olan kısımları olduğu anlaşılmıştır. Yapılan arazi çalışmaları ile, bu bölgenin litolojik olarak Bingöl kalderası ile aynı olmadığı ortaya çıkarılmıştır (EK-A). Volkanik kayaçların korele edilmesinde jeokronoloji her ne kadar birinci derecede öneme sahip olsa da kayaçların jeokimyasal özelliklerinin de denştirilerek korelasyon daha da güçlendirilmelidir. Tektonik modelleme çalışmaları için ötelenme miktarı ve kayma hızı çalışmalarında deformasyon öncesinde bir arada olduğu düşünülen morfolojik ve jeolojik yapıların eksiksiz olarak denştirilmesi ortaya konulan sonuçlar açısından özellikle kritiktir. Volkanik kayaçlar kullanılarak elde edilen kayma hızlarında jeokronoloji ile birlikte jeokimyasal bir sınırlama kullanmak verilerin güvenilirliğini arttırır.

Bingöl kalderası ve “Turna dağı” civarından alınan kayaç örneklerinin pek çoğunun altere olduğu belirtilmiştir (Hubert-Ferrari ve diğ., 2009, s.138). Bu durum kayaçların jeokimyasal denştirilmesinin mobil elementler üzerinden yapılmasına büyük bir engel teşkil eder. Kayaçları birbirleri ile iyi denştirmek için jeokimyasal ayırım yolu, alterasyon ve düşük dereceli metamorfizma düşünülerek daha kesin esaslara dayanmalıdır. Dolayısı ile kullanılacak jeokimyasal ayırım yolunda mobil olan elementler yerine immobil elementler kullanmak gerekir (Pearce, 1970).

Bu amaçla Hubert-Ferrari ve diğ., (2009) çalışmasında verilen jeokimyasal veriler yeniden değerlendirilerek Turna dağı ve Bingöl kalderasının eş olup olmadıkları değerlendirilmiştir. Yapılan jeokimyasal değerlendirme için alterasyon ve düşük dereceli metamorfizma koşullarında immobil davranan Al, Y, Ti ve Zr elementleri seçilmiştir (Cann, 1970). Yeniden değerlendirme için Zr/Ti- Y/Al grafiği kullanılmıştır.

Üç değerlikli katyonlar olan Y ve Al oranı, magma odasındaki garnet davranışı ve kısmi ergime ile ilişkili olduğu için, volkanik çıkış merkezleri arasında ve aynı volkanik çıkış merkezi üzerindeki farklı olayları ayırt etmede kullanılabilecek bir orandır. Dört değerlikli katyonlar olan Zr ve Ti oranı ise faz davranışı tarafından kontrol edildiği için magma kökenini anlamada kullanılabilecek bir araçtır. Dolayısı ile bu iki oranın x-y diyagramında değerlendirilmesi sadece magma kökenin anlaşılmasında kullanılmış olup, tektonik ortam (toleyit, levha içi v.b.) veya magma tipinin (kalk-alkalen, geçiş v.b.) anlaşılması için dikkate alınmamıştır. Hubert-Ferrari ve diğ. (2009) verilerinden üretilen Zr/Ti-Y/Al grafiği (Şekil 5.9) Bingöl kalderası ve Turna dağı arasındaki kökensel ilişkiye kullanmak amacı ile üretilmiştir



Şekil 5.9 : Karlıova civarındaki volkanik kayaların Zr/Ti-Y/Al diyagramı.

Jeokimyasal veriler örnek numaraları değiştirilmeden Hubert-Ferrari ve diğ. (2009) çalışmasından alınmıştır. Kırmızı kare ile gösterilenler Bingöl kalderasından, yeşil üçgenler ise Turna dağından alınan örnekleri temsil eder.

Şekil 5.7'de Va 2-5; So 2,4,5; Bi 1,5,6 örnekleri yakın yerlerde kümelenmiş olduğundan benzer kökeni gösterirken, Bi 3-4 örneklerinden ayrılır. Hubert-Ferrari ve diğ., (2009), Bi1, Bi2, Bi3, Tu1 ve Tu2 örneklerinden elde ettiği yaşlar ile Bingöl kalderası ve Turna dağının olduğunu ileri sürer. Oysa Bi1, Bi2, Bi3 ve Tu1 ve Tu2 Şekil 5.7'de görüldüğü üzere kökensel olarak birbirleri ile aynı değildir. Dolayısı ile araştırmacılar tarafından ileri sürüldüğü gibi, Bingöl kalderası ve Turna dağı hiç bir zaman bitişik bir konumda olamazlar ve sonuç olarak KAFZ'nin kayma hızını belirlemede kullanılamazlar.

KÜE ile ilgili şimdiye kadar ileri sürülen görüşler bu tez çalışması kapsamında elde edilen yeni veriler ile sınındığında, bu hipotezlerin KÜE'nin evrimini ve mekaniğini yansıtmadığı ortaya konulmuştur. KÜE civarında Kuvaterner'den bu yana oluşan deformasyonlar ile üçlü eklem davranışı açıklanmaya çalışılmıştır.

KAYNAKLAR

- Akoğlu, A.** 2007. *Analysis and Modelling of Earthquake Surface Deformation With SAR Interferometry: Case Studies From Turkey and the World*, (Doktora Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
- Aksoy, M. E.** 2009. Active Tectonics and Paleoseismology of the Ganos Fault Segment and Seismic Characteristics of the 9 August 1912 Mürefte Earthquake of the North Anatolian Fault (Western Turkey), *Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü ve IPGS, İstanbul ve Strasbourg*.
- Aktug, B., Dikmen, U., Dogru, A. ve Ozener, H.** 2013. Seismicity and strain accumulation around Karlioiva Triple Junction (Turkey), *Journal of Geodynamics*, 67, 21-29.
- Allen, C. R.** 1969. Active faulting in northern Turkey, *Division of Geological Sciences, California Institute of Technology, Contribution No. 1577. 32 pp.*
- Ambraseys, N. N.** 1970. Some Characteristic Features of the Anatolian Fault Zone, *Tectonophysics*, 9, 143-165.
- Ambraseys, N. N. ve Jackson, J. A.** 1998. Faulting associated with historical and recent earthquakes in the Eastern Mediterranean region, *Geophysical Journal International*, 133, 390-406.
- Ambraseys, N. N. ve Zatopek, A.** 1968. The Varto Ustukran (Anatolia) earthquake of 19 August 1966 summary of a field report, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 58, 47-102.
- Andrieux, J., Over, S., Poisson, A. ve Bellier, O.** 1995. The North Anatolian fault zone; distributed Neogene deformation in its northward convex part, *Tectonophysics*, 243, 135-154.
- Armijo, R., Meyer, B., Hubert-Ferrari, A. ve Barka, A. A.** 1999. Westward propagation of North Anatolian Fault into the Northern Aegean: timing and kinematics, *Geology*, 27, 267-270.
- Armijo, R., Pondard, N., Meyer, B., Uçarkus, G., de Lépinay, B. M., Malavieille, J., Dominguez, S., Gustcher, M.-A., Schmidt, S., Beck, C., Çagatay, N., Çakir, Z., Imren, C., Eris, K., Natalin, B., Özalaybey, S., Tolun, L., Lefèvre, I., Seeber, L., Gasperini, L., Rangin, C., Emre, O. ve Sarikavak, K.** 2005. Submarine fault scarps in the Sea of Marmara pull-apart (North Anatolian Fault): Implications for seismic hazard in Istanbul, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 6, Q06009.

- Arpat, E. ve Şaroğlu, F.** 1972. Dogu Anadolu fayı ile ilgili bazı gözlem ve düşünceler (Some observations and thoughts on the East Anatolian fault), *MTA Dergisi*, 73 44–50.
- Arpat, E. ve Şaroğlu, F.** 1975. Türkiye’deki bazı önemli genç tektonik olaylar (On some important young tectonic events in Turkey), *Bulletin of the Geological Society of Turkey*, 18, 29–41.
- Ataman, G., Buket, E. ve Çapan, U. Z.** 1975. Kuzey Anadolu Fay Zonu Bir Paleo-Benioff Zonu Olabilir Mi?, *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 84, 112-118.
- Atmaoui, N., Kukowski, N., Stöckhert, B. ve König, D.** 2006. Initiation and development of pull-apart basins with Riedel shear mechanism: insights from scaled clay experiments, *International Journal of Earth Sciences*, 95, 225-238-238.
- Barka, A., Akyüz, H. S., Cohen, H. A. ve Watchorn, F.** 2000. Tectonic evolution of the Niksar and Tasova-Erbaa pull-apart basins, North Anatolian Fault Zone: their significance for the motion of the Anatolian block, *Tectonophysics*, 322, 243-264.
- Barka, A. A.** 1981. *Seismo-tectonic aspects of the North Anatolian fault zone*, (PhD),
- Barka, A. A.** 1992. The North Anatolian fault zone, *Annales Tectonicae*, 6, Suppl., 164-195.
- Barka, A. A. ve Gülen, L.** 1988. New constraints on age and total offset of the North Anatolian Fault Zone: Implications for tectonics of the Eastern Mediterranean region. In *1987 Melin Tokay Symposium*, Volume, ss. 39-65. Eds. Spec. Publ. Middle-east Technical University, Ankara.
- Barka, A. A. ve Hancock, P. L.** 1984. Neotectonic deformation patterns in the convex-northwards arc of the North Anatolian fault zone, *Geological Society, London, Special Publications*, 17, 763-774.
- Barka, A. A. ve Kadinsky-Cade, K.** 1988. Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity, *Tectonics*, 7, 663– 684.
- Barka, A. A. ve Reilinger, R.** 1997. Active tectonics of the Eastern Mediterranean region: deduced from GPS, neotectonic and seismicity data, *Annals of Geophysics*, 40, 587-610.
- Barka, A. A., Toksoz, M. N., Gülen, L. ve Kadinsky-Cade, K.** 1987. Kuzey Anadolu Fayının Doğu Kesiminin Segmentasyonu, Sismitesi ve Deprem Potansiyeli, *Yerbilimleri*, 14, 337-352.
- Bozkurt, E.** 2001. Neotectonics of Turkey; a synthesis, *Geodinamica Acta*, 14, 3-30.
- Buket, E. ve Temel, A.** 1998. Major-element, trace-element, and Sr-Nd isotopic geochemistry and genesis of Varto (Mus) volcanic rocks, Eastern Turkey, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85, 405-422.

- Bull, W. B.** 2009. *Tectonically Active Landscape*, Oxford: Wiley-Blackwell.
- Burbidge, D. R. ve Braun, J.** 1988. Analogue models of obliquely convergent continental plate boundaries, *Journal of Geophysical Research*, **103 (B7)**, 15221–15237.
- Byerlee, J.** 1978. Friction of rocks, *Pure and Applied Geophysics*, **116**.
- Cakir, Z., Akoglu, A. M., Belabbes, S., Ergintav, S. ve Meghraoui, M.** 2005. Creeping along the Ismetpasa section of the North Anatolian fault (Western Turkey): Rate and extent from InSAR, *Earth and Planetary Science Letters*, **238**, 225-234.
- Casas, A. M., Gapais, D., Nalpas, T., Besnard, K. ve Román-Berdiel, T.** 2001. Analogue models of transpressive systems, *Journal of Structural Geology*, **23**, 733–743.
- Chorowicz, J., Luxey, P., Lyberis, N., Carvalho, J., Parrot, J. F., Yurur, T. ve Gundogdu, N.** 1994. The Maras Triple Junction (southern Turkey) based on digital elevation model and satellite imagery interpretation, *Journal of Geophysical Research*, **99**, 20225– 20242.
- Cloos, H.** 1928. Experimente zur inneren Tektonik, *Centralblatt für Mineralogie*, **12**, 609–621.
- Cobbold, P. R. ve Castro, L.** 1999. Fluid pressure and effective stress in sandbox models, *Tectonophysics*, **301**, 1-19.
- Cummings, D.** 1976. Theory of plasticity applied to faulting, Mojave Desert, southern California, *Geological Society of America Bulletin*, **87**, 720-724.
- Dewey, J. F., Hempton, M. R., Kidd, W. S. F., Şaroğlu, F. ve Şengör, A. M. C.** 1986. Shortening of continental lithosphere: The neotectonics of Eastern Anatolia – a young collision zone. In *Collision Tectonics*, **Volume**, ss. 3-36. Eds. Coward M. P. ve Ries A. C., Geological Society Special Publication.
- Dewey, J. F., Pitman, W. C., Ryan, W. B. F. ve Bonnin, J.** 1973. Plate tectonics and the evolution of the Alpine system, *Geological Society of America Bulletin*, **84**, 3137– 3180.
- Dewey, J. F. ve Şengör, A. M. C.** 1979. Aegean and surrounding regions: Complex multiplate and continuum tectonics in a convergent zone, *Geological Society of America Bulletin*, **90**, 84-92.
- Dewey, J. W.** 1976. Seismicity of Northern Anatolia, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **66**, 843-868.
- Dooley, T. ve Schreurs, G.** 2012. Analogue modelling of intraplate strike-slip tectonics: A review and new experimental results, *Tectonophysics*, **574-575**, 1-71.

- Duman, T. Y. ve Emre, Ö.** 2013. The East Anatolian Fault: geometry, segmentation and jog characteristics. In *Geological Development of Anatolia and the Easternmost Mediterranean Region*, 372. Eds. Robertson A. H. F., Parlak O. ve Ünlügenç, U. C., Geological Society, Special Publications, London.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Olgun, Ş., Özalp, S. ve Elmacı, H.** 2012a. 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Erzurum (NJ37-4) Paftası, Seri No:48, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye,
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Olgun, Ş., Özalp, S. ve Elmacı, H.** 2012b. 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Muş (NJ37-8) Paftası, Seri No:49, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye,
- Emre, Ö., Özalp, S., Yildirim, C., Özaksoy, V. ve Doğan, A.** 2005. 12 ve 14 Mart Karlıova Depremleri'nin Değerlendirilmesi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- England, P.** 1989. Large rates of rotation in continental lithosphere undergoing distributed deformation. In *Paleomagnetic Rotations and Continental Deformation*, Volume, ss. 157-164. Eds. Kissel C. ve Laj C., Kluwer, Dordrecht.
- Fairbridge, R. W.** 1968. *The Encyclopedia of Geomorphology*, New York: Reinhold Book Corporation.
- Goudie, A.** 2003. *Encyclopedia of Geomorphology*Routledge.
- Gülen, L., Barka, A. A. ve Toksoz, M. N.** 1987. Continental collision and related complex deformation: Maras Triple Junction and surrounding structures, SE Turkey *Yerbilimleri (Hacettepe University, Ankara)*. 14, 319–336.
- Hartmann, W.** 1928. in Nadai: Das gleichgewicht lockerer Massen: Plastizität und Erddruck, Handbuch der Physik, *Berlin, Springer-Verlag*, 6, 484-501.
- Hempton, M. R.** 1987. Constraints on Arabian plate motion and extensional history of the Red Sea, *Tectonics*, 153.
- Hempton, M. R. ve Dewey, J. F.** 1981. Structure and tectonics of the Lake Hazar pull-apart basin, SE Turkey, *Transactions, American Geophysical Union EOS*, 62, 1033.
- Herece, A.** 2008. *Doğu Anadolu Fayı (DAF) Atlası*, Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın, Ser. 13.
- Herece, A. ve Akay, E.** 2003. *Kuzey Anadolu Fayı (KAF) Atlası/Atlas of North Anatolian Fault (NAF)*, Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın, Ser. 2.
- Herece, E. ve Akay, E.** 1992. Karlıova-Çelikhan arasında Doğu Anadolu Fayı. In *Türkiye 9. Petrol Kongresi*, pp. 261-372.

- Hovius, N.** 2000. Macroscale process systems of mountain belt erosion. In *Geomorphology and global tectonics*, Volume, ss. 77-105. Eds. Summerfield M. A., John Wiley & Sons, New York.
- Hubbert, M. K.** 1951. Mechanical basis for certain familiar geologic structures, *Geological Society of America Bulletin*, 62, 355-372.
- Hubert-Ferrari, A., Armijo, R., King, G., Meyer, B. ve Barka, A. A.** 2002. Morphology, displacement, and slip rates along the North Anatolian Fault, Turkey, *Journal of Geophysical Research*, 107, No. B10, 2235, doi:10.1029/2001JB000393.
- Hubert-Ferrari, A., King, G., Woerd, J. v. d., Villa, I., Altunel, E. ve Armijo, R.** 2009. Long-term evolution of the North Anatolian Fault: new constraints from its eastern termination, *Geological Society, London, Special Publications*, 311, 133-154.
- Ingles, J., Dauch, C., Soula, J.-C., Viallard, P. ve Brusset, S.** 1999. Application of the Prandtl-Nadai cell model to a regional scale fault intersection: the Grésigne-Quercy block (SW France), *Journal of Structural Geology*, 21, 449-466.
- Jackson, J. ve McKenzie, D.** 1984. Active Tectonics of the Alpine-Himalayan Belt between western Turkey and Pakistan, *The Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 77, 185-264.
- Kahle, H. G., Cocard, M., Peter, Y., Geiger, A., Reilinger, R., Barka, A. ve Veis, G.** 2000. GPS-derived strain rate field within the boundary zones of the Eurasian, African and Arabian Plates, *Journal of Geophysical Research*, 105, 23353-23370.
- Kanizay, S. P.** 1962. Mohr's Theory of Strength and Prandtl's Compressed Cell in Relation to Vertical Tectonics, *USGS Professional Paper*, 414-B.
- Karabacak, V., Altunel, E. ve Cakir, Z.** 2011. Monitoring aseismic surface creep along the North Anatolian Fault (Turkey) using ground-based LIDAR, *Earth and Planetary Science Letters*, 304, 64-70.
- Karig, D. E. ve Kozlu, H.** 1990. Late Palaeogene-Neogene evolution of the triple junction region near Maras, south-central Turkey, *Journal of the Geological Society, London*, 147, 1023-1034.
- Keller, E. A. ve Pinter, N.** 2002. *Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape*, New Jersey: Prentice Hall.
- Kelling, G., Gökçen, S. L., Floyd, P. A. ve Gökçen, N.** 1987. Neogene tectonics and plate convergence in the Eastern Mediterranean: new data from southern Turkey., *Geology*, 15, 425-429.

- Kempler, D. ve Garfunkel, Z.** 1991. Northeast Mediterranean triple junction from a plate kinematics point of view, *Bulletin of the Technical University of Istanbul, Special Issue*, **44**, 425–454.
- Ketin, İ.** 1948. Ueber die tektonisch-mechanischen Folgerungen aus den grossen anatolischen Erdbeben des letzten Dezenniums, *Geologische Rundschau*, **36**, 77-83.
- Ketin, İ.** 1957. Kuzey Anadolu Deprem Fayı, *İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi*, **15**, 49-52.
- Ketin, İ.** 1969. Kuzey Anadolu Fayı Hakkında, *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, **72**, 1-27.
- Ketin, İ.** 1976. San Andreas ve Kuzey Anadolu Faylari arasında bir karşılaştırma, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, **19**, 149-154.
- Kiratzi, A. A.** 1993. A study on the active crustal deformation of the North and East Anatolian Fault Zones, *Tectonophysics*, **225**, 191-203.
- Kiratzi, A. A. ve Papazachos, C. B.** 1995. Active crustal deformation from the Azores triple junction to the Middle East, *Tectonophysics*, **243**, 1-24.
- Koçyiğit, A.** 1988. Tectonic setting of the Geyve basin: age and total displacement of the Geyve fault zone. In *1987 Melih Tokay Symposium*, Volume, ss. 81-104. Eds. Spec. Publ. Middle-East Technical University, Ankara.
- Koçyiğit, A.** 1989. Süşehri basin: an active fault-wedge basin on the North Anatolian Fault Zone, Turkey, *Tectonophysics*, **167**, 13-29.
- Kozacı, O., Dolan, J. F. ve Finkel, R. C.** 2009. A late Holocene slip rate for the central North Anatolian fault, at Tahtaköprü, Turkey, from cosmogenic ¹⁰Be geochronology: Implications for fault loading and strain release rates, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **114**, 1-12.
- Kozacı, Ö., Dolan, J., Finkel, R. ve Hartleb, R.** 2007. Late Holocene slip rate for the North Anatolian fault, Turkey, from cosmogenic ³⁶Cl geochronology: Implications for the constancy of fault loading and strain release rates, *Geology*, **35**, 867-870.
- Krantz, R. W.** 1991a. Measurements of friction coefficients and cohesion for faulting and fault reactivation in laboratory models using sand and sand mixtures, *Tectonophysics*, **188**, 203-207.
- Krantz, R. W.** 1991b. Normal fault geometry and fault reactivation in tectonic inversion experiments. In *The Geometry of Normal Faults Volume*, ss. 219-229. Eds. Roberts A. M., Yielding G. ve Freeman B., Geological Society, London. Special Publication
- Lazarte, C. A. ve Bray, J. D.** 1996. A study of strike-slip faulting using small-scale models, *Geotechnical Testing Journal*, **19**, 118-129.

- Le Bas, M. J., Le Maitre, R. W., Streckeisen, A. ve Zanettin, B.** 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali–silica diagram, *Journal of Petrology*, 27, 745-750.
- Le Guerroué, E. ve Cobbold, P. R.** 2006. Influence of erosion and sedimentation on strikeslip fault systems; insights from analogue models, *Journal of Structural Geology*, 28, 421–430.
- Lettis, W. R. ve Hanson, K. L.** 1991. Crustal strain partitioning: Implications for seismic-hazard assessment in western California, *Geology*, 19, 559-562.
- Lohrmann, J., Kukowski, N., Adam, J. ve Oncken, O.** 2003. The impact of analogue material properties on the geometry, kinematics and dynamics of convergent sand wedges, *Journal of Structural Geology*, 25, 1691-1711.
- Lovelock, P. E. R.** 1984. A review of the tectonics of the northern Middle East region, *Geological Magazine*, 121, 577–587.
- Lyberis, N., Yürür, T., Chorowicz, J., Kasapoğlu, E. ve Gündoğdu, N.** 1992. The East Anatolian fault: an oblique collisional belt, *Tectonophysics*, 204.
- Mallet, R.** 1862. Great Neapolitan Earthquake of 1857—The First Principles of Observational Seismology. Vol. II. London Chapman & Hall. viii+399 pp.+3 foldout plates (Reprinted 1987 Storia Geofisica Ambiente, Bologna).
- Mc Calpin, J. P., ed.,** 1996. *Paleoseismology*. Academic Press, London, .
- McClusky , S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gurkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H., Kastens, K., Kekelidze, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadariya, M., Ouzounis, A., Paradissis, D., Peter, Y., Prilepin, M., Reilinger, R., Sanli, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksöz, M. N. ve Veis, G.** 2000. Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus, *Journal of Geophysical Research*, 105, 5695-5719.
- McKenzie, D.** 1972. Active Tectonics of the Mediterranean Region, *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 30, 109-185.
- McKenzie, D.** 1976. The East Anatolian Fault: A major structure in Eastern Turkey, *Earth and Planetary Science Letters*, 29, 189-193.
- McKenzie, D. ve Jackson, J.** 1983. The relationship between strain rates, crustal thickening, palaeomagnetism, finite strain and fault movements within a deforming zone, *Earth and Planetary Science Letters*, 65, 182-202.
- McKenzie, D. ve Jackson, J.** 1986. A block model of distributed deformation by faulting, *Journal of the Geological Society, London*, 143, 349-353.

- McKenzie, D. P. ve Morgan, W. J.** 1969. Evolution of Triple Junctions, *Nature*, 224, 125-133.
- Meschede, M.** 1986. A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb–Zr–Y diagram, *Chemical Geology*, 56, 207-218.
- Muehlberger, W. B. ve Gordon, M. B.** 1987. Observations on the complexity of the East Anatolian fault, Turkey, *Journal of Structural Geology*, 9, 899– 903.
- Nadai, A.** 1950. *Theory of fracture and flow of solids*, New York: McGraw-Hill.
- Naylor, M. A., Mandl, G. ve Supsteijn, C. H. K.** 1986. Fault geometries in basement-induced wrench faulting under different initial stress states, *Journal of Structural Geology*, 8, 737-752.
- Oral, M. B.** 1994. *Global Positioning System (GPS) measurements in Turkey (1988-1992): Kinematics of the Africa-Arabia-Eurasia Plate Collision Zone*, (Ph.D Thesis), Mass. Inst. Tech.
- Ozener, H., Arpat, E., Ergintav, S., Dogru, A., Cakmak, R., Turgut, B. ve Dogan, U.** 2010. Kinematics of the eastern part of the North Anatolian Fault Zone, *Journal of Geodynamics*, 49, 141-150.
- Pavoni, V. N.** 1961. Die Nordanatolische Horizontalverschiebung, *Geologische Rundschau*, 51, 122-139.
- Pearce, J. A., Bender, J. F., De Long, S. E., Kidd, W. S. F., Low, P. J., Güner, Y., Saroglu, F., Yilmaz, Y., Moorbath, S. ve Mitchell, J. G.** 1990. Genesis of collision volcanism in Eastern Anatolia, Turkey, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 44, 189-229.
- Pearce, J. A. ve Norry, M. J.** 1979. Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y, and Nb variations in volcanic rocks, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 69, 33-47.
- Peccerillo, A. ve Taylor, S. R.** 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 58, 63–81.
- Pérez-Peña, J. V., Azañón, J. M., Azor, A., Delgado, J. ve González-Lodeiro, F.** 2009. Spatial analysis of stream power using GIS: SLk anomaly maps, *Earth Surface Processes and Landforms*, 34, 16-25.
- Pérez-Peña, J. V., Azor, A., Azañón, J. M. ve Keller, E. A.** 2010. Active tectonics in the Sierra Nevada (Betic Cordillera, SE Spain): Insights from geomorphic indexes and drainage pattern analysis, *Geomorphology*, 119, 87.

- Perinçek, D. ve Çemen, İ.** 1990. The structural relationship between the East Anatolian and Dead Sea fault zones in southeastern Turkey, *Tectonophysics*, 172, 331-340.
- Phillips, J. D. ve Lutz, J. D.** 2008. Profile convexities in bedrock and alluvial streams, *Geomorphology*, 102, 554-566.
- Polonia, A., Gasperini, L., Amorosi, A., Bonatti, E., Bortoluzzi, G., Çagatay, N., Capotondi, L., Cormier, M. H., Gorur, N., McHugh, C. ve Seeber, L.** 2004. Holocene slip rate of the North Anatolian Fault beneath the Sea of Marmara, *Earth and Planetary Science Letters*, 227, 411-426.
- Prandtl, L.** 1924. Anwendungsbeispiele zu einem Henckyschen Satz iiber das plastische Gleichgewicht: Zeitschr. angew. , *Mathematik u. Mechanik*, 3, 401-407.
- Pucci, S., De Martini, P. M. ve Pantosti, D., 2008.,** 2008. Preliminary slip rate estimates for the Düzce segment of the North Anatolian Fault Zone from offset geomorphic markers, *Geomorphology*, 97, 538-554.
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., Ozener, H., Kadirov, F., Guliev, I., Stepanyan, R., Nadariya, M., Hahubia, G., Mahmoud, S., Sakr, K., ArRajehi, A., Paradissis, D., Al-Aydrus, A., Prilepin, M., Guseva, T., Evren, E., Dmitrotsa, A., Filikov, S. V., Gomez, F., Al-Ghazzi, R. ve Karam, G.** 2006. GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions, *J. Geophys. Res.*, 111, B05411.
- Reilinger, R. E., McClusky, S. C., Oral, M. B., King, R. W., Toksoz, M. N., Barka, A. A., Kinik, I., Lenk, O. ve Sanli, I.** 1997. Global Positioning System measurements of present-day crustal movements in the Arabia-Africa-Eurasia plate collision zone, *J. Geophys. Res.*, 102, 9983-9999.
- Reiter, L.** 1995. Paleoseismology, A user perspective. In *Assoc. Eng. Geol. Spec. Publ.*, 3, 3-6. Eds. Serva L. ve Slemmons D. B.,
- Richard, P., Mocquet, B. ve Cobbold, P. R.** 1991. Experiments on simultaneous faulting and folding above a basement wrench fault., *Tectonophysics*, 188, 133-141.
- Richard, P., Naylor, M. A. ve Koopman, A.** 1995. Experimental models of strike-slip tectonics, *Petroleum Geoscience*, 1.
- Riedel, W.** 1929. Zur Mechanik geologischer Brucherscheinungen, *Centralblatt Mineralogie, Abteilung B*, 354-368.
- Rotstein, Y.** 1984. Counterclockwise rotation of the Anatolian block, *Tectonophysics*, 108, 71-91.

- Schellart, W. P.** 2000. Shear test results for cohesion and friction coefficients for different granular materials: scaling implications for their usage in analogue modelling, *Tectonophysics*, 324.
- Schöpfer, M. P. J. ve Steyrer, H. P.** 2001. Experimental modeling of strike-slip faults and the self-similar behavior. In *Tectonic Modeling: A Volume in Honor of Hans Ramberg., 193*, Volume, ss. 21-27. Eds. Koyi H. A. ve Mancktelow N. S., Geological Society of America Memoirs
- Schreurs, G.** 2003. Fault development and interaction in distributed strike-slip shear zones: an experimental approach. In *Intraplate Strike-slip Deformation Belts, 210*, Volume, ss. 35-52. Eds. Storti F., Holdsworth R. E. ve Salvini F., Geological Society, London, Special Publications,
- Schreurs, G. ve Colletta, B.** 1998. Analogue modelling of faulting in zones of continental transpression and transtension, *Geological Society, London, Special Publications, 135*, 59-79.
- Schreurs, G. ve Colletta, B.** 2003. Analogue modelling of continental transpression. In *Analogue Modelling of Large-scale Tectonic Processes, 7*, Volume, ss. 103-114. Eds. Schellart W. P. ve Passchier C., Journal of the Virtual Explorer,
- Schumm, S. A., Dumont, J. F. ve Holbrook, J. M.** 2001. *Active Tectonics and Alluvial Rivers* Cambridge University Press.
- Seymen, İ.** 1975. *Kelkit Vadisi Kesiminde Kuzey Anadolu Fay Zonunun Tektonik Özelliği*, (PhD), Maden Fakültesi, İstanbul
- Seymen, İ. ve Aydın, A.** 1976. Bingöl Deprem Fayı ve Bunun Kuzey Anadolu Fay Zonu ile İlişkisi (The Bingöl Earthquake fault and its relation to the North Anatolian Fault), *MTA Dergisi, 79*, 1-8.
- Strahler, A. N.** 1952. Hypsometric (Area-Altitude) Analysis of Erosional Topography, *Geological Society of America Bulletin, 63*, 1117-1142.
- Şaroğlu, F.** 1985. *Doğu Anadolu'nun Neotektonik Dönemde Jeolojik ve Yapısal Evrimi*, (Doktora), Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Şaroğlu, F.** 1988. Age and offset of the North Anatolian fault. In *1987 Melih Tokay Symposium*, Volume, ss. 65-79. Eds. Spec. Publ. Middle-East Technical University, Ankara.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö. ve Kuşçu, i.** 1992. The East Anatolian fault zone of Turkey, *Annales Tectonicae, 99-125*
- Şengör, A. M. C.** 1979. The North Anatolian transform fault; its age, offset and tectonic significance, *Journal of the Geological Society of London, 136, Part 3*, 269-282.

- Şengör, A. M. C.** 1980. Türkiye Neotektoniğinin Esasları, *Türkiye Jeoloji Kurumu Yayını*, 40.
- Şengör, A. M. C., Burke, K. ve Dewey, J. F.** 1982. Tectonic of the North Anatolian Transform Fault. In *Multidisciplinary Approach to Earthquake Prediction*, Volume, ss. 3-22. Eds. Işıkara A. M. ve Vogel A., Vieweg&Sohn, Brunschweig.
- Şengör, A. M. C., Büyükaşıkoglu, S. ve Canitez, N.** 1983. Neotectonics of the Pontides: implications for 'incompatible' structures along the North Anatolian fault, *Journal of Structural Geology*, 5, 211-216.
- Şengör, A. M. C. ve Canitez, N.** 1982. The North Anatolian Fault. In *Alpine Mediterranean Geodynamics, Geodynamics*, Volume, ss. 205-216. Eds. Berekhemer H. ve Hsü K.,
- Şengör, A. M. C., Görür, N. ve Şaroğlu, F.** 1985. Strike slip faulting and related basin formations in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. In *Strike-Slip Faulting and Basin Formation*, Volume, ss. 227 – 264. Eds. Biddle K. T. ve Christie-Blick N., Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Tulsa, Oklahoma, Special Publication No. 37,
- Şengör, A. M. C. ve Kidd, W. S. F.** 1979. Post-collisional tectonics of the Turkish-Iranian Plateau and a comparison with Tibet, *Tectonophysics*, 55.
- Şengör, A. M. C., Tüysüz, O., İmren, C., Sakınç, M., Eyidoğan, H., Görür, N., Le Pichon, X. ve Rangin, C.** 2005. The North Anatolian Fault: A New Look, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 33, 37-112.
- Tan, O., Tapırdamaz, M. C. ve Yörük, A.** 2008. The Earthquake Catalogues for Turkey, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17, 405–418.
- Tapırdamaz, M. C.** 2013. Kişisel görüşme.
- Tatar, Y.** 1978. Kuzey Anadolu Fay Zonunun Erzincan-Refahiye arasındaki bölümü üzerinde tektonik incelemeler, *Yerbilimleri*, 4:201, 36.
- Tatar, O., Poyraz, F., Gürsoy, H., Cakir, Z., Ergintav, S., Akpınar, Z., Koçbulut, F., Sezen, F., Türk, T., Hastaoğlu, K. Ö., Polat, A., Mesci, B. L., Gürsoy, Ö., Ayazlı, İ. E., Çakmak, R., Belgen, A. ve Yavaşoğlu, H.** 2012. Crustal deformation and kinematics of the Eastern Part of the North Anatolian Fault Zone (Turkey) from GPS measurements, *Tectonophysics*, 518–521, 55-62.
- Taymaz, T., Eyidoğan, H. ve Jackson, J.** 1991. Source Parameters of Large Earthquakes in the East Anatolian Fault Zone (Turkey), *Geophysical Journal International*, 106, 537-550.
- Tchalenko, J. S.** 1970. Similarities between Shear Zones of Different Magnitudes, *Geological Society of America Bulletin*, 81, 1625-1640.

- Tutkun, S. Z. ve Hancock, P. L.** 1990. Tectonic landforms expressing strain at the Karliova continental triple junction (E. Turkey), *Annales Tectonicae*, **4**, 182 - 195.
- Varnes, D. J.** 1962. Analysis of plastic deformation according to Von Mises' theory, with application to the South Silverton area, San Juan County, Colorado, *USGS Professional Paper*, 378-B.
- Vendeville, B., Cobbold, P. R., Davy, P., Choukroune, P. ve Brun, J. P.** 1987. Physical models of extensional tectonics at various scales, *Geological Society, London, Special Publications*, **28**, 95-107.
- Viola, G., Odone, F. ve Mancktelow, N. S.** 2004. Analogue modelling of reverse fault reactivation in strike-slip and transpressive regimes: application to the Giudicarie fault system, Italian Eastern Alps, *Journal of Structural Geology*, **26**(3), 401–418.
- Walcott, R. C. ve Summerfield, M. A.** 2008. Scale dependence of hypsometric integrals: An analysis of southeast African basins, *Geomorphology*, **96**, 186.
- Wallace, R. E.** 1968. Earthquake of August 19, 1966, Varto Area, eastern Turkey, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **58**, 11-45.
- Wallace, R. E.** 1981. Active faults, paleoseismology and earthquake hazards in the western United States., *Earthquake Prediction: An International Review (ed: Simpson, D.W. and Richards, T.G.). Maurice Ewing Ser. 4, American Geophysical Union, Washington D.C., p. 209–216.*
- Weijermars, R.** 1986. Flow behaviour and physical chemistry of bouncing putties and related polymers in view of tectonic laboratory applications, *Tectonophysics*, **124**, 325–358.
- Westaway, R.** 1994. Present-day kinematics of the Middle East and eastern Mediterranean, *Journal of Geophysical Research*, **99**, 12071– 12090.
- 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.
- Westaway, R. ve Arger, J.** 1996. The Gölbaşı basin, southeastern Turkey: a complex discontinuity in a major strike-slip fault zone *Journal of the Geological Society, London*, **153**, 729– 744.
- Westaway, R. ve Arger, J.** 2001. Kinematics of the Malatya-Ovacik fault zone, *Geodinamica Acta*, **14**, 103-131.
- Westaway, R. W. C.** 2003. Kinematics of the Middle East and Eastern Mediterranean updated, *Turk. J. Eart. Sci.*, **12**, 5-46.

- Wilcox, R. E., Harding, T. P. ve Seely, D. R.** 1973. Basic wrench tectonics, *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 57, 74–96.
- Yaltırak, C., Sakıncı, M. ve Oktay, F. Y.** 2000. Westward propagation of North Anatolian Fault into the northern Aegean: Timing and kinematics. Comment, *Geology*, 28, 187-189.
- Yazgan, E.** 1983. Geodynamic evolution of Eastern Taurus region, *Geology or the Taurus Belt. Proceedings of International Symposium on the Geology of Taurus Belt*, 199-208.
- Yılmaz, Y., Yigitbas, E. ve Genç, S. C.** 1993. Ophiolitic and metamorphic assemblages of southeast Anatolia and their significance in the geological evolution of the orogenic belt, *Tectonics*, 12, 1280-1297.
- Zabcı, C.** 2012. *Kuzey Anadolu Fayı'nın Ilgaz (Çankırı) Doğusunda Kalan Kesiminin Morfokronoloji Tabanlı Son Beşbin Yıllık Kayma Hızı Tarihiçesi Ve Depremselliği*, (Doktora Tezi), Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

EKLER

EK.A : Karlıova Civarının Jeoloji Haritası

EK.B : Varto Civarının Jeoloji Haritası

EK.C.1 : Yoncalık-1 Hendeği'nin C14 Yaş Sonuçlarının Kalibrasyon Eğrileri

EK.C.2 : Yoncalık-2 Hendeği'nin C14 Yaş Sonuçlarının Kalibrasyon Eğrileri

EK.D : Analog Model Resimleri ve Videoları

41°0'0"E

41°10'0"E

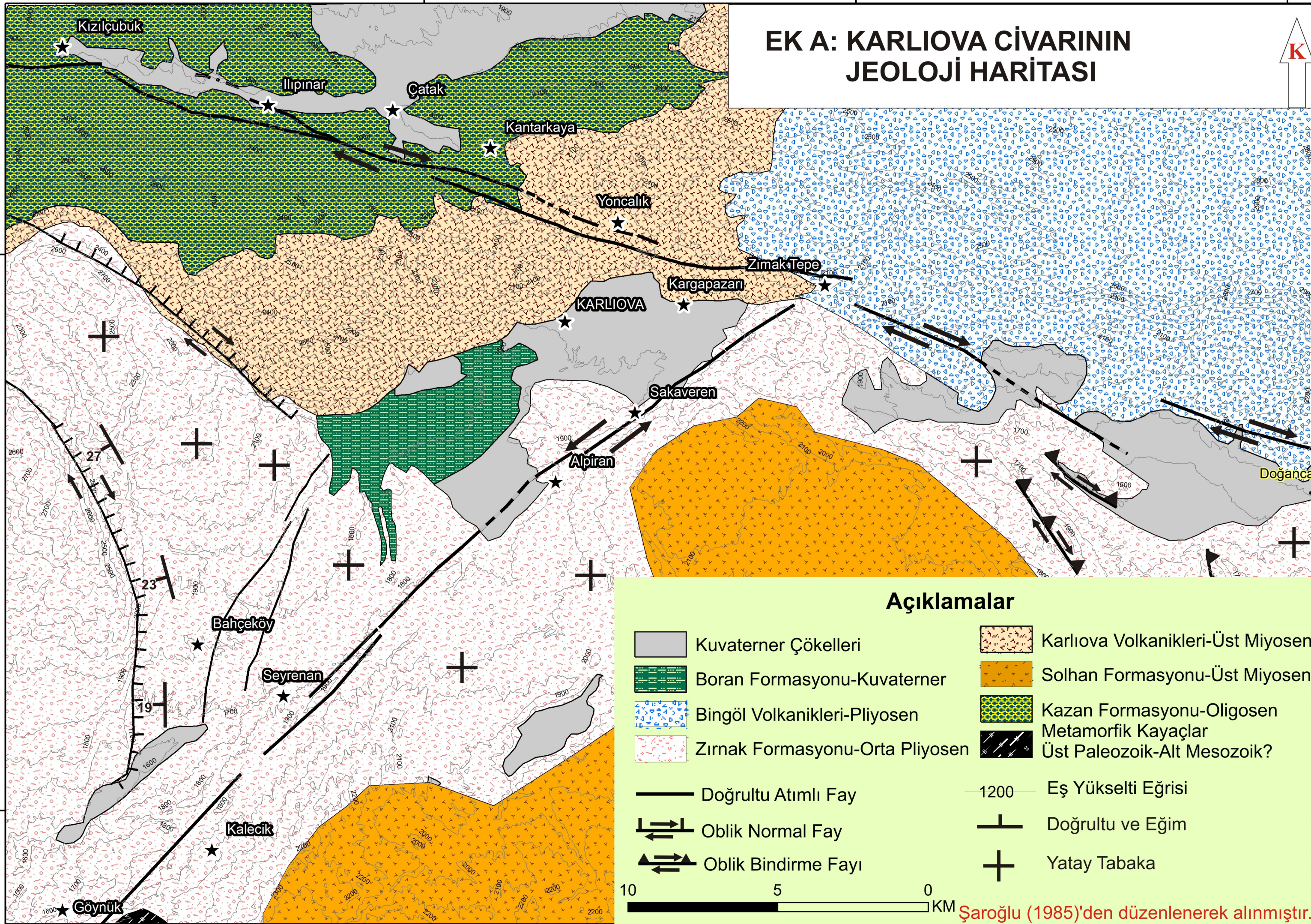
41°20'0"E

EK A: KARLIOVA CİVARININ JEOLOJİ HARİTASI

K

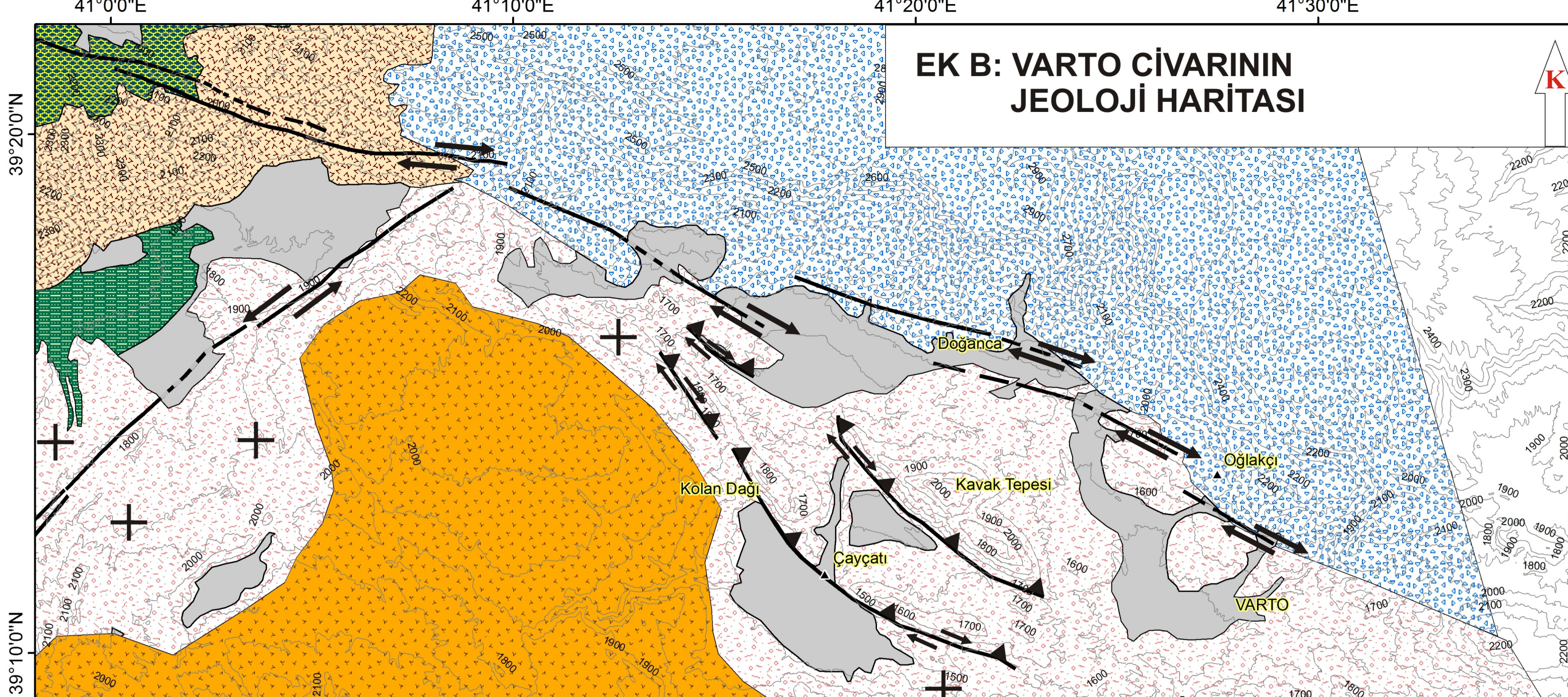
39°20'0"N

39°10'0"N



EK B: VARTO CİVARININ JEOLOJİ HARİTASI

K



Açıklamalar

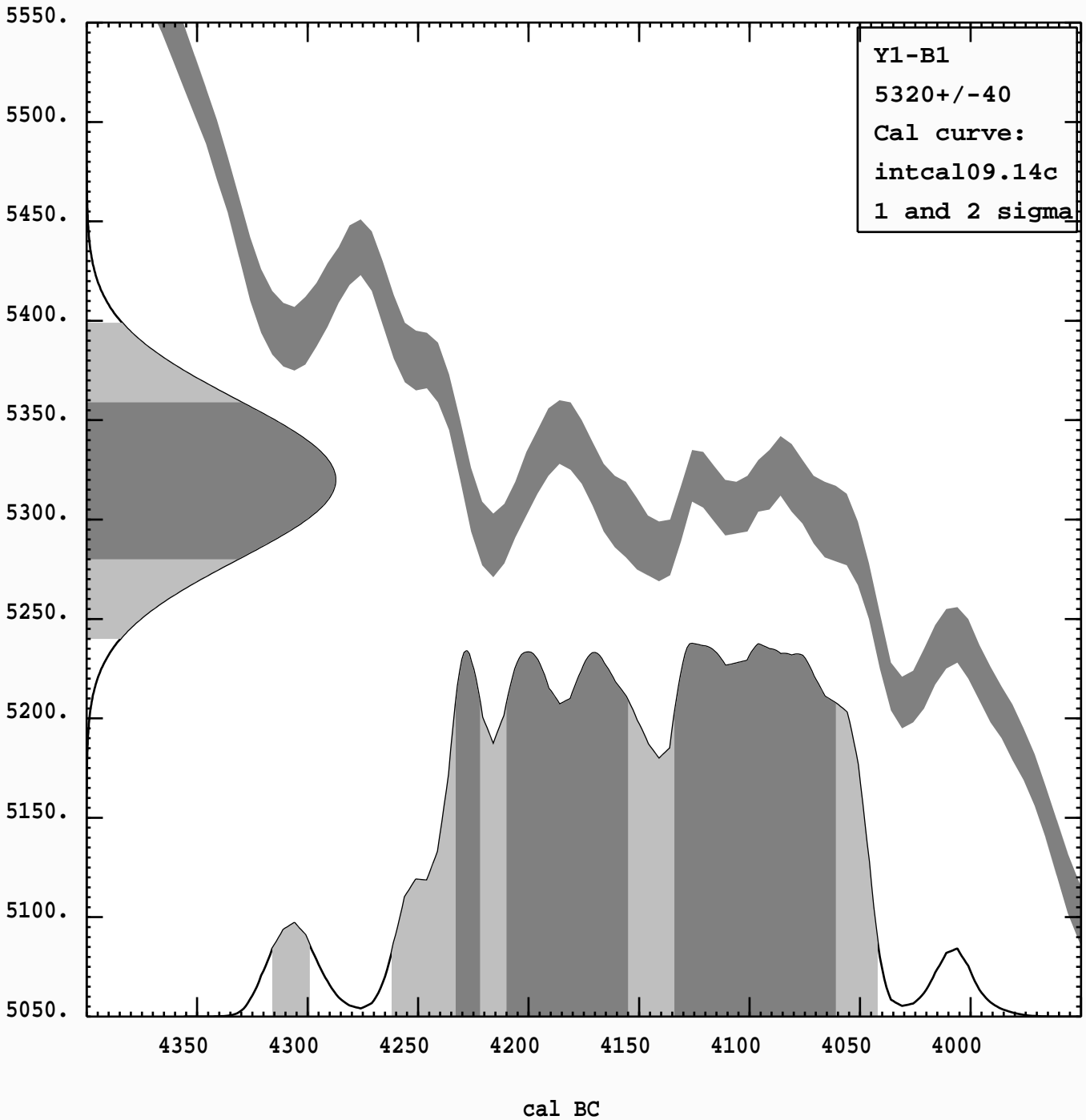
- | | | | |
|--|---------------------------------|--|--|
| | Kuvaterner Çökelleri | | Karlıova Volkanikleri-Üst Miyosen |
| | Boran Formasyonu-Kuvaterner | | Solhan Formasyonu-Üst Miyosen |
| | Bingöl Volkanikleri-Pliyosen | | Kazan Formasyonu-Oligosen |
| | Zırnak Formasyonu-Orta Pliyosen | | Metamorfik Kayaçlar
Üst Paleozoik-Alt Mesozoik? |
| | Doğrultu Atımlı Fay | | 1200 Eş Yükselti Eğrisi |
| | Oblik Bindirme Fayı | | Doğrultu ve Eğim |
| | | | Yatay Tabaka |

10 5 0 KM

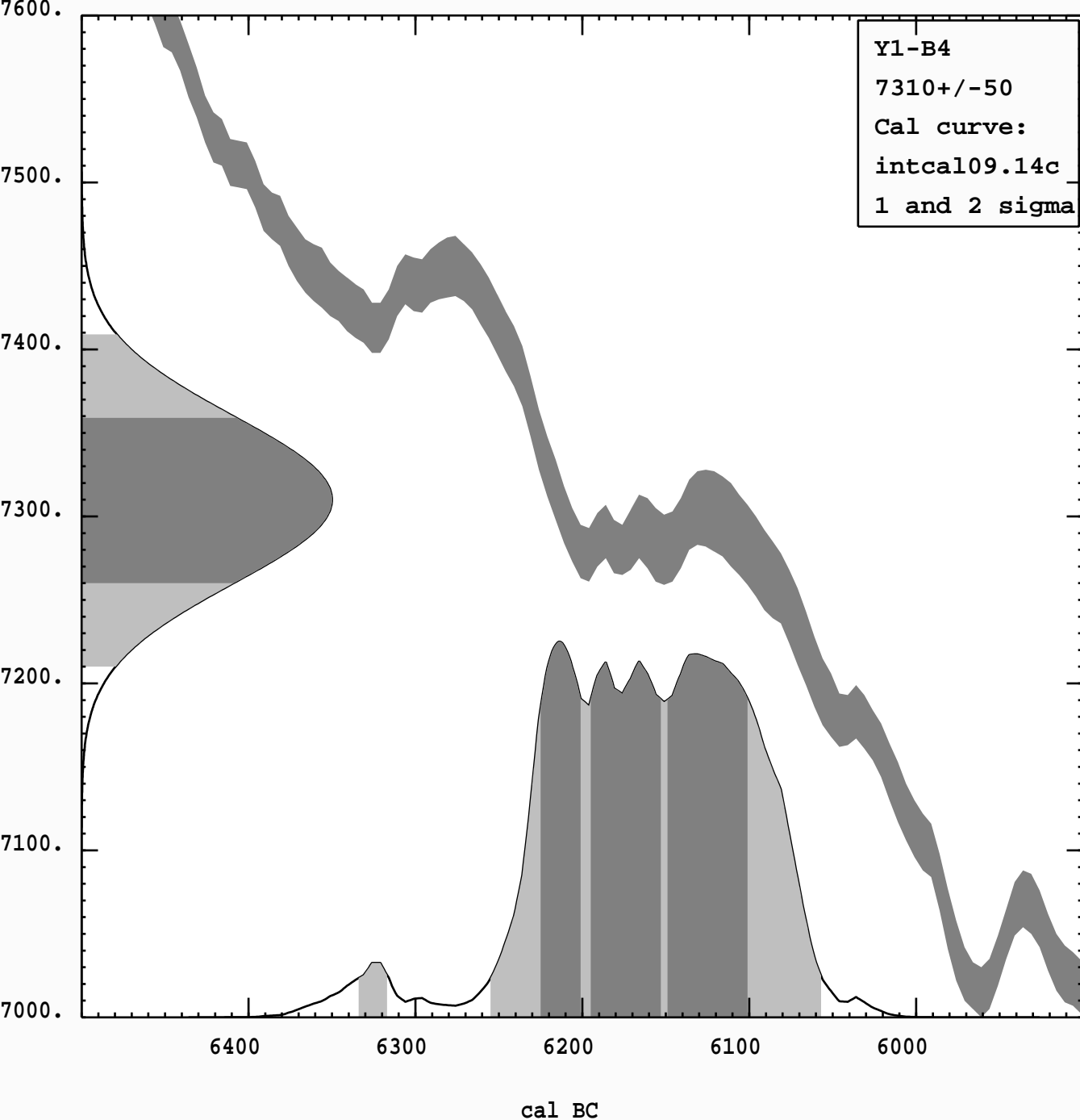
Şaroğlu (1985)'den düzenlenerek alınmıştır.

EK C.1 Yoncalık-1 Hendeğinin C14 Yaş Sonuçlarının Kalibrasyon Eğrileri

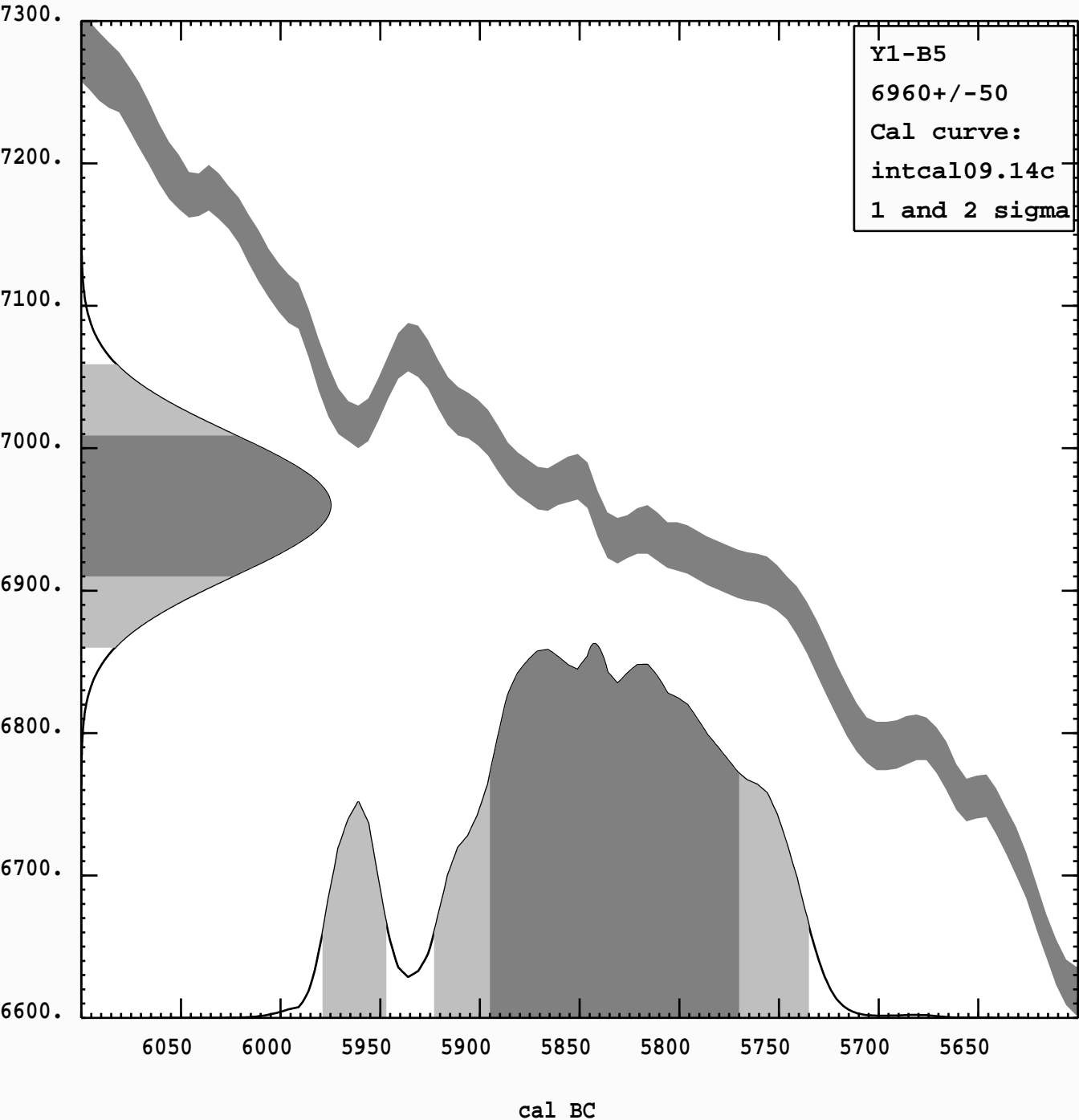
Radiocarbon Age vs. Calibrated Age



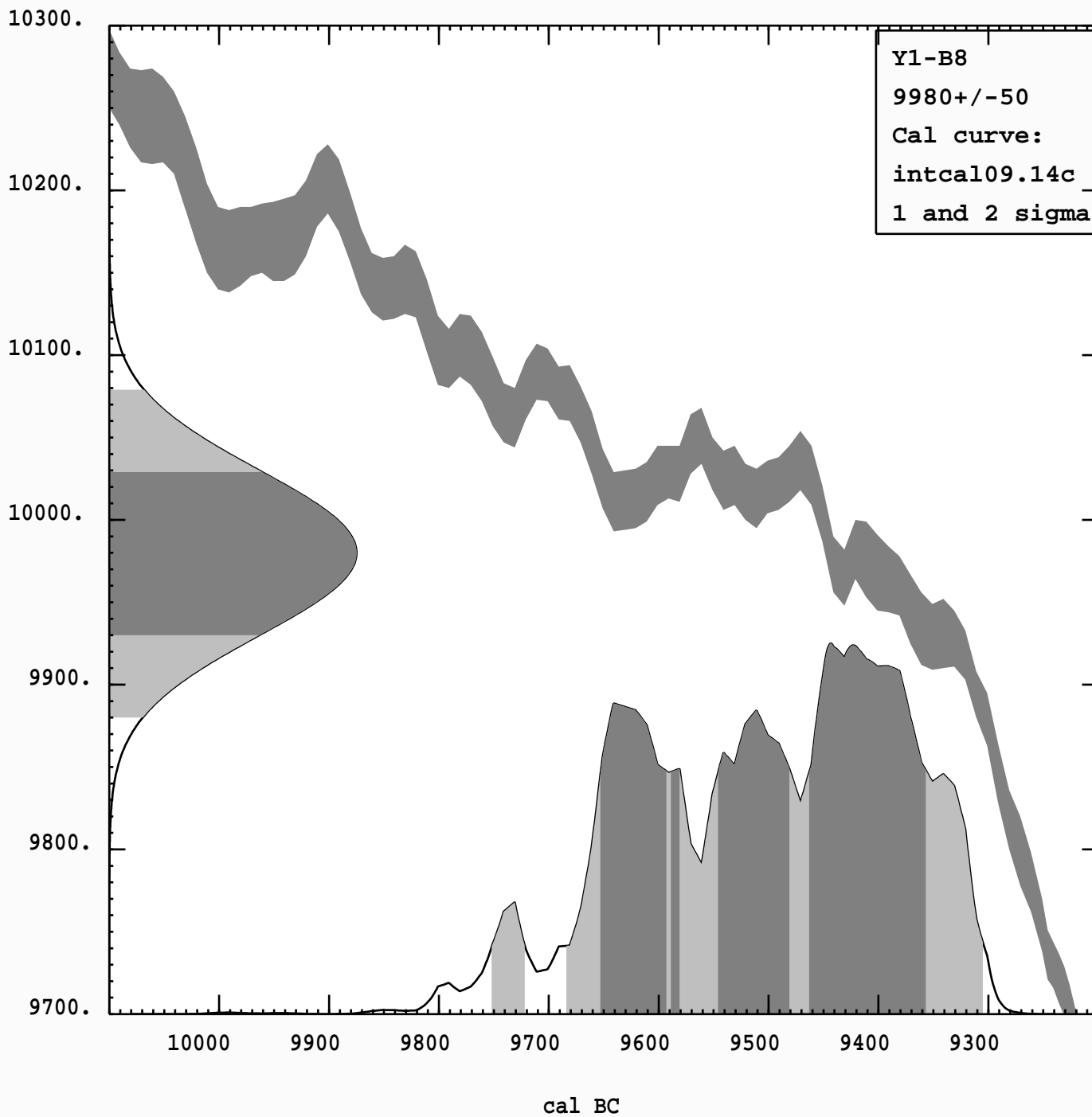
Radiocarbon Age vs. Calibrated Age



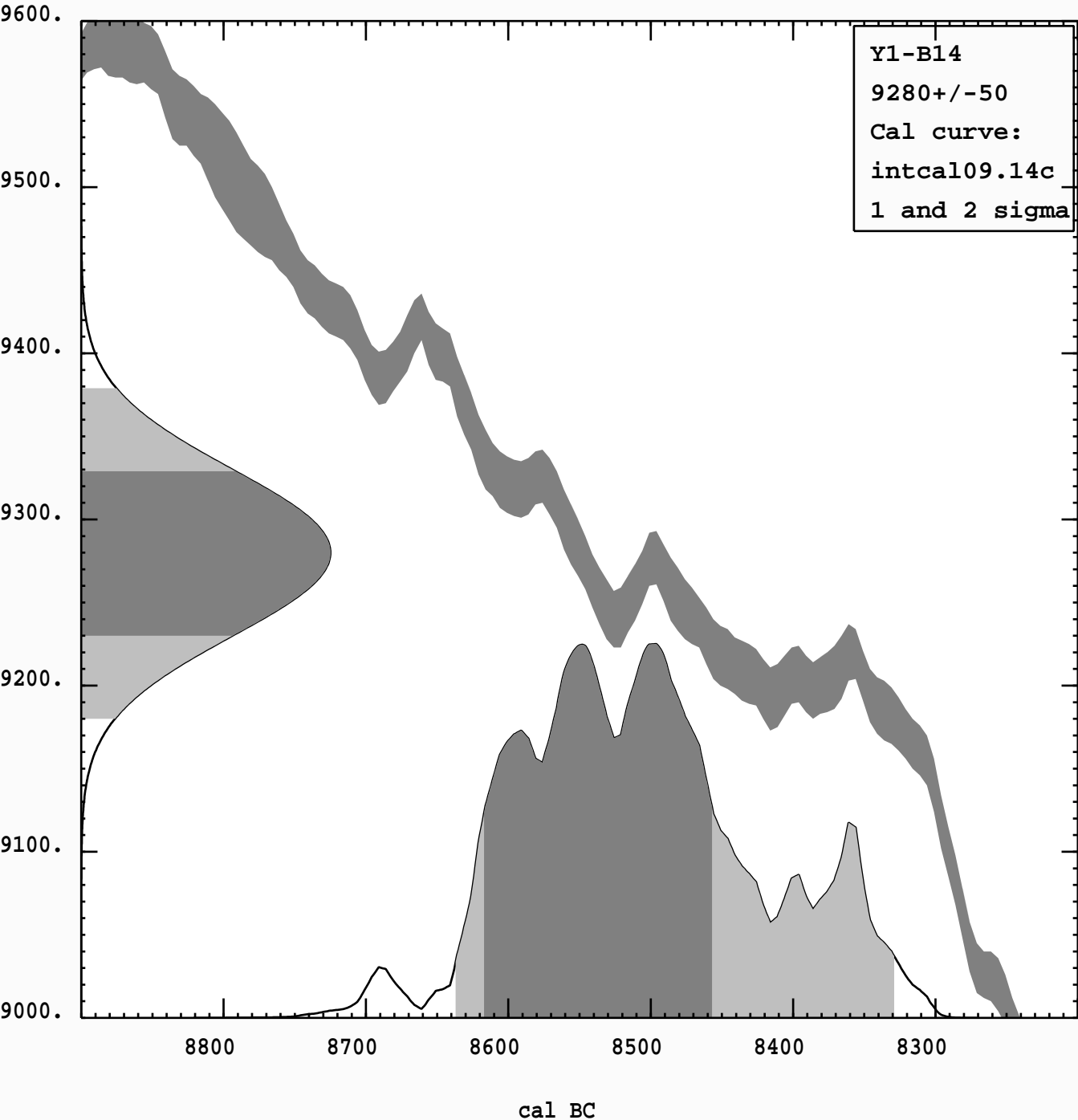
Radiocarbon Age vs. Calibrated Age



Radiocarbon Age vs. Calibrated Age

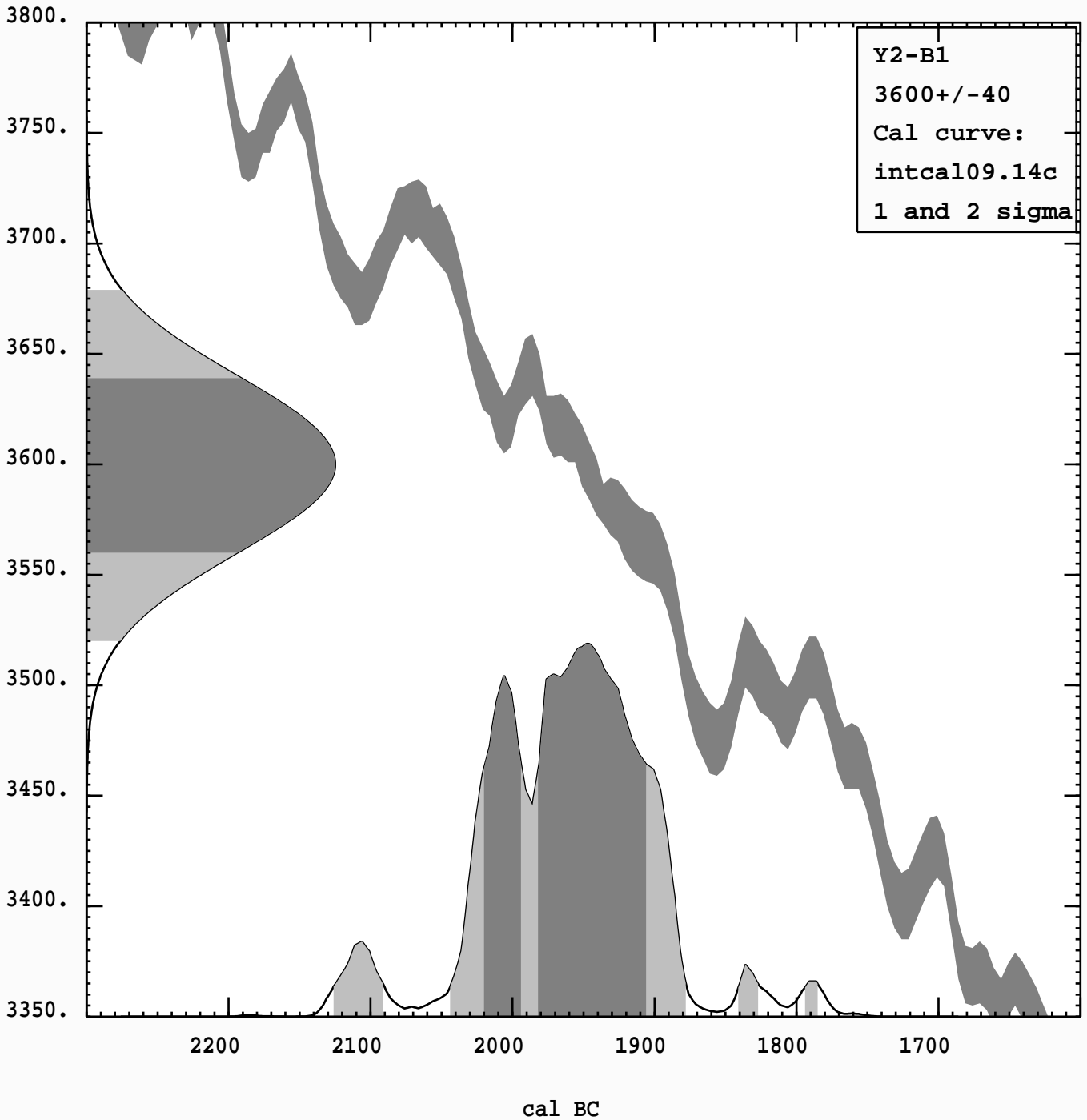


Radiocarbon Age vs. Calibrated Age

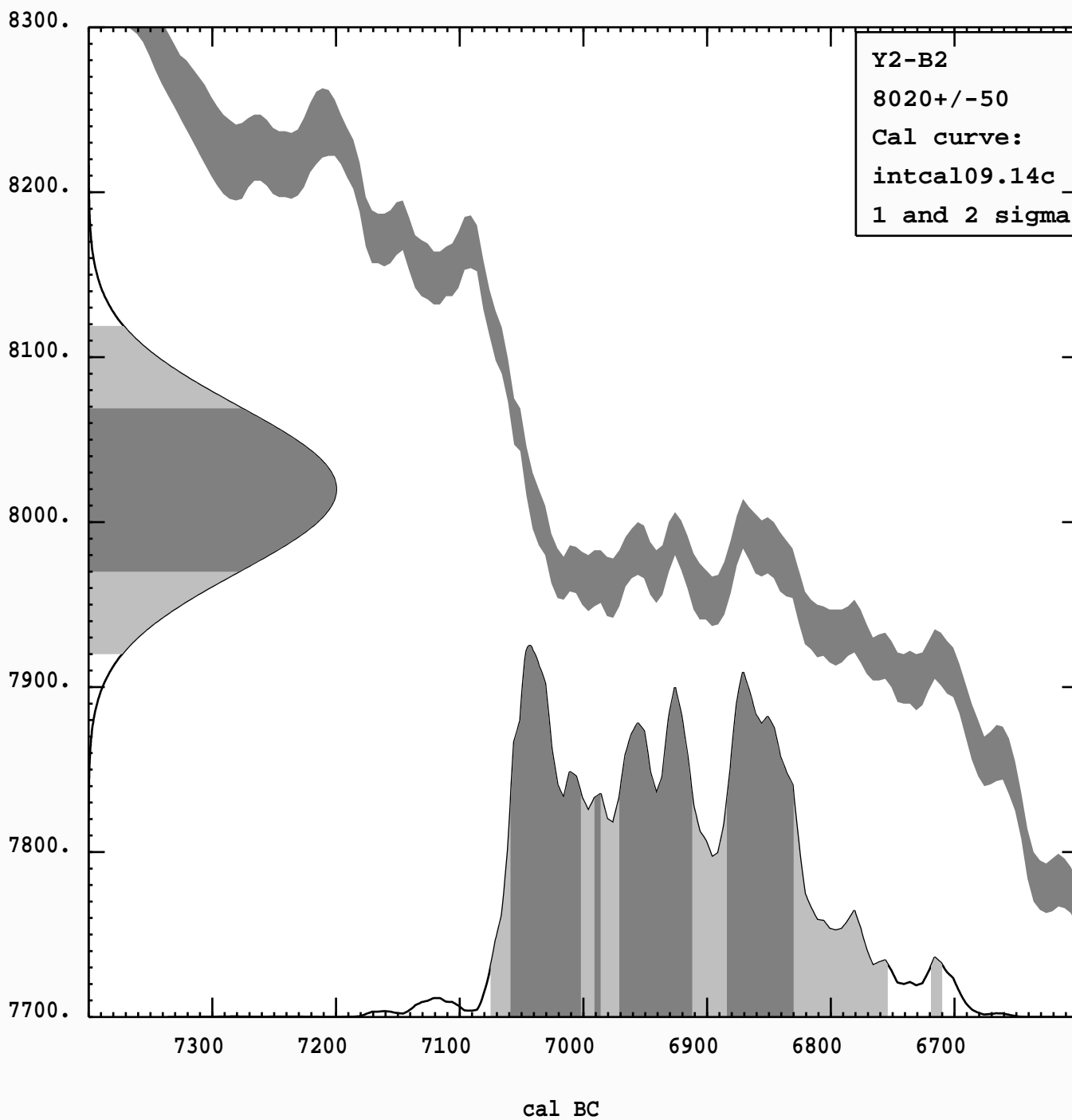


EK C.2. Yoncalık-2 Hendeğinin C14 Yaş Sonuçlarının Kalibrasyon Eğrileri

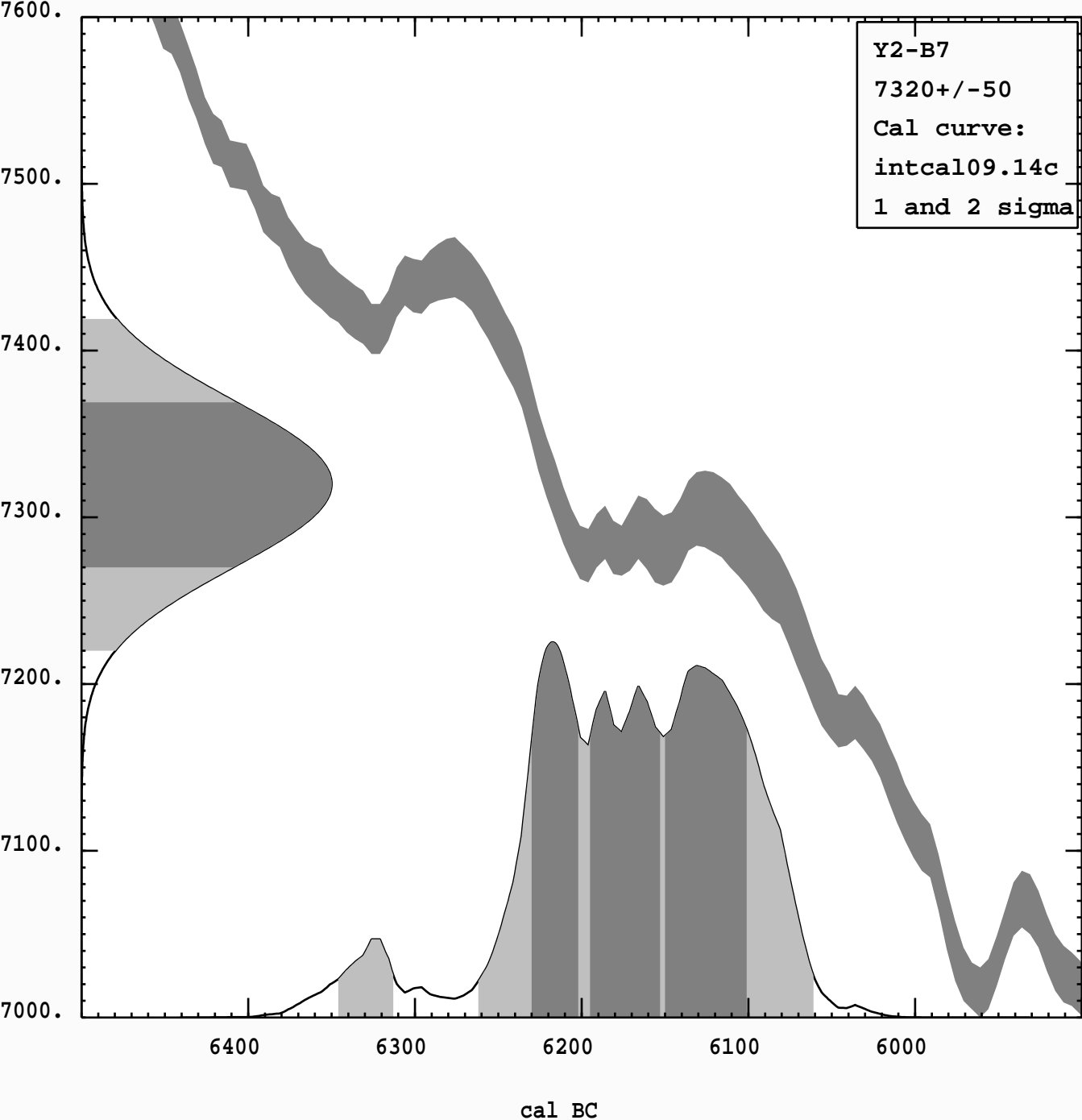
Radiocarbon Age vs. Calibrated Age



Radiocarbon Age vs. Calibrated Age



Radiocarbon Age vs. Calibrated Age



ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad:Taylan SANÇAR

Doğum Yeri ve Tarihi: Mazgirt,1979

Adres: Moğultay Mh. Op. Dr. M.Kahraman Cd. Salan Apt: Daire:7

Merkez 62000TUNCELİ

E-Posta: tsancar@gmail.com

Lisans: Kocaeli Üniversitesi

Yüksek Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

Yayın ve Patent Listesi:

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

- **Sançar, T.**, Akyüz, H.S., **2012** Kuzey Anadolu Fay Zonu, Ilıpınar Segmenti'nin (Karlıova, Bingöl) Paleosismolojisi, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, **Baskıda**
- **Sançar, T.**, Zabcı, C., Akyüz, H.S., Karabacak, V., Altunel,E., Kargapazarı Segmenti'nin (KAFZ Doğusu, Bingöl) Geç Holosen aktivitesi ve çevre faylar ile etkileşimi. ATAG-12 Çalıştay, MTA Akçakoca Eğitim Tesisleri DÜZCE, Kasım 2008.
- **Sançar, T;** Zabcı, C; Akyüz, H.S; Karabacak, V; Altunel, E. Geometry and Segmentation of the North Anatolian Fault Zone between Yedisu and Karlıova Triple Junction; A New Seismic Gap in Eastern Turkey ?. EGU General Assembly 2008 Vienna, Austria.
- **Sançar, T;** Zabcı, C; Akyüz, H.S; Karabacak, V; Altunel, E; Late Holocene Activity of Kargapazari Segment, Eastern Part of the North Anatolian Fault Zone, Bingöl, Turkey. EGU General Assembly 2009 Vienna, Austria.
- **Sançar, T;** Zabcı, C; Akyüz, H.S; Late Quaternary activity of the the Varto Fault Zone (VFZ) and the East Anatolian Fault Zone (EAFZ) at the Karlıova Triple Junction, NE Turkey EGU General Assembly 2010 Vienna, Austria
- **Sançar, T;** Zabcı, C; Akyüz, H.S., Morphometric Analysis of Secondary Faults Around Karlıova Triple Junction, EGU General Assembly 2011 Vienna, Austria.

- **Sançar, T;** Zabcı, C; Akyüz, H.S., Quaternary Activity of Varto Fault Zone (Eastern Anatolia) and New Ideas About 1966 Varto Earthquake, EGU General Assembly 2011 Vienna, Austria

- **Sançar, T;** Akyüz, H.S.; Zabcı, C, Quaternary Faulting Mechanisms around the Karlioiva Triple Junction EGU General Assembly 2011 Vienna, Austria.
- **Sançar, T;** Schreurs, G; Zabcı, C; Akyüz, H.S; Contribution to the mechanisms of compressing Prandtl Cell Model: The Karlioiva Triple Junction as a case study from Eastern Turkey EGU General Assembly 2013 Vienna, Austria
- **Sançar, T;** Zabcı, C; Akyüz, H.S., Quaternary Evolution of Karlioiva Triple Junction EGU General Assembly 2013 Vienna, Austria.