

T. C.
CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KOYULHİSAR (SİVAS) HEYELANININ JEOLJİK
ÖZELLİKLERİ VE GPS, PS-InSAR YÖNTEMLERİ İLE
İZLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet DEMİREL
(201292081007)

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Orhan TATAR

SİVAS
KASIM 2015

MEHMET DEMİREL'in hazırladığı ve “**Koyulhisar (Sivas) Heyelanının Jeolojik Özellikleri ve GPS, PS-InSAR Yöntemleri İle İzlenmesi**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Orhan TATAR**
Cumhuriyet Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Kemal Özgür HASTAOĞLU**
Cumhuriyet Üniversitesi

Doç. Dr. Uğur TEMİZ
Bozok Üniversitesi

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mustafa DEĞİRMENÇİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) Komisyonu tarafından M-524 Nolu proje ve TÜBİTAK 111Y111 Nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

Bütün hakları saklıdır.
Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© Mehmet DEMİREL, 2015

ETİK

Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü, Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

27.11.2015

Mehmet DEMİREL

ÖZET

KOYULHİSAR (SİVAS) HEYELANININ JEOLJİK ÖZELLİKLERİ VE GPS, PS-InSAR YÖNTEMLERİ İLE İZLENMESİ

Mehmet DEMİREL

Yüksek Lisans Tezi

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Orhan TATAR

2015, 109+xiii sayfa

Heyelanların olumsuz etkilerini azaltmak için ya da ortadan kaldırmak için, heyelanların izlenmesi oldukça önemlidir. Çalışma bölgesi olarak seçilen, Sivas ili Koyulhisar ilçe merkezinde 1998 ve 2000 yıllarında iki büyük heyelan meydana gelmiştir. Bölgede halen devam eden bölgesel yüzey deformasyonları olduğu bilinmektedir. Bu yüzden çalışma kapsamında bölgede yüzey deformasyonlarını farklı yöntemlerle belirleyip, bu deformasyonların nedenleri belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma alanında deformasyonların geliştiği jeolojik birimler detaylı olarak incelenmiş ve yapısal jeolojik özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca bölgeye tesis edilen meteoroloji istasyonu ile bölgedeki sıcaklık, yağış ve toprak nemliliği ölçülmüştür. Hidrojeolojik özelliklerin belirlenmesi için yeraltı su seviyeleri ölçülmüş ve yeraltı sularını besleyen kaynaklar belirlenmiştir. Yapılan bu çalışmalarla birlikte GPS ölçümleri için heyelan sahasına toplamda 51 adet GPS noktası kullanılmıştır. Bu noktalarda 10 periyot 3 gün tekrarlı Hızlı Statik ölçme yöntemine göre birer saatlik ölçümler gerçekleştirilmiş ve GPS noktalarına ait üç boyutlu (kuzey, doğu ve yükseklik) yıllık hız değerleri elde edilmiştir. Ayrıca yine heyelan sahasını kapsayacak şekilde ENVISAT radar uydusuna ait SAR görüntüleri Avrupa Uzay Ajansından temin edilmiş ve StaMPS yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Böylelikle heyelan sahasına ait uydu bakış doğrultusundaki deformasyonlar PS-InSAR yöntemi ile elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: GPS, PS-InSAR, Heyelan, Deformasyon

ABSTRACT

MONITORING KOYULHISAR (SIVAS) LANDSLIDE BY GPS AND PSINSAR METHODS AND ITS GEOLOGICAL FEATURES

Mehmet DEMİREL

**Master of Science Thesis,
Department of Geological Engineering
Supervisor: Prof. Dr. Orhan TATAR
2015, 109+xiii pages**

To reduce the negative effects of the landslides, monitoring landslides holds a great importance. Two major landslides occurred in Koyulhisar, study area which is a town of Sivas city in Turkey, in 1998 and 2000 years. It is known that there are still surface deformations existing in the region. For this reason, cause of these surface deformations are determined with different approaches. Geological units of the study area were examined thoroughly in order to define their structural geological features. Furthermore, a meteorological station has been placed in the study area to obtain heat, rain and soil humidity parameters. To define the hydrological features of the area, underground water levels were measured and sources feeding these underground waters were located. In addition, 51 GPS points were used throughout the process. At these GPS points, 1 hour measurements of rapid-static method were 10 periods over 3 days each time and three-dimensional annual velocity values (north, east and up) were obtained. Additionally SAR images of ENVISAT radar satellite were obtained from European Space Agency and were interpreted by StaMPS software. Thus, deformations in line of sight with the satellite at the study area were obtained by PS-InSAR method.

Keywords: GPS, PS-InSAR, Landslides, Deformations

KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Bilgi ve deneyimlerinden sürekli yararlandığım, tezin her aşamasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Orhan TATAR' a teşekkür ederim.

Bu tez çalışması süresince bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren Cumhuriyet Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Öğretim üyesi Doç. Dr. Fikret KOÇBULUT'a, Geomatik Mühendisliği Bölümü'nden Doç. Dr. Kemal Özgür HASTAOĞLU, Yrd. Doç. Dr. Fatih POYRAZ'a, Doç. Dr. Tarık TÜRK'e, Arş.Gör. Anıl Can BİRDAL'a ve

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Prof. Dr. Süha ÖZDEN'e;

Ve her aşamada desteklerini esirgemeyen aileme ve özellikle Arş.Gör Şeyma CEYLAN' a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç ve Kapsam.....	1
1.2. Çalışma Alanı ve Ulaşım.....	1
1.3. Çalışma Alanının Morfolojik Özellikleri.....	2
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	5
3. JEOLJİK İNCELEMELER	14
3.1. Bölgesel Jeoloji.....	15
3.2. Çalışma Alanının Litolojik Özellikleri.....	17
3.2.1. Aşağıkale Formasyonu.....	17
3.2.2. İğdir Formasyonu	17
3.2.3. Şıhlar Formasyonu	18
3.2.4. Düdenyaylası Formasyonu	19
3.2.5. Dumanlıca Formasyonu	19
3.2.6. Koyulhisar Formasyonu	20
3.2.7. Alüvyon.....	21
3.3. Bölgesel Tektonizma	21
3.4. Yapısal Jeoloji	23
3.4.1. Eklem Sistemleri	23
3.4.2. Faylar	25
3.4.3. Çalışma Sahasındaki Fay Topluluklarının Kinematik Analizi.....	27
3.4.3.1. Fay Topluluklarının Kinematik Analiz Yöntemi.....	27
3.4.3.2. Fay Topluluklarının Kinematik Analizlerinin Sonuçları.....	30
3.4.4. Çalışma alanının Depremselliği.....	49
3.4.5. Heyelanlar.....	53
3.4.6. Çalışma Alanının Hidrojeolojik Özellikleri.....	60
3.4.6.1. Yeraltı su seviyelerinin belirlenmesi.....	62
3.4.6.2. Meteorolojik ölçümler.....	67
4. JEODEZİK İNCELEMELER	71
4.1. Çalışma Alanının GPS Yöntemi İle İzlenmesi.....	71
4.1.1. GPS Sistemleri.....	71
4.1.1.1. GPS İle Konum Belirleme Yöntemleri.....	73
Mutlak Konum Belirleme.....	73
Bağıl Konum Belirleme.....	74
Statik Ölçü Yöntemi.....	74
Hızlı Statik Ölçü Yöntemi.....	75
4.1.2. GPS Ön Arazi Çalışması ve Nokta Tesisi.....	75
4.1.3. GPS Kampanyaları.....	79
4.1.4. GPS Verilerinin Hazırlanması.....	81
4.1.5. GPS Verilerinin Değerlendirilmesi.....	82

4.1.5.1. IKYK ve TKYK Noktalarına ait GPS Verilerinin Değerlendirilmesi.....	82
4.1.5.2. Heyelan Sahası İçerisinde Bulunan 51 Noktaya ait GPS Hızlı Statik Verilerinin Değerlendirilmesi.....	84
4.1.6. GPS Yöntemi İle Deformasyonların Belirlenmesi.....	85
4.2. SAR (Yapay Açıklık Radarı) Verilerinin Değerlendirilmesi.....	95
4.2.1. PS-InSAR Yöntemi (Permanent Scatterers in SAR Interferometry)..	95
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	102
KAYNAKLAR.....	105
EKLER.....	109
EK-1 Jeoloji Haritası ve Kesit.....	109
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 Çalışma Sahasının konumunu gösterir yer bulduru haritası.....	2
Şekil 1.2 Çalışma bölgesinin Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) üzerinde gösterimi.....	3
Şekil 1.3 Çalışma alanı eğim haritası.....	4
Şekil 3.1 Jeolojik çalışmalara ilişkin saha fotoğrafları.....	15
Şekil 3.2 Çalışma alanına ait stratigrafik kesit (Toprak 1988’den düzenlenmiştir)	16
Şekil 3.3 Yukarıkale Köyü civarında yüzeyleyen Aşağıkale Formasyonuna ait görünüm.....	17
Şekil 3.4 Eğriçimen yaylası civarı yüzeyleyen İğdir Formasyonundan görünüm.	18
Şekil 3.5 Şıhlar Mahallesi kuzeyinde yüzeyleyen Şıhlar Formasyonuna ait genel görünüm.....	19
Şekil 3.6 a) Çamlıyaka mahallesi ve b) Saytepe civarında yüzeyleyen Düdenyaylası Formasyonundan görünüm.....	19
Şekil 3.7 Dumanlıca Tepesi üzerinde yüzeyleyen Dumanlıca Formasyonundan görünüm.....	20
Şekil 3.8 Koyulhisar Formasyonuna ait genel görünüm.....	20
Şekil 3.9 Koyulhisar- Mesudiye karayolunda yol yarmasında yüzeyleyen Koyulhisar Formasyonuna ait görünüm.....	21
Şekil 3.10 Kelkit Nehri boyunca gözlenen alüvyonlara ait genel görünüm.....	21
Şekil 3.11 Neotektonik ünitelerin genelleştirilmiş haritası (Erturaç K. ve Tüysüz O., 2012’den düzenlenmiştir.).....	22
Şekil 3.12 Heyelan bölgesi yakın çevresinde değişik birimler içinde yapılan eklem ölçümlerinin gül diyagramı şeklinde harita üzerinde gösterimi..	24
Şekil 3.13 Koyulhisar ilçe merkezi ve yakın çevresinde bulunan fayların uydu görüntüsü üzerinde gösterimi.....	26
Şekil 3.14 Metin içerisinde kullanılan simgelerin bir normal fay üzerindeki gösterimleri (I: Fay düzlemi, H: Tavan blok, si: Tavan bloğa göre taban bloğun hareket yönüne paralel atım vektörü, aynı zamanda ölçülmüş kayma çizgisi, ni: Fay düzlemine normal vektör; σ_1 : Fay düzlemine uygulanan (I) gerilme, σ_n : σ_1 ’in fay düzlemine dik (normal) bileşeni, τ_i : Çözümlemiş makaslama gerilmesi, σ_1 ’nin fay düzlemi üzerindeki ortogonal izdüşümü, θ : Fayın doğrultusuyla (h) atım vektörü (s) arasındaki yatım (pitch); u: (si, ni) düzlemine dik vektördür. (Carey ve Mercier, 1987)	29
Şekil 3.15 İstasyon 1’de ölçülen fay düzlemlerine ait arazi fotoğrafı (a) ve Carey yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda elde edilen sonuçların Wulff ağı üzerinde (alt yarım küre) gösterimi (b).....	32
Şekil 3.16 İstasyon 2’de ölçülen fay düzlemlerine ait fotoğraf (a) ve Carey yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda elde edilen sonuçların Wulff ağı üzerinde (alt yarım küre) gösterimi (b).....	33
Şekil 3.17 İstasyon 3’de ölçülen fay düzlemlerine ait arazi fotoğrafı (a) ve Carey yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda elde edilen sonuçların Wulff ağı üzerinde (alt yarım küre) gösterimi (b).....	34

Şekil 3.18	İstasyon 4’de ölçülen fay düzlemlerine ait arazi fotoğrafı (a) ve Carey yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda elde edilen sonuçların Wulff ağı üzerinde (alt yarı küre) gösterimi (b).....	35
Şekil 3.19	İstasyon 5’de ölçülen fay düzlemlerine ait arazi fotoğrafı (a) ve Carey yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda elde edilen sonuçların Wulff ağı üzerinde (alt yarı küre) gösterimi (b).....	36
Şekil 3.20	İstasyon 6’de ölçülen fay düzlemlerine ait arazi fotoğrafı (a) ve Carey yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda elde edilen sonuçların Wulff ağı üzerinde (alt yarı küre) gösterimi (b).....	37
Şekil 3.21	İstasyon 7’de ölçülen fay düzlemlerine ait arazi fotoğrafı (a) ve Carey yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda elde edilen sonuçların Wulff ağı üzerinde (alt yarı küre) gösterimi (b).....	38
Şekil 3.22	İstasyon 8’de ölçülen fay düzlemlerine ait arazi fotoğrafı (a) ve Carey yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda elde edilen sonuçların Wulff ağı üzerinde (alt yarı küre) gösterimi (b).....	39
Şekil 3.23	İstasyon 9’de ölçülen fay düzlemlerine ait arazi fotoğrafı (a) ve Carey yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda elde edilen sonuçların Wulff ağı üzerinde (alt yarı küre) gösterimi (b).....	40
Şekil 3.24	İstasyon 10’de ölçülen fay düzlemlerine ait arazi fotoğrafı (a) ve Carey yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda elde edilen sonuçların Wulff ağı üzerinde (alt yarı küre) gösterimi (b).....	41
Şekil 3.25	İstasyon 11’de ölçülen fay düzlemlerine ait arazi fotoğrafı (a) ve Carey yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda elde edilen sonuçların Wulff ağı üzerinde (alt yarı küre) gösterimi (b).....	42
Şekil 3.26	İstasyon 12’de ölçülen fay düzlemlerine ait arazi fotoğrafı (a) ve Carey yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda elde edilen sonuçların Wulff ağı üzerinde (alt yarı küre) gösterimi (b).....	43
Şekil 3.27	İstasyon 13’de ölçülen fay düzlemlerine ait arazi fotoğrafı (a) ve Carey yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda elde edilen sonuçların Wulff ağı üzerinde (alt yarı küre) gösterimi (b).....	44
Şekil 3.28	İstasyon 14’de ölçülen fay düzlemlerine ait arazi fotoğrafı (a) ve Carey yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda elde edilen sonuçların Wulff ağı üzerinde (alt yarı küre) gösterimi (b).....	45
Şekil 3.29	İstasyon 15’de ölçülen fay düzlemlerine ait arazi fotoğrafı (a) ve Carey yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda elde edilen sonuçların Wulff ağı üzerinde (alt yarı küre) gösterimi (b).....	46
Şekil 3.30	İstasyon 16’de ölçülen fay düzlemlerine ait arazi fotoğrafı (a) ve Carey yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda elde edilen sonuçların Wulff ağı üzerinde (alt yarı küre) gösterimi (b).....	47
Şekil 3.31	Ölçüm yapılan istasyonların jeoloji haritası üzerinde dağılımı ve kinematik analiz sonuçları.....	48
Şekil 3.32	Çalışma alanı çevresinde 1900-2014 yılları arasında meydana gelen 3 ve üzeri büyüklükteki depremler. Deprem verileri için Çizelge 3’e bakınız (Kandilli Rasathanesi ve AFAD verilerinden üretilmiştir).	49
Şekil 3.33	Heyelanların hareket ve malzeme türüne göre sınıflandırılması (Varnes 1978’den düzenlenerek alınmıştır).....	53
Şekil 3.34	Basitleştirilmiş olarak heyelanın bölümlerinin görünümü (Url-1).....	54

Şekil 3.35	Koyulhisar heyelanı genel görünümü.....	55
Şekil 3.36	Heyelanın taç kısmına ait görünüm.....	55
Şekil 3.37	Heyelan içerisinde meydana gelen a ve c gerilme çatlakları b kayma yüzeyinden görünüm (Nisan 2014).....	56
Şekil 3.38	Heyelan içerisinde meydana gelen basamaklar	57
Şekil 3.39	1979 ve 2013 yıllarına ait sayısal yükseklik verilerinin karşılaştırılması sonucunda elde edilen malzeme hareketi.....	58
Şekil 3.40	Koyulhisar ilçe merkezi karayolu kenarında gelişen heyelan.....	59
Şekil 3.41	Bölgedeki diğer heyelanlar ve kaya düşmeleri.....	59
Şekil 3.42	Çalışma alanı içinde gözlenen göllere ilişkin fotoğraflar	60
Şekil 3.43	Heyelan içerisindeki Eosen yaşlı Koyulhisar Formasyonuna ait killi ve marnlı seviyelerin görünümü	61
Şekil 3.44	Heyelanın kuzeyinde gözlemlenen göller	61
Şekil 3.45	Yeraltı su seviyesi ölçümüne ilişkin fotoğraflar	62
Şekil 3.46	Yer altı su seviyeleri ölçülen kuyuların ve verilerin enterpole edilmesi sonucu oluşturulan yeraltı suyu akış yönünün uydu görüntüsü üzerinde gösterimi	63
Şekil 3.47	ISK05 kuyusuna ait yeraltı suyu değişimi	64
Şekil 3.48	ISK09 kuyusuna ait yeraltı suyu değişimi	64
Şekil 3.49	ISK13 kuyusuna ait yeraltı suyu değişimi	65
Şekil 3.50	ISK02 kuyusuna ait yeraltı suyu değişimi	65
Şekil 3.51	ISK11 kuyusuna ait yeraltı suyu değişimi	66
Şekil 3.52	ISK10 kuyusuna ait yeraltı suyu değişimi	66
Şekil 3.53	Çalışma sahasına tesis edilen meteoroloji istasyonu	67
Şekil 3.54	Meteoroloji istasyonu 2013-2015 yılları arası günlük verileri	68
Şekil 3.55	Meteoroloji istasyonundan 2013-2015 yılları arasındaki GPS ölçüm periyodunda toplanan sıcaklık verileri	69
Şekil 3.56	Meteoroloji istasyonundan 2013-2015 yılları arasındaki GPS ölçüm periyodunda toplanan yağış verileri	69
Şekil 3.57	Meteoroloji istasyonundan 2013-2015 yılları arasındaki GPS ölçüm periyodunda toplanan nem verileri	70
Şekil 4.1	Yörünge düzleminde GPS uydu takımı	71
Şekil 4.2	GPS bölümleri	72
Şekil 4.3	Uydularla konum belirleme şematik gösterimi	73
Şekil 4.4	Emniyet Müdürlüğü Binası ve civarındaki deformasyonlar (Hastaoğlu ve diğ., 2011).....	76
Şekil 4.5	Heyelan bölgesi ve çevresine tesis edilen 60 adet GPS noktasının konumunu gösterir Google Earth uydu görüntüsü	77
Şekil 4.6	Emniyet Müdürlüğü binası civarındaki 50 m aralıklarla tesis edilen GPS noktaları	77
Şekil 4.7	Emniyet Müdürlüğü binası civarındaki noktalar dışında kalan yaklaşık 100-200 m aralıklarla tesis edilen diğer noktaların dağılımları	78
Şekil 4.8	Bazı GPS noktalarına ilişkin tesis fotoğrafları	79
Şekil 4.9	GPS ölçümlerine ilişkin fotoğraflar	81
Şekil 4.10	Arazi ölçümleri sonucu elde edilen GPS noktasına ait Rinex dosyası görünümü.....	82
Şekil 4.11	Kullanılan IGS noktalarının dağılımları	83
Şekil 4.12	GPS gözlem süreleri.....	85

Şekil 4.13	L.G.O. yazılımı ile değerlendirilen bazlar.....	85
Şekil 4.14	IKYK ve TKYK noktalarına ait koordinat tekrarlılıkları.....	86
Şekil 4.15	DH01-DH11 GPS noktalarına ait 10 periyotluk GPS değerlendirilmesinden elde edilen koordinat farkları.....	88
Şekil 4.16	DH12-DH21 GPS noktalarına ait 10 periyotluk GPS değerlendirilmesinden elde edilen koordinat farkları.....	89
Şekil 4.17	DH22-OH03 GPS noktalarına ait 10 periyotluk GPS değerlendirilmesinden elde edilen koordinat farkları.....	90
Şekil 4.18	OH04-OH16 GPS noktalarına ait 10 periyotluk GPS değerlendirilmesinden elde edilen koordinat farkları.....	91
Şekil 4.19	OH17-OH29 GPS noktalarına ait 10 periyotluk GPS değerlendirilmesinden elde edilen koordinat farkları.....	92
Şekil 4.20	GPS ölçümlerine ait yıllık hızların Kriging yöntemi ile oluşturulmuş enterpolasyon haritası	94
Şekil 4.21	Koyulhisar ve yakın çevresindeki yüzey deformasyonlarının şematik gösterimi	95
Şekil 4.22	SAR uydusu çalışma prensibi ve örnek uydu bakış açısı.....	96
Şekil 4.23	PS noktası oluşumunun şematik gösterimi.....	96
Şekil 4.24	Değerlendirme işleminin şematik gösterimi.....	96
Şekil 4.25	DORIS programı kullanılarak elde edilen interferogramlar.....	97
Şekil 4.26	STAMPS programı ile değerlendirme sonucunda hatalardan (yörünge hatası, atmosfer hatası) arındırılmış PS noktalarına ait genel görüntü ..	98
Şekil 4.27	STAMPS programı ile değerlendirme sonucunda elde edilen PS noktalarına ait hız bilgileri (mm/yıl).....	98
Şekil 4.28	ENVISAT-ASAR 78 iz numaralı alçalan uyduya ait PS noktaları ve bu noktalara ait hız değerleri	99
Şekil 4.29	ENVISAT-ASAR 78 iz numaralı uyduya ait PS noktalarından elde edilen enterpole hız haritası ve boy kesit	100

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 Çalışma alanındaki birimlere ait eklemlerin kökensel sınıflamaları (Sendir, 2001'den düzenlenmiştir).....	25
Çizelge 3.2 Çalışma alanı fay düzlemlerine ait verilerin ölçüldüğü istasyonların noktasal yerleri.....	30
Çizelge 3.3 Bölgede 1900-2014 yılları arasında meydana gelen 3 ve üzeri büyüklükteki depremler (Kandilli Rasathanesi ve AFAD Deprem Kataloğu).....	50
Çizelge 4.1 Noktalara ait yıllık hız değerleri.....	86
Çizelge 4.2 GPS noktalarının yıllık hız miktarı.....	93

1. GİRİŞ

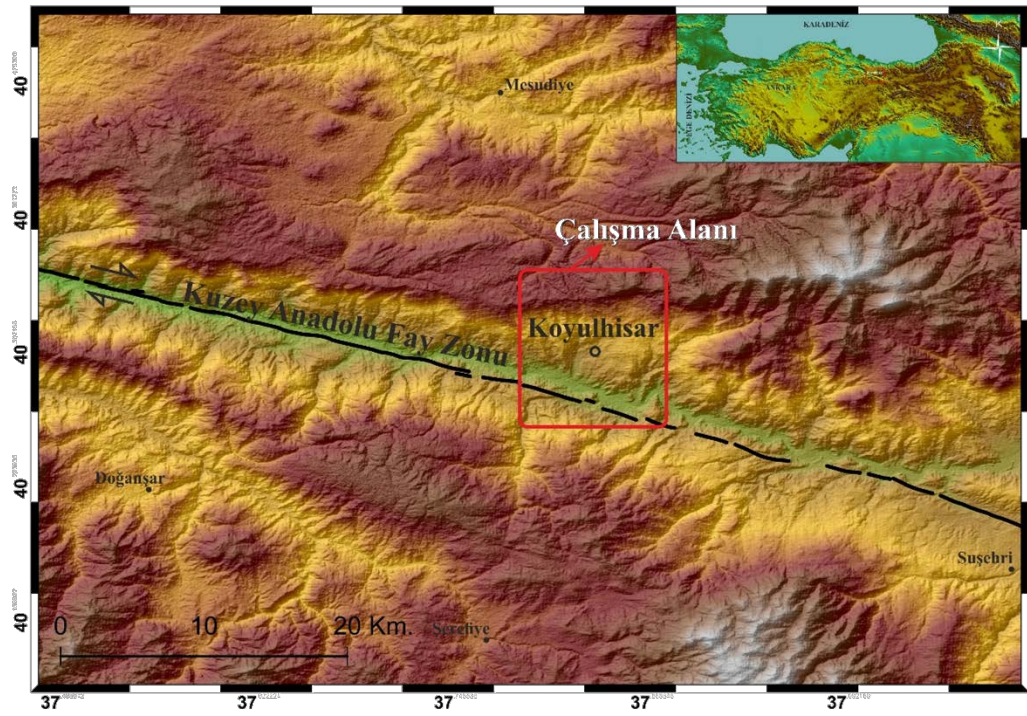
Ülkemizde deprem, heyelan, sel gibi doğa olayları oldukça sık tekrarlanmakta olup çoğu kez afete dönüşerek can ve mal kayıplarına neden olmaktadır. Yaşanan bu kayıpları en aza indirmek veya ortadan kaldırmak için doğal afetleri oluşturan etkenlerin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Teknolojinin gelişimi ile birlikte artan araştırmalar, doğal afetlerin izlenmesi ve önlem alınmasını kolay hale getirmiştir. Bu yenilikçi araştırmalar sonucu geliştirilen GPS (Küresel Konumlama Sistemi) ve SAR (Yapay Açıklık Radarı) sistemleri gibi farklı yöntemler kullanılmaya başlanmıştır. Ülkemizde de yaygınlaşmaya başlayan bu yöntemlerin kullanılması ve doğal afetleri izleyebilmek açısından bu tür öncül çalışmalar yapılması gerektiği düşünülmektedir.

1.1. Amaç ve Kapsam

Bu çalışma Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında, yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır. Çalışmanın amacı, Koyulhisar (Sivas) ve çevresinin genel jeolojik özellikleri ve bölgede meydana gelen yüzey deformasyonlarının farklı yöntemlerle belirlenmesi ve bu deformasyonların nedenlerinin ortaya konulmasıdır. Ayrıca bölgede, 1998 ve 2000 yıllarında meydana gelen heyelanların uzaktan algılama yöntemleri kullanılarak kayan malzeme miktarının hesaplanması amaçlanmıştır.

1.2. Çalışma Alanı ve Ulaşım

Çalışma alanı Sivas kent merkezine 180 km uzaklıkta, Koyulhisar ilçesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Batıda Reşadiye, kuzeyde Mesudiye, doğuda Suşehri, güneyde ise Zara ve Hafik ilçeleri ile çevrilidir. Çalışma alanı 1/25000 ölçekli H39-b4 Giresun paftasının sınırları içerisinde yaklaşık 72 km²'lik bir alanı kapsamaktadır. Çalışma alanının konumunu gösterir harita Şekil 1.1'de sunulmuştur.

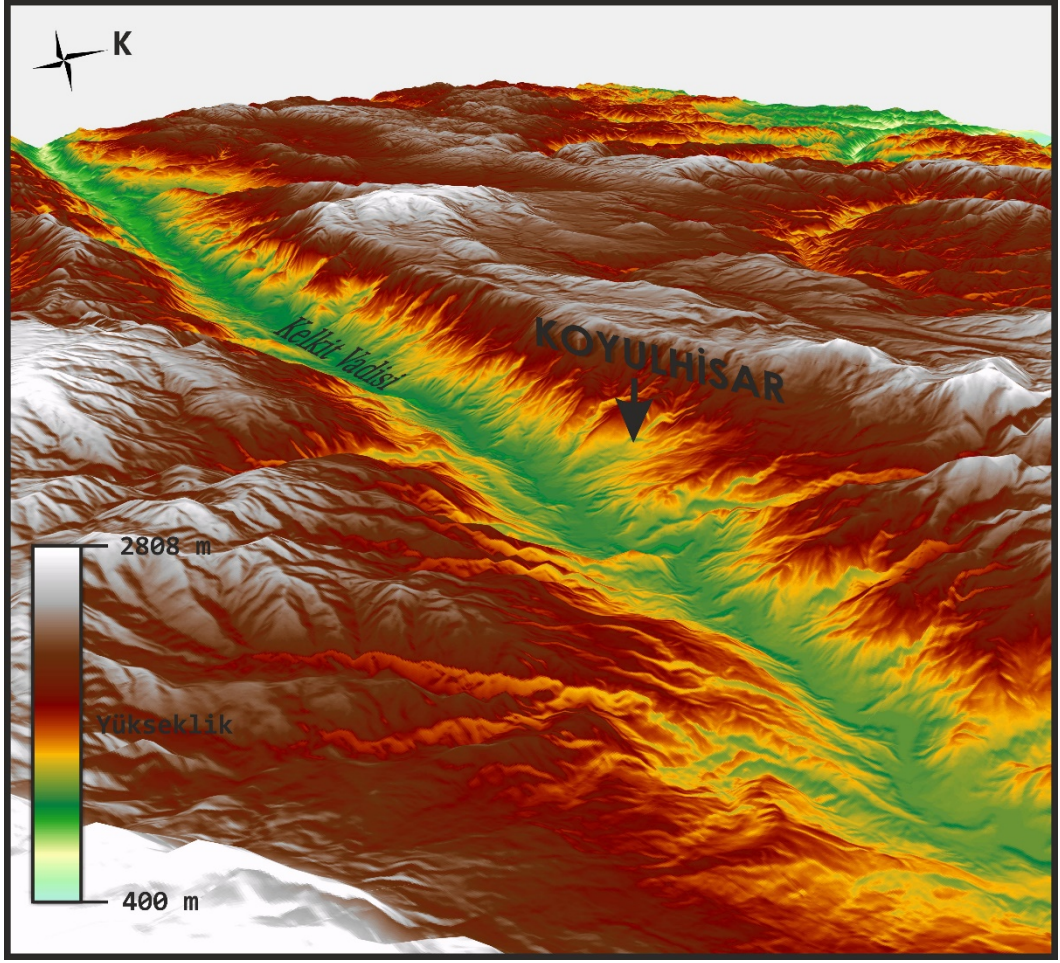


Şekil 1.1 Çalışma Sahasının konumunu gösterir yer bulduru haritası.

1.3. Çalışma Alanının Morfolojik Özellikleri

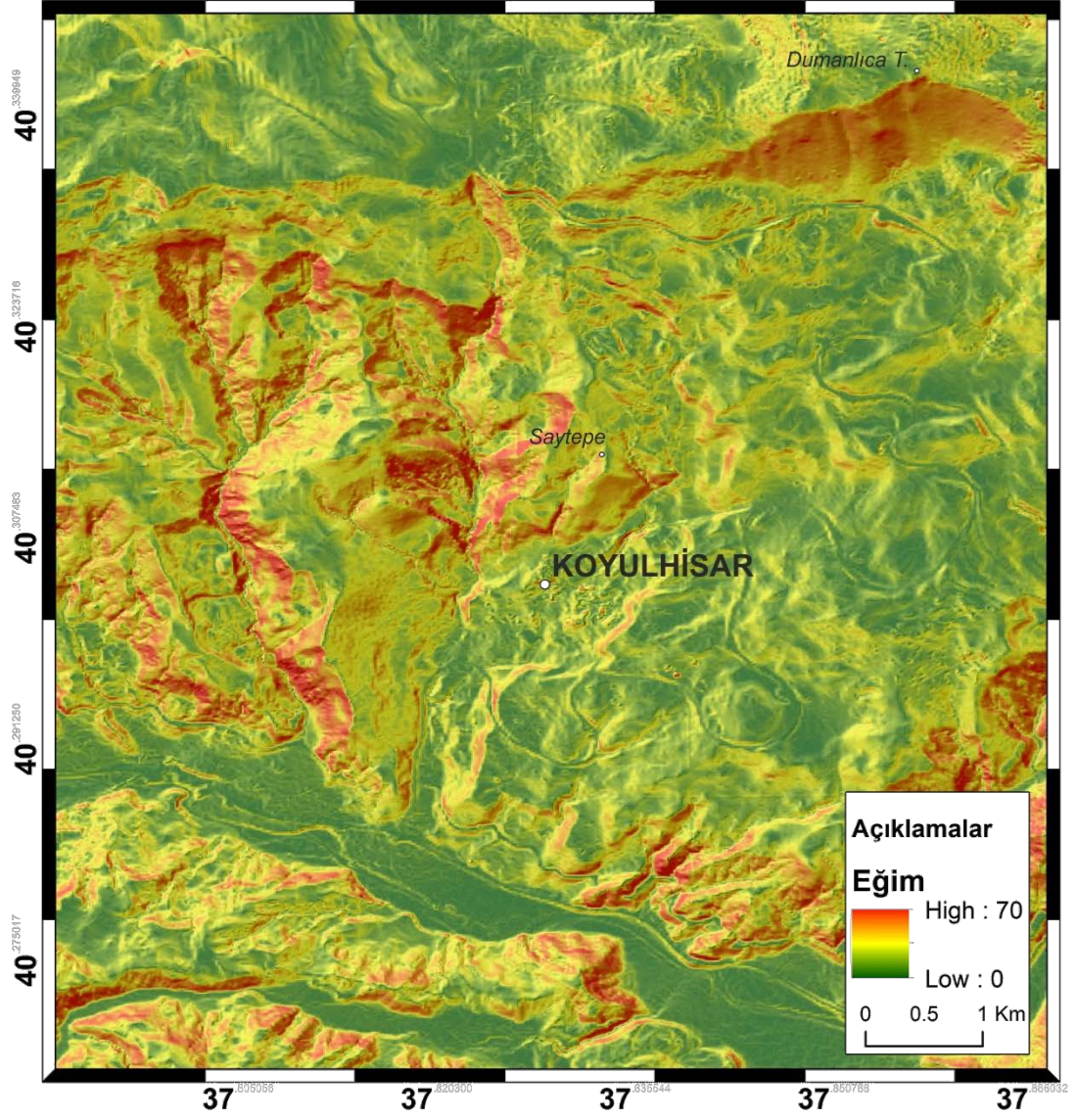
Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu gibi büyük doğrultu atımlı fay zonları aynı zamanda çok sarp ve belirgin yüzey şekillerinin de oluşumunu sağlamaktadır. Faylanmanın doğrultusuna paralel uzanan yüksek dağlar ve önlerinde yer yer yine bu fay zonlarının geometrisi sonucu oluşan ovalar bulunmaktadır. Bu tür fay zonları üzerindeki yerleşim yerlerinin çoğunlukla bu ovaların üzerinde, yamaçlarında ya da bu fay zonlarına dik yönde gelişmiş vadi içlerinde olduğu gözlenmektedir. Koyulhisar da Kuzey Anadolu Fay Zonu'na dik yönde gelişmiş derin bir vadi içerisinde bulunmaktadır.

Çalışma alanı Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) üzerinde yer almasından dolayı çalışma alanında gözlenen kayalar genellikle kırıklı, ezilmiş ve süreksizlikler içermektedir. Bölgede eski ve yeni birçok heyelan bulunmaktadır. Bu heyelanların hareket yönleri ise yamaç eğimleri yönündedir.



Şekil 1.2 Çalışma bölgesinin Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) üzerinde gösterimi.

Çalışma alanı içinde gelişen birçok heyelan bilinmektedir. Bu heyelanların oluşmasında birinci etken eğimdir. Çalışma bölgesinin hemen güneyinde Kelkit vadisi içinde gelişen Kelkit çayı civarında ortalama yükseklik 600 m, ilçe merkezinin kuzeyinde bulunan Dumanlıca tepesinde 1800 m civarındadır. Yaklaşık 5 km'lik hat boyunca yükseklik farkının 1200 m olduğu görülmektedir. Bu yükseklik farkından dolayı eğim yer yer 70°'ye çıkmaktadır. Eğimin fazla olması bölgede heyelan riskini arttırmaktadır. Çalışma alanına ait eğim haritası Şekil 1.3'de sunulmuştur.



Şekil 1.3 Çalışma alanı eğim haritası.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Geçmişten bugüne, heyelan sahalarındaki hareketin jeodezik yönden izlenmesi için çok çeşitli ölçme yöntemleri kullanılmaktadır. Noktalar arası uzunluk değişimlerinin ölçülmesi için çelik şeritler kullanılmaktaydı. Teodolit ve Nivoların birlikte kullanımı, elektronik mesafe ölçer ve GPS sayesinde noktalara ait 3 boyutlu koordinat değişimleri belirlenmektedir.

Konu ile ilgili daha önce yapılmış bazı bilimsel çalışmalar aşağıda özetlenmiştir;

Seelem ve diğ. (2001), Sina Yarımadası (Mısır) güneyinde gerçekleştirdikleri çalışmada Sham El-Shick bölgesindeki yersel deformasyonları PS-InSAR yöntemi kullanarak izlemişlerdir. Bu çalışmada yersel deformasyonlar üzerindeki atmosferik etkilerin azaltılması için özel teknikler kullanılmıştır. Bu amaçla 2003-2009 yılları arasında yirmi altı ENVISAT ASAR görüntüsü değerlendirilmiştir. Interferometrik değerlendirme sonucunda çalışma alanında çökme ve yükselmeler belirlenmiştir. Özellikle Sharm El-Shiek'deki kıyı kesimi boyunca binalarda kuzey-güney yönlü bir çökme gözlenmiştir. Bu çökme uçuş yönünde 5-7 mm/yıl olarak belirlenmiştir.

Malet ve diğ. (2002), Dercourt, (2000), Gili ve diğ. (2000), Brunner, (1997;1994), Bayrak, (2003), yaptıkları çalışmalarda heyelan hareketinin detaylı analizi, konumların üç boyutta belirlenmesini gerektirir GPS sistemi, faz ölçüleri kullanmak suretiyle mm duyarlıkta nokta konumlarını üç boyutlu olarak aynı anda belirlemektedir. Bu duyarlılığa sahip olan GPS'lerin, küçük ve yavaş yer değişimi gösteren heyelanların izlenmesi için de rahatlıkla kullanılabileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Malet ve diğ.(2002), Brunner (1997), Gili ve diğ.(2000) ve Moss ve diğ.(1999), farklı bölgelerde yaptıkları çalışmalarda GPS kullanarak heyelanları izlemek için iki yöntem kullanmışlardır: Bunlar; periyodik ölçüler ve sürekli izleme yöntemleridir. Her iki yaklaşımda da hareketi belirleyebilmek için sağlam zeminlere tesis edilmiş noktalara gereksinim vardır. Sürekli izleme yönteminde izlenecek nokta sayısı kadar GPS alıcısı gerektirmesi maliyetin artmasına neden olur.

Malet ve diğ. (2002), heyelanların sürekli GPS ölçüleri ile izlenmesinde, GPS ölçülerinden elde edilen doğruluk miktarını deneysel olarak belirlemeye çalışmışlardır. Sonuç olarak 1 saatlik ölçüler sonucunda doğruluk 2.7, 2.2, 5.0 mm

olarak belirlenmiştir. Bazlar arasındaki maksimum uzunluk 1.4 km olup yükseklik farkı ise 200 m olarak verilmiştir. GPS verilerinin değerlendirilme aşamasında GAMIT programı kullanılmış ve 24, 12, 6, 3 ve 1 saatlik veriler yardımı ile gözlem süresinin bir fonksiyonu olarak doğruluk belirlenmiştir. Bunun yanı sıra GPS ölçüleri ile yüzey hızlarındaki sezonsal ve geçici akmalarda belirlenmiştir. Yağmur suları ve yeraltı su seviyesi ile hareket miktarları arasındaki ilişki analiz edilerek gözenek su basınç değeri için hareketin ivmelenmeye başladığı anda bir eşik değeri belirlenmiştir.

Coe ve diğ. (2003), yaptıkları çalışmada, hidrolojik ve meteorolojik verilerden elde edilen sonuçlar ile GPS'den edilen hareket miktarları ilişkilendirilmeye çalışılmıştır.

Bayrak (2003), yaptığı çalışmada heyelanlardaki yeraltı suyu seviye değişimlerini dinamik değişken olarak almış ve GPS ile elde edilen konum bilgilerinden dinamik deformasyon modeli oluşturmuştur.

Colesanti ve diğ. (2003a), tarafından PS İnterferometri tekniği RADARSAT görüntülerine ilk kez uygulanmıştır. Çalışmada aynı bölgeye ait RADARSAT ve ERS kullanılarak PS-InSAR analizi yapılarak karşılaştırılmış ve RADARSAT görüntülerinin PS analizi için kullanılabilirliği araştırılmıştır. RADARSAT uygulamasında sadece 2001–2002 yıllarına ait 12 standart ışın modunda (S1) görüntü kullanılırken aynı bölgeye ait 40 adet de 1992–2000 yıllarına ait ERS görüntüsü alınmıştır. Görüntüler Tokyo şehrinde $6,5 \times 9 \text{ km}^2$ 'lik bir alanı kapsamaktadır. PS-InSAR analizi sonucunda 25-35 PS/ km^2 olmak üzere RADARSAT görüntüsünden 1300 PS noktası ve ERS görüntüsünden 2000 PS noktası elde edilmiştir. Yeterli RADARSAT görüntüsü olmamasına rağmen sonuçlar RADARSAT'ın kullanılabilirliğini göstermiştir.

Colesanti ve diğ. (2003b), yaptıkları çalışmada İtalya'nın merkezindeki Ancona heyelanının analizi için PS İnterferometri tekniğini kullanmışlardır. Bu çalışmada Haziran 1992 ile Aralık 2000 tarihleri arasında alınmış 61 adet ERS görüntüsü kullanılmıştır. Çalışma alanı $2 \times 1.75 \text{ km}^2$ 'lik alanı kapsamaktadır. Bölgeye ait ERS görüntülerinin baz uzunluklarındaki uyumsuzluklar nedeni ile Diferansiyel InSAR uygulaması için kullanışlı olmadığı saptanmıştır. Analiz için PS-InSAR yöntemi nivelman ölçümleri ile karşılaştırılmıştır. Nivelman yöntemi 1983, 1985, 1988, 1989, 1990, 1997 ve 1998 yıllarında yapılmış ve birkaç mm/yıl oranında hassasiyetle deformasyon belirlenmiştir. Ancak nivelman yöntemi PS yöntemine göre daha az yer

noktası içermektedir ve daha pahalı bir yöntemdir. Bu çalışma nivelman noktasına göre PS noktanın çok olması nedeniyle (820 PS noktası tanımlanmıştır) geniş alanların deformasyon analizinde PS-InSAR yönteminin daha avantajlı olduğunu göstermiştir. Deformasyon sonuçları -6 ile +6 mm/yıl olarak belirlenmiştir.

Prati ve diğ. (2004), PS-InSAR analizini etkileyen parametreleri incelemek için Tokyo şehrine ait JERS, ERS ve RADARSAT algılayıcılarından alınan görüntüleri incelemiştir. Farklı dalga boyları, tekrarlı geçiş süreleri, polarizasyon modları, platform konumu, durum, vektör doğruluğu gibi parametreler interferometrik analizde etkili olmaktadır. Çalışmada L ve C bandına sahip görüntülerin uyum haritasındaki etkileri araştırılmıştır. C Band-VV polarizasyonda ve 35 gün ara ile görüntü alınmasına sahip ERS algılayıcısından 30 adet, C-band-HH polarizasyonda ve 24 gün ara ile görüntü alan RADARSAT algılayıcısından 30 adet ve L band-HH polarizasyonda, 44 gün ara ile alım yapan JERS algılayıcısında 46 adet olmak üzere toplam 106 çerçeve görüntü PS-InSAR analizleri için kullanılmıştır. Uyum eşik değeri 0,8 kabul edilmiş ve 240 PS/km² JERS, 270 PS/km² ERS ve 680 PS/km² RADARSAT elde edilmiştir. Daha kısa sürede görüntü alan RADARSAT daha iyi sonuçlar vermiştir. Faz ölçümlerindeki atmosferik gecikme etkisi karşılaştırıldığında L bandın C banda göre 4 kat daha az olduğu gözlenmiştir. JERS sonuçları beklenenin altında PS yoğunluğu göstermektedir. Her üç görüntüde de 0-70 mm. arasında çökmeler ölçülmüştür.

Walter ve diğ. (2004), Almanya'nın Ruhr bölgesinde kömür madenciliğinin neden olduğu yüzey çökmelerinin belirlenmesinde PS İnterferometri tekniği kullanmışlardır. Çalışmada 1992–2000 yılları arasında alınmış 78 ERS görüntüsü işlenmiştir. Görüntülerin dik baz uzunlukları 7m. ile 1037 m. arasında değişmektedir. Öncelikle bir görüntü seçilerek diğer görüntüler bu görüntüye göre geometrik olarak düzeltilmiş ve doğruluğu 2-22 m. arasında değişen sayısal yükseklik modeli ile 77 adet interferogram üretilmiştir. Çoğu interferogramın ortalama koherens değeri düşüktür ve en yüksek değer 0.31 olarak belirlenmiştir. Bitki örtüsünün olması ve çökme oranının çok olmasından dolayı koherens değerleri düşüktür. Bölgede noktasal saçıcı olarak endüstri binaları, seralar ve insan yapımı özelliklere sahip nesnelere kullanılmıştır ve çökme oranı -100-0 mm/yıl olarak bulunmuştur.

Jung ve Min (2005), diğer bir kömür ocağı çalışmasını Kore Gaeun bölgesinde, L bandına sahip JERS görüntüleri kullanılarak yapmışlardır. Bölgede kalsit çözülüm

görüldüğü için yer değiştirme görülmektedir. Bu nedenle kömür ocakları kapatılmaktadır. Çalışmanın amacı kapatılan kömür ocaklarında meydana gelen yavaş ve sürekli çökmeleri belirlemektir. Kasım 1992 ve Ekim 1998 yılları arasını kapsayan 6 yıllık interferometrik faz zaman serisi oluşturularak bölgedeki deformasyon miktarını belirlemeye çalışmışlardır. PS-InSAR için 25 JERS görüntüsü kullanılmıştır. Görüntülerden 6 çiftin koherens değeri 0.3'ün üzerindedir. Kritik baz uzunluğu olarak 5.7 km. belirlenmiştir ve 10 çift görüntü 1500 m. den büyük dik baz uzunluğuna sahiptir. PS nokta seçiminde dik baz uzunluğu 1500 m. den küçük interferogramlarda, genlik dağılım indeksi 0.25'ten küçük, koherens değeri 0.4'ten büyük olan noktalar ele alınmıştır. Yapılan çalışma bölgedeki kırık alanın arazi ölçümleri ile karşılaştırılmıştır. Kırık miktarının çok olduğu bölgede, görüş doğrultusu (LOS=line of sight) oluşan ortalama çökme miktarı 0.61 cm/yıl olarak belirlenmiştir. İnterferometrik olarak en fazla çökme miktarı da 11,2 cm.dir. Sonuçlar yersel ölçüler ile yakın korelasyon göstermiştir.

Squarzoni ve diğ. (2005), Güney Fransa Alplerindeki La Valette heyelanını izlemişlerdir. Yağmur sularından etkilendiği düşünülen heyelan üzerinde iki adet tek frekanslı GPS kullanarak 9 nokta ölçülmüş bunlardan ikisi sabit diğerleri hareketlidir. Değerlendirme yazılımı olarak Magellan MSTAR kullanılmıştır. Sabit noktada gün boyu ölçüm yapılırken hareketli noktalarda 1 saat ölçü gerçekleştirilmiştir. Ekim 2000 ile Ekim 2002 arasında sekiz periyot ölçü gerçekleştirilmiş ve ortalama 3 cm/gün hareket belirlenmiştir. GPS sonuçları EDM sonuçları ile karşılaştırılmış ve benzer hızlar elde edilmiştir. 1995, 1996, 1997 yıllarına ait radar görüntülerinden DInSAR yöntemi kullanılarak elde edilen interferogram sonuçları ile 2000-2002 yılları arasındaki GPS sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuçta her iki yöntemle de elde edilen bağıl hız değerlerinin birbirine oldukça yakın değerler içerdiği gözlemlenmiştir. Bu çalışmanın sonuç bölümünde GPS yönteminin sadece noktasal anlamda 3 boyutlu ve duyarlı olarak deformasyonları belirlemesine karşın SAR yönteminin alansal deformasyonların belirlenmesinde daha etkili olduğu ancak sadece tek boyutta sonuç elde edilebildiği üzerine vurgu yapılmıştır.

Yalçınkaya ve diğ. (2005), yaptıkları çalışmalarda heyelanları tetikleyen en önemli sebeplerden birisini yağmur ve kar suyu miktarındaki artış olarak göstermişler ve GPS ölçülerinden elde edilen deformasyon miktarları ile meteorolojik verilerin korelasyonunu incelemişlerdir.

Browitt ve Aktar (2006), ise İstanbul kentinin 50x30 km'lik alanını kapsayan kentsel alanda çökmeleri PS-InSAR tekniği ile izlemiştir. 1992-2002 yılları arasında alınmış 50 çerçeve ERS görüntüsü ile yapılan PS-InSAR uygulamasında -5 ile 5 mm./yıl çökme olduğu gözlenmiştir. En fazla çökmenin Zeytinburnu bölgesinde olduğu belirlenmiştir. İstanbul'un doğu bölgesinde ise sadece bölgesel çökmeler olduğu görülmüştür. Bu çalışma ile İstanbul ili sınırlarında nehir yataklarındaki ani yükselmeler ve seller yüzünden geride derin ve dar vadiler oluştuğu ve vadilerin zamanla kum ve çakıl ile dolarak kenti aşağı doğru çektiği saptanmıştır.

Farina ve diğ. (2006), tarafından heyelan araştırmalarında PS-InSAR tekniği yine büyük hareketlerin olduğu İtalya'daki Arno nehir yatağını kaplayan bir alanda kullanılmıştır. 350 çerçeve SAR (ERS1/ERS2) görüntüsü kullanılmış ve 600000 PS noktası tespit edilmiştir. Çalışmada aynı zamanda optik uydu görüntüleri de kullanılarak PS noktalarının her biri hakkında bilgi elde edilmiştir. Bu çalışma ile mevcut heyelan envanterinin PS-InSAR tekniği ile güncellenebileceği ispatlanmıştır.

Meisina ve diğ. (2006), şehir alanındaki yer değiştirmeyi belirlemek için İtalya'nın kuzeyinde yer alan Oltrepo Pavese bölgesinde çalışma yürütmüşlerdir. 1100 km²'lik çalışma alanı karmaşık jeolojik bir yapıya sahiptir ve kilce zengin sediment oluşumu görülmektedir. Bu karakteristik özellikler bölgede yüzeysel ve derin heyelanların, çökmelerin, killi toprağın kabarması ve/veya çekmesi gibi afetlerin meydana gelmesine neden olmaktadır. Bu çalışmada da yer değiştirmenin belirlenebilmesinde kısıtlamalardan kaçınmak amacıyla klasik interferometrik yöntem yerine PS-InSAR tekniği kullanılmıştır. 1992–2001 yıllarında alınmış 77 alçalan yörüngede ERS görüntüsü ve 26 yükselen yörüngede ERS görüntüsü kullanılarak elde edilmiştir. Alçalan yörüngede daha fazla görüntü olduğu için 95000 PS noktası ele alınırken yükselen yörüngede 3800 PS noktası alınabilmiştir. Görüntü alım geometrisinin uygun olmaması da PS nokta seçimini etkilememektedir. PS seçiminde koherens değerleri önem kazanmaktadır. Bu çalışmada koherens değerleri (c) üç sınıfa ayrılmıştır; $c < 0.65$, $0.65 \leq c < 0.85$, $c \geq 0.85$. Koherens değeri 0.65'ten küçük olan değerler işleme alınmamıştır. Elde edilen PS noktalarının çoğunluğu yerleşim yerlerine aittir, insan yapımı yapılar (binalar, antenler, direkler, köprüler) bu noktaların çoğunluğunu oluşturmaktadır. Bitki örtüsünden dolayı dağlık ve tarım alanlarından çok az PS noktası elde edilmiştir. Üretilen veriler doğrultusunda yer değiştirme oranı +5 ile -16

mm/yıl olarak hesaplanmıştır PS-InSAR tekniği ile bölgede bilinmeyen, durağan olmayan eğimli bölgeler ve yükselen alanlar tanımlanmıştır.

Hooper ve diğ. (2007), yaptıkları çalışmada PS İnterferometri tekniğini farklı bir yaklaşımla ele alarak yaptıkları kabuk hareketlerinin deformasyon analizinde StaMPS (Stanford Method for PS) yöntemini geliştirmişlerdir. Bu yöntem, bina gibi belirgin nesnelere olsun olmasın, her arazi türünde analiz yapmak için düşük faz değişimi gösteren pikselleri bulmada interferometrik fazın mekansal korelasyonunu kullanmaktadır. Çalışma alanı Galapagos adasındaki tek aktif volkan olan Alcedo Volkanıdır. 1992–1999 yılları arasında yükselen yörüngede alınmış 14 ERS-2 ile alçalan yörüngede alınmış 14 ERS-2 ve 1 ERS1 olmak üzere 29 adet görüntü kullanılmıştır. Alçalan konumda -15 ile + 30 arasında mm/yıl çökme ölçülürken, yükselen konumda 0–20 mm/yıl çökme ölçülmüştür. Genel PS-InSAR uygulamalarının aksine 20 görüntüden az görüntü ile deformasyon analizi belirlenmiştir.

Perissin ve diğ. (2007), farklı yörünge izinde alınan görüntülerin analizini değerlendirmek için Şanghay bölgesine ait ERS ve ASAR görüntülerini kullanmışlardır. Bölgeye ait ASAR görüntülerinin az olması nedeni ile tek yörünge izinde alınan ERS görüntüleri ile iki farklı yörünge izinde alınan 14 ve 12 ASAR görüntüsü, ERS-ASAR kombinasyonu kullanarak şehir alanının yer değiştirmesi araştırılmıştır. Yöntemde seçilen bir ERS görüntüsü birinci görüntü olmak üzere ERS ve ASAR görüntüleri bu görüntüye karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada da ASAR verileri için iki adet birinci (master) görüntü ele alınmıştır. Her yörüngede alınan ASAR verileri kendi içlerinde değerlendirilmiştir. Alçalan yörüngede alınmış ERS görüntüleri ile yaklaşık 30000 PS noktası elde edilirken, yükselen yörüngede alınmış iki ASAR izinden oluşturulan PS uygulamasında 400 km²'lik alanda 5000 nokta seçilmiştir. Her iki uygulamada da 0 ile 28 mm/yıl arasında yer değiştirme korelasyonlu olarak elde edilmiştir. Bu uygulamada genellikle tek yörünge izinde alınan görüntülerle uygulanan PS-InSAR yöntemine alternatif olarak çoklu yörüngede alınan görüntülerin de kullanılabileceği belirtilmiştir.

Peyret ve diğ. (2008), İran'ın Haraz vadisindeki Kahrod heyelanına ait yüzey hareketlerinin zamana bağlı olarak değişimini belirlemiştir. Çalışmada GPS tekniği ile 3 farklı set halinde ölçüler gerçekleştirilmiştir. İlk olarak sekiz noktalı bir ağ ile 1 yıllık

periyodlar halinde 4 kez ölçülmüştür. Bu sayede heyelandaki kayma miktarları doğru olarak belirlenmiş ve heyelanın mekanizması tanımlanmıştır. Daha sonra 57 nokta ile ağ sıklaştırılmış ve 6 ay içerisinde 2 defa hızlı statik yöntem ile ölçülmüştür. Böylelikle bütün heyelan sahasına ait yüzey deformasyonu tanımlanmıştır. Son olarak ise 1 yıl boyunca sürekli GPS ölçümü yapılarak yağmur suları ile deformasyon miktarı karşılaştırılmıştır. GPS çalışmasının yanı sıra aynı tarihleri kapsayan (DInSAR) Envisat Radar Diferansiyel İnterferogramlar analiz edilmiştir. Bu jeodezik veri güncel kayma zonunun belirlenmesi ve yüzey hareketlerinin zamansal ve uzaysal olarak duyarlı bir şekilde belirlenmesine olanak tanımaktadır. Arazi gözlemleri ve jeodezi kombinasyonu sayesinde Kahrod heyelanının geçmiş ve günümüzdeki davranışı duyarlı olarak tanımlanmıştır. Ölçümler boyunca deformasyon oldukça az olduğundan yağmur suları ile deformasyon arasındaki ilişki için gelecekteki verilere de ihtiyaç duyulmuş mevcut veriyle anlamlı bir yorum yapılamamıştır. Çalışmada GPS, InSAR birlikte kullanımı kütle kaymalarının izlenmesinde fayda sağlasa da, özellikle büyük aktivitelerin (deprem v.b.) izlenmesinde daha fazla fayda sağladığına vurgu yapılmıştır.

Hastaoğlu (2009), yaptığı çalışmada Sivas Koyulhisar heyelan bölgesinde 2'si sabit olmak üzere 12 GPS noktası tesis etmiştir. Bu noktalarda 6 periyotda 3 gün tekrarlı ortalama 12 saatlik ölçümler gerçekleştirmiştir. Ölçü periyotları oluşturulurken mevsimsel değişim göz önünde bulundurulmuş ve 2007 yılı Nisan, Temmuz ve Kasım ayları ile 2008 yılı Nisan, Temmuz ve Kasım aylarında toplam 6 periyot ölçüm gerçekleştirilmiştir. GPS ölçüleri Bernese 5.0 akademik yazılımı kullanılarak değerlendirilmiş ve noktalara ilişkin hız alanları kestirilmiştir. Hız alanları 12 saatlik GPS verilerinin yanı sıra 15 dakikalık GPS verileri de kullanılarak kestirilmiştir ve iki farklı yöntem sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuçta hızlı statik yöntem ile elde edilen sonuçların statik yöntem sonuçları ile uyumlu olduğu görülmüştür. Heyelan sahasının küçük olmasından dolayı eğer noktalar arası yükseklik farkı 500'm den daha küçük bazlar kullanılır ise 15 dakikalık GPS gözlemlerinin hız kestirimi için yeterli olacağı gözlenmiştir. Sonuçta gerek heyelanın taç bölgesinde gerekse heyelan kütleli üzerindeki noktalarda anlamlı bir hız değeri elde edilmemiştir. İlçe merkezindeki bir noktada güney-doğu yönünde yılda yaklaşık 8 cm'lik bir yatay kayma belirlenmiştir. Bu noktanın bulunduğu mevki, Koyulhisar ilçesinin merkezi olup, Emniyet Müdürlüğü, Askerlik Şubesi, Devlet Hastanesi, İtfaiye ve Jandarma binaları

bulunmaktadır. Gerek Emniyet Müdürlüğü binası gerekse boşaltılan Kuran Kursu binasında bu hareketten kaynaklanan çatlamlar meydana gelmiştir. Bu noktadaki hareketin başka bir heyelandan mı yoksa başka bir dış kuvvetten mi, ya da tamamen noktanın jeolojik özelliklerinden mi kaynaklandığı jeolojik, jeofizik ve jeodezik çalışmalar sonucunda belirlenmesi gerektiğine vurgu yapılmıştır.

Perski ve diğ. (2009), yaptıkları çalışmada Polonya'nın Wielicaka bölgesindeki yerel deformasyonları ERS-1 ve ERS-2 uydularına ait SAR serilerini kullanarak belirlemişlerdir. Wielicaka bölgesindeki deformasyonların üç farklı sebebi bulunmakta olup, bunlar; i) Bölgedeki tuz madenciliği çalışmaları, ii) su girişlerinin neden olduğu kadastral bozulmalar, iii) bölgenin güneyindeki heyelanlardır. Farklı deformasyon rejimlerinin ayırt edilebilmesi için bu çalışmada DinSAR ve PS-InSAR teknikleri kullanılmıştır. Elde edilen SAR sonuçları bölgede gerçekleştirilen nivelman sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Su geçişlerinin neden olduğu hızlı çökmeler InSAR tekniği ile aydınlatılamamıştır. Bunun yanı sıra DinSAR ve PS-InSAR sonuçlarından maden yakınındaki yavaş çökmelere ait bilgiler elde edilmiştir. Bu çökme bilgileri nivelman verileri ile birleştirilmiş ve sunulmuştur. PS-InSAR ile 25 mm/yıl, nivelman yöntemi ile ise 40 mm/yıl ortalama çökme belirlenmiştir. Sınırlı sayıda heyelan sahası da belirlenmiştir. Heyelandan dolayı hasar görmüş binalar yansıtıcı yüzey olarak belirlenmiş ve bu binalardaki deformasyonlar daha rahat gözlenmiştir.

Vilardo ve diğ. (2009), yaptıkları bir çalışmada İtalya'nın güneyinde 13,600km²'lik bir alanda PS-InSAR tekniği ile oluşan deformasyonları belirlemişlerdir. Çalışma bölgesi kent alanı olmakla beraber içerisinde aktif bir volkan ve aynı zamanda sismik bir yapıya sahip, üzerinde heyelanların geliştiği bir alandır. PS-InSAR ile deformasyonların hareketleri doğru bir şekilde belirlenebilmiştir. Bu çalışmada 1992 ve 2001 yılları arasında alınmış olan ERS uydu görüntüleri kullanılmış ve 1.7.106 PS noktası tanımlanmıştır. Bu noktalardan senede +28 mm/yıldan -39 mm/yıla kadar deformasyon belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar yapılan GPS ölçümleri ile elde edilen hız vektörleri ile uyumlu çıkmıştır.

Heleno ve diğ. (2011), yaptıkları çalışmada PS-InSAR yöntemini kullanarak Lizbon Metropolitan alanında daha önceden bilinmeyen iki farklı çökme alanı belirlemişlerdir. Bunlardan birincisi Lizbon' nun merkezi diğeri ise sanayi bölgesinde

belirlenmiştir. Bu çalışmada PS-InSAR sonuçları ile GPS ve nivelman sonuçları birlikte kullanılmış ve çökmeler daha ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Hastaoğlu (2011b), Koyulhisar bölgesinde yapmış olduğu çalışmada bölgede halen kaymanın devam ettiğini belirtmiş, ancak bu kaymanın nedeni ve mekanizması hakkında bir bilginin bulunmadığını, bu nedenle acilen bölgede alansal deformasyonu ve bu deformasyonun sebeplerini belirleyecek bir çalışma yapılması gerektiğini ifade etmiştir.

Yukarıda değişik çalışmalarda anlatılan yöntemler göz önünde bulundurulduğunda evrensel ölçekte de heyelanların alansal olarak izlenmesi için en yaygın ve en uygun yöntemin GPS ve PS- InSAR yöntemlerinin birlikte kullanılması olduğu anlaşılmaktadır.

3. JEOLJİK İNCELEMELER

Bu tez kapsamında çalışma alanının jeolojik özelliklerini ve yüzey deformasyonlarını belirleyebilmek için detaylı saha incelemeleri yapılmıştır. İlk olarak bölgenin genel ve yapısal jeolojik özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra jeodezik ölçümler yapılabilmesi için bölgedeki önceden oluşmuş heyelanlar, faylar, ve litoloji göz önünde bulundurularak ölçüm yapılabilecek noktalar belirlenmiştir.

Çalışma alanına ait 1/25000 ölçekli H39-b4 topoğrafik haritası altlık olarak kullanılmıştır. Saha çalışmalarında bölgede yüzlek veren farklı litoloji birimleri tanımlanmış ve topoğrafik harita üzerine işlenerek sınırları çizilmiştir.

Farklı lokasyonlarda gözlenen foliasyon, lineasyon, kıvrımlı yapılar, fay, çatlak ve tabakalanmalar gibi değişik jeolojik özellikler saha incelemeleri ile değerlendirilmiş, gözlemsel sonuçlar saha defterine ayrıntılı olarak not edilmiş, alınan her kayaç örneği makro olarak tanımlanmış ve uygun şekilde numaralandırılmıştır.

Bunların yanı sıra, çalışma alanında daha önce çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan birçok çalışma incelenmiş ve saha çalışmaları öncesi bu çalışmalardan yararlanılmıştır.



Şekil 3.1 Jeolojik çalışmalara ilişkin saha fotoğrafları.

Yapılan bu arazi çalışmalarında çalışma alanının ayrıntılı jeolojik özellikleri belirlenmiş ve alanın 1/25000 ölçekli jeoloji haritası ve enine kesitleri hazırlanmıştır (Ek-1).

3.1. Bölgesel Jeoloji

Çalışma bölgesinde yüzeyleyen kaya birimleri yaşlıdan gence doğru, Orta-Üst Maestrihtiyen yaşlı Aşağıkale, Üst Maestrihtiyen yaşlı İğdir, Daniyen yaşlı Şıhlar, Orta-Üst Paleosen yaşlı Düdenyaylası, Pliyosen yaşlı Dumanlıca (Erdembaba) ve Pliyo-Kuvaterner yaşlı Koyulhisar Formasyonlarından oluşmaktadır. Aşağıkale, İğdir, Şıhlar ve Düdenyaylası Formasyonları Geç Kretase-Paleosen sırasında, volkanik yay tipi bir ortamda çökelmiş, üste doğru tane boyu artan kalın bir istif oluşturmuştur. Dumanlıca ve Koyulhisar Formasyonları ise neotektonik dönemin ürünüdür (Toprak 1988).

DEVİR		DEVRE		LİTOLOJİ VE TANIMLAMALAR
S E N O Z O Y İ K	PLİYO-KUVATERNER	KUVATERNER	ALÜVYON FORMASYONU	
		PLİYO-KUVATERNER	KOYULHISAR FORMASYONU	Yamaç Molozu Çökelleri
		PLİYOSEN	ERDEMBABA FORMASYONU	Andezitik-Bazaltik Volkanikler
	M E S O Z O Y İ K	ORTA-ÜST PALEOSEN	DÜDENYAYLASI FORMASYONU	Altta sarı renkli , orta tabakalı kumlu kireçtaşı ve gri renkli marn, siltli-kireçtaşı, silttaşı ardanmalısı
		ALT-PALEOSEN	ŞİHLAR FORMASYONU	Marn, çamurtaşı arakatlı, orta tabakalı jips, kumlu kireçtaşı ve yer yer konglomera ardanması
		ÜST KRETASE	İĞDİR FORMASYONU	Kırmızı şeyl ve marnlarla başlar, üste doğru silt ve şeyl arakatlı orta tabakalı kumlu ve fosilli kireçtaşları
ORTA-ÜST KRETASE	AŞAĞIKALE FORMASYONU	Bazaltik lav akıntıları ve aglomera, tüf ardanması		

Ölçeksiz

Şekil 3.2 Çalışma alanına ait stratigrafik kesit (Toprak 1988'den düzenlenmiştir).

3.2. Çalışma Alanının Litolojik Özellikleri

Çalışma alanına ait 1/25000 ölçekli H39-b4 topoğrafik harita kullanılarak saha çalışmaları sonucu bölgede mostra veren farklı litoloji birimleri tanımlanmış ve topoğrafik harita üzerine işlenerek sınırları çizilmiştir. Arazide çizilen birimlerin sınırları, yapısal jeolojik unsurlar ve belirlenen hat boyunca oluşturulan jeolojik enine kesit bilgisayar ortamında yeniden çizilmiştir. İnceleme alanının jeoloji haritası Ek-1'de sunulmuştur.

3.2.1. Aşağıkale Formasyonu

Orta-Üst Maestrihtiyen yaşlı Aşağıkale Formasyonu Toprak (1988) tarafından tanımlanmıştır. Birim alt seviyelerinde aglomera, bazaltik lav akıntılarının ardalanması ile başlar ve aglomera, tuf ardalanması ile devam eder, üst kesimlerinde ise aglomera kumtaşı ardalanması ve bazaltik lav akıntılarından oluşur. Aşağıkale Formasyonu, İğdir Formasyonu tarafından üzerlenmektedir. Aşağıkale Formasyonu, Koyulhisar ilçe merkezinin güneydoğusunda Yukarıkale köyü civarında ve ilçe merkezi güneybatısında yer alan Aşağıkale köyü civarında gözlenmektedir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Yukarıkale Köyü civarında yüzeyleyen Aşağıkale Formasyonuna ait görünüm.

3.2.2. İğdir Formasyonu

Üst Maestrihtiyen yaşlı İğdir Formasyonu ilk kez Terlemez ve Yılmaz (1980) tarafından tanımlanmıştır. Birim tabanda kırmızı şeyl ve marnlarla başlar, üste doğru silt ve şeyl arakatlı, kumlu ve fosilli kireçtaşlarıyla devam eder ve üst kesimlerinde

ise beyaz-sarı renkli, orta tabakalı kumlu ve fosilli kireçtaşları ile tamamlanır. Birim Şıhlar Formasyonu tarafından üzerlenir. İğdir Formasyonu, Koyulhisar ilçe merkezi kuzeybatısında yer alan Subaşı mahallesi, Eğriçimen yaylası civarında ve ayrıca ilçe merkezinin kuzeydoğusunda yer alan İkizyaka köyü civarında yaygın yüzlekler vermektedir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Eğriçimen yaylası civarı yüzeyleyen İğdir Formasyonundan görünüm.

3.2.3. Şıhlar Formasyonu

Daniyen yaşlı Şıhlar Formasyonu Toprak (1988) tarafından tanımlanmıştır. Birim marn, çamurtaşı arakatkılı, orta tabakalı jips ve kumlu kireçtaşı ardalanması ile başlar. Jips arakatkılı kumtaşı-silttaşı ve polijenik konglomeralarla devam eder ve kumtaşı-konglomera ardalanması ile tamamlanır. Düdenyaylası Formasyonu Şıhlar Formasyonunu üzerlemektedir. Şıhlar Formasyonu, Koyulhisar ilçe merkezi güneybatısında yer alan Şıhlar mahallesi kuzeyinde küçük yüzlekler şeklinde gözlenmektedir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Şihlar Mahallesi kuzeyinde yüzeyleyen Şihlar Formasyonuna ait genel görünüm.

3.2.4. Düdenyaylası Formasyonu

Orta-Üst Paleosen yaşlı Düdenyaylası Formasyonu Toprak (1988) tarafından tanımlanmıştır. Birim altta sarı renkli orta tabakalı kumlu kireçtaşı ile başlar ve gri renkli marn, siltli-kireçtaşı, silttaşı şeklinde ardalanmalı olarak devam eder. Düdenyaylası Formasyonu, Koyulhisar ilçe merkezinin kuzeyinden başlayıp güneyine kadar devam eden tepe ve sırtlar şeklinde gözlenmektedir.



Şekil 3.6 a) Çamlıyaka mahallesi ve b) Saytepe civarında yüzeyleyen Düdenyaylası Formasyonundan görünüm.

3.2.5. Dumanlıca Formasyonu

Pliyosen yaşlı Dumanlıca Formasyonu ilk kez Terlemez ve Yılmaz (1980) tarafından adlandırılmıştır. Birim Terzioğlu (1986) tarafından Erdembaba Bazaltı olarak incelenmiştir. Formasyon, andezitik-bazaltik karakterli volkaniklerden oluşmaktadır.

Jeokimyasal veriler bu volkanik kayaların kıtasal kabuğun anateksisi sonucunda meydana gelen kalkalkalin karakterli asidik bir magmanın ürünü olduğunu göstermektedir (Terzioğlu 1986). Dumanlıca Formasyonu, Koyulhisar ilçe merkezinin kuzeyinde bulunan Dumanlıca tepesi ve civarında gözlenmektedir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 Dumanlıca Tepesi üzerinde yüzeyleyen Dumanlıca Formasyonundan görünüm.

3.2.6. Koyulhisar Formasyonu

Pliyo-Kuvaterner yaşlı Koyulhisar Formasyonu bölgedeki en genç birimi oluşturmaktadır. Birim oldukça gevşek dokulu aglomera-tüf ve gri-yeşil renkli, breşik görünümlü andezitik lav akıntıları ve konglomeralardan oluşmaktadır. Koyulhisar Formasyonu olarak tanımlanan bu birim, Koyulhisar ilçe merkezi ve çevresinde yaygın şekilde yüzeylemektedir (Şekil 3.8 ve 3.9).



Şekil 3.8 Koyulhisar Formasyonuna ait genel görünüm.



Şekil 3.9 Koyulhisar- Mesudiye karayolunda yol yarmasında yüzeyleyen Koyulhisar Formasyonuna ait görünüm.

3.2.7. Alüvyon

Kuzey Anadolu Fay Zonu ve Kelkit Nehri boyunca fay denetimli taraça çakılları, Kuvaterner yaşlı alüvyon yelpaze çökelleri ve alüvyon dolguları şeklinde gelişen birim, çakıl, kum ve siltlerden oluşmaktadır (Uysal ve diğ. 1995).

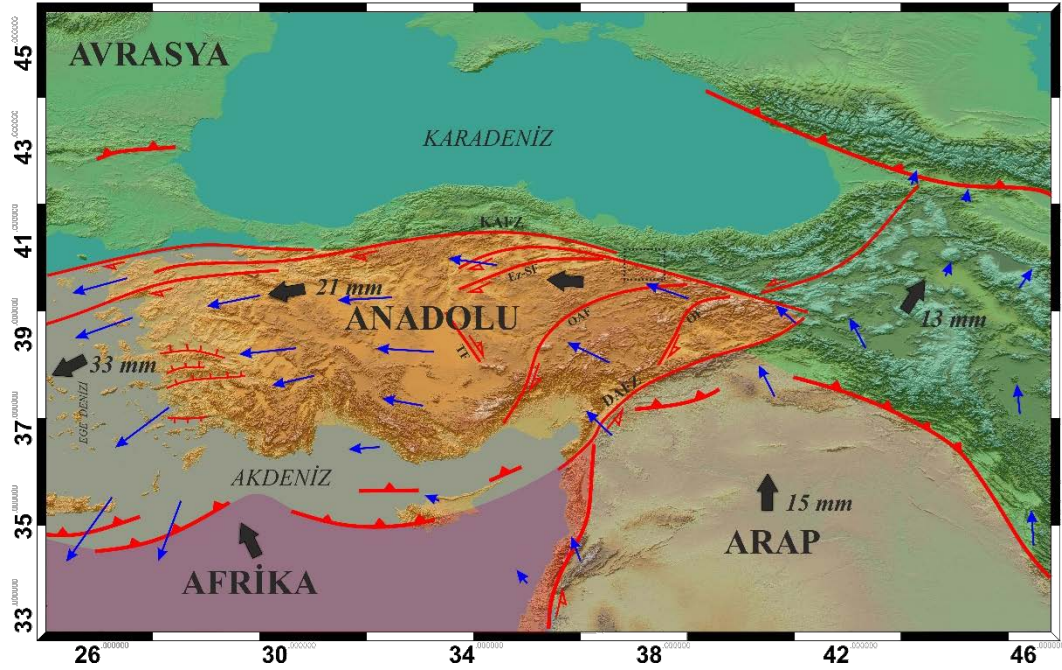


Şekil 3.10 Kelkit Nehri boyunca gözlenen alüvyonlara ait genel görünüm.

3.3. Bölgesel Tektonizma

Oligosen sonundan itibaren Anadolu'nun büyük bölümü tek bir kara parçası halini almıştır. Sadece güneydoğudaki Arap platformu ile Anatolid-Torid platformu arasında dar bir denizel alan kalmıştır. Arap ve Anadolu levhalarının Miyosen deki çarpışması Anadolu'daki bu son okyanusal alanı ortadan kaldırmıştır. Türkiye'de bu yeni tektonik dönem karasal çökelim ve kalkalkalen magmatizma ile karakterize edilir. Bu yeni tektonik fazda doğrultu atımlı ve eğim atımlı faylanma egemendir (Okay ve diğ. 2008).

Neojen tektonik rejimi çekme gerilmesi ve doğrultu atımlı faylanma ile karakterize edilir. Büyük ölçekli düşük açılı normal faylanma Miyosen havzalarının oluşmasına ve derinlerdeki kristalin kayaçların yükselmesine neden olmuştur. Güncel çalışmalar Kazdağ ve Simav masifleri gibi batı Anadolu kristalin kayaçlarının böyle büyük ölçekli düşük açılı normal fayların taban bloğunda yüzelediğini göstermektedir. Bölgesel açılmanın nedeni Yunan makaslama zonunun güneye doğru göç etmesi olup bu olay Ege denizinin bir yay-ardı havza olarak açılmasına neden olmuştur. Neotektonik fazın en önemli yapısı tartışmasız olarak Kuzey Anadolu Fayı'dır. Bu sağ-yanal doğrultu atımlı fay, Doğu Anadolu'dan Ege denizine 1200 km uzanımına sahiptir. Kuzey Anadolu Fayı ile ilgili klasik görüş Arap ve Anadolu levhalarının Miyosen'deki çarpışmasından sonra ortaya çıkan bir kaçış yapısı olarak başladığıdır. Bununla birlikte güncel çalışmalar 100 km'den daha fazla toplam sağ yanal atıma sahip fayın Batı Anadolu'da Oligosen'den beri var olduğunu göstermektedir. Bu yapılar kıtasal kabuk parçalarını doğu-batı doğrultusunda genişleyen Ege bölgesine doğru taşımakta olup, Anadolu'nun batıya doğru olan ve halen devam eden hareketinin nedeni ise, Arap levhasının itmesinden daha çok Yunan yitim zonundaki çekimdir (Okay ve diğ. 2008).



Şekil 3.11 Neotektonik ünitelerin genelleştirilmiş haritası (Erturaç ve Tüysüz, 2012'den düzenlenmiştir).

3.4. Yapısal Jeoloji

Çalışma alanı Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde yer almaktadır. Kuzey Anadolu Fay Zonu bölgede 6-8 km. genişliğinde ve 32 km. uzunluğunda doğrultu atımlı sağ yanal bir fay kuşağıyla temsil edilir. Bölgedeki bu kuşak Toprak (1988) tarafından Kuzey Anadolu Ana Fayı, Koyulhisar Fay Takımı, Kelkit Fay Takımı, Şıhlar Fay Takımı ve Kuruçay Fay Takımı olmak üzere beş fay takımına ayrılmıştır. Bu çalışma kapsamında Koyulhisar ilçe merkezi ve çevresinde Şıhlar Fay Takımı, Çamlıyaka Fayı, Saytepe Fayı ve bölgenin kuzeyinde yer alan Dumanlıca Fayları haritalanmıştır.

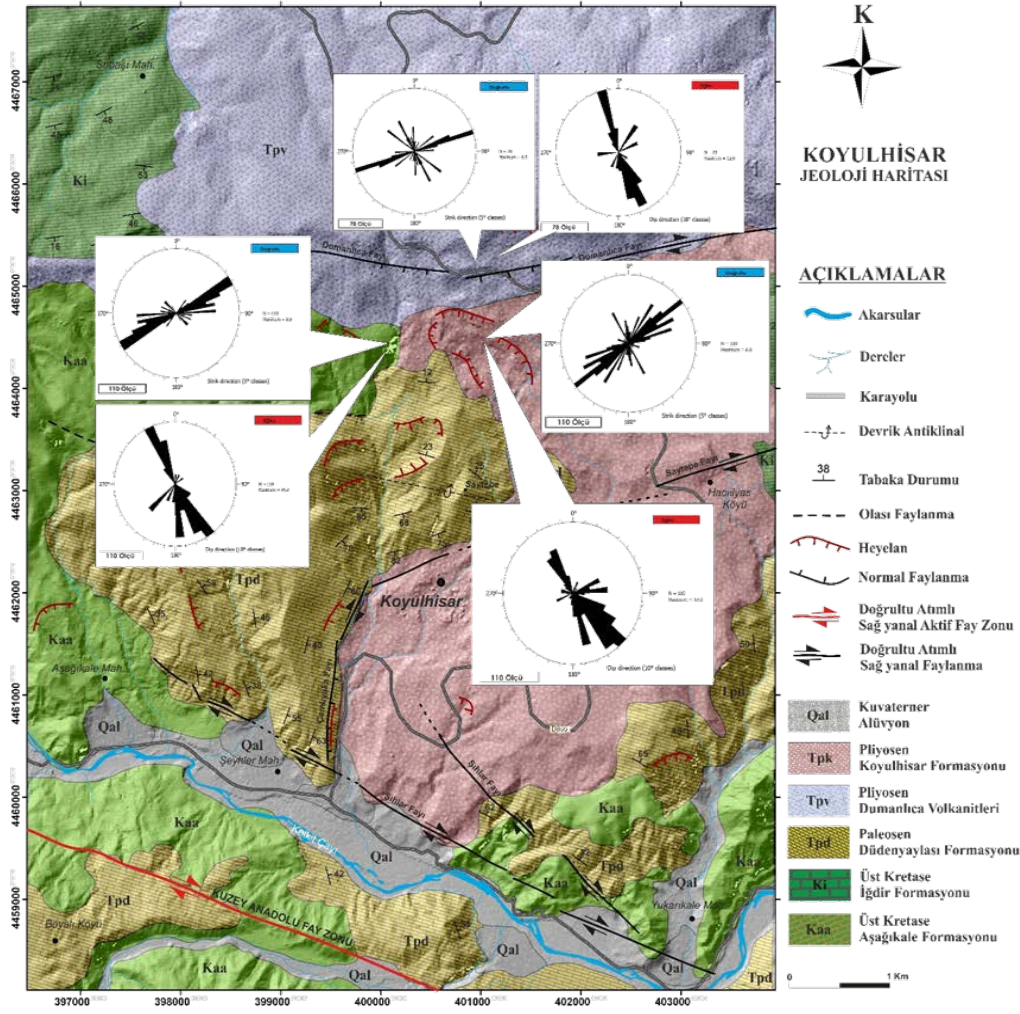
Gerek morfotektonik yapılar ve gerekse sismik etkinlik, Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Koyulhisar kesiminin de halen aktif ve sağ yanal doğrulu atımlı bir fay zonu olduğunu ortaya koymaktadır. Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun bu segmenti üzerinde, Kuvaterner dönemde gelişmiş 3.6 km'lik sağ-yanal bir ötelenme ölçülmüştür (Toprak 1988).

3.4.1. Eklem Sistemleri

Bölgede heyelanların gelişmesinde önemli rol oynayan ve yüzey sularının sızmasına olanak sağlayan bu kırık ve çatlaklar arazide ölçülmüş, değerlendirilmiş ve eklem analizi yapılmıştır.

KAFZ içerisinde yer alan birincil faylar genelde K60°-70°B, Koyulhisar civarında ise yaklaşık D-B gidişlidir. Sintetik faylar ana fay ile 20°-40° arasında değişen açılar yapmakta, antitetik faylar ise KKD-GGB doğrultusunda gelişmektedir. Buna göre fayların oluşumuna yol açan en büyük sıkışma gerilmesi K20°B-G20°D doğrultusundadır (Toprak 1988).

Çalışma alanında toplam 380 adet eklem ölçümü yapılmıştır. Eklem ölçümlerinin analizi sonucunda egemen eklem takımları Dumanlıca Formasyonu'nda K60°D 65°GD, K25°B 85°KD, K40°B 82°GB, Koyulhisar Formasyonu'nda K50°D 80°GD, K60°B 85°GB, K10°D 72°GD, Aşağıkale Formasyonu'nda K65°D,70°GD, K23°B 75°KD şeklinde belirlenmiştir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 Heyelan bölgesi yakın çevresinde değişik birimler içinde yapılan eklem ölçümlerinin gül diyagramı şeklinde harita üzerinde gösterimi.

Birimler içerisinde gelişmiş olan eklemlerin genel dağılımlarını görmek ve sıkışma yönüne göre yorum yapabilmek için tüm ölçümler esas alınarak kökensel sınıflamalar yapılmıştır. Bu sınıflamalar sonucunda Dumanlıca Formasyonu'nda iki yönde gelişmiş makaslama ve tansiyon eklemleri, Aşağıkale Formasyonu'nda tansiyon ve genişleme eklemleri, Koyulhisar Formasyonu'nda ise iki yönde gelişmiş makaslama ve genişleme eklemleri belirlenmiştir (Çizelge 3.1). Bu eklemlerin doğrultuları ve eğim yönleri dikkate alındığında eklemler, heyelanın hareketini sağlayan yüzey sularının birimler içerisinde hareketini kolaylaştıracak şekildedir.

Çizelge 3.1 Çalışma alanındaki birimlere ait eklemlerin kökensel sınıflamaları
(Sendir, 2001'den düzenlenmiştir)

Birim Adı	Egemen Eklem Durumları	Kökensel Sınıflama
Dumanlıca Formasyonu	K60°D 65°GD K25°B 85°KD K40°B 82°GB	Makaslama Tansiyon Makaslama
Aşağıkale Formasyonu	K65°D,70°GD K23°B 75°KD	Tansiyon Genişleme
Koyulhisar Formasyonu	K50°D 80°GD K60°B 85°GB K10°D 72°GD	Genişleme Makaslama Makaslama

3.4.2. Faylar

Çalışma alanında Koyulhisar ilçe merkezi ve çevresinde Şıhlar Fay Takımı, Çamlıyaka Fayı, Saytepe Fayı ve bölgenin kuzeyinde Dumanlıca Fayı bulunmaktadır. Bu fay takımları içerisinde değerlendirilen ve Koyulhisar ilçe merkezini yakından ilgilendiren faylar Şekil 3.13' de gösterilmiştir.

Kuzey Anadolu Fayı Ana Kolu: Bölgede Aşağıkale köyünün yaklaşık 1 km. güneyinden Kelkit Irmağının güney yatağını takip ederek, yaklaşık K60°-70°B doğrultusunda Ağilyazı köyünün hemen güneyinden batıya doğru devam etmektedir.

Şıhlar Fay Takımı: Şıhlar fayı doğuda Ağilyazı köyünün yaklaşık 1-1.5 km. batısında ana fayın kolu olarak ayrılmıştır. Batıya doğru ana faya paralel olarak hareket etmekte ve Yukarıkale ve Aşağıkale köyleri arasında kollara ayrılmaktadır. Şıhlar fayı alüvyal yelpazeleri, basamaklı fay şevleri ve fay kontrollü ırmak çökellerini ötelemiştir. Bu veriler Şıhlar fayının aktif olduğunu göstermektedir.

Saytepe Fayı: Koyulhisar ilçe merkezinin hemen kuzeyinde bulunan Saytepe'nin yaklaşık 1-1.5 km. batısından başlayarak D-B doğrultuda doğuya doğru devam eden fay, Kayaören köyünün kuzeybatısında iki kola ayrılmaktadır. Fay, Şıhlar, Düdenyaylası, Koyulhisar ve İğdir Formasyonlarını kesmektedir.

Çamlıyaka Fayı: Çamlıyaka köyünün doğusunda yer alan fay Koyulhisar çöküntüsünün batı kenarını oluşturmaktadır. Çamlıyaka fayı yaklaşık 4 km. uzunluğunda, kuzeydoğu-güneybatı doğrultulu sağ-yanal ve normal bileşene sahip bölgedeki diğer faylara antitetik olarak gelişmiştir.

3.4.3. Çalışma Sahasındaki Fay Topluluklarının Kinematik Analizi

Bir bölgedeki fayları oluşturan ana kuvvetlerin ve güncel tektonik rejimin belirlenmesi için kinematik analiz çalışmaları yapılması gerekmektedir. Arazi çalışmaları sırasında kinematik analiz yapmak ve dolayısıyla da tektonik rejim hakkından bilgi sahibi olmak amacıyla çalışma alanı içerisinde fay izlerinin yoğun olarak gözlemlendiği bölgelerden ölçülen fay düzlemlerine ait parametreler (fayın doğrultusu, eğim miktarı, eğim yönü, yan yatım açısı (rake) değerleri) derlenmiştir. Derlenen veriler Carey (1979)'in sayısal analiz yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu yöntem; aktif fay zonları üzerinde görülen kayma vektörlerinin ölçülüp değerlendirilmesi esasına dayanmaktadır. Farklı yaş ve litolojilerden derlenen faylardan özellikle genç döneme ait olanların günümüzde veya son tektonik rejim içerisindeki kinematik durumu belirlenmeye çalışılmıştır.

3.4.3.1. Fay Topluluklarının Kinematik Analiz Yöntemi

Tektonik deformasyonun geliştiği birçok bölgede, bu deformasyonun ürünü olan kırık sistemleri de iyi gelişmiş olarak gözlenebilmektedir. Bununla birlikte kaya türü ve mostra koşulları uygun olduğu takdirde hareketin özelliklerini yansıtan veriler fay düzlemi üzerinde korunabilmektedir. Bu tür verilerin saha içerisinde birçok farklı yerde ölçülmesiyle, hem fay sistemlerinin geometrisi ortaya konmakta, hem de geniş bir alanda deformasyonun ana karakterleri belirlenebilmektedir. Bu veriler, üst kırılmalı kabukta tektonik fazlar sırasındaki gerilme durumuyla yapısal deformasyon ilişkisini de ortaya koyabilmektedir (Carey-Guailhardis ve Mercier, 1987).

Farklı tektonik fazların ayırt edilmesinde kırıkların geometrik ilişkileri (ara kesitler) ile aynı fay düzlemi üzerinde gelişen ve birbirini üzerleyen kayma çizgilerinin kullanılması olanaklıdır (Vergely ve diğ., 1987; Carey-Guailhardis ve Mercier, 1987).

Bir faya ait mostranın gözlemlendiği yerde, fayın doğrultu ve eğimi, kayma vektörü (rake/pitch: yan yatım değeri), fayın hareket yönü ile fayın türü belirlenebilir. Özellikle fayın hareket yönünün belirlenebilmesi kinematik analiz açısından büyük önem taşımaktadır. Bunlar, kırıkların oluşturdukları fay takımlarının geometrik ve kinematik karakterlerinin belirlenmesi için ilk verileri oluşturacaktır.

Arazi çalışmaları sırasında bir bölgedeki tektonik rejim ve deformasyon hakkında uygun sonuçlara ulaşabilmek için çok sayıda verinin elde edilmesi gerekir. Bununla

birlikte verilerin yerleştirilmesi, analizi ve sınıflandırılması da ayrı bir önem taşımaktadır.

Fayların geometrisi de diğer düzlemsel ve çizgisel veriler gibi klasik stereografik izdüşüm ile gösterilir. Tektonik analizlerde Wulf ve Schmidt'in eş alanlı alt yarım küre projeksiyonu kullanılmaktadır. Bu diyagramlarda fay düzlemleri ve üzerinde yer alan kayma çizgileri yardımıyla hareket yönlerinin gösterilmesi olasıdır. Hareketin yönleri düzleme ait doğrultu çizgisi ve eğim yayı üzerinde çizilen oklarla (yan yatım) gösterilir. Bu küçük okların içe doğru olanları ters, dışa doğru olanları normal hareketleri ve/veya bunların bileşenlerini ifade etmektedir. Üzerinde hareket yönünü gösteren fay toplulukları bir çok farklı yöntemle değerlendirilebilir. Bu tür fay toplulukları, grafik yöntemlerden Arthaud (1969) yöntemi, deprem odak çözümlerinde kullanılan ve sismik faylara Pegoraro (1972), Angelier ve Mechler (1977) tarafından uygulanan standart diedron yöntemi (dièdres droit) ve Carey (1979) ile aynı temel kuralları içeren Angelier (1984), Armijo ve Citernas (1979) tarafından uygulanan sayısal analiz yöntemi gibi farklı yöntemlerle değerlendirilebilmektedir.

Wallace (1958), Bott (1959) ve Price (1966)'ın mekanik yaklaşımlarının kullanılmasıyla bir çok araştırmacı tarafından (Carey ve Brunier, 1974; Carey, 1979) kırılmış kaya kütlelerindeki fayların kinematığının yorumlanması için bilgisayar destekli kantitatif yöntemler hazırlanmıştır. Bu yöntemler için bazı temel ön koşullar şöyle sıralanabilir.

- 1) Kaya kütlesi içerisindeki bir tektonik faz, tek bir homojen stres tensörü ile karakterize edilmektedir.
- 2) Bu tektonik faz için malzemenin izotropik ve homojen olduğunu, her bir fay düzlemi üzerinde gelişen atımın, (kayma (si) çizgisi) bu fay düzlemi üzerinde etkin çözümlenmiş makaslama gerilmesinin (τ_i) doğrultusunda ve yönünde olduğu kabul edilir.
- 3) Faylarla ayrılmış bloklar arasında sürekli deformasyonun ve deformasyon sırasında fay düzlemi rotasyonlarının olmadığı, kayma çizikleri üzerindeki atımın bağımsız ve fay genişliğinden küçük olduğu kabul edilmektedir. Böylece kaya kütlelerinin deformasyonu, faylar boyunca rijid blokların göreceli yer değiştirmesiyle meydana gelmektedir. Makaslama tensöründeki fark, blokların hareketine neden olan

Fayın doğrultusu, saat ibresi yönünde (kuzeyden doğuya doğru) 0-180° arasında bir sayısal değer ile gösterilirken, bu düzleme ait eğim yönü ve eğim miktarıyla birlikte ifade edilmektedir. Eğer bu düzlem üzerinde hareket ile ilişkili çizgisellikler (kaymayı gösterir belirteçler olarak kayma çizikleri) gelişmiş ise, fay düzlemi üzerindeki kayma vektörünün (pitch, rake) dalım miktarı ve yönü belirlenmektedir. Son olarak ise, fay bloğu üzerindeki hareketin türü (normal, ters, sağ yanal veya sol yanal atımlı fay olarak) ifade edilmektedir.

3.4.3.2. Fay Topluluklarının Kinematik Analizlerinin Sonuçları

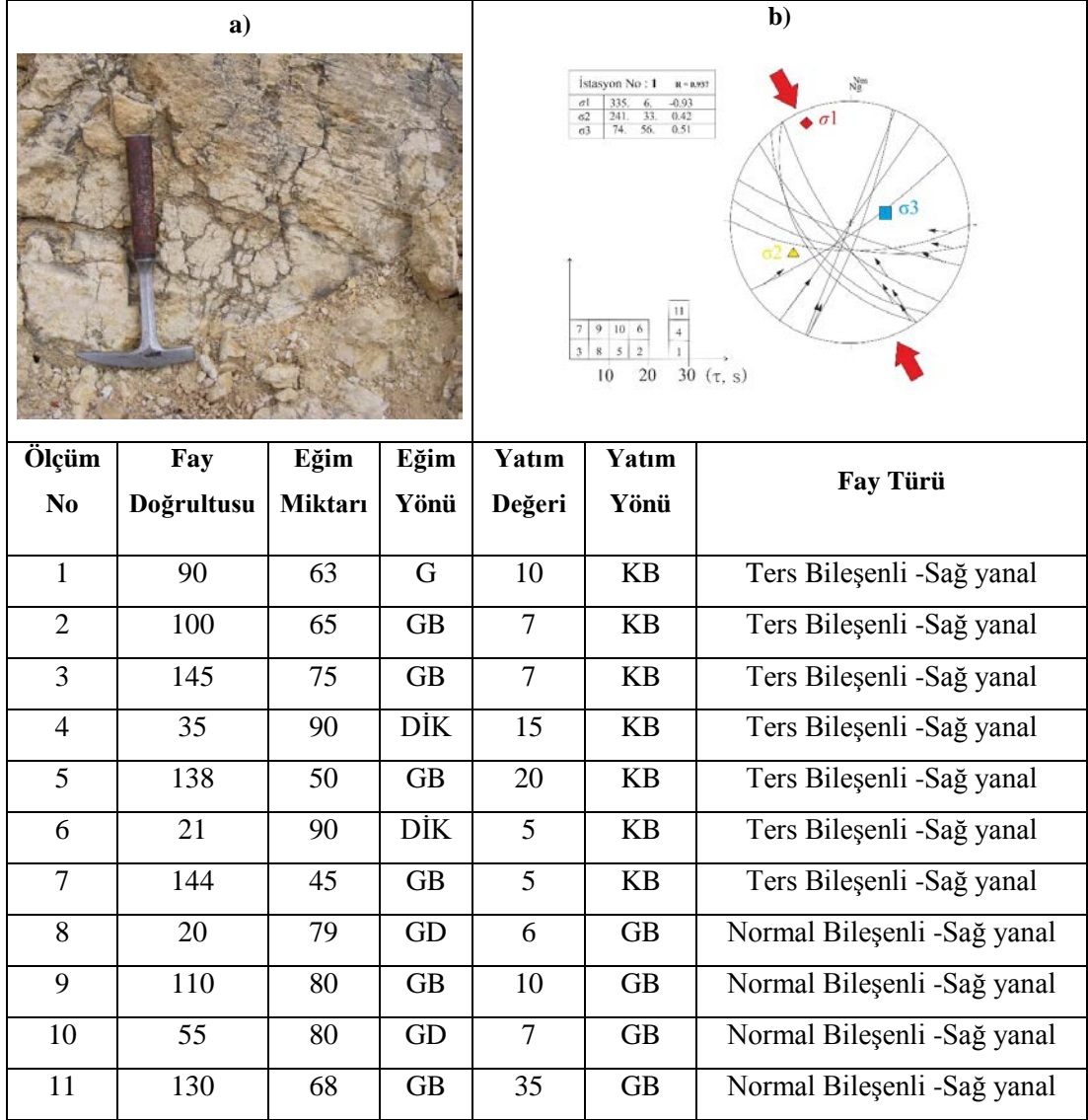
Bu çalışmada, Koyulhisar ilçe merkezi çevresinde yüzeyleyen Formasyonlar içerisinde gelişen fayların yapısal olarak incelenmesi ve bölgenin deformasyon özelliklerini ortaya koymak amacıyla fay düzlemlerinden kinematik veriler elde edilmiştir. Toplanan bu veriler, Carey (1976 ve 1979)'in bilgisayar destekli sayısal analiz yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. İnceleme alanının farklı bölgelerinde yer alan 16 değişik istasyondan toplam 123 adet fay düzlemi ve kayma vektörü belirlenmiştir. Belirlenen istasyonların özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir. Ölçüm yapılan istasyonların jeoloji haritası üzerinde dağılımı ve kinematik analiz sonuçları ise Şekil 3.31'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.2 Çalışma alanı fay düzlemlerine ait verilerin ölçüldüğü istasyonların noktasal yerleri

İstasyon No	Enlem (K)	Boylam (D)	Ölçü Sayısı	Formasyon Adı	Formasyon Yaşı
1	40.293600°	37.801700°	11	Düdenyaylası Formasyonu	Orta-Üst Paleosen
2	40.284400°	37.823200°	8	Aşağıkale Formasyonu	Orta-Üst Maestrihtiyen
3	40.275567°	37.844317°	7	Aşağıkale Formasyonu	Orta-Üst Maestrihtiyen
4	40.281342°	37.842525°	6	Aşağıkale Formasyonu	Orta-Üst Maestrihtiyen
5	40.289705°	37.831069°	4	Düdenyaylası Formasyonu	Orta-Üst Paleosen
6	40.288850°	37.818267°	8	Düdenyaylası Formasyonu	Orta-Üst Paleosen
7	40.302150°	37.820950°	9	Düdenyaylası Formasyonu	Orta-Üst Paleosen

8	40.303533°	37.823550°	6	Koyulhisar Formasyonu	Pliyo-Kuvaterner
9	40.306667°	37.831667°	7	Koyulhisar Formasyonu	Pliyo-Kuvaterner
10	40.309033°	37.842250°	10	Düdenyaylası Formasyonu	Orta-Üst Paleosen
11	40.316983°	37.872483°	11	İğdir Formasyonu	Üst Maestrihtiyen
12	40.334767°	37.878900°	8	Koyulhisar Formasyonu	Pliyo-Kuvaterner
13	40.333750°	37.854250°	6	Dumanlıca Formasyonu	Pliyosen
14	40.331200°	37.835283°	10	Dumanlıca Formasyonu	Pliyosen
15	40.331475°	37.823707°	7	Dumanlıca Formasyonu	Pliyosen
16	40.331171°	37.808489°	5	Dumanlıca Formasyonu	Pliyosen

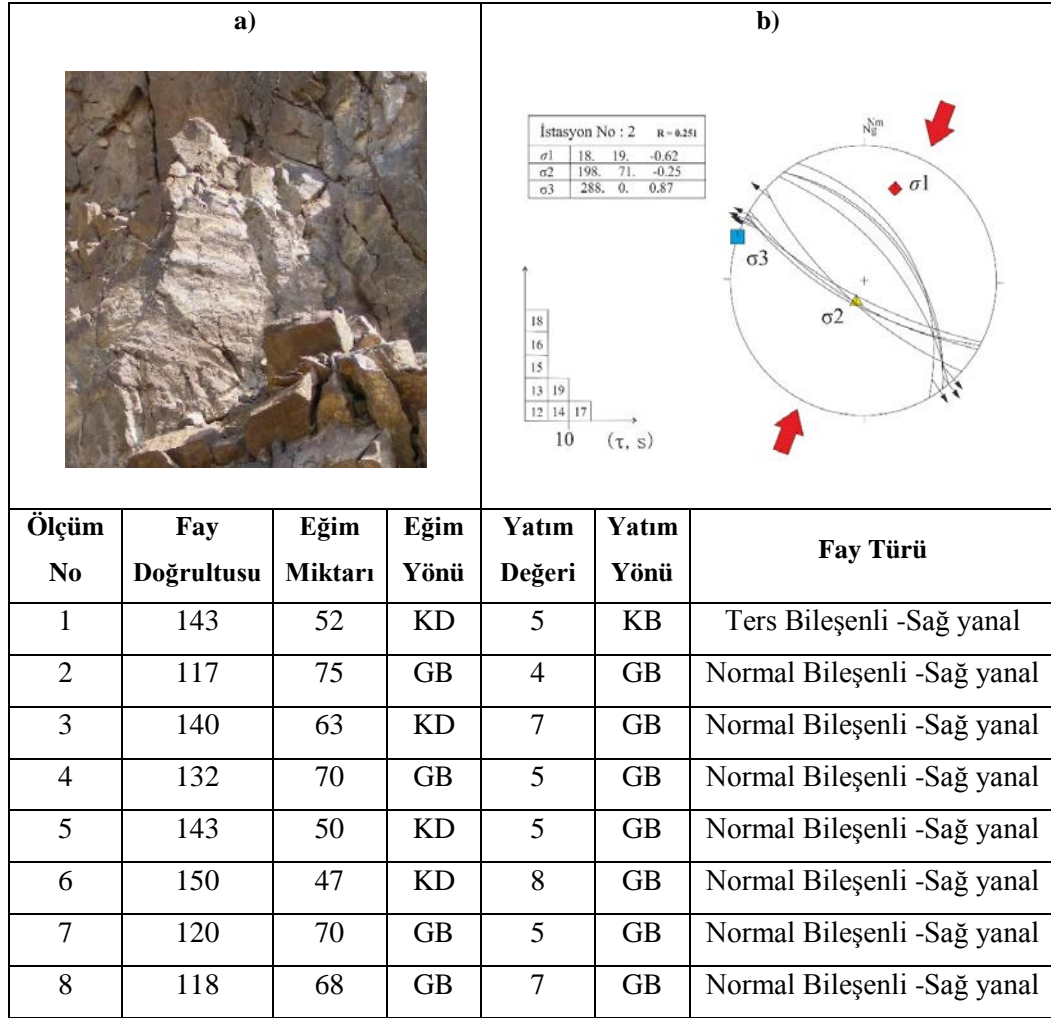
İstasyon 1: Bu istasyonu oluşturan veriler inceleme alanının güneybatısında yer alan Şıhlar mahallesinin yaklaşık 400 m kuzeyinde bulunan su kanalı için açılan yarmada gözlemlenen kayma çizikleri ölçülerek derlenmiştir. Bu veriler Düdenyaylası Formasyonu olarak adlandırılan ve sarı renkli, orta kalınlıkta tabakalı, kumlu kireçtaşı üzerinde gelişmiş fay düzlemlerinden oluşmaktadır. Ölçümlerin yapılmasında fay düzlemlerinde gözlenen kayma çizikleri ve kireçtaşı üzerindeki kalsitleşmeden yararlanılmıştır. Kireçtaşları üzerinde çok net olarak görülen kayma çizikleri hareketin türü hakkında bilgi vermektedir. Bu fayların yer yer ters ve normal bileşene sahip sağ yanal doğrultu atımlı faylar olduğu belirlenmiştir. Elde edilen verilerin analizi ve istasyona ait arazi fotoğrafı Şekil 3.15'de verilmiştir. İstasyon 1'den elde edilen verilerin Carey (1979)'in sayısal analiz yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda, bu fayların yaklaşık olarak KKB-GGD doğrultulu sıkışma rejimi sonucu olduğu Şekil 3.15-b'de görülmektedir.



Şekil 3.15 İstasyon 1’de ölçülen fay düzlemlerine ait arazi fotoğrafı (a) ve Carey yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda elde edilen sonuçların Wulff ağı üzerinde (alt yarım küre) gösterimi (b).

İstasyon 2: Bu istasyonu oluşturan veriler inceleme alanının güneyinde ilçe merkezine yaklaşık 2 km uzaklıkta bulunan su kanalı için açılan yarmada gözlemlenen kayma çizikleri ölçülerek derlenmiştir. Bu veriler Aşağıkale Formasyonu olarak adlandırılan ve aglomera, kumtaşı ardalanması ve bazaltik lav akıntılarında oluşan kayalar üzerinde gelişmiş fay düzlemlerinde ölçülmüştür. Ölçümlerin yapılmasında fay düzlemlerinde gözlenen kayma çiziklerinden yararlanılmıştır. Bu volkanik kayaların üzerinde çok net olarak görülen kayma çizikleri hareketin türü hakkında bilgi vermektedir. Bu fayların normal bileşene sahip sağ yanal doğrultu atımlı faylar olduğu belirlenmiştir. Elde edilen verilerin analizi ve istasyona ait görüntü Şekil 3.16’da verilmiştir. İstasyon 2’den elde edilen verilerin Carey (1979)’in sayısal analiz

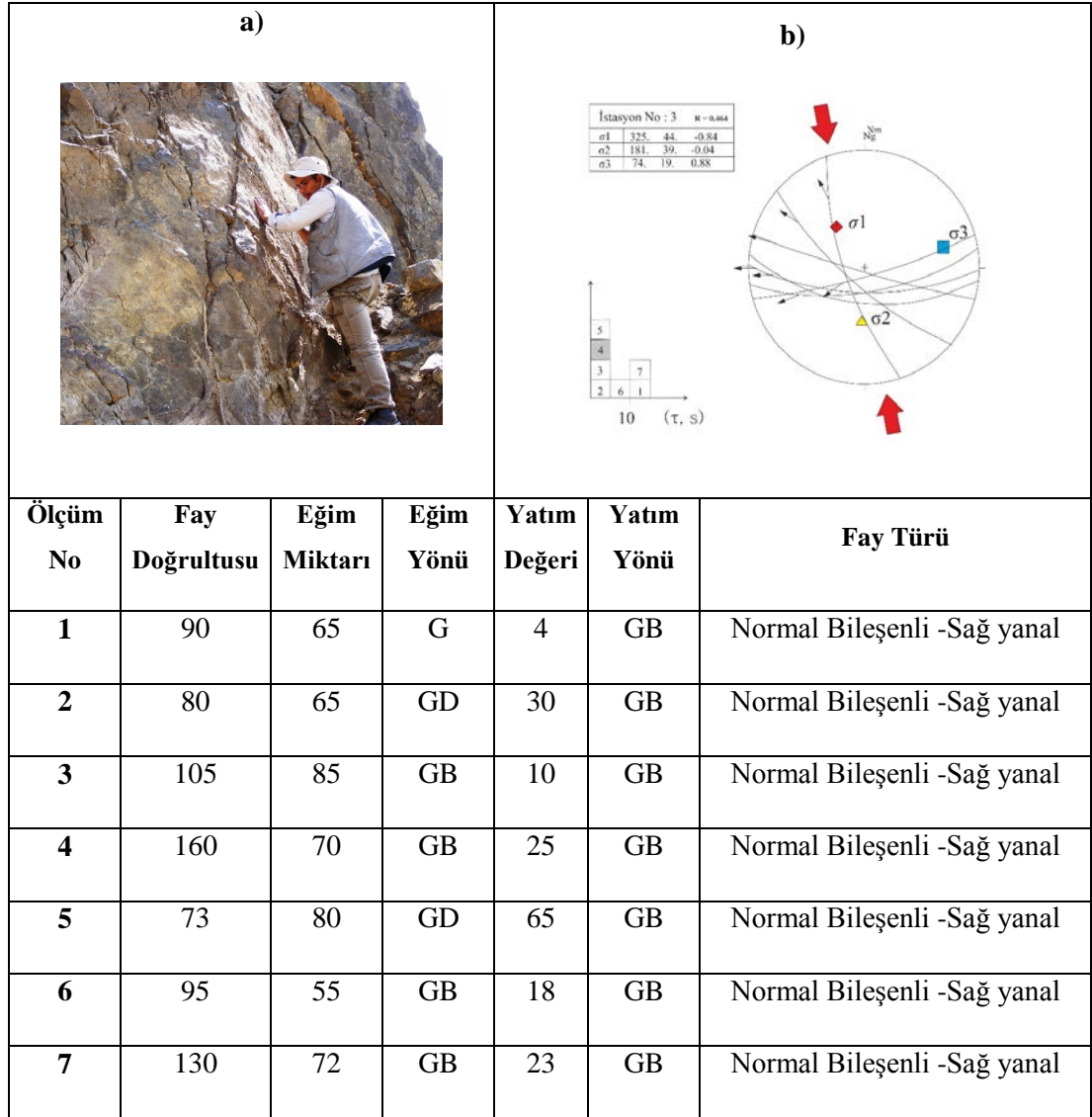
yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda, bu fayların yaklaşık olarak KKD-GGB doğrultulu sıkışma rejimi sonucu oluştuğu Şekil 3.16-b' de görülmektedir.



Şekil 3.16 İstasyon 2’de ölçülen fay düzlemlerine ait fotoğraf (a) ve Carey yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda elde edilen sonuçların Wulff ağı üzerinde (alt yarı küre) gösterimi (b).

İstasyon 3: Bu istasyonu oluşturan veriler inceleme alanının güneydoğusunda Yukarıkale mahallesi güneybatısında yaklaşık 300 m uzaklıkta bulunan su kanalı için açılan yarmada gözlemlenen kayma çizikleri ölçülerek derlenmiştir. Bu veriler Aşağıkale Formasyonu olarak adlandırılan ve aglomera kumtaşı ardalanması ve bazaltik lav akıntılarında oluşan kayalar üzerinde gelişmiş fay düzlemlerinden oluşmaktadır. Ölçümlerin yapılmasında fay düzlemlerinde gözlenen kayma çiziklerinden yararlanılmıştır. Bu fayların normal bileşeni olan, sağ yanal doğrultu atımlı faylar olduğu belirlenmiştir. Elde edilen verilerin analizi ve istasyona ait fotoğraf Şekil 3.17’ de verilmiştir. İstasyon 3’den elde edilen verilerin Carey (1979)’in

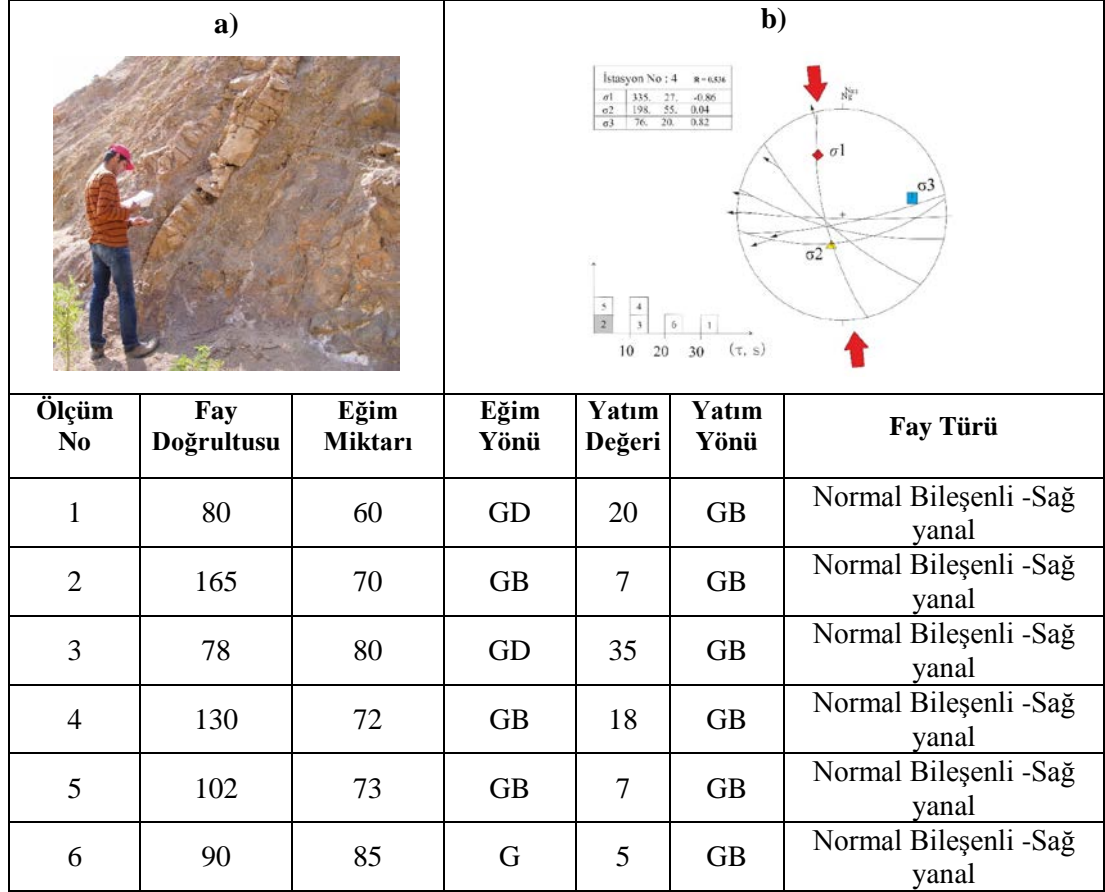
sayısal analiz yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda, bu fayların yaklaşık olarak KKB-GGD doğrultulu sıkışma rejimi sonucu oluştuğu Şekil 3.17-b’de görülmektedir.



Şekil 3.17 İstasyon 3’de ölçülen fay düzlemlerine ait fotoğraf (a) ve Carey yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda elde edilen sonuçların Wulff ağı üzerinde (alt yarı küre) gösterimi (b).

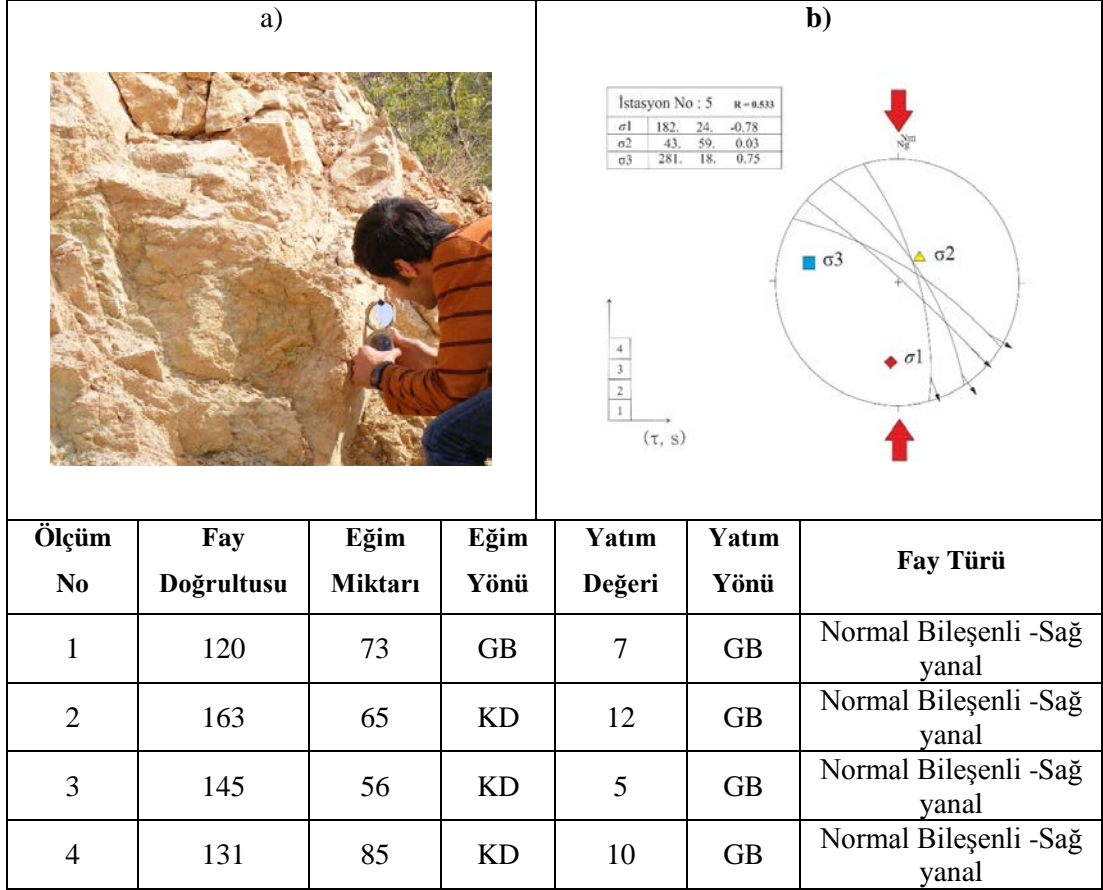
İstasyon 4: Bu istasyonu oluşturan veriler inceleme alanının güneydoğusunda Yukarıkale mahallesi batısında ve yaklaşık 500 m uzaklıkta bulunan su kanalı için açılan yarmada gözlemlenen fay düzlemlerinden derlenmiştir. Bu veriler Aşağıkale Formasyonu olarak adlandırılan ve aglomera kumtaşı ardalanması ve bazaltik lav akıntılarında oluşan kayaçlar üzerinde gelişmiş fay düzlemlerinden oluşmaktadır. Bu volkanik kayaçların üzerinde çok net olarak görülen kayma çizikleri hareketin türü hakkında bilgi vermektedir. Bu fayların normal bileşeni olan, sağ yanal doğrultu atımlı faylar olduğu belirlenmiştir. Elde edilen verilerin analizi ve istasyona ait fotoğraf Şekil

3.18’ de verilmiştir. İstasyon 4’den elde edilen verilerin Carey (1979)’in sayısal analiz yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda, bu fayların yaklaşık olarak KKB-GGD doğrultulu sıkışma rejimi sonucu olduğu Şekil 3.18-b’de görülmektedir.



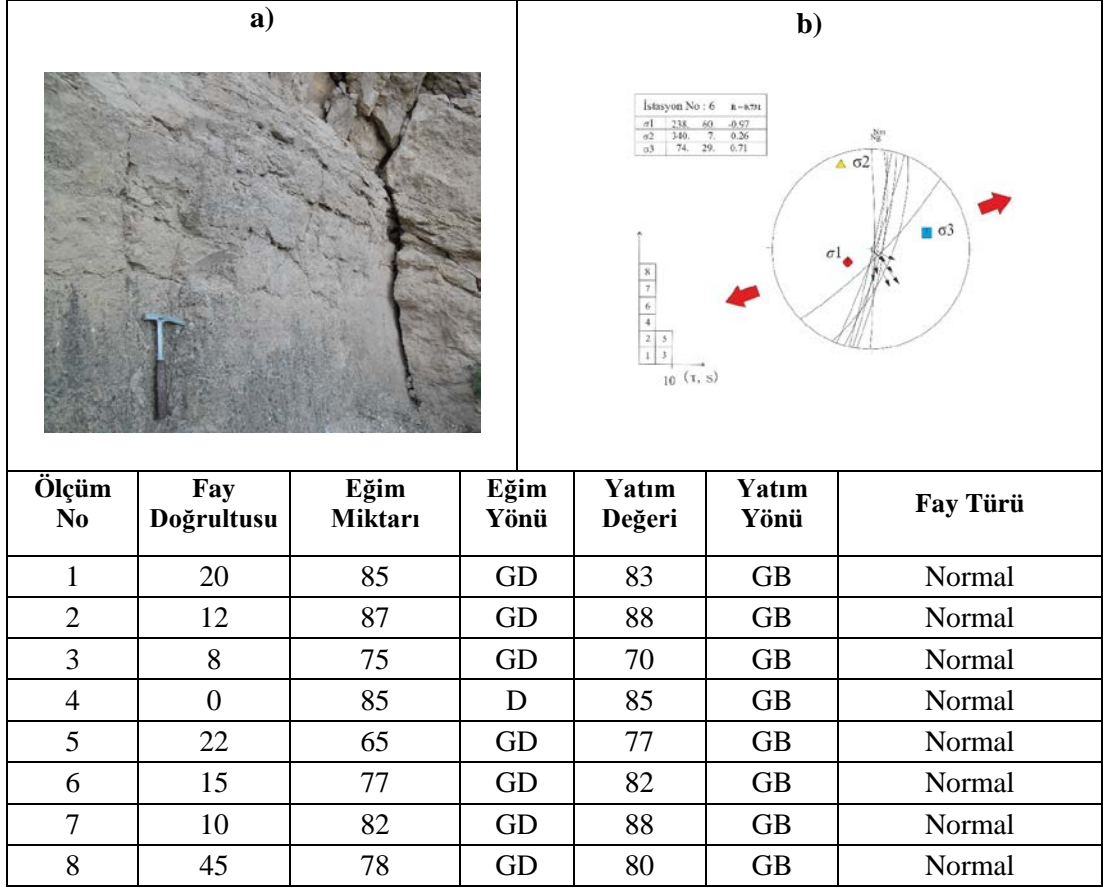
Şekil 3.18 İstasyon 4’de ölçülen fay düzlemlerine ait fotoğraf (a) ve Carey yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda elde edilen sonuçların Wulff ağı üzerinde (alt yarı küre) gösterimi (b).

İstasyon 5: Bu istasyonu oluşturan veriler ilçe merkezinin güneydoğusunda yer alan akarsu teraslarında yer alan yarmalarda gözlemlenen fay düzlemlerindeki kayma çizikleri ölçülerek derlenmiştir. Fay düzlemleri Düdenyaylası Formasyonu olarak adlandırılan ve sarı renkli orta tabakalı kumlu kireçtaşı üzerinde gelişmiştir. Kinematik analizler sonucu bu fayların normal bileşeni olan, sağ yanal doğrultu atımlı faylar olduğu belirlenmiştir. Elde edilen verilerin analizi ve istasyona ait arazi fotoğrafı Şekil 3.19’da verilmiştir. İstasyon 5’den elde edilen verilerin Carey (1979)’in sayısal analiz yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda, bu fayların yaklaşık olarak K-G doğrultulu sıkışma rejimi sonucu olduğu Şekil 3.19-b’de görülmektedir.



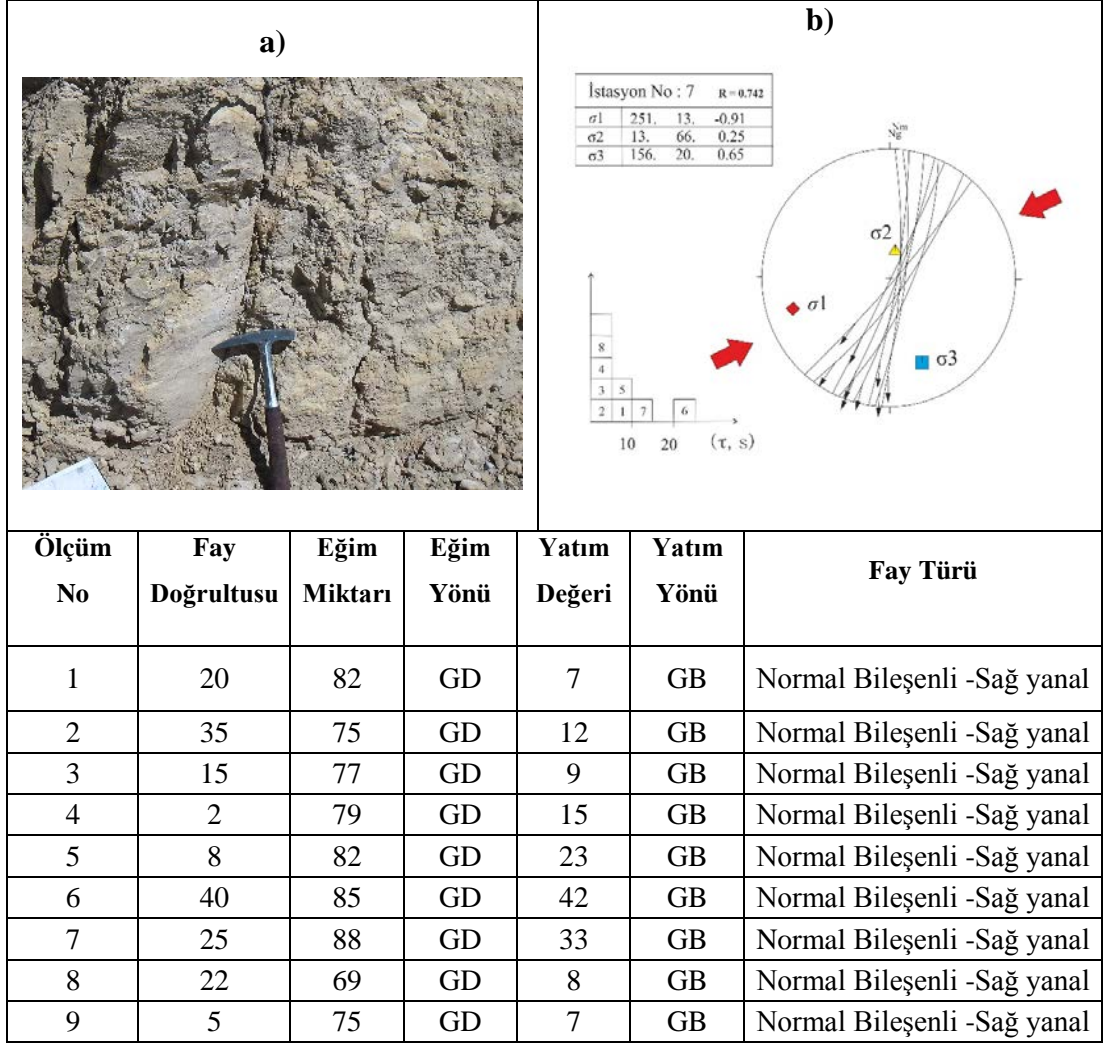
Şekil 3.19 İstasyon 5’de ölçülen fay düzlemlerine ait fotoğraf (a) ve Carey yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda elde edilen sonuçların Wulff ağı üzerinde (alt yarı küre) gösterimi (b).

İstasyon 6: Bu istasyonu oluşturan veriler ilçe merkezinin güneybatısında yer alan yol kenarında doğal yarmalarda gözlemlenen fay düzlemlerindeki kayma çizikleri ölçülerek derlenmiştir. Düdenyaylası Formasyonu olarak adlandırılan ve sarı renkli orta tabakalı kumlu kireçtaşı üzerinde gelişmiş fay düzlemlerinde gözlenen kayma çizikleri ve kireçtaşı üzerindeki kalsitleşmeden yararlanılmıştır. Kireçtaşları üzerinde çok net olarak görülen kayma çizikleri hareketin türü hakkında bilgi vermektedir. Bu fayların sağ yanal doğrultu atımlı bileşene sahip normal faylar olduğu belirlenmiştir. Elde edilen verilerin analizi ve istasyona ait arazi fotoğrafı Şekil 3.20’ de verilmiştir. İstasyon 6’dan elde edilen verilerin Carey (1979)’in sayısal analiz yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda, bu fayların yaklaşık olarak DKD-BGB doğrultulu genişleme rejimi sonucu olduğu Şekil 3.20-b’de görülmektedir.



Şekil 3.20 İstasyon 6’da ölçülen fay düzlemlerine ait fotoğraf (a) ve Carey yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda elde edilen sonuçların Wulff ağı üzerinde (alt yarı küre) gösterimi (b).

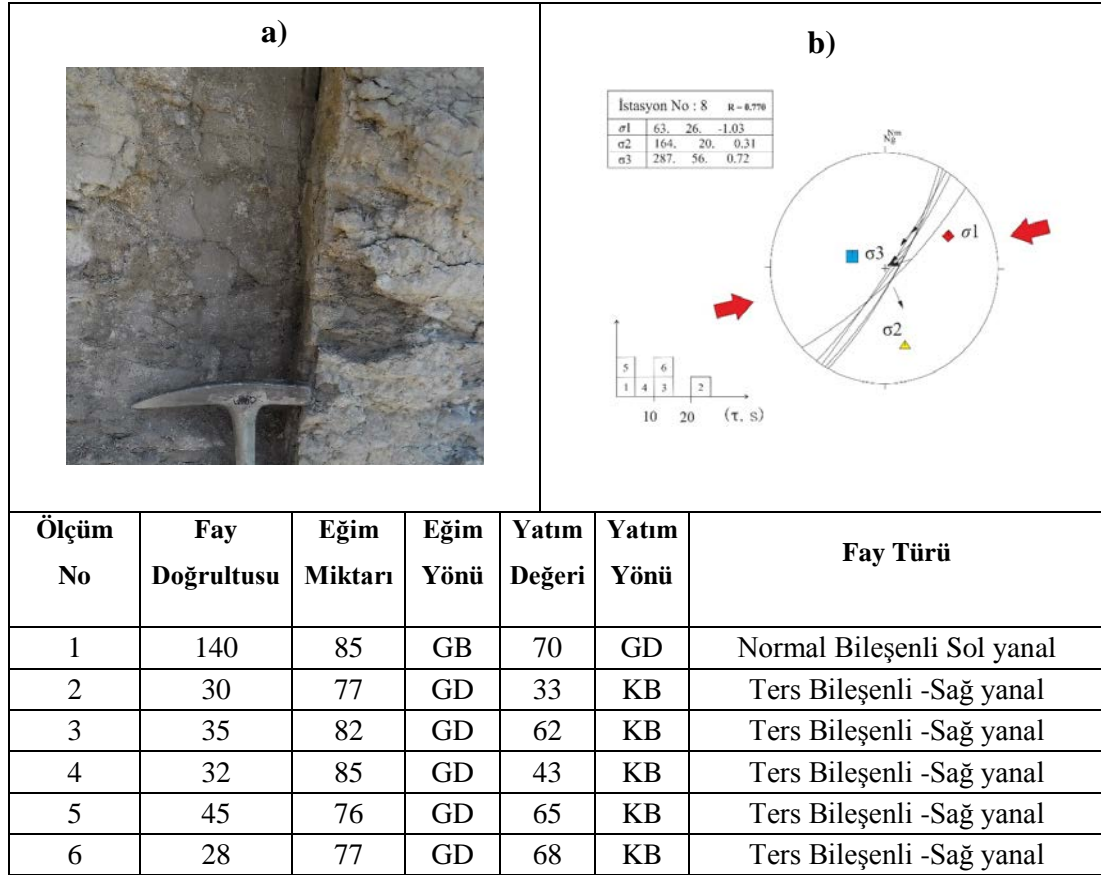
İstasyon 7: Bu istasyonu oluşturan veriler ilçe merkezinin güneybatısında yer alan Çamlıyaka mahallesinin yaklaşık 200 m kuzeyinde doğal yarmalarda gözlemlenen kayma çizikleri ölçülerek derlenmiştir. Bu veriler Düdenyaylası Formasyonu olarak adlandırılan ve sarı renkli orta tabakalı kumlu kireçtaşı üzerinde gelişmiş fay düzlemlerinden oluşmaktadır. Ölçümlerin yapılmasında fay düzlemlerinde gözlenen kayma çizikleri ve kireçtaşı üzerindeki kalsitleşmeden yararlanılmıştır. Kireçtaşları üzerinde çok net olarak görülen kayma çizikleri hareketin türü hakkında bilgi vermektedir. Bu fayların normal bileşeni olan, sağ yanal doğrultu atımlı faylar olduğu belirlenmiştir. Elde edilen verilerin analizi ve istasyona ait fotoğraf Şekil 3.21’de verilmiştir. İstasyon 7’den elde edilen verilerin Carey (1979)’in sayısal analiz yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda, bu fayların yaklaşık olarak KD-GB doğrultulu sıkışma rejimi sonucu oluştuğu Şekil 3.21-b’de görülmektedir.



Şekil 3.21 İstasyon 7’de ölçülen fay düzlemlerine ait fotoğraf (a) ve Carey yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda elde edilen sonuçların Wulff ağı üzerinde (alt yarı küre) gösterimi (b).

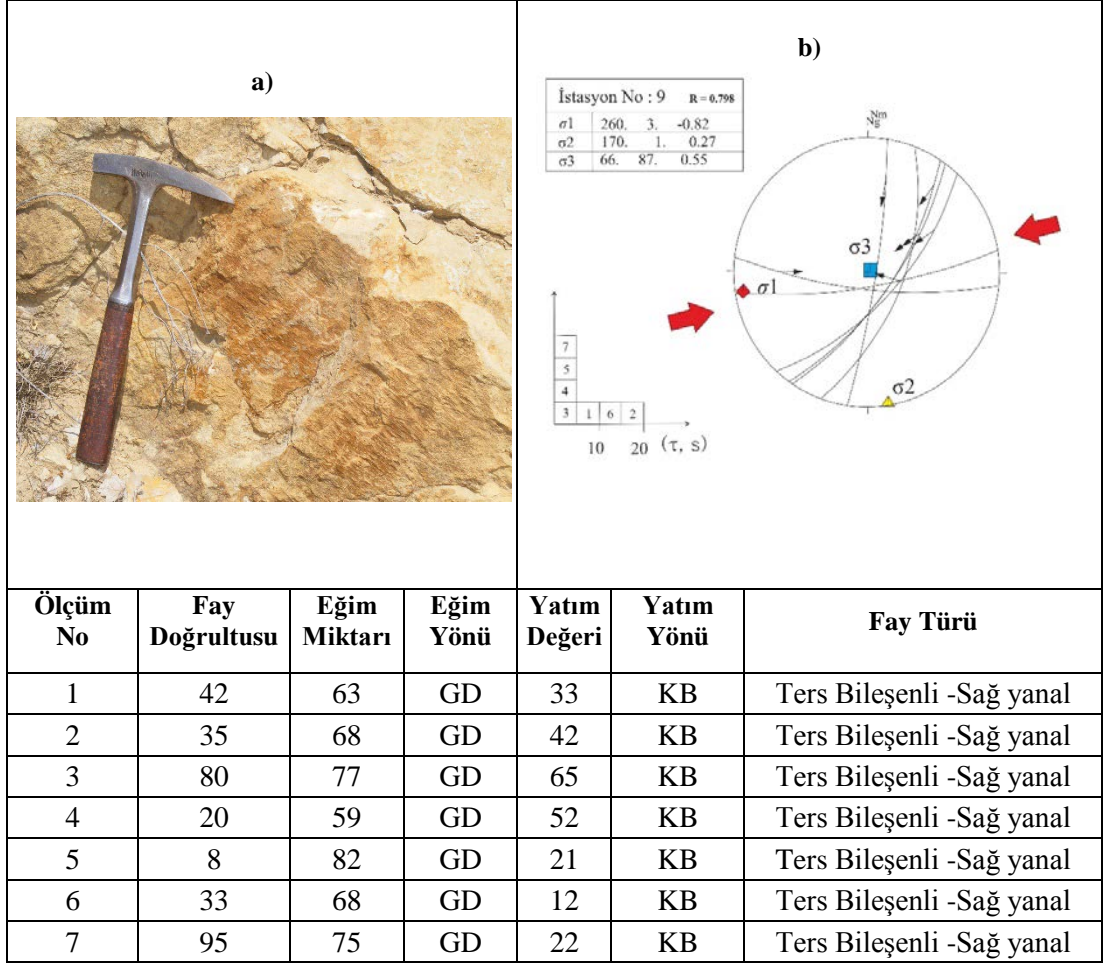
İstasyon 8: Bu istasyondaki veriler ilçe merkezinin yaklaşık 400 m kuzeybatısında akarsu teraslarında yer alan yarmalarda gözlemlenen fay düzlemlerinden elde edilmiştir. Fay düzlemleri Koyulhisar Formasyonu olarak adlandırılan ve gevşek dokulu aglomera-tüf ve gri-yeşil renkli, breşik görünümlü andezitik lav akıntıları ve konglomeraların oluşturduğu birimler içerisinde yer alır. Ölçümlerin yapılmasında gevşek dokulu malzeme üzerinde kayma çizikleri görülemediğinden tabanda biriken marnlı seviyedeki fay düzlemlerinde gözlenen kayma çiziklerinden yararlanılmıştır. Bu killi seviye detaylı incelendiğinde kayma çizikleri görülebilmektedir. Kinematik analiz sonucunda bu fayların ters bileşeni olan, sağ yanal doğrultu atımlı faylar olduğu belirlenmiştir. Elde edilen verilerin analizi ve istasyona ait arazi fotoğrafı Şekil 3.22’de verilmiştir. İstasyon 8’den elde edilen verilerin Carey (1979)’in sayısal analiz

yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda, bu fayların yaklaşık olarak KD-GB doğrultulu sıkışma rejimi sonucu oluştuğu Şekil 3.22-b’de görülmektedir.



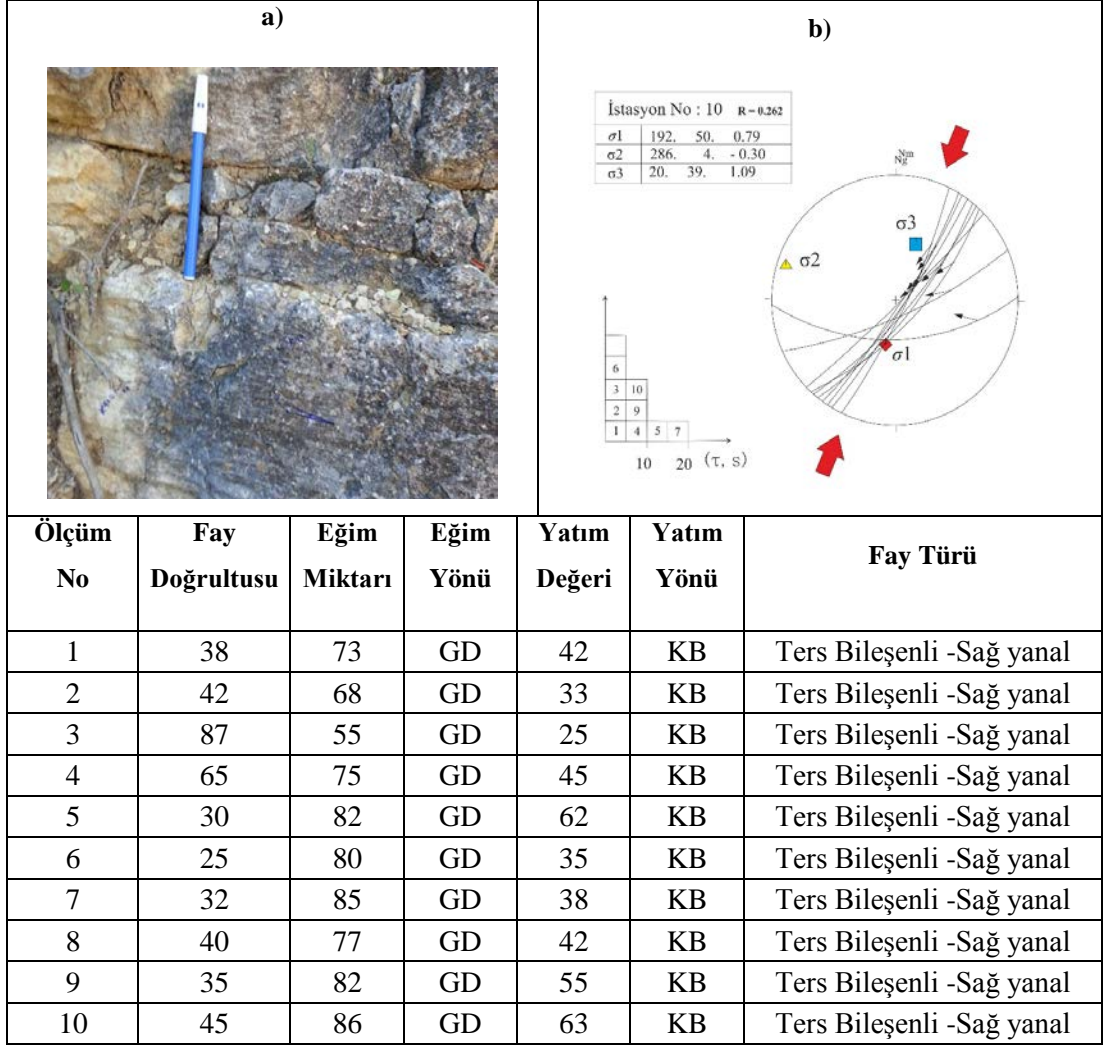
Şekil 3.22 İstasyon 8’de ölçülen fay düzlemlerine ait fotoğraf (a) ve Carey yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda elde edilen sonuçların Wulff ağı üzerinde (alt yarı küre) gösterimi (b).

İstasyon 9: Bu istasyonu oluşturan veriler ilçe merkezinin yaklaşık 200 m kuzeyinde akarsu teraslarında yer alan yarmalarda gözlemlenen fay düzlemleri üzerindeki kayma çizikleri ölçülerek derlenmiştir. Fay düzlemleri Düdenyaylası Formasyonu olarak adlandırılan kumlu siltli kireçtaşları üzerinde kayma çizikleri ve fay düzlemleri görülmüş, gözlenen kayma çiziklerinden yararlanılmıştır. Bu fayların ters bileşeni olan, sağ yanal doğrultu atımlı olduğu belirlenmiştir. Elde edilen verilerin analizi ve istasyona ait arazi fotoğrafı Şekil 3.23’de verilmiştir. İstasyon 9’dan elde edilen verilerin Carey (1979)’in sayısal analiz yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda, bu fayların yaklaşık olarak DKD-BGB doğrultulu sıkışma rejimi sonucu oluştuğu Şekil 3.23-b’de görülmektedir.



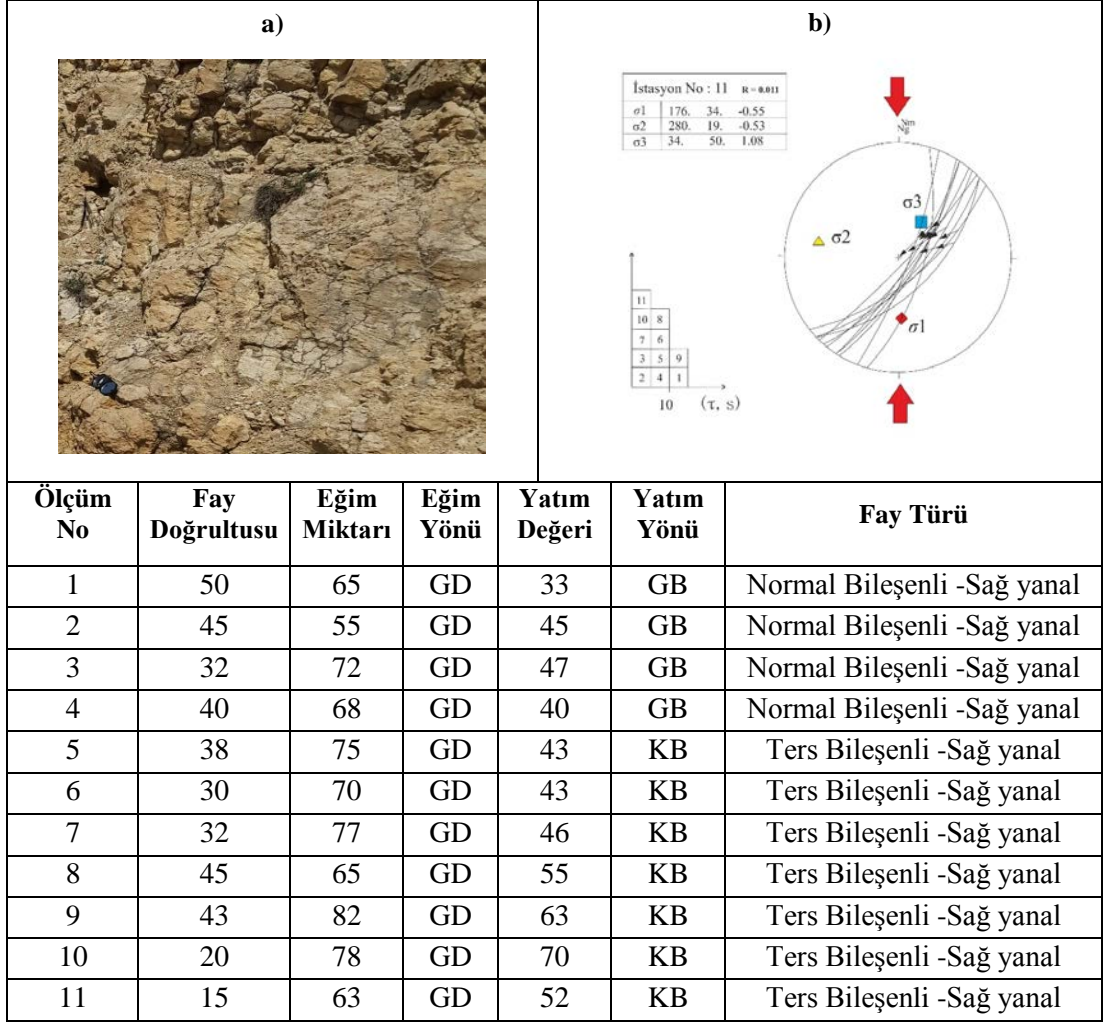
Şekil 3.23 İstasyon 9’da ölçülen fay düzlemlerine ait fotoğraf (a) ve Carey yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda elde edilen sonuçların Wulff ağı üzerinde (alt yarı küre) gösterimi (b).

İstasyon 10: Bu istasyonu oluşturan veriler ilçe merkezinin kuzeydoğusunda, yaklaşık 800 m uzaklıkta yol yarmasında gözlemlenen düzlemlerdeki kayma çizikleri ölçülerek derlenmiştir. Düdenyaylası Formasyonu olarak adlandırılan kumlu siltli kireçtaşları üzerindeki kayma düzlemlerinde gelişen çiziklerden yararlanılmıştır. Kinematik analiz sonucu, bu fayların ters bileşeni olan, sağ yanal doğrultu atımlı olduğu belirlenmiştir. Elde edilen verilerin analizi ve istasyona ait arazi fotoğrafı Şekil 3.24’ de verilmiştir. İstasyon 10’dan elde edilen verilerin Carey (1979)’in sayısal analiz yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda, bu fayların yaklaşık olarak KD-GB doğrultulu sıkışma rejimi sonucu olduğu Şekil 3.24-b’de görülmektedir.



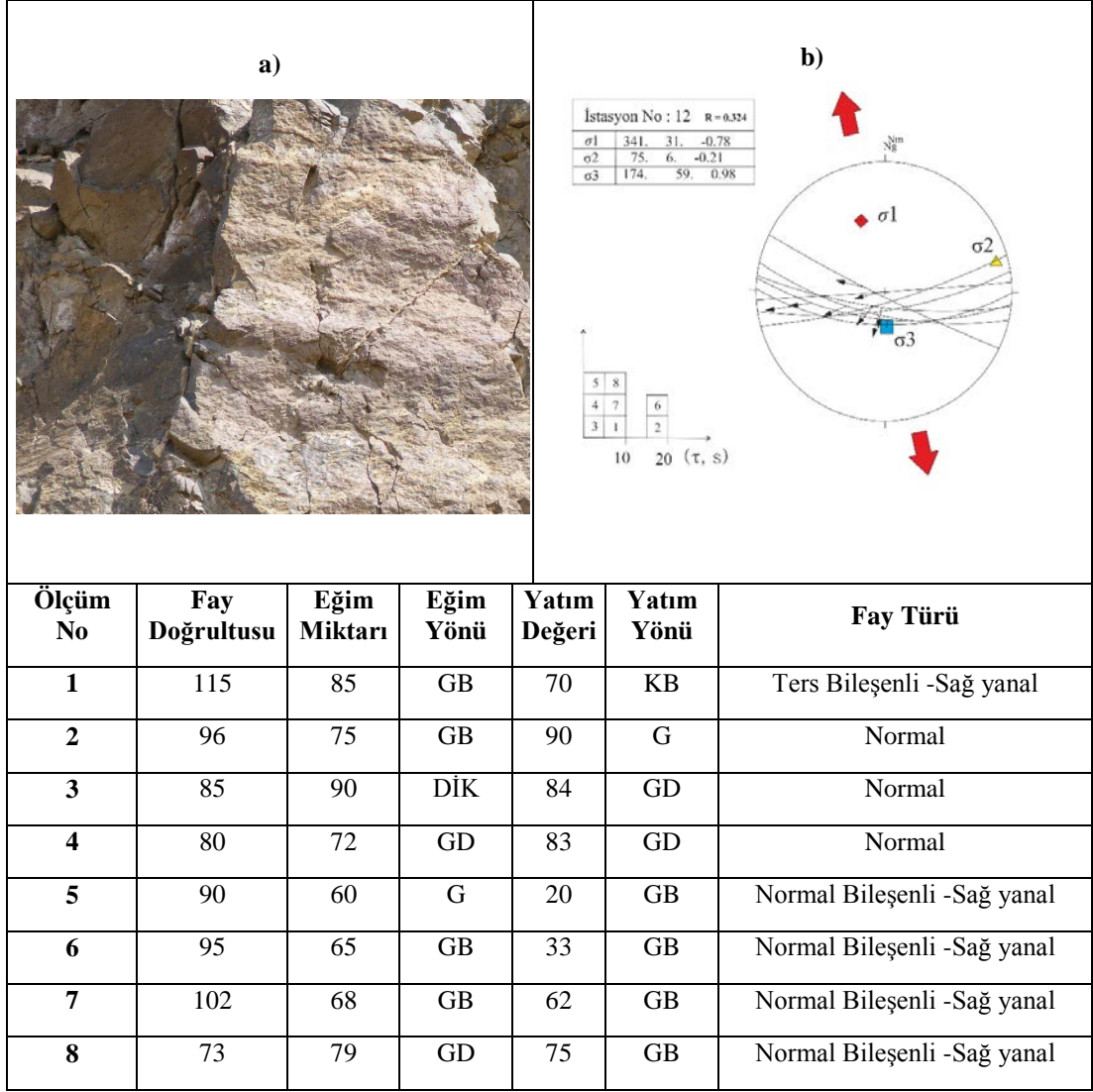
Şekil 3.24 İstasyon 10'da ölçülen fay düzlemlerine ait fotoğraf (a) ve Carey yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda elde edilen sonuçların Wulff ağı üzerinde (alt yarı küre) gösterimi (b).

İstasyon 11: Bu ölçüm noktası ilçe merkezinin yaklaşık 3.5 km kuzeydoğusunda İkizyaka köyü yol yarmasında bulunmaktadır. İğdir Formasyonu olarak adlandırılan kireçtaşları üzerinde gözlenen kayma çizikleri ve fay düzlemlerinden yararlanılmıştır. Analiz sonucu, bu fayların ters bileşenli olan, sağ yanal doğrultu atımlı olduğu belirlenmiştir. Elde edilen verilerin analizi ve istasyona ait arazi fotoğrafı Şekil 3.25' de verilmiştir. İstasyon 11'den elde edilen verilerin Carey (1979)'in sayısal analiz yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda, bu fayların yaklaşık olarak K-G doğrultulu sıkışma rejimi sonucu oluştuğu Şekil 3.25-b'de görülmektedir.



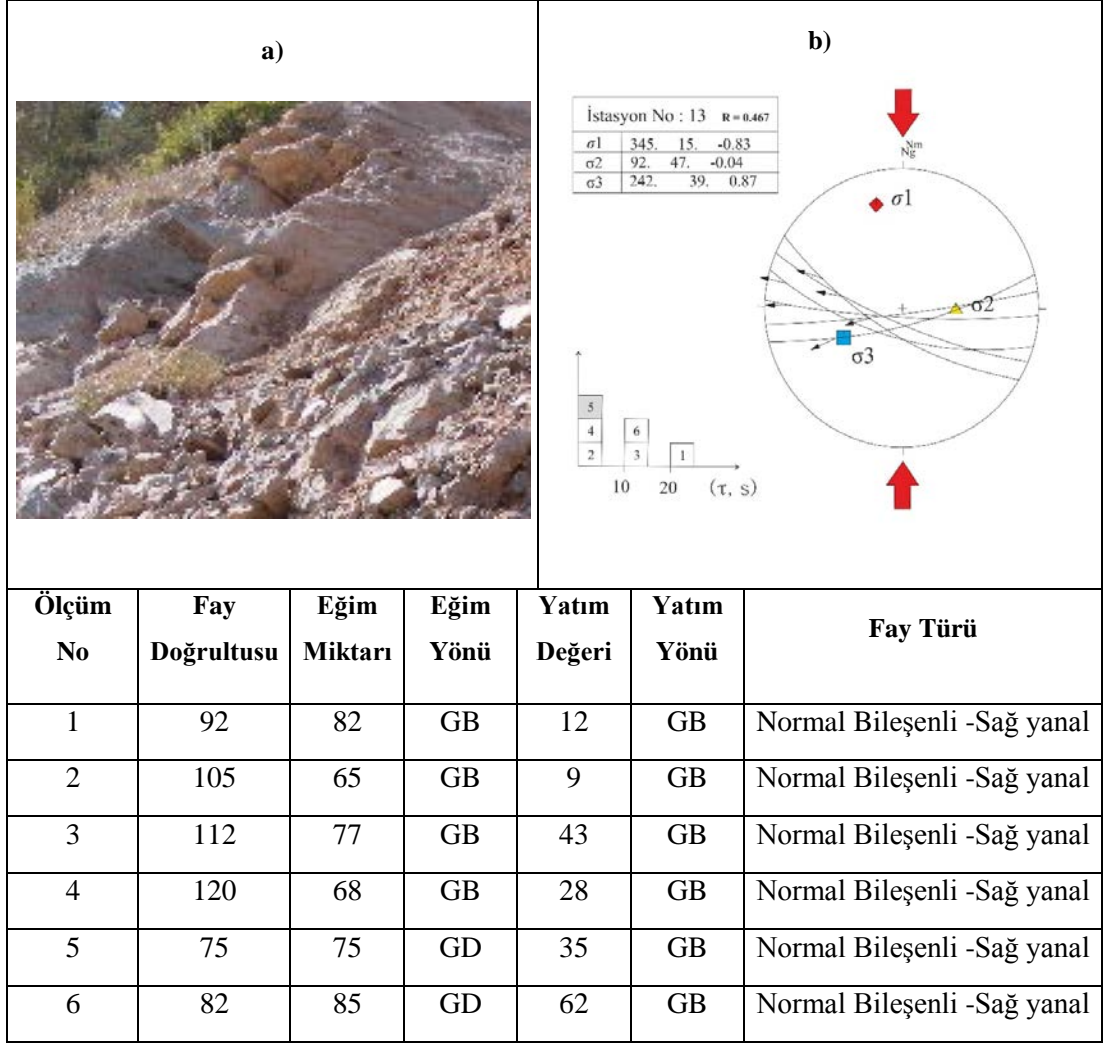
Şekil 3.25 İstasyon 11’de ölçülen fay düzlemlerine ait fotoğraf (a) ve Carey yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda elde edilen sonuçların Wulff ağı üzerinde (alt yarı küre) gösterimi (b).

İstasyon 12: Bu istasyonu oluşturan veriler ilçe merkezine yaklaşık 5 km uzaklıktaki Taşpınar köyü kuzeyinde yol yarmasında gözlemlenen kayma çizikleri ölçülerek derlenmiştir. Ölçümler Dumanlıca Formasyonu olarak adlandırılan andezitik-bazaltik karakterli volkaniklerden oluşan kayalar üzerinde kayma çizikleri ve fay düzlemleri görülmüş, gözlenen kayma çiziklerinden yararlanılmıştır. Bu fayların normal bileşenli doğrultu atımlı sağ yanal faylar olduğu belirlenmiştir. Elde edilen verilerin analizi ve istasyona ait arazi fotoğrafı Şekil 3.26’da verilmiştir. İstasyon 12’den elde edilen verilerin Carey (1979)’in sayısal analiz yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda, bu fayların yaklaşık olarak KKB-GGD doğrultulu genişleme rejimi sonucu oluştuğu Şekil 3.26-b’de görülmektedir.



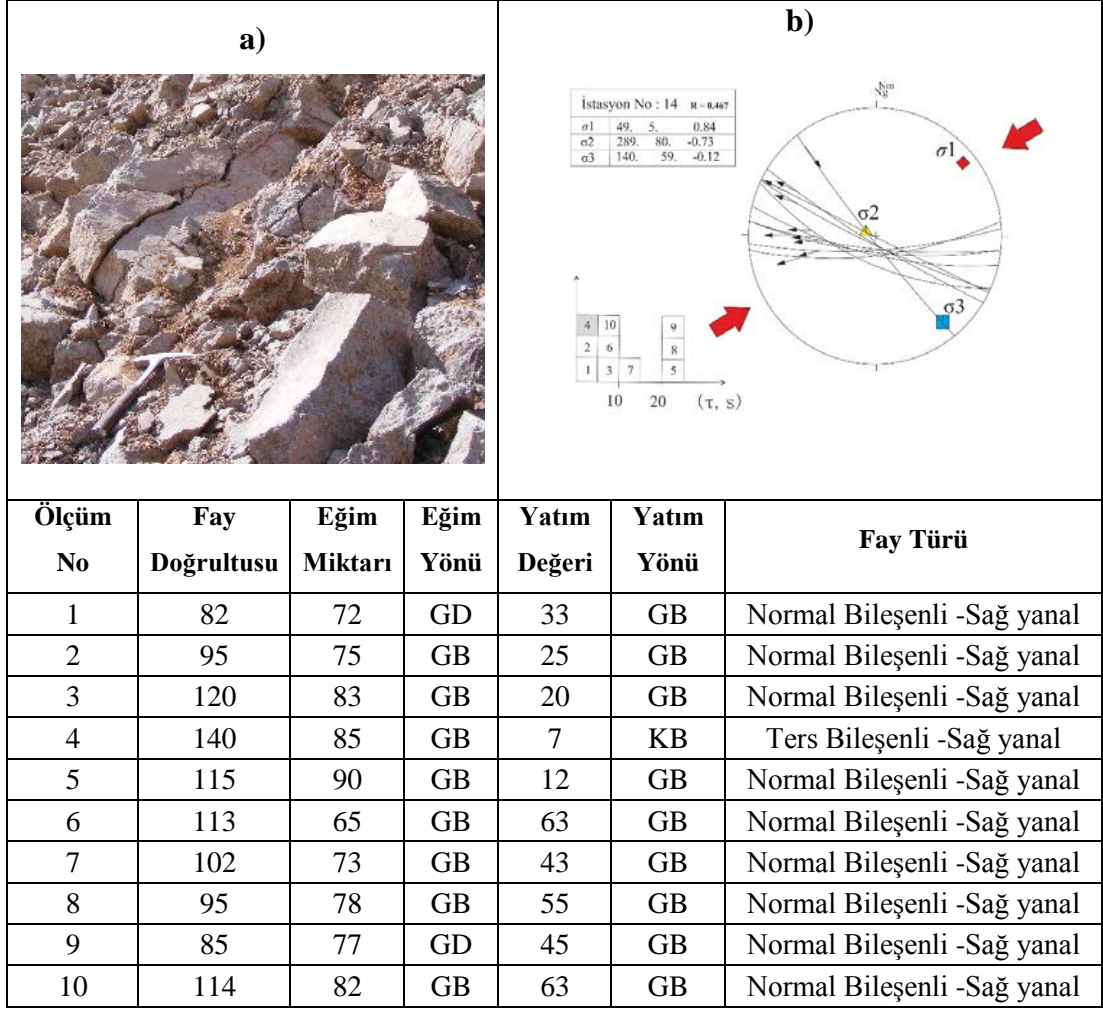
Şekil 3.26 İstasyon 12’de ölçülen fay düzlemlerine ait fotoğraf (a) ve Carey yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda elde edilen sonuçların Wulff ağı üzerinde (alt yarı küre) gösterimi (b).

İstasyon 13: Bu istasyonu oluşturan veriler ilçe merkezinin yaklaşık 5 km kuzeydoğusunda yer alan Taşpınar köyü kuzeybatısında yol yarmasında gözlemlenen kayma çizikleri ölçülerek derlenmiştir. Ölçümler Dumanlıca Formasyonu olarak adlandırılan andezitik-bazaltik karakterli volkaniklerden oluşan kayalar üzerinde gelişmiş kayma çizikleri ve fay düzlemlerinde gerçekleştirilmiştir. Bu fayların normal bileşenli doğrultu atımlı sağ yanal faylar olduğu belirlenmiştir. Elde edilen verilerin analizi ve istasyona ait arazi fotoğrafı Şekil 3.27’de verilmiştir. İstasyon 13’den elde edilen verilerin Carey (1979)’in sayısal analiz yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda, bu fayların yaklaşık olarak K-G doğrultulu sıkışma rejimi sonucu oluştuğu Şekil 3.27-b’de görülmektedir.



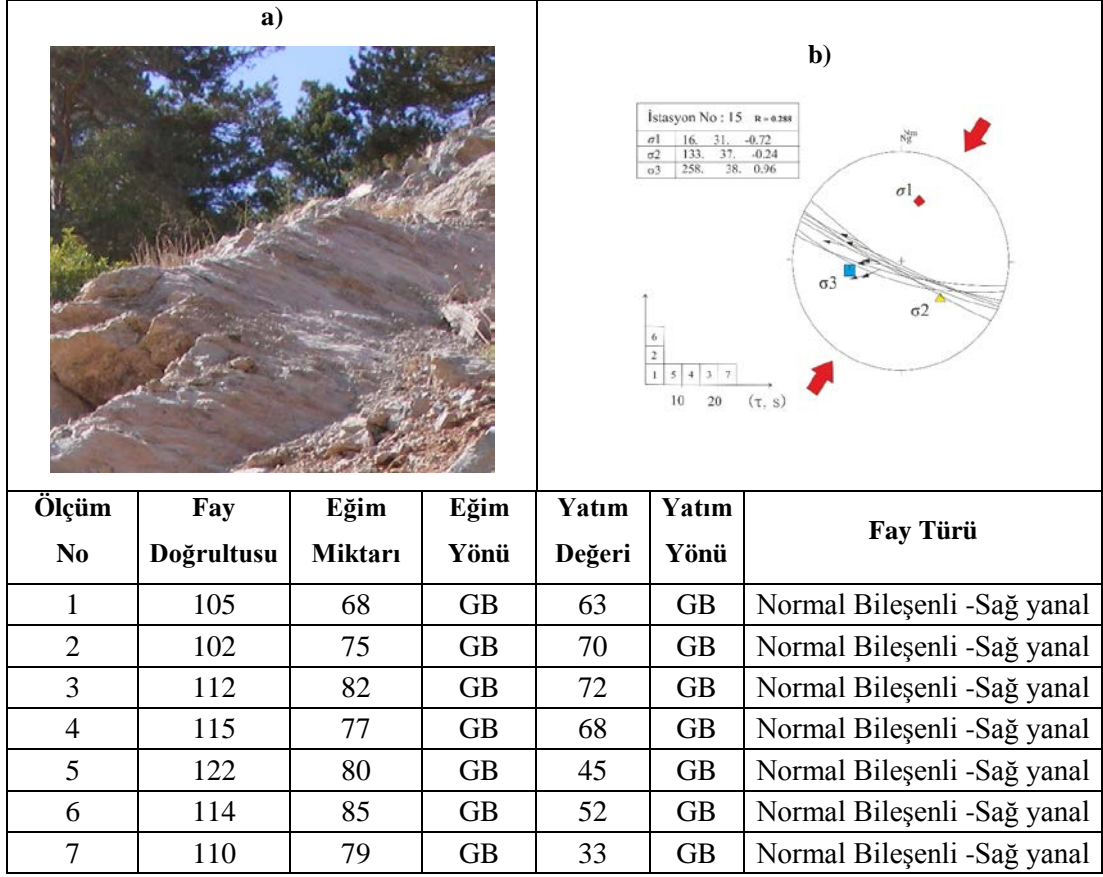
Şekil 3.27 İstasyon 13’de ölçülen fay düzlemlerine ait fotoğraf (a) ve Carey yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda elde edilen sonuçların Wulff ağı üzerinde (alt yarı küre) gösterimi (b).

İstasyon 14: Bu istasyonu oluşturan veriler ilçe merkezine yaklaşık 5 km uzaklıktaki Mesudiye karayolu yol yarmasında gözlemlenen kayma çizikleri ölçülerek derlenmiştir. Ölçümler Dumanlıca Formasyonu olarak adlandırılan andezitik-bazaltik karakterli volkaniklerden oluşan kayalar üzerinde gelişen kayma çizikleri ve fay düzlemlerinde yapılmıştır. Bu fayların normal bileşenli doğrultu atımlı sağ yanal faylar olduğu belirlenmiştir. Elde edilen verilerin analizi ve istasyona ait fotoğraf Şekil 3.28’de verilmiştir. İstasyon 14’den elde edilen verilerin Carey (1979)’in sayısal analiz yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda, bu fayların yaklaşık olarak KD-GB doğrultulu sıkışma rejimi sonucu olduğu Şekil 3.28-b’de görülmektedir.



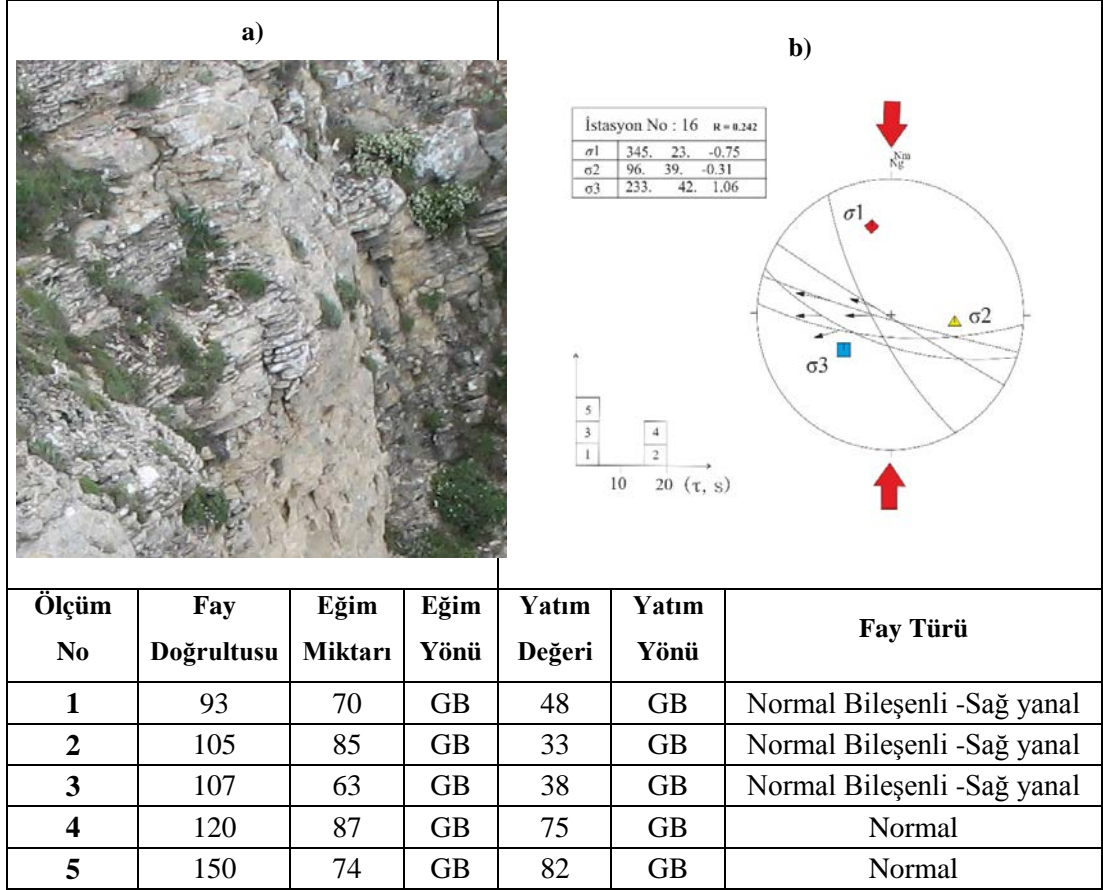
Şekil 3.28 İstasyon 14’de ölçülen fay düzlemlerine ait fotoğraf (a) ve Carey yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda elde edilen sonuçların Wulff ağı üzerinde (alt yarı küre) gösterimi (b).

İstasyon 15: Bu istasyonu oluşturan veriler ilçe merkezinin yaklaşık 7 km kuzeybatısında yer alan Çakılçiftlik kuzeyinde yarmada gözlemlenen kayma çizikleri ölçülerek derlenmiştir. Ölçümler Dumanlıca Formasyonu olarak adlandırılan andezitik-bazaltik karakterli volkaniklerden oluşan kayalar üzerinde kayma çizikleri ve fay düzlemleri görülmüş ve bu kayma çiziklerinden yararlanılmıştır. Bu fayların normal bileşenli doğrultu atımlı sağ yanal faylar olduğu belirlenmiştir. Elde edilen verilerin analizi ve istasyona ait arazi fotoğrafı Şekil 3.29’da verilmiştir. İstasyon 15’den elde edilen verilerin Carey (1979)’in sayısal analiz yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda, bu fayların yaklaşık olarak KD-GB doğrultulu sıkışma rejimi sonucu olduğu Şekil 3.29-b’de görülmektedir.

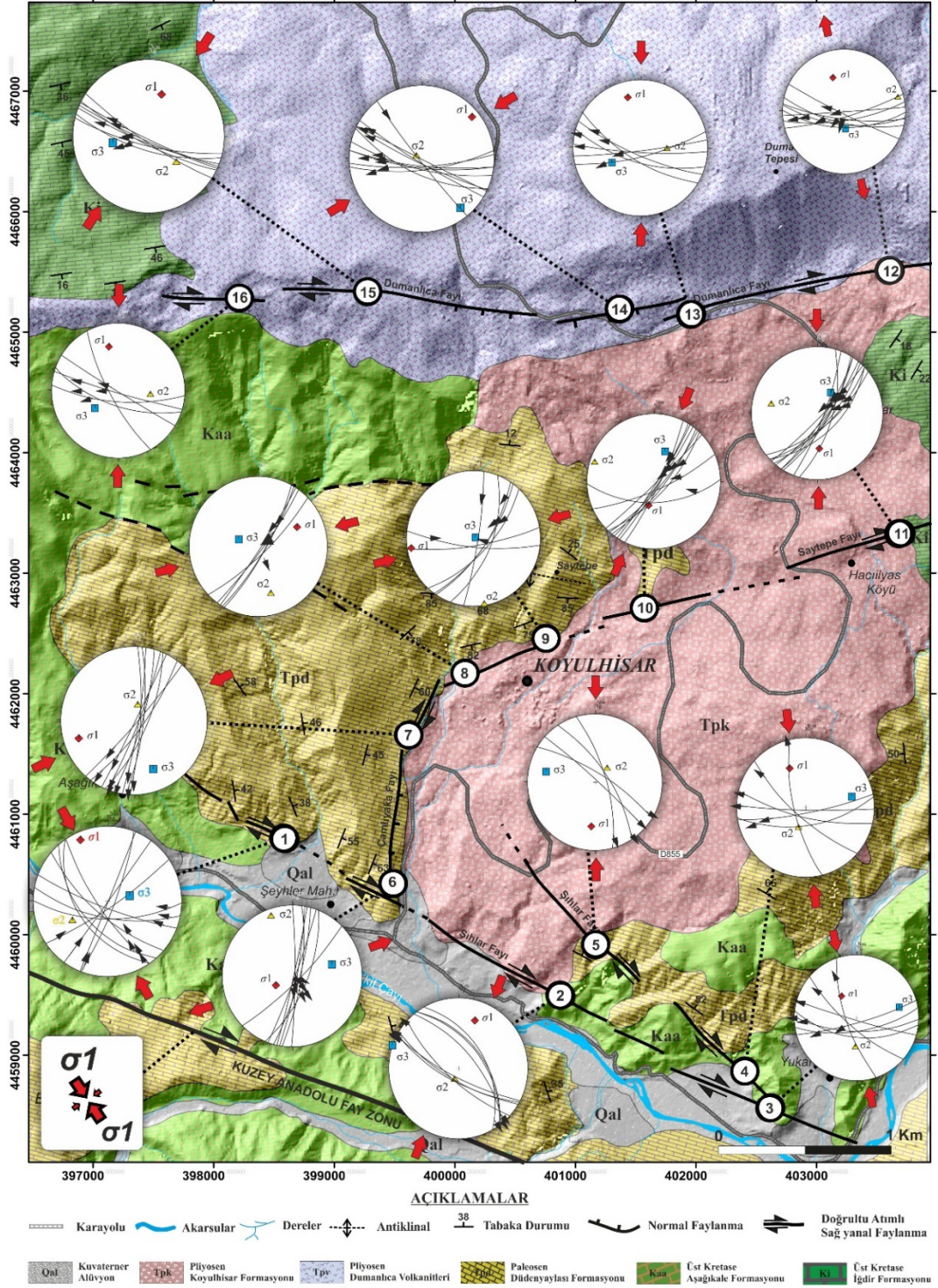


Şekil 3.29 İstasyon 15’de ölçülen fay düzlemlerine ait fotoğraf (a) ve Carey yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda elde edilen sonuçların Wulff ağı üzerinde (alt yarı küre) gösterimi (b).

İstasyon 16: Bu istasyondaki veriler ilçe merkezinden yaklaşık 7 km uzaklıktaki Çakılçiftlik batısında yer alan yarmada gözlemlenen kayma çizikleri ölçülerek derlenmiştir. Ölçümler Dumanlıca Formasyonu olarak adlandırılan andezitik-bazaltik karakterli volkaniklerden oluşan kayalar üzerinde gözlenen kayma çiziklerinden yapılmıştır. Bu fayların normal bileşenli doğrultu atımlı sağ yanal faylar olduğu belirlenmiştir. Elde edilen verilerin analizi ve istasyona ait fotoğraf Şekil 3.30’da verilmiştir. İstasyon 16’dan elde edilen verilerin Carey (1979)’in sayısal analiz yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda, bu fayların yaklaşık olarak K-G doğrultulu sıkışma rejimi sonucu oluştuğu Şekil 3.30-b’de görülmektedir.



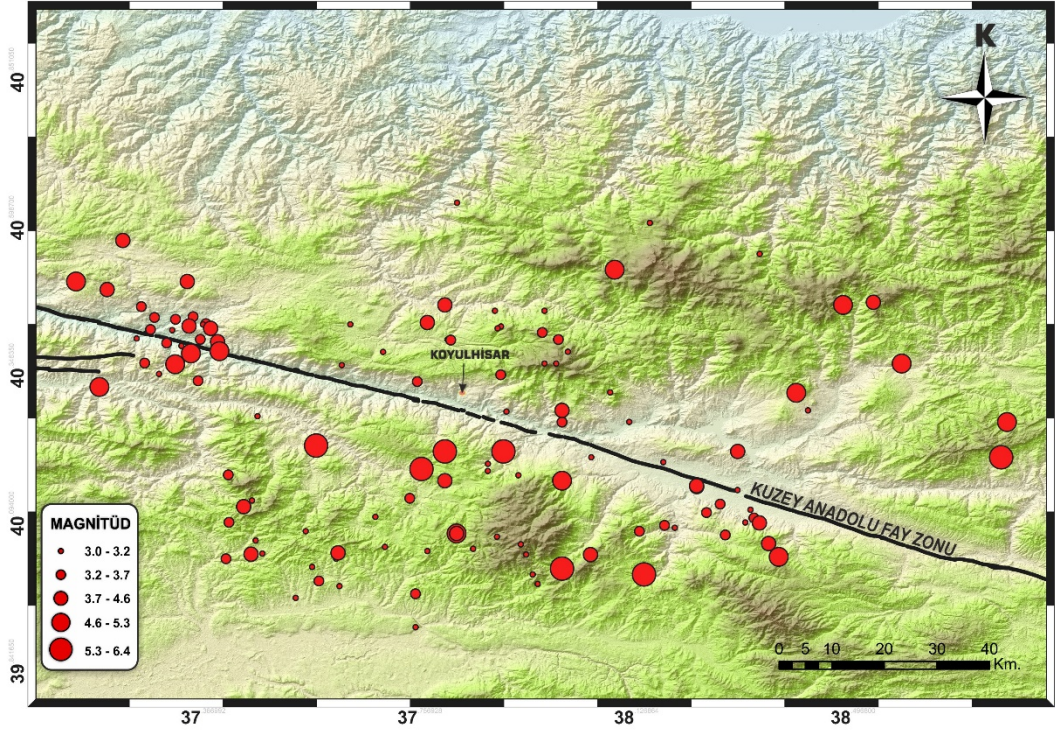
Şekil 3.30 İstasyon 16'da ölçülen fay düzlemlerine ait fotoğraf (a) ve Carey yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda elde edilen sonuçların Wulff ağı üzerinde (alt yarı küre) gösterimi (b).



Şekil 3.31 Ölçüm yapılan istasyonların jeoloji haritası üzerinde dağılımı ve kinematik analiz sonuçları.

3.4.4. Çalışma Alanının Depremselliği

Çalışma alanı Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde yer alan sismik aktivitelerin yoğun olduğu bir kuşak üzerinde yer almaktadır. Bölge, oluşabilecek orta-büyük ölçekteki depremlerle heyelan oluşturabilecek potansiyele sahiptir. Bölgenin topoğrafik özellikleri ve aktif fay zonu üzerinde olması nedeniyle küçük ölçekte gelişen fayların yanı sıra yoğun süreksizliklerin olması Kelkit Vadisi boyunca bölgeyi kütle hareketleri açısından olumsuz etkilemektedir. Çalışma alanına ait Kandilli Rasathanesi ve AFAD verileri derlenip bölgedeki tarihsel ve aletsel depremler Şekil 3.32’ de, Çizelge 3.3’de sunulmaktadır.



Şekil 3.32 Çalışma alanı çevresinde 1900-2014 yılları arasında meydana gelen 3 ve üzeri büyüklükteki depremler. Deprem verileri için Çizelge 3’e bakınız (Kandilli Rasathanesi ve AFAD verilerinden üretilmiştir).

Çizelge 3.3 Bölgede 1900-2014 yılları arasında meydana gelen 3 ve üzeri büyüklükteki depremler (Kandilli Rasathanesi ve AFAD Deprem Kataloğu)

Tarih	Enlem	Boylam	Büyükük
16.08.2014	40.1788	37.8735	3
28.04.2013	40.0957	38.2467	3.6
09.11.2012	40.0575	38.2788	3.6
29.04.2012	40.037	37.6977	3
22.01.2012	40.0865	38.3277	3.3
15.01.2012	40.0788	38.313	3
14.01.2012	40.0428	38.3527	4.2
14.01.2012	40.1005	38.3218	3.1
14.01.2012	40.078	38.3372	4
22.10.2011	40.0697	38.1927	3
23.08.2011	40.4132	37.8958	3
11.06.2011	40.003	37.5733	3.2
31.01.2011	39.957	37.7497	3.4
06.10.2010	40.3698	37.6945	3
01.10.2010	40.4168	37.6385	3
15.08.2010	40.6243	37.8208	3
05.08.2010	40.0415	37.9295	3
06.07.2010	40.048	37.4768	3.2
04.07.2010	40.0247	37.469	4.3
04.07.2010	40.0258	37.4882	3
12.06.2010	40.0242	37.9388	3.1
16.04.2010	40.0545	37.889	3.2
25.03.2010	40.3472	37.6238	3
13.03.2010	40.0637	38.1322	3.4
27.02.2010	40.3008	38.0822	3.2
24.01.2010	40.0738	38.175	3.4
09.01.2010	39.95	37.5452	3
17.10.2009	39.9738	37.9583	3
05.09.2009	40.268	37.905	3.1
26.08.2009	40.0338	37.8482	3.1
21.04.2009	40.0883	37.6813	3.2
19.04.2009	40.44	37.8855	3.1
17.03.2009	40.403	37.9663	3.5
17.03.2009	40.391	37.9937	3.4
13.01.2009	40.017	37.6143	3
16.11.2008	40.1163	37.4705	3.1
04.08.2008	40.3912	37.3822	3.3
04.11.2007	40.079	37.4313	3.4

17.08.2007	40.0168	37.4262	3.3
16.06.2007	40.3308	37.8953	3.6
03.03.2007	40.3192	37.7528	3.6
16.02.2007	40.391	37.8045	3.2
16.01.2007	40.1593	37.9255	3
16.12.2006	40.3205	37.3785	3.3
19.10.2006	40.2503	38.1148	3
26.06.2006	40.447	37.2815	3.3
19.06.2006	40.1817	38.173	3.2
26.05.2006	40.0638	37.5623	3.2
15.02.2006	40.1665	37.8732	3
15.11.2005	39.9788	37.5848	3.4
23.10.2005	40.027	37.6175	4.1
24.09.2005	40.3873	37.4118	4
24.09.2005	40.3322	37.3118	3
24.09.2005	40.385	37.3248	3.4
04.09.2005	40.537	38.3375	3
20.07.2005	40.408	37.2973	3.4
19.07.2005	40.4182	37.392	3.5
09.07.2005	40.407	37.3343	3.2
08.07.2005	40.4255	37.34	3.3
07.07.2005	40.49	37.36	4.1
07.07.2005	40.41	37.4	4.1
17.05.2005	40.4168	37.3868	3
16.05.2005	40.3927	37.2735	3
12.05.2005	40.371	37.415	4.8
12.05.2005	40.414	37.363	4.6
12.05.2005	40.3507	37.2872	3.4
12.05.2005	40.3488	37.3393	4.9
12.05.2005	40.4287	37.304	3.3
12.05.2005	40.3673	37.3662	4.7
27.01.2005	40.134	38.2997	3.1
02.11.2004	40.39	37.81	3.6
20.09.2004	40.35	37.97	3.1
18.09.2004	40.37	38.01	3.1
18.09.2004	40.44	37.97	3
18.09.2004	40.35	37.99	3.2
13.11.2003	39.9	37.75	3
26.08.2003	40.42	37.36	3.1
23.08.2003	39.99	37.95	3.1
17.08.2003	40.43	37.37	3.5
17.08.2003	40.38	37.35	3
15.05.2003	40.41	37.89	3.1

11.02.2002	40.11	38.27	3.3
19.07.2001	40.27	38.42	3.1
18.04.2001	40.19	38.05	3.1
08.01.2001	40	38.01	3.1
25.07.2000	40.16	37.43	3.4
16.06.2000	40.59	38.15	3.1
27.11.1997	39.97	37.62	3.1
28.10.1997	40.03	37.77	3
01.12.1996	40.4762	37.2232	4.3
19.02.1984	40.4545	38.5316	4
09.09.1981	40.1414	38.2298	4.5
23.06.1981	40.0239	38.0486	4.5
08.03.1966	40.2	38.3	4.4
26.07.1960	40.56	37.25	4.6
26.01.1960	40.19	38.75	5.9
08.10.1953	40.02	38.37	4.9
07.06.1940	40.06	37.82	4.6
26.01.1940	40.45	38.48	4.8
27.12.1939	39.99	38.14	5.5
15.09.1929	40.25	38.76	5
28.06.1929	40.2	37.9	4.5
19.05.1929	40.2	37.9	4.5
18.05.1929	40.2	37.9	6.1
05.04.1909	40.15	37.8	4.4
22.02.1909	40.21	37.58	5.7
19.02.1909	40.15	38	4.8
10.02.1909	40.17	37.76	5.6
09.02.1909	40.17	37.76	5.8
09.02.1909	40.2	37.8	6.4
28.03.1907	40.49	37.17	4.8
11.04.1904	40.35	38.58	4.8
16.02.1904	40.3	38.4	5.1
13.06.1902	40.42	37.77	4
07.03.1902	40.51	38.09	5
14.09.1901	40.45	37.8	4.6
11.06.1901	40.31	37.21	5.1
23.09.1900	40.27	38	4.4

3.4.5. Heyelanlar

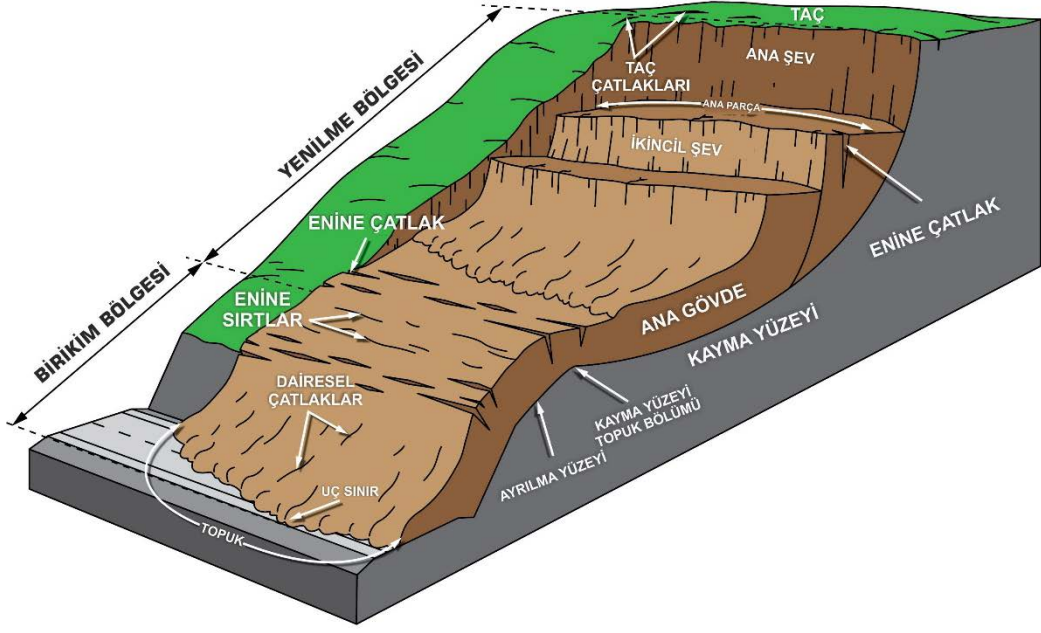
Heyelan, doğal kaya, zemin, yapay dolgu veya bunların bir ya da birkaçının bileşiminden oluşan şev malzemesinin, yerçekimi, jeolojik ve su içeriği gibi doğal faktörler ile bilinçsizce yapılan yamaç-şev kazısı, yapay patlatmalar, yamaçlar üzerindeki bitki örtüsünün yok edilmesi, çeşitli amaçlar için arazinin yanlış kullanılması gibi doğal olmayan çeşitli faktörlerin etkisi altında yamaç eğimi yönünde çoğunlukla dairesel ya da düzlemsel hareketle sonuçlanan bir olaydır. Hareketin hızı ve büyüklüğü, yamaç eğimi ve içerdiği su miktarı ile doğru orantılıdır.

Heyelan tipleri çok çeşitlidir. Bunlar düşmeler, kaymalar, düzlemsel kaymalar, dönel kaymalar, akmlar, zemin akmaları olarak kabaca sınıflandırılabilir. Bu nedenle bir bölgede heyelan araştırması yapılıyorsa, heyelan tipinin doğru belirlenmesi için araştırma veya incelemede kullanılan yöntem çok dikkatli seçilmeli ve buna bağlı olarak heyelan iyi analiz edilmelidir. Heyelan tiplerine ilişkin özellikler Şekil 3.33’ de verilmiştir.

HAREKET TÜRÜ	Malzemenin Türü		
	KAYAÇLAR	ZEMİNLER	
		İri Daneli	İnce Daneli
Düşme	Kaya düşmesi	Moloz düşmesi	Zemin düşmesi
Devrilme	Kaya devrilmesi	Molozda devrilme	Zeminde devrilme
Akma	Yavaş	Kaya kripi	Moloz kripi
	Hızlı	Çok parçalı kayaç akması	Moloz akması
Kayma	Ötelemeli	Kayada blok türü ötelenme	Zeminde/molozda blok türü ötelenme
	Dönel	Sıkı çatlaklı kayada dönel kayma	Zeminde molozda dönel kayma
Yanal Yayılma	Kaya yayılması	Zemin/moloz yayılması	
Karmaşık	Hem hareket türü hem de malzeme karışık		

Şekil 3.33 Heyelanların hareket ve malzeme türüne göre sınıflandırılması (Varnes 1978’den düzenlenerek alınmıştır).

Heyelanlar kendi içinde farklı bölümlerden oluşmaktadır. Bu bölümler heyelanın genel karakteri hakkında bize bilgi vermektedir. Basitleştirilmiş olarak heyelanın bölümleri Şekil 3.34’de gösterilmektedir.



Şekil 3.34 Basitleştirilmiş olarak heyelanın bölümlerinin görünümü (Url-1).

Koyulhisar ilçe merkezi ve yakın çevresinde Eosen yaşlı killi seviyeler, Alt Miyosen yaşlı killi ve jipsli seviyeler ile Pliyo-Kuvaterner yaşlı teras çökellerinin gözlendiği alanlarda çok büyük eski heyelan kütleleri görülmektedir. Bu heyelanların çoğu genel olarak dairesel-dönme şeklinde bir mekanizmaya sahiptir. Koyulhisar ilçe merkezi dairesel-dönme şeklinde meydana gelmiş eski bir heyelan üzerinde bulunmaktadır. Koyulhisar'ın üzerinde bulunduğu eski heyelan kütlelerinin önü açık olup, geçen zaman içerisinde sürekli aktivitesini sürdürmüştür. Ancak bu aktivite kütleli olmayıp, genellikle ana kütle üzerinde meydana gelen yersel heyelanlar şeklindedir (Tatar ve diğ. 2000).



Şekil 3.35 Koyulhisar heyelanı genel görünümü.



Şekil 3.36 Heyelanın taç kısmına ait görünüm.

Heyelan içerisinde yapılan detaylı incelemelerde güncel olarak devam eden gerilme çatlakları, kayma yüzeyleri (Şekil 3.37) ve basamak şeklinde düşmeler görülmektedir (Şekil 3.38).

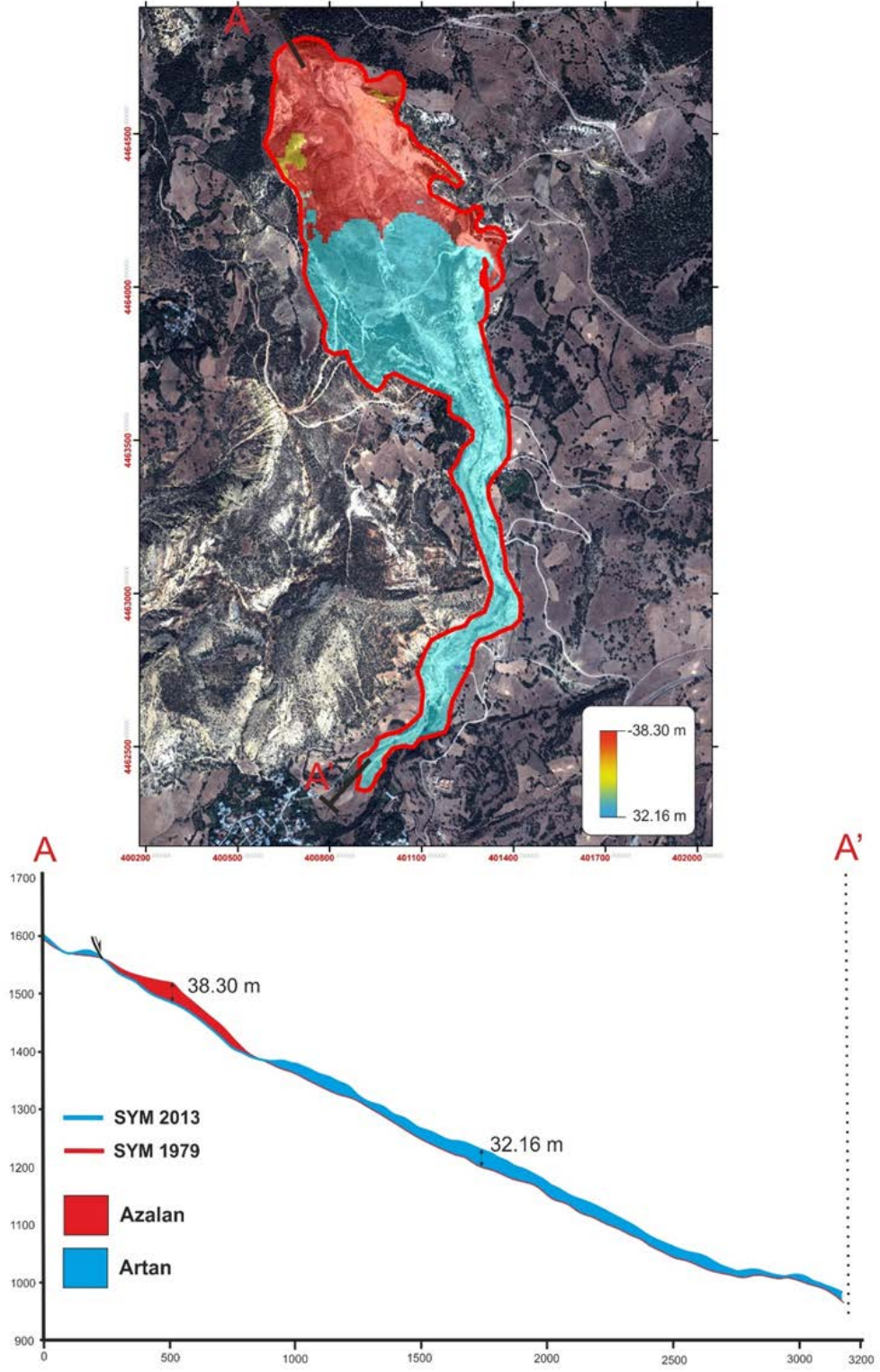


Şekil 3.37 Heyelan içerisinde meydana gelen a ve c gerilme çatlakları b kayma yüzeyinden görünüm (Nisan 2014).



Şekil 3.38 Heyelan içerisinde meydana gelen basamaklar.

Ayrıca çalışma alanında 1998 ve 2000 yılında gerçekleşen heyelanlar sonucunda oluşan topoğrafyadaki kütle değişimi uzaktan algılama yöntemleriyle hesaplanmıştır. 1979 ve 2013 yıllarına ait sayısal yükseklik verilerinin karşılaştırılması sonucunda Şekil 3.39'daki sonuçlara ulaşılmıştır. Buna göre 1998 ve 2000 yıllarında gerçekleşen heyelan sonucu yaklaşık 251300 m^2 lik alan içerisinde $2.927.750 \text{ m}^3$ malzeme yamaç aşağı hareket etmiştir. Hareket eden bu malzemenin 422.000 m^2 lik alan içerisine $4.912.193 \text{ m}^3$ lük malzeme olarak yayıldığı görülmektedir.



Şekil 3.39 1979 ve 2013 yıllarına ait sayısal yükseklik verilerinin karşılaştırılması sonucunda elde edilen malzeme hareketi.

Koyulhisar heyelanı dışında bölgedeki su kaynaklarına ve yamaç eğimine bağlı olarak gelişen farklı küçük ölçekte heyelanlar ve kaya düşmeleri gözlenmektedir.

Koyulhisar ilçe merkezine yaklaşık 2 km uzaklıkta yol kenarında meydana gelen heyelan Çamlıyaka Fayı doğrultusunda ve Düdenyaylası Formasyonu üzerinde yer alan birimlerin tabaka eğim yönünde yenilmeye uğrayarak küçük ölçekte kütle hareketine sebep olmuştur. Bölgedeki diğer heyelanlara ilişkin fotoğraflar Şekil 3.40 ve 3.41’da verilmiştir.



Şekil 3.40 Koyulhisar ilçe merkezi karayolu kenarında gelişen heyelan.



Şekil 3.41 Bölgedeki diğer heyelanlar ve kaya düşmeleri.

3.4.6. Çalışma Alanının Hidrojeolojik Özellikleri

Bölgede 1998-2000 yıllarında meydana gelen heyelanlardan sonra biriken malzeme, ilçenin kuzeyinde bulunan Aklan mahallesinin doğusunda Gönenli deresi içerisinde yer almaktadır. Bu akan kütle genişliği 2 km'ye kadar ulaşmaktadır. Bölgede yer altı su seviyesi oldukça yüksek olup, heyelanlı kütle içerisinde küçük gölcükler oluşmuştur. Koyulhisar'ın üzerinde bulunduğu eski heyelan kütlelerinin önü açık olup, yağışlı bir mevsimde malzemenin tekrar su ile temasının artması ve suya doymun hale gelmesi sonucu heyelanlı kütlelerin tekrar hareket etme olasılığı yüksektir.

Kütle hareketinin ana kaynak alanının, Kavacık Çiftliği doğusunda yer alan vadi içerisinde 1500 ile 1600 metre kotları arasındaki güneye akan doğal su kaynakları ve bu kaynakları besleyen göller bölgesinde geliştiği gözlenmiştir (Şekil 3.42).



Şekil 3.42 Çalışma alanı içinde gözlenen göllere ilişkin fotoğraflar.

Koyulhisar ilçesi ve yakın çevresinde Eosen yaşlı kaya birimlerindeki killi seviyeler, Alt Miyosen yaşlı killi-jipsli seviyeler ile Pliyo-Kuvaterner yaşlı teras çökellerinin bulunduğu alanlarda çok büyük eski heyelan kütleleri bulunmaktadır. Özellikle

bölgede morfolojik olarak zirvelerde gözlenen Pliyosen yaşlı Dumanlıca Formasyonu üzerinde kar yağışı sonucu oluşan su birikintileri kırık ve çatlaklardan sızarak, daha düşük kotlarda Koyulhisar Formasyonu ile bu Dumanlıca Formasyonu'nun dokanağından kaynaklar olarak yüzeye çıkmaktadır. Yüzeye çıkan bu sular, Koyulhisar Formasyonu'na ait ayrılmış marn ve killi kayaları (Şekil 3.43), boşalan su kaynaklarının da etkisiyle suya aşırı doymun hale getirmiş ve kaymaların oluşmasına neden olmuştur.



Şekil 3.43 Heyelan içerisindeki Eosen yaşlı Koyulhisar Formasyonuna ait killi ve marnlı seviyelerin görünümü.



Şekil 3.44 Heyelanın kuzeyinde gözlenen göller.

3.4.6.1. Yeraltı Su Seviyelerinin Belirlenmesi

Çalışma sahasına ait yer altı su seviyesi belirlenmesi için DPT-120220K nolu proje kapsamında inklinometre ölçüsü gerçekleştirebilmek için daha önce açılmış olan sondaj kuyularından 6 tanesi kullanılmıştır. Bu 6 kuyuda periyodik olarak yer altı su seviyesi ölçümleri kuyumetre ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.45).



Şekil 3.45 Yeraltı su seviyesi ölçümüne ilişkin fotoğraflar.

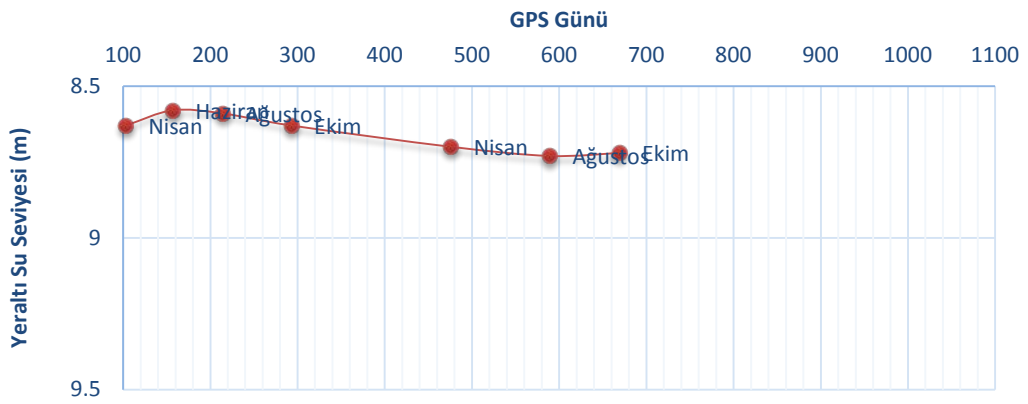
Çalışma alanına ait yer altı su seviyesi belirlenmesi için kullanılan sondaj kuyuları periyodik olarak ölçülerek değişimler belirlenmiştir. Elde edilen bu verilerden enterpole edilen yer altı su seviyeleri ve su akış yönleri haritaları oluşturulmuştur (Şekil 3.46).



Şekil 3.46 Yer altı su seviyeleri ölçülen kuyuların ve verilerin enterpole edilmesi sonucu oluşturulan yeraltı suyu akış yönünün uydu görüntüsü üzerinde gösterimi.

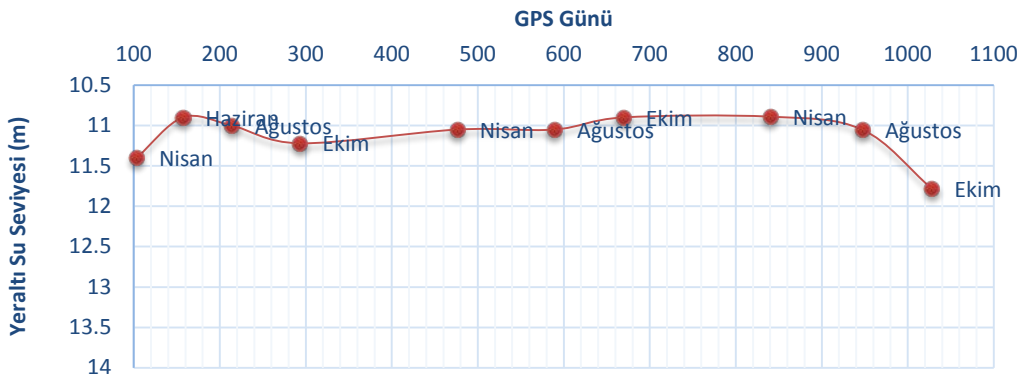
Çalışma alanı içerisindeki ISK2, ISK5, ISK9, ISK10, ISK11, ISK13 nolu kuyuların değerleri incelendiğinde ISK2, ISK11 ve ISK 10 nolu noktalara ait veriler anlamlı niteliktedir. Diğer kuyular ise bölge halkı tarafından tarım alanları için su kaynağı olarak kullanılmasından dolayı diğer ölçümlerle tutarsız sonuçlar göstermektedir. Şekil 3.47, 3.48 ve 3.49’da kullanılmayan ISK5, ISK9, ISK13 nolu kuyulara ait yeraltı su seviyesi değerleri verilmektedir. Şekil 3.50, 3.51 ve 3.52’de ise yorumlarda kullanılan ve heyelan sahasındaki yer altı su seviyesi değişimini gösteren kuyulara ait değerler sunulmaktadır.

ISK05



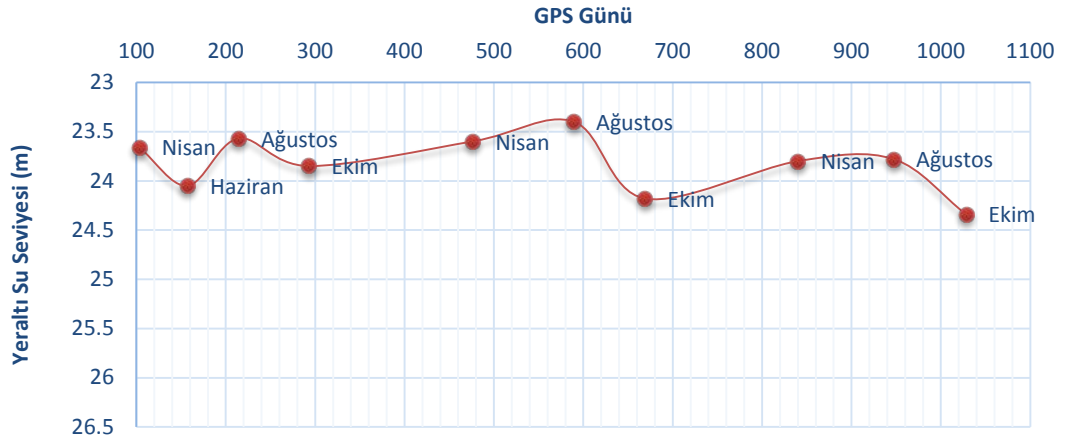
Şekil 3.47 ISK05 kuyusuna ait yeraltı suyu değişimi.

ISK9



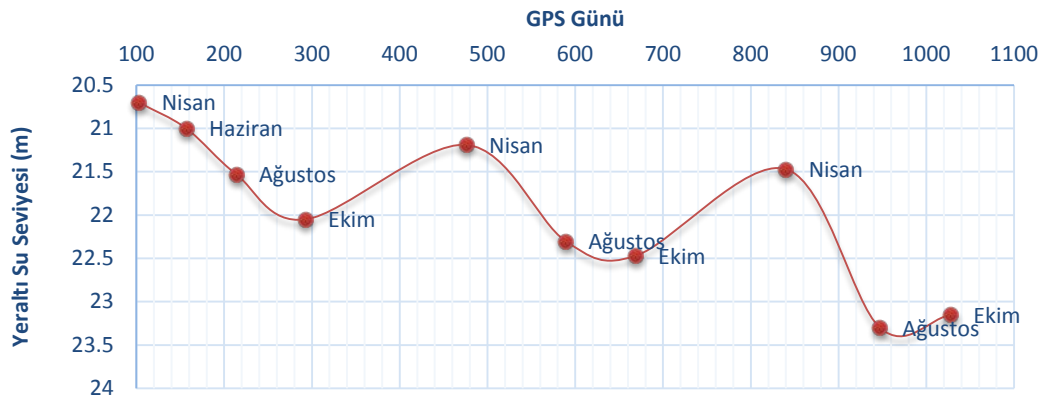
Şekil 3.48 ISK09 kuyusuna ait yeraltı suyu değişimi.

ISK13



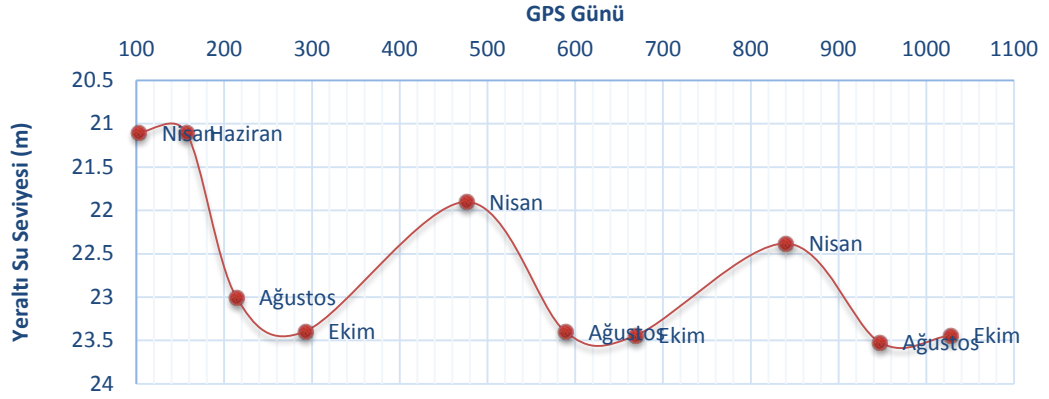
Şekil 3.49 ISK13 kuyusuna ait yeraltı suyu değişimi.

ISK02



Şekil 3.50 ISK02 kuyusuna ait yeraltı suyu değişimi.

ISK11



Şekil 3.51 ISK11 kuyusuna ait yeraltı suyu değişimi.

ISK10



Şekil 3.52 ISK10 kuyusuna ait yeraltı suyu değişimi.

Şekil 3.50, 3.51 ve 3.52 incelendiğinde yeraltı su seviyesinin Nisan aylarında arttığı Ağustos ve Ekim aylarında ise azaldığı açıkça gözlenmektedir. Buradan da açıkça anlaşılacağı üzere bölgedeki yeraltı su seviyesi yağışlardan daha çok Nisan ayıyla birlikte eriyen kar suları nedeni ile artış göstermektedir.

3.4.6.2. Meteorolojik Ölçümler

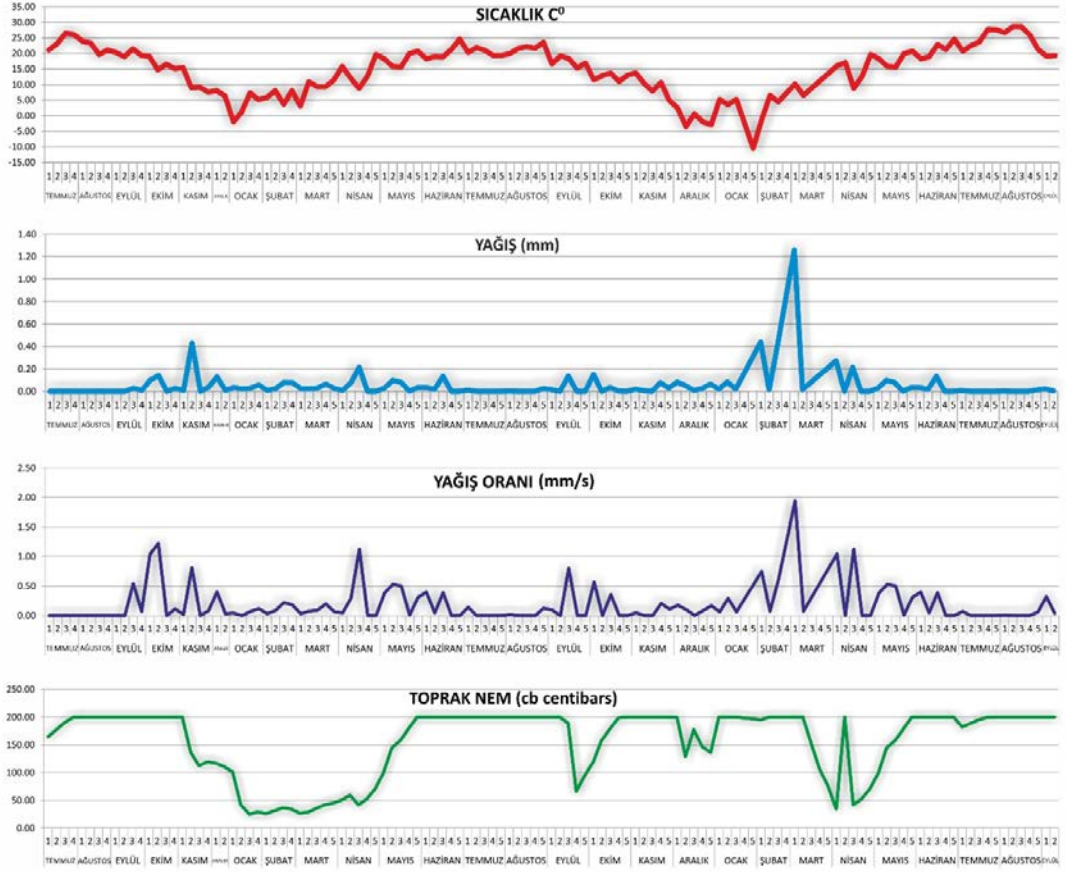
Bölgede daha önce gerçekleşen iki heyelan da ağır geçen kış aylarından sonra meydana gelmiştir. Bölgede heyelanları tetikleyen en önemli sebeplerden birisi kış aylarından

sonra eriyen kar sularının yeraltı su seviyesinde oluşturduğu artış olarak gösterilmektedir. Bu yüzden bölgedeki sıcaklık ve yağış miktarları ile yeraltı su seviyesi değişimi arasındaki ilişkiyi ortaya koyabilmek amacı ile çalışma sahasına bir adet meteoroloji istasyonu tesis edilmiştir. Bu istasyon sayesinde sıcaklık, yağış miktarları ile toprak nem oranı ölçümü gerçekleştirilmiştir. Meteoroloji istasyonu Emniyet Müdürlüğü bahçesine yerleştirilmiş olup, Şekil 3.53’ de bu istasyona ait fotoğraflar bulunmaktadır.



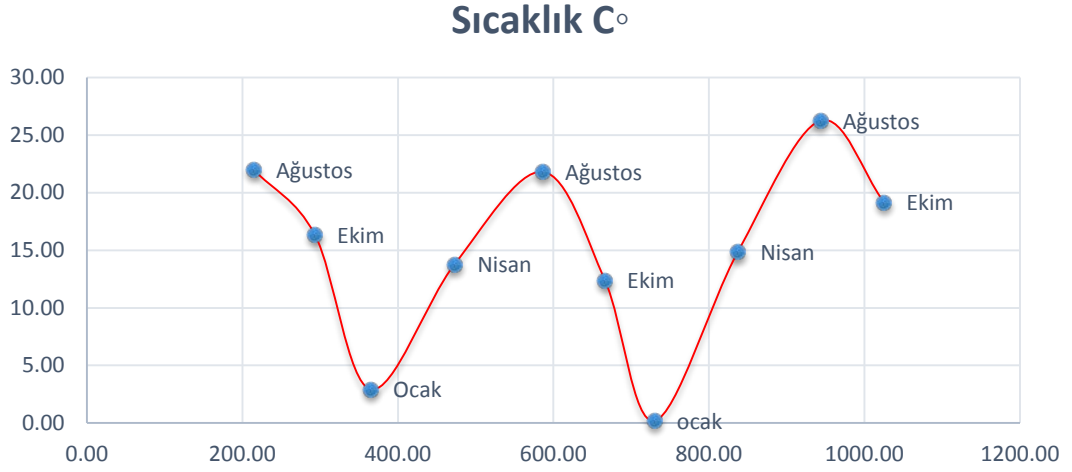
Şekil 3.53 Çalışma sahasına tesis edilen meteoroloji istasyonu.

Çalışma alanına tesis edilen meteoroloji istasyonu ölçümleri sonucu 2013-2015 yılları arasında toplanan veriler değerlendirilmiştir. Sıcaklık, yağış oranı ve toprak nemliliği ile ilgili grafikler Şekil 3.54’ de sunulmuştur.

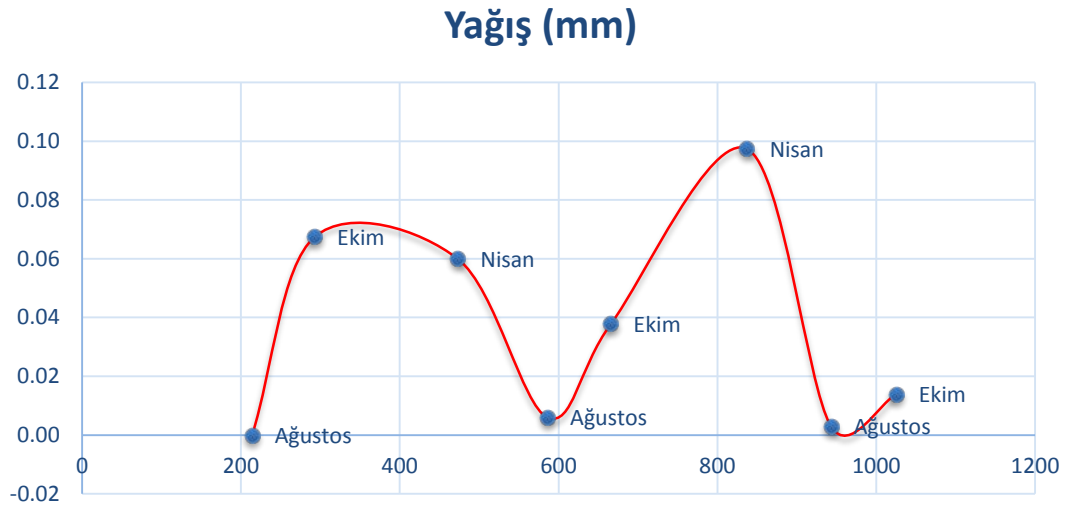


Şekil 3.54 Meteoroloji istasyonu 2013-2015 yılları arası günlük verileri.

Meteoroloji istasyonundan elde edilen günlük verilerin ortalamalarından hesaplanan GPS ölçü periyodlarına ait meteoroloji bilgileri Şekil 3.55, 3.56 ve 3.57’ de sunulmaktadır.

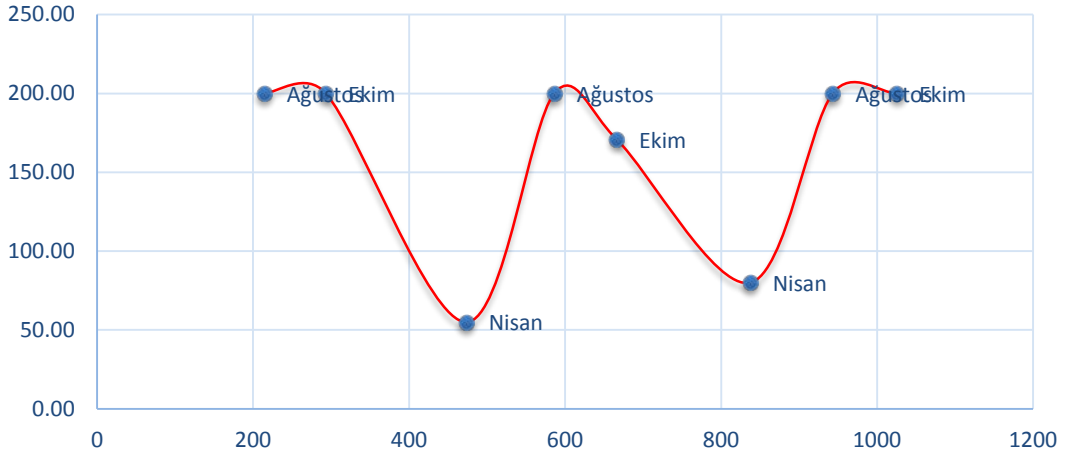


Şekil 3.55 Meteoroloji istasyonundan 2013-2015 yılları arasındaki GPS ölçüm periyodunda toplanan sıcaklık verileri.



Şekil 3.56 Meteoroloji istasyonundan 2013-2015 yılları arasındaki GPS ölçüm periyodunda toplanan yağış verileri.

Nem Ortalama(cb)



Şekil 3.57 Meteoroloji istasyonundan 2013-2015 yılları arasındaki GPS ölçüm periyodunda toplanan nem verileri.

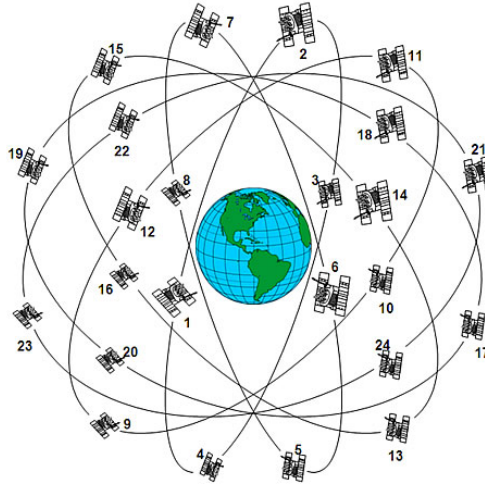
Şekil 3.55, 3.56 ve 3.57’de ki meteorolojik veriler incelendiğinde sıcaklıkların Nisan-Mayıs aylarında artışa geçtiği, Ağustos’ta maksimum değere ulaştığı ve yine Ekim-Kasım aylarında inişe geçtiği gözlenmektedir. Yağış miktarlarının ise Nisan-Mayıs ayları arasında en yüksek değere, Ağustos’ta ise en düşük değere ulaştığı, Ekim-Kasım ayları arasında ise tekrar arttığı görülmektedir. Toprak nemlilik değerlerinde ise Nisan ayında bir artış gözlenmektedir. Yaz aylarında ise toprak nemlilik değerinin neredeyse hiç yok denecek kadar düşük seviyede olduğu gözlenmektedir. Ekim aylarında ise yağışın artmasıyla bu değer bir miktar arttığı gözlenmektedir. Buradan da anlaşılacağı üzere toprak nemlilik seviyesini yağıştan daha çok eriyen kar sularının artırdığı açıkça gözlenmektedir.

4. JEODEZİK İNCELEMELER

4.1. Çalışma Alanının GPS Yöntemi İle İzlenmesi

4.1.1. GPS Sistemleri

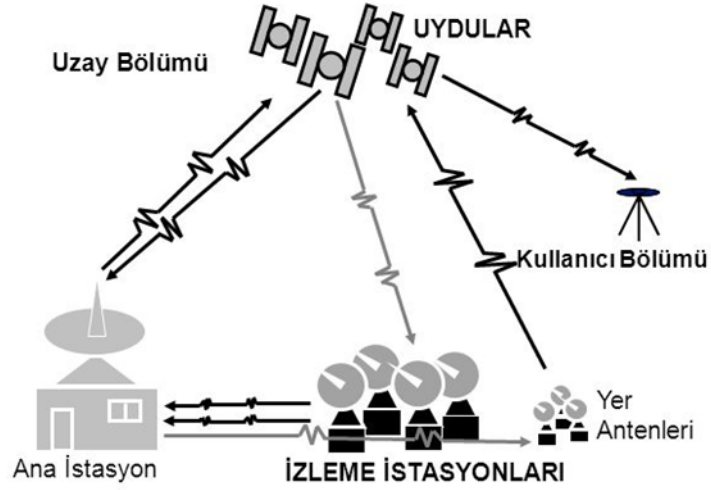
Küresel konumlanma sistemi (GPS), ABD savunma sistemi tarafından geliştirilen küresel uydu tabanlı navigasyon ve konumlama sistemidir. GPS uzay, kontrol ve kullanıcı bölümleri olmak üzere üç temel bölümden oluşmaktadır. Uydu bölümü yeryüzünden 20.200 km uzaklıktaki yörüngede 24 uydudan meydana gelmektedir. Bu uydular GPS kullanıcılarına gerçek zamanlı olarak onların yerini, konumunu ve hızını belirlemek için mikrodalga sinyaller gönderir. GPS uyduları Şekil 4.1'de gösterildiği gibi, her düzlemde 4 uydu ile 6 yörünge düzleminde dağılır. 6 düzlemsel yörünge yaklaşık olarak ekvatorial düzleme göre 55 derecelik bir eğime sahiptir. Böyle bir GPS uydu takımı için 4'den 10'a kadar GPS uyduları dünyanın her yerinde görülebilir.



Şekil 4.1 Yörünge düzleminde GPS uydu takımı.

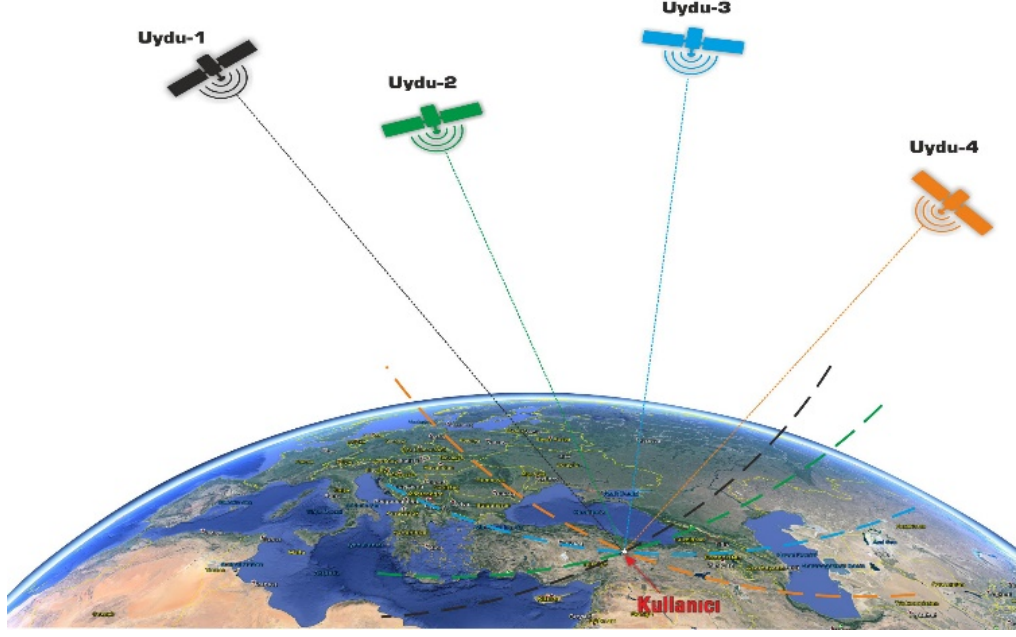
GPS sistemleri 3 ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar uzay, kontrol ve kullanıcı bölümleridir. GPS kontrol bölümü 12 yer izleme istasyonu, 4 yer anteni ve 1 ana kontrol istasyonundan oluşur. İzleme istasyonlarının görevi tüm görünür uyduları izlemek ve gözlem verilerini toplamaktır. Daha sonra MCS uydu ve yörüngelere karar vermek için bu verileri işler ve navigasyon mesajlarını günceller. Güncellenen navigasyon mesajları yer antenleri vasıtasıyla her uyduya iletilir. GPS alıcılarının kullanıcı bölümü ve antenler konum, hız ve zaman bilgilerini sağlama yeteneğine sahiptirler. GPS'in bölümleri Şekil 4.2'de kısaca gösterilmiştir. GPS, uydu operasyonlarından, ölçme haritacılık işlerine, haberleşme, havacılık, kara ve deniz

araçlarının navigasyonundan, enerji hatlarının planlanması ve yönetilmesinde, petrol arama faaliyetlerinden, hassas ve mimari inşaat işlerine, deformasyon ölçmelerinden bilimsel araştırmalara kadar çok geniş bir yelpazede kullanılmaktadır.



Şekil 4.2 GPS bölümleri.

Konum belirlemek için, sinyalin alıcıda alındığı andaki zaman ile uydudan sinyalin iletildiği zaman karşılaştırılır. Bu zaman farkına göre, alıcı ile uydu arasındaki mesafeye karar verilebilir. Uydu yörünge koordinatları navigasyon mesajlarındaki yayın efemerisi kullanarak elde edilebildiğinden dolayı kullanıcı pozisyonu uzaydan geriden kestirme yöntemi ile hesaplanabilir. Normalde üç uydu kullanıcıların dünyadaki pozisyonuna karar verebilir ama aslında alıcı saatin kaymasından dolayı en az 4 uydu gereklidir. Uydularla konum belirleme temel prensibi Şekil 4.3'de gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Uydularla konum belirleme şematik gösterimi.

4.1.1.1. GPS İle Konum Belirleme Yöntemleri

GPS ile konum belirleme yöntemi kabaca uzay geriden kestirme olarak tanımlanabilir. Problemi çözebilmek için en az 4 uyduya eş zamanlı gözlemler yapmak gerekir. 3 uydu uzay konum belirleme işleminde, 4. uydu ise alıcı saat hatasını giderilmesi işleminde kullanılır. Konum belirleme işlemi GPS kullanılarak iki yolla yapılmaktadır.

Bunlar;

Mutlak konum belirleme,

Bağıl konum belirleme.

Mutlak Konum Belirleme

Mutlak konum belirlemede tek bir alıcı ile en az dört uydudan kod gözlemleri yapılarak üzerinde alıcı kurulu olan noktanın koordinatları belirlenmektedir. Yöntem, sinyalin uydu çıkışından alıcıya varışına kadar geçen zaman ve ışık hızının çarpılarak hesaplanan uydu-alıcı uzaklıkları ve uyduların bilinen koordinatları ile uzayda geriden kestirme esasına dayanmaktadır. Mutlak konum belirlemede kısa süreli veri toplayarak 5-10 m duyarlılıkla konum belirlemek mümkündür (Kahveci ve Yıldız, 2001).

Bağıl Konum Belirleme

Bağıl konum belirlemede koordinatları bilinen bir noktaya bağlı olarak diğer nokta ya da noktaların koordinatlarının belirlenmesi esasına dayanır. Bağıl konum belirlemede iki ayrı noktaya kurulmuş olan iki alıcı ile aynı uydulara eş zamanlı kod ya da faz gözlemleri yapılarak elde edilen doğruluk 0.001 ile 100 ppm arasında değişmektedir (Kahveci ve Yıldız, 2001).

Mühendislik ölçmeleri için daha duyarlı sonuçlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaç için faz gözlemlerinden yararlanılır. Genel olarak dört farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunlar;

1. Statik ölçü yöntemi,
2. Hızlı statik ölçü yöntemi,
3. Tekrarlı ölçü yöntemi,
4. Kinematik ölçü yöntemi,
5. Dur-Git ölçü yöntemi,
6. RTK (Real Time Kinematic) ölçü yöntemi,
7. DGPS (Diferansiyel GPS) ölçü yöntemleri olarak adlandırılır.

Bu çalışma kapsamında Statik ölçü yöntemi ve Hızlı statik ölçü yöntemleri kullanılmıştır.

Statik Ölçü Yöntemi

Statik ölçü yöntemi en çok kullanılan yöntem olup gözlem süresi; baz uzunluğu, gözlenen uydu sayısı ve uyduların geometrik dağılımına bağlıdır. Statik bağıl konum belirlemenin doğruluğu baz uzunluğu ile ilişkilidir ve 100 km'nin üzerindeki bazlarda 1-01 ppm arasındadır (Hofmann ve diğ. 2001).

Statik ölçü yönteminin konum doğruluğu kullanılan GPS alıcısına ve değerlendirme yazılımına göre de değişmektedir. Yatay konumda yüksek duyarlıklılı sonuçlar elde edilmesine karşın, düşey bileşen, yükseklik söz konusu olduğunda yatay konum duyarlılığının 2 katı daha kötü duyarlılıkla sonuçlar elde edilebilmektedir. Statik ölçü yönteminde 5mm+1ppm duyarlılık ile sonuçlara ulaşılabilmektedir (Kahveci ve Yıldız, 2001).

Hızlı Statik Ölçü Yöntemi

Hızlı statik ölçü yöntemi geleneksel statik ölçü yöntemine benzemektedir. Yalnızca gözlem süresi ve baz uzunlukları daha kısadır. Hızlı statik ölçümde uygun ölçüm geometrisi ve sinyaldeki çok yolluluk gibi etkilerin minimum olması gerekmektedir (Rizos, 1999).

Bu teknik, her iki frekans üzerinde kod ve faz gözlemlerinin kombinasyonlarını kullanır. Sonuç olarak iki frekanslı alıcılar ve uygun bir uydu geometrisi gerekmektedir. Bu teknik 20 km ile sınırlandırılmaktadır ve doğruluk cm mertebesinde (Hofmann ve diğ. 2001).

4.1.2. GPS Ön Arazi Çalışması ve Nokta Tesisi

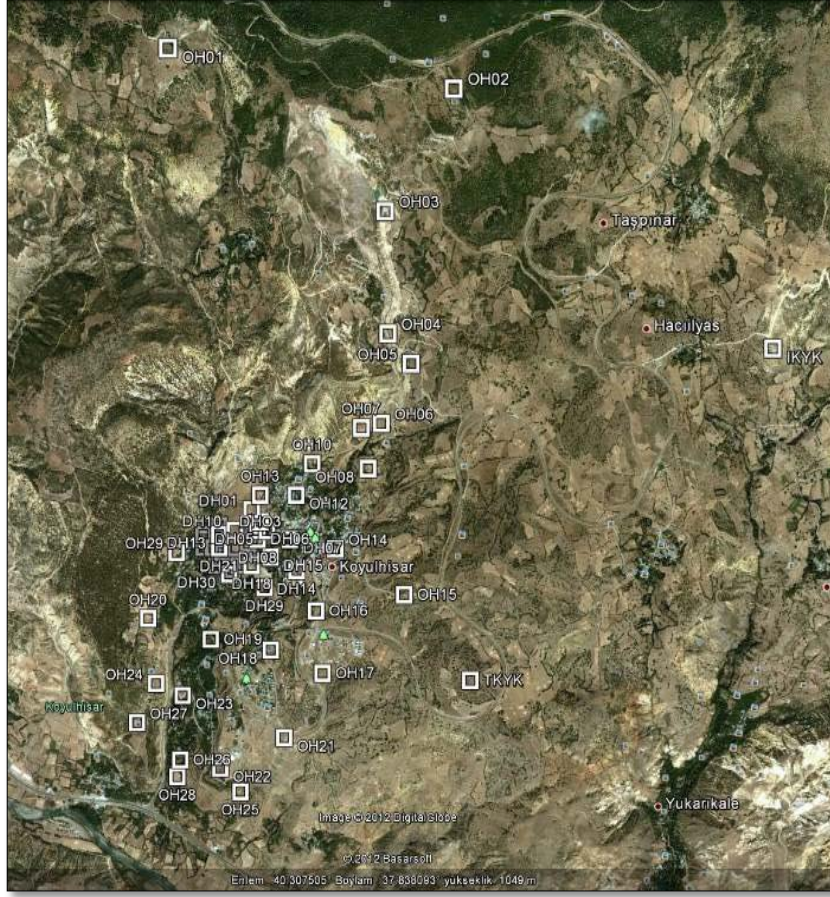
Nokta tesisi için yapılan ön çalışmalara altlık olarak Google Earth uydu görüntüleri ve jeolojik incelemeler sonucu üretilen jeolojik harita (Ek 1) kullanılmıştır. Tesis edilecek GPS noktası yerleri belirlenirken bölgede daha önce gerçekleştirilmiş çalışmalardan faydalanılmıştır. En güncel çalışmalardan birisi olan Hastaoğlu (2009); şehir merkezinde Emniyet Müdürlüğü binasının bulunduğu bölgede ortalama yıllık 8 cm, mevcut heyelan kütlesi üzerinde ise ortalama yıllık 1.5 cm hareket belirlemiştir. Bunun yanı sıra gerek yöre halkı gerekse yerel yönetim tarafından özellikle Emniyet Müdürlüğü binası ve civarında gözle görülebilir deformasyonların olduğu ifade edilmiş olup, bu beyanlar Hastaoğlu (2009) tarafından verilen bilgileri doğrular niteliktedir. Şekil 4.4' de bu deformasyonlara ait arazi fotoğrafları bulunmaktadır.

Bölgede çalışan Yılmaz (2009) bölgedeki yer altı su seviyesindeki mevsimsel değişimlerin heyelanların oluşumunu tetikleyen önemli nedenlerden birisi olduğunu belirtmiştir.

Ayrıca, Emniyet Müdürlüğü binasının temelinde Emniyet Müdürlüğü tarafından açılan su kuyusunda özellikle karların eridiği Nisan ayında su seviyesinin yüzeyden itibaren 20 cm'ye kadar çıktığı, bu seviyenin yaz aylarında ise azaldığı gözlenmiştir. Emniyet Müdürlüğü civarındaki yer altı su seviyesinin çok yüksek olması bu bölgede oluşan büyük deformasyonların ana sebebinin oluşturduğu düşünülmektedir. Noktaların tesisi sırasında gerek literatür gerekse yöre halkından edinilen bilgiler ışığında Emniyet Müdürlüğü binası ve civarında nokta sıklığının artırılması kararı alınmış, böylelikle bu farklı deformasyonun alansal olarak da belirlenmesi planlanmıştır.



Şekil 4.4 Emniyet Müdürlüğü Binası ve civarındaki deformasyonlar (Hastaoğlu ve diğ., 2011).



Şekil 4.5 Heyelan bölgesi ve çevresine tesis edilen 57 adet GPS noktasının konumunu gösterir Google Earth uydü görüntüsü.



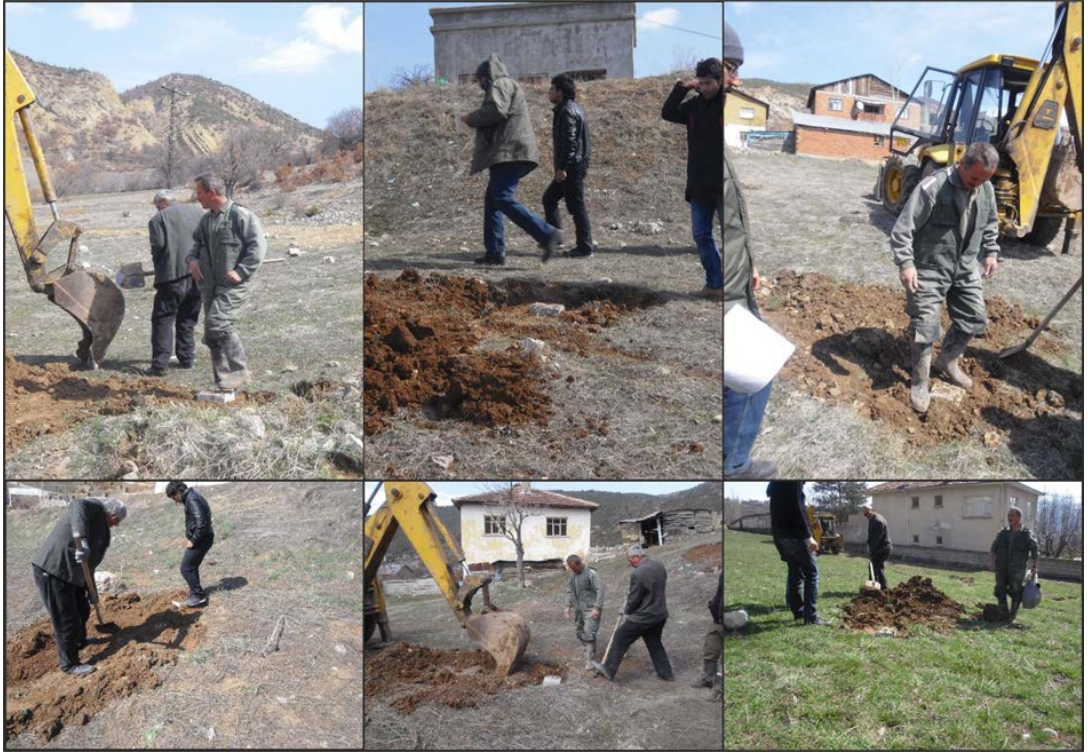
Şekil 4.6 Emniyet Müdürlüğü binası civarındaki 50 m aralıklarla tesis edilen GPS noktaları.



Şekil 4.7 Emniyet Müdürlüğü binası civarındaki noktalar dışında kalan yaklaşık 100-200 m aralılarla tesis edilen diğer noktaların dağılımları.

Bu doğrultuda çalışma alanında iki farklı GPS nokta ağı planlanmıştır. Bunlardan ilki şehir merkezindeki Emniyet Müdürlüğü binası ve çevresinde yaklaşık 30 noktadan oluşan ve noktalar arası mesafenin 50-70 m arasında olduğu birinci ağ ve diğeri ise tüm şehir merkezini kapsayan, noktalar arası mesafelerin 100-200 m arasında değiştiği ve yaklaşık 24 noktadan oluşan ikinci ağdır. Bu GPS ağlarının yanı sıra eski heyelan kütleleri üzerine 4 ve taç kısmına 2 adet GPS noktası tesis edilmiştir. 2 adet nokta ise heyelan sahası dışında sabit nokta olarak belirlenmiştir. Bu sabit noktalar belirlenirken gerekli jeolojik ve jeodezik kısıtlamalara dikkat edilmiştir. Bu sabit noktalardan birincisi IKYK isimindeki ve çalışma sahasına yaklaşık 13 km uzaklıktaki TUTGA noktası olarak belirlenmiştir. İkinci sabit nokta ise İlçede yeni yapılan TOKİ konutları civarında bulunan TKYK isimindeki nokta olarak belirlenmiştir. Tüm bu noktalara ait Google Earth görüntüsü Şekil 4.5’de verilmektedir. Şekil 4.6’da sadece Emniyet Müdürlüğü binası civarındaki 50 m aralıklarla tesis edilen GPS noktaları, Şekil 4.7’de ise Emniyet Müdürlüğü binası civarındaki noktalar dışında kalan yaklaşık 100-200 m aralıklarla tesis edilen diğer noktalar görülmektedir.

Gerçekleştirilen keşif çalışmaları neticesinde nokta yerleri belirlenmiş ve bu noktalara 50 cm uzunluğunda poligon taşları tesis edilmiştir. Şekil 4.8’de bazı noktalara ilişkin tesis fotoğrafları bulunmaktadır. Özellikle nokta yerleri belirlenirken GPS noktaları için jeolojik (zemin yapısı, topografya vb.) ve jeodezik kısıtlamalar (çok yolluluk etkisi, uydu görüş açısı vb.) göz önünde bulundurulmuştur. Toplam 57 noktada GPS nokta tesisi gerçekleştirilmiştir. Tez çalışması süresince tesis edilen bu GPS noktalarından 6 tanesi tahrip edilmiş olup toplam 51 adet GPS noktasında ölçü gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.8 Bazı GPS noktalarına ilişkin tesis fotoğrafları.

4.1.3. GPS Kampanyaları

GPS ölçümlerine geçmeden önce ölçü periyotlarının tarihleri belirlenmiştir. GPS ölçüleriyle deformasyon miktarlarının tam olarak belirlenebilmesi için, çalışılacak bölgedeki deformasyonların ana nedenlerinin bilinmesi gerekmektedir. Deformasyonu tetikleyen etkiler doğrultusunda deformasyon miktarları farklı hareketler gösterebilirler. Örneğin bir mevsimsel etkide deformasyon miktarı periyodik bir salınım gösteriyorsa bu bölgede, periyodik etkinin pik yaptığı aylarda ölçüm yapılması gerekmektedir. Aksi takdirde elde edilecek deformasyon miktarları yorumlanırken

hata yapılabilir. Bu doğrultuda ilk olarak, literatür araştırması ile çalışma sahasında oluşan heyelanların ana nedenleri incelenmiştir.

Gerçekleştirilen çalışma sonucunda, bölgede daha önce oluşan 1998 ve 2000 yıllarındaki her iki heyelanın da yoğun kar yağışı ile geçen kış mevsiminin ardından yaz aylarında meydana geldiği görülmüştür. Hem 1998 hem de 2000 yılında meydana gelen heyelanlarda gerilme çatlaklarının su ile dolu olduğu ve kayan her kütle için topuğunda göllerin oluştuğu gözlenmiştir. Yine, bu her iki heyelan da, son yılların en ağır geçen kış ve bahar mevsimlerinden sonra meydana gelmiştir (Sendir ve Yılmaz, 2001). Çalışma alanında, suyun temel kaynağı eriyen kar ve yağmur suları olup, bu sular hidrolojik çevrimin en önemli bileşenidir. Özetle bölgedeki deformasyonların ana nedeninin yeraltı su seviyesindeki değişimler olduğu tespit edilmiş olup, GPS ölçüm tarihleri de bu değişimler göz önüne alınarak planlanmıştır. GPS ölçüm tarihleri belirlenirken Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan veriler referans kabul edilmiştir.

Hazırlanan ölçü planı dahilinde, toplam 10 periyot GPS ölçüsü gerçekleştirilmiştir. Arazi çalışmalarında 6 adet Trimble 5700 marka GPS seti, 3 adet Leica GS15 marka GPS seti olmak üzere toplam 9 adet GPS aleti kullanılmıştır. TKYK ve IKYK noktaları sabit noktalar olduğu için gün boyu yaklaşık 12 saat bu noktalarda gözlem gerçekleştirilmiştir. Diğer noktalarda ise birer saat GPS ölçüsü gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümler üç gün tekrarlı olarak yapılmıştır. Şekil 4.9'da GPS nokta ölçümlerine ait fotoğraflar bulunmaktadır. Üç günlük ölçüler yardımı ile olası kaba hatalar elenerek noktalara ait güvenilir koordinat değerlerinin hesaplanması planlanmıştır. Hastaoğlu ve Şanlı (2011a)'da belirtildiği gibi oluşturulan lokal GPS ağına en uzun bazın 15 km'yi geçmemesi nedeni ile bir saatlik GPS verisi kullanılarak mm doğruluğunda koordinat bilgisi elde edilebileceği için birer saatlik GPS ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Hastaoğlu ve Şanlı (2011a), Hızlı Statik GPS ölçü doğruluğunun araştırılması amacı ile gerçekleştirdikleri çalışmada, GPS ölçü noktaları arası baz uzunluğunun 15 km ve noktalar arası yükseklik farkının 500 metreyi geçmemesi durumunda 30 dakikalık veriler ile 12 saatlik verilerin aynı sonuçları verdiğini göstermiştir. Bu çalışmada ilk olarak IGS (International GPS Service) noktalarından bir ağ oluşturulmuş ve GPS ölçü doğruluğunu ölçü zamanı, baz uzunluğu ve yükseklik farkına bağlı olarak ifade eden bir fonksiyon belirlenmiştir. Daha sonra bu fonksiyondan elde edilen değerlerin doğruluğu Koyulhisar heyelan sahasında test edilerek fonksiyonun bu çalışma sahası

için doğruluğu kanıtlanmıştır. Sonuç olarak bu çalışma kapsamında da GPS ölçü noktaları belirlenirken yukarıda belirtilen çalışmalar göz önünde bulundurularak GPS noktaları tesis edilmiş ve ölçü süreleri belirlenmiştir.



Şekil 4.9 GPS ölçümlerine ilişkin fotoğraflar.

4.1.4. GPS Verilerinin Hazırlanması

Arazi çalışmaları sonucu elde edilen 10 periyotluk GPS verilerini değerlendirebilmek için ön hazırlık yapmak gerekir. Toplanan ham veriler Rinex (Receiver Independent Exchange Format) formatına dönüştürülerek değerlendirme işlemi için hazır hale getirilmiştir. Şekil 4.10' da arazi ölçümleri sonucu elde edilen GPS noktasına ait Rinex dosyası görünümü bulunmaktadır. Rinex dosyası, farklı marka ve model alıcıların ham verilerini GPS verisi değerlendirme yazılımları için kullanılan standart bir dosya formatında toplamaya olanak tanır. Çeşitli dosya format çevirici yazılım araçları kullanılarak bu işlemler yapılır.

```

DH132980.14o - Not Defteri
Dosya Düzen Biçim Görünüm Yardım
2.11 OBSERVATION DATA M
GS15 V4.00 geo 2014 10 25 04:57 RINEX VERSION / TYPE
DH13 MARKER NAME / DATE
DH132980 MARKER NUMBER
CU geo OBSERVER / AGENCY
1509744 LEICA GS15 4.00/6.110 REC # / TYPE / VERS
LEIGS15 NONE ANT # / TYPE
3848220.1054 2987534.5507 4104202.6790 APPROX POSITION XYZ
1.2355 0.0000 0.0000 ANTENNA: DELTA H/E/N
1 1 WAVELENGTH FACT L1/2
6 C1 L1 D1 P2 L2 D2 # / TYPES OF OBSERV
30.000 COMMENT
2014 10 25 03 58 0.0000000 GPS INTERVAL
2014 10 25 05 10 30.0000000 GPS TIME OF FIRST OBS
16 LEAP SECONDS
17 # OF SATELLITES
BIT 2 OF L1 FLAGS DATA COLLECTED UNDER A/S CONDITION COMMENT
SNR: 15 mapped to RINEX snr flag value [2-9] COMMENT
LX: = 25dBHZ -> 1; 26-27dBHZ -> 2; 28-31dBHZ -> 3 COMMENT
32-35dBHZ -> 4; 36-38dBHZ -> 5; 39-41dBHZ -> 6 COMMENT
42-44dBHZ -> 7; 45-48dBHZ -> 8; >= 49dBHZ -> 9 COMMENT
END OF HEADER
14 10 25 03 58 0.0000000 0 7602606612614624625629
21280114.764 111827757.29319 1116.072 21280110.660 87138495.85057
869.668
21998831.457 115604638.55419 -1285.111 21998833.112 90081543.69856
-1001.385
20366837.579 107028452.90119 436.003 20366834.739 83398782.70058
339.744
24082832.392 126556137.79717 -73.259 24082830.425 98615162.95454
-57.080
20889541.293 109775280.39119 -1803.650 20889542.177 85539182.27357
-1403.442
22083598.523 116060603.29118 2409.464 22085598.996 90436835.28155
1877.507
23701359.080 124551482.76118 3066.904 23701358.757 97053101.68554
2389.793
14 10 25 03 58 30.0000000 0 7602606612614624625629
21273880.746 111794996.737 9 1079.495 21273876.473 87112968.17947

```

Şekil 4.10 Arazi ölçümleri sonucu elde edilen GPS noktasına ait Rinex dosyası görünümü.

Bu dosya içerisinde ölçüm yapılan noktaya ait bilgiler yer almaktadır. Ölçüm yapılan cihaza ait bilgiler otomatik olarak dosyaya kaydedilir. GPS oturumu sırasında noktaya ait alet yükseklik bilgisi, daha önce belirlenmiş noktanın kodlanmış adı gibi bilgiler elle girilerek değerlendirme işlemi için hazır hale getirilir.

4.1.5. GPS Verilerinin Değerlendirilmesi

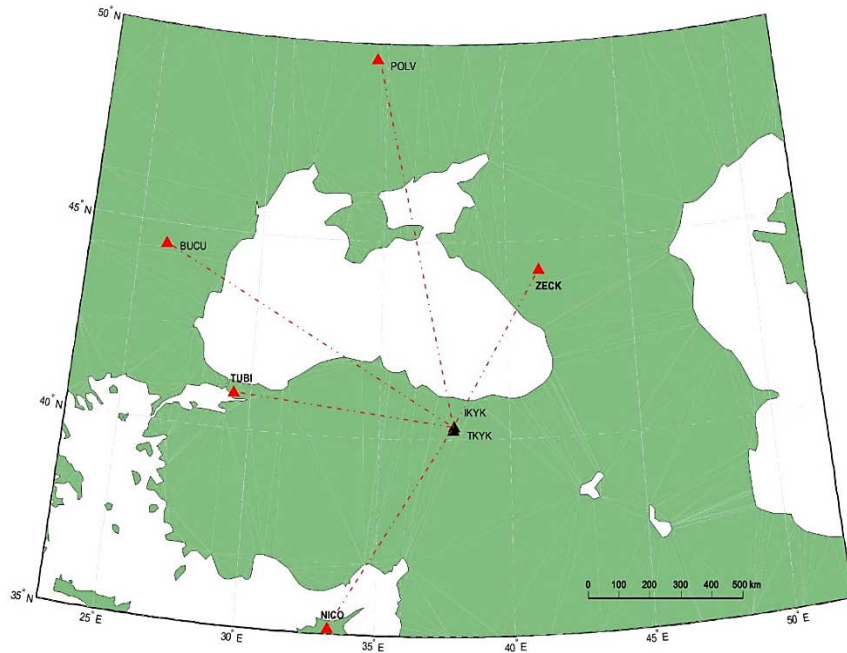
GPS Ölçülerinin değerlendirilmesi iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. İlk olarak heyelan sahası dışında sabit nokta olarak tesis edilen IKYK ve TKYK noktalarının IGS (International GPS Service) noktaları ile birlikte değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. İkinci kısımda ise IKYK ve TKYK noktaları sabit tutularak Heyelan sahasındaki 51 noktaya ait GPS Hızlı Statik verileri değerlendirilmiştir.

4.1.5.1. IKYK ve TKYK Noktalarına ait GPS Verilerinin Değerlendirilmesi

Verilerin değerlendirilmesi esnasında, jeolojik özellikleri göz önünde bulundurularak heyelan sahası dışında bulunan TKYK ve IKYK noktalarının koordinat değerlerinin değişmediği varsayılmıştır. Değerlendirme işleminde ilk olarak sabit kabul edilecek noktalar olan IKYK ve TKYK noktalarının güvenilir koordinatlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yüzden heyelan verilerinin değerlendirilme işlemine geçmeden

önce IKYK ve TKYK noktalarının, global ölçekte IGS (International GPS Service) ağına ait noktaların referans alındığı bir ağda değerlendirilme işleminin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Bu amaçla IGS noktalarından BUCU, POLV, NICO, TUBI ve ZECK noktalarının sabit referans noktaları olduğu IKYK, TKYK noktalarının ise koordinat değerleri kestirilecek noktalar olarak seçildiği bir ağ oluşturulmuştur. Bu ağda sabit noktalar seçilirken mümkün olduğunca iyi bir ağ yapısı oluşturulmaya çalışılmıştır. Fakat gerek ölçüm yapılan günlerde her noktaya ait gözlem dosyalarının yayınlanmamış olması gerekse baz uzunluğunun Bernese 5.2 BPE' de 2000 km'yi geçmemesi gerektiği için ancak yukarıda bahsi geçen dört nokta referans noktası olarak seçilmiştir. Sonuç olarak 10 periyot için BUCU, POLV, NICO, TUBI, ZECK, IKYK, TKYK noktalarından oluşan ağda değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir. Değerlendirmeler sonucunda IKYK, TKYK noktalarına ait 10 periyot koordinat değerleri belirlenmiştir.



Şekil 4.11 Kullanılan IGS noktalarının dağılımları.

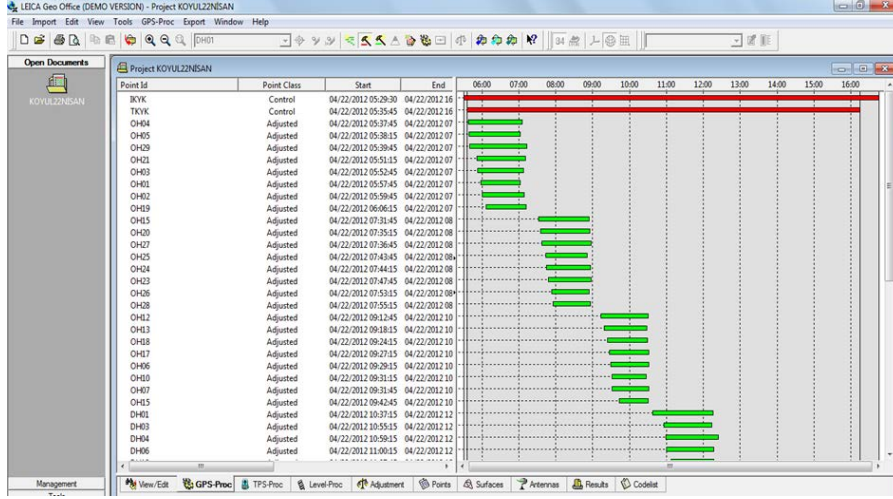
Verilerin değerlendirilmesi aşamasında lisanslı Cumhuriyet Üniversitesi Geomatik Mühendisliği Bölümüne ait olan BERNESE 5.2 Akademik GPS değerlendirme yazılımı kullanılmıştır. BERNESE V5.2 yazılımı ile değerlendirme için öncelikle heyelan noktalarına ait GPS gözlemleri RINEX (Receiver Independent Exchange

Format) formata dönüştürülmüş, bu aşamada anten yükseklikleri anten faz merkezinden (ARP; Antenna Reference Point) itibaren hesaplanmıştır. BERNESE V5.2 yazılımı ile hesaplamalarda IGS duyarlı yörünge bilgisi (SP3; Standard Product 3) ve yer dönüklük parametreleri (ERP; Earth Rotation Parameters) kullanılmış olup yörünge iyileştirme yapılmamış, uydu yörüngeleri, ERP değerleri ve uydu saat katsayıları bilinen olarak alınmıştır. Değerlendirmede kullanılan global noktalara ait ham veriler ve epok koordinatları, ABD'de bulunan SIO (Scripps Institute of Oceanography)'ya bağlı SOPAC (Scripps Orbit and Permanent Array Center) arşivinden alınmıştır.

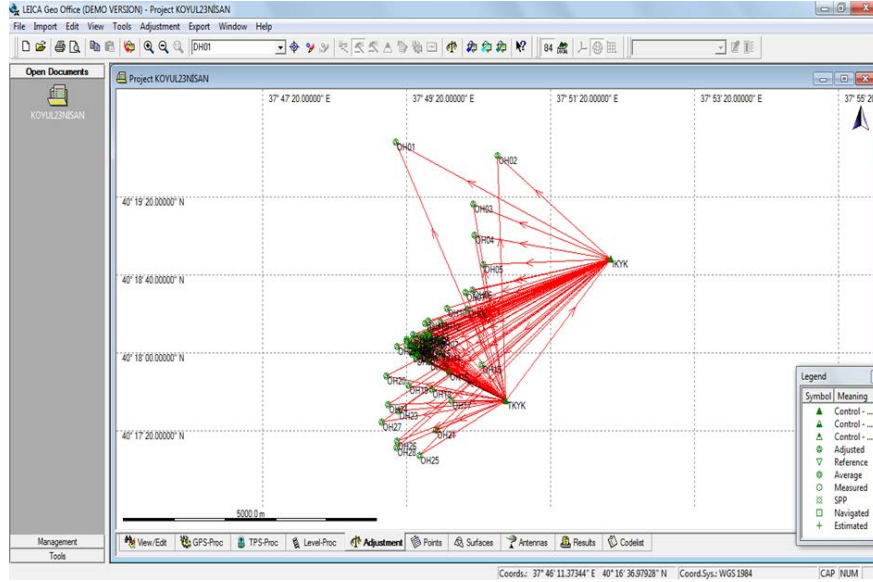
Verilerin değerlendirilmesi sonucunda IKYK ve TKYK noktalarına ait 10 periyot koordinat değerleri elde edilmiştir. Bu işlem adımlarının değerlendirilmesi Cumhuriyet Üniversitesi Geomatik Mühendisliği Jeodezi Anabilim dalı öğretim üyelerinin desteği ile yapılmıştır.

4.1.5.2. Heyelan Sahası İçerisinde Bulunan 51 Noktaya ait GPS Hızlı Statik Verilerinin Değerlendirilmesi

Değerlendirme işleminin ikinci kısmında TKYK ve IKYK noktaları sabit tutularak heyelan sahasındaki 51 noktaya ait GPS Hızlı Statik verileri değerlendirilmiştir. Verilerin en az 1 saat olması ve baz uzunluklarının en fazla 3 km olması nedeni ile Hastaoğlu ve Şanlı (2011)'de belirtildiği gibi ticari yazılımdan mm düzeyinde konum doğruluğu elde edileceği gerçeğinden yola çıkarak bu işlem için LEICA Geo Office (LGO) programı kullanılmıştır. Şekil 4.12' de LGO programı GPS gözlem süreleri , Şekil 4.13'de ise değerlendirilen bazlar gösterilmektedir.



Şekil 4.12 GPS gözlem süreleri.



Şekil 4.13 L.G.O. yazılımı ile değerlendirilen bazlar.

LEICA Geo Office yazılımı kullanılarak 10 periyoda ilişkin değerlendirme sonucunda 51 GPS noktasına ait koordinat değerleri elde edilmiştir.

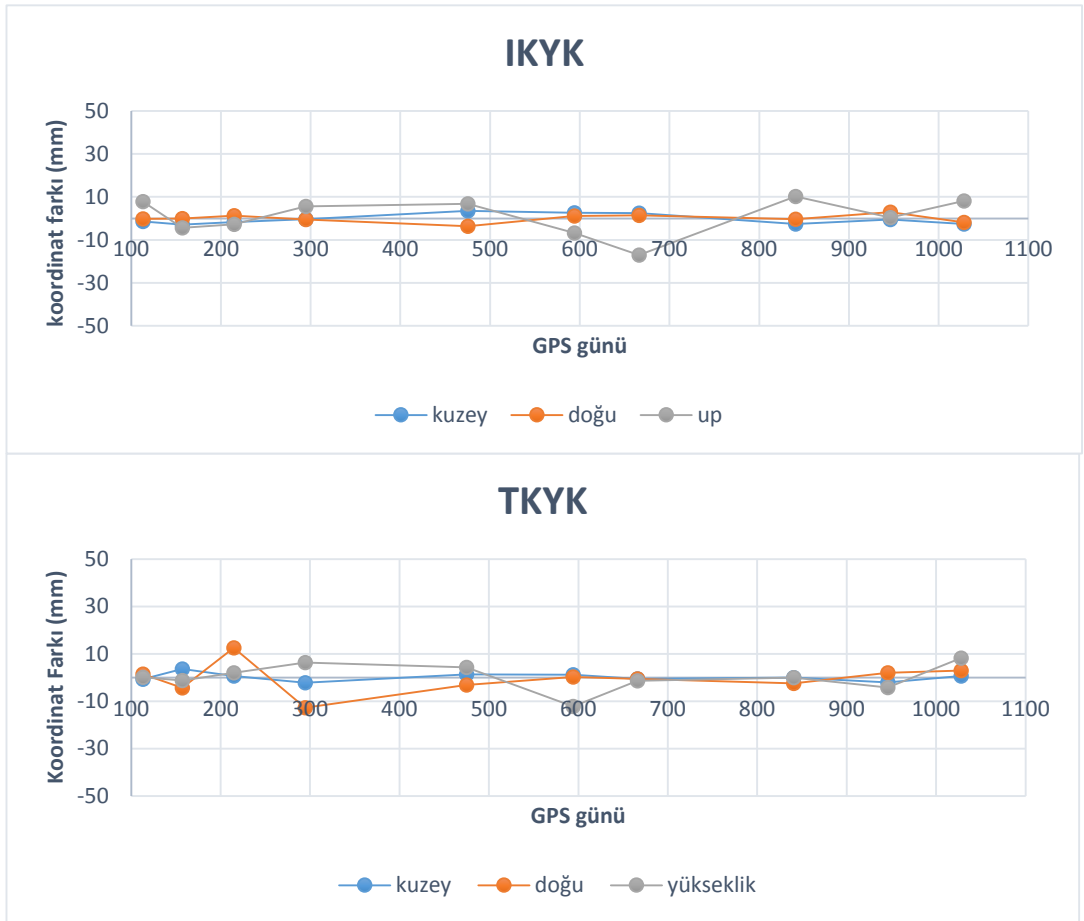
4.1.6. GPS Yöntemi İle Deformasyonların Belirlenmesi

Verilerin değerlendirilmesi sonucunda sabit tutulan IKYK ve TKYK noktalarına ait 10 periyot koordinat değerleri elde edilmiştir. Bu değerlerin tekrarlılıkları Şekil 4.14' de verilmektedir. Çizelge 4.1' de ise bu koordinat değerlerinden elde edilen yıllık hız değerleri verilmektedir. Bu işlem adımlarının değerlendirilmesi Cumhuriyet

Üniversitesi Geomatik Mühendisliği Jeodezi Anabilim dalı öğretim üyelerinin desteği ile yapılmıştır.

Çizelge 4.1 Noktalara ait yıllık hız değerleri

YEREL JEODEZİK DATUM: ITRF2008				
NUM	İSTASYON ADI	VX (M/Y)	VY (M/Y)	VZ (M/Y)
1	BUCU 11401M001	-0.01650	0.01880	0.01026
2	IKYK	-0.01872	0.00907	0.01270
3	NICO 14302M001	-0.01778	0.01109	0.01422
4	POLV 12336M001	-0.02250	0.01207	0.00494
5	TKYK	-0.01933	0.00428	0.01310
6	TUBI 20806M001	-0.01861	0.01394	0.00857
7	ZECK 12351M001	-0.02021	0.01600	0.01092

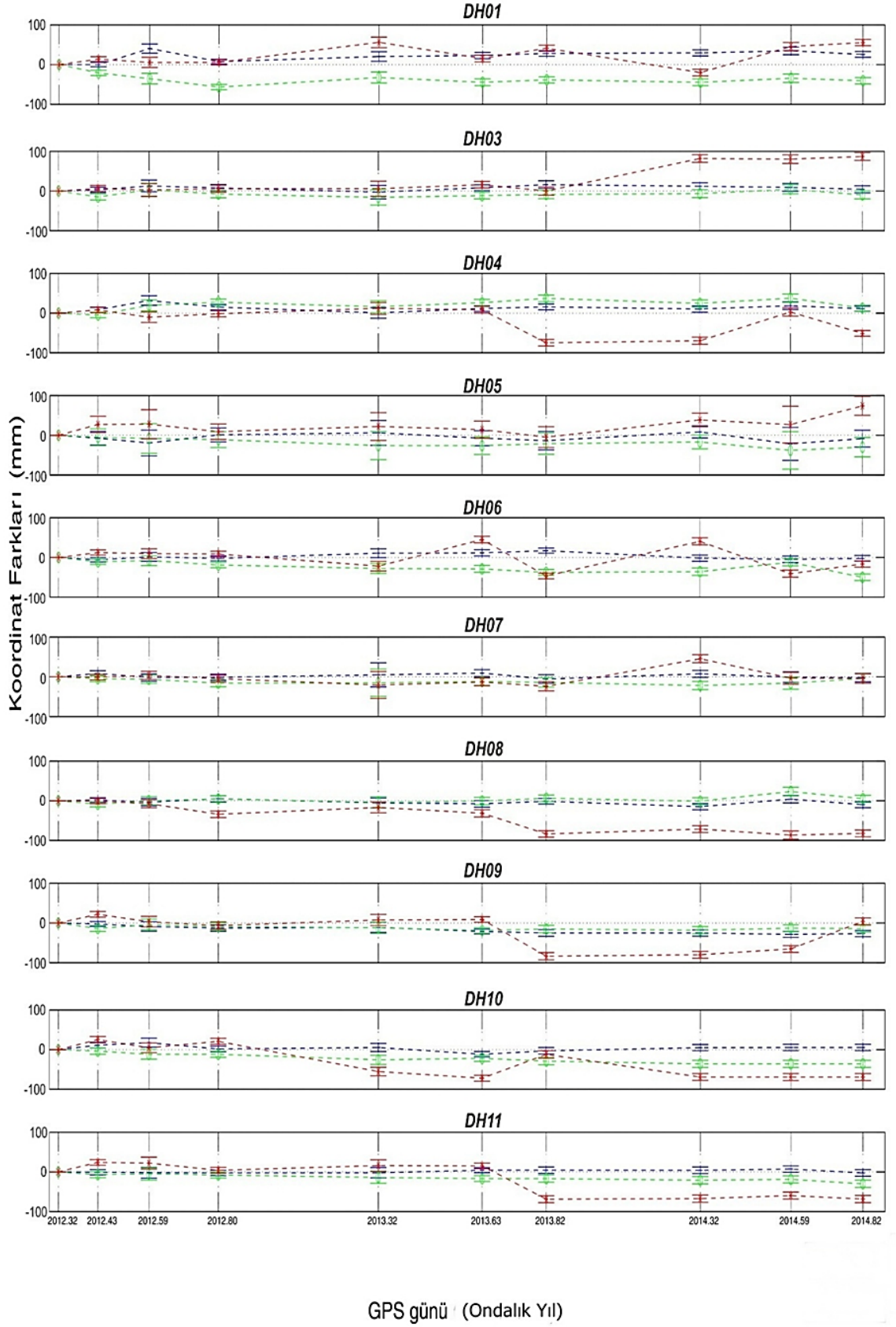


Şekil 4.14 IKYK ve TKYK noktalarına ait koordinat tekrarlılıkları.

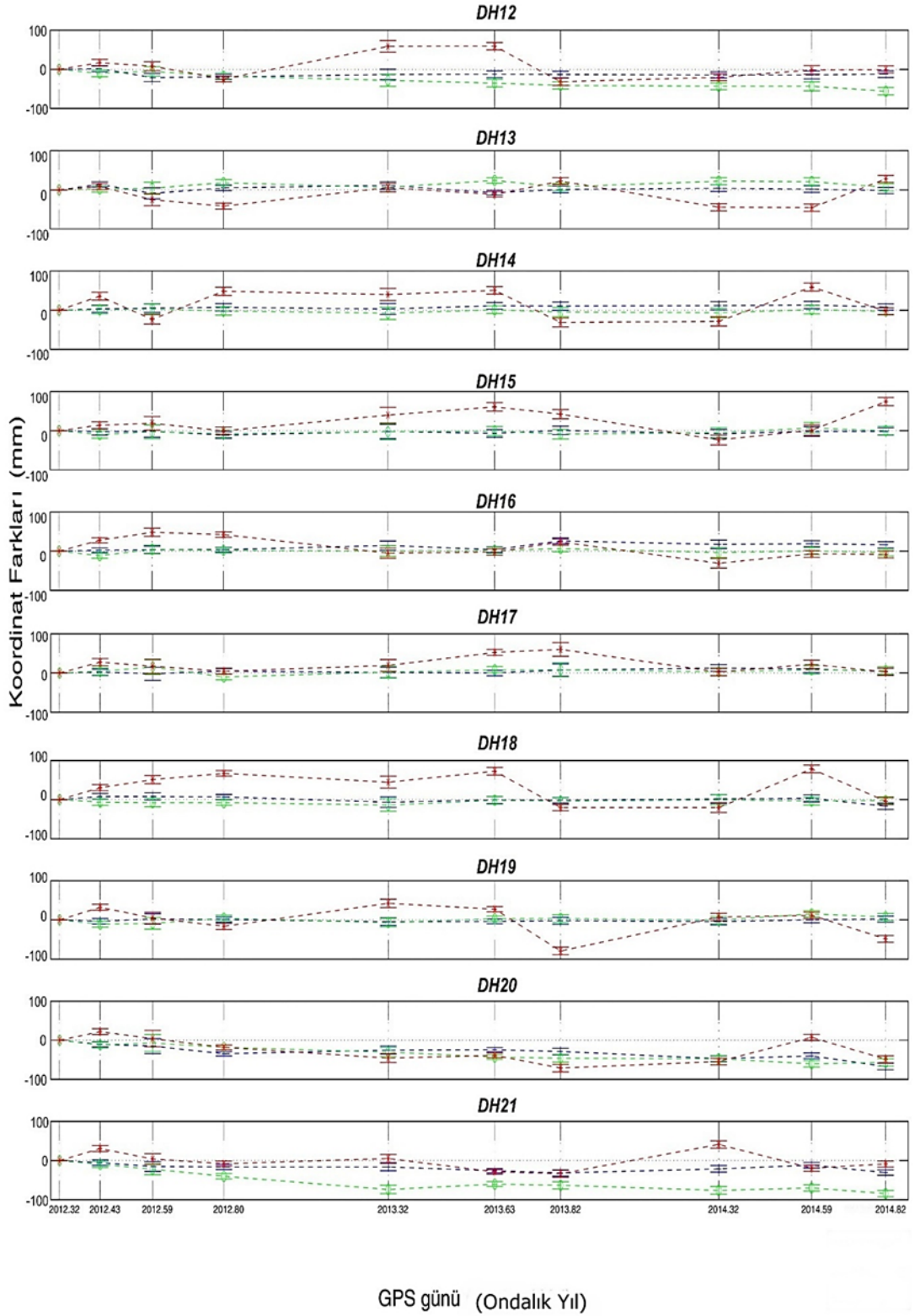
Şekil 4.14 incelendiğinde IKYK ve TKYK noktalarına ait koordinat değerlerinin periyotlar arasında en fazla yaklaşık ± 1 cm değişim gösterdiği izlenmektedir. Elde edilen bu koordinat değerleri yardımı ile Bernese 5.2 yazılımının hız kestirim modülü kullanılarak bu noktalara ait yıllık hız değerleri kestirilmiştir.

Çizelge 4.1' de görüldüğü üzere IKYK ve TKYK noktalarında beklenen yıllık tektonik hareketten kaynaklanan hız değerleri elde edilmiştir. Buradan yola çıkarak IKYK ve TKYK noktalarında heyelandan kaynaklanan bir hareket olmadığı söylenebilir.

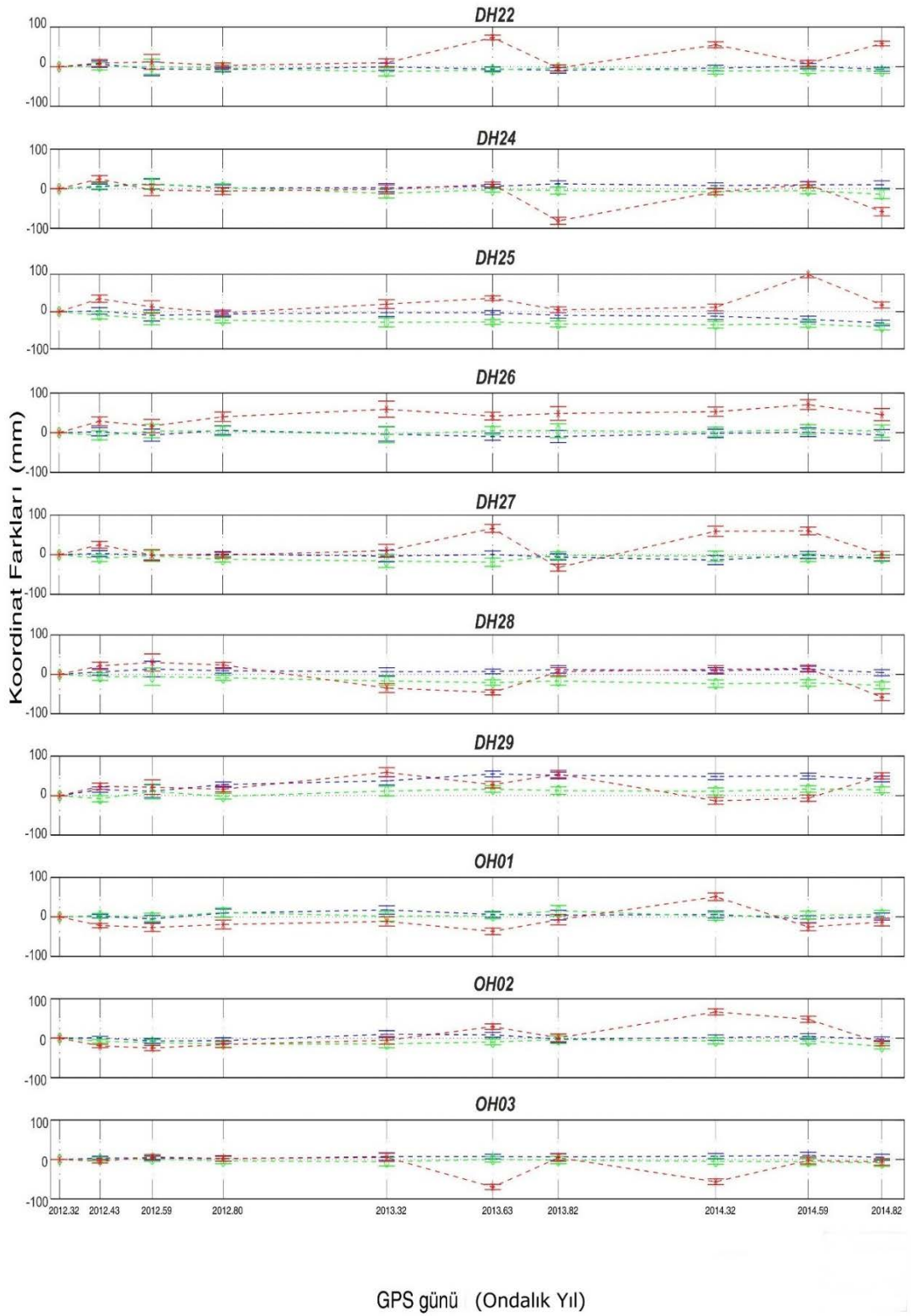
Kesin koordinatları bilinen IKYK ve TKYK noktaları ile birlikte heyelan sahası içerisinde bulunan 51 noktaya ait GPS'izli statik verilerinin değerlendirilmesi işlemi gerçekleştirilmiştir.



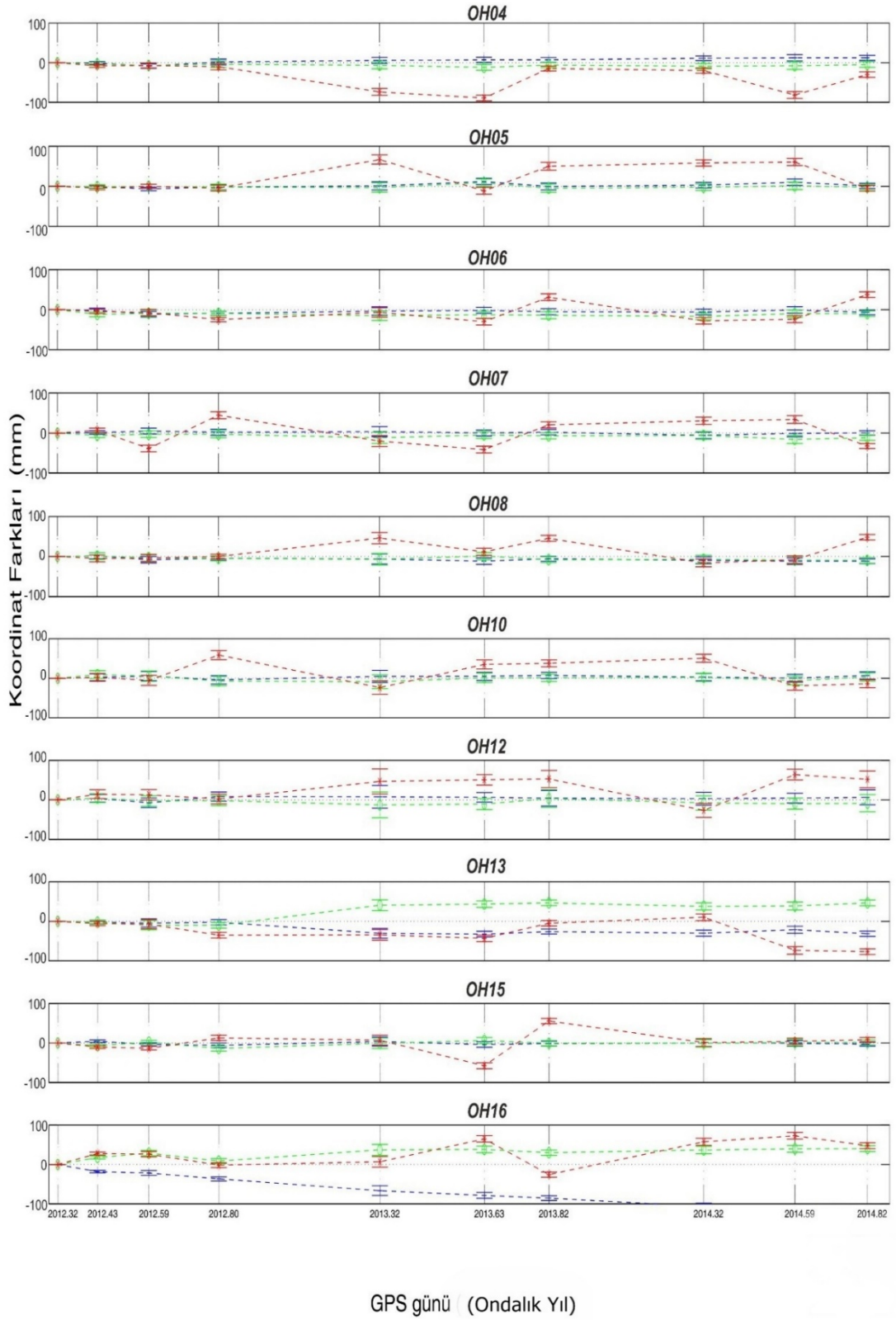
Şekil 4.15 DH01-DH11 GPS noktalarına ait 10 periyodluk GPS değerlendirilmesinden elde edilen koordinat farkları.



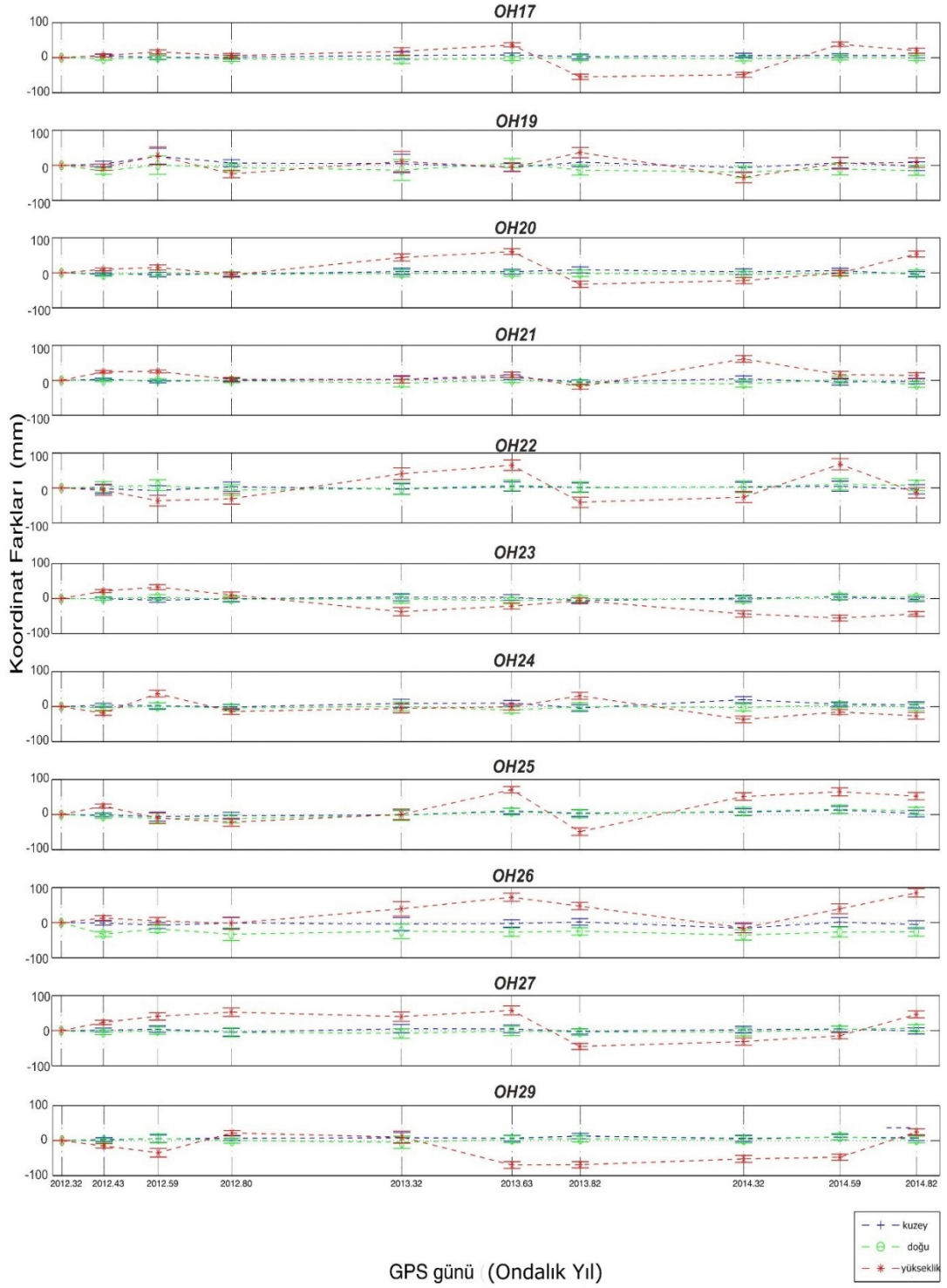
Şekil 4.16 DH12-DH21 GPS noktalarına ait 10 periyodluk GPS değerlendirilmesinden elde edilen koordinat farkları.



Şekil 4.17 DH22-OH03 GPS noktalarına ait 10 periyodluk GPS değerlendirilmesinden elde edilen koordinat farkları.



Şekil 4.18 OH04-OH16 GPS noktalarına ait 10 periyodluk GPS değerlendirilmesinden elde edilen koordinat farkları.



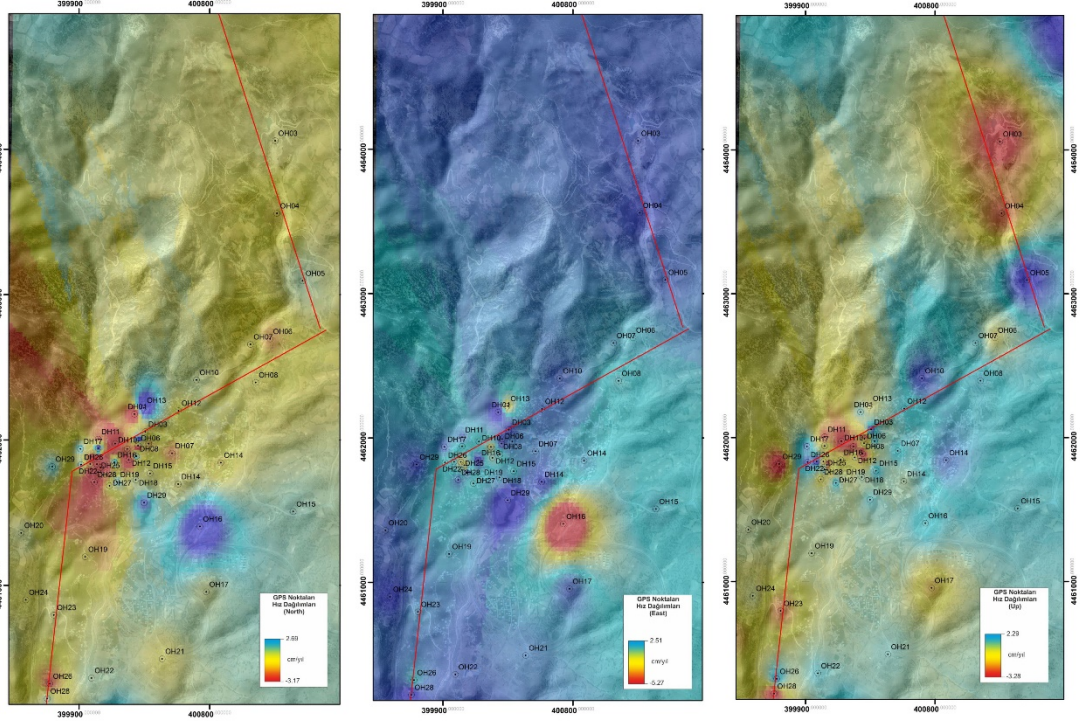
Şekil 4.19 OH17-OH29 GPS noktalarına ait 10 periyodluk GPS değerlendirilmesinden elde edilen koordinat farkları.

Yapılan bu değerlendirme işlemleri sonunda GPS noktalarının yıllık hız miktarı bulunmuştur (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2 GPS noktalarının yıllık hız miktarı

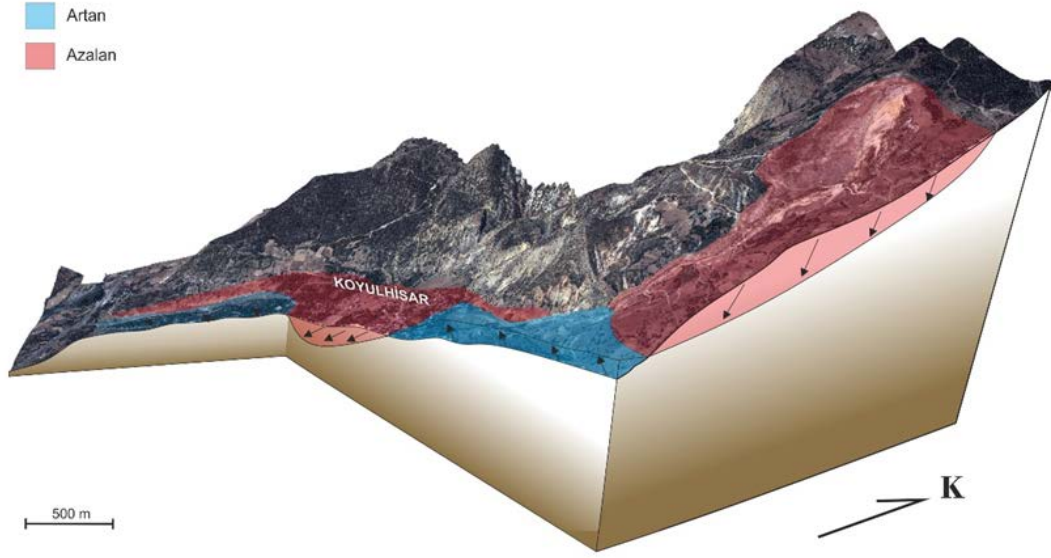
Nokta No	Hız Değeri (cm/ yıl)			Hız Değeri Std. Sapma (cm/yıl)		
	Vn	Ve	Vup	sn	se	sup
DH01	-2.2	1.4	1.5	0.6	0.5	0.6
DH03	-0.4	0.5	2.7	0.7	0.6	0.7
DH04	1.2	0.6	-1.9	0.6	0.5	0.6
DH05	-1.0	-0.1	1.5	1.4	1.3	1.4
DH06	-1.7	0.2	-0.4	0.6	0.5	0.5
DH07	-0.7	0.1	0.2	0.8	0.7	0.8
DH08	0.3	-0.3	-3.6	0.6	0.5	0.6
DH09	-0.8	-1.3	-1.8	0.6	0.5	0.6
DH10	-1.6	0.1	-2.9	0.6	0.5	0.6
DH11	-1.1	0.1	-2.2	0.6	0.5	0.6
DH12	-2.2	-0.7	-0.1	0.6	0.6	0.6
DH13	0.8	0.0	-0.6	0.6	0.5	0.6
DH14	-0.1	0.5	0.7	0.7	0.6	0.7
DH15	-0.1	-0.2	1.7	0.8	0.7	0.8
DH16	0.0	0.8	0.1	0.6	0.5	0.6
DH17	0.3	0.3	1.0	0.7	0.6	0.6
DH18	-0.2	-0.2	1.3	0.6	0.6	0.6
DH19	0.3	-0.1	-0.4	0.6	0.5	0.6
DH20	-2.6	-2.2	-1.9	0.5	0.5	0.5
DH21	-3.7	-1.2	-0.6	0.5	0.5	0.5
DH22	-0.5	-0.2	2.0	0.5	0.4	0.4
DH24	-0.3	0.4	-0.8	0.6	0.5	0.5
DH25	-1.8	-0.8	1.7	0.6	0.5	0.5
DH26	0.2	-0.2	2.7	0.8	0.8	0.8
DH27	-0.4	-0.3	1.0	0.6	0.6	0.6
DH28	-1.1	0.5	-0.8	0.6	0.5	0.6
DH29	0.7	2.4	1.2	0.6	0.5	0.5
OH01	0.2	0.1	-0.4	0.7	0.6	0.6
OH02	-0.6	0.1	0.9	0.5	0.4	0.5
OH03	-0.2	0.4	-1.4	0.5	0.5	0.5
OH04	-0.4	0.5	-2.2	0.5	0.4	0.5
OH05	0.0	0.2	1.3	0.5	0.5	0.5
OH06	-0.6	-0.3	0.0	0.5	0.5	0.5
OH07	-0.5	0.0	-0.2	0.5	0.5	0.5
OH08	-0.4	-0.5	1.1	0.5	0.5	0.5
OH10	0.0	0.2	0.7	0.7	0.6	0.7
OH12	-0.4	0.2	1.8	1.1	1.0	1.1
OH13	2.0	-1.4	-2.1	0.5	0.5	0.5
OH15	0.0	-0.1	0.3	0.5	0.4	0.5
OH16	1.9	-5.4	2.0	0.5	0.5	0.5
OH17	-0.1	0.3	0.3	0.5	0.4	0.4
OH19	-0.5	0.0	0.0	1.0	0.8	0.9
OH20	-0.1	0.1	0.8	0.6	0.5	0.5
OH21	-0.3	0.0	0.9	0.6	0.5	0.5
OH22	0.2	0.0	0.4	1.0	0.9	1.0
OH23	0.0	0.0	-1.7	0.5	0.5	0.5
OH24	0.0	0.4	-0.7	0.6	0.5	0.6
OH25	0.4	0.3	2.0	0.7	0.6	0.7
OH26	-1.4	-0.2	2.4	0.8	0.7	0.8
OH27	0.0	0.1	0.2	0.7	0.6	0.6
OH29	0.3	0.5	-1.6	0.6	0.5	0.6

Değerlendirme sonucu anlamlı sonuç elde edilen hız vektörleri incelendiğinde ilçe merkezi ve Emniyet Müdürlüğü binası çevresindeki GPS noktalarında belirgin derece hareket olduğu anlaşılmaktadır. Bu hız vektörlerinin enterpolesi sonucu oluşturulan hız dağılım haritası Şekil 4.20’de sunulmuştur.



Şekil 4.20 GPS ölçümlerine ait yıllık hızların Kriging yöntemi ile oluşturulmuş enterpolasyon haritası.

Koyulhisar ilçesi ve eski heyelan kütlesi göz önünde bulundurularak hazırlanan yüzey deformasyonlarını gösteren şematik 3 boyutlu diyagram Şekil 4.21’de sunulmuştur.



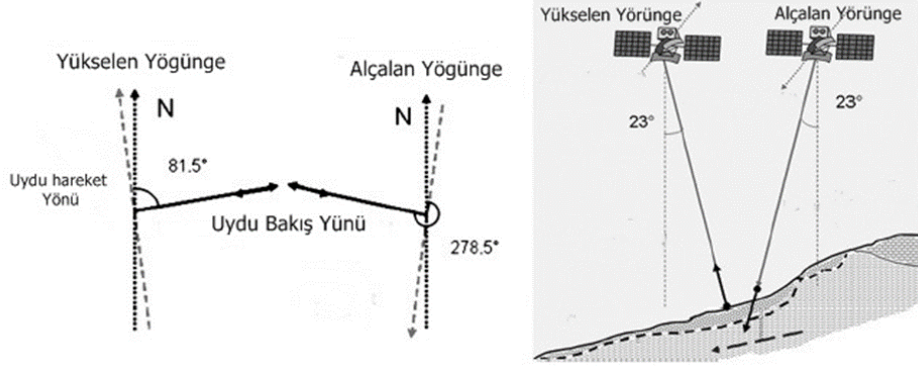
Şekil 4.21 Koyulhisar ve yakın çevresindeki yüzey deformasyonlarının şematik gösterimi.

4.2. SAR (Yapay Açıklık Radarı) Verilerinin Değerlendirilmesi

Bu tez çalışması kapsamında Koyulhisar heyelan sahasındaki kayma miktarlarının SAR görüntüleri değerlendirilerek belirlenmesi de amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda ilk olarak bölgeye ait 2001-2010 yılları arasındaki ENVISAT ASAR arşiv görüntüleri Avrupa Uzay Ajansı (ESA)'dan temin edilmiştir. Daha sonra PS-InSAR yöntemi kullanılarak uydu bakış yönündeki deformasyonlar elde edilmiştir.

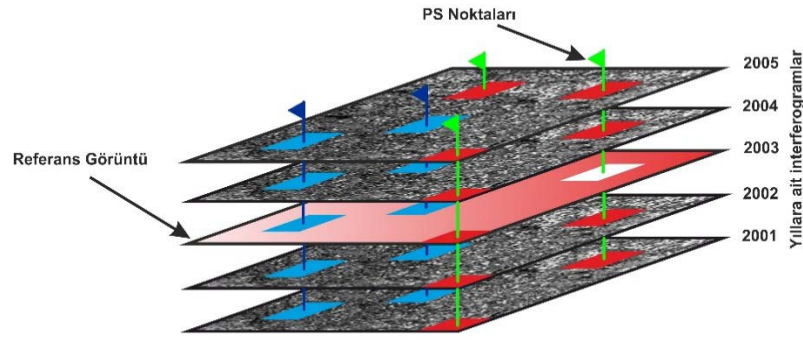
4.2.1. PS-InSAR Yöntemi (Permanent Scatterers in SAR Interferometry)

Çalışma alanına ait SAR verilerini değerlendirebilmek için ilk olarak doğru yöntemi belirlemek gerekir. Literatür araştırmaları sonucu çalışma alanının küçüklüğü göz önünde bulundurularak PS-InSAR (Permanent Scatterers in SAR Interferometry) yönteminin daha doğru sonuçlar vereceği amaçlanmıştır. SAR uydularına ait çalışma prensibi Şekil 4.22'de gösterilmiştir.



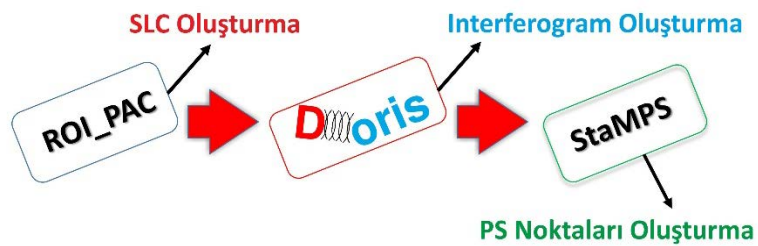
Şekil 4.22 SAR uydusu çalışma prensibi ve örnek uydü bakış açısı.

PS-InSAR yönteminde kullanılan algoritma, referans (master) görüntü seçerek oluşturulan farklı zamanlara ait interferogramları kullanır. İşlenen görüntülerde piksel PS noktası tanır ve gürültüler ayıklanarak PS noktaları elde edilir.



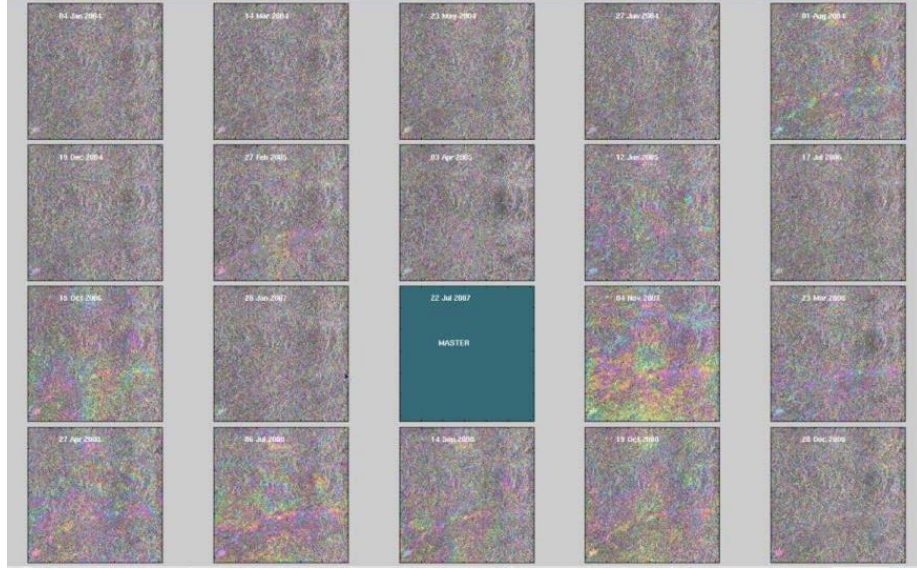
Şekil 4.23 PS noktası oluşumunun şematik gösterimi.

Görüntülerin değerlendirilme aşamasında ham veri olarak temin edilen SAR görüntüleri ROI_PAC yazılımı kullanılarak SLC görüntü formatına dönüştürülmüştür. İnterferogramların elde edilmesi için ise Delft duyarlı yörünge bilgileri ve DORIS (Delft Object-Oriented Radar Interferometric Software) yazılımı kullanılmıştır. Son olarak ise PS noktalarına ait hız değerlerini elde etmek için Stanford Method for Persistent Scatterers (StaMPS) yazılımı kullanılmıştır.

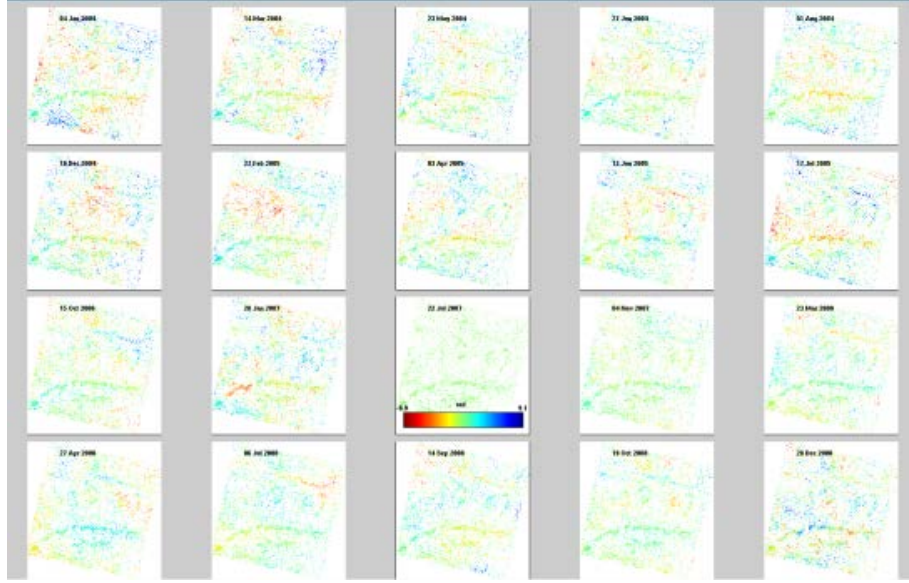


Şekil 4.24 Değerlendirme işleminin şematik gösterimi.

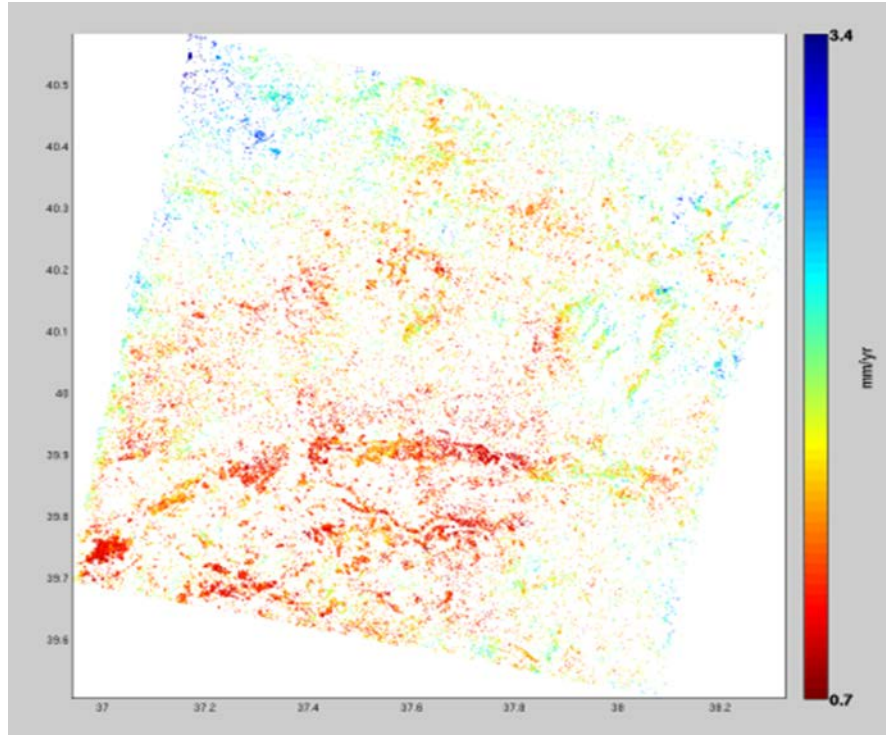
Değerlendirme aşamalarının görselleştirilmesi sırası ile Şekil 4.254’de verilmiştir. Şekil 4.25’de 2004-2009 yılları arasında 78 iz numaralı SAR görüntüsünden elde edilen interferogramlar bulunmaktadır. İnterferogramlar elde edilirken master görüntü olarak 22 Temmuz 2007’ye ait görüntü seçilmiş ve bütün ölçüler bu master görüntü ile karşılaştırılarak interferogramlar elde edilmiştir. Şekil 4.26’da ise değerlendirme sonucunda elde edilen PS noktalarına ait genel görüntü verilmektedir. Şekil 4.267’de ise değerlendirme sonucunda elde edilen PS noktalarına ait hız bilgileri verilmektedir.



Şekil 4.25 DORIS programı kullanılarak elde edilen interferogramlar.



Şekil 4.26 STAMPS programı ile değerlendirme sonucunda hatalardan (yörünge hatası, atmosfer hatası) arındırılmış PS noktalarına ait genel görüntü.

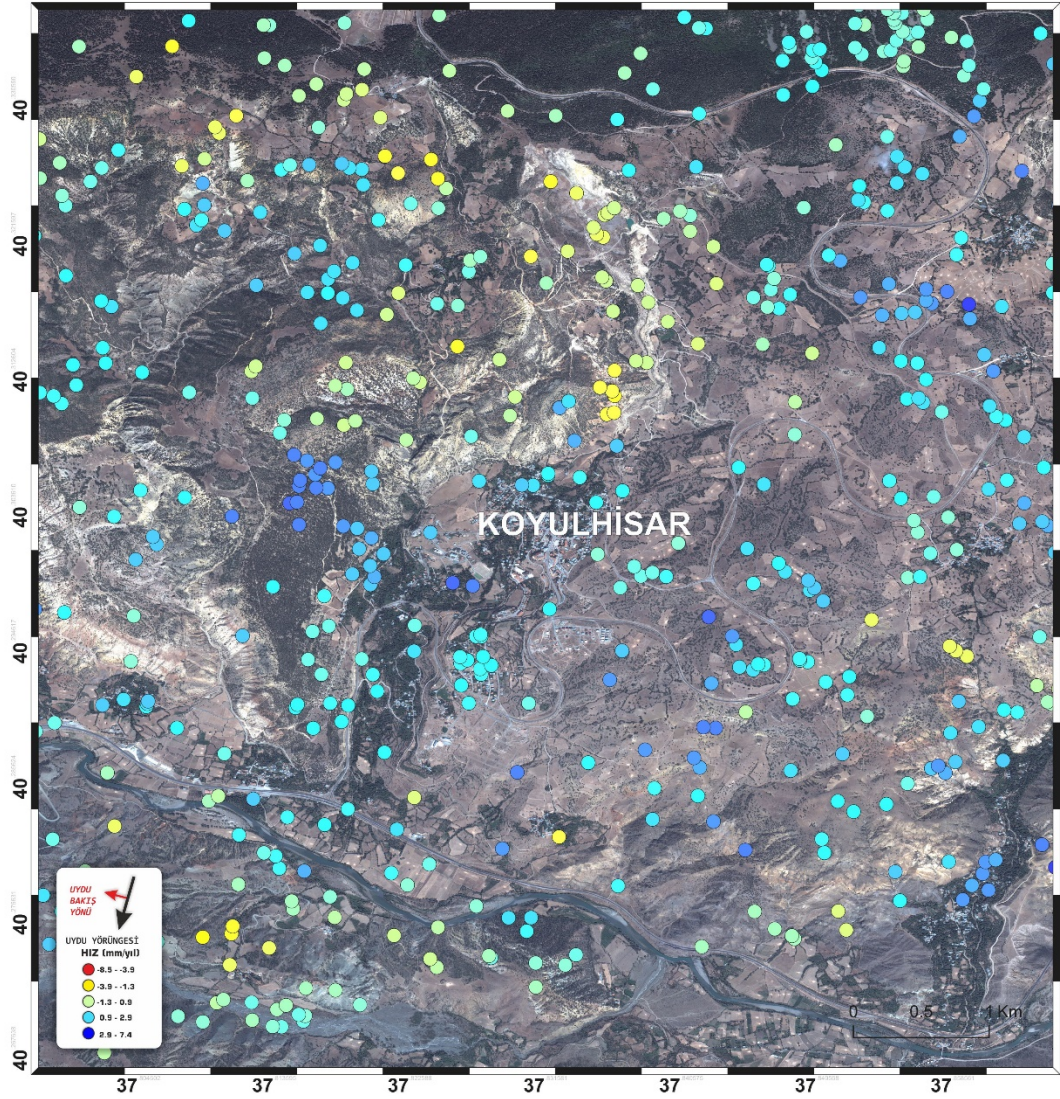


Şekil 4.27 STAMPS programı ile değerlendirme sonucunda elde edilen PS noktalarına ait hız bilgileri (mm/yıl).

78 iz numaralı radar uydu görüntüsü için STAMPS programı kullanılarak değerlendirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Değerlendirme işleminde Koyulhisar

bölgesine ait alan tüm çerçeveden heyelan sahasını da içinde barındıran bir bölge kesilerek bu bölgeye ilişkin değerlendirme gerçekleştirilmiştir.

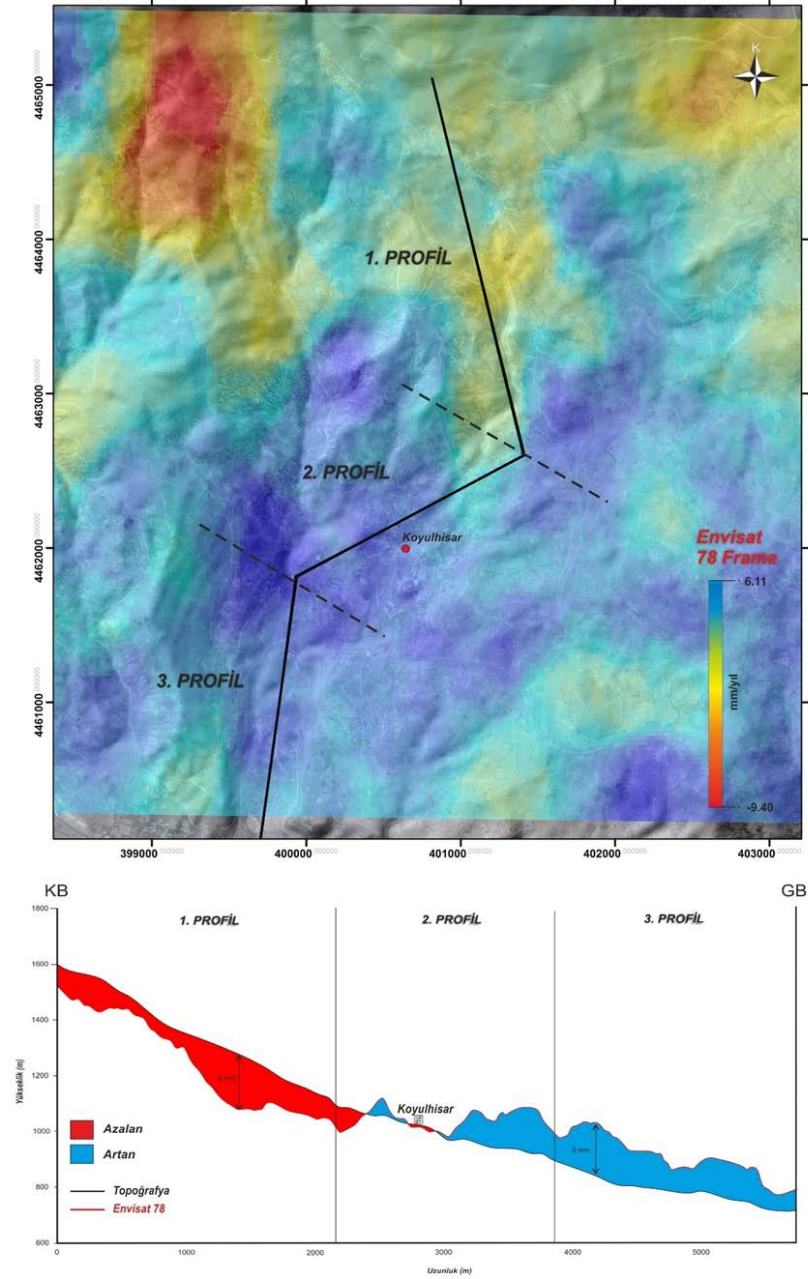
SAR verileri değerlendirme işlemi sonucu uydu bakış yönündeki deformasyonları gösteren PS noktaları ve bu noktalara ait hız değerleri uydu görüntüsü üzerine çakıştırılmış hali Şekil 4.28' de sunulmuştur.



Şekil 4.28 ENVISAT-ASAR 78 iz numaralı alçalan uyduya ait PS noktaları ve bu noktalara ait hız değerleri.

Şekil 4.28 incelendiğinde genel olarak heyelan sahasının kuzeyinde bir çökme hareketi varken heyelan sahasının ortalarında bu hareket yavaşlayarak yerini yükselme hareketine bıraktığı gözlenmektedir.

Bu hareketi heyelan sahası boyunca daha iyi görebilmek amacı ile heyelan sahasındaki PS noktaları kullanılarak her bir 78 iz numaralı radar görüntüsü için enterpole haritası oluşturulmuştur. Daha sonra bu harita üzerinde bir kesit alanı belirlenmiş ve bu kesit üzerine düşen değerler yardımı ile heyelan sahasındaki hareket değerlerine ilişkin boy kesitler çizdirilmiştir. Şekil 4.29’da PS noktalarından enterpole edilmiş değerler ve bu değerlerin heyelan sahası boyunca kuzey-güney doğrultusunda dağılımını gösteren boy kesit değerleri sunulmaktadır.



Şekil 4.29 ENVISAT-ASAR 78 iz numaralı uyduya ait PS noktalarından elde edilen enterpole hız haritası ve boy kesit.

Şekil 4.29 incelendiğinde birinci kesit alanı ve ikinci kesit alanının ilk yarısını içeren eski heyelan kütlesi üzerinde bir çökme gözlenirken, bu hareket ikinci kesit alanının ortaları olan Saytepe mevkiinde azalmakta ve ikinci kesitin ikinci yarısı ve üçüncü kesiti içerisinde bulunduran heyelan sahasının güneyinde yükselme olarak karşımıza çıkmaktadır. Özetle heyelan sahası çökme ve yükselme alanları olarak ikiye ayrılmakta, kuzey kesimde çökme gözlenirken güney kesimde daha çok yükselme hareketi gözlenmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma sahası Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde olup, 1. derece deprem tehlikesi altındadır. Bu özelliğinden dolayı bölgede aynı zamanda yoğun heyelanlar da oluşmaktadır. Özellikle Eosen yaşlı kaya birimleri içerisindeki killi seviyeler ve Alt Miyosen yaşlı kaya birimleri içerisindeki killi ve jipsli seviyeler heyelanların oluşumuna en uygun kayalardır. Bu kayaların yoğun şekilde izlendiği Koyulhisar ilçe merkezinde de çok büyük eski heyelan kütleleri izlenmektedir. Bu heyelanların büyük çoğunluğu dairesel dönme hareketi şeklinde gelişmektedir.

Bölgede 1998-2000 yıllarında meydana gelen heyelanlardan sonra biriken malzeme, ilçenin kuzeyinde bulunan Aklan mahallesinin doğusunda Gönenli deresi içerisinde yer almaktadır. Bu akan kütle genişliği 2 km'ye kadar ulaşmaktadır. Bölgede yer altı su seviyesi oldukça yüksek olup, heyelanlı kütle içerisinde küçük gölcükler oluşmuştur. Koyulhisar'ın üzerinde bulunduğu eski heyelan kütlelerinin önü açık olup, yağışlı bir mevsimde malzemenin tekrar su ile temasının artması ve suya doymun hale gelmesi sonucu heyelanlı kütlelerin tekrar hareket etme olasılığı yüksektir.

Gerçekleştirilen gözlemler sonucunda, çalışma alanı içerisindeki potansiyel yamaç duyarlılıklarının, genellikle güneye doğru hakim olduğu görülmüştür. Çalışma alanı içerisinde belirlenmiş olan eski ve yeni tüm heyelanlar, güneydeki Şıhlar fayı ile kuzeydeki Dumanlıca fayı arasında gözlenmektedir. Bu da heyelanların kuzeyden güneye doğru Dumanlıca fayından Şıhlar fayına kadar uzanan ve birçok heyelanın birleşmesi ile oluşabilecek karmaşık bir heyelan sistemi ile açıklanabilir.

İlçenin üzerinde kurulu olduğu heyelan kütleleri ilçenin kuzeyinde Subaşı ve Aklan mahalleleri D-KD'sunda başlamış ve Saytepe'nin batı ve özellikle doğu kenarı boyunca güneye ilçe merkezinde doğru akmıştır. Bu akan kütle oldukça büyük boyutta olup genişliği 2 km'ye kadar ulaşmaktadır. Bununla beraber kütlelerin akış güzergâhı üzerinde bulunan Saytepe olası büyük tehlikeyi azaltır nitelikte doğal bir bariyer görevi yapmaktadır Bu ana kütle üzerinde de ayrıca ilçe merkezinde zaman zaman yersel heyelanlar gelişmiştir. Koyulhisar İlçe Emniyet Müdürlüğü binasının yakın civarında da birtakım deformasyonlar izlenmiştir. Ancak bu deformasyonlar yukarıda da belirtildiği gibi ana kütle içerisinde gelişen yersel heyelanlardır. Buna bağlı olarak

Emniyet Müdürlüğü binasının daha kuzeyinde bulunan yerleşim yerlerinde heyelana bağlı olarak ciddi deformasyonlar gelişmiştir.

Gerek jeolojik veriler gerekse saha gözlemlerinin değerlendirilmesi sonucunda bölgedeki heyelanların oluşumunda, özellikle Sendir ve Yılmaz (2001)'de de belirtildiği gibi beş faktörün etkili olduğu düşünülmektedir. Bu faktörler sırası ile önceden meydana gelmiş yenilmeler, kaya kütlelerinin içerdiği kırık çatlak gibi süreksizlikler, yağışlar ve bitki örtüsü, topoğrafya (eğimler 20 ile 70 derece arasında değişmektedir) tektonik aktivite, bozunma ve ayrışmalardır. Çalışma alanındaki birimlerde özellikle egemen süreksizliklerin eğim yönlerinin çakıştığı bölgelerde yoğun bozunma ve ayrışma zonları gelişmiştir.

Tez kapsamında gerçekleştirilen gözlem ve ölçümler sonrasında genel olarak yaklaşık K-G yönünde küçük ve/veya büyük hareketler gözlenmiştir. Tez çalışma sahasının genel değerlendirmesi içerisinde alçalma ve/veya yükselme değerleri dikkate alınarak değerlendirme yapıldığında, Sendir ve Yılmaz (2001)'in öngördüğü genel heyelan mekanizmasıyla uyumlu olduğu belirlenmiştir. Bu genel değerlendirme proje sahasının kuzeyinde genel bir çökmeyi, güneyinde ise yükselme gelişimini içermekle birlikte alçalmanın gerçekleştiği bölge Saytepe'nin gerisinde (kuzeyinde) kalan bölgelerde açık bir şekilde gözlenmektedir. Yükselme şeklindeki hareket ise özellikle Koyulhisar yerleşim alanının güneybatı ucunda olmak üzere belirlenmiştir.

GPS sonuçlarından daha yersel ölçeklere inildiğinde yapılan değerlendirmeler sırasında bu yersel bölgeler içerisinde sadece alçalma veya yükselme olmayıp yatay hareketlerinde gözlendiği tespit edilmiştir. Bu farklı hareketler SAR sonuçlarından elde edilen bölgesel ölçekteki değerlendirmenin yanlış olduğu anlamına gelmeyip, genel heyelan topuğunda yer alan bu büyük bölgenin kabarmayla birlikte kendi içerisinde meydana gelen yersel şev hareketlerini ifade etmektedir. Bu yersel şev hareketlerinin küçük değerleri ve bir heyelana dönüşmemiş olmasının nedeni ilgili şevlerin topuklarının bir mühendislik yapısı (bina, yol, vb.), bitki örtüsü (özellikle ağaçlık alanlar) veya şevin hemen önünde yer alan topoğrafik yükseltiler ile desteklenmesi şeklinde açıklanabilir.

Sonuç olarak yüzey deformasyonları ile ilgili araştırmalarda kullanılacak yöntemlerin çalışma alanının büyüklüğü ve morfolojik özellikleri göz önünde bulundurularak belirlenmesi gerekmektedir. Kullanılacak Jeodezik yöntemler ve uzaktan algılama

yöntemlerinin yanısıra yapılacak çalışmalarda bölgeye ait detaylı jeolojik incelemeler de büyük önem taşımaktadır. Bugüne kadar yapılan jeodezik çalışmalarda jeolojik verilerin yeteri kadar bulunmadığı, bu durumun sağlıklı bir modelleme yapılmasını engellediği gözlenmiştir. Hastaoğlu ve Şanlı (2011) Koyulhisar bölgesinde yaptıkları çalışmada bu eksikliğe vurgu yapmışlardır. Bu tez çalışması kapsamında ise elde edilen jeodezik ve jeolojik veriler bir arada değerlendirilerek, bölgedeki yüzey deformasyonlarının oluşumu ile ilgili modellemeler daha sağlıklı bir biçimde gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKLAR

- Angelier, J. ve Mechler, P.**, (1977), “Sur une methode graphique de recherche des contraintes principales egalment utilisable en tectonique et en seismologie : la method diedres droits”, *Bull. Soc. Geol. France*, 19, 1309-1318
- Angelier, J.** (1984),” Tectonic analysis of fault slip data sets”. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* (1978–2012), 89(B7), 5835-5848.
- Armijo, R., ve Cisternas, A.**, (1978). Un problème inverse en microtectonique cassante. *C. R. Acad. Sci. Ser. 2*, 287:595-598.
- Armijo, A., Carey, E. ve Cisternas, A.**, (1982). “The inverse problem in microtectonics and the separation of tectonic phases”. *Tectonophysics*, 82, 145-160.
- Arthaud, F.** (1969). ”Metode de determination graphique des directions de raccourcissement, d'allongement et intermediaire d'une population de failles”. *Bull. Geol. Soc. France*, 11, 729-737.
- Bayrak T.** (2003). “Heyelanlar İçin Bir Dinamik Deformasyon ve Bir Dinamik Hareket Yüzeyi Modelinin Oluşturulması”, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Doktora Tezi), 195s, Trabzon.
- Bott, M. H. P.** (1959). “The mechanism of oblique slip faulting. *Geol. Mag*”, 96, 109-117.
- Browitt, C., Aktar, M.** (2006). “Italy Vulnerability Mapping Istanbul, GMES Terrafirma Workshop 3”, 18-19 MAY 2006, ESRIN, Frascati.
- Brunner, F.K. ve Welsch, W.M.** (1994). “Effects of the Troposphere on GNSS Measurements”, *GNSS World*, 4:42-51.
- Brunner, F. K.** (1997). “Continuous Monitoring of Deformation Using The Global Positioning System”, *AvH Magazine*, 69, 29-38.
- Carey, E. ve Brunier, B.** (1974). “Analyse theorique et numerique d'une modele mecanique elementaire applique a l'etude d'une population des failles”. *Cr. Acad. Sci., Paris*, 2790, 891-894.
- Carey, E.**, (1979). “Recherche des directions principales de contraintes associees au jeu d'une population de failles”, *Rev. Geol. Dynam. Geog. Phys.*, 21, 57-66
- Carey- Guillardis, E. And Mercier, J.L.** (1987). ”A numerical method for determining the state of stress using focal mechanisms of earthquake populations. *Earth Planet. Sci. Lett.* 82, 165-179.
- Coe J.A., Ellis W.L., Godt J.W. , Savage W.Z., Savage J.E., Michael J.A., Kibler J.D., Powers P.S., Lidke D.J., Debray S.** (2003). “Seasonal movement of the Slumgullion landslide determined from Global Positioning System surveys and field instrumentation” ,July 1998–March 2002, *Engineering Geology* 68 (2003) 67–101.
- Colesanti, C., Ferretti, A., Prati, C., ve Rocca F.** (2003a). “Monitoring landslides and tectonic motions with the Permanent Scatterers Technique”, *Engineering Geology* 68 (2003) 3 –14.
- Colesanti, C., Ferretti, A., Locatelli, R., Savio, G.** (2003b) “Multi-platform permanent scatterers analysis: first results”, *Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas*, 2003. 2nd GRSS/ISPRS Joint Workshop on Publication Date: 22-23 May 2003 On page(s): 52- 56.
- Dercourt, J.** (2000). “Apport du GNSS au Suivi en Continu des Mouvements de Terrain: Application au Glissement-Coulee de Super- Sauze (Alpes-de-Haute-Provence, France), *Earth and Planetary Sciences*, 331, 175-182.

- Erturaç M. K., ve Tüysüz O.** (20109). “Kinematics and Basin Formation Along the Ezinepazar-Sungurlu Fault Zone, NE Anatolia, Turkey” *Turkish Journal of Earth Sciences (Turkish J. Earth Sci.)*, Vol. 21, 2012, pp. 497–520
- Etchecopar, A.** (1981). “An inverse problem in microtectonics for determination of stress tensors from fault striation analysis”. *J. Struc. Geol.*, 3, 51-65.
- Farina, P., Colombo, D., Fumagalli, A., Marks, F., Moretti, S.** (2006). “Permanent scatterers for landslide investigations: outcomes from the ESA-SLAM Project”, *Engineering Geology* 88, 200-217.
- Gili, J. A., Corominas, J., Rius, J.** (2000). “Using Global Positioning System Techniques in Landslide Monitoring”, *Engineering Geology*, 55, 167-192.
- Hastaoğlu K.O.** (2009). “GNSS Hızlı Statik Yöntem İle Heyelanların İzlenebilirliğinin Araştırılması: Sivas Koyulhisar Heyelanı Örneği”, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Hastaoğlu K.O., Sanlı D. U.** (2011a), "Accuracy Of Gps Rapid Static Positioning: Application To Koyulhisar Landslide, Central Turkey", *Survey Review (ISI)*, 226-240 pp., 2011 , DOI: 10.1179/003962611X12894696205145.
- Hastaoğlu K.O., Sanlı D. U.** (2011b). “Monitoring Koyulhisar landslide using rapid static GNSS : a strategy to remove biases from vertical velocities”, *Natural Hazards*, DOI 10.1007/s11069-011-9728-5.
- Heleno S.I.N., Oliveira L.G.S. , Henriques M. J., Falcão A. P., Lima J. N.P., Cooksley G., Ferretti A., Fonseca A. M., Ferreira J. P.L, Fonseca J. F.B.D.** (2011). “Persistent Scatterers Interferometry detects and measures ground subsidence in Lisbon”, *Remote Sensing of Environment* 115 (2011) 2152–2167.
- Hofmann-Wellenhof, B.,Lichtenegger, H. Ve Colins, J.** (2001). “Global Positioning System Theory and Practice”, Fifth Revise Edition, Springer, New York.
- Hooper, A., Segall, P., ve Zebker, H.** (2007). “Persistent Scatterer InSAR for Crustal Deformation Analysis, with Application to Volcan Alcedo”, Galapagos, 2007. *Journal of Geophysical Research* pp.
- Jung, H., C. ve Min, K., D.** (2005). “Observing coal mining subsidence from JERS-1 permanent scatterer analysis”, *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2005. IGARSS, Proceedings. 2005 IEEE International Volume 7, 25-29 July 2005 Page(s): 4578 – 4581.
- Kahveci, M. ve Yıldız, F.** (2001). “ Global Konum Belirleme Sistemi Teori Uygulama”, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara.
- Malet, J. P., Maquaire, O., Calais, E.** (2002). The Use of Global Positioning System Techniques for The Continuous Monitoring of Landslides: Application to Yhe Super-Sauze Earthflow (Alpes-de-Haute-Provence, France), *Geomorphology*, 43, 33-54.
- 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., Toksoz, M.N., Veis, G.,** (2000). Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. *Journal of Geophysical Research* 105, B3, 5695-5719.
- Meisina, C., Zucca, F., Fosatti, D., Ceriani, M., ve Allievi, J.** (2006). “Ground deformation monitoring by using the Permanent Scatterers Technique: The

- example of the Oltrepo Pavese (Lombardia, Italy)", Engineering Geology 88(2006) 240–25.
- Moss, J. L., McGuire, W. J., Page, D.** (1999). "Ground Deformation of a Potential Landslide at La Palma, Canary Islands", Journal of Volconology and Geothermal Research, 94, 251-256,
- Okay, A.I., Satır, M., Zattın, M., Cavazza, W., Topuz, G.** (2008). "An Oligocene ductile strike-slip shear zone: Uludağ Massif, northwest Turkey – implications for the escape tectonics". Geological Society of America Bulletin.893 p
- Över, S.** (1996). "Analyse tectonique et etats de contrainte cenozo'iques dans la zone centrale de la Faile Kurd Anatolienne", These Univ. Paris-Sud, Örsay, 260 p.
- Özden, S. ve Över, S.** (1998). "Sivas havzası kuzey kenarında (Sakardağ) Tersiyer yaşlı gerilme durumlarının saptanmasına fay topluluklarının kinematik analiziyle bir yaklaşım". C.Ü. Mühendislik Fakültesi Dergisi, Seri A-Yer Bilimleri, Cilt:15, sayfa: 21-32.
- Pegoraro, O.** (1972). "Application de la microtectonique à un étude de neotectonique". Le golfe Maliaque (Grèce centrale). Thèse Illème cycle, USTL Montpellier.
- Perissin, D., Prati, C. and Rocca, F.** (2007). "Asar parallel-track PS analysis in urban sites, Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS 2007, IEEE International 23-28 July 2007, 1167-1170.
- Peyret M., Djamour Y., Rizza M., Ritz J.-F., Hurtrez J.-E., Goudarzi M.A., Nankali H., Chéry J., Le Dortz K., Uri F.** (2008). "Monitoring of the large slow Kahrod landslide in Alborz mountain range (Iran) by GNSS and SAR interferometry", Engineering Geology 100 (2008) 131–141.
- Prati, C., Rocca, F. ve Ferretti, A.** (2004). "Requirement for a space mission for DInSAR and PS analysis based on past and present missions", Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2004. IGARSS apos; 04. Proceedings. 2004 IEEE International Volume 3, 20–24 Sept. 2004 Page(s):1695 – 1698.
- Price, N. J.** (1966). "Fault and Joint Development in Brittle and Semi-Brittle Rock", Pergamon, New York, 176 s
- Perski Z., Hanssen R., Wojcik A., Wojciechowski T.** (2009). "InSAR analyses of terrain deformation near the Wieliczka Salt Mine", Poland, Engineering Geology 106,58–67
- Rizos, C.** (1999). "Satellite Navigation and Positioning Group (SNAP): Principles and Practice of GNSS surveying, http://www.gmat.unsw.edu.au /snap /GNSS /GNSS_survey /principles_GNSS.htm,
- Seleem T.A., Parcharidis I., Foumelis M., Kourkouli P.** (2011). "Detection of ground deformation over Sharm El-Sheikh–Ras Nasrani coastal zone, South Sinai (Egypt), by using time series SAR interferometry", Journal of African Earth Sciences 59.
- Sendir, H. ve Yılmaz, I.** (2001)." Koyulhisar (Sivas) heyelanlarına yapısal ve jeomorfolojik açıdan bakış". Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Seri A-Yerbilimleri, c.18, no.1, s. 47-54.
- Squarzonì C., Delacourt C., Allemand P.** (2005). "Differential single-frequency GNSS monitoring of the La Valette landslide (French Alps), Engineering Geology 79 (2005) 215–229.
- Tatar O., Aykanat D., Koçbulut F., Yılmaz I., Sendir H., Kürçer A., Sağlam B.** (2000). "Koyulhisar İlçe Merkezi ve İlçe Emniyet Amirliği Hizmet Binası Heyelan Etüd ve Değerlendirme Raporu", Sivas.

- Tatar ve diğ.** (2009), “Aktif Fay Zonları ve Doğal Afetler: Kuzey Anadolu Fay Zonu Üzerinde Kelkit Vadisi Boyunca Yer Alan Yerleşim Alanlarının Doğal Afet Risk Analizi ve Afet Bilgi Sisteminin Oluşturulması”, Devlet Planlama Teşkilatı 2006K-120220 Nolu Proje.
- Temiz, H.** (1994). “Sivas Tersiyer havzasının Kemah (Erzincan) ve Hafik (Sivas) yorelerindeki tektonostratigrafisi ve tektonik deformasyon biçimi”. C.O. Fen Bil. Enst. Doktora Tezi, 239 Sayfa (Yayımlanmamış).
- Terlemez, I. ve Yılmaz, A.** (1980). “Ünye-Ordu-Resadiye-Koyulhisar- Karaçayır-Hafik arasında kalan bölgesinin jeolojisi”, M.T.A. Rp. No: 6671.
- Terzioğlu, N.** (1986). “Reşadiye-Gölköy ve Koyulhisar arasındaki Tersiyer-Kuvaterner yaşlı volkanitlerinin genel stratigrafik özellikleri”, Cumhuriyet Univ., Müh, Fak, Dergisi, Yerbilimleri, 3/1, 3- 13.
- Toprak, V.** (1988). “Tectonic and stratigraphic characteristics of the Koyulhisar segment of the North Anatolian Fault Zone (Sivas-Turkey)”. A Ph. D. Thesis,
- Uysal, S.** (1995). “Koyulhisar (Sivas) yöresinin jeolojisi”, M.T.A. Rp No: 9838.
- Varnes, D. J.** (1978). “Slope movement types and processes”. “In: Special Report 176: Landslides: Analysis and Control” (Eds: Schuster, R. L. & Krizek, R. J.).
- Vergely, P., Sassi, W. ve Carey-Gailhardis, E.** (1987). “Analyse graphique des failles a l'aide de focalisations de stries”. Bull..Soc. Geol., 2, 395-402
- Vilardo, G., Ventura, G., Terranova, C., Matano, F. Ve Nardò, S.** (2009). “Ground deformation due to tectonic, hydrothermal, gravity, hydrogeological, and anthropic processes in the Campania Region (Southern Italy) from Permanent Scatterers Synthetic Aperture Radar Interferometry”, Remote Sensing of Environment, vol 113, pages 197-212.
- Wallace, R. E.** (1958). “Geometry of shearing stress and relation to faulting”. J. Geol. 59, 118.
- Walter, D., Hoffmann, J., Kampes, B., ve Sroka, A.** (2004). “Radar Interferometric Analysis of Mining Induced Surface Subsidence using Permanent Scatterers” 2004 Envisat & ERS Symposium 6-10 September 2004, Salzburg, Austria.
- Yalçınkaya M., Bayrak T.** (2005). “Comparison of Static, Kinematic and Dynamic Geodetic Deformation Models for Kutlugun Landslide in Northeastern Turkey”, Natural Hazards, 34: 91–110.
- Yılmaz, I.** (2009). “A case study from Koyulhisar (Sivas-Turkey) for landslide susceptibility mapping by artificial neural networks”. Bulletin of Engineering Geology and the Environment 68, 297– 306.
- Url-1** < <http://www.coroflot.com/jeremygleason/UGS-Landslide-Illustrations>>, Alındığı tarih: 25.09.2015

EK-1

JEOLJİK HARİTA VE KESİT

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel bilgiler

Adı Soyadı	Mehmet Demirel
Doğum Yeri ve Tarihi	Kahramanmaraş, 29.08.1987
Medeni Hali	Bekar
Yabancı Dil	İngilizce
İletişim Adresi	Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü 58140 Sivas
E-posta Adresi	mdemireel@gmail.com



Eğitim ve Akademik Durumu

Lise	Gülizar Şamil Aktaş Lisesi, 2004
Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 2005
Yüksek Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği A.B.D ,2012
Yüksek Lisans	Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama-CBS A.B.D ,2014
Yüksek Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği A.B.D ,2015

İş Tecrübesi ve Proje Deneyimi

Cumhuriyet Üniversitesi	Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Devlet Planlama Teşkilatı 2006K-120220 Nolu Proje, (Stajyer), 2006-2009
Cumhuriyet Üniversitesi	Geomatik Mühendisliği Bölümü 111Y111 Numaralı TUBİTAK Projesi - Proje Asistanlığı (Bursiyer), 2012-2015
Cumhuriyet Üniversitesi	Geomatik Mühendisliği Bölümü Ulusal Deprem Araştırma Programı, UDAP-Ç-13-07 Nolu Proje- Proje Asistanlığı (Bursiyer), 2013-
Cumhuriyet Üniversitesi ve Avrupa Uzay Ajansı Ortak Proje	Examination Of Tectonic Movements In The Eastern Part Of Gediz Graben By Sar Techniques, ESA 16570- (Araştırmacı) 2013.

- Cumhuriyet Üniversitesi ve Alman Uzay Ajansı Ortak Proje The Eastern Part Of Gediz Graben Determination Methods Of Tectonic Movements GPS and PS-InSAR, DLR GEO2307-(Araştırmacı) 2014.
- Cumhuriyet Üniversitesi Geomatik Mühendisliği Bölümü TUBİTAK-113Y526 Nolu Proje- Proje Asistanlığı (Bursiyer), 2015-

Yayınlar

Ulusal

Poyraz F., Hastaoğlu K.Ö., Tiryakioğlu İ., Gürsoy Ö., Koçbulut F., Türk T., **Demirel M.**, Duman H., Ciğer A.F., Gül D., 2015. “Gediz Grabeninin Doğu Kesimindeki Tektonik Hareketlerinin GPS Ve Ps-InSAR Yöntemleri Kullanılarak Belirlenmesi; İlk Sonuçlar”. Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, DOI: 10.15659, 7(1), 17-28.

Hastaoğlu, K.Ö., Poyraz, F., Türk, T., Koçbulut, F., Şanlı, U., Yılmaz, I., Şanlı Balık, F., Kuçak, RA., **Demirel, M.**, Gürsoy, Ö., Duman, H., 2014. “GPS ve Ps-Insar Yöntemleri Kullanılarak Koyulhisar (Sivas) Heyelanlarının İzlenmesi: İlk Sonuçlar”. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 4(2), 161-175.

Kongreler ve Bildiriler

Ulusal

Hastaoğlu, K.Ö., **Demirel, M.**, Poyraz, F., Koçbulut, F., Türk, T., Tatar, O., Yılmaz, I., Duman, H. “Koyulhisar heyelanının GPS yöntemiyle izlenmesi: ilk 8 periyot GPS ölçüm sonuçları”. Aktif Tektonik Araştırma Grubu (ATAG) 18. Çalıştay, 5-7 Kasım 2014, Muğla.

Poyraz, F., **Demirel, M.**, Hastaoğlu, K.Ö., Koçbulut, F., Gürsoy, Ö., Türk, T., Tiryakioğlu, İ., Tatar, O., Duman, H., Gül, D. “Gediz Grabeni’ nin doğu kesimindeki tektonik hareketlerin GPS yöntemi kullanılarak belirlenmesi; ilk sonuçlar”. Aktif Tektonik Araştırma Grubu (ATAG) 18. Çalıştay, 5-7 Kasım 2014, Muğla.

Hastaoğlu, K.Ö., Poyraz, F., **Demirel, M.**, Türk, T. “Envisat SAR Görüntüleri Kullanılarak Heyelanların İzlenilmesi”. 5. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (UZAL-CBS) Sempozyumu, 14-17 Ekim 2014. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Poyraz, F., Tatar O., Hastaoğlu, K.Ö., Gürsoy, Ö., Türk, T., Koçbulut, F., Tiryakioğlu, İ., **Demirel, M.**, Duman, H., Kuçak R.A. “Gediz Grabeni’ nin Doğu Kesimindeki Tektonik Hareketlerinin GPS ve PS-INSAR Yöntemleri Kullanılarak Belirlenmesi; İlk Sonuçlar”. 7. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 15-17 Ekim 2014, Hitit Üniversitesi, Çorum.

Hastaoğlu, K.Ö., Poyraz, F., Türk, T., Koçbulut, F., Şanlı, U., Yılmaz, I., Şanlı, F., Kuçak, A., **Demirel, M.**, Gürsoy, Ö. Duman, H. “GPS ve PS-Insar Yöntemleri Kullanılarak Koyulhisar (Sivas) Heyelanlarının İzlenmesi: İlk Sonuçlar”. Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu (TUJK) 2013 Doğal Afetler ve Jeodezi Çalıştay, 7-8 Kasım 2013, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas.

Mehmet DEMİREL, Orhan TATAR, Kemal Özgür HASTAOĞLU, Fatih POYRAZ,(2013). “Ps-InSAR Yöntemi Kullanılarak Fayların Belirlenmesi: Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde Koyulhisar Fay Seti Örneği”, Aktif Tektonik Araştırma Grubu (ATAG) 17. Toplantısı, 24-25 Ekim 2013, Akdeniz Üniversitesi-Antalya

Hastaoğlu K.,Ö., Poyraz F., Kuçak R.A., **Demirel M.**, Nebipaşagil F., (2013), "Gerçek Zamanlı Kinematik(RTK) GNSS Ölçü Yöntemi Kullanılarak Heyelanların İzlenebilirliğinin Araştırılması". 14. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 14-17 Mayıs 2013, Ankara

Dikmen, U., Pamuk, E., Akın, Ö., Ateş, B., Altuner, B., **Demirel, M.**, Cam, A., 2009. “Kuzey Anadolu Fay Zonu Üzerinde Kelkit Vadisi Boyunca Yer Alan Yerleşim Alanlarının Doğal Afet Risk Analizi ve Afet Bilgi Sisteminin Oluşturulması, Jeofizik İş Paketi”, DPT Proje no: CUBAP M-359/DPT 2006K-120220

2006, TATAR, O. ve GPS Çalışma Grubu (Halil Gürsoy, Muhammet Şahin, T.Fikret Sezen, Fikret Koçbulut, Levent Mesci, Fatih Poyraz, Kemal Hastaoğlu, Tarık Türk, Ercüment Ayazlı, Önder Gürsoy, Ali Polat, Zafer Akpınar, Alpay Belgen, Hakan Yavaşoğlu, Seda Yaman, Taylan Demirel, Gökhan Kanaat, Doğan Tunçer, Metin Geyik, Mustafa Yakan, Yavuz Töre, Olcay Kıratik, Emek Dereli, Berk Uyaroğlu, Caner Aşılıoğlu, Gökhan Ögüt, İbrahim Yıldırım, Barış Altuner, Çağdaş Sakinci, **Mehmet Demirel**, Serdar Kılınçarslan, Aydın Oral, Gürcan Arslan, Murat Taner Tamer, Rafet Gençalioglu, Adil Yalçın). “Aktif Fay Zonları ve Doğal Afetler : Kuzey Anadolu Fay Zonu Üzerinde Kelkit Vadisi Boyunca Yer Alan Yerleşim Alanlarının Doğal Afet Risk Analizi ve Afet Bilgi Sisteminin Oluşturulması”. TUJK 2006, Tektonik ve Jeodezik Ağlar Çalıştay, 16-18 Kasım 2006, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Uluslararası

Türk Tarık, Hastaoğlu Kemal Özgür, Poyraz Fatih, **Demirel Mehmet**, Yılmaz Işık (2015). Determination Of The Landslide Risk By Geographical Information Systems (GIS) On The North Anatolian Fault Zone, Turkey. The World Multidisciplinary Earth Sciences, 178-178.

Hastaoğlu Kemal Özgür, Yılmaz Işık, Poyraz Fatih, **Demirel Mehmet**, Türk Tarık (2015). Determination Of 3d Landslide Movement From Multi Temporal Envisat Asar Images. The World Multidisciplinary Earth Sciences, 349-349.

Poyraz F, Hastaoğlu K, Tiryakioğlu I., Tatar O., Gürsoy Ö., Koçbulut F., Türk T., **Demirel M.**, Duman H., Cıger A., Birdal A. (2015). The Eastern Part Of Gediz Graben Determination Methods Of Tectonic Movements GPS And Ps-Insar; The First Results. European Geosciences Union General Assembly 2015 (Kontrol No: 1416724)

Demirel M., Poyraz F., Hastaoğlu K., Türk T., Tatar O., Birdal A.,(2015). Comparing The Results Of Terrasar-X And Envisat Sar Images With Ps-InSAR Methods On Slow Motion Landslides: Koyulhisar, Turkey. European Geosciences Union General Assembly 2015 (Kontrol No: 1416748)