

T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

HEYELANLARIN DEFORMASYONLARININ
GPS/GNSS ÖLÇME TEKNİĞİ İLE BELİRLENMESİ
ÜZERİNE BİR İNCELEME

Mustafa BEDİR
Coğrafi Bilgi Teknolojileri Anabilim Dalı

ÇANAKKALE

T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HEYELANLARIN DEFORMASYONLARININ GPS/GNSS ÖLÇME TEKNİĞİ İLE BELİRLENMESİ ÜZERİNE BİR İNCELEME

Mustafa BEDİR

Coğrafi Bilgi Teknolojileri Anabilim Dalı

Tezin Sunulduğu Tarih: **30/06/2016**

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. Ramazan Cüneyt ERENOĞLU

ÇANAKKALE

Mustafa BEDİR tarafından Yrd. Doç. Dr. Ramazan Cüneyt ERENOĞLU yönetiminde hazırlanan ve 30/06/2016 tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan "**Heyelanların Deformasyonlarının GPS/GNSS Ölçme Tekniği ile Belirlenmesi Üzerine Bir İnceleme**" başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Coğrafi Bilgi Teknolojileri Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

Yrd. Doç. Dr. Ramazan Cüneyt ERENOĞLU ……

Başkan

Yrd. Doç. Dr. Ercenk ATA ……

Üye

Yrd. Doç. Dr. Tolga KOMUT ……

Üye

Prof. Dr.Levent GENÇ

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

Sıra No:……

Bu tez çalışması Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 112Y336 numaralı projeden desteklenmiştir.

İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.

Mustafa BEDİR

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmamda beni yönlendiren ve bana yardımcı olan değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Ramazan Cüneyt ERENOĞLU'na sonsuz teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Bu tez çalışmam boyunca yardımlarını eksik etmeyen değerli hocam Dr. Oya ERENOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam esnasında yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Yrd.Doç. Dr. Özgün AKÇAY'a teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Bu zamana kadar eğitim ve sosyal hayatımda desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Mustafa BEDİR

Çanakkale, Haziran 2016

SİMGELER VE KISALTMALAR

GPS	Global Positioning System (Küresel Konumlandırma Sistemi)
GZK GPS	Gerçek Zamanlı Kinematik Global Positioning System
RTK	Real Time Kinematic
GNSS	Global Navigation Satellite System – Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
PRN	Pseudorandomnoise
SOPAC	Scrips Orbit and Permanent Array Center
IGS	Uluslararası GPS servisi
ERP	Earth Rotation Parameters
USNO_bull_b	United States Naval Observatory_bulletin_b
QIF	Quasi Iono Free Strategy

ÖZET

HEYELANLARIN DEFORMASYONLARININ GPS/GNSS ÖLÇME TEKNİĞİ İLE BELİRLENMESİ ÜZERİNE BİR İNCELEME

Mustafa BEDİR
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Coğrafi Bilgi Teknolojileri Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi
Danışman : Yrd. Doç. Dr. Ramazan Cüneyt ERENOĞLU
30/06/2016, 40

Heyelanlar, dünyanın bir çok bölgesi için önemli bir problemdir. Heyelanların olumsuz etkilerini indirgemek veya ortadan kaldırabilmek amacıyla, bunların mekanizmalarının çözülmesi için izlenmesi çok önemlidir. Bu çalışmada, Çanakkale ili Biga ilçesi Ambaroba Köyünde bulunan aktif heyelan potansiyelli bölgede gerçekleştirilen heyelan izleme çalışmalarından ve en son elde edilen sonuçlardan bahsedilmiştir. Çalışmada, heyelanların izlenmesinde kullanılan uydu tabanlı jeodezik teknikten elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Araştırma sonuçlarına göre, jeodezik GPS/GNSS tekniği ileyapılan ölçme sonuçlarından heyelan bölgesinde izlenen mikro jeodezik deformasyon ağındaki bazı noktalarda istatiksel olarak anlamlı hareketler saptanmıştır. Ayrıca ölçme dönemlerinde her bir kampanyadan elde edilen sonuçlar birbirleri ile uyumludur. Heyelan çalışmalarında mevsimlerin etkilerinin de göz önünde bulundurulduğu düşünülürse ölçüm periyodunun artırılması gerektiği ve bu mevsimsel etkilerinin en az birkaç senelik ölçümler ile karşılaştırılması önerilmektedir.

Anahtar sözcükler: Heyelan, GPS/GNSS, Deformasyon, Hız, Mikro Jeodezik Ağ, Biga Yarımadası.

ABSTRACT

AN INVESTIGATION ON DETERMINING OF LANDSLIDE DEFORMATIONS USING GPS / GNSS SURVEYING TECHNIQUE

Mustafa BEDİR

Çanakkale Onsekiz Mart University

Graduate School of Geographic Information Technologies

Master of Science Thesis in Geographic Information Systems

Advisor :Ass. Prof.Dr. Ramazan Cuneyt ERENOGLU

30/06/2016, 40

Landslide phenomena are one of the major problems for many regions of the world. In order to reduce eliminate the negative effects of landslides; the monitoring mechanism using the various methods is so crucial. In this study, the active landslide in Ambaroba Village, Biga district of Çanakkale, NW Turkey, has been monitored using the micro-geodetic GPS/GNSS network. The study presents the results obtained from geodetic techniques which used satellite-based monitoring of landslide.

According to the results of this study, the significant movements were statistically detected at some point of the micro-geodetic GPS/GNSS monitoring network established in the Ambaroba landslide. Furthermore, the surveying results obtained from each campaign period are compatible with each other. It is recommended that the number of surveying periods is increased and, moreover, these seasonal effects are encounter at least a few years of measurements.

Keywords: Landslide, GPS/GNSS, Landslide, Velocity, Micro-Geodetic Network, Biga Peninsula

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI iii
TEŞEKKÜR iv
SİMGELER VE KISALTMALAR v
ÖZET vi
ABSTRACT vii
İÇİNDEKİLER viii
ŞEKİLLER DİZİNİ x
ÇİZELGELER DİZİNİ xi
BÖLÜM 1
GİRİŞ 1
1.1. Heyelan 1
1.2. Küresel Konum Belirleme Sistemi (Global Konum Belirleme) 1
1.3.Problemin Tanımı 1
1.4.İzlenen Yöntem ve Kullanılan Araçlar 2
1.5. Tezin İçeriği 3
BÖLÜM 2
GPS AĞ DENGELEMELERİ 4
2.1.GPS Ağlarının Dengelenmesi 4
2.2 Serbest Ağ Dengelemesi 6
2.2.1.Zorlamasız Klasik Dengeleme 6
2.2.2 Tüm İz Minimum Yöntemine Göre Dengeleme 7
2.2.3 Kısmi İz Minimum Yöntemine Göre Dengeleme 12
2.2.4. S-Dönüşümü 14
2.3.İstatistik Testler 15
2.3.1.Model Hipotezinin Testi 15
2.3.2.Uyuşumsuz Ölçüler Testi 16
BÖLÜM 3
DEFORMASYON MODELLERİ 18
3.1.Deformasyon Modelleri 18
3.1.1.Statik Deformasyon Modeli 18
BÖLÜM 4 20
UYGULAMA 20
4.1 Çalışma Alanı 20

4.2 Jeodezik Ağ Tasarım 23
4.2 İstikşaf ve İnşaat Çalışmaları 24
4.2 GPS/GNSS Gözlemleri 26
4.2 GPS Ölçülerinin Değerlendirilmesi ve Deformasyon Analizi 28
BÖLÜM 5 35
SONUÇ VE ÖNERİLER 35
KAYNAKLAR 36
ÖZGEÇMİŞ I

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. GPS konum belirleme yöntemleri 1
Şekil 2.1. i ve k noktaları arasındaki baz bileşenleri ΔX_{ik}, ΔY_{ik} ve ΔZ_{ik} 5
Şekil 4.1. Çalışma bölgesi ve biga yarımadasının genel jeolojisi.....20
Şekil 4.2. Çalışma kapsamında incelenen heyelan çalışma bölgesi 21
Şekil 4.3. Ambaroba ve çevresinin genel jeoloji haritası 22
Şekil 4.4. Heyelan akmasının gerçekleştiği sedimanter ve volkanik kayaların sınırı.....22
Şekil 4.5. Heyelan bölgesinin AMB1 ve AMB2 noktalarını gösteren uydu görüntüsü 24
Şekil 4.6. AMB1 mikro-jeodezik izleme ağı GPS/GNSS noktası – ölçme anı 27
Şekil 4.7. Ambaroba heyelanı mikro-jeodezik deformasyon ağı.....27
Şekil 4.8. Ambaroba heyelanı izleme ağı AMB7 ve AMB12 noktaları – ölçme anı 28
Şekil 4.9. Deformasyon analizi ile elde edilen yatay hızlar ve güven elipsleri (α=0.05) 31
Şekil 4.10. Deformasyon analizi ile elde edilen düşey hızlar.....32
Şekil 4.11. Ambaroba heyelan bölgesi tematik deformasyon haritaları (Yatay).....33
Şekil 4.12. Ambaroba heyelan bölgesi tematik deformasyon haritaları (Düşey) 34

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 4.1. Çalışma bölgelerini sınırlayan enlem ve boylamlar (Datum: WGS-84) 20
Çizelge 4.2. GPS/GNSS ölçmelerine ilişkin anahtar parametreler.....26
Çizelge 4.3. 2013 ve 2015 yılları GPS/GNSS ölçme kampanyalarına ait bilgiler 28
Çizelge 4.4. 3 Haziran 2013 tarihinde yapılan ölçülerinin değerlendirme sonuçları 30
Çizelge 4.5. 10 Haziran 2015 tarihinde yapılan ölçülerinin değerlendirme sonuçları 30
Çizelge 4.6. 2013 – 2015 yıllarında yapılan ölçümlerin deformasyon analizi sonuçları....31

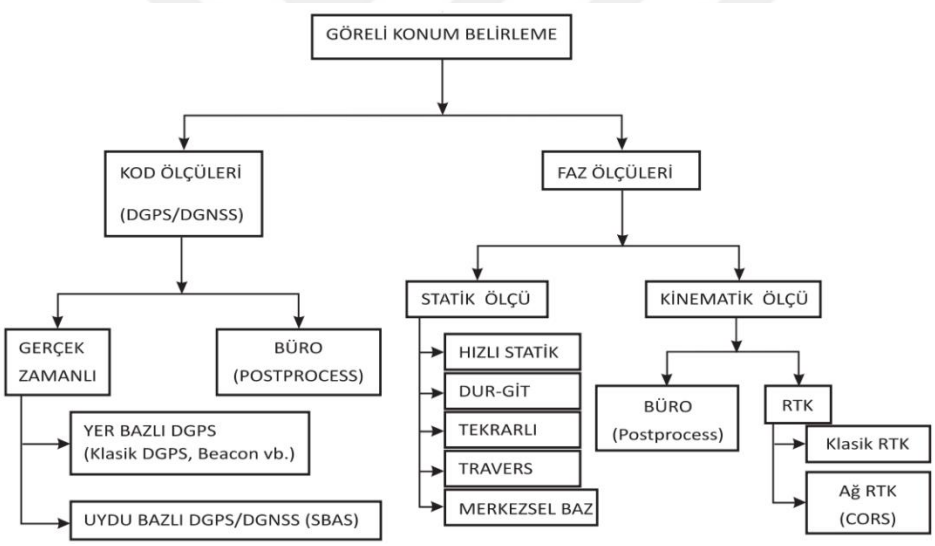
BÖLÜM 1
GİRİŞ

1.1. Heyelan

Heyelanlar, ülkelere doğrudan yada dolaylı olarak büyük kayıplar veren doğal olaylardan bir tanesidir. Heyelanlara, depremler, fazla miktarda yağış, hızlı dere yatağı erozyonları ya da su seviyesindeki ani değişiklikler gibi doğal faktörler sebep olmaktadır (Burchfielve ark., 1982; Önalp, 1991; Alkan, 1995; Brunner, 1997; Zezere ve ark., 1999).

1.2. Küresel Konum Belirleme Sistemi (Global Konum Belirleme)

Küresel Konum Belirleme Sistemi (GPS), kaynakların yönetimi, deformasyon ölçmeleri, navigasyon ve digger mühendislik hizmetlerinde yoğun olarak kullanılan bir ölçme tekniğidir. Konum belirleme yöntemleri Şekil 1.1'de verilmektedir.



Şekil 1.1. GPS konum belirleme yöntemleri

1.3.Problemin Tanımı

Heyelanlar, ülkemizin çoğu bölgesinde hayatı olumsuz etkileyen doğal bir afet olayıdır. Heyelan; taş, toprak veya bunların karışımlarından oluşan bir zeminin ya da çeşitli kayaçların, bir yüzey üzerinde aşağıya veya dışarıya doğru hissedilir bir şekilde hareket etmesi olarak tanımlanmıştır. TSE (Türk Standartları Enstitüsü) ise heyelanı; doğal yada yapay nesneleri tehdit eden kütle hareketi olarak ifade etmektedir.

Heyelanların etkilerini, belirli oranlarda azaltmak veya tam anlamıyla etkisiz hale getirebilmek için heyelanların izlenmesi, hareket sistemlerinin çözülmesi ve hareket

modelinin elde edilmesi; yer bilimi çalışmaları için çok önemlidir (Dercourt, 2000). Bu bağlamda, heyelanların veya heyelan mekanizmalarının izlenmesi için günümüzde klasik ve uydu bazlı çeşitli jeodezik yöntemler kullanılmaktadır (Dilaver ve ark., 1991). Heyelanların izlenmesi yoğun ve zahmetli çalışmalar gerektirir.

Heyelan ölçümleri için gerçekleştirilen GPS çalışmalarında belirli bir ölçüm yöntemi olmayıp, her araştırmacı kendi belirlediği GPS ölçüm yöntemini kullanmıştır. Bunu sonucunda GPS ile üretilen sonuçların doğruluğu tartışma konusu halini almıştır. Bu sorunu çözmek için, Wells (1987), McLellan ve ark.(1989), Hofmann ve ark.(1992), Eren ve Uzel (1995), Gökçeoğlu ve ark.(1996), Wolf ve Ghilani (1997), McElroy(1998), Gili ve ark.(2000), Malet ve ark.(2002), Arslanoğlu ve Mekik (2003), Erdal (2009), Erenoğlu ve ark.(2014), Erenoğlu ve ark.(2014), Erenoğlu (2016), Güngördü ve ark.(2016) tarafından çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

1.4.İzlenen Yöntem ve Kullanılan Araçlar

Statik, hızlı-statik ve RTK (Real Time Kinematic) yöntemleri zamana bağlı yer değiştirmelerin izlenmesinde çoğunlukla kullanılan yöntemlerdir. Özellikle; daha önce yapılan çalışmalarda, heyelanların GPS ile izlenmesinde belirli bir oturum planlaması olmayıp, her çalışma grubu farklı yöntemler kullanmıştır. Örneğin Coe ve ark.(2003) ve Mora ve ark.(2003), yaptıkları çalışmalarda 8 dakika ile 1 saat arasında değişen hızlı statik ölçme yöntemini kullanırken, Gilli ve ark. (2000), hem RTK hem de hızlı statik yöntemi kullanmışlardır. Bayrak (2003), yaptığı çalışmada Statik yöntemi kullanırken, Malet ve ark.(2002), sürekli ölçme yöntemi ve statik ölçme yöntemini kullanmışlardır. Mora ve ark.(2003)'de ise hem sürekli hem de Hızlı statik yöntem kullanılmıştır. Verilen örneklerden de anlaşılacağı üzere, özellikle heyelanların GPS ile izlenmesinde belirli bir yöntem olmayıp her çalışma grubu farklı bir tekniği kullanır. Fakat son yıllarda, jeodezik GPS ağları yardımı ile heyelan ve volkan izleme çalışmalarında hızlı statik yöntem ve gerçek zamanlı kinematik yöntem oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır (Moss, 1999; Gili ve ark., 2000; Matsushima ve Takagi, 2000; Mora ve ark., 2003; Coe ve ark., 2003).

Malet ve ark.(2002) yaptıkları çalışmada; heyelanların sürekli GPS ölçüleri ile izlenmesinde, GPS ölçülerinden elde edilen doğrululuk miktarı deneysel olarak belirlenmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak bir saatlik ölçüler sonucunda doğruluk 2.7, 2.2, 5.0 mm olarak belirlenmiştir. Bazlar arasındaki maksimum uzunluk 1.4 km olup yükseklik farkı ise 200m olarak verilmiştir. GPS verilerinin değerlendirilme aşamasında GAMET programı kullanılmış ve 24, 12, 6, 3 ve 1 saatlik veriler yardımı ile gözlem süresinin bir

fonksiyonu olarak doğruluk belirlenmiştir.

Bu çalışmada, problem tanımı olarak aktif bir heyelan bölgesinde tesis edilen mikro-jeodezik deformasyon ağında gerçekleştirilen periyodik GPS/GNSS ölçmeleri kullanılarak heyelan kitle hareketlerinin yüzeye olan etkilerinin izlenmesi ve modellenmesi gösterilebilir.

1.5. Tezin İçeriği

Bu çalışmada yavaş hareket eden yüzey kayma hareketlerinin statikölçme tekniği kullanılarak izlenebilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla Ambaroba Heyelan sahasında 15 adet GPS noktası tesis edilmiştir. Bu noktalarda 2013 ve 2015 yıllarında 2 periyot Statik GPS gözlemleri gerçekleştirilmiştir. Heyelan bölgesinde kurulmuş olan mikro-jeodezik ağlarda bölgedeki heyelan hareketlerini belirlemek amacıyla jeodezik GPS/GNSS ölçme metodu ile gözlemler yapılmıştır. Statik deformasyon modeli kullanılarak düşey ve yatay hız alanları belirlenerek elde edilen hız değerleri karşılaştırılıp tematik yüzey haritaları, tematik gölgeli kabartma haritaları ve tematik vektörel haritalar üretilmiştir.

BÖLÜM 2
GPS AĞ DENGELEMELERİ

2.1.GPS Ağlarının Dengelenmesi

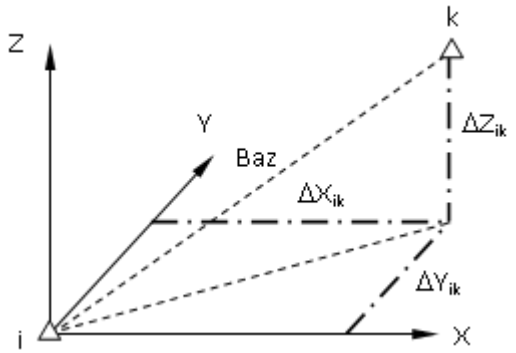
GPS(Global Positioning System) yapay uydular ve alıcıları kullanılarak noktaların konumları belirlenir. GPS ile nokta konumlandırılmasında faz ve kod ölçüleri kullanılır. Bu işlemde uydudan yayılan sinyalin alıcı anten tarafından kayıt edilinceye kadar yol boyuca PRN (pseudorandomnoise) kodda meydana gelen değişiklikler belirlenir. Sinyallerin yol boyunca geçen süre ve hızları ile mesafeler hesaplanır. Mesafelerden yararlanarak yer istasyonlarının konumları belirlenir. Bu yöntem aynı zamanda kod ölçme tekniği olarak adlandırılır (Demirel, 1993; Ünver, 1996; Yalçınkaya, 1996; Demirel, 2005).

Taşıyıcı faz ölçme yönteminde uydulardan alıcılara kadar taşıyıcı dalga üzerinde meydana gelen faz değişiklikleri gözlenir. Prensip, elektronik uzunluk ölçme aletlerinin kullandığı faz farkı yöntemine benzer. Faz farkı ölçmelerinin doğru olarak yapılabilmesi, uydu ve alıcı saatlerinin tam olarak uyumu ile mümkündür. Fakat bu tam olarak gerçekleştirilemez. Bu zamanlama problemi ve sistematik hataları elimine etmek için fark yöntemleri kullanılır. Tekli farklar yönteminde bir alıcı ile iki uydudan eş zamanlı ölçme ile alıcı saat hataları elimine edilir. Çift farklar yönteminde alıcı ve uydu saat hataları ile diğer sistem hataları giderilir.

Uygulamada taşıyıcı faz ölçüleriyle konum belirlemede yeryüzündeki iki yada daha fazla alıcı ile dört yada daha fazla uydudan sinyal olarak, eş zamanlı gözlemler yapılır. Bu gözlemler bir süre tekrarlanır. Bu işlemler sonucunda farklı kombinasyonlarla hesaplanabilen gereğinden çok fazla gözlemler elde edilir. Ham ölçülerin değerlendirilmesi ile WGS-84 sisteminde, noktalar arasındaki kartezyen koordinat farkları bir i-k bazı için belirlenen ΔX_{ik}, ΔY_{ik} ve ΔZ_{ik} baz bileşenleri ile bu noktaların koordinatları arasında

$$\Delta X_{ik} = X_k - X_i \quad , \quad \Delta Y_{ik} = Y_k - Y_i \quad , \quad \Delta Z_{ik} = Z_k - Z_i \tag{2.1}$$

ilişkisi geçerlidir. Böylece bu noktalardan birinin koordinatları biliniyorken diğeri bu bileşenlerden elde edilir. Bu yöntem, baz bileşenleri mm doğruluğunda belirlenebildiği için, jeodezik çalışmalarda tercih sebebidir.



Şekil 2.1. i ve k noktaları arasındaki baz bileşenleri ΔX_{ik}, ΔY_{ik} ve ΔZ_{ik}

Düzeltme denklemleri ve ağırlık matrisi:

Bir GPS ağına ilişkin lineer bağımsız bazların bileşenleri ve bu bileşenlerin kovaryans matrisleri, GPS değerlendirme yazılımları ile hesaplanır. Böylesi bir ağdaki i ve k noktaları arasındaki baz bileşenleri için düzeltme denklemleri, (2.1)'den,

$$\begin{aligned} \Delta X_{ik} + v_{X_{ik}} &= X_k - X_i \\ \Delta Y_{ik} + v_{Y_{ik}} &= Y_k - Y_i \\ \Delta Z_{ik} + v_{Z_{ik}} &= Z_k - Z_i \end{aligned} \qquad (2.2)$$

biçiminde yazılır. Bilinmeyenlerin yaklaşık değerleri $X_{i,0}$, $Y_{i,0}$, $Z_{i,0}$, $X_{k,0}$, $Y_{k,0}$, $Z_{k,0}$ ve küçültülmüş bilinmeyenler δX_i, δY_i, δZ_i, δX_k, δY_k, δZ_k olmak üzere (2.2) düzeltme denklemlerinde bilinmeyenler yerine,

$$X_i = X_{i,0} + \delta X_i \,, \quad Y_i = Y_{i,0} + \delta Y_i \,, \quad Z_i = Z_{i,0} + \delta Z_i \qquad (2.3a)$$

$$X_k = X_{k,0} + \delta X_k \,, \; Y_k = Y_{k,0} + \delta Y_k \,, \; Z_k = Z_{k,0} + \delta Z_k \qquad (2.3b)$$

yazılarak,

$$-l_{X_{ik}} = X_{k,0} - X_{i,0} - \Delta X_{ik}, \; -l_{Y_{ik}} = Y_{k,0} - Y_{i,0} - \Delta Y_{ik} \;, \; -l_{Z_{ik}} = Z_{k,0} - Z_{i,0} - \Delta Z_{ik} \qquad (2.4)$$

yalın terimleri ile düzeltme denklemleri,

$$
\begin{aligned}
v_{X_{ik}} &= \delta X_k - \delta X_i - l_{X_{ik}} \\
v_{Y_{ik}} &= \delta Y_k - \delta Y_i - l_{Y_{ik}} \\
v_{Z_{ik}} &= \delta Z_k - \delta Z_i - l_{Z_{ik}}
\end{aligned}
\tag{2.5}
$$

olur. Söz konusu bileşenlerin varyans-kovaryans matrisi C_{ik},

$$
C_{ik} = \begin{bmatrix} \sigma^2_{\Delta X} & \sigma_{\Delta X \Delta Y} & \sigma_{\Delta X \Delta Z} \\ & \sigma^2_{\Delta Y} & \sigma_{\Delta Y \Delta Z} \\ Sim. & & \sigma^2_{\Delta Z} \end{bmatrix}_{ik} \tag{2.6}
$$

olmak üzere ağırlık matrisi,

$$
P_{ik} = \sigma_0^2 C_{ik}^{-1} \tag{2.7}
$$

biçiminde oluşturulur.

2.2 Serbest Ağ Dengelemesi

Serbest ağlarda tüm noktalar bilinmeyendir. Normal denklem katsayılar matrisi tekil; determinantı sıfıra eşittir. Rank bozukluğu ya da defekt sayısı serbest datum parametrelerinin sayısına eşittir. Bilinmeyen sayısı u ve rank bozukluğu d ile gösterilirse normal denklem katsayılar matrisinin rangı r = u – d olur. Normal denklem katsayılar matrisinin tekil olması, açık (tek anlamlı) çözüm için gerekli ölçü sayısından daha çok bilinmeyen (serbest datum parametrelerinin sayısı kadar) öngörülmesinden kaynaklanır.

2.2.1.Zorlamasız Klasik Dengeleme

Bu çözüm, normal denklem katsayılar matrisinin determinantının sıfırdan farklı olduğu bilinen dengeleme türüdür. Tüm noktalar bilinmeyen olduğuna göre oluşturulan **v=**A x–l düzeltme denklemlerinde A katsayılar matrisinden defekt sayısı kadar sütun çizilerek ya da defekt sayısı (d) kadar koordinat bilinmeyeni sabit kabul edilerek normal denklem katsayılar matrisinin ($N = A^T P A$) düzenli (determinantı sıfırdan farklı = regüler) bir matrise dönüştürülmesine dayanır. Normal denklem katsayılar matrisinden defekt sayısı

kadar sütunun ve normal denklemlerden bu sütunlara karşılık satırların çizilmesiyle de aynı sonuca ulaşılır.

Dengeleme sonuçlarının (koordinatlar ve nokta konum hataları), sabit kabul edilen nokta ya da koordinatların ağ içindeki konumlarına bağlı olarak değişmesi; sabit kabul edilen noktalardan uzaklaştıkça nokta konum hatalarının artması bu dengeleme türünün olumsuz yanını oluşturmaktadır.

2.2.2 Tüm İz Minimum Yöntemine Göre Dengeleme

Tüm iz minimum yöntemi, ağın tüm noktalarını içeren küçültülmüş koordinat bilinmeyenleri vektörünün normunun (bilinmeyenlerin kareleri toplamı) ve ağırlık katsayıları matrisinin izinin (köşegen elemanları toplamı) en küçük olmasını, başka bir deyişle ağın tüm noktalarının datum tanımına katkıda bulunmasını sağlar.

Tüm iz minimum yöntemine göre dengelemenin doğrusallaştırılmış fonksiyonel modeli, düzeltme denklemleriyle koordinat bilinmeyenleri arasındaki koşul denklemlerinden oluşur:

$$\mathbf{v} = \mathbf{A}\,\mathbf{x}_g - \mathbf{l} \qquad \text{(düzeltme denklemleri)} \qquad (2.8a)$$

$$\mathbf{G}^T\mathbf{x}_g = \mathbf{o} \qquad \text{(koşul denklemleri)} \qquad (2.8a)$$

x_g koordinat bilinmeyenleri vektörü, ağın tüm noktalarını içerir. Düzeltme denklemlerinden yöneltme vb. bilinmeyenlerin önceden yok edildiği varsayılmaktadır. Bu çözümde ağın datumu G matrisiyle tanımlanmakta ve tüm noktalar datum tanımına katılmaktadır. Koşul denklemlerinin sayısı datum parametrelerinin sayısına eşittir. Başka bir deyişle nokta sayısı p ve buna göre koordinat bilinmeyenlerinin sayısı bir boyutlu ağlarda u = p, iki boyutlu ağlarda u = 2p ve üç boyutlu ağlarda u = 3p ise G matrisinin boyutları u x d'dir.

Bir boyutlu ağlar (yükseklik ve gravite ağları) için G^T matrisi,

$$G^T = \frac{1}{\sqrt{p}}\,[1\ \ 1\ \ 1 \ldots 1] \qquad (G^TG = 1) \qquad (2.9)$$

iki boyutlu ağlar (yatay kontrol ağları) için G^T matrisi,G^T matrisinin satır vektörleri ortogonaldir ve normlandırılmıştır ($G^TG = E$). (2.10)'deki x'_{i0}, y'_{i0} büyüklükleri ağın

ağırlık merkezine göre tanımlanmış ve normlandırılmış yaklaşık koordinatlardır:

$$x'_{i0} = \frac{x_{i0} - x_s}{\sqrt{\left[(x_{i0} - x_s)^2 + (y_{i0} - y_s)^2\right]}} \quad , \quad y'_{i0} = \frac{y_{i0} - y_s}{\sqrt{\left[(x_{i0} - x_s)^2 + (y_{i0} - y_s)^2\right]}} \tag{2.11a}$$

$$x_s = \frac{[x_0]}{p} \, , \; y_s = \frac{[y_0]}{p} \qquad \text{(Ağın ağırlık merkezinin koordinatları)} \tag{2.11b}$$

(2.10)'deki G^T matrisinin ilk iki satırı ile koordinat sisteminin x ve y eksen doğrultularındaki öteleme, üçüncü satırı ile dönüklük ve son satırı ile ölçek parametreleri tanımlanır. Yatay doğrultular yanında uzunlukların da ölçüldüğü doğrultu-kenar ağlarında ölçek belli olduğundan G^T matrisinin son satırı ortadan kalkar.

Üç boyutlu ağlar için G^T matrisi,

$$G^T = \begin{bmatrix} 1/\sqrt{p} & 0 & 0 & 1/\sqrt{p} & 0 & 0 & \dots & 1/\sqrt{p} & 0 & 0 \\ 0 & 1/\sqrt{p} & 0 & 0 & 1/\sqrt{p} & 0 & \dots & 0 & 1/\sqrt{p} & 0 \\ 0 & 0 & 1/\sqrt{p} & 0 & 0 & 1/\sqrt{p} & \dots & 0 & 0 & 1/\sqrt{p} \\ 0 & -z'_{10} & y'_{10} & 0 & -z'_{20} & y'_{20} & \dots & 0 & -z'_{p0} & y'_{p0} \\ z'_{10} & 0 & -x'_{10} & z'_{20} & 0 & -x'_{20} & \dots & z'_{p0} & 0 & -x'_{p0} \\ -y'_{10} & x'_{10} & 0 & -y'_{20} & x'_{20} & 0 & \dots & -y'_{p0} & x'_{p0} & 0 \\ x'_{10} & y'_{10} & z'_{10} & x'_{20} & y'_{20} & z'_{20} & \dots & x'_{p0} & y'_{p0} & z'_{p0} \end{bmatrix} \tag{2.12}$$

Bu G matrisinin sütun vektörleri ortogonal ve ortonormal değildir ($G^TG \neq E$). G^T matrisinde geçen x'_{i0}, y'_{i0}, z'_{i0} büyüklükleri ağın ağırlık merkezine indirgenmiş ve küçültülmüş yaklaşık koordinatlardır:

$$x'_{i0} = \frac{x_{i0} - x_s}{\sqrt{\left[(x_{i0} - x_s)^2 + (y_{i0} - y_s)^2 + (z_{i0} - z_s)^2\right]}}$$

$$y'_{i0} = \frac{y_{i0} - y_s}{\sqrt{\left[(x_{i0} - x_s)^2 + (y_{i0} - y_s)^2 + (z_{i0} - z_s)^2\right]}} \tag{2.13a}$$

$$z'_{i0} = \frac{z_{i0} - z_s}{\sqrt{\left[(x_{i0} - x_s)^2 + (y_{i0} - y_s)^2 + (z_{i0} - z_s)^2\right]}}$$

$$x_s = \frac{[x_0]}{p} \quad , \quad y_s = \frac{[y_0]}{p} \quad , \quad z_s = \frac{[z_0]}{p} \tag{2.13b}$$

G^T matrisinin ilk üç satırı ile koordinat sisteminin x, y, z eksen doğrultularındaki öteleme; üç, dört ve beşinci satırı ile üç eksene göre dönüklük ve son satırı ile ölçek parametreleri tanımlanır. Yatay doğrultular yanında uzunlukların da ölçüldüğü ağlarda ölçek belli olduğundan G^T matrisinin son satırı ortadan kalkar.

G matrisi,

$$A\,G = 0 \qquad \text{ve} \qquad N\,G = 0 \tag{2.14}$$

koşullarını sağlar.

Düzeltme denklemleri yanında bilinmeyenler arasında koşulların da geçtiği (2.8a) fonksiyonel modelinde (koşullu dolaylı ölçüler dengelemesi modeli) parametre kestirimi için Lagrange fonksiyonu,

$$\begin{aligned} \Omega &= v^T P\, v + 2\, k^T G^T x_g = \min \\ \Omega &= (x_g^T\, A^T - l^T)\, P\, (A\, x_g - l) + 2\, k^T G^T x_g = \min \end{aligned} \tag{2.15}$$

oluşturulur.

k korelat vektörü koşul sayısı kadar korelat bilinmeyeni içerir. (2.15)'den;

$$\begin{aligned} &\frac{\partial \Omega}{\partial x_g} = N\, x_g + G\, k - n = o \quad \textit{ve} \quad G^T x_g = o \quad \textit{ile} \\ &\begin{bmatrix} N & G \\ G^T & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_g \\ k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n \\ o \end{bmatrix} \end{aligned} \tag{2.16}$$

normal denklemleri elde edilir. Burada $N = A^T\, P\, A$ ve $n = A^T\, P\, l$ dir. Normal denklem katsayılar matrisinin tersi,

$$\begin{bmatrix} N & G \\ G^T & 0 \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} Q_g & G(G^T G)^{-1} \\ (G^T G)^{-1} G^T & 0 \end{bmatrix} \tag{2.17}$$

çıkar.

$Q_g = N^+$, N matrisinin Moore-Penrose ya da Pseudo tersi olarak adlandırılır; x_g koordinat bilinmeyenlerinin ağırlık katsayıları matrisidir:

$$Q_g = N^+ = (N + GG^T)^{-1} - G(G^T G G^T G)^{-1} G^T \tag{2.18}$$

(2.14) özelliği nedeniyle $G^T A^T = 0$ olduğundan (2.16)'dan (2.17) ile x_g koordinat bilinmeyenleri,

$$x_g = Q_g\, n = (N + GG^T)^{-1}\, n \tag{2.19}$$

ve k korelat bilinmeyenleri,

$$k = (G^T G)^{-1} G^T n = (G^T G)^{-1} G^T A^T P\, l = 0 \tag{2.20}$$

çıkar.

N matrisinin çeşitli terslerine göre $Q_g = N^+$ matrisinin izi ve x_g vektörünün normu tüm çözümler karşısında en küçüktür (tüm iz minimum):

$$iz Q_g = \min \ , \ x_g^T x_g = \min \tag{2.21}$$

Bu özelliğin sonucu olarak koordinat varyanslarının toplamı en küçüktür; nokta konum hataları homojen dağılımlıdır.

(2.16) normal denklemlerinin katsayılar matrisinin (2.17)'daki tersi ile çarpımının birim matrise eşit, N ve Q_g matrislerinin simetrik olduğu ve (2.14) özelliği göz önüne alınırsa,

$$Q_g N = E - G(G^T G)^{-1} G^T \tag{2.22a}$$

$$Q_g G = 0 \tag{2.22b}$$

$NQ_gN = N$ (2.22c)

$Q_gNQ_g = Q_g$ (2.22d)

çıkar.

$G^T x_g = 0$ koşulları, G^T'nin (2.10)'deki eşiti göz önüne alınarak iki boyutlu ağlar için açık yazılırsa,

$$[\delta x] = 0 \ , \ [\delta y] = 0 \ , \ [-y'_0\delta x + x'_0\delta y] = 0 \ , \ [x'_0\delta x + y'_0\delta y] = 0 \qquad (2.23)$$

olduğu görülür. Bu özellikler, benzerlik (Helmert) dönüşümü için geçerli olduğundan buradaki çözüm, yaklaşık koordinatlar ile dengeleme sonunda bulunan koordinatlar arasında bir benzerlik dönüşümü anlamındadır.δx ,δy küçültülmüş bilinmeyenleri benzerlik dönüşümündeki v_x , v_y düzeltmelerine karşılıktır.

$G^T x_g = o$ koşulu yükseklik ağları için G^T nin (2.9)'deki eşiti göz önüne alınarak açık yazılırsa x_g vektörünün elemanları δH_j yükseklik bilinmeyenleri olduğuna göre,

$[\delta H] = 0$ (2.24)

özelliği çıkar. Buna göre dengeleme sonunda küçültülmüş bilinmeyenler için bulunan sayısal değerler toplamı sıfıra eşit olmalıdır.

İki boyutlu bir ağa ilişkin G^T matrisinde geçen yaklaşık koordinatlar ağın ağırlık merkezine göre tanımlanmış, ayrıca işlemlerde kolaylık sağlaması nedeniyle satır elemanları normlandırılmıştır ($G^TG = E$; birim matris). Normlandırma katsayıları,

$$\frac{1}{\sqrt{p}} \quad ve \quad \frac{1}{\sqrt{\left[(x_{i0} - x_s)^2 + (y_{i0} - y_s)^2\right]}} \qquad (2.25)$$

Yükseklik ve gravite ağları için normlandırma katsayısı $1/\sqrt{p}$ dir; $G^TG = 1$ çıkar. Normlandırmanın sonucu olarak (2.18)'de $(G^TGG^TG)^{-1} = E$ olur ve çözüm kolaylaşır. Üç boyutlu ağlar için $G^TG \neq E$ olduğu göz önüne alınmalıdır.(2.10) ve (2.12)'de verilen G^T

matrislerinde ağın bir noktası yerine ağırlık merkezi sabit alındığından datum parametreleri yaklaşık koordinatlara dayandırılmış olmaktadır.

Tüm iz minimum yöntemine göre dengeleme, bilinmeyen koordinatlara ve noktalara ilişkin doğruluk ölçütlerine sabit parametre seçiminin etkisini dışlayan ve bu ölçütlerin homojen dağılımlı olmasını sağlayan bir çözümdür.

2.2.3 Kısmi İz Minimum Yöntemine Göre Dengeleme

Kısmi iz minimum yönteminde dengelemenin doğrusallaştırılmış fonksiyonel modeli,

$$v = A\, x_i - l \tag{2.26a}$$

$$B_i^T x_i = o \tag{2.26b}$$

ya da x_1 datumu tanımlayan nokta koordinatları, x_2 datum tanımına girmeyen nokta koordinatları vb. bilinmeyenler, G_1 matrisi G'nin datum noktalarına karşılık alt matrisi olmak üzere,

$$x_i = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \quad , \quad B_i = \begin{bmatrix} G_1 \\ 0 \end{bmatrix} , \quad A = \begin{bmatrix} A_1 & A_2 \end{bmatrix} \tag{2.27}$$

ile

$$v = A_1\, x_1 + A_2\, x_2 - l \tag{2.28a}$$

$$G_1^T\, x_1 = o \tag{2.28b}$$

biçimindedir.

(2.26a) fonksiyonel modeli için (2.15)'deki Lagrange fonksiyonu oluşturulursa,

$$\begin{bmatrix} N & B_i \\ B_i^T & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n \\ o \end{bmatrix} \tag{2.29}$$

normal denklemleri elde edilir ($N = A^T P A$, $n = A^T P l$) (2.29) normal denklemlerinin çözümünden,

$$\begin{bmatrix} x_i \\ k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N & B_i \\ B_i^T & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} n \\ o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_i & G(B_i^T G)^{-1} \\ (G^T B_i)^{-1} G^T & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n \\ o \end{bmatrix} \tag{2.30}$$

çıkar. $Q_i = \mathbf{N}^-$, N matrisinin genel tersi (inversi) olarak adlandırılır; x_i bilinmeyenlerinin ağırlık katsayıları matrisidir:

$$Q_i = (N + B_i B_i^T)^{-1} - G(G^T B_i B_i^T G)^{-1} G^T \tag{2.31}$$

(2.14) özelliği nedeniyle $G^T A^T = 0$ olduğundan (2.30)'den x_i ve k bilinmeyenleri,

$$x_i = Q_i \, n \underline{\ } (N + B_i B_i^T)^{-1} n \tag{2.32a}$$

$$k = (G^T B_i)^{-1} G^T n = 0 \tag{2.32b}$$

$$(n = A^T P l \ , \ G^T A^T = 0) \tag{2.32c}$$

çıkar.

$x_i = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$ bilinmeyenler vektörünün datum tanımına giren noktalara karşılık x_1 alt vektörünün normu ve $Q_i = \mathbf{N}^- = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} \\ Q_{21} & Q_{22} \end{bmatrix}$ matrisinin buna karşılık Q_{11} alt matrisinin izi en küçüktür:

$$x_1^T x_1 = \min \ , \quad \text{iz } Q_{11} = \min \tag{2.33}$$

Bu özelliğin sonucu olarak datum noktaları koordinatlarının (x_1) varyansları toplamı en küçüktür; datum noktalarının konum hataları homojen dağılımlıdır.

(2.29) normal denklemlerinin katsayılar matrisinin (2.30)'deki tersiyle çarpımının birim matrise eşit, N ve Q_i matrislerinin simetrik olduğu ve (2.14) özelliği göz önüne

alınırsa,

$$Q_iN = E - G(B_i^T G)^{-1} B_i^T \tag{2.34a}$$

$$Q_iB_i = 0 \tag{2.34b}$$

$$NQ_iN = N \tag{2.34c}$$

$$Q_iNQ_i = Q_i \tag{2.34d}$$

çıkar.

Tüm iz minimum ve kısmi iz minimum yöntemlerine göre dengeleme sonuçları arasında aşağıdaki ilişkiler vardır:

$$\text{iz } Q_g < \text{iz } Q_i \quad , \quad x_g^T x_g < x_i^T x_i \tag{2.35}$$

Tüm iz minimum yöntemine göre dengeleme ve zorlamasız klasik dengeleme, kısmi iz minimum yöntemine göre dengelemenin özel biçimleridir. $B_i = G$ ise kısmi iz minimum yöntemi, önceki bölümde açıklanan tüm iz minimum yöntemine dönüşür. (2.27)'de verilen $B_i^T = \begin{bmatrix} G_1^T & 0^T \end{bmatrix}$ matrisinin datum noktalarına karşılık $\mathbf{G}_1^T$ alt matrisinin sütun sayısının serbest datum parametrelerinin sayısına eşit olması durumunda, kısmi iz minimum yöntemine göre dengeleme, zorlamasız klasik dengeleme ile özdeş olur.

2.2.4. S-Dönüşümü

Önceki bölümlerde açıklanan zorlamasız klasik dengeleme, tüm iz ve kısmi iz minimum yöntemlerine göre dengelemeler, ölçü düzeltmelerinin ve buna göre dengeli ölçülerin ya da ağ geometrisinin değişmediği (zorlamasız) çözümlerdir. Birine ilişkin sonuçlar bir **S** (similarity) matrisiyle ötekinin sonuçlarına dönüştürülebilir. Örneğin, zorlamasız klasik dengelemenin koordinat bilinmeyenleri vektörü ve bunun ağırlık katsayıları matrisi, istenen bir datuma karşılık serbest dengeleme (tüm iz minimum ya da kısmi iz minimum) sonuçlarına söz konusu datum için oluşturulması gereken $\mathbf{S}_g$ ya da $\mathbf{S}_i$ matrisiyle dönüştürülebilir. Böyle bir dönüşüm özellikle deformasyon analizlerinde kolaylık sağlar. Söz konusu dönüşüm matrisleri (2.22a) ve (2.34a) bağıntılarına eşittir:

$$S_g = Q_gN = E - G(G^TG)^{-1}G^T \tag{2.36a}$$

$$S_i = Q_i N = E - G(B_i^T G)^{-1} B_i^T \quad (2.36b)$$

Herhangi bir k datumu için geçerli kısmi iz minimum yöntemine göre dengeleme sonuçları x_k ve Q_k ise tüm iz minimum yöntemine göre dengeleme sonuçları,

$$x_g = S_g x_k, Q_g = S_g Q_k S_g^T \ (S_g = S_g^T) \quad (2.37a)$$

ve i datumuna ilişkin kısmi iz minimum yöntemine göre dengeleme sonuçları,

$$x_i = S_i x_k \quad , Q_i = S_i Q_k S_i^T \quad (2.37b)$$

dönüşüm eşitlikleriyle elde edilebilir. Bu dönüşümler; $S_g = Q_g N$, $S_i = Q_i N$, $N x_k = n$ eşitlikleri ve (2.22c ve d), (2.34c ve d) özellikleri göz önüne alınarak doğrulanabilir.

Örnek: Bir ağ defekt sayısı kadar parametre (koordinat) değişmez kabul edilerek dengelenir (zorlamasız klasik dengeleme); bilinmeyenler vektörü değişmez kabul edilen parametrelere karşılık defekt sayısı kadar "0" ile genişletilir; benzer biçimde ağırlık katsayıları matrisi defekt sayısı kadar, elemanları "0" olan satır ve sütunla genişletilir. Böylece elde edilen bilinmeyenler vektörü x_k ve bunun ağırlık katsayıları matrisi Q_k, değişmez kabul edilen nokta koordinatlarının datum belirleyici olduğu dengeleme sonuçlarıdır. Bu sonuçlar, G ve B_i yardımıyla oluşturulan S_g, S_i matrisleri ve (2.37a), (2.37b) eşitlikleriyle istenen datuma karşılık dengeleme (tüm iz minimum ya da kısmi iz minimum) sonuçlarına kolayca dönüştürülebilir.

2.3.İstatistik Testler

2.3.1.Model Hipotezinin Testi

Model hipotezi testi için sıfır hipotezi,

$$H_0 : E\{m_0^2\} = E\{s_0^2\} \quad (2.38)$$

biçiminde kurulur. Seçenek hipotezleri, tek yönlü testlerde

$$H_{s1} : E\{m_0^2\} > E\{s_0^2\} \quad (2.40)$$

olarak, çift yönlü testlerde ise

$$H_{s2}: \mathrm{E}\{m_0^2\} \neq \mathrm{E}\{s_0^2\} \tag{2.41}$$

olarak kurulur. Test büyüklüğü,

$$T = \frac{m_0^2}{s_0^2} \; ; \; m_0 > s_0 \tag{2.42}$$

$$q_1 = F_{f,f_f,1-a} \quad \text{veya} \quad q_2 = F_{f,f_f,1-\frac{a}{2}} \tag{2.43}$$

değerler ile karşılaştırılır ve hipotez kabul yada red edilir. Test büyüklüğü, seçenek hipotezi H_{S1} ise q_1 ile seçenek hipotezi H_{S2} ise q_2 ile karşılaştırılır.

2.3.2.Uyuşumsuz Ölçüler Testi

Obje deformasyonlarının izlenmesi amacıyla tesis edilen jeodezik ağlar periyodik yada sürekli ölçülmektedir. Her bir ölçme döneminde toplanan verilerin uyuşumsuz ölçü içermemesi gerekmektedir. Kaba hatalı ölçülerin saptanması amacıyla geliştirilmiş pekçok test yöntemi mevcuttur (Öztürk ve Şerbetçi, 1992; Şimşek, 1992).

Sınır değeri;

$$T_i = \frac{V_i}{s_0\sqrt{q_{v_i v_i}}} \sim N(0,1) \tag{2.44}$$

ve tau-testi için

$$T_i = \frac{V_i}{m_0\sqrt{q_{v_i v_i}}} \sim \tau_f \tag{2.45}$$

test büyüklükleri geçerlidir.

$$m_0^2 = \frac{[p.v.v] - \frac{V_i^2}{q_{v_i v_i}}}{f-1} \tag{2.46}$$

t-testi için

$$T_i = \frac{V_i}{m_0\sqrt{q_{v_i v_i}}} \sim t_{f-1} \tag{2.47}$$

test büyüklüğü t-dağılımlıdır. (2.44), (2.45) ya da (2.46) test büyüklüğü sınır değerini aşarsa ilgili ölçü uyuşumsuzdur.

BÖLÜM 3
DEFORMASYON MODELLERİ

3.1.Deformasyon Modelleri

Kuhlmann ve Pelzer'e göre; deformasyonlar kuvvetlerin etkimesi sonucunda oluşur ve çoğunlukla zamana bağlı olarak değişir. Deformasyonları belirlemek için oluşturulan matematiksel modeller fiziksel gerçeğin basitleştirilmiş biçimleridir, genellikle kuvvet yada zamana bağlı olarak tanımlanır (Mierlo, 1978; Dupraz ve ark., 1979; Ayan, 1982; Atasoy, 1984, 1988; Ayan ve ark., 1993; Moss ve ark., 1999; Doğan, 2002).

Deformasyon nedenleri;

• Tabandaki değişimler,

• Yapı temelindeki gevşemeler,

• Nem, basınçve sıcaklık değişimleri,

• Ani değişimler olarak sıralanabilir (İnal, 2000).

Deformasyonlar, probleme uygulanan ölçme planına ve yöntemine göre statik, kinematik ve dinamik olmak üzere üç ana model ile incelenir (Ayan,1982).

3.1.1.Statik Deformasyon Modeli

İki ölçü periyodunda hesaplanan nokta koordinatları (x_1, x_2) ile fark vektörü,

$$d = x_2 - x_1 \tag{3.1}$$

biçimindedir. Deformasyon analizi için;

$$H_0 = x_2 - x_1 = 0 \tag{3.2}$$

(3.2)'ye göre kurulur, Q_d matrisi,

$$Q_d = Q_{xx_1} + Q_{xx_2} = (A_1^T P_1 A_1)^+ + (A_2^T P_2 A_2)^+ \tag{3.3}$$

şeklindedir. θ^2-ölçütü,

$$\theta^2 = (x_2 - x_1)^T \{(A_1^T P_1 A_1)^+ + (A_2^T P_2 A_2)^+\}^+ (x_2 - x_1) \tag{3.4}$$

olarak bulunur. Q_d `nin rangı, ağ şekli eşlenikse;

$$h = rang(Q_{xx_1}) = rang(Q_{xx_2}) = u_k - d_{datum} \quad (3.5)$$

biçiminde hesaplanır. İki ölçü kümesinin ortak standart sapması

$$S_0^2 = \sqrt{\frac{V_1^T P_1 V_1 + V_2^T P_2 V_2}{f_1 + f_2}} \quad (3.6)$$

eşitliğinden hesaplanır. Eşdeğerlik testinin test büyüklüğü,

$$f_i = n_i - u_i + d_{datum} \;\; ; \;\; i = 1,2 \quad (3.7)$$

biçimindedir.

$$d = \begin{vmatrix} d_F \\ d_B \end{vmatrix} \quad (3.8)$$

$$Q_d \begin{vmatrix} Q_{FF} & Q_{FB} \\ Q_{BF} & Q_{BB} \end{vmatrix} \quad (3.9)$$

$$Q_d^+ = P_d = \begin{vmatrix} P_{FF} & P_{FB} \\ P_{BF} & P_{BB} \end{vmatrix} \quad (3.10)$$

elde edilmiş olur.

$$\theta_{kalan}^2 = d_D^T Q_{DD}^+ d_D \quad (3.21)$$

Buradah$_D$=h-m ve f$_D$=f-3 olmak üzere test büyüklüğü,

$$T_D = \frac{\theta_{kalan}^2}{s_0^2 . h_D} > F_{h_D, f_D, 1-\alpha} \quad (3.22)$$

ise ağda hareketli nokta vardır.

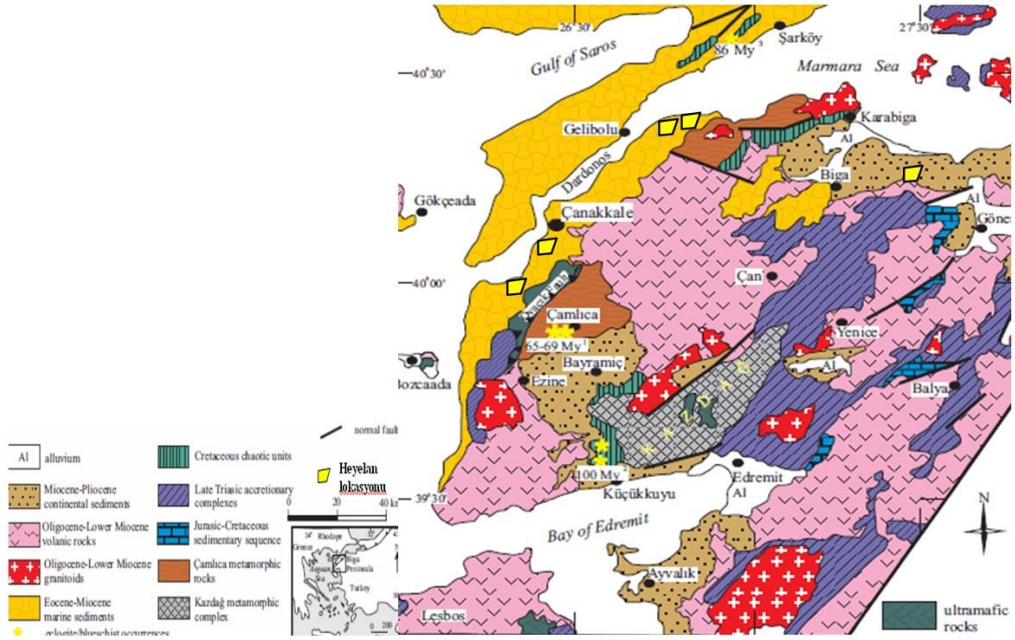
BÖLÜM 4
UYGULAMA

4.1 Çalışma Alanı

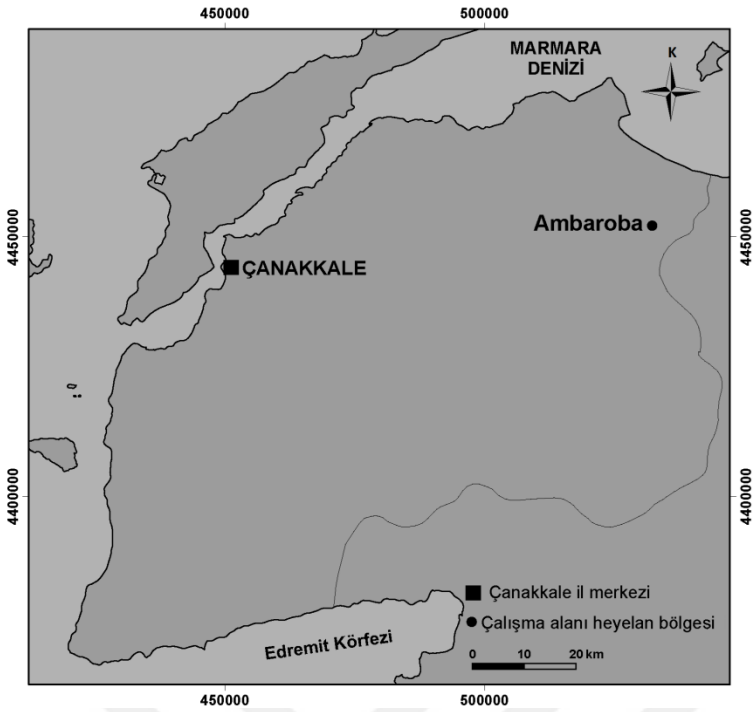
Biga Yarımadasının Kuzey Kesiminde halen kütlesel kaymaların var olduğu bilinmektedir (Erenoğlu ve ark., 2015). Şekil 4.1'de görüldüğü gibi Biga Yarımadasındaki ana morfolojik birimler; büyük ve küçük kıyı ovaları, tepeleri, yaylaları ile iç kesimlerde de dağlık alanlardır. Bu çalışmada, Ambaroba heyelan bölgesi çalışma alanı olarak belirlenmiştir(Şekil 4.2). Heyelan izleme çalışmalarında deformasyonların jeodezik yöntemlerle belirlenmesinde genellikle yerel mikro-jeodezik ağlar tesis edilmektedir. Diğer bir ifadeyle deformasyona konu olan heyelan alanı belirli sayıdaki jeodezik nokta ile çevrelenmektedir. Tesis edilecek jeodezik noktaların sayısı heyelan alanının büyüklüğüne ve beklenen deformasyon miktarına bağlıdır. Bu aşamada heyelan deformasyonlarının izlenmesinde jeodezinin yanısıra jeoloji ve jeofizik disiplinlerinden de faydalanılır. Çalışma alanları olarak seçilecek bölgelerin sınırlanmış oldukları doğu boylamları ile kuzey enlemleri Çizelge 4.1'de verilmektedir.

Çizelge 4.1. Çalışma bölgelerini sınırlayan enlem ve boylamlar (Datum: WGS-84)

Heyelan Adı/Mevkii	Enlem (Kuzey)		Boylam (Doğu)	
	Üst	Alt	Sol	Sağ
Ambaroba	40° 13' 10"	40° 13' 03"	27°23' 23"	27°23' 39"



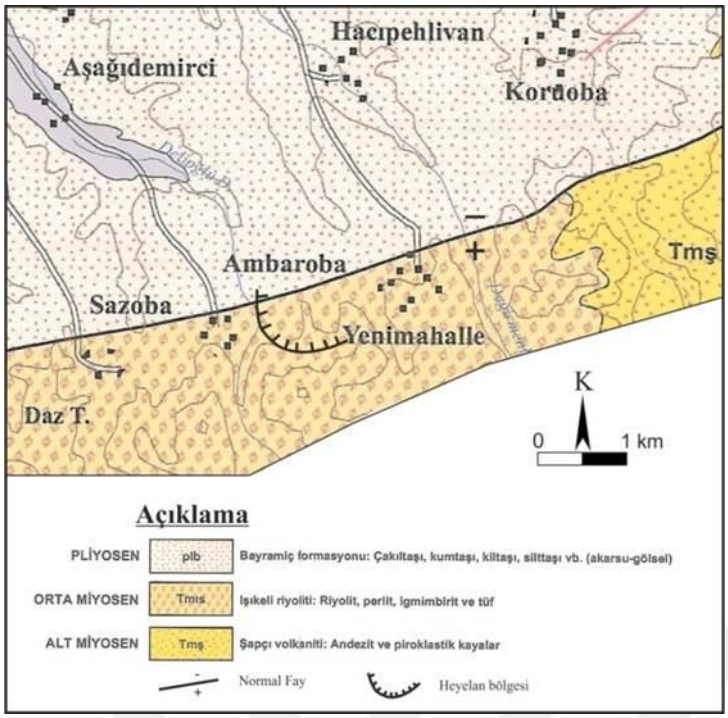
Şekil 4.1. Çalışma bölgesi ve biga yarımadasının genel jeolojisi



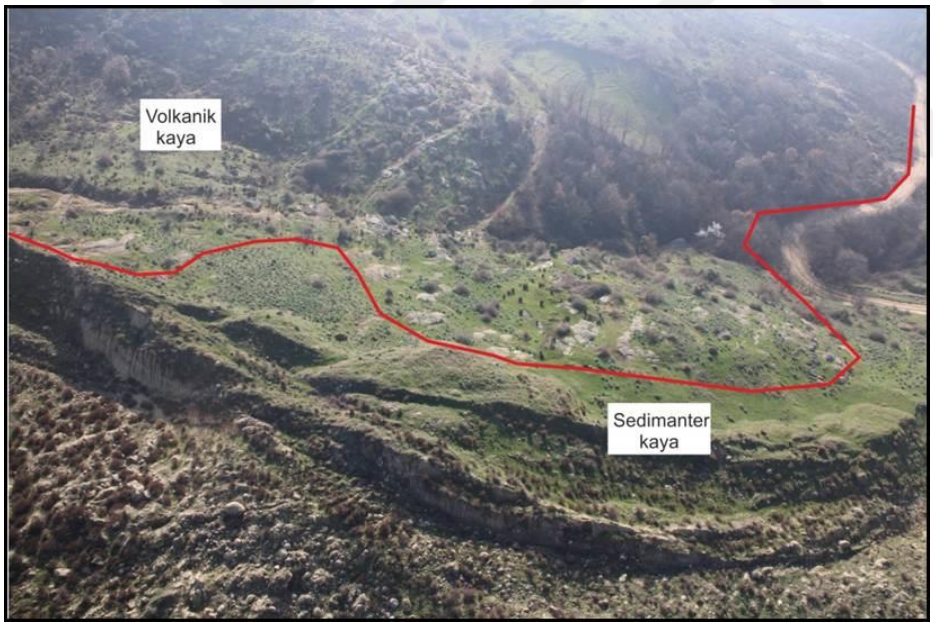
Şekil 4.2. Çalışma kapsamında incelenen heyelan çalışma bölgesi

Ambaroba köyü Biga ilçesinin doğusunda, diğer bölgelerin aksine Çanakkale Boğazından uzak iç kesimde yer alır. Bölgede Miyosen yaşlı volkanik kayalar, Pliyosen yaşlı sedimanter çökeller ile uyumsuz ve faylı dokanak oluşturmaktadır (Şekil 4.3). Heyelan alanlarında jeolojik birimlere ait litolojik özelliklerinin yanı sıra yapısal faktörlerde önemli bir parametre oluşturmaktadır. Çünkü faylara yakınlık kayaçlarda parçalanmaya neden olabileceği gibi yamaçların duyarsızlığa karşı daha duyarlı bir hale dönüşmesine sebep olabilmektedir. Aktif olmayan fay düzlemleri de kitle hareketlerinin gelişimine katkıda bulunabilmektedirler (Erenoğlu ve ark., 2015).

Bölgedeki volkanik kayalar oldukça sağlam ve kompakt bir yapıya sahiptirler. Dolayısıyla bu alanlarda herhangi bir heyelan akması beklenemez. Ancak bu volkanik kayalarla olan tektonik sınırdaki sedimanter çökellerde büyük ölçekte heyelan hareketlerinin gerçekleşmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.3. Ambaroba ve çevresinin genel jeoloji haritası



Şekil 4.4. Heyelan akmasının gerçekleştiği sedimanter ve volkanik kayaların sınırı

Ambaroba köyü çevresinde yer alan Bayramiç formasyonuna ait sedimanter çökeller kızıl-kahve renkli çakıltaşı, kumtaşı ve sarı-krem renkli çamurtaşlarından oluşmaktadır (Erenoğlu ve ark., 2015).

Çakıltaşları ve kumtaşları masif ya da orta-kalın tabakalı, düzlemsel paralel ve çapraz katmanlıdırlar. Çamurtaşları ise genelde masif gözlenmektedir.

4.2 Jeodezik Ağ Tasarım

Bu çalışmada, heyelan bölgesinde kurulmuş olan mikro-jeodezik ağlarda bölgedeki heyelan hareketlerini belirlemek amacıyla jeodezik GPS/GNSS ölçme metodu ile gözlemler yapılmıştır (Şekil 4.7). Bilindiği gibi jeodezinin temel amacı, yeryuvarının geometrik ve fiziksel şeklinin belirlenmesidir. Bu amaca yönelik olarak tüm yeryuvarı veya bir kısmı jeodezik ağ noktalarının üç boyutlu koordinatları ile tanımlanır.

Çalışma kapsamında jeolojik ve jeofizik çalışmalardan elde edilen sonuçların da dikkate alındığı bir GPS/GNSS heyelan izleme ağı tesisi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla üç kademeli bir ağ tasarlanmıştır. İlk kademe olarak heyelan alanını merkez alan temel kareler ağı, ikinci kademe olarak heyelan alanının yakınını ve tüm çevreyi kapsayacak bir kareler ağı ve son olarak heyelan alanları dışında birden fazla (en az iki) sabit nokta tesis edilmesi planlanmaktaydı. Ancak heyelan gibi alanı içinde homojen olmayan davranışlar sergileyen bir doğa olayının modellenmesinde kareler ağı uygulamasının yanı sıra bu ağların tasarımında jeodezik şekil, ağırlık ve doğruluk optimizasyonları kullanılarak en uygun (optimum) ağ tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Bir yersel referans sisteminin (terrestrial reference system) gerçekleştirilmesi veya bir bölgedeki yer kabuğunun hareketlerinin belirlenmesi gibi farklı amaçlar için jeodezik ağlar kurulabilir. Bu ağlardan beklenen duyarlılık, güvenilirlik ölçütleri ve maliyet sınırı amaca göre değişkenlik gösterir (Demirel 2005). Bu nedenle, bir jeodezik ağ tesis edilmeden önce bu beklentilerin hangi durumlarda sağlanacağının belirlenmesi gerekir. Jeodezik ağların beklentilerine yönelik en uygun çözümün araştırılmasına jeodezik ağların optimizasyonu adı verilir. Bunun için, belirlenen amaç fonksiyonları kullanılır. Tesis edilecek ağın değişik tasarımlarından amaç fonksiyonunu sağlayan durum belirlenir.

Tasarım parametrelerine göre 4 farklı optimizasyon türü geliştirilmiştir. 0.derece optimizasyon amaç fonksiyonunun belirlenmesi için en uygun datumun belirlenmesi problemi, 1. derece optimizasyon en uygun yaklaşık koordinatların belirlenmesi, başka bir ifadeyle, şekil problemi, 3. derece optimizasyon jeodezik ağın seçilen amaç fonksiyonunu sağlayacak şekilde iyileştirilmesi ve geliştirilmesidir. 2. Derece optimizasyon ise ağın datumunun, geometrik yapısının ve gerçekleştirilecek ölçülerin duyarlılıklarının bilindiği durumda amaç fonksiyonunun gerçekleştirilmesi için en uygun ağırlıkların belirlenmesi işlemidir. Bu nedenle ağırlık optimizasyonu olarak da adlandırılır (Demirel 2005).

Çalışmanın GPS/GNSS nokta planlama adımları aşağıdaki şekilde gerçekleşmiştir:

- Aktif heyelanların izlenmesi amacına uygun olarak GPS/GNSS noktalarının tesisini sağlamak amacıyla, çalışma bölgesinin önceki dönemlere ilişkin uydu görüntüleri ve hava

fotoğrafları irdelenmiştir. Jeofizik ve jeoloji konusunda uzman araştırmacılarında yer aldığı bu çalışma ile bölgelerdeki farklı litolojik birimleri varlığı tespit edilmiştir. Bu birimlerin heyelan çekincesi ortaya çıkarma potansiyelleri de nokta sayısı ve konumlarının tespit edilmesinde kullanılmıştır.

- Belirlenen heyelan kırık ve çatlaklarının sınırladığı kütle hareketlerini izleyebilmek için kurulması öngörülmüş olan GPS/GNSS noktaları için hava fotoğrafları kullanılarak en uygun bölgelerin belirlenmesine çalışılmıştır.

- Çalışma kapsamında, heyelan izleme amacıyla ölçülmesi planlanan GPS/GNSS noktasının optimum sayıda olması hedeflenmiştir. Bu kapsamda belirtilen optimizasyon stratejileri kullanılarak mikro-jeodezik izleme ağının tasarımı gerçekleştirilmiştir.Ayrıca obje noktalarının yanısıra heyelan alanlarındaki kitle hareketlerinden etkilenmeyecek şekilde her bölge için ikişer fererans noktası düşünülmüştür.

- GPS/GNSS obje izleme ve referans noktalarının, zorlanmadan ulaşılabilir yerlerde olmalarına özellikle dikkat edilmiştir.



Şekil 4.5. Heyelan bölgesinin AMB1 ve AMB2 noktalarını gösteren uydu görüntüsü

4.2 İstikşaf ve İnşaat Çalışmaları

Ölçmelere başlamadan önce heyelan bölgelerinde istikşaf çalışması yapılmış ve mevcut personel, arazi ve teçhizat göz önüne alınarak planlama yapılmıştır. Öncelikle heyelan alanlarındaki olası çökme hareketlerinden etkilenmeyecek şekilde çalışma kapsamında ölçülmek üzere Ambaroba Bölgesi için 15 tane jeodezik GPS/GNSS noktasını

kapsayan mikro-jeodezik deformasyon izleme ağı tesis edilmiştir (Şekil 4.5). Nokta tesislerinde mevsimsel şartlardan etkilenmemesi için özel olarak imal ettirilmiş 15 seri paslanmaz krom ve nikel malzeme kullanılmıştır. Genel olarak kaya üzerine matkap yardımıyla konumlandırılan referans noktalarında ayrıca hızlı kuruyan, hazır beton karışımı epoksi malzeme kullanılmıştır. Referans nokta isimleri, 4 karakterli kısaltmaları, koordinatları ve kısa yer tarifleri aşağıda verilmektedir (Bedir ve ark., 2016).

AMBAROBA-1 (AMB1) - Nokta, Ambaroba Heyelan alanının yaklaşık 200 metre kuzeyinde yer almakta olup kaya üzerindedir.

AMBAROBA-2 (AMB2) - Nokta, Ambaroba Heyelan alanının yaklaşık 200 metre kuzeyinde yer almakta olup kaya üzerindedir.

AMBAROBA-3 (AMB3) - Nokta, Ambaroba Heyelan alanının yaklaşık 200 metre kuzeyinde yer almakta olup kaya üzerindedir.

AMBAROBA-4 (AMB4) - Nokta, Ambaroba Heyelan alanının yaklaşık 200 metre kuzeyinde yer almakta olup kaya üzerindedir.

AMBAROBA-5 (AMB5) - Nokta, Ambaroba Heyelan alanının yaklaşık 200 metre kuzeyinde yer almakta olup kaya üzerindedir.

AMBAROBA-6 (AMB6) - Nokta, Ambaroba Heyelan alanının yaklaşık 200 metre kuzeyinde yer almakta olup kaya üzerindedir.

AMBAROBA-7 (AMB7) - Nokta, Ambaroba Heyelan alanının yaklaşık 200 metre kuzeyinde yer almakta olup kaya üzerindedir.

AMBAROBA-8 (AMB8) - Nokta, Ambaroba Heyelan alanının yaklaşık 200 metre kuzeyinde yer almakta olup kaya üzerindedir.

AMBAROBA-9 (AMB9) - Nokta, Ambaroba Heyelan alanının yaklaşık 200 metre kuzeyinde yer almakta olup kaya üzerindedir.

AMBAROBA-10 (AMB10) - Nokta, Ambaroba Heyelan alanının yaklaşık 200 metre kuzeyinde yer almakta olup kaya üzerindedir.

AMBAROBA-11 (AMB11) - Nokta, Ambaroba Heyelan alanının yaklaşık 200 metre kuzeyinde yer almakta olup kaya üzerindedir.

AMBAROBA-12 (AMB12) - Nokta, Ambaroba Heyelan alanının yaklaşık 200 metre kuzeyinde yer almakta olup kaya üzerindedir.

AMBAROBA-13 (AMB13) - Nokta, Ambaroba Heyelan alanının yaklaşık 200 metre kuzeyinde yer almakta olup kaya üzerindedir.

AMBAROBA-14 (AMB14) - Nokta, Ambaroba Heyelan alanının yaklaşık 200 metre kuzeyinde yer almakta olup kaya üzerindedir.

AMBAROBA-15 (AMB15) - Nokta, Ambaroba Heyelan alanının yaklaşık 200 metre kuzeyinde yer almakta olup kaya üzerindedir.

4.2 GPS/GNSS Gözlemleri

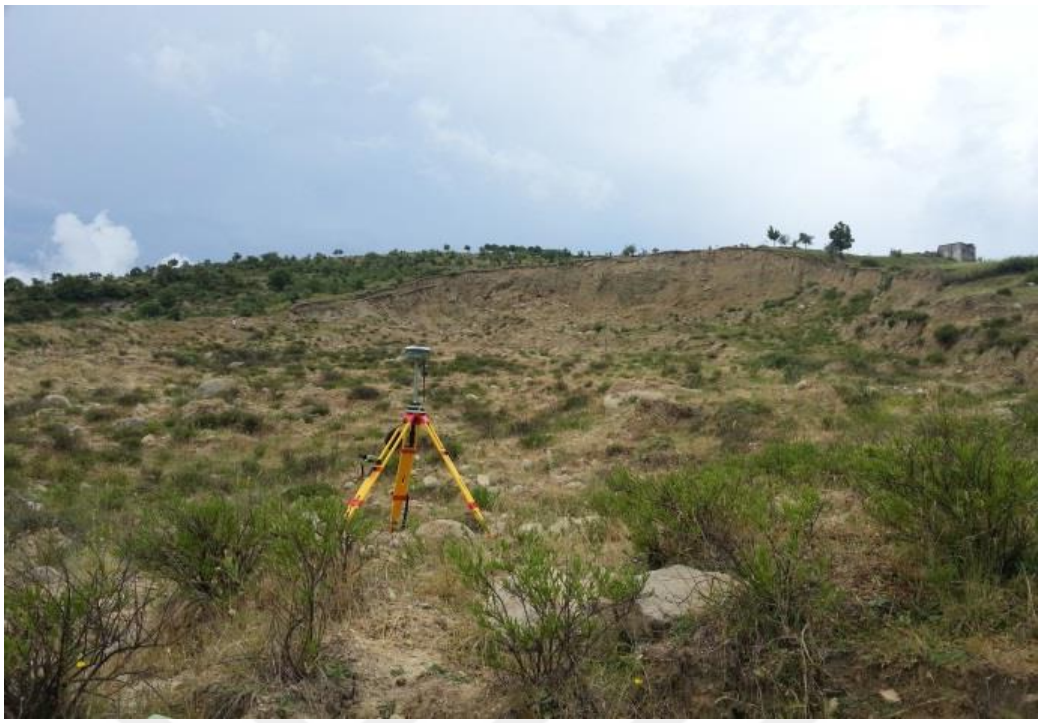
Heyelan riski potansiyeli mevcut olan bölgelerde oluşan heyelanların zamansal ve mekansal olarak izlenmesi için çalışma kapsamında kullanılan yöntem GPS/GNSS yöntemidir (Erenoğlu ve ark., 2013). GPS yöntemi klasik yersel ölçme yöntemlerine göre birçok faydasının yanı sıra getirdiği doğruluk değerleri sayesinde pek çok deformasyon projesinde de araç olarak kullanılmaktadır. Heyelanların izlenmesi çalışma kapsamında detaylı olarak yapılan jeolojik ve jeofiziksel çalışmalar sonucunda çalışma noktasına yakın ve sağlam zeminde noktalar tesis edilerek çalışma bölgelerine hizmet sunacak 15 noktalı bir mikro-jeodezik izleme ağı oluşturulmuştur (Şekil 4.7) (Ergin ve ark., 2016).

Planlama, istikşaf ve inşaat çalışmalarının ardından, GPS/GNSS gözlemi yapılacak noktalara yönelik bir planlama çalışması başlatmıştır. Ölçmelerde kiralanmak suretiyle temin edilen araçlar ile ekiplerin noktalara ulaşımı sağlanmıştır.

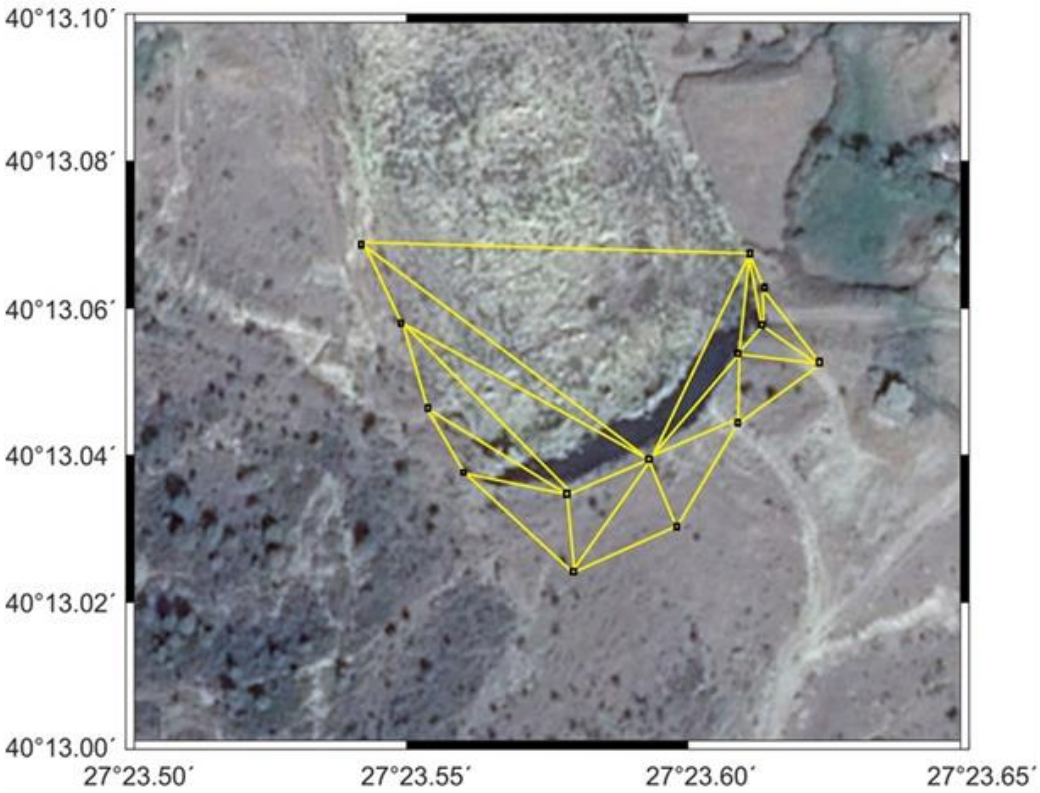
GPS/GNSS ölçmeleri Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Geomatik Mühendisliği Bölümü bünyesinde bulunan SATLAB marka SL500 ve SL600 model GPS/GNSS alıcıları ile gerçekleştirilmiştir (Erenoğlu ve ark., 2015). GPS/GNSS ölçmelerine ilişkin diğer anahtar parametreler Çizelge 4.2'de verilmektedir. Her bir noktada 30 saniyede bir kayıt alınarak gözlemler yapılmıştır (Şekil 4.6) (Şekil 4.8). 3 Haziran 2013 ve 10 Haziran 2015 yıllarında gerçekleştirilen iki farklı GPS/GNSS Ölçme Kampanyasına ait diğer bilgiler Çizelge 4.3'de verilmektedir.

Çizelge 4.2. GPS/GNSS ölçmelerine ilişkin anahtar parametreler

Lokasyon	Ambaroba Heyelanı
Oturum türü	Statik
Alıcı tipi	SATLAB GPS/GNSS Alıcısı
Anten tipi	Entegre Anten
GPS ölçüleri	C1, P2, L1, L2, S1, S2
Veri toplama aralığı	30 saniye
Uydu yükseklik açısı	5˚
Açıklama	Heyelan alanına tesis edilen GPS/GNSS izleme ağındaki referans ve obje noktaları.



Şekil 4.6. AMB1 mikro-jeodezik izleme ağı GPS/GNSS noktası – ölçme anı



Şekil 4.7. Ambaroba heyelanı mikro-jeodezik deformasyon ağı



Şekil 4.8. Ambaroba heyelanı izleme ağı AMB7 ve AMB12 noktaları – ölçme anı

Çizelge 4.3. 2013 ve 2015 yılları GPS/GNSS ölçme kampanyalarına ait bilgiler

Kampanya İsmi	Gözlem Dönemi	GPS Alıcı Modelleri	Gözlem Yapılan Nokta Sayısı	Veri Alma Aralığı (sn)	Yükseklik Açısı (°)	Ortalama Gözlem Süresi (saat)
AMB13	1	SL500/600	15	30	5	2
AMB15	2	SL500/600	15	30	5	2

4.2 GPS Ölçülerinin Değerlendirilmesi ve Deformasyon Analizi

Bu çalışmada Ambaroba Heyelan sahası üzerine 15 adet GPS/GNSS noktası tesis edilerek 2 periyot Statik GPS ölçümü gerçekleştirilmiştir. GPS/GNSS verileri Bernese v.5.0 bilimsel yazılımında değerlendirilmiştir. GPS/GNSS ölçme sisteminin doğasından kaynaklanan tam sayı belirsizliği, faz kayıklığı, atmosferik hatalar, multipath(Çoklu yansıma) gibi sistematik hatalar kullanılan bilimsel yazılımın geliştirilen algoritlamaları yardımıyla modellenmiştir. İkişer saatlik ölçüler geliştirilirken script'ler (kod) yardımıyla 30'ar dakikalık alt ölçü gruplarına ayrılarak GPS/GNSS ölçülerinin tekrarlıkları denetlenmiştir. Bu değerlendirmede izlenen işlem adımları aşağıdaki gibidir:

- Hassas Yörünge Bilgisi: Uluslararası GPS servisi (IGS) tarafından hazırlanan SP3 (Standard Product 3) formatlı hassas yörünge bilgisi dosyası SOPAC (Scrips Orbit and Permanent Array Center) adresinden alınmıştır.

- Referans Ağı: Ölçü kampanyaları ITRF 2008'e göre değerlendirilmiştir.

- Yer Dönme Parametreleri: (ERP; Earth Rotation Parameters), USNO_bull_b (United States Naval Observatory_bulletin_b) değerlerinden alınarak kullanılmıştır.

- IGS İstasyonları: 8 IGS istasyonu yer dönme parametreleri için dikkate alınmıştır: ANKR, BUCU, ISTA, NICO, SOFI, TRAB, TUBI, WTZR. IGS istasyonlarının yanı sıra Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenen COMU-2014-241 no'lu ve "ÇOMÜ Sabit GNSS İstasyonu ile GPS Zaman Serilerinin Gözlem ve Değerlendirilmesi" başlıklı bilimsel araştırma projesi ile yeni kurulan COMU sabit GNSS istasyonunda sağlanan veriler de kullanılmıştır.

- Hassas uydu yörüngeleri (SP3): SOPAC'tan (Scripps Orbit and Permanent Array Center) elde edilmiştir.

- İkili ve üçlü farklardan faz kayıklıkları elimine edilmiştir.

- L1/L2 tam sayı belirsizliği için QIF modeli (Quasi Iono Free Strategy) kullanılmıştır.

- İyonosfer modellemede L3 modeli (ionosphere-free linear combination) kullanılmıştır.

- Baz çözümü için iyonosferden bağımsız doğrusal kombinasyon modelikullanılmıştır (L1/L2 phase integer ambiguity resolution).

- Troposferik Modelleme: Saastamoinenekstrapolasyon modeli.

- Ağ dengelemesi: IGS istasyonlarının ITRF koordinatları sabit alınmıştır.

- Dengelenmiş koordinatlar ve varyans/kovaryans matrisi her ölçme epoğunda her bir nokta için elde edilmiştir.

- Bernese v.5.0 yazılımı çözümleri sonrasında elde edilen çözümler 16 global IGS noktasından yararlanarak 7 parametreli (3 öteleme, 3 dönüklük ve 1 ölçek) dönüşüm ile ITRF referans sistemine tanımlanmıştır.

Deformasyon analizi kapsamında ise;

- Objelerin deformasyonlarının belirlenmesi için objeyi en iyi karakterize edecek şekilde izleme ağları tesis edilmelidir.

- İzleme ağı noktalarının ölçüm epoklarındaki koordinatları arasındaki fakların istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı test edilir (congruence test=uyum testi).

- Bernese yazılımından elde edilen 2. epok koordinatları Molodensky-Badekas yöntemiyle 1. epok'a dönüştürülür. Anlamlı deformasyonlar global test ile saptanır.

- Ardından, herbir nokta için yerelleştirme gerçekleştirilip anlamlı deformasyonların hangi noktada meydana geldiği ortaya çıkarılır.

Çizelge 4.4. 3 Haziran 2013 tarihinde yapılan ölçülerinin değerlendirme sonuçları

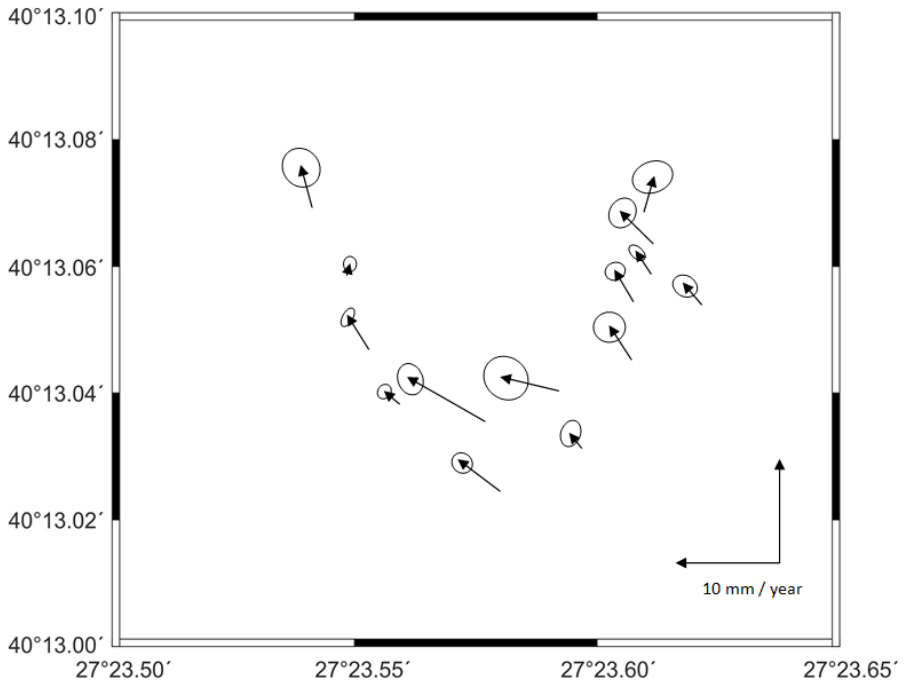
Obje Nokta No	X (m)	Y(m)	Z (m)	**RMS_x (mm)**	**RMS_y (mm)**	**RMS_z (mm)**
AMB1	4330378.732	2243947.510	4096733.951	2.3	1.3	2.2
AMB2	4502272.379	2333086.464	4260292.980	2.1	1.8	2.0
AMB3	4508198.340	2336137.147	4265934.298	2.8	0.9	3.5
AMB4	4516085.092	2340220.502	4273419.880	1.8	0.5	2.4
AMB5	4516659.242	2340494.685	4273959.475	0.8	1.1	2.3
AMB6	4518168.843	2341273.707	4275376.304	1.4	2.6	2.7
AMB7	4518566.101	2341523.820	4275840.609	0.9	3.9	2.7
AMB8	4518748.556	2341525.528	4275956.297	2.0	1.7	3.4
AMB9	4513590.898	2338854.930	4271042.221	1.6	1.2	2.5
AMB10	4517771.165	2341023.604	4275016.200	0.9	2.2	2.5
AMB11	4514279.551	2339217.874	4271684.320	0.8	1.0	1.1
AMB12	4514496.296	2339336.933	4271884.452	0.4	3.4	2.7
AMB13	4511676.882	2337876.619	4269190.508	1.5	2.6	3.8
AMB14	4508722.060	2336351.259	4266373.682	1.9	1.3	3.3
AMB15	4499982.450	2331827.726	4258043.834	1.2	0.8	3.3

Çizelge 4.5. 10 Haziran 2015 tarihinde yapılan ölçülerinin değerlendirme sonuçları

Obje Nokta No	X (m)	Y(m)	Z (m)	**RMS_x (mm)**	**RMS_y (mm)**	**RMS_z (mm)**
AMB1	4330378.735	2243947.508	4096733.944	1.4	0.6	3.8
AMB2	4502272.388	2333086.468	4260292.977	1.2	1.6	4.0
AMB3	4508198.343	2336137.145	4265934.295	0.9	1.4	4.8
AMB4	4516085.092	2340220.497	4273419.875	1.3	0.3	3.0
AMB5	4516659.244	2340494.686	4273959.474	1.5	1.7	3.8
AMB6	4518168.854	2341273.706	4275376.307	2.3	1.5	3.5
AMB7	4518566.101	2341523.821	4275840.615	0.8	2.0	2.9
AMB8	4518748.545	2341525.529	4275956.302	0.8	0.8	5.6
AMB9	4513590.889	2338854.919	4271042.222	1.3	0.8	3.2
AMB10	4517771.160	2341023.607	4275016.195	1.5	1.8	2.1
AMB11	4514279.544	2339217.875	4271684.319	1.8	1.6	5.3
AMB12	4514496.292	2339336.931	4271884.454	2.6	1.3	3.8
AMB13	4511676.880	2337876.622	4269190.508	2.1	1.2	2.4
AMB14	4508722.057	2336351.261	4266373.683	1.3	1.7	4.1
AMB15	4499982.441	2331827.729	4258043.830	2.2	1.0	4.8

Çizelge 4.6. 2013 – 2015 yıllarında yapılan ölçümlerin deformasyon analizi sonuçları

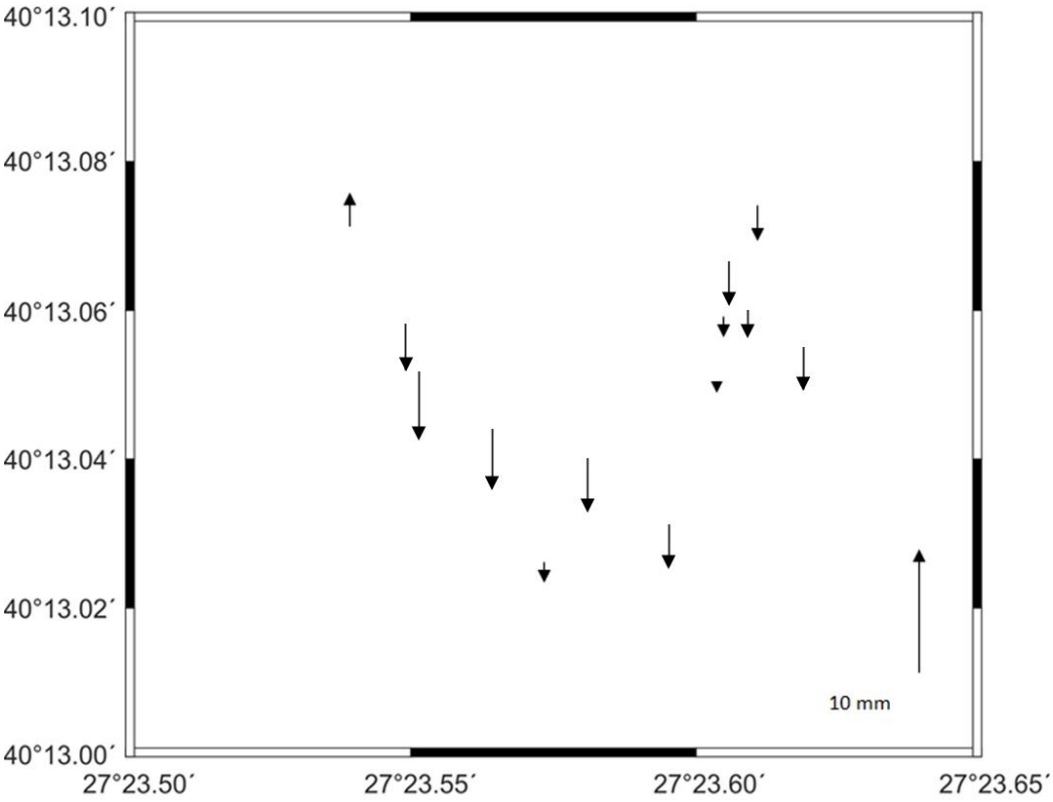
Obje Nokta No	d_x (mm)	d_y (mm)	d_z (mm)	d (mm)	Test Büyüklüğü	Eşik Değeri	KARAR: Hipotez (d=0)
AMB1	2.74	-1.82	-6.94	7.68	4.62	2.7	+
AMB2	9.62	4.23	-3.16	10.97	6.64	2.7	+
AMB3	3.07	-1.65	-3.19	4.73	3.12	2.7	+
AMB4	0.23	-5.55	-4.85	7.37	1.35	2.7	-
AMB5	2.19	0.68	-0.56	2.36	1.50	2.7	-
AMB6	10.47	-1.47	3.35	11.10	1.89	2.7	-
AMB7	0.18	0.83	5.81	5.87	3.17	2.7	+
AMB8	-11.60	1.85	4.37	12.53	7.81	2.7	+
AMB9	-9.15	-11.33	0.39	14.57	9.99	2.7	+
AMB10	-5.02	3.26	-5.71	8.27	5.60	2.7	+
AMB11	-6.83	1.60	-1.02	7.09	6.21	2.7	+
AMB12	-3.79	-2.90	1.98	5.16	0.07	2.7	-
AMB13	-1.90	3.02	0.14	3.57	1.11	2.7	-
AMB14	-3.48	1.88	0.46	3.98	3.10	2.7	+
AMB15	-8.24	2.89	-4.24	9.71	2.98	2.7	+



Şekil 4.9. Deformasyon analizi ile elde edilen yatay hızlar ve güven elipsleri (α=0.05)

Çalışma kapsamında 2013 ve 2015 yılları arasında Ambaroba Heyelan alanı için gerçekleştirilen GPS/GNSS ölçüleri deformasyon analizi sonuçlarının haritalandırılması da yapılmıştır. Bu amaçla, haritalandırma aşamasında nokta koordinatlarında saptanan yatay bileşen değişimi ile düşey bileşen değişimi ayrı ayrı çalışılmıştır (Şekil 4.9) (Şekil 4.10). Tematik harita üretiminde yaygın olarak kullanılan multiquadratik ve ağırlıklı ortalama

yöntemiyle yaklaşık aynı sonuçlar veren Kriging yöntemiyle kestirimi tercih edilmiştir. Tesis edilen GNSS noktalarında Kriging yöntemiyle elde edilen değerler ile gerçek değerleri arasındaki farklardan yararlanarak hesaplanan karesel ortalama hatalar cm düzeyinde ve/veya altında elde edilmiştir (Erenoğlu ve ark., 2015).

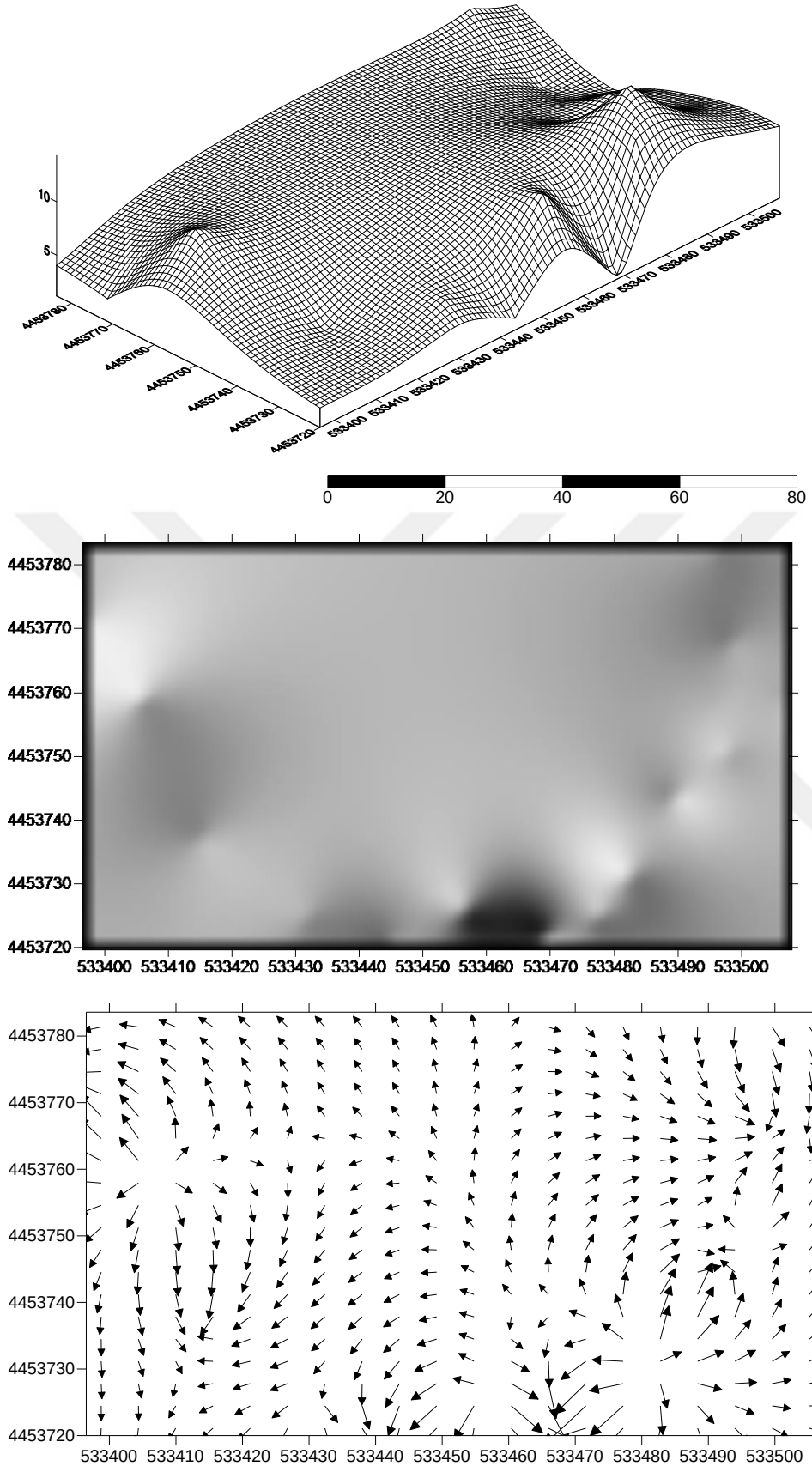


Şekil 4.10. Deformasyon analizi ile elde edilen düşey hızlar

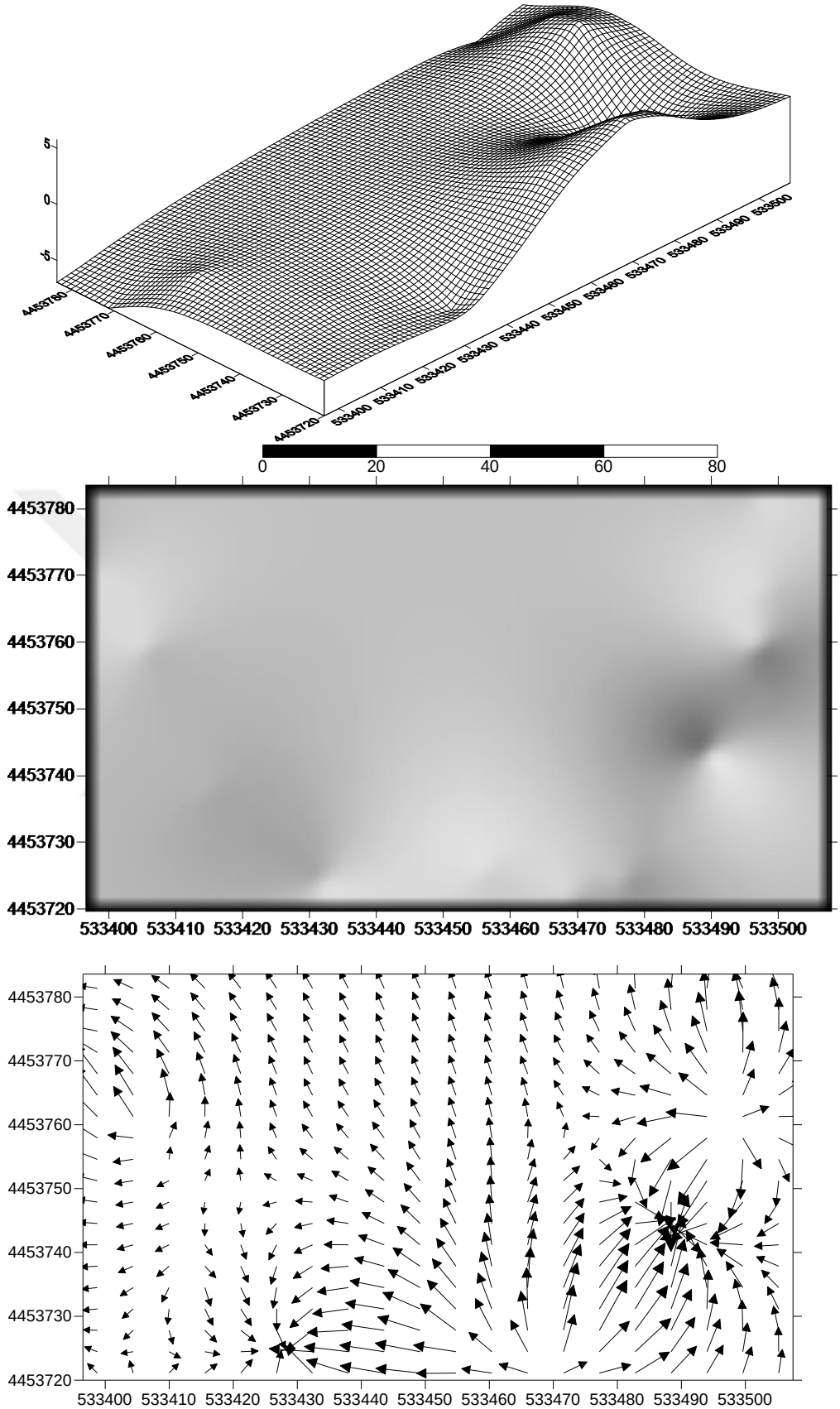
Ambaroba Heyelanına ilişkin deformasyon analizi sonucu elde edilen anlamlı yatay bileşen değişimleri ile düşey bileşen değişimlerine göre hazırlanmış olan;

- Tematik Yüzey haritaları,
- Tematik gölgeli kabartma haritaları,
- Tematik vektörel haritaları

üretilmiştir (Şekil 4.11; Şekil 4.12). Böylece, izleyen dönemlerde de periyodik ölçülerin değerlendirilmesi sonucunda deformasyon analizi ile üretilecek tematik haritalar bunlara göre yorumlanarak elde edilen deformasyon analizin sonuçlarının görsel yönden de desteklenmesi sağlanmış olacaktır (Erenoğlu ve ark., 2015).



Şekil 4.11. Ambaroba heyelan bölgesi tematik deformasyon haritaları (Yatay)



Şekil 4.12. Ambaroba heyelan bölgesi tematik deformasyon haritaları (Düşey)

BÖLÜM 5
SONUÇ VE ÖNERİLER

Heyelanın aktif olduğu ve sistematik eğim aşağı kaymanın ve deformasyonun gerçekleştiği görülmektedir. Taç kısmının topuğa göre daha hızlı yatay ve düşey hareket ettiği görülmektedir. Buna karşın düşey çökme hareketleri de taç kısmında nispeten yüksektir. Topuktaki yığılmadan dolayı hem yatay hız düşümü hem de çökme dışında az da olsa yükselme görülmektedir. Bu yatay hızlardaki düşüş sebebiyle oluşan sıkışmayla açıklanabilir.

Bu çalışmada heyelan tipinin tanımlanması, bölgeyi kapsayan GPS ölçümlerinin yapılması, deformasyon modeli oluşturulması ve heyelan tehlikesi olan bölge hakkında yorum yapılması hedeflenmiştir. Bu kapsamda, Ambaroba Heyelanları 2013 ile 2015 yıllarında jeodezik GPS/GNSS tekniği kullanarak izlenmiştir. Elde edilen verilerle deformasyon analizleri gerçekleştirilmiştir.

Çalışma alanında 15 noktada, 2013 ve 2015 yıllarında 2 periyotta statik GPS/GNSS ölçümleri gerçekleştirilmiştir. GNSS ölçüleri; Bernese yazılımı ile değerlendirilmiştir. Elde edilen jeodezik dik koordinatlar (X, Y, Z) ve onların ağırlık katsayıları matrisi kullanılarak deformasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde iki periyot için yapılan hız kestirimi sayesinde noktaların hız diğerleri elde edilmiştir (Şekil 4.9; Şekil 4.10).

Sonuç olarak;

- Ambaroba Heyelanındaki yer değiştirmelerin zamansal olarak izlenmesi için GPS/GNSS tekniği kullanılmıştır.
- Tesis edilen mikro deformayon ağı iki epok gözlenmiştir (Kampanya tipi).
- İlgili ölçü epoklarından elde edilen koordinatlarla gerçekleştirilen deformasyon analizi sonuçları ile heyelan alanlarındaki anlamlı deformasyonlar saptanmıştır.

Ayrıca; öneri olarak heyelan çalışmalarında mevsimler etkilerinde göz önünde bulundurulduğu düşünülürse ölçüm periyodunun artırılması gerektiği ve bu mevsimsel etkilerinin en azbirkaç senelik ölçümler ile karşılanacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Alkan M., 1995. Heyelan Ağaç İlişkisi Tartışmasında Gelinen Aşama, Türkiye İkinci Ulusal Heyelan Sempozyumu, Adapazarı, Bildiriler Kitabı. 35-44.

Arslanoğlu M., Mekik Ç., 2003. Gerçek zamanlı kinematik gps konumlarının doğruluk analizi ve bir uygulama, 9. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara. 549-558.

Atasoy V., 1984. Jeodezik Deformasyon Ölçülerinin İrdelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Atasoy V., 1988. Üç Boyutlu Jeodezik Ağlarda Yer Kabuğu Hareketlerinin İrdelenmesi. Doktora Tezi. K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Ayan T., 1982. Jeodezik Ağlarla Deformasyon Analizine Genel Bakış. İTÜ Dergisi, 40/1, İstanbul.

Ayan T., Tekin E., Deniz R., 1993. Heyelan Hareketlerinin İzlenmesi İçin Bir Jeodezik Uygulama. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisliği Dergisi. 55-68.

Bayrak T., 2003. Heyelanlar İçin Bir Dinamik Deformasyon ve Bir Dinamik Hareket Yüzeyi Modelinin Oluşturulması.

Bedir M., Erenoğlu R.C., Akçay Ö., Erenoğlu O., 11-15 Nisan 2016. Heyelan İzleme Amaçlı İHA Destekli Uzaktan Algılama ve GPS/ GNSS Yöntemlerinin Doğruluk Analizi Karşılaştırılması, 69. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara.

Brunner F. K., 1997. Continuous Monitoring of Deformation Using The Global Positioning System. AvH Magazine, 69: 29-38.

Burchfiel B. C., Foster R. J., Keller E. A., 1982. Physical Geology. A Bell and Hovell Company, Colombus, Ohio.

Coe J. A., Ellis W. L., Godt J. W., Savage W. Z., Savage J. E., Michael J. A., Kibler J. D., Powers P. S., Lidke D. J., Debray S., 2003. Seasonal movement of the Slumgullion landslide determined from Global Positioning System surveys and field instrumentation, Engineering Geology. 67–101.

Demirel H., 1993. Deformasyon Ölçülerinin Analizi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Lisansüstü Ders Notu. İstanbul.

Demirel H., 2005. Dengeleme Hesabı. Y.T.Ü. Basım – Yayın Merkezi, 2. Baskı.

Dercourt J., 2000. Apport du GPS au Suivi en Continu des Mouvements de Terrrain: Application au Glissement - Coulee de Super-Sauze (Alpes-de-Haute-Provence, France). Earth and Planetary Sciences, 331: 175-182.

Dilaver A., Karaali C., Şen K., 1991. Heyelanların Yersel Jeodezik Yöntemlerle Önceden Belirlenmesi. Türkiye 1. Ulusal Heyelan Sempozyumu, Trabzon, Bildiriler Kitabı: 155-157.

Doğan U., 2002. 17 Ağustos 1999 İzmit Depreminden Kaynaklanan Deformasyonların Kinematik Modellerle Araştırılması (Doktora Tezi). YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Dupraz H., Niemeier W., Pelzer H., 1979. Analyse von Deformationsmessungen durch Klaffungszerlegung. Deformations analysen, Heft 4, Hannover.

Erdal B., 2009, RTK GPS yönteminin konumlama hassasiyeti ve RTK GPS'e etki eden hata faktörleri. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Eren K., Uzel T., 1995. GPS Ölçmeleri. Yıldız Teknik Üniversitesi Matbaası, Yayın No: 301, İstanbul.

Erenoğlu R.C., Akçay Ö., Şengül E., Komut T., Erenoğlu O., Kasım 2013. Monitoring of landslides using geomatics and geophysical methods: the first findings from Sevketiye Landslide, Canakkale, NW Turkey. International Symposium on Modern Technologies, Education and Professional Practice in Geodesy and Related Fields, Sofia, Bulgaristan.

Erenoğlu R.C., Akçay Ö., Karaca Z., Erenoğlu O., Şengül E., Yücel M.A., Nisan 2014. Tekrarlı Kinematik GPS Ölçüleri ile Heyelanlarının İzlenmesi: Adatepe Heyelanları (Biga Yarımadası, Çanakkale, Türkiye) Örneği. 67. Türkiye Jeoloji Kurultayı (TJK), Ankara, Türkiye.

Erenoğlu R.C., Akçay Ö., Erenoğlu O., Şengül E., Karaca Z., Haziran 2014. UAV Based Monitoring of Adatepe Landslide, Canakkale, NW Turkey. FIG Congress, Kuala Lumpur, Malezya.

Erenoğlu O., Erenoğlu R.C., Akçay Ö., Nisan 2015. Geological and Geomorphological Characterizations Of Landslides On The Coast Of The Biga Peninsula (Çanakkale, Nw Turkey). European Geosciences Union General Assembly 2015, Viyana, Avusturya.

Erenoğlu R.C., Akçay Ö., Erenoğlu O., Karaca Z., Nisan 2015. Gnss Assisted Uas Based Monitoring Of Ambaroba Landslide, Canakkale, Nw Turkey. European Geosciences Union General Assembly 2015, Viyana, Avustralya.

Erenoğlu R.C., Akçay Ö., Erenoğlu O., Kasım 2015. Estimating of Landslide By Repeated Gps/Gnss Measurements In The Ambaroba Region, Canakkale, Nw Turkey. International Symposium on Modern Technologies, Education and Professional Practice in Geodesy and Related Fields, Sofya, Bulgaristan: 202-213

Erenoğlu R.C., 2016. Generating a Digital Elevation Model Using Unmanned Aerial System for a Deep Seated Rotational Landslide on Forest Cover and Vegetation. Austrian Journal of Forest Science, vol.23: 47-62

Ergin E., Erenoğlu R.C., Nisan 2016. Heyelan Duyarlılık Değerlendirilmesinde Oyun Teorisinin Kullanılması: İntepe, Çanakkale Örneği. 69. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, Türkiye.

Gili J. A., Corominas J., Rius J., 2000. Using Global Positioning System Techniques in Landslide Monitoring. Engineering Geology, 55: 167-192.

Gökçeoğlu C., Aksoy H., 1996. Landslide Susceptibility Mapping of The Slopes in The Residual Soils of Mengen Region (TURKEY) by Deterministic Stability Analyses and Image Processing Techniques. Engineering Geology, 44: 147-161.

Güngördü D., Erenoğlu R.C., Akçay Ö., Erenoğlu O., Nisan 2016. A Novel Approach based on GPS/GNSS Surveying to Monitor Excessive Active Landslide: A Case Study of Intepe Landslide. European Geosciences Union General Assembly 2016, Viyana, Avusturya.

Hofmann W. B., Lichtenegger H., Collins J., 1992. Global Positioning System:Theory and Practice. Springer-Verlag Wien New York.

İnal C., 2000. Lisans ve Yüksek Lisans Ders Notları. SÜ, Konya.

Malet J. P., Maquaire O., Calais E., 2002. The Use of Global Positioning System Techniques for The Continuous Monitoring of Landslides: Application to Yhe Super-Sauze Earthflow (Alpes-de-Haute-Provence, France). Geomorphology, 43: 33-54.

Matsushima T., Takagi A., 2000. GPS and edm monitoring of unzen volcano ground deformation. Earth Planets Space 52: 1015–1018.

McElroy S., 1998. Getting Started with GPS Surveying. The Global Positioning System Consortium (GPSCO).

McLellan J. F., Porte T. R., Price P. St. J., 1989. Pipeline Deformation Monitoring Using GPS Survey Techniques. Journal of Surveying Engineering, Volume 115: 115-121.

Mierlo J., 1978. A Testing Procedure for Analysing Geodetic Deformation Measurements, Proceedings, Second International Symposium on Deformation Measurements by Geodetic Methods. Bonn, Proceedings. 321-353.

Mora P., Baldi P., Casula G., Fabris M., Ghirotti M., Mazini E., Pesci A., 2003. Global positioning systems and digital photogrammetry for the monitoring of mass movements: application to the ca' di malta landslide (northern apennines,ıtaly). Engineering Geology 68: 103–121.

Moss J. L., McGuire W. J., Page D., 1999. Ground Deformation of a Potential Landslide at La Palma, Canary Islands. Journal of Volconology and Geothermal Research, 94: 251-256.

Önalp A., 1991. Doğu Karadeniz Bölgesi Heyelanları – Nedenleri, Analizi ve Kontrolü.

Öztürk E., Şerbetçi M., 1992. Dengeleme Hesabı. K.T.Ü. Basımevi, Cilt III, Türkiye 1. Ulusal Heyelan Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, Trabzon. 85-95.

Şimşek M., 1992. Jeodezik Ağlarda Uyuşumsuz Ölçülerin Belirlenmesi. Harita Dergisi, 108: 18-33.

Ünver M., 1996. Kalman Filtreleme Yöntemi İle Kinematik Düşey Hareketlerin Belirlenmesi. Harita Dergisi, Sayı : 116.

Wells D., 1987. Guide to GPS Positioning. Canadian GPS Association.

Wolf P. R., Ghilani C. D., 1997. Adjustment Computation : Statistics and Least Squares in Surveying and GIS.

Yalçınkaya (Ünver), M., 1996. Nivelman Ağlarında Duyarlık ve Güven Ölçütleri. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisliği Dergisi, 80: 73-84.

Zezere J. L., Ferreira A. B., Rodrigues M. L., 1999. Landslides in the North of Lisbon Region (Portugal): Conditioning and Triggering Factors. Phys. Cem. Earth (A), Vol 24, No. 10: 925-934.

.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mustafa BEDİR

Doğum Yeri : KIRIKKALE

Doğum Tarihi : 25.11.1986

EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi : Selçuk Üniversitesi / Mühendislik Mimarlık Fakültesi
Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği

Yüksek Lisans Öğrenimi : Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi / FBE
Coğrafi Bilgi Teknolojileri Anabilim Dalı

Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

BİLİMSEL FAALİYETLERİ

a) Yayınlar -SCI -Diğer

b) Bildiriler -Uluslararası -Ulusal : Bedir M.,Erenoğlu R.C., Akçay Ö., Erenoğlu O., "Heyelan İzleme Amaçlı İHA Destekli Uzaktan Algılama ve GPS/ GNSS Yöntemlerinin Doğruluk Analizi Karşılaştırılması", 69. Türkiye Jeoloji Kurultayı, ANKARA, TÜRKIYE, 11-15 Nisan 2016.

c) Katıldığı Projeler : "Geomatik Yöntemlerle Heyelanların İzlenmesi ve Tematik Haritaların Oluşturulması: Biga Yarımadası (Çanakkale) Örneği ", TÜBITAK Projesi, 112Y336, Bursiyer.

İŞ DENEYİMİ

Çalıştığı Kurumlar ve Yıl : Karayolları Projesi - 2009-2010
TOKİ Projesi - 2010-2011
Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı - 2011- Halen

İLETİŞİM

E-posta Adresi : mustafa.bedir@hotmail.com