



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Heyelanların İzlenmesinde GNSS ve Yersel Lazer Tarama Tekniklerinin Birlikte Kullanılması

Mustafa ZEYBEK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Eylül-2013
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

HEYELANLARIN İZLENMESİNDE GNSS VE YERSEL LAZER TARAMA TEKNİKLERİNİN BİRLİKTE KULLANILMASI

Mustafa ZEYBEK

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr İsmail ŞANLIOĞLU

2013, 138 Sayfa

Jüri
Yrd. Doç. Dr. İsmail ŞANLIOĞLU
Prof. Dr. Cevat İNAL
Doç. Dr. Adnan ÖZDEMİR

Topografya üzerinde derin izler bırakan heyelanlar, oluştuğunda can ve mal kayıplarına sebep olabilmektedir. Heyelanların oluşmadan önce gerekli önlemlerin alınmasında öncelikle heyelanların belirlenmesi ve izlenmesi gerekir. Bu çalışma Konya Taşkent ilçesinde, Balcılar yolu 1. ve 2. km'leri arasında oluşan heyelanın Küresel Konum Belirleme (GNSS) ve Yersel lazer tarayıcı sistemleri ile birlikte izlenmesini kapsamaktadır. Bu bölgede oluşan heyelan her yıl hareket etmektedir. Bunun sonucunda ulaşımın aksamasına ve maddi kayıplara sebep olmaktadır. Bu nedenle araştırma bölgesi olarak seçilmiştir.

Bu proje kapsamında Taşkent'te oluşan heyelan 6 farklı periyotta izlenmiştir. Araştırmada 2 farklı yöntem kullanılmıştır. Bu tekniklerin yanında diğer tekniklerde (Jeofizik ve Fotogrametrik) izleme çalışmalarını desteklemiştir. GNSS teknikleriyle yapılan ölçmeler hızlı statik yöntemiyle (1 saatten az ölçmeler) 30 ile 35 adet obje noktasında deformasyon ölçmeleri yapılmıştır. Bu değerler deformasyon analiziyle değerlendirilmiştir. Bununla birlikte eş zamanlı olarak Lazer tarama teknikleriyle veriler elde edilmiştir. 6 farklı periyotta elde edilen 3 Boyutlu veriler değerlendirilmiştir ve heyelan hareketi incelenmiştir.

GNSS ve Lazer tarama teknikleri bu projede birleştirilerek kullanılmıştır. Ayrıca bu tekniklerin eş zamanlı kullanılması, teknikler arasında karşılaştırma imkanı vermiştir. Bu iki yöntemin farklı şartlar altında birbirine göre bazı avantajları ve dezavantajları vardır. Genel anlamda iki farklı tekniğin birleştirilmesi daha hassas, doğru ve güvenilir sonuçlar üreterek heyelan araştırmalarında kullanılabilirliğini ortaya koymuştur. Heyelan bölgelerinde, özellikle heyelanlara duyarlı bölgelerimizde GNSS ve Yersel lazer tarama tekniklerinin entegrasyonu sağlanarak hassas çalışmalar yapılabilmektedir. Böylelikle heyelanların zararlarını en aza indirmek mümkün olabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: GNSS, Heyelan, Taşkent, Yersel Lazer Tarama

ABSTRACT

MS THESIS

COMBINING GNSS AND TERRESTRIAL LASER SCANNING TECHNIQUES FOR MONITORING OF LANDSLIDES

Mustafa ZEYBEK

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN GEOMATICS ENGINEERING

Advisor: Asst. Prof. Dr. İsmail ŞANLIOĞLU

2013, 138 Pages

Jury
Asst. Prof. Dr. İsmail ŞANLIOĞLU
Prof. Dr. Cevat İNAL
Assoc. Prof. Dr. Adnan ÖZDMİR

Landslides can be cause on lose life and property while they occurring and leave deep scars on topography. Essential precautions must be taken with identify and monitoring it before their damages.

In this study, Landslide is occurring between first and second km on the Taşkent to Balcılar road had been investigated by using Global Navigation Satellite System (GNSS) and Laser scanning. Taşkent Landslide had been chosen for the research as a result of the landslide has always affected the road which goes through along Taşkent and Balcılar. Landslides have always occurred in a year not only negative effects to road for transportation but also effects economically. For these reasons researches had been performed in this area.

Within this project scope, the landslide monitoring studies had been investigated in six periodic times. In research activations performed with two different methods, as GNSS and TLS. GNSS methods applied as a rapid static style on 30-35 monitoring points. With the acquired data's from GNSS had been evaluated by deformation analysis. Simultaneously, Laser scanning technique performed on Landslide region and integrated to GNSS results. Thus, GNSS and TLS techniques could be compared both methods. These two techniques have advantages and disadvantages for each other. In general sense, integration of these techniques would improve the quality of results accuracy and reliable. Thanks to these two techniques had been performed for landslide monitoring and investigations. Studies can be applied which need accurate results with integration of GNSS and terrestrial laser scanning systems. Thus the losses of landslide could be possible to minimize.

Keywords: GNSS,Landslide, Terrestrial Laser Scanning,Taşkent

ÖNSÖZ

Bu tez proje çalışması Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu 111Y307 no'lu proje ile ve Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü 11101028 no'lu projeler tarafından desteklenmiştir.

Bu projede arazi ölçmelerinde yardımcı olan 2010-2011-2012-2013 yıllarında Selçuk Üniversitesi Harita Mühendisliği 4. Sınıf öğrencilerine, Limit teknik araştırma A.Ş'ye, TCK 3. Bölge Müdürlüğü Müh. Deniz ONAÇ'a, DSİ Konya Bölge Müdürlüğü Müh. Adnan BAŞARAN'a, Yörünge GPS Ltd. şirketine, Jeolojik değerlendirme ve analiz çalışmalarındaki destek ve yardımları için Doç. Dr. Adnan ÖZDEMİR'e ve ayrıca Doç. Dr. Mustafa ACAR'a, Doç. Dr. Temel BAYRAK'a, Yrd. Doç. Dr. Mehmet Güven KOÇAK'a, Arş. Gör. Dr. Serkan DOĞANALP'e katkılarından dolayı teşekkür ediyorum. TÜBİTAK ÇAYDAG grubundan Gültekin YILMAZ Beye, Selçuk Üniversitesi BAP koordinatörü Dr. Güral ÖNAL Bey'e proje konusunda yaptığı yardımlar için teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmanın yürütülmesinde, değerlendirilmesinde yardımlarını ve desteğini esirgemeyen, her zaman yanımda olan sayın hocam Yrd. Doç. Dr. İsmail ŞANLIOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Mustafa ZEYBEK
KONYA-2013

İÇİNDEKİLER

ÖZET **1**

ABSTRACT **2**

ÖNSÖZ **3**

İÇİNDEKİLER **4**

SİMGELER VE KISALTMALAR **6**

1. GİRİŞ **7**

2. HEYELANLAR **9**

2.1. Heyelan Türleri 10

3. HEYELAN İZLEME YÖNTEMLERİ **14**

3.1. Küresel Navigasyon Amaçlı Uydu Sistemleri (GNSS) 15
3.2. Nivelman Yöntemi 18
3.3. Heyelan Taban Tabakalarının Belirlenmesi için Elektriksel Özdirenç Yöntemi 19
3.4. Yersel Lazer Tarama Teknikleri 20
3.4.1. Yersel lazer tarama nedir? 20
3.4.2. Yersel lazer tarama kullanım alanları 21
3.4.3. Yersel lazer tarama temelleri 22
3.4.4. Lazer tarayıcılarla ölçme uygulamaları 23

4. UYGULAMA **30**

4.1. Çalışma Bölgesi 30
4.2. Çalışma Bölgesi Jeolojik Yapısı 32
4.3. GNSS Çalışmaları 35
4.3.1. GNSS verilerinin işlenmesi 36
4.3.2. Serbest Ağların Dengelenmesi 39
4.3.3. GNSS verilerinden elde edilen ölçmelerin analizi 41
4.4. Yersel Lazer Tarama Çalışmaları 44
4.4.1. Nokta Bulutu Verilerinin Elde Edilmesi, Birleştirme ve Jeodezik Koordinat Sisteminde tanımlanması 46
4.4.2. Veri İşleme ve YLT Doğruluğu 63
4.5. Fotogrametrik Çalışmalar 67
4.6. Yerdirenci Ölçmeleri 68

5. SONUÇLAR **73**

5.1. GNSS Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi 73
5.2. Yersel Lazer Tarama Sonuçlarının Değerlendirilmesi 91
5.2.1. Nokta bulutu-Nokta bulutu karşılaştırmaları 91

5.2.2. Üç Boyutlu (3B) Modellerin ve Kesitlerin Karşılaştırılması 98
5.2.3. Hacimsel Karşılaştırmalar 109
5.3. Fotogrametrik Analizlerin Sonuçları 114
5.4. Yer Direnci Ölçme Analizleri 118

6. TARTIŞMA VE ÖNERİLER 125

KAYNAKLAR 129

EKLER 133

EK-1 Jeofizik Ölçme Sonuçları 133
EK-2 Yağış verilerinin Heyelan hareketiyle olan ilişkisi 136

ÖZGEÇMİŞ 138

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

ρ_p^{sv}: Pseudorange
Δ: Alıcı ile uydu arasında sinyalin ulaşma zamanı
c: ışık hızı (*299792458 m/sn*)
w_{mm} : Nivelmanda gidiş-dönüş kapanma değeri
s_{km} : Nivelmanda toplam mesafe
$w_{L(mm)}$: Nivelmanda lup kapanmaları
L_{km} : Nivelmanda lup uzunluğu
ρ: Elektrik özdirenci
σ: Öz iletkenlik
α: Yanılma ihtimali

Kısaltmalar

BÖHHÜY: Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği
CAD: Computer Aided Design
DEM: Digital Elevation Model
DOM: Dilim Orta Meridyeni
DSM: Dense Surface modeling
DTM: Digital Terrain Model
GNSS: Global Navigation Satellite Systems
GPS: Global Positioning System
ICP: Iterative Closest Point
INS: Inertial Navigation system
INSAR: Interferometric Synthetic Aperture Radar
ITRF: International Terrestrial Reference Frame
LASER: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
MASER: Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation
PDA: Personal Digital Assistant
PPM: Part Per Million
RMS: Root-Mean Square
RTK: Real Time Kinematic
TIN: Triangulated Irregular Network
TLS: Terrestrial Laser Scanner
TM: Transversal Mercator
UAV: Unmanned Aerial Vehicle
YLT: Yersel Lazer Tarama

1. GİRİŞ

Konum belirleme teknikleri ve ölçme aletleri teknolojinin ilerlemesiyle adeta çağ atlamıştır. Bunda en önemli yer tutan sistem ve teknolojilerin en önünde Küresel Konum Belirleme Sistemleri (GNSS) teknikleri gelmektedir.

1978 yılında ilk GPS uydusunun yörüngeye yerleştirilmesinden sonra pek çok uydu sistemleri geliştirilmiştir. Bunlardan en önemlileri GLONASS, COMPASS ve GALILEO'dur. Gelecekte de yapılacak olan sistemleri de kapsaması açısından küresel konum belirleme sistemleri genel olarak GNSS olarak kullanılmaya başlamıştır (Kahveci, 2009).

Wu ve Lin (2008) çalışmalarında, Chiu-fen-erh-shan heyelanındaki çalışması kapsamlı ivme kaydedicisi ve küresel konumlandırma sistemi (GPS) verilerinin analiz edilmesi ile en uygun hızlanma verilerini belirleyerek kaya heyelanları üzerinde yaptıkları bir çalışmadır. İvme kaydedicileri için mesafenin önemli olduğu vurgulanan çalışmada GPS analizleri ile karşılaştırmalar yapılmıştır.

Brückl ve ark. (2006) Fotogrametrik, GPS ve Jeofiziksel verilerden faydalanarak derin heyelan hareketlerinin belirlenmesi üzerinde çalışmışlardır. Gradenbach ve Möll vadilerinde Döllach yakınlarındaki kesişimde derin heyelanlar bulunmaktadır, bunlar birçok araştırmanın hedefinde olduğundan bahsetmişlerdir. Tarihi hava fotoğrafları ile fotogrametrik analizler yaparak bu analizlere GPS ve Jeofiziksel analizleri ekleyerek karşılaştırmalar yapılmıştır.

Son on yıldır yersel lazer tarama (YLT) cihazları oldukça gelişmiş ve sivil kullanımlara açılmıştır. Bu cihazlar ilgili objeye veya herhangi bir yüzeye ait 3 boyutlu (3B) modellerin elde edilmesini ve tamamıyla konumsal bilgi sağlamasını kolaylaştırmıştır. Bu nedenle bu sistemler oldukça kullanışlı hale gelmiştir. Bu sayede deformasyon izleme gibi büyük ve hassasiyet gerektiren çalışmalarda kullanılmaktadır. Yersel lazer tarama teknikleri güvenilir sonuçlar üretmektedir. Heyelan çalışmaları üzerinde kullanılması, heyelan araştırmalarını kolaylaştırmış ve güvenilir sonuçlar sağlamıştır (Teza ve ark., 2008).

YLT teknikleri özellikle yoğun veri sağlaması nedeniyle geniş ve büyük yer değişimleri meydana getiren heyelan hareketlerinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Diğer geleneksel jeodezik ölçmelere nazaran daha fazla veri sağlaması heyelan olgusunun anlaşılmasını kolaylaştırmaktadır. Özellikle heyelan öncesinde, esnasında ve sonrasında elde edilen veriler sayesinde felaketin önlenmesi, izlenmesi ve kurtarma amaçlarında kullanılabilmektedir. Yüksek çözünürlükteki YLT verileri

sayesinde birçok uygulamada heyelan araştırmaları yapılmıştır (Bitelli ve ark., 2004; Coe ve ark., 2000; Fanti ve ark., 2012; Oppikofer ve ark., 2012; Pirotti ve ark., 2012; Pirotti ve ark., 2013; Tarolli, 2013; Tarolli ve ark., 2010; Teza ve ark., 2008; Teza ve ark., 2007; Teza ve ark., 2008; Travelletti ve ark., 2011; Tsakiri ve ark., 2006).

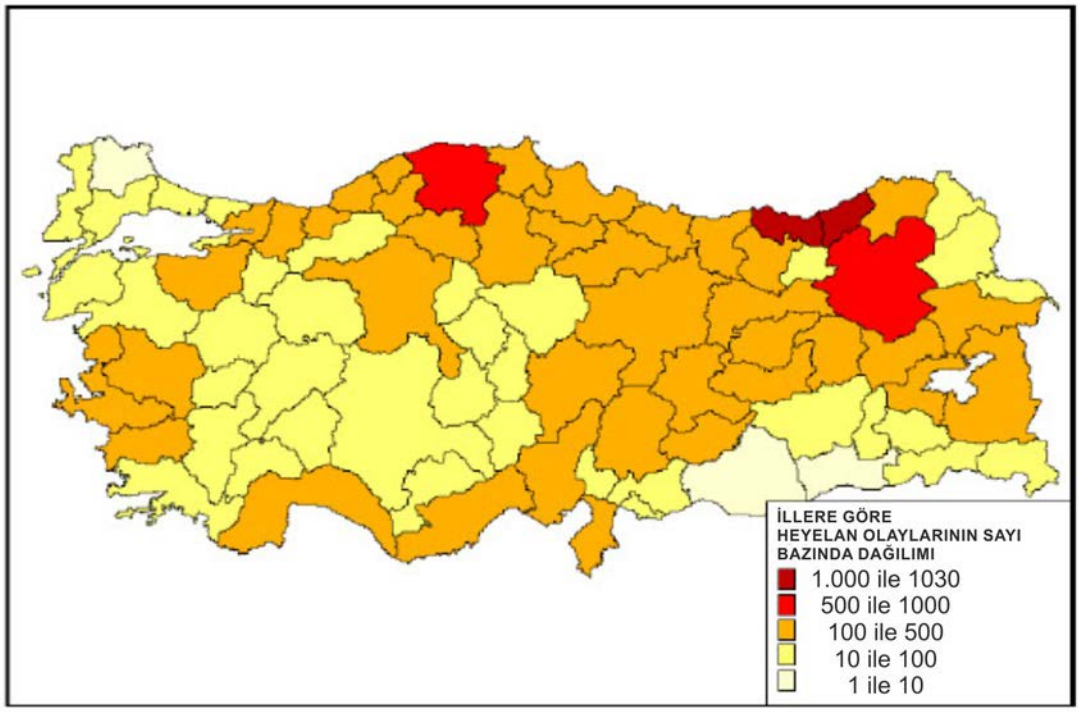
Bu çalışmada heyelan izleme çalışmalarında kullanılacak olan YLT cihazı, işlem akışı, verilerin işlenmesi ve heyelan ile yeryüzünde meydana gelen değişimler izlenmiştir. Temel amaç YLT verilerinin kullanarak heyelanın tanımlanması ve araştırma sonucunda oluşan heyelanın 3B'lu deformasyonun izlenmesidir. Çalışma konusu heyelan olması nedeniyle heyelanlar hakkında bilgi verilerek heyelan türleri, karakterleri ve oluşum sebepleri araştırılmıştır.

Çalışma bölgesi olarak Konya'nın Taşkent ilçesinde meydana gelen heyelan alanı seçilmiştir. Çalışmada GNSS sistemleri ile YLT tekniği beraber kullanılarak heyelanın izleme çalışmaları başarılı bir şekilde sürdürülmüştür. Ayrıca heyelan bölgesi büyük olduğu için heyelanın aktif belirli bir bölgesinde yersel fotogrametrik yöntem ve yer altı su seviyesini belirleme amacıyla heyelan ilişkisini ortaya koymak için jeofizik bir yöntem olan yerdirenci ölçmeleri yapılmıştır.

2. HEYELANLAR

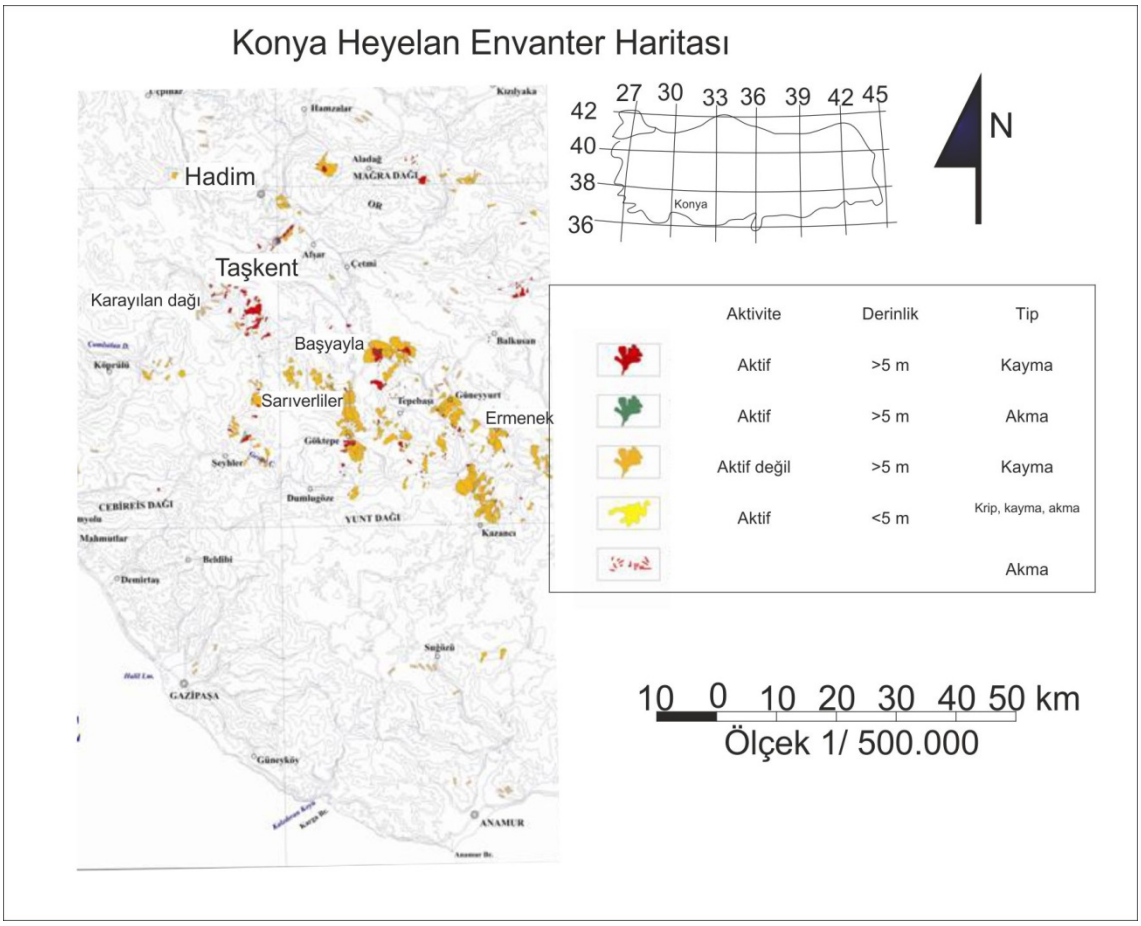
Heyelan, toprak, taş veya bunların karışımlarından oluşan bir zeminin ya da çeşitli kayaçların, bir yüzey üzerinde yer çekiminin etkisi sebebiyle hareket etmesi olarak tanımlanabilir (Blasio ve Vittorio, 2011).

İç Anadolu bölgesi ülkemizde heyelanların görüldüğü bölgelerimizden biridir (Şekil 2.2). Bugüne kadar bölge içerisinde çeşitli alanlarda meydana gelen heyelanlar topoğrafyada birçok değişikliğe sebep olmuştur. Heyelanlar bölge insanı için can ve mal kayıplarına yol açan bir doğal afettir. Bu sebeplerden dolayı heyelanlar bilim insanları tarafından incelenmektedir. Depremler, taşkınlar ve kasırgalarla birlikte tüm Dünya'da en sık görülen doğal afetlerden biride heyelanlardır (Akıncı ve ark., 2010). Ülkemizde tüm bölgelerde heyelan afetleri görülmektedir. (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Türkiye Heyelan Haritası (Gökçe ve ark., 2008)

Konya da heyelanların etkisi altında olan bir ildir. Özellikle güney bölgelerinde heyelanlar aktiftir ve bu bölgelerde risk oluşturmaktadır (Şekil 2.2).



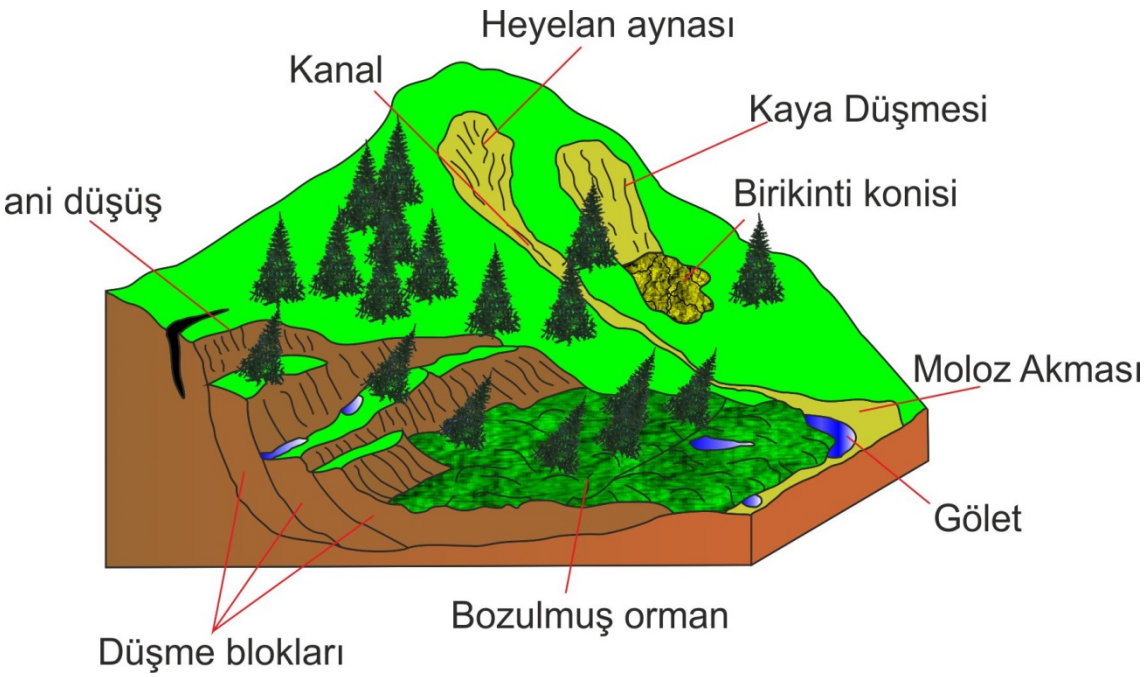
Şekil 2.2 Konya İli Heyelan Alanları (MTA, 2002)

Genellikle heyelana sebep olan doğal etkenler, yüksek eğim, şiddetli ve sürekli olarak yağış, eriyen kar sularının toprağa sızması, toprağın suya doygunluğu, kaya tabakalarının yapısı, tabakaların duruş biçimleri ve tektonik yapı şeklinde sıralanabilir (Kalkan ve ark., 2003). Bunların yanında diğer önemli faktörde insandır. Arazi yönetimlerindeki yanlışlıklar, kanal, yol ve baraj gibi yapı inşaatlarının doğal yapıyı bozmasıyla heyelan oluşumu tetiklenmektedir. Heyelanlar, bu nedenlerden herhangi birisi veya birkaçının etkisiyle oluşur. Heyelanların oluşumu sonucunda topografya üzerinde derin etkiler bırakır. İnsanların doğal afetlerden korunması veya en az zararla atlatılması için önleme ve izleme çalışmaları sürekli yürütülmelidir.

2.1. Heyelan Türleri

Heyelanların çeşitli türleri vardır. Hareketlerin türü ve içerdiği materyal bakımından farklılık göstermesi bakımından heyelanlar alt gruplara ayrılabilir. Şekil 2.3'te gösterilen heyelan elemanlarına bağlı olarak heyelanlar sınıflandırılabilir (Şekil

2.4, Tablo 2.1).Yeryüzündeki materyallerin farklı şekillerde düşme, devrilme, kayma, yayılma veya akma gibi hareket edebilmektedir (Şekil 2.4).



Şekil 2.3. Heyelanın oluşumundaki elemanlar

Tablo 2.1. Heyelan türleri ve sınıflandırılması (Varnes, 1978)

Materyal	Kaya	Moloz	Toprak
Düşme	Kaya düşmesi	Moloz düşmesi	Toprak düşmesi
Devrilme	Kaya devrilmesi	Moloz devrilmesi	Toprak devrilmesi
Ötelenmeli Kayma	Tek (Ani Kayma)	Tek	Tek
	Çoklu	Çoklu	Çoklu
	Ardışık	Ardışık	Ardışık
Rotasyonal Kayma	Blok kayma	Blok kayma	Kalın toprak kayması
Düzlemsel	Kaya kayması	Moloz kayması	Çamur kayması
Yan yayılma	Kaya yayılması	Moloz yayılması	Toprak yayılması
Akıntı	Kaya akması	Moloz akması	Toprak akması

Heyelanlar genelde dağlık bölgelerde oluşmalarına rağmen, eğimi az olan alanlarda da meydana gelebilmektedir. Özellikle yol inşaatları veya diğer yapıların eğimi ve yeraltı su akış düzenini bozması sebebiyle heyelanların oluşumunu tetikleyici roller almaktadır. Genel olarak heyelan türleri Şekil 2.4'te görüldüğü gibidir.



Şekil 2.4. Heyelan türlerinin gösterimi (Highland, 2004)

Kaymalar: Çok farklı türdeki kütle hareketleri olmasına rağmen bu konuda kullanılan genel terim heyelandır. Yeryüzündeki farklı katman ve tabakaların değişik sabitlik durumlarında, gevşek yapının yer değiştirmesiyle veya ayrılmasıyla heyelanlar oluşmaktadır. En önemli türü ise dönel kayma ve çevrilen kaymalardır.

Ötelenmeli (Dönel) kayma: Yeryüzüne paralel olan eksende meydana gelen konkav yapıda kopmalardır (Şekil 2.4a).

Rotasyonal (Çevrilen) kayma: bu tür kayma yüzey düzlemi boyunca küçük dönüklükler veya geriye eğimli olarak kütle hareketidir (Şekil 2.4b). Blok kayması da bir çevrilen kaymadır. Bir veya birden fazla birimin aşağıya doğru birbirini tutan yapıda kaymasıdır (Şekil 2.4c).

Düşmeler: Düşmeler kaya veya aşınmış kaya parçaları gibi jeolojik materyallerin beklenmedik bir şekilde hareket etmesidir. Sarp kayalıklardan veya yamaçlardan bağımsız olarak kopmasıdır (Şekil 2.4d). Kayalar genellikle yerçekimi, iklimsel olaylardan ve suyun basınç kuvvetinden oldukça etkilenen yapılardır.

Devrilme: Devrilme olayı yer çekimi veya diğer etkiler sebebiyle jeolojik birimin ve birimlerin belirli bir eksen noktasına göre koparak ayrılır (Şekil 2.4e).

Akmalar: Burada beş farklı kategoride akmalar incelenecektir.

Moloz akması: toprak, kaya, organik madde, hava ve suyun bir kombinasyonu olarak hızlı kütle hareketidir (Şekil 2.4f). Genellikle yoğun yüzey suyu ve hızlı eriyen kar suları bu oluşumu tetiklemektedir.

Döküntü akıntısı: Bu oluşum da moloz akıntısından daha hızlı oluşan bir kayma tipidir (Şekil 2.4g).

Toprak akıntısı: bu kayma şeklinin kum saati şeklinde gelişmesi karakterini ortaya çıkarmaktadır. Yamaç materyalinin sıvılaşarak ve akmasıyla, çanak gibi şekillenmesi veya baş kısmının çökmesiyle oluşur (Şekil 2.4h).

Çamur akması: çamur akması toprak akmasıyla benzerdir, fakat çamur akması hızlı ve ıslaktır. Kum şilt ve kil parçacıkları barındırabilir. Çoğu zaman literatürde ve raporda moloz akması ve çamur akması genel olarak çamur kayması olarak geçebilir.

Yayılma: Çoğu zaman algılanamayacak kadar yavaş ve sabit görünümlü kaya veya toprağın yamaçlardan aşağıya doğru hareketidir (Şekil 2.4ı).

Yan yayılma: bu heyelan türleri kolaylıkla diğerlerinden ayırt edilebilir. Genellikle eğimin az olduğu alanlarda oluşur (Şekil 2.4i). Genellikle hızlı yer hareketleri sebebiyle meydana gelir, örneğin deprem sonrası. Başlangıçta küçük alanlarda oluşmasına rağmen ilerleyen zamanlarda büyük alanlara yayılabilmektedir (Highland, 2004).

3. HEYELAN İZLEME YÖNTEMLERİ

Heyelan izleme çalışmaları sürekli ve yoğun olmasından dolayı arazi şartlarına bağlı olarak uzun ve planlı çalışmalar gerektirmektedir. Bu çalışmalar için bilim insanları tarafından pek çok jeodezik ve jeofiziksel yöntemler geliştirilmiştir. Farklı tekniklerin birlikte kullanılması, heyelan çalışmalarının değerlendirme aşamasında anlamlı sonuçlar üretebilmektedir (Travelletti ve ark., 2011).

Deformasyonlara neden olan yükler, su basıncı, taban suyu seviyesi, gerinim, sıcaklık gibi değişik faktörlerin büyüklükleri ve değişimleri de ölçülmektedir. Bu amaçla kullanılan temel jeoteknik sensörler ve diğer cihazlar, inklinometre, piezometre, Manyetik Oturma Kolonu (Settlement Gauges), extensometre, çatlak ölçer (Crackmeters and Jointmeters), basınç ölçer (Pressure Cell), strengeç (Strain Gauges) ve termometrelerdir (Kıranoğlu, 2006).

Son on yılda heyelanları noktasal izleme yöntemi olarak, robotik ölçüm sistemleri ve GNSS kullanılırken, yüzeysel izleme yöntemleri olarak Lidar, Hava lidarı, fotogrametri ve INSAR yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Farklı hassasiyete sahip ölçme yöntemleri Tablo 3.1'de görülebilir.

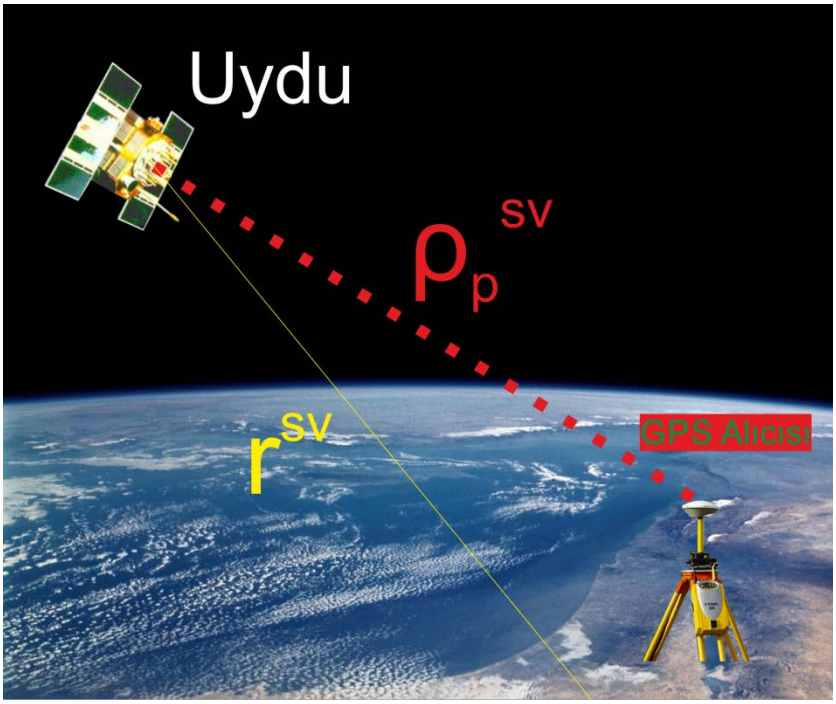
Tablo 3.1. Heyelanların belirlenmesinde uygulanan yöntemler ve hassasiyetleri (Gili ve ark., 2000)

Yöntem	Sonuçlar	Uygulama Mesafesi	Uygulama Hassasiyeti
Hassas Şerit	Δmesafe	<30 m	0.5 mm/30 m
Sabit Kablolu genleşme ölçer	Δmesafe	<10–80 m	0.3 mm/30 m
Çatlak ölçme çubuğu	Δmesafe	<5 m	0.5 mm
Baz hesabı	ΔH, ΔV	<100 m	0.5–3 mm
Üçgen Ölçmeleri	ΔX, ΔY, ΔZ	<300–1000 m	5–10 mm
Poligon Ölçmeleri	ΔX, ΔY, ΔZ	Değişken	5–10 mm
Geometrik Nivelman	ΔZ	Değişken	2–5 mm/km
Hassas geometrik Nivelman	ΔZ	Değişken	0.2–1 mm/km
Elektronik Uzunluk ölçmeleri (EDM)	Δmesafe	Değişken (genellikle 1–14 km)	1–5 mm+1–5 ppm
Yersel Fotogrametri	ΔX, ΔY, ΔZ	Ideal <100 m	20 mm den 100 m
Hava Fotogrametrisi	ΔX, ΔY, ΔZ	$H_{UÇUŞ}$<500 m	10 cm
Eğim Ölçer	$\Delta\alpha$	±10°	0.01–0.1°
GPS (GNSS)	ΔX, ΔY, ΔZ	Değişken (genellikle <20 km)	5–10 mm+1–2 ppm
Yersel Lazer Tarama	ΔX, ΔY, ΔZ	1m-1500m	7mm-10mm

3.1. Küresel Navigasyon Amaçlı Uydu Sistemleri (GNSS)

Küresel konum belirleme sistemleri konum belirleme ve küresel ölçekte ölçme teknikleri biliminde bir devrim olarak adlandırılmaktadır. Sağladığı yüksek doğruluk ve hızlı verinin kolay elde edilmesiyle en çok kullanılan yöntemlerden birisidir.

GPS (Konum Belirleme Sistemi) ile konum belirleme uydu ile alıcı arasındaki uzaklığın hesabına dayanan uzayda geriden kestirme probleminin çözümüdür. GPS alıcısında yapılan işlem tüm yönlerden gelen uydu sinyallerinin kaydedilmesi ve bu sinyallerden uzaklıkların hesaplanmasıdır (Şekil 3.1).



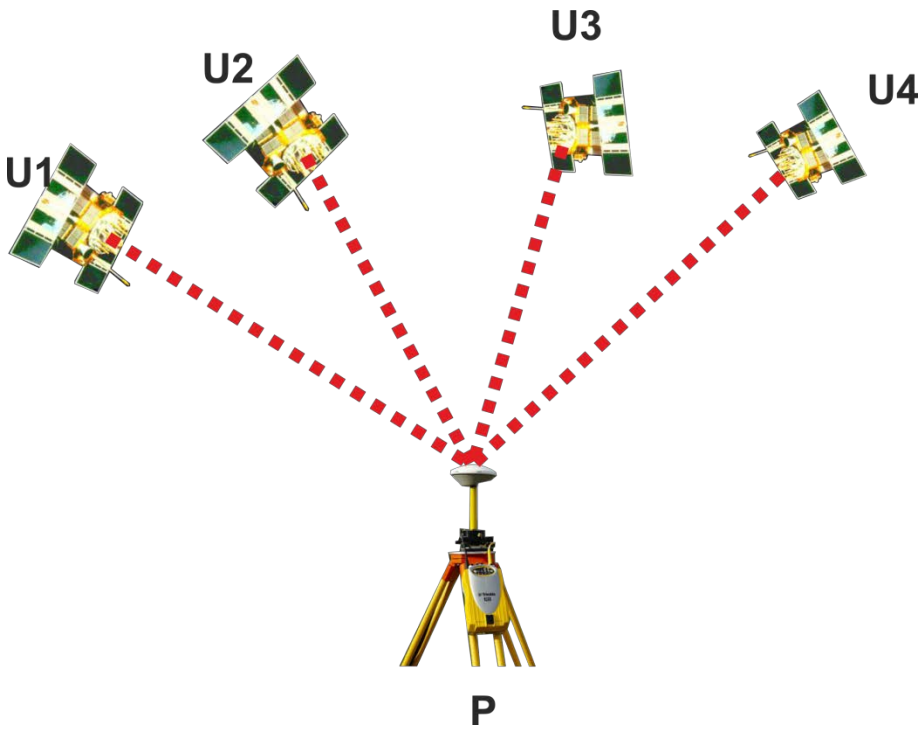
Şekil 3.1. GPS ile Konum belirleme Prensibi

Bu konuda hesaplanmak istenen ρ_p^{sv} uzaklığıdır. Uydu-alıcı arasındaki uzaklığı (pseudorange), sinyalin uydudan alıcıya ulaşana kadar arada geçen zamanın (Δ) ışık hızı (c) ile çarpılması sonucu bulunur.

$$\rho_p^{sv} = c.\Delta \tag{3.1}$$

GPS ile konum belirlemede iki ana yöntem kullanılmaktadır. Bunlar mutlak konum belirleme ve bağıl konum belirlemedir.

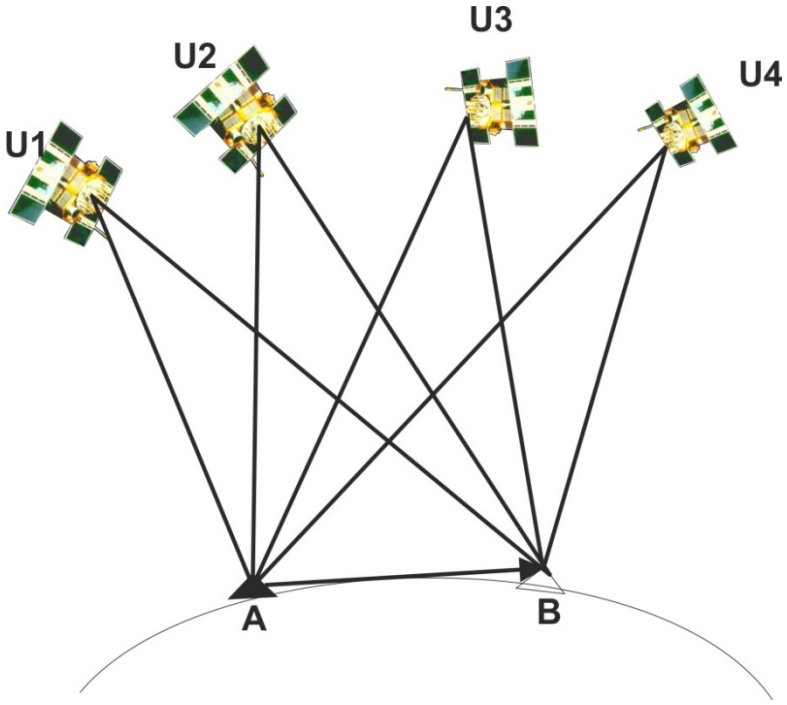
Mutlak konum belirlemede tek bir alıcı ile normal olarak dört ya da daha fazla uydudan kod gözlemleri yapılarak üzerinde alıcı kurulu olan noktanın koordinatları belirlenmektedir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Mutlak Konum Belirleme

Mutlak konum belirleme uydu-alıcı arasındaki mesafe ve uyduların bilinen koordinatları ile uzayda geriden kestirme prensiplerine dayanır.

Bağıl konum belirlemede koordinatları bilinen bir noktaya göre diğer nokta ya da noktaların koordinatlarının belirlenmesi söz konusudur. Diğer bir deyişle iki nokta arasındaki baz vektörü belirlenmektedir (Şekil 3.3). Bağıl konum belirlemede kod ve faz gözlemleri kullanılmaktadır.



Şekil 3.3. Bağıl Konum Belirleme

Matematiksel olarak B noktasının koordinatları,

$$X_B = X_A + b_{AB} \tag{3.2}$$

$$b_{AB} = \begin{bmatrix} \Delta X_{AB} \\ \Delta Y_{AB} \\ \Delta Z_{AB} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_B - X_A \\ Y_B - Y_A \\ Z_B - Z_A \end{bmatrix} \tag{3.3}$$

şeklinde ifade edilir.

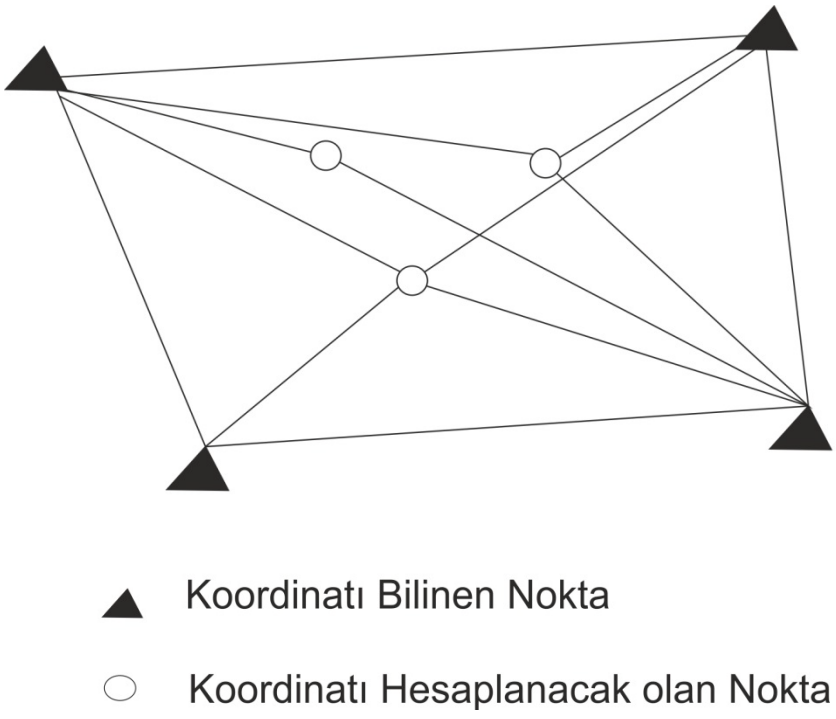
Kod gözlemleri ile anında konum belirleme amacı için yeterli doğruluğa ulaşabilmekte fakat mühendislik amaçları için doğruluğu yüksek değerlere ihtiyaç duyulur. Bu nedenle faz gözlemlerine ihtiyaç duyulur. Bağıl konum belirlemek için beş farklı yöntem geliştirilmiştir:

- Statik ölçü
- Hızlı statik ölçü
- Tekrarlı ölçü
- Dur-Git ölçü
- Kinematik ölçü

Çalışmamızda hızlı statik yöntemi kullanılması sebebiyle detaylı olarak hızlı statik ölçü yönteminden bahsedilecektir.

Bu yöntemin doğruluğu ile ilgili olarak kaynaklarda farklı değerler verilmekle beraber genel olarak doğruluğu ±(3-5 mm+1 ppm) olup, uydu sayısı ve geometrisine, referans ile gezici alıcı arasında uzaklığa, yükseklik farkına ve özelikle iyonosferik koşullara bağlı olarak değişir (Ghilani ve Wolf, 2008). Wu ve Lin (1995), kısa mesafede yükseklik belirlemede en iyi yöntem olarak göstermiştir. Shepherd ve ark. (1998) yer deformasyonunu izlemelerinde bu yöntemi kullanmıştır. Coe ve ark. (2000) çift frekanslı alıcılarla Colorado'da dağlık bölgede heyelan hareketlerini izlemede uygulamıştır.

Bu yöntemin yükseklik bileşenindeki doğruluğu tüm GNSS uygulamalarında olduğu gibi 1.5-2 kat düşmektedir. Yöntem genellikle 20 km'den daha kısa bazlarda kullanılmaktadır. Nokta sayısının çok olduğu ölçmelerde ve doğruluğu yüksek sonuçların istenmesi sebebiyle genellikle bu yöntem kullanılır. Bir veya birden fazla sabit (referans) noktası olarak kullanılan koordinatları bilinen noktalara eş zamanlı gözlemler yapılır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Hızlı statik ölçü yöntemi

Hızlı statik uygulamasında konumu belirlenecek olan yeni noktalar arasında alıcı taşınırken açık olmaması gerekmektedir. Bu da uygulama açısından kolaylık sağlamaktadır. Bu yöntemde ölçü süresi noktalar arasındaki uzaklığa bağlıdır. Uydu sayısı arttıkça aynı uzunluktaki bazda ölçü süresi azaltılabilir (Kahveci ve Yıldız, 2012).

3.2. Nivelman Yöntemi

Proje alanı içinde, nivelman noktalarının yoğunluğu ortalama 20-100 m aralıklarla GNSS noktaları üzerinde oluşturulmuştur. Bu yoğunluğu yeterince heyelanın bölgede kapladığı alana göre dağılımı iyi sağlanmıştır. Proje alanındaki nivelman noktalarının yatay koordinatları ± 1 cm doğrulukta GNSS hızlı statik ile belirlenmiştir.

Gidiş-dönüş nivelmanında kapanma değeri (w),

Ana ve bağlantı nivelmanında : $w_{mm} \leq 12\sqrt{s_{km}}$

Ara nivelmanda : $w_{mm} \leq 15\sqrt{s_{km}}$

Yardımcı nivelmanda : $w_{mm} \leq 20\sqrt{s_{km}} + 0.0002\Delta H$

olmalıdır (BÖHHÜY, 2005).

Burada S, km biriminde nivelman yolunun uzunluğu, ΔH iki nokta arasındaki yükseklik farkıdır. Nivelman yolu üzerindeki ardışık noktalar arasında bu kontrol yapılır.

Gidiş-dönüş yükseklik farklarının ortalamalarından hesaplanan lup kapanmaları (w_L),

Ana nivelmanda: $w_{L(mm)} \leq 15\sqrt{L_{km}}$

Ara nivelmanda: $w_{L(mm)} \leq 18\sqrt{L_{km}}$

olmalıdır (BÖHHÜY, 2005). Burada L km biriminde nivelman lup uzunluğudur.

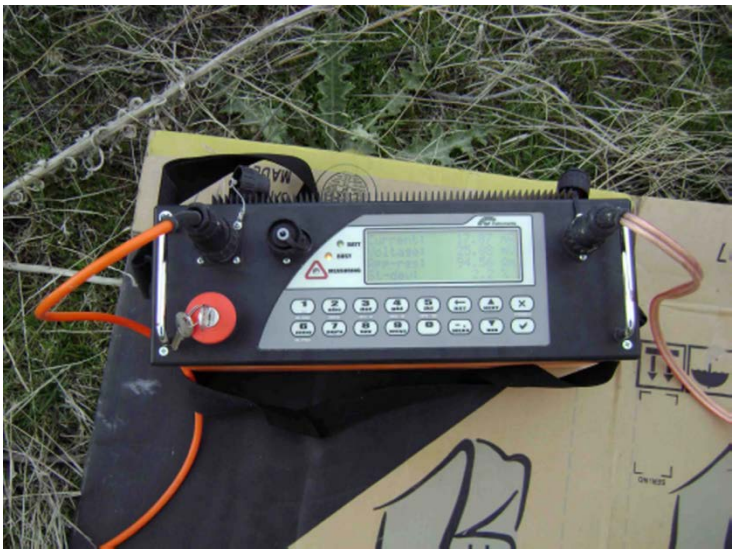
3.3. Heyelan Taban Tabakalarının Belirlenmesi için Elektriksel Özdirenç Yöntemi

Elektriksel özdirenç, bir materyalin elektrik iletkenliğini gösteren öziletkenliğin tersidir. Elektrik özdirenci "ρ" olan bir yarı ortama bir noktadan "I" akımı uygulandığında "r" uzaklıktaki bir noktada oluşturacağı "V" gerilim bağıntısı ile verilir.

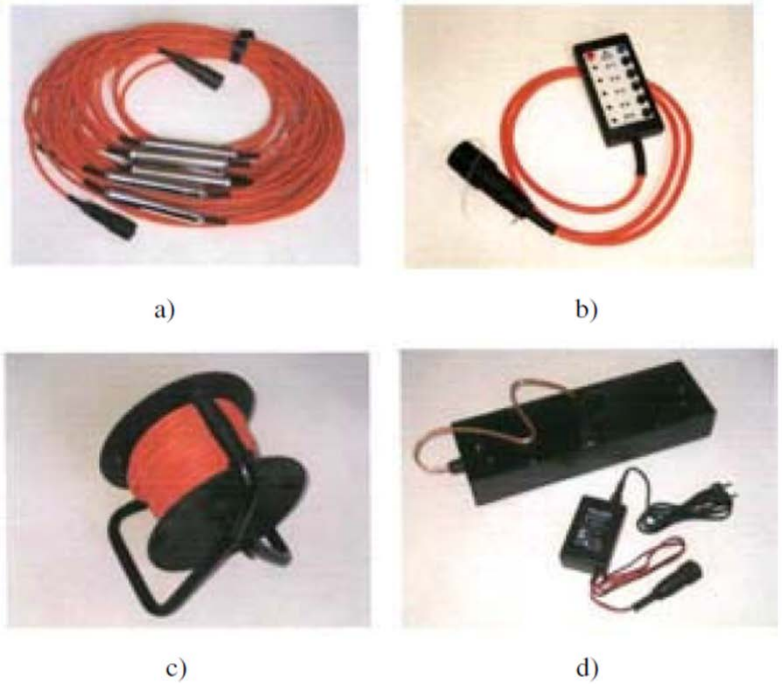
$$V = (I.\rho) / (2.\pi.r) \tag{3.4}$$

Yeryüzünde iki noktadan verilecek akım ile iki başka noktadaki elektrotlar arasında ölçülecek gerilim farkının, uygulanan akım şiddetine oranından hareketle yeraltındaki kayaçların öziletkenlik (σ) veya özdirenci (ρ=1/σ) saptanabilir (Dursun, 2007).

Bu tez projesinde seçilen bölgedeki arazi ölçümlerinde Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarına ait Ares-G4 yer direnci ölçüm cihazı kullanılmıştır. Ares-G4 cihazı akümülatör, ölçüm kabloları ve ölçüm elektrotlarından oluşmaktadır (Şekil 3.5, Şekil 3.6).



Şekil 3.5. Ares-G4 yer direnci ölçüm cihazı



Şekil 3.6. Ares-G4 cihazının a) ölçüm kabloları, b) düşey elektrik sondajı bağlantı aparatı, c) Yüksek akım ek kablo seti, d) cihaz akü ve AC bağlantıları.

3.4. Yersel Lazer Tarama Teknikleri

3.4.1. Yersel lazer tarama nedir?

Lazer tarama metodu yüzeylerin lazer teknolojisi kullanılarak örnek modellerin elde edilmesidir (Gumus ve Erkaya, 2011). Tarayıcılar objelere ait şekil ve görünüm (renk bilgisi) verilerini toplar. Renk bilgisini genellikle dâhili kamera donanımı

yardımıyla sağlar. Toplanan veriler sayesinde dijital 2B'lu çizimler ve 3B'lu modeller birçok disiplin tarafından değişik uygulamalarda kullanılabilir. Lazer tarama teknolojisi günümüzde kısa zamanda yüksek doğrulukta ve yoğun verilerin elde edilmesini sağlayan gelişmiş bir teknolojidir (Alkan ve Karşıdağ, 2012). Ölçmeler derinlik bilgisine sahip fotoğraf çekimine benzemektedir. Lazerler bir hat boyunca yol alırlar, bu nedenle ölçmelerde genellikle birden fazla ölçüm noktası kullanılarak ilgili alanın tamamını kapsayan 3B'lu modeller elde etmek mümkündür.

Lazer tarama teknolojisi 2 kategoride: statik ve dinamik olarak sınıflandırılır. Lazer tarama cihazı sabit bir noktada hareketsiz olarak ölçüm yapıyorsa buna statik lazer tarayıcı denir. Bu metot yüksek hassasiyette ve yüksek nokta yoğunluğu sağladığı için daha çok avantaj sağlamaktadır. Tüm statik lazer tarayıcılar yersel lazer tarayıcılar olarak görülebilir fakat tüm yersel lazer tarayıcılar statik lazer tarayıcı olarak sınıflandırılamaz.

Dinamik lazer tarayıcılar ise hareketli platformlara monte edilerek kullanılır. Bu tür sistemlerde ek GPS (Küresel Konum Belirleme Sistemleri) ve INS (Hareketsiz Seyrüsefer sistemi) gibi konumlandırma sistemlerine ihtiyaç duymaktadır. Bu ilave sistemlerin maliyeti bu metodu daha karmaşık ve pahalı hale getirmektedir. Dinamik lazer tarayıcılar genellikle uçak, helikopter, UAV (İnsansız hava aracı) veya araç üzerine kurularak değişik uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu proje dâhilinde statik lazer tarayıcı kullanılarak heyelan araştırmaları yapılmıştır.

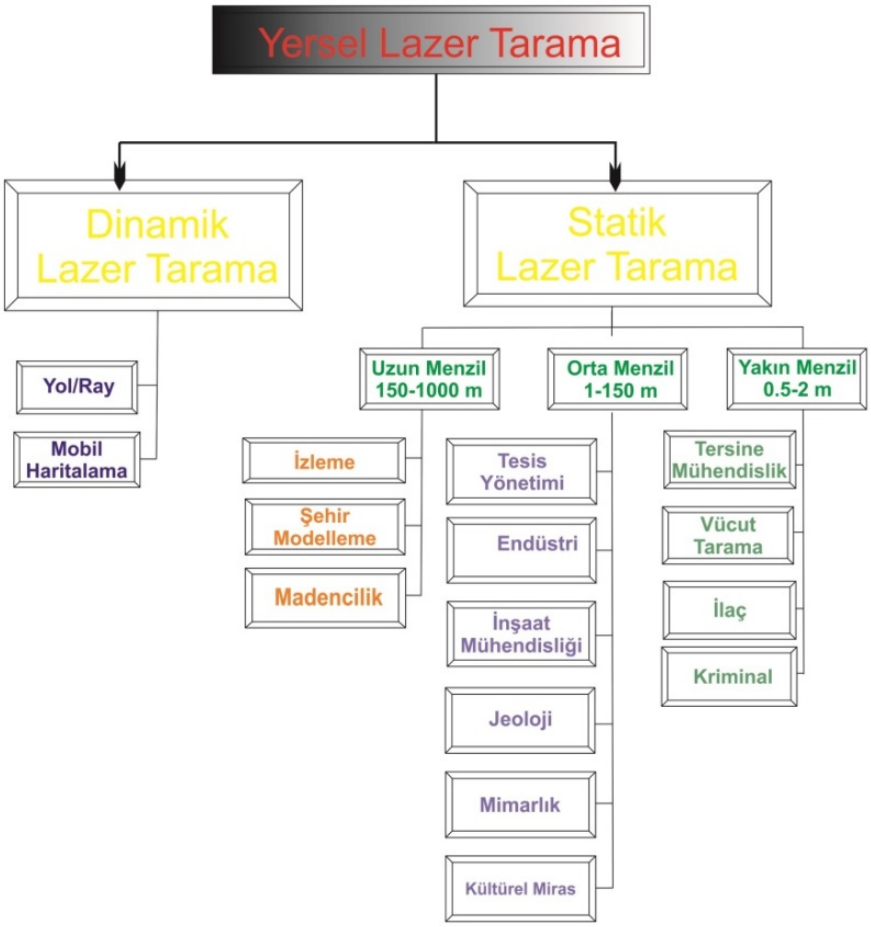
3.4.2. Yersel lazer tarama kullanım alanları

Daha önceki dönemlerde lazer tarama sistemleri genellikle kısa mesafeli kullanım alanları bulmuştur. Genellikle otomotiv ve endüstri alanlarında CAD (Bilgisayar destekli çizim) yardımıyla model üretiminde ve birçok uygulamalarda kullanılmıştır.

Teknolojik ilerlemeler sayesinde lazer tarayıcılar büyük bir kullanım kitlesine ulaşmıştır. Orta menzile sahip tarayıcıların çıkmasıyla petrokimya uygulamalarında karmaşık yapıların 3B'lu modellenmesinde yoğun kullanım alanına ulaşmıştır (Santana ve ark., 2008).

Lazer tarayıcıların bu derece yüksek kullanıma ulaşmasındaki en büyük etkenler; uzaktan ölçüm, yüksek doğruluk, uzun mesafe, hızlı veri elde edilmesi vb. gibi birçok özelliğe sahip olmasıdır. Günümüzde lazer tarama teknolojisi komedi-animasyon

endüstrisi de dâhil olmak üzere, kriminoloji, şehir bölge, mimarlık, kültürel mirasın korunması gibi birçok disiplinde kullanım alanına sahiptir (Şekil 3.7).



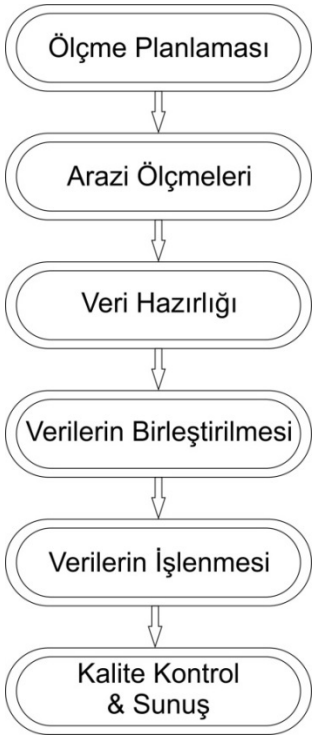
Şekil 3.7. Lazer Tarayıcıların Kullanım Alanları

3.4.3. Yersel lazer tarama temelleri

Çok şiddetli, tutarlı ve tek renk ışık elde etmek için geliştirilmiş optik düzeneklere maser ve lazer denir. İlk kez Charles Hard Townes tarafından 1953 yılında mikrodalga bölgesinde geliştirilen ve Microwave Amplification by Stimulated Emission and Radiation (Kamçılanmış Işıma ile Mikrodalga Yükseltici) kelimelerinin ilk harflerinden yararlanarak kısaca maser adı verilen düzenekler daha sonra Theodore Harold Miaman tarafından 1960 yılında Laser (Lazer) İngilizce LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) olarak adlandırılmıştır. Lazerler, fotonları uyumlu bir hüzme şeklinde oluşturan optik kaynaklardır (Vikipedi, 2012).

3.4.4. Lazer tarayıcılarla ölçme uygulamaları

Lazer tarayıcılarla ölçüm yapmak düşünüldüğü kadar kolay olmamaktadır. Ölçmelerin yapılmasında ekipman ve işleme adımları için deneyimli kişilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sistemlerin kullanılmasında bazı adımlar otomatik olarak ilerlemektedir fakat çoğu işlemde el ile müdahaleye ihtiyaç duyulmaktadır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Yersel Lazer Tarama Sistemleri İşlem akış şeması

3.4.4.1.Ölçme planlaması

Günümüzde yersel lazer tarama sistemleri için henüz standartlaştırılmış bir ölçme planlama şekli yoktur. Ancak lazer tarayıcı kullanıcıları aşağıdaki gibi ölçme planlaması yapmaları gerekir.

- Amaç ve hedeflerin belirlenmesi
- Ölçümü yapılacak alanın belirlenmesi ve analiz edilmesi
- Ölçme yönteminin ve ekipmanlarının belirlenmesi (istenilen doğruluğa göre)
- Veri yönetiminin yapılması

3.4.4.2.Arazi ölçmeleri

Arazi ölçmelerinin temelinde tarayıcı ile sağlanan verilerin hangi tekniklere göre birleştirileceği, kaç nokta ile koordinatlandırılacağı, lazer tarama istasyonlarının seçimi

gibi konuları içermektedir. Lazer tarama verileri elde edilirken farklı istasyonlardan tarama yapılması gerekmektedir. Bu nedenle farklı noktaların farklı koordinat sistemleri tarayıcılar içinde oluşturulan koordinat sistemlerine bağlıdır. Bu nedenle ortak bir koordinat sisteminin tanımlanmasında bağlantı noktaları yoluyla birleştirmeler yapılmalıdır. Bu noktalar doğal noktalar da olabilir veya özel işaretler de kullanılabilir.

3.4.4.3.Verilerin elde edilmesi

Öncelikli yapılması gereken işlem tarama noktaları belirlendikten sonra istenilen çözünürlüğün belirlenmesidir. Çözünürlüğün belirlenmesi için kontrol paneli PDA, lap-top gibi kontrol üniteleri kullanılabilir. Ayrıca bu donanımlar taranması istenen alan ve bölgenin belirlenmesini de kolaylaştırabilmektedir. Birçok tarayıcı da 360^0 kullanım olmasına rağmen uzun menzilli ölçümleri sağlayan ve çalışmamızda kullanılan Optech markalı cihazda taraması yapılacak olan bölgenin resim üzerinden belirlenmesi istenmektedir. Tarama başlatıldıktan sonra yapılan taramanın kontrol edilmesi de önemlidir. Beklenilmedik ve istenilmeyen bölgelerde tarama alanının içine dâhil edilmiş olabilmektedir.

Gerekli durumlarda farklı çözünürlükler tarama da bölgelere ayrılabilmektedir. Eğer özel hedefler arazide kullanılacak ise bu hedeflerin yüksek hassasiyette koordinatlandırılması gerekir. Bu hedeflerin kullanıldığı taramalarda çözünürlüğün artırılması hedeflerin tanımlanmasında çok yararı olacaktır. Ancak günümüzde her geçen gün teknolojinin ilerlemesiyle bilgisayar programlarının yetenekleri de artırılmaktadır. Elde edilen yoğun noktalar (nokta bulutları) arasındaki özel işaretler bu yazılımlar sayesinde otomatik olarak belirlenebilmektedir. Ancak gerekli durumlarda yine manuel olarak müdahaleler her zaman yapılmalıdır. Yapılan hedef ölçmelerin merkezleri çok hassas olarak koordinatlandırılmalıdır. Bu çalışmada da hedefler hassas şekilde ölçülmüş, yoğun şekilde taranmış ve olabildiğince stabil durması sağlanmıştır. Bu bölüm ile ilgili detaylı bilgiler uygulama bölümünde verilecektir.

3.4.4.4.Verilerin hazırlanması

Arazi işlemlerinden sonra yapılacak ofis işlemlerinin en başında farklı formatta uygulanan nokta bulutları verilerinin istenilen formatlara dönüştürülmesi ve verilerin işlemlere hazır hale getirilmesidir. Bu işlemler yapılırken en önemli durum ham verilerin öncelikle kopyalanması, herhangi bir olumsuzluk esnasında elde edilen

verilerin korunmasını sağlayacaktır. Lazer tarayıcı yazılımları genellikle farklı formattaki dosya uzantıları ile çalışabilmektedir. Bu nedenle veri dönüştürme yazılımları kolaylıkla bulunabilmektedir. Önemli olan kullanılacak yazılımın içeri aktarımı sırasında istediği veri dosya uzantısının bilinmesidir. Pek çok yazılım genellikle '.xyz' ve '.asc' uzantılı dosyaları kabul etmektedir.

3.4.4.5.Verilerin birleştirilmesi ve gerçek yer koordinatlara getirme (Geo-referencing) işlemi

Çalışma alanlarına bağlı olarak birçok durumda farklı noktalardan tarama ihtiyacı doğmaktadır. Bu durum tarama yapılacak alanın boyutları ve geometrisiyle alakalıdır. Farklı taramalardaki dönüklüklerin meydana getirdiği koordinat farklılıkları giderilip ortak bir sisteme getirilmesi, sistemin bütünlüğü bakımından oldukça önemlidir. Bu nedenle lokal veya küresel anlamda koordinatlandırılmaların yapılması gerekir. Birleştirme veya kayıt işlemi tüm veri setlerinin yer koordinat sistemine getirilmesiyle doğrudan alakalıdır. Gerçek yer koordinatlarına getirmenin anlamı kısaca elde edilen nokta verilerinin sabit bir koordinat sistemine dönüştürülmesidir. Aşağıdaki bölümlerde detaylı olarak birleştirme ve gerçek koordinatlandırmayla ilgili detaylar verilecektir.

3.4.4.6.Dolaylı olarak kaydetme ve gerçek yer koordinatlara getirme

Bu bölümde 3 farklı birleştirme yöntemi bahsedilecektir. Bunlar; hedefler arası kaydetme, noktadan-noktaya kaydetme ve yüzeyler arası kaydetmedir. Hedefler nokta bulutları arasında belirlenerek eş noktaların farklı noktalarda çakıştırılmasıyla bu işlem kolay olarak yapılabilmektedir. Burada en önemli unsur kullanılan yapay hedeflerin yoğun nokta bulutları arasında belirlenmesidir. Lazer ışınlarının yansıtıcılık oranı yüksek değerlere sahip materyallerin kullanılması bu işlemi oldukça kolaylaştırabilmektedir. Bu nedenle birçok lazer tarama firması lazer tarayıcı ile birlikte veya opsiyonlu olarak bu hedefleri kullanıcıya sunmaktadır. Bu birleştirme tekniğinde eğer tarama alanında belirli veya keskin köşeler de doğal hedefler olarak kullanılabilir, fakat hassas çalışmalarda genellikle yapay hedeflerin kullanılması ölçme doğruluğunu artıracak önemli bir etkendir. Bu nedenle yoğun veri setleri arasında belirgin olarak seçilebilecek, küp, silindir veya küre gibi yapay materyaller kullanılmaktadır.

Nokta-nokta yöntemi ile kaydetme ise birçok yazılım tarafından kullanılan etkili ve kolay bir yöntemdir. Bindirmeli (Üst üste) olarak yapılan yüksek oranlı taramalarda ortak noktaların, bu noktalar doğal veya yapay olabilir, iki farklı tarama setinde belirlenmesiyle yapılan birleştirme yöntemidir. Buradaki bindirme oranı %30-40 civarında olması yeterli doğruluğu sağlamaktadır. Bu yöntem iteratif yakın nokta ICP (Iterative Closest Point) olarak adlandırılan yöntemdir (Besl ve McKay, 1992).

ICP algoritması serbest formdaki 3B'lu şekillerin çakıştırılmasında kullanılmaktadır. Bu tekniğin özelliği basit olmasıdır. Gerçekten de bu algoritma iteratif bir şekilde iki operasyondan oluşur. İlk operasyon bir noktalar kümesindeki noktalardan diğer noktalar kümesindeki noktalara olan en kısa uzaklığın hesaplanmasıdır. İkinci operasyon ise bağlantılı nokta çiftlerini kullanarak hareketi tahmin etmektir. Birçok doğrusal olmayan algoritma gibi ICP algoritmasının da iyi bir ilk tahmine ihtiyacı vardır. Bu ilk değer bazen alınan görüntülerin yönleri belirli bir modele oturtulmuş şekilde elde edilir veya 3B sensörlerin yerleri bilindiği için tahmin edilebilir. Eğer bu mümkün değilse başlıca bilesen analizi gibi daha detaylı teknikler gerekebilir. Kontrol noktalarını belirlemek için veri kümesinden noktalar seçilir. ICP algoritmasının asıl kısmında nokta çiftleri hesaplanır. En yakın noktalar araştırılarak noktalar kümesine en yakın olan nokta bulunur. En yakın noktaları bulmak için Euclid uzaklığını kullanmaktadır.

P = (**p**i) çakıştırılan noktalar kümesi. Np elemanlı

X = (**x**i) model noktalar kümesi Nx elemanlı

Çıkış: (R,t) P'yi X ile çakıştıran dönüşüm

Başlangıç durumu: k = 0, P0 = P, **R**0=**I** ve **t**0=(0,0,0)

iterasyon k

En yakın noktanın hesaplanması için iki nokta arasındaki Euclid uzaklığı d($\overrightarrow{r_1}$, $\overrightarrow{r_2}$)

Karesel Euclidian uzaklığı kullanarak;

$$d(p,x)=||p-x||^2 \tag{3.5}$$

Np kümesi için en yakın noktalar Pk=(pi,k) için Yk=(yi,k)

$$y_{i,k}=c(p_{i,k})=x|_{x\varepsilon X} \min d(p_{i,k}, k) \tag{3.6}$$

Çakıştırmanın hesaplanması ise eş noktaların (pi,0,yi,k) R_k ve t_k'nın fonksiyonu olarak tanımlanması

$$e(R_k, t_k) = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N_p}\left\|\left(R_k p_{i,0} + t_k\right) - y_{i,k}\right\|^2 \quad (3.7)$$

Vektörün boyunu değiştirmeden uygulanan dönüşüm

$$e_k = \min_{R_k, t_k} e(R_k, t_k) \quad (3.8)$$

Çakıştırmanın uygulanması için bulunan en iyi çakıştırmayı veri kümesine ($P_{k+1} = (p_{i,k+1})$) uygulanır.

$$p_{i,k+1} = R_k p_{i,0} + t_k \quad (3.9)$$

İterasyonların sonlandırılması için önceden tanımlanmış kriterlere ulaşıldığında iterasyonlar sona erer (Çevik, 2008).

Yukarıda detaylı biçimde anlatılan ICP algoritması ile bindirmeli bölgeden ve her iki veri setinden de en az üç nokta belirlenir ve birleştirme gerçekleşir, fakat bu birleştirme çok hatalı olacaktır. ICP bu durumda iterasyon yaparak veri örtülü alandaki iki farklı nokta bulutu arasında en küçük mesafeye ulaşana kadar iterasyon yapmaktadır. Bu iterasyon sonucunda birleştirmeden kaynaklanan hatalar minimize edilmiş olur.

Diğer bir algoritma ise yüzeyler arasında kayıt işlemidir. Gruen ve Akça tarafından 2005 yılında geliştirilen bu yöntem iki farklı yüzey arasındaki mesafeyi Euclid algoritmasıyla ICP'de olduğu gibi iteratif bir şekilde minimize ederek birleştirmektedir (Gruen ve Akca, 2005).

3.4.4.7. Direk kayıt etme ve gerçek yer koordinatlara getirme

Bu yöntem doğrudan, herhangi bir işleme gerek duymadan lazer tarayıcının sağladığı koordinatlandırma sistemidir. Bu yöntem sayesinde doğrudan koordinatlı nokta veri setleri elde edilebilmektedir. Lazer tarama cihazına bağlı olarak üzerine yerleştirilecek reflektör ile koordinatları belirlenebilir veya GNSS ile bu kolaylıkla sağlanabilir. Bununla birlikte lazer tarayıcının sahip olacağı eksenler dahilinde bilinen nokta üzerine kurulan tarayıcı başka bilinen bir noktaya bakılmasıyla poligon ağı kullanarak veriler birleştirilebilir. Bu yöntemde diğer yöntemlerde olduğu gibi yer kontrol noktalarına ihtiyaç yoktur. Bu nedenle diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında daha hızlı olmaktadır. Böylelikle yapılması planlanan tarama bölgelerinde bindirmeli tarama yapmaya gerek kalmamaktadır. Sonuç olarak tarayıcının kurulacağı istasyon sayısı da azaltılmış olacaktır.

3.4.4.8. 3B'lu nokta bulutlarının işlenmesi

Nokta bulutlarının işlenmesinden anlaşılması gereken durum, ham verilerin birleştirilmiş noktaların noise (gürültü-bozukluk-hatalı)'lardan temizlenmiş, üçgenlenmiş veya gerekli 2 boyutlu kesitlerin elde edilmesi, resim giydirilmesi (texture) gibi sonuçlara ulaşması işlemidir. Birçok harita şirketinin saniyeler içinde nokta bulutlarının üçgenlenmiş ve resim giydirilmiş modellerine ulaşma görüntüleri sanıldığı kadar kolay ve kısa zamanda gerçekleşen bir işlem değildir. Bu işlemler oldukça uzun süre zarfında ortaya çıkan ürünlerdir.

Nokta bulutu verilerinde ilk adım gürültülerden arındırılmasıdır. Farklı sebeplerden dolayı (rüzgar, toz, hareketli obje, yansıtma oranı) lazer ışınının farklı yerde olmasından kaynaklı bu hatalar üçgen modellerin elde edilmeden önce filtreleme işlemine tabi tutulup yok edilmelidir. Eğer bu bozukluklar silinmez ise oluşturulacak 3Boyutlu model gerçek arazi modelini yansıtmayacaktır. Çoğu zaman kullanıcı operatör istenmeyen nokta bulutlarını ve gürültüleri manuel olarak temizleyebilir. Nokta veri işleme yazılımları bunları otomatik olarak da yapmaktadır. Bunları yapan algoritmalar genellikle en iyi yüzey (the best fit plane) geçirildikten sonra uzakta kalan noktaların uyuşumsuz olarak kabul edilmesiyle filtreleme yapılabilir. Buradaki en önemli konu şu ki eğer parametrelerin çok yüksek verilmesi veri kayıplarına da sebep olabilir.

Verilerin gürültülü noktalardan temizlendikten sonra yeniden örnekleme aralıklarının belirlenmesi gerekebilir. Farklı bölgelerden yapılan taramalarda bindirme oranları nedeniyle nokta yoğunlukları artar ve üçgenleme yapılmadan önce nokta verilerinin aralıkları belirlenmelidir. Günümüzdeki YLT'ler ile 50 milyona yakın nokta verisinin yeni örnekleme aralıklarının belirlenmeden üçgenleme yapılması ve bu verilerin kontrol edilmesi oldukça güç ve zordur. Veri kayıplarının olmaması için eğrili bölgelerdeki noktaların en az örneklemde alınması ve düzleme yakın alanların örnekleme aralıklarının artırılması daha doğru olmaktadır. Bu sayede veriler kontrol altına alınmış olur ve araziye ait detayların kaybolmaması sağlanmış olur.

Farklı algoritmalar ile sonuç ürün olan 3B'lu yüzey modelleri nokta bulutları verilerinden elde edilir. Noktalar arasındaki bağlar genellikle üçgen veya dörtgen şekillerden oluşur. Günümüzde en popüler ve en çok uygulanan üçgenleme algoritması Delaunay kriteridir (Li ve ark., 2005).

Farklı tarama noktalarının kullanılmasıyla bölgeye ait tamamen kapalı bir alan oluşturulmaya çalışılsa da yine de bazı bölgelerde açık ve kapanmayan alanlar

olmaktadır. Bütünlüğün sağlanması açısından, genellikle bu alanların kapatılması gerekir. Bu nedenle açık alanların kapanmasında etrafında bulunan üçgen modelin kenarlarıyla bağlantı kurarak üçgenleme yardımıyla açıklıklar kapatılır. Daha sonra tüm 3B'lu modelin optimizasyonu sağlanır.

3.4.4.9. Kalite kontrol & sunuş

Kaliteli bir sonuç elde etmek öncelikli olarak yapılacak olan projenin doğruluğuna ve hassasiyetine bağlıdır. Bu doğrultuda tarayıcının seçimi, tarama çözünürlüğü, uygun birleştirme gibi yapılacak işlem adımlarının en doğru seçilmesi gerekir. Örnek olarak yetersiz bindirme oranı, kullanılacak hedefler ve materyali, tarayıcının etkili mesafesi ve en önemlisi mesafeye bağlı olacak tarama çözünürlüğü gibi etkenlerdir. Bu bahsedilen konular elde edilecek ürün ile direk bağlantılıdır ve projenin kalitesini oluşturan yapılardır.

4. UYGULAMA

4.1. Çalışma Bölgesi

Taşkent, Konya ilinin 31 ilçesinden birisidir. Konya'nın en güney ucunda yer alan ilçe, Karaman ve Antalya illerine ve diğer bir Konya ilçesi olan Hadim ile komşudur.

Konya'nın Taşkent ilçesi, heybetli bir kayalığın üzerinde Taşeli Platosu ‘nu seyretmektedir. Taşkent ilçesi Konya il merkezinin 133 kilometre güneyinde bulunmaktadır. Rakımı 1400-1600 metre arasında değişmektedir. Coğrafi bölge olarak Akdeniz Bölgesinde yer alan ilçenin, Akdeniz'e kuş uçuşu uzaklığı yaklaşık 100 kilometredir. İlçe Akdeniz Bölgesi'nde yer almasına rağmen, Orta Torosların yüksek rakımlı bir bölgesinde bulunmasından dolayı hem Akdeniz hem de Karasal iklimin özelliklerini göstermektedir. İklim şartlarının ağır olması ve jeolojik yapıdaki materyaller heyelan oluşumunu etkileyen en önemli özelliklerindendir.

Heyelan Taşkent bölge halkının hayatını olumsuz etkilemektedir. Taşkent-Balcılar yolu sürekli heyelan sebebiyle bozulmaktadır ve aralıklarla TCK bölge müdürlüğünce ihya edilmektedir (Şekil 4.1). Halkın tarım arazileri için gerekli sulama boruları kırılmaktadır (Şekil 4.2). Mülkiyete söz konusu olan bahçe sınırları kaybolmakta ve meyve ağaçları kurumaya yüz tutmuştur.



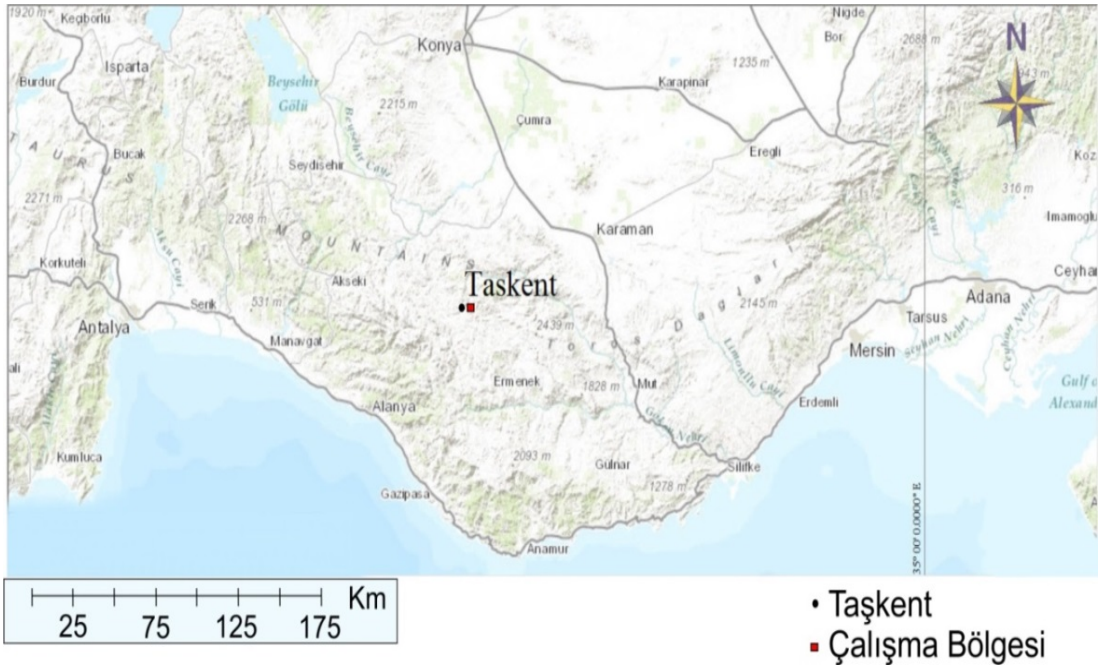
Şekil 4.1. Heyelan sebebiyle Taşkent-Balcılar yolunun bozulan kısmı (sol) ve İksa duvarındaki deformasyon (sağ)



Şekil 4.2. Heyelan sonucu deforme olan boruların yenilenmesi

Bölgede ayrıca jeolojik yapıya bağlı olarak kaya düşme vakaları da görülmektedir. Bölgenin kuzeye bakan yamaçlarında oluşan kaya düşmeleri her yıl devam etmektedir ve ulaşımı çoğu zaman olumsuz etkilemektedir. Kayalar üzerinde oluşan iklim etkisi-sıcaklık soğukluk değişimleri ile ortaya çıkan büyük çatlaklar insanlara korku vermektedir. Bu bölge açısından büyük tehlike oluşturmaktadır. Kaya düşme vakaları için çalışmalarımız bu projenin devamı niteliğinde olup, çalışmalarımızın bu bölge için devam etmesi planlanmaktadır.

Çalışma bölgesi, Taşkent ilçesi ile Balcılar kasabası yolunun 1+000.00 ile 1+300.00 km'leri arasındadır. İnceleme alanının yer haritası Şekil 4.3'te verilmiştir.

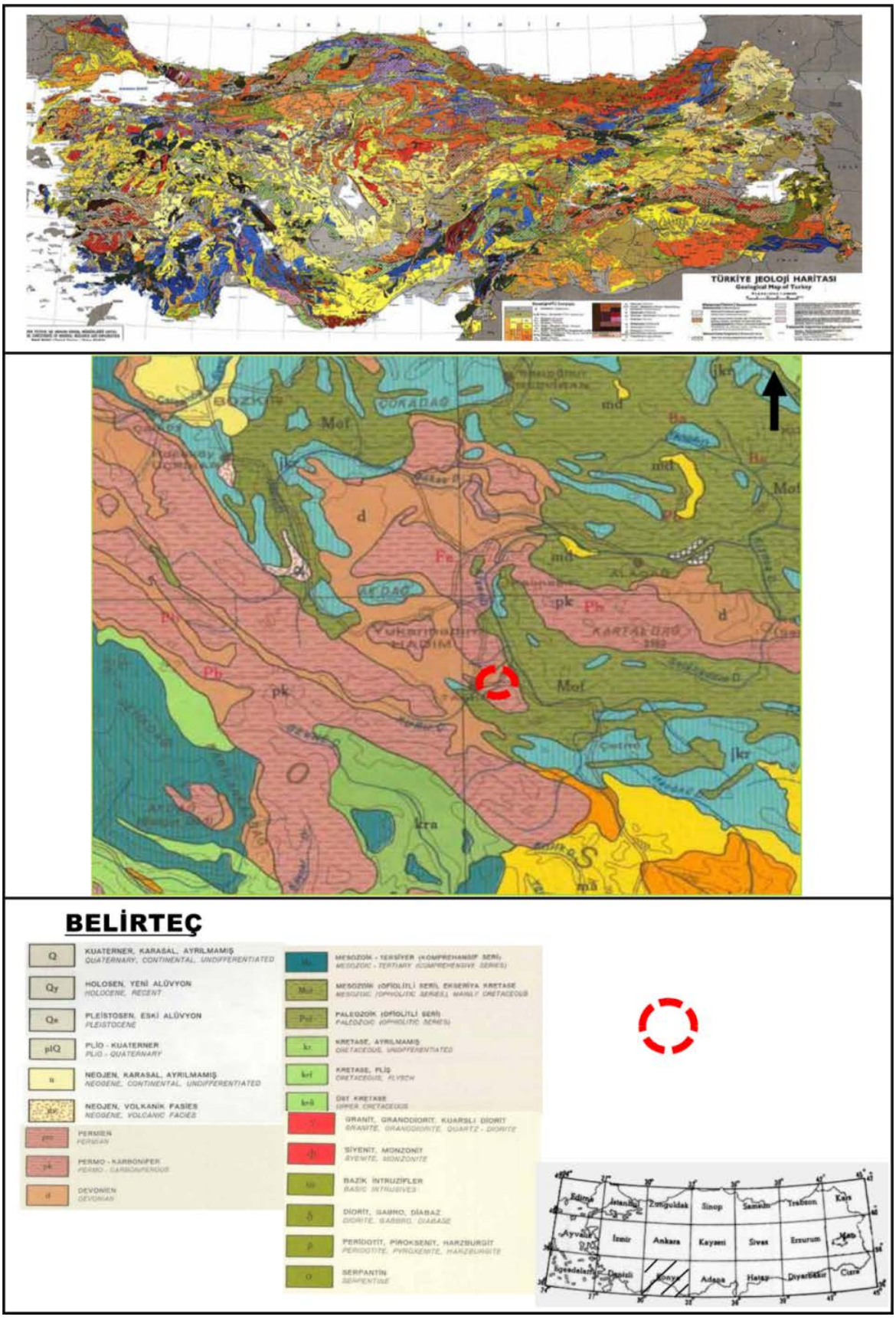


Şekil 4.3. Taşkent'in ve çalışma bölgesinin konumu

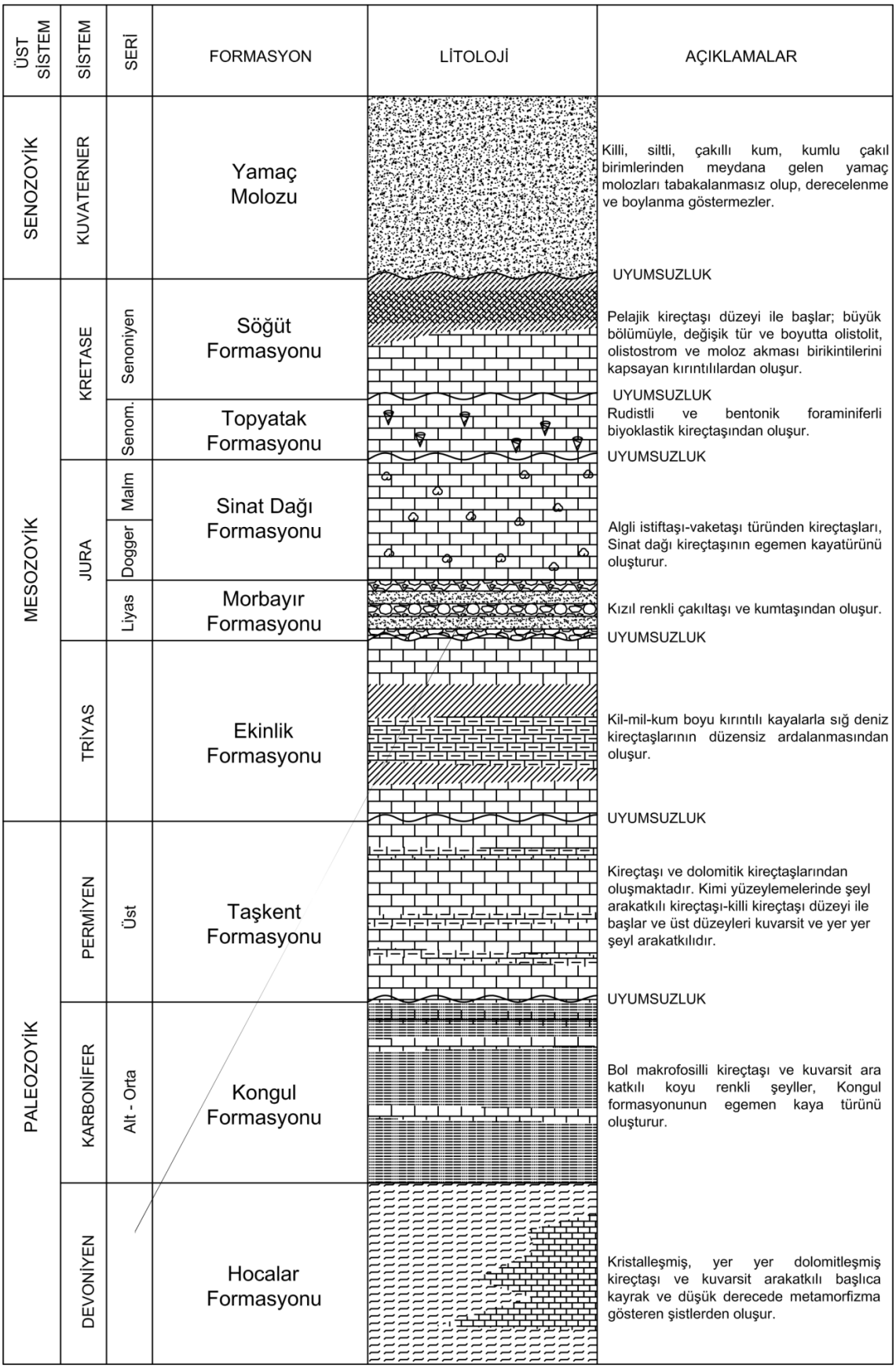
4.2. Çalışma Bölgesi Jeolojik Yapısı

Heyelan alanı ve yakın çevresinde altta Üst Kretase-Paleosen yaşlı Taşkent karmaşığı yer almaktadır. Bu karmaşık üzerinde bindirmeli olarak Mesozoyik yaşlı Korualan ve Dedemli formasyonları, bunlarında üzerinde yine bindirmeli olarak Triyas yaşlı Zindancık karmaşığı yer almaktadır. Taşkent formasyonu şeyl ara katkılı marnlar, ofiyolitik kayaç kırıntıları, çörtlü kireçtaşı ve radyolarit parçalarından oluşur. Bazı kesimlerde ise killi kireçtaşı ile çamur taşlarından oluşur. Heyelan alanının güneyinde bulunan Korualan formasyonu ise şeyl, kireçtaşı, kumtaşı, kiltaşı ve tüfit ara tabakaları içeren killi kireçtaşlarından oluşmaktadır. Dedemli formasyonu kumtaşı, kireçtaşı, şeyl ve volkanojen kumtaşı,tüf ve tüfit tabakalarından oluşur. Zindancık Karmaşığı (metaolistromu) ise meta şeyl, kuvarsit, metaçört ardalanaması ile kristalize kireçtaşı parçalarından oluşur. Ayrıca bu birim içerisinde kuvarsit, kristalize kireçtaşı içeren altera zonlarda meta şeyl ve sleytler ile fillitler de gözlenmektedir (Şekil 4.4-Şekil 4.5).

Genel olarak Korualan formasyonu sık kırıklı ve çatlaklı kireçtaşlarından oluşur. Bu formasyon heyelan alanının güneyinde zirveleri oluşturur. Bu formasyon kırık ve çatlaklarında bulundurduğu yer altı suyunu kaynaklar veya yeraltından sızma ile Sazak deresine boşaltmaktadır. Heyelan alanı ise bu kireçtaşlarının suyunu boşalttığı alan ile sazak deresi arasında bulunmaktadır. Heyelan Taşkent formasyonunun şeyl'leri bozuşmuş ofiyolitleri ve bunlar üzerinde bulunan yamaç molozlarında oluşmaktadır. Bu birimler gerek yüzeyden gerekse Korualan formasyonundan kaynaklanan yer altı suyu ile beslenmektedir. Ofiyolitlerin ayrışmış, bozuşmuş çoğu yerde killeşmiş olan kesimleri ile şeyllerin suya doygun duruma geçmeleri sonucunda dayanımları zayıflamakta ve bunun sonucu olarak da kaymalar oluşmaktadır. Kayma hareketinin olduğu alanda yer altı su seviyesi derinliği yaz mevsiminde 11-19 m arasında değişmekle beraber kış ve bahar aylarında bu değerler daha da düşmektedir. Ayrıca, bölgeye çok fazla miktarda kar düşmektedir. Yağışların fazla olduğu bahar aylarında yağışa ilave olarak karların erimesi ile kaynaklardan boşalan suların ve yeraltından sızma ile heyelan sahasına giren suyun oluşturduğu basınç ile kil, şeyl ve yamaç molozlarında dayanımı düşürmesinin heyelan oluşumunda asıl etken olduğu düşünülmektedir. Kütle hareketi dairesel kayma yüzeyinde gerçekleşmektedir.



Şekil 4.4. 1/500.000 ölçekli genel jeoloji haritası (MTA, 2002)



Şekil 4.5. Genelleştirilmiş stratigrafik kesit (TCK, 2010)

4.3. GNSS Çalışmaları

GPS geliştikten sonra yapılara ve jeolojik olaylar üzerinde stabilite durumlarının izlenmesi amacıyla ve yüksek doğruluğa sahip izleme çalışmalarında oldukça yoğun kullanım alanı bulmuştur. Heyelanların izlenmesinin yanında yapılar üzerindeki hareketlerin belirlenmesi amacıyla baraj, kule ve köprü gibi yapılarda deformasyon ve izleme çalışmalarında kullanılmaktadır. Bazı durumlarda GPS diğer aygıtlarla entegrasyonu sağlanarak daha etkili şekilde kullanılabilir. Bu proje kapsamında da GNSS ve Lazer tarama teknikleri birleştirilerek ve ayrıca GNSS analizleri kullanılarak heyelan izleme çalışmaları yapılmıştır.

Bu proje kapsamında 6 farklı zamanda (periyotlarda) Taşkent bölgesi Balcılar yolu üzerinde oluşan heyelan üzerinde izleme çalışmaları yürütülmüştür. Çalışmalar sırasında Topcon Hiperplus, Topcon Hiperlite, Topcon GR5, Topcon Hiperpro ve Javad Triumph alıcı-anten bütünleşik GNSS alıcılarıyla ölçümler alınmıştır. Periyotların tamamında, jeolojik olarak sağlam kayalarda tesis edilen ve heyelan bölgesinden bağımsız yapıda bulunan 4 referans noktası (N1, N2, N3 ve N4) ile eş zamanlı olarak 4 adet gezici alıcılar ile 30'ar dakikalık oturumlar ile obje noktaları (heyelan bölgesi deformasyon noktaları)'na gözlemler yapılmıştır.

1. periyot ölçmeleri 19 Kasım 2011 tarihinde gerçekleşmiştir. 35 adet noktaya gözlem yapılmıştır. 4 adet sabit nokta, 3 adet TCK poligonu ve 28 adet obje noktası ölçülmüştür (Şekil 4.7).

Ölçü düzeni ve ölçüm geometrisinin değişmediği varsayılarak 2. Periyotta 24 Nisan 2012 tarihinde aynı gözlemler yapılmıştır. 39, 41, 43 noktaları moloz akıntısı sebebiyle nokta tesisi kaybolduğu için analiz edilememiştir. Bunun yerine 17, 22, 29, 31 ve 32 numara verilerek 5 adet tekrar nokta tesisi yapılmıştır.

3. periyot ölçmeleri 14 Haziran 2012 tarihinde yapılmıştır. P15 TCK karayolu poligonu ilave edilmiştir.

4. periyot ölçmeleri 8 Ağustos 2012 tarihinde yapılmıştır. 31, 32 ve 40 nolu, toplam 3 nokta tesisi deforme olmuştur. İlave 50 ve 51 numara ile 2 nokta tesis edilmiştir. Nivelman ölçüsü esnasında da 52 nolu nokta tesis edilmiştir.

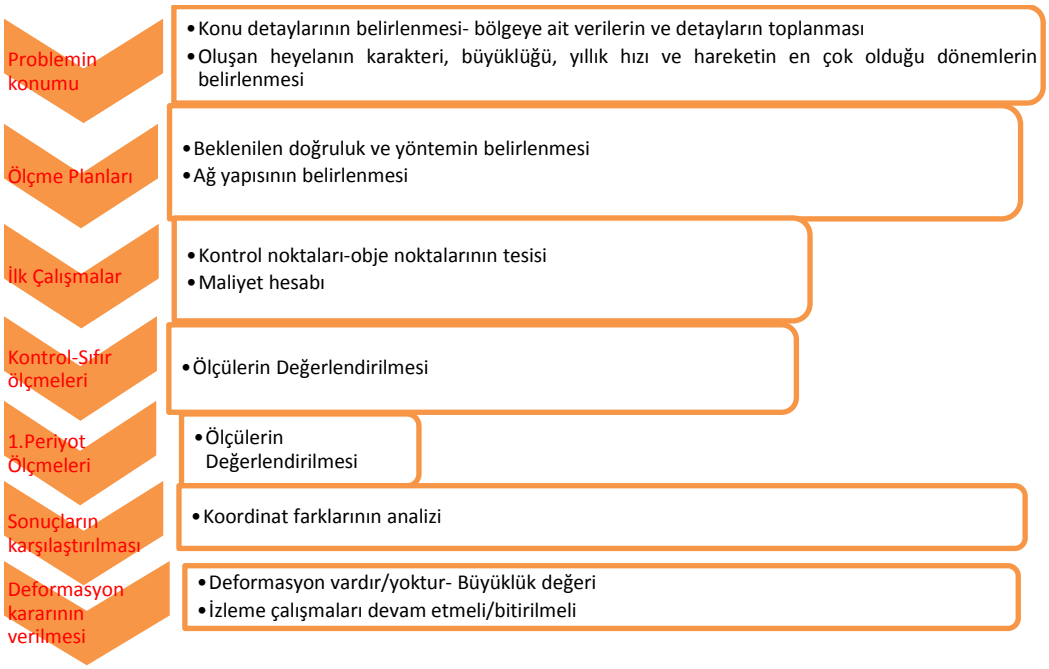
5. periyot ölçmeleri 22 Eylül 2012 tarihinde yapılmıştır. 45 nolu nokta tesisi kaybolmuştur.

6. periyot ölçmeleri 25 Kasım 2012 tarihinde tamamlanmıştır. 46 nolu nokta tesisi kaybolmuştur.

Periyot ölçümleri sonucunda gerekli değerlendirmeler yapılarak 1-2,2-3,3-4,5-6 ve 1-6 şeklinde periyot çiftleri arasında değerlendirme yapılması için eş noktalar belirlenmiştir. Yalnızca tek periyotta ölçülüp deforme olan noktalar analizden çıkartılarak değerlendirilmiştir.

GNSS ölçmelerinde karşılaşılan en büyük problemlerden birisi de bu konu olmuştur. Heyelanların deforme ettiği veya yöre halkı tarafından bazı noktalar deforme edildiği için değerlendirilememiştir.

Heyelan ölçü ve analizinde Şekil 4.6'daki iş akış semasına göre davranılmıştır.



Şekil 4.6. Heyelanların izlenmesinde iş akışı

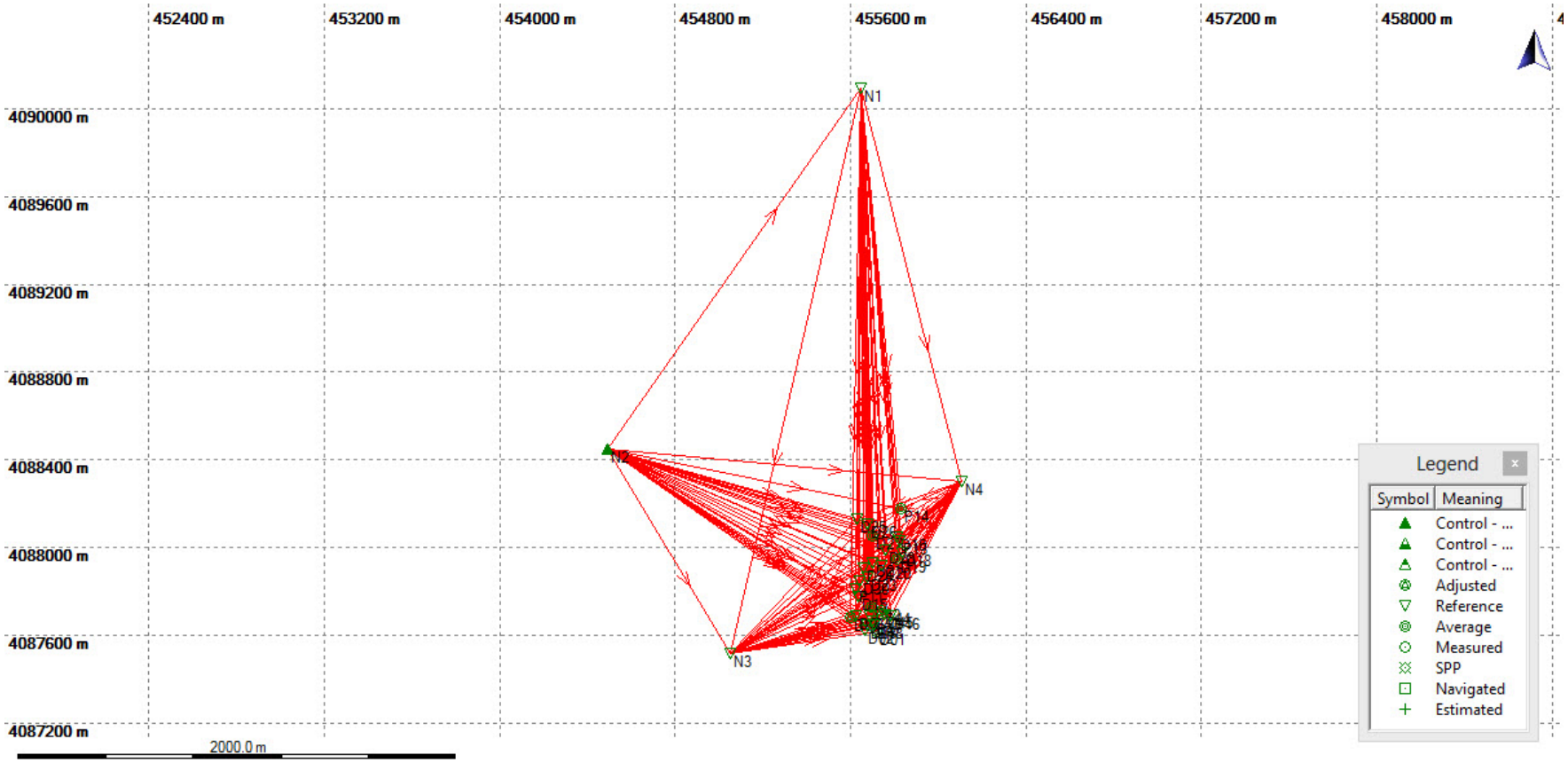
4.3.1. GNSS verilerinin işlenmesi

GPS ile arazide toplanan veriler büroda yazılımlar yardımıyla değerlendirilir. GNSS değerlendirme yazılımları genel anlamda, akademik ve ticari değerlendirme yazılımı olarak iki sınıfa ayrılır. Post processing denilen GNSS verilerinin büro da değerlendirilmesi işlemi için günümüzde çok çeşitli GNSS yazılımları vardır. GNSS yazılımları ile hem kendi GNSS alıcısının ham verileri hem de GNSS yazılımlarının ortak formatı olan RINEX verileri değerlendirilebilir. Bu projede verilerin değerlendirilmesi için Leica Geo Office 5.0 yazılımı kullanılmıştır (Tablo 4.1). LGO yazılımında veri işlemede kullanılan parametreler gösterilmiştir. Yazılım GLONASS ölçülerini değerlendirirken hata mesajı verdiği için, veri işlemede GLONASS ölçüleri kullanılmamıştır. Veri işleme aşamasında otomatik hesapta çıkmayan bazlar özel veri

işleme teknikleriyle hesaplanması sağlanmıştır. Bu özel veri işleme tekniklerine örnek olarak; uydu atımı, ölçü süresinin ayıklanması, faz frekansı değiştirme, yükseklik açısını yükseltme gibi ayarlar verilmiştir.

Tablo 4.1. LGO yazılımında veri işlemede kullanılan parametreler

Yükseklik Engel Açısı (Cut –Off Angle)	10^o
Uydu Yörünge Bilgisi (Ephemeris)	Broadcast
Frekans ve Çözüm tipi (Frequency and Solution Type	L1+L2, Phase: All fix
Troposferik Model	Hopfield
İyonosferik model	Automatic-Computed Model



Şekil 4.7. İlk periyoda ait ağ yapısı ve baz vektörleri

4.3.2. Serbest Ağların Dengelenmesi

GNSS ağlarında üç boyutlu koordinat farkları (kod, faz ve zaman ölçülerinden) ölçülür. Bu ölçüler ilgili jeodezik ağın belirli bir koordinat sisteminde yeri, yönü ve ölçeği konusunda hiçbir bilgi içermezler. Bu ölçüler yardımıyla oluşturulan jeodezik ağlara serbest ağlar denir.

Bir ağ dengelemesinde ağdaki bazı noktalara dayalı olarak (*zorlamasız dengeleme*) koordinatları hesaplanan yeni noktaların koordinatları ve koordinatların doğrulukları, koordinatı değişmez alınan noktalardan etkilenir. Çünkü bu ağda yapılan ölçülere ait hatalar sadece yeni noktaların koordinatlarına dağıtılır. Sabit alınan noktalardan uzaklaştıkça biriken hatalar yeni noktaların konum hatalarını büyütür. Bu nedenle noktaların konum doğruluğu datum seçimine bağlı olarak değişir. Bu durumdan etkilenmemek için deformasyon ağları serbest ağ dengelemesi (tüm iz minimum yöntemine göre dengeleme) ile dengelenir. Bu yöntemde bir ağda yapılan tüm ölçülerden meydana gelen hatalar tüm nokta koordinatlarına dağıtılır (Barışkaner, 1981; Bayrak, 2011; Çakır, 2006; Demirel, 2009; Denli, 1998; Erol, 2007; Tanır, 2000).

Deformasyon izleme amacıyla oluşturulan jeodezik ağlarda noktaların koordinatları ve koordinatların doğrulukları deformasyon analizinde kullanılan giriş değerleridir. Deformasyon analizi ve yorumu açısından bu değerlerin serbest ağ dengelemesiyle elde edilmiş olunması tercih edilmektedir.

Bu çalışmada elde edilen serbest dengeleme sonuçları Tablo 4.2 ve Tablo 4.3'te gösterilmiştir. Tüm ölçme periyotlarında 100'lü değerler referans, 500'lü değerler obje, 900'lü değerler TCK poligon noktalarıdır.

Tablo 4.2. 1. Periyot Serbest dengeleme sonucu Kartezyen Koordinat Değerleri

N.N	X(m)	Y(m)	Z(m)
501	4306735.053	2744013.733	3811103.606
502	4306771.925	2743971.357	3811119.707
503	4306750.947	2743973.248	3811131.016
506	4306754.530	2743911.985	3811163.269
507	4306764.178	2743889.648	3811153.186
510	4306402.547	2743907.696	3811393.271
515	4306665.358	2743869.636	3811203.816
518	4306433.529	2743957.165	3811343.615
519	4306464.421	2743947.831	3811316.467

N.N	X(m)	Y(m)	Z(m)
520	4306513.396	2743899.649	3811295.169
521	4306530.203	2743858.009	3811299.842
523	4306574.403	2743864.268	3811249.282
524	4306562.679	2743831.113	3811281.395
525	4306427.107	2743707.317	3811424.831
526	4306416.804	2743762.371	3811416.057
527	4306441.106	2743805.936	3811380.019
528	4306458.713	2743881.621	3811344.430
530	4306612.557	2743842.890	3811245.771
540	4306699.376	2743957.562	3811149.447
542	4306663.038	2743941.021	3811171.200
544	4306652.621	2743988.947	3811156.883
545	4306660.977	2744006.268	3811148.059
546	4306642.597	2744031.325	3811144.515
547	4306712.388	2743976.756	3811136.685
548	4306723.665	2743994.829	3811124.272
101	4305570.331	2743174.061	3813128.517
102	4307062.593	2742765.523	3811840.951
103	4307274.015	2743568.317	3811132.750
104	4306106.366	2744067.870	3811585.687
911	4306646.543	2743847.699	3811227.415
913	4306408.959	2743932.533	3811379.837
914	4306324.956	2743884.762	3811491.157

Tablo 4.3. Periyot 1 ITRF-96 sisteminde projeksiyon koordinat değerleri

Projeksiyon:	TM	D.O.M.:	33^0
Nokta No	Sağa Değer (m)	Yukarı Değer (m)	Elipsoidal Yükseklik(m)
101	455647.131	4090096.768	1584.847
102	454492.393	4088449.630	1641.781
103	455050.844	4087514.503	1703.674
104	456103.457	4088301.268	1403.064
501	455716.481	4087616.975	1514.083
502	455660.984	4087625.134	1530.410
503	455673.948	4087644.122	1523.871
506	455620.596	4087688.136	1519.343
507	455596.549	4087682.524	1510.194
510	455807.968	4088050.674	1418.344
515	455633.269	4087779.312	1465.380
518	455832.663	4087979.197	1430.656
519	455808.017	4087944.988	1431.165
520	455740.943	4087919.058	1430.693
521	455696.849	4087927.948	1426.943
523	455678.043	4087863.223	1429.060
524	455656.606	4087905.643	1426.206

Projeksiyon:	TM	D.O.M.:	33^0
Nokta No	Sağa Değer (m)	Yukarı Değer (m)	Elipsoidal Yükseklik(m)
525	455626.219	4088129.077	1367.785
526	455678.073	4088109.244	1379.217
527	455701.464	4088053.946	1392.667
528	455755.500	4087991.874	1415.670
530	455639.442	4087848.192	1443.492
540	455688.667	4087689.961	1493.429
542	455694.455	4087731.060	1474.889
544	455740.349	4087709.188	1479.856
545	455750.376	4087692.259	1487.630
546	455781.369	4087690.489	1483.873
547	455697.740	4087666.927	1502.784
548	455706.809	4087645.413	1510.694
911	455625.064	4087814.828	1457.446
913	455825.351	4088028.582	1425.266
914	455830.965	4088175.502	1414.982

4.3.3. GNSS verilerinden elde edilen ölçmelerin analizi

GNSS verilerin ortalama aykırılıklar ile analizinde noktaların sınıflandırılması gerekmektedir. Sabit (ağ) noktaları ve obje noktaları olmak üzere ikiye ayrılır. Olası obje hareketleri hakkında bir şeyler söyleyebilmek için ağ noktalarından konum ağı ise en az iki, yükseklik ağı ise en az bir noktanın sabit kalması gerekir. Burada; ilk ve tekrar periyotlarında yapılan $\underline{L}_1$ ve $\underline{L}_2$ ölçü vektörlerinin karşılaştırılması yerine, normal dağılımlı olan $\underline{x}_1$ ve $\underline{x}_2$ koordinat vektörleri karşılaştırılırlar. $\underline{x}$ vektörünün satır sayısı $\underline{Q}_{xx}$ kofaktör matrisinin satır sayısına eşitse bu $\underline{Q}_{xx}$ regüler bir matristir. Eşit olmadığı durumda ise kofaktör matrisi singüler bir matristir. İki değişik zamanda yapılan ölçülerin karşılaştırılması için her iki ölçü periyodunda aynı ölçü aletleri ve aynı ölçüm yöntemleri kullanılmalıdır. Buna rağmen aynı hassasiyette olması mümkün değildir. Bu iki ölçünün karesel ortalama hatalarının (m_1 ve m_2) ortalaması alınarak,

$$m = \sqrt{\frac{\underline{V}_1^T \underline{P}_1 \underline{V}_1 + \underline{V}_2^T \underline{P}_2 \underline{V}_2}{f_1 + f_2}} \qquad \begin{matrix} f_1 = n_1 - u_1 \\ f_2 = n_2 - u_2 \end{matrix} \tag{4.1}$$

veya diğer bir ifadeyle,

$$m = \sqrt{\frac{f_1 m_1^2 + f_2 m_2^2}{f_1 + f_2}} \tag{4.2}$$

olarak daha bütünleşik m değeri bulunur.

Önceden sabit olarak sınıflandırılan noktaların sabit kalıp kalmadıkları $\underline{d}$ vektörleri yardımıyla kontrol edilir. Deformasyon vektörü,

$$\underline{d} = \underline{x}_2 - \underline{x}_1 \tag{4.3}$$

şeklinde elde edilir. Bu vektöre ait kofaktör matrisi,

$$\underline{Q}_d = \underline{Q}_1 + \underline{Q}_2 \tag{4.4}$$

hesaplanır. $\underline{P}_d$ ağırlığı ise,

$$\underline{P}_d = \underline{Q}_d^{-1} = (\underline{Q}_1 + \underline{Q}_2)^{-1} \tag{4.5}$$

olarak elde edilir. Ağın bütün noktaları sabit kalmış olduğu sıfır hipotezinden ortaya çıkarsa o zaman bu noktalardaki aykırılıklara sebep olan ölçüm hatalarıdır. Yani $\underline{d}$ vektörünün beklenen değeri,

$$E(d) = 0 \tag{4.6}$$

olur. Sıfır hipotezinin geçerliliğinde Fisher dağılımına uyan,

$$F = \frac{\underline{d}^T \underline{P}_d \underline{d}}{h.m^2} = \frac{\frac{\underline{d}^T \underline{P}_d \underline{d}}{h}}{m^2} = \frac{\theta^2}{m^2} \tag{4.7}$$

büyüklüğü meydana gelir. Burada,

$$\theta^2 = \frac{\underline{d}^T \underline{P}_d \underline{d}}{h} \tag{4.8}$$

büyüklüğü σ için m'den bağımsız bir tahmini değerdir. Bu değer ortalama aykırılık olarak adlandırılır. (17)'deki h değeri, $\underline{d}$ vektörünün satır sayısına veya $\underline{d}$ vektörünün elemanlarının sayısına eşittir. O halde,

$$h = u \tag{4.9}$$

olur.

$\underline{Q}_1$ ve $\underline{Q}_2$ kofaktörler matrisinin her ikisi de r matris bozukluğuna sahip ise,

$$h = u - r \tag{4.10}$$

olur.

Ağın her hangi bir noktasında deformasyon meydana gelip gelmediğini ortaya çıkartmak için sıfır hipotezi uygulanır. Fakat sıfır hipotezi geçerli ise deformasyon yoktur. Görünen aykırılıklar ise bilindiği gibi tesadüfi ölçüm hatalarından ileri gelmektedir. Yani bu ağırlıklar ölçüm hassasiyeti ile açıklanmalıdır.

$$F = \frac{\theta^2}{m^2} \approx F_{h,f,1-\alpha} \tag{4.11}$$

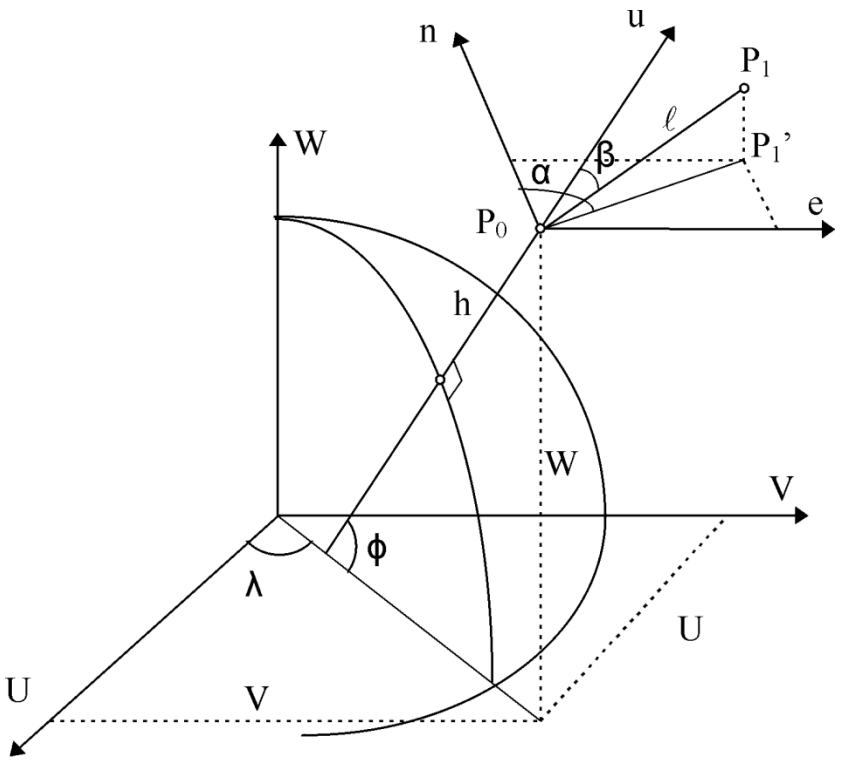
dağılımına uyduğundan,

$$P(F \leq F_{h,f,1-\alpha} \mid H_o) = 1 - \alpha \tag{4.12}$$

ihtimal bağıntısı geçerli olacaktır. Önceden belirlenen α yanılma ihtimali ile ağda deformasyon meydana gelip gelmediğine karar verilir. F test büyüklüğü tablo değerinden ($F_{h,\ f,\ 1-\alpha}$) küçük ve eşitse sıfır hipotezi 1-α ihtimaliyle kabul edilir. Yani deformasyon yoktur.

$$P(F \rangle F_{h,f,1-\alpha} \mid H_A) = 1 - \alpha \tag{4.13}$$

F test büyüklüğü tablo değerinden büyükse sıfır hipotezi 1-α ihtimalle ret edilir. Alternatif hipotez geçerlidir, yani deformasyon vardır (Barışkaner, 1981; Bayrak ve Yalçınkaya, 2002; İnal, 2010; Tanır, 2000). Tüm noktalar için aykırılık değeri hesaplanarak aykırı noktalar atıldıktan sonra S transformasyonu yani benzerlik dönüşümü ile yeniden datum belirlenerek bu işlemler tekrarlanır ve hareket eden noktalar belirlenir. d fark vektörü x bilinmeyenleri için S dönüşüm matrisi ile çarpılarak toplam deformasyon miktarı belirlenir. Deformasyon miktarlarının toposentrik koordinat sisteminde (North;Kuzey, South;Güney, Up; Yukarı) anlaşılması için 23 ve 24 no'lu eşitliklerden yararlanılarak kartezyen farklardan toposentrik koordinat sistemine dönüşüm matrisi ile dönüştürülür (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Elipsoidal Koordinatlardan Yerel Sisteme dönüşüm

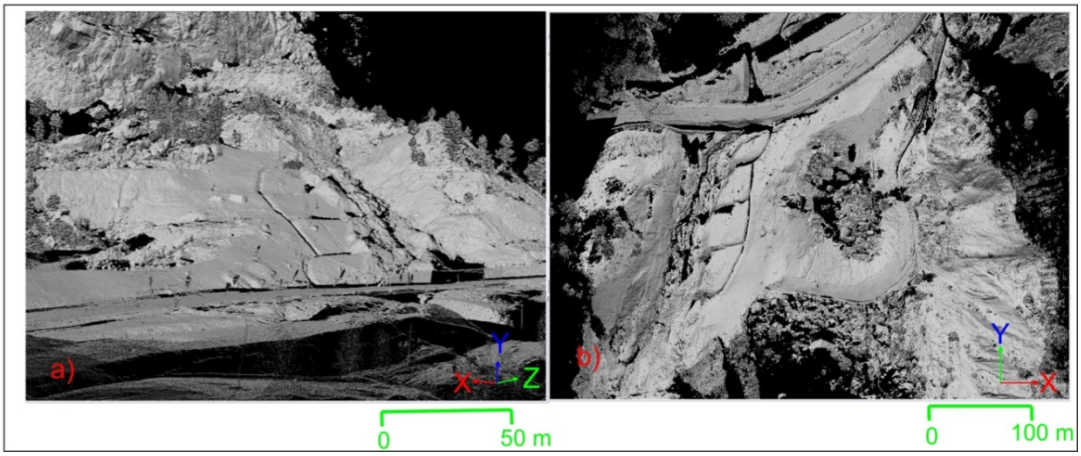
$$x_{ij} = \begin{bmatrix} n \\ e \\ u \end{bmatrix} = D^T \begin{bmatrix} X_j - X_i \\ Y_j - Y_i \\ Z_j - Z_i \end{bmatrix} \tag{4.14}$$

$$D_i = \begin{bmatrix} -sin\varphi cos\lambda & -sin\lambda & cos\varphi cos\lambda \\ -sin\varphi sin\lambda & cos\lambda & cos\varphi sin\lambda \\ cos\varphi & 0 & sin\varphi \end{bmatrix} \tag{4.15}$$

4.4. Yersel Lazer Tarama Çalışmaları

Yersel Lazer Tarama yöntemi çok büyük ve geniş alanlarda özellikle karmaşık yapıya ve topografyaya sahip bölgelerde, 3B'lu modellerin elde edilmesinde kullanımı giderek artan bir yöntem haline gelmiştir. Lazer ölçme yöntemi, lazer ışınının havada almış olduğu yolun ölçülmesi esasına dayanır. Lazer ışını, ilgili alan yüzeyinde farklı topografik yapılarda farklı yansıtıcı özelliğe sahip obje yüzeylerine çarparak geri döner. Lazerin bu aşamada aldığı yol ile birlikte havada kaldığı süre ile obje ve lazer tarayıcı arasındaki açı kayıt edilir. Bu verilerden de tarama noktası ile obje arasındaki mesafe belirlenir. Böylelikle obje yüzeylerine ait 3B'lu konum bilgisine dayalı olarak nokta bulutları oluşturulur. Temel anlamda konumsal çözünürlük ise sinyal yayılımındaki açıya ve lazer tarama cihazının objeye olan uzaklığına bağlıdır (Kasperski ve ark.,

2010). Kayıt altına alınan bu nokta veri setlerinin işleme (process) tabi tutularak gürültü (noise) lerden arındırılması ve gridli verilerin üretilmesi gerekir. Bu bozukluklardan arındırılmış düzenli veri setleri ile analizler daha doğru sonuçlar verecektir. Konumsal veri sağlanması aşamasında YLT tekniğinin en ciddi dezavantajı, sadece görüş açısında ve önde bulunan objelerin konumsal verisini kayıt altına almasıdır. Bunun sonucunda arkada kalan bölgeler lazer sinyalini alamayarak gölgede (shaded) kalır. Bu probleme en iyi çözüm, farklı görüş açısına sahip çoklu oturum (multi-stations) yaparak nokta verisini artırmaktır.



Şekil 4.9. Çalışma alanının yoğun nokta bulutundan elde edilen a) perspektif b) yukarıdan görünümü

Buradaki kritik nokta şudur ki; her bir tarama kendi içerisinde kendi koordinat sistemine sahiptir, bu durumda koordinatlar arasında dönüklükler vardır. Farklı dönüklük değerlerine sahip nokta bulutlarının tümünün aynı koordinat sisteminde olması gerekir. Böylelikle mutlak bir koordinat sistemi elde edilmiş olacaktır. Aynı koordinat sistemine sahip çoklu oturumların birleştirilmesiyle yoğun nokta bulutları elde edilir ve ilgili bölgenin tamamını kapsayan yüksek çözünürlüğe sahip sayısal yükseklik modeline altlık veri setleri oluşturulur (Santana ve ark., 2008).

Bu çalışmamızda ILRIS-3D lazer tarayıcı cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz çok yoğun nokta bulutu verisi üretebilme kapasitesine sahiptir ve resim çekme özelliğiyle donatılmıştır. Ayrıca online görüntü için LCD monitör ve dijital kamera ile donatılmıştır. Bu cihaz madencilik, endüstri, haritacılık ile diğer farklı mühendislik alanlarında kullanılabilen bir araçtır. Yüksek çözünürlükte ve hassas veri üretmesi sebebiyle dinamik ölçmeler sınıfında sıkça kullanılan bir alet haline gelmiştir. Boyutları yaklaşık olarak total station'lara benzemektedir. Boyutlarının normal olmasına karşın ağırlığının fazla olması sebebiyle ölçüm noktaları (station points) arasındaki taşıma

sırasında zorluklar yaşanmaktadır. Daha fazla bilgi http://www.optech.ca./ilrisfeatbens.htm ‘den alınabilir. Aletin temel parametreleri Tablo 4.4’de gösterilmektedir.

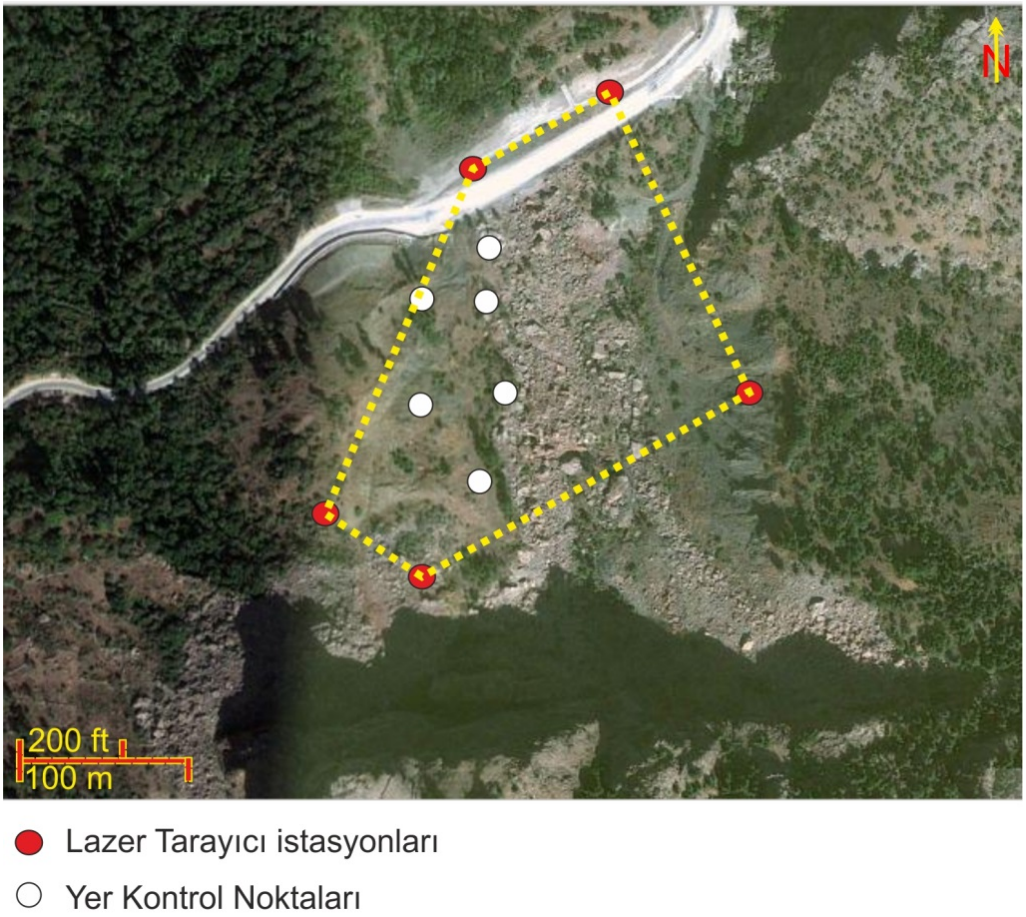
Tablo 4.4. ILRIS 3D temel parametreleri

Tarama Mesafesi	3-1500m
Doğruluk	Mesafe: ±7mm at 100m, Konumsal: ±8mm at 100m
Nokta sıklığı	2000 nokta/saniye
Minimum nokta aralığı (X -Y eksenlerinde)	0.00115°
Kullanım arayüzü	Digital Camera:4mpViewfinder: 17 cm VGA Controller:
Aygıt Boyutları	312x312x205mm
Uygulama sıcaklığı	0°-40°
Tarama görüş açısı	40° x 40°
Lazer türü	Class 1 IEC 600825-1

4.4.1. Nokta Bulutu Verilerinin Elde Edilmesi, Birleştirme ve Jeodezik Koordinat Sisteminde tanımlanması

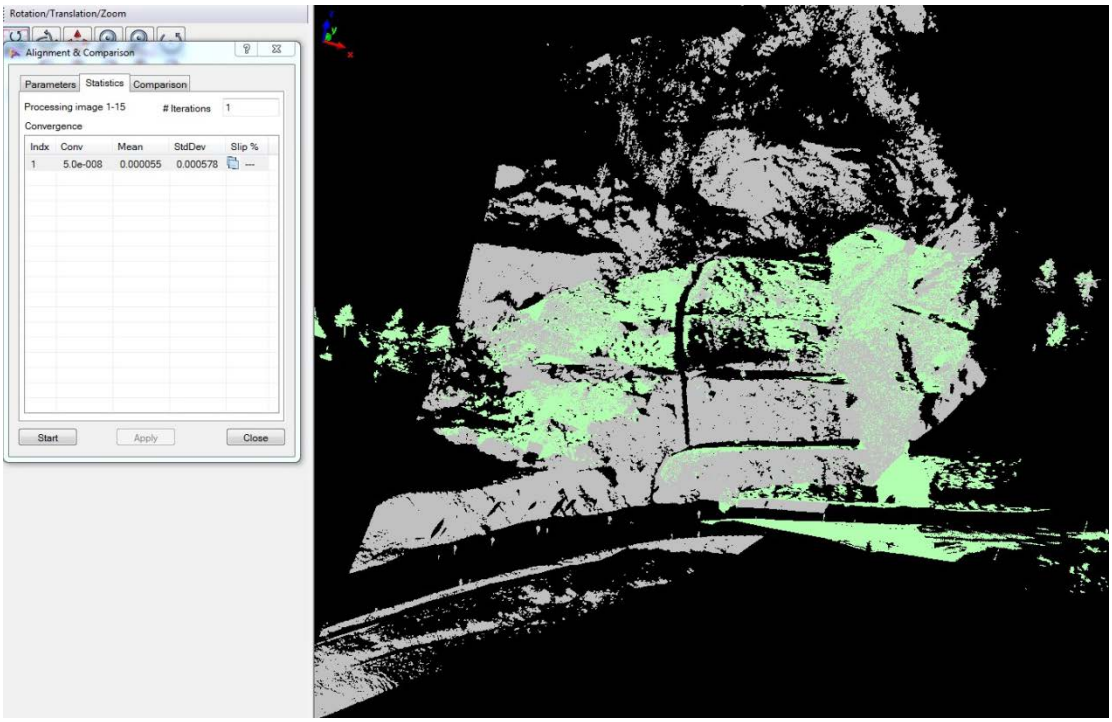
Taşkent heyelan sahasında heyelanın hareketinin izlenebilmesi amacıyla 2011 yılında Lazer tarama çalışmaları başlatılmıştır. Şimdiye kadar 6 farklı zamanda ölçümler alınmış ve ilave periyotlarla bu ölçümlerin alımına devam edilmesi planlanmıştır.

Tüm bölgeye ait verinin elde edilebilmesi için beş farklı oturumda (Şekil 4.10) alet kurulan istasyonların gölgeli alan (veri olmayan alan) oluşturmayacak veya en aza indirebilecek şekilde seçilmesine özen gösterilmiştir. Farklı istasyonlardan yapılan taramalarda obje ile YLT arasındaki mesafeler 55 m ile 200 m arasındadır. Her periyotta farklı oturumlarda yapılan taramalar birleştirilerek nokta bulutları elde edilmiştir.



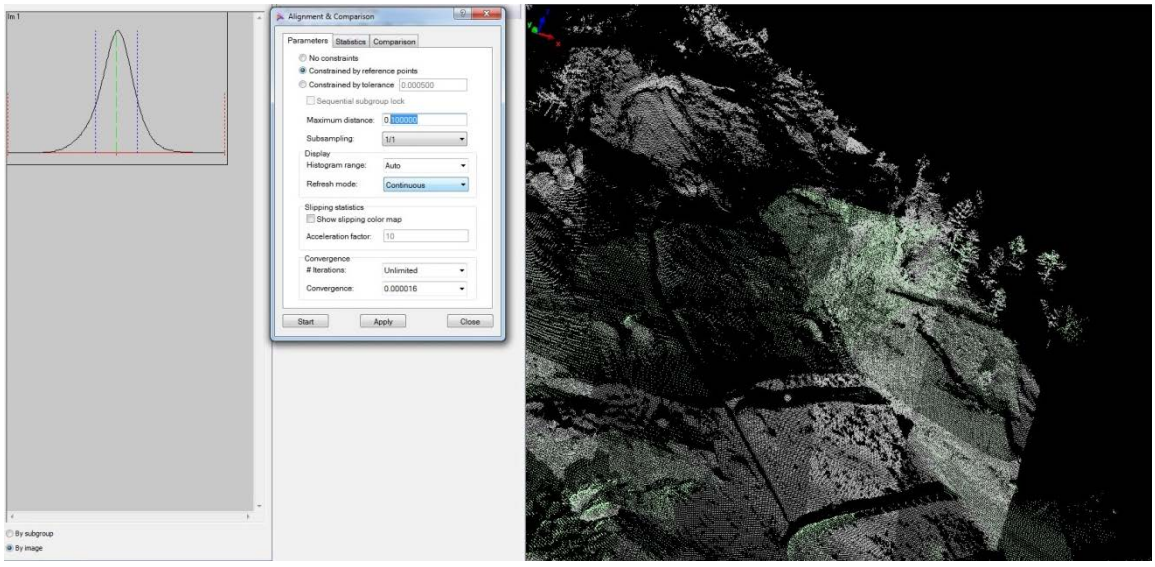
Şekil 4.10. Yersel lazer tarayıcı istasyonlarının konumu ve yer kontrol noktalarının yerleri

Taramalar, yoğun nokta bulutları elde etmek için yüksek çözünürlükte yapılmıştır. Nokta aralığı tarama mesafesine göre 5 ile 10 cm arasında değişmektedir. Tüm nokta bulutları aynı koordinat sisteminde olacak şekilde düzenlenmiştir. Bu işlem Innovmetric Polyworks yazılımı içinde bulunan IMAlign modülünün sağlamış olduğu ICP algoritması kullanılarak yapılmıştır (Besl ve McKay, 1992). Şekil 4.11'de gösterildiği üzere, gri noktalar ilk tarama, yeşil noktalar ise diğer bir taramaya ait noktalardır. Bindirmeli olarak tarana bölge ICP algoritması ile birleştirilerek tek bir nokta bulutu elde edilir.



Şekil 4.11. Farklı taramalara ait verilerin ICP algoritmasıyla birleştirilmesi

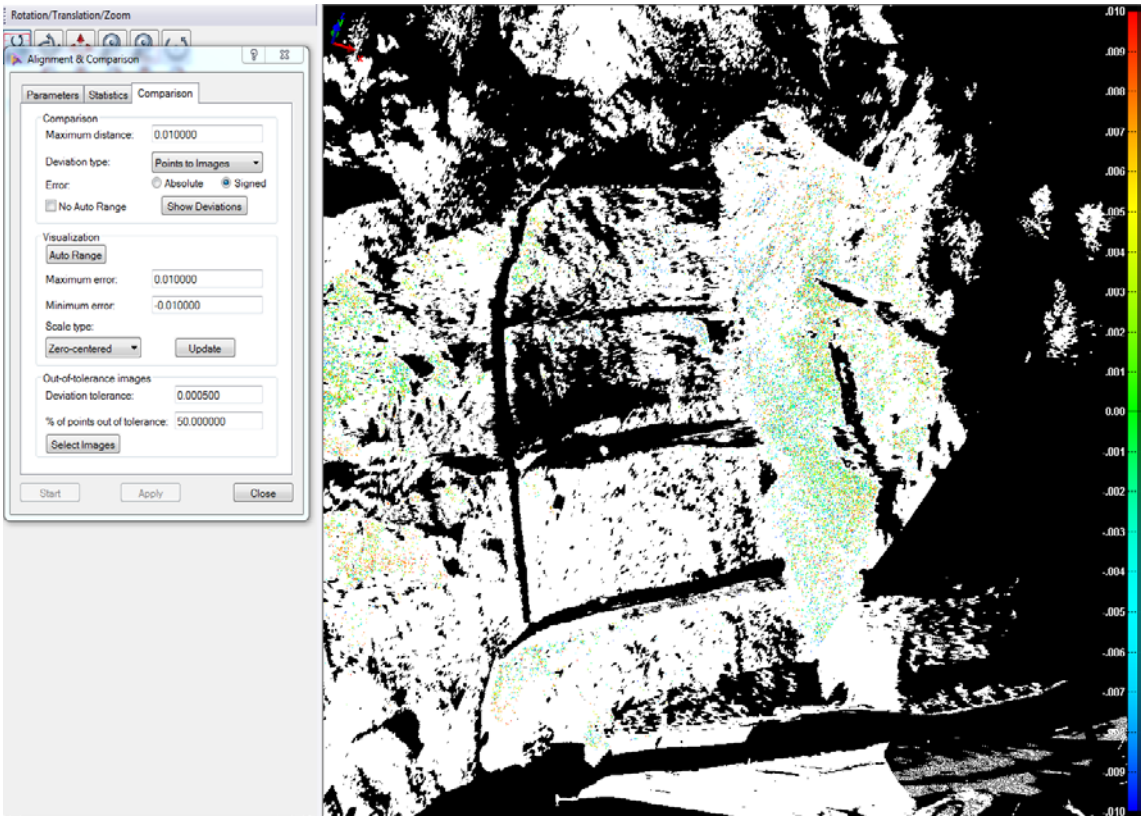
Birleştirme sonucunda istatistiksel olarak sapma değerleri minimumda tutulmuştur (Şekil 4.12). Birleştirmede en büyük ve en küçük değer ilk iterasyonda 10 cm olarak belirlenmiş, daha sonra ise bu değer 1 cm' düşürülerek taramalar arasındaki fark minimuma getirilmiştir.



Şekil 4.12. Birleştirme sırasında farklı taramalar arasındaki mesafeler istatistiksel olarak normal dağılımda olmalıdır.

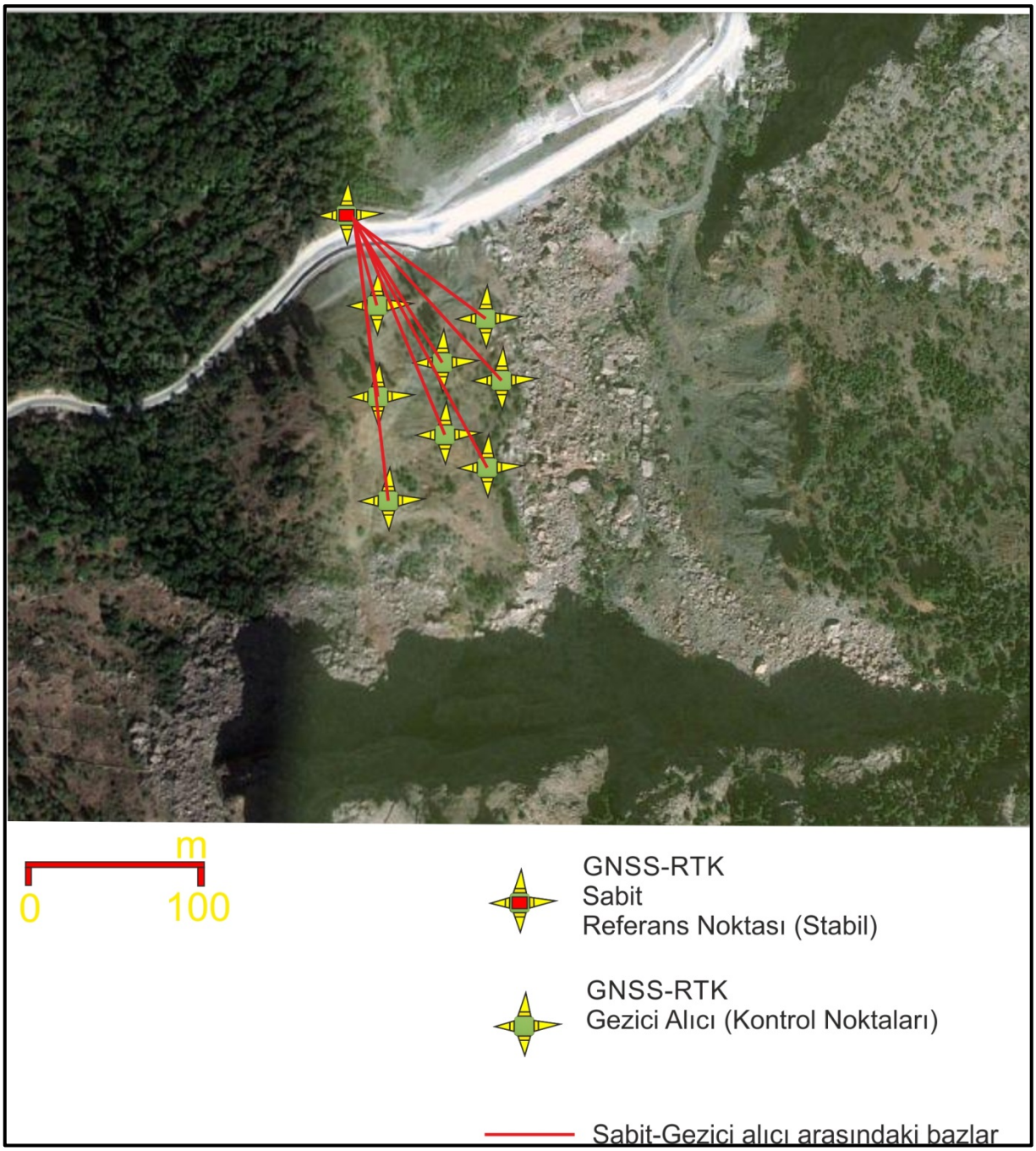
Birleştirme sonrasında model (bindirme alanında) farklı tarama verileri arasındaki farklılıkların dağılımı renk skalası ile incelenebilir (Şekil 4.13). Hata

değerlerinin en az olması projenin doğruluğunu etkilemektedir. Şekil 4.13'de gösterildiği üzere bindirme hatalarının 1 cm den daha düşük değerlerde olduğunu bölgelerdeki renk skalasında görülmektedir.



Şekil 4.13. Bindirmeli alanlardaki sapma miktarları (m)

Birleştirmelerin yapılması esnasında bağlantı noktaları için arazi yüzeyinde doğal noktalar seçilmiştir. Heyelan bölgesinden elde edilen tüm serilerin koordinatlarının aynı koordinat sisteminde olabilmesini sağlamak (*geo-referencing*) için yer kontrol noktaları kullanılmıştır (Şekil 4.14). Her bir periyot için bu yer kontrol noktalarının koordinatları Global Navigation Satellite system-Real Time Kinematic (GNSS-RTK) yöntemi ile ITRF-96 (International Terrestrial Reference Frame-96) koordinat sistemine göre tanımlanmıştır.



Şekil 4.14. GNSS-RTK Yöntemiyle Yer Kontrol Noktalarının Koordinatlandırılması

GNSS-RTK ölçmelerinde heyelan bölgesinin dışında, sabit ve belirli bir noktanın koordinatları sabit istasyon olarak alınmıştır. Farklı periyotlardaki ölçümlerde aynı sabit nokta kullanılmıştır. Bu ölçmelerde biri sabit ve diğeri gezici olmak üzere iki adet Javad Triumph alıcı ve bütünleşik anten seti kullanılmıştır. Bir saniyelik epoch aralığında 10 epoch koordinat verisi kayıt edilmiştir. Yer kontrol noktalarının fazla sayıda olması referanslandırma hatalarını azaltmaktadır. Bu nedenle yer kontrol noktalarının sayısı en az 3 olmalıdır (Schuhmacher ve Böhm, 2005). GNSS gezici alıcı

ile koordinatları ITRF-96 sisteminde belirlenen yer kontrol noktalarının değerleri birleştirilmiş nokta bulutlarının içerisine aktarılıp, ilgili nokta bulutlarının orta noktasını belirleyip nokta bulutlarının istenilen koordinat sistemine getirilmesi sağlanmalıdır. Bu aşama farklı periyotlarda kullanılacak olan karşılaştırma yöntemlerinde daha doğru sonuç vererek, heyelan miktarının gerçek koordinatlarıyla belirlenmesine büyük katkı sağlamıştır.

$$v = \bar{l} - l \tag{4.16}$$

$$v^T v = min \tag{4.17}$$

X için ortalama x

$$x = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i = \frac{x_1+x_2+\cdots+x_N}{N} \tag{4.18}$$

Burada N alınan örneklem büyüklüğü sayısıdır.

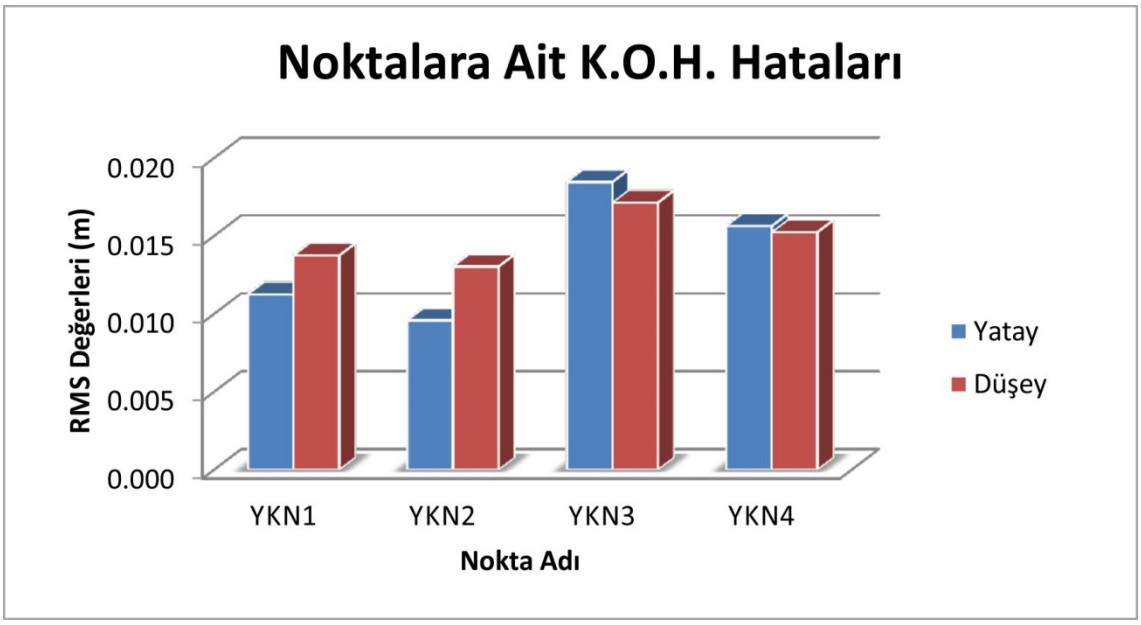
$$E(S_i) = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2} \tag{4.19}$$

Sonra, standart sapma (S) ifadesi şöyle gösterilebilir:

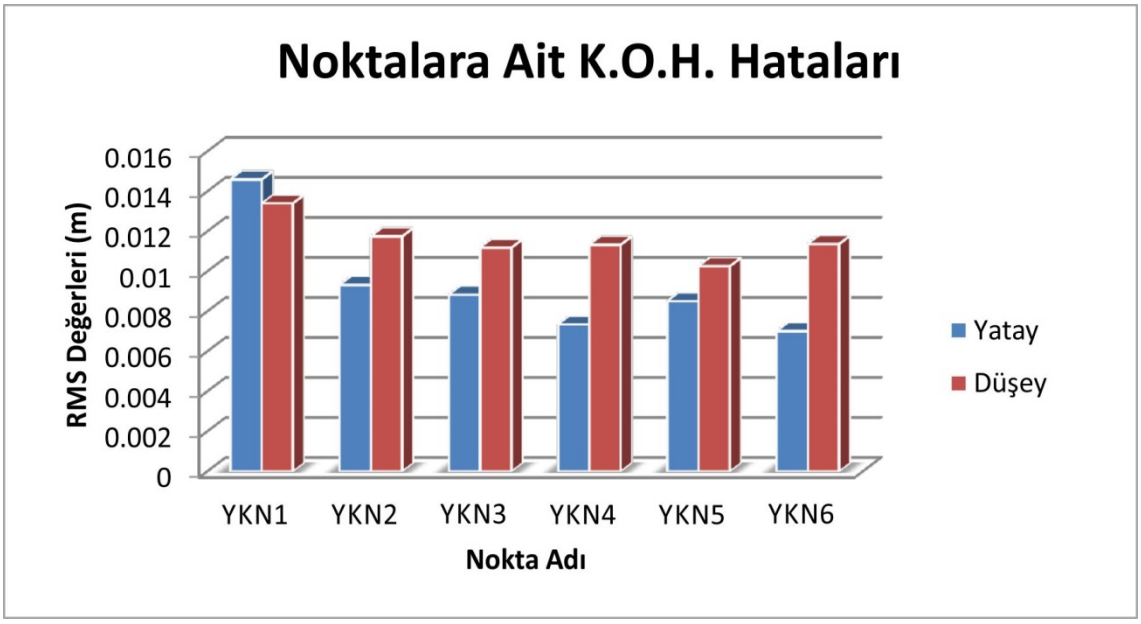
$$S = \frac{E(S_i)}{\sqrt{N-1}} \tag{4.20}$$

Standart sapma varyansın karekökü̈dür. Matematiksel bir ifade ile standart sapma veri değerlerinin aritmetik ortalamadan farklarının karelerinin toplamının veri sayısının1 eksiğine bölümünün karekökü̈dür, yani verilerin ortalamadan sapmalarının kareler ortalamasının karekökü olarak tanımlanmaktadır.

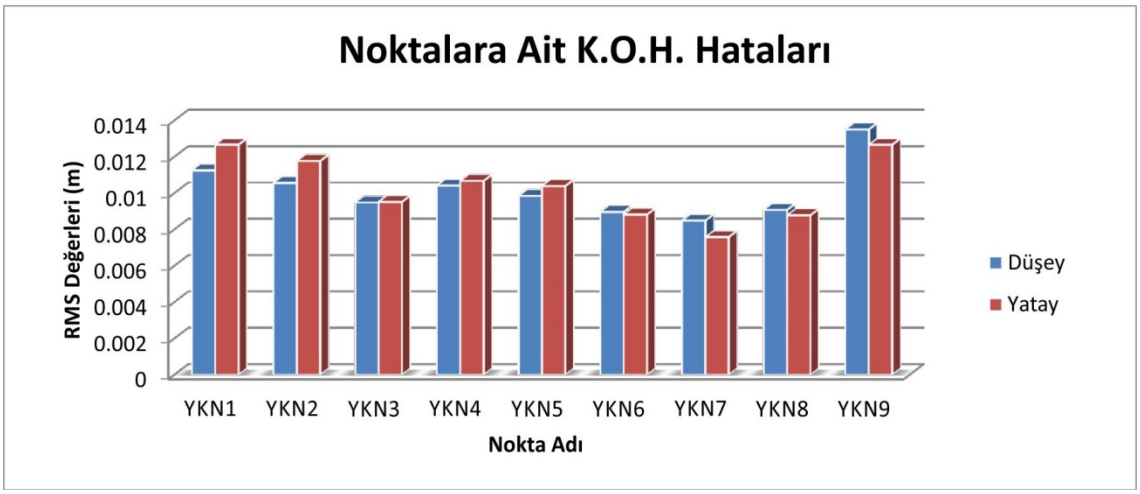
Her periyot için geo-referanslama için kullanılan noktalarda oluşan Root Mean Square (RMS)-Karesel ortalama hataları (K.O.H.) Şekil 4.15-Şekil 4.20'de gösterilmiştir.



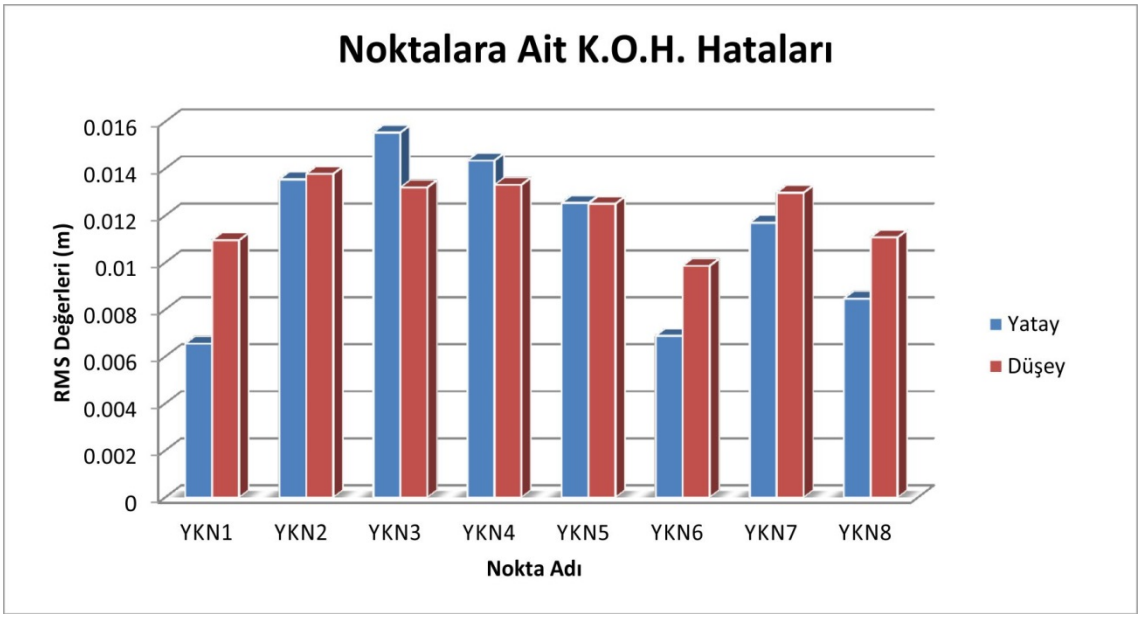
Şekil 4.15. 1. Periyoda ait "Yer Kontrol Noktalarına" ait Karesel Ortalama Hata değerleri



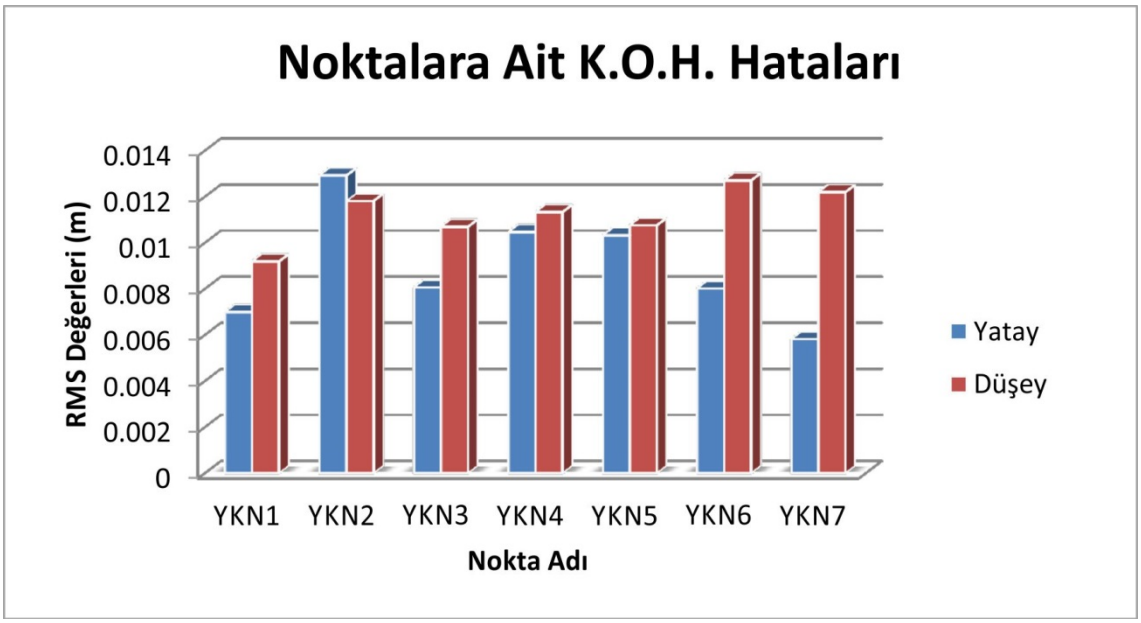
Şekil 4.16. 2. Periyoda ait "Yer Kontrol Noktalarına" ait Karesel Ortalama Hata değerleri



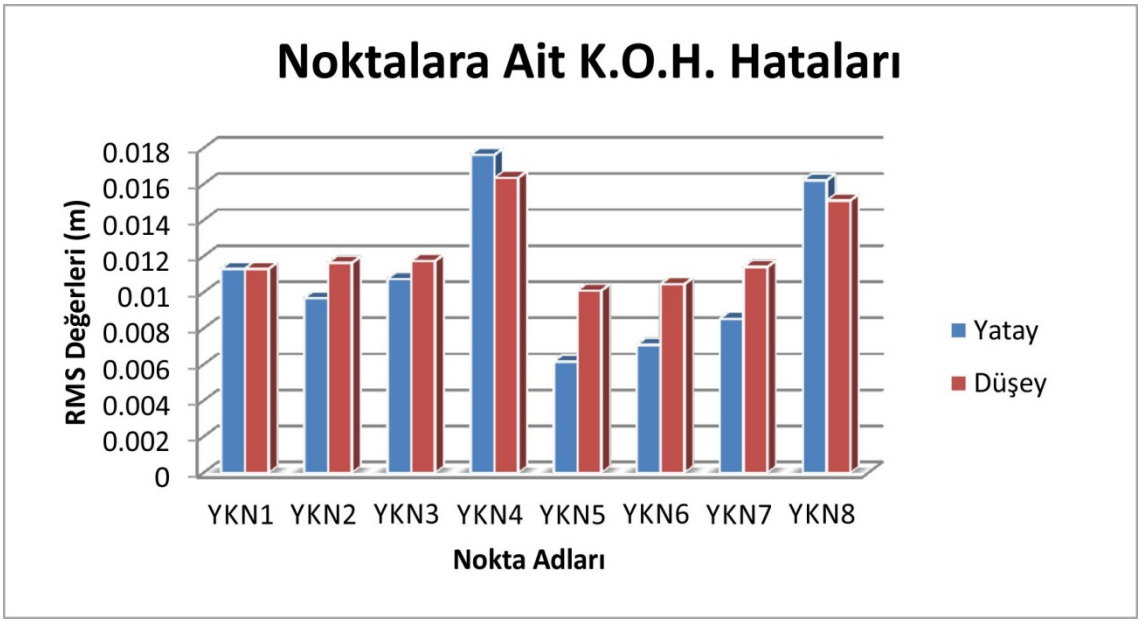
Şekil 4.17. 3. Periyoda ait "Yer Kontrol Noktalarına" ait Karesel Ortalama Hata değerleri



Şekil 4.18. 4. Periyoda ait "Yer Kontrol Noktalarına" ait Karesel Ortalama Hata değerleri



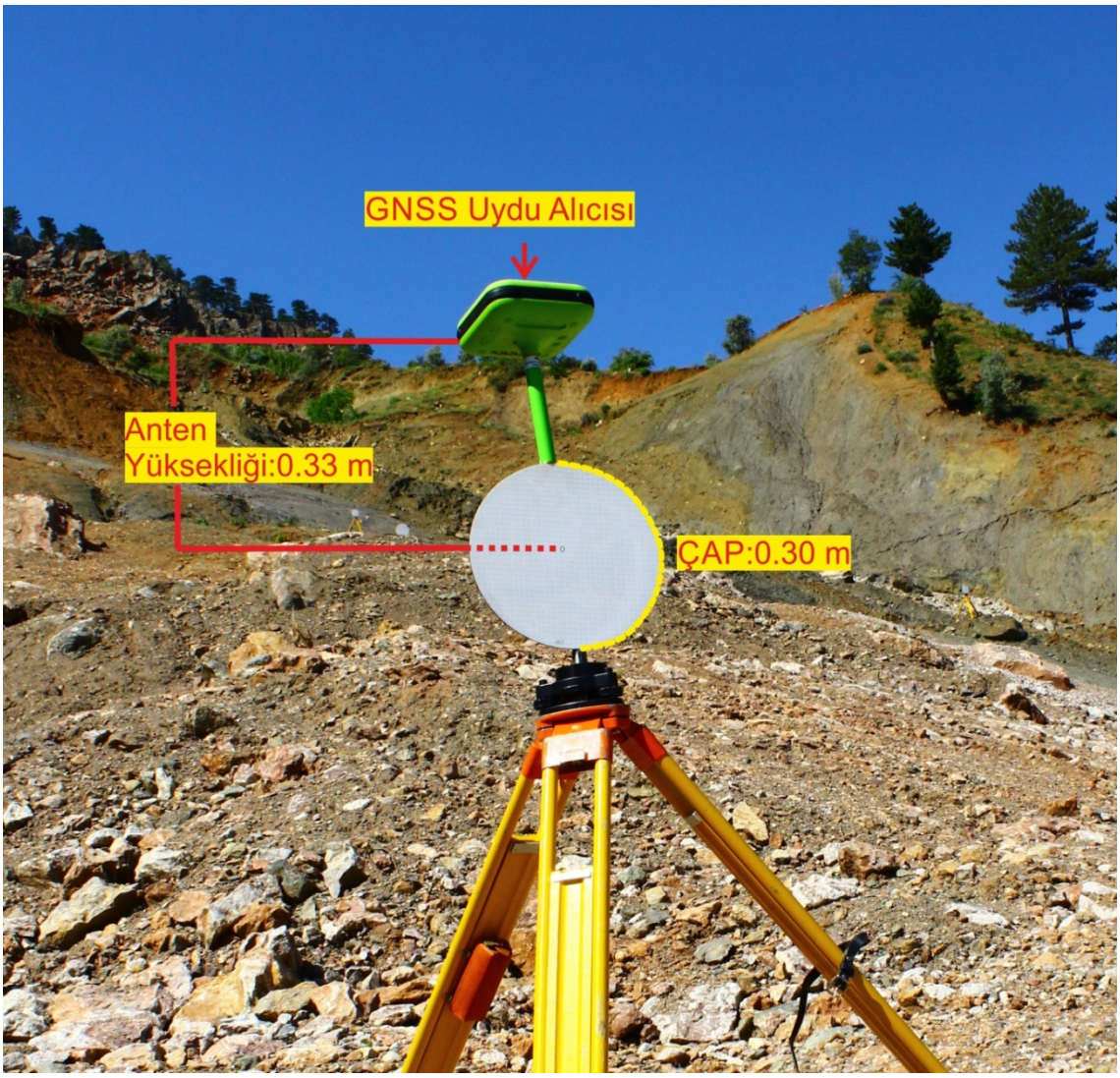
Şekil 4.19. 5. Periyoda ait "Yer Kontrol Noktalarına" ait Karesel Ortalama Hata değerleri



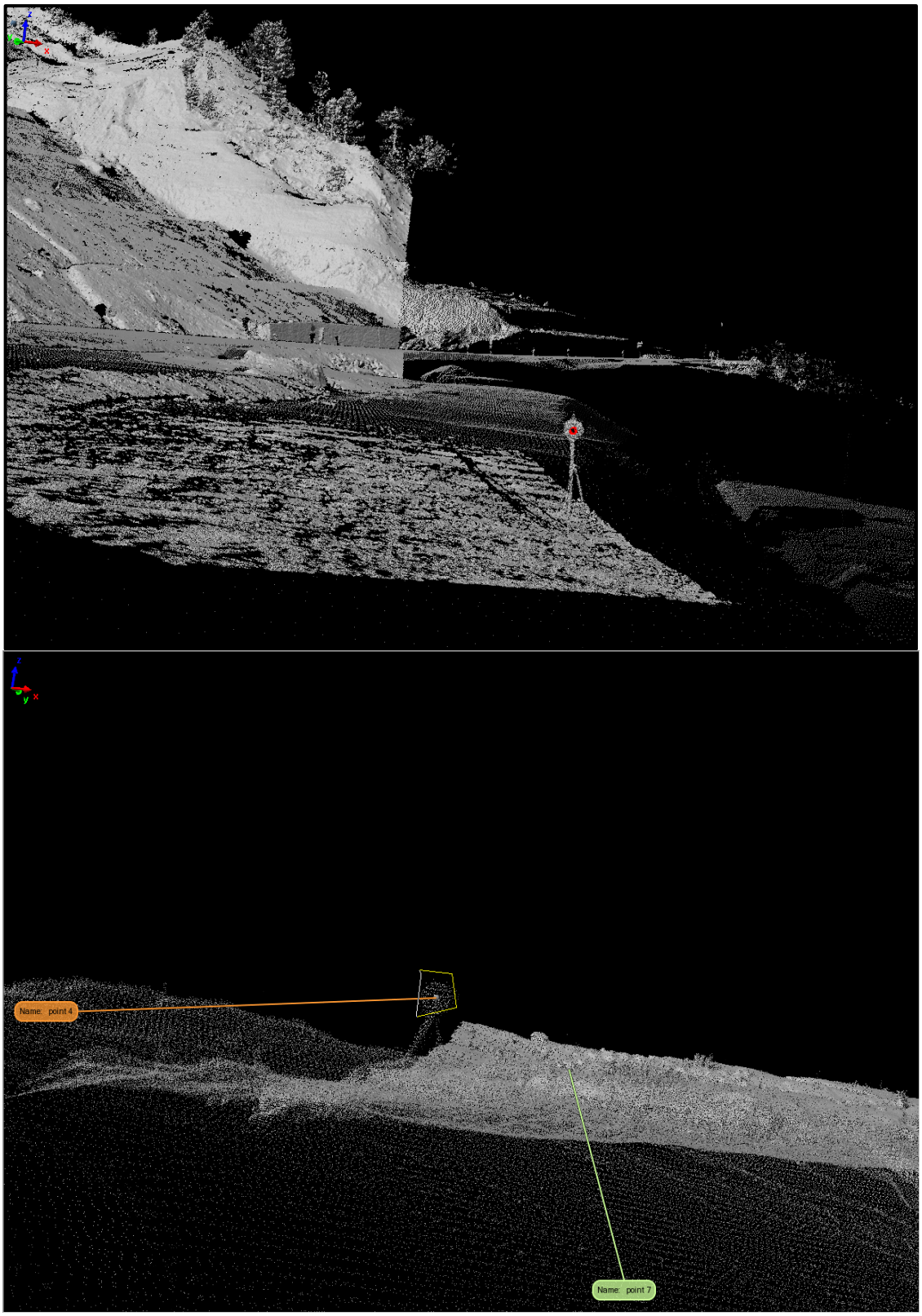
Şekil 4.20. 6. Periyoda ait "Yer Kontrol Noktalarına" ait Karesel Ortalama Hata değerleri

Periyotlarda farklı sayıda ve 3'ten fazla yer kontrol noktaları ile gerçek yer koordinatlarına dönüşüm yapılmıştır. Yer kontrol noktalarının tesislerinde 80% ve üzeri yansıtıcılık oranına sahip özel yapılmış prizmatik reflektif folyo materyal kullanılmıştır. Bu noktaların tesisi**,** sehpalar üzerine silindirik düzeçlerle (tribrach) kurulmuştur (Şekil 4.21). Daha sonra yer kontrol noktaları geo-referanslama yapılması için nokta bulutlarında manuel olarak belirlenmiş ve ITRF-96 koordinat sistemine

dönüştürülmüştür (Şekil 4.22). Bu dönüşüm, altı farklı periyot ölçülerine uygulanmıştır. Böylelikle tüm tarama verilerinin aynı koordinat sisteminde olması sağlanmıştır.



Şekil 4.21. Yer kontrol noktalarının tesisi



Şekil 4.22. Nokta bulutları içinde yer kontrol noktasının belirlenmesi ve özel noktaların oluşturulması

Yer kontrol noktalarının gerçek yer koordinatlarına getirilmesi aşamasında noktaların merkezleri arasındaki mesafe ve koordinat farklarından oluşan hatalar Tablo

4.5-Tablo 4.10'de gösterilmiştir. Nokta bulutlarının işlendiği yazılımda y ekseni kuzeyi, x ekseni doğuyu göstermektedir.

Tablo 4.5. 1. Periyoda ait yer kontrol noktalarının hata miktarları (Birim: m)

İstatistik Türü	Fark Değerleri					
Maksimum Hata	0.029					
En Küçük Hata	0.021					
Ortalama Hata	0.025					
Standart Sapma	0.005					
Yaklaşık Koord.(x)	Yaklaşık Koord.(y)	Yaklaşık Koord.(z)	GNSS ile Ölç. Koord.(x)	GNSS ile Ölç. Koord.(y)	GNSS ile Ölç. Koord.(z)	Merkezler arasındaki fark
455801.208	4087877.512	1440.375	455801.201	4087877.485	1440.379	0.029
455800.939	4087861.762	1442.079	455800.926	4087861.778	1442.078	0.021
455766.66	4087813.734	1447.778	455766.676	4087813.719	1447.779	0.021
455737.987	4087800.293	1450.382	455737.994	4087800.321	1450.380	0.028

Tablo 4.6. 2. Periyoda ait yer kontrol noktalarının hata miktarları (Birim: m)

İstatistik Türü	Fark Değerleri					
Maksimum Hata	0.044					
En Küçük Hata	0.011					
Ortalama Hata	0.032					
Standart Sapma	0.012					
Yaklaşık Koord.(x)	Yaklaşık Koord.(y)	Yaklaşık Koord.(z)	GNSS ile Ölç. Koord.(x)	GNSS ile Ölç. Koord.(y)	GNSS ile Ölç. Koord.(z)	Merkezler arasındaki fark
455737.537	4087780.281	1457.593	455737.566	4087780.262	1457.573	0.040
455734.080	4087755.387	1466.166	455734.077	4087755.381	1466.174	0.011
455696.966	4087764.206	1464.832	455696.943	4087764.244	1464.836	0.044
455725.602	4087715.890	1480.596	455725.609	4087715.907	1480.621	0.031
455691.66	4087716.369	1482.734	455691.638	4087716.366	1482.724	0.034
455697.715	4087666.445	1503.963	455697.738	4087666.421	1503.959	0.034

Tablo 4.7. 3. Periyoda ait yer kontrol noktalarının hata miktarları (Birim: m)

İstatistik Türü	Fark Değerleri					
Maksimum Hata	0.044					
En Küçük Hata	0.006					
Ortalama Hata	0.031					
Standart Sapma	0.012					
Yaklaşık Koord.(x)	Yaklaşık Koord.(y)	Yaklaşık Koord.(z)	GNSS ile Ölç. Koord.(x)	GNSS ile Ölç. Koord.(y)	GNSS ile Ölç. Koord.(z)	Merkezler arasındaki fark
455758.834	4087790.525	1453.747	455758.810	4087790.540	1453.763	0.032
455669.089	4087764.669	1464.394	455669.077	4087764.672	1464.380	0.019
455722.467	4087776.409	1457.598	455722.487	4087776.381	1457.585	0.037
455721.285	4087747.711	1469.911	455721.298	4087747.734	1469.928	0.031
455745.014	4087776.278	1459.060	455745.006	4087776.239	1459.047	0.043
455687.409	4087740.523	1473.513	455687.419	4087740.523	1473.557	0.044
455699.891	4087719.341	1481.212	455699.887	4087719.344	1481.215	0.006
455707.805	4087696.814	1490.306	455707.785	4087696.825	1490.291	0.027
455675.751	4087691.780	1495.474	455675.780	4087691.797	1495.454	0.039

Tablo 4.8. 4. Periyoda ait yer kontrol noktalarının hata miktarları (Birim: m)

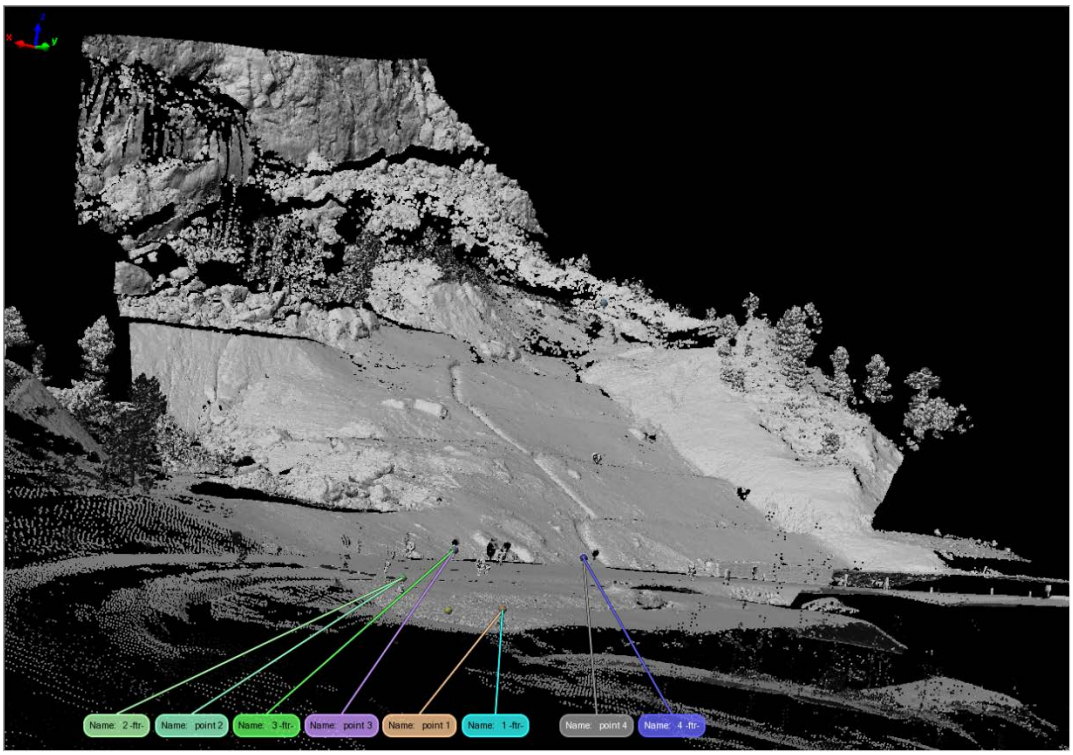
İstatistik Türü	Fark Değerleri					
Maksimum Hata	0.046					
En Küçük Hata	0.014					
Ortalama Hata	0.028					
Standart Sapma	0.009					
Yaklaşık Koord.(x)	Yaklaşık Koord.(y)	Yaklaşık Koord.(z)	GNSS ile Ölç. Koord.(x)	GNSS ile Ölç. Koord.(y)	GNSS ile Ölç. Koord.(z)	Merkezler arasındaki fark
455735.089	4087766.637	1462.926	455735.102	4087766.661	1462.910	0.031
455710.562	4087773.133	1458.996	455710.565	4087773.124	1458.968	0.029
455670.15	4087763.053	1465.059	455670.160	4087763.017	1465.087	0.046
455751.804	4087787.129	1455.094	455751.820	4087787.152	1455.103	0.029
455707.599	4087738.888	1473.322	455707.621	4087738.876	1473.342	0.031
455683.304	4087728.136	1477.511	455683.297	4087728.146	1477.504	0.014
455725.621	4087710.479	1482.095	455725.596	4087710.481	1482.092	0.026
455694.356	4087693.433	1493.228	455694.339	4087693.435	1493.228	0.018

Tablo 4.9. 5. Periyoda ait yer kontrol noktalarının hata miktarları (Birim: m)

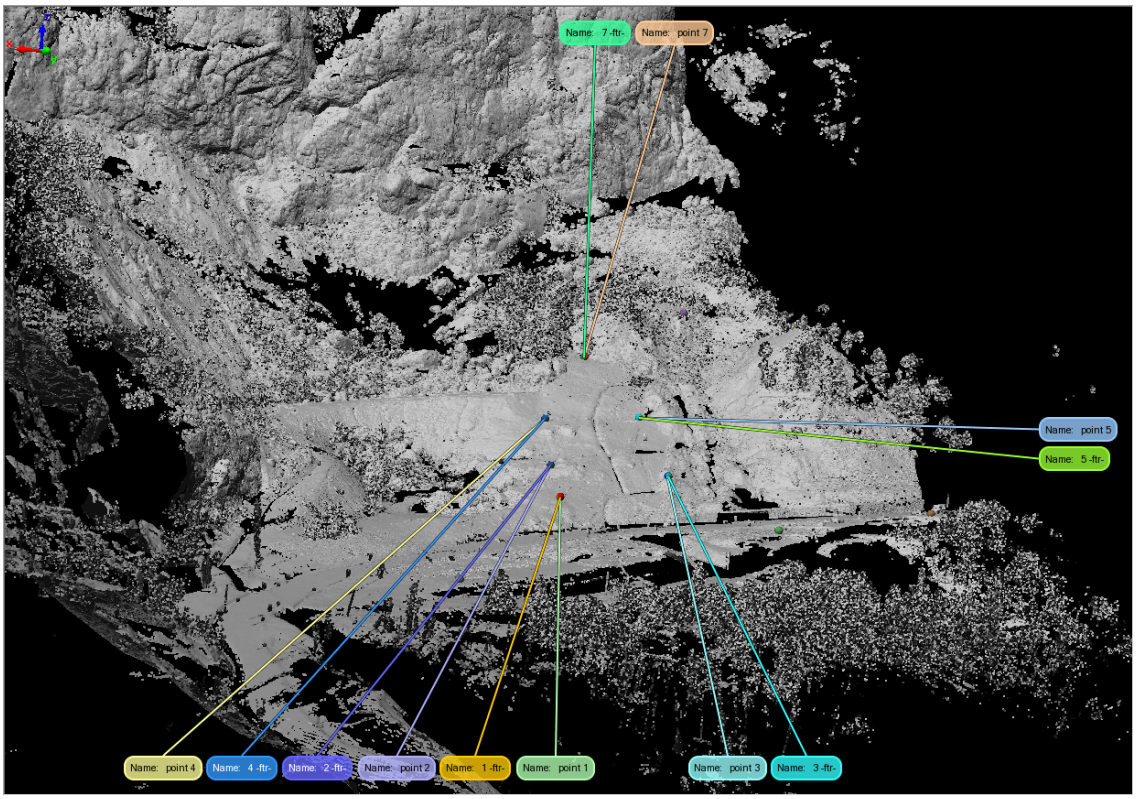
İstatistik Türü	Fark Değerleri					
Maksimum Hata	0.033					
En Küçük Hata	0.011					
Ortalama Hata	0.024					
Standart Sapma	0.007					
Yaklaşık Koord.(x)	Yaklaşık Koord.(y)	Yaklaşık Koord.(z)	GNSS ile Ölç. Koord.(x)	GNSS ile Ölç. Koord.(y)	GNSS ile Ölç. Koord.(z)	Merkezler arasındaki fark
455742.271	4087776.040	1459.737	455742.264	4087776.021	1459.723	0.025
455714.776	4087774.197	1458.698	455714.785	4087774.187	1458.711	0.018
455677.691	4087761.620	1464.885	455677.660	4087761.622	1464.875	0.033
455725.058	4087754.606	1467.907	455725.080	4087754.606	1467.920	0.025
455697.674	4087742.199	1472.099	455697.672	4087742.200	1472.120	0.021
455713.264	4087722.685	1479.714	455713.270	4087722.714	1479.704	0.031
455666.729	4087689.139	1497.599	455666.735	4087689.140	1497.589	0.011

Tablo 4.10. 6. Periyoda ait yer kontrol noktalarının hata miktarları (Birim: m)

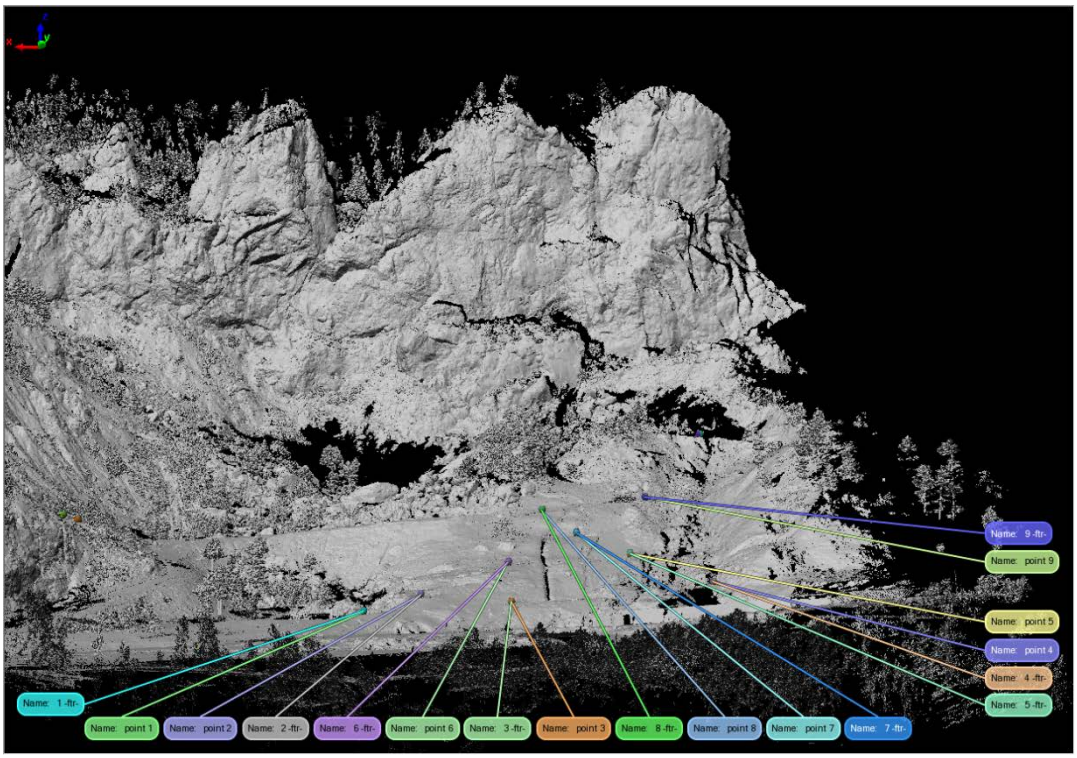
İstatistik Türü	Fark Değerleri					
Maksimum Hata	0.044					
En Küçük Hata	0.026					
Ortalama Hata	0.034					
Standart Sapma	0.006					
Yaklaşık Koord.(x)	Yaklaşık Koord.(y)	Yaklaşık Koord.(z)	GNSS ile Ölç. Koord.(x)	GNSS ile Ölç. Koord.(y)	GNSS ile Ölç. Koord.(z)	Merkezler arasındaki fark
455758.781	4087790.772	1454.066	455758.825	4087790.765	1454.067	0.044
455710.825	4087773.113	1459.333	455710.817	4087773.083	1459.336	0.032
455672.641	4087752.976	1468.973	455672.648	4087752.953	1468.983	0.026
455694.491	4087731.520	1476.097	455694.462	4087731.529	1476.105	0.032
455724.935	4087755.063	1467.730	455724.908	4087755.082	1467.740	0.035
455698.909	4087706.279	1487.740	455698.900	4087706.301	1487.710	0.038
455698.046	4087668.914	1503.599	455698.073	4087668.927	1503.600	0.029



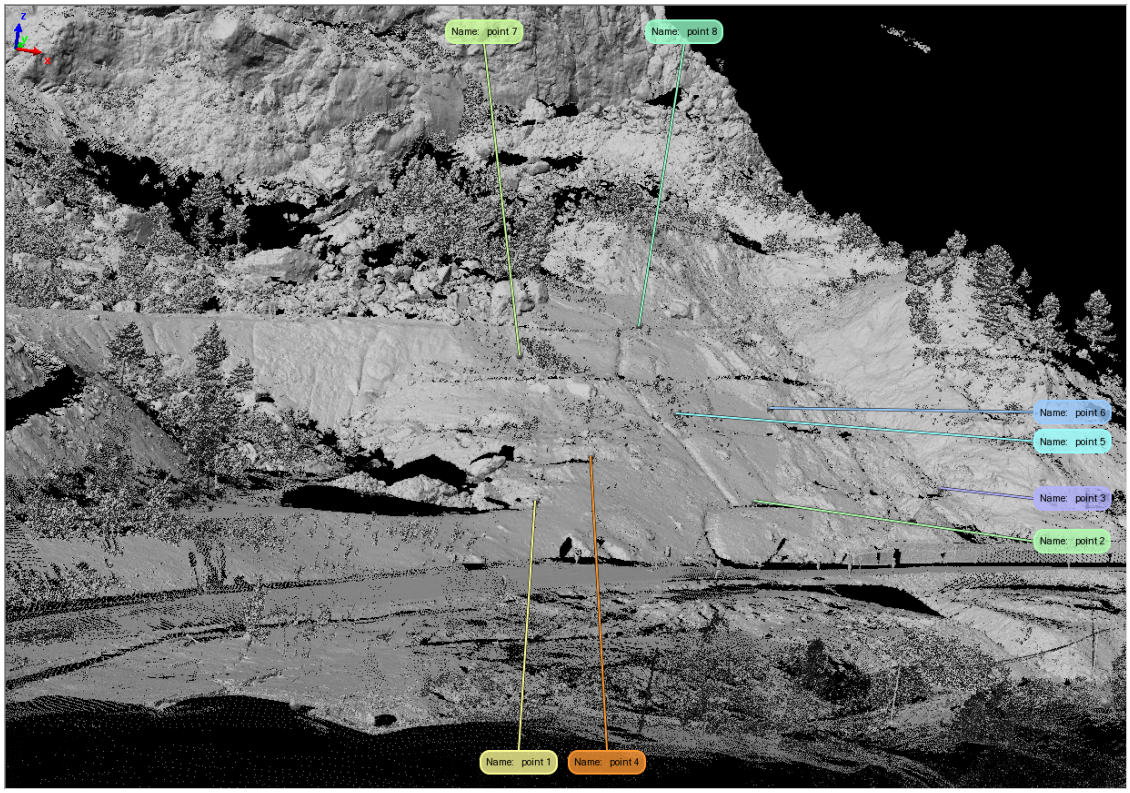
Şekil 4.23. 1. Periyot lazer tarama verileri kayıt edilmiş-gerçek jeodezik koordinatına getirilmiş görüntüsü



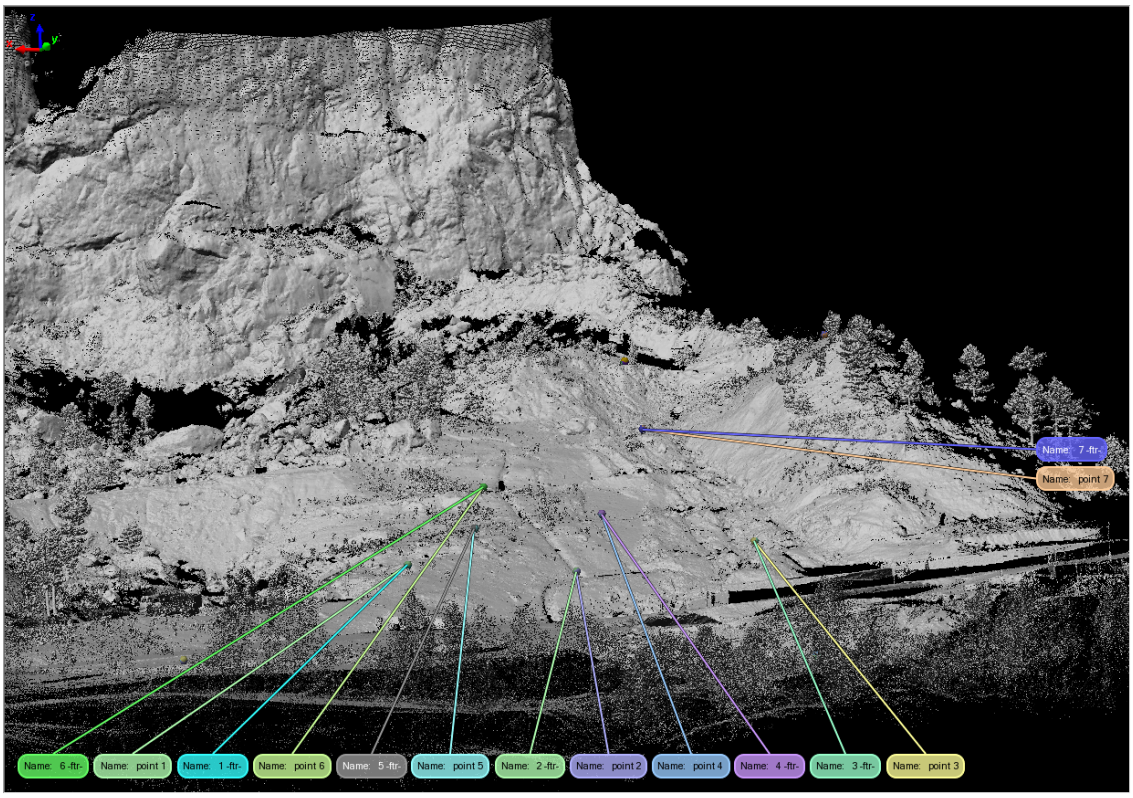
Şekil 4.24. 2. Periyot lazer tarama verileri kayıt edilmiş-gerçek jeodezik koordinatına getirilmiş görüntüsü



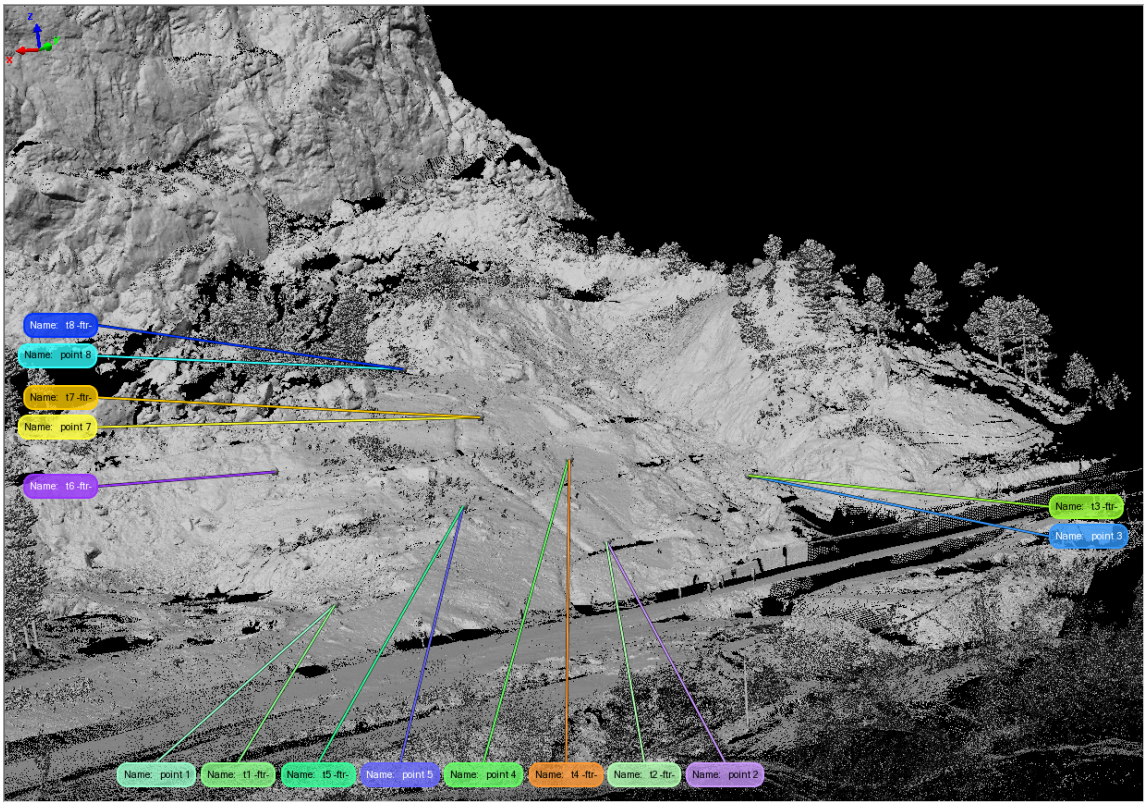
Şekil 4.25. 3. Periyot lazer tarama verileri kayıt edilmiş-gerçek jeodezik koordinatına getirilmiş görüntüsü



Şekil 4.26. 4. Periyot Lazer Tarama verileri kayıt edilmiş-gerçek Jeodezik Koordinatına getirilmiş görüntüsü

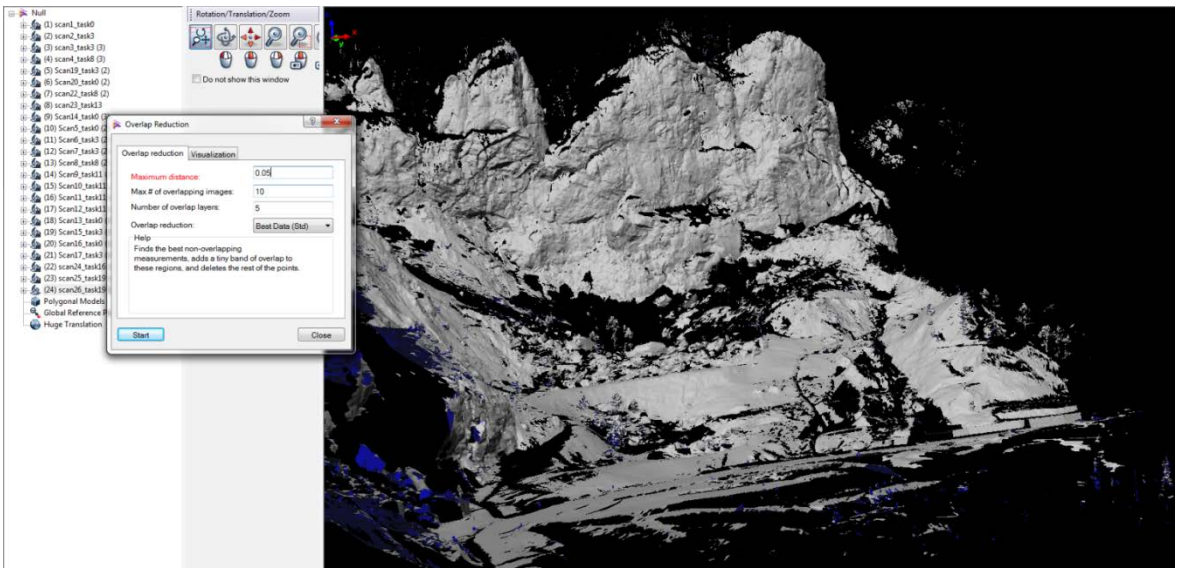


Şekil 4.27. 5. Periyot Lazer Tarama verileri kayıt edilmiş-gerçek Jeodezik Koordinatına getirilmiş görüntüsü



Şekil 4.28. 6. Periyot Lazer Tarama verileri kayıt edilmiş-gerçek Jeodezik Koordinatına getirilmiş görüntüsü

Tüm periyotlara ait veriler işlenip karşılaştırmaya hazır hale getirdikten sonra nokta bulutları verilerinin nokta bulutları yoğunluğunun azaltılması için veri örnekleme aralıkları yeniden belirlenmiştir (Şekil 4.29). Veri örnekleme aralığı 5 cm olarak belirlenmiştir. Bu aralık değerlerinin belirlenmesinde en önemli etken veri yönetiminin kolaylaştırılması ve beklenen heyelan değerlerini tespit edebilecek değerler olmasıdır.



Şekil 4.29. Bindirme oranlarının azaltılması ve yeniden örnekleme aralıklarının belirlenmesi

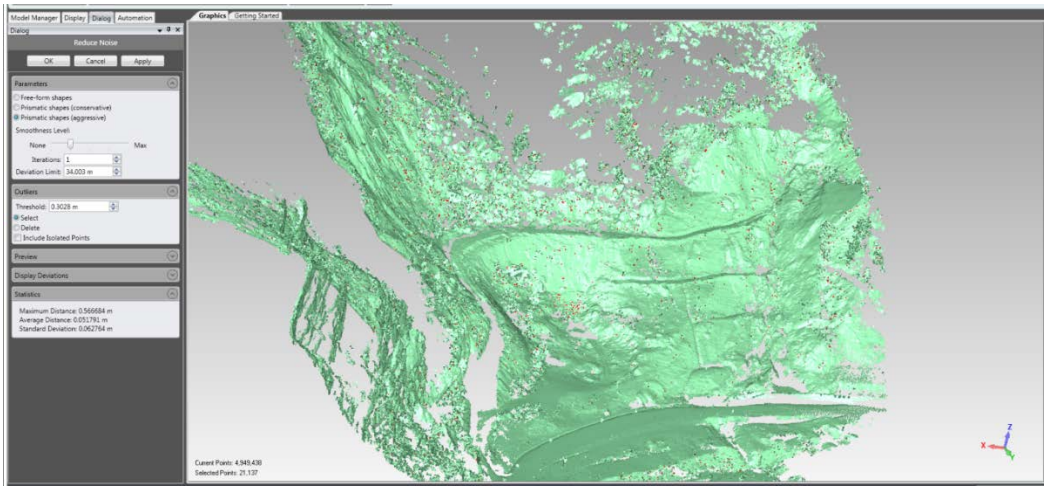
4.4.2. Veri İşleme ve YLT Doğruluğu

Topografya da farklı yansıtma özelliğine sahip objelerin bulunması ve farklı ölçme mesafelerinde farklı nokta sıklıklarının belirlenmesinden dolayı nokta bulutlarının sanal ortamdaki dağılımları homojen olmamaktadır. Bazı bölgelerde ise istenilen seviyede veri elde edilememektedir. Bunun sebebi de lazer ışınının kırılması, farklı açıyla yansıması ve emilmesidir. Ölçüm aşamasında iyi planlama yapılması halinde bile genellikle veri olmayan alanlar daima olabilmektedir. Bu nedenle sayısal arazi modeli (DTM; Digital Terrain Model)'ne gerek duyulmaktadır.

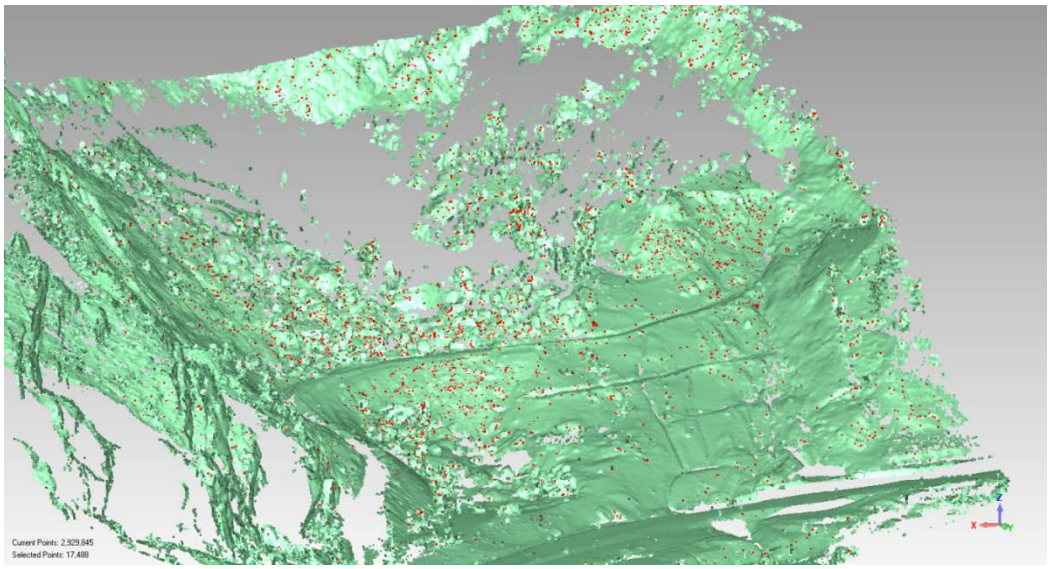
Bu bölgede daha önce yapılan arazi gözlemleri ve GNSS çalışmalarında yılda 2 m'den daha fazla yer değiştirmelerin meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu tespitler YLT verilerinin bölgede oluşan /oluşabilecek yer değiştirmelerin analiz edilmesinde kullanılabileceğini göstermektedir.

Sayfa 46'da Tablo 4.4'de görüldüğü üzere 100 m'lik bir mesafe de doğruluk 7 mm ye yaklaşmaktadır. YLT veri setlerindeki doğruluk ve sayısal arazi modelindeki doğruluk iki sebepten değişmektedir. Bunlar, YLT nokta bulutlarının birleştirilmesinden kaynaklanan hatalar ve verinin kalitesini düşüren enterpolasyondan kaynaklanan

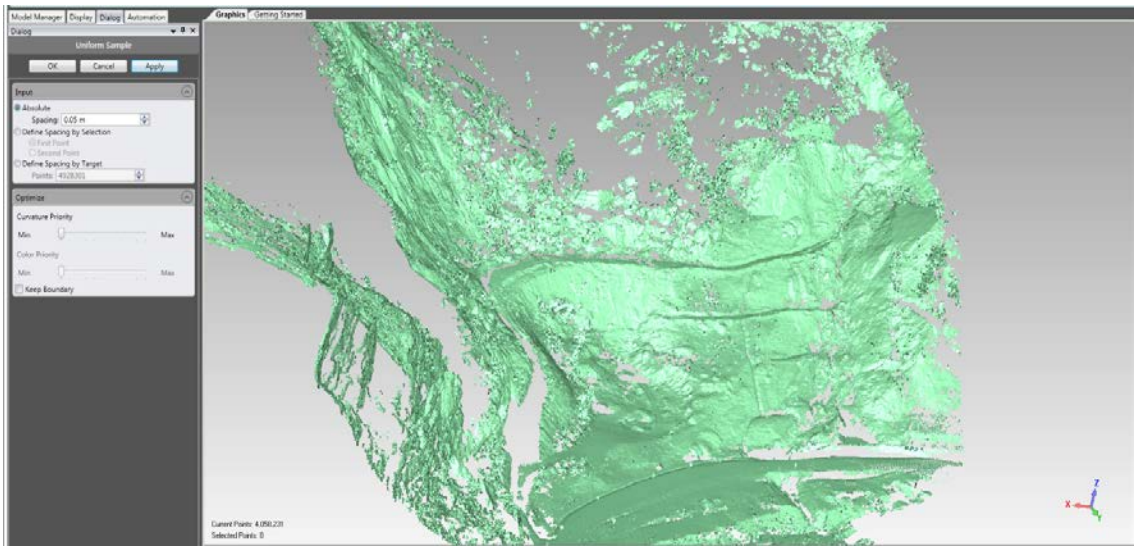
hatalardır. Örneğin kullanılan enterpolasyon yöntemleri her zaman istenilen doğruluğa erişemeyebilir. Diğeri ise topografya üzerindeki sabit olmayan objelerdir. Örneğin arazi yüzeyindeki bitkilerin hareket etmesi topoğrafyayı farklı yansıtabilir. Bu çalışmada sözü edilen hatalar (noise) Geomagic yazılımı vasıtasıyla filtrelenmiştir (Geomagic, 2012) (Şekil 4.30). Filtreleme parametreleri; serbest (pürüzlü) yüzey, yumuşatma seviyesi düşük, sapma miktarı 34 m, uyuşumsuz noktalar için kalınlık miktarı 30 cm olarak seçilmiştir. Şekil 4.31 üzerinde kırmızı noktalar hatalı noktaları göstermektedir. Filtrelenmiş verilerin oluşturduğu model Şekil 4.32'de gösterilmiştir.



Şekil 4.30. Filtreleme Parametreleri (Geomagic)

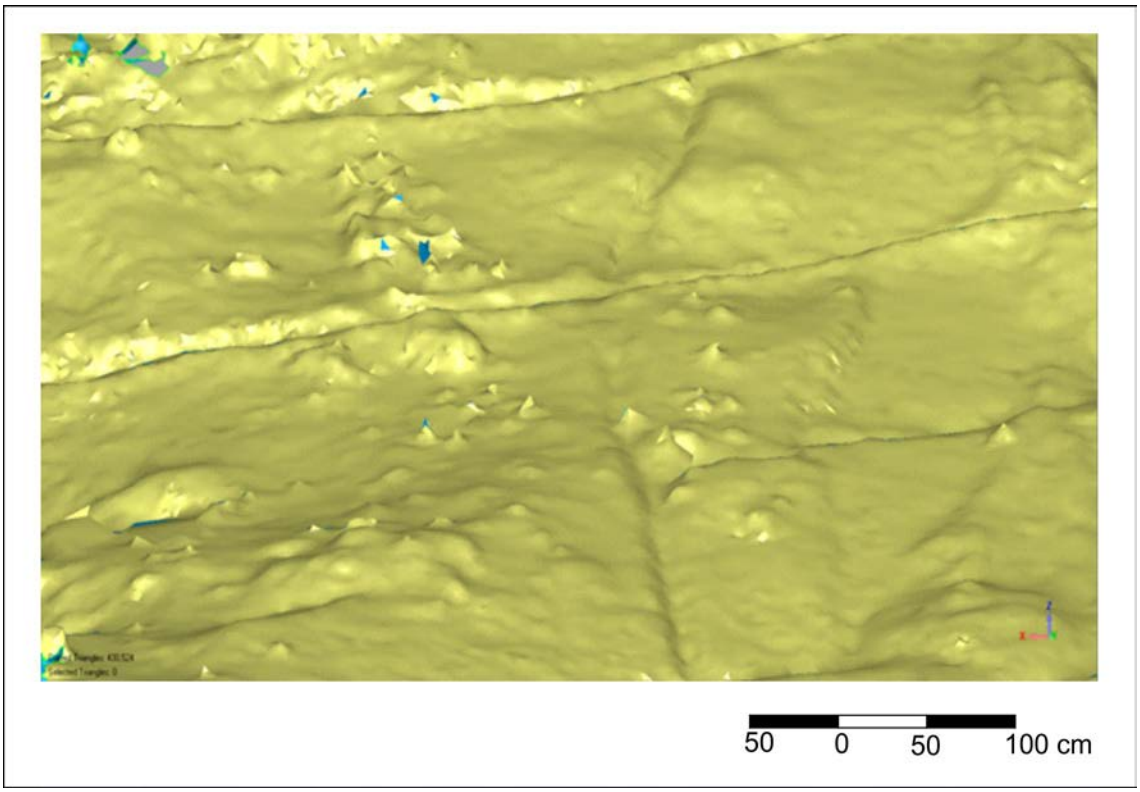


Şekil 4.31. Gürültülü (noise) ve bozuk noktaların temizlenmesi

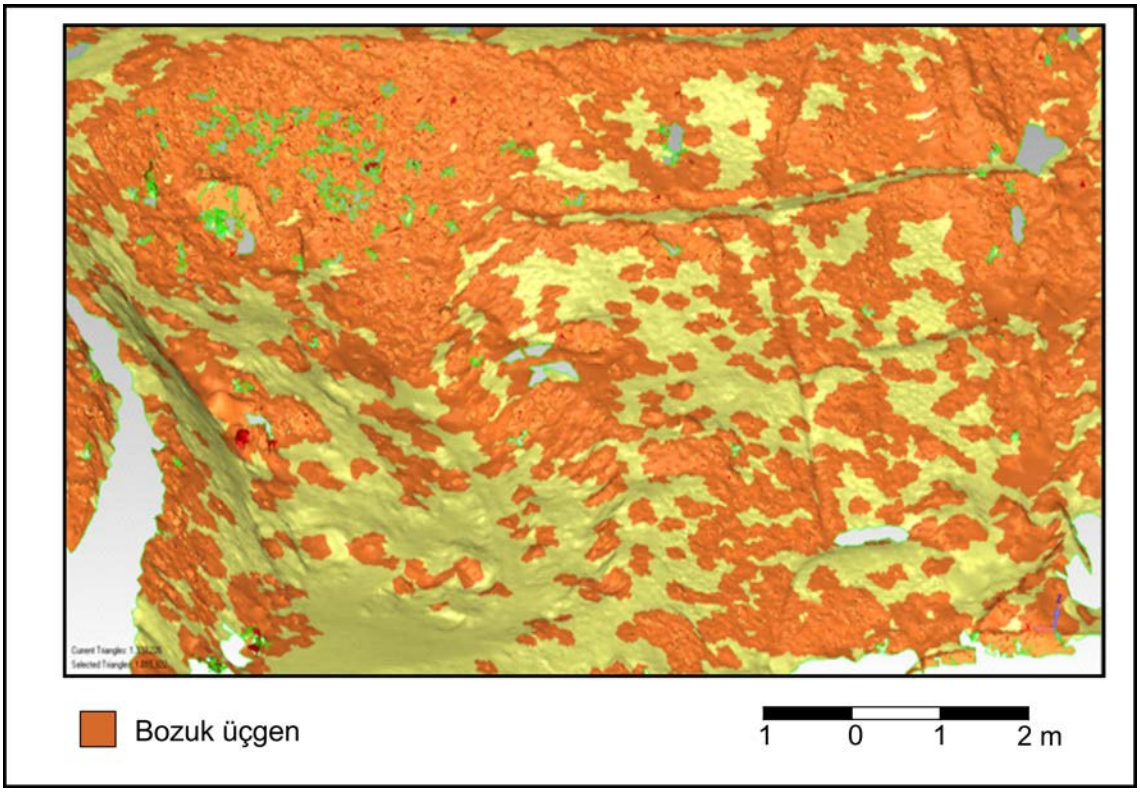


Şekil 4.32. Noktalar arasındaki örneklem miktarlarının düzenlenmesi

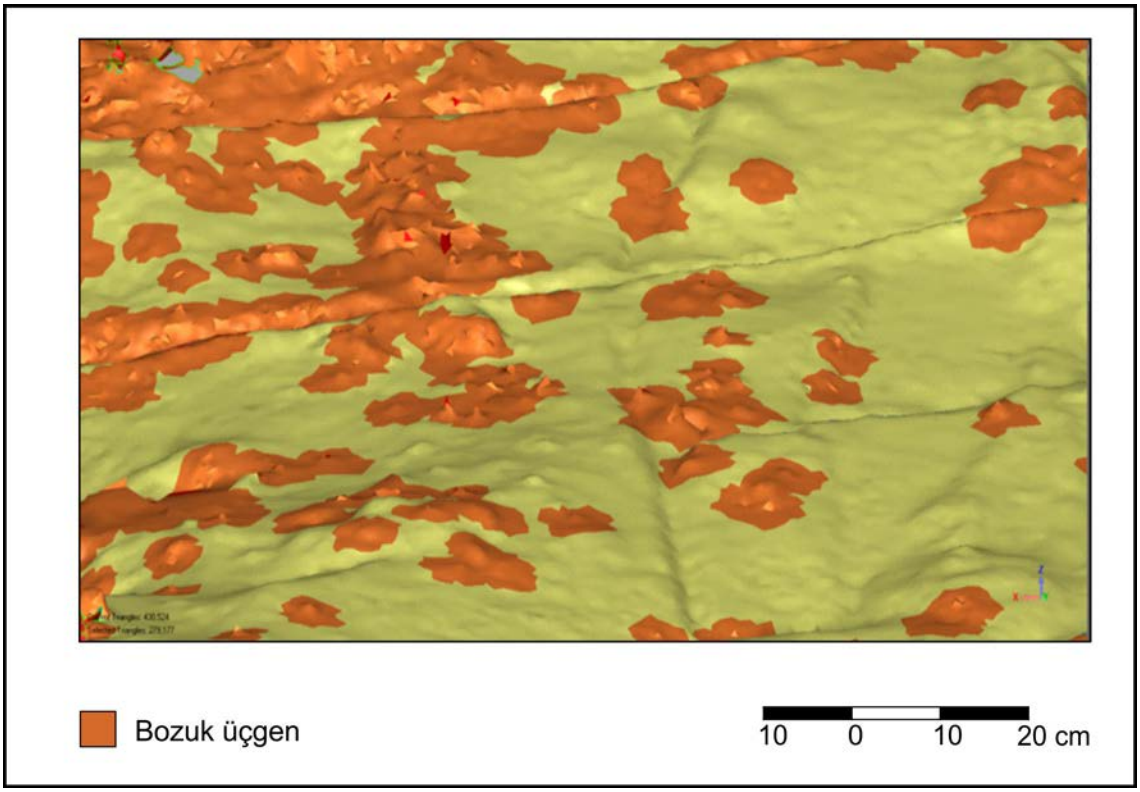
Filtreleme ve gürültü (noise) giderilmesinden sonra üçgen modeller elde edilebilir. Bununla birlikte elde edilen üçgen modeller üzerinde düzenleme ve bozuk üçgen geometrilerinin giderilmesi için model iyileştirmesi yapılır (Şekil 4.33-Şekil 4.36). Şekil 4.33’ te üçgenlemeden elde edilen model görülmektedir. Bu modelde bozuk üçgenler çıkıntılı sivri bölgelerdir. Şekil 4.34’ te modelin bozuk üçgenlerinin yerleri seçilmektedir. Seçilen bölge ayrıntılı olarak görünmesi için büyütülmüştür (Şekil 4.35). daha sonra bu üçgenler düzeltilerek son model elde edilir (Şekil 4.36).



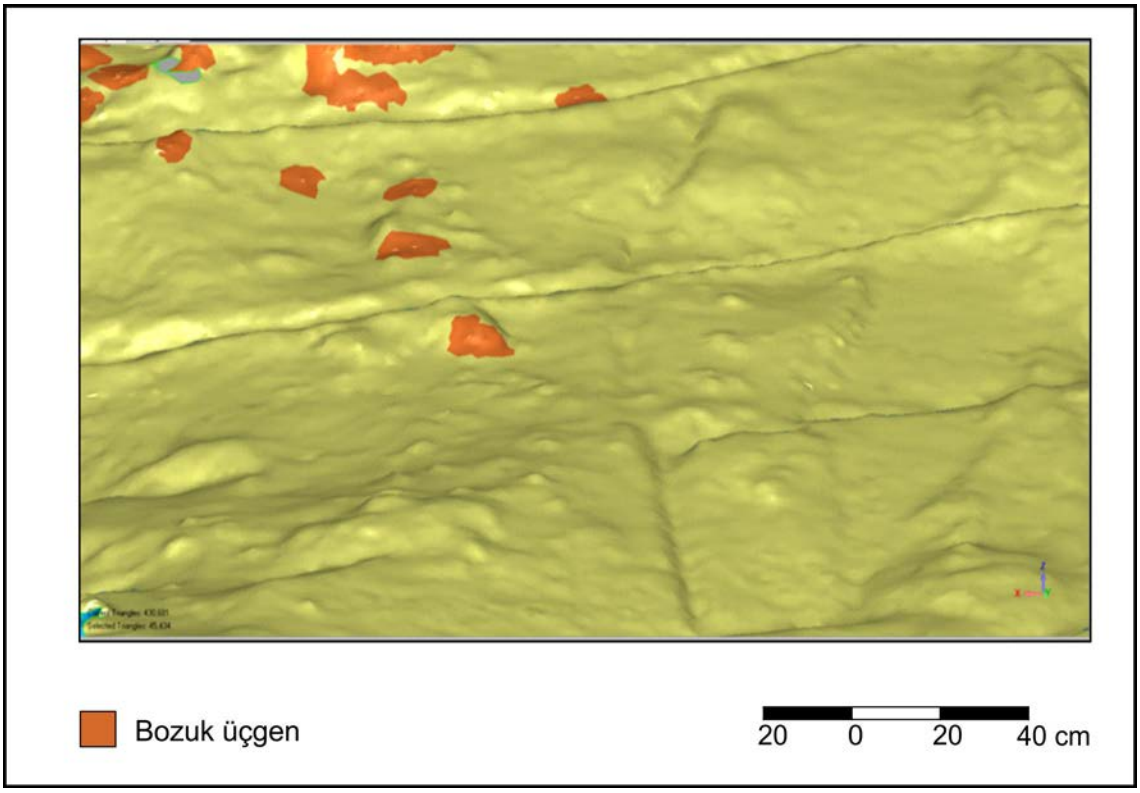
Şekil 4.33. Üçgen modeller üzerindeki bozuk kısımlar



Şekil 4.34. Geometrisi bozuk veya düzensiz olan üçgenlerin belirlenmesi



Şekil 4.35. Düzenlenecek bir alana ait üçgen modelin yakın görünümü



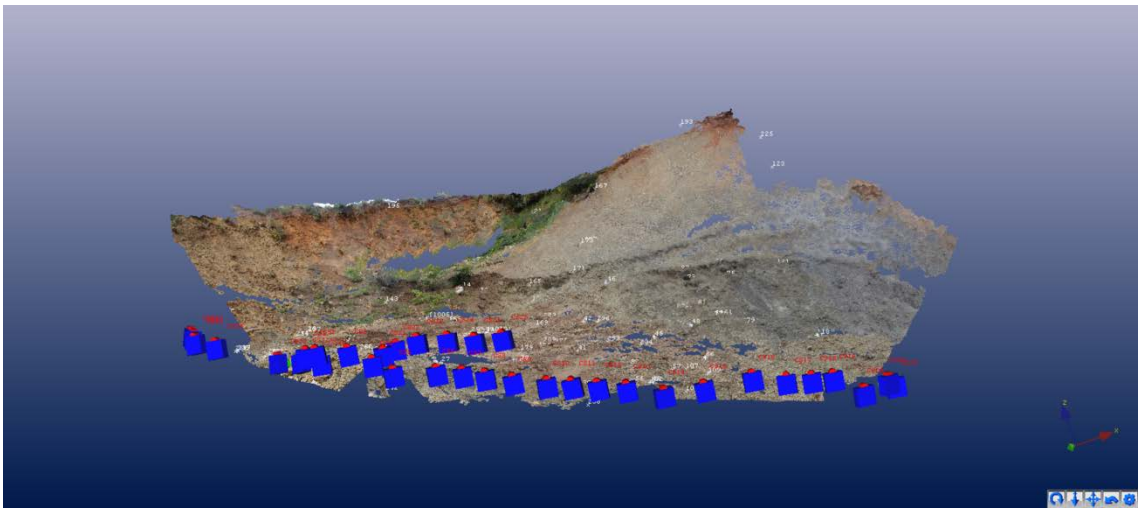
Şekil 4.36. Üçgenlerin düzenleme sonrası görünümü

Bu işlemlerden sonra 3B'lu karşılaştırmalar, 2B'lu kesit karşılaştırmaları ve hacimsel karşılaştırmalar için model, analize hazır hale getirilmiştir.

4.5. Fotogrametrik Çalışmalar

Bölgede meydana gelen hareketlerin çok fazla miktarda olması yersel fotogrametrik yöntemlerinde kullanılması için bizlere fikir vermiştir. Aktif heyelan alanında belirlenen 3 farklı bölgede yersel fotogrametri teknikleri de araştırmaya dahil edilmiştir. Arazi işlemleri ve büro işlemleri tamamlanarak 3 farklı periyotta yersel fotogrametri yöntemleriyle değerlendirmeler tamamlanmıştır.

Fotogrametrik yazılımlar sayesinde kamera ile obje arasındaki yakın mesafeler için (0-50 m) obje ve yer yüzeyi modelleme çalışmaları günümüzde artmıştır. Sayısal arazi modellerinin bu yöntemle elde edilerek karşılaştırması, araştırmaların boyutunun genişlemesine ve analizlerin daha anlaşılır olmasına katkılar sağlar niteliktedir. Bu proje de fotogrametrik yöntemlerde araştırılmıştır (Şekil 4.37).



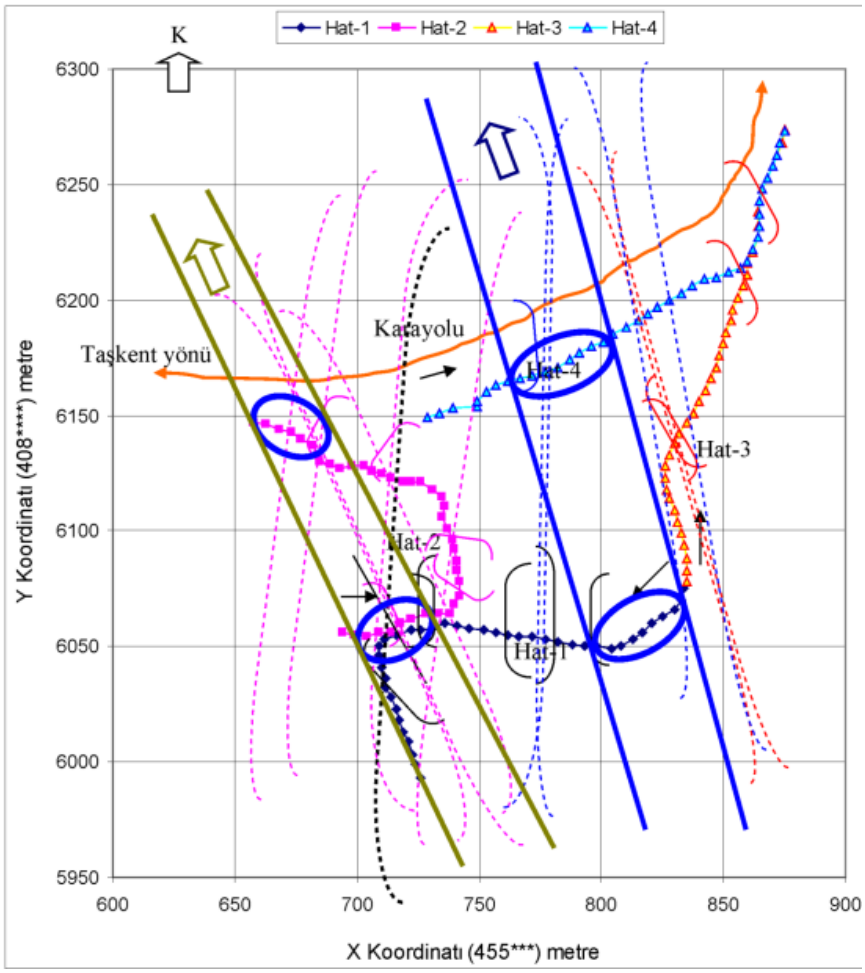
Şekil 4.37: Heyelan alanında batı yamaçlardaki nokta verileri ve kamera noktaları

Yapılan yersel fotogrametrik araştırmalar göstermiştir ki fotogrametrik araştırmalar küçük alanlarda (90x60 m) ve heyelan miktarının 10 cm ve üzeri değişime sahip olduğunda etkili sonuçlar vermiştir. Alanların büyük olması veri alımını zorlaştırmıştır. Fotoğrafların daha kaliteli ve geniş görüş açısına sahip olması için havadan fotoğraflanmasına gerek duyulmuştur. Fakat resim temelli nokta bulutu oluşturma algoritmaları gün geçtikçe artmakta ve ilgiyi üzerine çekmektedir. Her ne kadar mesafe kısıtlaması olsa da küçük alanlar için yapılan çalışmalarda maddi açıdan büyük külfetler oluşturan lazer tarayıcı sistemlerine bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır. Bununla birlikte yapılan çalışmalar sonucunda doğruluk bakımında verdiği sonuçların lazer tarayıcı sonuçlarına yaklaşık çıkması bu tekniğin heyelan çalışmalarında kullanılabilirliğini ortaya koymuştur.

İleride yapılması planlanan projelerimizde UAV (insansız hava araçları) ile haritalama sistemleri ve resim bazlı nokta bulutu üreten algoritmalar ve heyelan üzerine uygulamaları üzerine olacaktır. UAV sistemleri günümüz teknolojisinde haritalama amacıyla kullanımı oldukça artmıştır. Gelecekte yapılacak çalışmaların bu teknolojiler sayesinde daha kolay, hassas ve maliyeti düşük olup geniş alanlarda kullanıma açılması aşikârdır.

4.6. Yerdirenci Ölçmeleri

21 Haziran 2012, 11Ekim 2012 ve 28 Nisan 2013 tarihlerinde 3 periyot Ares-G4 Elektiriksel yerdirenci ile ölçmeler yapılmıştır. Bu ölçmelerde amaç yeraltı su seviyesini belirlemeye çalışmaktır.



Şekil 4.38. İlk periyot ölçüm hatları (toplu olarak) üzerinde bulunan elektrot koordinatları (GPS noktaları). Oklar hatların başlangıç noktasını ve ölçümün uzanım yönünü göstermektedir. Noktalı çizgiler hatlarda görülen faylanmaları ve genel tahmini eğim yönlerini göstermektedir.

Konya-Taşkent ile Balcılar yerleşim yerlerini birleştiren karayolu üzerinde oluşan heyelan bölgesinde yapılan elektriksel yerdirenci ölçümleri, heyelan zonunun altında bulunan fayları ve ezik zonları ortaya çıkarma konusunda yardımcı olmuştur. Ölçümler 4-5'er aylık periyotlar halinde 3 kez tekrarlanarak mevsimsel (zamana bağlı) değişiklikler gözlenmiştir. Zamana bağlı bir deformasyon değişiminin olması durumunda, bunun heyelan bölgesindeki nemlenmiş (suya doygun hale gelmiş) alanların ve fay pozisyonlarının durumuna göre yorumu yapılmıştır.

Heyelan zonunda bulunan kaya birimlerinin içinde bulunan kırıklar, bu bölgede kaya biriminin bloklanmasına neden olmuştur. Farklı yönlerdeki kırıklar (faylar) heyelan zonunda serbest blokların oluşmasında etkili olmuştur.



Şekil 4.39. Ölçüm yerinin yakından görünümü, kayaç yuvarlanma pozisyonları. Kırmızı ok boyunca genel eğim hesaplanması için Google-Earth programından elde edilen yükseklik farkı (85 metre) ve kuş uçuşu uzaklık (239 metre) bilgileri. Bu rakamlara göre bulunan genel eğim 19,578 derecedir.

Uzaydan çekilen "Google Earth" görüntülerinden de anlaşıldığı kadarıyla heyelan alanı uzun zamandır heyelan veya taş yuvarlanmaları vuku bulan bir zondur.

Bölgenin aşağısındaki Sazak Deresine doğru yüzeydeki taş ve toprak akıntısının çok uzun zamandan beridir süregeldiği anlaşılmaktadır. Bu uzay görüntüsü bölgedeki heyelanın karayolu yapılmadan öncede mevcut olduğu kuşkusunu oluşturmaktadır (Şekil 4.39). Bu heyelan zonundan geçen karayolunun, aşağı sürüklenen kaya kütlesiyle birlikte dereye doğru deformasyon göstermesi beklenilen bir sonuçtur. Burada belli olmayan bu sürüklemenin yamaç boyunca günlük veya aylık deformasyon hızıdır ki, bu topoğrafik hassas ölçümlerle belirli bir süredir çalışmamızda takip edilmektedir.

Yüzeydeki bu hareketin yüzey altında ne kadar derinden itibaren gerçekleşmekte olduğu, heyelan bölgesinin altındaki kayaçların karakteristik olarak, bozuşmuş ve sağlam bölümlerinin bilinmesi, heyelan bölgesindeki nemli yerlerin ortaya konması heyelan incelemelerinde önemlidir.

Ölçümü yapılan hatların serildiği seviyeden başlayarak yeraltını göstermektedirler. Sığ derinliklerin daha iyi analizi için Wenner-Alfa ve derin seviyeleri göstermek için Pole-Pole yöntemleri kullanılmıştır.

Farklı ölçüm hatlarında yapılan bu iki farklı görüntülemenin ulaştıkları derinlik seviyeleri şöyle olmuştur;

Hat-1: **Wenner- Alfa** ölçümlerinin ulaştığı derinlik : 33 metre
Pole-pole ölçümlerinin ulaştığı derinlik : 114 metre
Hat-2: **Wenner- Alfa** ölçümlerinin ulaştığı derinlik : 33 metre
Pole-pole ölçümlerinin ulaştığı derinlik : 102 metre
Hat-3: **Wenner- Alfa** ölçümlerinin ulaştığı derinlik : 33 metre
Pole-pole ölçümlerinin ulaştığı derinlik : 176 metre
Hat-4: **Wenner- Alfa** ölçümlerinin ulaştığı derinlik : 33 metre
Pole-pole ölçümlerinin ulaştığı derinlik : 56 metre

İncelenen heyelan bölgesinde fayların pozisyonları ve yönlerinin önemli olduğu düşünülerek ilk raporun içinde yer alan Şekil 4.38'de bunlar gösterilmiştir. "parantez sembolü" şeklinde gösterilen faylar (kırıklar) ölçekli çizim üzerine yerleştirilen parantezlerin uzanımları boyunca doğrultuya sahiptirler. Bu fayların eğim yönleri de ilgili parantezlerin uçlarının gösterdiği yöndür.

Şekil 4.38 incelendiği zaman; heyelan bölgesinden büyüklü-küçüklü çok sayıda fay olduğu belirlenmiştir. Bu fayların doğrultuları incelendiğinde, heyelan zonunun iki tarafında da birbirlerine zıt eğim yönleriyle yerleştikleri görülmüştür. Daha sonraki ölçüm periyodunda yapılan yerdirenci ölçümleri ilk ölçümde belirlenen bu faylanmaların daha belirgin olarak ortaya çıkmasını sağlamıştır. Detaylı şekil ve incelemeler ekler kısmındadır.

Heyelan bölgesinde, su seviyeleri;

Hat-1 de, hattın

a) 35.-40. metresi civarında yüzeyden 13-16 metre derinlikte

b) 95.-100. metresinde yüzeyden 4-5 metre derinlikte

c) 140.-150. metresinde yüzeyden 13-15 metre derinlikte nemlenmiş (belki de üst seviyelerden heyelan ucuna doğru su sızmasını sağlayan) zonlar mevcuttur.

Hat-2 de, hattın

a) 45.-50. metresi civarında yüzeyden 15 metre derinlikte

b) 175. metresinde yüzeyden 10-12 metre derinlikte nemlenmiş (belki de üst seviyelerden heyelan ucuna doğru su sızmasını sağlayan) zonlar mevcuttur.

Hat-3 de, hattın

a) 20. ve 40. metreleri civarında yüzeyden 5 metre derinlikte

b) 80.-85. metresinde yüzeyden başlayarak 22 metre derinliğe kadar

c) 112., 145., 155. ve 165. metrelerinde yüzeyden 5 metre derinlikte nemlenmiş (belki de üst seviyelerden heyelan ucuna doğru su sızmasını sağlayan) zonlar mevcuttur.

Hat-4 de, hattın

a) 55. ve 60.. metreleri civarında yüzeyden 15 metre derinlikte

b) 170. metresinde yüzeyden başlayarak 16 metre derinliğe kadar nemlenmiş (belki de üst seviyelerden heyelan ucuna doğru su sızmasını sağlayan) zonlar mevcuttur.

Yukarıda gösterilen Şekil 4.38'de heyelan bölgesindeki zayıflık zonları birleştirilerek heyelanın özellikle etkili olduğu bozuşmuş zonlar belirlenmeye çalışılmıştır. Bu analiz Şekil 4.38 üzerinde gösterilen iki farklı akışı göstermiştir. Bu akış doğrultularının yüzeyden ölçülen topoğrafik yüzey hareketleriyle (GNSS ve Yersel Lazer Tarama) uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

5. SONUÇLAR

5.1. GNSS Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Heyelanların izlenmesi için kurulan ağda farklı periyotlarda 4 adet referans ve diğer gezici olarak kullanılan ölçüm noktalarının analizleri yapılmıştır. Analiz için Topcon-Pinnacle, Leica Geo Office ve Matlab programları kullanılmıştır.

Kurulan GNSS ağı sayesinde verilerin analizi yukarıda bahsedilen programlar sayesinde 6 farklı periyoda uygulanarak yapılmıştır. Kurumumuzda bulunan 4 adet Javad GNSS ve 2 Adet Topcon uydu alıcıları ile ve diğer harita şirketlerinden alınan Javad ve Topcon cihazları ile 5 sn'lik gözlem aralığında toplamda 30 dakikalık ölçü süresince hızlı statik yöntemi ile ölçüler yapılmıştır.

Geleneksel ölçüm yöntemleriyle uydu bazlı yöntemler karşılaştırıldığında GNSS konum belirleme sistemleri pek çok zorluğu ortadan kaldırmıştır. Heyelan ölçmelerinde GNSS sistemlerinin kullanımı bu proje için çok katkı sağlamıştır. Meydana gelen heyelanların belirli noktalarda ölçülmesiyle heyelanın oluşumu hakkında bilgi edinilmesini sağlamıştır.

Bu yöntemler geliştirilerek online-real time sistemleri heyelan alanları için daha uygun olabilmektedir fakat bu sistemlerin kurulması ve sürekliliğinin sağlanması için ekonomik anlamda külfetli olmaktadır.

Heyelanın oluştuğu dönemlerin GNSS teknikleriyle hassas olarak belirlenip bu dönemlerde bölge halkı ile kurum ve kuruluşların uyarılması gerekmektedir. Özellikle yerleşim yerlerinde oluşan heyelanlar için izleme sürelerinin kısaltılıp detaylandırılması gerekebilmektedir.

Projede elde edilen sonuçların değerlendirilmesi amacıyla oluşan hareketlerin belirlenmesi bu proje için zorunluluk teşkil etmektedir. Yapılan değerlendirmeler ve öneriler doğrultusunda gelecekte oluşabilecek heyelanların önlenmesi analiz sonuçlarına bağlıdır. Projede elde edilen analiz sonuçları Tablo 5.1-Tablo 5.6'de gösterilmiştir. Değerler toposentrik koordinat sisteminde verilmiştir. Tablolarda kırmızı ile yazılmış olan değerler heyelandan az etkilenen sabit noktalardır.

Tablo 5.1. 1. ve 2. Periyotlarda oluşan deformasyon miktarları

Nokta No	Kuzey (m)	Doğu (m)	Yukarı (m)
501	0.618	0.239	-0.099
502	0.600	0.185	-0.250

Nokta No	Kuzey (m)	Doğu (m)	Yukarı (m)
503	0.557	0.106	-0.261
506	-0.017	0.051	-0.008
507	0.000	0.000	0.000
510	-0.015	-0.020	0.018
515	-0.040	-0.003	0.013
518	0.022	-0.025	-0.044
519	0.640	-0.579	-0.121
520	0.686	-0.312	-0.142
521	1.005	-0.298	-0.306
523	0.933	-0.348	-0.337
524	0.855	-0.362	0.143
525	0.632	-0.696	-0.001
526	0.691	-0.680	-0.184
527	0.662	-0.720	0.075
528	1.212	-0.593	-0.355
530	-0.003	0.002	0.011
540	0.541	0.010	-0.145
542	0.200	-0.004	-0.103
544	0.900	0.002	-0.638
545	1.071	-0.014	-0.796
546	0.886	-0.051	-0.993
547	0.824	0.140	-0.246
548	0.764	0.061	-0.175
911	0.003	-0.007	-0.010
913	0.008	-0.017	-0.001
914	-0.007	-0.011	0.002

Tablo 5.2. 2. ve 3. Periyotlarda oluşan deformasyon miktarları

Nokta No	Kuzey (m)	Doğu (m)	Yukarı (m)
501	0.328	0.131	-0.048
502	0.276	0.119	-0.123
503	0.205	0.073	-0.091
506	0.000	-0.006	-0.007
507	0.002	-0.002	-0.005
510	-0.007	-0.025	-0.025
515	-0.003	0.008	-0.003
517	0.687	-0.057	-0.031
518	0.010	-0.002	-0.022
519	1.424	-0.718	-0.404
520	1.101	-0.391	-0.284
521	1.348	-0.342	-0.456
522	1.110	-0.406	-0.223
523	1.062	-0.359	-0.394

Nokta No	Kuzey (m)	Doğu (m)	Yukarı (m)
524	1.168	-0.435	-0.010
525	0.712	-0.719	-0.187
526	0.918	-0.703	-0.352
527	0.719	-0.762	0.045
528	0.729	-0.562	-0.226
529	0.939	-0.413	-0.384
530	-0.017	0.017	0.036
540	0.318	0.000	-0.111
542	0.199	0.015	-0.039
544	0.760	-0.015	-0.439
545	0.948	-0.001	-0.464
546	0.887	-0.554	-0.466
547	0.513	0.094	-0.194
548	0.483	0.030	-0.187
911	0.000	0.000	0.000
913	0.001	0.002	-0.012
914	0.003	0.005	-0.008

Tablo 5.3. 3. ve 4. Periyotlarda oluşan deformasyon miktarları

Nokta No	Kuzey (m)	Doğu (m)	Yukarı (m)
501	0.039	0.006	-0.035
502	0.027	0.014	-0.023
503	0.023	0.009	0.000
506	0.000	-0.001	-0.008
507	-0.004	0.003	0.005
510	-0.006	0.017	0.005
515	0.002	0.004	0.007
517	0.122	-0.006	0.017
518	-0.001	-0.005	0.015
519	0.081	-0.091	-0.018
520	0.134	-0.054	-0.021
521	0.165	-0.052	-0.125
522	0.127	-0.048	0.006
523	0.150	-0.055	-0.040
524	0.173	-0.065	-0.039
525	0.089	-0.064	0.056
526	0.216	-0.105	0.015
527	0.065	-0.070	-0.012
528	0.096	-0.068	-0.036
529	0.126	-0.044	-0.074
530	0.022	-0.024	-0.023
542	0.022	-0.001	-0.002
544	0.115	0.006	-0.063
545	0.134	0.003	-0.094

Nokta No	Kuzey (m)	Doğu (m)	Yukarı (m)
546	0.097	-0.017	-0.061
547	0.045	0.013	0.006
548	0.039	0.009	-0.051
911	0.003	0.002	-0.004
913	-0.002	-0.003	0.019
914	-0.003	0.002	0.013
915	0.000	0.000	0.000

Tablo 5.4. 4. Ve 5. Periyotlarda oluşan deformasyon miktarları

Nokta No	Kuzey (m)	Doğu (m)	Yukarı (m)
501	0.014	0.007	0.018
502	0.009	0.005	0.010
503	-0.008	0.000	-0.005
506	-0.013	0.008	-0.002
507	-0.011	0.003	-0.006
510	-0.012	-0.001	-0.050
515	-0.014	-0.003	-0.003
517	0.000	0.000	0.000
518	-0.008	0.001	-0.010
519	0.018	-0.022	-0.009
520	0.026	-0.008	0.022
521	0.009	-0.007	0.029
522	0.041	-0.009	-0.019
523	0.022	0.008	-0.038
524	0.030	-0.033	0.014
525	0.005	-0.029	0.003
526	0.042	-0.010	-0.017
527	0.017	-0.015	-0.028
528	0.019	-0.018	0.015
529	0.018	-0.003	-0.027
530	-0.022	-0.002	-0.029
542	-0.003	0.010	0.012
544	0.022	-0.005	-0.025
546	0.000	0.000	0.000
547	-0.010	-0.003	-0.016
548	-0.003	0.004	0.003
550	0.000	0.000	0.000
551	-0.018	-0.003	0.010
911	-0.008	-0.005	0.000
913	-0.011	0.001	-0.003
914	-0.010	0.000	-0.008

915	0.001	-0.005	-0.022

Tablo 5.5. 5. ve 6. Periyotlarda oluşan deformasyon miktarları

Nokta No	Kuzey (m)	Doğu (m)	Yukarı (m)
501	-0.011	0.012	0.009
502	-0.012	0.008	0.007
503	-0.010	0.009	0.017
506	-0.019	0.007	-0.002
507	-0.022	0.001	0.015
510	-0.011	0.005	0.053
515	-0.015	-0.005	-0.055
517	0.008	0.005	-0.051
518	-0.019	0.001	-0.001
519	-0.003	-0.002	-0.012
520	0.000	0.000	0.000
521	0.010	0.004	-0.014
522	0.000	0.000	0.000
523	0.001	-0.006	0.030
524	0.010	0.000	-0.017
525	-0.013	0.004	0.002
526	0.022	-0.018	-0.041
527	-0.006	0.001	0.019
528	0.002	0.005	-0.012
529	0.016	-0.010	0.023
530	-0.009	0.001	0.048
542	-0.018	-0.004	-0.033
544	0.171	0.009	-0.362
547	-0.015	0.008	-0.048
548	-0.017	0.003	0.014
550	0.001	0.005	0.005
551	-0.025	-0.004	-0.053
911	-0.017	0.008	0.027
913	-0.021	-0.001	0.003
914	-0.015	0.000	0.024
915	-0.022	0.008	-0.030

Tablo 5.6. 1. ve 6. Periyotlarda oluşan toplam deformasyon miktarları

Nokta No	Kuzey (m)	Doğu (m)	Yukarı (m)
501	1.049	0.377	-0.161
502	0.999	0.332	-0.395

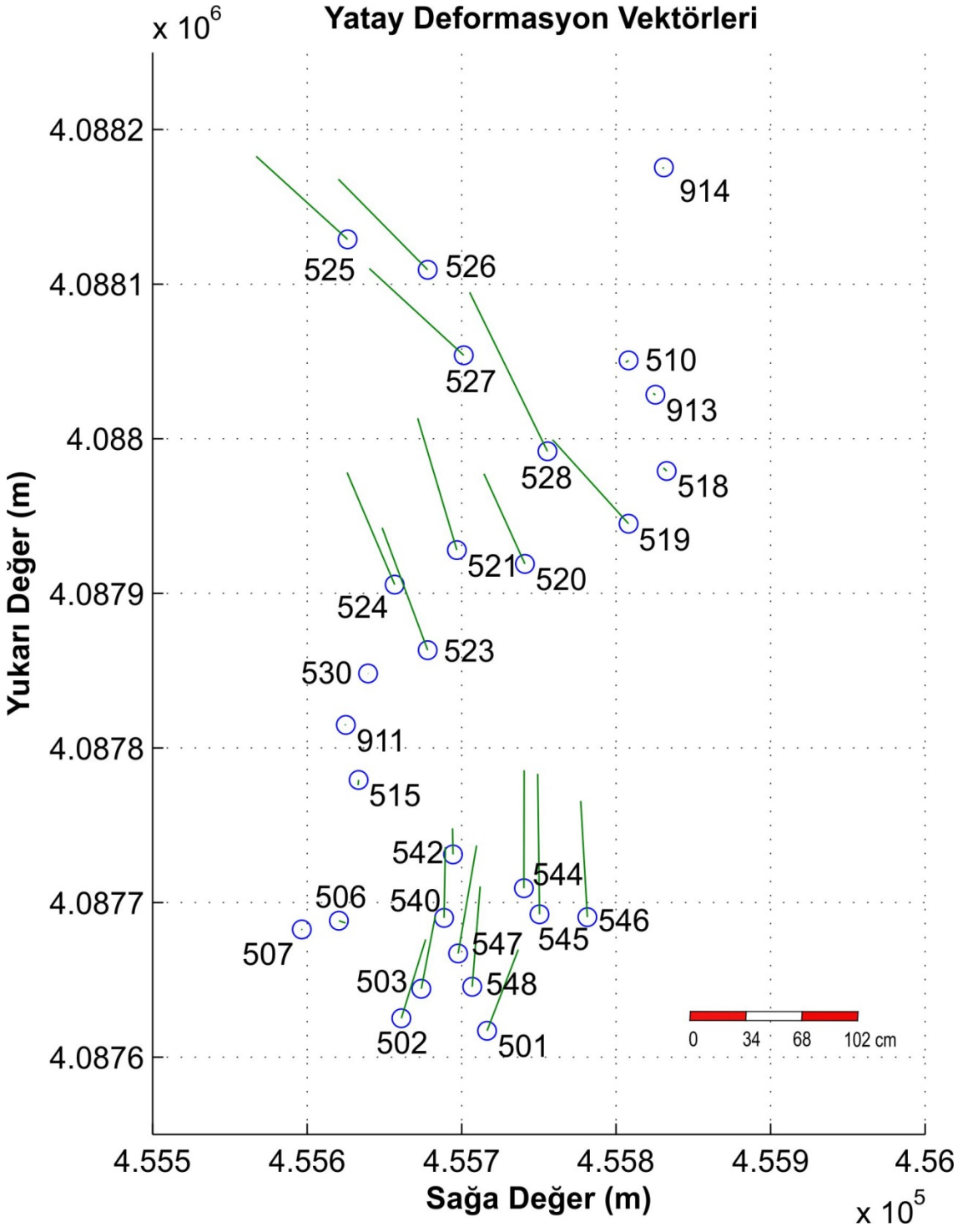
Nokta No	Kuzey (m)	Doğu (m)	Yukarı (m)
503	0.982	0.225	-0.390
506	-0.006	0.048	-0.041
507	0.003	0.007	-0.019
510	-0.021	-0.023	-0.005
515	-0.037	-0.004	-0.058
518	0.049	-0.038	-0.067
519	1.918	-1.373	-0.485
520	3.512	-0.988	-0.972
521	2.752	-0.658	-0.968
523	1.958	-0.627	-0.704
524	2.381	-0.820	-0.002
525	1.789	-1.561	-0.274
526	2.134	-1.549	-0.659
527	2.044	-1.718	-0.098
528	1.388	-1.017	-0.419
530	-0.002	0.001	0.012
542	0.423	0.018	-0.165
544	2.227	-0.082	-1.596
547	1.472	0.222	-0.525
548	1.303	0.085	-0.399
911	0.000	0.000	0.000
913	0.008	-0.021	-0.010
914	-0.006	-0.005	-0.005

Elde dilen değerlerden de anlaşıldığı üzere en az hareket 5-6 periyotları arasında meydana gelmiştir. En fazla hareket ise 1 ile 3. Periyot sonrası meydana gelmiştir. Bu hareketlerin bu dönemlerde fazla olmasındaki en büyük etken yağış ve kar sularının yüzeyde oluşturduğu mevsimsel etkidir.

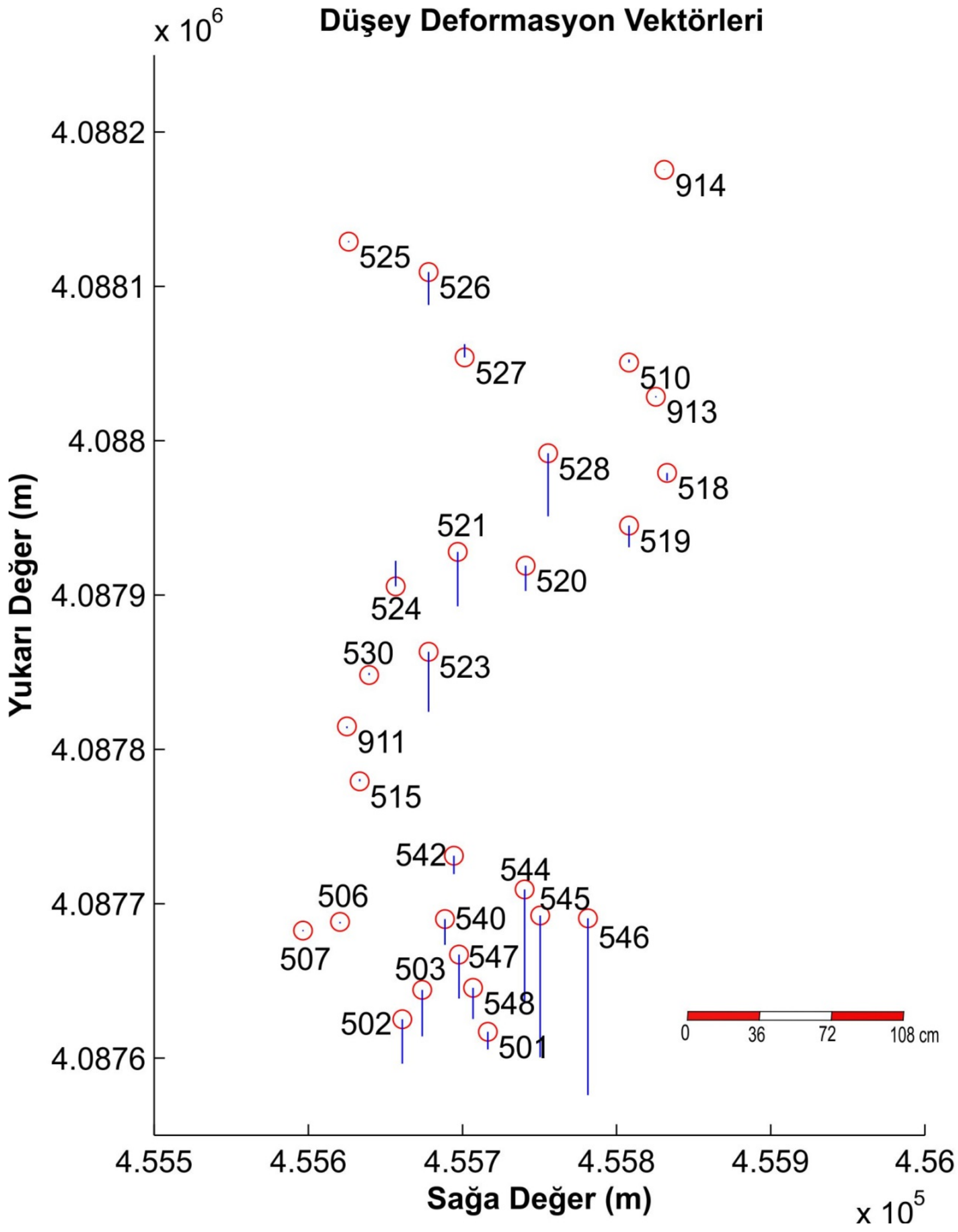
Farklı noktalarda oluşan hareketler heyelan bölgesinin jeolojik yapısı, eğim ve bakı (Güneş ışınlarını alış yönü) durumlarıyla ilişkili olarak farklı miktarlarda oluşmuştur.

Bölgede oluşan heyelanın en etkili sebeplerinden birisi yeraltı sularının yüzeye çok yakın olmasıdır (Ekler-Ek1). Bölgenin kuzey yamaçta olması toprağın sürekli nemli kalmasına yol açarak şeyl birimindeki toprağın sürekli hareket etmesine yol açmaktadır. TCK tarafından yapılan düzenleme çalışmaları yağışlı zamanlarda oluşan yüzey suyu artmalarının önünü açarak yer altı suyunun yüzeye çıkmasına yol açmıştır. Bu nedenle 1. Periyot ve 2. Periyot analizlerinde görüleceği üzere bölgede yer altı suyu yüzeye çıkarak, yamaçlarda akıntı oluşturmasına sebep olmuştur (Ekler-Ek.2). Bu nedenle GNSS gözleme ağının 3 noktasının deforme olmasına yol açmıştır. Bununla birlikte asıl önemli olan kar yağışının çok olmasıyla ve karların erimesi sonucu suların yanlış drenaj

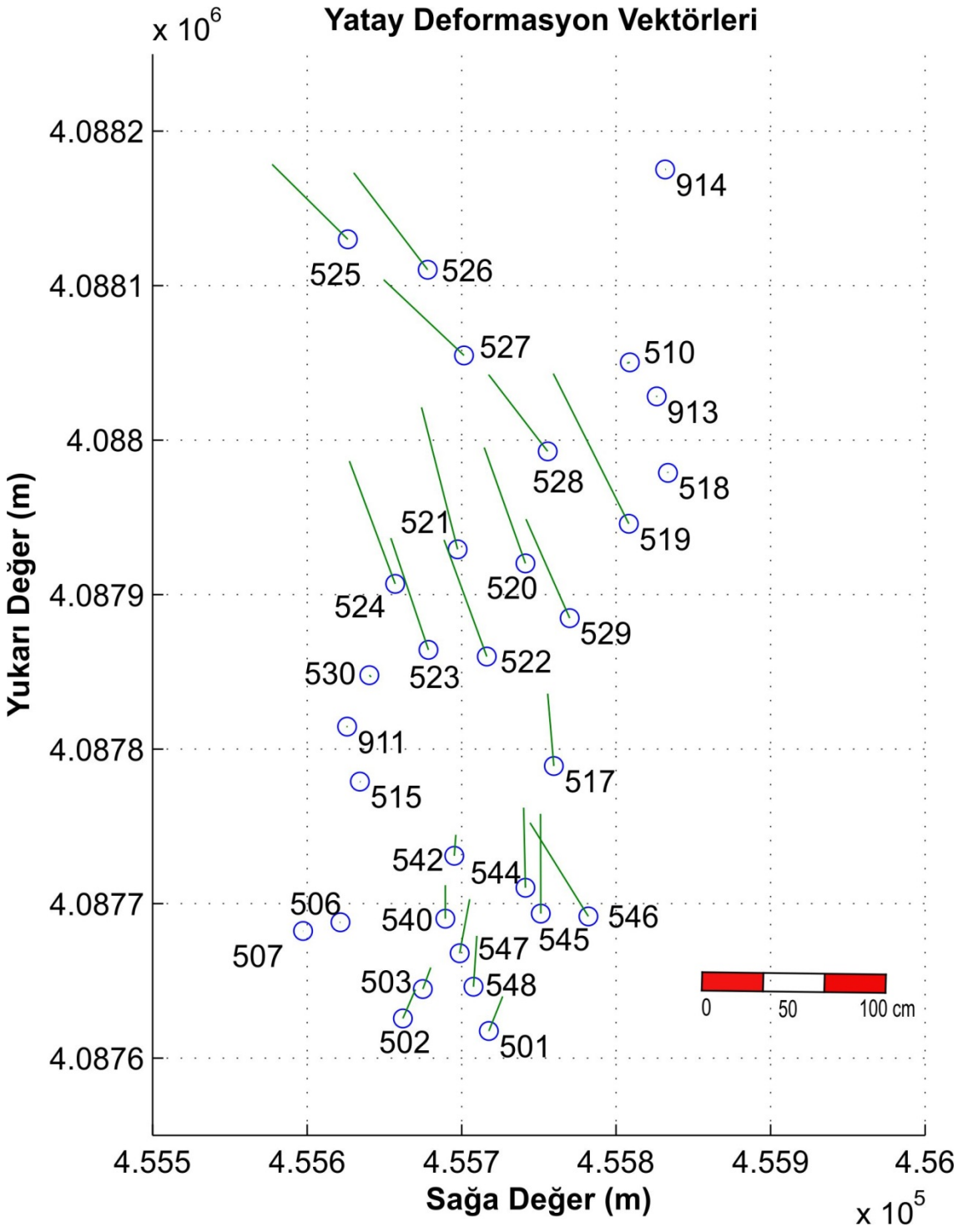
sistemleri sebebiyle yukarıdan gelen akıntıyı tahliye edemeyerek bölgeden geçen yolun kapanmasına yol açmıştır. Bu akıntı heyelanı çok kısa bir süre içinde ortaya çıkmış ve ölçümlere göre 3 m' ye varan çökme ve kabarmalara sebep olarak bu bölge içerisinde topoğrafyayı değiştirmiştir. Bu oluşum sonucunda ise herhangi yaralanma ve ölüm vakası olmamıştır. Bölgede oluşan hareketlerin yatay ve düşey yönlü vektörleri Şekil 5.1-Şekil 5.12 'de gösterilmiştir.



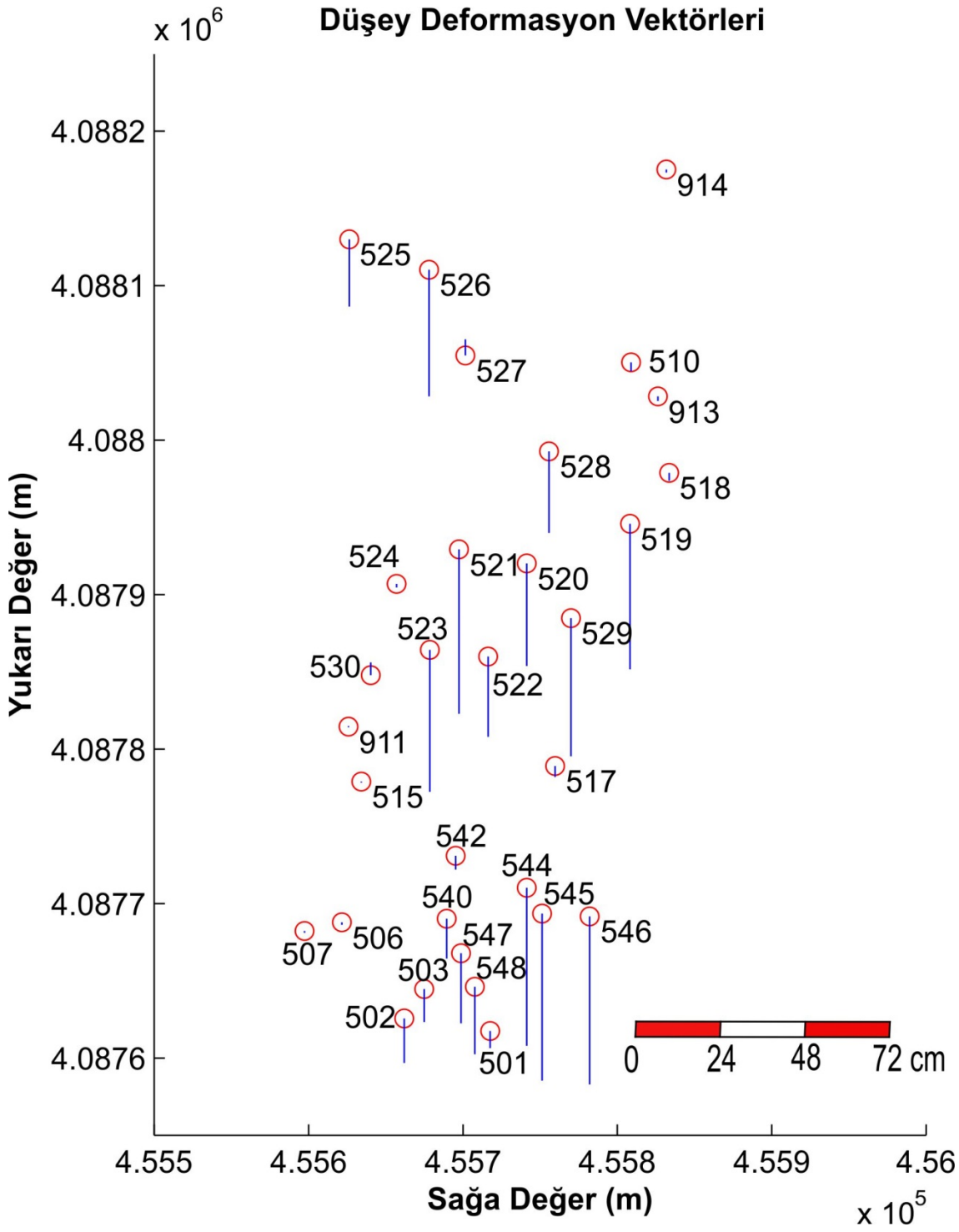
Şekil 5.1. 1-2 Periyotları arasında oluşan heyelan sonucunda yatay yönlü deformasyon miktarı



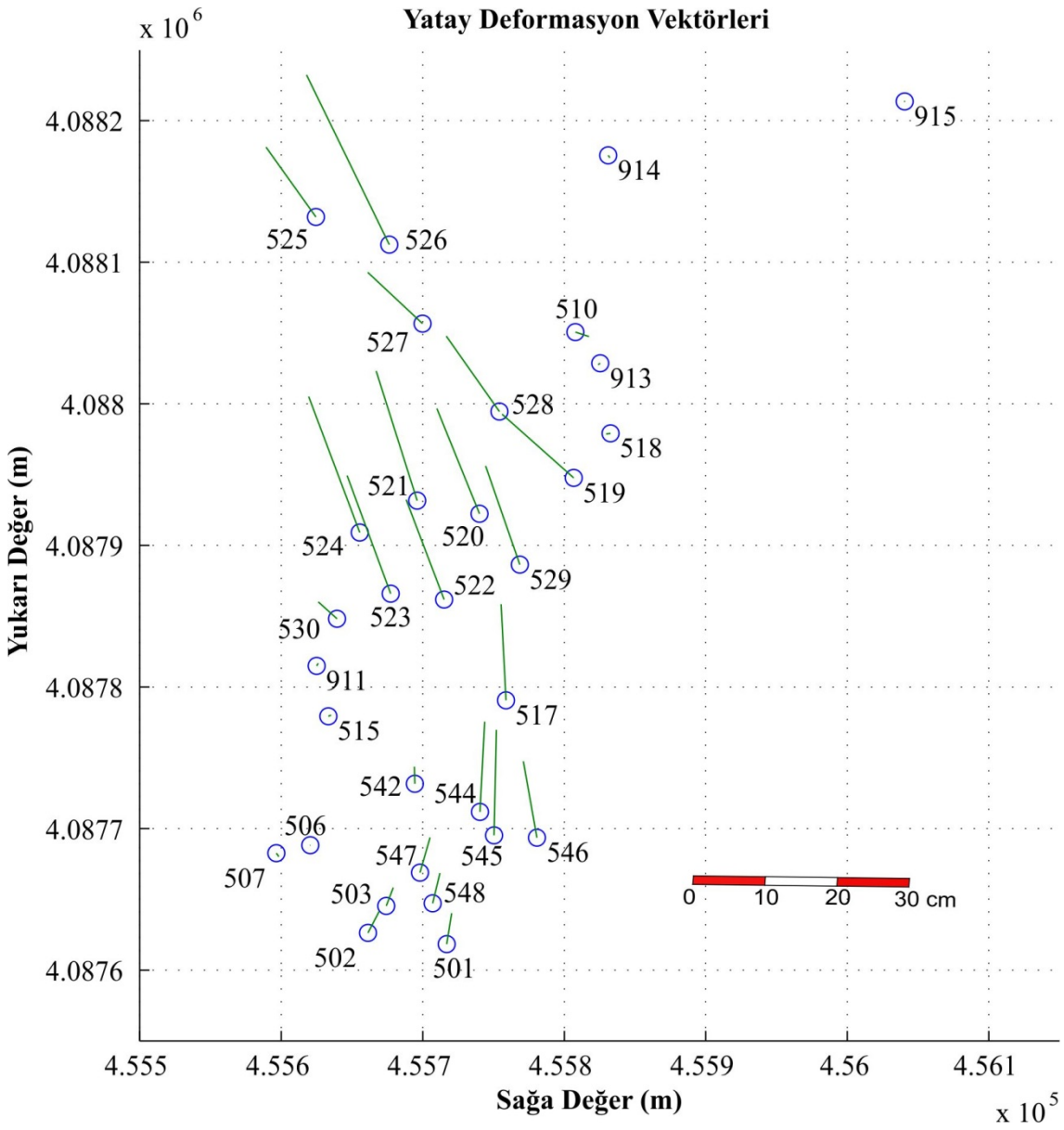
Şekil 5.2. 1-2 Periyotları arasında oluşan heyelan sonucunda düşey yönlü deformasyon miktarı



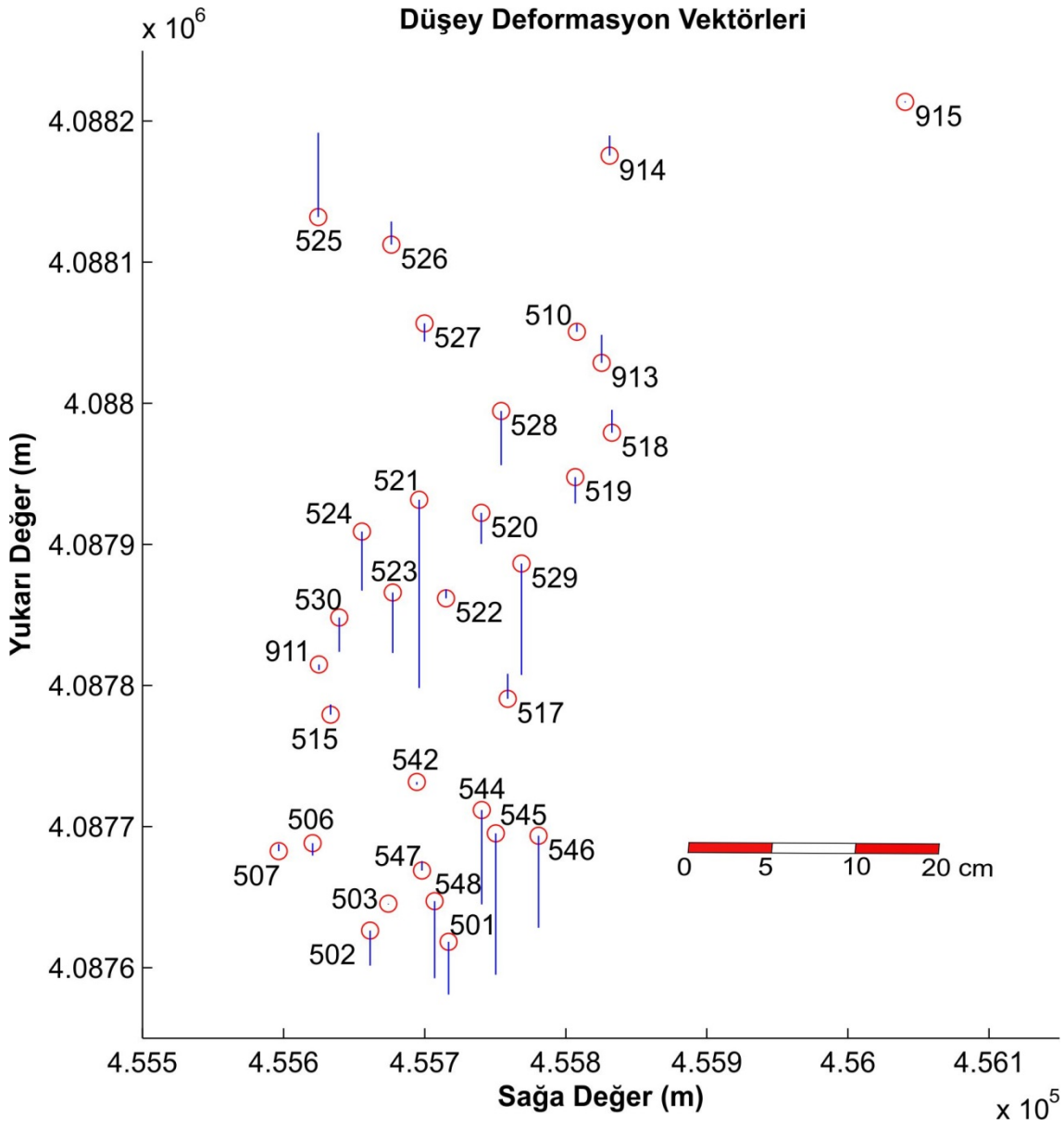
Şekil 5.3. 2-3 Periyotları arasında oluşan heyelan sonucunda yatay yönlü deformasyon miktarı



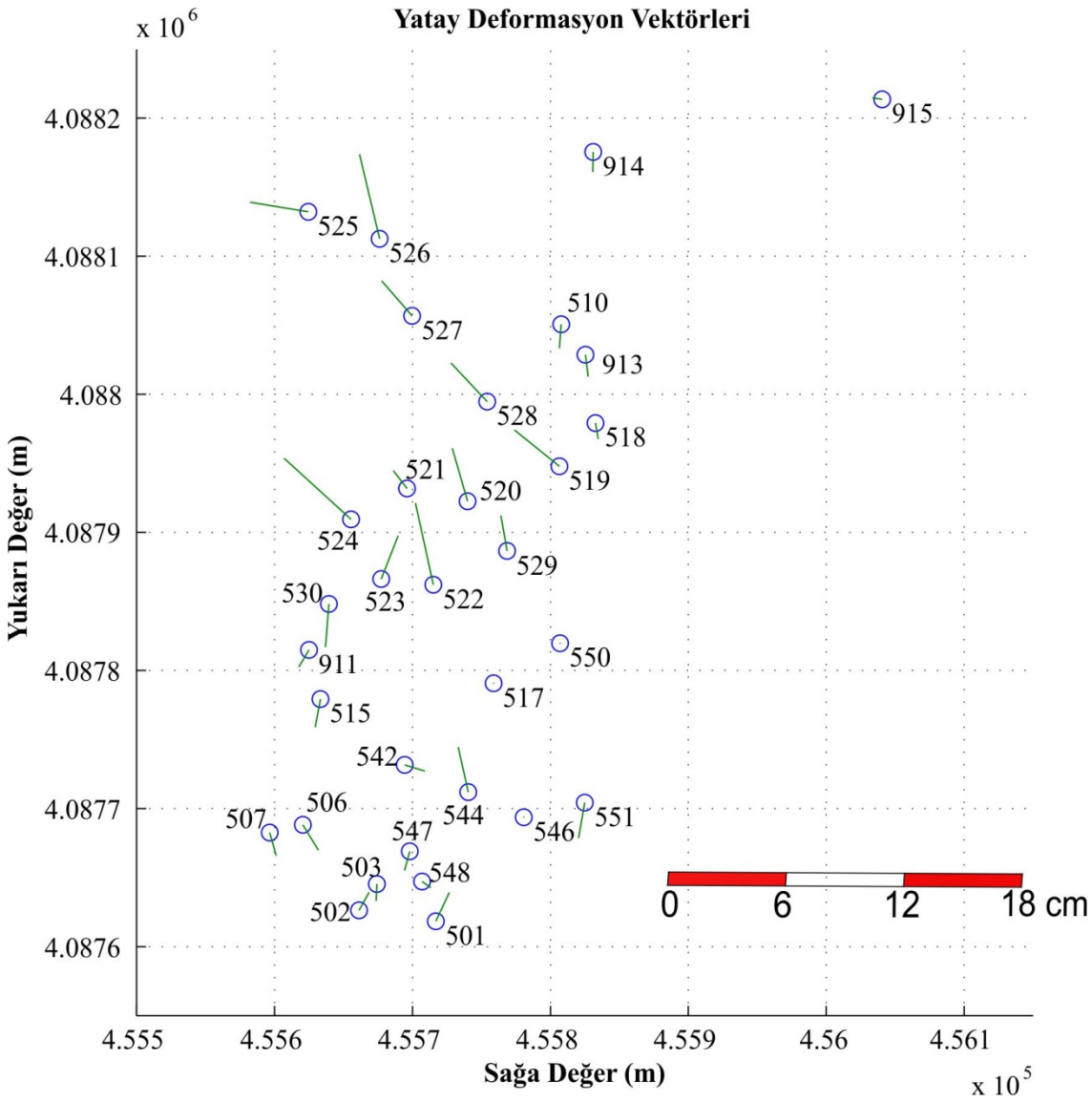
Şekil 5.4. 2-3Periyotları arasında oluşan heyelan sonucunda düşey yönlü deformasyon miktarı



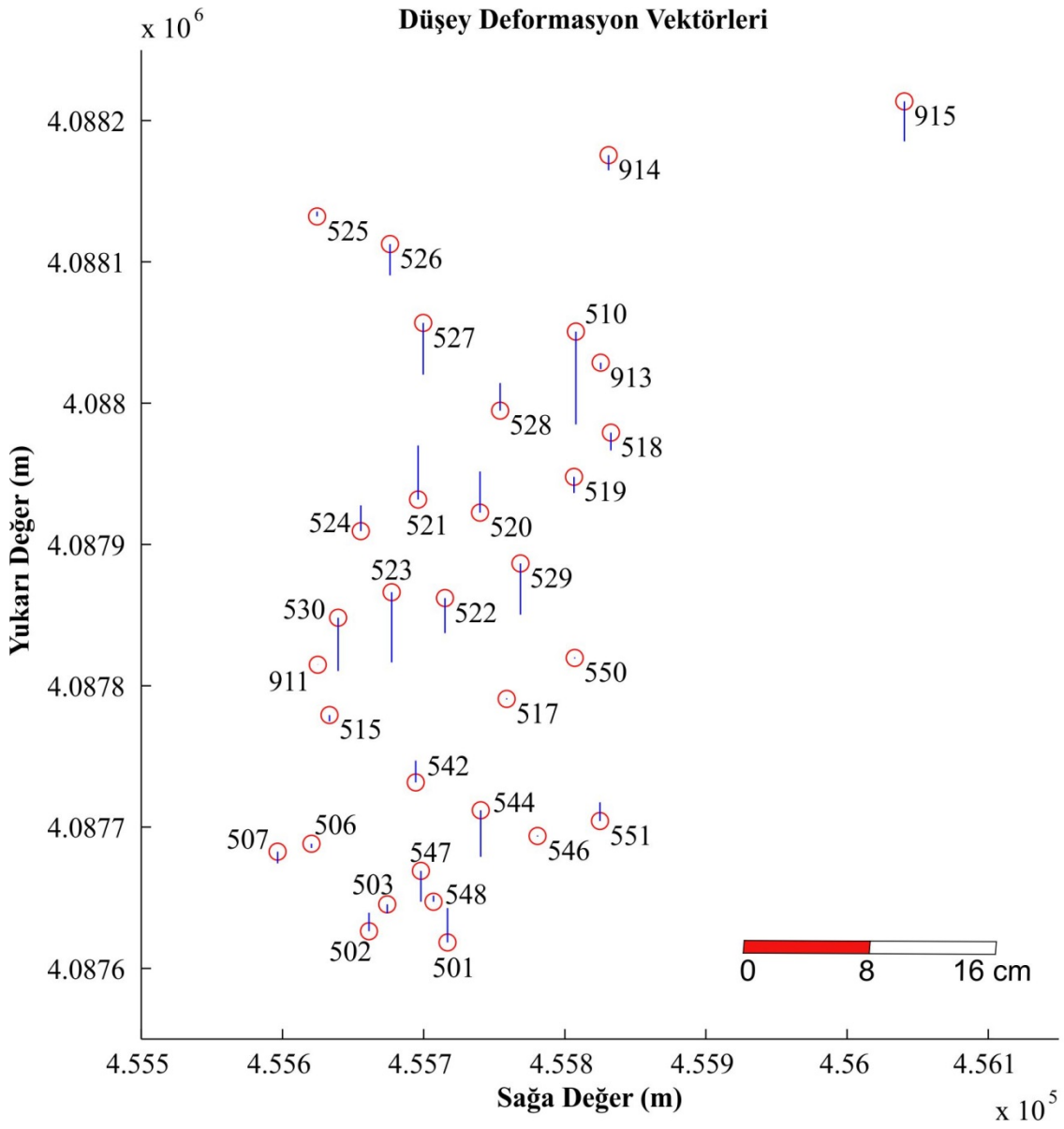
Şekil 5.5. 3-4 Periyotları arasında oluşan heyelan sonucunda yatay yönlü deformasyon miktarı



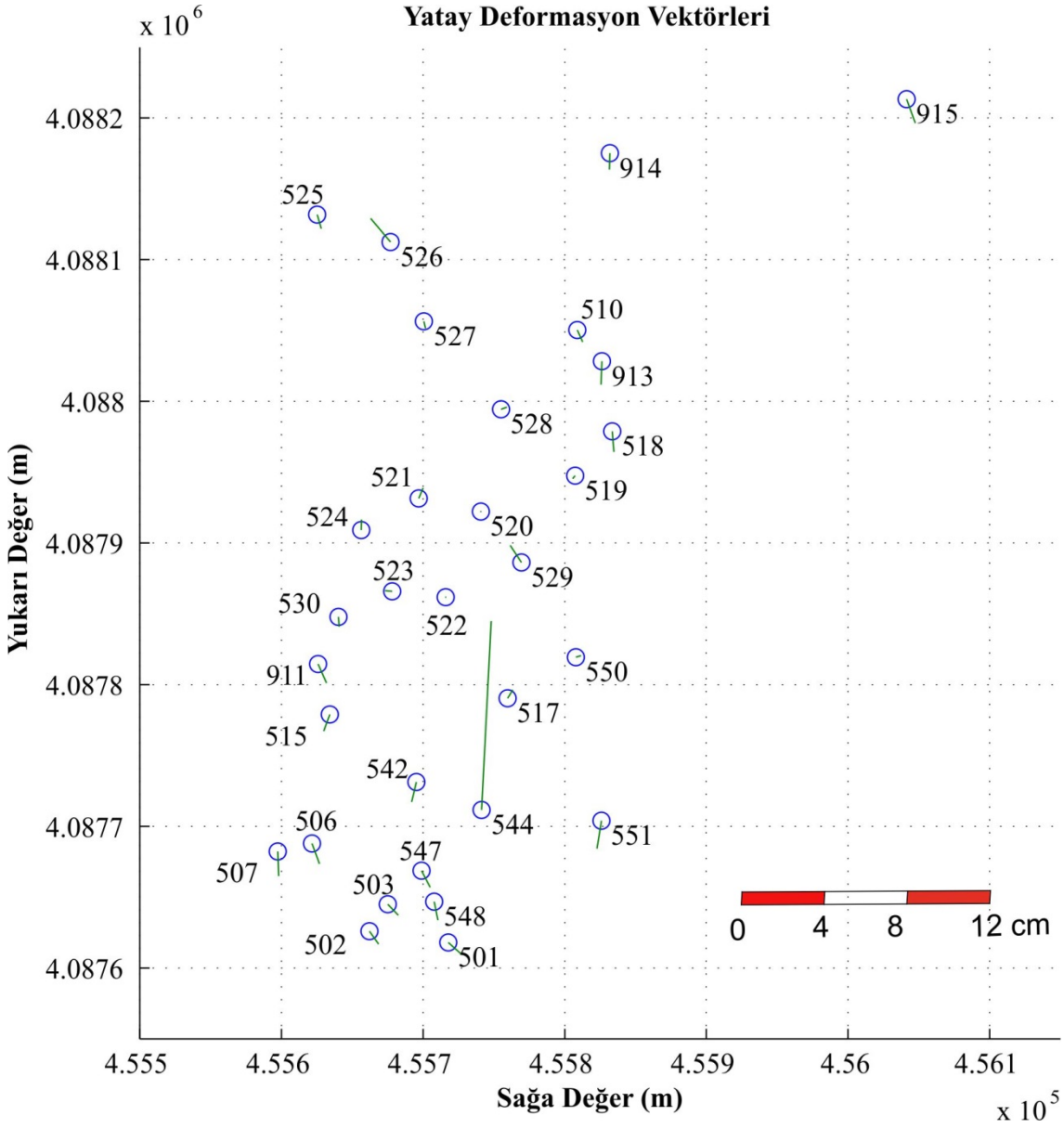
Şekil 5.6. 3-4 Periyotları arasında oluşan heyelan sonucunda düşey yönlü deformasyon miktarı



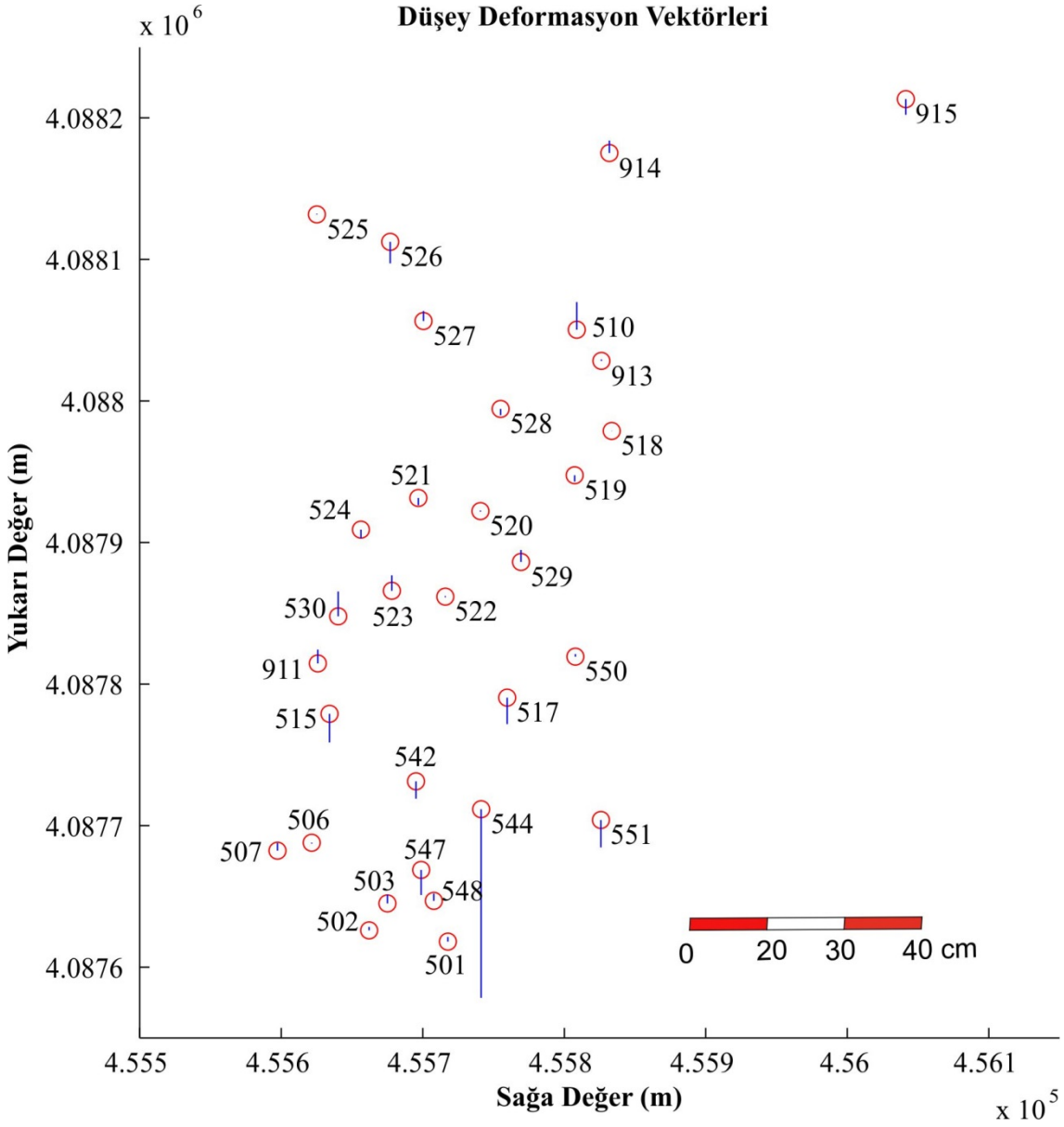
Şekil 5.7. 4-5 Periyotları arasında oluşan heyelan sonucunda yatay yönlü deformasyon miktarı



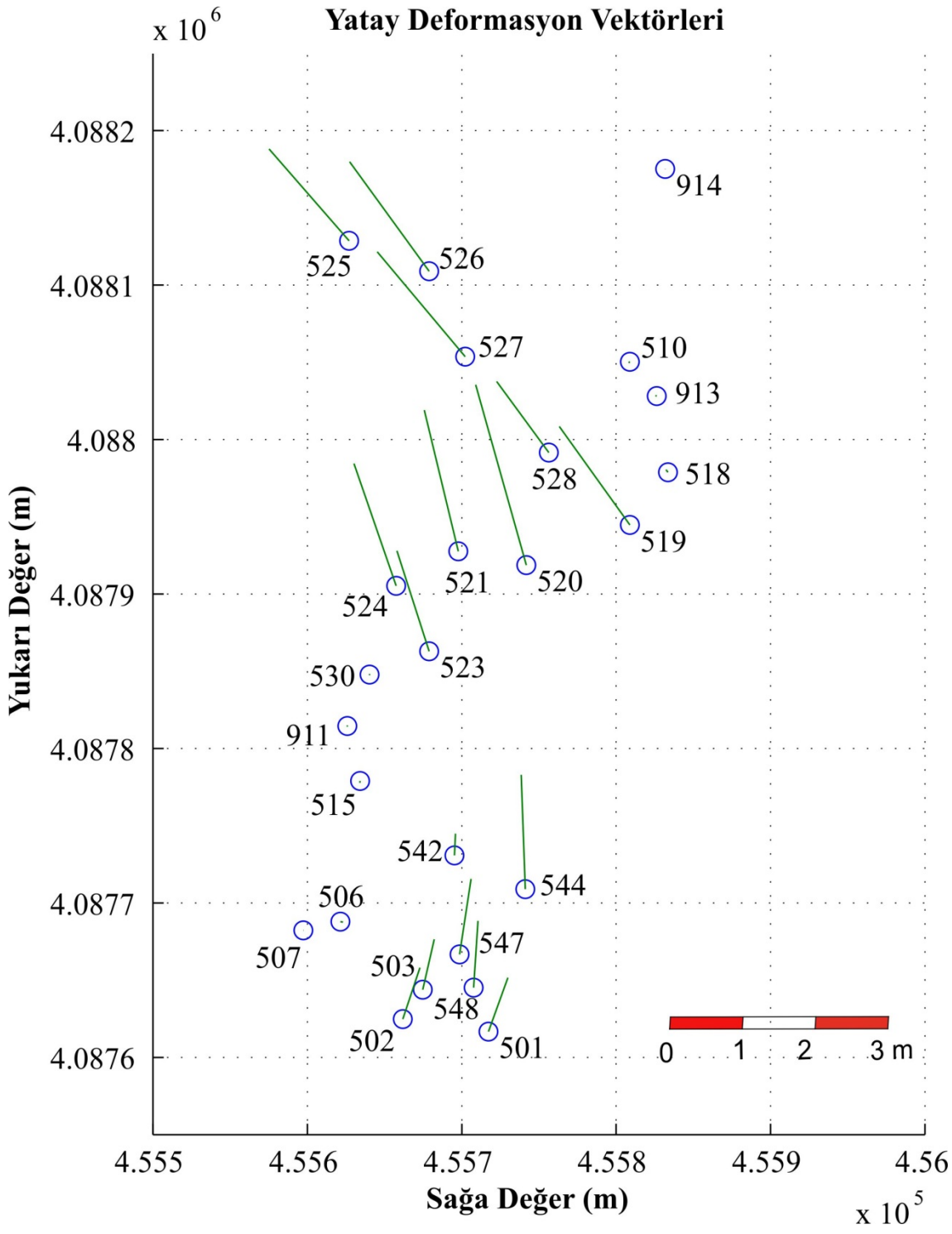
Şekil 5.8. 4-5 Periyotları arasında oluşan heyelan sonucunda düşey yönlü deformasyon miktarı



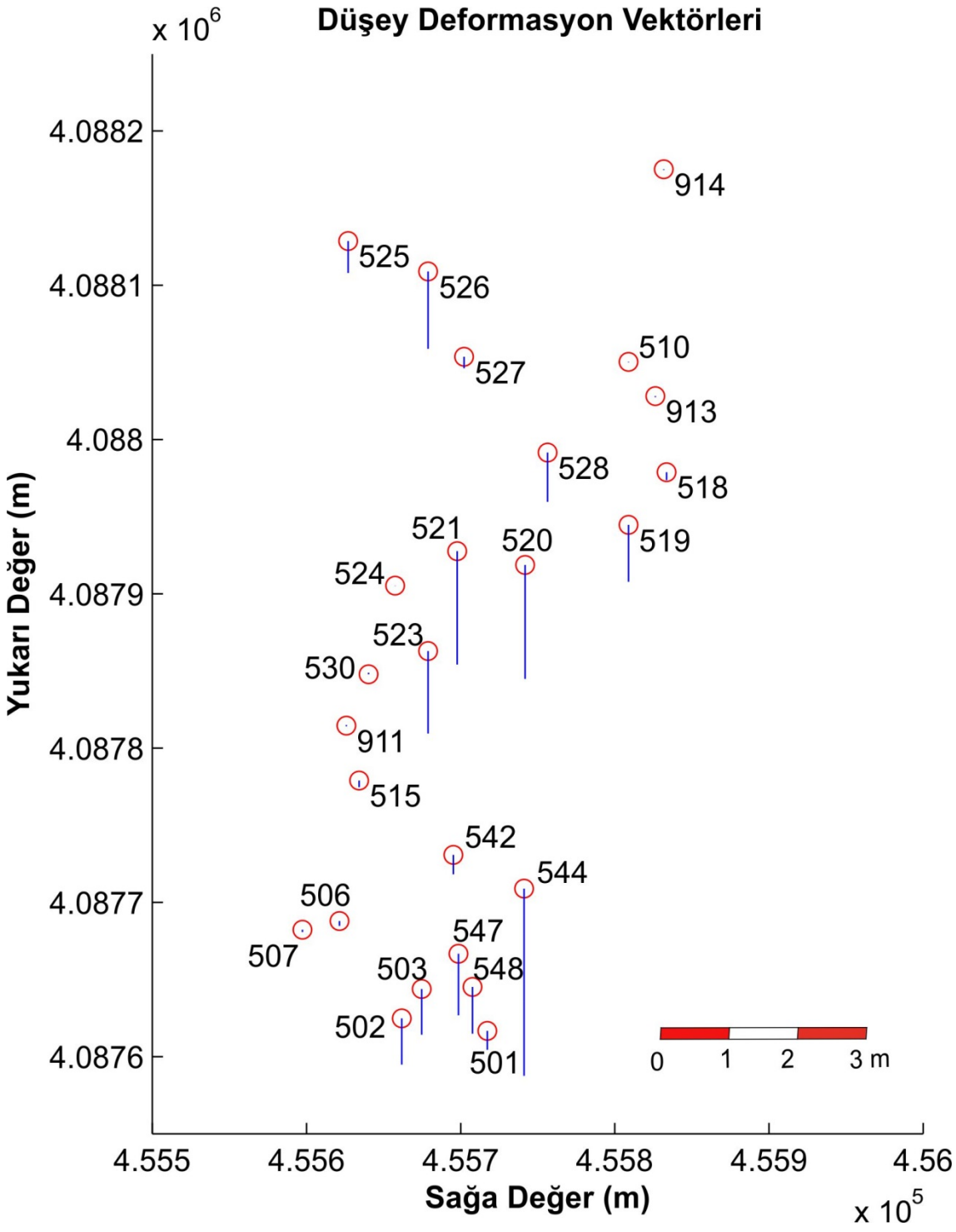
Şekil 5.9. 5-6 Periyotları arasında oluşan heyelan sonucunda yatay yönlü deformasyon miktarı



Şekil 5.10. 5-6 Periyotları arasında oluşan heyelan sonucunda düşey yönlü deformasyon miktarı



Şekil 5.11. 1-6 Periyotları arasında oluşan heyelan sonucunda yatay yönlü deformasyon miktarı



Şekil 5.12. 1-6 Periyotları arasında oluşan heyelan sonucunda düşey yönlü deformasyon miktarı

Taşkent heyelanında GNSS noktalarındaki hareketler genellikle dönemsel olmakla birlikte yağış miktarına bağlı olarak değişmektedir. Yağmur ve kar yağışının fazla olduğu kış ayları ve bahar aylarında hareketin miktarı oldukça artmaktadır. Bu nedenle bu dönemlerde heyelan izleme aralıklarının azaltılması gerekmektedir.

GNSS sistemleriyle elde edilen sonuçlar YLT ile karşılaştırıldığında benzer sonuçlara rastlanıldığı ortaya çıkarılmıştır. Böylelikle heyelan oluşumuna eğilimli arazilerde GNSS ve Lazer tarama teknikleri birlikte veya ayrı olarak kullanılabilir. GNSS ve YLT sistemleri birlikte kullanıldığı takdirde ölçüm işlemleri oldukça hızlı, doğru ve maliyeti az olan çalışmalar ortaya çıkmaktadır. Yersel lazer tarama sistemlerinin geniş görüş açısına sahip olması yüzeysel değişimlerin ve hareketlerin ortaya koymasında GNSS ölçülerine nazaran daha fazla bilgi sağladığı bilinmektedir. Bu nedenle heyelan hareketleri gibi büyük kütle hareketlerine sahip jeolojik olayların geniş görüş açısına sahip, kısa ve hızlı sonuçlar veren tekniklere ihtiyacı olduğu çalışmamızda gösterilmiştir. Heyelanlar oluştuğu bölgeler içerisinde farklı hareketler sergileyebilmektedir. Bu tür hareketlerin ortaya çıkarılması için YLT sistemlerinin kullanılması değerlendirmeleri kolaylaştırmıştır.

5.2. Yersel Lazer Tarama Sonuçlarının Değerlendirilmesi

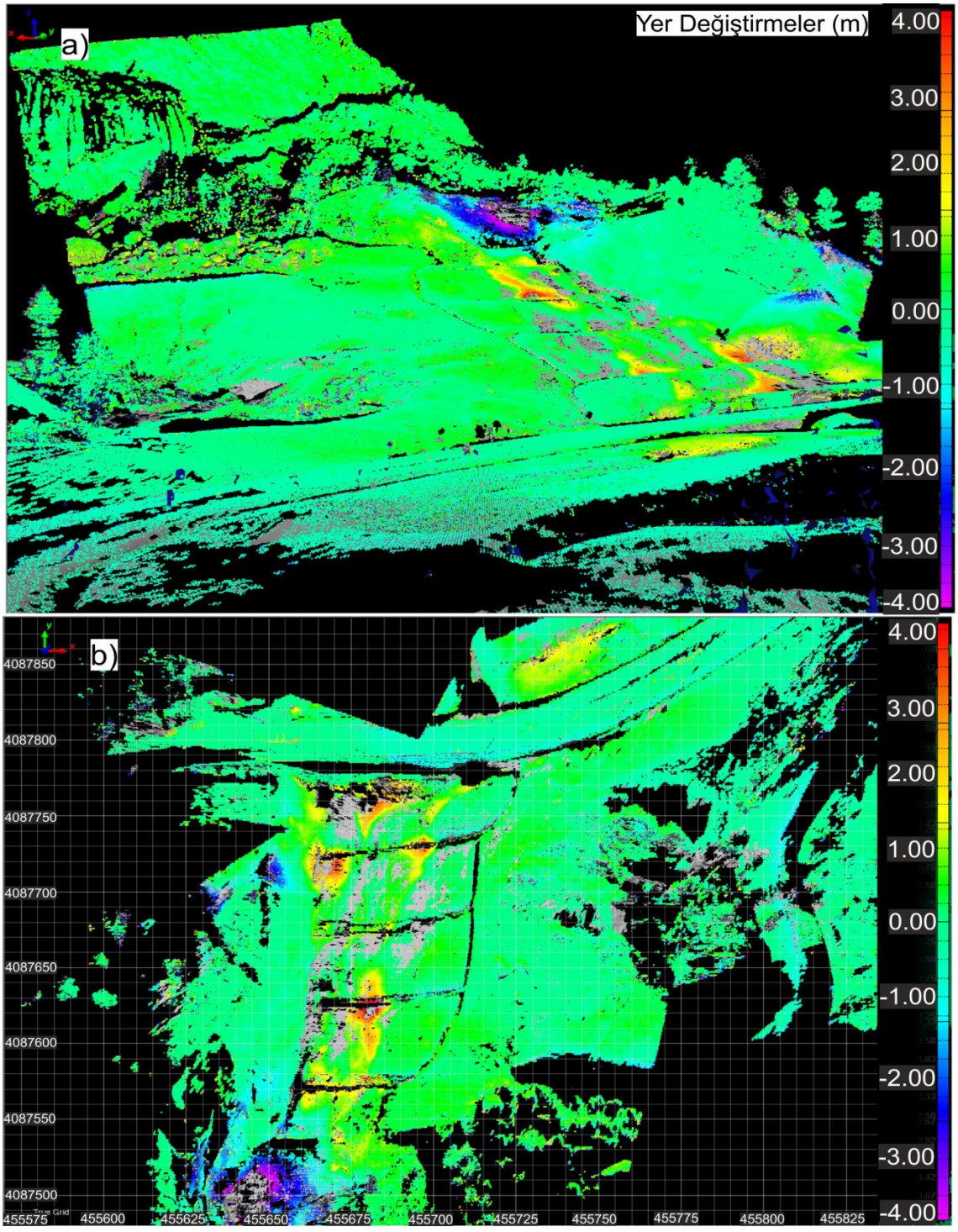
Nokta bulutları verisi farklı yöntemler kullanılarak değerlendirilebilir. Bunlar nokta bulutu-nokta bulutu karşılaştırması, sayısal arazi modelleri arasındaki karşılaştırmalar, 2 boyutlu kesit karşılaştırmaları ve hacimsel karşılaştırmalar olarak sıralanabilir (Monserrat ve Crosetto, 2008).

Bu çalışmada, yukarıda sözü edilen karşılaştırma yöntemlerinin tümü uygulanmıştır. Periyot çiftlerine ait nokta bulutlarının karşılaştırılması sonucunda kabarma bölgelerini gösteren pozitif ve çökme bölgelerini gösteren negatif değerler elde edilmiştir. Bu pozitif ve negatif değerler heyelan alanındaki noktaların hareketi hakkında bilgi vermektedir (Oppikofer ve ark., 2009).

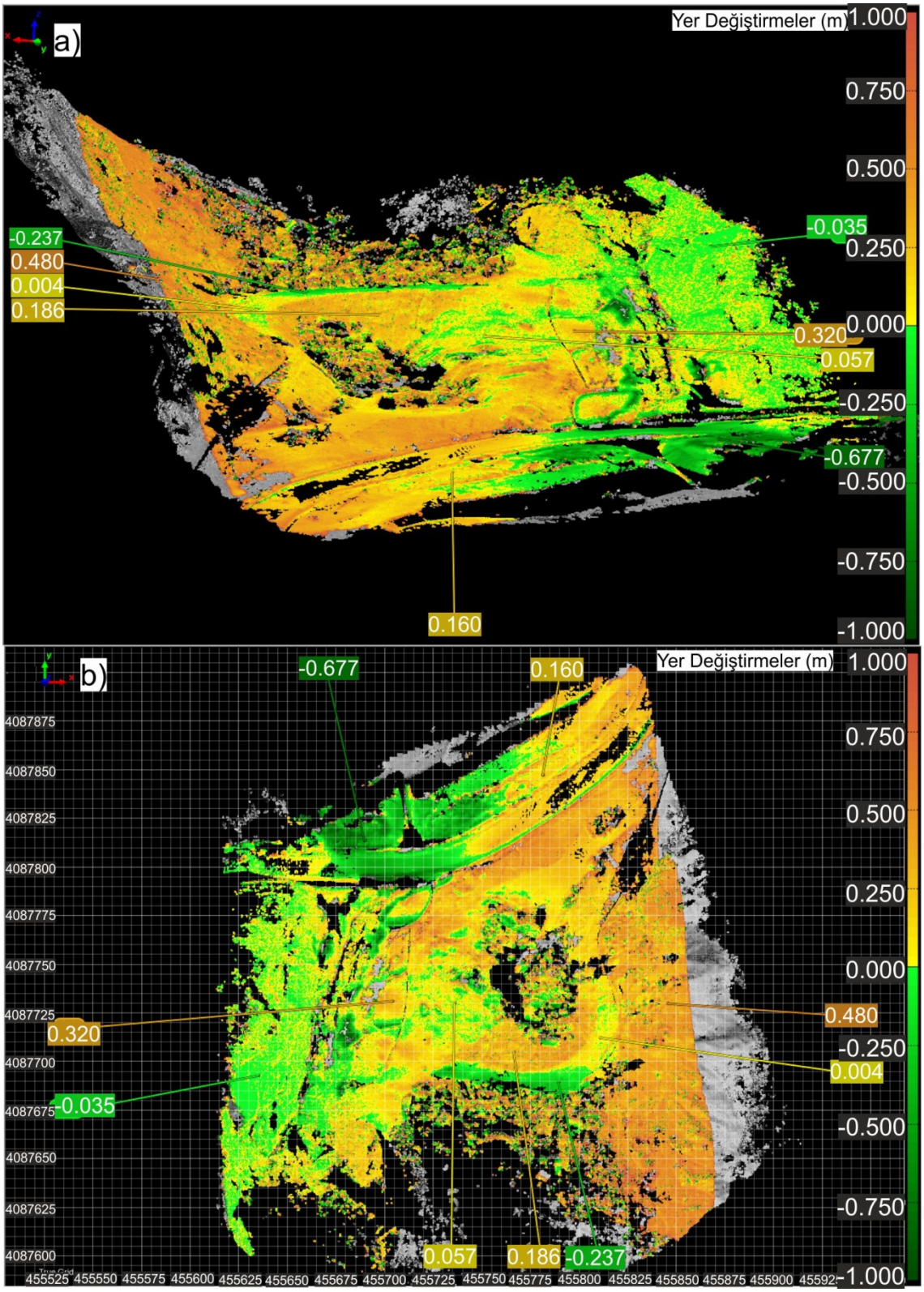
5.2.1. Nokta bulutu-Nokta bulutu karşılaştırmaları

Eksenlerdeki (x, y ve z) karşılaştırmalar bu eksenlerde meydana gelen değişimi ortaya koymaktadır. Bununla birlikte en yakın noktayı bulma yöntemiyle de nokta bulutları arasındaki farkı bulmak mümkündür. Bu yöntemle iki farklı periyoda ait noktaların x, y ve z eksenlerinde oluşan fark vektörünü elde etmek mümkündür. Özellikle hareketin yönü hakkında bilginin mevcut olması durumunda kullanımı yaygın olan bir yöntemdir. Fakat bazı dezavantajları bulunmaktadır. Örneğin bu yöntem ile iki nokta arasındaki en yakın mesafe belirlendiği için sonuçlar vektör bazında değerlendirilmelidir (Chen ve Medioni, 1991). Bu yöntemi kullanan çok sayıda yazılım

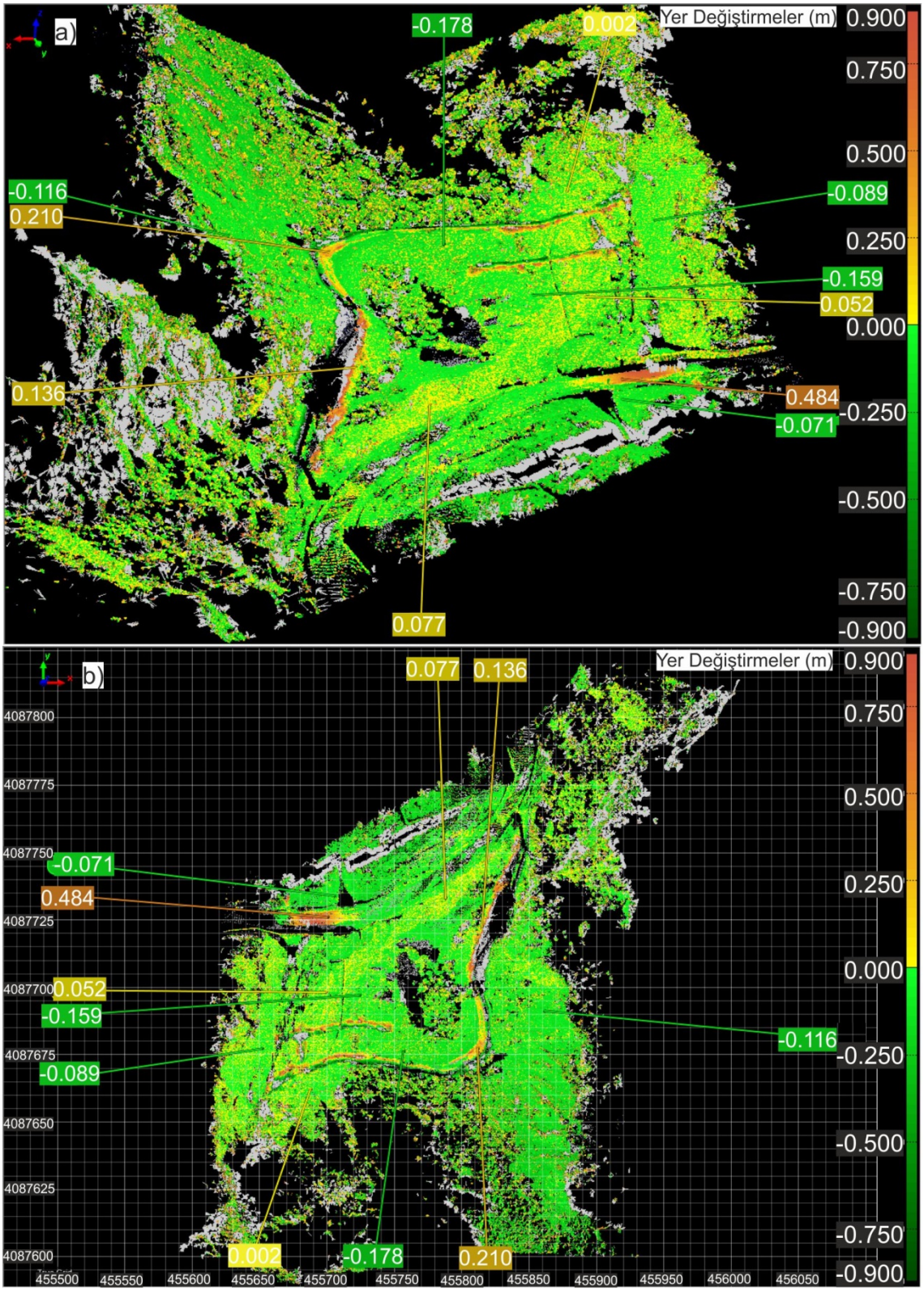
(Polyworks, Geomagic, Cloud Compare vb.). mevcuttur Bu projede Polyworks yazılımının IMInspector modülüyle, nokta-nokta arasındaki en kısa mesafeye göre analiz yapılmış ve heyelan bölgesinin nokta bulutu karşılaştırma görüntüleri elde edilmiştir (Şekil 5.13-Şekil 5.18). Periyotlar arasında eşleşmeyen veya veri olmayan bölgeler gri ile renklendirilmiştir



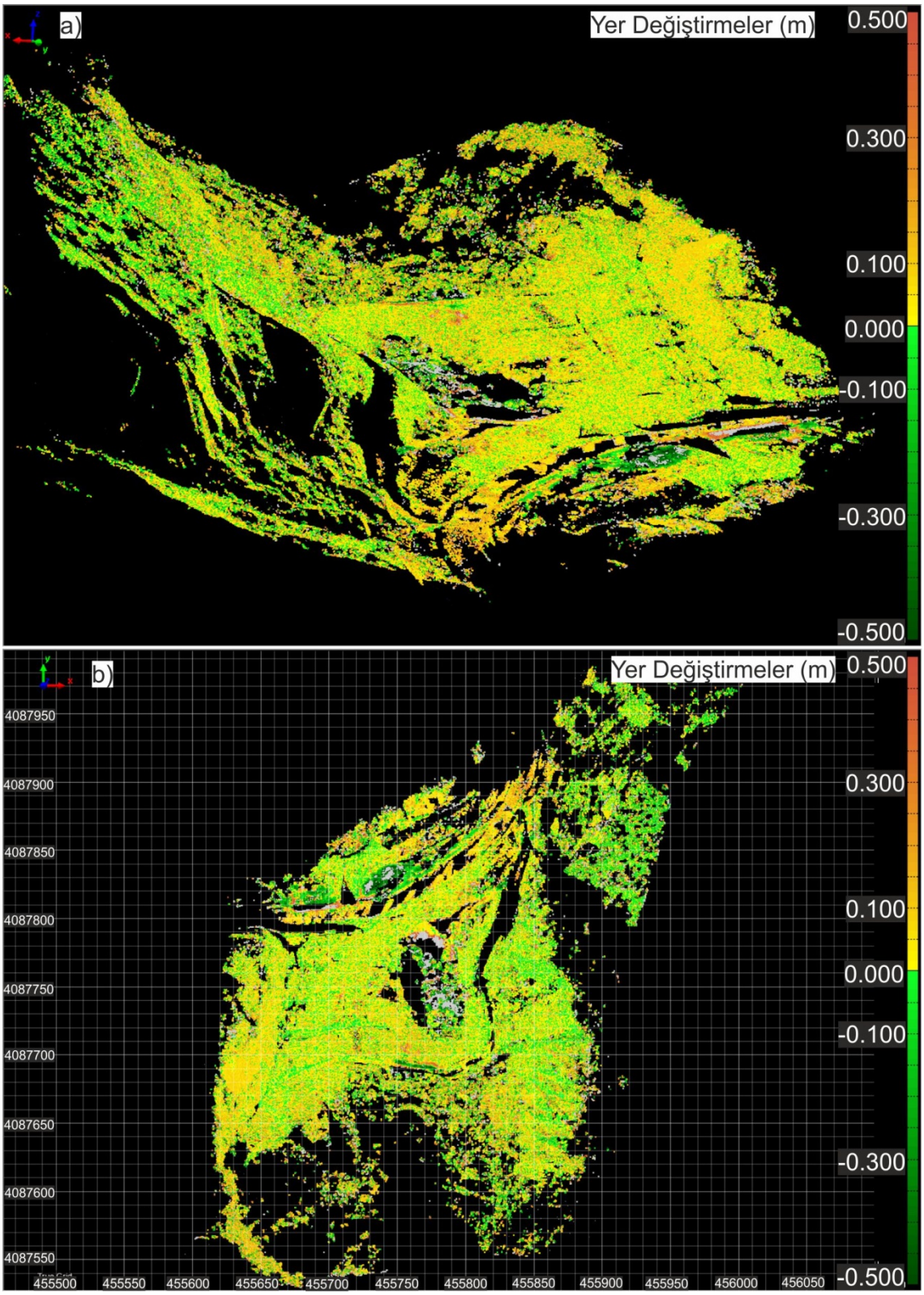
Şekil 5.13. Periyot 1-2 Noktasal en yakın mesafeye göre iki farklı periyoda ait lazer tarama verilerinin analizi –(a) perspektif görünüm (b) ortogonal Görünüm



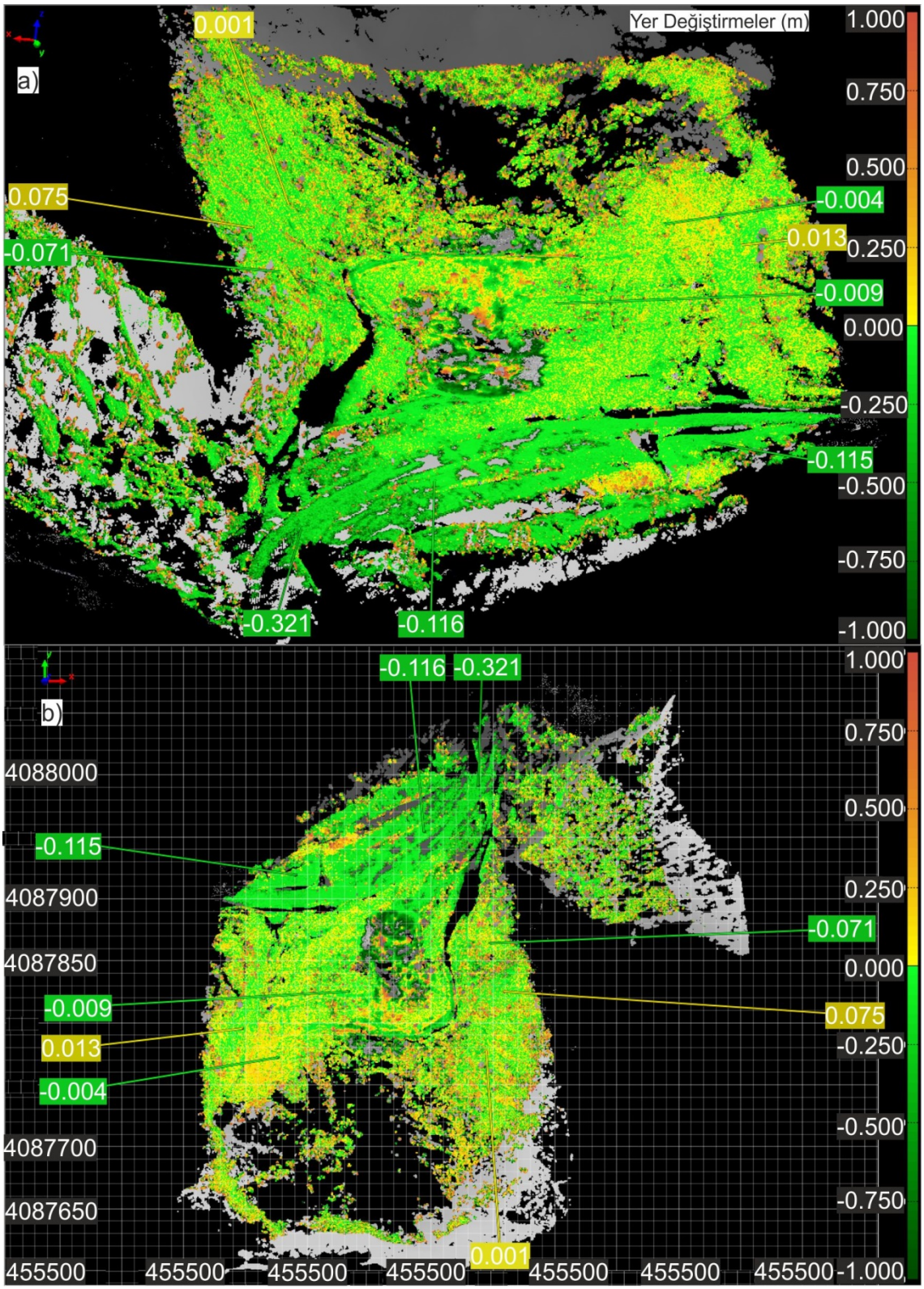
Şekil 5.14. Periyot 2-3 Noktasal en yakın mesafeye göre iki farklı periyoda ait lazer tarama verilerinin analizi (a) perspektif görünüm (b) ortogonal Görünüm



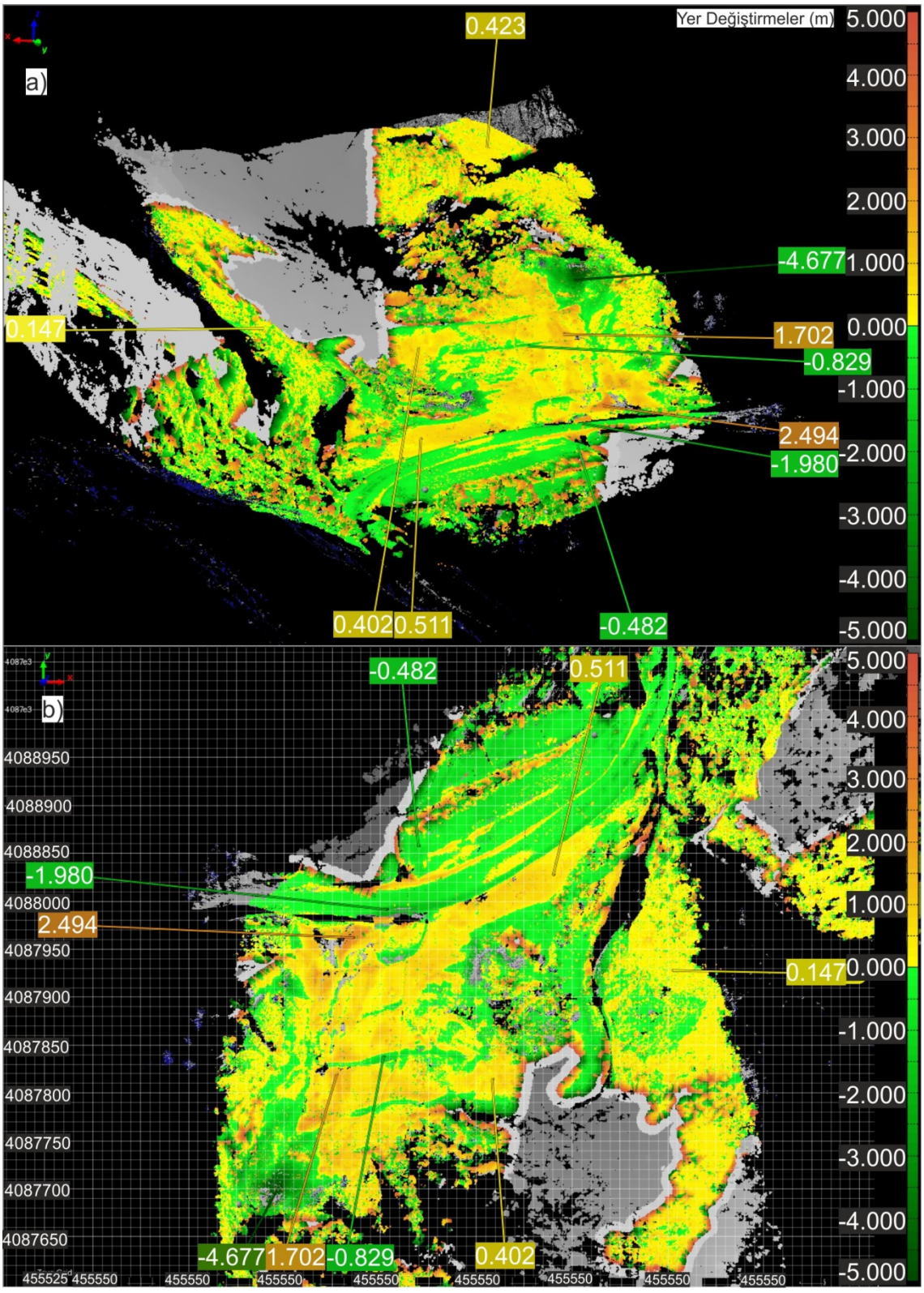
Şekil 5.15. Periyot 3-4 Noktasal en yakın mesafeye göre iki farklı periyoda ait lazer tarama verilerinin analizi a) perspektif görünüm b) ortogonal görünüm



Şekil 5.16. Periyot 4-5 Noktasal en yakın mesafeye göre iki farklı periyoda ait lazer tarama verilerinin analizi a) perspektif görünüm b) ortogonal görünüm



Şekil 5.17. Periyot 5-6 Noktasal en yakın mesafeye göre iki farklı periyoda ait lazer tarama verilerinin analizi a) perspektif görünüm b) ortogonal görünüm



Şekil 5.18. Periyot 1-6 Noktasal en yakın mesafeye göre iki farklı periyoda ait lazer tarama verilerinin analizi a) perspektif görünüm b) ortogonal görünüm

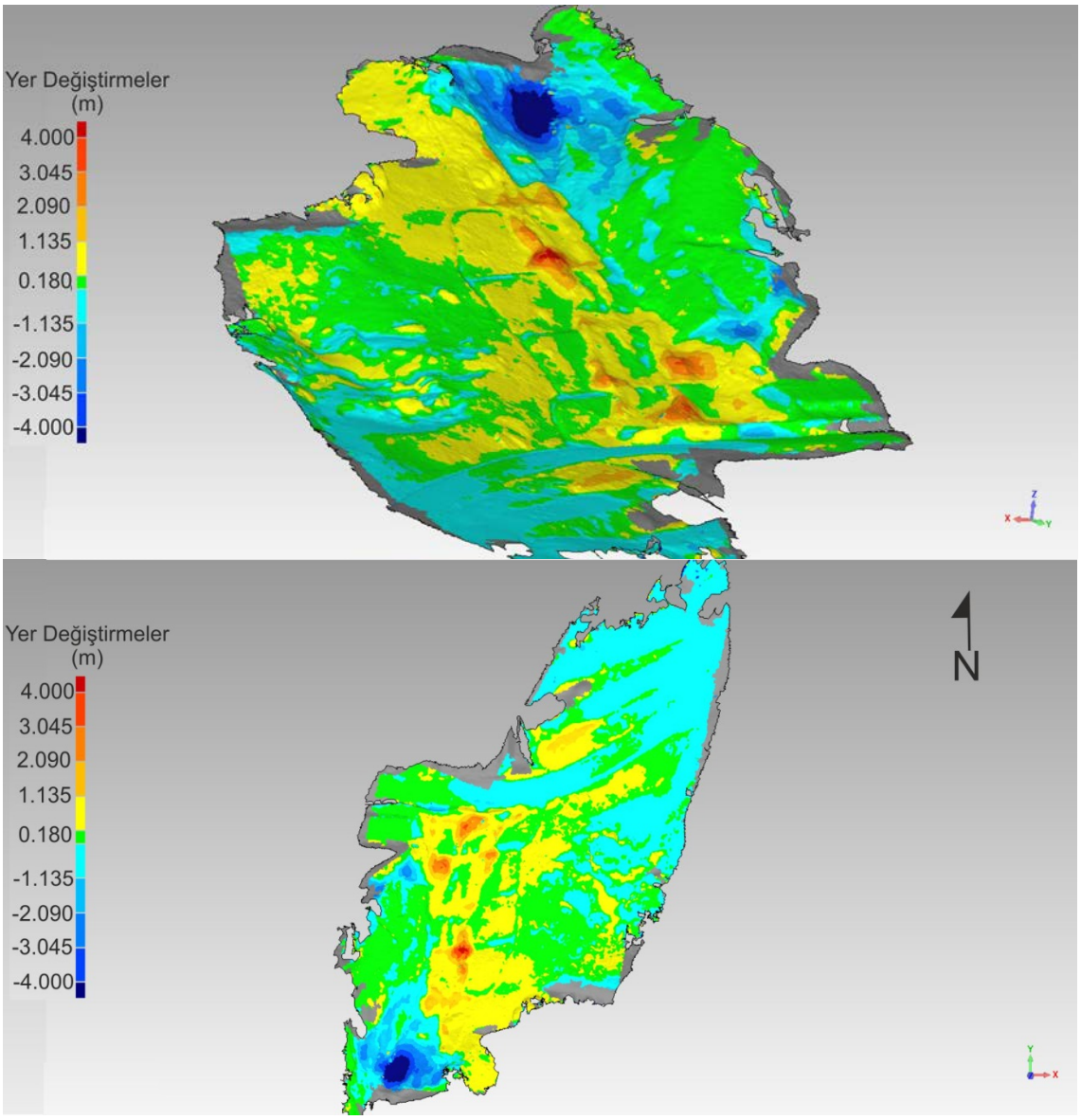
Bu görüntüde noktalar arasındaki çökme ve kabarma değerleri farklı renk skalalarıyla gösterilmiştir. Bu şekillerin incelenmesinden de görüleceği üzere incelenen

alanda 4 m'ye varan çökme ve kabarmaların oluştuğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak noktadan-noktaya karşılaştırma yönteminin heyelan bölgelerindeki çökme ve kabarma bölgelerinin belirlenmesinde efektif bir şekilde kullanılabileceği söylenebilir. Tespit edilen bu durum detayları aşağıda verilecek olan diğer karşılaştırma yöntemleriyle de uyum içerisindedir. Noktadan noktaya karşılaştırmalarda karşılaştırılacak olan alanlarda noktasal verilerin bulunması zorunluluğu vardır. Veri bulunmayan noktaların karşılaştırılması bu yöntemle mümkün olmamaktadır. Bu durumu ortadan kaldırmak için nokta bulutu verilerinden yararlanılarak arazinin sayısal arazi modeli oluşturulmuştur. Bunun yanında gölgeli kabartma haritalarının üretilmesiyle arazi yüzeyindeki değişimler daha iyi görülebilmektedir.

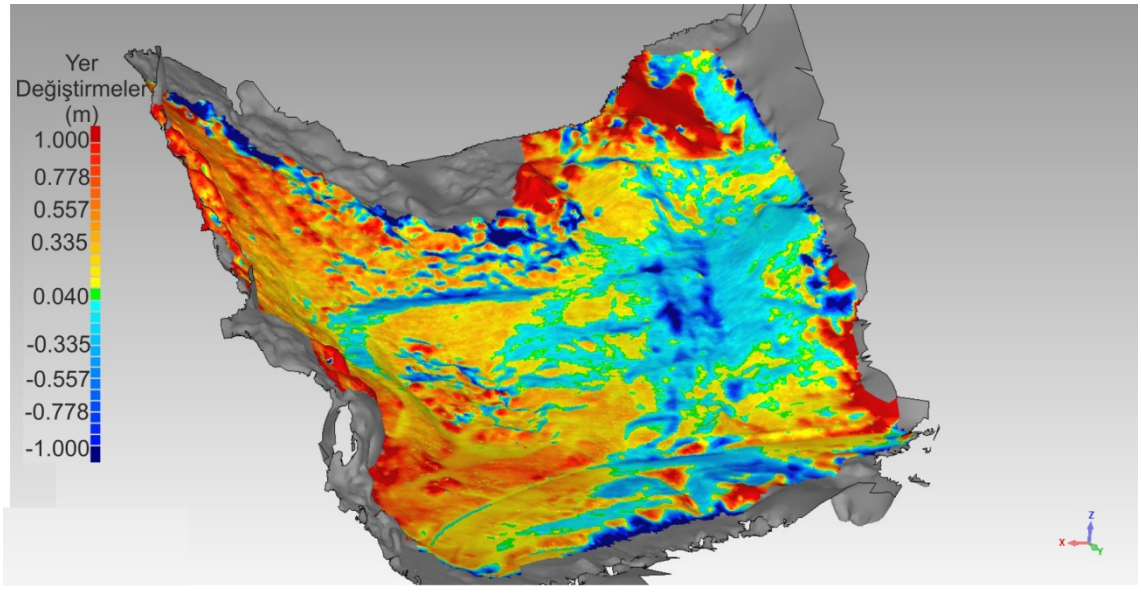
5.2.2. Üç Boyutlu (3B) Modellerin ve Kesitlerin Karşılaştırılması

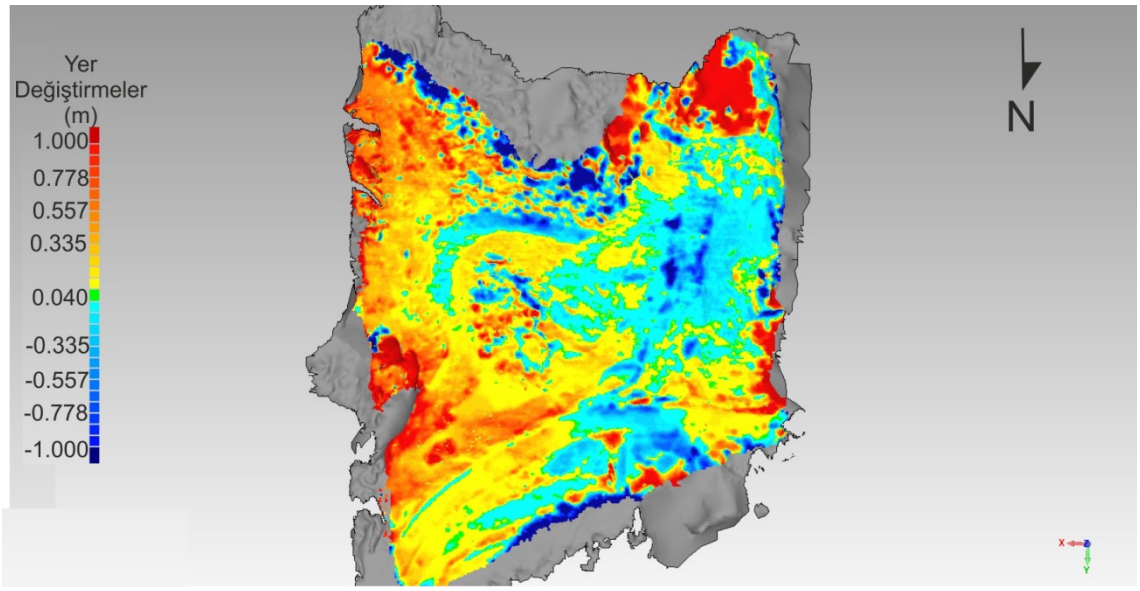
Uygun bir arazi modelinin elde edilebilmesi için grid aralığı (< 0.5m) düşük seçilmiştir. Farklı periyotlara ait sayısal arazi modellerinin karşılaştırılmasıyla da heyelan alanındaki hareketler izlenmiştir. Bu yönteme göre yaklaşık 4 m'ye varan çökmeler ve 4 m'ye varan kabarma bölgeleri olduğu tespit edilmiştir. Yine arazinin genelinde kabarma ve çökmelerin çoğunlukla ±1.10 m değerler arasında olduğu görülmektedir.

Günümüz teknolojisi sayısal arazi modelleri arasında 3B karşılaştırma yapmaya imkân sağlamaktadır. Heyelan sahasından iki farklı zamanda alınan verilerle oluşturulan sayısal arazi modellerinin karşılaştırılması sonucunda heyelan alanının 3B ' lu yer değiştirme modeli elde edilmiştir. Bu modelin incelenmesi ile heyelan alanında çökme, kabarma ve yer değiştirme alanları belirlenmiştir. 3B karşılaştırma sonucunda arazide en fazla 4 m civarında çökme ve kabarmaların meydana geldiği genel olarak ise 0 m-1.35 m arasında olduğu belirlenmiştir. Karşılaştırma değerlerinde kırmızı ve mavi renk skalasına göre vektörlerle renklendirilmiştir. Periyotlar arasında eşleşmeyen veya veri olmayan bölgeler gri ile renklendirilmiştir (Şekil 5.19-Şekil 5.24).

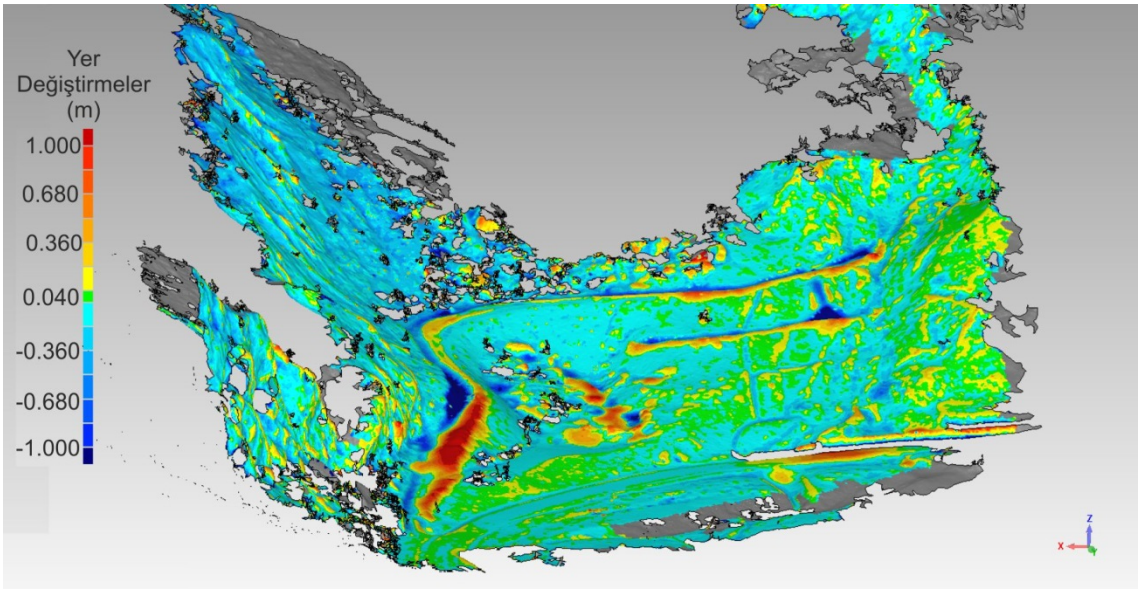


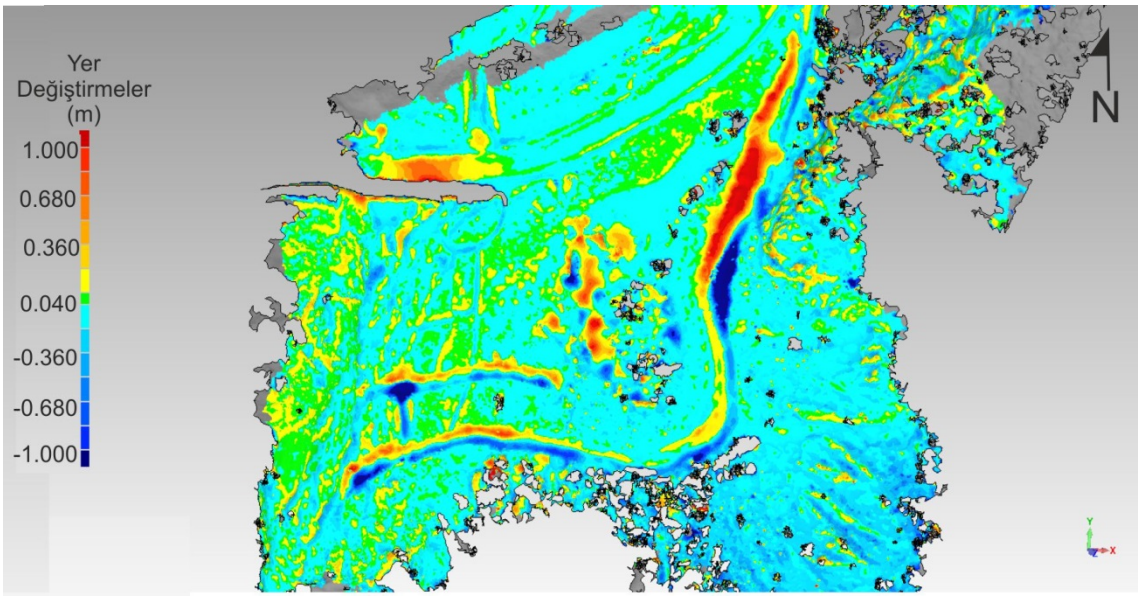
Şekil 5.19. Periyot 1-2 üçgen modellere ait 3B'lu sapma miktarları-heyelan hareketlerinin miktarı



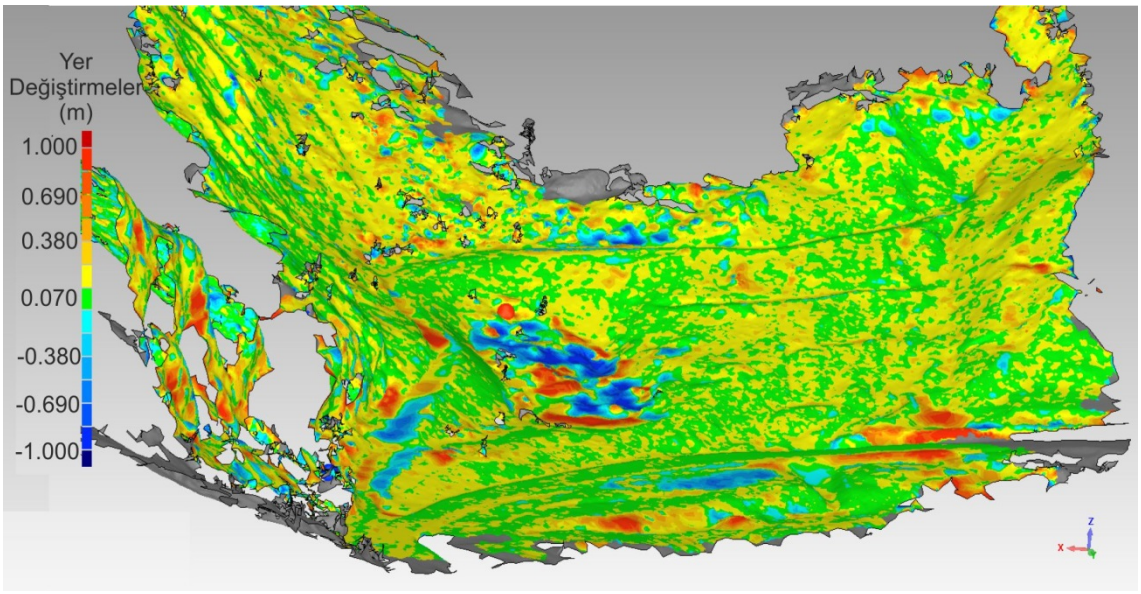


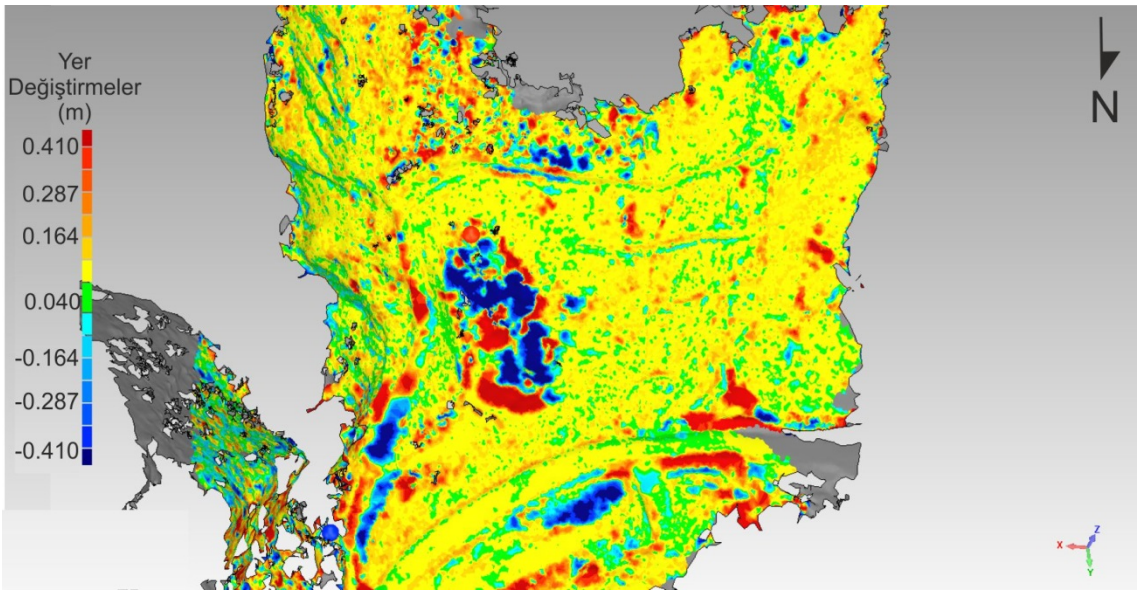
Şekil 5.20. Periyot 2-3 Üçgen modellere ait 3B'lu sapma miktarları-heyelan hareketlerinin miktarı



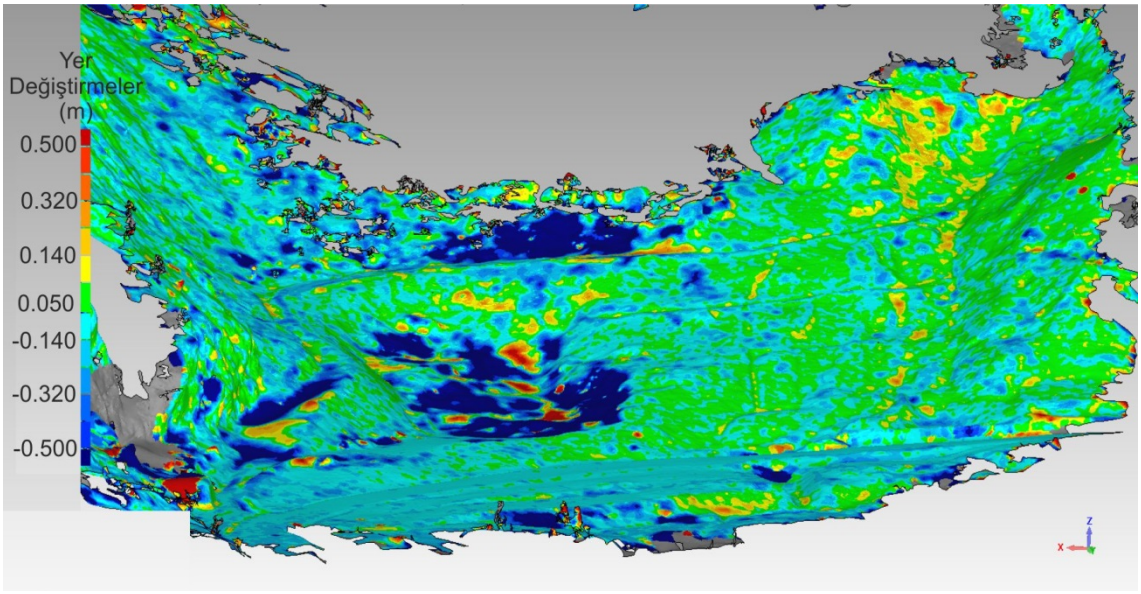


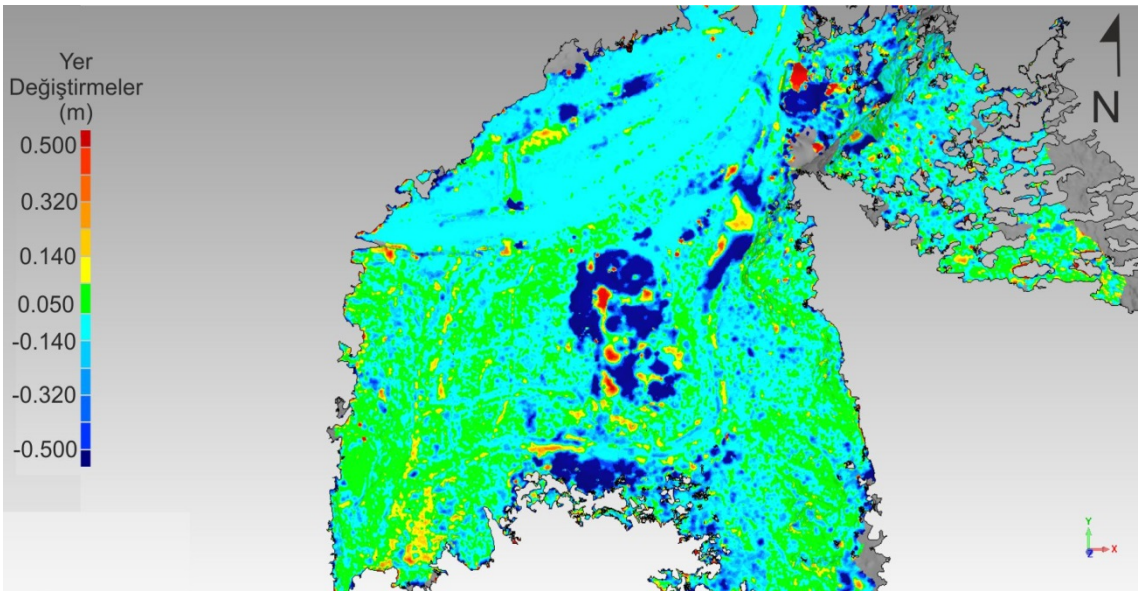
Şekil 5.21. Periyot 3-4 üçgen modellere ait 3B'lu sapma miktarları-heyelan hareketlerinin miktarı



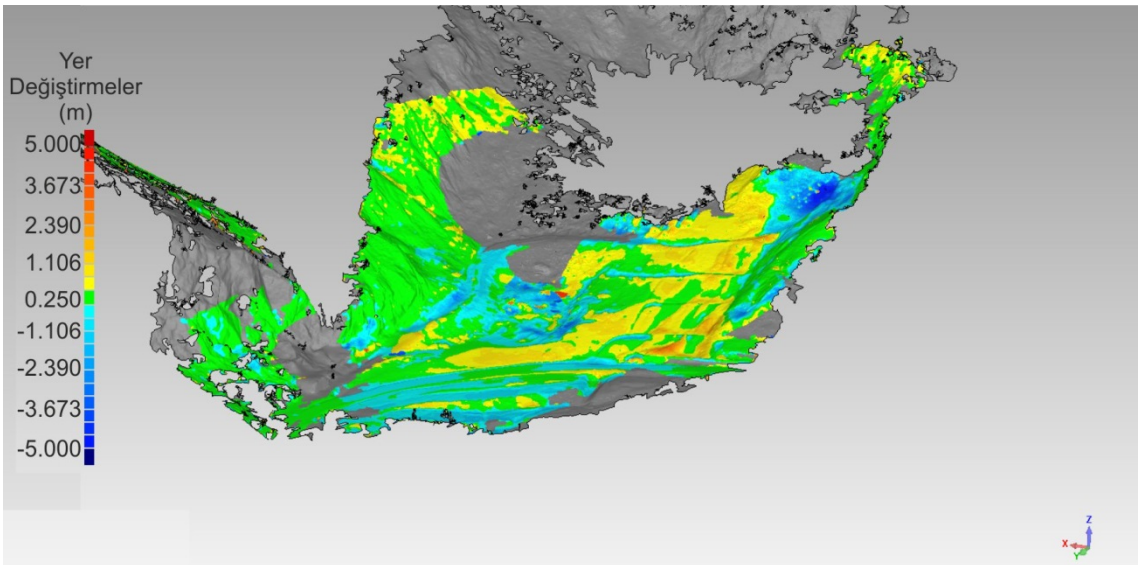


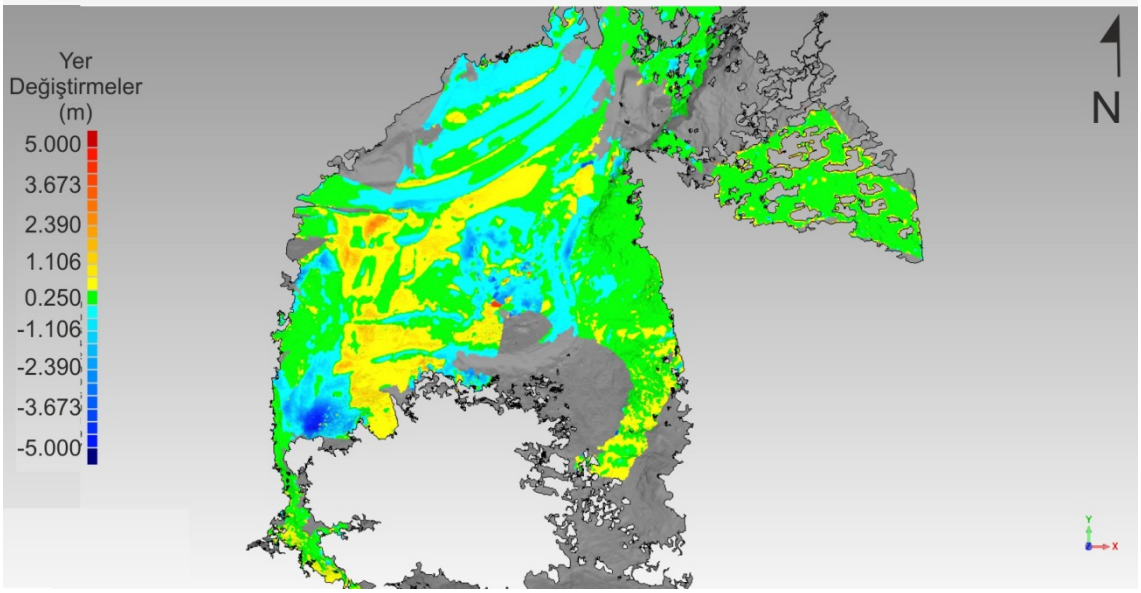
Şekil 5.22. Periyot 4-5 üçgen modellere ait 3B'lu sapma miktarları-heyelan hareketlerinin miktarı





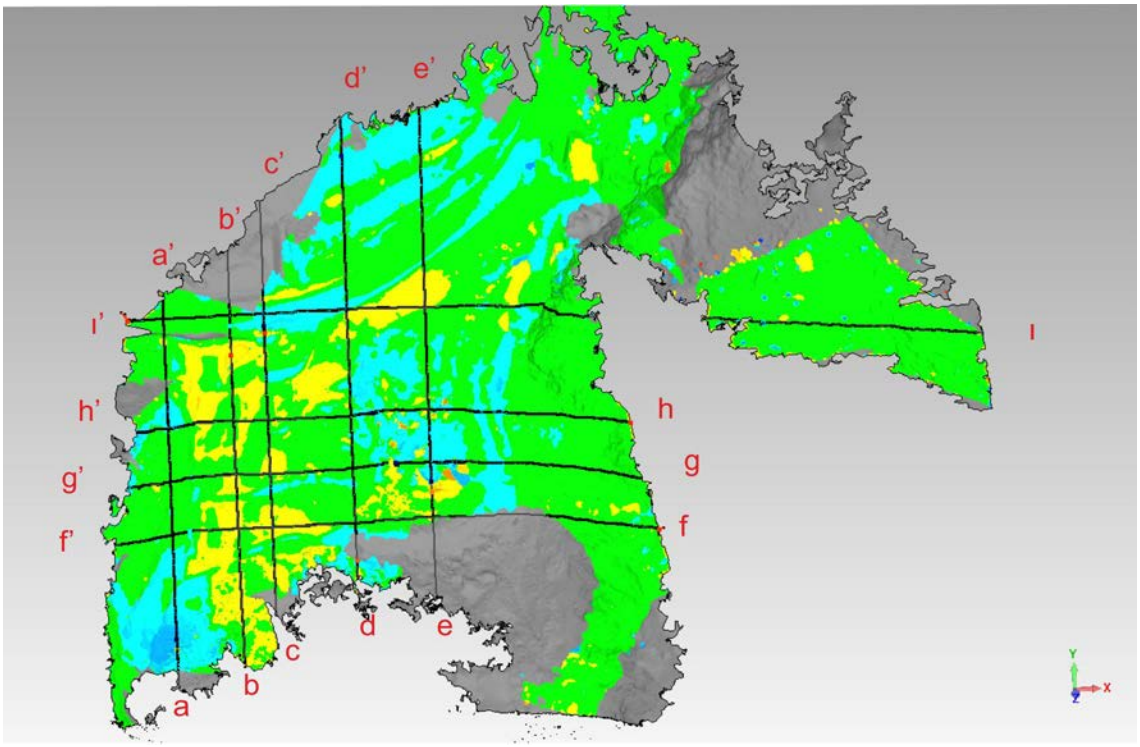
Şekil 5.23. Periyot 5-6 üçgen modellere ait 3B'lu sapma miktarları-heyelan hareketlerinin miktarı



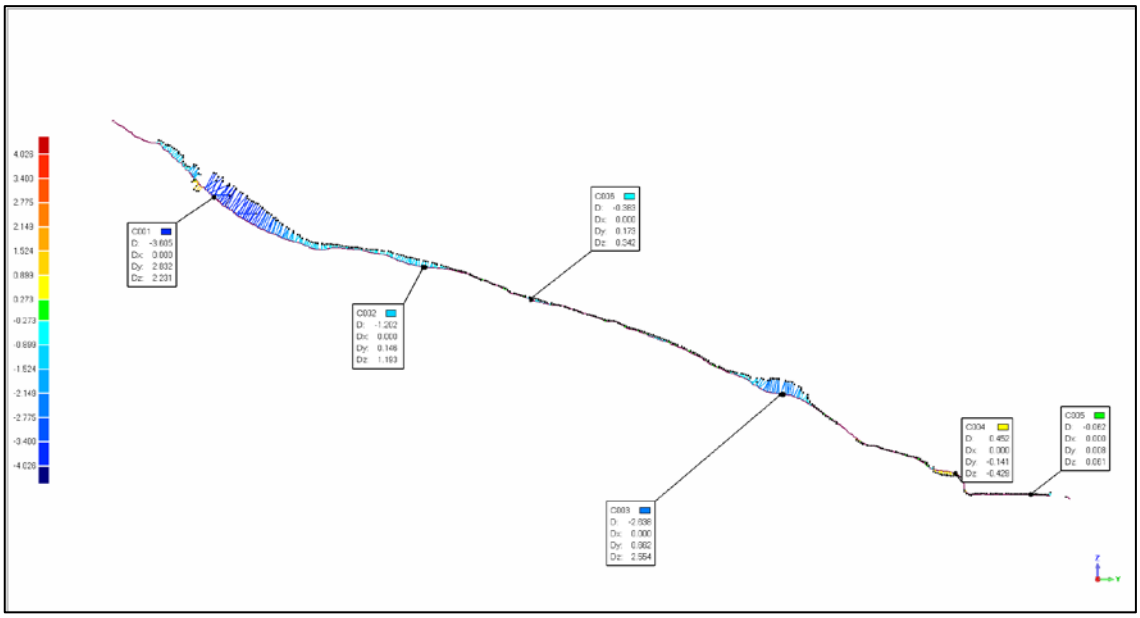


Şekil 5.24. Periyot 1-6 Üçgen Modellere ait 3B'lu Sapma miktarları-Heyelan hareketlerinin miktarı

Heyelanın belirlenmesi için yapılan diğer bir karşılaştırma yöntemi ise 3B'lu model karşılaştırması üzerinden bölgede alınan kesitlerin karşılaştırılmasıdır. Bu kesitlerin yerleri şekillerde gösterilmiştir. Bu kesitler sayesinde referans yüzey (ilk periyotta elde edilen yüzey) ile test yüzeyi (sonraki periyotta elde edilen yüzey) arasında ilgili noktaya ait yer değiştirme bilgileri sağlanabilmektedir. Kesit yöntemi ile hareketlerin yönü belirlenmiştir. Bununla birlikte profil kesitteki DTM'ler arasındaki fark heyelan miktarını göstermektedir. Kesitlerdeki sapma vektörlerinin büyüklüklerine göre renkli gösterimi değerlendirmeyi kolaylaştırmıştır. Kesit üzerinde istenilen herhangi bir noktaya ait sapma değeri belirlenebilmektedir. İlk ve son periyot sonucunda elde edilen üçgen modeller üzerinden 2B kesit analizi yapılmıştır (Şekil 5.25).

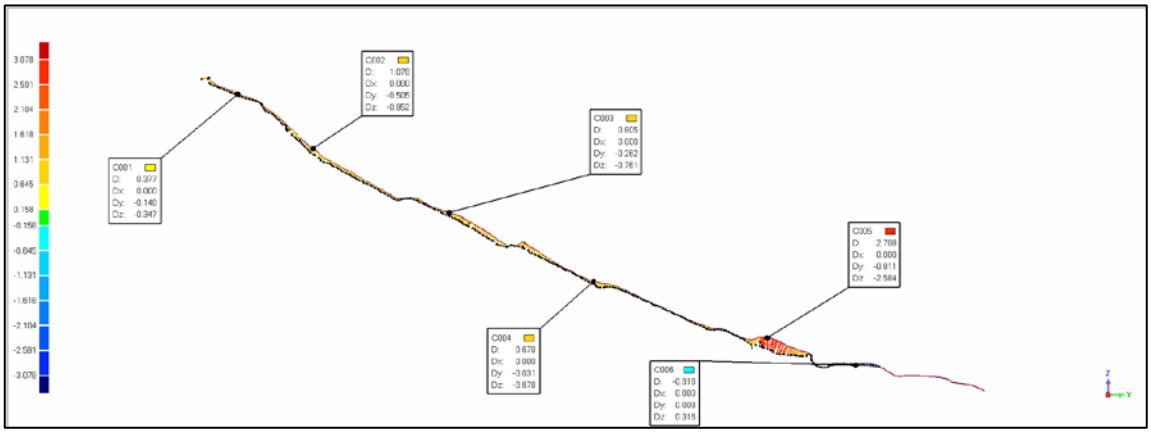


Şekil 5.25. 2B'lu kesit analizleri için kesitlerin yerleri a) X = 455650.00 m değerlerdeki kesit b) X=455683.00 m değerlerindeki kesit c) X=455700.00 m değerlerindeki kesit d) X=455741.00 m değerlerindeki kesit e) X= 455780.00 m değerlerindeki kesit f) Y=4087700.00 m değerlerindeki kesit g) Y=4087725.00 m değerlerindeki kesit h) Y=4087750.00 m değerlerindeki kesit ı) Y= 4087800.00 m değerlerindeki kesit



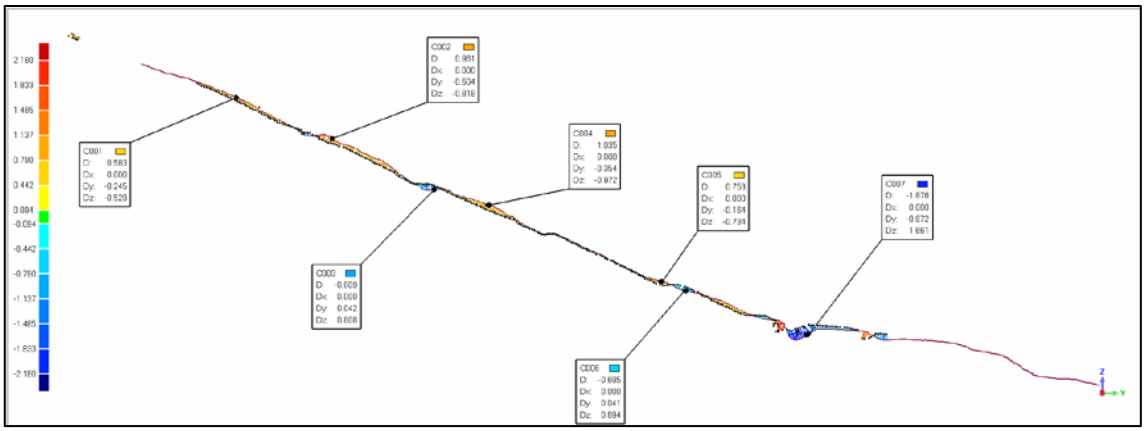
Adı	Sapma	Ref X	Ref Y	Ref Z		Dev X	Dev Y	Dev Z	Test X	Test Y	Test Z
C001	-3.605	455650.000	4087648.269	1513.066		0.000	2.832	2.231	455650.000	4087651.101	1515.297
C002	-1.202	455650.000	4087688.642	1499.638		0.000	0.146	1.193	455650.000	4087688.788	1500.831
C003	-2.638	455650.000	4087757.580	1475.180		0.000	0.662	2.554	455650.000	4087758.242	1477.734
C004	0.452	455650.000	4087790.969	1459.973		0.000	-0.141	-0.429	455650.000	4087790.827	1459.544
C005	-0.062	455650.000	4087805.373	1455.913		0.000	0.008	0.061	455650.000	4087805.382	1455.974
C006	-0.383	455650.000	4087709.117	1493.403		0.000	0.173	0.342	455650.000	4087709.289	1493.744

Şekil 5.26. a-a' kesitindeki çökme ve kabarma miktarları ITRF koordinat sistemindedir (Birim: m).



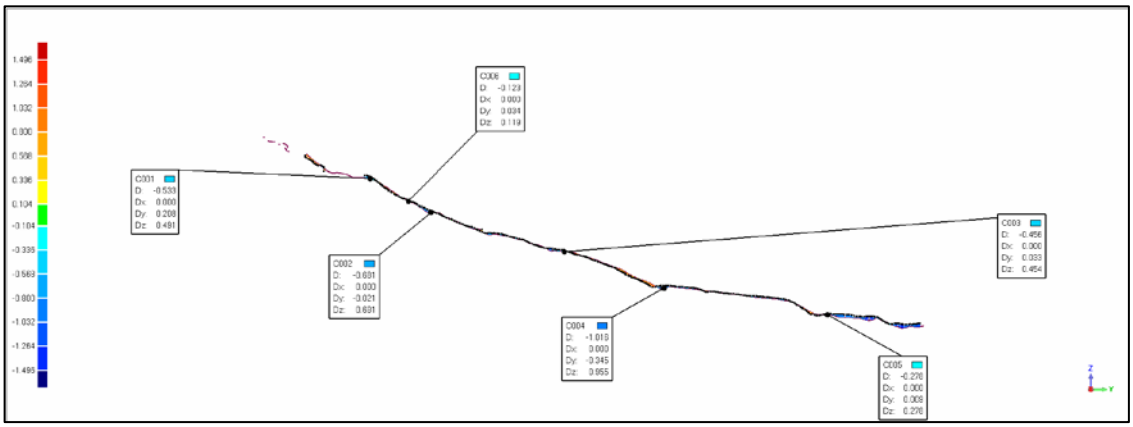
Adı	Sapma	Ref X	Ref Y	Ref Z	Dev	Dev X	Dev Y	Dev Z	Test X	Test Y	Test Z
C001	0.377	455683.000	4087646.953	1519.449		0.000	-0.148	-0.347	455683.000	4087646.805	1519.102
C002	1.078	455683.000	4087665.569	1505.983		0.000	-0.505	-0.952	455683.000	4087665.064	1505.031
C003	0.805	455683.000	4087699.155	1490.224		0.000	-0.262	-0.761	455683.000	4087698.892	1489.464
C004	0.678	455683.000	4087734.855	1473.323		0.000	-0.031	-0.678	455683.000	4087734.824	1472.645
C005	2.708	455683.000	4087777.748	1459.453		0.000	-0.811	-2.584	455683.000	4087776.937	1456.870
C006	-0.316	455683.000	4087799.569	1452.687		0.000	0.008	0.316	455683.000	4087799.577	1453.002

Şekil 5.27. b-b' kesiti X = 455683.00 m değerlerdeki çökme ve kabarma miktarları ITRF koordinat sistemindedir.



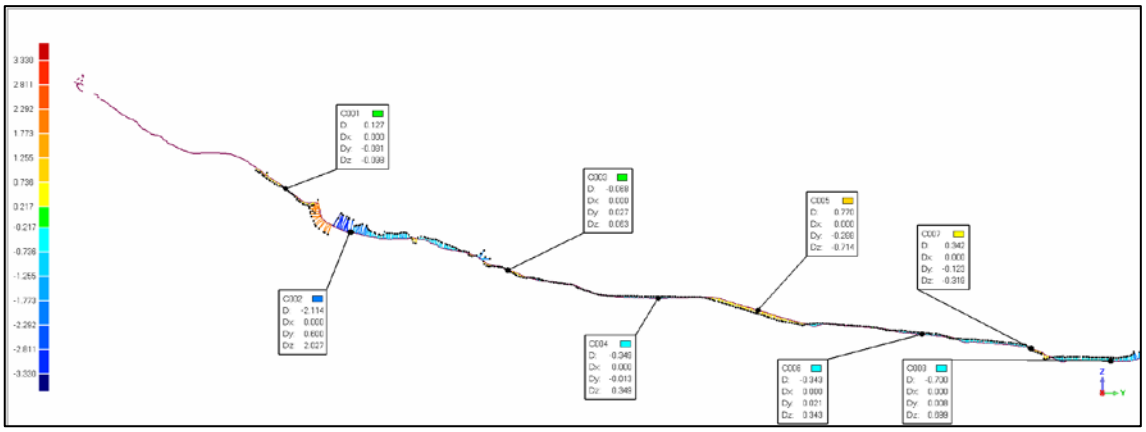
Adı	Sapma	Ref X	Ref Y	Ref Z		Dev X	Dev Y	Dev Z	Test X	Test Y	Test Z
C001	0.583	455700.000	4087677.921	1498.501		0.000	-0.245	-0.529	455700.000	4087677.677	1497.972
C002	0.961	455700.000	4087697.522	1490.041		0.000	-0.504	-0.818	455700.000	4087697.018	1489.223
C003	-0.809	455700.000	4087718.502	1479.611		0.000	0.042	0.808	455700.000	4087718.544	1480.419
C004	1.035	455700.000	4087729.866	1476.427		0.000	-0.354	-0.972	455700.000	4087729.511	1475.454
C005	0.753	455700.000	4087765.116	1460.802		0.000	-0.164	-0.734	455700.000	4087764.952	1460.067
C006	-0.695	455700.000	4087770.133	1458.896		0.000	0.041	0.694	455700.000	4087770.174	1459.590
C007	-1.876	455700.000	4087795.116	1449.909		0.000	-0.872	1.661	455700.000	4087794.244	1451.570

Şekil 5.28. c-c' kesitindeki çökme ve kabarma miktarları ITRF koordinat sistemindedir (Birim: m).



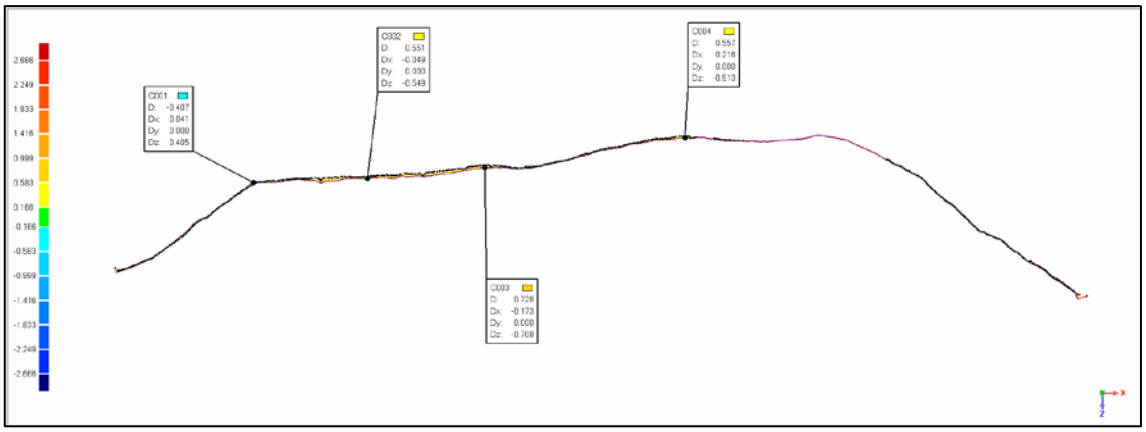
Adı	Sapma	Ref X	Ref Y	Ref Z		Dev X	Dev Y	Dev Z	Test X	Test Y	Test Z
C001	-0.533	455741.191	4087697.426	1486.562		0.000	0.208	0.491	455741.191	4087697.635	1487.053
C002	-0.681	455741.191	4087718.856	1474.482		0.000	-0.021	0.681	455741.191	4087718.835	1475.162
C003	-0.456	455741.191	4087766.627	1460.523		0.000	0.033	0.454	455741.191	4087766.660	1460.977
C004	-1.016	455741.191	4087801.939	1447.616		0.000	-0.345	0.955	455741.191	4087801.595	1448.571
C005	-0.278	455741.191	4087860.153	1438.147		0.000	0.009	0.278	455741.191	4087860.162	1438.425
C006	-0.123	455741.191	4087711.088	1478.493		0.000	0.034	0.119	455741.191	4087711.122	1478.612

Şekil 5.29. d-d' kesitindeki çökme ve kabarma miktarları ITRF koordinat sistemindedir (Birim: m).



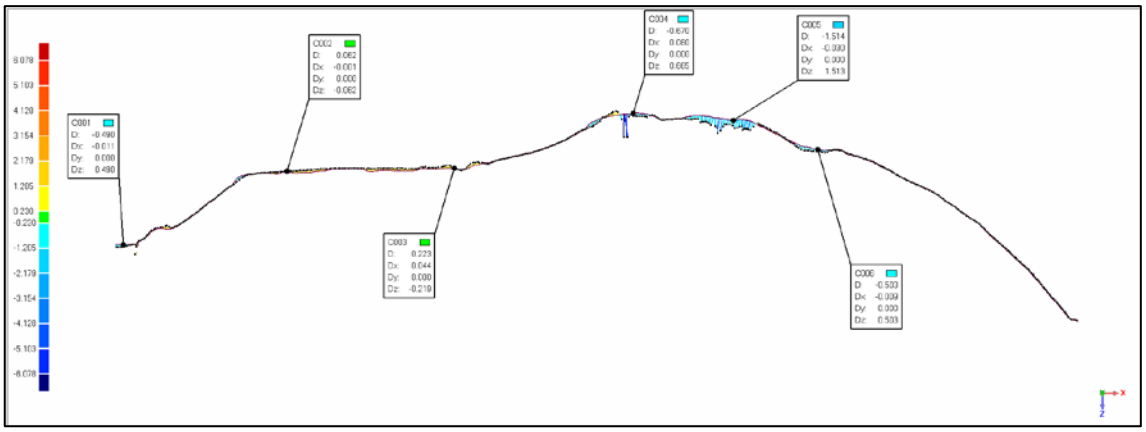
Adı	Sapma	Ref X	Ref Y	Ref Z		Dev X	Dev Y	Dev Z	Test X	Test Y	Test Z
C001	0.127	455780.000	4087704.520	1474.757		0.000	-0.081	-0.098	455780.000	4087704.440	1474.658
C002	-2.114	455780.000	4087719.135	1465.135		0.000	0.600	2.027	455780.000	4087719.735	1467.162
C003	-0.068	455780.000	4087753.945	1456.738		0.000	0.027	0.063	455780.000	4087753.971	1456.800
C004	-0.349	455780.000	4087787.345	1450.507		0.000	-0.013	0.349	455780.000	4087787.332	1450.855
C005	0.770	455780.000	4087809.621	1447.808		0.000	-0.288	-0.714	455780.000	4087809.332	1447.094
C006	-0.343	455780.000	4087846.021	1442.518		0.000	0.021	0.343	455780.000	4087846.042	1442.861
C007	0.342	455780.000	4087870.115	1439.395		0.000	-0.123	-0.319	455780.000	4087869.992	1439.077
C008	-0.700	455780.000	4087887.856	1436.606		0.000	0.008	0.699	455780.000	4087887.863	1437.306

Şekil 5.30. e-e' kesitindeki çökme ve kabarma miktarları ITRF koordinat sistemindedir (Birim: m).



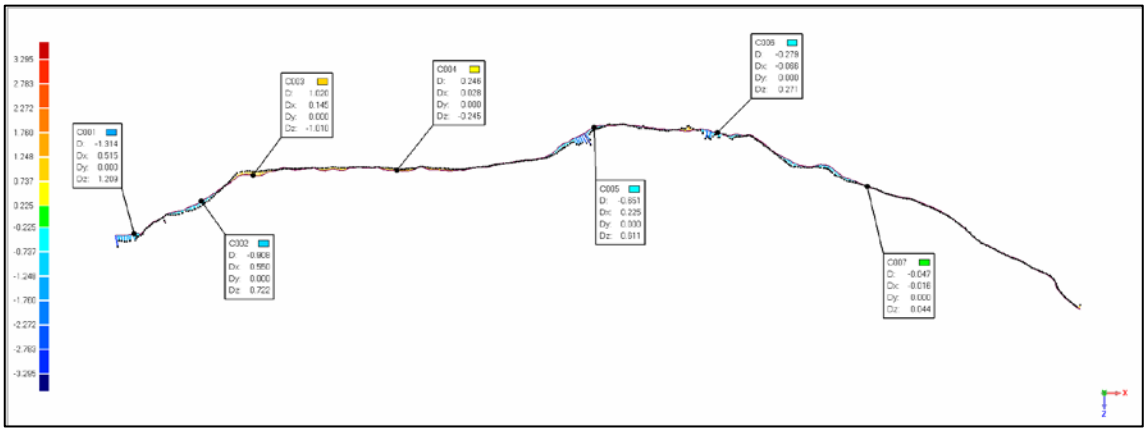
Adı	Sapma	Ref X	Ref Y	Ref Z		Dev X	Dev Y	Dev Z	Test X	Test Y	Test Z
C001	-0.407	455659.285	4087700.000	1490.470		0.041	0.000	0.405	455659.325	4087700.000	1490.875
C002	0.551	455691.199	4087700.000	1489.299		-0.049	0.000	-0.549	455691.150	4087700.000	1488.750
C003	0.728	455723.850	4087700.000	1486.322		-0.173	0.000	-0.708	455723.677	4087700.000	1485.615
C004	0.557	455779.915	4087700.000	1478.001		0.216	0.000	-0.513	455780.131	4087700.000	1477.488

Şekil 5.31. f-f' kesitindeki çökme ve kabarma miktarları ITRF koordinat sistemindedir (Birim: m).



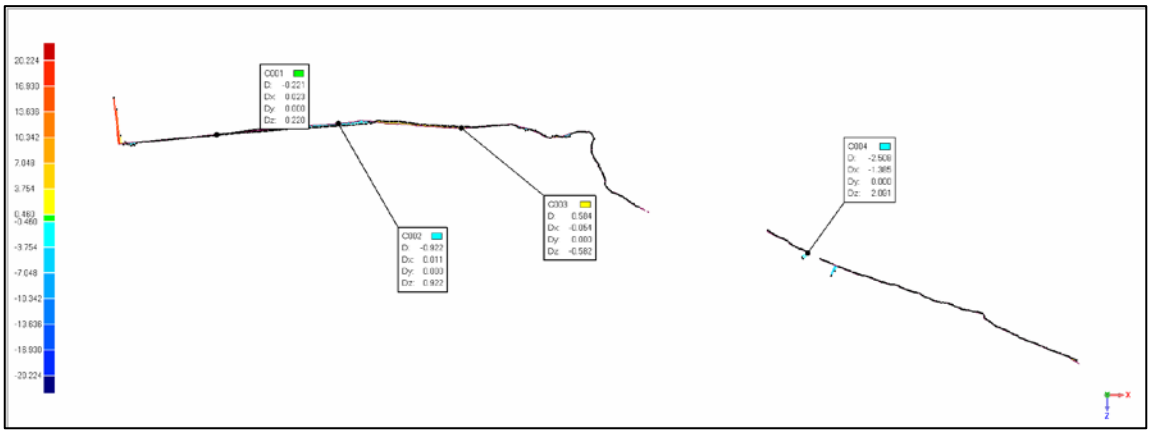
Adı	Sapma	Ref X	Ref Y	Ref Z		Dev X	Dev Y	Dev Z	Test X	Test Y	Test Z
C001	-0.490	455630.928	4087725.000	1497.628		-0.011	0.000	0.490	455630.917	4087725.000	1498.118
C002	0.062	455674.005	4087725.000	1478.304		-0.001	0.000	-0.062	455674.004	4087725.000	1478.242
C003	0.223	455718.089	4087725.000	1477.491		0.044	0.000	-0.219	455718.133	4087725.000	1477.273
C004	-0.670	455765.164	4087725.000	1463.109		0.080	0.000	0.665	455765.244	4087725.000	1463.774
C005	-1.514	455791.619	4087725.000	1464.899		-0.030	0.000	1.513	455791.589	4087725.000	1466.412
C006	-0.503	455813.860	4087725.000	1472.570		-0.009	0.000	0.503	455813.851	4087725.000	1473.073

Şekil 5.32. g-g' kesitindeki çökme ve kabarma miktarları ITRF koordinat sistemindedir (Birim: m).



Adı	Sapma	Ref X	Ref Y	Ref Z		Dev X	Dev Y	Dev Z	Test X	Test Y	Test Z
C001	-1.314	455638.586	4087750.000	1484.118		0.515	0.000	1.209	455639.101	4087750.000	1485.327
C002	-0.908	455655.589	4087750.000	1475.847		0.550	0.000	0.722	455656.139	4087750.000	1476.569
C003	1.020	455668.690	4087750.000	1469.382		0.145	0.000	-1.010	455668.835	4087750.000	1468.373
C004	0.246	455705.017	4087750.000	1468.096		0.028	0.000	-0.245	455705.046	4087750.000	1467.851
C005	-0.651	455755.004	4087750.000	1457.201		0.225	0.000	0.611	455755.229	4087750.000	1457.812
C006	-0.279	455786.133	4087750.000	1458.586		-0.066	0.000	0.271	455786.068	4087750.000	1458.857
C007	-0.047	455824.034	4087750.000	1472.160		-0.016	0.000	0.044	455824.018	4087750.000	1472.204

Şekil 5.33. h-h' kesitindeki çökme ve kabarma miktarları ITRF koordinat sistemindedir (Birim: m).



Adı	Sapma	Ref X	Ref Y	Ref Z		Dev X	Dev Y	Dev Z	Test X	Test Y	Test Z
C001	-0.221	455675.029	4087800.000	1453.483		0.023	0.000	0.220	455675.052	4087800.000	1453.703
C002	-0.922	455728.110	4087800.000	1448.682		0.011	0.000	0.922	455728.121	4087800.000	1449.604
C003	0.584	455781.656	4087800.000	1450.650		-0.054	0.000	-0.582	455781.602	4087800.000	1450.068
C004	-2.508	455932.815	4087800.000	1505.137		-1.385	0.000	2.091	455931.430	4087800.000	1507.229

Şekil 5.34. ı-ı' kesitindeki çökme ve kabarma miktarları ITRF koordinat sistemindedir (Birim: m).

Kesitlerde görüldüğü üzere heyelan alanının güneyinde (kopma bölgesinde) 3m'ye varan çökmeler, kuzeyinde ise (birikme bölgesinde) 2.20 m 'ye varan kabarmalar tespit edilmiştir. Bu durum genel olarak heyelan bölgelerinde gözlenen çökme ve kabarma oluşumlarıyla uyum içerisindedir.

Kesitlerde yer hareketleri detaylı olarak 2B'lu görülebilmektedir. 3B Model'de genel anlamda üst kısımlarda çökme ve alt bölgelerde birikme (Z ekseninde), orta kısımlarda kuzey doğrultusunda (Y ekseninde) hareketler gözlemlenmektedir.

5.2.3. Hacimsel Karşılaştırmalar

Yapılan diğer bir değerlendirme yöntemi de hacim hesaplamalarıdır. Çalışma bölgesindeki toprak yüzeyinde meydana gelen heyelan hareketleri, hacim hesaplamalarıyla da belirlenebilmektedir (Syahmi ve ark., 2011). Yapılan iki ölçüm arasında göze çarpan belirgin bir hacim değişikliği görülmektedir. Bu durum YLT'den elde edilen 3B modelde de görsel olarak fark edilmektedir. Fakat hacim miktarının nicel olarak belirlenmesi önemlidir (Tsakiri ve ark., 2006). Bu nedenle heyelan bölgesinde farklı periyotlardan arazi modelleri arasındaki hacim farkları hesaplanmıştır (Tablo 5.7).

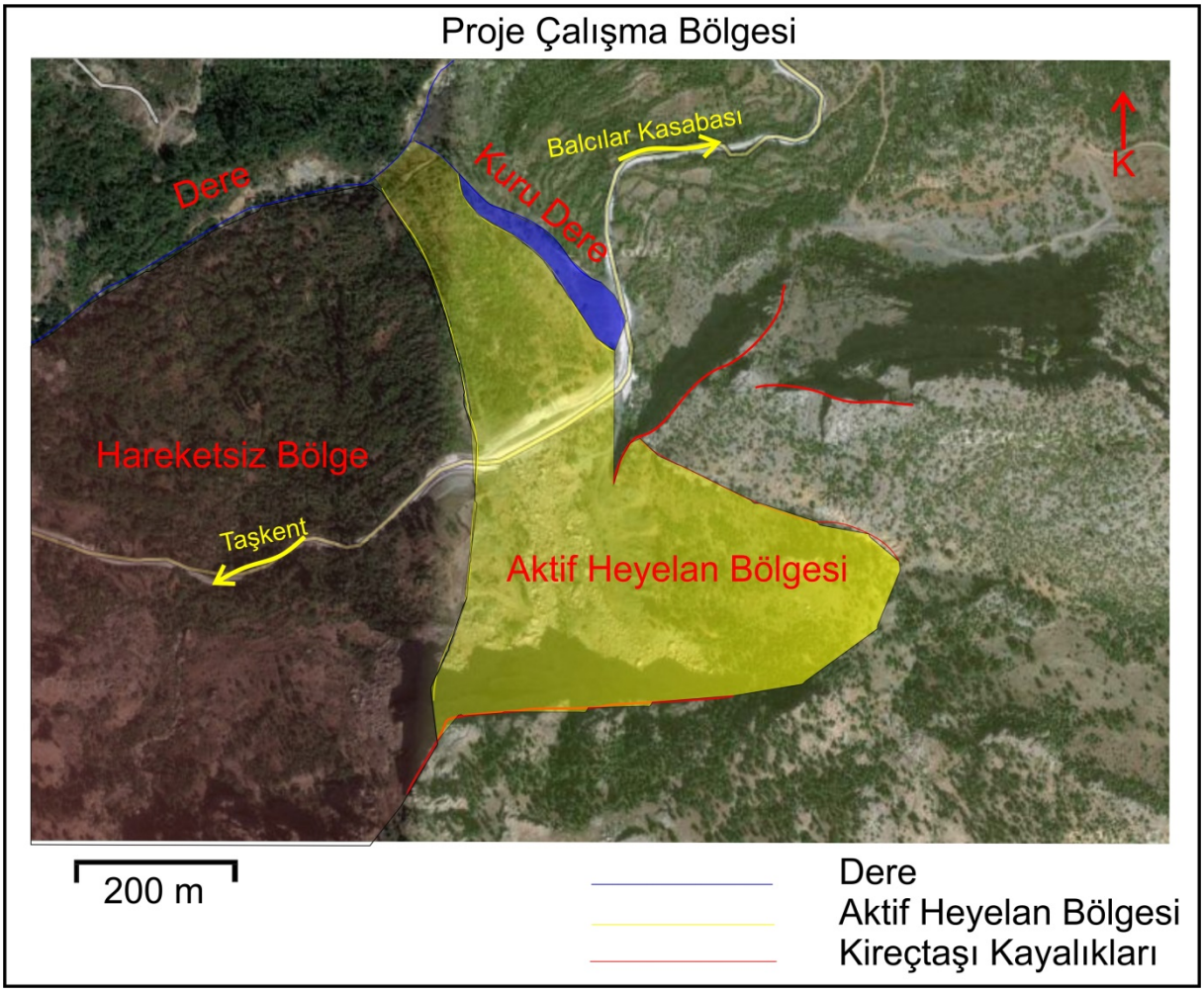
Tablo 5.7. Hacim Hesaplamaları ve Farkları

Periyot Karşılaştırma Numarası	Periyot Numarası	Hesaplanan Alan (m^2)	Hesaplama düzlemi	Hesaplanan Hacim (m^3)	Hacim Farkları (m^3)
1-2	1	31313,054	1420	1320964	56795
	2	33244,976	1420	1377759	
2-3	2	72940,576	1420	3551162	173205
	3	76906,102	1420	3724367	
3-4	3	52844,809	1420	2315162	-13214
	4	53797,512	1420	2301948	
4-5	4	64892,360	1420	2986720	31071
	5	64270,754	1420	3017791	
5-6	5	64668,788	1420	2727491	43086
	6	67774,420	1420	2770577	
1-6	1	29939,419	1420	1254627	48968
	6	31493,643	1420	1303595	

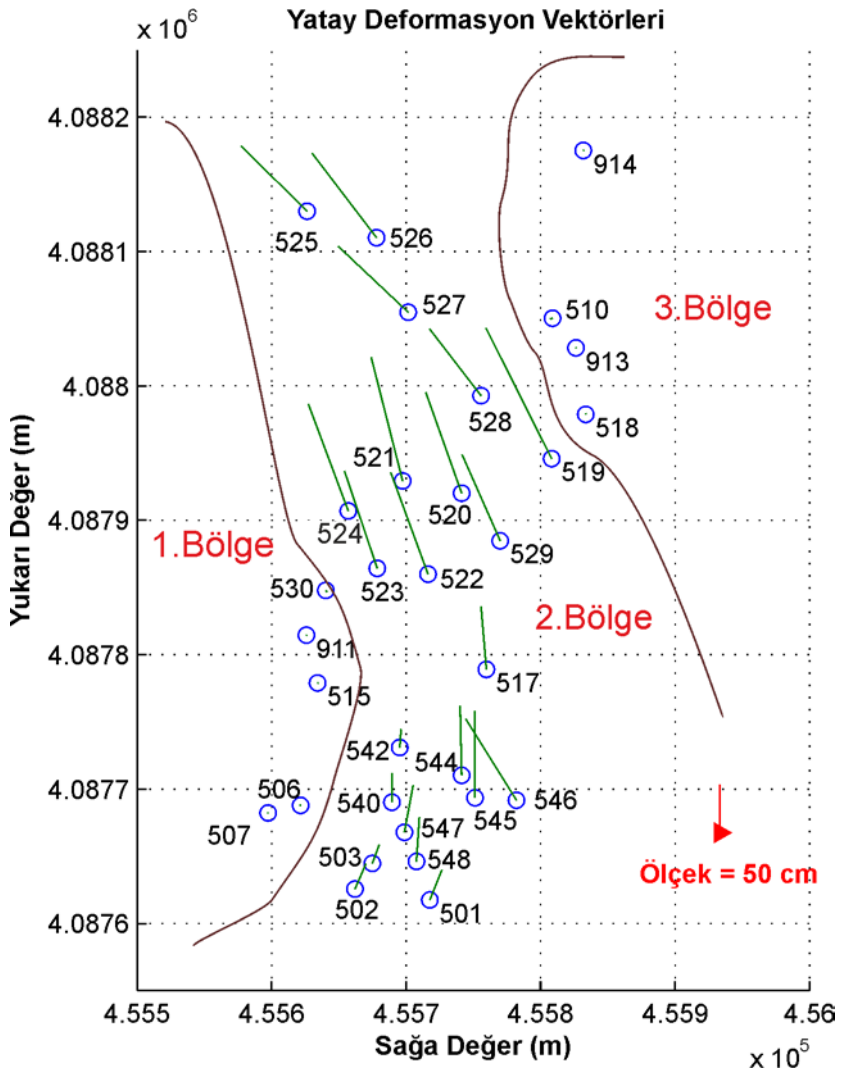
Tablo 5.7' de 3. ve 4. Periyotlar arasındaki hacim farkı negatiftir. Bunun sebebi çökme miktarının 4. Periyotta fazla olmasıdır. Heyelan bölgesinde hacim hesabı için seçilen alanının boyutları her periyotta farklılık göstermekle beraber ortalama X yönünde 220 m (455609-455829), Y yönünde 319 m (4087617-4087936) ve Z yönünde 107 m (1431-1538) 'dir. İlk periyotta elde edilen DTM'nin belirli bir düzlem üzerindeki hacmi hesaplanmıştır, daha sonra da aynı bölgeye ait ikinci periyotta elde edilen DTM'nin hacmi hesaplanmıştır. Hacimler arasındaki fark, heyelan bölgesindeki toplam hacim değişimini vermiştir. Hacim karşılaştırılması sonucunda elde edilen yer değiştirmelerin yüzey karşılaştırmalarından elde edilen değerlerle uyum içerisinde olduğu belirlenmiştir. Neredeyse altı aylık bir zamanda diliminde büyük deformasyonların meydana gelmesi, bu bölgenin yüksek derecede heyelan oluşumuna meyilli olduğunu ortaya çıkmaktadır.

Bu analizler sayesinde heyelan bölgesindeki yer değiştirmelerden kaynaklanan hacimsel değişimler ortaya çıkarılmıştır. Böylelikle yapılan tüm karşılaştırmaların ve analizlerin birbiriyle uyum içerisinde olduğu açıkça görülmektedir.

Bölgede oluşan dönel ve moloz akıntısı türlerinde heyelan oluşumu YLT teknikleri sayesinde hızlı biçimde belirlenmiştir. Proje değerlendirme aşaması sonucunda bölgenin aktif heyelan bölgesi Şekil 5.35'de gösterilmiştir. Şekil 5.36'de görüldüğü üzere gerek GNSS analizlerinde gerekse YLT analizlerinde çalışma sahası 3 bölgeye ayrılmakta,1.bölge aktif heyelan sahasının batısında yer alan deformasyon olmayan bölgedir, 2.bölge aktif heyelanın görüldüğü bölge, 3. Bölge ise aktif heyelanın doğusunda deformasyon olmayan bölgedir.



Şekil 5.35. Heyelanın etkilediği bölge

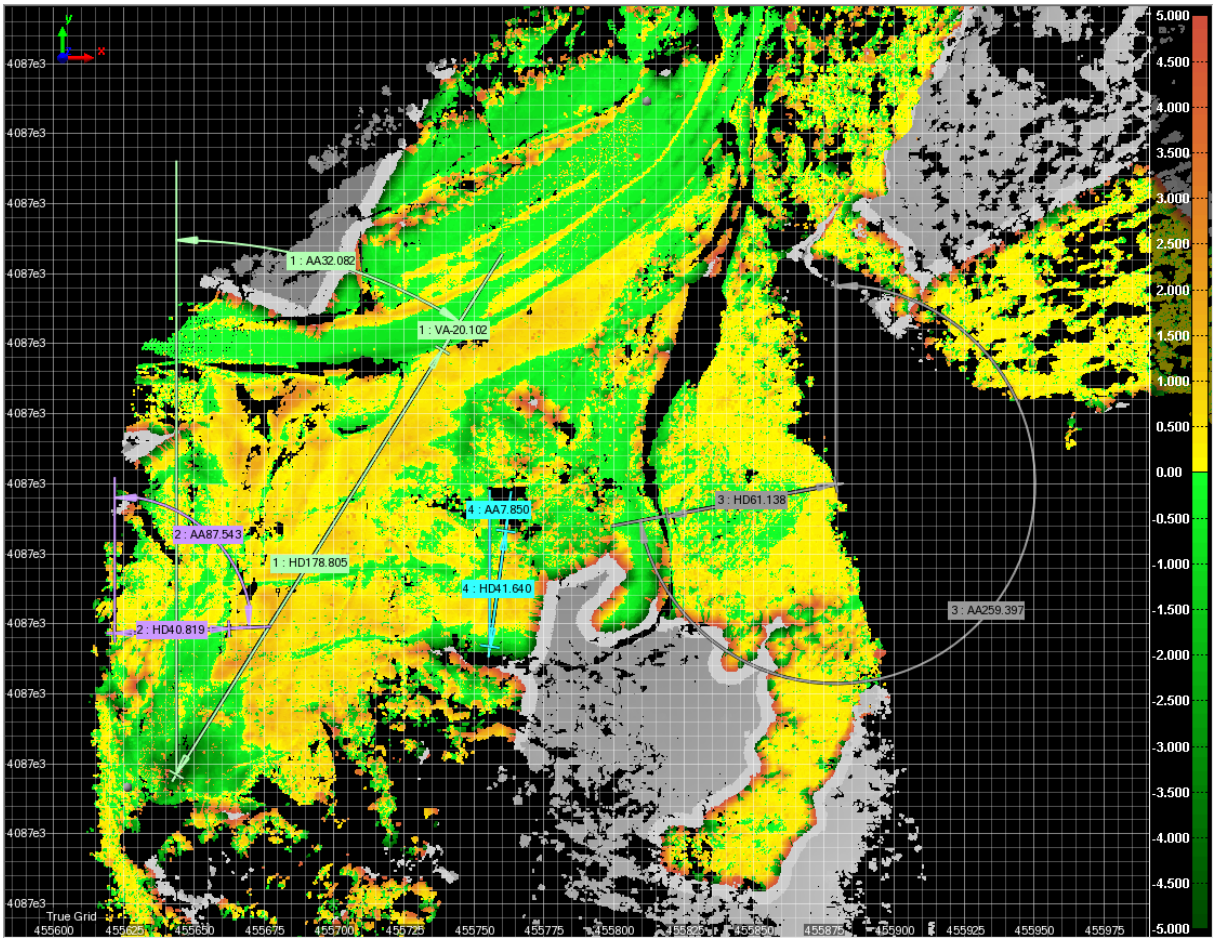


Şekil 5.36. Çalışma Sahasında Ortaya çıkan Bölgeler

Çalışma sahasında yapılan analizler sonucunda noktaların kaymaları büyük bir oranda eğime bağlı olduğu Tablo 5.8- Şekil 5.37'te görülmektedir. Burada özellikle birinci bölgede bulunan 506-507 noktaları yüksek eğimde olmasına rağmen jeolojik olarak sağlam kayaçlarda olduğundan bütün periyotlarda hareket göstermemiştir. Heyelan bölgesinin güney yamacı ve doğu yamacına bakıldığında gerek GNSS analizleri gerekse YLT analizlerinde kaymalar bu yüksek eğimlerde tespit edilmiştir.

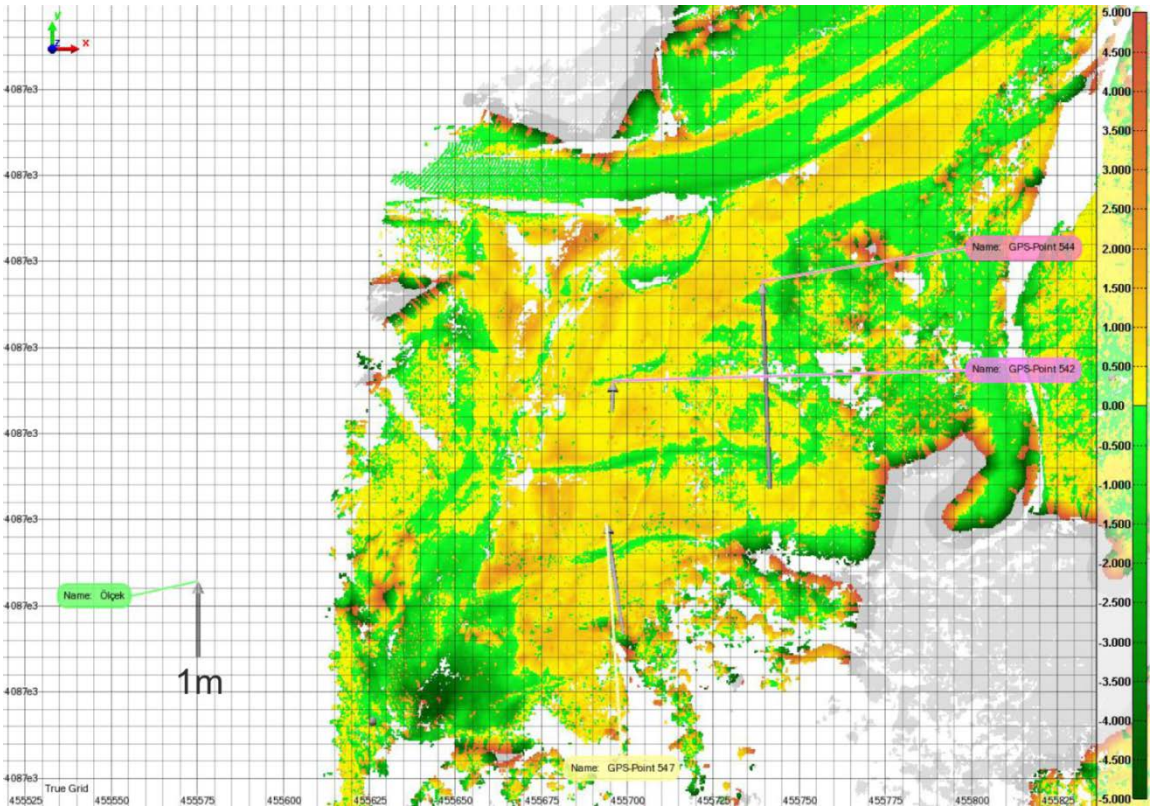
Tablo 5.8. Lazer verileri üzerinden elde edilen eğim değerleri

Bölge	Eğim Miktarı
1	%37
2	%64
3	%58
4	%60



Şekil 5.37. Eğim değerlerinin alındığı bölgeler

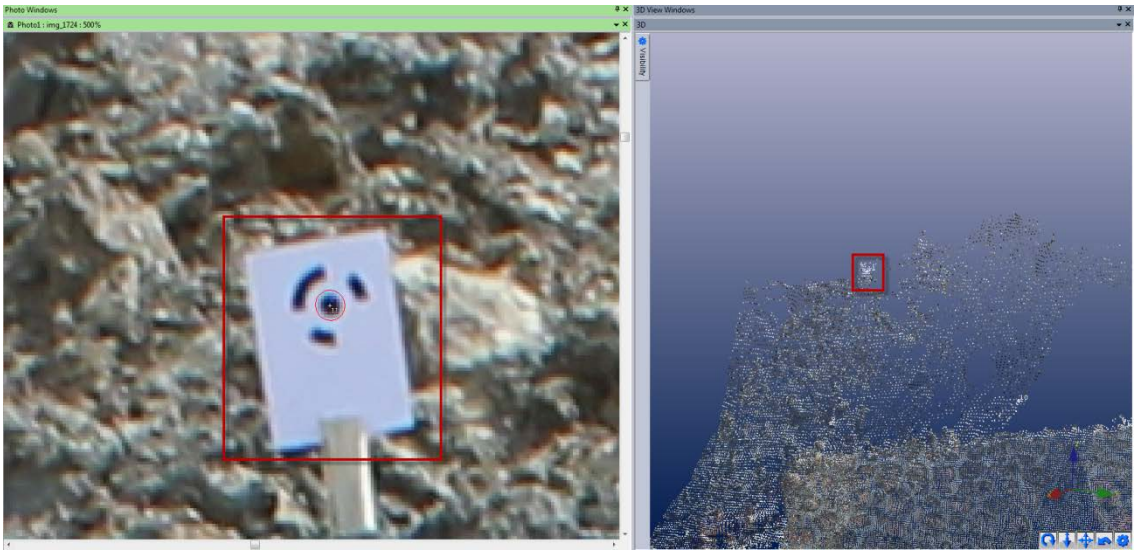
GPS verilerinin ve analiz sonuçlarının nokta bulutları üzerine eklenmesi ve vektörlerin lazer tarayıcılarla karşılaştırılmasıyla GNSS ve Lazer tarama verilerinin ve sonuçlarının anlamlı sonuçlar verdiği görülmektedir (Şekil 5.38). **Şekil 5.38**'de 544 ve 542 nolu noktaların kayma miktarları 1 ile 6. Periyotları arasında sırasıyla 2.74 m, 0.45 m kadardır. Benzer büyüklük lazer tarama sonuçlarında renkli skala ile 2.5 m ve 0.5 m aralığında olduğu görülmektedir.



Şekil 5.38. GPS verileri ile Lazer tarama verilerinin karşılaştırılması

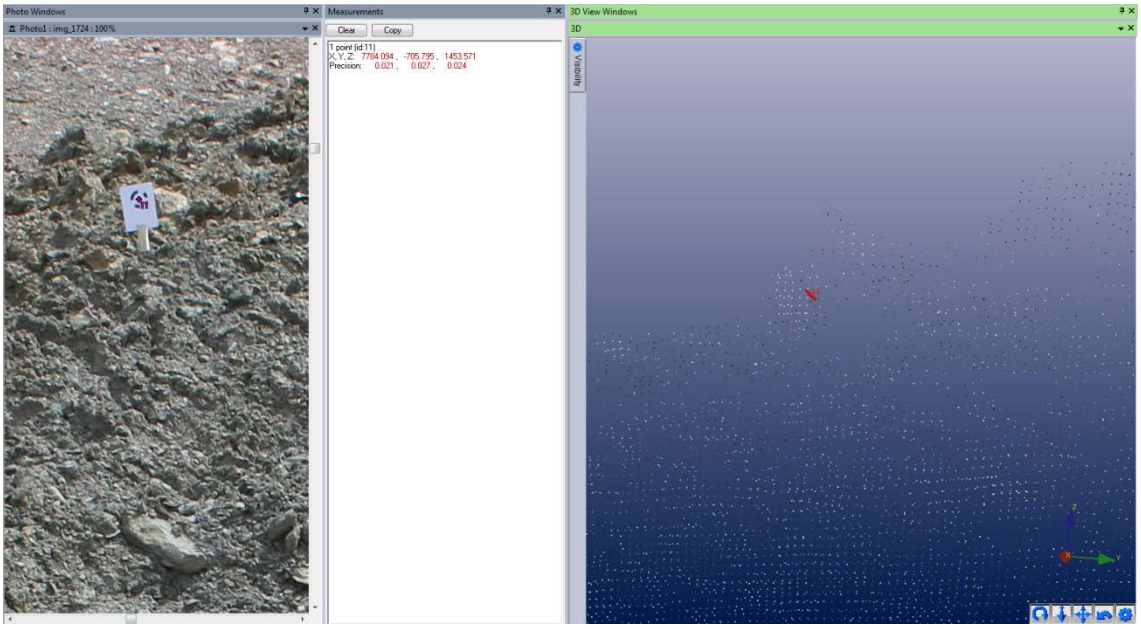
5.3. Fotogrametrik Analizlerin Sonuçları

Fotogrametrik sonuçların deformasyon ve yüksek hassasiyet gerektiren işlemlerde kullanılmasında en önemli konu koordinatların doğru belirlenmesidir (Şekil 5.39).

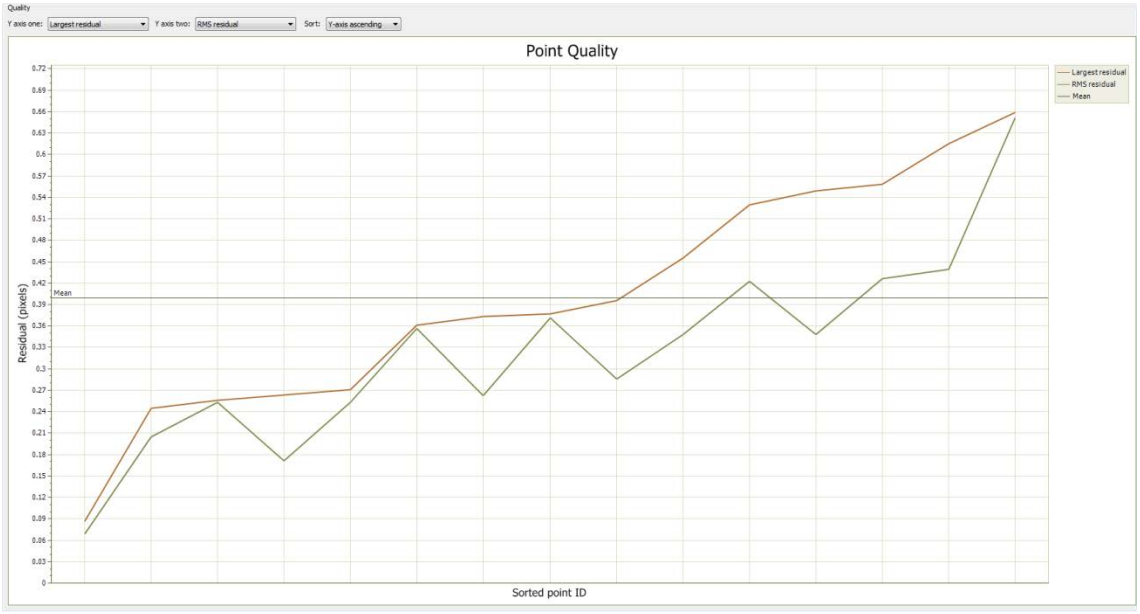


Şekil 5.39. Noktanın otomatik belirlenmesi ve nokta bulutları arasındaki yeri

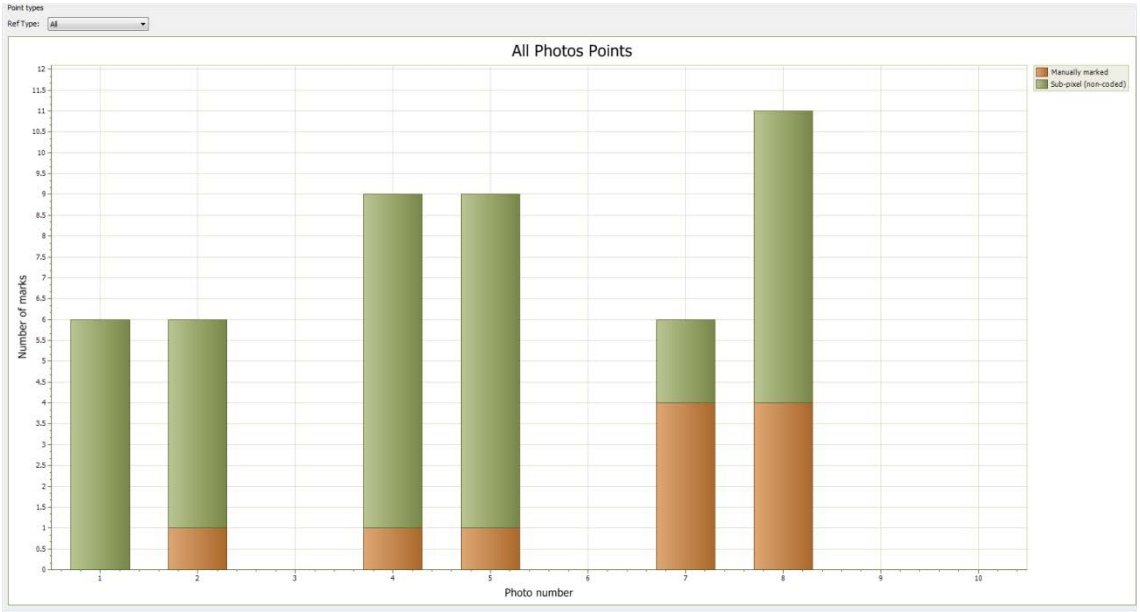
Projede Rad-coded olarak isimlendirilen özel nitelikli hedefler seçilmiştir (Şekil 5.40). Bu hedefler üzerinden seçilen noktaların tam tespiti ve analizde doğruluk oranını etkilemektedir. Üretilen nokta bulutlarının veya modellerin yer kontrol noktaları daha önceden ölçülen noktalarla resimlerin birleştirilmesindeki hassasiyetine bağlıdır (Şekil 5.41). Bu işaretlerin orta kısmında bulunan artı(+) işaretleri total stationla ± (3 mm + 3 ppm) doğrulukla ölçülmüştür. Ölçümü yapılan noktalar Photomodeler Scanner v.12 yazılımı ile fotogrametrik aşamalara tabi tutulmuştur. Resimler arasında bağlantılar yapılmıştır. Resimler üzerindeki bağlantılar otomatik veya manuel olarak yapılabilmektedir. Genellikle otomatik olarak belirlenen referans noktaları piksel ortalamalarını aldığı için hassasiyeti yüksek olmaktadır (Şekil 5.42). Bu sayede kameraların yerleri, yöneltme bilinmeyenleri çözümlenmiştir. Farklı resimlerden yapılan birleştirmeler yöneltme bilinmeyenlerinin tespitini kolaylaştırmaktadır (Şekil 5.43). Daha sonra DSM (Dense surface modeling) algoritması ile resimlerden nokta bulutları üretilmiştir. Son işlem olarak yer kontrol noktaları yardımıyla jeodezik yer koordinatlarına çoklu-nokta dönüşümü ile (7 parametreli) nokta bulutları jeodezik koordinatlı olarak elde edilmiştir. Farklı periyotlarda elde edilen 3B'lu modeller karşılaştırılmıştır (Şekil 5.44, Şekil 5.45.)



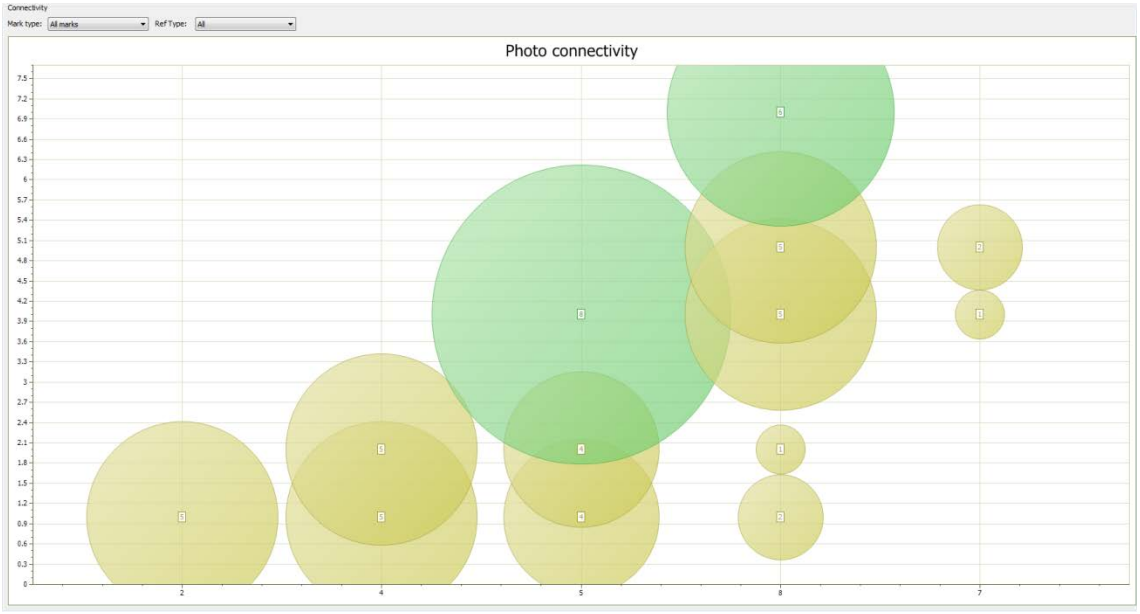
Şekil 5.40. Noktanın belirlenmesi, nokta bilgileri, güven elipsi.



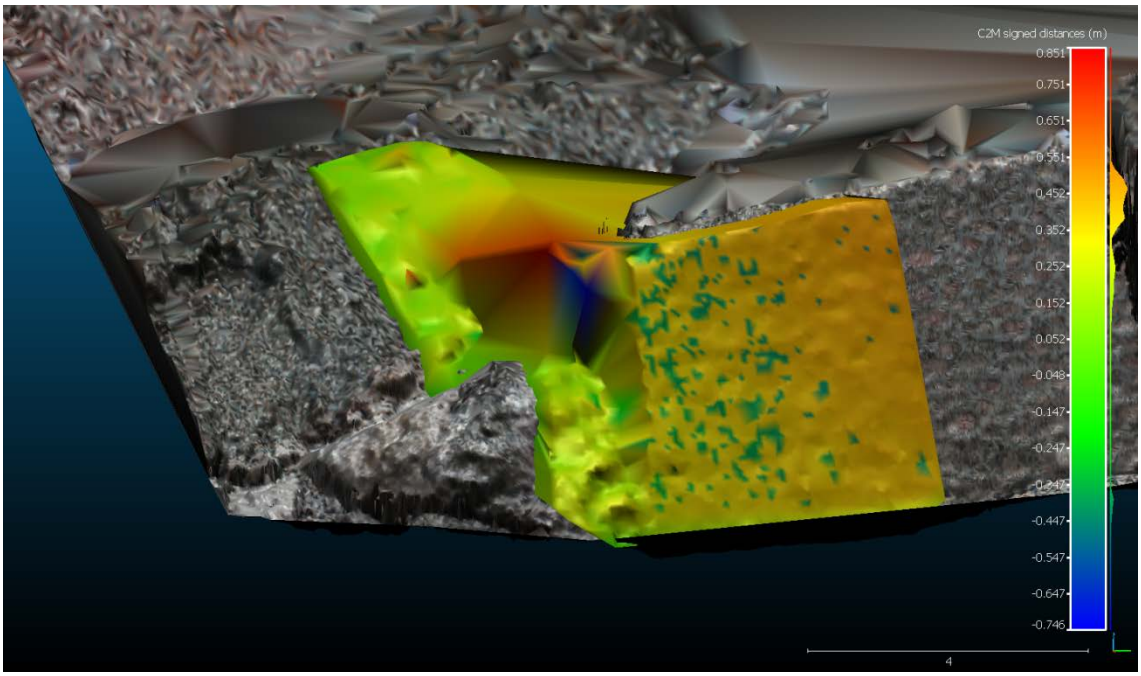
Şekil 5.41. Yapılan referanslandırma kalitesi, ortalaması ve hata miktarları



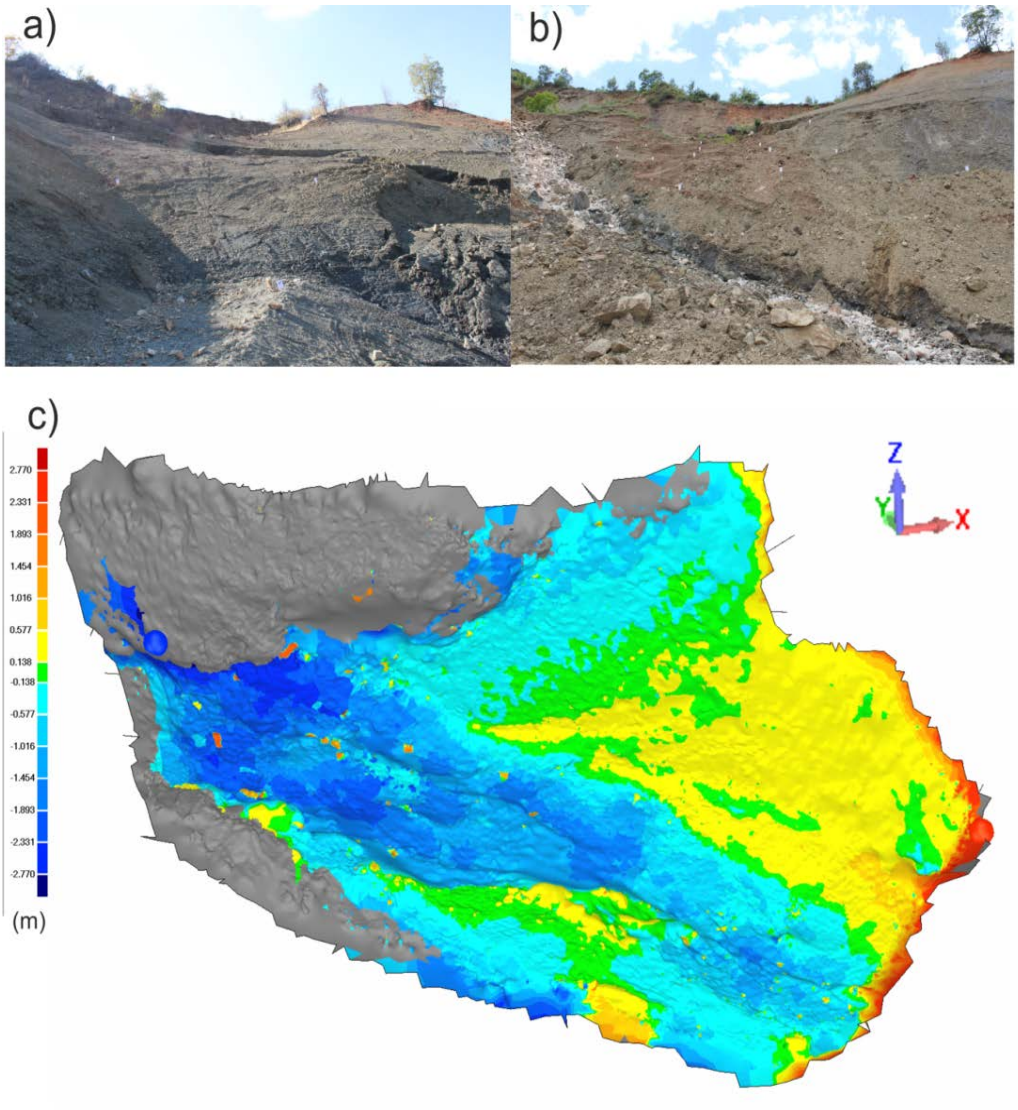
Şekil 5.42.Proje üzerinde otomatik işaretleme (sub-pixel) ve el ile yapılan referans noktalarının oranı



Şekil 5.43. Fotoğraflar arasında referanslandırma (bağlantı noktalarının) oranı



Şekil 5.44. İstinat duvarında meydana gelen deformasyon



Şekil 5.45. a) Heyelan öncesi, b) heyelan sonrası, c) 3B'lu karşılaştırma

5.4. Yer Direnci Ölçme Analizleri

Dört farklı ölçüm hattında 11.10.2012 tarihinde yapılan bu iki farklı görüntülemenin ulaştıkları derinlik seviyeleri şu şekildedir;

Hat-2-1: **Wenner- Alfa** ölçümlerinin ulaştığı derinlik : 38,4 metre
Pole-pole ölçümlerinin ulaştığı derinlik : 199 metre

Hat-2-2: **Wenner- Alfa** ölçümlerinin ulaştığı derinlik : 38,4 metre
Pole-pole ölçümlerinin ulaştığı derinlik : 199 metre

Hat-2-3: **Wenner- Alfa** ölçümlerinin ulaştığı derinlik : 33,3 metre
Pole-pole ölçümlerinin ulaştığı derinlik : 176 metre

Hat-2-4: **Wenner- Alfa** ölçümlerinin ulaştığı derinlik : 38,4 metre
Pole-pole ölçümlerinin ulaştığı derinlik : 199 metre

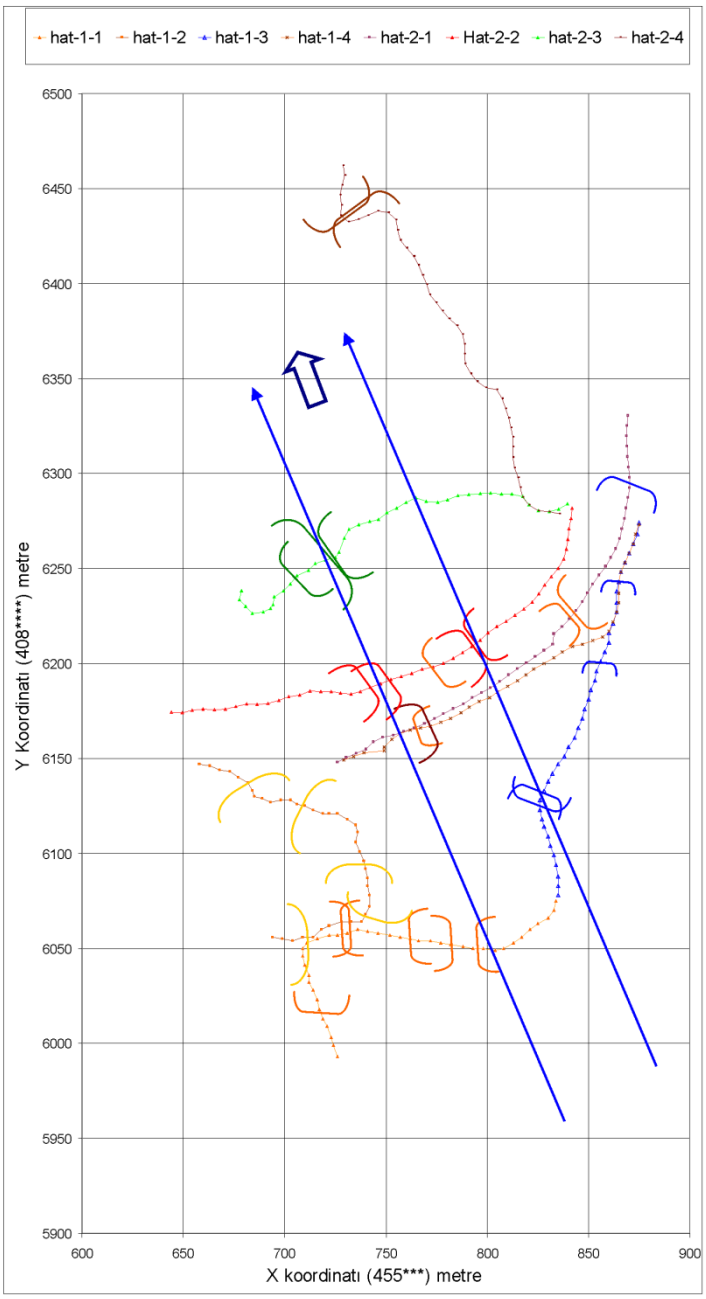
Ölçümlerden elde edilen grafikler; elde edilen görüntülerde belirlenen fayların (kırıkların);

- yerlerini (ölçüm hattının hangi pozisyonunda olduğunu),
- eğimini (fayların yüzeyde, ölçüm hattına göre eğimini),
- yönünü (ölçüm hattı başına veya sonuna doğru yönlenmesini)

göstermektedir.

İncelenen heyelan bölgesinde fayların pozisyonları ve yönlerinin önemli olduğu düşünülerek yukarıdaki Şekil 5.46 içinde bunlar gösterilmiştir. "parantez sembolü" şeklinde gösterilen fayların (kırıklar), her biri, parantezin bulunduğu noktada yeryüzünde iz verirken, bu noktadan parantezin açık ucu yönüne, belirli bir eğimle batmaktadır. Fayların eğimleri grafikler üzerinden ölçülebilmektedir. Şekil 5.46 incelendiği zaman; heyelan bölgesinden büyüklü-küçüklü çok sayıda fay olduğu belirlenmiştir. Bu fayların doğrultuları incelendiğinde, heyelan zonunun iki tarafında da birbirlerine zıt eğim yönleriyle yerleştikleri görülmüştür. Yapılan bu iki farklı tarihdeki ölçümler karşılaştırıldığında, 11.10.2012 tarihli ölçümlerle heyelan zonunun biraz daha detaylı ortaya çıkmaya başladığı elde edilen grafiklerden de anlaşılabilmektedir.

Heyelan bölgesinde, 11.10.2012 tarihinde yapılan yerdirenci ölçüm grafiklerinde; yerdirenci 10 Ohm.m değerinden daha düşük olan yeraltı lokasyonlarının belirli bir oranda su içeriklerinin olduğu (nemli olduğu), özellikle direnç değeri 1-3 ohm.m olan bölgelerde su varlığının tespit edildiği söylenebilmektedir.



Şekil 5.46. Heyelan bölgesine yapılan 2 ayrı günde, üzerinde ölçüm yapılan hatlar (1.ölçüm günü (21.10.2012): Hat-1-4 ve 2.ölçüm günü (11.10.2012) Hat-4-8). Ölçüm hatları üzerinde bulunan elektrot koordinatları (GPS noktaları) toplu olarak gösterilmektedir.

Hat-1 de, hattın a) Başlangıç mesafesinden 50. metresi civarında yüzeyden 7 metre derinlikte

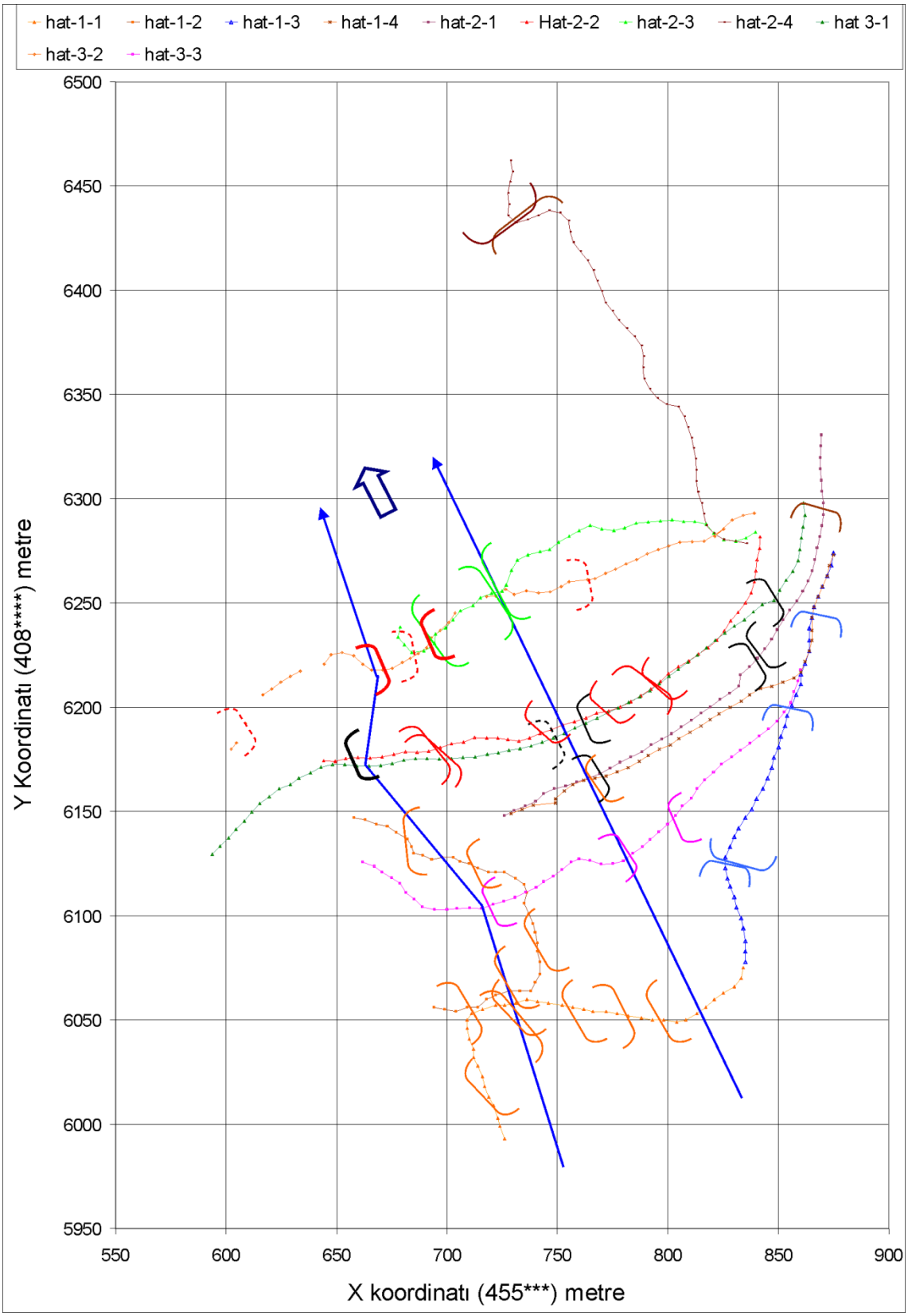
b) 130. metresinde yüzeyden 6 metre derinlikte

c) 180. metresinde yüzeyden 10-12 metre derinlikte nemli zonlar mevcuttur.

Hat-2 de, hattın a) 20.-30. metresi civarında yüzeyden 12 metre derinlikte
b) 170. metresinde yüzeyden 22 metre derinlikte
c) 0-70. metre arasında 40 metre derinlikte
d) 170.-210. metreler arasında da 100 metre derinlikte
nemlenmiş zonlar mevcuttur.

Hat-3 de, hattın a) 25. metresi civarında yüzeyden 9 metre derinlikte
b) 100.-110. metresinde yüzeyden başlayarak 15-18 metre derinliğe kadar
c) 150-160 metrelerinde yüzeyden 18-20 metre derinlikte
d) 90. metre civarında yüzeyden 170 metre derinlikte
nemlenmiş zonlar mevcuttur.

Hat-4 de, hattın a) yüzeyden 5-15 metre derinlik arası hep nemli,
b) 30.-80. metreleri arasında 50.-140. derinlik arasında,
c) 110-160. metreleri civarında yüzeyden 30-50 metreler arasında
nemlenmiş zonlar mevcuttur.



Şekil 5.47 Heyelan bölgesine yapılan 3 ayrı günde, üzerinde ölçüm yapılan hatlar (1.ölçüm günü (21.10.2012): Hat-1-x; 2.ölçüm günü (11.10.2012) Hat-2-x; 3.ölçüm günü (28.04.2013) Hat-3-x). Ölçüm hatları üzerinde bulunan elektrot koordinatları (GPS noktaları) topluca gösterilmektedir. Oklar hatların başlangıç noktasını ve ölçümün uzanım yönünü göstermektedir, Noktalı çizgiler hatlarda görülen faylanmaları göstermektedir.

3. yer direnci ölçüm günü (28.04.2013) yapılan ölçümler kış yağışları (2012-2013 kışı) sonucunda, bahar yağışlarını da alan heyelan bölgesinin yer altı su seviyesinin en fazla olduğu beklenen zamanda yapılan bu ölçümlerde suyun etkisini görmek mümkündür.

Gösterilen uzunlukların birimleri ve her bir küçük bölmenin ne kadar olduğu grafiklerin üzerinde belirtilmektedir (Ekler, Ek-1). Yerdirenci grafiklerinde görünen farklı renkler farklı yerdirençlerini göstermektedir. Her grafikte hangi rengin hangi direnci gösterdiği grafik altındaki renk skalasında gösterilmektedir. Yerdirenci her 1 metrelik uzunluk için ölçülen elektriksel direnci "Ohm" olarak gösterilmektedir. Bu nedenle renk kotlarının birimi *Ohm.m* olarak belirtilmektedir. Ölçümü yapılan hat boyunca elde edilen yerdirenci değişim grafikleri, ölçüm hattının serildiği seviyeden başlayarak yeraltını göstermektedirler. Daha önceki ölçümlerde yeraltındaki heyelanlı bölgenin yüzeye yakın olduğunun izlenmesi nedeniyle, bu bölgedeki yamaç heyelanının "3.ölçüm gününde" ölçümlerin yüzeye yakın yerleri daha detaylı incelemesi için Wenner-Alfa ve Wenner-Beta ölçüm dizilimleri kullanılarak ölçümler yapılmıştır.

Taşkent-Balcılar yolundaki yamaç heyelanında, 28.04.2013 günü yapılan 3 farklı ölçüm hattında yapılan Wenner-Alfa ve Wenner-Beta ölçüm sonuçlarının ulaştıkları derinlik seviyeleri şöyle olmuştur;

Hat-3-1: **Wenner- Alfa** ölçümlerinin ulaştığı derinlik : 53,8 metre
Wenner- Beta ölçümlerinin ulaştığı derinlik : 39,5 metre

Hat-3-2: **Wenner- Alfa** ölçümlerinin ulaştığı derinlik : 43,5 metre
Wenner- Beta ölçümlerinin ulaştığı derinlik : 36,8 metre

Hat-3-3: **Wenner- Alfa** ölçümlerinin ulaştığı derinlik : 47,8 metre
Wenner- Beta ölçümlerinin ulaştığı derinlik : 36,8 metre

Ölçümlerden elde edilen grafikler; elde edilen görüntülerde belirlenen fayların (kırıkların) yerlerini (ölçüm hattının hangi pozisyonunda olduğunu) göstermektedir. İncelenen heyelan bölgesinde fayların pozisyonları ve yönlerinin önemli olduğu

düşünülerek yukarıdaki Şekil 5.47 içinde bunlar gösterilmiştir. “parantez sembolü” şeklinde gösterilen fayların (kırıklar), her biri, parantezin bulunduğu noktada belirlenmiştir, bu noktadan parantezin açık ucu yönüne, belirli bir eğimle batmaktadır. Yukarıda gösterilen Şekil 5.47’da heyelan bölgesindeki zayıflık zonları birleştirilerek heyelanın özellikle etkili olduğu bozuşmuş zonlar belirlenmeye çalışılmıştır.

6. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Heyelan bölgesinde yapılan çalışmalar, heyelan araştırmaları için oluşturulan ekonomik ve doğru yüzey modellerinin hızlı ve etkili biçimde YLT ile belirlendiğini göstermektedir. Yersel lazer tarama teknikleri hava lidarı ile karşılaştırıldığında, hava lidarı için oluşturulması gereken pek çok koşuldan daha az gereksinime ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle YLT sistemleri günümüz için heyelan araştırmaları için gerekli ve yeterli özelliklere sahiptir. Özellikle maliyet bakımından çok fazla maliyet gerektirmeyen YLT teknikleri jeodezik amaçlar için kullanılabilecek doğruluğa sahiptir. Gelişen teknoloji ile fizik ve optik teknolojisinin ilerlemesi ölçümlerin daha hassas olmasına imkan sağlamaktadır.

YLT cihazı yer yüzeyi üzerinden milyonlarca 3B'lu verinin hızlı ve yüksek doğrulukta elde edilmesini sağlamaktadır. Bu cihazlar son zamanlardaki mesafe ölçme hassasiyetindeki artış ile geniş arazilerde ve uzak mesafeden kullanılabilmektedir.

Lazer tarama teknolojisindeki birçok çalışma veri elde etmeye ve veriyi işlemeye yöneliktir. Bunun yanı sıra jeoloji araştırmalarında da YLT'ler oldukça iyi ve etkili biçimde kullanılabilmektedir. Bu çalışmamızda bunu kanıtlar niteliktedir. Elde edilen sonuçların GNSS analizleri ile benzer çıkması bunun doğruluğunu desteklemektedir. Oluşan heyelanın yönü ve bölgesel hareketlerin miktarı yaklaşık GNSS analizleri sonucuyla birbirine yakın çıkmıştır. YLT bulundurduğu yoğun nokta verisi sayesinde ve GNSS teknolojisiyle birleştirildiğinde, heyelan alanlarının değişik bölgelerinde oluşan hareket miktarlarını ortaya çıkarmıştır. Bölgede yapılacak diğer jeolojik analizler için YLT ve GNSS verilerini altlık olarak kullanılması jeoloji mühendislerinin işlem akışını hızlandıracağı düşünülmektedir.

GNSS ile yapılan değerlendirme çalışmalarında hem ofis hem de büro çalışmalarında farklı zorluklar yaşanmasında rağmen lazer tarama tekniğinde bu problemler ve zorluklar daha az yaşanmıştır. Özellikle GNSS ölçülerinin arazideki zorluğu ve zaman bakımından düşünüldüğünde, YLT teknikleri işlem adımları daha kolay ve hızlıdır.

GNSS ölçülerinin alet yüksekliklerindeki hatalar, eğer deformasyon noktası pilye olmazsa merkezlendirme hataları, process parametrelerinin farklılığı, atmosferik düzeltmeler ve noktalar arasındaki baz vektörlerinin oluşturulmasındaki parametrelerin oluşturulması gibi pek çok işlem adımı içerirken, YLT nokta bulutlarının prosesi çok daha kolay ve karmaşadan uzak veri yönetimi sağlamaktadır. Nokta verilerinin YLT

sistemlerinde yoğun olması dezavantaj gibi görülse de farklı filtreleme algoritmaları ile verilerin doğru enterpolasyon yöntemleri kullanarak gridlenip verilerin azaltılması sağlanır. Bozuk noktaların düzeltilmesi ve nokta bulutlarının birleştirilmesinden sonra nokta verileri analize hazır hale gelmektedir. Bu aşamadan sonra farklı periyotlarla kolaylıkla karşılaştırılıp deformasyon analizine tabii tutulabilmektedir. YLT teknolojisinin bu avantajları ile GNSS teknolojisinden oldukça daha avantajlı ve kullanımının daha kolay olduğu görülmektedir.

Yüksek kalitede (7mm @ 100m) ve çok miktarda (~$51x10^6$) nokta verisi sayesinde heyelan çalışmalarında daha iyi kestirimlerde bulunabileceğimizi çalışmamız göstermiştir. Staiger (2003)'e göre diğer alet ve sistemlerin; örneğin takeometre, lazer-radar, YLT'den daha yüksek doğruluğa sahip olduğunu (0,5 mm ve 0.05m sırasıyla), fakat ölçme mesafesi ve veri elde etme hızı çok daha yavaştır. Ayrıca YLT dakikalar içinde 3B'lu milyonlarca nokta elde etme kapasitesine sahiptir ki aynı veriyi total station kullanarak yapmak neredeyse imkânsızdır. Hava Lidar yöntemi ve diğer uydu teknikleri daha büyük alanlarda uygulanabilir fakat doğruluğu ve nokta sıklıkları daha azdır, sırasıyla 10 cm ve 1 m (McKean ve Roering, 2004). Bununla birlikte YLT tekniğine alternatif olarak sunulan Hava Lidarı sadece düşey görüşe sahiptir. Bu yöntemle eğimi fazla olan bölgelerde yüksek yoğunlukta nokta bilgisi elde etmek oldukça zordur. Bazı çalışmalara bakıldığında (Bitelli ve ark., 2004; Demir ve ark., 2004) YLT ile fotogrametrik teknikleri karşılaştırmış ve YLT'nin fotogrametriye iyi bir alternatif olabileceğini, DEM' lerin daha doğru ve daha ucuz elde edildiğini önermişlerdir. Ancak, her bir yer ölçmesinde gölgeli alan problemi oluşmaktadır. Bu her iki teknikte de problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle yerden yüksek, düz ve yatay düzlem yüzeylerde oluşmaktadır. Fakat bu çalışma bölgesinin topografyadaki eğim açısının fazla olması ve farklı görüş alanlarında taramaların yapılması, yersel lazer tarama tekniğinin verimli olmasıyla sonuçlanmıştır ve havadan yapılan ölçmelere gerek kalmamıştır. Ayrıca Türkiye şartları için hava lidarlarının maliyeti çok fazladır. YLT hızlı ve yoğun veri elde etmesiyle birlikte bu verilerin işlenmesi ayrı bir problemdir. İlerde yapılacak olan çalışmalarda her bir taramadaki veri yoğunluğunun optimizasyonunun sağlanmasına dikkat edilmelidir. Kısacası, en doğru sonuca, en kısa zamanda ulaşmak için ne kadarlık nokta verisi ihtiyaçtır sorusuna cevap aranmalıdır.

Uzun mesafe YLT, büyük ve geniş alanlarda meydana gelen heyelanların geometrik karakterini ortaya koymak için basit, hızlı ve doğruluğu yüksek bir araçtır. Bu teknoloji Taşkent'te meydana gelen heyelanın belirlenmesinde kullanılmıştır. YLT

Ilris 3D ile elde edilen nokta bulutları; yüksek doğruluğa sahip 3B model ve heyelanlara ait detaylı envanterin elde edilmesinde etkili ve kullanışlı bir yöntemdir. 3B'lu veriler arazi yüzeyinin geometrik karakterini göstererek, heyelan olgusunun iyi anlaşılmasında oldukça etkili olmuştur.

Heyelan bölgesinde gerek yatay yönlü deformasyonları ve gerekse düşey yönlü deformasyonları gösteren grafiklere baktığımızda çalışma sahasını üç bölgeye ayırmak mümkündür (Şekil 5.36). Birinci bölge; 506, 507, 515, 911, 530 noktalarının bulunduğu bölgedir. Üçüncü bölge ise 913, 914, 915, 510, 518 no'lu noktalar bulunmaktadır. Her iki bölgede yapılan GNSS ve gözlemlenen jeolojik keşiflerde heyelan hareketi tespit edilmemiştir. Ancak bu bölgedeki noktaların periyotlar arasında yaklaşık 2-3 cm büyüklüğünde ve heyelan yönünden farklı yönlerde deformasyon gösterdikleri analizlerde belirlenmiştir (Şekil 5.7). Grafiklerde bu bölgede görünen 2-3 cm seviyesindeki yatay ve düşey konum hareketlerinin sebebi olarak; GNSS in veri işlemesinden oluşan parametre farklıları (troposferik etki ve model hatası, kullanılan faz kombinasyonu), periyotlar arasında farklı anten kullanılmasından kaynaklanan anten faz merkezi hataları, anten yüksekliği ölçüm hatası, optik çekülden dolayı merkezlendirme hatası gibi ölçü anında alet operatörünün yapmış olduğu hatalar olduğu sanılmaktadır.

Çalışma sahasındaki ikinci bölge (ortada kalan kısım) heyelanın aktif olduğu bölgedir. Bu bölgede, yolun üst kısmında, en son ölçü yapılan periyoda göre 501, 502, 503, 547, 548, 517, 550, 551, 552, yolu altında ise, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528 ve 529 nolu noktalar bulunmaktadır. Bu bölgede heyelan yönü iki şekilde ortaya çıkmaktadır. Yolun üst kısmında yer alan noktalar en yukardan aşağıya doğru kayarken kuzey-doğuya doğru kaymaktadır. Yola yakın noktalar ise tam olarak kuzey yönünde kaymaktadır. Yolun alt kısmında hareket yönü kuzey batıya dönmektedir. Yatay konumu gösteren grafikler incelendiğinde heyelan bölgesine güney tarafından bakıldığında saat istikametinin tersi yönünde bir burulma hareketi göstermektedir. Bu kayma miktarlarının kış ve bahar aylarında arttığı görülmektedir. Nitekim 1., 2. ve 3. periyot ölçüleri bu aylarda yapılmıştır. Bu sezonda yağan karların erimesi ve yağmurların artması ile beraber deformasyon miktarında bir artış görülmektedir.

Arazide yapılan jeolojik keşiflerde bu aylarda heyelan bölgesinde güney ve güney batı yönündeki yamaçlarda toprak ve kayaçlar arasından su sızıntıları belirlenmiştir. Ayrıca heyelan bölgesinde mart ayının sonunda meydana gelen büyük heyelandan sonra 1. ve 2. bölgenin sınırında ağustos sonuna kadar güney batı ve kuzey doğu yönünde akan bir derecik oluşmuştur.5 periyot ölçülerinde yapıldığı zamanda

yapılan keşifte derecik kaybolmuştur, oluşan akıntı kış aylarına kadar su sızmaları şeklinde devam etmiştir. Yaz aylarında yağmur yağmamasına rağmen yer altı sularından dolayı 3. ve 4. periyot analizlerinde görüldüğü üzere heyelan hareketi Ağustos ayına kadar devam etmiştir.

Kuru sezon olarak yaz mevsimin sonu ve kış mevsiminin başına kadar yapılan ölçü ve analizlerde heyelan hareketinin yavaşladığı belirlenmiştir (4-5, ve 5-6 periyot analizleri). Bu durumun sonbaharda bölgede yağış olmaması ve yer altı su seviyesi azalması ile ilgili olduğu tahmin edilmektedir. 5. Periyotta 544 no'lu noktada oluşan aşırı hareket TCK tarafından yapılan çalışmalar esnasında deforme olmuştur. Şekil 5.21'de görüldüğü üzere 3. ve 4. periyot YLT analizi sonucunda bazı bölgelerde kabarmalar, bazı bölgelerde aşırı çökmeler gözükmektedir. Bunun temel sebebi TCK Bölge Müdürlüğü, heyelanın devam ettiğini görünce ek palye genişletmesi yaparak araziye müdahalede bulunmuştur. Bu nedenle dozerin açmış olduğu yol ve toprak yığınları belli olmaktadır. Ayrıca yolun bozulan kısmı aynı ekip tarafından bahsedilen 3. ve 4. periyotlar arasında doldurulmuştur. Bu nedenle yol üzerinde görünen kabarma değerleri ortaya çıkmıştır.

Sonuç olarak GNSS ve YLT teknikleriyle heyelanın yönü, hareket eden kütlenin hacmi ve heyelanın karakteri yüksek doğrulukta elde edilmiştir. Bu gelişmeler ve hesaplamalarla bölgede meydana gelen heyelan hakkında güvenilir kestirimlerin yapılmasını sağlamıştır. YLT, zaman ve maddi açıdan tasarruf sağlayarak kısa zamanda heyelanın belirlenmesine olumlu yönde katkılar sağlamıştır.

GNSS ile YLT sistemlerinin entegrasyonu sayesinde GPS sistemlerinin hassasiyeti YLT sistemlerinin geniş ve yoğun veri setleriyle birleştirilerek büyük araştırma alanlarının projelendirilmesinde oldukça kolaylıklar sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Akıncı, H., Doğan, S., Kılıçoğlu, C., Keçeci, S.B., 2010, Samsun il merkezinin heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi* 2, 13-27.

Alkan, R.M., Karşıdağ, G., 2012, Analysis of The Accuracy of Terrestrial Laser Scanning Measurements, FIG Working Week Rome,

Barışkaner, A., 1981, Geodezik Deformasyon Ölçülerinin Analizi, Konya Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi,*Konya*.

Bayrak, T., 2011, Dengeleme Hesabı Ders Notları, Gümüşhane Üniversitesi,*Gümüşhane*.

Bayrak, T., Yalçınkaya, M., 2002, GPS Ağlarında Deformasyonların Statik ve Kinematik Modellerle Belirlenmesi için Geliştirilmiş Bir Deformasyon Yazılım Paketi, *Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30.Yıl Sempozyumu*, Konya,

Besl, P.J., McKay, N.D., 1992, A method for registration of 3-D shapes. *IEEE Transactions Pattern Analysis and Machine Intelligence* 14(2), 239–256.

Bitelli, G., Dubbini, M., Anutta, A., 2004. Terrestrial laser scanning and digital photogrammetry techniques to monitor landslide bodies, XXth ISPRS. Commission V, WG V/2, Istanbul, Turkey.

Blasio, D., Vittorio, F., 2011, Introduction to the Physics of Landslides, Springer,*Rome*.

BÖHHÜY, 2005, Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği,

Brückl, E., Brunner, F.K., Kraus, K., 2006, Kinematics of a deep-seated landslide derived from photogrammetric, GPS and geophysical data. *Engineering Geology* 88, 149-159.

Chen, Y., Medioni, G., 1991, Object modeling by registration of multiple range images, *IEEE International Conference on Robot and Automation*, Sacramento, California,

Coe, J.A., Godt, J.W., Ellis, W.L., Savage, W.Z., Savage, J.E., Powers, P.S., Varnes, D.J., Tachker, P., 2000, Seasonal movement of the Slumgullion landslide as determined from GPS observations, July 1998 - July 1999, *U.S. Geological Survey*,

Çakır, S., 2006, Mühendislik Yapılarındaki Deformasyonların S-Transformasyonu ile Belirlenmesi ve Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Konya,

Çevik, Ö., 2008, Üç Boyutlu Görüntülerde Çakıştırma, Yüksek Lisans Tezi, *Elektrik Elektronik Mühendisliği*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 85.

Demir, N., Bayram, B., Alkış, Z., Helvacı, C., Çetin, I., Vögtle, T., Ringle, K., Steinle, E., 2004. Laser scanning for terrestrial photogrammetry, alternative system or combined with traditional system, Proceeding Of the XXth ISPRS Commission V, WG V/2, Istanbul, Turkey, pp. 193-198.

Demirel, H., 2009, Dengeleme Hesabı, YTÜ,*İstanbul*.

Denli, H.H., 1998, GPS ile Marmara Bölgesindeki yer Kabuğu Hareketlerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, İTÜ FBE,İstanbul,

Dursun, A.E., 2007, S.Ü. Alaeddin Keykubat Kampüs içi Su Biriktirme Havuzu Taban Tabakalarının Elektriksel Direnç Ölçümleri, Yüksek Lisans Tezi, *S.Ü Fen Bilimleri*, Konya, 90 Sayfa.

Erol, S., 2007, GPS ve Nivelman Ölçüleriyle Deformasyonların Belirlenmesi., Doktora Tezi, FBE, İstanbul,

Fanti, R., Gigli, G., Lombardi, L., Tapete, D., Canuti, P., 2012, Terrestrial laser scanning for rockfall stability analysis in the cultural heritage site of Pitigliano (Italy). *Landslides*.

Geomagic, 2012. Software (Version 2012), Suite 300 Morrisville, NC 27560, USA.

Ghilani, C.D., Wolf, P.R., 2008, Elementary Surveying, Pearson Prentice Hall,*New Jersey*.

Gili, J.A., Corominas, J., Rius, J., 2000, Using Global Positioning System techniques in landslide monitoring. *Engineering Geology*, 167-192.

Gökçe, O., Özden, S., Demir, A., 2008, Türkiye'de Afetlerin Mekansal ve istatistiksel dağılımı Afet bilgi envanteri, *Ankara*,

Gruen, A., Akca, D., 2005, Least squares 3D surface and curve matching. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 59, 151-174.

Gumus, K., Erkaya, H., 2011, Analyzing The Geometric Accuracy Of Simple Shaped Reference Object Models Created By Terrestrial Laser Scanners. *International Journal Of The Physical Sciences*, 6529 - 6536.

Highland, L.M., 2004, Landslide types and processes, *2004-3072, U.S. Geological Survey Fact Sheet,*

İnal, C., 2010, Deformasyon Ölçülerin Analizi Ders Notları, Selçuk Üniversitesi (Yayınlanmamış),*Konya*.

Kahveci, M., 2009, Kinematik GNSS ve RTK CORS Ağları, Zerpa Yayınları,102 *Ankara*.

Kahveci, M., Yıldız, F., 2012. GPS/ GNSS Uydularla Konum Belirleme Sistemleri - Teori ve Uygulama. Nobel Yayın Dağıtım.

Kalkan, Y., Alkan, R.M., Yanalak, M., Tari, E., Erden, T., 2003, Altaş Ambarlı Liman Tesisleri Sahasında Geoteknik ve Jeodezik Yöntemlerle Heyelan İzleme Çalışması, *İTÜ Geliştirme Vakfı AR-GE İşletmesi,*

Kasperski, J., Delacourt, C., Allemand, P., Potherat, P., Jaud, M., Varrel, E., 2010, Application of a Terrestrial Laser Scanner (TLS) to the Study of the Séchilienne Landslide (Isère, France). *Remote Sensing* 2, 2785-2802.

Kıranoğlu, Y., 2006, GPS yöntemi ile deformasyonların tespitinde gerinimlerin belirlenmesi, Doktora Tezi, *Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gebze,

Li, Z., Zhu, Q., Christopher, G., 2005, Digital Terrain Modeling Principles and Methodology. , CRC Press,

McKean, J., Roering, J., 2004, Objective landslide detection and surface morphology mapping using high-resolution airborne laser altimetry. *Geomorphology* 57, 331-351.

Monserrat, O., Crosetto, M., 2008, Deformation measurement using terrestrial laser scanning data and least squares 3D surface matching. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 63, 142-154.

MTA, 2002. Türkiye Heyelan envanter Haritası, http://www.mta.gov.tr/v2.0/daire-baskanliklari/jed/index.php?id=heyelancd.

Oppikofer, T., H.S.S. Bunkholt, L. Fischer, Saintot, A., Hermanns, R.L., 2012, Investigation and monitoring of rock slope instabilities in Norway by terrestrial laser scanning, Taylor & Francis Group,*Londra*.

Oppikofer, T., Jaboyedoff, M., Blikra, L., Derron, M.H., Metzger, R., 2009, Characterization and monitoring of the Åknes rockslide using terrestrial laser scanning. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 9, 1003-1019.

Pirotti, F., Grigolato, S., Lingua, E., Sitzia, T., Tarolli, P., 2012, Laser Scanner Applications in Forest and Environmental Sciences. *Italian Journal of Remote Sensing-Rivista Italiana Di Telerilevamento* 44, 109-123.

Pirotti, F., Guarnieri, A., Vettore, A., 2013, Ground filtering and vegetation mapping using multi-return terrestrial laser scanning. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 76, 56-63.

Santana, Q., M., Lerma, J., Heine, E., Van, G., B. , 2008, Theory and practice on Terrestrial Laser Scanning: Training material based on practical applications. ,

Schuhmacher, S., Böhm, J., 2005. Georeferencing of Terrestrial Laser Scanner Data For Applications in Architectural Modeling Sabry El-Hakim, F.R., Lorenzo Gonzo, ISPRS Archives – Volume XXXVI-5/W17, Mestre-Venice, Italy.

Shepherd , J.B., R. A. Herd, P. Jackson , Watts., R., 1998, Ground Deformation measurements at the Soutfriere Hills valcona, Monteserrat: II. Rapid static GPS measurements, June 1996- June 1997. *Geophysical Recearch Letters* 25, 3413-3416.

Staiger, R., 2003, Terrestrial laser scanning technology, systems and applications, *2nd FIG Regional Conference*, Morocco,

Syahmi, M.Z., Wan Aziz, W.A., Zulkarnaini, M.A., Anuar, A., Othman, Z., 2011, The movement detection on the landslide surface by using terrestrial laser scanning, *IEEE Control and System Graduate Research Colloquium (ICSGRC)*, Shah Alam, 175-180.

Tanır, E., 2000, Deformasyon Analizinde Statik Değerlendirme Yöntemleri, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, 104.

Tarolli, P., 2013, Recognition of surface flow processes influenced by roads and trails in mountain areas using high-resolution topography. *European Journal of Remote Sensing*, 176-197.

Tarolli, P., Sofia, G., Dalla Fontana, G., 2010, Geomorphic features extraction from high-resolution topography: landslide crowns and bank erosion. *Natural Hazards* 61, 65-83.

TCK, 2010, Taşkent-Balcılar Yolu Heyelanı Özel Geoteknik Raporu, 116.

Teza, G., Atzeni, C., Balzani, M., Galgaro, A., Galvani, G., Genevois, R., Luzi, G., Mecatti, D., Noferini, L., Pieraccini, M., Silvano, S., Uccelli, F., Zaltron, N., 2008, Ground-based monitoring of high-risk landslides through joint use of laser scanner and interferometric radar. *International Journal of Remote Sensing* 29, 4735-4756.

Teza, G., Galgaro, A., Zaltron, N., Genevois, R., 2007, Terrestrial laser scanner to detect landslide displacement fields: a new approach. *International Journal of Remote Sensing* 28, 3425-3446.

Teza, G., Pesci, A., Genevois, R., Galgaro, A., 2008, Characterization of landslide ground surface kinematics from terrestrial laser scanning and strain field computation. *Geomorphology* 97, 424-437.

Travelletti, J., Malet, J.P., Samyn, K., Grandjean, G., Jaboyedoff, M., 2011, Control of landslide retrogression by discontinuities: evidence by the integration of airborne- and ground-based geophysical information. *Landslides* 10, 37-54.

Tsakiri, M., Lichti, D., Pfeifer, N., 2006, Terrestrial laser scanning for deformation monitoring, *3rd IAG / 12th FIG Symposium*, Baden,

Varnes, D.J., 1978, Slope movement types and processes, *Transportation Research Board,, Washington, D.C.*, p. 11-33.

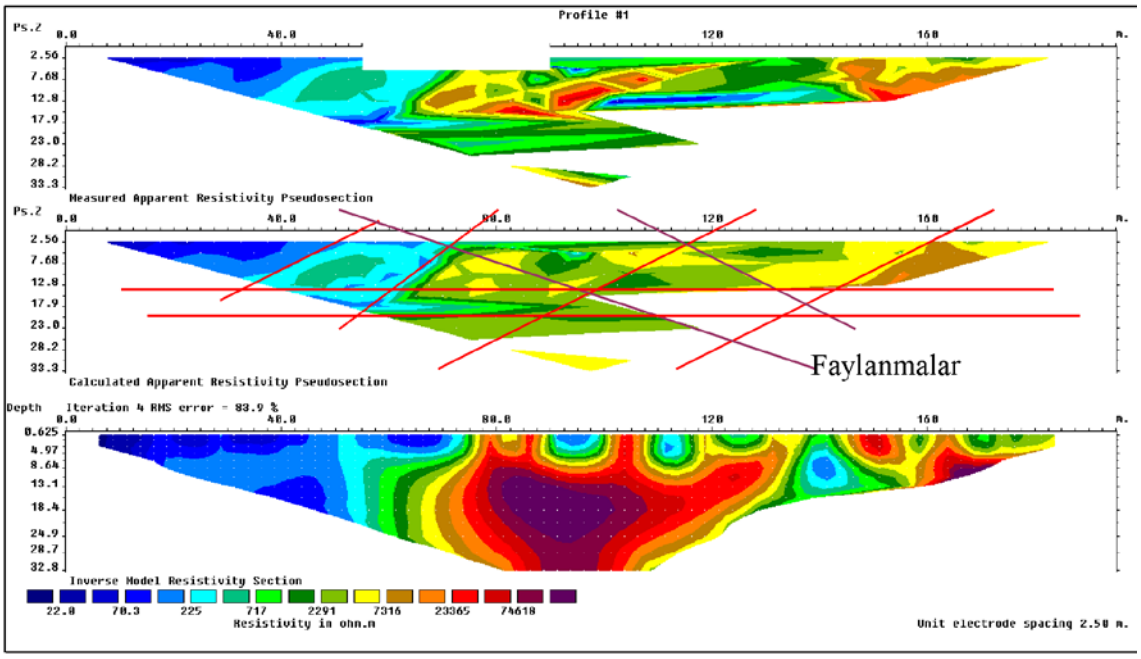
Vikipedi, A., 2012, Lazer, http://tr.wikipedia.org/wiki/Lazer.

Wu, J.-H., Lin, H.-M., 2008, Analyzing the shear strength parameters of the Chiu-fen-erh-shan landslide: integrating strong-motion and GPS data to determine the best-fit accelerogram. *GPS Solutions* 13, 153-163.

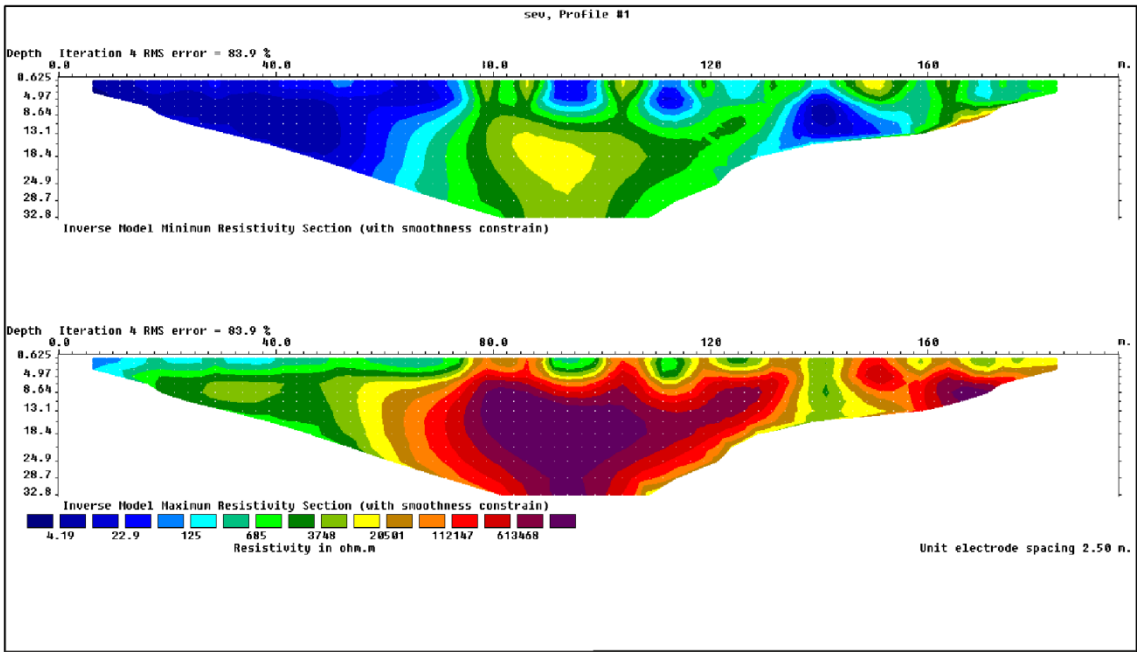
Wu, J., Lin, S.G., 1995, Height accuracy of one and a half centimeters by GPS rapid static surveying. *International Journal of Remote Sensing* 16, 2863-2874.

EKLER

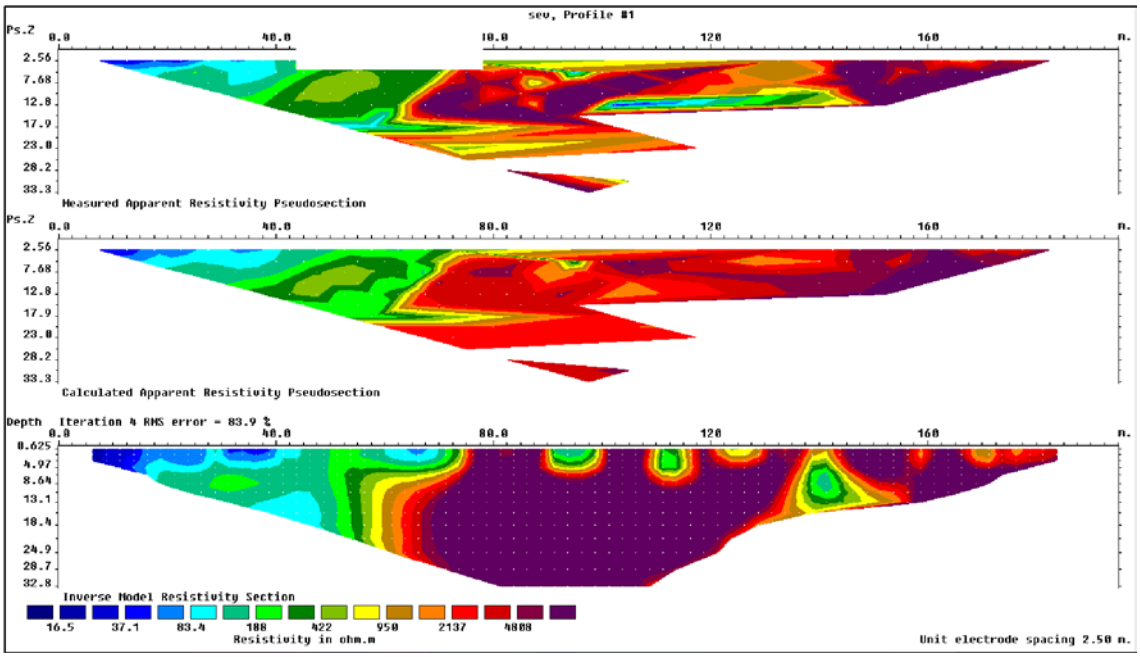
EK-1 Jeofizik Ölçme Sonuçları



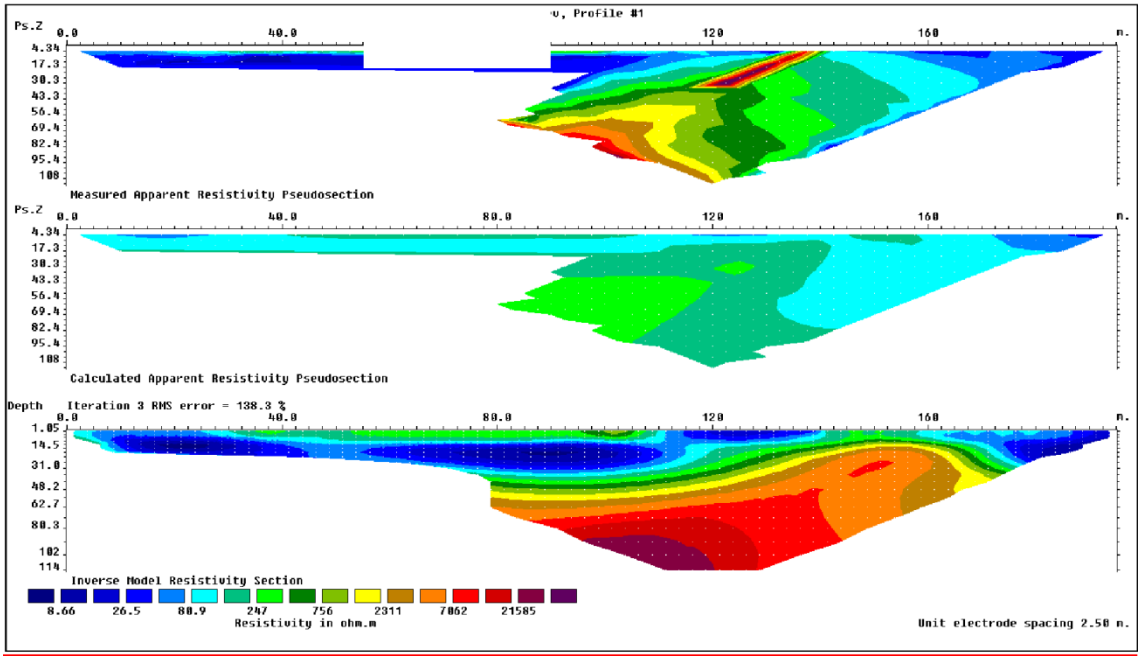
Şekil 1.1. Ölçüm yapılan **1.hat** altında, Wenner-Alfa yöntemine göre tespit edilen yerdirenci dağılımı.



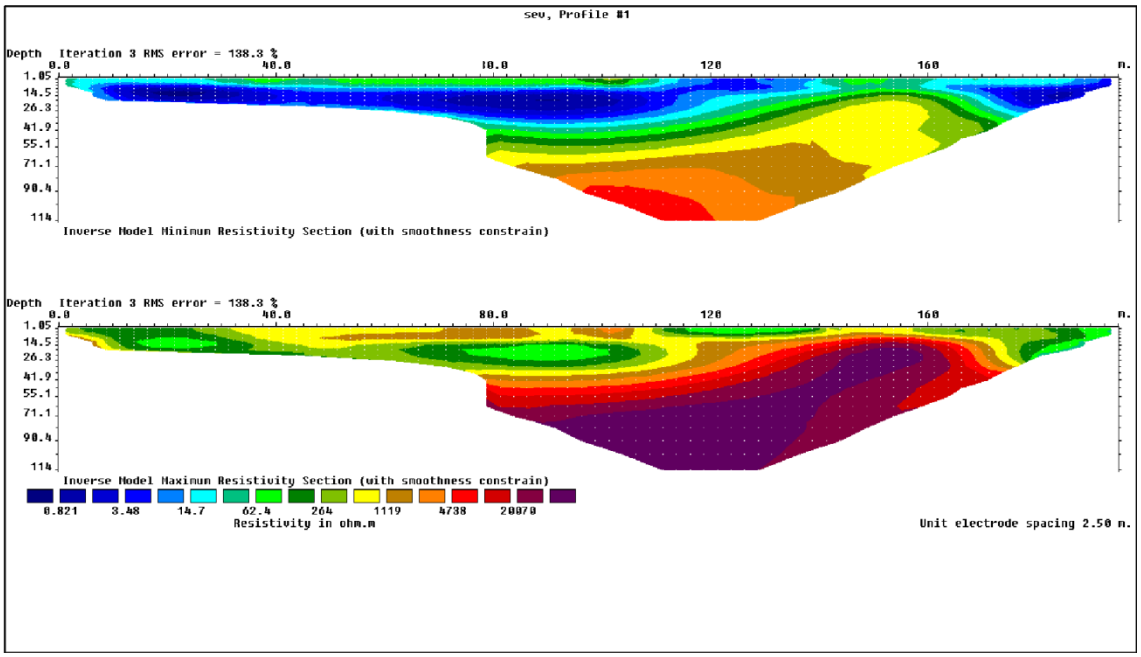
Şekil 1.2. Ölçüm yapılan **1.hat** altında, Wenner-Alfa yöntemine göre tespit edilen minimum-maksimum direnç değerleri.



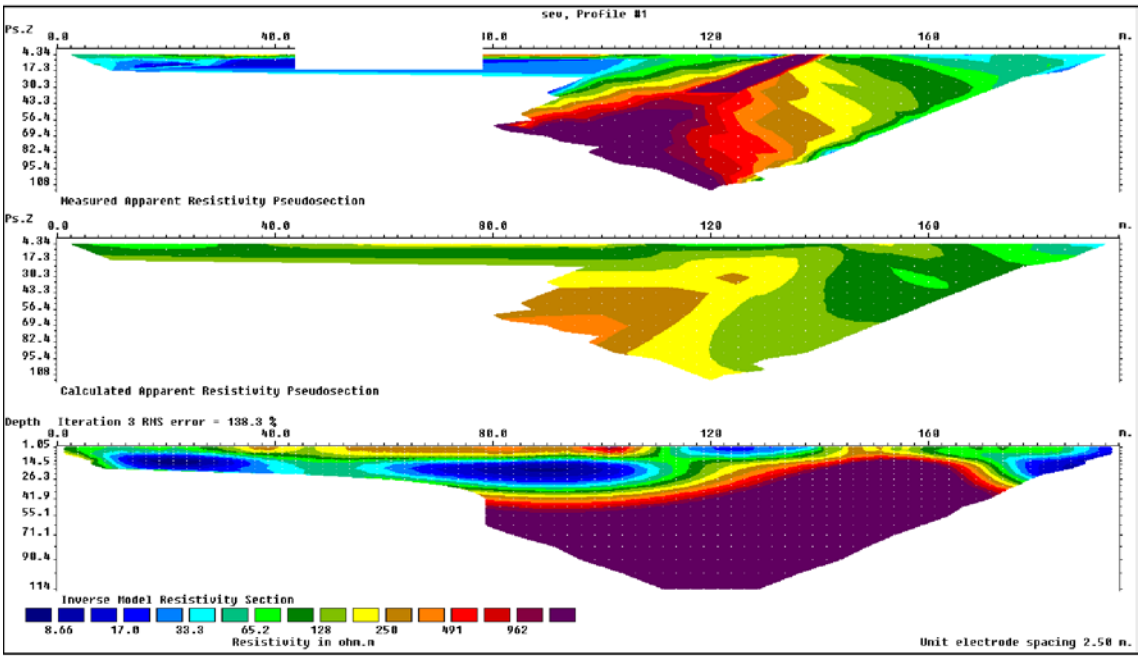
Şekil 1.3. Ölçüm yapılan **1.hat** altında, Wenner-Alfa yöntemine göre tespit edilen direnç değerleri (7200,0 Ohm.m den büyük değerler toplulaştırılmış olarak gösterilmektedir).



Şekil 1.4. Ölçüm yapılan **1.hat** altında, Pole-Pole yöntemine göre tespit edilen yerdirenci dağılımı.

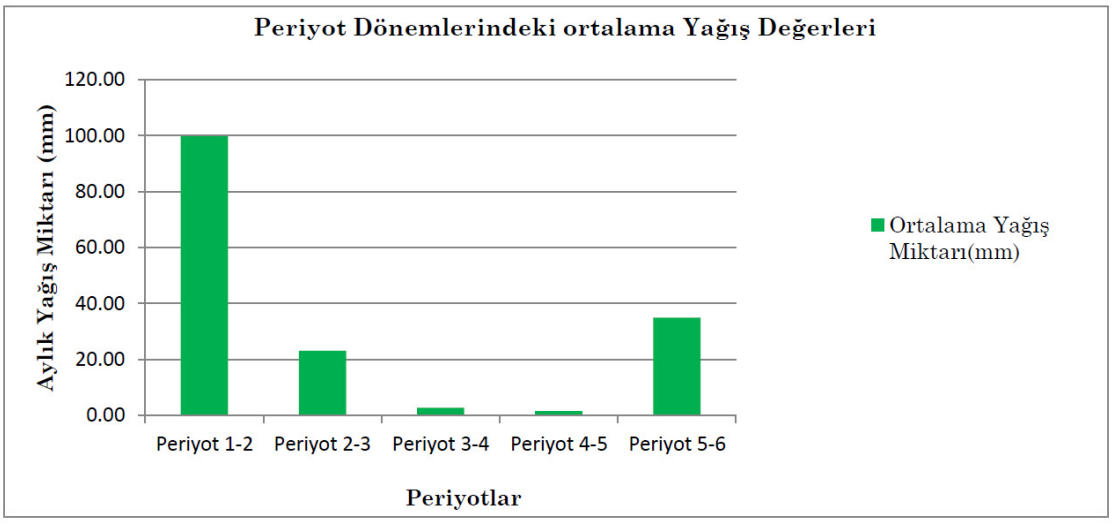


Şekil 1.5. Ölçüm yapılan **1.hat** altında, Pole-Pole yöntemine göre tespit edilen minimum-maksimum direnç değerleri.

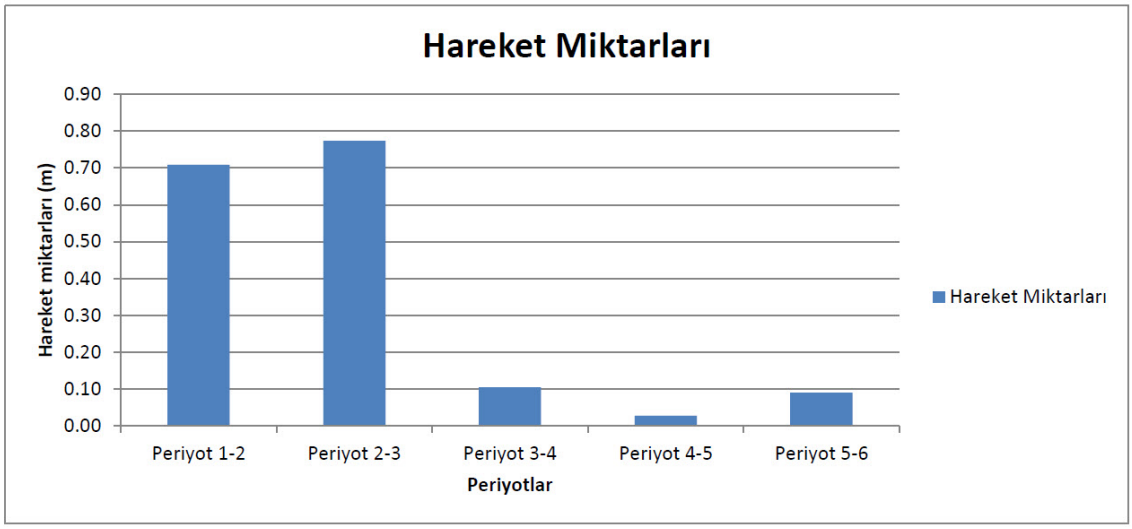


Şekil 1.6. Ölçüm yapılan **1.hat** altında, Pole-Pole yöntemine göre tespit edilen direnç değerleri (1347,0 Ohm.m den büyük değerler toplulaştırılmış olarak gösterilmektedir).

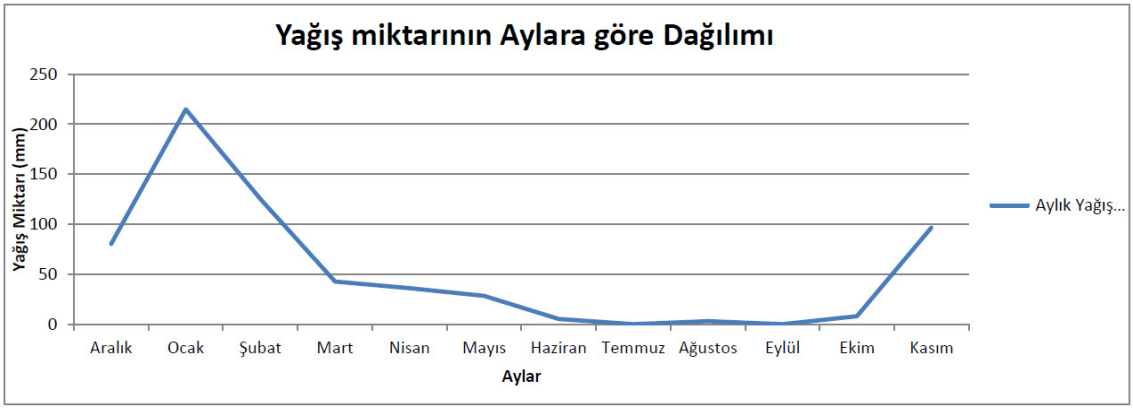
EK-2 Yağış verilerinin Heyelan hareketiyle olan ilişkisi



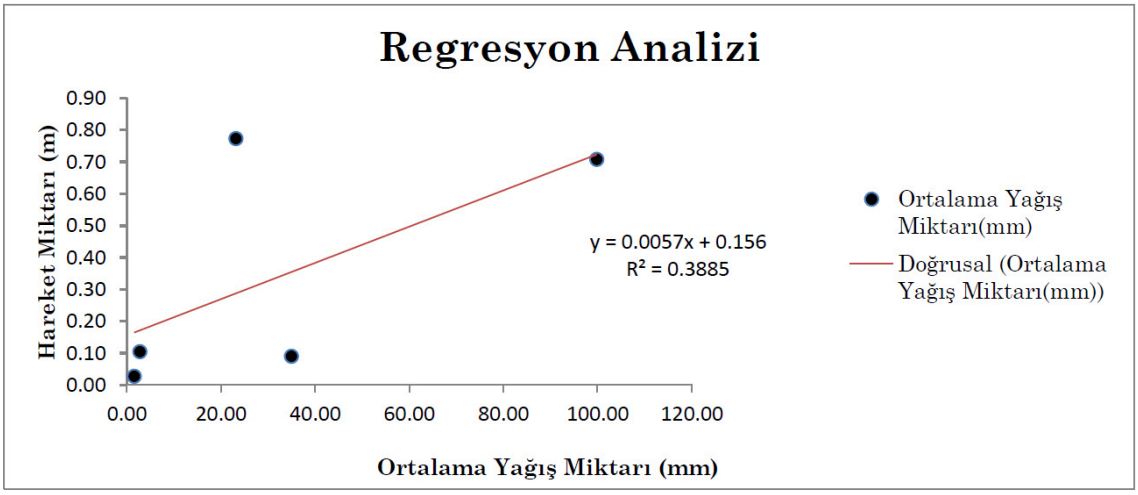
Şekil 2.1. Yağış verilerinin ortalama değerleri



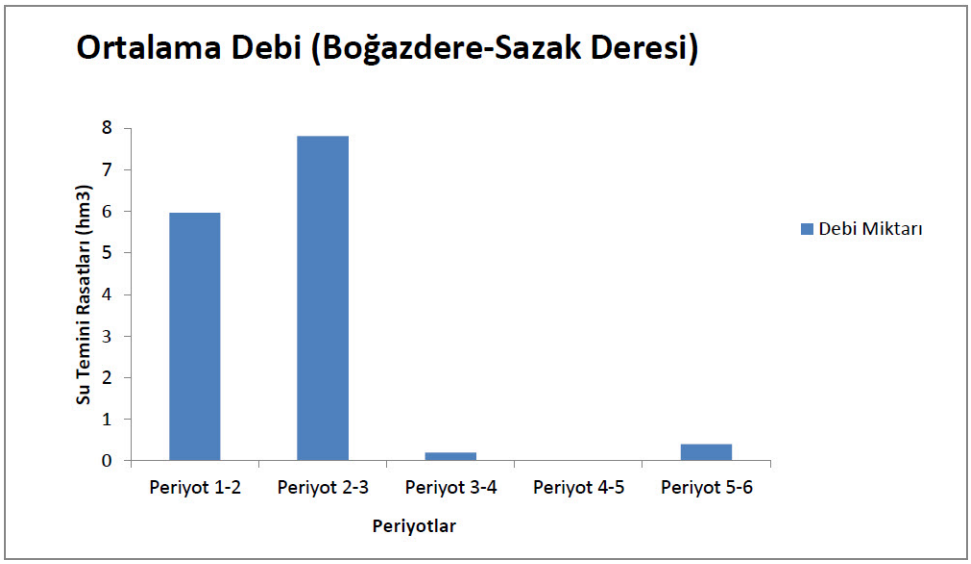
Şekil 2.2. Periyotlardaki hareket miktarları



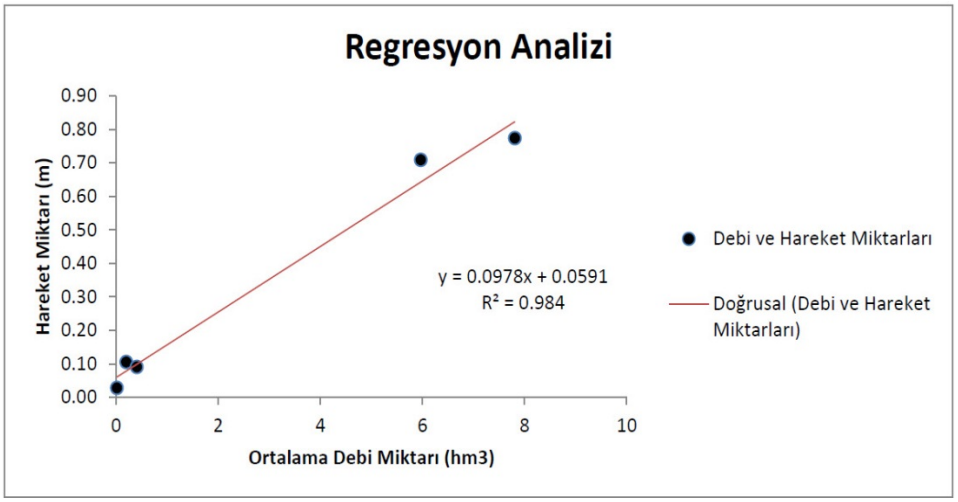
Şekil 2.3. Aylık Yağış değerleri



Şekil 2.4. Ortalama Yağış değerleri ve Hareket miktarlarının arasındaki korelasyon



Şekil 2.5. Bölgeden geçen Sazak deresine ait ortalama debi miktarı



Şekil 2.6. Debi miktarı ile hareket değerlerinin birbiriyle olan ilişkisi

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mustafa ZEYBEK
Uyruğu : T.C
Doğum Yeri ve Tarihi : Denizli 01/01/1987
Telefon : +905438994978
Faks :
e-mail : mzeybek@selcuk.edu.tr

EĞİTİM

Derece		Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	:	Mehmet Akif Ersoy Lisesi (YDA), Merkez, Denizli	2005
Üniversite	:	Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	2009
Yüksek Lisans	:		
Doktora	:		

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2010	**Artvin Çoruh Üniversitesi**	Araştırma Görevlisi
2011-	**Selçuk Üniversitesi**	Araştırma Görevlisi

UZMANLIK ALANI

3 Boyutlu Modelleme, Deformasyon Analizi, Fotogrametri

YABANCI DİLLER

İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR

Zeybek, M., Şanlıoğlu, İ., 2013. Heyelanların İzlenmesinde Yersel Lazer Tarama Tekniklerinin Kullanılması Üzerine Araştırmalar, Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği VII. Teknik Sempozyumu (TUFUAB'2013), 23-25 Mayıs 2013, KTÜ, Trabzon.