

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MADENCİLİK FAALİYETLERİ SONUCU
OLUŞAN YÜZEY HAREKETLERİNİN YENİ
TEKNOLOJİLER İLE BELİRLENMESİ

Mehmet Volkan ÖZDOĞAN

Ekim, 2015

İZMİR

MADENCİLİK FAALİYETLERİ SONUCU OLUŞAN YÜZEY HAREKETLERİNİN YENİ TEKNOLOJİLER İLE BELİRLENMESİ

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Doktora Tezi

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Maden İşletme Programı

Mehmet Volkan ÖZDOĞAN

Ekim, 2015

İZMİR

DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

MEHMET VOLKAN ÖZDOĞAN tarafından DOÇ. DR. AHMET HAMDİ DELİORMANLI yönetiminde hazırlanan “MADENCİLİK FAALİYETLERİ SONUCU OLUŞAN YÜZEY HAREKETLERİNİN YENİ TEKNOLOJİLER İLE BELİRLENMESİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir doktora tezi olarak kabul edilmiştir.



Doç. Dr. Ahmet Hamdi DELİORMANLI

Yönetici



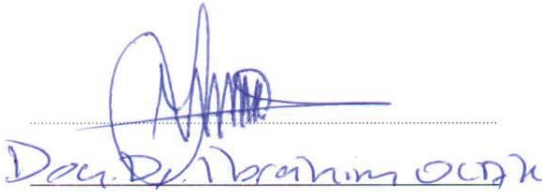
Yard. Doç. Dr. Atilla Hüsnü ERONAT

Tez İzleme Komitesi Üyesi



Prof. Dr. Halil KÖSE

Tez İzleme Komitesi Üyesi



Jüri Üyesi



Jüri Üyesi



Prof. Dr. Ayşe OKUR

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım boyunca ve diğer akademik çalışmalarımda bana her zaman destek olan, çoğu zaman bana benden daha çok güvenen ve gösterdiği yollarla bana çözüm kapılarını açan ve ufkumu genişleten doktora tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Ahmet Hamdi DELİORMANLI'ya,

Çalışmam sürecinde tez izleme komitemde bulunup, bilgi birikim ve fikirlerini benimle paylaşan Sayın Prof. Dr. Halil KÖSE ve Sayın Yard. Doç. Dr. Atilla Hüsnü ERONAT'a

Üniversite çalışma hayatına adım attığım günden itibaren bana sonsuz kaynak sunarak bilgi, birikim ve deneyimleriyle beni bir basamak üste taşıyan, doktora tez çalışmalarım esnasında da hem arazi çalışmalarında hem de elindeki kaynaklarla bana destek olan Sayın Doç. Dr. Doğan KARAKUŞ'a

Tez danışmanım Sayın Ahmet Hamdi Deliormanlı görevlendirmeli olarak yurtdışında bulunduğu süreç içerisinde kısa bir dönem de olsa danışmanlığını yürüterek bana bilgi ve birikimlerini sunarak çalışmalarına katkı koyan Sayın Prof. Dr. Ahmet Hakan ONUR'a

Tez yazım çalışmalarım sırasında yardımlarını eksik etmeyen, bana zaman ayıran ve zaman yaratan, sevgili arkadaşım Araş. Gör. Gökhan TURAN'a

Ve beni bu yaşa kadar yetiştiren, bana emek veren, gerçek anlamda özgür ve dirayetli bir birey olmamı sağlayan sevgili babam Ertuğrul ÖZDOĞAN ve sevgili annem Aysel ÖZDOĞAN'a, beni çoğu zaman kendine rol model aldığını düşündüğüm ve bu yüzden bende daha çok çalışma zorunluluğu yaratan sevgili kardeşim Mert ÖZDOĞAN'a

Ve yaklaşık altı yıl boyunca yoğun çalışmalarımda bir kere bile şikayet etmeyen ve destek olan, tezin son yoğun sürecinde bile karnında oğlumuzla bana her daim sabır gösteren olan çok değerli eşim Türkan ÖZDOĞAN'a

Sonsuz teşekkürü bir borç bilirim...

Mehmet Volkan ÖZDOĞAN

MADENCİLİK FAALİYETLERİ SONUCU OLUŞAN YÜZEY HAREKETLERİNİN YENİ TEKNOLOJİLER İLE BELİRLENMESİ

ÖZ

Madencilik faaliyetlerinde madenin üretilmesi işlemi önemli birçok risk içermektedir. Bu riskler doğru şekilde analiz edilip zamanında önlemler alınmadığı durumlarda maden ocaklarında hem ekonomik kayıplar hemde işgücü kayıpları ortaya çıkabilmekte ve bunun yanında ölümlü ve yaralanmalı kazalar oluşabilmektedir. Bu tez çalışması kapsamında da açık maden ocaklarında meydana gelen yüzey hareketlerinin sıklıkla kullanılan jeoteknik yöntemler yerine uzaktan algılama sistemleri ile izlenmesi konusunda çalışmalar yapılmıştır. Yapılan tez çalışmasında üç farklı açık ocaktaki yüzey hareketleri uzaktan algılama yöntemleri ile değerlendirilmiş ve hareketler karakterize edilmiştir.

Yapılan ilk çalışmada Garp Linyit İşletmeleri Kütahya Tunçbilek kömür havzası açık ocakları harman sahasında meydana gelen harmanın akması hareketi optik uydu görüntüleri ve yersel lazer tarayıcı sistem ile takip edilmiştir. İkinci çalışmada ise ETİ Maden İşletmeleri Bigadiç Simav ocağında güney ve Küçüktepe heyelanları olarak adlandırılan hareketler yersel lazer tarayıcı sistem ile izlenmiş ve alınan ölçümler vasıtasıyla hareketin yönü ve miktarı belirlenmeye çalışılmıştır. Son çalışmada ise Ege Linyitleri İşletmeleri Soma açık ocağında Kısırakdere bölgesinde yeraltı üretimi nedeniyle açık ocak şevlerinde meydana gelen deformasyonlar yine yersel lazer tarayıcı sistem ile belirlenmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Şev izleme, açık ocak, uzaktan algılama, yersel lazer sistemi

INVESTIGATION OF SURFACE MOVEMENTS INDUCED BY MINE PRODUCTION USING NEW TECHNOLOGIES

ABSTRACT

Production of mines has lots of risks. The analysis of these risks and taking precautions has vital importance. Otherwise economical and labor loss will occur as a result of accidents involving death or personal injury. In this thesis, the remote sensing methods were carried out for monitoring the surface movements instead of geotechnical methods which are used frequently at open pit mines. In the study three different surface movements were examined at three different open pit mines, and characteristic feature of movements were revealed.

First study consists monitoring of movement at open pit deposit area at Kütahya Tunçbilek lignite basin of Garp Lignite Co. by means of optical satellite imaginary and terrestrial laser scanner technology. In the second study the movements known as Küçüktepe landslide and Güney landslide were monitored with terrestrial laser scanner technology and the direction and the magnitude of movement were determined with the help of scanner data. In the last study the open pit slopes which were effected from underground production at Ege Lignite Co. Soma Open pit Kısırakdere Region were examined with terrestrial laser scanner technology and the deformation that occurred at slope was determined.

Keywords: Slope monitoring, open pit, remote sensing, terrestrial laser system

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
TABLolar LİSTESİ.....	xvi

BÖLÜM BİR - GİRİŞ.....	1
-------------------------------	----------

BÖLÜM İKİ - MADENCİLİK FAALİYETLERİ SONUCU OLUŞAN YÜZEY HAREKETLERİNİN İZLENMESİ.....	4
--	----------

2.1 Giriş.....	4
2.2 Açık İşletme Madenciliği Nedeniyle Oluşan Yüzey Hareketleri.....	4
2.3 Açık İşletme Madenciliği Sırasında Oluşan Yüzey Hareketlerinin İzlenmesi...	5
2.3.1 İnklinometre	7
2.3.2 Ekstansometre	11
2.3.3 TDR Sistemleri	12
2.3.4 Çatlak İzleme	14
2.3.5 Topografik Ölçümler.....	17
2.3.6 Tekrarlı Kazık Ölçümleri	18
2.3.7 Uzaktan Algılama ile Şev Hareketlerini Takibi	19

BÖLÜM ÜÇ - UZAKTAN ALGILAMA..... 21

3.1 Giriş.....	21
3.2 Uzaktan Algılamanın Gelişimi.....	21
3.3 Uzaktan Algılamanın Temelleri.....	22
3.3.1 Elektromanyetik Işınım.....	23
3.3.2 Elektromanyetik Spektrum.....	25
3.3.3 Elektromanyetik Radyasyonun Atmosfer ile Etkileşimi.....	26
3.3.4 Uzaktan Algılama Verilerinin Karakteristikleri.....	27
3.3.4.1 Piksel.....	27
3.3.4.2 Tarama Genişliği (Swath)	28
3.3.4.3 Band	28
3.3.4.4 Çözünürlük.....	29
3.4 Pasif Algılayıcı Sistemler	32
3.4.1 Optik Dalga Boyunda Görüntüleme Yapan Sistemler.....	32
3.4.1.1 Uydu Temelli Optik Algılayıcılar	33
3.5 Aktif Algılayıcı Sistemler	39
3.5.1 RADAR Uyduları	39
3.5.1.1 Yapay Açıklıklı RADAR (Synthetic Aperture Radar - SAR)	41
3.5.1.2 Interferometrik SAR (InSAR).....	42
3.5.2 Lazer Tarayıcı (LiDAR) Sistemleri	42
3.5.2.1 Lazer Ölçüm Prensipleri.....	43
3.5.2.2 Üçgenleme Metodu (Triangulation).....	43
3.5.2.3 Bir Lazer Işınının Gidiş Geliş Zamanıyla İşlem Yapan Ölçüm Metodu (Uçuş Zamanı, Time of Flight, TOF).....	45
3.5.2.4 Faz Karşılaştırma Metoduyla Çalışan Sistemler	46

3.5.3 Hava Platform Temelli Lazer Tarayıcı Sistemleri (Airborne Laser Scanner, ALS).....	47
3.5.4 Yersel Lazer Tarayıcı Sistemleri, YLT (Terrestrial Laser Scanner, TLS) 52	
3.5.4.1 Yersel Lazer Tarayıcı Donanımları.....	54
3.5.4.2 Yersel Lazer Tarayıcı (YLT) Cihazın Çalışma Prensipleri.....	57
3.5.4.3 YLT ile Üretilen Nokta Bulutlarının Birleştirilmesi ve Jeoreferanslama.....	59
3.5.2.5 Ölçüm Planlaması	62

BÖLÜM DÖRT - MADEN SAHALARINDA MEYDANA GELEN YÜZEY HAREKETLERİNİN UZAKTAN ALGILAMA YÖNTEMLERİ İLE BELİRLENMESİ..... 64

4.1 Giriş.....	64
4.2 Şev Takibi Amacıyla Kullanılan Metodlar ve Ekipmanlar.....	64
4.2.1 Uydu Görüntüleri	65
4.2.2 Leica Scanstation 2 Yersel Lazer Tarayıcı.....	65
4.3 TKİ GARP Linyitleri İşletmesi Açık Ocak Harman Sahasındaki Heyelanın Gelişimi ve Hareketin Takibi	67
4.3.1 Harman Hareketinin Optik Uydular ile Takibi	70
4.3.1.1 Yörgüç Köyü Heyelanın Optik Uydular ile Takibi.....	73
4.3.1.2 Ocak İçi Heyelanının (Sağ Kol) Optik Uydular ile Takibi	81
4.3.1.3 Heyelanın Taç Kısmının İncelenmesi	87
4.3.2 Yersel Lazer Tarayıcı Tekniği (YLS) ile Harman Sahası Hareketinin Takibi	93
4.3.3 Yörgüç Köyü Heyelanında Uygulanan Yersel Lazer Tarayıcı Ölçümleri 94	

4.3.4 TKİ GARP Linyitleri İşletmesi Açık Ocak Harman Sahasındaki Yersel Lazer Tarayıcı Ölçümlerinin Değerlendirilmesi	99
4.3.5 Uydu Görüntüleri Üzerinden Yapılan Analizlerin Değerlendirilmesi	102
4.3.6 Yersel Lazer Tarayıcı Tekniği ile Harman Sahası Hareketinin Takibine ait Yapılan Çalışmanın Değerlendirilmesi	104
4.4 ETİ Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü Simav Ocağı Heyelanı Takip Çalışmaları.....	105
4.4.1 Simav Ocağı Küçüktepe (Doğu) ve Güney Heyelanlarında Uygulanan Yersel Lazer Yöntemi (YLT).....	107
4.4.2 Simav Ocağı Güney Heyelanı YLT Ölçümleri.....	110
4.4.3 Simav Ocağı Küçüktepe (Doğu) Heyelanı YLT Ölçümleri.....	113
4.4.4 Simav Ocağı Yersel Lazer Tarayıcı Ölçümlerinin Değerlendirilmesi....	114
4.4.4.1 Güney Heyelanı YLT Ölçümlerinin Değerlendirilmesi.....	116
4.4.4.2 Küçüktepe (Doğu) Heyelanı TLS Ölçümlerinin Değerlendirilmesi	122
4.5 TKİ Ege Linyit İşletmeleri (E.L.İ) Soma Kısırakdere G-Panosu Kömür Üretimi Alanı Şlam Havuzu Şevinde Yeraltı Üretiminin Subsidans Etkisinden Kaynaklı Şev Deformasyonlarının Yersel Lazer Tarayıcı Sistem İle İncelenmesi	134
4.5.1 TKİ E.L.İ Soma Açık Ocağı Kısırakdere Bölgesi G Panosu Güney Şevlerinin Yersel Lazer Tarayıcı Sistemler ile İncelenmesi	139
4.5.2 Kısırakdere G Panosu Yersel Lazer Tarayıcı Ölçümleri ve Değerlendirilmesi.....	141
BÖLÜM BEŞ - SONUÇLAR	151
KAYNAKLAR.....	154
EKLER.....	160

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Şev takip yöntemleri	6
Şekil 2.2 İnklinometre ölçüm cihazı	7
Şekil 2.3 İnklinometre kuyusu kesit ve plan görünüşü	8
Şekil 2.4 İnklinometre deliğinin plan görüntüsü	9
Şekil 2.5 İnklinometre ölçümlerinin değerlendirilmesi a)Algılayıcının düşeyden sapması b)İnklinometre ölçümlerinden sapma miktarının hesaplanma prensibi	10
Şekil 2.6 İnklinometre ölçümlerine ait örnek bir sonuç grafiği	10
Şekil 2.7 Bir şev kesitinde çok noktalı delik içi ekstansometre ölçümü	11
Şekil 2.8 Tel ekstansometre	12
Şekil 2.9 TDR sistemine ait örnek bir kesit görüntü	13
Şekil 2.10 Bir açık ocak şevinin arka kısmında oluşan gerilme çatlağı	14
Şekil 2.11 Çatlak ölçümü için kurulan bir sistem örneği	15
Şekil 2.12 Çelik cetvel yöntemiyle çatlak izleme	16
Şekil 2.13 Gerdirilmiş tel ile çatlak izleme	16
Şekil 2.14 Topografik aletlerle yapılan ölçümlerin çalışma prensibi	17
Şekil 2.15 Teodolit ile yapılan örnek bir şev takip sistemi	18
Şekil 2.16 Tekrarlı Kazık ölçümleri ile yapılan şev takip çalışması örneği	19
Sekil 3.1 Uzaktan algılamanın şematik gösterimi	23
Şekil 3.2 Elektromanyetik dalga	24
Şekil 3.3 Dalgaboyu ve genliğin(Şiddet) elektromanyetik dalga üzerinde gösterimi	25
Şekil 3.4 Elektromanyetik Spektrum	26
Şekil 3.5 Spektral yansıma değerinin piksele çevrilmesi	27
Şekil 3.6 Farklı tarama genişlikleri	28
Şekil 3.7 7 Bantlı bir uydu görüntüsünün örnek gösterimi	29
Şekil 3.8 Farklı konumsal çözünürlüklerdeki uydu görüntüleri	30
Şekil 3.9 Spektral Çözünürlüğe ait örnek görüntü	30
Şekil 3.10 Bir bölgenin farklı radyometrik çözünürlüklerdeki görünüşleri	31
Şekil 3.11 Elektromanyetik spektrum optik ve mikrodalga sistemlerin çalıştığı dalga boyu aralıkları	32

Şekil 3.12 Optik uzaktan algılama veri toplama platformları	33
Şekil 3.13 Uydu görüntüleri ile çalışma.....	34
Şekil 3.14 Polinom eğrisi ve YKN'ları	36
Şekil 3.15 En yakın komşuluk yöntemiyle yeniden örnekleme	37
Şekil 3.16 Bilinear enterpolasyon yöntemiyle yeniden örnekleme.....	38
Şekil 3.17 Kübik katlama yöntemiyle yeniden örnekleme	38
Şekil 3.18 Geçmişten günümüze mevcut RADAR uyduları.....	40
Şekil 3.19 Triangulasyon Prensibi: Tek Kamera Çözümü.....	44
Şekil 3.20 Triangulasyon Prensibi: İki Kamera Çözümü.....	45
Şekil 3.21 Uçuş zamanı sistemi	46
Şekil 3.22 Faz farklı sistem.....	46
Şekil 3.23 Hava lidarı çalışma prensibi.....	47
Şekil 3.24 Örnek bir hava lidarı ile oluşturulmuş nokta bulutu görüntüsü	48
Şekil 3.25 Lazer ışının yansıma sayılarına göre ölçümler. a) Tek Dönüştü Ölçüm, b) Çift Dönüştü Ölçüm, c) Çoklu Dönüştü Ölçüm (maksimum 5 dönüş)...	49
Şekil 3.26 Yansıma sıralarına göre renklendirilmiş nokta bulutu görüntüsü	49
Şekil 3.27 Hava taşıtlarında kullanılan Leica ALS70'e ait örnek bir görüntü.....	51
Şekil 3.28 Hava lidarı donanımının çalışma prensibi	52
Şekil 3.29 Yersel lazer tarayıcı donanımları	54
Şekil 3.30 Piyasada bulunan bazı ticari tarayıcılar.	55
Şekil 3.31 Yersel lazer tarayıcı cihazın çalışma Prensibi	57
Şekil 3.32 Yersel lazer tarayıcı cihazın ölçüm prensibi	58
Şekil 3.33 Nokta bulutlarının birleştirme sırasında kullanılan teknikler	59
Şekil 4.1 Tez çalışması kapsamında kullanılan Leica Scanstation 2 tarayıcı	65
Şekil 4.2 Scanstation 2'nin görüş açısı sınırları	66
Şekil 4.3 Tarama işleminde kullanılan hedef (a) ve konumlandırmada kullanılan GNSS cihazı(b)	67
Şekil 4.4 Tki Garp Linyitleri İşletmesi Müessese Müdürlüğü yer bulduru haritası...	68
Şekil 4.5 Heyelanlı alanın uydu görüntüsü ve fotoğrafları	69
Şekil 4.6 Heyelan alanını ve çalışma alanlarını gösterir uydu görüntüsü	70
Şekil 4.7 09 Eylül 2001 ve 04 Temmuz 2004 tarihleri arasındaki alansal değişim ...	73

Şekil 4.8 04 Temmuz 2004 ve 18 Temmuz 2008 tarihleri arasındaki alansal değişim	74
Şekil 4.9 18 Temmuz 2008 ve 8 Ağustos 2010 tarihleri arasındaki alansal değişim	75
Şekil 4.10 08 Ağustos 2010 ve 11 Ekim 2011 tarihleri arasındaki alansal değişim ..	76
Şekil 4.11 08 Ağustos 2010 ve 20 Mayıs 2013 tarihleri arasındaki alansal değişim.	77
Şekil 4.12 11 Ekim 2011 ve 20 Mayıs 2013 tarihleri arasındaki alansal değişim	78
Şekil 4.13 12 Şubat 2014 GNSS Ölçümünün 20 Mayıs 2013 görüntüsü üzerindeki görünümü	79
Şekil 4.14 12 Şubat 2014 GNSS Ölçümünün 08 Ağustos 2010 görüntüsü üzerindeki görünümü	80
Şekil 4.15 12 Şubat 2014 ölçümünün 08 Ağustos 2010 tarihli görüntüye işlenmiş halinin uç kısmının yakından görüntüsü	80
Şekil 4.16 09 Eylül 2001 ve 04 Temmuz 2004 tarihleri arasındaki ocak içi kısmına doğru heyelanın alansal değişimi	81
Şekil 4.17 04 Temmuz 2004 ve 18 Temmuz 2008 tarihleri arasındaki ocak içi kısmına doğru heyelanın alansal değişimi	82
Şekil 4.18 18 Temmuz 2008 ve 8 Ağustos 2010 tarihleri arasındaki ocak içi kısmına doğru heyelanın alansal değişimi	83
Şekil 4.19 08 Ağustos 2010 ve 11 Ekim 2011 tarihleri arasındaki ocak içi kısmına doğru heyelanın alansal değişimi	84
Şekil 4.20 08 Ağustos 2010 ve 20 Mayıs 2013 tarihleri arasındaki ocak içi kısmına doğru heyelanın alansal değişimi	85
Şekil 4.21 11 Ekim 2011 ve 20 Mayıs 2013 tarihleri arasındaki ocak içi kısmına doğru heyelanın alansal değişimi	86
Şekil 4.22 09 Eylül 2001 ve 04 Temmuz 2004 tarihleri arasındaki taç kısmı bölgesinin sınırının değişimi	87
Şekil 4.23 04 Temmuz 2004 ve 18 Temmuz 2008 tarihleri arasındaki taç kısmı bölgesinin sınırının değişimi	88
Şekil 4.24 18 Temmuz 2008 ve 8 Ağustos 2010 tarihleri arasındaki taç kısmı bölgesinin sınırının değişimi	89
Şekil 4.25 08 Ağustos 2010 ve 11 Ekim 2011 tarihleri arasındaki taç kısmı bölgesinin sınırının değişimi	90

Şekil 4.26 08 Ağustos 2010 ve 20 Mayıs 2013 tarihleri arasındaki taç kısmı bölgesinin sınırının değişimi	91
Şekil 4.27 11 Ekim 2011 ve 20 Mayıs 2013 tarihleri arasındaki taç kısmı bölgesinin sınırının değişimi.....	92
Şekil 4.28 Yörgüç heyelanı izleme yönteminde kullanılan YLS tarama sistemi (Leica SS II)	93
Şekil 4.29 Şev hareketlerinin yersel lazer tarama teknikleri ile izlenmesinde kullanılan işlem adımları.....	94
Şekil 4.30 Yörgüç Köyü heyelanı 1. ölçüme ait nokta bulutu görüntüsü	96
Şekil 4.31 Yörgüç Köyü heyelanı ölçümlerine ait istasyon konumları (1. ölçümde 1,4 ve 5 nolu istasyonlar kullanılmıştır. 2 ve 3. ölçümde 5 istasyonun tamamı kullanılmıştır).	97
Şekil 4.32 Yörgüç köyü heyelanı 2. ölçüme ait nokta bulutu görüntüsü	97
Şekil 4.33 Yörgüç köyü heyelanı 3. ölçüme ait nokta bulutu görüntüsü	98
Şekil 4.34 Yörgüç köyü heyelanı 1,2 ve 3. ölçümlere ait birleştirilmiş nokta bulutu görüntüsü (Yeşil renk: 1. ölçüm nokta bulutu; Mavi renk: 2. ölçüm nokta bulutu; Kırmızı renk: 3. ölçüm nokta bulutu)	100
Şekil 4.35 Yörgüç köyü heyelanı 1-2. ölçümlere ait birleştirilmiş nokta bulutu görüntülerinden alınan kesitler (Yeşil renk: 1. ölçüm nokta bulutu; Mavi renk: 2. ölçüm nokta bulutu; Kırmızı renk: 3. ölçüm nokta bulutu)	101
Şekil 4.36 Yıllar bazında köy ucu kısmında heyelan ucunun hareketinin gelişimi .	102
Şekil 4.37 Yıllar bazında ocak içi kısmında heyelan ucunun hareketinin gelişimi .	103
Şekil 4.38 Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü Simav açık ocağı yer bulduru haritası	105
Şekil 4.39 Simav ocağı içerisinde haritalanan heyelan sahaları	107
Şekil 4.40 Şev hareketlerinin yersel lazer tarama teknikleri ile izlenmesinde kullanılan işlem adımları.....	108
Şekil 4.41 Düzleme ait normal vektör	109
Şekil 4.42 Güney heyelanından görünüm	111
Şekil 4.43 Güney heyelanının hareketi	112
Şekil 4.44 Güney heyelanı uç kısma ait nokta bulutu görüntüsü (1. Ölçüm)	113
Şekil 4.45 Simav ocağı Küçüktepe (doğu) heyelanı görüntüsü	113
Şekil 4.46 Doğu heyelanına ait nokta bulutu görüntüsü (2. Ölçüm).....	114

Şekil 4.47 Nokta bulutlarından alınan kesitler (a-10 cm kesit yüzeyi, b-15m kesit yüzeyi).....	115
Şekil 4.48 Güney heyelanı uç bölgesinden alınan 1. ve 2. ölçümlere ait birleştirilmiş nokta bulutu görüntüsü (a: 1. ölçüm nokta bulutu; b-: 2. ölçüm nokta bulutu; c- Birleştirilmiş nokta bulutu ve kesit hattı ve yönü).....	117
Şekil 4.49 Güney heyelanı uç bölgesinden alınan nokta bulutu kesitleri	118
Şekil 4.50 Güney heyelanı uç bölgesinden alınan nokta bulutu kesitleri	119
Şekil 4.51 Güney heyelanı doğu kısmından alınan 1-2. ölçümlere ait birleştirilmiş nokta bulutu görüntüsü (a: 1. ölçüm nokta bulutu; b-: 2. ölçüm nokta bulutu; c- Birleştirilmiş nokta bulutu ve kesit hattı ve yönü).....	120
Şekil 4.52 Güney heyelanı doğu kısmından alınan nokta bulutu kesitleri.....	121
Şekil 4.53 Güney heyelanı doğu kısmından alınan nokta bulutu kesitleri.....	122
Şekil 4.54 Doğu heyelanı taban kısmından alınan 1. ve 2. ölçümlere ait birleştirilmiş nokta bulutu görüntüsü (a: 1. ölçüm nokta bulutu; b-: 2. ölçüm nokta bulutu; c- Birleştirilmiş nokta bulutu ve kesit hattı ve yönü).....	123
Şekil 4.55 Doğu heyelanı taban kısmından (+33m) alınan nokta bulutu kesitleri...	124
Şekil 4.56 Doğu heyelanı taban kısmından (+33m) alınan nokta bulutu kesitleri...	125
Şekil 4.57 Doğu taban şevlerine ait yüzeylerin kontur diyagramı. (Yeşil: 1. ölçüm, Mavi: 2. ölçüm, Kırmızı renk: heyelan hareket yönü).....	127
Şekil 4.58 Doğu heyelanı orta kısmından (+102m) alınan 1. ve 2. ölçümlere ait birleştirilmiş nokta bulutu görüntüsü (Yeşil: 1. ölçüm nokta bulutu; Mavi: 2. ölçüm nokta bulutu).....	127
Şekil 4.59 Doğu heyelanı orta kısmından (+102m) alınan nokta bulutu kesitleri ...	128
Şekil 4.60 Doğu orta şev basmak yüzeylerine ait yüzeylerin kontur diyagramı. (Yeşil: 1. ölçüm, Mavi: 2. Ölçüm, Kırmızı renk: heyelan hareket yönü)	130
Şekil 4.61 Doğu heyelanı üst kısmından(+102m) alınan 1. ve 2. ölçümlere ait birleştirilmiş nokta bulutu görüntüsü (Yeşil: 1. Ölçüm nokta bulutu; Mavi: 2. Ölçüm nokta bulutu).....	130
Şekil 4.62 Doğu heyelanı üst kısmından (+102m) alınan nokta bulutu kesitleri.....	131
Şekil 4.63 Doğu heyelanı üst kısmından (+102m) alınan nokta bulutu kesitleri.....	132
Şekil 4.64 Doğu üst şev basmak yüzeylerine ait yüzeylerin kontur diyagramı. (Yeşil: 1. ölçüm, Mavi 2. Ölçüm, Kırmızı renk: heyelan hareket yönü)	134

Şekil 4.65 Soma E.L.İ. Müessesesi Müdürlüğü yer bulduru haritası.....	135
Şekil 4.66 G Panosu ve yeraltı üretim panoları.....	136
Şekil 4.67 G panosu güney şevlerinde çatlakların bulunduğu yeri gösterir harita...	137
Şekil 4.68 Deformasyon ölçümlerinin yapıldığı alan	138
Şekil 4.69 Deformasyon ölçümlerinin yapıldığı şev fotoğrafı.....	138
Şekil 4.70 G panosu güney şevlerinin yersel lazer ile izlenmesinde kullanılan işlem adımları.....	139
Şekil 4.71 Yersel lazer tarayıcı cihazın ölçüm aldığı istasyon noktaları	140
Şekil 4.72 G Panosu güney şevlerine ait nokta bulutu görüntüsü (Yeşil 1.ölçüm, mavi 2.ölçüm, kırmızı 3. ölçüm, açık kahverengi 4. ölçüm).....	141
Şekil 4.73 Çalışma alanının dışında kalan nokta bulutlarının temizlenmiş hali (a: karşıdan görünüş, b:kesit görünüş)	142
Şekil 4.74 Kesit hatlarının şeve göre konumları	143
Şekil 4.75 Nokta bulutlarından üçgenleme yoluyla oluşturulan yüzeyler	144
Şekil 4.76 Yüzeylerden alınan 1-1' kesiti (a – kesitin alındığı yer, b- kesit görüntüsü).....	145
Şekil 4.77 Yüzeylerden alınan 2-2' kesiti (a – kesitin alındığı yer, b- kesit görüntüsü).....	146
Şekil 4.78 Yüzeylerden alınan 3-3' kesiti (a – kesitin alındığı yer, b- kesit görüntüsü).....	147
Şekil 4.79 Yüzeylerden alınan 4-4' kesiti (a – kesitin alındığı yer, b- kesit görüntüsü).....	148

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1 Ticari olarak kullanılan bazı yersel tarayıcıların özellikleri	56
Tablo 4.1 Scanstation 2'e ait teknik ve fiziksel özellikler	66
Tablo 4.2 Uydu görüntülerine ait veriler.....	71
Tablo 4.3 Nokta bulutlarını birleştirme sırasında meydana gelen hata miktarları.....	99
Tablo 4.4 Eti Maden Bigadiç Simav Ocağı cevher cinsi ve kalınlığı	106
Tablo 4.5 Heyelan değerlendirme için tanımlanan alt bölgeler.....	115
Tablo 4.6 Doğu heyelanı taban şevlerine ait nokta bulutu yüzeylerinin birim dik vektör koordinatları ve hesaplanmış yönelim değerleri	126
Tablo 4.7 Doğu heyelanı orta şevlerine ait nokta bulutu yüzeylerinin birim dik vektör koordinatları ve hesaplanmış yönelim değerleri.....	129
Tablo 4.8 Doğu heyelanı üst şevlerine ait nokta bulutu yüzeylerinin birim dik vektör koordinatları ve hesaplanmış yönelim değerleri.....	133
Tablo 4.9 Ölçüm tarihleri ve birleştirme hata miktarları	141

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Gelişmiş olarak nitelendirilen ve sanayileşmesini tamamlamış ülkeler bilim ve teknoloji üretimine geçmişken, gelişmekte olan ülkeler ise sanayileşme hamlelerini yapıp refah seviyelerini arttırmayı amaçlamaktadır. Ülkelerin kalkınma ve ekonomik gelişiminde ise madencilik sektörü ön sıralarda yer almaktadır. Ancak madencilik sektörü işletme sermayesi yüksek, ekonomik ve teknik olarak riskli bir sektördür. Bu risklerin en düşük seviyede tutulması hem sektöre yatırımın artmasını hem de işletmelerin daha güvenli ve ekonomik üretim yapmalarını sağlayacaktır. Teknik anlamdaki risklerin en düşük seviyede tutulması ise madencilik sektöründe teknolojik sistemlerin kullanılması ile mümkün olabilmektedir. Bu açıdan maden üretimi sırasında oluşabilecek risklerin önceden belirlenerek önlenmesi veya takip edilmesi madencilik operasyonlarının devamı açısından yüksek öneme sahiptir.

Maden işletmeciliğinden kaynaklı oluşan ve takip edilmesi gereken en büyük risklerin başında açık ocaklarda meydana gelen şev duraysızlıkları gelir. Üretim sırasında oluşan risklerin izlenmesi temel olarak çeşitli ölçüm sistemlerine dayanmakta ve bu ölçümlerin büyük bir çoğunluğunu arazi ölçümleri oluşturmaktadır. Açık ocaklarda şev hareketlerini takip amacıyla en sık kullanılan yöntemler extansometre ve inklinometre ölçüm yöntemleridir. Ancak extansometre ve inklinometre ölçümleri hareketli alan üzerinde çalışma gerektirdiğinden ölçüm yapanlar için risk unsurları içerirken aynı zamanda iklimsel olumsuzluklar yüzünden bu ölçümler sağlıklı ve düzenli şekilde gerçekleştirilemiyebilmektedir. Ayrıca extansometre ve inklinometre gibi ölçüm aletleri ile yapılan ölçümler bölgesel ölçümler olmakta beraber çok fazla iş yükü ve iş organizasyonu gerektirmektedir. Benzer şekilde yüzey hareketlerinin takibi amacıyla total-station ve GPS benzeri cihazlarla yapılan ölçümler de kişilere bağlı, noktasal ve geçmişe yönelik değerlendirme şansı olmayan ölçümlerdir. Bu noktada bu tarz ölçümlerin dezavantajlarını ortadan kaldırmak için alternatif yollar bulunmalıdır. Extansometre ve inklinometre gibi ölçümlerin en büyük dezavantajı hareketin başladığı günden

itibaren gelişiminin takip edilememesidir. Bir diğer dezavantajı ise maden sahalarının boyutlarının büyük olmasına rağmen çalışmaların çoğu zaman daha dar alanlarda yapılmasıdır. Bu noktada daha geniş alanlarda çalışma olanağı sunan uzaktan algılama biliminin madencilik alanında kullanılabilirliği önem kazanmaktadır.

Son yıllarda bilimsel ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak kullanım alanları hızla artan uzaktan algılama disiplini yerbilimleri alanında da kendine yer bulmaya başlamıştır. Deprem araştırmaları, volkanik çalışmalar, maden ve petrol kaynaklarının aranması, kayaç tiplerinin tespiti, fay hatlarındaki deformasyonların belirlenmesi gibi yerbilimlerini ilgilendiren çalışmalarda aktif olarak kullanılan uzaktan algılama yöntemleri hem ekonomik açıdan hem zamandan tasarruf açısından hem de geçmişe ait veri üretilebilmesi açısından oldukça önemli bir çalışma yöntemidir

Bu tezin ana fikrini de açık ocaklardan maden üretimi sırasında oluşan yüzey hareketlerinin takip edilmesi amacıyla farklı uzaktan algılama sistemlerinden yararlanılması oluşturmuştur. Tez içerisinde ikinci bölümde açık ocaklarda madencilik faaliyetleri sonucu oluşan yüzey hareketlerinin izlenmesinde sıklıkla kullanılan mevcut yöntemlerden ve bunların avantaj ve dezavantajları bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde ise tez içerisinde şev izleme yöntemi olarak uzaktan algılama biliminin temelleri ve uzaktan algılama sistemleri ele alınmıştır. Dördüncü bölüm ise üç farklı açık ocakta meydana gelen, oluşumu bakımından birbirinden farklı üç kütle hareketinin uzaktan algılama yöntemleri ile değerlendirilme çalışmasına verilmiştir. Çalışmaların ilki TKİ GARP Linyitleri İşletmesi açık ocak harman sahasında meydana gelen heyelan hareketinin zaman bağlı olarak gelişimi ve mevcut durumda hareketin devam edip etmediğinin uydu görüntüleri ve yersel lazer tarayıcı sistemler ile belirlenmesini konu almaktadır. Diğer çalışma ise Eti Maden İşletmeleri Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü uhdesinde bulunan Simav Açık Ocağında meydana gelen şev duraysızlıklarının yersel lazer tarayıcı ile belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmadır. Bu çalışmada aynı zamanda Simav Açık Ocağı doğu ve güney şevlerinde

oluşan hareketin yönü yersel lazer tarayıcıyla ölçüm yüzeylerinden alınan noktalar vasıtasıyla bulunmuştur. nc çalışmada ise TKİ ELİ Soma Kısırakdere G-Panosu kömür üretimi alanı güney şevinde yeraltı üretiminin subsidans etkisinden kaynaklı hareket yine yersel lazer tarayıcı sistem ile incelenmiştir. Beşinci bölümde ise yapılan çalışmaların sonuçları özetlenmiştir.

BÖLÜM İKİ

MADENCİLİK FAALİYETLERİ SONUCU OLUŞAN YÜZEY HAREKETLERİNİN İZLENMESİ

2.1 Giriş

Teknik açıdan incelendiğinde maden işletmeciliği günümüzde iki şekilde yapılmaktadır. Bunlardan biri açık işletme olarak bilinen ve cevher damarının üzerindeki örtü tabakasının alınarak cevhere ulaşıp cevherin kazılması esasına dayanan üretim yöntemi, diğeri ise yeraltı yöntemi olarak bilinen ve üretilecek damara kadar galeri veya kuyularla inilerek, damarın yeraltında kazılıp yer üstüne nakliyesi şeklindedir. Bunların dışında yeraltı gazlaştırma, yerinde çözündürme ve hidrolik madencilik gibi göreceli olarak çok daha az uygulanan üretim yöntemleri de mevcuttur. Yeraltındaki madenlerin üretiminde ve/veya sonrasında çalışma alanında veya çevresinde kazı işlemi sonucu bazı duraysızlıklar oluşabilmektedir.

2.2 Açık İşletme Madenciliği Nedeniyle Oluşan Yüzey Hareketleri

Maden yatağının üzerindeki örtü tabakasının kaldırılarak üzeri açılan maden damarının üretilmesi işlemine açık işletme madenciliği adı verilmektedir. Açık işletme madenciliğinde topografyaya bağlı olarak çukur ve yamaç madenciliği olmak üzere iki farklı şekilde ocak havzası oluşturulabilir. Her iki yöntemde de kazı belirli bir açıyla basamaklar oluşturularak derinleştirilir ve damara bu şekilde inilir. Ocak çukuru oluşturulurken meydana gelen şevlerin duraylılığı doğrudan sahanın jeoteknik özellikleri ve oluşturulan şevin basmamak ve genel şev açıları ile ilgilidir. Oluşturulacak şev açısının yüksek olması ekonomikliği arttırmakla beraber yüksek şev açıları duraysızlık sorunları yaratmaktadır. Bu yüzden şev açısının ekonomiklik açısından en yüksek, iş güvenliği açısından ise duraylılığı sağlayabilecek kadar düşük olması gerekir. Bu ön şartlar gözetilerek belirlenen şev açıları her zaman duraysızlık sınırına yakın olduğu için zaman zaman açık ocaklarda şev duraylılık sorunları yaşanabilmektedir. Herhangi bir şevde hareket oluşabilmesi için kaymaya

neden olan kuvvetlerin kaymaya karşı koyan kuvvetlerden büyük olması gerekmektedir.

Açık ocaklarda meydana gelen bu hareketler, jeoteknik parametrelerin belirlendiği duraysızlığın oluşma mekanizmasına göre kama tipi kayma, düzlemsel kayma, dairesel kayma ve devrilme olmak üzere 4'e ayrılmaktadır. Bunlardan açık ocaklarda en çok gözlenen türler kama tipi kayma ve dairesel kayma türleridir.

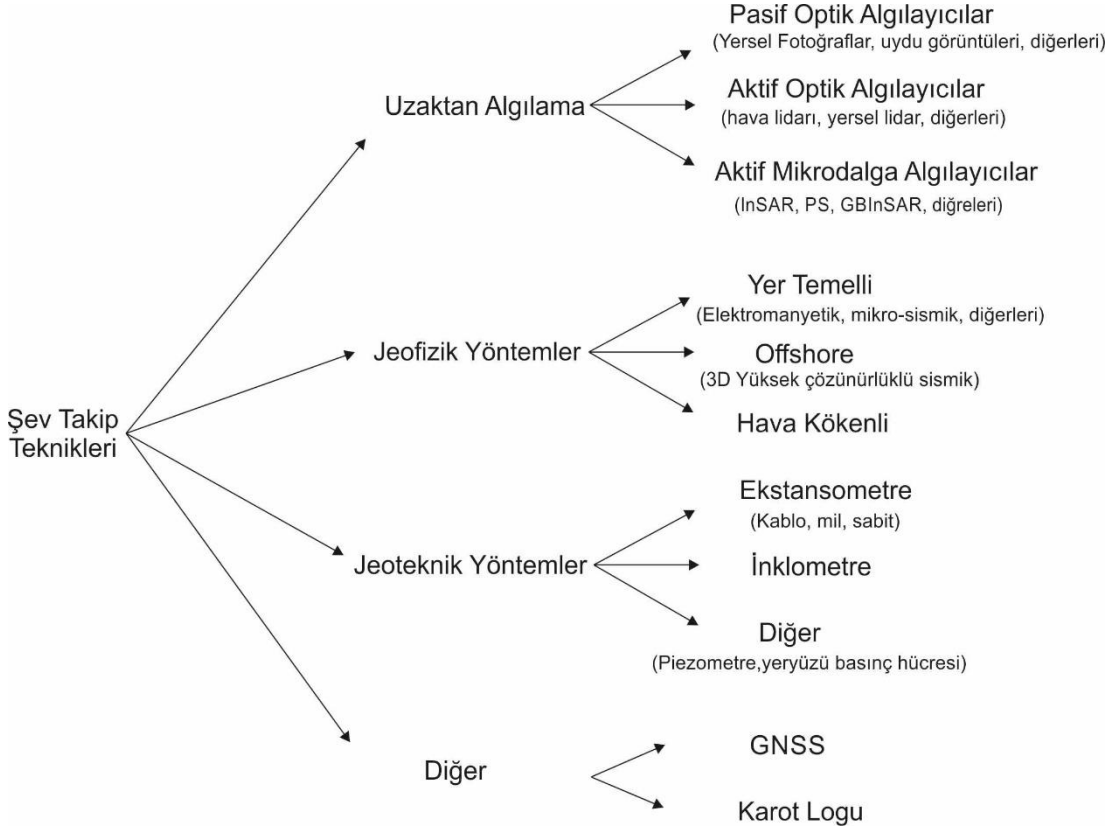
2.3 Açık İşletme Madenciliği Sırasında Oluşan Yüzey Hareketlerinin İzlenmesi

Şev hareketleri ihbarlı hareketlerdir. Hareketin olduğu bölge şevinin arka düzlüğünde gerilme çatlakları oluşur, bu gerilme çatlakları kendinden önceki kütlelerin hareket halinde olduğunu gösterir. Bu hareket belirlendiği anda o bölgenin dikkatle izlenmesi ve ocak için tehlike oluşturup oluşturmayacağı belirlenmesi gerekmektedir.

Maden sahalarında yaşanan büyük çaplı yüzey hareketlerine örnek olarak 2011 yılında Kahramanmaraşın Afşin-Elbistan kömür sahasında meydana gelen heyelan örnek gösterilebilir.

Çöllolar Açık Ocak işletmesinde ilk olarak 6 şubat 2011 tarihinde batı şevinde meydana gelen kaymada 1 işçi hayatını kaybetmiştir. 10 Şubat 2011 tarihinde ise doğu şevinde heyelan meydana gelmiştir. Kayma 140 m yüksekliğindeki doğu şevinde 1150 m uzunluğunda 550 m genişliğinde bir alanda gelişmiştir. 50 milyon metreküpten fazla miktardaki heyelan malzemesi çok geniş bir alana yayılmış ve heyelanda 10 kişi kayan malzeme altında kalmıştır. Yaşanan bu kazadan önce hem batı şevlerinde hem de büyük heyelanın meydana geldiği doğu şevlerinin arka kısımlarında gerilim çatlakları olduğu görülmüştür. İşletme hareketli alanda ölçümler yapsa da kaza yaşanmadan gerekli önlemleri alamamıştır. Nitekim kaza sırasında olayın olduğu yerde vefat eden işçilerden bir kısmının ölçüm için arazide olduğu bilinmektedir. Bu sebeple bu tür kazaların yaşanmaması için hareketli alanların en hassas şekilde izlenerek sonuçlarının doğru yorumlanması ve gerekli önlemlerin alınması son derece önemlidir.

Açık ocak maden işletmeciliği sebebiyle meydana gelen yüzey hareketlerinin izlenmesi amacıyla birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler Michoud 2012 tarafından verilerin toplanış şekline göre Şekil 2.1’de gösterildiği gibi temel 4 başlık altında toplanmıştır.

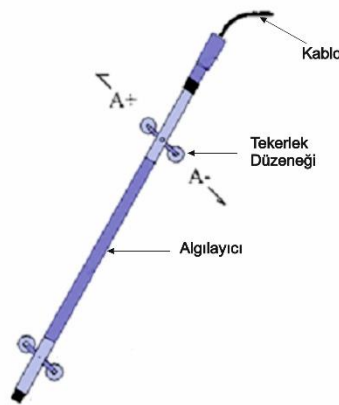


Bu yöntemler içerisinde bulunan jeofizik ölçüm yöntemleri hem uygulanması güç hem de yoruma oldukça açık uygulamalar olup her zaman verimli sonuç elde edilememektedir. Uzaktan algılama yöntemleri ise son yıllarda hızla, gelişen uydu ve yersel görüntüleme teknolojilerinden yararlanılarak yapılan hızlı, geçmişe yönelik bilgi üretebilen ve yüksek hassasiyetli yöntemlerdir. Uzaktan algılama yöntemlerinin izleme amacıyla kullanılmasında günümüzde optik uydu görüntüleri, radar uydu görüntüleri yersel ve hava lazer tarayıcı sistemleri kullanım alanı bulmaya başlamıştır.

Jeoteknik yöntemler ise son 50 yılda şev hareketlerini takip konusunda en çok kullanılan yöntemlerdendir. Jeoteknik yöntemlerden özellikle inklinometre, TDR (Time Domain Reflectometry) sistemleri ve ekstansometre ölçümleri şev hareketlerinin izlenmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak bu yöntemlerin, hareketli saha üzerinde yapılan yoğun operasyonel çalışmalar olması, hareketli kütle üzerinden ölçüm alma zorunluluğu ve kimi zaman ölçüm alınamaması gibi sıkıntıları mevcuttur.

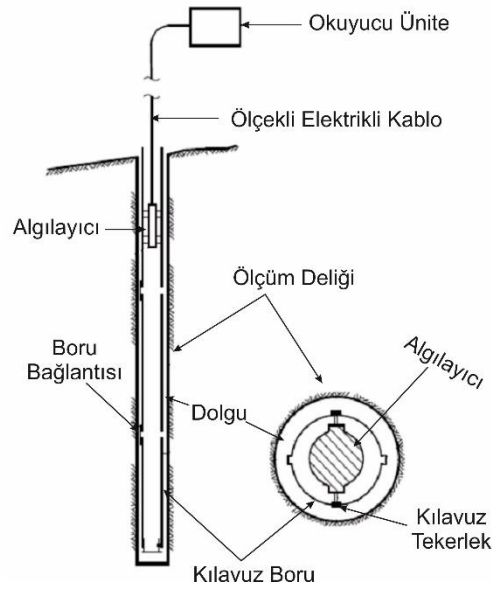
2.3.1 İnklinometre

İnklinometre açılan bir kuyunun farklı noktalarında oluşan yatay yer değiştirmeyi ölçmeye yarayan jeoteknik bir ölçüm aletidir (Şekil 2.2). Kayan yüzey üzerinde açılan dikey bir delik içerisinde bir çok noktada ölçüm alan inklinometre cihazları ölçüm alınan delikte uzun dönemler boyunca delik eksenine dik yönde oluşan hareketi hassas bir şekilde ölçebilir. İnklinometre ölçümleri sonucunda delik içerisinden alınan ölçümlerden hareketin olduğu yeri, hareketin miktarını ve hareket yönünü saptamak mümkündür. Aynı kayma bölgesinde farklı yerlerde açılan ölçüm deliklerinde yapılan ölçümler sayesinde ise şev hareketinin kayma dairesinin belirlenmesi mümkün olmaktadır.



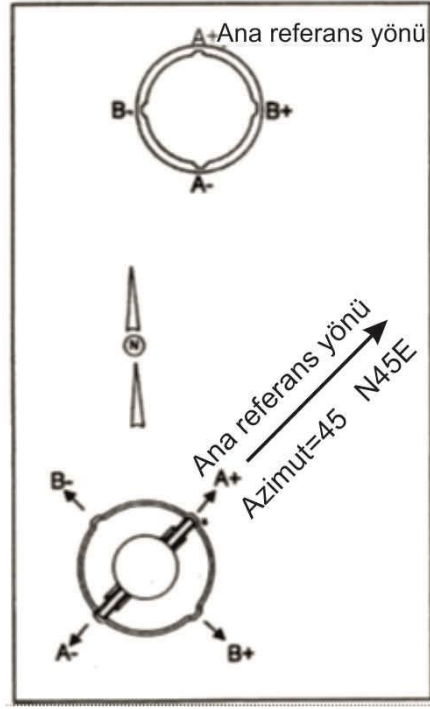
Şekil 2.2 İnklinometre ölçüm cihazı

İnklinometre ölçümlerinin yapılabilmesi için kayan kütle üzerinde bir delik açılır ve bu delik boyunca plastik koruyucu boru yerleştirilir. Açılan bu kuyuların deformasyona uğrayarak ölçümü yanıltmaması için kuyu ile boru arasının bentonit çamuru veya çimento ile doldurulması gerekir. Bu borular üzerinde birbirine dik olarak inklinometrenin hareket edeceği eksen boyunca inklinometrenin kendi eksenini etrafında hareket etmesini engellemek amacıyla iki adet oluk bulunur ve inklinometre bu oluklar içerisinde hareket ederek ölçüm alır. Alınan ölçümler inklinometre üzerindeki kablo ile kayıt cihazına aktarılır (Şekil 2.3).



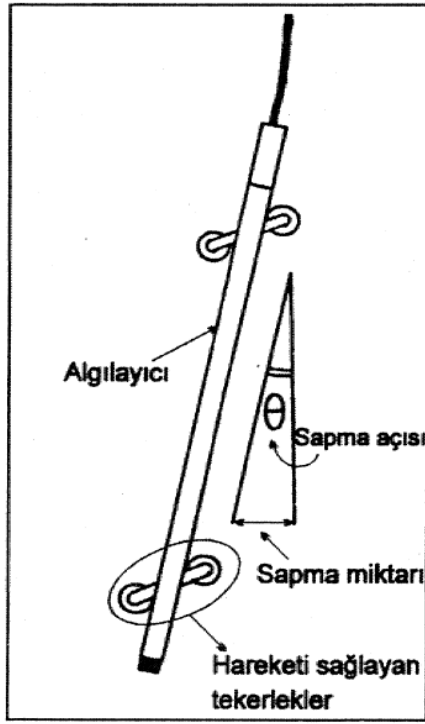
Şekil 2.3 İnklinometre kuyusu kesit ve plan görünüşü (Indian Institute, çev, 2015)

Delik içerisine yerleştirilen boruların iç yüzeylerinde bulunan ve birbirine dik olan oluklardan birisi. A+, A-oluk çifti, diğeri ise B+, B- oluk çifti olarak belirlenir (Şekil 2.4). Bu oluklardan bir tanesi muhtemel kayma yüzeyi ile aynı doğrultuda yerleştirilir ve referans oluk olarak kabul edilir. Daha sonra inklinometre algılayıcısı delik delinip boru yerleştirilmesini takiben referans oluk yönünde delik içerisine tabana ulaşınca kadar yavaşça gönderilir ve tabana değen algılayıcı cihaz yavaş yavaş yukarı doğru çekilerek belirli aralıklarla durarak delik ağzına kadar ölçüm alınır. Aynı işlem referans oluğa dik yönde bulunan delik içerisine tekrar gerçekleştirilir.

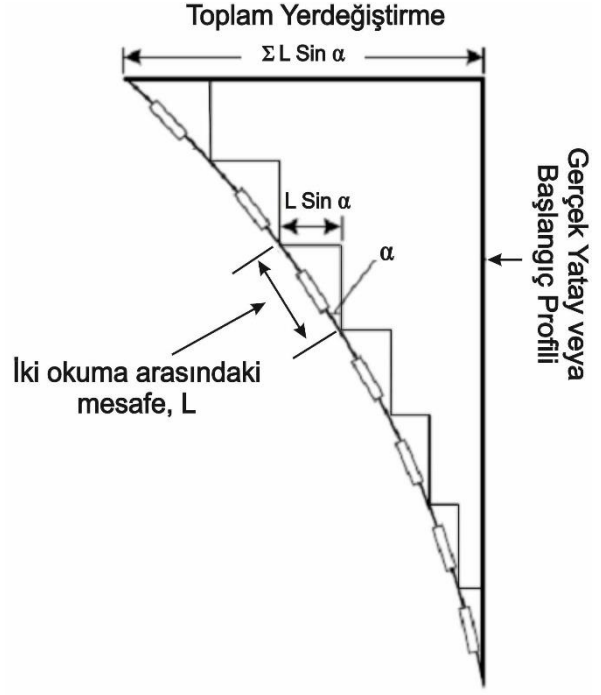


Şekil 2.4 İnklinometre deliğinin plan görüntüsü (Ertürk, 1996)

İnklinometre ölçümlerinde alınan verilerin değerlendirilmesi ilk yapılan ölçümün referans ölçüm olarak kabul edilerek sonraki ölçümlerin ilk ölçümden sapma miktarlarının belirlenmesi esasına dayanmaktadır (Şekil 2.5). İnklinometre ölçümü sonrası alınan veriler derinliğe bağlı olarak ölçüm sonucu ile gerçek yatay (başlangıç profili) olarak grafiğe dökülür ve bu iki eğri arasındaki yatay fark yerdeğiştirme, iki eğrinin birbirinden ayrıldığı derinlik ise kayma derinliği olarak belirlenir (Şekil 2.6).

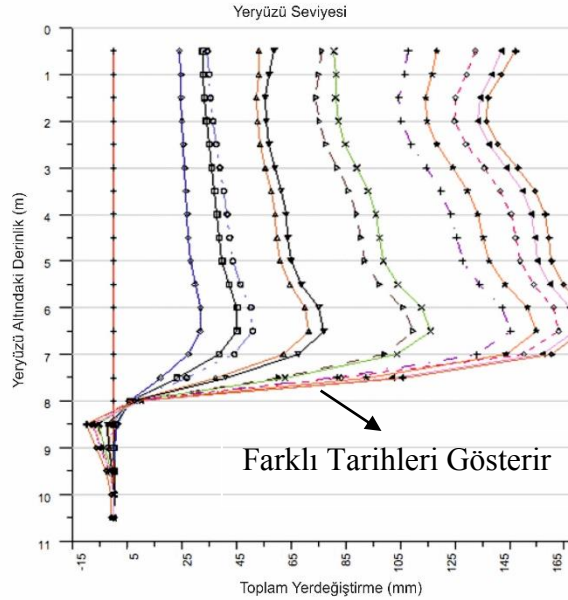


a)

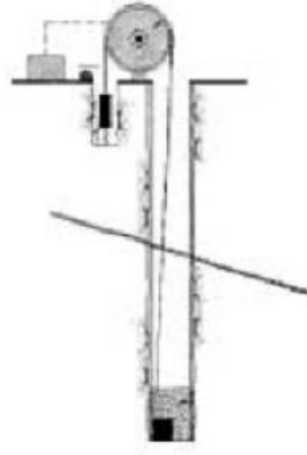


b)

Şekil 2.5 İnklinometre ölçümlerinin değerlendirilmesi a)Algılayıcının düşeyden sapması (Ertürk 1996, Graham 1989) b)İnklinometre ölçümlerinden sapma miktarının hesaplanma prensibi (University of Wollongong, 2014)



Şekil 2.6 İnklinometre ölçümlerine ait örnek bir sonuç grafiği (University of Wollongong, 2014)

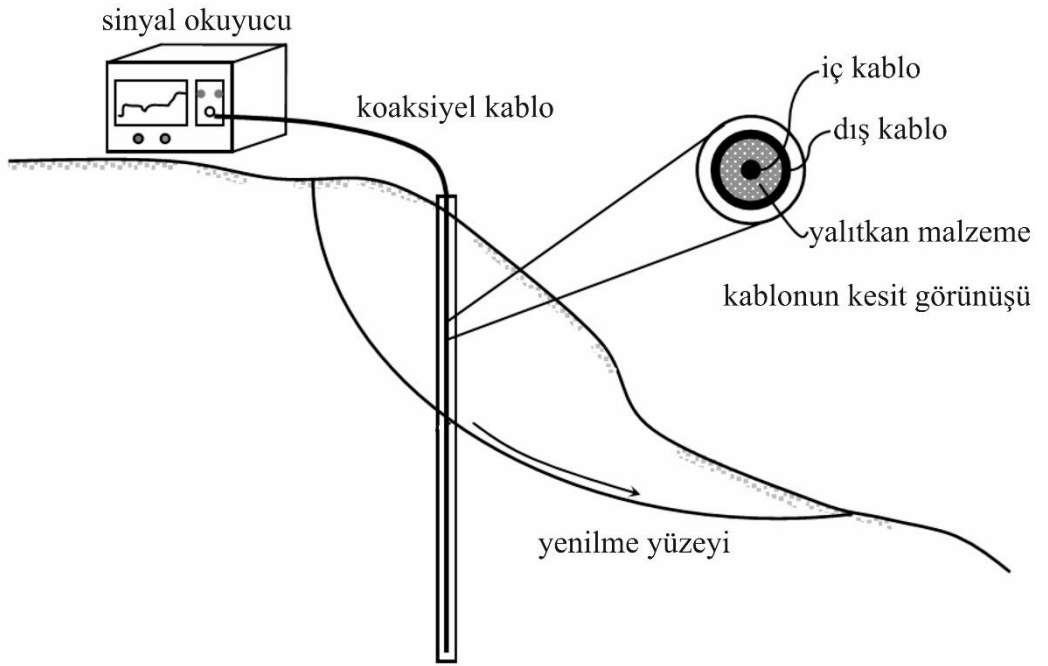


Şekil 2.8 Tel ekstansometre (Indian Institute, 2015)

Ancak bu tip ekstansometrelerin ölçüm düzeneğinin hareketsiz kaya üzerinde deliğin hareketli yüzeyde bulunması ve kullanılan telin sıcaklık değişiminden etkilenmeyen özel bir telden imal edilmiş olması gerekir.

2.3.3 TDR Sistemleri

TDR (Time Domain Reflectometry) sistemleri olarak bilinen sistemler kayma beklenen şev üzerinde açılan bir delik içerisine yerleştirilen koaksiyel kablo vasıtasıyla ölçüm yapan sistemlerdir. Bu ölçüm yönteminde aynı inklinometre ölçümlerinde olduğu gibi potansiyel kayma beklenen şev üzerinde delici makinalar vasıtasıyla tahmin edilen kayma dairesini geçecek şekilde bir delik delinir ve içerisine koaksiyel kablo yerleştirilir. Daha sonra delik çimento gibi bir harç malzemesi ile doldurulur ve kablonun sabitlenmesi sağlanır. İç içe geçmiş aralarında yalıtkan malzeme bulunan iki kablodan oluşan koaksiyel kablo yer yüzünde okuyucu sisteme bağlıdır ve bu okuyucu sistem kablodan gelen sinyalleri kayıt eder. Şevde herhangi bir hareket olduğunda bu iç içe iki kablo arasındaki mesafe azalacak, bu sebepten kablonun o kısmında direnci değişecek ve bu da kabloya gönderilen ve yansıyan sinyallerin karakteristiğinde değişikliğe neden olacaktır. Derinliğe bağlı olarak ölçülen bu sinyaller sayesinde sinyal karakteristiğinin değiştiği yer kayma dairesinin bulunduğu yer olarak belirlenir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9 TDR sistemine ait örnek bir kesit görüntü (Turner, çev, 2006)

TDR sistemlerinin inklinometre sistemlerine göre üstünlükleri (Kane, 2000);

- Daha ekonomik olması,
- Daha hızlı ve sürekli ölçüm alma olanağı sağlaması,
- Kablo sisteminden oluştuğu için hareketli alan üzerinde ölçüm alma zorunluluğu olmaması,
- Sonuçlarının hızlıca değerlendirilebilmesidir

TDR sistemlerinin dezavantajları ise (Kane, 2000);

- Hareket alanında TDR sisteminin ölçüm alabilmesi için kesme yüzeyinin meydana gelmiş olması gerekmektedir.
- TDR sistemleri sadece yenilme yüzeyinin yerini belirleyebilir. Hareket yönünün belirleyemezler
- TDR sistemleri hareketin büyüklüğünü ölçmede kullanılamaz. Her ne kadar bu yönde yapılan bazı çalışmalar olsa da yapılan çalışmalarda arazi ölçümleri ile laboratuvar ölçümleri arasında yeterli korelasyon bulunamamıştır

2.3.4 Çatlak İzleme

Şev hareketleri daha önceden de bahsedildiği gibi ihbarlı hareketleridir. Hareket etme eğiliminde olan bir kütle ile bu kütlenin ayrılacağı ana kütle arasında hareket ile beraber gerilme çatlakları oluşur (Şekil 2.10). Bu hareketli kısımda hem şev önüne doğru hem de düşey ekseninde aşağı yönlü hareket oluşmaktadır.



Şekil 2.10 Bir açık ocak şevinin arka kısmında oluşan gerilme çatlağı

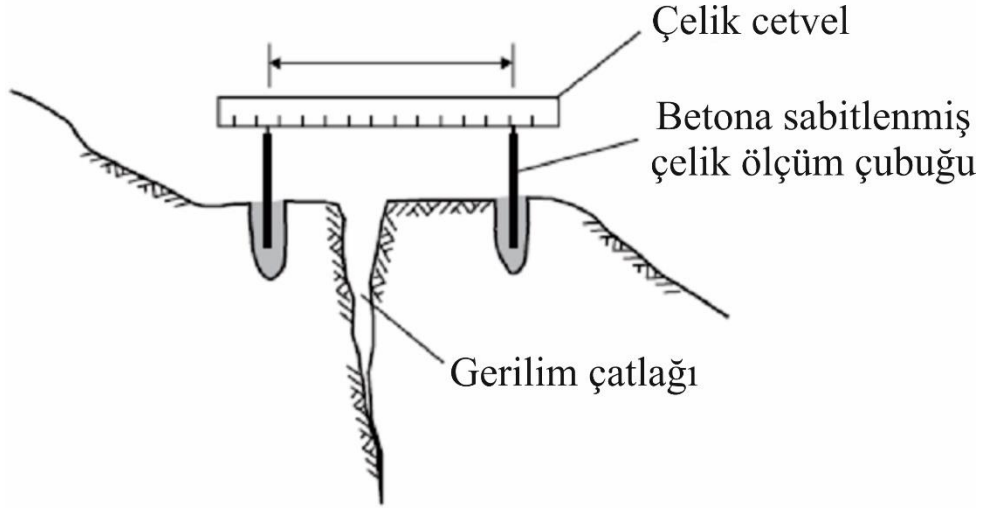
Şev hareketlerini takip etmek amacıyla kullanılan ve yukarıda bahsedilen yöntemler ek bir yatırım ve işgücü gerektirirken, çatlak izleme yöntemi çok daha ekonomik ve basit bir yöntem olmakla beraber bahsi geçen yöntemler kadar detaylı veri üretememektir. Çatlak izleme yönteminde şevin üst yüzeyinde kopan kütlenin ana kütleyle göre göreceli hareketi izlenmektedir. Bu amaçla oluşan gerilim çatlağının her iki yanına sabitlenen referans noktaları arasında ki düşey ve yatay yer değiştirmeler zamana bağlı olarak ölçülerek şevin hareketi takip edilebilir (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 Çatlak ölçümü için kurulan bir sistem örneği (Jooste ve Cawood, 2006)

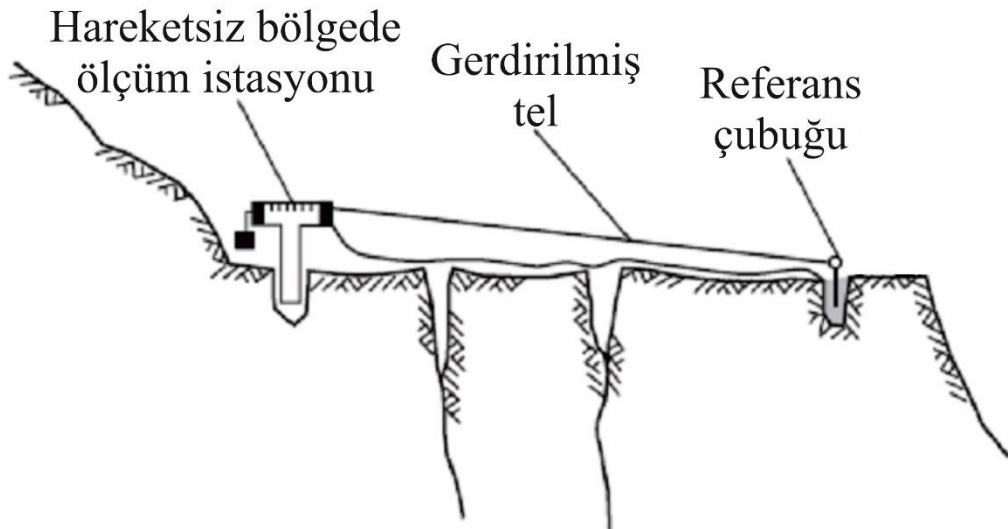
Son yıllarda teknolojik gelişmelere bağlı olarak çatlak izleme sistemleri üzerinde de bir takım gelişmeler meydana gelmiştir. Basitçe kurulan sistemlerin yanında daha profesyonel sistemler kurularak çatlak izleme sistemlerinin ölçüm hassasiyeti arttırılmıştır. Bunlardan biri çelik cetvel sistemi diğeri ise gerdirilmiş tel ile ölçüm yapan sistemlerdir.

Çelik cetvel ile yapılan ölçümde, gerilim çatlaklarının her iki yanına aynı hizada çukur açılarak içerisine beton dökülür ve betonların içerisine ölçüm çubukları sabitlenir. Ölçüm çubuklarından sağlam bölgede olan çubuğun üzerine, ölçüm çubuğuna dik şekilde ve başlangıç noktası “0” olacak şekilde ısı değişiminden etkilenmeyecek çelik bir cetvel yerleştirilir, Çelik cetvelin bir ucu sağlam bölgedeki ölçüm çubuğuna sabitken diğeri hareketin olduğu veya olacağı düşünülen bölgedeki ölçüm çubuğunun üzerinde ve serbest şekildedir (Şekil 2.12). Sistem ilk kurulduğunda iki çubuk arasındaki yatay mesafe ölçülür ve kayıt edilir. Daha sonra belirli aralıklarla bu mesafeler ölçülmek kaydıyla şev hareketinin izlenmesi sürdürülür.



Şekil 2.12 Çelik cetvel yöntemiyle çatlak izleme (Indian Institute, çev, 2015)

Gerdirlmiş tel yöntemiyle ölçüm yapan sistemlerde ise çatlağın sağlam tarafında üzerinde makaralı sistem bulunan T şeklindeki ölçüm istasyonu ile gerilim çatlağının hareketli kısmına yerleştirilen referans çubuk arasına ısı değişiminden etkilenmeyen bir tel gerdirilir ve ilk durumda yer değiştirme “0” olarak kabul edilir (Şekil 2.13). Hareketli kısımdaki şev hareket ettikçe referans çubuğu ölçüm istasyonundan uzaklaşacak ve ölçüm istasyonundaki teli çekecektir. Ölçüm istasyonundaki telin hareketi ise şevin yatay yer değiştirmesi olarak kabul edilir.

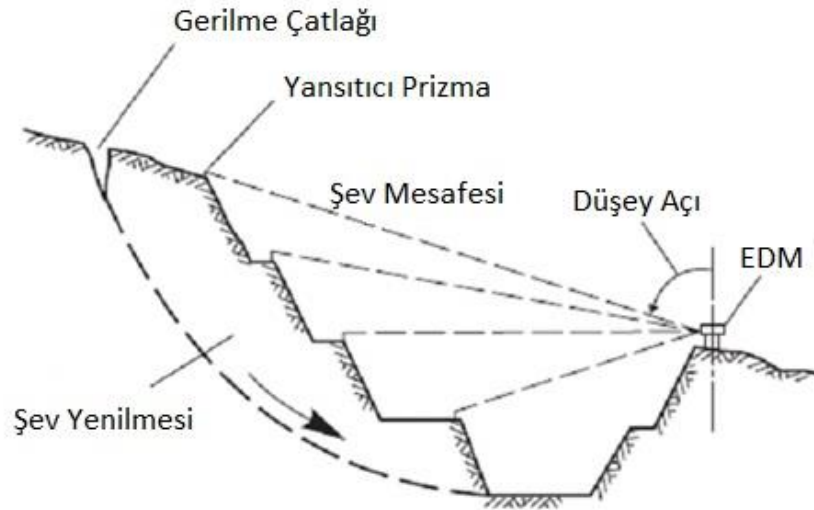


Şekil 2.13 Gerdirlmiş tel ile çatlak izleme (Indian Institute, çev, 2015)

Çatlak izleme sistemlerinde temel mantık aynı olmakla beraber farklı ölçüm sistemleri geliştirilmiş olup bu sistemlerde cetvel veya ölçüm istasyonlarına yerleştirilen sensörler vasıtasıyla hareket olduğu an alarm veren düzeneklerde kurulmaktadır.

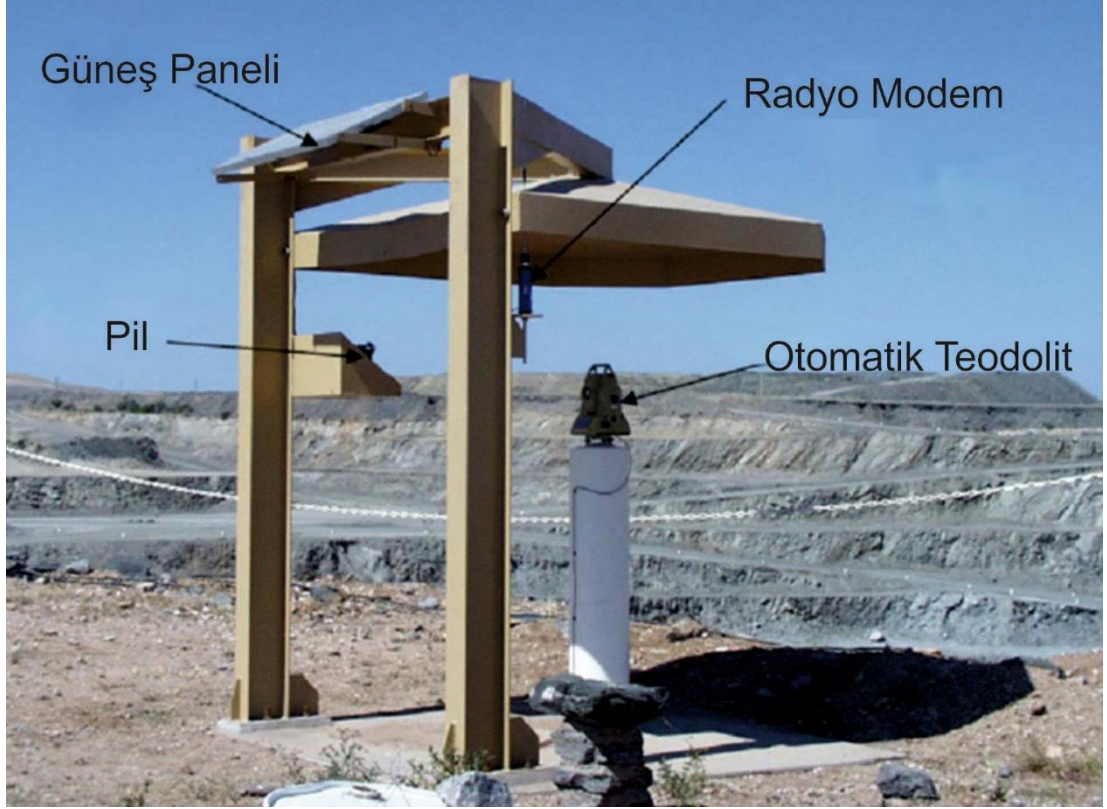
2.3.5 Topografik Ölçümler

Topografik ölçüm yöntemleri özellikle büyük alanlarda oluşan hareketlerin belirlenmesinde kullanılan ve topografik ölçüm cihazları ile yapılan ölçümlerdir. Bu ölçüm yönteminde birçok referans reflektör noktasının topografik ölçüm cihazları ile tekrarlı ölçümler yapılması ve sonuçları önceki ölçümlerle karşılaştırması esasına dayanmaktadır (Şekil 2.14)



Şekil 2.14 Topografik aletlerle yapılan ölçümlerin çalışma prensibi (Indian Institute, çev, 2015)

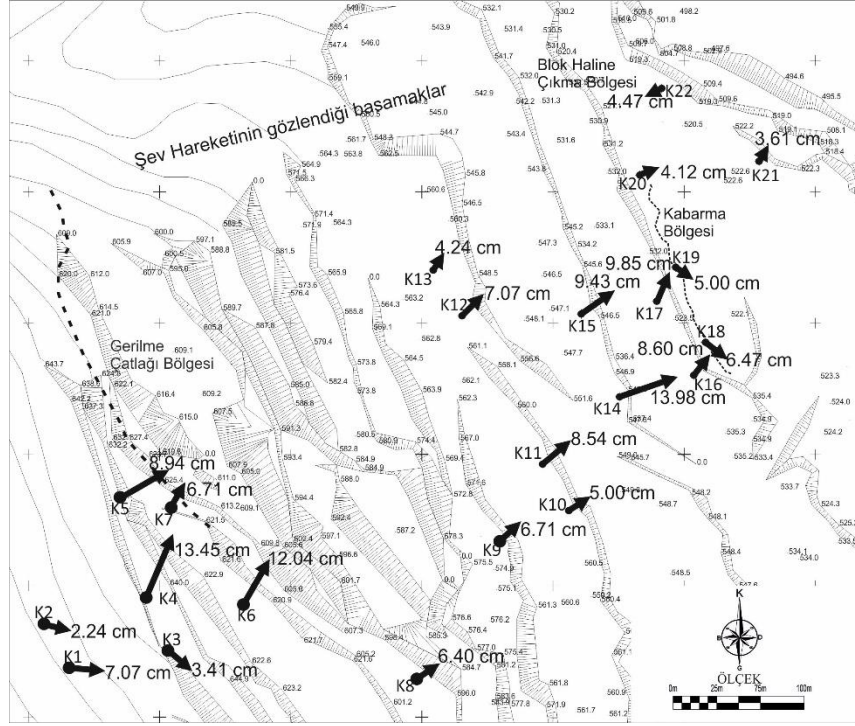
Topografik ölçüm cihazları reflektör noktaları ile cihazın kurulu olduğu yer arasındaki mesafeyi belirli aralıklarla ölçerek bu mesafede herhangi bir değişiklik olup olmadığını kontrol ederler. Ölçüm cihazı ile reflektör arasındaki mesafenin kısılması şevin önde doğru hareket ettiği anlamına gelmektedir (Şekil 2.15).



Şekil 2.15 Teodolit ile yapılan örnek bir şev takip sistemi (Jooste ve Cawood, 2006)

2.3.6 Tekrarlı Kazık Ölçümleri

Açık ocak madenciliğinde çalışma alanları km^2 mertebesinde bulunan alanlardır. Tekrarlı kazık ölçümleri bu geniş alanlar içerisinde oluşan hareketin takip edilmesi için geliştirilen basit bir yöntemdir. Bu yöntemde çalışma alanında hem hareketli yüzey üzerine hem de gerilme çatlaklarının arkasında bulunan ve sağlam olduğu düşünülen yüzey üzerine hareketi karakterize edecek şekilde sıcaklık değişiminden etkilenmeyecek kazıklar çakılır. Daha sonra belirli periyotlar ile bu kazıkların konumları GNSS (Global Navigation Satellite System), GPS (Global Positioning System) veya totalstation gibi hassas ölçüm yapan cihazlar ile ölçülerek harita üzerine vektörel olarak işlenir (Şekil 2.16). Bu sayede hareketli kütlenin hareket yönü ve hareket miktarı belirlenmeye çalışılır.



Şekil 2.16 Tekrarlı Kazık ölçümleri ile yapılan şev takip çalışması örneği (Özdoğan ve diğer., 2013)

Tekrarlı kazık ölçümleri ile yapılan şev takibinin dezavantajları olarak, kazıkların bulunmasındaki zorluklar, büyük ve riskli alanlarda ölçüm yapma zorunluluğu, kazıkların insanlar veya hayvanlar tarafından sökülmesi veya yerinin değiştirilmesi gibi faktörler gösterilebilir. Aynı zamanda bu yöntemde inklinometre ve TDR sistemlerindeki gibi kayma dairesinin derinliğini bulma şansı yoktur. Bunun yanında sistemin uygulamasının çok kolay olması ve maliyetinin neredeyse hiç olmaması nedeni ile halen kullanımı olan bir yöntemdir.

2.3.7 Uzaktan Algılama ile Şev Hareketlerini Takibi

Uzaktan algılama yöntemleri ile şev hareketlerinin takibi geçtiğimiz 10 yıl içerisinde gelişen bir yöntem olmuştur. Uzaktan algılama ile şev takibine yönelik olarak kullanılan iki sistem vardır. Bunlardan biri uydu görüntüleri diğeri ise elektromanyetik ışıma kullanan ölçüm cihazlarıdır. Uydu görüntüleri ile yapılan şev takip yöntemleri de kendi içerisinde, optik uydu görüntüleri ile yapılan çalışmalar ve radar uyduları ile yapılan çalışmalar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Optik uydu görüntüleri ile yapılan çalışmalar arazinin sayısal yükseklik modeli olmadan

yapıldığında 2 boyutlu çalışmalardır. Radar uydusu ile yapılan çalışmalarda interferometrik yapay açıklıklı radar (InSAR) yöntemi kullanılarak doğrudan 3. boyuttaki deformasyon hareketi belirlenebilmektedir.

Elektromanyetik ışıma kullanan ölçüm cihazları da kendi içerisinde lazer ışıması kullanan ve radyo dalgası kullanan sistemler olmak üzere ikiye ayrılır. Lazer ışıması ile ölçüm yapan sistemler hava lidarı ve yersel lazer tarayıcı cihazı iken, radyo dalgası kullanan sistem şev radarı olarak bilinen sistemdir.

Şev radarı, izlemesi yapılacak olan şevin karşısına kurulan ve ölçüm yapacağı şeve sürekli olarak radyo dalgası gönderip toplayan bir sistemdir. Şev radarında gönderilen elektromanyetik dalgada oluşan faz farkına göre deformasyon miktarını belirlenir. Riskli bölgelerde sürekli ölçüm yapabilen sistemler ölçüm yaptığı şevdeki hareketi milimetre hassasiyetinde belirleyebilme kabiliyetine sahiptir. Herhangi bir deformasyon oluşması halinde sistem otomatik olarak kullanıcıya bilgi verir ve gerekli önlemler alınır. Bu sistemlerin en büyük dezavantajı ise fiyatlarının çok yüksek olmasıdır.

Lazer tarayıcı sistemler ile şev takibi yöntemi ise ölçüm cihazından şev yüzeyine gönderilen lazer ışının şev yüzeyine gidiş geliş süresine göre oluşturulan nokta bulutu ile tekrarlı ölçümler sonrası oluşturulan nokta bulutları arasındaki farkın alınması esasına dayanmaktadır. Lazer tarayıcı sistemler ile şev takibi konusu tez çalışması kapsamında çalışıldığı için lazer tarayıcılar ile ilgili detaylı bilgi Bölüm 3.5.2’de verilmiştir.

BÖLÜM ÜÇ

UZAKTAN ALGILAMA

3.1 Giriş

Uzaktan algılama, bir nesne hakkında doğrudan fiziksel temas olmadan çeşitli algılayıcı sistemler tarafından veri toplama ve analiz etme yöntemidir. Doğal veya yapay bir enerji kaynağından yayılan, nesnelerin ışıyım özelliğine göre yansıması sonucu farklı dalga boylarına ait bilgiler içeren elektromanyetik enerjinin algılayıcı sistemler tarafından algılanarak işlenmesi esasına dayanmaktadır

Hava araçları, uydular ve yersel ölçüm cihazları uzaktan algılama sistemleri için yaygın platformlar olarak kullanılmaktadır. Özellikle geniş alanlarda büyük çaplı analizler yapılmak istendiğinde uzaktan algılama yöntemleri günümüzde yüksek doğrulukla veri üretir hale gelmiştir.

3.2 Uzaktan Algılamanın Gelişimi

Uzaktan algılama tarihçesine bakıldığında bu alandaki gelişmeler Düzgün, 2010 tarafından şu şekilde sıralanmıştır ;

1903 yılında Julius Neubronner posta güvercinlerinin göğsüne monte edilen 70 gr. Kameranın patentini almıştır. Kuşlar doğru bir hat boyunca uçup geri dönmek için eğitilip kameralar 30 sn.lik aralıklarla görüntüler almıştır.

1908’de, Wilbur Wright ve yolcusu L. P. Bonvillain uçaktan ilk hava fotoğrafını çekmişlerdir.

II. Dünya savaşının sonlarında uçaklardan çekilen hava fotoğraflarının keşif amaçlı kullanımı büyük önem kazanmıştır. Bu yıllarda özel filmler geliştirilmiştir. (örnek: kızıl ötesine duyarlı filmler). Günümüzde hala hava fotoğrafları istihbarat ve keşif amaçlı kullanılmaktadır (örnek: IHA görüntüleri)

Soğuk savaş dönemleri uyduya dayalı uzaktan algılama çalışmalarını başlatmıştır.

1950’lerde ABD ve SSCB uydu görüntüleri elde etme çalışmalarına başlamıştır.

1960’larda sistemlerden sağlıklı görüntüler alınmaya başlanmıştır.

1960-1972 US Corona Programı uyduya dayalı ilk keşif amaçlı görüntü elde edilmesi çalışmasıdır.

1972’de LANDSAT-1’in başarı ile çalışması uzaktan algılamayı ve kullanılan teknikleri tümünden gözden geçirmeye neden olmuştur.

1975’de LANDSAT-2’nin da başarıya ulaşması uydu görüntülerinin sivil uygulamalar için pazarlanmasını tetiklemiştir.

LANDSAT’ların üstünde yer alan MSS (Multispektral sensor) 80 m.’lik mekânsal çözünürlüğe sahipken (futbol sahasından biraz daha küçük objelerin belirlenebilmesi) araştırma enstitüleri, üniversiteler, devlet kurumları gibi sınırlı kullanıcı kitlesine sahip olmuşlardır.

ABD LANDSAT-4 (1982) ve LANDSAT-5 (1984) uyduları ile 7 kanallı çok bandlı 30 m.’lik ve 15 m.(mono-pan) mekansal çözünürlüklü görüntüler sağlamaya başlamıştır.

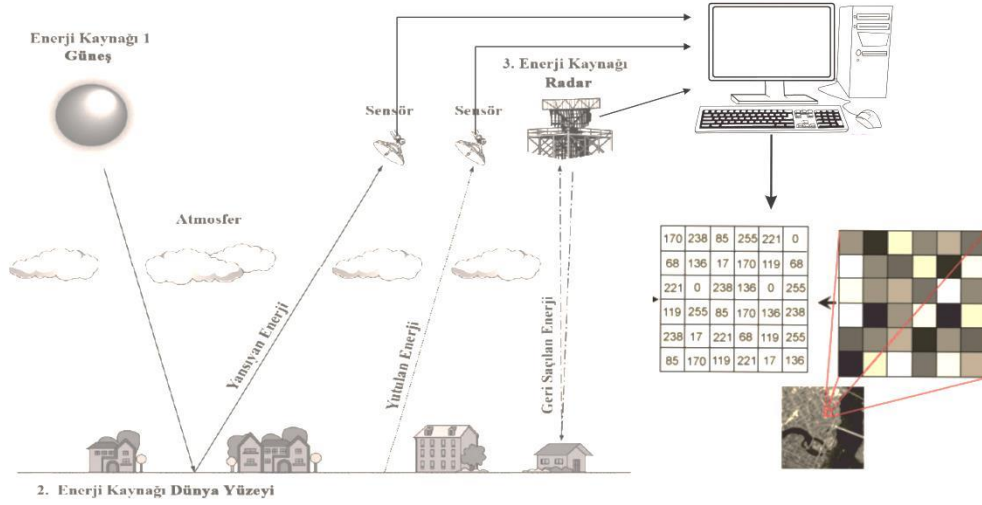
Fransa SPOT-1 (1986) ve SPOT-2 (1990) ile 20m çok bandlı ve 10 m. PAN (mono-pan) görüntüler sağlamaya başladılar.

1990’larda yüksek mekansal çözünürlüklü uydu görüntüleri ticari olarak sağlanabilir hale gelmiştir. Rusya, ABD, Fransa ve Hindistan temel sağlayıcılar olarak rol almaktadır.

2000’lerde Yüksek mekansal ve spektral çözünürlüklü uydu görüntüleri çok amaçlı kullanılır hale gelmiş ve farklı sensör teknolojileri ile havadan uzaktan algılama tekniklerinde ilerlemeler olmuştur.

3.3 Uzaktan Algılamanın Temelleri

Uzaktan algılama sisteminin çalışma prensibi, elektromanyetik enerjinin ölçülmesi ilkesine dayanmaktadır. Algılayıcı sensörler bir elektromanyetik enerji kaynağından çıkan, yeryüzünden veya bir nesneden yansıyan enerjiyi toplayarak veri sağlar. Elde edilen veriler bilgisayarlar yardımı ile görselleştirilir ve görüntü analiz yöntemleri ile bu görüntülerden sonuç elde edilir (Şekil 3.1).

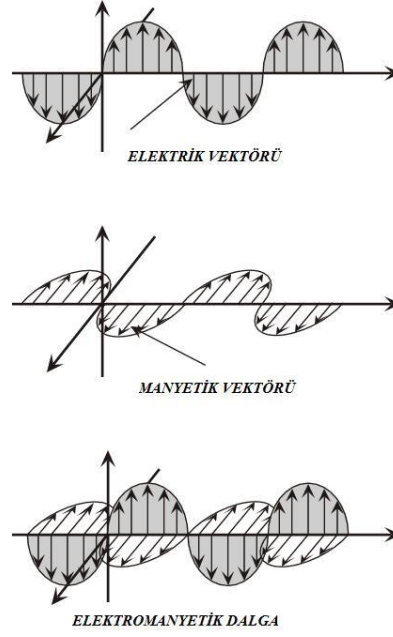


Sekil 3.1 Uzaktan algılamanın şematik gösterimi (Kavzaoglu b.t'den değiştirilerek)

Uzaktan algılamayla yeryüzündeki objeler hakkında bilgi elde etme süreci elektromanyetik enerji ile yeryüzündeki objeler arası etkileşimin yorumlanmasına dayanmaktadır (Düzgün, 2010).

3.3.1 Elektromanyetik Işınım

Elektromanyetik enerjinin bir kaynaktan dalgalar halinde gelmesi elektromanyetik ışıınım olarak adlandırılır. Mutlak sıfır (-273.15°C) üzerinde bütün cisimler bir miktar elektromanyetik ışııma (radyasyon) yayar ve başka objelerden gelen ışıımaları yansıtırlar. Bu elektromanyetik dalga, yayım istikametine dik yönde ve değişik büyüklükte bir elektriksel saha (E) ile bu saha ile dik açı yapacak şekilde yayılan bir manyetik sahayı içermektedir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Elektromanyetik dalga

Elektromanyetik ışımların ortak özellikleri şunlardır ;

- Birbirine dik elektrik ve manyetik alandan oluşurlar.
- Boşlukta düz bir doğrultuda yayılırlar.
- Hızları ışık hızına ($2,99792458 \times 10^8$ m/s) eşittir.
- Geçtikleri ortama; frekanslarıyla doğru orantılı, dalga boylarıyla ters orantılı olmak üzere enerji aktarırlar
- Enerjileri; maddeyi geçerken, yutulma ve saçılma nedeniyle azalır, boşlukta ise uzaklığın karesiyle ters orantılı olarak azalır.

Elektromanyetik dalgaların üç temel özelliği önem taşımaktadır. Bunlar dalgaboyu (λ), frekans ve genlik olarak tanımlanır.

Dalgaboyu (λ): Arka arkaya gelen dalga tepe noktaları arasındaki uzaklığa dalgaboyu adı verilir. Dalgaboyu nanometre (10^{-9} m), mikrometre (10^{-6} m), santimetre (10^{-2} m) veya metre cinsinden ifade edilir.

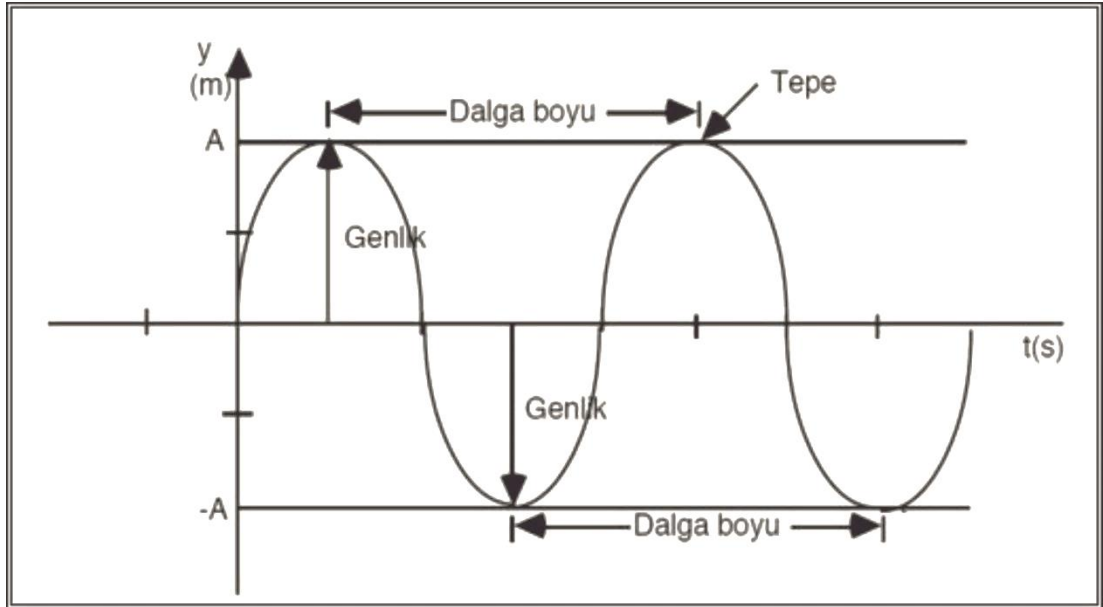
Frekans(ν): Birim zamanda bir noktadan geçen dalga sayısı olarak ifade edilir. Ölçü birimi olarak hertz (Hz) kullanılır.

Dalga boyu ile frekans arasındaki ilişki ise denklem 3.1’de verilen eşitlik ile kurulmaktadır.

$$c = \lambda \times \nu \quad (3.1)$$

c = ışığın hızı (299 792 458 m/sn)

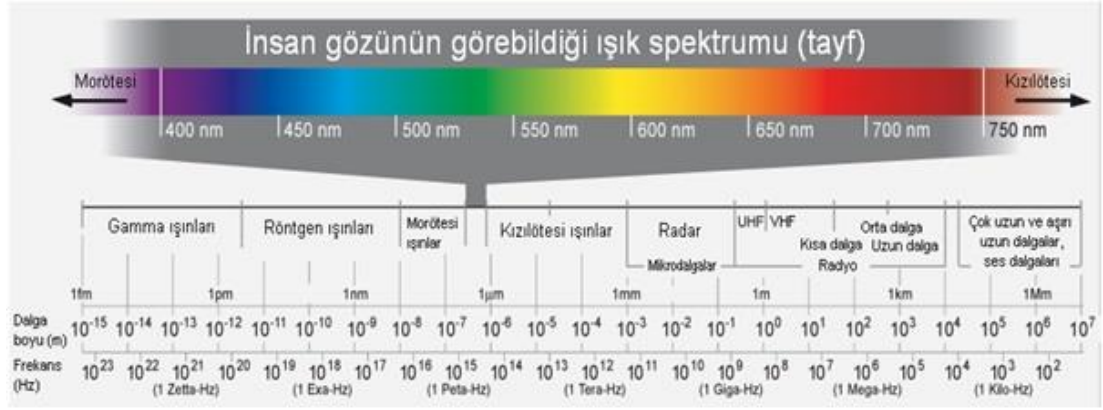
Genlik (amplitude) : Dalganın tepe veya dip noktasının büyüklüğü olarak tanımlanır. Eksen ile dalganın tepe veya dip noktası arasındaki mesafedir. Aynı zamanda şiddet olarak da adlandırılır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Dalgaboyu ve genliğin (Şiddet) elektromanyetik dalga üzerinde gösterimi (Palamutçu ve Dağ, 2009)

3.3.2 Elektromanyetik Spektrum

Uzaktan algılama, elektromanyetik enerjinin cisimlerle etkileşme esasına dayandığı için elektromanyetik spektrumun (EMS) temel özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu sayede farklı özelliklere sahip yeryüzü örtü tiplerinin EMS’un farklı bölgelerde ışığı yansıtma farklılıklarından yararlanılarak o cisimler hakkında detaylı bilgiler toplanabilmektedir.



Şekil 3.4 Elektromanyetik Spektrum (İnfolla, 2015)

Schanda'ya göre uzaktan algılamada doğal ve yapay olmak üzere iki farklı radyasyon kaynağı kullanılmaktadır. Bunların ilki doğal radyasyon kaynağı olan güneştir. Zira güneş elektromanyetik spektrumun çeşitli dalga boylarındaki enerjiyi sürekli olarak yeryüzüne göndermektedir. Uzaktan algılamada kullanılan ikinci radyasyon kaynağı ise elektromanyetik spektrumun çeşitli dalga boylarında yapay olarak üretilebilen ve çeşitli düzeneklerle cisimlerin üzerlerine gönderilebilen enerjidir. Uzaktan algılama bilim dalında algılama yapan düzenekler birinci tür enerjiyi kaydederek işlevini yürütüyorsa buna “pasif” algılama, düzeneklerin kendileri cisim üzerine yapay olarak üretilen enerjiyi gönderip yansıyan enerjiyi kaydediyorsa buna da “aktif” algılama adı verilmektedir (Sarı, 1987).

3.3.3 Elektromanyetik Radyasyonun Atmosfer ile Etkileşimi

Elektromanyetik radyasyon kaynağından çıkıp yeryüzüne ulaşırken atmosferden geçmektedir. Bu sırada elektromanyetik enerji atmosfer içerisinde ilerlerken partiküler maddeler ve atmosferdeki gaz molekülleri ile etkileşime girer. Atmosferdeki partiküler maddeler ve gaz molekülleri sinyali azaltır. Sinyali azaltan ve görüntü kalitesini etkileyen üç faktör; Saçılma, emilme ve iletilmedir.

Saçılma: Enerjinin yönünün değişmesi durumuna denir. Bu yön değişmesi atmosferdeki duman, kir, su buharı vb. parçacıklar yüzünden olmaktadır. Enerjinin içinde hareket hareket ettiği atmosferin kalınlığı, parçacıkların yoğunluk ve

büyükluğu ve elektromanyetik enerjinin dalgaboyu vb. faktörler saçılmanın derecesini doğrudan etkilerler (Düzgün, 2010).

Emilme: Atmosferik gazların etkisiyle enerjinin kaybolmasına Emilme denir. Emilmeye neden olan 3 ana gaz vardır. Ozon (O_3), karbondioksit (CO_2) ve su buharı (H_2O) (Düzgün, 2010).

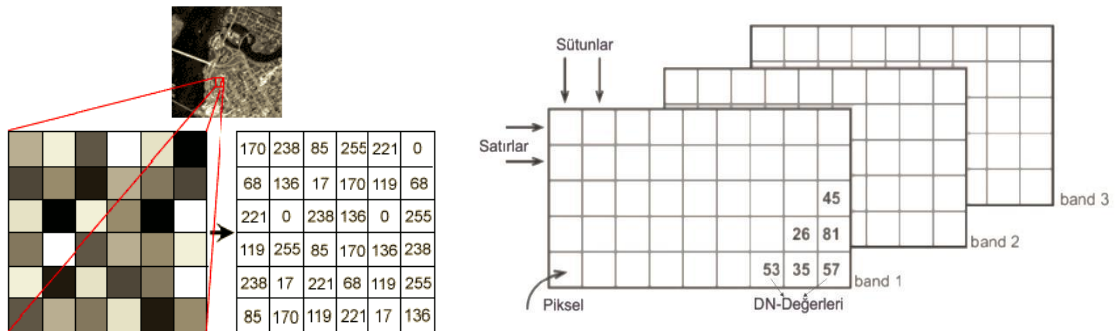
İletilme: Elektromanyetik enerjinin atmosferik pencereler aracılığıyla doğrudan atmosferden geçmesi işlemine iletilme denir (Düzgün, 2010).

3.3.4 Uzaktan Algılama Verilerinin Karakteristikleri

Uzaktan algılama sensörleri hedeften topladıkları verileri sayısal değerlere çevirir ve işlenebilir hale dönüştürür. Bu işlem yapılırken sensör özelliklerine bağlı olarak farklı özelliklerde kayıt edilir. Her sensörden alınan uzaktan algılama verisinin algılanma ve görüntülenme özelliklerine göre kendine ait karakteristik özellikleri vardır.

3.3.4.1 Piksel

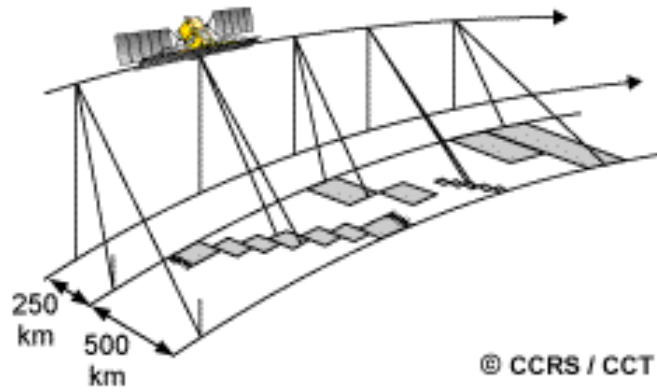
Uzaktan algılama verisi, spektral yansıma değerinin piksel olarak tanımlanan sayısal değerlere (DN) çevrilmesidir (Şekil 3.5). Piksel ise kare şeklinde olan sayısal görüntülerin en küçük birimi olarak tanımlanmaktadır. 8bitlik bir görüntüde her bir kare 0 dan 255'e kadar olan parlaklık değerine sahiptir ve satırlar ve sütunlar halinde dizilen piksellerin tamamı görüntüyü oluşturmaktadır.



Şekil 3.5 Spektral yansıma değerinin piksele çevrilmesi (Canada Centre for Remote Sensing, 2014)

3.3.4.2 Tarama Genişliği (Swath)

Yeryüzünü görüntüleyen algılayıcıların yeryüzünde algılama yaptığı alanları ifade eder. Tarama genişliği sensör tipine ve sensörün yeryüzünden uzaklığına göre farklılık göstermektedir (Şekil 3.6).

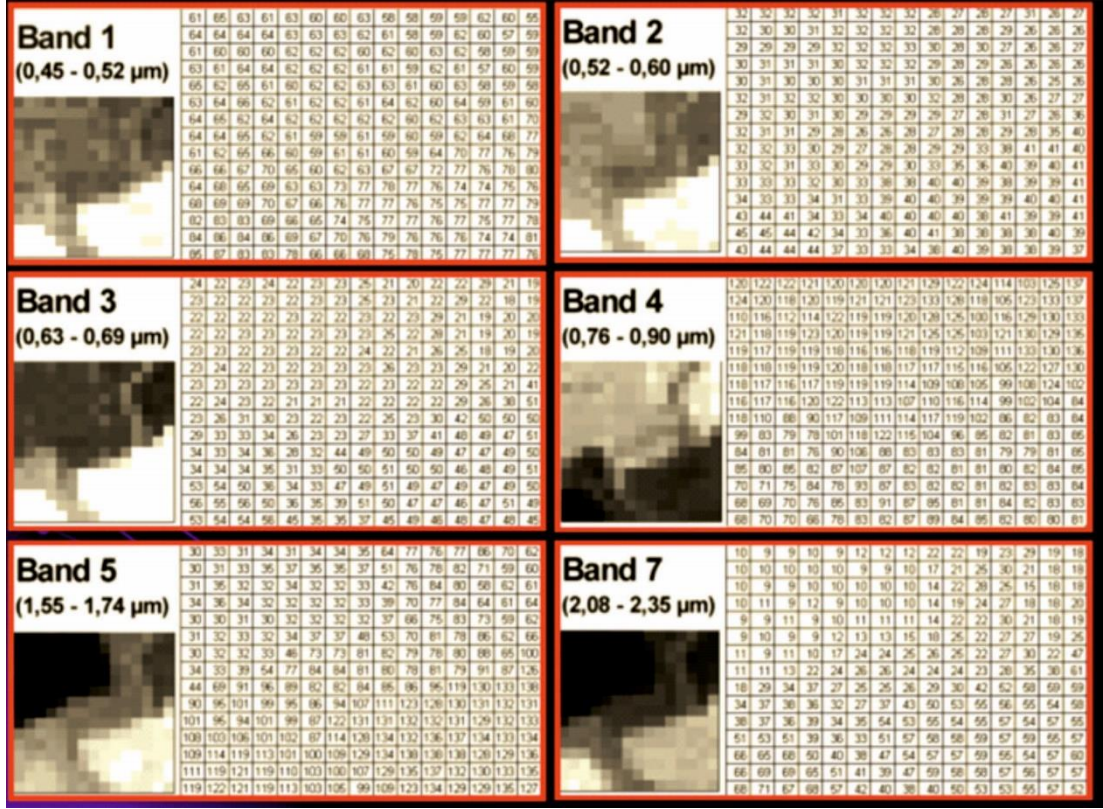


Şekil 3.6 Farklı tarama genişlikleri (Canada Centre for Remote Sensing, 2014)

Örneğin landsat 7 uydusunun tarama genişliği 185 km, Quickbird uydusu 16,5 km, worlview-3 uydusu ise 11,3 km olarak bilinmektedir.

3.3.4.3 Band

Uydular aynı bölgenin değişik dalga boyu aralıklarında bir kaç tane fotoğrafını çekerek multi-spektral görüntü oluştururlar. Uzaktan algılama verilerinde her spektral dalgaboyu bir katmanı temsil eder ve buna band adı verilmektedir. Her uydu görüntüsü farklı dalga boylarında farklı sayıda banda sahiptirler. Birden çok band içeren renkli görüntüler multispektral görüntü olarak adlandırılırken, siyah-beyaz olan görüntüler pankromatik (Panchromatic) olarak adlandırılır. Bir veri ne kadar çok band içeriyorsa spektral özellikleri de o kadar çok anlamına gelmektedir. 7 Bantlı bir uydu görüntüsüne ait örnek Şekil 3.7’de verilmiştir.



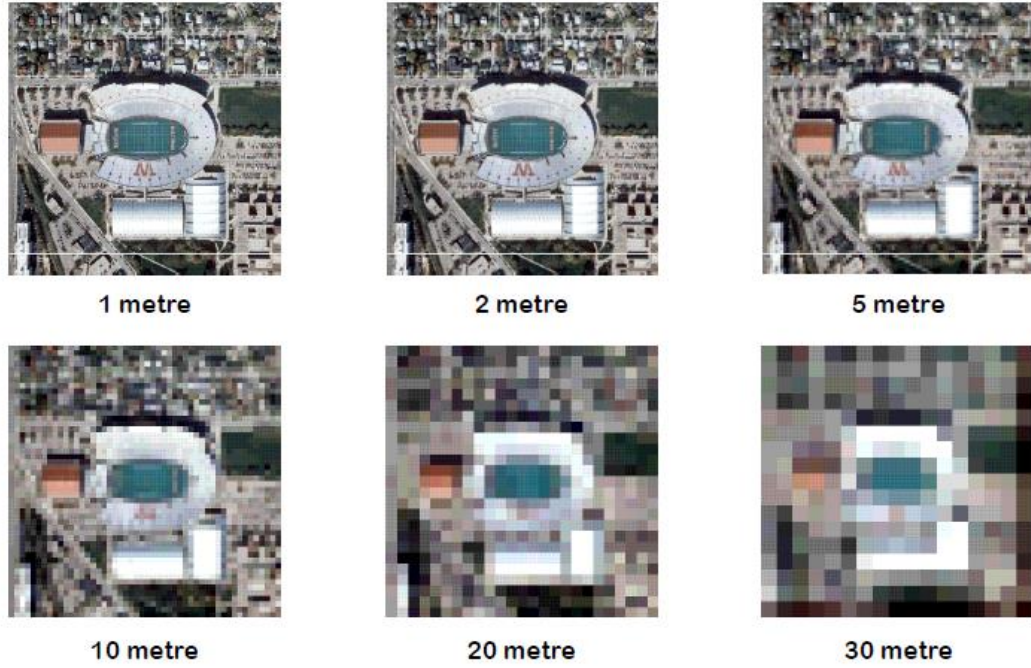
Şekil 3.7 7 Bantlı bir uydu görüntüsünün örnek gösterimi (Kargı, 2014)

3.3.4.4 Çözünürlük

Uzaktan algılama verileri için 4 tip çözünürlükten söz edilmektedir.

a) Konumsal Çözünürlük

Konumsal çözünürlük, mekânsal ya da yer çözünürlüğü olarak da bilinmektedir. Uydu görüntüsünde bir pikseli oluşturan yüzey alanı olarak tanımlanır. 0,3 ile 4 m arasında çözünürlüğe sahip görüntüler yüksek çözünürlük olarak tanımlanırken 30 m ile 1000m arasında çözünürlüğe sahip olan görüntüler düşük çözünürlüğe sahip görüntüler olarak adlandırılır. 1 metreden 30 metreye kadar farklı çözünürlükte olan uydu görüntülerine ait örnek Şekil 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.8 Farklı konumsal çözünürlüklerdeki uydu görüntüleri (Uzaktan algılama teknolojisi, 2015)

b) Spektral Çözünürlük

Alınan görüntüdeki bant sayısı ve bantların genişliği spektral çözünürlüğü vermektedir. Örneğin spektral çözünürlüğü 5 olan bir görüntü aynı bölgeye ait 5 farklı dalga boyu aralığında görüntüye sahiptir. Şekil 3.9’de aynı görüntüye ait farklı bantlardaki görüntü örneği verilmiştir.



Pankromatik görüntü

Pan : 0.51-0.73 μm



Multispectral görüntü

Band 2 (Mavi) : 0.52-0.60 μm

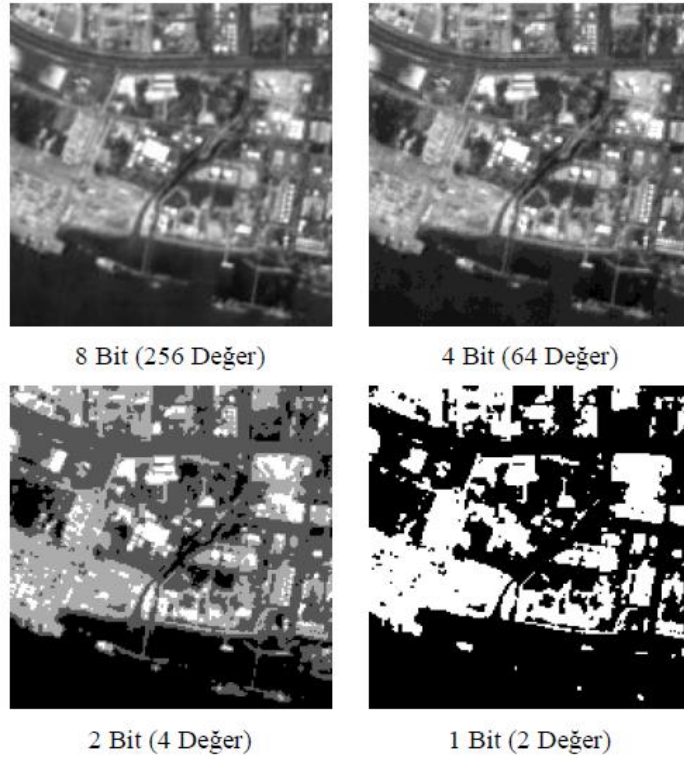
Band 3 (Yeşil) : 0.63-0.69 μm

Band 4 (Kırmızı) : 0.75-0.90 μm

Şekil 3.9 Spektral Çözünürlüğe ait örnek görüntü (İşlem, 2002)

c) Radyometrik Çözünürlük

Parlaklığın birçok seviyesinin görüntüleme sistemi tarafından kayıt edilebilme yeteneğidir. Sayısal görüntüler için, radyometrik çözünürlük veri depolama birimleri (veya bitler) ile ilişkilidir. Birçok sayısal görüntü 8 bit ($2^8 = 256$ değer) veya 16 bit ($2^{16} = 65.536$ değer) olarak dosyalar halinde saklanmaktadır. Örneğin, 8 bit saklanan bir görüntü 256 parlaklık seviyesine sahiptir ve siyah (0) ve beyaz (255) arasında değerler alarak değişmektedir (Koruyan, 2010). Şekil 3.10'da farklı radyometrik çözünürlükteki aynı uydu görüntüsünden örnek verilmiştir.



Şekil 3.10 Bir bölgenin farklı radyometrik çözünürlüklerdeki görünüşleri (Liew, 2001; Koruyan, 2010)

d) Zamansal Çözünürlük

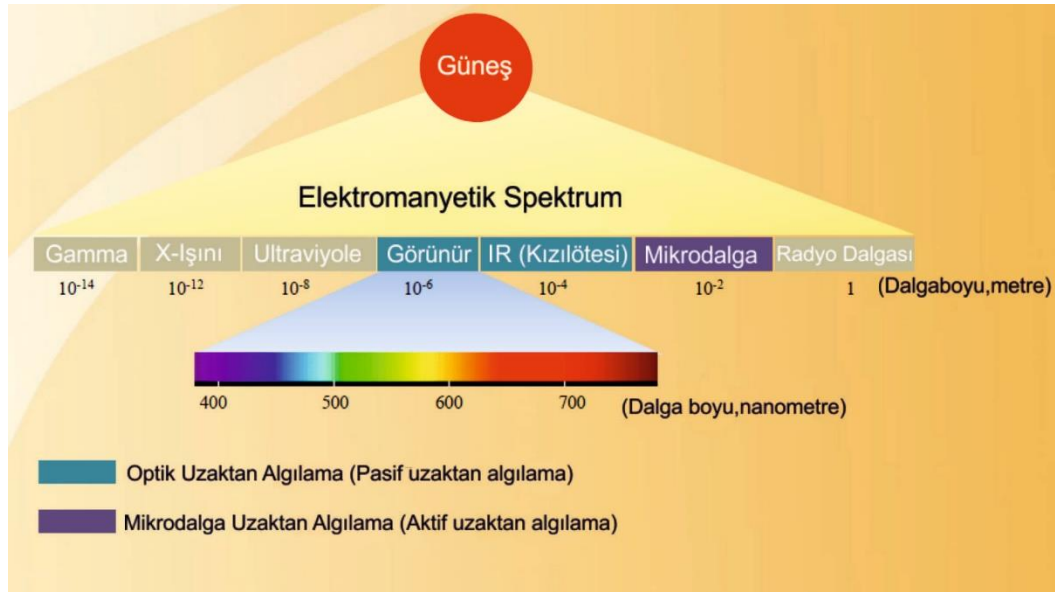
Uzaysal çözünürlük görüntüde seçilebilen en küçük nesnenin boyutudur. Dijital görüntüde çözünürlük piksel boyutuyla sınırlıdır, yani bir nesnenin boyutu pikselden daha küçük olamaz. Görüntüleme sisteminin gerçek çözünürlüğü en başta sensörün ani görüş alanıdır. Bu, çok kısa zaman içinde ani olarak görüntülenen alanın büyüklüğüdür (Ateş ve Demir, 2009)

3.4 Pasif Algılayıcı Sistemler

Pasif algılayıcı sistemlerde, algılayıcı sistem enerji kaynağı olarak güneş enerjisini kullanmaktadır. Optik uydular ve hava fotoğrafları en temel pasif algılayıcı sistemler olarak bilinmektedir. Bu sistemlerin en büyük dezavantajları güneş olduğu sürece görüntüleme yapabilmeleri olarak gösterilmektedir.

3.4.1 Optik Dalga Boyunda Görüntüleme Yapan Sistemler

0,3 ile 16 μm dalga boyu arasında görüntüleme yapabilen sistemlerdir (Şekil 3.11). Bu dalga boyu aralığında veri toplamak ve görüntüleme yapmak için optik uydular ve kameralar kullanılır.



Şekil 3.11 Elektromanyetik spektrum optik ve mikrodalga sistemlerin çalıştığı dalga boyu aralıkları (Lwin, 2008)

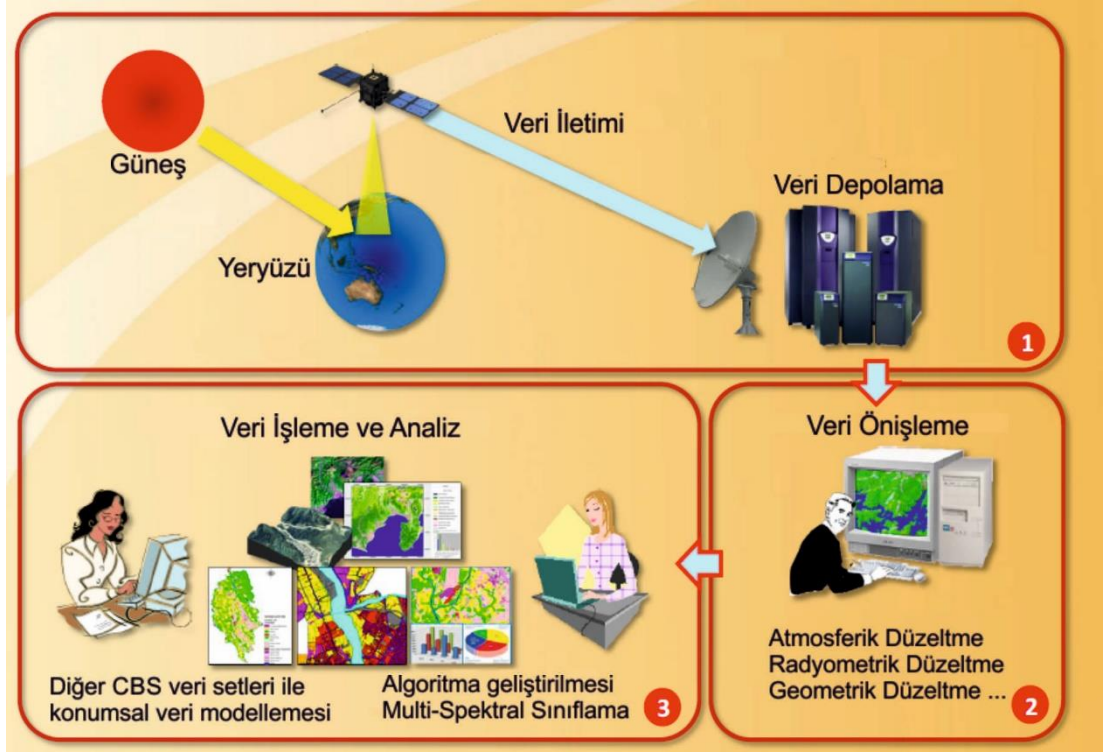
Optik dalga boyunda kullanılan taşıyıcı platformlar Lwin (2008) tarafından uydu temelli uzaktan algılama, hava fotoğrafı, düşük irtifa uzaktan algılama ve yer temelli uzaktan algılama olmak üzere 4'e ayrılmış olsa da günümüzde büyük ve kapsamlı çalışmalar için genellikle uydu temelli sistemler ve hava fotoğrafları kullanılmaktadır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 Optik uzaktan algılama veri toplama platformları (Lwin, 2008)

3.4.1.1 Uydu Temelli Optik Algılayıcılar

Uydu temelli optik algılayıcılar yada kısaca optik uydular, dünya yörüngesine fırlatılmış, üzerinde güneşin yeryüzündeki yansımalarını (elektromanyetik ışıma) kaydeden sensörler bulunan görüntüleme sistemleridir. Optik uydu görüntüleri ile çalışma temel olarak 3 basamaktan oluşmaktadır. İlk olarak optik uydu verilerinin elde edilmesi, ardından bu veriler üzerinde ön işleme (geometrik, atmosferik, radyometrik düzeltme gibi) ve son olarak varsa yardımcı verilerde kullanılarak verilerin işlenmesi ve analiz edilmesi basamaklarından oluşmaktadır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13 Uydu görüntüleri ile çalışma (Lwin, 2008)

Optik uydulardan edinilen görüntülerin ham haliyle kullanılması mümkün değildir. Her ne kadar yeni kuşak algılayıcı sistemlerdeki sensörlerin gelişimi sayesinde üretilen görüntüler bir önceki kuşak görüntülere göre daha kaliteli olsa bile hala görüntülerde bazı aykırılıklar (distorsiyon) mevcut olmaktadır. Bu aykırılıklar sapmalardan üretilen matematiksel formüllerle düzeltilebilmektedir. (Lillesand ve Kiefer, 1987). Buna ek olarak dünyanın eğriliğinden ve dönüşünden kaynaklı olan ve görüntülerde sapmalar oluşturan doğal distorsiyonlar da mevcuttur (Erdas Field Guide, 2008). Bu yüzden çalışılacak olan optik uydu görüntüler üzerinde bu hataların giderilmesi için geometrik ve radyometrik düzeltmeler yapılması gerekmektedir. Bu işlemlere aynı zamanda veri önışleme adı verilmektedir.

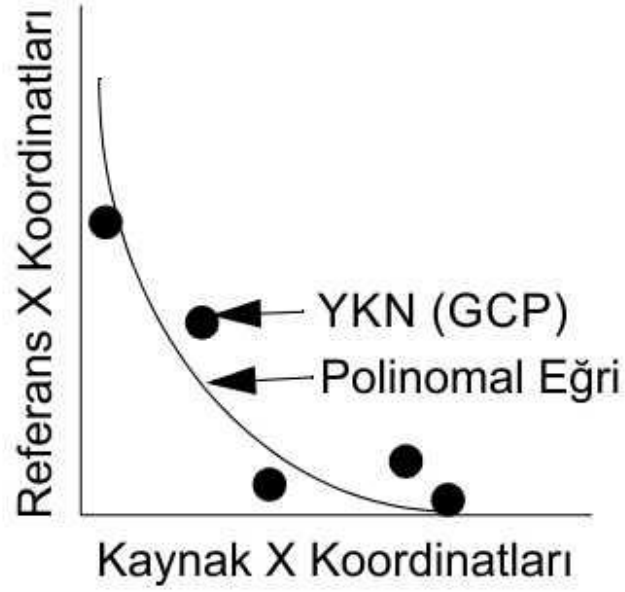
Geometrik Düzeltme:

Uzaktan algılama yöntemi ile edinilen tüm görüntülerde yeryüzünün şekli, yeryüzünün kendi eksenini etrafındaki hareketi, arazi topografyası, algılayıcı sensörün hareketi ve yüksekliği gibi nedenlerden kaynaklı geometrik aykırılıklar (distorsiyon) bulunmaktadır. Bu hataların matematiksel modellerle düzeltilmesi işlemine geometrik düzeltme adı verilmektedir.

Geometrik hatalar sistematik (tahmin edilebilir) ve sistematik olmayan (gelişigüzel) hatalar olmak üzere ikiye ayrılır. Sistematik hatalar algılayıcı ve platformun hareketi ve platformun yeryüzü ile olan geometrik ilişkilerinden yararlanılarak düzeltilebilirken, sistematik olmayan hatalar modellenemeyip bu yolla düzeltilemezler. Bu yüzden görüntülerin bilinen yer kontrol noktaları (YKN,GCP) ile geometrik kayıt işlemi yapılması gerekmektedir (Levin, 1999). Yer koordinat noktaları ile uydu görüntüleri polinomal denklem dönüşümleri kullanılarak ilişkilendirilir.

Uydu görüntüsündeki aykırılığa (distorsiyon), kullanılan YKN sayısına ve bu noktaların birbirlerine olan konumlarına bağlı olarak doğru dönüşümlerin sağlanması için karmaşık polinomal denklemlere ihtiyaç duymaktadır. Polinomun karmaşıklık derecesi polinomun mertebesi ile ifade edilir. Yapılan polinomal dönüşümün derecesi de polinomun derecesiyle ifade edilir (Erdas Field Guide, çev., 2008).

Dönüşüm Matrisi: Bir dönüşüm matrisi YKN'dan elde edilir. Matris polinomal denklemlerde koordinat dönüşümü için kullanılan katsayılardan oluşur. Matrisin boyutu dönüşümün derecesine bağlıdır. Dönüşüm matrisinin katsayılarının hesaplanmasındaki amaç YKN referans koordinatlarını kaynak koordinatlara çevirmek için türetilen polinomal denklemlerin en düşük muhtemel hatayla oluşturulmasıdır. Bu katsayıları üretmek her zaman "0" hata ile mümkün olmamaktadır. Örnek olarak yer kontrol noktaları şekil 3.14'de çizilmiş ve bir polinom ile ifade edilen eğriyle karşılaştırılmıştır (Erdas Field Guide, çev., 2008).



Şekil 3.14 Polinom eğrisi ve YKN'ları (Erdas Field Guide, çev, 2008).

YKN referans koordinatları ile eğri arasındaki mesafe RMS (Root mean square, karakök ortalama) hatası olarak adlandırılmaktadır. RMS kaynak YKN konumunun, aynı YKN için dönüştürülmüş YKN konumu ile arasındaki mesafe olarak tanımlanmaktadır. RMS hataları denklem 3.1'de verildiği gibi hesaplanmaktadır (Erdas Field Guide, 2010).

$$RMS \text{ hatası} = \sqrt{(x_r - x_i)^2 + (y_r - y_i)^2} \quad (3.1)$$

x_i ve y_i = Kaynak koordinatlar

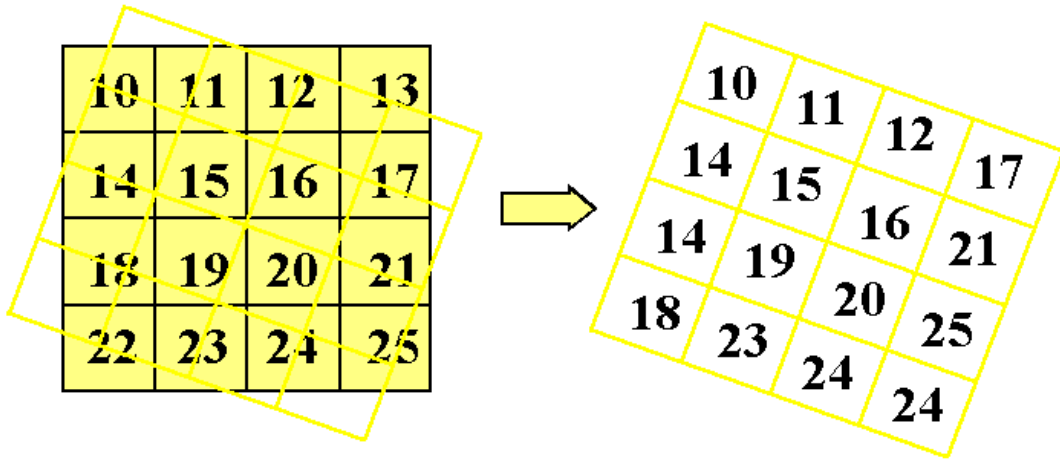
x_r ve y_r = Dönüştürülmüş koordinatlar

RMS hatası ne kadar küçük ise dönüşümün o kadar başarılı olduğu anlamı çıkartılır. Örnek olarak bir uydu görüntüsündeki geometrik dönüşüm sonrası RMS hatasının 3 olması referans pikselin dönüşmüş pikselden 3 piksel uzakta olduğu anlamına gelir.

Orijinal görüntünün tam anlamıyla düzeltilmesi amacıyla düzeltilmiş görüntüdeki yeni piksel konumlarının dijital değerlerini saptamak için “Yeniden Örnekleme” adı verilen bir yöntem kullanılması gerekmektedir (Levin, 1999).

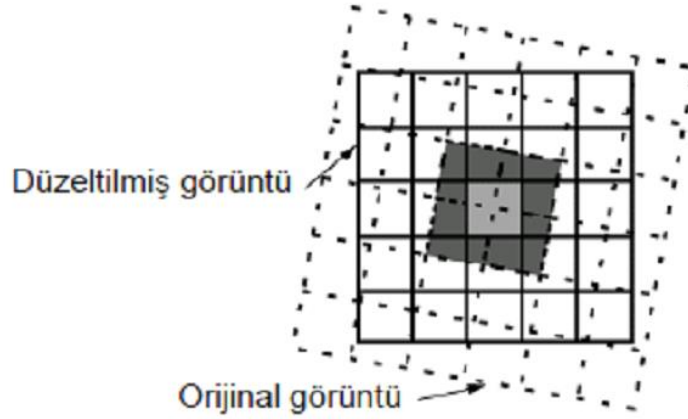
Örnekleme işlemi, bir raster matristen alınan pixellerin diğer bir matrise uydurulmasıdır. Bu işlemlerle, orjinal görüntüdeki sayısal pixel değerleri, coğrafik koordinat cinsinden hesaplanarak yeni pixel değerleri belirlenir. Örneklemede; “En yakın komşuluk”, “Bilinear enterpolasyon” ve “Kübik katlama” olarak tanımlanmış örnekleme metodları kullanılmaktadır (Durna, 2014).

En yakın komşuluk yönteminde düzeltilmiş görüntüdeki yeni piksel değeri orijinal görüntüde en yakınındaki pikselin dijital değeri olarak örneklenir (Şekil 3.15). Bu yöntem en basit örnekleme yöntemidir ve orijinal verileri değiştirmez. Ancak bu yöntemde bazı piksel değerleri tekrarlanırken bazı piksel değerleri yok olur. Bu metotla yapılan örnekleme sonucunda görüntüler parçalı yada bloklu görüntüler şeklinde olma eğilimindedir (Levin, 1999).



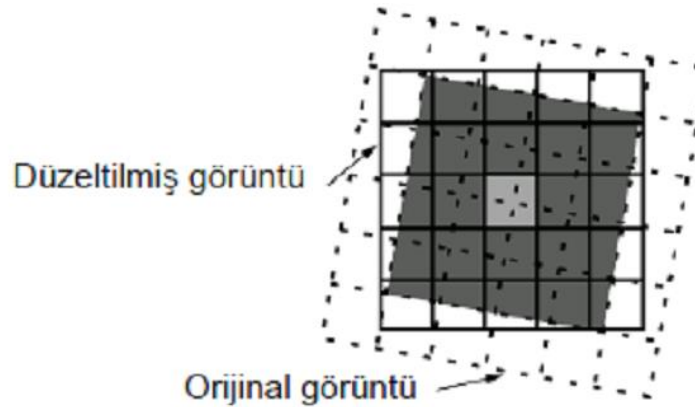
Şekil 3.15 En yakın komşuluk yöntemiyle yeniden örnekleme (San Antonio Texas Üniversitesi, 2014)

Bilinear enterpolasyon yönteminde yeni pikselin değerini orijinal görüntüdeki en yakın 4 pikselin ağırlıklı ortalamasını alarak hesaplar(Şekil 3.16). Bu işlemde orijinal piksel değeri bozulur ve tamamen yeni bir değere atanır. Bu yöntem sınıflandırma gibi spektral yansımaların kullanılacağı işlemlerin yapılacağı görüntülerde istenmeyen bir durumdur (Levin, 1999).



Şekil 3.16 Bilinear enterpolasyon yöntemiyle yeniden örnekleme (Levin, 1999)

Kübik katlama yönteminde ise daha ileri gidilerek orijinal piksele en yakın 16 pikselin ağırlıklı ortalaması alınarak düzeltilmiş piksele atanır (Şekil 3.17). Kubik katlama metodunda bilineer enterpolasyon da olduğu gibi yeni piksel değerleri atanır. Bu iki yöntemde de daha keskin görüntüler elde edilerek en yakın komşuluk yönteminde elde edilen bloklu görüntü oluşmaz(Levin, 1999). Kubik katlama yöntemi en yüksek hassasiyetin elde edildiği yöntem olup yeniden örnekleme süresi en uzun olan yöntemdir.



Şekil 3.17 Kübik katlama yöntemiyle yeniden örnekleme (Levin, 1999)

Radyometrik Düzeltme

Radyometrik düzeltme; sensörün düzensiz algıladığı ve istenmeyenleri ayıklama veya atmosferik parazitleri azaltma işlemleridir. Böylece sensör tarafından ölçülen yansıyan veya yayılan enerjinin doğru olarak temsil edilmesi sağlanır. (Durna S 2014). Radyometrik bir düzeltmenin gerçekleştirilmesi kimi filtreleme yöntemlerinin kullanılmasıyla da yapılabilmektedir (Altuntaş ve Çorumluoğlu, 2002).

3.5 Aktif Algılayıcı Sistemler

Aktif algılayıcı sistemler ise algılama için gerekli enerjiyi güneşe bağlı kalmaksızın kendi kaynağından üretmektedir. Algılayıcı sistem kendi kaynağından hedefe bir enerji gönderir ve hedeften yansıyan enerjiyi toplar. Bu sistemlerin avantajı gün ışığına ihtiyaç duymamaları ve her mevsim kolaylıkla veri toplayabilmeleridir. Yersel radar, radar uyduları, hava ve yersel LiDAR cihazları aktif algılayıcı sistemler içerisinde en yaygın kullanılan sistemlerdir.

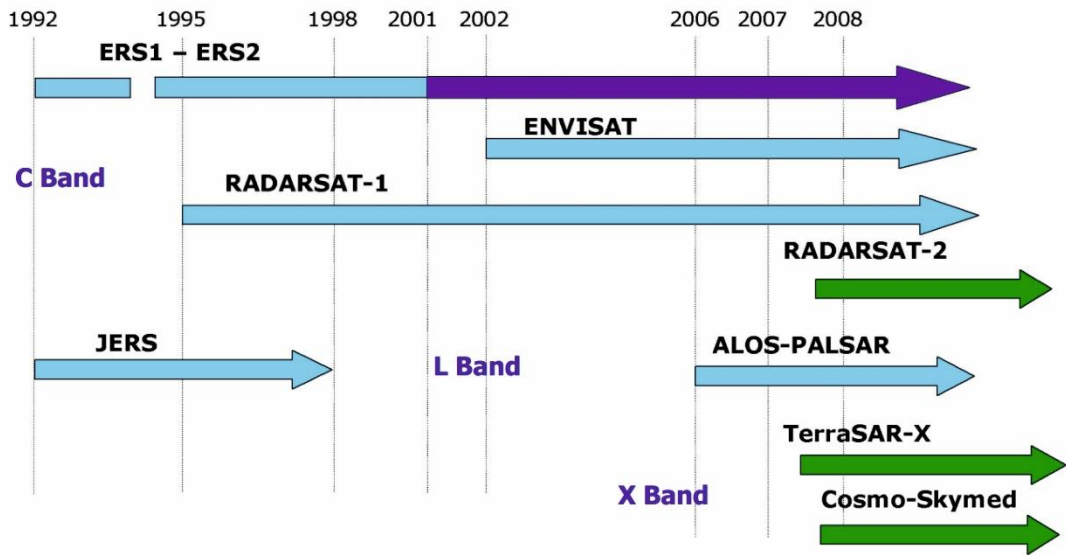
3.5.1 RADAR Uyduları

Radio Detection and Ranging kelimelerinin baş harflerinden oluşan RADAR sistemleri, görüntüleme ve ölçme verisi barındıran, elektromanyetik spektrumun mikrodalga görüntüleme dalga boyu olan 1m ile 10^{-3} m arasındaki dalga boylarında çalışan ve optik uyduların aksine güneş enerjisine ihtiyaç duymayarak kendi enerjisini üretilen ve toplayan aktif bir uzaktan algılama sistemidir. RADAR sistemlerine tez kapsamındaki çalışmalarda uygulaması olmadığından kısaca değinilmiştir.

Bu sisteme ilişkin ilk kuramlar 19. yy'ın ortalarında ortaya atılmıştır. Gözleri görmeyen yarasaların insanların duyamayacağı bir ses yayınlayıp bu seslerin cisimlere çarpıp geri yansımalarına göre uçuşlarını, yönlerini ve avlarını bulabilmeleri sistemin ana fikrini oluşturmuştur. Radar, o dönemden günümüze

kadar özellikle 2. Dünya savaşı ve sonrasında büyük ilerlemeler göstermiş ve uzaktan algılama amaçlı bir çok uzay aracının kullandığı bir sistem haline gelmiştir. 2. Dünya savaşı zamanında ülkelerin düşman uçaklarının yerlerini tespit etmek ve kendilerini savunmak için kullandıkları bu teknik sonraları uzaktan algılamada çok önemli bir yere gelmiş ve bu güne dek Radar ölçme tekniğiyle çalışan bir çok uzay aracı yeryüzüne ilişkin bilgi toplamıştır (Sefercik, 2007).

Radar sistemleri ile gündüz veya gece yağışlı yada karlı havalar gibi her türlü iklim koşulunda ölçüm yapılabilir. Özellikle son yıllarda topografik haritalama, sayısal yükseklik ve sayısal arazi modellerinin oluşturulması ve topoğrafyada meydana gelen deformasyon hareketi gibi hareketlerin belirlenmesinde sıklıkla kullanılmaya başlamıştır. Radar sistemleri X, C ve L bandı olmak üzere 3 farklı dalga boyunda elektromanyetik dalgaları yeryüzüne iletir ve geri toplar. X bandı 3 cm, C bandı 6 cm ve L bant 24 cm dalga boyunda çalışırlar ve kullanım amaçlarına göre her uygulama için uygun dalga boyu seçilir. Geçmişte ve günümüzde kullanılan RADAR uyduları fırlatıldığı yıl ve hizmet sürelerine göre Şekil 3.18’de verilmiştir.



Şekil 3.18 Geçmişten günümüze mevcut RADAR uyduları (Perissin, 2007)

3.5.1.1 Yapay Açıklıklı RADAR (Synthetic Aperture Radar - SAR)

Radarlarda uçuş yönünde yüksek çözünürlük elde etmek için pratikte mümkün olmayan uzunlukta anten kullanmak gerekmektedir. Sentetik açıklık radar (SAR) tekniğinde daha küçük anten uzunluğuyla platformun belirli zaman aralıklarında ölçümler alır ve bu verileri eş zamanlı toplayarak sentetik açıklık oluşturur. Böylece gerçek fiziksel açıklığa eş büyük bir yapay açıklık oluşturulmuş olur. Bu teknik 1950’den bu yana hava ve uzay platformlarında yüksek çözünürlüklü görüntü elde etmek amacıyla kullanılmaktadır (Irak, 2009).

Radar algılama sistemlerindeki Yapay Açıklıklı Radar (SAR) algılayıcıları, algılama özellikleri nedeniyle diğer sistemlere göre bazı avantajlara sahiptirler. SAR algılayıcılarının avantajları, şu şekilde sıralanabilir:

- SAR aktif bir sistemdir, yeryüzünü aydınlatır ve yansıyan ışıınımı ölçer. Bu nedenle gece ve gündüz, güneş ışıınımından bağımsız olarak algılama yapılır.
- Aktif bir sistem olduğundan, gönderilen ve kaydedilen elektromanyetik enerji (güç, frekans, polarizasyon), çalışma amacına göre ayarlanabilir.
- Mikrodalgalar her durumda atmosferden geçme özelliğine sahip olduğundan, atmosfer koşullarından bağımsız olarak algılama yapılır.
- Hareketli hedefler belirlenebilir ve görüntülenebilir.
- Yüksek radyometrik ve geometrik çözünürlük sağlanır.
- Cisimlerin geometrik şekilleri ve dielektrik özellikleri belirlenir.
- Dalga boyuna bağılı olarak, bitkilere ve toprağa yüksek penetrasyon özelliği taşır.

SAR sistemlerinin dezavantajları ise,

- Görüntülerdeki benek/gürültü etkisi
 - Topoğrafik distorsiyonlar
 - Kompleks ve pahalı bir teknoloji kullanılması
- olarak gösterilmektedir (Musaoğlu, 2014).

3.5.1.2 Interferometrik SAR (InSAR)

İnterferometrik Yapay Açıklıklı RADAR (InSAR) uçak veya uydu tabanlı ve yeryüzündeki anlık değişimleri ölçebilen bir uzaktan algılama metodudur. InSAR aynı alanda az orandaki değişiklikleri görüntülemek için iki anten kullanır. Eş zamanlıya yakın toplanan iki görüntü işlenir. Bu iki görüntünün fazları karşılaştırılır ve az orandaki faz farkı yükseklik farkıyla ilişkilendirilir. InSAR tekniği buzul buzu gibi yavaş hareket eden yüzeylerin akış hızlarını hesaplamak, bir metre civarında bir duyarlılıkta yüksek çözünürlüklü topoğrafik harita oluşturmak, deprem önce ve sonrasındaki çöküntüler gibi arazi yüksekliğindeki güç algılanan değişiklikleri saptamak için kullanılabilir (Maden Tetkik ve Arama, 2015).

3.5.2 Lazer Tarayıcı (LiDAR) Sistemleri

Lazer kısaltmasının açılımı Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (Uyarılmış Işıma ile Mikrodalga Yükseltici) anlamına gelmektedir. Lazer cihazı yüksek seviyede ayarlanmış, doğrusal, uyumlu ve faz elektromanyetik radyasyon üreten ve geri alan bir cihazdır. Bu sistemler sayesinde arazi yüzeylerinde çok yoğun ve fazla miktarda, hızlı 3B'lu konum bilgisi elde edilmektedir. Genel kullanımı LIDAR (Light Detection and Ranging-Işık Algılama ve Mesafe ölçer) olsa da literatürde lazer tarayıcı veya lazer mesafe ölçer olarak da yaygın kullanımı vardır. (Zeybek ve Şanlıoğlu, 2013).

LiDAR ölçüm sistemleri aktif algılayıcılı bir uzaktan algılama sistemidir. Bu sistemler optik bir sensör ile bir nesne yada yüzey arasındaki mesafeyi ölçerek nesne veya yüzeyi haritalar. Bu ölçüm işi yapılırken lazer ışığının ölçüm yüzeyiyle olan yansıma ilişkisinden yararlanır. Gönderilen lazer ışını her ölçüm aldığı yere koordinatlı bir nokta atar ve ölçüm sonunda ölçülen alanın büyüklüğüne ve ölçüm çözünürlüğüne göre birkaç yüzden birkaç milyon hatta on milyonlara kadar varan koordinatlandırılmış bir nokta bulutu oluşur. Bu koordinatlandırma işlemi ölçüm

tipine göre direkt evrensel koordinata dönüştürülmüş koordinatlar olabildiği gibi sistemin kendi içinde bir koordinatlandırma sistemi de olabilmektedir.

LiDAR sistemleri ile ölçüm sonucu oluşturulan nokta bulutlarından yüksek çözünürlüklü 3 boyutlu haritalar oluşturmak ve bu haritalar üzerinde mühendislik ölçümleri yapmak mümkündür.

LiDAR sistemleri iki farklı türde geliştirilmiştir. Bu iki farklı sınıflandırma, sensörün konumu baz alınarak yapılan ALS (airborne-based-hava platform temelli) ve TLS (ground-based, yersel Lazer tarayıcı) olarak adlandırılan sistemlerdir.

3.5.2.1 Lazer Ölçüm Prensipleri

Yersel lazer ölçmelerinde temel büyüklük, ölçüm aleti ile ölçülen nokta arasındaki mesafedir. Lazer yöntemi ile mesafe ölçümü için farklı teknikler kullanılmaktadır. Bunlar; üçgenleme (triangulation), faz farkı (phase-shift) ölçümü, ışının gidiş/dönüş zamanı (time of flight) ölçümüdür (Lichti ve Gordon, 2004).

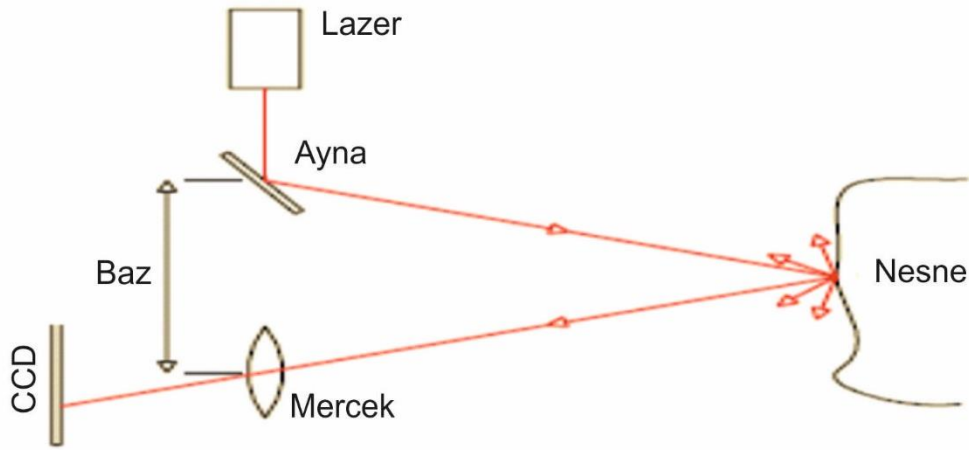
3.5.2.2 Üçgenleme Metodu (Triangulation)

Üçgenleme metodunda tarayıcı, mekanik aletin bir ucundan nesneye olan artan, değişen açılarla ve lazer noktalarını sezen bir ya da iki CCD kamerayla lazer ışını gönderir. Yansıtıcı yüzey elementlerinin 3D pozisyonları, sonuç üçgeninden elde edilir (Gümüş ve Erkaya, 2007)

Tek Kamera Çözümü:

Bu tarayıcı basit bir ışın yayma düzeneğinden oluşur. Bu alet, mekanik aletin bir ucundan nesneye olan artan değişen açılar ve lazer noktalarını sezen bir CCD kamerasıyla lazer ışını gönderir. Yansıtıcı yüzey elementlerinin 3D pozisyonları, sonuç üçgeninden elde edilir. Bu prensip, menzil bulucuların kullanıldığı araştırmada

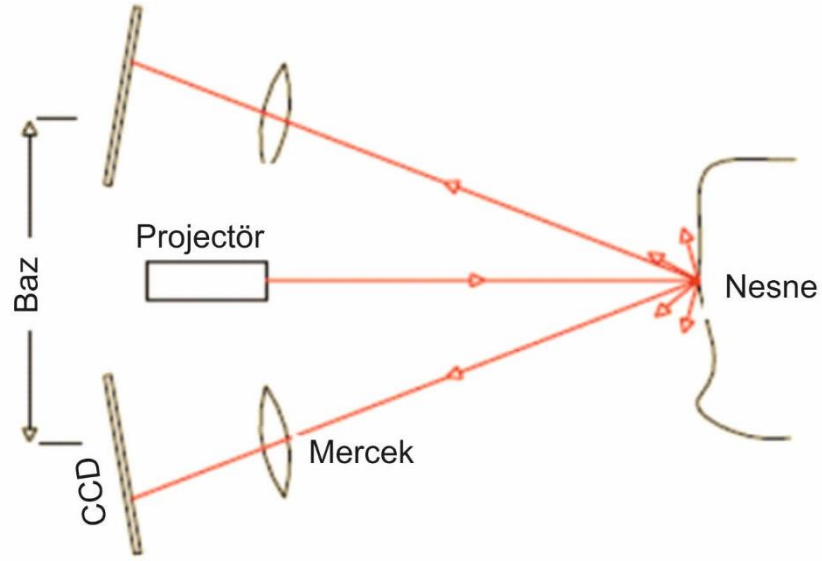
önceliklere sahiptir. Bu açıdan, alet ve nesne arasındaki menzilin doğruluğu mesafe alanıyla birlikte iyi bilinir. Açıkça, uygulamayla ilgili sebeplerden dolayı, temel uzunluk isteğe bağlı olarak arttırılmaz. Bu tarayıcılar, uzaklık tarayıcılarından daha doğru olan durumlarda, kısa mesafeleri ve küçük nesneler için önemli bir rol oynar. (Gümüş ve Erkaya, 2007; Boehler, 2002). Sistemin çalışma prensibi Şekil 3.19'da kısaca anlatılmıştır.



Şekil 3.19 Triangulasyon Prensibi: Tek Kamera Çözümü (Boehler,Çev, 2002)

İki Kamera Çözümü :

Triangulasyon prensibinin bir değişkeni, iki CCD kamerası kullanımıdır. İncelenecek nokta ya da bölge, hiçbir ölçme fonksiyonu olmayan ayrı bir ışık projektörüyle üretilir. Çözümlerin geniş bir değişikliği görülebilir. Projeksiyon, hareket eden şerit bölümlerinin bir ışık çizgisinden oluşur. Geometrik çözüm, tek kamera prensibiyle aynıdır, aynı doğruluk sonuçlarını oluşturur. İki kamera kullanan aletlerin tümü yüksek oranlar sağlamaz ve gerçek zamanlı 3D koordinatları üretmezler. Bununla birlikte, eğer yüksek nokta oranları ve gerçek zaman süreci sağlanırsa, bu aletler, yukarıda belirtilen tarama aletlerine bir alternatif olarak görülebilir (Gümüş ve Erkaya, 2007; Boehler, 2002). Sistemin çalışma prensibi Şekil 3.20'de kısaca anlatılmıştır.



Şekil 3.20 Triangulasyon Prensibi: İki Kamera Çözümü (Boehler,çev, 2002)

3.5.2.3 Bir Lazer Işınının Gidiş Geliş Zamanıyla İşlem Yapan Ölçüm Metodu (Uçuş Zamanı, Time of Flight, TOF)

Bu ölçüm yönteminde temel prensip, ışık sinyalinin ölçüm cihazı ile ölçülen cisim arasındaki gidiş ve dönüş süresinin ölçülmesi prensibine dayanır. Işık hızı bilindiği için ölçülen obje ile cihaz arasındaki mesafenin hesaplanması basitçe yapılabilir.

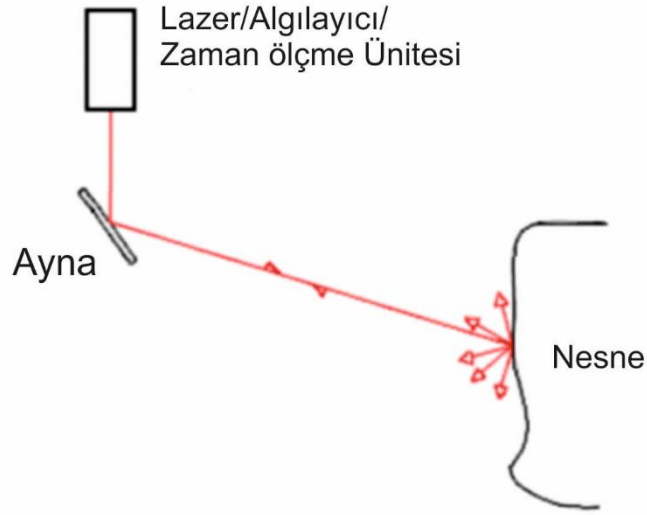
$$d = c \times \frac{t}{2}$$

d= cihaz ile ölçülen cisim arası mesafe

c= ışığın hızı (299.792.458 m/saniye)

t= ışığın cihazdan cisime gidip yansyarak cihaza dönüş süresi

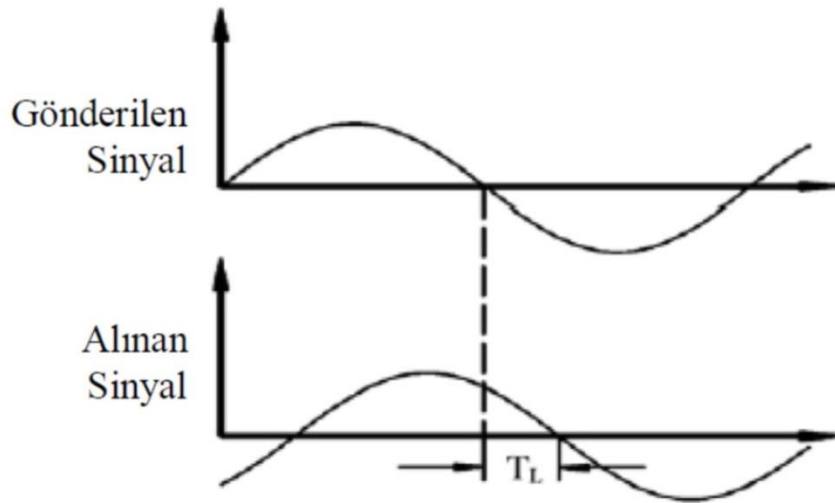
Bu ölçme prensibi, elektronik takeometrelerin çalışma prensiplerinden dolayı da iyi bilinir (Boehler ve Marbs, 2002). Bu prensiple çalışan sistemler, uzun mesafelerde ölçme yapabilir ve makul doğruluklar elde etme avantajına sahiptirler (Fröhlich ve Mettenleiter, 2004; Karşıdağ, 2011). Uçuş zamanı sisteminin çalışma prensibi Şekil 3.21’de kısaca anlatılmıştır.



Şekil 3.21 Uçuş zamanı sistemi (Boehler ve Marbs, çev, 2002)

3.5.2.4 Faz Karşılaştırma Metoduyla Çalışan Sistemler

Bu teknikte lazer ışını, harmonik bir dalgayla ayarlanmış olarak iletilir ve mesafe, iletilen ve alınan dalgalar arasındaki faz farkından hesaplanır(Şekil 3.22). Kullanıcılar açısından bu metodun, uçuş zamanı metodundan farkı yoktur. Daha karmaşık sinyal analizi sayesinde sonuçlar daha doğru olabilir. İyi tanımlanmış bir dönüş sinyaline ihtiyaç olduğu için, bu metotla çalışan tarayıcılar, kısa mesafe ölçme menziline sahiptirler ve daha fazla yanlış veya uçan nokta üretme eğilimindedirler (Boehler ve Marbs, 2002; Karşıdağ, 2011)

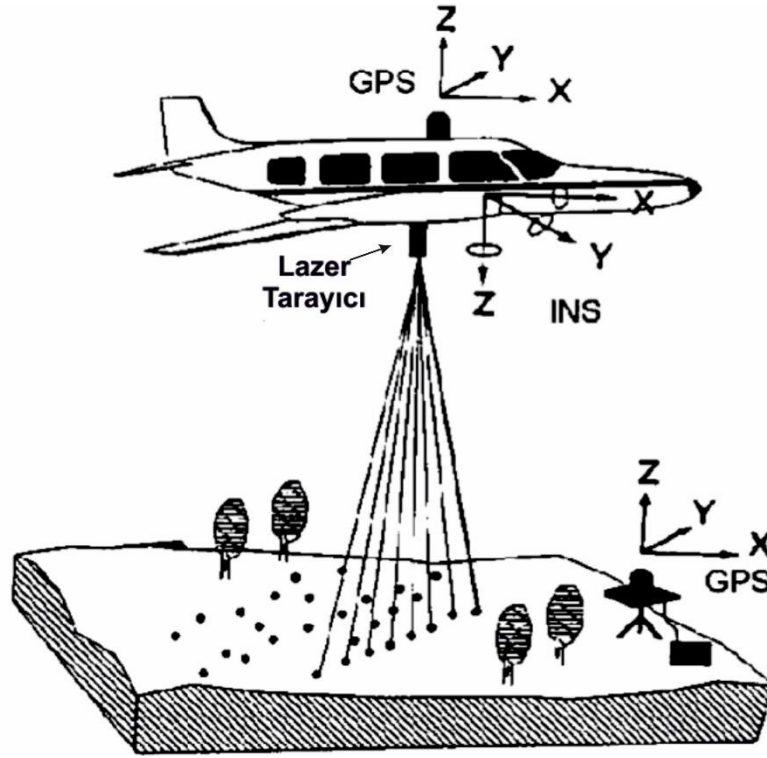


Şekil 3.22 Faz farklı sistem (Wehr, çev, 2005)

3.5.3 Hava Platform Temelli Lazer Tarayıcı Sistemleri (Airborne Laser Scanner, ALS)

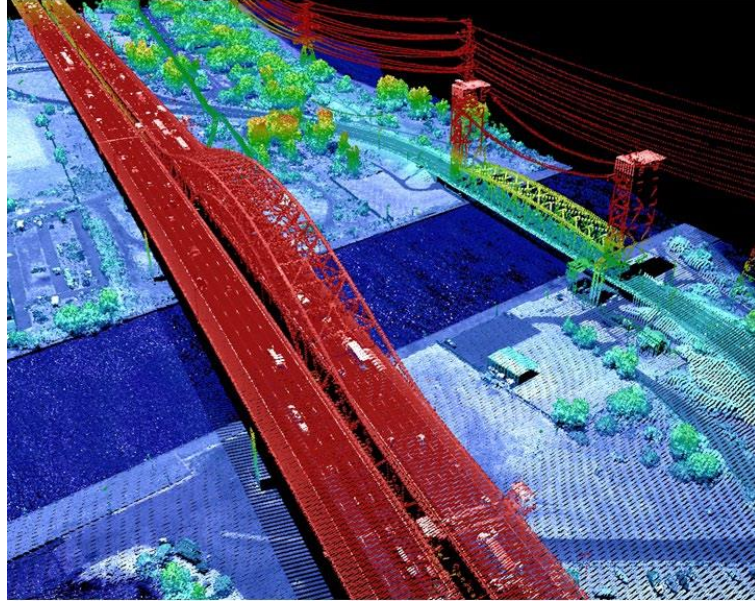
Hava Platform Temelli Lazer Tarayıcı Sistemleri (ALS: Airborne Laser Scanning) ilk olarak 1960 yılında Hughes Aircraft tarafından geliştirilen hava taşıtları üzerinde monteli yüksek kapasiteli bilgisayar, GPS (Küresel Konumlama Sistemi) ve INS (Atalet Gezinim Sistemi: Inertial Navigation system) sistemlerinin entegre çalıştığı, lazer ışınları ile havadan 3B'lu konum bilgisini 1-5 cm hassasiyetle elden tarama yoğunlukları genellikle 0,5 ile 100nokta/m² olan sistemlerdir.

Uçak, helikopter vb. bir hava aracına monte edilen tarayıcı, lazer ışının yol ve gidiş dönüş süresini kaydederek yer objeleri ve algılayıcı (sensör) arasındaki mesafeyi hesaplar (Meng, 2010). Hesaplanan bu mesafe temel alınarak GPS ile platformun o anki konumu kaydedilirken IMU ile uçağın durumu kaydedilerek ölçülen objenin konumu hesaplanmaktadır (Liu, 2008). Sistemin çalışma prensibi basitçe Şekil 3.23'de verilmiştir.



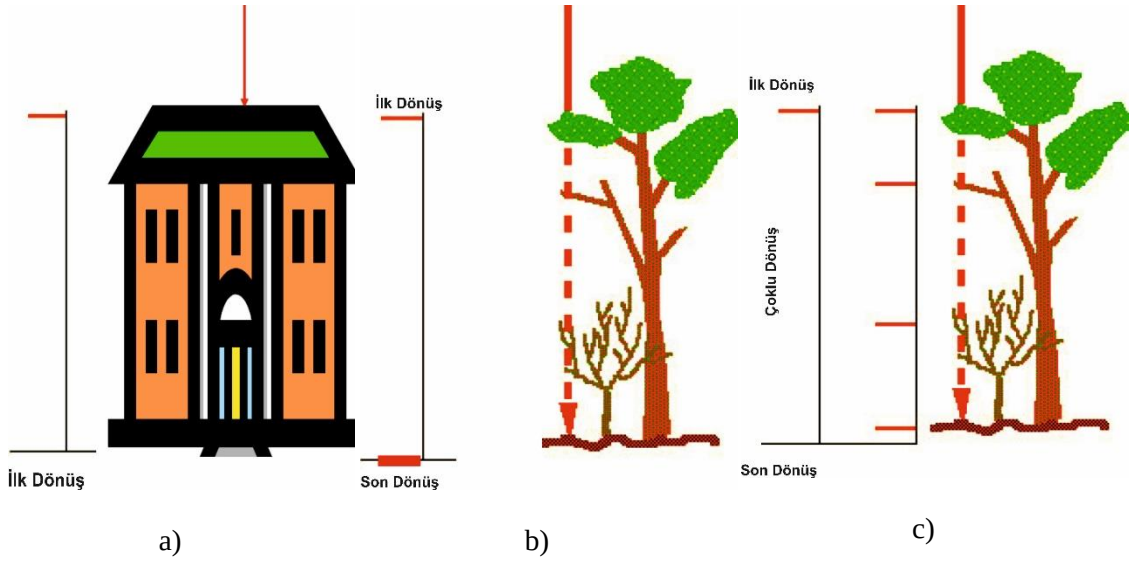
Şekil 3.23 Hava lidarı çalışma prensibi (Utah AGRC, çev, 2015)

Hava lidarından alınan sinyal verileri bilgisayarlarda nokta bulutu verileri şeklinde saklanır ve bu nokta bulutları üzerinde teknik çalışma yapılabilir. Hava lidarı ile bir bölgeye ait alınmış ölçüm sonucu oluşturulmuş nokta bulutu verisi örneği Şekil 3.24’de verilmiştir.



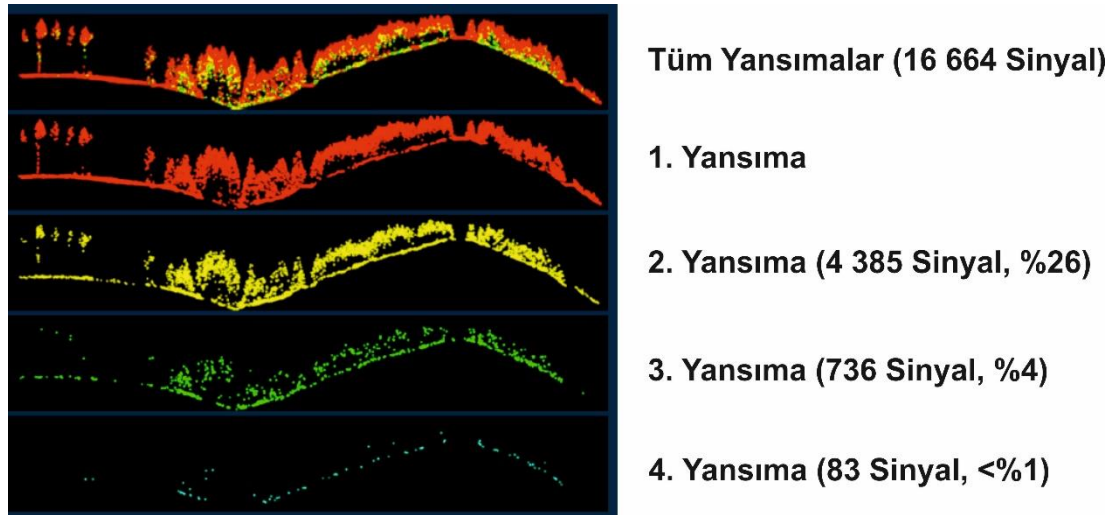
Şekil 3.24 Örnek bir hava lidarı ile oluşturulmuş nokta bulutu görüntüsü (Smith, 2013)

Hava aracında bulunan tarayıcı cihazdan gönderilen lazer ışını hedef ile etkileşir ve ışının bir kısmı platformdaki alıcıya geri yansır ve/veya saçılır. Bir lazer ışını demeti bir cismin üzerinden sadece bir dönüş yapmayabilir özellikle ormanlık alanlarda lazer ışını hem yapraklardan yansır hem de yaprakların içerisinden geçerek yeryüzünden veya varsa bir alttaki yaprağın üzerinden ve onun altındaki yeryüzünden yansır. Tarayıcı üzerindeki algılayıcı ise bu yansımaların hepsini ayrı ayrı kaydeder. Lazer ışını ilk yansıma yüzeyinden yansıdığı verileri kayıt ettiğinde tek dönüşlü yansıma, ilk yansıma yüzeyi ve son yansıma yüzeyinden yansıdığı verileri kaydettiğinde çift dönüşlü yansıma, ilk yansıma ve yeryüzüne kadar olan tüm yansıma verilerini (en fazla 5 yüzey) kaydettiği ölçümlere ise çoklu dönüşlü ölçüm adı verilmektedir (Şekil 3.25).



Şekil 3.25 Lazer ışının yansıma sayılarına göre ölçümler. a) Tek Dönüslü Ölçüm, b) Çift Dönüslü Ölçüm, c) Çoklu Dönüslü Ölçüm (maksimum 5 dönüş) (Nayegandhi, 2007)

Her yansımadan alınan nokta bulutu verileri ayrı ayrı kayıt edilir. Bu nokta bulutları üzerinde istenilirse ayrı ayrı, istenilirse birleştirilmiş halde çalışmalar yapılabilir. Nokta bulutları oluşturulurken yansıma sıralarına göre farklı renklendirme yapılarak yansıma verileri birbirinden ayrılabilir (Şekil 3.26).



Şekil 3.26 Yansıma sıralarına göre renklendirilmiş nokta bulutu görüntüsü (Nayegandhi, 2007)

Ortofoto üretiminde hava lidarının kullanılmasının en büyük avantajı gerek fotogrametri gerekse diğer uzaktan algılama yöntemlerinde yer kontrol noktalarına ihtiyaç duyulurken hava lidarlarında GPS ve IMU sistemlerinin sayesinde yer kontrol noktalarına ihtiyaç duyulmamasıdır.

Hava lidarı ile arazilerin sayısal yükseklik modelleri (SYM) kolayca, hızlıca ve yüksek hassasiyetle üretilebilmekte alınan veriler üzerinde mühendislik ölçümleri ve hesaplamaları yapılabilmektedir. Hava lidarının kullanıldığı diğer alanlar kısaca;

- Kıyı alanlarının değişimi ve sel baskını çalışmaları
- Boru ve enerji hatları çalışmaları
- Fay hattı çalışmaları
- Orman çalışmaları
- SYM (DEM) Haritalarının oluşturulmasında
- Batimetrik çalışmalar
- 3 boyutlu şehir haritalama çalışmaları,
- Buzul hareketlerinin takibi,

olarak sıralanabilir.

Hava platform temelli LiDAR sistemleri GPS, INS ve Lazer tarayıcı ve soğutucu olmak üzere 3 temel donanımdan oluşmaktadır. Bu 3 temel donanım nokta bulutu verilerini oluşturmak için yeterli olurken bazı sistemlerde optik kameralarda bu sistemlerle birlikte çalışmaktadır.

Küresel Konumlama sistemi (Global Positioning System, GPS): Hava LiDARında kullanılan GPS sistemleri uzaydan GPS uydularından alınan konum bilgileri ve yersel istasyonlardan alınan düzeltme verileri ile alınan nokta bulutu verilerinin evrensel koordinatlar olarak kayıt edilmesini sağlamaktadır.

Atalet Gezinim Sistemi (Inertial Navigation System, INS) : Atalet gezinim sistemi, bir cismin konumunu ve yönünü takip etmek için ivme ölçer ve jiroskop (nesnelerin üç boyutlu ortamda doğrultularını ve iki eksene olan açılarını tespit

etmeye yarayan araç) yardımıyla bilinen bir başlangıç noktası, konumu ve hızından yararlanan içsel bir gezinim sistemidir. İçsel ölçüm üniteleri (Internal measurement units, IMU) açısal hızı ve doğrusal ivmelenmeyi ölçen üç adet ortogonal ivme ölçer ve üç adet ortogonal jiroskop içermektedirler (Woodman, 2007).

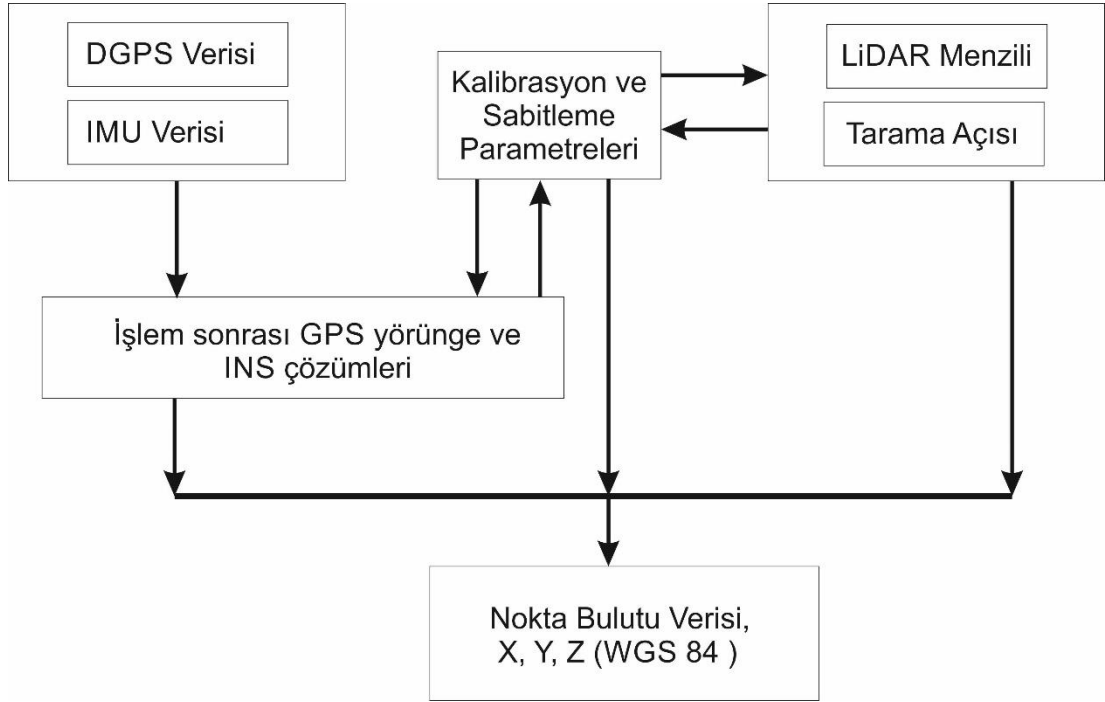
Lazer Tarayıcı ve Soğutucu: Lazer tarayıcı ve soğutucu sistemleri ölçüm yapan temel donanımlar olup, teknolojik gelişmeler doğrultusunda birçok model ve özellikte mevcuttur. Hava taşıtının altına yeryüzünü görecektir şekilde monte edilen ekipman bu sayede lazer ışınını yaymakta ve geriye toplamakta ve üzerinde entegre çalışan bilgisayara IMS ve GPS sisteminden aldığı verilerle eşzamanlı olarak birleştirilerek depolamaktadır. Soğutucu sistem ise uzun süre çalışan lazer tarayıcının soğutulması amacıyla kullanılmaktadır. Hava taşıtlarında kullanılan lazer tarayıcı sisteme örnek olarak Leica ALS70 Şekil 3.27’de verilmiştir.



Şekil 3.27 Hava taşıtlarında kullanılan Leica ALS70’e ait örnek bir görüntü

Dijital Kamera: Ölçüm yapılan alanların optik olarak görüntülerinin alınması için yüksek çözünürlüklü kameralar lazer tarayıcı ile birlikte hava taşıtının alt kısmına yerleştirilmektedir. Ancak kamera donanımı lazer tarayıcı sisteminin çalışması için bir zorunluluk değildir.

Yukarıdaki anlatılan sistemin bileşenleri ile birlikte sistemin donanımsal çalışma prensibini özetleyen şema şekil 3.28’de verilmiştir.



Şekil 3.28 Hava lidarı donanımının çalışma prensibi (Nayegandhi, 2007)

3.5.4 Yersel Lazer Tarayıcı Sistemleri, YLT (Terrestrial Laser Scanner, TLS)

Yersel lazer cihazı yüksek seviyede ayarlanmış doğrusal, uyumlu ve faz elektromanyetik radyasyon üreten ve geri alan bir cihazdır. Bu tanımdan da anlaşıldığı gibi yersel lazer ölçüm sistemleri aktif algılayıcılı uzaktan algılama sistemleri içerisinde girmektedir.

Yersel lazer tarayıcılar (YLT), sabit bir tripod üzerinden ölçüm alan LiDAR sistemleri olarak da tanımlanmaktadır. Bu sistemlerde taranacak alan bir defada taranabildiği gibi büyük alanların taranması birden fazla konumdan (istasyon) alınan ölçümler ve bu ölçümlerin ilerideki bölümlerde bahsedilen çeşitli yöntemler yardımıyla dijital ortamda birleştirilmesi ile oluşabilmektedir. Yersel lazer tarayıcılar kısa sürede, düşük maliyetlerle ve hassas (2-5mm hata ile) 3B modeller oluşturmakta başarı ile kullanılan sistemlerdir. YLT sistemleri, kısa bir süre içerisinde çalışılan alanın 3B modelini noktalar halinde koordinatları ile ortaya koyup bu noktalardan

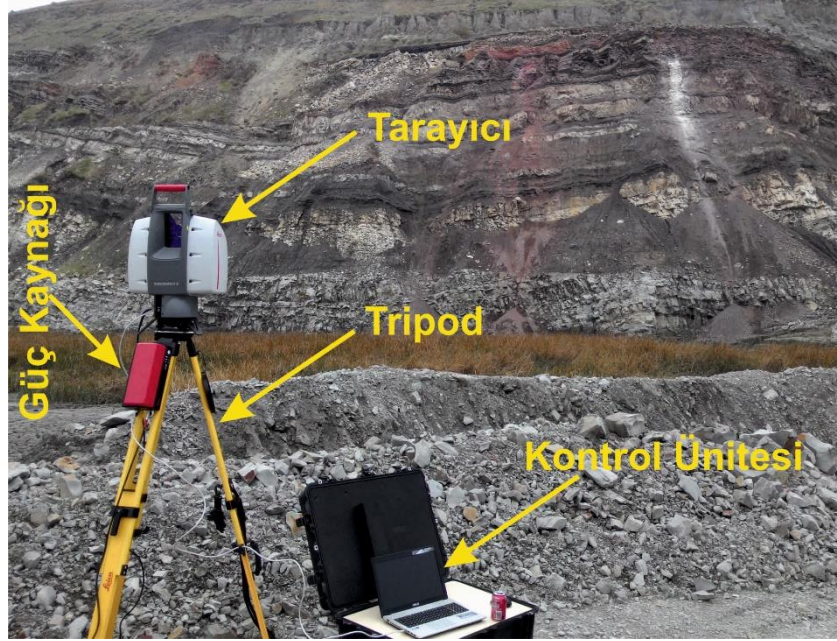
oluşan nokta bulutları üzerinde mühendislik çalışmaları yapılmasına olanak sağlamaktadır. YLT sistemleri için tarama yoğunluğu genellikle hava lidarlarından farklı olarak 50 ile 10.000nokta/m²' dir. Yersel tarayıcıların kullanım alanları kısaca;

- Petrol Platformaları
- Petrokimya ve kimya tesisleri
- Ulaşım ve altyapı uygulamaları,
- Kıyı uygulamaları,
- Arkeolojik uygulamalar,
- Yerbilimleri alanında yapılan çalışmalar,
- Mimari uygulamalar
- Kriminal uygulamalar,
- Tünel uygulamaları,
- Cephe Röleleveleri
- Enerji Hatları
- Otomasyon
- Kalite Kontrol

olarak sıranabilir.

3.5.4.1 Yersel Lazer Tarayıcı Donanımları

Yersel lazer tarayıcı sistemler donanımsal olarak temelde 4 parçadan oluşurlar (Şekil 3.29).



Şekil 3.29 Yersel lazer tarayıcı donanımları

Bunlar;

- 1) Tarayıcı: Tarayıcı ünite nokta bulutunu oluşturan lazer ışınını gönderen ve geri alan donanımlardır. Farklı markalar tarafından farklı özelliklerde üretilmiş birçok tarayıcı donanım bulunmaktadır. Bu donanımların bir kısmı faz farklı yöntemiyle ölçüm yaparken (100 m'den az mesafeler için) büyük bir çoğunluğu uçuş zamanı yöntemini kullanmaktadır (6000m'ye kadar). Piyasada ticari olarak satılan tarayıcılara ait örnekler Şekil 3.30'da verilmiştir.



Riegl LMS Z620



Trimble GX



Leica HDS 3000



Optech Iris 3D



Faro LS 880



Z-F Imager 5006



Leica HDS 4500



Trimble (Mensi) GS 200



Callidus CP 3200

Şekil 3.30 Piyasada bulunan bazı ticari tarayıcılar (Karşıdağ, 2011).

Ticari olarak kullanılan bazı yersel lazer yazıcılara ait teknik bilgiler Tablo 3.1’de verilmiştir.

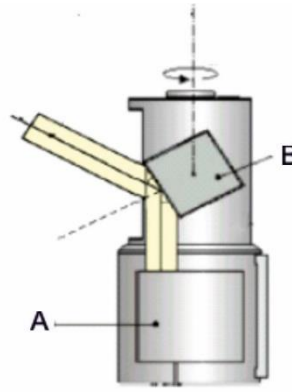
Tablo 3.1 Ticari olarak kullanılan bazı yersel tarayıcıların özellikleri (Kersten, 2008)

Tarayıcı/Kriter	Trimble GX	Leica Scanstation 2	Faro LS 880HE	Z+F Images 5006
Tarama Metodu	Uçuş Süresi		Faz Farkı	
Görüş Alanı	360 x 60	360 x 270	360 x 320	360 x 310
Tarama Mesafesi, (m)	200	300	< 76	< 79
Tarama Hızı	≤5000 pts/s	≤50000 pts/s	120 khz	≤500000 pts/s
Düşey Açı Çözünürlüğü (°)	0,0017	0,0034	0,009	0,018
Yatay Açı Çözünürlüğü (°)	0,0017	0,0034	0,00076	0,018
3B Tarama Hassasiyeti	12mm/100m	6mm/50m	N/A	N/A
Kamera	Entegre	Entegre	Opsiyonel Eklenebilir	Opsiyonel Eklenebilir
Eğim Sensörü	Kompansatör	Kompansatör	var	var

- 2) Güç Kaynağı: Tarayıcı üniteler genellikle batarya veya doğrudan enerji ile çalışabilmektedir. Bu ünitelere güç vermek için kullanılan bataryalar veya doğrudan enerji sağlamak için kullanılan jeneratörler güç kaynağı olarak kullanılmaktadır
- 3) Tripod: Tarayıcı üniteyi taşıyan ve tarayıcı ünitenin yatay konumda durmasını sağlayan yardımcı donanımlardır. Bu donanımlar ısı farklarından etkilenmeyen ve kolayca deforme olmayan malzemelerden yapılmış olması gerekmektedir.
- 4) Kontrol Ünitesi: Tarayıcı ünitenin aldığı verileri saklayan genellikle dizüstü veya tablet bilgisayarlardır. Bazı tarayıcılar üzerlerinde verileri saklayabilmekte ayrıca bir kontrol ünitesine gerek duymamaktadır.

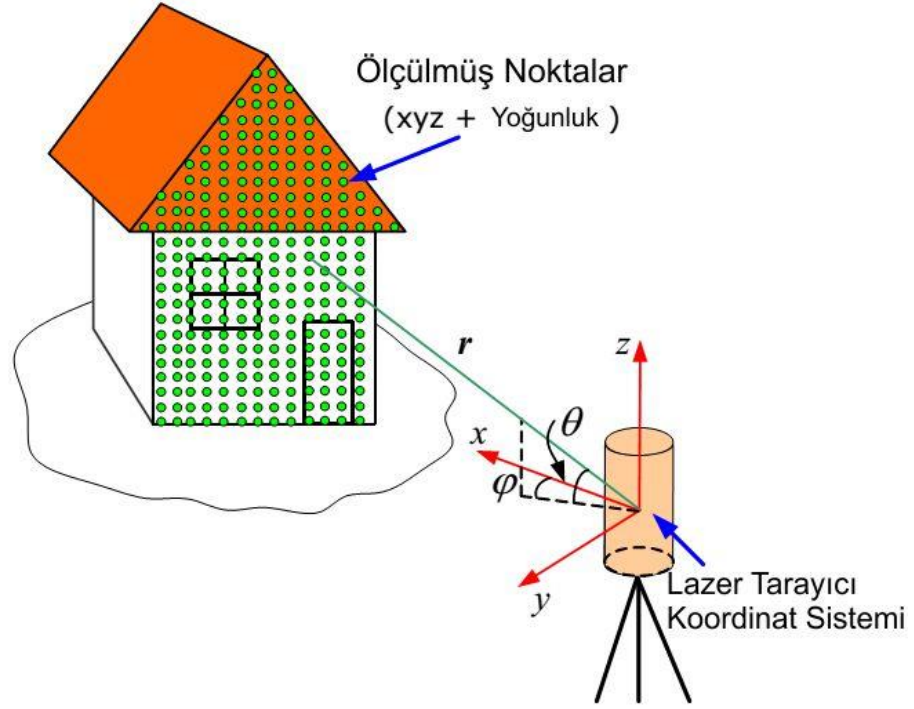
3.5.4.2 Yersel Lazer Tarayıcı (YLT) Cihazın Çalışma Prensibi

Bir YLT, yatay ve düşey ekseninde lazer ışını gönderen bir mekanizmaya sahiptir. Tarayıcının elektronik ünitesinden (Şekil 3.31, A) çıkan ışın, cihazın gövdesindeki hızla dönen optik (aynaya benzer) üniteye (şekil 3.31, B) çarpar ve bu yüzeyden yansıtılarak yatay ile bir açı yapacak şekilde cihazdan çıkar. Tarayıcı cihaz veri aldıkça düşey eksen etrafında çok küçük açılarla dönerek taramaya devam eder. Bu işlem tarama işlemi tamamlanana kadar devam eder.



Şekil 3.31 Yersel lazer tarayıcı cihazın çalışma Prensibi (Vozikis, 2004'den değiştirilerek)

Yapılan her taramada sonunda veriler nokta bulutu olarak adlandırılan noktalar halinde kullanıcıya sunulur ve bu nokta bulutundaki her bir lazer noktası kutupsal koordinatlarla (r , ϕ , θ) tarayıcıya kayıt edilir. Bu kutupsal koordinatlarla ifade edilen noktaların kartezyen koordinatları (x,y,z) tarayıcı yazılımı tarafından hesaplanır ve kullanıcıya kartezyen koordinatlar halinde sunulur. Tarayıcı cihaz tarafından taranan yüzeyde kartezyen koordinatlarının dışında kayıt edilen bir diğer veri de nesneye çarpıp geri yansıyan enerjinin yoğunluğudur (intensity)(Şekil 3.32).



Şekil 3.32 Yersel lazer tarayıcı cihazın ölçüm prensibi

Lazer tarayıcı tarafından ham olarak alınan kutupsal koordinatlar, kartezyen koordinatlara dönüştürülürken kullanılan matris 3.1’de verilmiştir.

$$\mathbf{X}_i = \begin{bmatrix} x_j \\ y_j \\ z_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_j \cos \varphi_j \cos \theta_j \\ r_j \sin \varphi_j \cos \theta_j \\ r_j \sin \theta_j \end{bmatrix}, \quad (3.1)$$

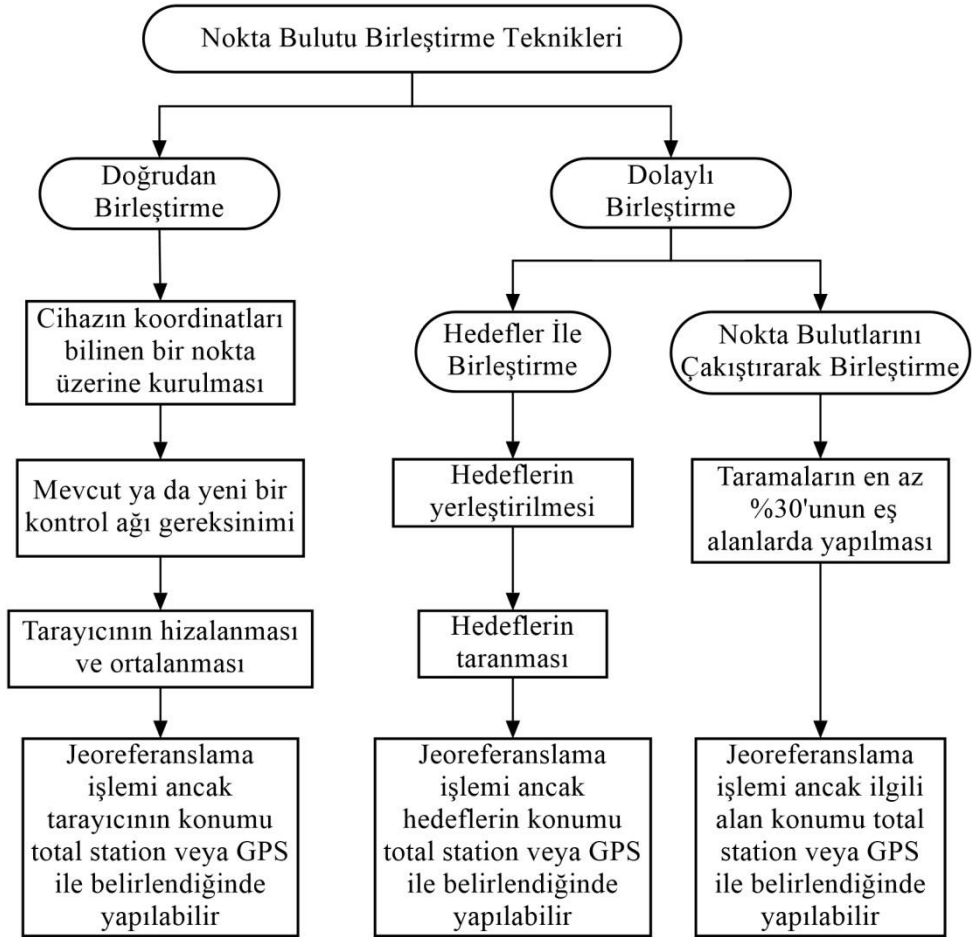
r_j = j. noktanın ölçülen uzaklığı

φ_j = j. noktanın yatay doğrultusu

θ_j = j. noktanın düşey açısı

3.5.4.3 YLT ile Üretilen Nokta Bulutlarının Birleştirilmesi ve Jeoreferanslama

YLT ile bir alanın veya objenin tamamını görüntülemek için birden çok tarama istasyonundan tarama yapılması gerekebilir. Yapılan her tarama işlemi sonucunda oluşturulan nokta bulutlarına tarayıcı alet merkezli özgün koordinatlar atandığından bu tarz birden çok noktadan tarama yapılan çalışmalarda bu nokta bulutlarının birleştirilerek tek bir nokta bulutu halinde çalışılması gerekir. Daha sonra bu nokta bulutları jeoreferanslama ile istenilen koordinat sistemine dönüştürülebilir. Nokta bulutlarının birleştirilmesi işlemi, kullanılan yazılım ve arazi çalışma şekline göre doğrudan birleştirme ve dolaylı birleştirme olmak üzere iki farklı şekilde yapılabilmektedir (Şekil 3.33).



Şekil 3.33 Nokta bulutlarının birleştirme sırasında kullanılan teknikler (Genechten, 2008'den değiştirilerek)

Doğrudan birleştirme yönteminde tarayıcı cihaz ya koordinatları bilinen bir yere kurulur yada koordinatları bilinen bir referans noktasından cihaz tarafından okuma yapılarak cihazın konumu belirlenir. Daha sonra tara

yıcı tarama yaptığı alandaki her noktayı kendi pozisyonuna göre konumlandırır. Bu tip yapılan çalışmalarda ayrıca bir jeoreferanslama işlemine gerek kalmaz ve oluşturulan nokta bulutu doğrudan jeodezik koordinatlarda oluşturulabilir. Teknolojik gelişmelere bağlı olarak bazı lazer tarayıcı sistemler kendi üzerlerinde entegre olarak GPS sistemleri bulundurabilmektedir. Bu tür cihazlarla oluşturulan nokta bulutları yine doğrudan jeodezik koordinatlarda oluşmuş nokta bulutları olacaktır.

Nokta bulutlarının dolaylı olarak birleştirilmesi ise kendi içerisinde ikiye ayrılır, bunlardan biri ortak taranan alanlardaki nokta bulutlarının eşleştirmesi diğeri ise hedefler yardımı ile birleştirme işlemidir.

Ortak nokta bulutları ile birleştirme işlemi için iki tarama alanından oluşturulan nokta bulutunun en az %30'unun üst üste çıkışıyor olması gerekmektedir. Bu çıkışan noktaları birleştirmek için ICP (IterativeClosestPoint) algoritması kullanılarak farklı taramalar arasında en az hata oranıyla birleştirilme sağlanır. Bu yöntemde kullanıcı tarafından her iki nokta bulutundan birbirine denk gelen 3 adet nokta seçilir. Seçilen noktaların bire bir aynı konuma denk gelmesi mümkün değildir ancak ICP algoritması tekrarlı olarak nokta bulutundaki bütün noktalar arasındaki mesafeleri kontrol ederek, iki nokta bulutunu eşleştirmek için gerekli dönüşüm parametresini oluşturacaktır (Genechten, 2008). Eğer nokta bulutları ile birleştirme yapılırken çıkışan tarama alanlarının içerisine küresel bir cisim konulur ve bu cisim hassas bir şekilde taranır ve bileştirme işlemi sırasında bu cisim üzerinden birleştirme yapılırsa birleştirme işleminin hassasiyeti artacaktır.

Ortak nokta bulutları ile birleştirilerek oluşturulan nokta bulutlarında jeoreferanslama işlemi kesişim alanında alınan totalstation veya GPS (GNSS – DGPS) ölçümleri ile gerçekleştirilir.

Ortak nokta bulutlarının birleştirilmesi yöntemi kullanılırken, taranan alandan veya tarama işleminden ötürü ölçümlerde gürültü veya kirlilik olursa bu gürültü ve kirlilikle birleştirme kalitesini düşürecektir. 2006 yılında A. Gruen tarafından böyle durumlar için yüzeyden yüzeye birleştirme yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemde iki nokta bulutu yüzey geometrilerinden yararlanılarak eşleştirilmiştir. Bu algoritmada en küçük kareler yöntemini kullanarak Öklid mesafesini hesaplar ve yüzeyler arasındaki mesafeyi ICP algoritmasındaki gibi tekrarlı şekilde hesap yaparak minimize eder.

Nokta bulutlarını birleştirmede kullanılan diğer bir yöntem ise yer kontrol noktaları yardımı ile birleştirme yöntemidir. Yer kontrol noktaları olarak genellikle özel malzeme ile kaplanmış geri yansıtımlı hedefler kullanılır. Bu hedefler yüksek kontrastlı ve tek parça olduğu için, hassas tarama (2mm x 2mm) yapıldığı zaman hedeflerin orta noktaları otomatik olarak tespit edilebilmektedir. Farklı istasyonlardan yapılan taramalardan oluşturulan nokta bulutlarının birleştirilmesi için bu hedeflerden tarama alanı içerisinde en az 3 âdetine ihtiyaç duyulmaktadır. Her ölçümde ortak olan bu hedef noktaları sayesinde nokta bulutları kolayca birleştirilebilir.

Hedef noktalarını yerleştirmek için kolay ulaşılamayan alanlarda ise kaya köşeleri, pencere köşeleri veya pervaz köşeleri gibi noktasal yerler doğal hedef olarak kullanılabilir ancak bu tip birleştirme işlemleri kullanıcı yorumuna açık olduğu için birleştirme hassasiyetleri özel hedeflerle yapılan birleştirmeye göre daha düşüktür. Hedef noktaları aynı zamanda birleştirilen nokta bulutlarının cihazın kendi koordinat sisteminden jeodezik koordinat sistemine dönüştürülmesinde de kullanılmaktadır. Lazer tarama sonucu elde edilen nokta bulutları içerisinde bulunan hedeflerin merkezleri totalstation veya GPS (GNSS – DGPS) yardımıyla okunduktan sonra bu koordinatlar tarayıcı yazılımında tanımlanır ve tüm nokta bulutu gerçek jeodezik koordinatlara taşınır.

3.5.2.5 Ölçüm Planlaması

Yersel tarama çalışmalarında günümüzde herhangi bir standart ölçüm planlaması oluşturulmuş değildir. Ancak yapılan çalışmalardan edinilen deneyimlerle oluşturulan yapılması gereken temel adımlar şu şekilde sıralanabilir;

- 1- Tarama sonucu elde edilecek nokta bulutundan beklenen çözünürlük ve doğruluk belirlenmeli ve çalışmaya uygun tarayıcı cihaz seçilmeli.
- 2- Tarama işlemi öncesi çalışılacak olan alan ve sınırları gözlemsel olarak belirlenmeli, cihazın kurulacağı muhtemel yerlerin ölçüm sınırları içerisinde kalacağından, taranacak alanda karanlık noktaların en az seviyede olacağından emin olunmalıdır.
- 3- Oluşturulacak nokta bulutu verisi ulusal koordinat sistemine çevrilecekse çalışılacak alanda GNSS veya DGPS gibi koordinat okuyucu sistemlerinin düzgün şekilde çalıştığı kontrol edilmelidir.
- 4- Kurulacak olan istasyon noktalarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu istasyon noktaları belirlenirken kurulacak olan hedef noktalarının yerlerinin de beraberinde belirlenmesi gerekmektedir. Hedef noktaları belirlenirken kurulan hedeflerin yer değiştirmeden, her istasyon noktasından rahatlıkla görülebiliyor olması daha sonra nokta bulutlarının birleştirilmesi işleminde hata oranının en düşük seviyede olmasını sağlayacaktır.
- 5- İlk istasyon noktasına kurulan tarayıcı cihazın enerji ve bilgisayar bağlantıları yapıldıktan sonra tarama yazılımı açılarak tarayıcı cihaz ile yazılım arasındaki bağlantı sağlanır ve ilk tarama işlemi için yazılıma istenen çözünürlük ve alan bilgileri girilir. (Tarayıcı cihazın optik kamerası varsa alanın fotoğrafı da çekilir.)
- 6- İlk istasyondaki tarama işlemi bittikten sonra tarama işlemi sonucunda oluşan nokta bulut verisi ön izlemesi yapılarak kontrol edilir. Aynı şekilde birleştirme işleminde kullanılacak hedeflerin de taranmış olduğu kontrol edilmelidir. Gerekli hallerde sadece hedefler yüksek çözünürlükte tekrar taranmalıdır (<5mm çözünürlükle).

- 7- İlk istasyondaki tarama işlemi başarıyla tamamlandıktan sonra ikinci istasyon noktasına geçilerek cihaz kurulur ve bir önceki adımlar tekrarlanır. Burada dikkat edilmesi gereken konu iki istasyondaki görüntüleri birleştirmek bir önceki istasyonda taranan hedeflerin yerlerini değiştirilmeden ikinci istasyondan da taranması gerekliliğidir, aksi takdirde ölçümdeki hata oranı artacaktır.

BÖLÜM DÖRT

MADEN SAHALARINDA MEYDANA GELEN YÜZEY HAREKETLERİNİN UZAKTAN ALGILAMA YÖNTEMLERİ İLE BELİRLENMESİ

4.1 Giriş

Yapılan doktora çalışması kapsamında maden sahalarında meydana gelen yüzey hareketlerinin belirlenmesine yönelik uzaktan algılama yöntemleri ile 3 farklı sahada 3 farklı çalışma yapılarak şev hareketlerinin takibinin bu yöntemler ile yapılması amaçlanmıştır. Bu 3 çalışmada ocaklarda meydana gelen hareketler oluşumu ve gelişimi bakımından birbirinden farklı olup hepsi ayrı çalışma yöntemleri ile değerlendirilmiştir. Yapılan bu çalışmalar;

- TKİ GARP Linyitleri İşletmesi Açık Ocak harman sahasında meydana gelen heyelan hareketinin optik uydular ve yersel lazer tarayıcı sistem ölçümleri ile belirlenmesi,
 - Eti Maden İşletmeleri Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü uhdesinde bulunan Simav Açık Ocağında meydana gelen şev duraysızlıklarının yersel lazer tarayıcı sistem ölçümleri ile belirlenmesi
 - TKİ Ege Linyit İşletmeleri (E.L.İ) Soma Kısırakdere G-Panosu Kömür Üretimi Alanı Şlam Havuzu Şevinde Yeraltı Üretiminin Subsidans Etkisinden Kaynaklı Şev Hareketinin Yersel Lazer Tarayıcı Sistem İle İncelenmesi
- şeklilde sınıflandırılmıştır

4.2 Şev Takibi Amacıyla Kullanılan Metodlar ve Ekipmanlar

Tez kapsamında incelenen 3 olayda şev hareketlerinin takibi olaylar özelinde uzaktan algılama yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda hareketli kütleleri takip etmek amacıyla TKİ GARP Linyitleri İşletmesi Açık Ocağı Harman Sahasında, optik uydu görüntüleri ve yersel lazer tarayıcı ölçümleri kullanılmış hareketin devam edip etmediği belirlenmeye çalışılmıştır. Eti Maden İşletmeleri Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü Simav Açık Ocağında meydana gelen şev duraysızlıklarının incelenmesi olayında ise yersel lazer tarayıcı sistemi kullanılmış ve şev hareketi belirlenmeye çalışılmıştır. Aynı çalışmada yersel lazer tarayıcı

sisteminden elde edilen nokta bulutu verileri üzerinde 3 nokta analizi yapılarak şev hareketinin yönü belirlenmeye çalışılmıştır. Son çalışmada ise Soma TKİ ELİ Müessese Müdürlüğü Soma Kısırakdere G-Panosu üretim alanı karşısında bulunan şevlerdeki hareket yersel lazer tarayıcı sistem ile karakterize edilmeye çalışılmıştır.

4.2.1 Uydu Görüntüleri

Tez çalışması kapsamında TKİ GARP Linyitleri İşletmesi Açık Ocağı Harman Sahasında yapılan çalışmalarda analiz amaçlı olarak optik uydu görüntüleri kullanılmıştır. Kullanılan optik uydu görüntüleri 2001-2013 yılları arasında 1 metre ve altı çözünürlüğe sahip uydu görüntüleri olup görüntüler üzerinde analiz için gerekli düzeltme işlemleri yapılmıştır. Görüntüler üzerinde yapılan tüm düzeltme ve analizler Hexagongeospatial firmasına ait ERDAS IMAGINE 2011 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.

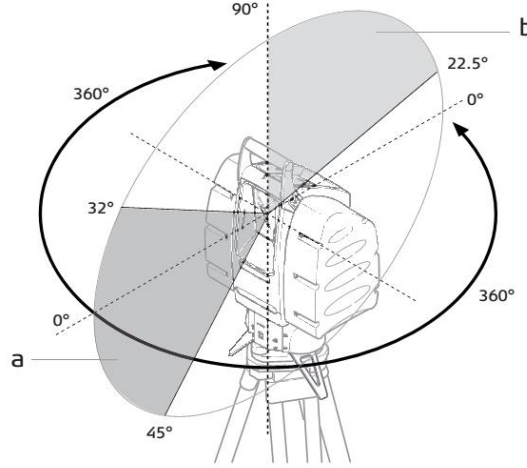
4.2.2 Leica Scanstation 2 Yersel Lazer Tarayıcı

Birçok mühendislik uygulamasında başarı ile kullanılan yersel lazer tarayıcılar tez kapsamında yapılan çalışmalarda şev hareketini karakterize edilmesi amacıyla kullanılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan lazer tarayıcı Leica marka Scanstation 2 model lazer tarayıcıdır(Şekil4.1).



Şekil 4.1 Tez çalışması kapsamında kullanılan Leica Scanstation 2 tarayıcı

Leica Scanstation 2 model tarayıcı 360° x 270° görüş alanında ölçüm alabilmek için biri önünde biri ise tepesinde olmak üzere çiftli cam sistemine sahiptir. Ana ölçüm camından yataydan 45° aşağı ve 32° yukarıya kadar ölçüm yapabilmektedir (Şekil 4.2, a). Üst camdan ise 22.5°'den 90°'ye kadar ölçüm yapabilmektedir (Leica Scanstation 2 User Manual, 2010).



Şekil 4.2 Scanstation 2'nin görüş açısı sınırları (Leica, 2010)

Leica Scanstation 2 model tarayıcıya ait temel teknik ve fiziksel bilgiler Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1 Scanstation 2'e ait teknik ve fiziksel özellikler

Kompansatör tipi	Çift eksenli kompansatör
Kullanıcı arayüzü	Laptop veya tablet PC
Ölçüm mesafesi	300 m.
Ölçüm hızı	50 000 nokta/sn.
Lazer sınıfı	3R (IEC 60825-1)
Tarama Optiği	Tek ayna, panoramik, ön ve üst cam
Ölçüm Doğruluğu	6 mm
Nokta Aralığı	1 mm
Kamera	Yüksek Çözünürlüklü Entegre Kamera
Görüş Açısı	Yatayda 360°, Düşeyde 270°
Çalışma Sıcaklığı	0° ile +40°
Ağırlık	18,5 Kg
Boyutlar	265 mm x 370 mm x 510 mm

Leica Scanstation 2 model tarayıcıyla alınan ölçümlerde nokta bulutlarını birleştirmek ve bu nokta bulutlarını jeodezik koordinatlara çevirmek amacıyla Leica HDS hedefleri (Şekil 4.3, a), hedeflerin konumlarının bulunması için ise Leica Viva CS15 model GNSS (Şekil 4.3, b) kullanılmıştır.



(a)



(b)

Şekil 4.3 Tarama işleminde kullanılan hedef (a) ve konumlandırmada kullanılan GNSS cihazı(b)

Lazer tarayıcıyla yapılan ölçümlerin alınması ve nokta bulutlarının oluşturulmasında, nokta bulutlarının birleştirilmesinde, nokta bulutlarının jeodezik koordinatlara çevrilmesinde ve daha sonra bu nokta bulutları üzerinde mühendislik hesapları yapılmasında Leica Cyclone 8.1 yazılımı kullanılmıştır.

4.3 TKİ GARP Linyitleri İşletmesi Açık Ocak Harman Sahasındaki Heyelanın Gelişimi ve Hareketin Takibi

Açık ocaklarda kazı sonrası harman sahasına taşınan dekapaj malzemesinin duraylılığı zaman zaman sorun teşkil edebilmektedir. Bu büyük miktarda ve yerinden kazılarak kohezyonunu kaybetmiş dekapaj malzemesi doğru bir planlama yapılmadığı takdirde hareket etme eğilimine girebilmekte ve büyük heyelanları meydana getirebilmektedir. TKİ'ye ait GARP Linyitleri işletmesi açık ocağı harman sahasında da duraylılık sorunları ortaya çıkmıştır ve harman sahasında hareket eden malzeme vadi içerisinde ilerleyerek kuş uçuşu 800 m kuzeyde bulunan Yörgüç köyünü tehdit etmektedir. Çalışma kapsamında 2000'li yılların başından beri hareket halinde olan kütlenin gelişimi ve mevcut durumda hareketin halen devam edip etmediği optik uydu görüntüleri, yersel lazer tarayıcı ve GNSS sistemleri ile incelenmiştir.

GLİ Müessesesi Müdürlüğü, halen Kütahya ili Tavşanlı ve Domaniç ilçe sınırları içerisinde kalan IR 4364 no.lu imtiyaz sahasında açık ocak ve yeraltı işletmeleri olarak faaliyet göstermektedir (Şekil 4.4). Programlanan 4.200.000 ton/yıl tüvenan linyit kömürü üretiminin yaklaşık %80'ni açık ocaklardan, %20'si ise yeraltı işletmelerinden gerçekleştirilmektedir (Garp Linyitleri İşletmesi, 2014).



68

alanının uydu görüntüsünü gösterirken Şekil 4.5-(b-e) heyelan üzerinden alınan fotoğrafları göstermektedir.



(a)



(b)



(c)



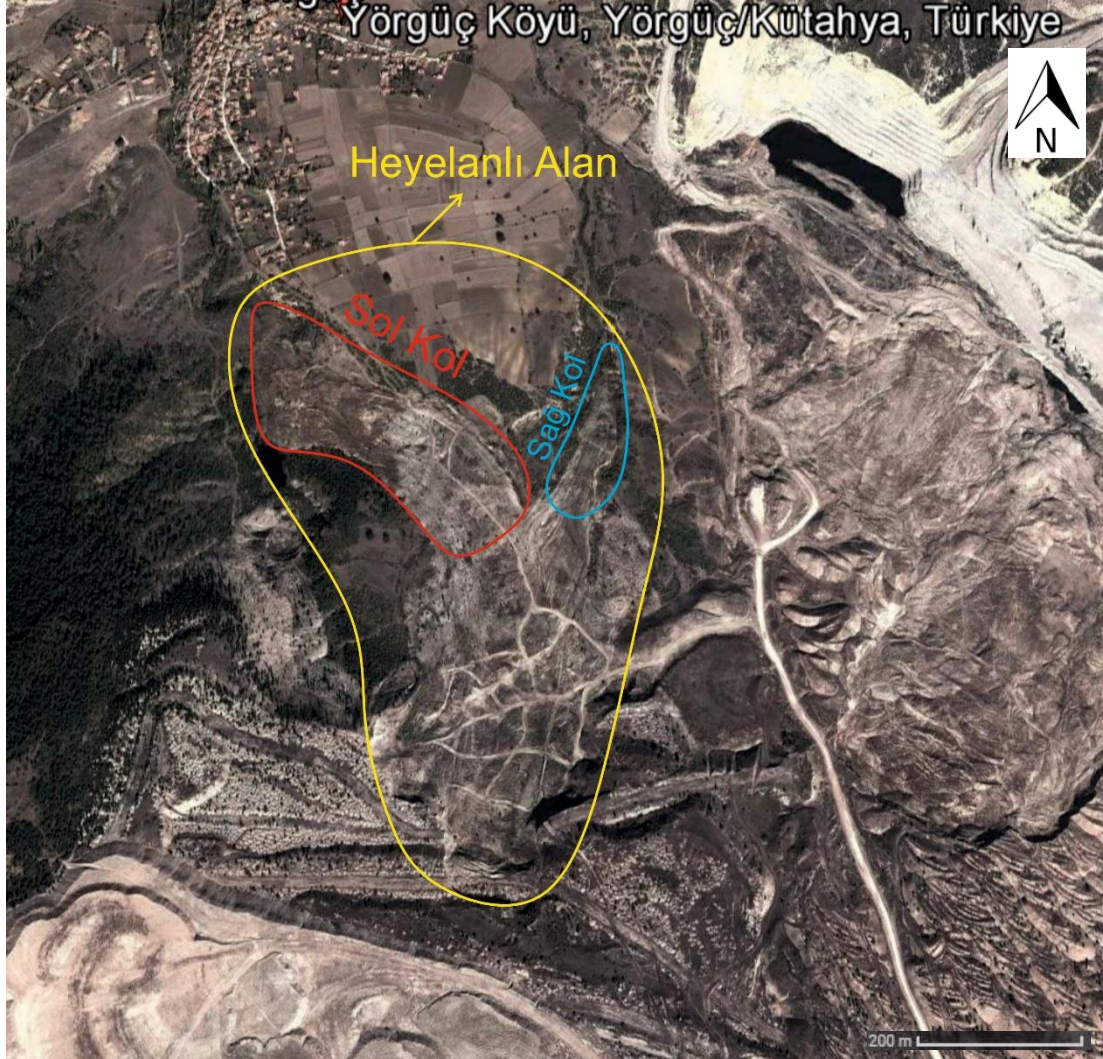
(d)



(e)

Şekil 4.5 Heyelanlı alanın uydu görüntüsü ve fotoğrafları

Bu vadi boyunca hareket eden büyük kütle vadi içerisinde bir tepe ile iki kola ayrılmıştır (Şekil 4.6). Bu kollardan sol kol olarak adlandırılan koldaki heyelan Yörgüç isimli köye doğru ilerlerken sağ kol olarak adlandırılan kısımdaki heyelan malzemesi ise üretimi planlanan ocak sınırı içerisine doğru hareket etmektedir.



Şekil 4.6 Heyelan alanını ve çalışma alanlarını gösterir uydu görüntüsü

4.3.1 Harman Hareketinin Optik Uydular ile Takibi

TKİ GARP Linyit İşletmeleri Açık Ocak dekapajı harman sahasında meydana gelen heyelan hareketinin gelişimini izlemek üzere optik uydularla yapılan çalışmalarda, farklı yıllara ait uydu görüntülerinden yararlanılmıştır. Bu amaçla TKİ GARP Linyit İşletmeleri tarafından temin edilen farklı yıllara ait 7 uydu görüntüsü

değerlendirilmiş ve heyelan hareketin devam edip etmediği belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmalarda iki yol izlenmiştir. Bunlardan birincisi, farklı yıllara ait görüntülerin karşılaştırılması ve bu yıllara ait hareket eden kütledeki iki boyutlu değişimin belirlenmesidir. Diğeri ise, 12.01.2014 tarihinde yapılan arazi çalışmalarında GNSS (Küresel Uydu Navigasyon Sistemi) sistemi kullanılarak elde edilen heyelan sınırının uydu görüntüleri üzerine işlenmesidir. Çalışma amacıyla temin edilen uydu görüntüleri ve detayları Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2 Uydu görüntülerine ait veriler

Uydu Adı	Görüntüleme Tarihi	Pankrometrik Çözünürlük	Çerçeve Genişliği	Radyometik Çözünürlük	Tekrarlama Periyodu
Ikonos	09.09.2001	1 m	11,0 km	11 bit	3-5 gün
Quickbird	04.07.2004	0,60 m	16,5 km	11 bit	1-3,5 gün
Worldview-1	18.07.2008	1 m	17,6 km	11 bit	1-7 gün
Worldview-2	8.09.2010	0,50 m	16,4 km	11 bit	1 gün
Worldview-1	11.11.2011	1 m	17,6 km	11 bit	1-7 gün
Kompsat-2	16.09.2012	1 m	13,0 km	14 bit	28 gün
Worldview-2	20.05.2013	0,50 m	16,4 km	11 bit	1 gün

Heyelan hareketinin gelişiminin belirlenmesi amacıyla 2001-2004, 2004-2008 ve 2008-2010 tarihlerindeki değişimler incelenirken, heyelanın güncel hareketinin saptanması amacıyla 2010 yılı sonrası çekilen 2010-2011-2012 ve 2013 yıllarına ait uydu görüntüleri üzerinde durulmuştur. Yapılan çalışmada 2012 tarihli görüntü kalitesinin analizlere elverişli olmamasından dolayı bu görüntü ile yapılan analizler dikkate alınmamıştır.

Daha öncede bahsedildiği gibi ham uydu görüntüleri ve hava fotoğrafları yeryüzünün eğriliği, atmosferik kırınım, algılayıcı platformların yatayla yaptığı açı ve yükseklik değişimleri gibi nedenlerden ötürü sistematik veya sistematik olmayan geometrik distorsiyonlar içermektedir. Bu hataları gidermek için uydu görüntüleri üzerinde geometrik düzeltme yapılması gerekmektedir. Geometrik düzeltme yapılırken, çalışma alanına ait, sayısal yükseklik modeli (SYM), yer kontrol noktaları (GCP) ve rasyonel polinom katsayıları(RPC) gibi yardımcı verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Geometrik düzeltme işleminde bu kontrol noktaları uydu görüntüsü

üzerindeki noktalarla eşelenerek görüntü üzerinde geometrik düzeltmeler yapılır. Bu konu bölüm 3.4.1.1’de detaylı şekilde anlatılmıştır.

Doktora çalışması kapsamında optik uydularla yapılan çalışmada da görüntülerin geometrik düzeltmeleri uydu görüntülerinin sağlayıcısı tarafından verilen düzeltme dosyaları ile rasyonel polinom katsayıları yöntemiyle yapılmış ve geometrik hata oranları en düşük seviyeye indirilmiştir. Daha sonra görüntülerin birbiri üzerine tam olarak oturmasını sağlamak amacıyla ikili görüntü çiftleri arasında görüntüden görüntüye düzeltme işlemi yapılmış ve Bölüm 3.4.1.1’de anlatılan bilinear enterpolasyon yöntemi kullanılarak yeniden örnekleme işlemi yapılmıştır.

Görüntüden görüntüye düzeltme işlemi yapılırken her iki görüntüdeki ortak ve herhangi bir yer değiştirmenin olmadığına varsayıldığı noktaların belirlenerek bu noktalar eşlenir. Bu görüntülerden biri referans görüntü olurken diğer görüntü referans görüntü üzerinde işaretlenen yer kontrol noktalarına göre düzeltilir. (Erdas Field Guide, 2010). Yapılan çalışmada görüntü çiftleri üzerinde çalışılırken, görüntü çiftinden tarihi eski olanı referans görüntü olarak alınmış, yeni tarihli görüntü referans görüntüye göre düzeltilmiştir.

Yapılan düzeltmelerden sonra alansal değişimlerin belirlenmesi amacıyla farklı yıllarda heyelan sınırlarının üzerinden geçilerek heyelanlı alanda poligonlar oluşturulmuştur, bu alanlar üst üste çakıştırılarak bu yıllar arasındaki hareket miktarları 2 boyutlu olarak belirlenmiştir. Görüntülerin çözünürlükleri ve görüntü eşleme sonrasındaki oluşan hatalar dikkate alındığında analizlerdeki hatalar en çok 1-1,5 m’lik hata sınırı içerisinde kalmaktadır.

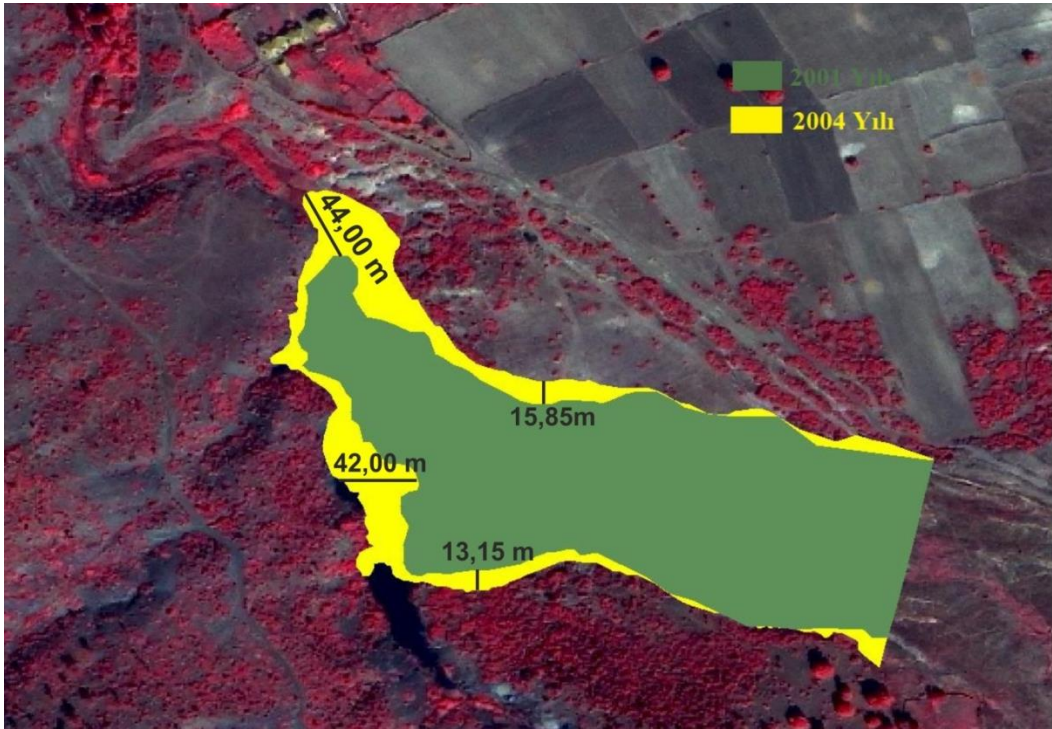
Optik uydu görüntüleri ile yapılan Tunçbilek aık ocağı heyelan hareketi takibi çalışmasında, analizlerde sol kol ve sağ kol olarak nitelendirilen heyelanın hareketinin etki ettiği bölgelerde ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Çalışmanın geri kalan kısmında, sol kol olarak nitelendirilen heyelanlı alan Yörgüç Köyüne doğru ilerlediği için Yörgüç Köyü heyelanı, sağ kol olarak nitelendirilen heyelanlı alan ise ocak içi heyelanı olarak nitelendirilmiştir. Aynı zamanda heyelanın beslendiği taç kısmı

olarak isimlendirilen arka kısım da yıllar bazında değerlendirilmiş ve heyelan hareketi ile ilişkilendirilmiştir.

4.3.1.1 Yörgüç Köyü Heyelanın Optik Uydular ile Takibi

Bu bölümde heyelanlı bölgede Yörgüç Köyüne doğru hareket eden yığının yıllar bazında hareket miktarı takip edilmiştir. Geometrik düzeltmeleri yapılmış olan görüntüler, görüntü çiftlerindeki ortak noktaların çakıştırılması suretiyle ikili çiftler halinde birbirleri ile eşlenerek heyelanlı alanlar poligon içerisine alınmış ardından bu alanlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

2001-2004 Arası Alansal Değişim: Çalışma kapsamında 09 Eylül 2001 Ikonos ve 04 Temmuz 2004 Quickbird görüntülerinin eşlenmesi sonrası oluşturulan heyelan alanlarının değişimi Şekil 4.7’de verilmiştir.

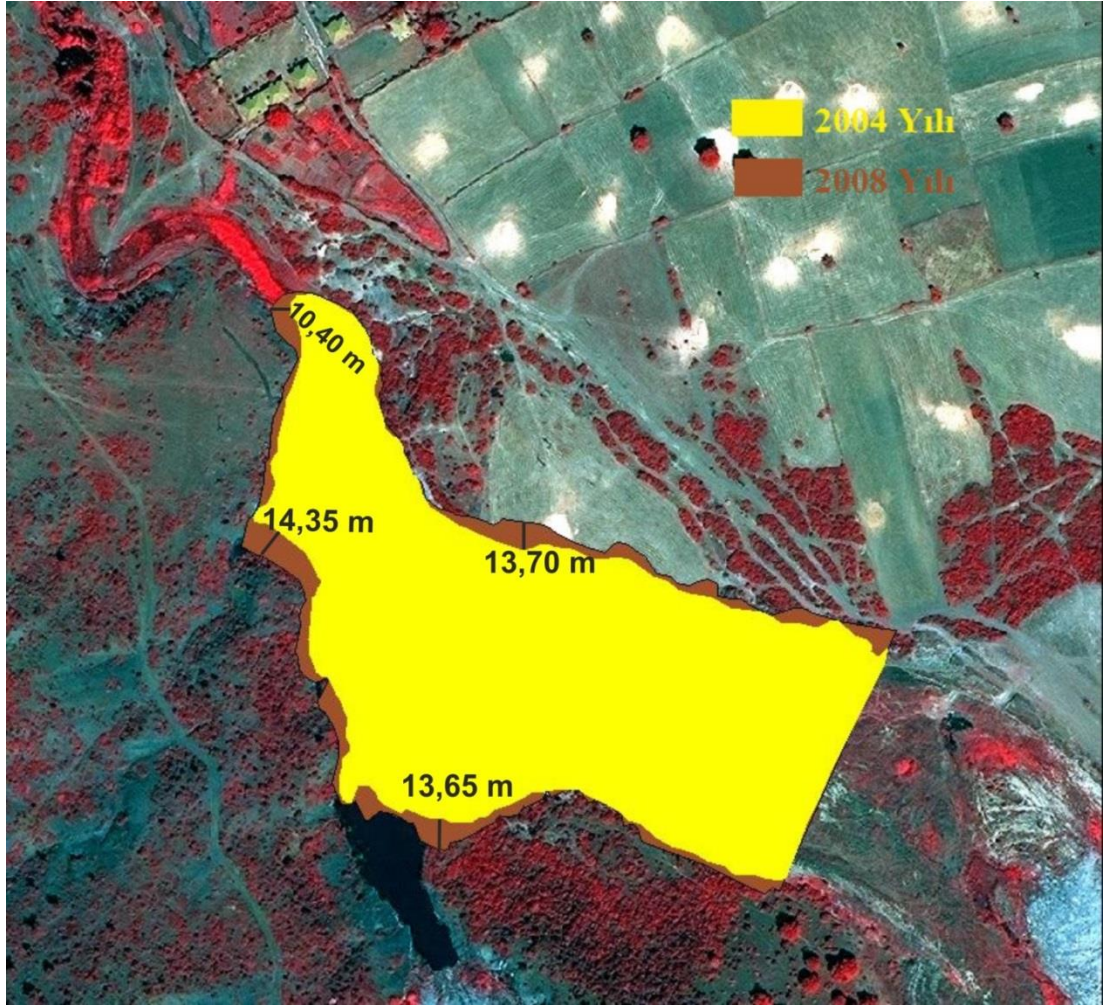


Şekil 4.7 09 Eylül 2001 ve 04 Temmuz 2004 tarihleri arasındaki alansal değişim

Şekil 4.7’de görüldüğü gibi 2001 ve 2004 yılları arasında Yörgüç Köyü heyelanında hem akma doğrultusu boyunca hem de yanlara doğru kayda değer

büyükölükte hareket gözlemlenmiştir. Uydu görüntüsü üzerinden yapılan ölçölmlerde heyelanın uç kısmının bu üç yılda toplam 44 m ilerlediğı belirlenmiştir.

2004-2008 Arası Alansal Değışim: 04 Temmuz 2004 Quickbird ve 18 Temmuz 2008 Worldview-1 görüntülerinin eşlenmesi sonrası oluşturulan heyelan alanlarının değışimi Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8 04 Temmuz 2004 ve 18 Temmuz 2008 tarihleri arasındaki alansal değışim

Şekil 4.8’de görüldüğü gibi 2004 ve 2008 yılları arasında Yörgüç Köyü heyelanında hem akma doğrultusu boyunca hem de yanlara doğru ciddi büyükölükte hareket gözlemlenmiştir. Uydu görüntüsü üzerinden yapılan ölçölmlerde heyelanın uç kısmının bu dört yıllık süre içerisinde toplam 10,40 m ilerlediğı belirlenmiştir.

2008-2010 Arası Alansal Değişim: 18 Temmuz 2008 Worldview-1 ve 8 Ağustos 2010 Worldview-2 görüntülerinin eşlenmesi sonrası oluşturulan heyelan alanlarının değişimi Şekil 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.9 18 Temmuz 2008 ve 8 Ağustos 2010 tarihleri arasındaki alansal değişim

Şekil 4.9’da görüldüğü gibi 2008 ve 2010 yılları arasında Yörgüç Köyü heyelanında hem akma doğrultusu boyunca hem de yanlara doğru ciddi büyüklükte hareket gözlemlenmiştir. Uydu görüntüsü üzerinden yapılan ölçümlerde heyelanın uç kısmının bu iki yıl içerisinde toplam 6,80 m ilerlediği belirlenmiştir.

2010-2011 Arası Alansal Değişim: 08 Ağustos 2010 Worldview-2 ve 11 Ekim 2011 Worldview-1 görüntüsünün eşlenmesi sonrası oluşturulan heyelan alanlarının değişimi Şekil 4.10’ da verilmiştir.



Şekil 4.10 08 Ağustos 2010 ve 11 Ekim 2011 tarihleri arasındaki alansal değişim

Şekil 4.10’da görüldüğü gibi heyelan alanının kuzeyinde ve güneyinde bir miktar hareket gözlemlenmiştir. Bu hareketler küçük ve yerel hareketler olarak değerlendirilmektedir. Heyelanın köye giden uçunda herhangi bir hareket gözlenmemiştir.

2010-2013 Arası Alansal Değişim: 08 Ağustos 2010 Worldview-2 ve 20 Mayıs 2013 Worldview-2 görüntüsünün eşlenmesi sonrası oluşturulan heyelan alanlarının değişimi Şekil 4.11’ de verilmiştir.



Şekil 4.11 08 Ağustos 2010 ve 20 Mayıs 2013 tarihleri arasındaki alansal değişim

Şekil 4.11’de görüldüğü gibi heyelan alanının kuzeyinde ve güneyinde bir miktar hareket gözlemlenmiştir. Bu hareketler küçük ve yerel hareketler olarak değerlendirilmektedir. Heyelanın köye giden uçunda herhangi bir hareket gözlenmemiştir

2011-2013 Arası Alansal Değişim: 11 Ekim 2011 Worldview-1 ve 20 Mayıs 2013 Worldview-2 görüntüsünün eşlenmesi sonrası oluşturulan heyelan alanlarının değişimi Şekil 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.12 11 Ekim 2011 ve 20 Mayıs 2013 tarihleri arasındaki alansal değişim

Şekil 4.12’de görüldüğü gibi heyelan alanının kuzey ve güney kısmında bir miktar hareket gözlemlenmiştir. Bu hareketler küçük ve yerel hareketler olarak değerlendirilmektedir. Heyelanın köye giden ucunda herhangi bir hareket gözlenmemiştir

Uydu görüntüleri ile yapılan bu analizlerin sonucunda 2010 yılından itibaren heyelanın uç kısmında köye doğru kayda değer bir hareket görülmemiş olup farklı yıllarda bölgesel olarak hareketler görülmüştür.

GNSS Ölçümlerinin Uydu Görüntüsü ile Değerlendirilmesi: Bu yapılan alansal analizlerin dışında 12 Şubat 2014 tarihinde heyelanın etrafı dolaşarak alınan GNSS ölçümleri 2010 ve 2013 yılları için haritalara işlenmiştir. Yapılan GNSS çalışma sonrasında da heyelanın köye giden kısmında bir hareket olmadığı görülmüştür (Şekil 4.13-Şekil 4.15).



Şekil 4.13 12 Şubat 2014 GNSS Ölçümünün 20 Mayıs 2013 görüntüsü üzerindeki görünümü



Şekil 4.14 12 Şubat 2014 GNSS Ölçümünün 08 Ağustos 2010 görüntüsü üzerindeki görünümü



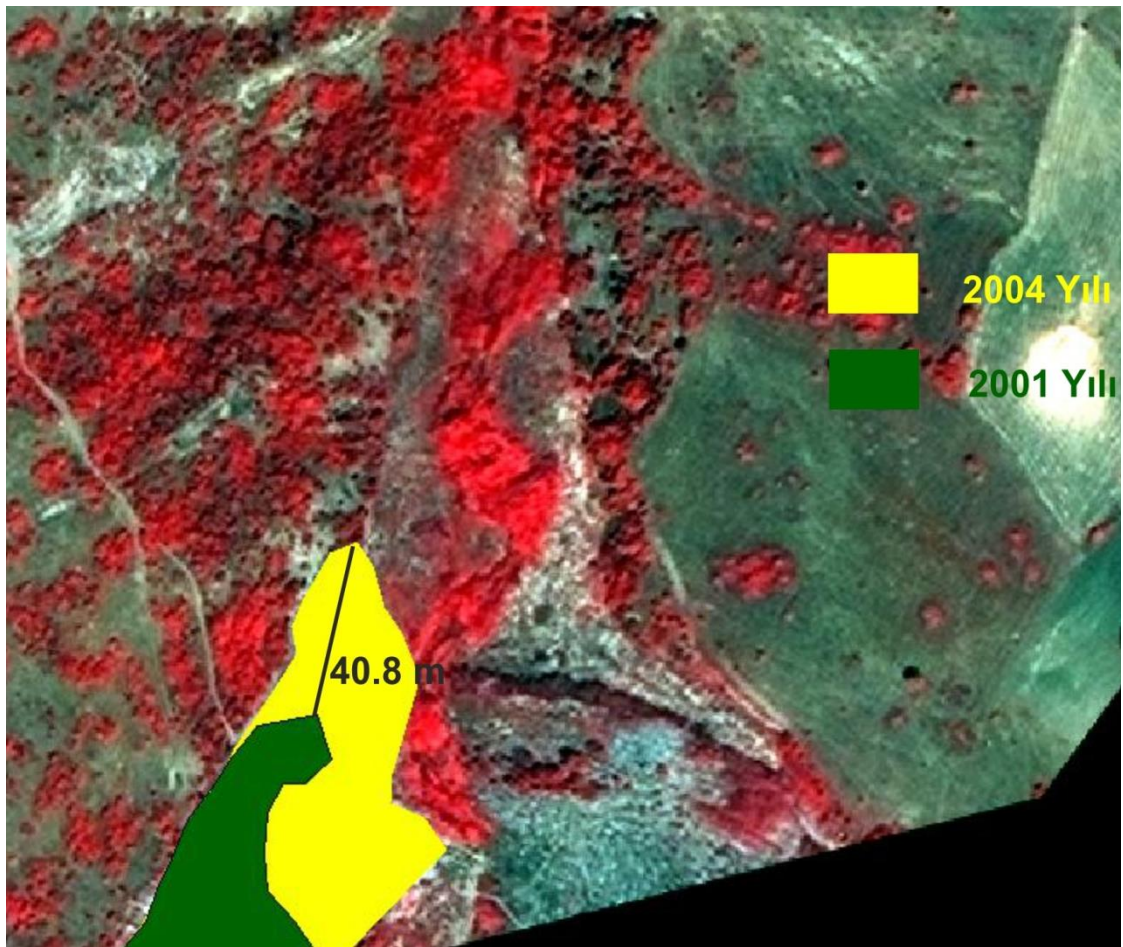
Şekil 4.15 12 Şubat 2014 ölçümünün 08 Ağustos 2010 tarihli görüntüye işlenmiş halinin uç kısmının yakından görüntüsü

Gerek uydu fotoğrafları ile yapılan çalışmalarda gerekse GNSS ölçümlerinin uydu görüntülerine işlenmesi ile yapılan değerlendirmeler sonucunda heyelanın köye doğru olan ucunun 2010'dan bu yana hareket etmediği ancak, heyelanın içerisinde farklı bölgelerde bölgesel hareketler olduğu görülmektedir.

4.3.1.2 Ocak İçi Heyelanının (Sağ Kol) Optik Uydular ile Takibi

Bu bölümde heyelanlı bölgede ocak içine doğru hareket eden yığının yıllar bazında hareket miktarı takip edilmiştir.

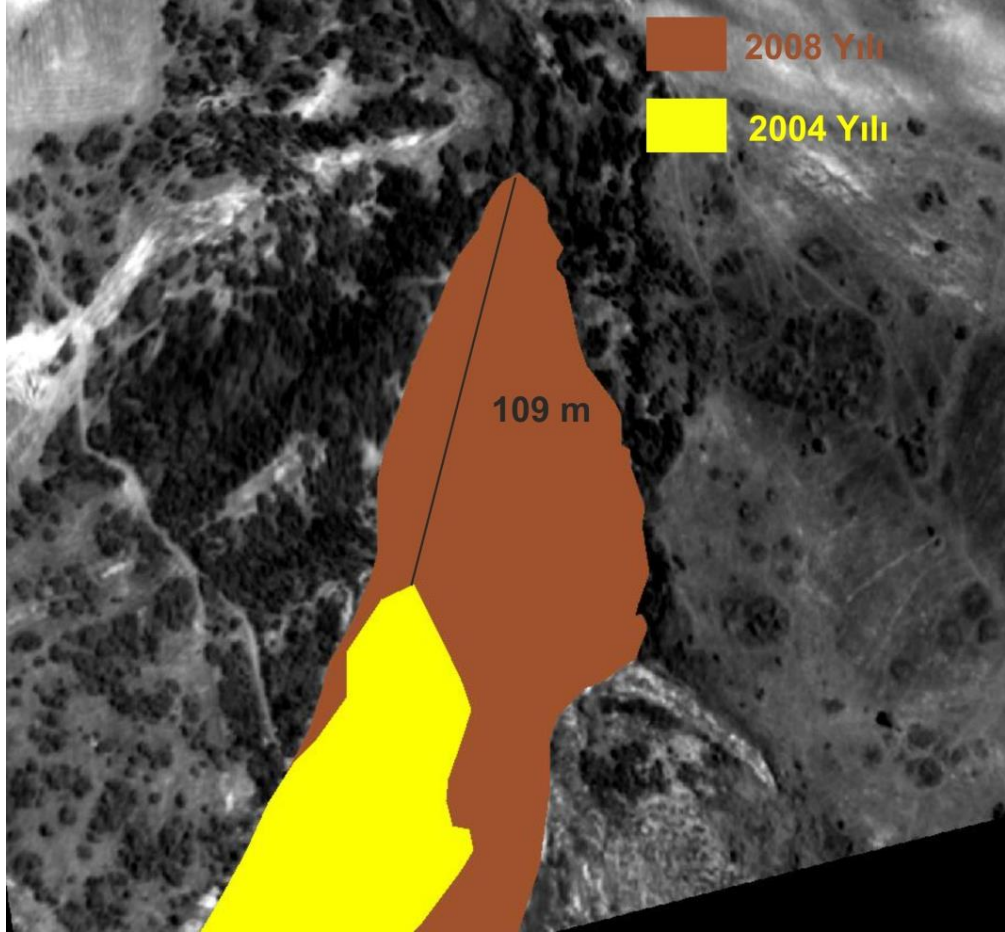
2001-2004 Arası Alansal Değişim: 09 Eylül 2001 Ikonos ve 04 Temmuz 2004 Quickbird görüntülerinin eşlenmesi sonrası ocak içerisine doğru yönelen heyelanın değişimi Şekil 4.16’de verilmiştir.



Şekil 4.16 09 Eylül 2001 ve 04 Temmuz 2004 tarihleri arasındaki ocak içi kısmına doğru heyelanın alansal değişimi

Şekil 4.16’da görüldüğü gibi 2001 ve 2004 yılları arasında ocak içi kısmına doğru hareketi gözlenen heyelanda 40,8 m ilerleme tespit edilmiştir.

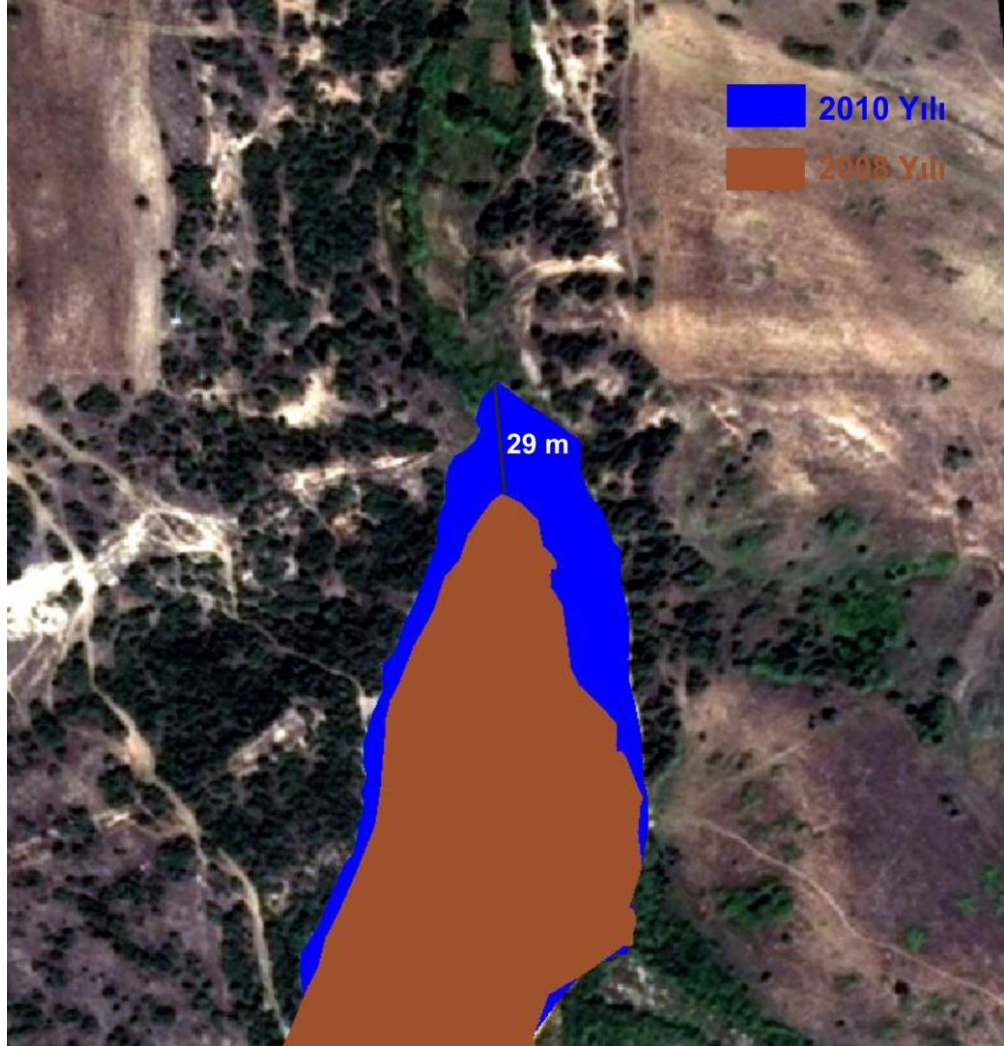
2004-2008 Arası Alansal Değişim: 04 Temmuz 2004 Quickbird ve 18 Temmuz 2008 Worldview-1 görüntülerinin eşlenmesi sonrası ocak içerisine doğru yönelen heyelanın değişimi Şekil 4.17’de verilmiştir.



Şekil 4.17 04 Temmuz 2004 ve 18 Temmuz 2008 tarihleri arasındaki ocak içi kısmına doğru heyelanın alansal değişimi

Şekil 4.17’de görüldüğü gibi 2004 ve 2008 yılları arasında ocak içi kısmına doğru hareketi gözlenen heyelanda 109 m ilerleme tespit edilmiştir.

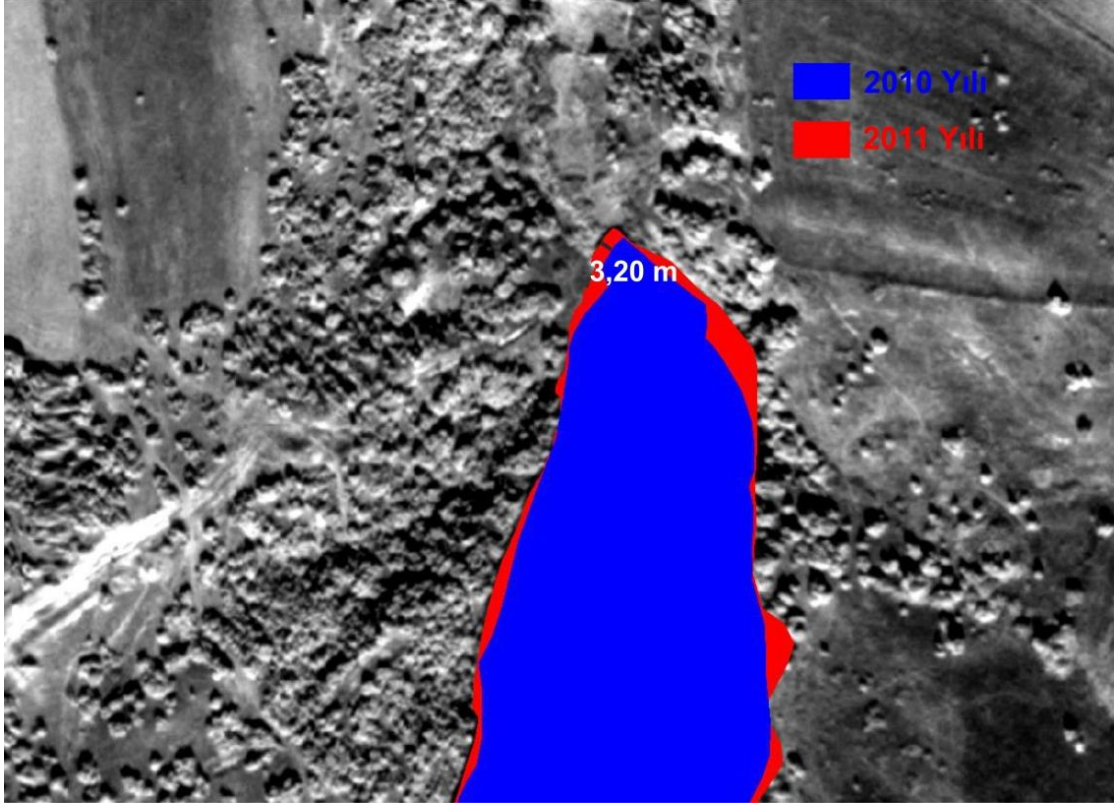
2008-2010 Arası Alansal Değişim: 18 Temmuz 2008 Worldview-1 ve 8 Ağustos 2010 Worldview-2 görüntülerinin eşlenmesi sonrası ocak içerisine doğru yönelen heyelanın değişimi Şekil 4.18’de verilmiştir.



Şekil 4.18 18 Temmuz 2008 ve 8 Ağustos 2010 tarihleri arasındaki ocak içi kısmına doğru heyelanın alansal değişimi

Şekil 4.18’de görüldüğü gibi 2008 ve 2010 yılları arasında ocak içi kısmına doğru hareketi gözlenen heyelanda 29 m ilerleme tespit edilmiştir.

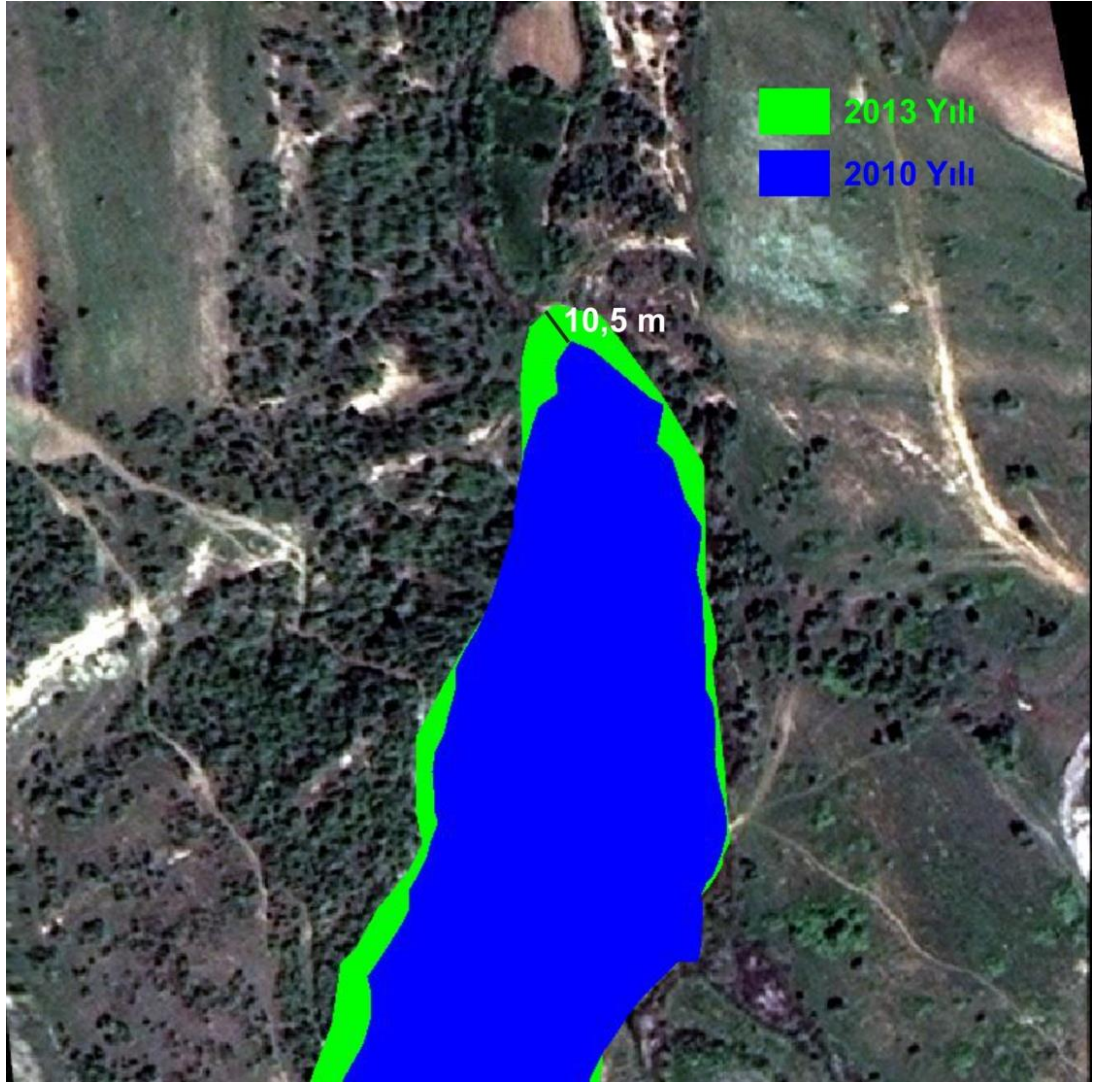
2010-2011 Arası Alansal Değişim: 08 Ağustos 2010 Worldview-2 ve 11 Ekim 2011 Worldview-1 görüntülerinin eşlenmesi sonrası ocak içerisine doğru yönelen heyelanın değişimi Şekil 4.19’da verilmiştir.



Şekil 4.19 08 Ağustos 2010 ve 11 Ekim 2011 tarihleri arasındaki ocak içi kısmına doğru heyelanın alansal değişimi

Şekil 4.19’da görüldüğü gibi 2010 ve 11 Ekim 2011 yılları arasında ocak içi kısmına doğru hareketi gözlenen heyelanda ileriye doğru 3,20 m lik bir ilerleme söz konusudur bunun dışında heyelanın yan kısımlarında da yayılma şeklinde bir miktar hareket söz konusudur.

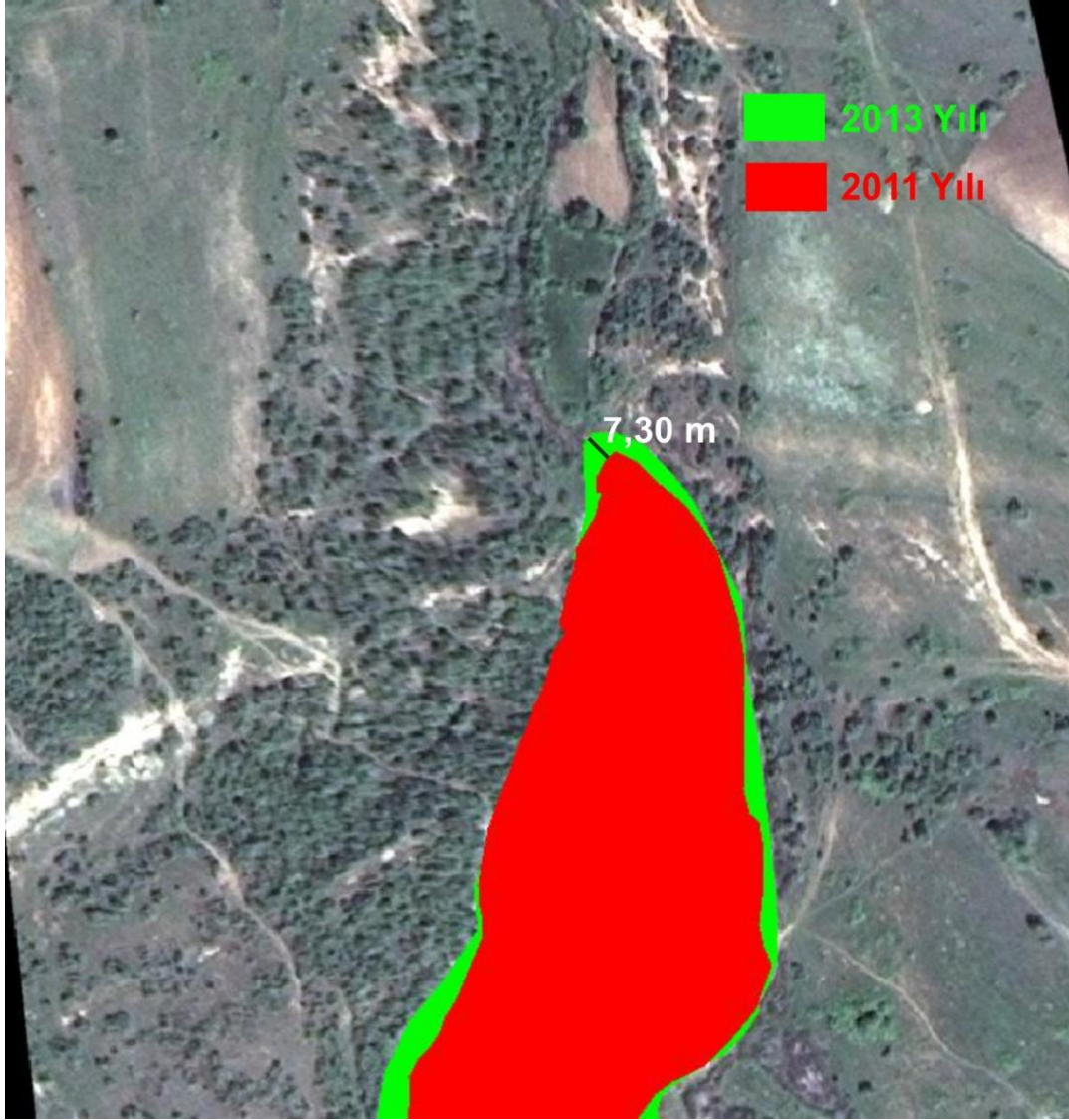
2010-2013 Arası Alansal Değişim: 08 Ağustos 2010 Worldview-2 ve 20 Mayıs 2013 Worldview-2 görüntülerinin eşlenmesi sonrası ocak içerisine doğru yönelen heyelanın değişimi Şekil 4.20’de verilmiştir.



Şekil 4.20 08 Ağustos 2010 ve 20 Mayıs 2013 tarihleri arasındaki ocak içi kısmına doğru heyelanın alansal değişimi

Şekil 4.20’de görüldüğü gibi 2010 ve 2013 yılları arasında ocak içi kısmına doğru hareketi gözlenen heyelanda 10,5 m ilerleme tespit edilmiştir.

2011-2013 Arası Alansal Değişim: 11 Ekim 2011 Worldview-1 ve 20 Mayıs 2013 Worldview-2 görüntülerinin eşlenmesi sonrası ocak içerisine doğru yönelen heyelanın değişimi Şekil 4.21’de verilmiştir.



Şekil 4.21 11 Ekim 2011 ve 20 Mayıs 2013 tarihleri arasındaki ocak içi kısmına doğru heyelanın alansal değişimi

Şekil 4.21’de görüldüğü gibi 2011 ve 2013 yılları arasında ocak içi kısmına doğru hareketi gözlenen heyelanda 7,30 m ilerleme tespit edilmiştir.

4.3.1.3 Heyelanın Taç Kısımının İncelenmesi

Tunçbilek Açık Ocak harman sahasında meydana gelen heyelan hareketini incelemek amacıyla heyelanı besleyen ve heyelanın taç kısmı olarak adlandırılan heyelanın arka kısmı da değerlendirmeye alınmıştır. Taç kısmında hareket olmaması heyelanın beslenmediği anlamına geleceğinden taç kısmındaki hareketler de yıllar bazında incelenmiştir.

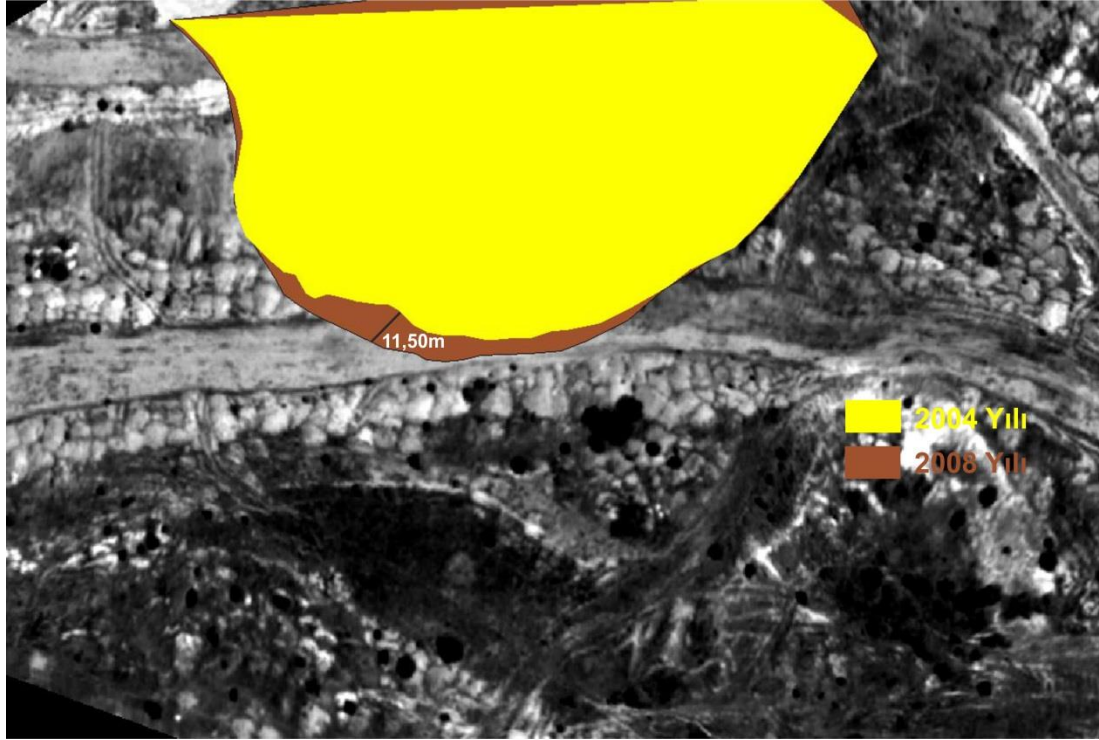
2001-2004 Arası Alansal Değişim: 09 Eylül 2001 İkonos ve 04 Temmuz 2004 Quickbird görüntülerinin eşlenmesi sonrası taç kısmının değişimi Şekil 4.22’de verilmiştir.



Şekil 4.22 09 Eylül 2001 ve 04 Temmuz 2004 tarihleri arasındaki taç kısmı bölgesinin sınırının değişimi

Şekil 4.22’de de görüldüğü üzere heyelanı besleyen heyelanın arka sınırında 2001-2004 yılları arasında 32,30 m den 70,15 m’ye kadar ciddi bir genişleme görülmüştür.

2004-2008 Arası Alansal Değişim: 04 Temmuz 2004 Quickbird ve 18 Temmuz 2008 Worldview-1 görüntülerinin eşlenmesi sonrası taç kısmının değişimi Şekil 4.23’de verilmiştir.



Şekil 4.23 04 Temmuz 2004 ve 18 Temmuz 2008 tarihleri arasındaki taç kısmı bölgesinin sınırının değişimi

2004 -2008 yılları arasında yapılan analiz sonucunda görüldüğü gibi bu yıllar arasında taç kısmı sınırı güney-batı yönüne doğru 11,50 m genişlemiş görülmektedir.

2008-2010 Arası Alansal Değişim: 18 Temmuz 2008 Worldview-1 ve 8 Ağustos 2010 Worldview-2 görüntülerinin eşlenmesi sonrası taç kısmının değişimi Şekil 4.24’da verilmiştir.



Şekil 4.24 18 Temmuz 2008 ve 8 Ağustos 2010 tarihleri arasındaki taç kısmı bölgesinin sınırının değişimi

Şekil 4.24’de de görüldüğü gibi 2008 yılı ile 2010 yılları arasında heyelanın taç kısmında ciddi kırılmalar yaşanmıştır. 2010 yılı ile 2008 yılı arasındaki kırık izlerinin farkı 55,16 m ‘yi bulmuştur

2010-2011 Arası Alansal Değişim: 08 Ağustos 2010 Worldview-2 ve 11 Ekim 2011 Worldview-1 görüntülerinin eşlenmesi sonrası taş kısmının değişimi Şekil 4.25 verilmiştir.



Şekil 4.25 08 Ağustos 2010 ve 11 Ekim 2011 tarihleri arasındaki taş kısmı bölgesinin sınırının değişimi

2010 ve 2011 yılları arasında yapılan analizde taş kısmında 3,20 m lik bölgesel bir hareket görülmüştür.

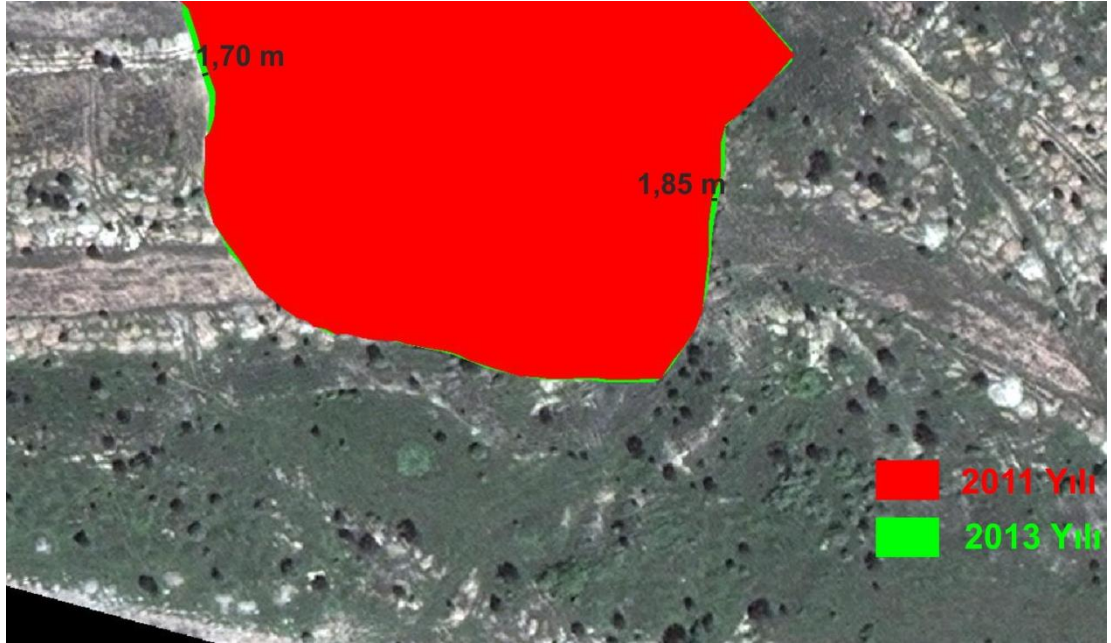
2010-2013 Arası Alansal Değişim: 08 Ağustos 2010 Worldview-2 ve 20 Mayıs 2013 Worldview-2 görüntülerinin eşlenmesi sonrası taç kısmının değişimi Şekil 4.26'da verilmiştir.



Şekil 4.26 08 Ağustos 2010 ve 20 Mayıs 2013 tarihleri arasındaki taç kısmı bölgesinin sınırının değişimi

Yapılan analiz sonucunda 2010-2013 yılları arasında heyelanın taç kısmının doğusunda 4,10 m güneyinde 3,90m batısında ise 5,20 m’lik bir miktar hareket görülmüştür.

2011-2013 Arası Alansal Değişim: 11 Ekim 2011 Worldview-1 ve 20 Mayıs 2013 Worldview-2 görüntülerinin eşlenmesi sonrası taç kısmının değişimi Şekil 4.27’de verilmiştir.



Şekil 4.27 11 Ekim 2011 ve 20 Mayıs 2013 tarihleri arasındaki taç kısmı bölgesinin sınırının değişimi

Yapılan analiz sonucunda 2011-2013 yılları arasında heyelanın taç kısmının doğusunda 1,85 m batısında ise 1,70 m’lik hareketler görülmüştür.

4.3.2 Yersel Lazer Tarayıcı Tekniği (YLS) ile Harman Sahası Hareketinin Takibi

Doktora alışması kapsamında Yrg köyü heyelanı uç kısmının hareket edip etmediğinin izlenmesinde teknolojik gelişmeler doğrultusunda mühendislik uygulamalarına yeni bir boyut kazandıran lazer tarayıcı sistemleri de kullanılmıştır. Çalışma kapsamında yersel lazer tarama cihazı kullanılarak heyelanın uç kısmının hareket edip etmediği 3 boyutlu olarak takip edilmiştir (şekil 4.28).



şekil 4.28 Yrg heyelanı izleme yönteminde kullanılan YLS tarama sistemi (Leica SS II)

3 boyutlu (x,y,z) yersel lazer tarama teknolojisi bölüm 3’de detaylıca anlatıldığı gibi, taranmış bir yapı veya yeryüzü üzerinden elde edilen nokta bulutları yardımıyla, taranmış alanların gerçeğe yakın görüntülerinin oluşturulduğu, modellerinin elde edildiği veri toplama teknolojisi olarak isimlendirilebilir. Bu teknoloji ile yeryüzünde, büyük ölçekli araştırmalarda, karmaşık alanlarda ve düzensiz yüzeylerle birlikte, standart veya standart olmayan yapıların 3 boyutlu verileri doğrudan

toplanabilmektedir. Heyelanların karmaşık ve ölçülmesi oldukça zor bölgelerde meydana geldiği durumlarda bu teknolojiden etkin bir şekilde faydalanılması, araştırmalarda büyük kolaylıklar sağlayabilmektedir. Bu sistemler sayesinde arazi yüzeylerinde çok yoğun, fazla miktarda ve hızlı 3 boyutlu konum bilgisi elde edilmektedir.

4.3.3 Yörgüç Köyü Heyelanında Uygulanan Yersel Lazer Tarayıcı Ölçümleri

Yörgüç heyelanını takip etmek amacıyla kullanılan yersel lazer tarayıcı sistem Şekil 4.29’de verilen iş akışı ile uygulanmıştır.

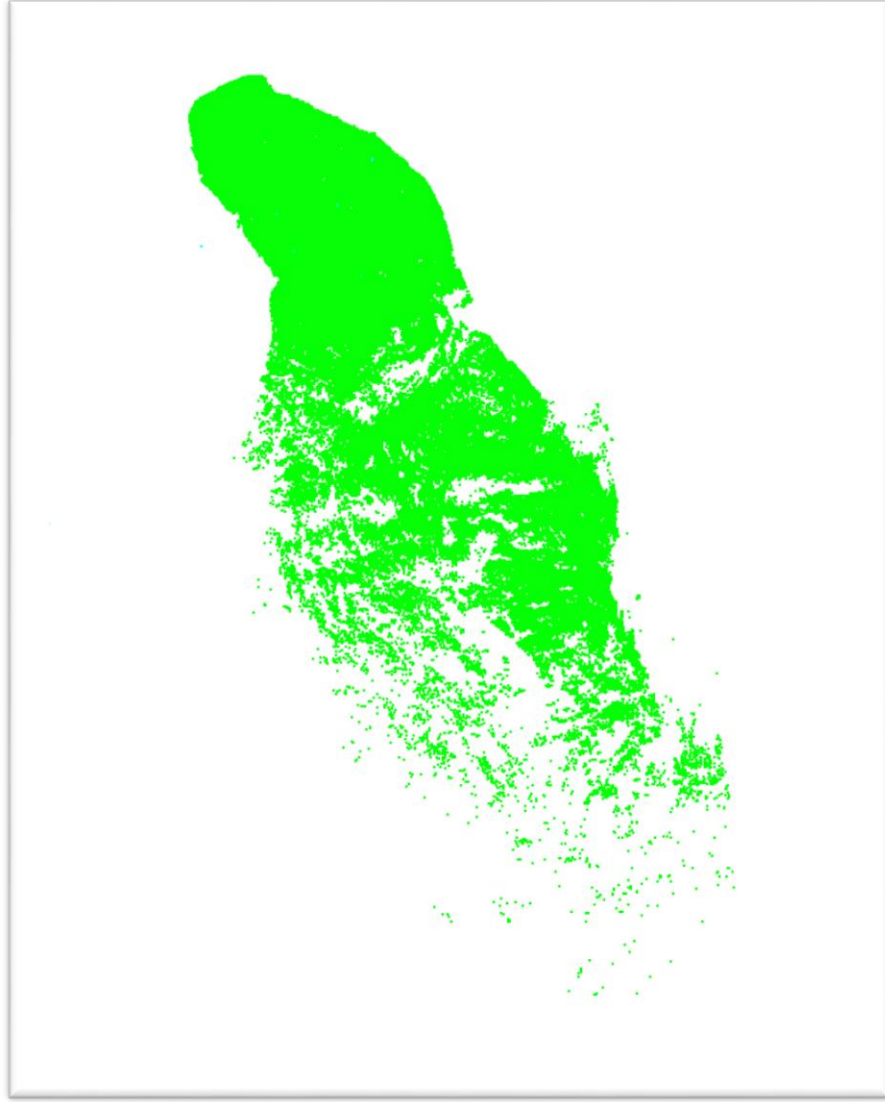


Şekil 4.29 Şev hareketlerinin yersel lazer tarama teknikleri ile izlenmesinde kullanılan işlem adımları

Ölçme planlaması heyelanın meydana geldiği bölgede genel görünüm, sabit ve hareketli alanların tespit edilmesi, YLT cihazının iyi görüşüne sahip istasyon yerlerinin belirlenmesi gibi bir ön çalışmayı kapsamaktadır. Heyelan izleme çalışmaları genellikle iki veya daha fazla çok-zamanlı yapılmalıdır ve hareketlerin belirlenmesi için periyotlar arasındaki zamanın iyi ayarlanması oldukça önemlidir. Ayrıca yer kontrol noktası olarak kullanılması planlanan noktaların yerlerinin belirlenmesi, GPS veya totalstation gibi sistemleri kullanarak jeodezik

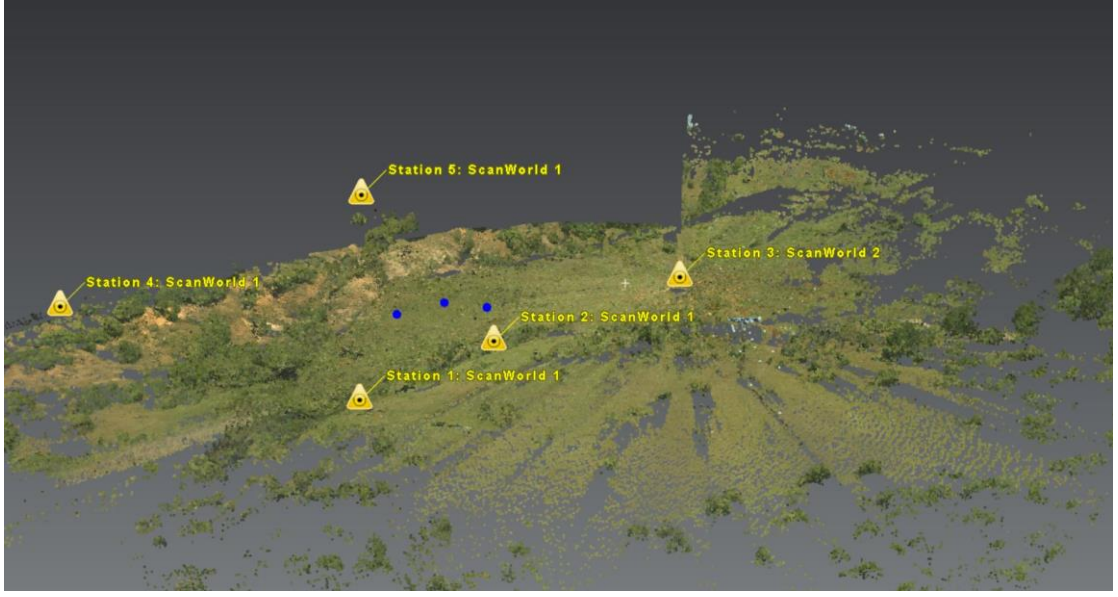
koordinatlarının ölçülmesi gerekir. Yörgüç heyelanı çalışmasında hedeflerin jeodezik koordinatlarının belirlenmesinde 2 cm hassasiyet ile konum ölçebilen GNSS sistemi kullanılmıştır.

Yörgüç köyü heyelanının YLT ile izlenmesine yönelik ilk ölçüm 22 Ocak 2014 tarihinde yapılmıştır. Tarama, heyelanın köye yakın olan uç kısmında 3 istasyon kurularak gerçekleştirilmiştir. Tarama yoğunluğu 300m mesafede 5cm x 5cm hassasiyetle gerçekleştirilmiştir. Tarama sonucu elde edilen 3 istasyona ait nokta bulutlarının değerleri 3 hedef kullanılarak birleştirilmiştir. Daha sonra hedeflerin merkezinden GNSS ile elde edilen jeodezik koordinat değerleri kullanılarak birleştirilmiş olan nokta bulut değerleri jeodezik koordinatlara dönüştürülmüştür. Heyelan bölgesine ait nokta bulutunun belirgin bir şekilde ortaya konması için heyelan dışı bölgelere ait olan veriler temizlenmiştir. İlk ölçüme olan 22 Ocak 2014 tarihine ait nokta bulutu Şekil 4.30'de verilmiştir.

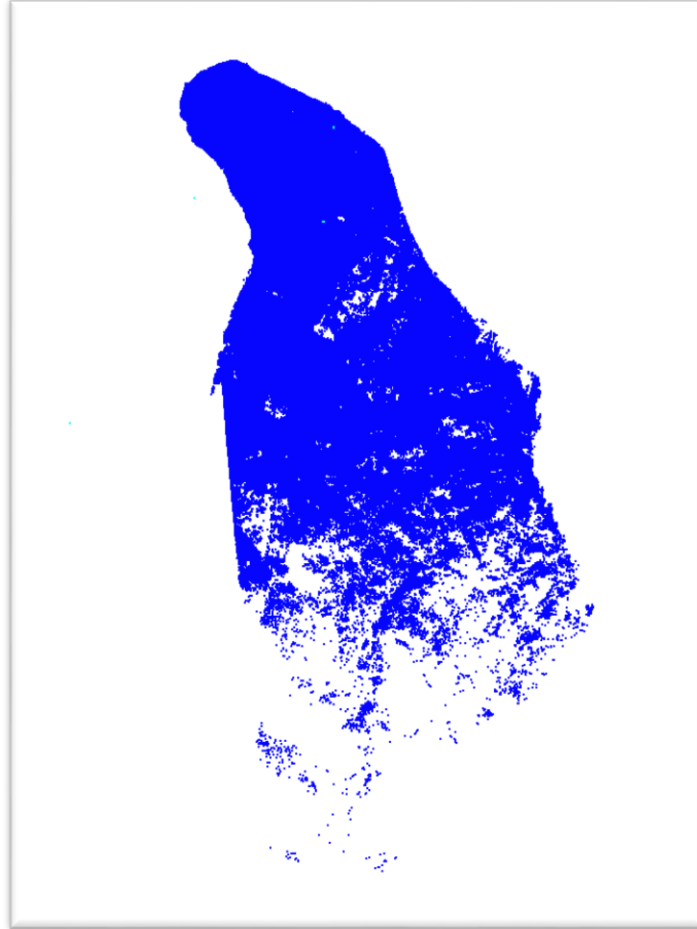


Şekil 4.30 Yörgüç Köyü heyelanı 1. ölçüme ait nokta bulutu görüntüsü

Yörgüç köyü heyelanının TLS ile izlenmesine yönelik ikinci ölçüm 12 Şubat 2014 tarihinde yapılmıştır. Tarama alanı heyelanın köye yakın olan uç kısmında 5 istasyon kurularak gerçekleştirilmiştir(Şekil 4.31). Tarama yoğunluğu 300m mesafede 5cm x 5cm duyarlılıkla gerçekleştirilmiştir. Tarama sonucu elde edilen 5 istasyona ait nokta bulutları 3 hedef kullanılarak birleştirilmiştir. Daha sonra GNSS ile hedeflerden alınan jeodezik koordinat değerleri kullanılarak birleştirilmiş olan nokta bulut değerleri jeodezik koordinatlara dönüştürülmüştür. Heyelan dışı bölgelere ait olan nokta bulutu verileri temizlenmiştir. İkinci ölçüme ait nokta bulutu dağımı Şekil 4.32’de verilmiştir.

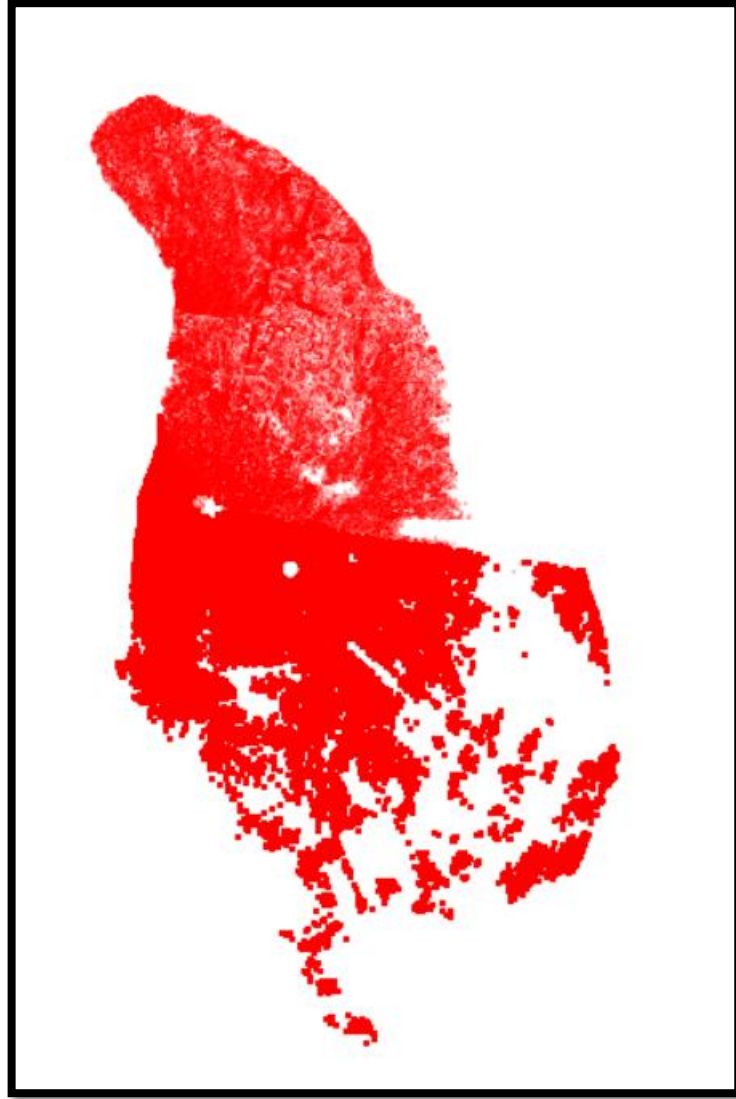


Şekil 4.31 Yörgüç Köyü heyelanı ölçümlerine ait istasyon konumları (1. ölçümde 1,4 ve 5 nolu istasyonlar kullanılmıştır, 2 ve 3. ölçümde 5 istasyonun tamamı kullanılmıştır).



Şekil 4.32 Yörgüç köyü heyelanı 2. ölçüme ait nokta bulutu görüntüsü

Yörgüç köyü heyelanının YLT ile izlenmesine yönelik üçüncü ve son ölçüm 13 Haziran 2014 tarihinde yapılmıştır. Tarama alanı heyelanın köye yakın olan uç kısmında yine 5 istasyon kurularak gerçekleştirilmiştir. Tarama yoğunluğu 300m mesafede 5cm x 5cm duyarlılıkla gerçekleştirilmiştir. Tarama sonucu elde edilen 5 istasyona ait nokta bulutları benzer şekilde 3 hedef kullanılarak birleştirilmiştir ve GNSS ile hedeflerden alınan jeodezik koordinat değerleri kullanılarak birleştirilmiş olan nokta bulut değerleri jeodezik koordinatlara dönüştürülmüştür. Heyelan dışı bölgelere ait olan nokta bulutu verileri temizlenmiştir. İkinci ölçüme ait nokta bulutu dağımı Şekil 4.33’de verilmiştir.



Şekil 4.33 Yörgüç köyü heyelanı 3. ölçüme ait nokta bulutu görüntüsü

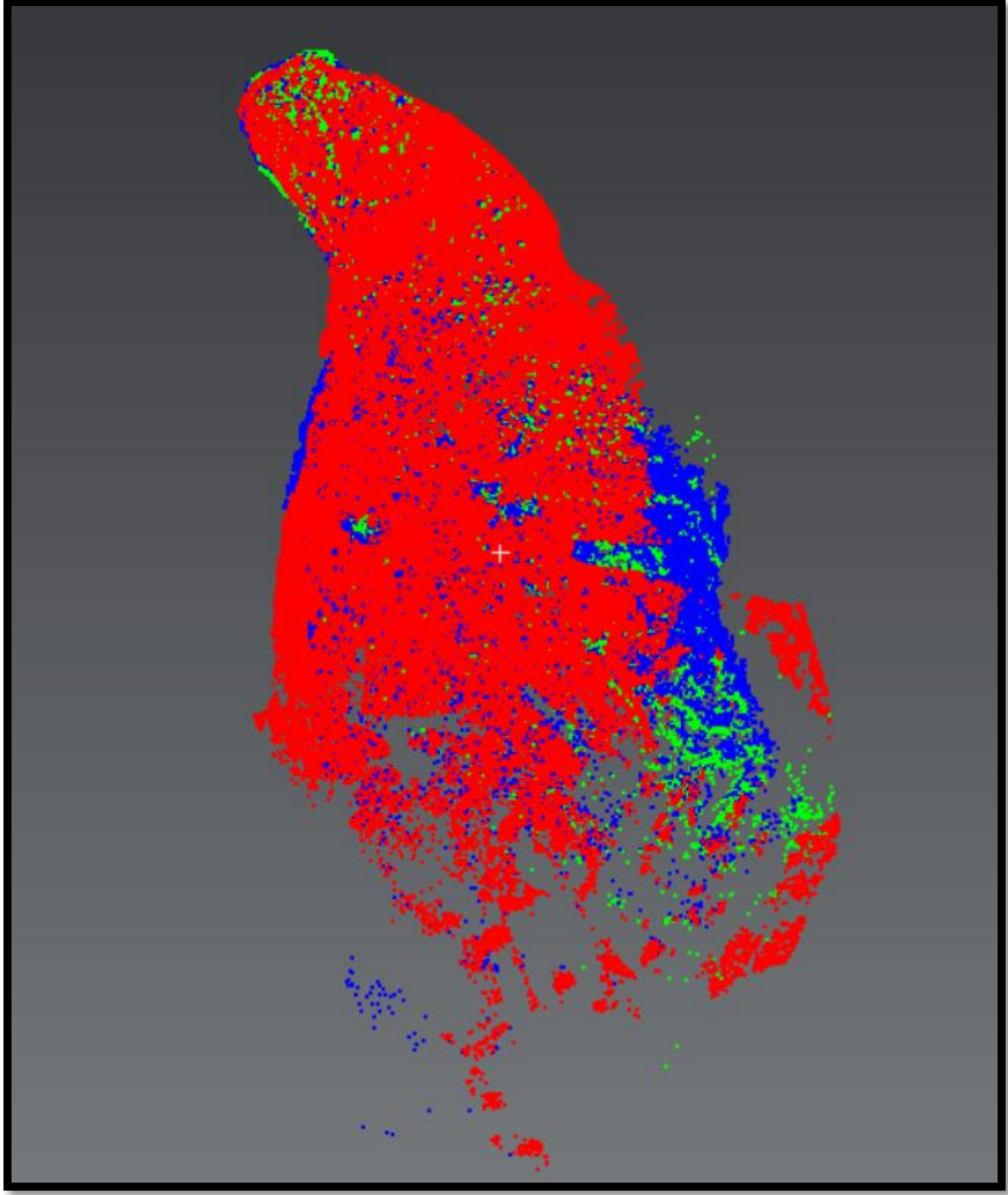
4.3.4 TKİ GARP Linyitleri İşletmesi Açık Ocak Harman Sahasındaki Yersel Lazer Tarayıcı Ölçümlerinin Değerlendirilmesi

Yörgüç Köyü heyelanı izlemesinde kullanılan YLT sistemi ile 3 adet ölçüm yapılmıştır. Bu ölçümlere ait nokta bulutu görüntüleri üst üste çakıştırılmış olarak Şekil 4.34’da verilmiştir. Birleştirme sırasında hedeflerin konum ölçümlerinden kaynaklı birleştirme hataları tablo 4.3’de gösterilmiştir. Bu hata oranları aynı zamanda çalışmanın hassasiyetini göstermektedir.

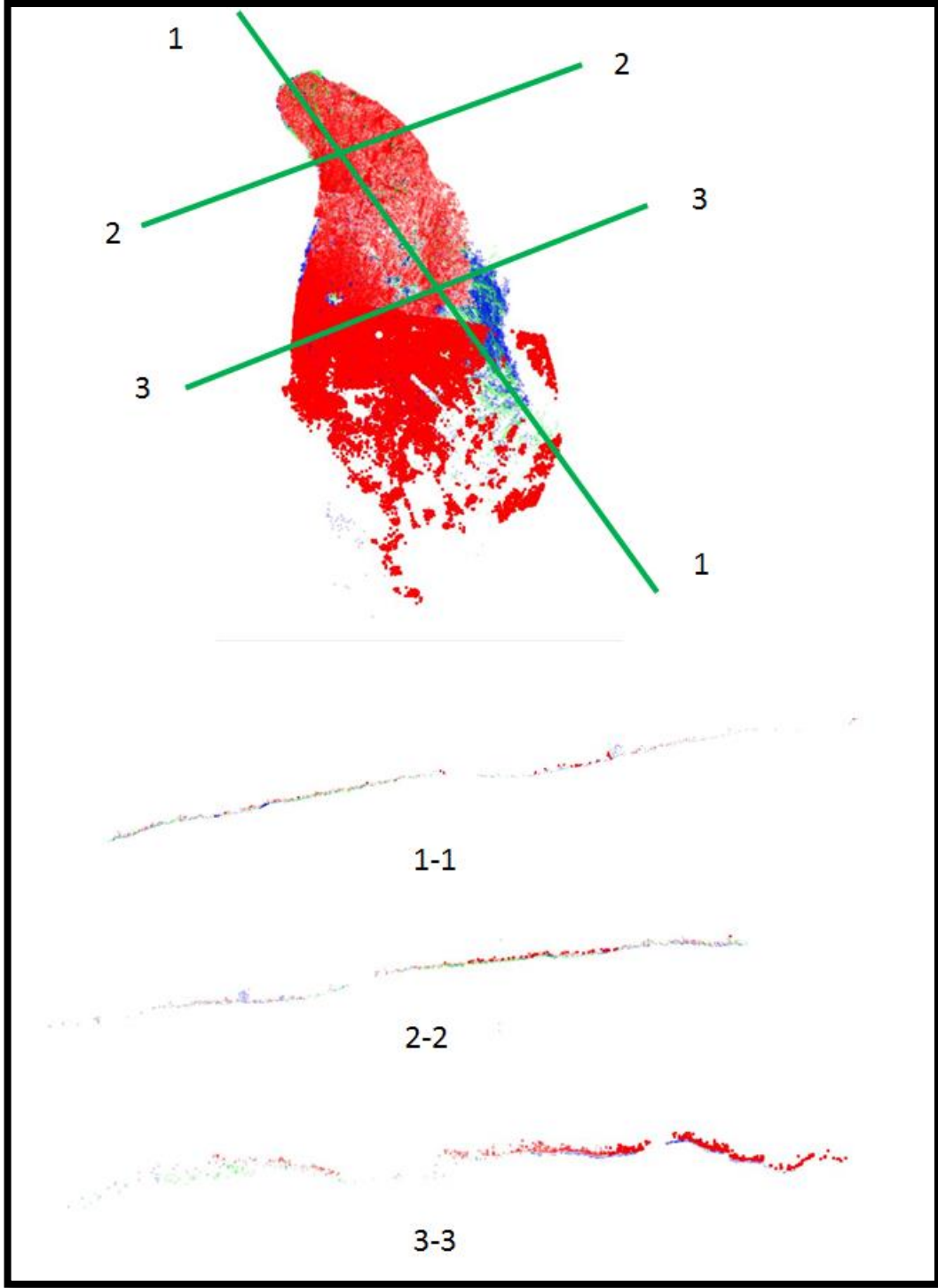
Tablo 4.3 Nokta bulutlarını birleştirme sırasında meydana gelen hata miktarları

Ölçüm	Ölçüm Tarihi	Birleştirme Hatası
1.Ölçüm	22.01.2014	2,6 mm
2.Ölçüm	12.02.2014	2,2 mm
3.Ölçüm	03.06.2014	1,8 mm

Görüntülerden elde edilen verilere göre 3 ölçüm arasında heyelan sınırlarında bir değişim görülmemektedir. Yüzeydeki değişimleri görebilmek amacıyla ise farklı yönlerde, birleştirilmiş nokta bulutlarından kesitler alınmıştır (Şekil 4.35). Kesit görüntüleri analiz edildiğinde yüzeyde anlamlı bir değişim görülmemektedir. Sadece heyelan malzemesinin özelliğinden, mevsimsel bitki örtüsünden kaynaklanan ve yine mevsimsel yağış ve sıcaklığa bağlı olarak yüzeyde, yerel küçük ölçekli kabarmalar görülmektedir.



Şekil 4.34 Yörgüç köyü heyelanı 1,2 ve 3. ölçümlere ait birleştirilmiş nokta bulutu görüntüsü (Yeşil renk: 1. ölçüm nokta bulutu; Mavi renk: 2. ölçüm nokta bulutu; Kırmızı renk: 3. ölçüm nokta bulutu)



Şekil 4.35 Yörgüç köyü heyelanı 1-2. ölçümlere ait birleştirilmiş nokta bulutu görüntülerinden alınan kesitler (Yeşil renk: 1. ölçüm nokta bulutu; Mavi renk: 2. ölçüm nokta bulutu; Kırmızı renk: 3. ölçüm nokta bulutu)

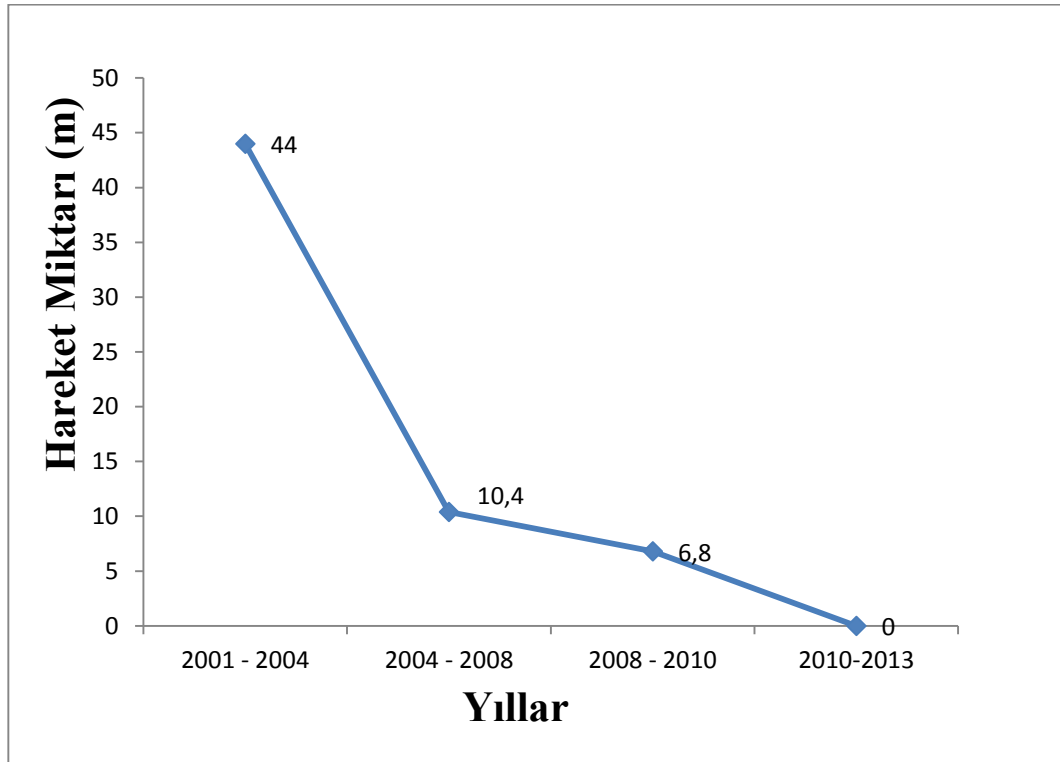
4.3.5 Uydu Görüntüleri Üzerinden Yapılan Analizlerin Değerlendirilmesi

TKİ GARP Linyit İşletmeleri Yörgüç Köyü heyelan sahasında heyelan hareketi karakterize etmek için 7 farklı uydu görüntüleri üzerinde 3 ayrı bölgede çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışma sonunda heyelanın

Köy Ucu Kısımında :

2001 yılından 2010 yılına kadar azalan bir ivme ile hareket olduğu belirlenmiştir. Bu yıllar arasında kayan kütle sadece ileri doğru değil aynı zamanda farklı yönlere doğrudan genişleme göstermiştir. 2001 ile 2010 yılları arasında heyelanın uç kısmının hareket gelişimi grafik üzerinde Şekil 4.36'da gösterilmiştir.

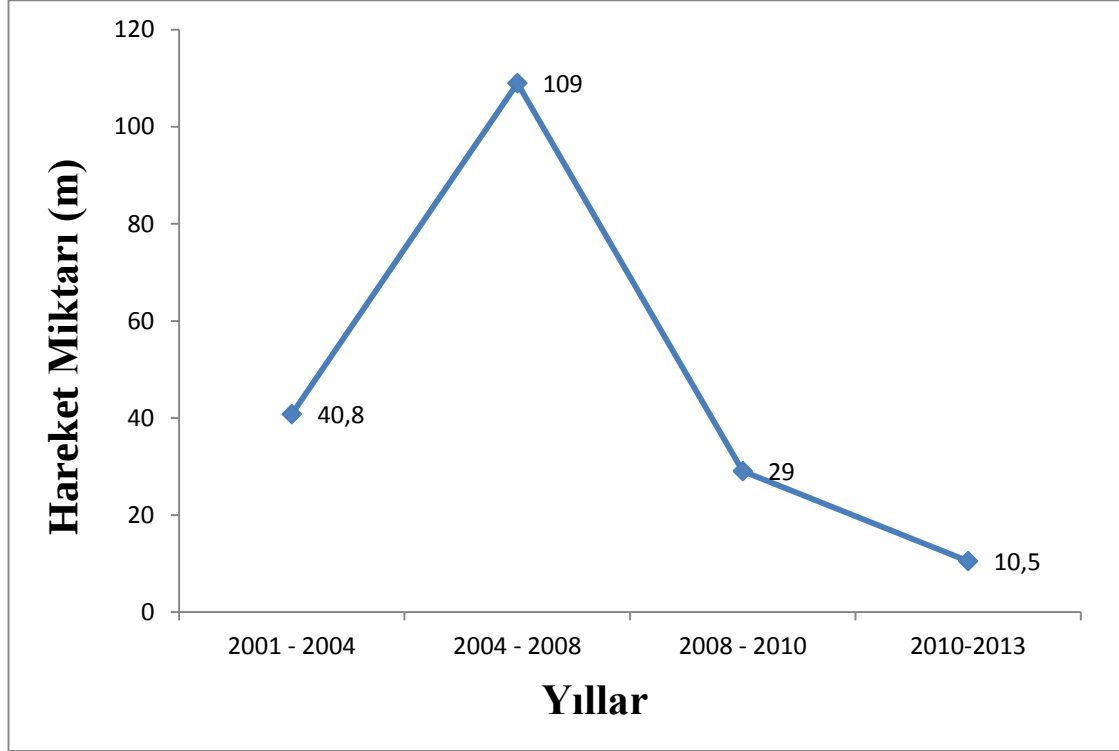
2010 ve 2013 yılları arasında ise heyelanın köye giden ucunda herhangi bir hareket olmadığı hem uydu görüntüleri analizinde hemde GNSS ölçümlerinin uydu görüntüleri üzerine yerleştirilerek yapılan analizlerde görülmüştür. 2010 ve 2013 yılları arasında heyelanın köy ucu tarafında kayan kütlenin kuzey ve güney kısmında yerel küçük hareketler belirlenmiştir.



Şekil 4.36 Yıllar bazında köy ucu kısmında heyelan ucunun hareketinin gelişimi

Ocak içi kısmı:

Heyelanın iki kolundan biri olan ve ocak içerisine doğru ilerleyen kolda hareketin devam ettiği görülmektedir. En büyük hareketin 2004-2008 yılları arasında olduğu bu kolda 2008 yılından itibaren hareketin ilerleme hızı azalmıştır (Şekil 4.37). 2010 yılından sonra tüm heyelanın özellikle yüksek eğiminden kaynaklı sadece bu yöne doğru hareket ettiği düşünülmektedir.



Şekil 4.37 Yıllar bazında ocak içi kısmında heyelan ucunun hareketinin gelişimi

Taç Kısmı:

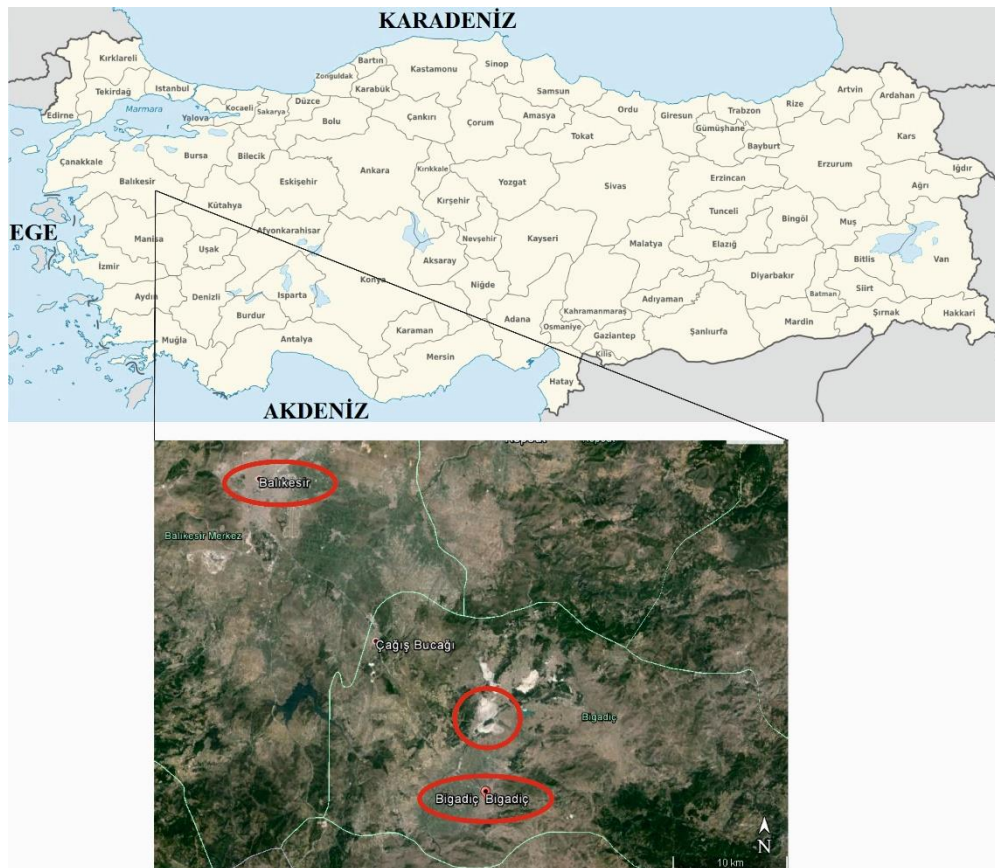
Heyelan hareketinin başlangıç noktası olan bu kısım akan kolların daha iyi anlaşılabilmesi için analiz edilmiştir. Yapılan çalışma taç kısmı sınırının genişlemesi irdelenmiştir. Analizler sonunda taç kısmının sınırında özellikle 2001-2010 yılları arasında ciddi genişleme olduğu 2010 yılından sonra taç kısmının bir bölümünde ve yanlarda bir miktar düşmeler olduğu görülmüştür. 2010-2013 yılları arasında heyelanın ciddi bir şekilde beslendiğinin görülmemesi ocak iç kısmında görülen hareketin daha önce hareket etmiş olan kütlelerin kendi içerisindeki hareketi olarak yorumlanmıştır.

4.3.6 Yersel Lazer Tarayıcı Tekniği ile Harman Sahası Hareketinin Takibine ait Yapılan Çalışmanın Değerlendirilmesi

Yörgüç Köyü tarafına doğru yönelen heyelanın takibinde kullanılan yersel lazer tarayıcı sistemi ile 3 farklı tarihte alınan nokta bulutu verileri üst üste konulup bu nokta bulutları üzerinden kesit alınarak yapılan değerlendirmede heyelanın uç kısmında herhangi bir harekete rastlanmamıştır. Nokta bulutu verileri değerlendirildiğinde heyelan malzemesinin özelliğinden, mevsimsel bitki örtüsünden kaynaklanan ve yine mevsimsel yağış ve sıcaklığa bağlı olarak yüzeyde, bazı bölgelerde yerel küçük ölçekli kabarmalar görölmektedir.

4.4 ETİ Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü Simav Ocağı Heyelanı Takip Çalışmaları

ETİ Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğüne bağlı bulunan Simav Açık Ocağı Bigadiç ilçesinin kuzeydoğusunda bulunan Osmanca köyü sınırları içinde kurulmuştur. İlçenin Balıkesir’e kuş uçuşu uzaklığı 36 km, İzmir’e kuş uçuşu uzaklığı ise yaklaşık 130 km dir (Şekil 4.38).



Şekil 4.38 Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü Simav açık ocağı yer bulduru haritası

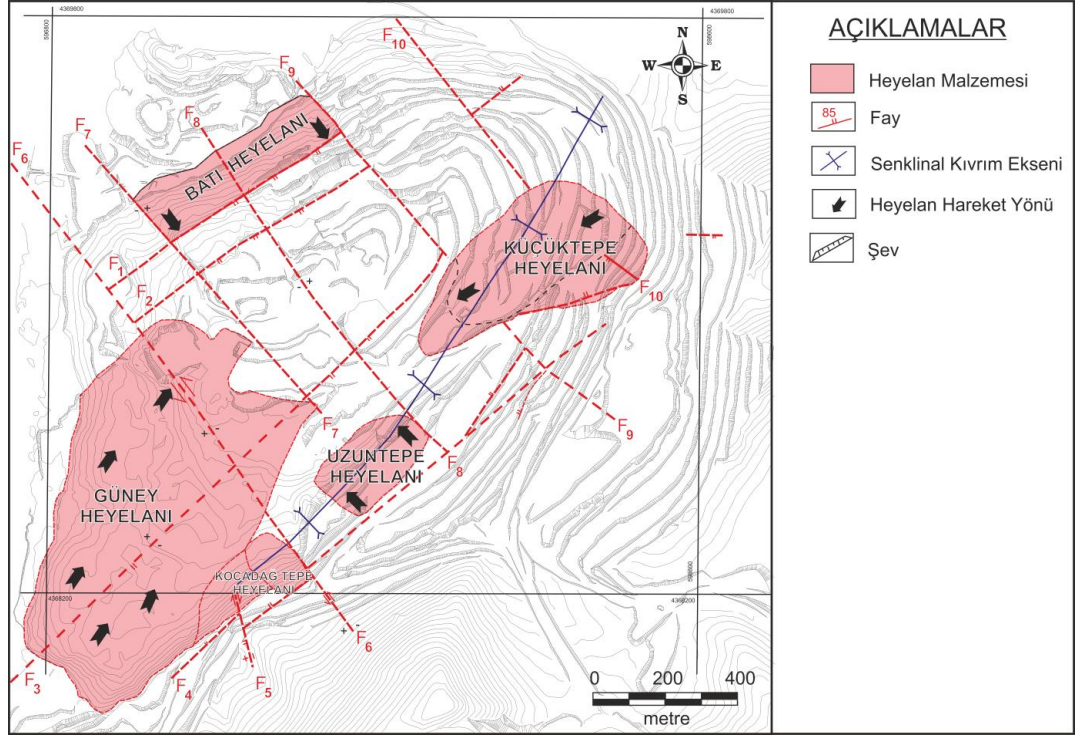
Simav Açık Ocağı işletmenin faal üç açık ocağından biri olup, Simav Açık Ocağı üst boratlı zonda Kuzeydoğu-Güneybatı doğrultulu senklinalin kuzey kanadında olup, sahada cevherleşme 4-6 damar halinde bulunmaktadır. Damarların doğrultusu N55E 200 SE'dir. Ortalama cevher zonu kalınlığı 40 metre, ortalama net cevher kalınlığı 23 metredir. Cevher damarları arasında 3-6 m. kalınlığında kil-kireçtaşı-

marn tabakaları mevcuttur. Cevher cinsi ve kalınlıkları Tablo 4.4’de verilmiştir. (Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü, 2014)

Tablo 4.4 Eti Maden Bigadiç Simav Ocağı cevher cinsi ve kalınlığı

Damar No	Cevher Cinsi	Kalınlığı (m)
1	Kolemanit	2-4
2	Kolemanit	4-5
3	Kolemanit, Üleksit	5-10
4	Üleksit, Kolemanit	3-5
5	Üleksit, Kolemanit	1-3
6	Kolemanit	1-2

ETİ Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü Simav Açık Ocağında oluşturulan şevler, ocağın kuzeydoğusunda Küçüktepe bölgesi olarak adlandırılan bölgede +268 m kotu ile +34 m kotu arasında, ocağın doğusunda +294 m ile +34 m arasında, ocağın güneyinde ise +133 m kotu ile +34 m kotu arasında oluşturulmuştur. Yapılan ocak planlamasına göre ocak çukuru +20 m kotuna kadar inecektir. Mevcut durumda ocağın çeşitli bölgelerinde ciddi şev hareketlerinin olduğu görülmüş, ocağın derinleştirilmesi halinde mevcut hareketin çok daha büyük soruna yol açacağı öngörülmüştür. Simav ocağında meydana gelen heyelanları gösteren heyelan haritası Şekil 4.39’da verilmiştir. Heyelan haritası üzerinde batıda “Batı Heyelanı”, kuzeydoğuda “Küçüktepe Heyelanı”, güneyde “Güney Heyelanı” ve “Kocadağ Tepe Heyelanı” ve güneydoğuda “Uzuntepe Heyelanı” gösterilmiştir. “Güney Heyelanı” olarak isimlendirilen kütle hareketi, akma şeklinde Kuvaterner yaşlı güncel flüvial sedimanter kayalar ve alüvyonda gerçekleşmiştir.



Şekil 4.39 Simav ocağı içerisinde haritalanan heyelan sahaları

4.4.1 Simav Ocağı Küçüktepe (Doğu) ve Güney Heyelanlarında Uygulanan Yersel Lazer Yöntemi (YLT)

Tez çalışması kapsamında yapılan çalışmada ocak için ciddi tehlike oluşturan güney ve Küçüktepe heyelanları üzerinde takip işlemleri yersel lazer tarayıcı sistem ile gerçekleştirilerek şev hareketleri karakterize edilmeye çalışılmıştır. Tez kapsamında şev hareketlerinin izlenmesinde kullanılan YLT tekniği Tunçbilek çalışmasında olduğu gibi Şekil 4.40’da verilen iş akışı ile uygulanmıştır.



Şekil 4.40 Şev hareketlerinin yersel lazer tarama teknikleri ile izlenmesinde kullanılan işlem adımları

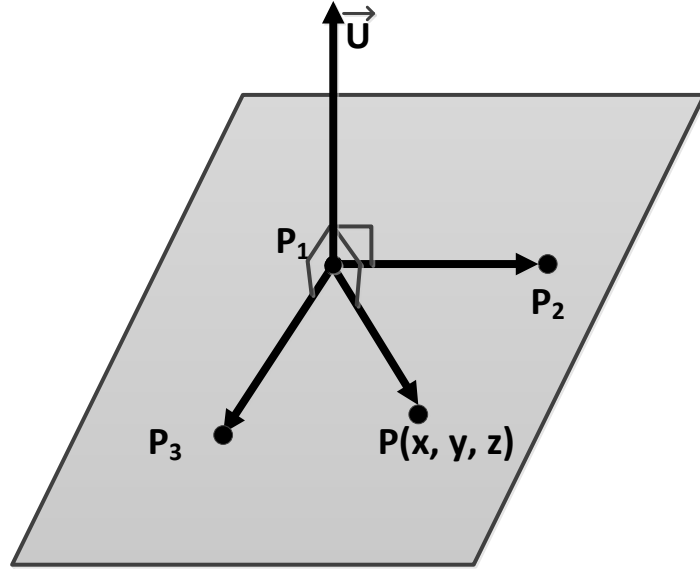
Ocakta meydana gelen hareketlerin hareket yönünü bulmak amacıyla lazer tarayıcı ile yapılan ölçümlerden sonra ölçüm sonucunda oluşturulan nokta bulutlarından 15 m genişliğinde kesit alınmıştır. Alınan kesitlerin yüzeylerinden 3 nokta (doğrusal olmayan ve X,Y,Z koordinat değerlerine sahip) alınarak yüzey oluşturulmuş ve yüzeylerin dik vektörlerinin eğim açısı ve eğim yönleri ile birim dik vektörlerin koordinatları belirlenmiştir. Elde edilen veriler stereonet üzerinde tanımlanmış ve yüzeylerin hareket yönleri belirlenmiştir.

Eğim ve eğim açıları bulunurken üç nokta Deliormanlı ve diğer. (2014) tarafından;

$$P_1(x_1, y_1, z_1), P_2(x_2, y_2, z_2), P_3(x_3, y_3, z_3)$$

$$Ax + By + Cz + D = 0 \quad (4.1)$$

Şeklinde tanımlanmıştır. Burada (A,B,C,) düzleme dik olan normal vektörü tanımlar (Şekil 4.41).



Şekil 4.41 Düzleme ait normal vektör

Düzlem ise;

$$[A, B, C] = \overrightarrow{P_1P_2} \times \overrightarrow{P_1P_3} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ x_2 - x_1 & y_2 - y_1 & z_2 - z_1 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 & z_3 - z_1 \end{vmatrix} = \vec{U}$$

$$\begin{aligned} \vec{U} = & \vec{i}[(y_2 - y_1)(z_3 - z_1) - (z_2 - z_1)(y_3 - y_1)] \\ & - \vec{j}[(x_2 - x_1)(z_3 - z_1) - (z_2 - z_1)(x_3 - x_1)] \\ & + \vec{k}[(x_2 - x_1)(y_3 - y_1) - (y_2 - y_1)(x_3 - x_1)] \end{aligned}$$

P1 noktasından geçen ve normal vektörü $\vec{U}$ olan düzlem;

$$\vec{U} \cdot \overrightarrow{P_1P} = 0 \quad (4.2)$$

$$A(x - x_1) + B(y - y_1) + C(z - z_1) = 0 \quad (4.3)$$

$$Ax + By + Cz - Ax_1 - By_1 - Cz_1 = 0 \quad (4.4)$$

$$D = -Ax_1 - By_1 - Cz_1 \quad (4.5)$$

Bu hesaplamalarda “D” gerekli değildir.

Düzlemin normal vektörü birim normal vektöre çevrilmiştir.

$$\underline{\vec{V}} = \frac{\vec{U}}{\|\vec{U}\|} = \frac{1}{\sqrt{A^2+B^2+C^2}} [A, B, C] \quad (4.6)$$

$$= (a, b, c)$$

(a,b,c) vektörü küresel koordinata çevrilmiştir,

$$a = r \sin \varphi \cos \theta \quad (4.7)$$

$$b = r \sin \varphi \sin \theta \quad (4.8)$$

$$c = r \cos \varphi \quad (4.9)$$

Hesaplamalar birim vektör üzerinden yapıldığı için r her zaman 1'e eşittir.

$$\cos \varphi = c \quad (4.10)$$

$$\tan \theta = b/a \quad (4.11)$$

4.4.2 Simav Ocağı Güney Heyelanı YLT Ölçümleri

Simav açık ocağı güney kısmında gözlenen ve güney heyelanı olarak adlandırılan bu şev duraysızlığı normal bir basamak şev hareketinden çok marnlı ve kil ara bantlı tüflerin üzerinde yer alan 8-10 m kalınlığında alüvyon malzemenin akması şeklinde oluşmuştur(Şekil 4.42 a-b). Daha önce Simav çayının dere yatağı olan heyelanlı alan, Simav çayının derivasyon kanalına alınmasından sonra ocak kazı planı içerisine alınmıştır. Ancak zaman içerisinde Simav Çayı derivasyon kanalından sürekli olarak su beslemesinin de etkisiyle bu alüvyon malzeme duraylılığını kaybederek ocak içerisine doğru harekete geçmiştir(Şekil 4.43).

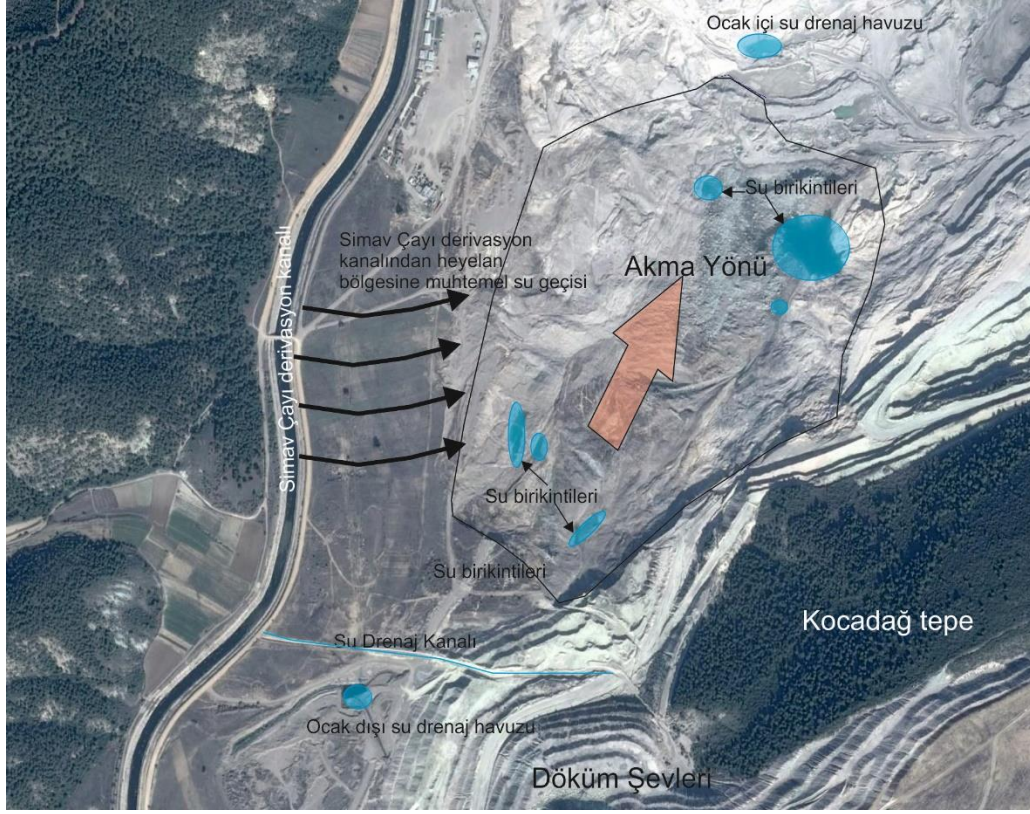


(a)



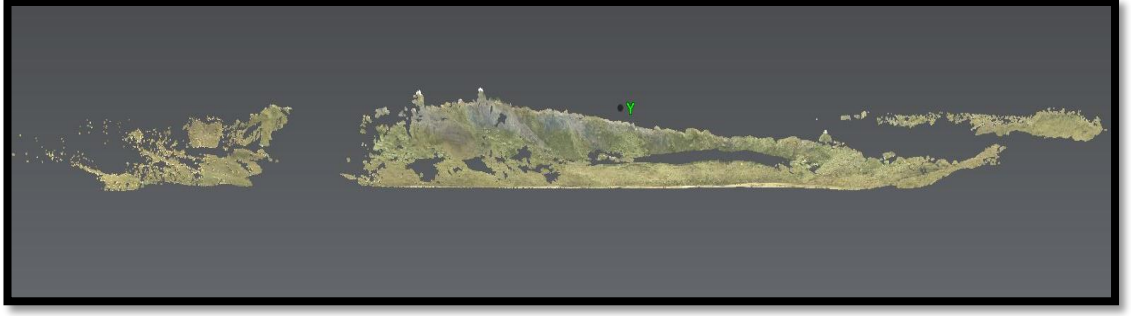
(b)

Şekil 4.42 Güney heyelanından görünüm



Şekil 4.43 Güney heyelanının hareketi

Simav ocağı güney heyelanının YLT ile izlenmesine yönelik ilk ölçüm 22 Mart 2014 tarihinde, ikinci ölçüm 16 Nisan 2014’de yapılmıştır. Tarama, heyelan bölgesinin uç kısmında bir istasyon ve heyelan bölgesinin doğusunda bulunan basamaklarda bir istasyon olmak üzere toplam iki istasyon noktasında gerçekleştirilmiştir. Tarama yoğunluğu, her iki ölçümdeki istasyon noktalarından 300 m mesafede 5 cm x 5 cm hassasiyet ile gerçekleştirilmiştir. Tarama sonucu elde edilen 2 istasyona ait nokta bulutlarının değerleri 3 hedef kullanılarak birleştirilmiştir. Daha sonra hedeflerin merkezinden GNSS ile elde edilen jeodezik koordinat değerleri kullanılarak birleştirilmiş olan nokta bulut değerleri jeodezik koordinatlara dönüştürülmüştür. Heyelan bölgesinin nokta bulutu olarak daha belirgin hale getirilmesi için heyelan dışı bölgelere ait olan veriler temizlenmiştir. Güney heyelanına ait örnek bir nokta bulutu dağılımı Şekil 4.44’de verilmiştir.



Şekil 4.44 Güney heyelanı uç kısma ait nokta bulutu görüntüsü (1. Ölçüm)

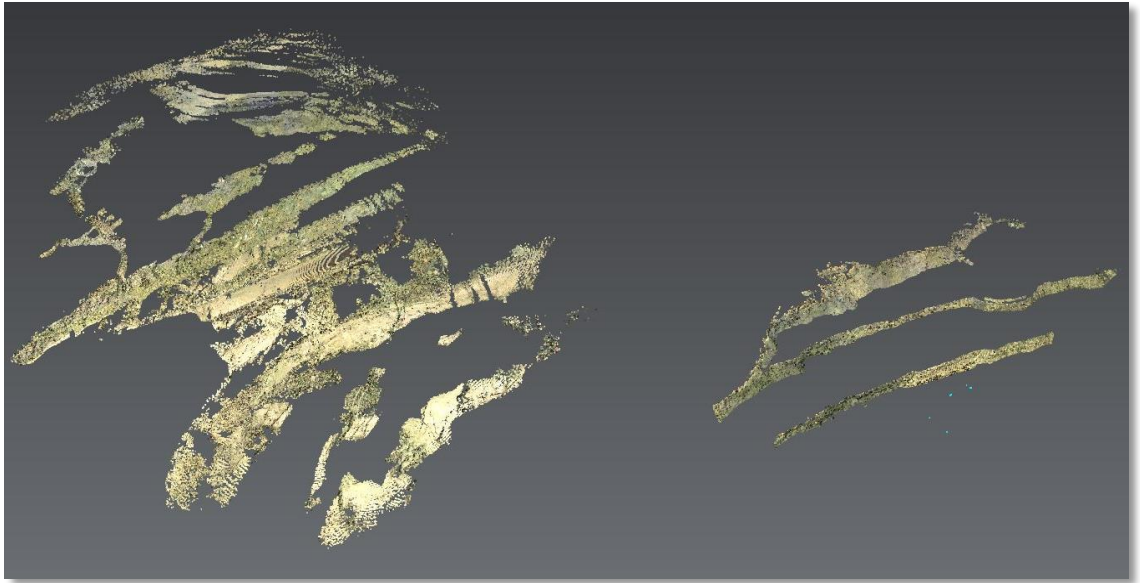
4.4.3 Simav Ocağı Küçüktepe (Doğu) Heyelanı YLT Ölçümleri

Simav açık ocağının kuzey kısmının doğusunda +268 m ile +34 m arasındaki dekapaj kazısı şevleri Küçüktepe bölgesi olarak tanımlanmıştır. Mevcut durumda ocak içinde gözlenen blok hareketlerine bağlı şev duraysızlıkları en fazla bu bölgede gözlenmektedir. Bu bölgede cevherli zon üzerinde killi kireçtaşları seviyesinde yer alan organik içerikli killer ve özellikle süreksizlik denetimli kama şeklinde blok hareketleri mevcut şevlerin duraysızlık mekanizmasını ortaya koymaktadır. Mevcut durumda +110 m kotu ile +40 m kotu şevlerinde bu mekanizma ile blok şeklinde devrilme öne çıkma hareketi devam etmektedir (Şekil 4.45).



Şekil 4.45 Simav ocağı Küçüktepe (doğu) heyelanı görüntüsü

Simav ocağı doğu heyelanının YLT ile izlenmesine yönelik ilk ölçüm 23 Mart 2014 tarihinde, ikinci ölçüm ise 22 Nisan 2014'de yapılmıştır. Tarama, doğu şevleri üzerinde 102m kotunda basamak yüzeyinde iki istasyon ve 33m kotunda bir istasyon olmak üzere toplam üç istasyon noktasında gerçekleştirilmiştir. Tarama yoğunluğu her iki ölçümdeki istasyon noktalarından 300m mesafede 5 cm x 5 cm duyarlılıkla gerçekleştirilmiştir. Tarama sonucu elde edilen 3 istasyona ait nokta bulutlarının değerleri 3 hedef kullanılarak birleştirilmiştir. Daha sonra hedeflerin merkezinden GNSS ile elde edilen jeodezik koordinat değerleri kullanılarak birleştirilmiş olan nokta bulut değerleri jeodezik koordinatlara dönüştürülmüştür. Heyelan bölgesinin nokta bulutu olarak daha belirgin hale getirilmesi için heyelan dışı bölgelere ait olan veriler temizlenmiştir. Güney heyelanına ait örnek bir nokta bulutu dağılımı Şekil 4.46'da verilmiştir.



Şekil 4.46 Doğu heyelanına ait nokta bulutu görüntüsü (2. Ölçüm)

4.4.4 Simav Ocağı Yersel Lazer Tarayıcı Ölçümlerinin Değerlendirilmesi

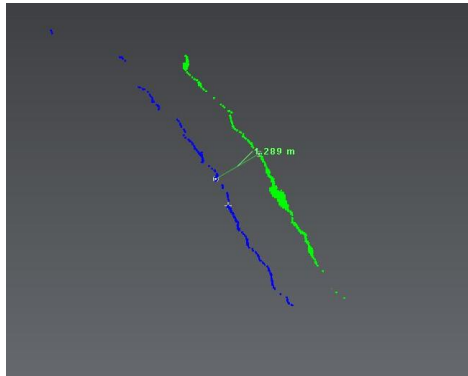
Simav ocağı güney ve doğu heyelanları izlemesinde kullanılan YLT sistemi ile 2 farklı tarih aralığında ikişer adet yapılan ölçümlerden elde edilen nokta bulutu verileri, Cyclone 8.1 yazılımı ile birleştirilmiş ve değerlendirilmiştir. Nokta bulutlarının birleştirilmesi işleminde ilk ölçümdeki nokta bulutları 2,8 mm

hassasiyetle birleştirilmişken, ikinci ölçüme ait birleştirme hassasiyeti 2,5mm'dir. Ölçümlerin değerlendirmesinde ilk taramalara ait nokta bulutları yeşil renkli, ikinci taramalara ait nokta bulutları mavi renkte belirtilmiştir. Güney ve doğu heyelanları, nokta bulutu değerlendirmelerinde kendi içinde alt bölgelere ayrılmıştır (Tablo 4.5). Tüm ölçümlerin toplamında 156 125 702 adet x-y-z nokta ile nokta bulutu elde edilmiş ve değerlendirilmiştir.

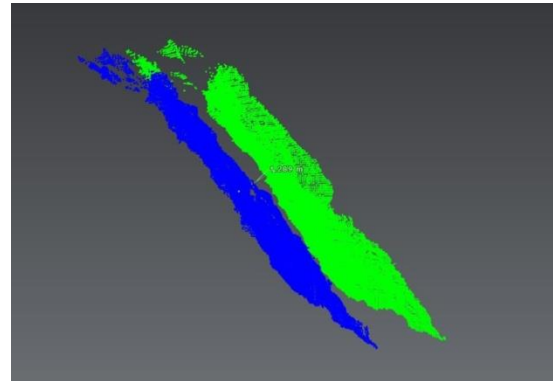
Tablo 4.5 Heyelan değerlendirmeleri için tanımlanan alt bölgeler

Güney Heyelanı	Doğu Heyelanı
Güney uç	Doğu alt
Güney Doğu	Doğu orta
	Doğu üst

Heyelan bölgelerindeki hareket miktarları ve yönlerini belirlemek için birleştirilmiş nokta bulutu verileri üzerinde kesitler alınmıştır. Kesitler, sistematik olarak 50 m aralıkta ve 10 cm kesit yüzeyi olarak alınmıştır (Şekil 4.47-a). Hareket görülen kesit yüzeyleri hareket yönünü belirlemek için 15 m kesit alanına genişletilmiştir (Şekil 4.47-b). Genişletilen ilk ve ikinci taramalara ait yüzeylerdeki nokta bulutlarından yüzeylerin eğim yönleri ve eğimlerini belirlemek için üç nokta (doğrusal olmayan ve X,Y,Z koordinat değerlerine sahip) alınmıştır. Bu noktalar kullanılarak üç nokta ile yüzey oluşturma metodu ile yüzeylerin birim dik vektörlerinin eğim açısı ve eğim yönleri ile birim dik vektörlerin koordinatları belirlenmiştir. Elde edilen veriler stereonet üzerinde tanımlanmış ve yüzeylerin hareket yönleri belirlenmiştir.



(a)



(b)

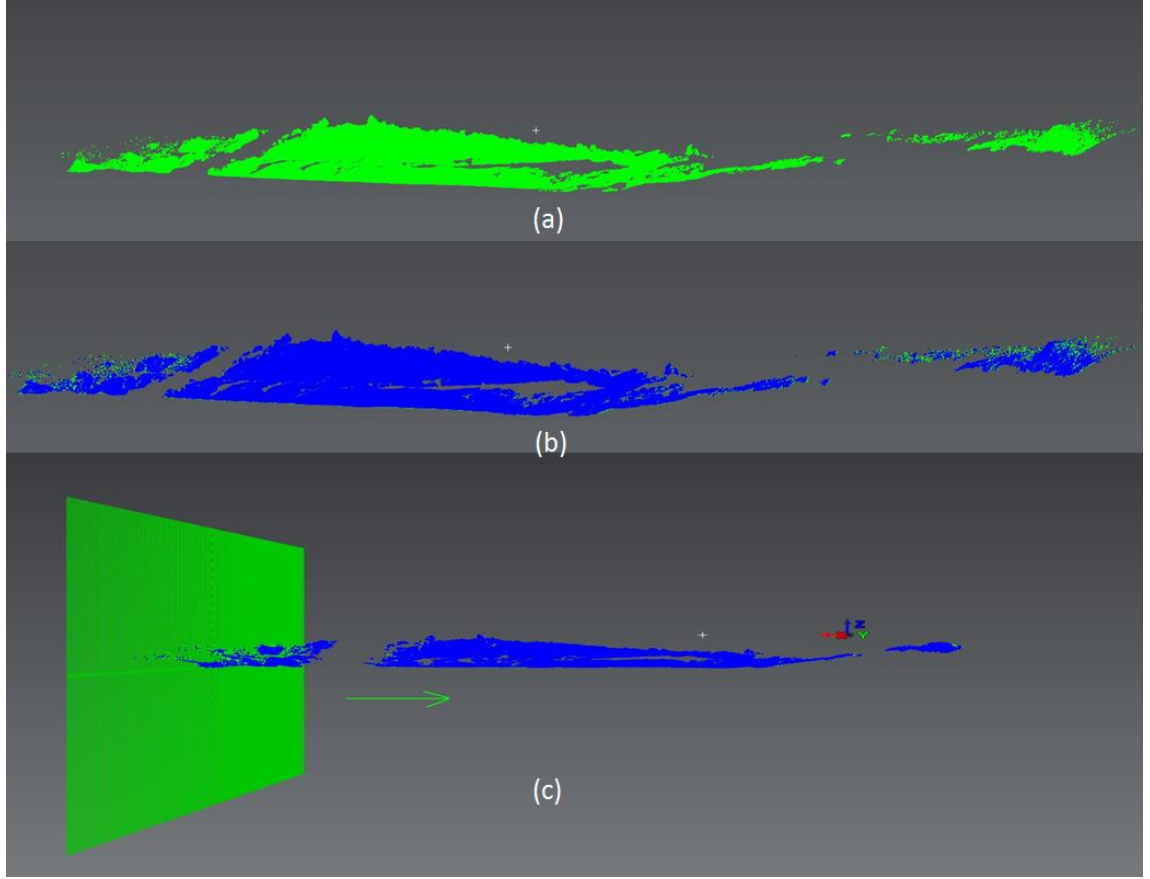
Şekil 4.47 Nokta bulutlarından alınan kesitler (a-10 cm kesit yüzeyi, b-15m kesit yüzeyi)

4.4.4.1 Güney Heyelanı YLT Ölçümlerinin Değerlendirilmesi

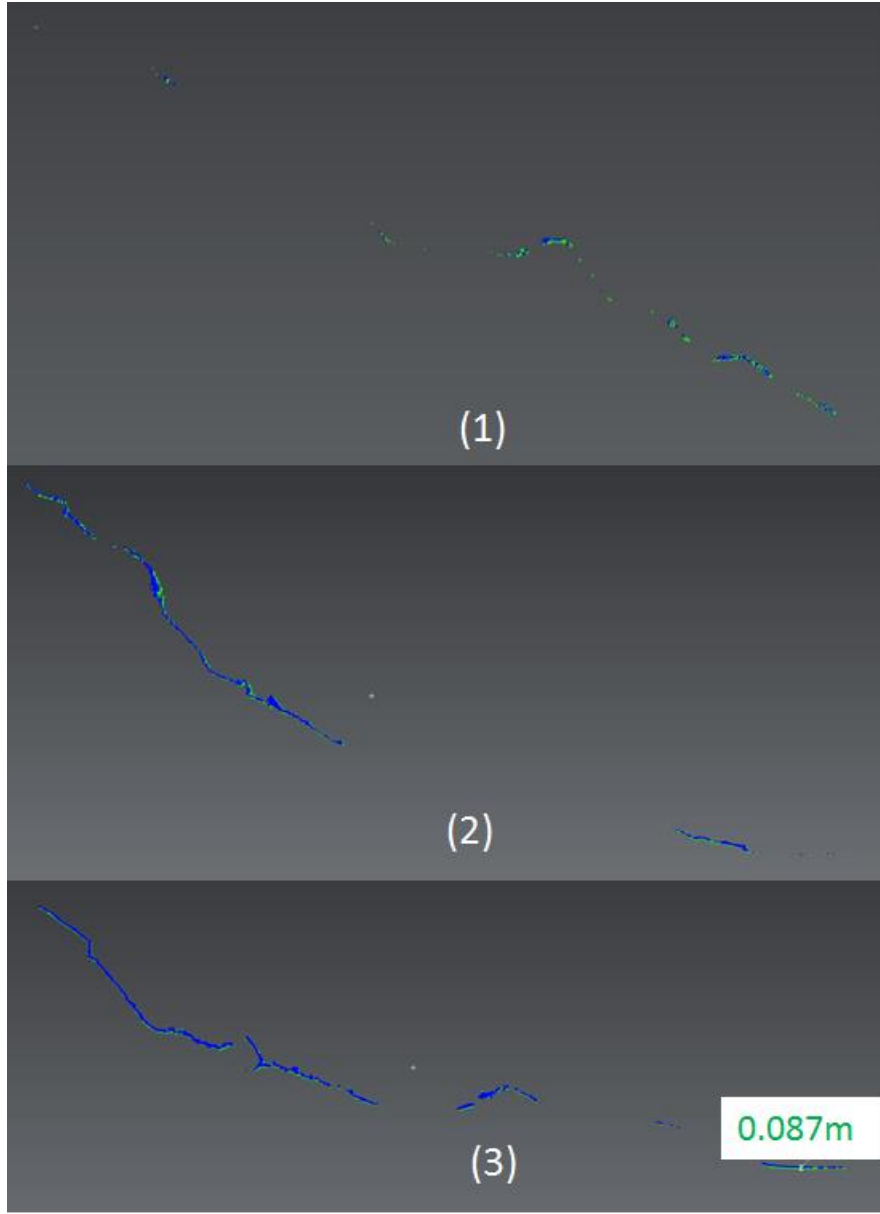
Güney heyelan bölgesinde iki noktadan yapılan taramalar, alt bölge olarak Güney heyelanı uç, Güney heyelanı doğu bölgesinden yapılmıştır. Bu taramalara ait YLT ölçüm değerlendirmeleri bu iki tarama bölgesi temel alınarak yapılmıştır.

Güney heyelanı uç kısmı YLT ölçümlerine ait nokta bulutu verileri Şekil 4.48’de verilmiştir. Şekilde görülen yeşil renkli nokta bulutu verileri ilk ölçüm, mavi renkli nokta bulutu verileri ikinci ölçümden elde edilmiştir. Daha sonra bu iki nokta bulutu verisi birleştirilerek kesit hatları belirlenmiştir. Kesitler değerlendirildiğinde güney heyelanı uç kısmı doğu tarafında ve heyelan alt kotunda bir hareket görülmemektedir (Kesit hattı 1, 2 ve 3). 3 no’lu kesitte görülen ortalama 8,7 cm’lik hareket, heyelan malzemesinin ve zeminin (alüvyon) özelliğinden kaynaklanan akma türü harekettir ve şev tabanında sonlanıp duraylılık göstermektedir. Bu bölge heyelan açısından duraylı haldedir (Şekil 4.49).

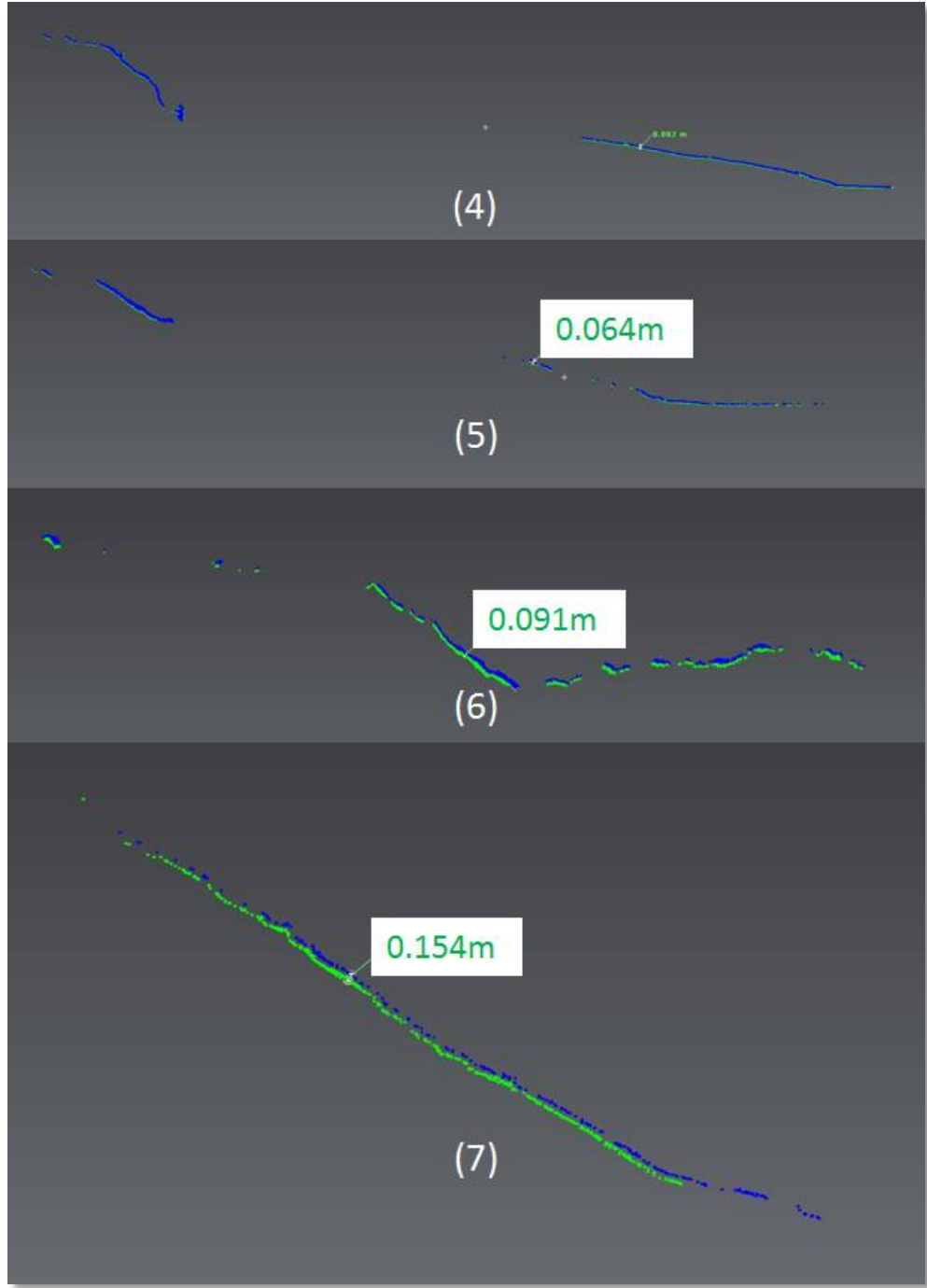
Güney heyelanı uç bölgesinden batı yönüne doğru alınan kesitler (Kesit hattı 4, 5, 6 ve 7) incelendiğinde şev yüzeylerinde doğu hattına göre bir hareketlilik görülmektedir. Hareket miktarı 15,4 cm maksimum değer olarak ölçülmüştür (Şekil 4.50). Güney heyelanının batı kısmında gözlenen bu hareket, su çıkışlarının varlığından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.48 Güney heyelanı uç bölgesinden alınan 1. ve 2. ölçümlere ait birleştirilmiş nokta bulutu görüntüsü (a: 1. ölçüm nokta bulutu; b-: 2. ölçüm nokta bulutu; c- Birleştirilmiş nokta bulutu ve kesit hattı ve yönü)



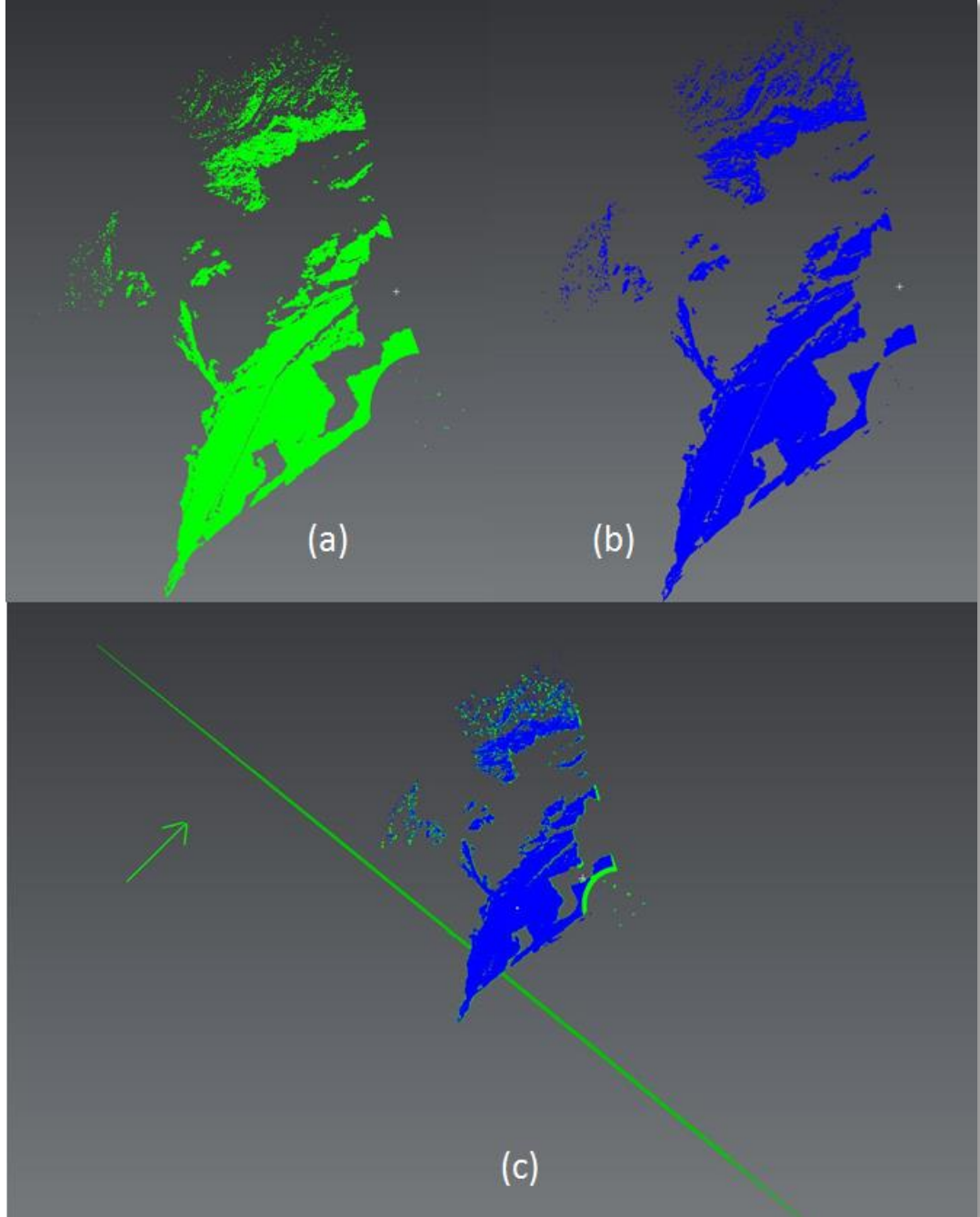
Şekil 4.49 Güney heyelanı uç bölgesinden alınan nokta bulutu kesitleri



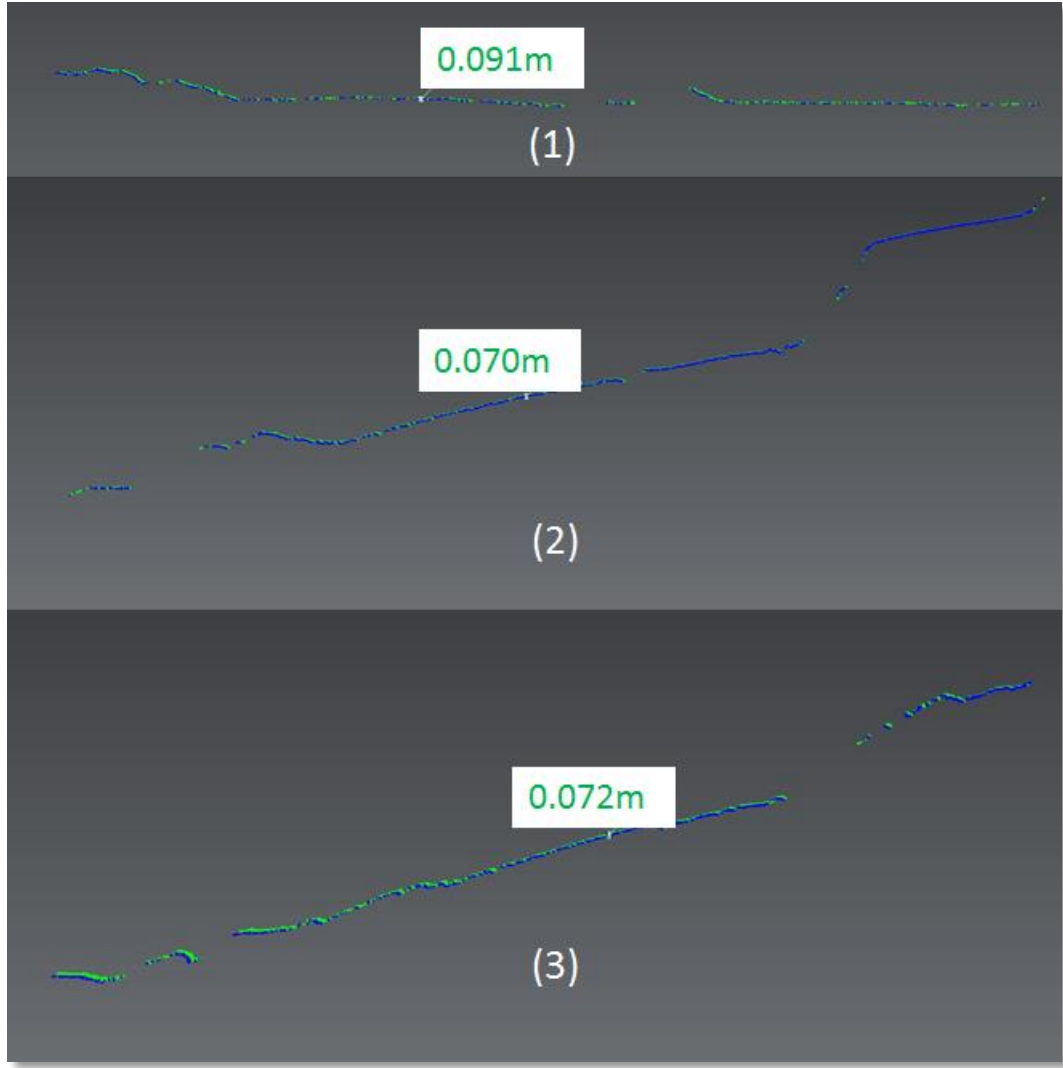
Şekil 4.50 Güney heyelanı uç bölgesinden alınan nokta bulutu kesitleri

Güney heyelanı doğu kısmı TLS ölçümlerine ait nokta bulutu verileri Şekil 4.51’de verilmiştir. Şekilde görülen yeşil renkli nokta bulutu verileri ilk ölçümden, mavi renkli nokta bulutu verileri ikinci ölçümden elde edilmiştir. Daha sonra bu iki nokta bulutu verisi birleştirilerek kesit hattı belirlenmiştir. Kesitler değerlendirildiğinde güney heyelanı doğu bölgesindeki şevlerde ve heyelan

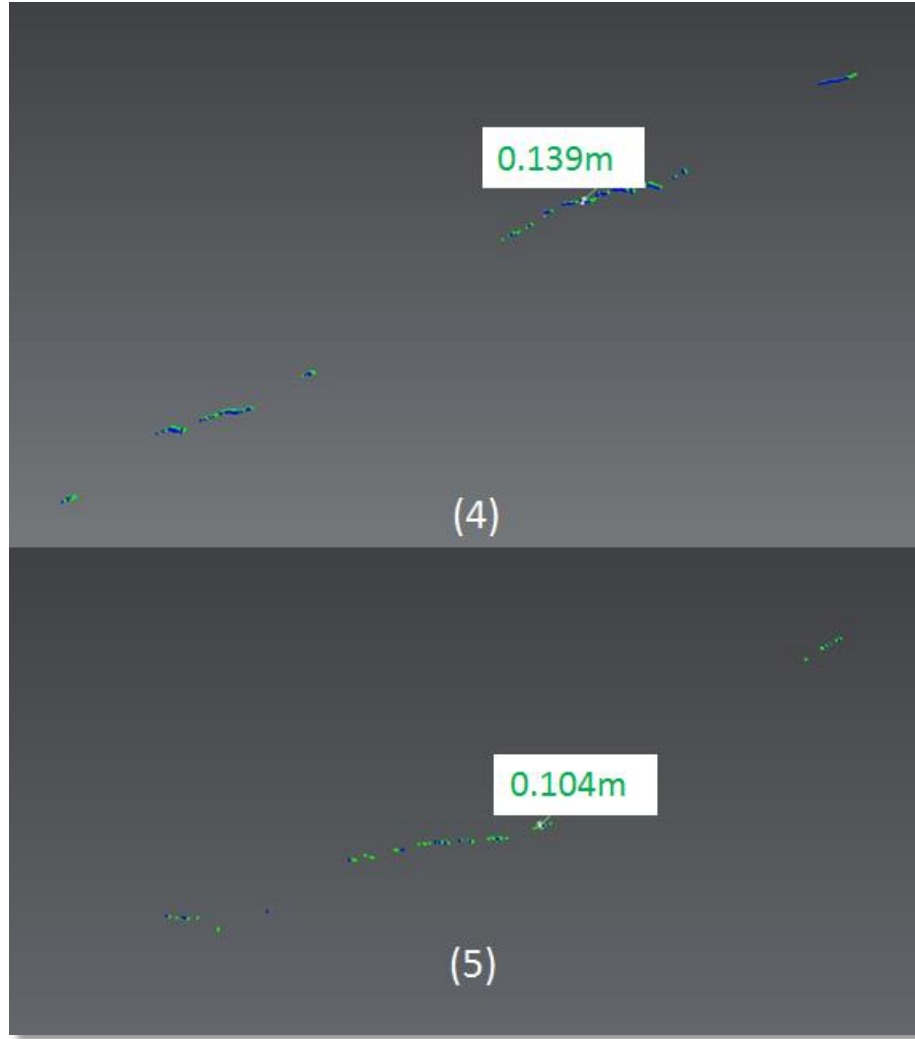
yüzeylerindeki hareket miktarının 10 cm'nin altında olduğu görülmektedir (Şekil 4.52, Kesit hattı 1, 2 ve 3). Şekil 4.53'de verilen 4 ve 5 no'lu kesitlerdeki 10,4 cm ve 1,39 cm'lik hareketler şev yüzeylerinden akan ve şev diplerinde biriken malzemeden kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.51 Güney heyelanı doğu kısmından alınan 1-2. ölçümlere ait birleştirilmiş nokta bulutu görüntüsü (a: 1. ölçüm nokta bulutu; b-: 2. ölçüm nokta bulutu; c- Birleştirilmiş nokta bulutu ve kesit hattı ve yönü)



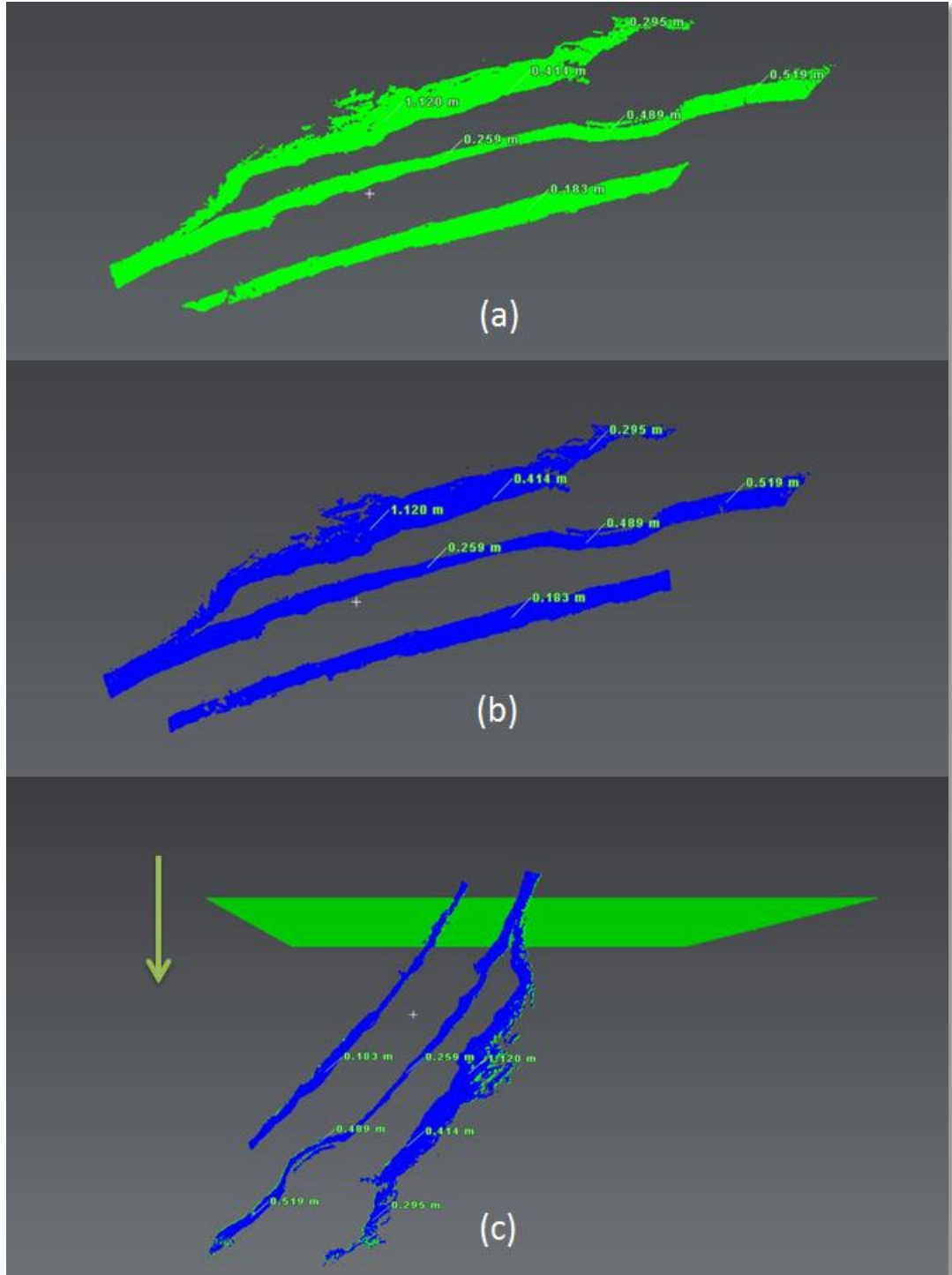
Şekil 4.52 Güney heyelanı doğu kısmından alınan nokta bulutu kesitleri



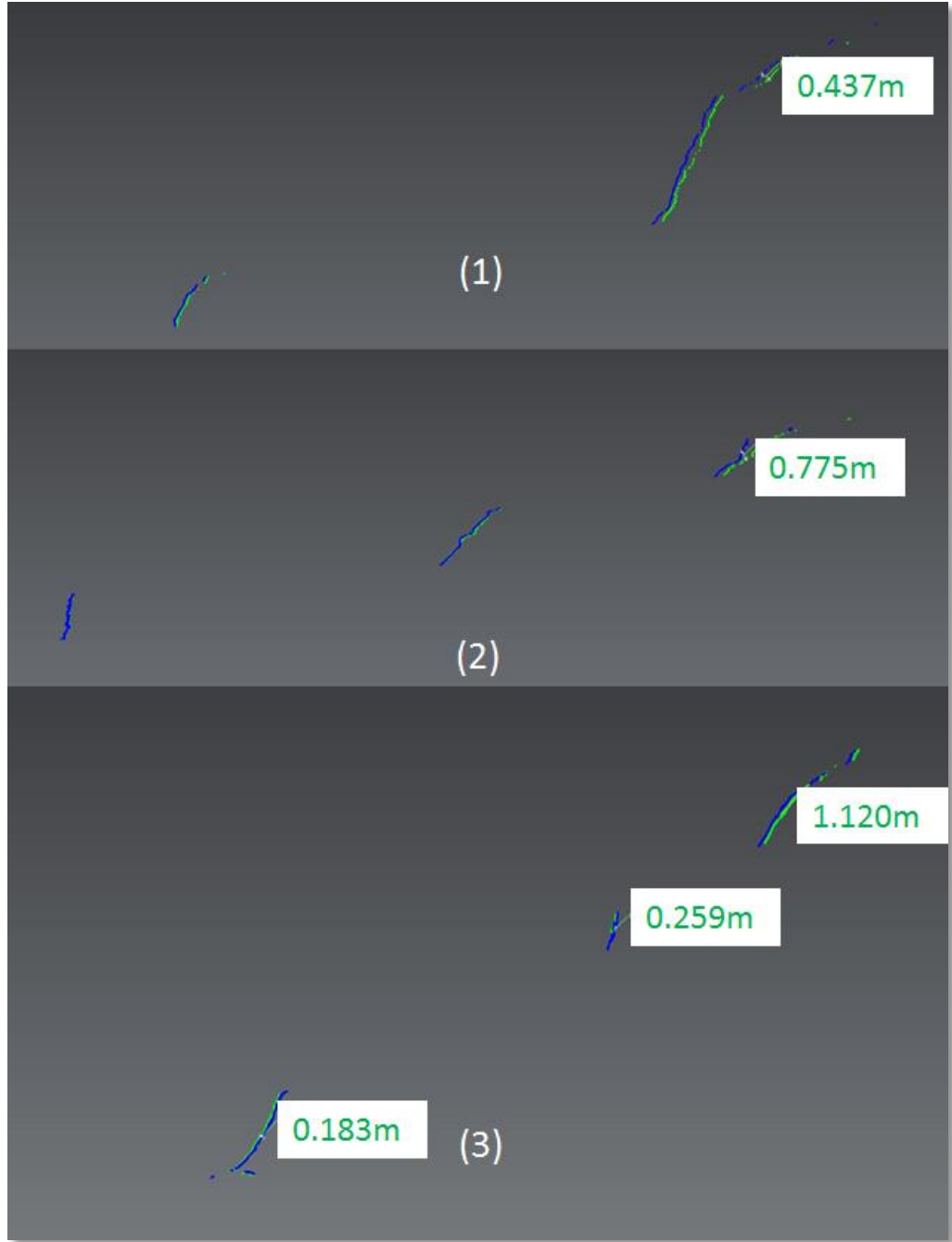
Şekil 4.53 Güney heyelanı doğu kısmından alınan nokta bulutu kesitleri

4.4.4.2 Küçüktepe (Doğu) Heyelanı TLS Ölçümlerinin Değerlendirilmesi

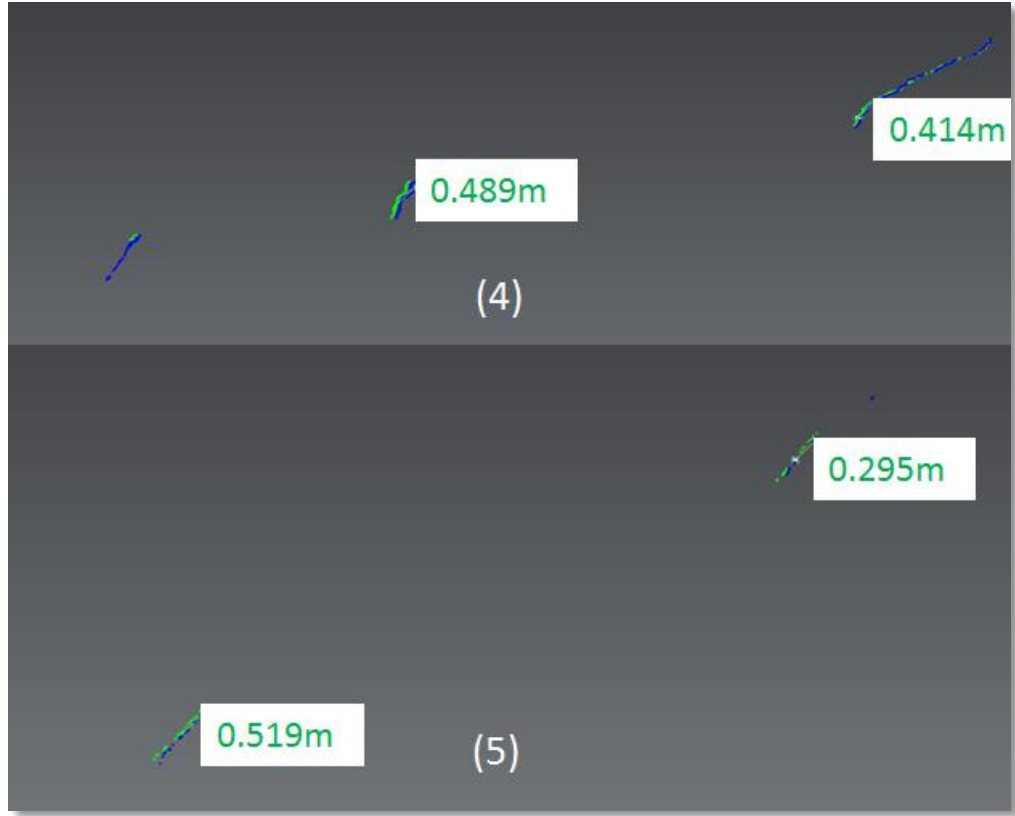
Küçüktepe (Doğu) heyelan bölgesinde üç noktadan yapılan taramalar alt bölge olarak doğu taban (33 m kotu), doğu orta (102 m kotu şev kenarı) ve doğu üst (102 m kotu dibi) bölgesinden yapılmıştır. Bu taramalara ait YLT ölçüm değerlendirmeleri bu üç tarama bölgesi temel alınarak yapılmıştır. Doğu heyelanı taban kısmı YLT ölçümlerine ait nokta bulutu verileri Şekil 4.54’de verilmiştir. Şekilde görülen yeşil renkli nokta bulutu verileri ilk ölçüm, mavi renkli nokta bulutu verileri ikinci ölçümden elde edilmiş, bu iki nokta bulutu verisi birleştirilerek kesit hattı oluşturulmuştur ve kesitler alınarak deformasyon miktarları belirlenmiştir (Şekil 4.55 ve Şekil 4.56).



Şekil 4.54 Doğu heyelanı taban kısmından alınan 1. ve 2. ölçümlere ait birleştirilmiş nokta bulutu görüntüsü (a: 1. ölçüm nokta bulutu; b-: 2. ölçüm nokta bulutu; c- Birleştirilmiş nokta bulutu ve kesit hattı ve yönü)



Şekil 4.55 Doğu heyelanı taban kısmından (+33m) alınan nokta bulutu kesitleri

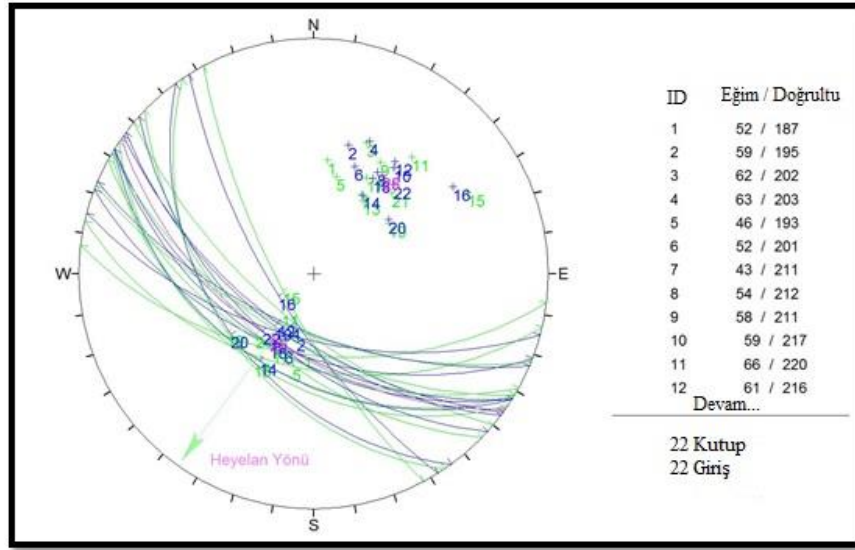


Şekil 4.56 Doğu heyelanı taban kısmından (+33m) alınan nokta bulutu kesitleri

Doğu hattı taban kısmından alınan nokta bulutu kesit verileri incelendiğinde doğu şevlerinde 30 günlük zaman diliminde ortalama 50 cm'lik bir hareket gözlenmektedir. Hareketler şev yüzeylerinde ötelenme ve akma şeklinde görülmektedir. Doğu heyelanı taban şevleri nokta bulutu verilerinin kesit genişletilmesi ile elde edilen yüzeylerden her bir tarama dönemine ait alınan 3 nokta bulutu verileri ile yüzeylerin eğim açıları ve eğim yönleri belirlenmiş olup, bu veriler Tablo 4.6'da verilmiştir. Bu veriler stereonet üzerinde konularak heyelan hareket yönü 54/215 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.57).

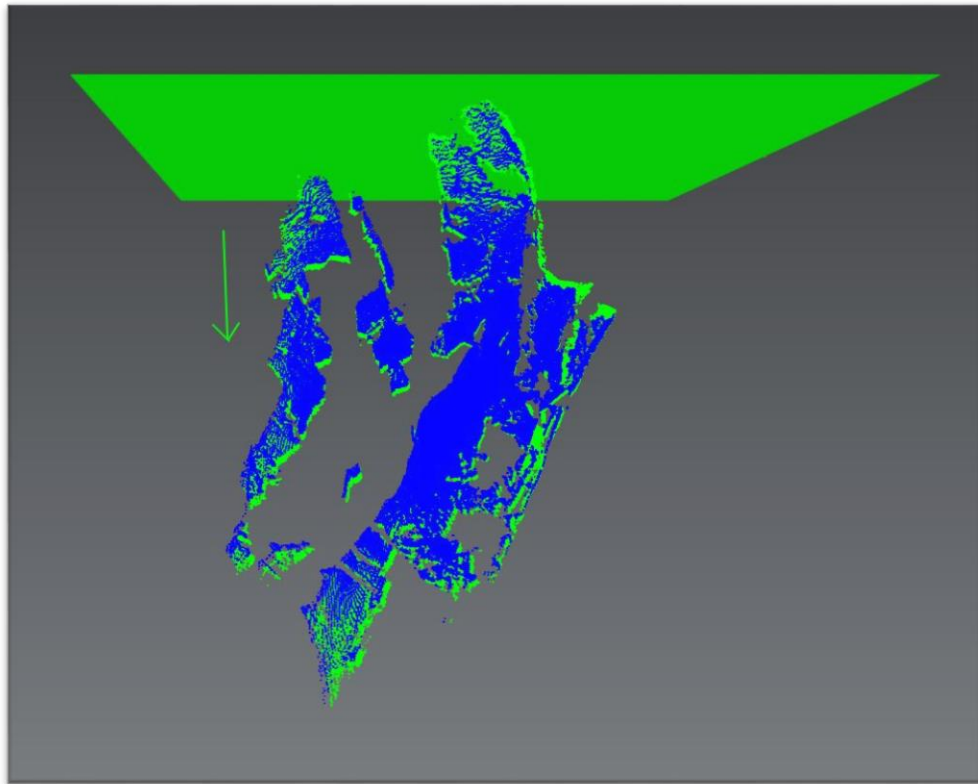
Tablo 4.6 Doğu heyelanı taban şevlerine ait nokta bulutu yüzeylerinin birim dik vektör koordinatları ve hesaplanmış yönelim değerleri

Yüzey No	Doğu	Kuzey	Kot(m)	Eğim Açısı(°)	Eğim Yönü
1	597860,8	4369069,3	36,4	52	187
2	597860,6	4369069,0	36,6	59	195
3	597904,5	4369071,2	45,1	62	202
4	597904,0	4369070,9	44,9	63	203
5	597877,7	4369019,0	45,6	46	193
6	597877,6	4369019,8	45,2	52	201
7	597904,5	4369017,6	53,3	43	211
8	597903,1	4369017,8	53,1	54	212
9	597792,1	4368970,5	35,9	58	211
10	597792,1	4368969,6	36,1	59	217
11	597840,7	4368968,7	45,3	66	220
12	597841,4	4368969,7	44,7	61	216
13	597877,4	4368969,6	54,4	41	214
14	597875,9	4368970,0	53,8	43	212
15	597786,9	4368921,3	43,4	73	242
16	597786,9	4368920,9	43,5	70	238
17	597843,2	4368919,5	54,3	50	209
18	597844,0	4368920,2	54,4	51	212
19	597746,6	4368870,7	45,8	42	236
20	597747,6	4368870,8	45,6	43	234
21	597821,7	4368871,4	55,3	51	224
22	597822,1	4368871,4	55,4	54	222

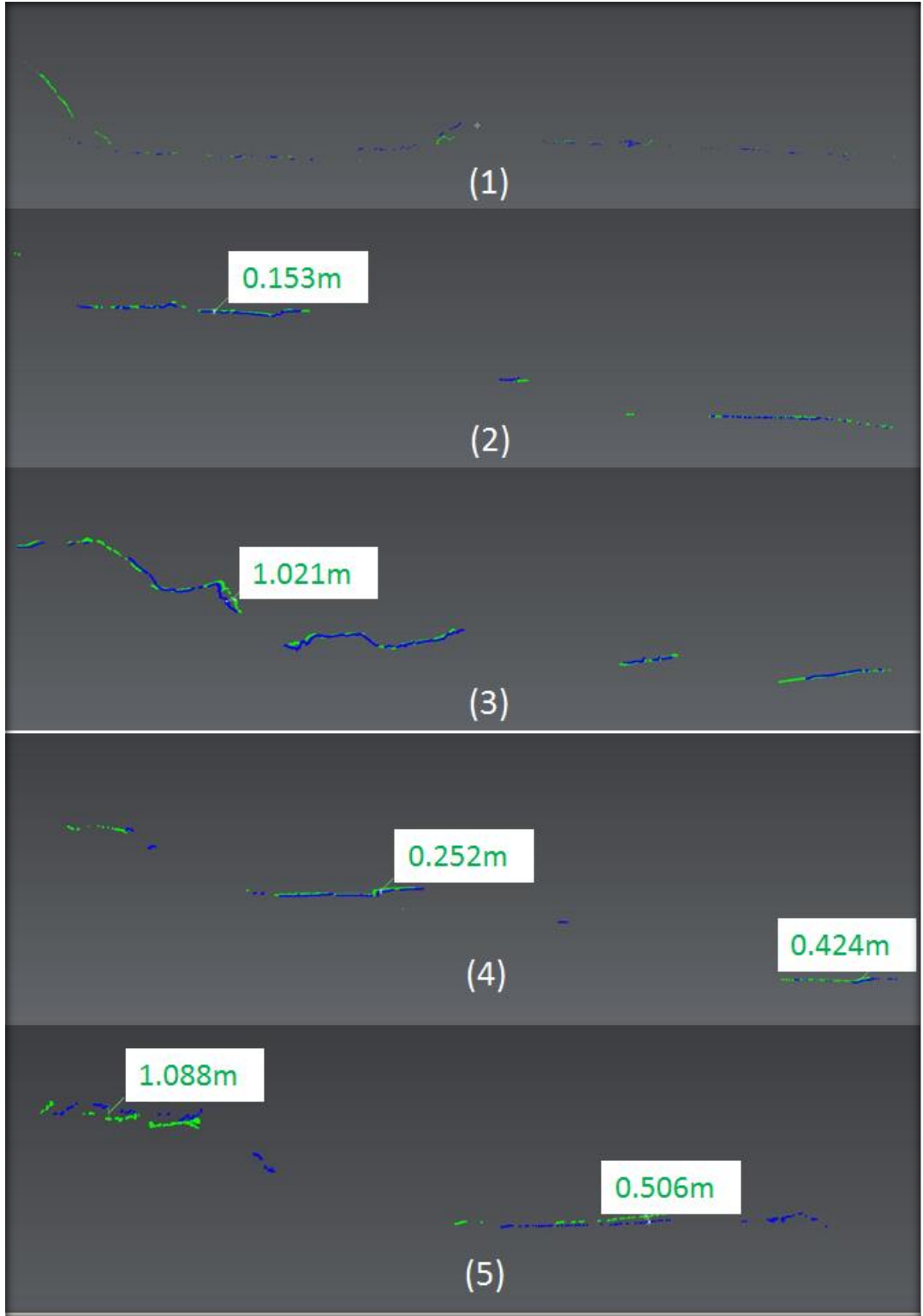


Şekil 4.57 Doğu taban şevlerine ait yüzeylerin kontur diyagramı. (Yeşil: 1. ölçüm, Mavi: 2. ölçüm, Kırmızı renk: heyelan hareket yönü)

Doğu heyelanı orta kısmı YLT ölçümlerine ait birleştirilmiş nokta bulutu verileri Şekil 4.58’de ve kesitler üzerinden yapılan hesaplamalar Şekil 4.59’da verilmiştir.



Şekil 4.58 Doğu heyelanı orta kısmından (+102m) alınan 1. ve 2. ölçümlere ait birleştirilmiş nokta bulutu görüntüsü (Yeşil: 1. ölçüm nokta bulutu; Mavi: 2. ölçüm nokta bulutu)

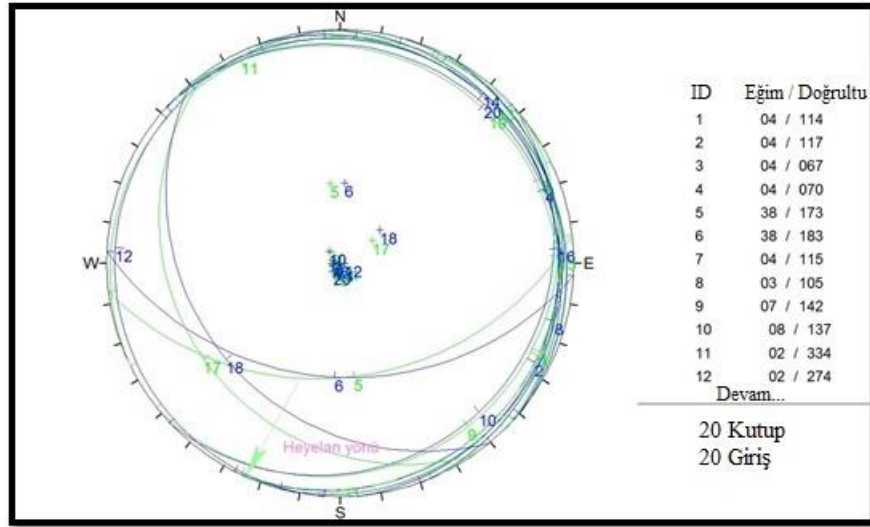


Şekil 4.59 Doğu heyelanı orta kısmından (+102m) alınan nokta bulutu kesitleri

Doğu hattı orta kısmından alınan nokta bulutu kesit verileri incelendiğinde doğu şevlerinde 30 günlük zaman diliminde şev yüzeyi ve tabanlarında ortalama 48 cm'lik bir hareket gözlenmiştir. Hareketler bu ölçümler sonucunda da şev yüzeylerinde ötelenme ve akma şeklinde görülmektedir. Akan malzeme, basamak yüzeylerinde malzemenin miktarına bağlı olarak yığılma göstermektedir. Doğu heyelanı orta şevleri nokta bulutu verilerinin kesit genişletilmesi ile elde edilen yüzeylerden her bir tarama dönemine ait alınan 3 nokta bulutu verileri ile yüzeylerin eğim açısı ve eğim yönleri belirlenmiş olup, bu veriler Tablo 4.7'de verilmiştir. Veriler incelendiğinde basamak yüzeylerinde şev yüzeylerinden akan malzemenin, basamak yüzeylerinde düşük açılı ve çoğu zaman basamak içine eğimli olduğu görülmektedir. Heyelan hareket yönü olarak eğimli şev yüzeyleri incelendiğinde hareket yönü 31/206 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.60).

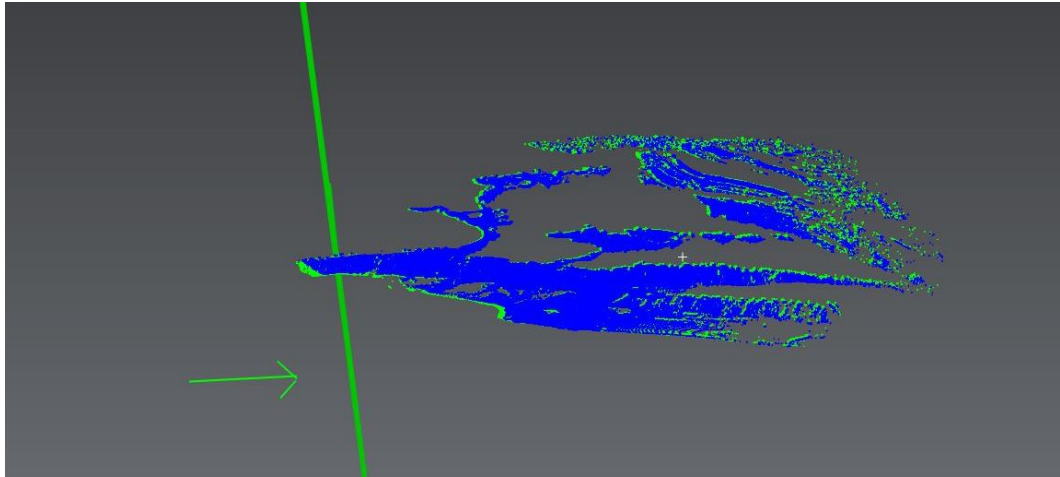
Tablo 4.7 Doğu heyelanı orta şevlerine ait nokta bulutu yüzeylerinin birim dik vektör koordinatları ve hesaplanmış yönelim değerleri.

Yüzey No	Doğu	Kuzey	Kot (m)	Eğim Açısı(°)	Eğim Yönü
1	598142,0	4369284,9	89,6	4	114
2	598142,9	4369285,0	89,5	4	117
3	598067,2	4369288,3	75,6	4	70
4	598067,9	4369286,7	75,5	4	67
5	598183,3	4369232,1	98,8	38	173
6	598181,7	4369231,5	97,7	38	183
7	598177,2	4369240,7	95,7	4	115
8	598177,3	4369240,8	95,5	3	105
9	598152,3	4369234,9	88,2	7	142
10	598151,9	4369235,2	88,2	8	137
11	598059,3	4369234,7	76,2	2	334
12	598059,7	4369234,6	76,3	2	274
13	598125,7	4369184,3	87,4	3	45
14	598124,7	4369185,3	87,3	3	40
15	598043,0	4369183,9	75,4	4	88
16	598041,2	4369184,4	75,3	4	86
17	598130,8	4369138,8	92,4	19	235
18	598128,6	4369137,1	93,0	25	230
19	598089,9	4369135,8	85,5	6	45
20	598088,6	4369137,3	85,3	5	42

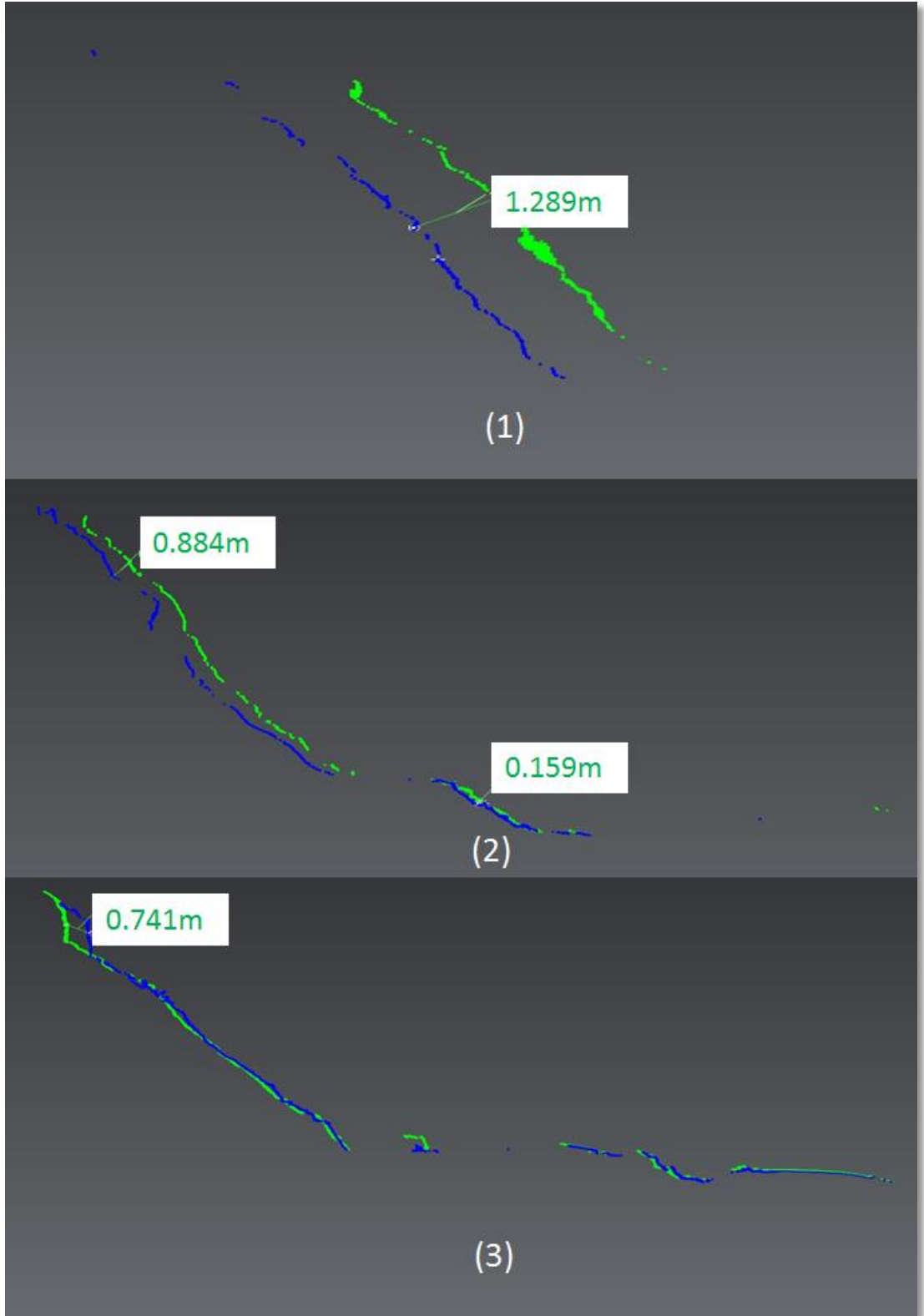


Şekil 4.60 Doğu orta şev basmak yüzeylerine ait yüzeylerin kontur diyagramı. (Yeşil: 1. ölçüm, Mavi: 2. Ölçüm, Kırmızı renk: heyelan hareket yönü)

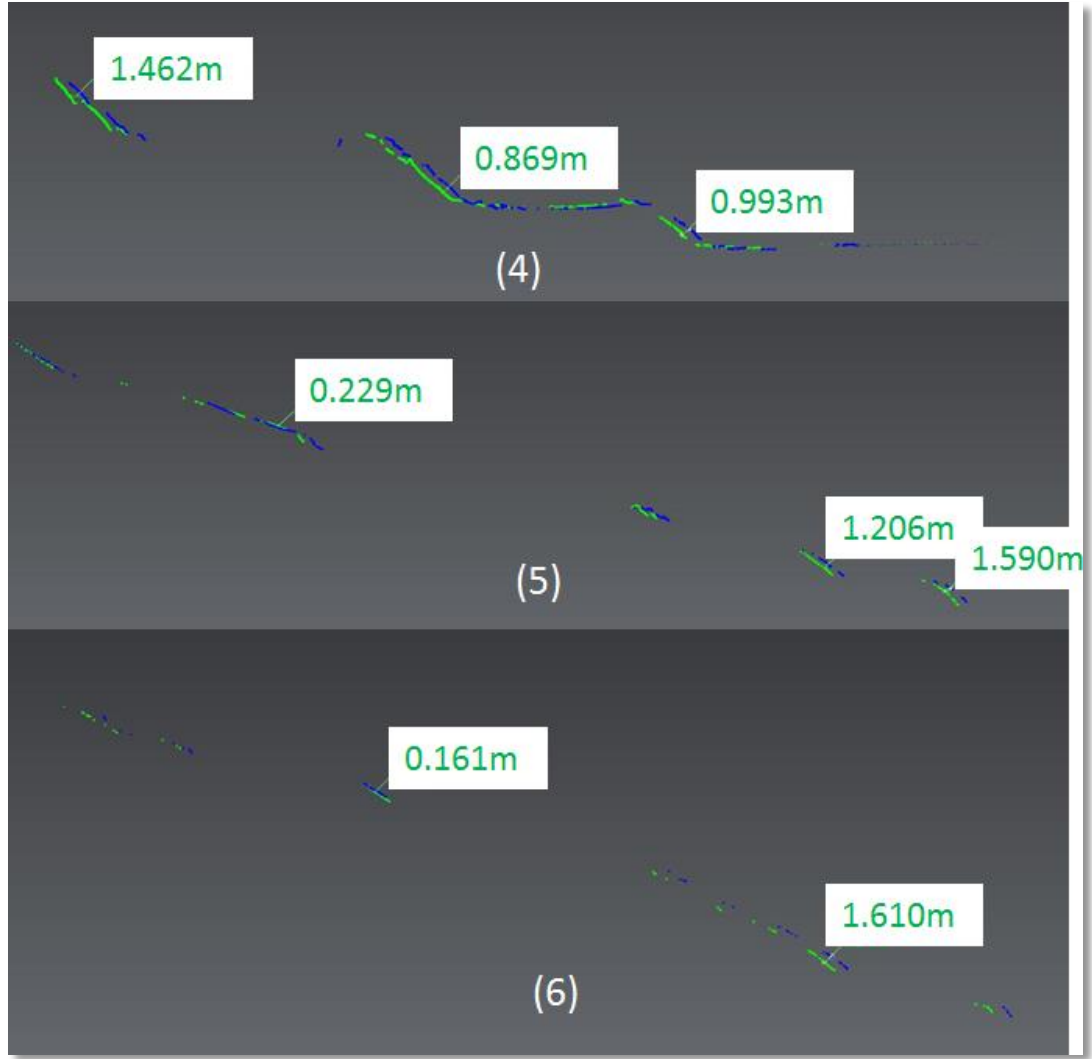
Doğu heyelanı üst kısmı TLS ölçümlerine ait nokta bulutu verileri Şekil 4.59'da verilmiştir. Şekilde görülen yeşil renkli nokta bulutu verileri ilk ölçüm, mavi renkli nokta bulutu verileri ikinci ölçümden elde edilmiş ve bu iki nokta bulutu verisi birleştirilerek kesitler alınarak iki durum arasındaki deformasyon miktarları belirlenmiştir(Şekil 4.62 – Şekil 4.63).



Şekil 4.61 Doğu heyelanı üst kısmından(+102m) alınan 1. ve 2. ölçümlere ait birleştirilmiş nokta bulutu görüntüsü (Yeşil: 1. Ölçüm nokta bulutu; Mavi: 2. Ölçüm nokta bulutu)



Şekil 4.62 Doğu heyelanı üst kısmından (+102m) alınan nokta bulutu kesitleri

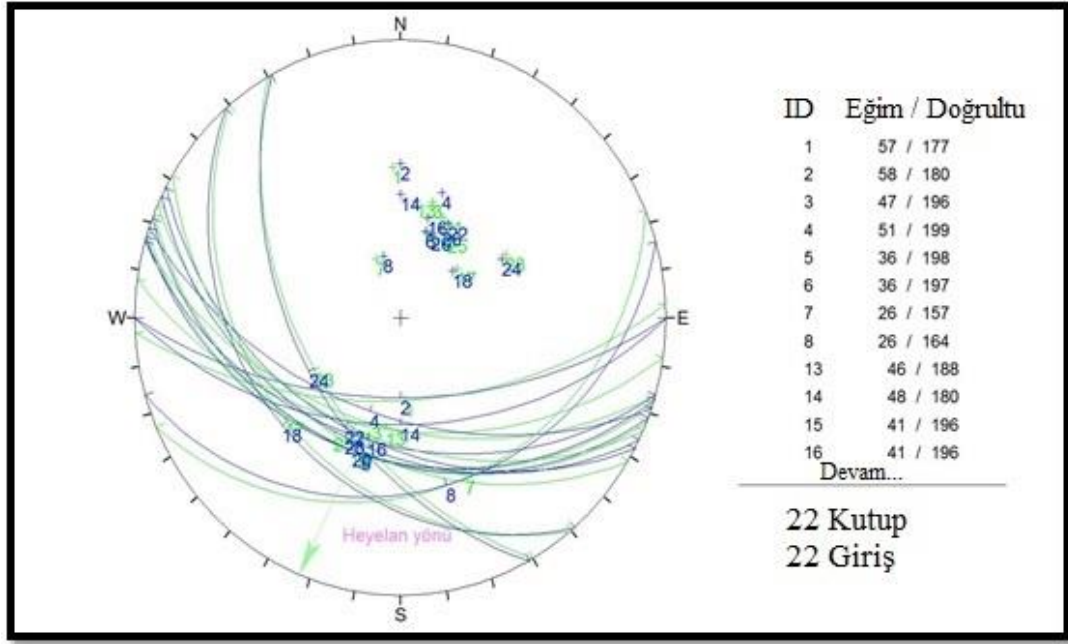


Şekil 4.63 Doğu heyelanı üst kısmından (+102m) alınan nokta bulutu kesitleri

Doğu hattı üst kısmından alınan nokta bulutu kesit verileri incelendiğinde doğu şevlerinde 30 günlük zaman diliminde şev yüzey ve tabanlarında ortalama 0,93 cm'lik bir hareket gözlenmektedir. Hareketler üst kısım ölçümlerinde de şev yüzeylerinde ötelenme ve akma şeklinde görülmektedir. Doğu heyelanı üst şevleri nokta bulutu verilerinin kesit genişletilmesi ile elde edilen yüzeylerden her bir tarama dönemine ait alınan 3 nokta bulutu verileri ile yüzeylerin eğim ve eğim yönleri belirlenmiştir. Tablo 4.8'de bu veriler verilmiştir. Veriler incelendiğinde basamak yüzeylerinde şev yüzeylerinden akan malzemenin 102 m kotunun üst kısımlarında daha hareketli olduğu görülmektedir. Heyelan hareket yönü olarak eğimli şev yüzeyleri incelendiğinde hareket yönü 40/202 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.64).

Tablo 4.8 Doğu heyelanı üst şevlerine ait nokta bulutu yüzeylerinin birim dik vektör koordinatları ve hesaplanmış yönelim değerleri

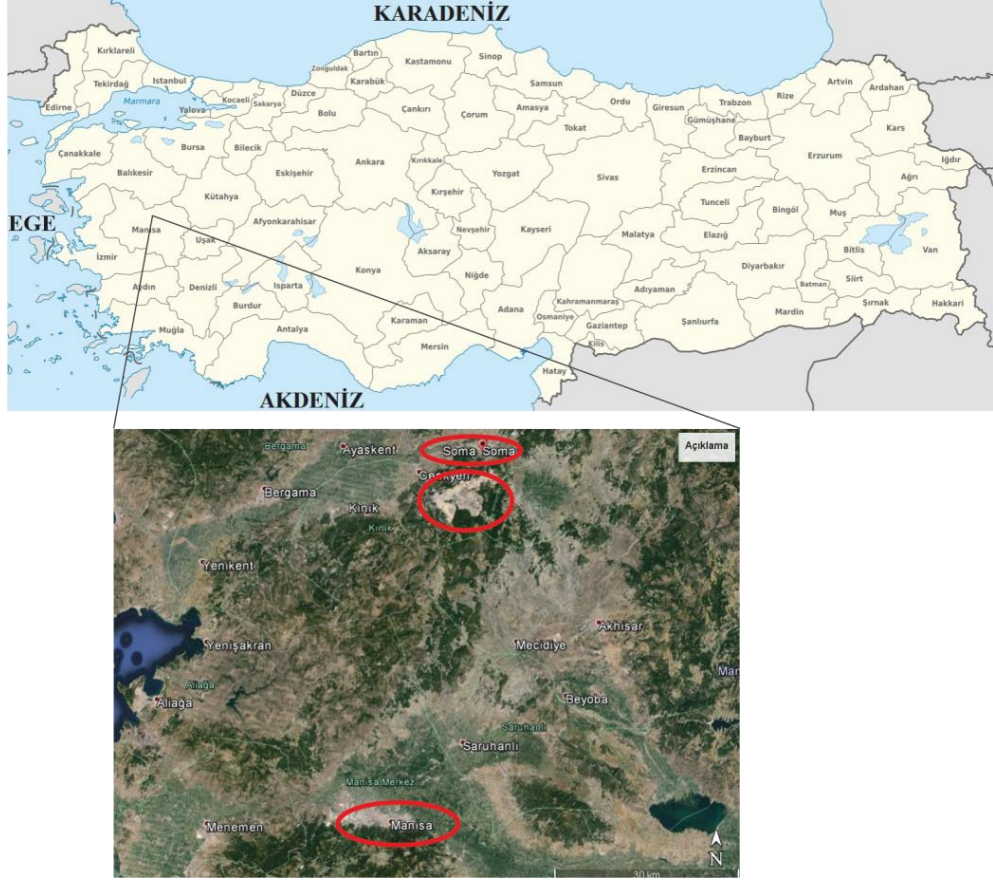
Yüzey No	Doğu	Kuzey	Kot (m)	Eğim Açısı(°)	Eğim Yönü
1	598273,1	4369331,7	116,3	57	177
2	598274,8	4369331,0	116,4	58	180
3	598269,6	4369283,6	116,9	47	196
4	598269,7	4369281,7	116,4	51	199
5	598250,4	4369231,4	105,1	36	198
6	598250,2	4369230,7	105,2	36	197
7	598225,7	4369236,1	102,0	26	157
8	598224,8	4369236,1	101,7	26	164
9	598210,5	4369235,3	101,8	5	92
10	598209,5	4369235,3	101,7	5	96
11	598204,1	4369232,6	101,5	3	129
12	598203,8	4369231,5	101,3	3	114
13	598272,1	4369178,0	112,2	46	188
14	598270,6	4369178,0	112,0	48	180
15	598235,5	4369178,2	105,1	41	196
16	598234,2	4369178,1	105,1	41	196
17	598184,9	4369180,1	98,5	4	87
18	598335,8	4369136,3	129,1	31	230
19	598333,1	4369134,4	128,8	29	229
20	598221,3	4369132,6	103,4	36	202
21	598219,2	4369132,7	103,3	36	201
22	598194,5	4369132,3	98,2	43	204
23	598192,4	4369132,8	98,2	42	208
24	598309,4	4369082,4	135,2	49	240
25	598309,1	4369082,3	135,3	47	241
26	598236,7	4369080,0	110,8	38	211
27	598238,7	4369083,5	112,9	39	206



Şekil 4.64 Doğu üst şev basmak yüzeylerine ait yüzeylerin kontur diyagramı. (Yeşil: 1. ölçüm, Mavi 2. Ölçüm, Kırmızı renk: heyelan hareket yönü)

4.5 TKİ Ege Linyit İşletmeleri (E.L.İ) Soma Kırakdere G-Panosu Kömür Üretimi Alanı Şlam Havuzu Şevinde Yeraltı Üretiminin Subsidans Etkisinden Kaynaklı Şev Deformasyonlarının Yersel Lazer Tarayıcı Sistem İle İncelenmesi

Manisa ilinin kuzey doğusunda bulunan Türkiye Kömür İşletmeleri Ege Linyitleri İşletmesi Müessesesi Müdürlüğü (E.L.İ.) 1978 yılında kurulmuştur (Şekil 4.65). Ancak Soma havzasında Müesseseye ait maden kömür sahalarının işletilmeye başlaması 1913 yıllarına kadar uzanmaktadır. E.L.İ Müessese Müdürlüğü uhdesinde bulunan ruhsat sahalarında açık işletme tekniği ile üretilmesi planlanan 210 770 495 tonu görünür toplam 218 686 495 ton, yeraltı üretimi ile üretilmesi planlanan 525 103 700 tonu görünür toplam 540 494 700 ton linyit rezervi bulunmaktadır. (Ege Linyitleri İşletmesi, 2014)

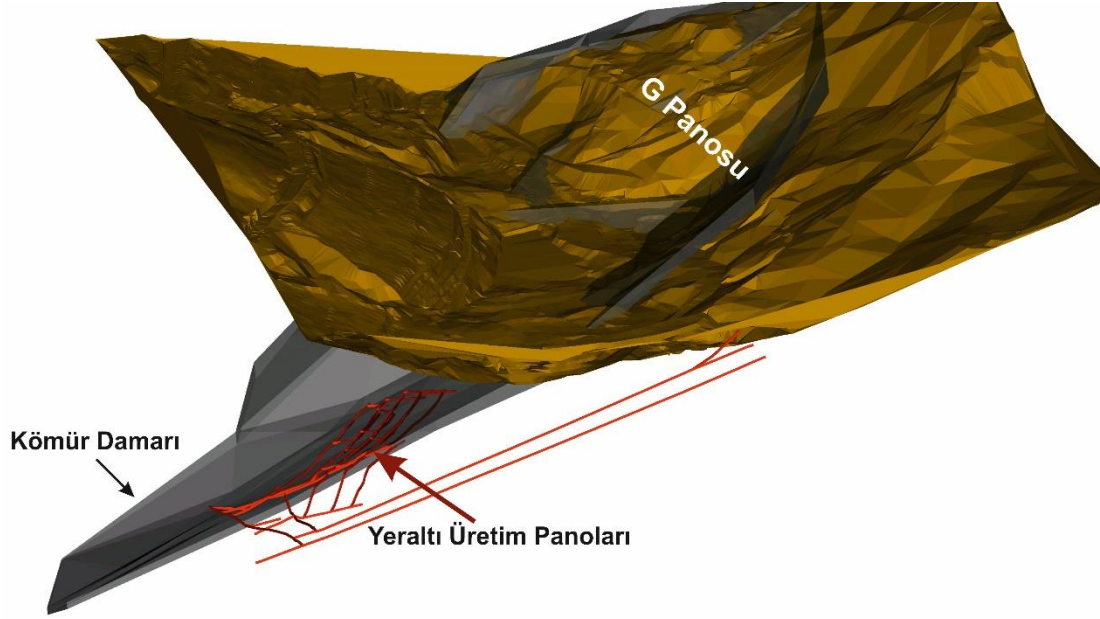


Şekil 4.65 Soma E.L.İ. Müessesesi Müdürlüğü yer bulduru haritası

Tez çalışması kapsamında incelenen alan Kısırkdere bölgesinin kuzeyinde yer alan ve G-Panosu olarak isimlendirilen kömür üretim panosunun güneyinde oluşturulan şevlerdir.

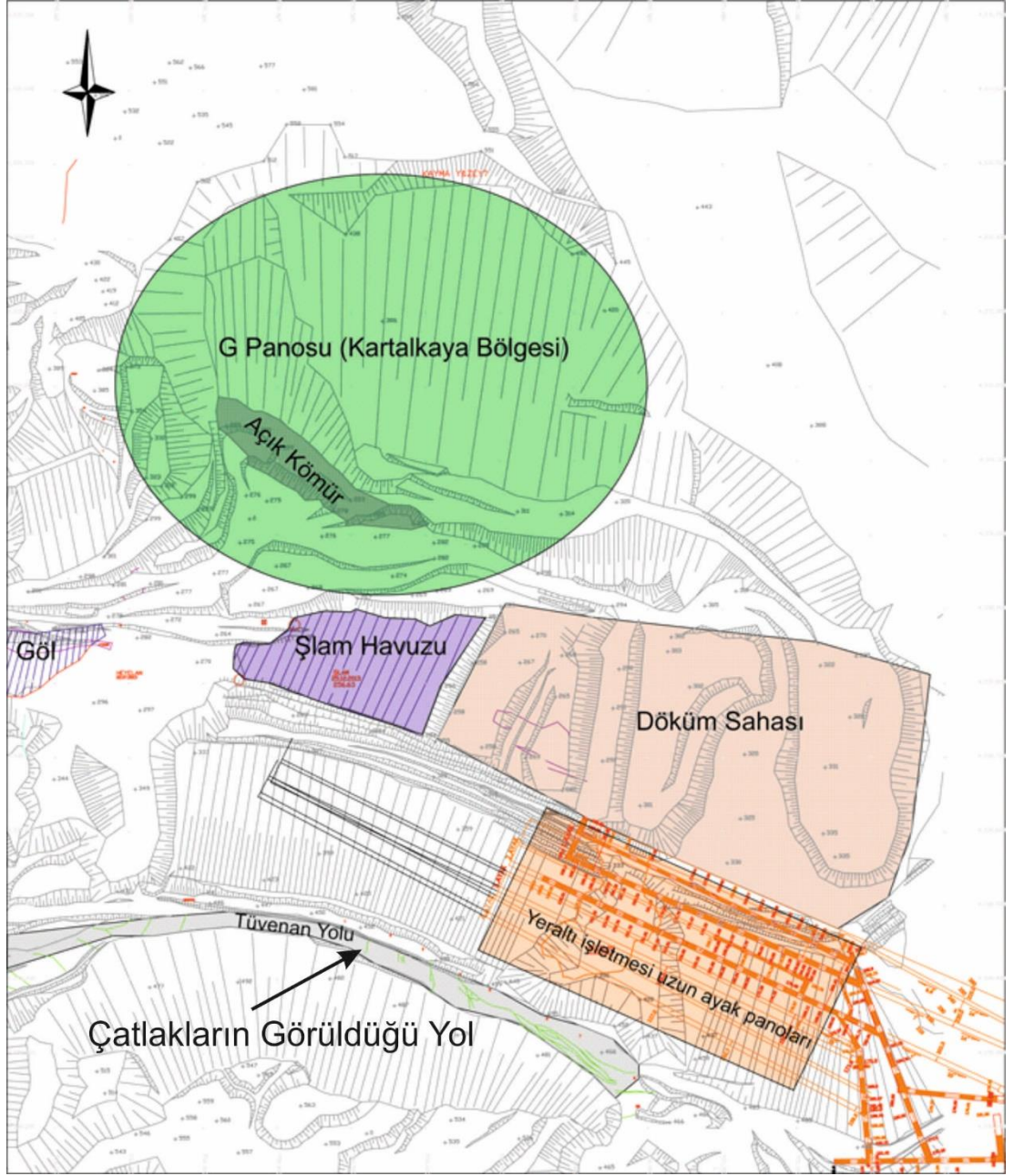
Linyit üretiminin yapıldığı G-panosunda $25-30^\circ$ eğimli yataklanan linyit damarının üretim kazısı ekskavatör + kamyon yöntemiyle yapılmaktadır. G-panosunda açık kömür aynası 280-285 m kotlarında, kömürün altında bulunan taban kilinin şev üstü kotu ise 630-635 m kotlarındadır. Bu durumda yaklaşık 350-355 m yüksekliğinde ve ortalama 30° eğimli bir şev yapısı bulunmaktadır. Bu şevin normal şartlarda basamaklı bir yapıda olması gerekirken taban kilinin özellikle su ile birlikte davranışı şev üzerinde basamak oluşturmaya imkan vermemektedir. Oluşturulan şevler su ile buluştuğunda bozulmakta ve eski haline dönmektedir.

Ocak 2014 tarihi itibarı ile G panosundan +280 kotundan üretilen kömürün, +200 kotuna kadar TKİ ELİ tarafından açık işletme yöntemiyle üretilmesi, +180 kotunun altında kalan ve G panosunun güneyinde oluşturulan şevlerin altına yaklaşık 25-30° eğimli dalan kömür damarının ise müteahhit marifeti ile göçertmeli uzunayak yöntemiyle yeraltından üretilmesi planlanmıştır (Şekil 4.66).



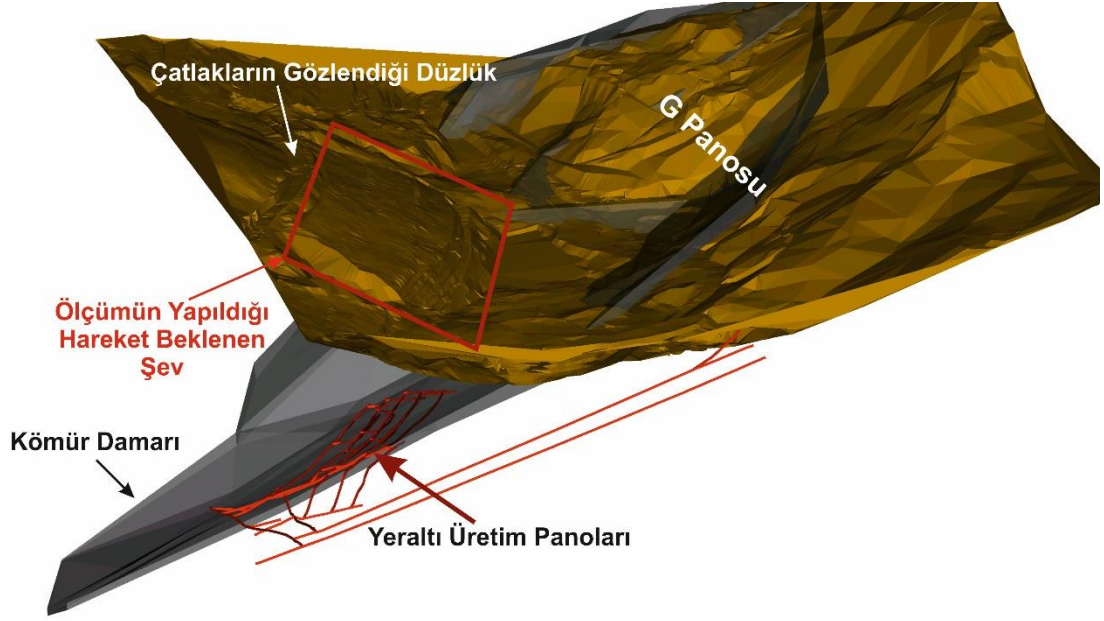
Şekil 4.66 G Panosu ve yeraltı üretim panoları

Kasım 2013 tarihinde hazırlık işlemleri tamamlanarak üretime başlayan yeraltı üretimi sonrasında G Panosu güneyinde bulunan şevlerin üzerindeki yolda çatlaklar görülmüş ve bunun üzerine yapılan incelemede şevde deformasyonlar gözlenmiştir (Şekil 4.67).



Şekil 4.67 G panosu güney şevlerinde çatlakların bulunduğu yeri gösterir harita

İşletme tarafından yapılan inceleme sonucu G panosunun güneyinde yer alan şevde oluşan deformasyonların göçertmeli çalışan yeraltı ocağının yarattığı subsidans hareketinden kaynaklandığı belirlenmiştir. Bu hareket sonrası açık ocak üretim sınırı +240 m kotuna çekilmiş ve deformasyona uğrayan şevlerin takip edilmesine karar verilmiştir. Bu amaçla G panosunun güneyinde bulunan şevler yersel lazer tarayıcı sistem ile 4 farklı tarihte taranarak şevlerde oluşan deformasyon miktarı belirlenmeye çalışılmıştır (Şekil 4.68-Şekil 4.69).



Şekil 4.68 Deformasyon ölçümlerinin yapıldığı alan



Şekil 4.69 Deformasyon ölçümlerinin yapıldığı şev fotoğrafı

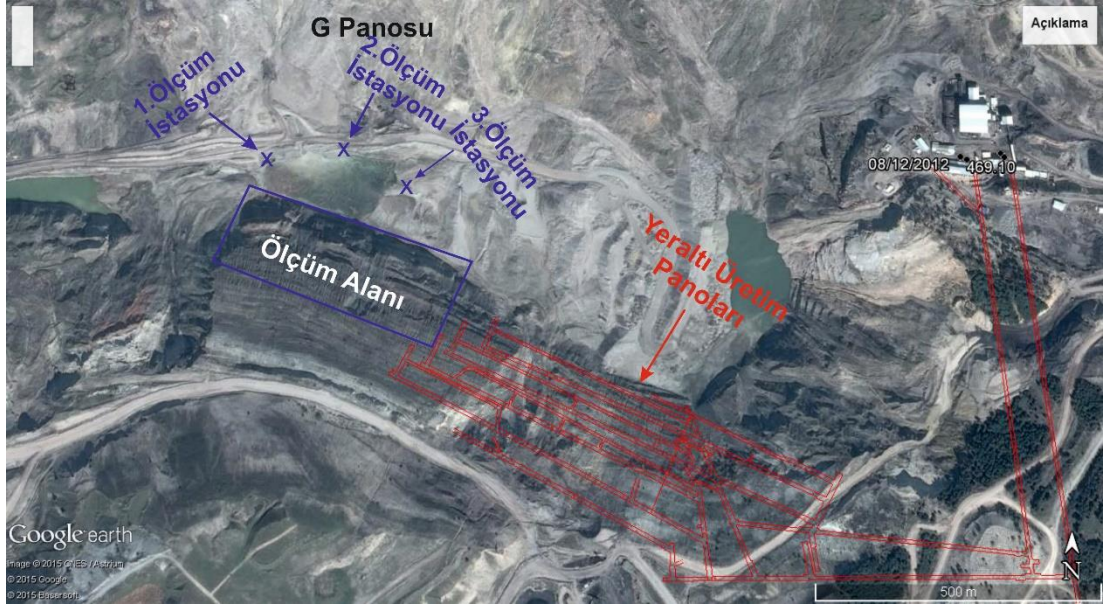
4.5.1 TKİ E.L.İ Soma Açık Ocağı Kısrakdere Bölgesi G Panosu Güney Şevlerinin Yersel Lazer Tarayıcı Sistemler ile İncelenmesi

G panosu güney şevlerinde meydana gelen deformasyonları takip etmek amacıyla kullanılan yersel lazer tarayıcı sistem daha önceki çalışmalarda da olduğu gibi Şekil 4.70’de verilen iş akışı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.70 G panosu güney şevlerinin yersel lazer ile izlenmesinde kullanılan işlem adımları

G panosu güney şevlerinde meydana gelen deformasyonları belirlemek amacıyla 4 farklı tarihte (06.02.2014 - 17.04.2014 - 29.11.2014 - 11.06.2015) G panosu güney şevlerinden yersel lazer tarayıcı ile 5 cm x 5 cm çözünürlükle şev taraması yapılmıştır. Şev tarama çalışmalarında ilk üç çalışmada cihaz 3 ayrı yere kurulmuş ve üç ayrı yerden ölçüm alınmıştır (Şekil 4.71). 4. ölçümde ise ölçüm yapılan arazinin topografyasının değişmesinden ötürü cihaz 2 yere kurularak ölçüm yapılabilmiştir. Bu yüzden 4. ölçümde G panosu güney şevinin batı kısmından yeterli veri alınamamış, şevin daha çok doğu kısmı değerlendirmelere sokulmuştur.

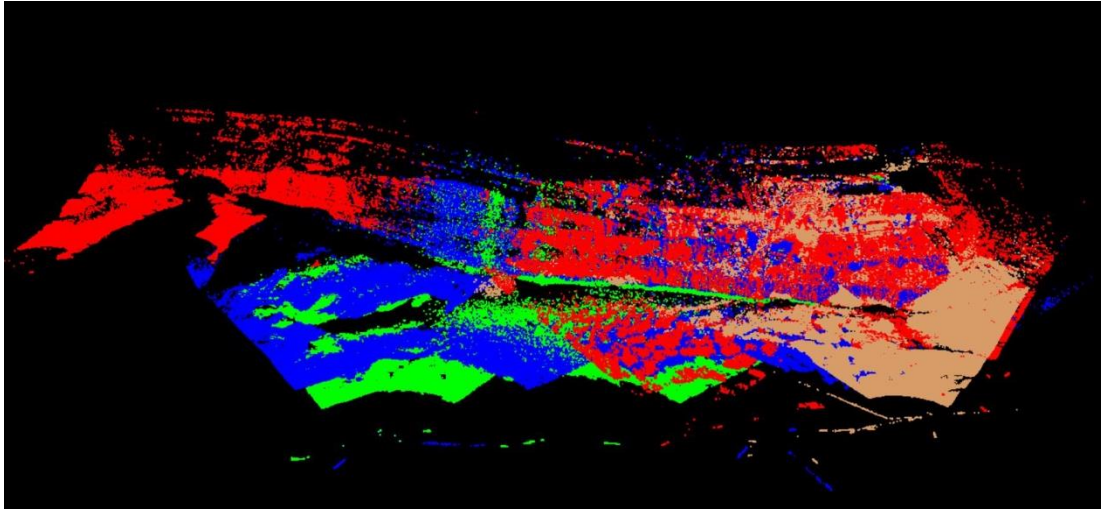


Şekil 4.71 Yersel lazer tarayıcı cihazın ölçüm aldığı istasyon noktaları

Alınan ölçümler sonrasında farklı istasyonlardan alınan nokta bulutları birleştirilmiş ve GNSS ile alınan hedeflerin konumları sayesinde jeodezik koordinatlara çevrilmiştir. Jeodezik koordinatlarına çevrilen 4 ayrı ölçüm üst üste çakıştırılmak suretiyle G panosu güney şevlerinde meydana gelen deformasyonlar belirlenmiştir.

4.5.2 Kısırakdere G Panosu Yersel Lazer Tarayıcı Ölçümleri ve Değerlendirilmesi

TKİ E.L.İ Soma Açık Ocağı Kısırakdere Bölgesi G panosu güney şevlerinde meydana gelen deformasyonları belirlemek amacıyla yapılan yersel lazer tarama ve veri işleme işlemleri sonrasında 4 farklı tarihte alınan nokta bulutu verileri üst üste bindirmeli olarak oluşturulmuştur (Şekil 4.72).



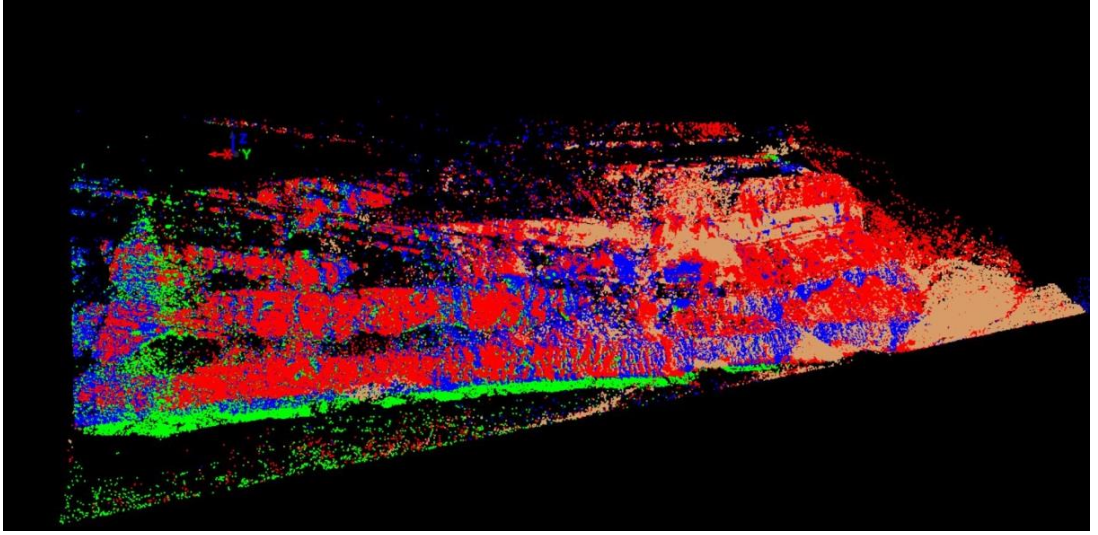
Şekil 4.72 G Panosu güney şevlerine ait nokta bulutu görüntüsü (Yeşil 1.ölçüm, mavi 2.ölçüm, kırmızı 3. ölçüm, açık kahverengi 4. ölçüm)

Alınan ölçümlerin ölçüm sırasına göre tarihleri ve ölçümlerde nokta bulutlarının birleştirilmesi sırasındaki hata miktarları Tablo 4.9’da verilmiştir.

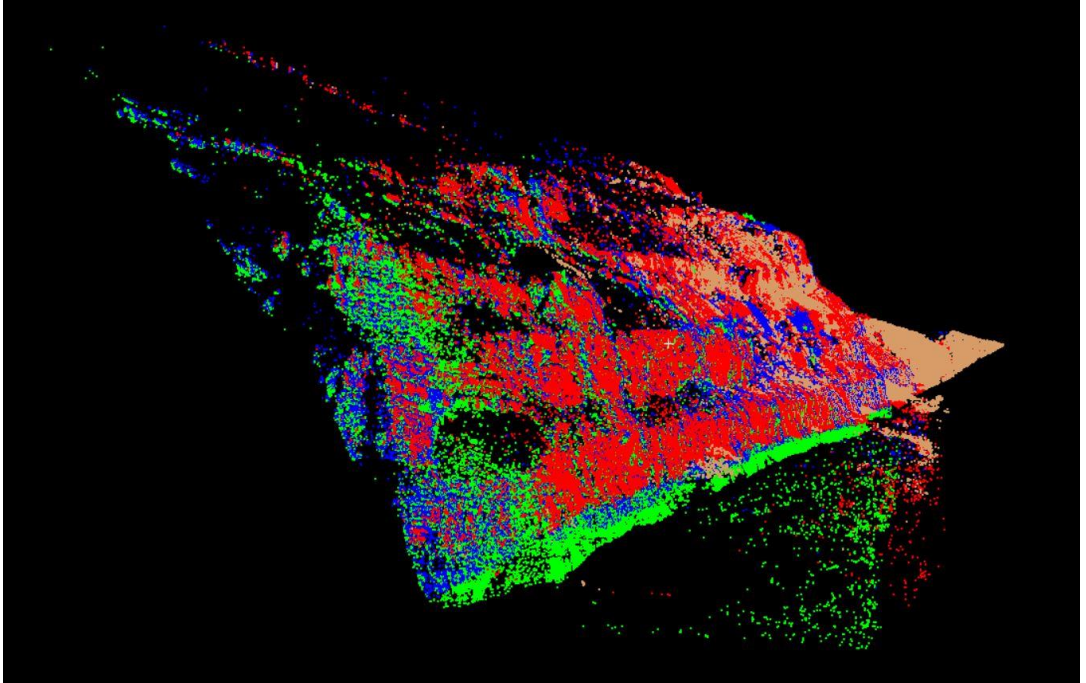
Tablo 4.1 Ölçüm tarihleri ve birleştirme hata miktarları

Ölçüm	Ölçüm Rengi	Ölçüm Tarihi	Birleştirme Hatası
1.Ölçüm	Yeşil	06.02.2014	3,4 mm
2.Ölçüm	Mavi	17.04.2014	2,8 m
3.Ölçüm	Kırmızı	29.11.2014	3,1 mm
4.Ölçüm	Kahverengi	11.06.2015	2,2 mm

Çalışma yapılacak alandan fazla nokta bulutu olması işlem sürelerini uzatacağından bu noktaların temizlenmesi analizleri kolaylaştıracaktır. Oluşturulan nokta bulutlarında öncelikle çalışma alanı belirlenerek geriye kalan nokta bulutu verileri temizlenmiştir(Şekil 4.73, a ve b).



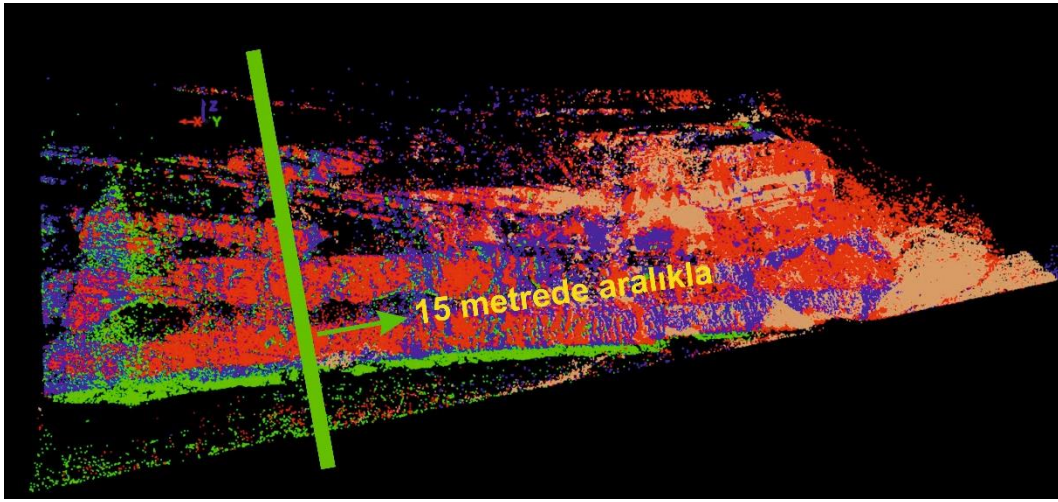
(a)



(b)

Şekil 4.73 Çalışma alanının dışında kalan nokta bulutlarının temizlenmiş hali (a: karşıdan görünüş, b:kesit görünüş)

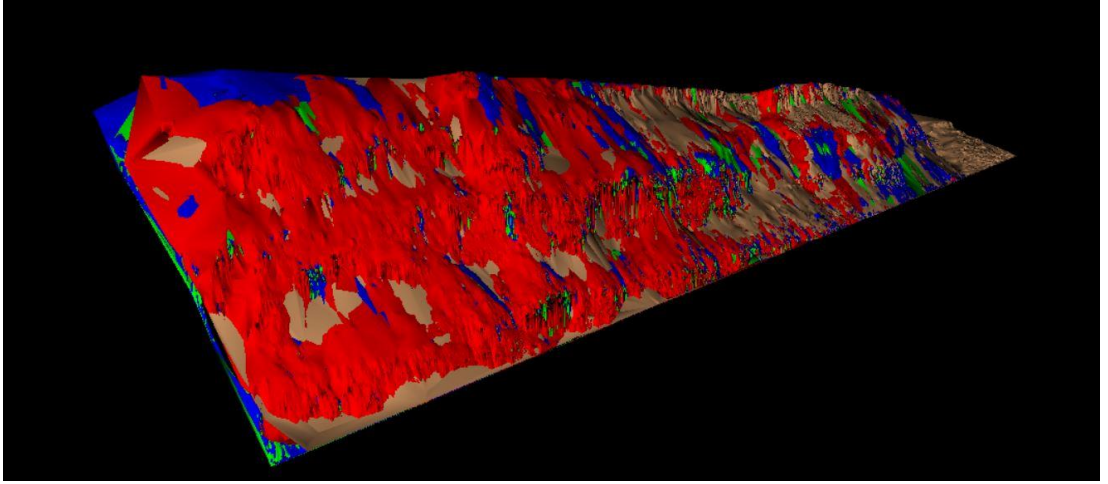
Oluşturulan nokta bulutları sonrası yapılan değerlendirmede şevde meydana gelen deformasyonların karmaşık yapıda olduğu ve hızlı geliştiği görülmüştür. Şekil 4.71’ de görüldüğü gibi kahverengi ile temsil edilen son nokta bulutunun her yerde hakim olmaması şevde sadece ileriye doğru hareketin değil akmaların’da meydana geldiğini göstermektedir. Şevdeki deformasyon mekanizmasını daha iyi anlayabilmek için yaklaşık 150 m uzunluğunda olan çalışma alanında nokta bulutları üzerinde kuzey güney doğrultusunda şev yüzeyine dik, 15 metre arayla ve 5 metre kesit genişliğinde kesitler alınmış (Şekil 4.74) daha sonra kesitler üzerinde yorum yapılmıştır.



Şekil 4.74 Kesit hatlarının şevye göre konumları

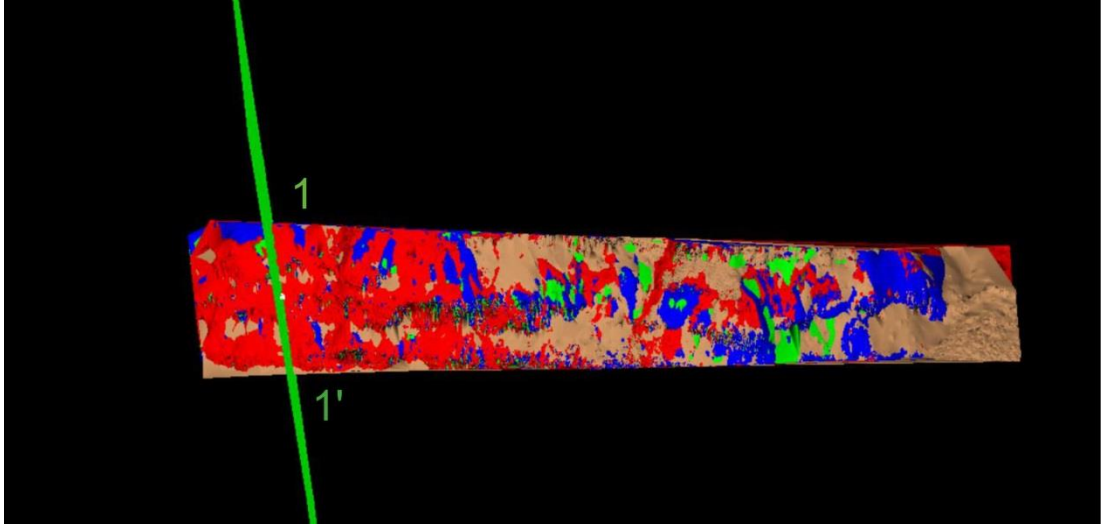
Şev yüzeyinden alınan kesitlerden önemli miktarda deformasyon gözlenenler ek 1’de verilmiştir. Yapılan kesit çalışmasında kimi zaman kabarma kimi zaman akmaların görüldüğü iki yöne doğrudan hareketin olduğu bu tarz durumlarda nokta bulutları üzerinden analiz yapmanın zor ve hataya açık olduğu görülmüştür. Bu yüzden nokta bulutları üzerinde yapılan kesit çalışmalarının ardından her nokta bulutundan üçgenleme metodu ile yüzeyler oluşturulmuş (Şekil 4.75) ve bu yüzeyler üzerinden kesitler alınarak deformasyon hareketleri değerlendirilmiştir.

Üçgenleme işlemi yapılmadan önce nokta bulutu verilerinde noktaların yoğunluklarının az olduğu kısımlar temizlenmiştir. Bundaki amaç az nokta ile oluşturulan yüzey oluşturma işlemlerinde hata oranının artmasıdır.

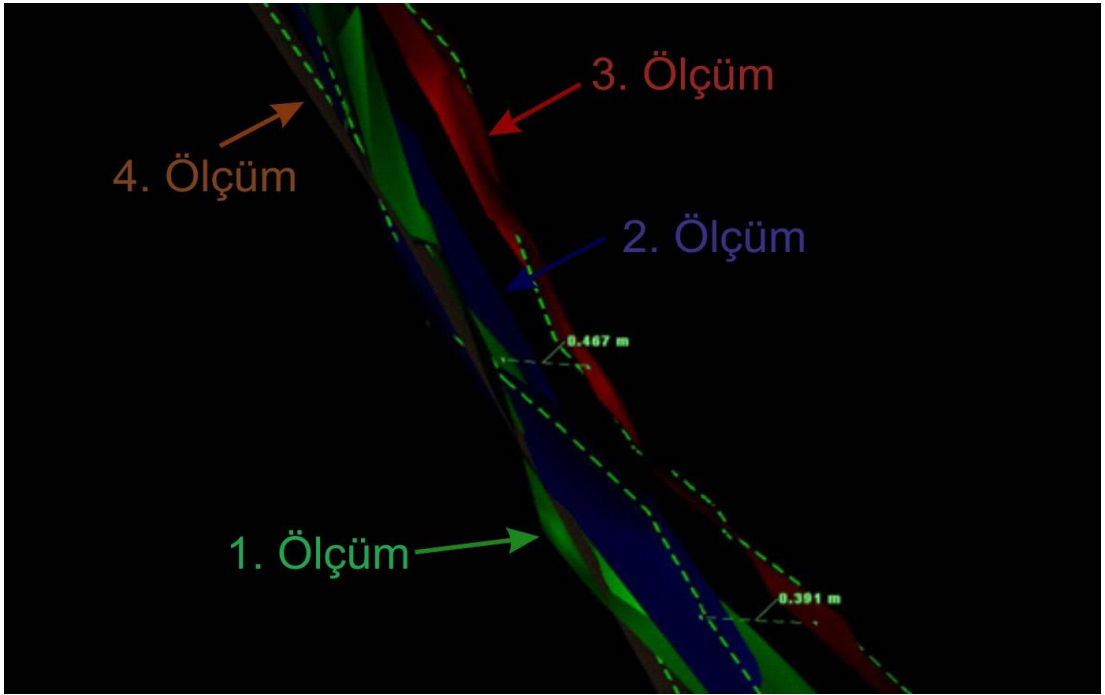


Şekil 4.75 Nokta bulutlarından üçgenleme yoluyla oluşturulan yüzeyler

Oluşturulan yüzeyler üzerinden alınan kesitlerin konumu ve kesitler üzerinde gerçekleştirilen deformasyon analizleri, Şekil 4.76 – Şekil 4.79’de verilmiştir.

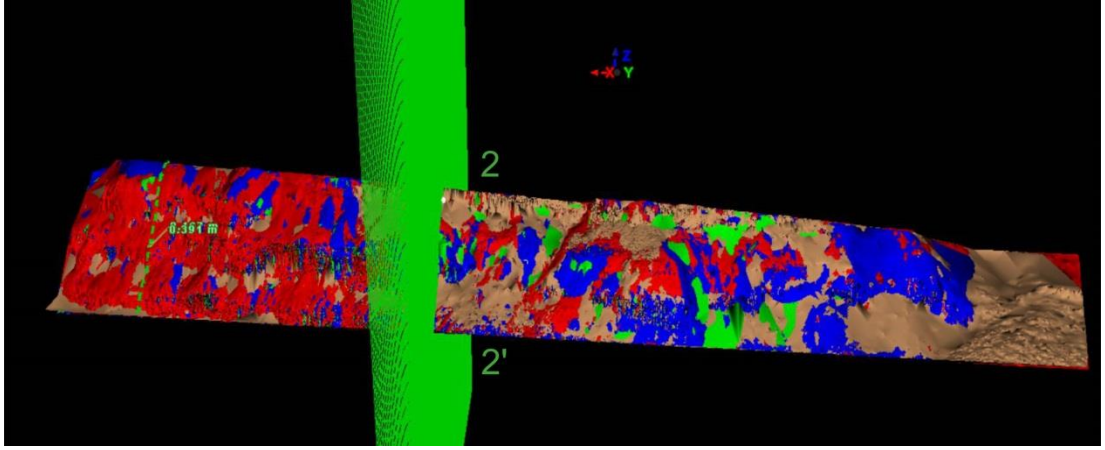


(a)

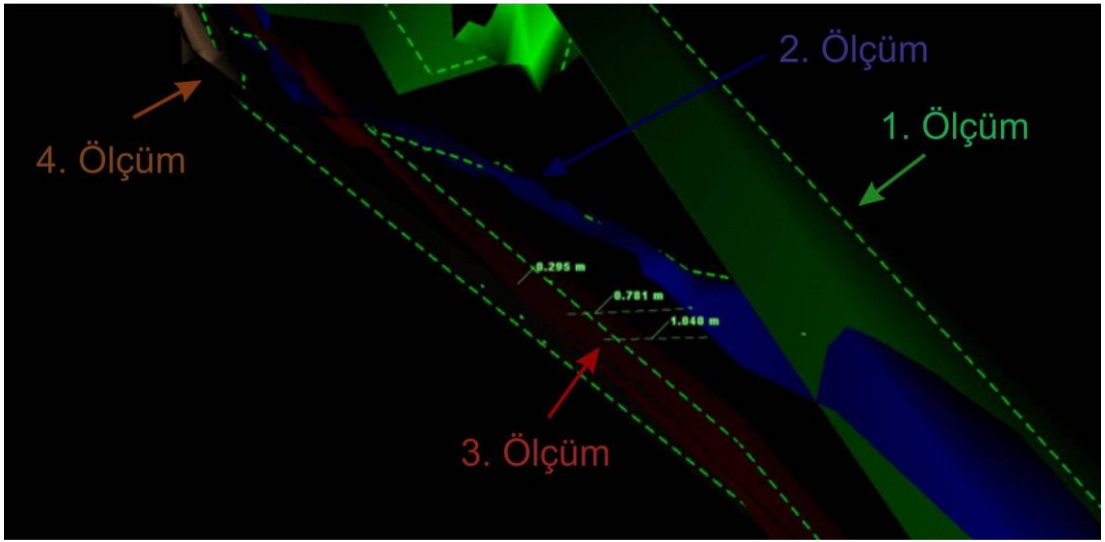


(b)

Şekil 4.76 Yüzeylerden alınan 1-1' kesiti (a – kesitin alındığı yer, b- kesit görüntüsü)

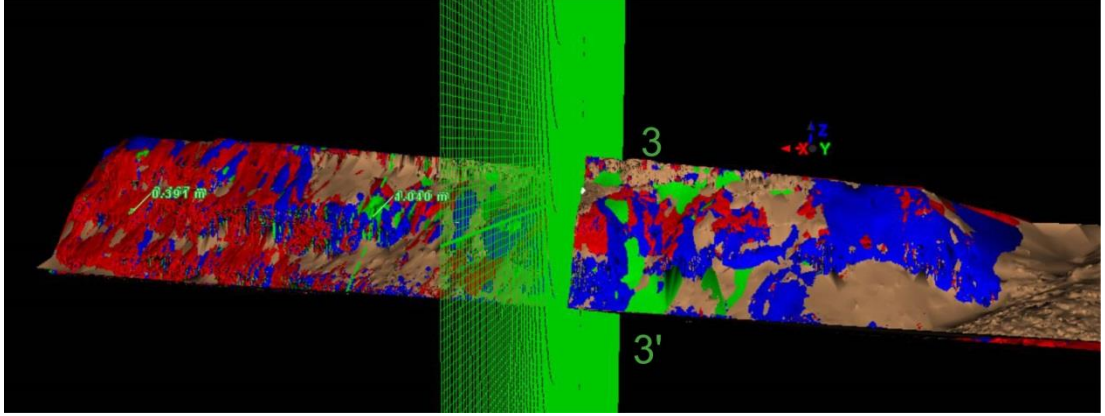


(a)

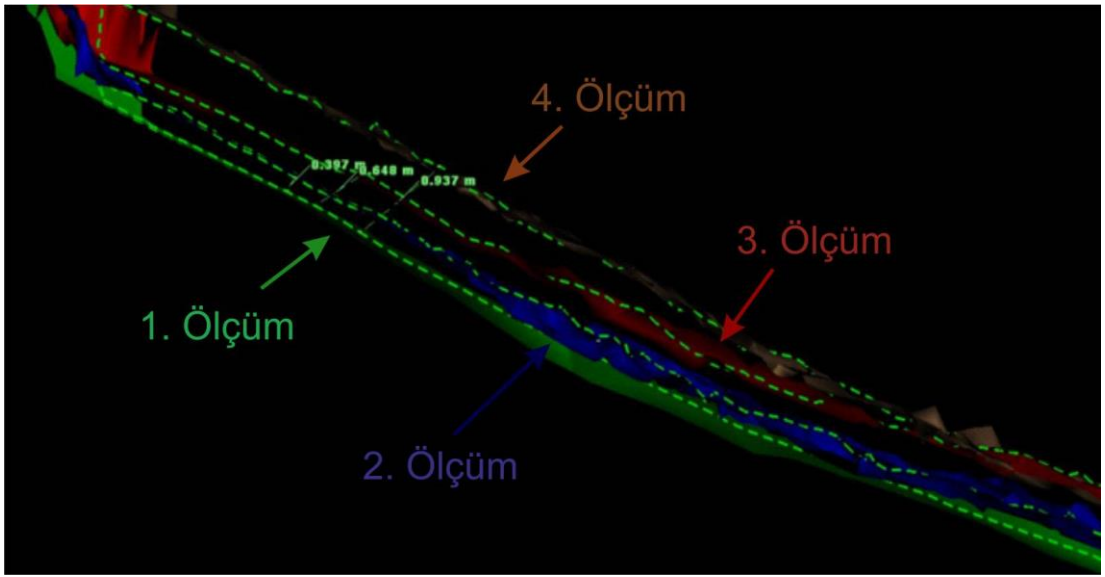


(b)

Şekil 4.77 Yüzeylerden alınan 2-2' kesiti (a – kesitin alındığı yer, b- kesit görüntüsü)

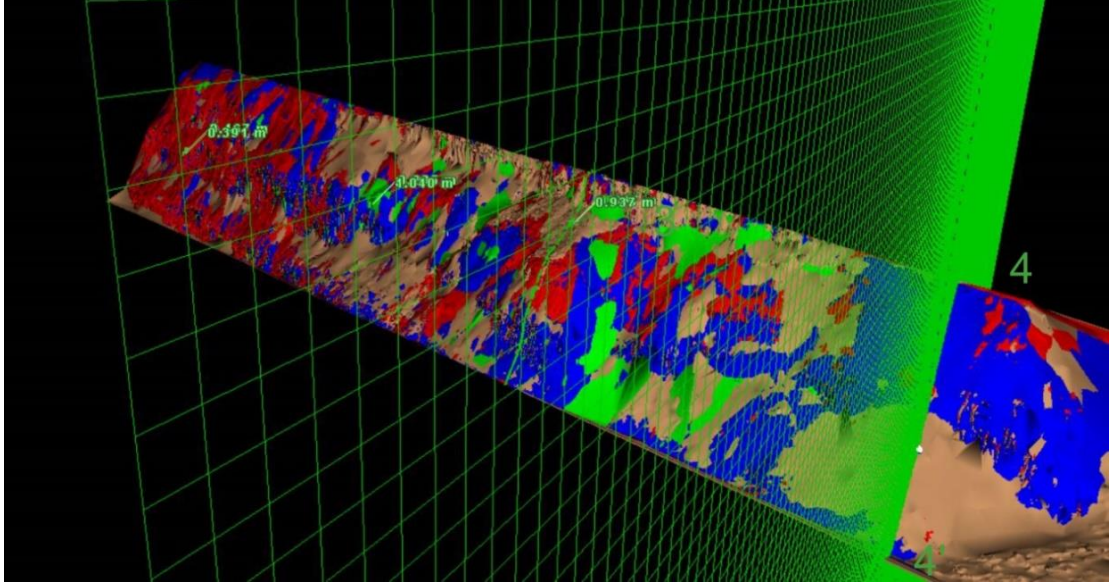


(a)

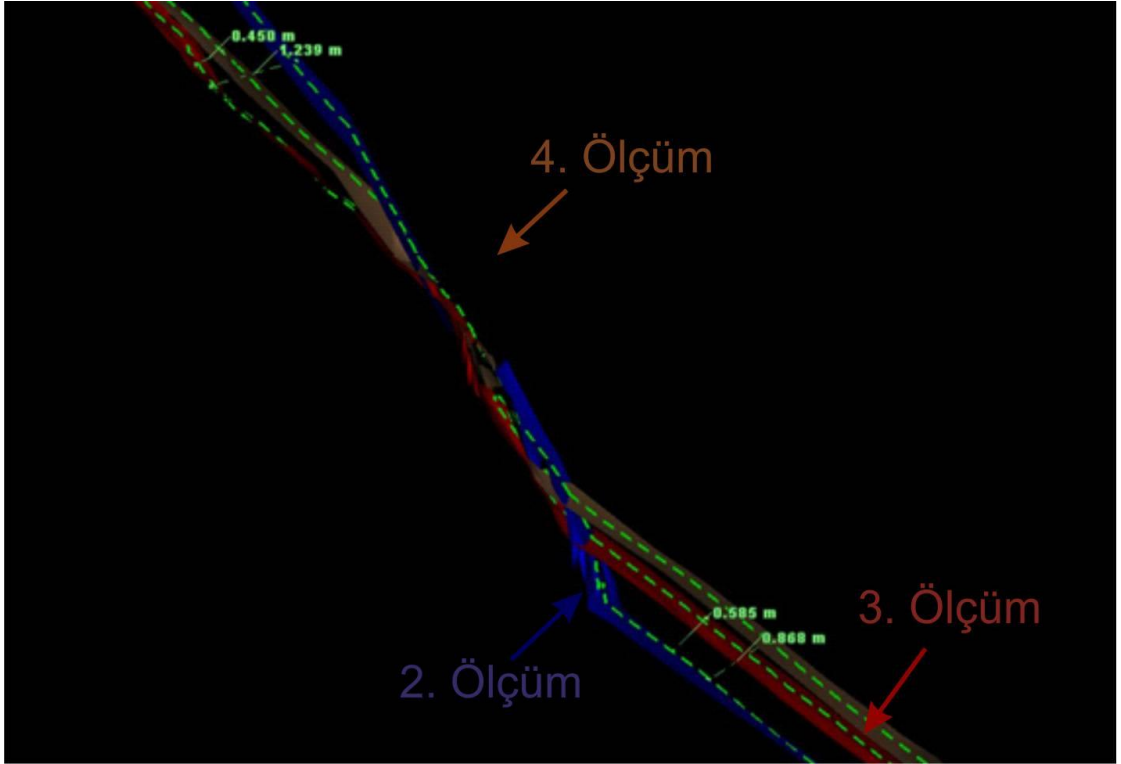


(b)

Şekil 4.78 Yüzeylerden alınan 3-3' kesiti (a – kesitin alındığı yer, b- kesit görüntüsü)



(a)



(b)

Şekil 4.79 Yüzeylerden alınan 4-4' kesiti (a – kesitin alındığı yer, b- kesit görüntüsü)

Kısrakdere bölgesi G panosu güney şevlerinde 4 farklı tarihte yapılan yapılan yersel lazer tarayıcı ölçümlerinden üretilen nokta bulutu verileri ve nokta bulutlarından oluşturulan yüzeyler ve kesitler değerlendirildiğinde 06.02.2014 tarihinde alınan ilk ölçümden sonra G panosu güney şevinde öne doğru bir hareket olduğu görülmüştür. Ancak şevi oluşturan kireçtaşı katmanlarının şev doğrultusuna dik olmasından dolayı mevcut durumda büyük bir hareket yerine bölgesel olarak ancak çok ciddi miktarda şevde akmalar ve oturmalar olduğu belirlenmiştir. Yersel lazer tarayıcı ile alınan ölçümlerden oluşturulan yüzeyler üzerinden alınan kesitler incelendiğinde;

Şekil 4.76 b’de verilen 1-1’ kesitinde şev yüzeyinden 06.02.2014 tarihinde (1.ölçüm) alınan ölçümden sonra, 17.04.2014 tarihli (2.ölçüm) ve 29.11.2014 tarihli (3.ölçüm) ölçümlerde şevin ileriye doğru hareket ettiği görülmüştür. Yapılan ölçümlerde 1.ölçüm ile 2. ölçüm arasında 0,076 m, 2.ölçümle 3. ölçüm arasında 0.391m, şev boşluğuna doğru hareket saptanmıştır. 3.ölçümden sonra 11.06.2015 tarihinde alınan 4. ölçümden alınan kesit hattının geride kaldığı bu da şevin o kısmında akma olduğu anlamına gelmektedir.

Şekil 4.77 b’de verilen 2-2’ kesitinde şevin bu kısmında ilk ölçüm tarihinden itibaren devamlı bir şekilde akma olduğu şev yüzeyindeki malzemenin boşaldığı görülmektedir.

Şekil 4.78 b’de verilen 3-3’ kesitinde şevin bu kısmında ilk ölçüm tarihinden itibaren ileriye doğru bir kabarma olduğu ve şevin bu bölgede sadece ötelenildiği görülmüştür. Şev kesitinin ilk ölçümü ile son ölçümü arasında 0,937 m’lik bir ötelenme tespit edilmiştir.

Şekil 4.79 b’de verilen 4-4’ kesitinde ise şevin üst kısımlarında ve alt kısımlarında farklı hareketlerin olduğu görülmüştür. Şevin üst kısmında 2.ölçüm ile 3. ölçüm kesitleri karşılaştırıldığında bu kısımda yaklaşık 1,239 m kalınlıkta bir kısmın aktığı ve şevin üst kısmını boşalttığı görülmektedir. Daha sonra 3. ölçüm ile 4. ölçüm karşılaştırıldığında ise aynı kısmın 0,45m ile 0,55 m arasında kabardığı

belirlenmiştir. Şevin alt kısmında ise 2.ölçümden itibaren toplamda en yüksek 0,86 m'yi bulan sürekli bir kabarma görülmüştür. 4-4'kesitinin alındığı yerde 1. ölçüm ile ilgili veri alınmadığı için bu kesitte 1.ölçüm değerlendirilememiştir.

BÖLÜM BEŞ

SONUÇLAR

Riskli bir sektör olan madencilik sektöründe bu risklerin azaltılması teknolojik gelişmelerin madencilik sektöründe verimli bir şekilde kullanılmasıyla mümkün olmaktadır. Ancak bu teknolojik sistemlerin doğru uygulama yöntemleriyle, uzman kişilerce kullanılması ve temel bilgilerle beraber yorumlanması gerekmektedir.

Madencilik sektöründe son yıllarda kullanım alanı bulan uzaktan algılama yöntemleri tez çalışması kapsamında açık ocaklarda şev takibi amacıyla kullanılmış ve yapılan çalışmalarda uzaktan algılama yöntemlerinin şev takibinde sağladığı üstünlükler şu şekilde sıralanmıştır;

- Uzaktan algılama yöntemleri açık ocaklarda geniş alanlarda analiz yapabilme olanağı sunmuştur.
- Ocaklarda meydana gelen hareketler hakkında geçmişe ait veriler elde edilebilmesine olanak sağlamış ve zamana bağlı analizlere olanak sunmuştur.
- Zamandan ve iş gücünden tasarruf sağlamış, operasyonel faaliyetlere ihtiyaç duyulmamış ve en önemlisi şev takibi sırasında hareketli kütle üzerinde ölçüm yapılmamış ve olası tehlikelere maruz kalınmamıştır.
- Kişilerden ve cihazlardan kaynaklı ölçüm hataları en düşük seviyeye indirilmiştir.
- Lazer tarayıcı teknolojisi ile şev yüzeylerinde meydana gelen en küçük deformasyonlar bile hassas bir şekilde belirlenebilmiş, hareketli kütlenin hareket miktarı ve hareket yönü ile ilgili net bilgiler elde edilmiştir. Aynı şekilde lazer tarayıcılar ile kütle hareketleri de net bir şekilde belirlenebilmiştir. Ancak lazer tarayıcı sistemler ile yapılan hareket

takibinde, şevlerdeki kayma dairesi ve kayma dairesinin derinliği ile ilgili herhangi bir bilgi edinilememekte sadece şev hareketinin izlenmesi ve deformasyon miktarlarının belirlenmesi gerçekleştirilmektedir.

Yapılan tez çalışmasında sonucunda uzaktan algılama yöntemlerinin açık ocaklarda meydana gelen yüzey hareketleri ölçümlerinde hassas, hızlı ve güvenli bir şekilde uygulanabilirliği ortaya konmuştur. Bu çalışmalar yapılırken her yüzey hareketinin kendine özgü bir mekanizması olduğu göz önüne alınmış ve her olay için ayrı bir çalışma yöntemi geliştirilmiştir.

Yapılan saha çalışmalarının ilki olan Tunçbilek Açık Ocağı harman sahası hareketinin takibine yönelik yapılan çalışmada eski yıllara ait uydu görüntülerinden yararlanılmış ve bu sayede heyelanın gelişimi yıllar bazında izlenmiştir. 2001 ile 2013 yılları arasında alınan uydu görüntüleri üzerinde yapılan çalışma sayesinde heyelanın Yörgüç köyü kısmına ilerleyen kolunda meydana gelen heyelan hızının yıllar içerisinde yavaşladığı ve son 3 yıldır heyelanın ucunda herhangi bir ilerleme olmadığı ortaya konmuştur. Ocak içerisine ilerleyen kolda ise yüksek eğimden kaynaklı hareketin halen devam ettiği görülmüştür. Aynı çalışmada Yörgüç köyü heyelanının uç kısmı 3 farklı tarihte yersel lazer tarayıcı ile taranarak heyelanın uç kısmı değerlendirilmiş ve ölçümler sonunda uç kısmında herhangi bir genişleme belirlenmemiş sadece bölgesel kabarmalar gözlenmiştir.

İkinci çalışma olan Bigadiç Simav Açık Ocağında meydana gelen yüzey hareketlerinin değerlendirilmesinde yersel lazer tarayıcı kullanılmış ve ocağın güney ve doğu kısmında meydana gelen hareketler değerlendirilmiştir. Ocağın güney kısmında yapılan ölçümlerde bölgesel hareketler belirlenmişken doğu kısmında ise şevlerin büyük miktarda hareket ettiği belirlenmiştir. Aynı çalışmada ocağın doğu kısmında gerçekleşen şev hareketlerinin hareket yönü, oluşturulan nokta bulutları üzerinden düzleminin dik vektörü bulunarak 3 nokta problemi ile bulunmuştur.

Son çalışma olan Soma Kısırakdere G-Panosu güney şevlerinde yapılan çalışmada ise G-Panosu güney şevlerinde yeraltı üretiminin subsidans etkisinden kaynaklı meydana gelen şev hareketleri yersel lazer tarayıcı ile 4 farklı tarihte alınan ölçümlerle değerlendirilmiştir. Yersel lazer tarayıcı ölçümlerinden oluşturulan nokta bulutlarından üçgenleme yöntemi ile yüzeyler oluşturulmuş ardından bu yüzeyler üzerinden alınan kesitler üzerinde değerlendirmeler yapılmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda şevdeki hareketin kimi yerlerde öne çıkma ve ardından dökülme şeklinde olduğu, kimi yerlerde sadece ileriye doğru ötelenme şeklinde olduğu ortaya konmuştur.

Tez sonunda gelecek çalışma planı olarak uzaktan algılama yöntemlerinden, yersel lazer tarayıcı sistemlerin yeraltında kullanabilirliği üzerinde çalışmalar yapılması planlanmış ve ön çalışmalara başlanmıştır. Yersel lazer tarayıcı sistemlerin yeraltında özellikle deformasyon takibinde kullanılması durumunda çok yüksek hassasiyetle konverjans miktarlarını galeri veya tünel hatları boyunda belirleyebileceği öngörülmüştür. Ayrıca yeraltında alınan ölçümler sonunda oluşturulacak yüzeyler üzerinde galeri yüzeylerinin hareket yönlerinin de 3 boyutlu olarak belirlenebileceği öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

Altuntaş, C. ve Çorumluoğlu, Ö. (2002). Uzaktan algılamada görüntü işleme ve Rsimage yazılımı. *Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliğinde 30.yıl Sempozyumu* (434-442)

Ateş, S. ve Demir, E., (2009). Uzaktan algılamada çözünürlüğe bağlı veri kazanımı potansiyeli. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*. 23 Mart 2013
http://www.hkmo.org.tr/resimler/ekler/f2ee7de99895351_ek.pdf

Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü, (2014). *Simav açık ocağı*. 15 Nisan 2015,
<http://www.etimaden.gov.tr/bigadic-300s.htm>

Boehler, W., Heinz, G., Marbs, A. ve Siebold, M., (2002) 3D Scanning Software: An Introduction. *Proceeding of the CIPA WG6 International Workshop on Scanning for Cultural Heritage Recording*.

Boehler, W. ve Marbs, A., (2002). 3d Scanning instruments. *Proceeding of the CIPA WG6 International Workshop on Scanning for Cultural Heritage Recording*.

Canada Centre for Remote Sensing (2014). *Fundamentals of remote sensing*. 30 Eylül 2014. [http:// www.nrcan.gc.ca / sites /www.nrcan.gc.ca /files /earthsciences /pdf/resource/tutor/fundam/pdf/fundamentals_e.pdf](http://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/resource/tutor/fundam/pdf/fundamentals_e.pdf)

Deliormalı A.H., Maerz N.H. ve Otoo J., (2014). Using terrestrial 3D laser scanning and optical methods to determine orientations of discontinuities at a granite quarry. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* 66 (41-48)

Durna, S. (2014). *Denizlerdeki yağ tabakasının tespitinde radar görüntülerinin kullanımı*. Denizcilik Uzmanlık Tezi, T.C. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı Deniz ve İçsular Düzenleme Genel Müdürlüğü, Ankara

Düzgün, Ş. (2010). *Uzaktan algılamaya giriş*. Ulusal Açık Ders Malzemeleri Konsorsiyumu. 20 Ocak 2012. <http://www.acikders.org.tr/course/view.php?id=28>

ERDAS Field Guide, (2008). 22 Temmuz 2011, http://www.hexagon-solutions.com.cn/libraries/misc_docs/erdas_fieldguide_pdf_intergraph_brand.sflb.pdf

Ertürk, E. (1996). Şevlerde hareketlerin izlenmesi için İnklinometre aletinin kullanımı ve bir örnek uygulama. *Jeoloji Mühendisliği*, 48, (57-62)

Fangi, G., Fiori, F., Gagliardini, G. ve Malinverni, E. S., (2001). Fast and accurate close range 3d modelling by laser scanning system, Ancona Üniversitesi, 12 Nisan 2012. <http://cipa.icomos.org/text%20files/potsdam/2001-21-gf01.pdf>

Garp Linyitleri İşletmesi Müessesesi Müdürlüğü (b.t). *Garp Linyitleri İşletmesi Müessesesi Müdürlüğü Faaliyetleri*. 25 Aralık 2014 <http://www.gli.gov.tr/faaliyet.html>

Graham,P.J. (1989). Inclinator data reduction computer program. *Mitre Software Corporation*, 9636-51, 53

Gümüş, K. ve Erkaya, H. (2007). Mühendislik uygulamalarında kullanılan yersel lazer tarayıcı sistemler. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*

Genechten B.V., Bruyne M.D., Poelman R., Hankar, M., Barnes, S., Caner, H. ve diğeri, (2008). Theory and practice on terrestrial laser scanning training material based on practical applications. *3DRiskMapping Version 4*

Hoek, E. ve Bray, W.J. (1981). *Rock slope engineering* (3.baskı). London: CRC Press

Irak, H. (2009). SAR sistem ve teknolojileri. *Elektrik Mühendisliği* 437 (86-90)

Indian Institute (2014). *Slope insturements*. 13 Mayıs 2015. <http://www.iitbhu.ac.in/faculty/min/rajesh-rai/NMEICT-Slope/Pdf/10%20Slope%20Instrumentation.pdf>

İnfolla, (2015). *Elektromanyetik spektrum*. 20 Nisan 2015. <http://www.infolla.com/Articles/elektromanyetik-spektrum/112>

İşlem Şirketler Grubu, (2002). *Uzaktan algılama*. 15 Mayıs 2014. <ftp://ftp.islem.com.tr/islem/DOKUMAN/UZALG.pdf>

Jooste, M.A. ve Cawood, F.T. (2006). Survey slope stability monitoring: lessons from Venetia Diamond Mine. *SAIMM, International Symposium on Stability of Rock Slopes in Open Pit Mining and Civil Engineering*. (361-374)

Kane, W. F., (2000). Monitoring slope movement with time domain reflectometry. *Geotechnical Field Instrumentation: Applications for Engineers and Geologists* (1-8)

Kargı, H., (b.t). *Uzaktan algılama*. 15 Mayıs 2014. <http://hkargi.pamukkale.edu.tr/B%C3%B6l%C3%BCm%201.pdf>

Kavzaoglu, T., (b.t). *Uzaktan algilama teknolojisi*. 21 Aralık 2013.
http://www.turksatglobe.com/Views/News/Contents/images/10/Files/TASKIN_KAVZIOGLU_SUNUM.pdf

Karşıdağ, G., (2011). *Yersel lazer tarama ölçmelerinde doğruluk analizi*. Yüksek Lisans Tezi İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Kersten, T.P., Mechelke, K., Lindstaedt, M. ve Sternberg H., (2008). Geometric accuracy investigations of the latest terrestrial laser scanning systems. *International Federation of Surveyors* (1-16)

Kızıl, M.S. ve Köse, H., (1995). Açık işletmelerde şev stabilitesi. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları no: 254

Levin, N., (1999). *Fundamentals of remote sensing*. Italya: International Maritime Academy.

Leica Geosystems (2010). *User manual*. 14 Nisan 2013.
http://geomaticsjc.lboro.ac.uk/scanning/ScanStation%20UserManual_en.pdf

Lillesand, T. M., ve Kiefer, R. W., (1987). *Remote sensing and image interpretation*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, (2015). *Uzaktan algılama*. 12 Şubat 2015. http://www.mta.gov.tr/v2.0/birimler/RSC_WEB/index.php?id=ua

Musaoğlu, N., (2014). Temel uzaktan algılama. 05 Haziran 2014
<http://www.ogm.gov.tr/ekutuphane/EgitimDokumanlari/Bilgi%20Sistemleri%20Dairesi%20Ba%C5%9Fkanl%C4%B1%C4%9F%C4%B1/CBS%20E%C4%9Fitim%20Belgeleri/Uzaktan%20Alg%C4%B1lama.pdf>

Michoud, C., Abellan, A., Derron, M. H. ve Jaboyedoff, M., (2012). Safeland, *Living with landslide risk in Europe: Assesment Effect of Global Change, and risk management stratagies 7th Framework Programme*

Nayegandhi, A., (2007). *Lidar technology overview*. ETI –US Geological Survey, Florida Integrated Science Center, St. Petersburg

Özdoğan, M. V., Karakuş, D., Konak, G., Onur, A. H. ve Köse, H. (2013). Maden işletmelerinde ulusal cors-tr (sürekli gözlem yapan gnss/gps istasyonu) sisteminin kullanılması - şev izleme çalışması örneği. *TMMOB Maden Mühendisleri Odası 4. Maden Makinaları Sempozyumu Bildiriler Kitapçığı* (211-222)

Palamutçu, S., Dağ, N., (2009). Fonksiyonel Tekstiller I : Elektromanyetik Kalkanlama Amaçlı Tekstil Yüzeyleri. *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi* (87-101)

Perissin, D. (2007). A Complete Sequence Of SAR Data Processing For Terrain Motion Measurements. *ESA Advanced Training Course on Land Remote Sensing*. 25 Aralık 2012. <http://earth.esa.int/landtraining07/D5PB-Perissin.pdf>

Pınarcı, E., (2007). *İki boyutlu kalman filtresinin yersel lazer tarama verisine uygulanması*, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli

Sefercik, U.G. (2007). Radar interferometri tekniği ile sym üretimi ve doğruluk değerlendirmeleri. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 1.Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*.

Smith, S. (2013). *Merrick's Quality Control module automates compliance for LiDAR point cloud datasets*. 12 Mart 2014. <http://www10.giscale.com/blogs/gissusan/2013/03/05/merricks-quality-control-module-automates-compliance-for-lidar-point-cloud-datasets/#>

Teksaş San Antonio Üniversitesi (2005). *Geometric correction*. 20 Nisan 2015
<http://www.utsa.edu/lrsg/Teaching/ES6973/Lecture/L5-Geom.ppt>

Turner, J.P., (2006). *Time domain reflectometry for monitoring slope movements, FHWA-WY-06/03F final report*, Department of Civil and Architectural Engineering University of Wyoming (1-8)

Türkiye Kömür İşletmeleri Ege Linyitleri İşletmesi Müessese Müdürlüğü (b.t). (2014) yılı faaliyet raporu, 30 Kasım 2013.
http://www.eli.gov.tr/eli_2014_faaliyet_raporu.pdf

Sarı, M., (1987). *Landsat 4 Uydu sayısal verileri yardımıyla detaylı temel toprak haritalarının oluşturulması üzerine araştırmalar*. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana

University of Wollongong (2014). *A brief overview of landslide monitoring*. 12 Şubat 2015. <https://eis.uow.edu.au/cme/landslide-research/monitoring/index.html>

Utah AGRC, (2014). *Exploring Lidar*. 12 Nisan 2015.
<http://gis.utah.gov/data/elevation-terrain-data/exploring-lidar/>

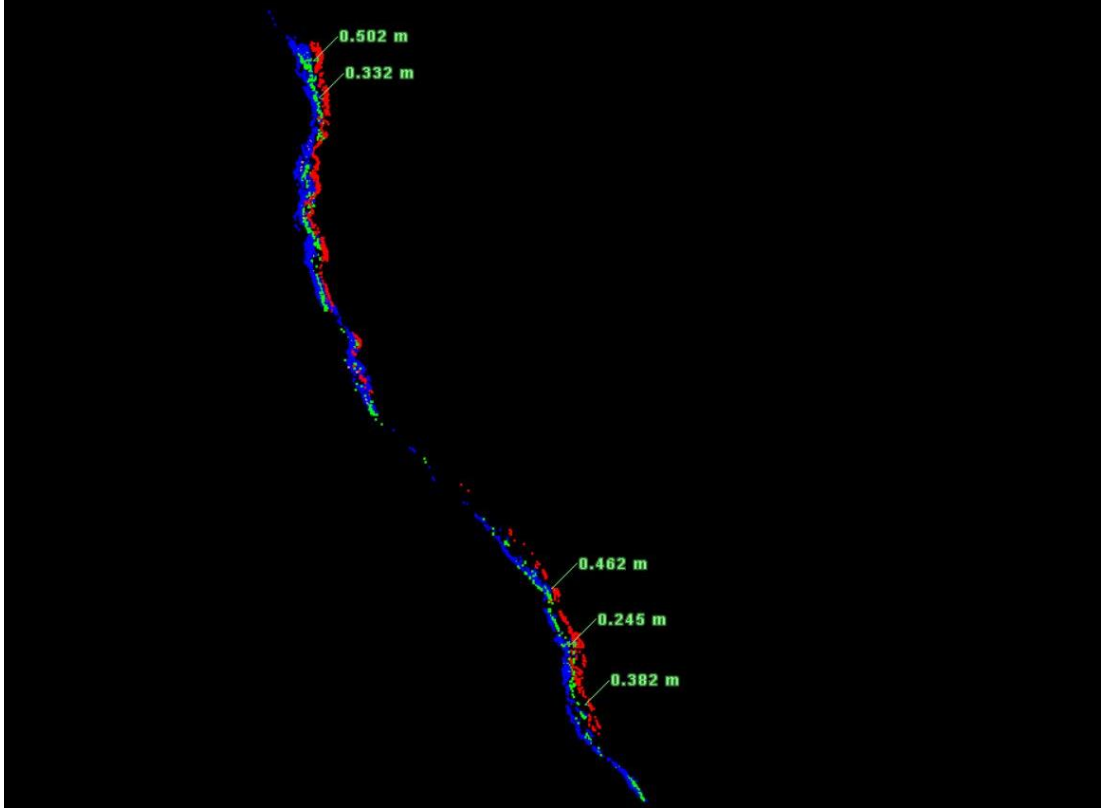
Vozikis, G., Haring, A., Vozikis, E. ve Kraus, K., (2004). Laser scanning: A new method for recording and documentation in archaeology. *In Proceedings of FIG Working Week 2004*

Woodman, O.J. (2007). *An introduction to inertial navigation technical report*, N. 696, Cambridge Üniversitesi.

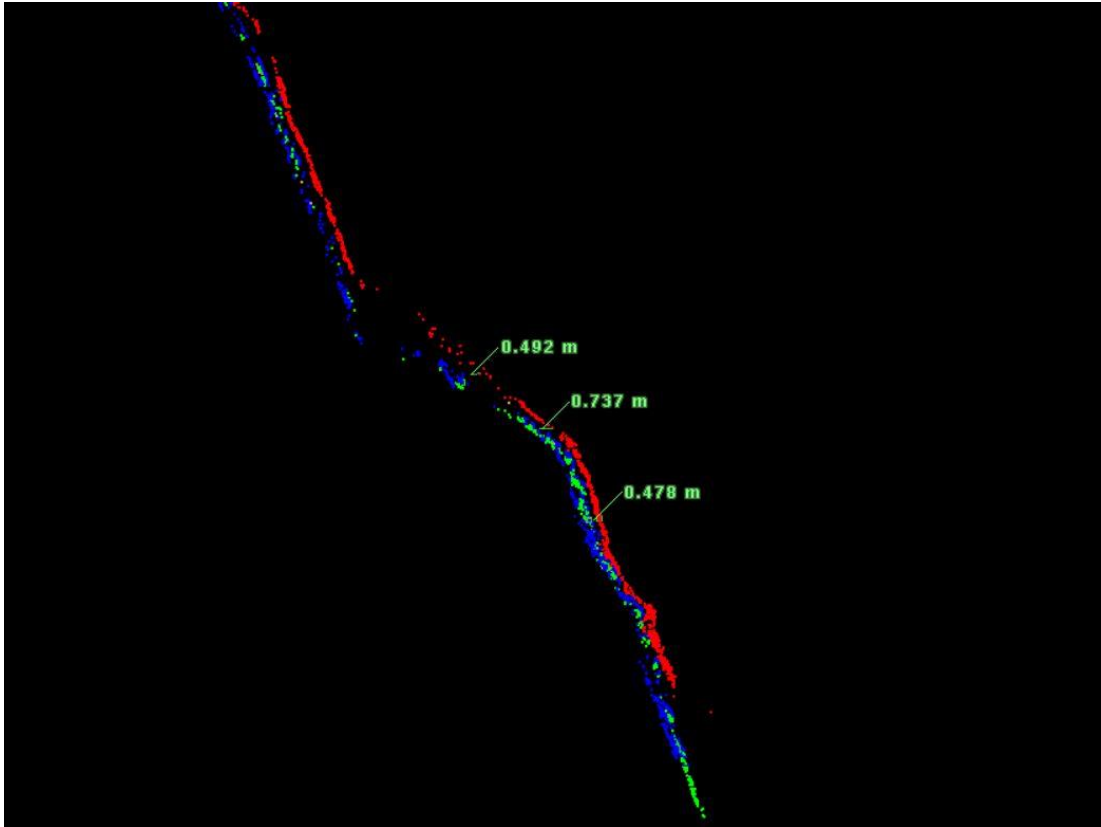
Zeybek, M. ve Şanlıoğlu İ., (2013). Heyelanların izlenmesinde yersel lazer tarama tekniklerinin kullanılması üzerine araştırmalar. *Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği VII. Teknik Sempozyumu*, (1-5)

EKLER

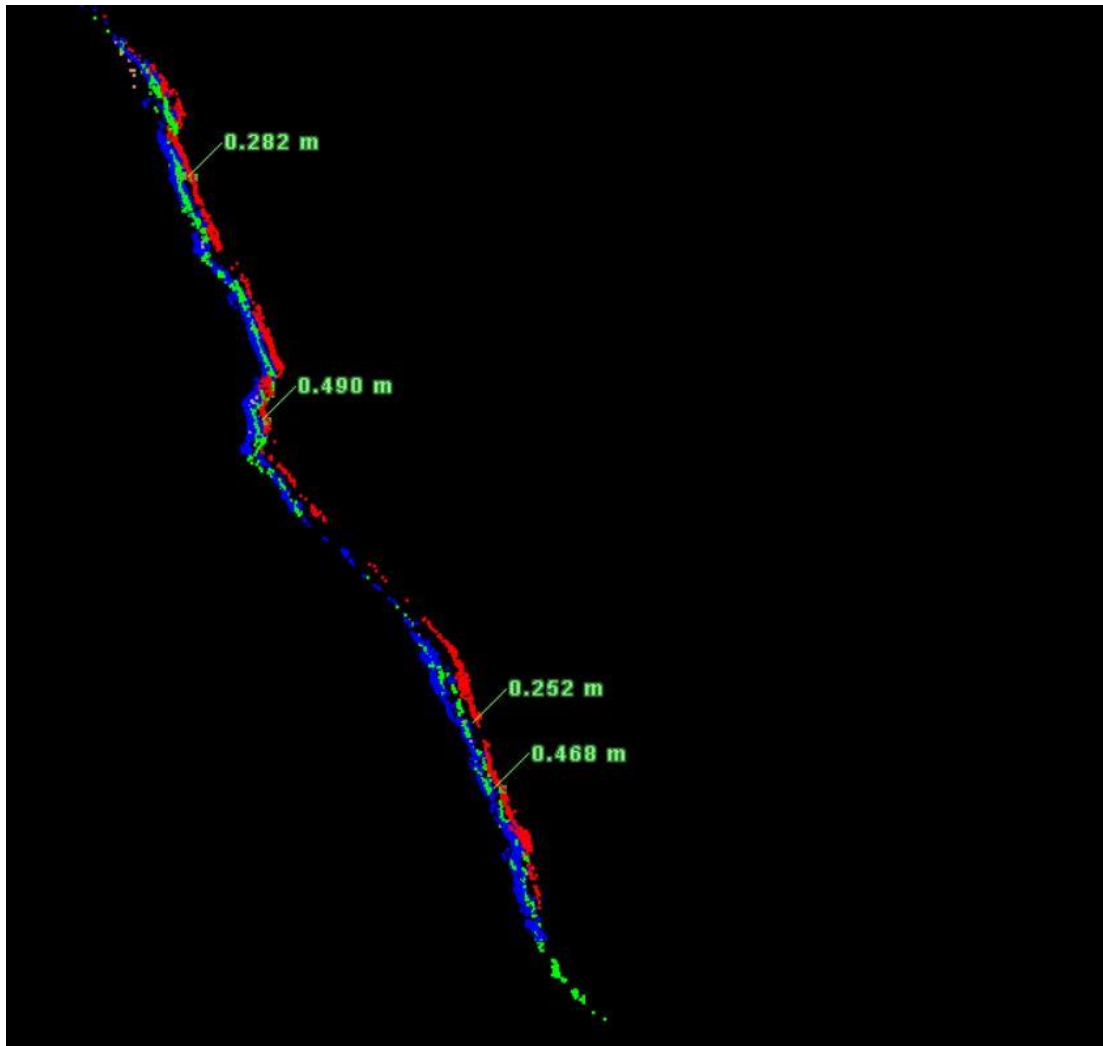
EK -1 Soma Kısırakdere G panosu güney şevleri nokta bulutu verilerinden alınan kesit görüntüleri



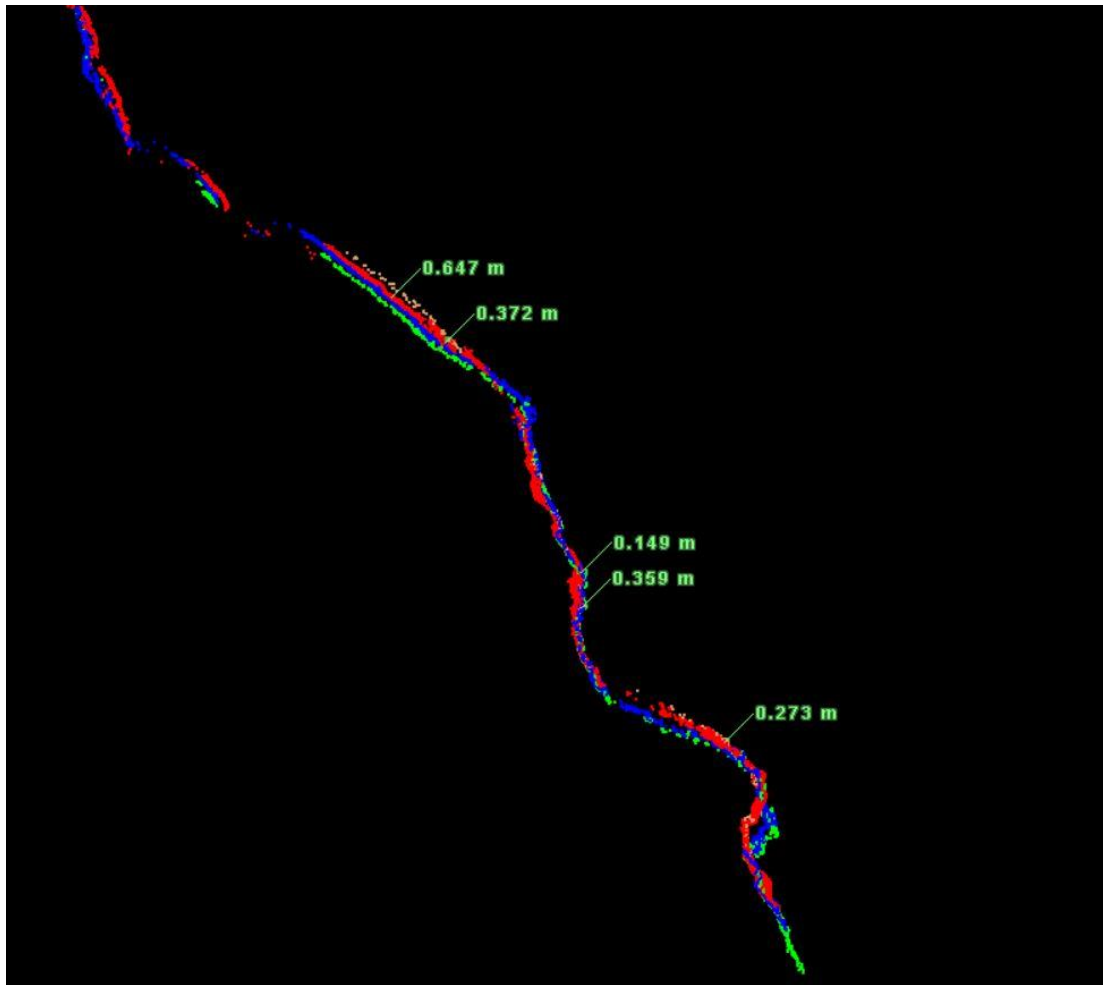
G Panosundan alınan 1 nolu kesit



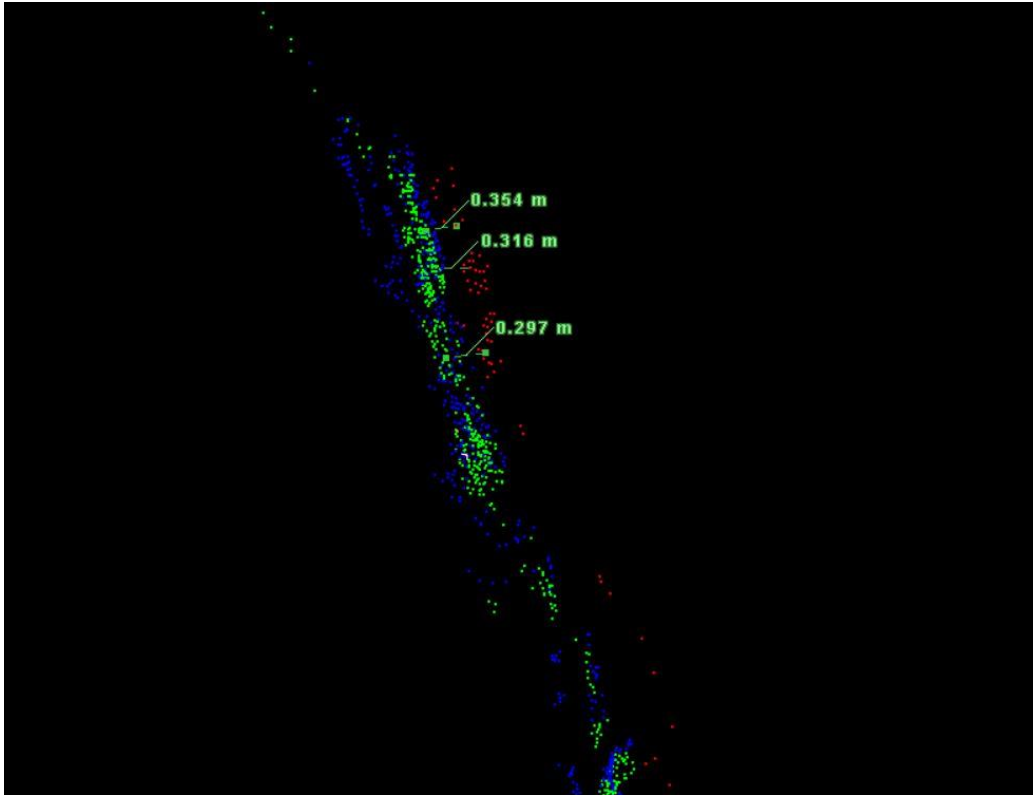
G Panosundan alınan 2 nolu kesit



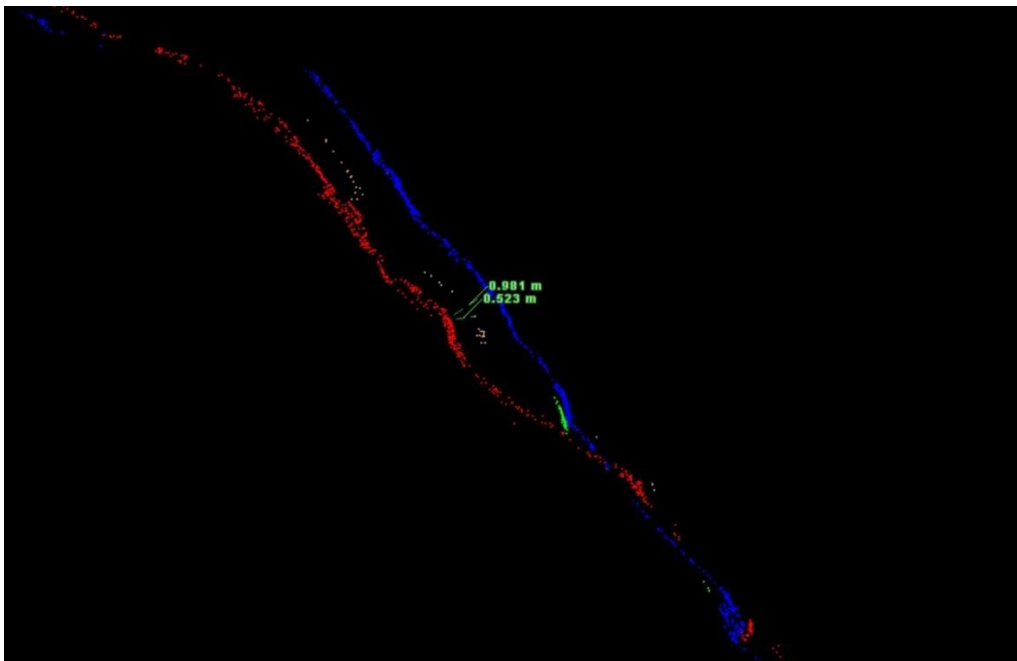
G Panosundan alınan 3 nolu kesit



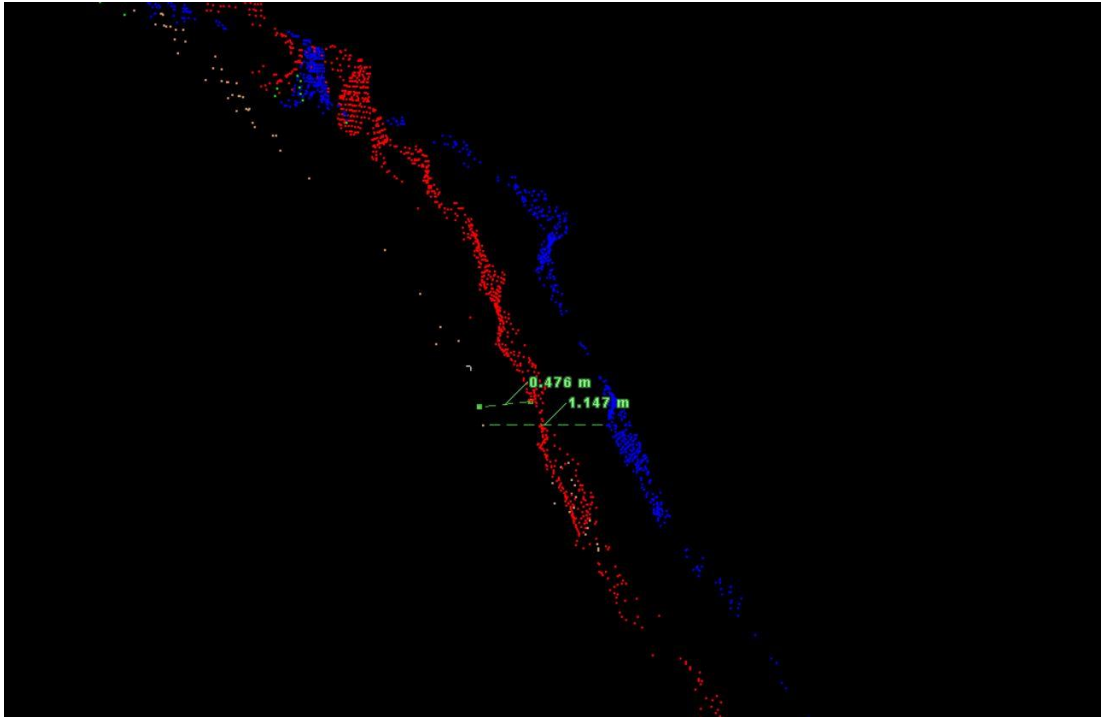
G Panosundan alınan 4 nolu kesit



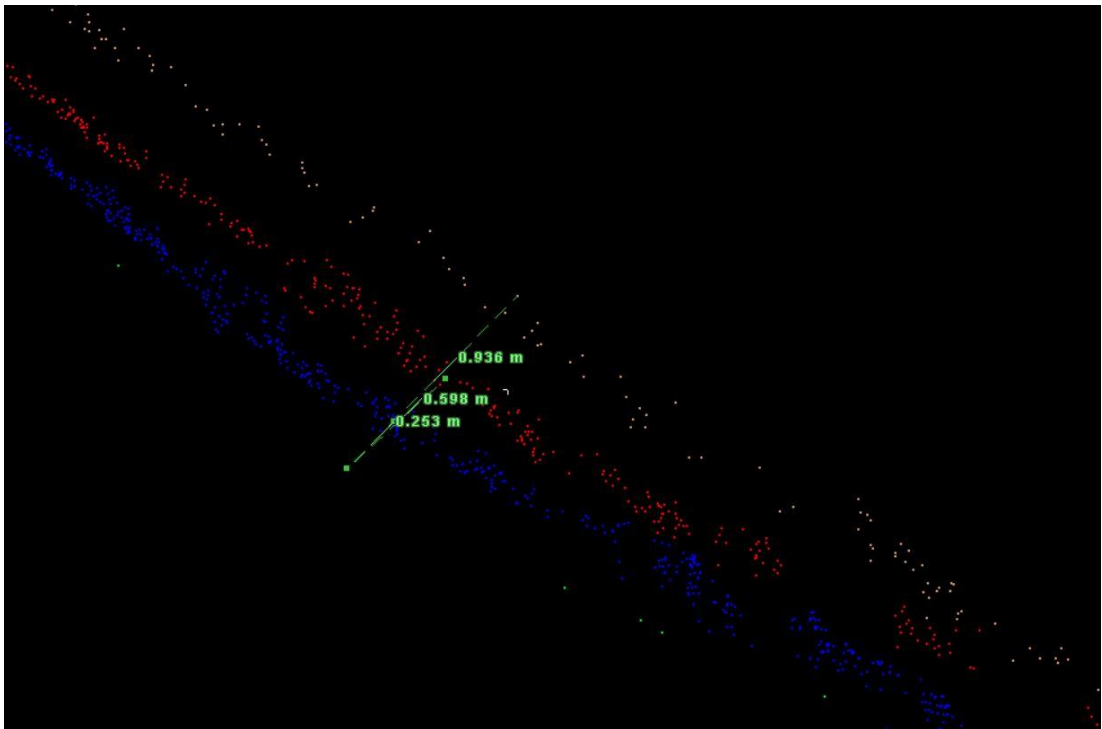
G Panosundan alinan 5 nolu kesit



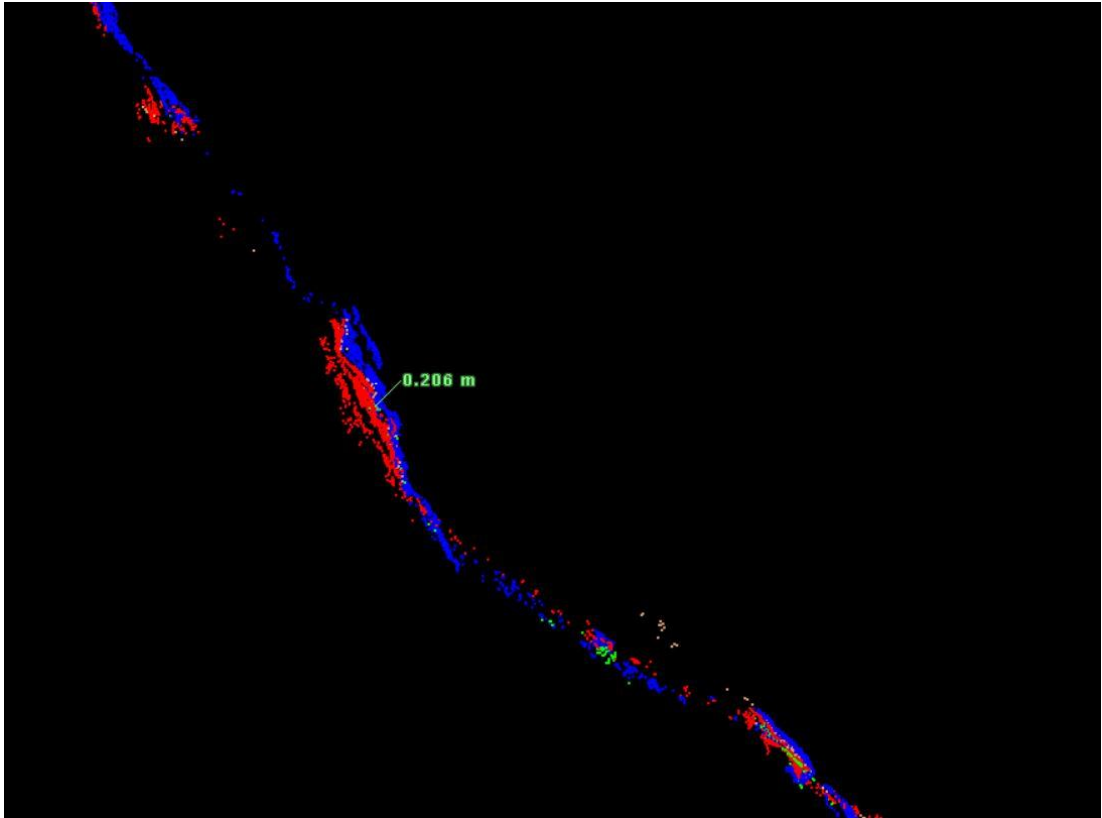
G Panosundan alinan 6 nolu kesit



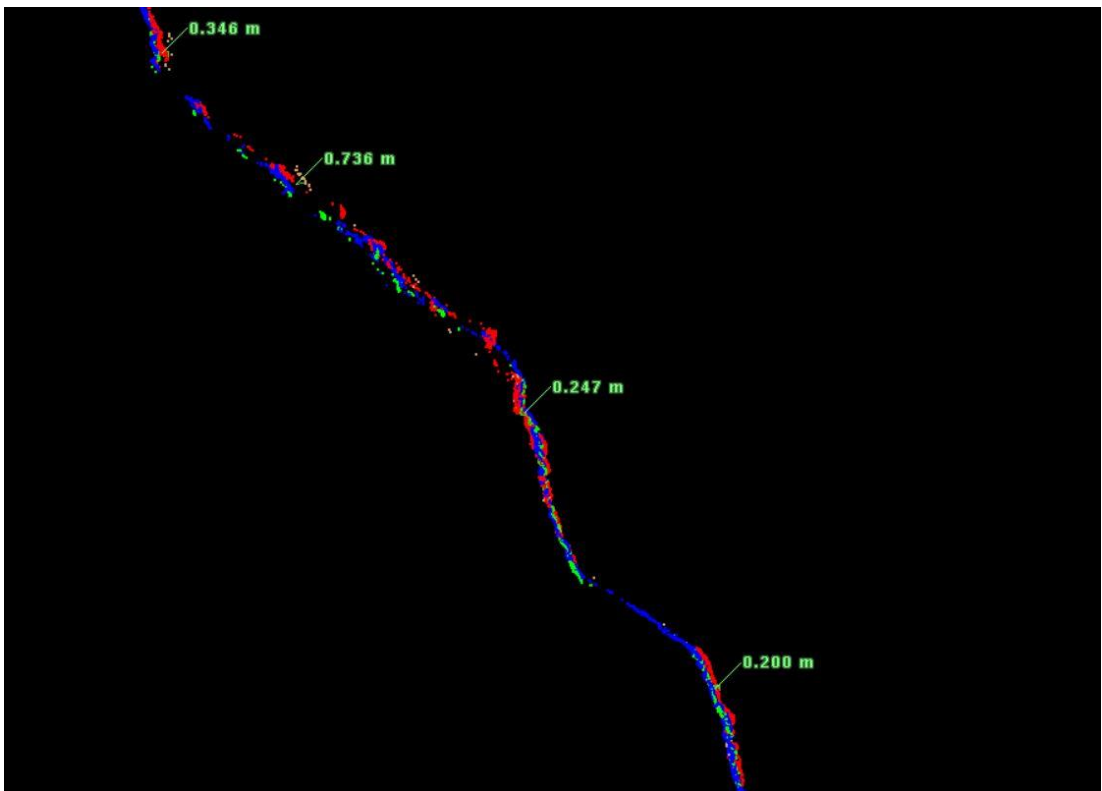
G Panosundan alınan 7 nolu kesit



G Panosundan alınan 8 nolu kesit



G Panosundan alınan 9 nolu kesit



G Panosundan alınan 10 nolu kesit